

کاربرد مدل هیدروترمال تایم جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گیاه خردل وحشی طی رفع
کمون

Application of hydrothermal time model to determine the cardinal temperatures for seed
germination in wild mustard (*Sinapis arvensis*) during dormancy elimination

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۴

چکیده

به منظور بررسی تغییرات سرعت جوانه‌زنی، دمای کاردینال و پارامترهای هیدروترمال تایم بذر خردل وحشی در پتانسیل‌های آب مختلف طی رفع کمون این تحقیق در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۶ به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا شد. در این تحقیق مدل‌سازی جوانه‌زنی به خوبی انجام شد. برای تشریح واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما در پتانسیل‌های مختلف آب ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، مگاپاسکال از تابع دندان‌مانند استفاده شد. با اعمال غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام)، روند تغییرات جوانه‌زنی در دماهای مورد بررسی افزایشی بود، به گونه‌ای که بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به جیبرلیک اسید ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام بود. با کاهش پتانسیل در هر سطح جیبرلیک اسید دمای پایه افزایش و دمای مطلوب تحتانی و مطلوب فوقانی و دمای سقف کاهش یافت. ضریب هیدروتایم در بذرهای شاهد با افزایش دما به طور معنی‌داری کاهش یافت و پتانسیل آب پایه افزایش یافت. ضریب هیدروتایم و پتانسیل آب پایه با افزایش غلظت جیبرلیک اسید روندی کاهشی داشت. نتایج نشان داد ضرایب بدست آمده توسط مدل هیدروترمال تایم از دقت نسبتاً بالایی برخوردار بود و مقدار ثابت هیدروترمال تایم، پتانسیل آب پایه و دمای پایه در بذرهای شاهد ۱۱۷۳/۸۳ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد ساعت، ۰/۰۹- مگاپاسکال و ۳/۰۷ درجه سانتی‌گراد و برای جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب ۳۱۵/۵۷ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد ساعت، ۰/۵۰- مگاپاسکال و ۱/۲۲- درجه سانتی‌گراد بود. تغییرات پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی در تیمارهای جیبرلیک اسید ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام دارای یک روند دوتکه‌ای بود به طوری که تا دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد این پتانسیل در حدود ۰/۷- تا ۰/۶- مگاپاسکال بود و از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به بعد افزایش پیدا کرد تا در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر مقدار خود رسیدند.

کلمات کلیدی: تابع دندان‌مانند، دمای کاردینال، علف هرز، مدل‌سازی.

۱- کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- استادیار گروه زراعت پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.

۴- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

* مکاتبه کننده: ben_torabi@yahoo.com

مقدمه

خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) گیاهی یک‌ساله و از تیره شب بو است که فقط توسط بذر تکثیر می‌یابد. این علف هرز به دامنه وسیعی از دما (۴۸-۱۵ درجه سانتی‌گراد) سازگاری داشته و به آسانی در اثر یخبندان از بین نمی‌رود (Huang et al., 2001). خردل وحشی در بیشتر مناطق جهان وجود دارد و عموماً بومی اروپا، خاورمیانه و شرق آسیا است. در هر بوته خردل وحشی ۲۰۰۰-۲۵۰۰ بذر تولید می‌شود. البته بوته‌هایی که در شرایط عدم رقابت گیاهان دیگر رشد می‌کنند، بزرگ‌تر بوده و مقدار بذر تولیدشده در آن‌ها بسیار بیشتر است (Zeinali and Ehteshami 2004). علف هرز گیاهی ناخواسته و سمج است که در زراعت موجب کاهش کمی و کیفی محصول و افزایش هزینه‌های تولیدشده و یا در محیط‌های عمومی موجب مزاحمت و ناهماهنگی خواهد شد (Mousavi, 2003). علف‌های هرز با داشتن ویژگی‌های خاصی از جمله: بلوغ سریع، تولیدمثل فراوان، طول عمر زیاد در خاک، کمون بذر سبب می‌گردد مهاجمان موفقی در هر منطقه و زمین کشاورزی باشند (Derahkshan et al., 2014).

کمون بذر یک ویژگی سازگارکننده در بذرهای علف‌های هرز است. کمون بذر برای بهینه‌سازی توزیع جوانه‌زنی در طول زمان است (Bewley et al., 2012) و پایداری گیاهان را در محیط‌های همیشه در حال تغییر، مانند زمین‌های زراعی افزایش می‌دهد. با توجه به مواردی که ذکر شد، رفع کمون در علف‌های هرز به منظور کنترل و مبارزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علت کمون بذر خردل وحشی ماده بازدارنده رشدی است که در غلظت‌های کم اکسیژن در جنین تولید می‌شود. لایه‌ای از موسیلاژها و فل‌ها در پوسته بذر خردل وحشی از طریق

جلوگیری از انتشار اکسیژن به جنین، زمینه تشکیل این ماده را فراهم می‌نماید (Benech-Arnold et al., 2000). در فاکتورهای رفع کمون عوامل محیطی مختلفی مانند نور، حرارت، آب، نیترات، هورمون، دود، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن وجود دارد که بر جوانه‌زنی و کمون بذر مؤثر هستند. سه عامل مهم و کلیدی بر رفع کمون بذر حرارت، پرسی و نور است (Bewley et al., 2013). جوانه‌زنی بذر فرآیندی پیچیده و از جمله مراحل اساسی در چرخه زندگی گیاهان به حساب می‌آید (Wang, 2005). از نظر فیزیولوژیکی، رشد و خروج کلاهک یا آغازهای اولیه جنین از پوشش یا پوسته بذر را جوانه‌زنی می‌نامند (Bradford, 2002). از مهم‌ترین و بحرانی‌ترین مراحل زندگی یک گیاه، جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه آن است (Windauer et al., 2007). جوانه‌زنی در توده‌هایی که فاقد کمون هستند تحت تأثیر عوامل محیطی همچون دما، رطوبت و میزان اکسیژن است (Bewley et al., 2013). ایجاد تنش خشکی بر قدرت رقابت علف‌های هرز می‌تواند مؤثر باشد و همچنین برهمکنش دما و خشکی نیز می‌تواند باعث القای کمون شود (Bair et al., 2006). پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌های هرز می‌تواند راهکار کاربردی در کنترل این گیاهان باشد (Martinson et al., 2007).

دما یکی از عواملی است که از طریق تنظیم کمون بر ظرفیت جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار است. حداکثر درصد جوانه‌زنی در گیاهان در دامنه‌ای خاص از دما رخ می‌دهد و در پایین‌تر و بالاتر از این دامنه دمایی، درصد جوانه‌زنی به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد (Kebreab and Murdoch, 2000). به‌طور کلی، تمامی فرآیندهای زیستی تحت تأثیر دما قرار دارند که می‌توان آن‌ها را توسط دماهای کاردینال به‌راحتی توصیف نمود

بدون کمون هستند، کاربرد دارند. مدل هیدروترمال تایم مدلی مناسب برای تنظیم کمون است که مرتبط با افزایش و کاهش پتانسیل آب پایه است (Soltani *et al.*, 2008).

هدف از تحقیق حاضر معرفی، کاربرد و ارزیابی توانایی مدل هیدروترمال تایم برای توصیف پاسخ جوانه زنی بذر خردل وحشی تحت شرایط مختلف دمایی و رطوبتی و تعیین دماهای کاردینال جوانه زنی بود.

مواد و روش ها

این آزمایش در آزمایشگاه بذر گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۶ انجام شد. بذره‌های خردل وحشی از مزرعه زیر کشت گندم در مزرعه شماره یک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جمع آوری شدند. به دلیل اینکه این بذرها دارای کمون اولیه بودند، به صورت غوطه‌ور داخل محلول‌های جیبرلیک اسید با غلظت‌های مختلف (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) به مدت ۲۴ ساعت و در دمای اتاق (۲۰ درجه سانتی‌گراد) آبنوشی شدند. سپس برای انجام آزمون جوانه‌زنی، سه تکرار ۲۵ بذری از خردل وحشی در دامنه دمایی ۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در ترکیب با پتانسیل آب ۰/۲، -۰/۴، -۰/۶، -۰/۸، مگاپاسکال و آب مقطر در پتری دیش‌های ۷/۵ سانتی‌متر بر روی یک‌لایه کاغذ واتمن شماره ۱ قرار داده شدند و سپس به صورت هم‌زمان به نمونه‌ها محلول‌های آزمایش و آب مقطر اضافه شد. جوانه‌زنی با معیار خروج ریشه‌چه‌ای با طول ۱ میلی‌متر و بیشتر، به صورت تجمعی با فاصله زمانی ۱۲ ساعت اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای ایجاد پتانسیل‌های مختلف از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ به روش میشل و کافمن (Michel and Kaufmann, 1973) استفاده

(Atashi *et al.*, 2015). علاوه بر دما، پتانسیل آب خاک نیز یکی از عوامل مهم محیطی است که بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه گیاهان تأثیر می‌گذارد که توسط مدل‌های هیدروتایم قابل توصیف است (Anda and Pinter, 1994). توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط مطلوب رطوبتی، شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم بالاتر را در پی دارد که در نتیجه باعث افزایش عملکرد می‌شود (Balbaki *et al.*, 1999). به‌طور معمول، سرعت جوانه‌زنی به‌طور خطی با قابلیت دسترسی به آب افزایش می‌یابد (Gummerson, 1986; Guerke *et al.*, 2004) و درصد جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب کاهش می‌یابد (Grundy, 2003).

برای بررسی اثر هم‌زمان مهم‌ترین عوامل محیطی (دما و رطوبت)، از مدل هیدروترمال تایم که در واقع ترکیبی از مدل ترمال تایم و هیدروتایم است، استفاده می‌شود. این مدل به‌خوبی دوره زمانی جوانه‌زنی را در دماهای ثابت و نسبتاً بالا توصیف می‌کند (Alvarado, 2000). فرض این مدل، ثابت گرفتن پتانسیل آب پایه مستقل از دما و دمای پایه مستقل از پتانسیل است. در دماهای بالاتر از دمای مطلوب، دما و پتانسیل آب پایه به‌طور خطی افزایش می‌یابد، اما سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. مدل هیدروتایم الگوهای زمانی جوانه‌زنی را (که در پاسخ به کاهش پتانسیل رخ می‌دهد) حاصل می‌کند. به‌طور کلی افزایش در درصد نهایی جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی با کاهش کمون محموله بذری در یک راستا است (Soltani *et al.*, 2008). مقادیر هیدروترمال تایم و مقادیر دما و پتانسیل پایه در مدل‌سازی پویایی بانک بذر مورد نیاز هستند (Sester *et al.*, 2007) این پارامترها در پیش‌بینی سبز شدن علف‌های هرز در واکنش به دما و پتانسیل آب که دو عامل اصلی مؤثر بر جوانه‌زنی بذرها

کاربرد مدل هیدروترمال تایم جهت تعیین دماهای ...

در این تابع، T دمای محیط، T_b دمای پایه، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی، T_c دمای سقف برحسب درجه سانتی گراد است. تخمین پارامترهای مدل با روش مطلوب سازی تکراری (Iterative) با کمک رویه PROC NLIN در نرم افزار SAS (نسخه 9.4) 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 می شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها بدست 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 دهک های مختلف جوانه زنی از حدود اطمینان ۹۵٪ استفاده شد (Torabi et al., 2016).

مدل هیدروترمال که به داده ها برازش داده شد به صورت زیر (رابطه ۳) بود (Bakhshandeh et al., 2015; Gummerson, 1986):

(رابطه ۳)

$$\Theta_H = (\psi - \psi_{b(g)}) t_g$$

که در این رابطه Θ_H ثابت هیدروترمال (مگاپاسکال ساعت)، ψ پتانسیل آب محیط (مگاپاسکال)، $\psi_{b(g)}$ پتانسیل آب پایه برای جوانه زنی کسری از جمعیت بذرها (g) و t_g زمان (ساعت) برای جوانه زنی g بودند.

شد. طرح آماری در قالب اسپلیت پلات بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد.

به منظور برآورد زمان لازم برای دهک های مختلف جوانه زنی از برنامه Germin (Soltani et al., 2013) و محاسبه سرعت جوانه زنی به صورت زیر (رابطه ۱) انجام شد (Soltani et al., 2006; Torabi et al., 2013).

$$R = \frac{1}{T} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن T مدت زمان لازم برای رسیدن به جوانه زنی دهک های مختلف جوانه زنی جمعیت بذرها است.

برای توصیف واکنش سرعت جوانه زنی ($1/T$) در برابر دما از مدل زیر (رابطه ۲) استفاده شد (Torabi et al., 2013):

$$R = R_{max} \cdot f(T) \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن R سرعت جوانه زنی (در روز)، R_{max} حداکثر سرعت جوانه زنی (عکس زمان تا رسیدن به جوانه زنی در دمای مطلوب) و $f(T)$ تابع دمایی است (Torabi et al., 2013).

تابع دمایی مورد استفاده در این مطالعه مدل دندان مانند^۱ بود (Torabi et al., 2013; Soltani et al., 2006):

$f(T) = \left(\frac{T - T_b}{T_{o1} - T_b} \right)$	if $T_b < T < T_{o1}$
$f(T) = \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_{o2}} \right)$	if $T_{o2} < T < T_c$
$f(T) = 1$	if $T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$
$f(T) = 0$	if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

(2006).

¹ Dent-like

² Sub- optimal temperature

³ Supra- optimal temperature

بیشتر تیمار جیبرلیک اسید است. در برآورد پتانسیل آب پایه بیشترین یکنواختی در بین تیمارهای مورد مطالعه در جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام با انحراف استاندارد ۰/۴۸ مگاپاسکال تعیین شد (جدول ۱). با توجه به معادله هیدروترمال تایم، بین ثابت هیدروترمال تایم (Θ_{HT}) با سرعت جوانه زنی رابطه عکس وجود دارد؛ بنابراین در بین تیمارهای مورد مطالعه بیشترین سرعت جوانه زنی و یا به عبارتی کمترین زمان لازم برای تکمیل دوره جوانه زنی در تیمار جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام (با ثابت هیدروترمال تایم، ۳۱۵/۵۷ مگاپاسکال درجه سانتی گراد ساعت) مشاهده گردید؛ درحالی که مقدار ضریب هیدروترمال تایم در بذرها شاهد ۱۱۷۳/۸۱ مگاپاسکال درجه سانتی گراد ساعت برآورد شد؛ بنابراین با اعمال غلظت های بالاتر جیبرلیک اسید با رفع تدریجی کمون، سرعت جوانه زنی تقریباً سه برابر بذر شاهد افزایش یافته است. همچنین مقدار دمای پایه از ۳/۴۰ درجه سانتی گراد در بذر شاهد به ۱/۲۲- درجه سانتی گراد در تیمار جیبرلیک اسید ۲۰۰۰ پی پی ام کاهش یافت (جدول ۱). بررسی بیشتر نشان داد که با افزایش غلظت جیبرلیک اسید تا ۵۰۰ پی پی ام مقدار کاهش ثابت هیدروترمال تایم از معادله

$$y = 1239.5 - 1.31 * x$$

جیبرلیک اسید از ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام میزان کاهش ثابت هیدروترمال تایم از معادله

$$y = 584.5 - 0.1659 * (x - 500)$$

بود (شکل ۱). با توجه به شکل (۲) بین پتانسیل آب پایه و غلظت های مختلف جیبرلیک اسید نیز یک رابطه خطی با شیب منفی وجود دارد که با افزایش هر ۱۰۰ واحد جیبرلیک اسید مقدار پتانسیل آب پایه ۰/۰۲ مگاپاسکال کاهش یافته است. همچنین بین دمای پایه و غلظت های

هنگامی که بذرها در دمای زیر مطلوب قرار داشته باشند و پتانسیل آب تغییر کند، سرعت جوانه زنی را می توان بر اساس مدل هیدروترمال تایم (Θ_{HT}) به صورت زیر (رابطه ۴) توصیف کرد (Bradford, 2002; Gummerson, 1986):

(رابطه ۴)

$$\Theta_{HT} = (\psi - \psi_{b(g)})(T - T_b)t_g$$

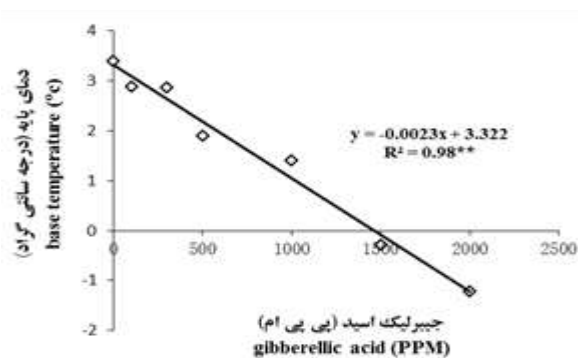
که در این معادله Θ_{HT} ثابت هیدروترمال تایم (مگاپاسکال درجه سانتی گراد ساعت) است یعنی ترکیب ترمال تایم تجمع یافته در دماهای بالاتر از دمای پایه و هیدروترمال تایم تجمع یافته در سطوح پتانسیل بالاتر از پتانسیل آب پایه. مدل هیدروترمال تایم فرض می کند که Θ_{HT} و T_b برای همه بذرها در یک محموله ثابت هستند، درحالی که $\psi_{b(g)}$ برای تغییرات در زمان برای جوانه زنی بین بذرها خاص محاسبه می شود (Bradford, 1995).

سپس با توجه به محاسبات انجام شده، تغییرات پارامترهای مدل هیدروترمال تایم طی رفع کمون بذرهاى خردل وحشی (*Sinapsis arvensis*) به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده ها به وسیله نرم افزار SAS 9.4 و رسم نمودارها به وسیله نرم افزار Excel 2013 انجام شد.

نتایج و بحث

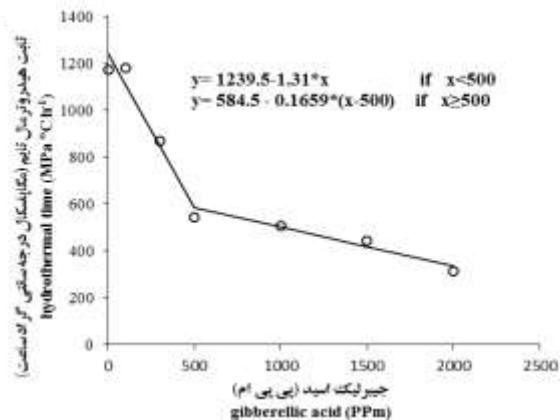
جهت پیش بینی و کمی سازی اثرات هم زمان دما و پتانسیل روی جوانه زنی از مدل هیدروترمال تایم استفاده گردید. در بین تیمارهای مورد مطالعه بیشترین پتانسیل آب پایه مربوط به تیمار شاهد (۰/۰۹ - مگاپاسکال) و در مقابل کمترین پتانسیل آب پایه مربوط به تیمار جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام با مقدار (۰/۵۰ - مگاپاسکال) بود که در واقع نشانگر افزایش مقاومت به تنش خشکی برای جوانه زنی و همچنین رفع کمون در نتیجه اعمال غلظت های

کاربرد مدل هیدروترمال تایم جهت تعیین دماهای ...



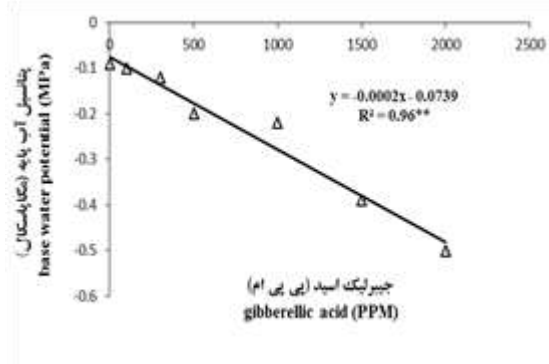
شکل ۳- رابطه بین دمای پایه بذر خردل وحشی و غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید طی رفع کمون.

Figure 3-The relationship between base temperature of wild mustard seed and different concentrations of gibberellic acid during dormancy elimination.



شکل ۱- رابطه بین ثابت هیدروترمال تایم بذر خردل وحشی و غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید طی رفع کمون.

Figure 1-The relationship between hydrothermal time of wild mustard seed and different concentrations of gibberellic acid during dormancy elimination.



شکل ۲- رابطه بین پتانسیل آب پایه بذر خردل وحشی و غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید طی رفع کمون.

Figure 2-The relationship between base water potential of wild mustard seed and different concentrations of gibberellic acid during dormancy elimination.

مقدار دمای پایه ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است (شکل ۳).

مختلف جیبرلیک اسید رابطه معنی‌دار خطی با شیب منفی مشاهده شد که با افزایش هر ۱۰۰ واحد جیبرلیک اسید

نشریه پژوهش علف های هرز، دوره ۱۴، شماره ۲، پائیز و زمستان ۱۴۰۱

جدول ۱- برآورد ثابت هیدروترمال تایم (Θ_{HT})، پتانسیل آب پایه تا ۵۰ درصد جوانه زنی ($\Psi_{b(50)}$)، ضریب تبیین (R^2)، انحراف استاندارد توزیع پتانسیل آب پایه ($\Psi \sigma_{b(50)}$) در بررسی هم‌زمان دما و پتانسیل آب بر روی خردل وحشی با تیمار جیبرلیک اسید با استفاده از مدل هیدروترمال تایم.

Table 1- Estimation of hydrothermal time constant (Θ_{HT}), the base water potential for 50% germination ($\Psi_{b(50)}$), explanatory coefficient (R^2), standard deviation of base water potential distribution ($\Psi \sigma_{b(50)}$) under temperature and water potential in wild mustard with gibberellic acid treatment using hydrothermal time model.

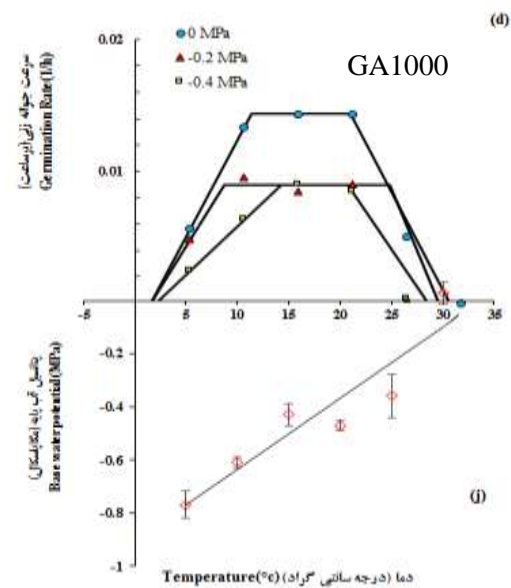
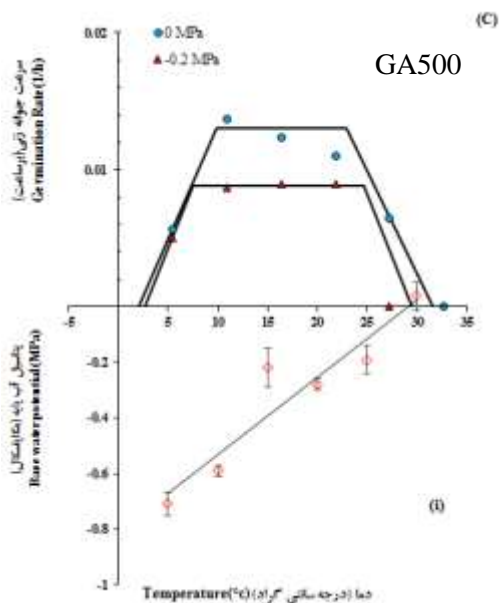
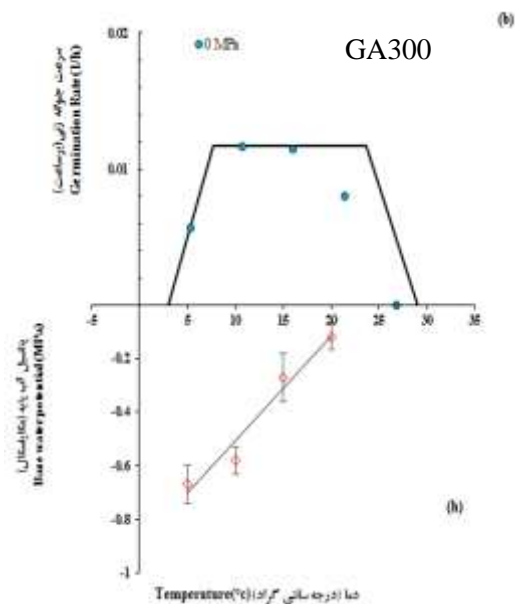
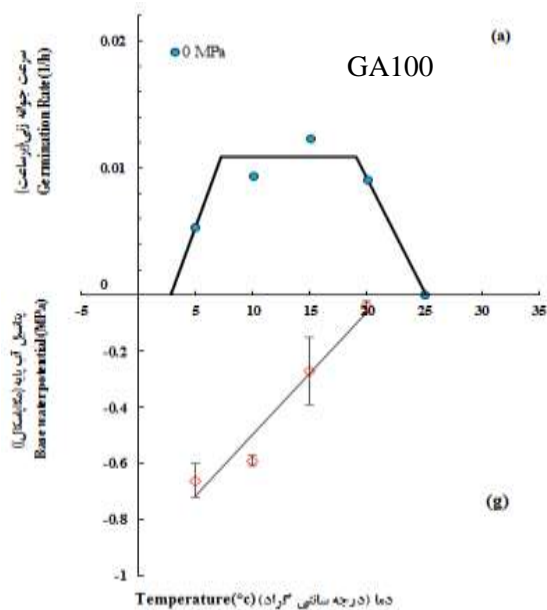
R^2	$\Psi \sigma_{b(50)}$	$\Psi_{b(50)}$	$T_{b(50)}$	Θ_{HT}	Treatment
0.59	0.66	-0.09	3.40	1173.81	Control
0.53	0.56	-0.10	2.89	1179.75	GA ₁₀₀
0.60	0.70	-0.12	2.87	867.97	GA ₃₀₀
0.50	0.59	-0.20	1.90	544.31	GA ₅₀₀
0.55	0.73	-0.22	1.41	506.58	GA ₁₀₀₀
0.65	0.51	-0.39	-0.28	444.99	GA ₁₅₀₀
0.70	0.48	-0.5	-1.22	315.57	GA ₂₀₀₀

است که زمان، سرعت و درصد جوانه زنی بذر در یک دمای ثابت توسط بزرگی اختلاف بین پتانسیل آب بذر و پتانسیل آب پایه درصد معینی از جمعیت بذری کنترل می‌شود (Watt *et al.*, 2010).

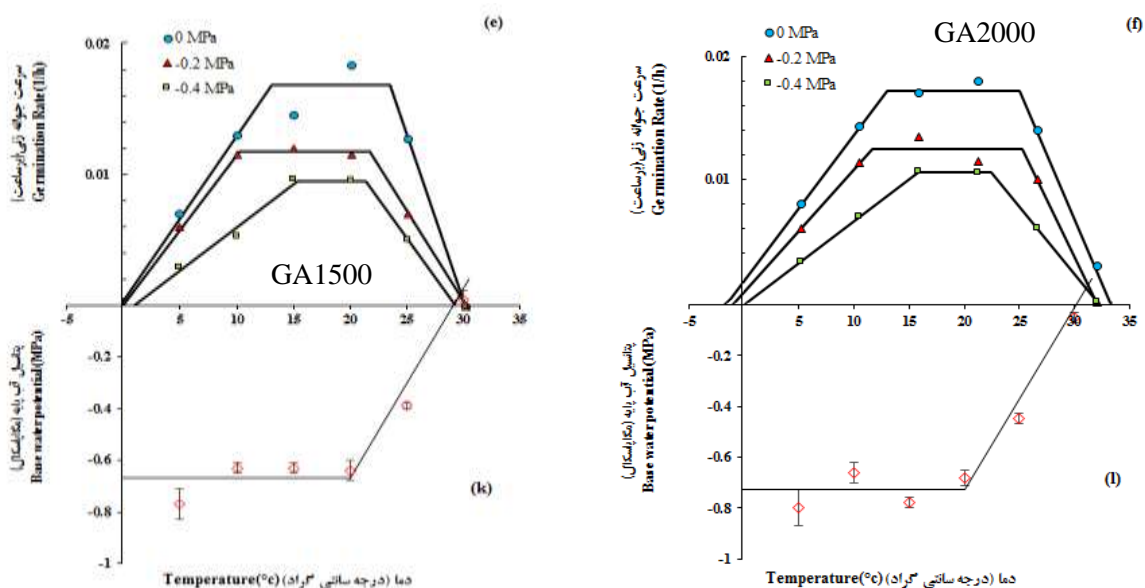
پارامترهای مدل هیدروترمال تایم شاخص‌های کمی از وضعیت فیزیولوژیکی بذری و سازگاری اکولوژیکی را ارائه می‌دهند (Allen, 2003; Bradford, 2002; Allen *et al.*, 2000; Allen and Meyer, 2000). تجزیه و تحلیل تغییرات پارامترهای مدل هیدروترمال تایم اجازه می‌دهد تا درک بهتری از اساس فیزیولوژیکی پیشرفت کمون و رفع آن داشته باشیم. از مدل هیدروترمال تایم به‌طور وسیعی برای پیش‌بینی سبز شدن در مزرعه برای محصولات مثل کاهو (*Lactuca sativa*) (Bradford, 1990)، گوجه‌فرنگی (Dahal and Bradford, 1990) و در علف‌های هرز (Grundy, 2000; Meyer *et al.*, 2000) استفاده شده است.

به‌طور کلی پارامترهای هیدروترمال تایم نسبت به شاهد تغییرات محسوسی را نشان داد. به این ترتیب که مقدار ثابت هیدروترمال تایم حدود سه برابر کاهش یافت و از ۱۱۷۳/۸۳ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد ساعت در بذره‌های شاهد به ۳۱۵/۵۷ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد ساعت در جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام رسید و از آنجا که ثابت هیدروترمال تایم رابطه عکس با سرعت جوانه زنی دارد، پس بیشترین سرعت جوانه زنی در جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد (جدول ۱). پتانسیل آب پایه نیز از ۰/۰۹- مگاپاسکال در بذره‌های شاهد به ۰/۵۰- مگاپاسکال در تیمار جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام تغییر کرد. یکنواختی جوانه زنی نیز در تیمار جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین مقدار را نسبت به سایر تیمارها داشت (جدول ۱). نتایج حاکی از بهبود سرعت و یکنواختی جوانه زنی و افزایش مقاومت به تنش خشکی با رفع تدریجی کمون با افزایش غلظت جیبرلیک اسید بود. در مدل هیدروترمال تایم فرض بر این

کاربرد مدل هیدروترمال تایم جهت تعیین دماهای ...



نشریه پژوهش علف های هرز، دوره ۱۴، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱



شکل ۴: a-f. اثر دما و پتانسیل آب بر سرعت جوانه زنی بذر خردل وحشی و دمای کاردینال آن. نقاط نشان دهنده داده های واقعی و خطوط نشان دهنده برازش مدل هیدروترمال تایم بر اساس پارامترهای ارائه شده در جدول ۲ است. g-l. تأثیر دما بر پتانسیل آب پایه برای جوانه زنی بذر خردل وحشی.

Figure 4: a-f. Effect of temperature and water potential on germination rate of wild mustard seed and its cardinal temperature. Points represent the actual data and lines indicating the fitting of the hydrothermal time model based on the parameters presented in table 2. G-L. Effect of temperature on the base water potential for germination of wild mustard seeds.

کاربرد مدل هیدروترمال تایم جهت تعیین دماهای ...

جدول ۲- برآورد ثابت هیدروتایم (Θ_H)، پتانسیل آب پایه تا ۵۰ درصد جوانه زنی ($\Psi_{b(50)}$)، انحراف استاندارد پتانسیل آب پایه ($\sigma \Psi_{b(50)}$) خردل وحشی تحت دماها و غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید.

Table 2 – Estimation of Hydrotime (Θ_H) constant, the base water potential for 50% germination ($\Psi_{b(50)}$), standard deviation of base water potential ($\sigma \Psi_{b(50)}$) of wild mustard under temperatures and different concentrations of gibberellic acid.

$\sigma \Psi_{b(50)} \pm SE$	$\Psi_{b(50)} \pm SE$	$\Theta_H \pm SE$	Temperature	GA(ppm)
0.31±0.03	-0.66±0.06	128.70±4.76	5	100
0.37±0.02	-0.59±0.02	65.74±2.60	10	
0.32±0.08	-0.27±0.12	45.15±7.26	15	
0.30±0.00	-0.04±0.02	46.11±1.06	20	
-	-	-	25	
-	-	-	30	
0.33±0.02	-0.67±0.07	115.90±2.83	5	300
0.25±0.03	-0.58±0.05	53.78±5.25	10	
0.33±0.06	-0.27±0.09	40.68±5.80	15	
0.44±0.05	-0.12±0.05	39.81±4.92	20	
-	-	-	25	
-	-	-	30	
0.20±0.01	-0.71±0.04	111.90±2.95	5	500
0.20±0.01	-0.59±0.02	47.18±2.01	10	
0.28±0.04	-0.22±0.07	39.25±5.98	15	
0.42±0.03	-0.28±0.02	35.61±3.05	20	
0.52±0.08	-0.19±0.05	49.79±6.71	25	
0.29±0.06	0.04±0.08	35.22±9.82	30	
0.21±0.02	-0.77±0.05	110.80±2.70	5	1000
0.15±0.01	-0.61±0.02	45.92±2.36	10	
0.51±0.06	-0.43±0.04	37.08±5.41	15	
0.36±0.02	-0.47±0.02	36.47±2.64	20	
0.60±0.06	-0.36±0.08	45.87±4.51	25	
0.35±0.07	0.03±0.04	33.28±7.18	30	
0.24±0.02	-0.77±0.06	108.20±3.26	5	1500
0.20±0.01	-0.63±0.02	44.27±2.49	10	
0.43±0.02	-0.63±0.02	37.07±2.16	15	
0.33±0.02	-0.64±0.04	36.10±3.04	20	
0.24±0.01	-0.39±0.01	31.48±1.53	25	
0.51±0.07	0.21±0.08	30.00±0.00	30	
0.26±0.03	-0.80±0.07	93.34±5.04	5	2000
0.20±0.01	-0.66±0.04	38.30±5.06	10	
0.43±0.02	-0.78±0.02	35.66±2.89	15	
0.41±0.02	-0.68±0.03	33.85±3.26	20	
0.20±0.01	-0.45±0.02	31.00±1.84	25	
0.27±0.02	-0.05±0.02	28.00±0.00	30	

شد. در نهایت دمای پایه، دمای بهینه تحتانی، دمای بهینه فوقانی و دمای سقف برای زمان رسیدن به پنجاه درصد

جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه زنی بذر خردل وحشی تحت پتانسیل‌های مختلف آب از مدل دندان‌مانند استفاده

جمعیت بذری (T50) با استفاده از این مدل و برای پتانسیل های آب صفر، ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال محاسبه شد (جدول ۲). با توجه به نتایج، بذره های تیمار شده با جیبرلیک اسید ۱۰۰ پی پی ام تنها قادر به جوانه زنی در پتانسیل آب صفر مگاپاسکال بودند و همچنین حداکثر دمای جوانه زنی ۲۰ درجه سانتی گراد بود. دمای مطلوب اولیه برای این تیمار ۵ درجه سانتی گراد و دمای مطلوب ثانویه ۲۰ درجه سانتی گراد بود که پتانسیل آب پایه بذر نیز با افزایش دما از ۵ درجه به ۲۰ درجه سانتی گراد یک روند افزایشی خطی داشت. در تیمار جیبرلیک اسید ۱۰۰ پی پی ام دمای ۵ درجه سانتی گراد با ثابت هیدروترمال تایم ۱۲۸/۷ مگاپاسکال درجه سانتی گراد ساعت بیشترین (کمترین سرعت جوانه زنی) و دمای ۱۵ درجه سانتی گراد با ثابت هیدروترمال تایم ۴۵/۱۵ مگاپاسکال درجه سانتی گراد ساعت کمترین مقدار (بیشترین سرعت جوانه زنی) را داشتند و همچنین پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی در دمای ۵ درجه بیشترین پتانسیل (۰/۶۶-) و در دمای ۲۰ درجه کمترین پتانسیل (۰/۰۴-) را دارا بودند. همچنین مقادیر انحراف استاندارد با افزایش دما تغییرات محسوسی را نشان نداد. همان طور که گفته شد ضریب پتانسیل آب پایه شاخصی برای نشان دادن تحمل به خشکی در مرحله جوانه زنی می باشد. هرچه مقدار این شاخص منفی تر باشد بیانگر مقاومت بیشتر به خشکی می باشد (Bradford and Still, 2004). بذره های تیمار جیبرلیک اسید ۳۰۰ پی پی ام نیز تنها در پتانسیل آب صفر مگاپاسکال قادر به جوانه زنی بودند و در دمای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی گراد جوانه زنی نداشت. در این تیمار کمترین و بیشترین ثابت هیدروترمال به ترتیب ۳۹/۸۱ در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و ۱۱۵/۹۰ در دمای ۵ درجه سانتی گراد را به خود اختصاص دادند. همچنین کمترین پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی ۰/۱۲- برای دمای ۲۰ درجه

سانتی گراد (در دامنه دمای مطلوب با استفاده از دمای کاردینال) و بیشترین پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی ۰/۶۹- برای دمای ۵ درجه بود و پتانسیل آب پایه بذر نیز با افزایش دما از ۵ درجه به ۲۰ درجه سانتی گراد یک روند افزایشی خطی داشت. بذره های تیمار جیبرلیک اسید ۵۰۰ پی پی ام در پتانسیل های صفر و ۰/۲- مگاپاسکال قادر به جوانه زنی بودند و به این ترتیب با افزایش تدریجی غلظت جیبرلیک اسید مقاومت به خشکی هم در حال افزایش بود. پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی در این تیمار با افزایش دما یک روند خطی افزایشی داشت. دامنه دمای مطلوب اولیه تا دمای مطلوب ثانویه در پتانسیل آب صفر کمتر از همین دامنه در پتانسیل ۰/۲- مگاپاسکال بود. همچنین بیشترین ثابت هیدروترمال تایم مربوط به دمای ۵ درجه سانتی گراد و کمترین مقدار این ثابت مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود و همچنین کمترین پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی در دمای ۳۰ درجه و بیشترین مقدار آن در دمای ۵ درجه سانتی گراد رخ داد. بذره های تیمار جیبرلیک اسید ۱۰۰۰ پی پی ام توانایی جوانه زنی در پتانسیل های صفر، ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال را دارا بودند به طوریکه با کاهش مقدار پتانسیل آب از سرعت جوانه زنی و دامنه دمایی جوانه زنی کاسته شد، هرچند در پتانسیل ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال سرعت جوانه زنی برابر بود، اما دامنه دمایی جوانه زنی در پتانسیل ۰/۴- مگاپاسکال محدودتر بود. پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی در این تیمار نیز با افزایش دما یک روند خطی افزایشی داشت و کمترین پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی در دمای ۵ درجه سانتی گراد و بیشترین مقدار آن در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد ثبت گردید. در تیمارهای جیبرلیک اسید ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی دارای یک روند دوتکه ای بود به طوریکه تا دمای ۲۰ درجه

شد. در تیمار جیبرلیک اسید ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام کمترین و بیشترین مقدار ثابت هیدروترمال تایم به ترتیب ۲۸ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد ساعت (در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و ۹۳/۳۴ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد ساعت (در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد) ثبت گردید (جدول ۲). همچنین این نتایج با نتایج بسیاری از محققان مطابقت داشت (Alvarado and Bradford, 2002; Bakhshandeh *et al.*, 2015; Bakhshandeh *et al.*, 2017; Atashi *et al.*, 2014; Dahal and Bradford, 1990; Rowse and Finch-Savage, 2003; Watt *et al.*, 2010). آن‌ها پس از بررسی واکنش جوانه‌زنی گیاهانی از قبیل گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، هویج، پیاز، کدو و هندوانه به تغییرات دما و پتانسیل آب پایه گزارش کردند که کمترین پتانسیل آب پایه در این گیاهان در محدوده دمای مطلوب مشاهده شد و با افزایش دما نسبت به دمای مطلوب، مقدار پتانسیل آب پایه نیز به طور خطی افزایش خواهد یافت که نشان‌دهنده تاثیر بیشتر پتانسیل آب بر فرایند جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌باشد. علاوه بر این، برخی از محققین افزایش پتانسیل آب پایه در دماهای پایین‌تر از دمای مطلوب را در گیاهان مختلف گزارش نمودند (Zhang *et al.*, 2012; Wang, 2005; Kebreab and Murdoch, 1999).

با ارزیابی زمان هیدروتایم برای کمی سازی و مدل جوانه‌زنی و کمون بذر مشاهده شد که در دمای بالای بهینه، پتانسیل آب پایه (Ψ_b) به صورت خطی با افزایش دما، افزایش یافت. سرعت جوانه‌زنی، با افزایش دما برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی کاهش موازی داشت. در دماهای زیر بهینه، پتانسیل آب پایه (Ψ_b) نسبتاً ثابت است. در بالای بهینه، پتانسیل آب پایه (Ψ_b) به صورت خطی تا قطع شدن در پتانسیل صفر مگاپاسکال یا نقطه‌ای که جوانه‌زنی برای دهک‌ها مهار می‌شود، افزایش یافت

سانتی‌گراد این پتانسیل در حدود ۰/۷- تا ۰/۶- مگاپاسکال بود و از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به بعد افزایش پیدا کرد تا جایی که در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر مقدار خود رسیدند. در تیمار جیبرلیک اسید ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام رابطه جدیدی بین تغییرات پارامترهای مدل هیدروترمال تایم و پارامترهای بدست آمده از مدل دندان-مانند برقرار شد. به این ترتیب که کمترین پتانسیل آب پایه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد که در بازه دمای مطلوب اولیه و دمای مطلوب ثانویه بود مشاهده شد. در مطالعه‌ای بر روی گیاه گاوپنبه، کمترین پتانسیل آب پایه (۰/۹۱- مگاپاسکال) را در دمای مطلوب جوانه‌زنی (۳۵/۴ درجه سانتی‌گراد) گزارش کردند (Yasari *et al.*, 2018). نتایج همچنین نشان داد که با افزایش دما از دامنه دمای مطلوب تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار پتانسیل آب پایه به طور خطی افزایش یافت، تا اینکه مقدار مقدار آن در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در تیمار جیبرلیک اسید ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام بترتیب ۰/۲۱ مگاپاسکال و ۰/۰۵- مگاپاسکال در پتانسیل آب صفر مگاپاسکال رسید که این دما (۳۰ درجه سانتی‌گراد) تقریباً معادل دمای سقف جوانه زنی است که در آن سرعت جوانه‌زنی به صفر می‌رسد. همچنین دامنه دمای مطلوب در این دو تیمار نیز با کاهش پتانسیل آب از مقدار سرعت جوانه‌زنی و دامنه دمایی مطلوب جوانه‌زنی کاسته شد که کمترین سرعت و دامنه جوانه‌زنی مطلوب را پتانسیل ۰/۴- و بیشترین سرعت و دامنه جوانه‌زنی مطلوب را در پتانسیل صفر مگاپاسکال داشتند. همچنین کمترین و بیشترین مقدار ثابت هیدروترمال تایم در تیمار جیبرلیک اسید ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب ۳۰/۰ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد ساعت (در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و ۱۰۸/۲۰ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد ساعت (در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد) مشاهده

محققان مختلف برای کمی سازی اثرات دما بر سرعت جوانه زنی و تعیین دماهای کاردینال جوانه زنی از مدل های مختلف از جمله دندانمانند، دوتکه ای و مدل بتا استفاده کردند (Torabi et al., 2016). با ارزیابی اثرات دما و پتانسیل آب بر روی بذر گلرنگ دماهای کاردینال جوانه زنی این گیاه را با استفاده از مدل دندانمانند برآورد کردند که دمای پایه، مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و سقف به ترتیب ۷/۹، ۲۱/۴، ۲۹/۰ و ۴۰ درجه سانتی گراد بود (Torabi et al., 2016). با بررسی دمای کاردینال گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentud*) دریافتند که دمای پایه، بهینه و بیشینه به ترتیب ۹/۸۴، ۳۰/۳۱ و ۴۰/۶۳ درجه سانتی گراد برآورد شد، ویژگی های جوانه زنی شامل درصد و سرعت جوانه زنی به طور معنی داری تحت تأثیر دمای جوانه زنی قرار گرفتند (Amiri-Mmonfared et al., 2017).

پی پی ام رسید. پتانسیل آب پایه نیز در تمام پتانسیل آب های مورد آزمایش با افزایش غلظت جیبرلیک اسید به ۲۰۰۰ پی پی ام منفی تر شد. یکنواختی جوانه زنی نیز در تیمار جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام بیشترین مقدار را نسبت به سایر تیمارها داشت. همچنین در هر یک از پتانسیل های آب، با افزایش فاصله از دامنه دمای مطلوب سرعت و درصد جوانه زنی کاهش یافتند که این کاهش در پتانسیل های آب منفی تر بیشتر بود. همچنین مدل هیدروترمال تایم توانست تا دماهای کاردینال را به خوبی کمی سازی کند. به گونه ای که با افزایش تدریجی غلظت تیمار جیبرلیک اسید از ۱۵۰۰ پی پی ام تا ۲۰۰۰ پی پی ام، رابطه جدیدی بین پارامترهای بدست آمده از مدل هیدروترمال تایم و دمای کاردینال جوانه زنی با استفاده از

(Bradford, 2002). به هر حال از پارامتر ثابت هیدروتایم می توان به عنوان شاخصی برای تعیین کیفیت فیزیولوژیکی و قدرت بذر در یک توده بذری استفاده نمود (Dahal and Bradford, 1990). به عنوان مثال، در یک گونه مرتعی گزارش شد که بذره های درشت تر نسبت به بذره های ریزتر به ثابت هیدروتایم کمتری برای جوانه زنی نیاز دارند به خصوص در دماهای پایین تر از دمای بهینه که نشان دهنده جوانه زنی سریع تر بذره های درشت تر در دماهای پایین می باشد (Wang, 2005).

با ارزیابی جوانه زنی بذره های گندم با سطوح مختلف قدرت بذر با استفاده از مدل هیدروترمال تایم دریافتند که برای تیمار شاهد روند تغییرات ضریب $\Psi_{b(50)}$ در مقابل زوال نسبت به تیمار پرایمینگ متفاوت بود. در تیمار شاهد با افزایش زوال تا ۱/۹۹ روز، مقدار این ضریب منفی تر (افزایش مقاومت به خشکی) شد. بعد از این مدت زوال، مقدار این ضریب افزایش یافت (Jamali et al. 2017).

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که دامنه دمایی جوانه زنی بذره های خردل وحشی در پتانسیل آب صفر مگاپاسکال محدود بود و با افزایش پتانسیل آب به ۰/۶- مگاپاسکال قادر به جوانه زنی نبودند. سپس با اعمال غلظت های مختلف جیبرلیک اسید دامنه دمایی جوانه زنی افزایش یافت. با توجه به نتایج این مطالعه، بهترین تیمار رفع کمون بذر خردل وحشی تیمار جیبرلیک اسید ۲۰۰۰ پی پی ام با بیشترین درصد و سرعت جوانه زنی مشاهده شد. در تیمار جیبرلیک اسید، مقدار ثابت هیدروترمال تایم حدود سه برابر کاهش یافت و از ۱۱۷۳/۸۳ مگاپاسکال درجه سانتی-گراد ساعت در بذره های شاهد به ۳۱۵/۵۷ مگاپاسکال درجه سانتی گراد ساعت در جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰۰

کاربرد مدل هیدروترمال تایم جهت تعیین دماهای ...

پایه برای جوانه‌زنی و تعیین زمان جوانه‌زنی و سبز شدن استفاده شده است (Soltani *et al*, 2010). سلطانی و همکاران گزارش نمودند که کاربرد این مدل‌ها در ایران کمتر مشاهده شده است و می‌توان از این مدل‌ها بیشتر در پژوهش‌های علوم بذر و به‌خصوص در واکنش جوانه‌زنی به دما و پتانسیل آب استفاده نمود (Soltani *et al*, 2010). از طرفی پارامترهای به‌دست‌آمده در این پژوهش برای مدل‌های جوانه‌زنی پیش‌بینی پویایی بانک بذر مورد-نیاز است.

مدل دندان مانند برقرار شد. نکته قابل‌توجه در این مطالعه مطابقت کمترین پتانسیل آب پایه در تیمارهای جیبرلیک اسید ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام در مدل هیدروترمال تایم با دامنه دمای مطلوب بدست آمده با استفاده از مدل دندان مانند برای این تیمارها بود (شکل ۴، e, k و f, l).

در این پژوهش پارامترهای مدل‌ها دارای مفاهیم بیولوژیکی است. با استفاده از مدل‌سازی جوانه‌زنی می‌توان اثرات زوال بذر، پرایمینگ بذر و کمون بذر را مورد مطالعه قرار داد. همچنین از این مدل‌ها برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و سبز شدن، تعیین پتانسیل

References

فهرست منابع

- Allen, P. 2003.** When and how many? Hydrothermal models and the prediction of seed germination. *New Phytologist*, 158: 1-3.
- Allen, P.S., S.E. Meyer and M.A. Khan. 2000.** Hydrothermal time as a tool in comparative germination studies. pp 401-410. In: Black, M.; Bradford, K.J.; Vazquez-Ramos, J. (Eds) *Seed biology: Advances and applications*.
- 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.
- Amiri-Monfared, V., M. Fathlahi and R. Tavakol-Afshari. 2017.** Cardinal temperatures, reaction to temperature and tolerance range of okra. *Crop Science of Iran*. 48 (1): 205-199.
- Anda, A., and L. Pinter. 1994.** Sorghum germination and development at influenced by soil temperature and water content. *Agronomy Journal*, 86: 621-624.
- Atashi, S., E. Bakhshandeh, M. Mehdipour, M. Jamali and J.A. Teixeira da Silva. 2015.** Application of a hydrothermal time seed germination model using the Weibull distribution to describe base water potential in zucchini (*Cucurbita pepo* L.). *Jornal of Plant Growth Regul*, 34: 150-157.
- Atashi, S., E. Bakhshandeh, Z. Zeinali, E. Yassari and J.A. Teixeira da Silva. 2014.** Modeling seed germination in *Melisa officinalis* L. in response to temperature and water potential. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36: 605-611.
- Bair, N.B., S.E. Meyer and P.S. Allen. 2006.** A hydrothermal after ripening time model for seed dormancy loss in *Bromus tectorum* L. *Seed Science Research*, 16: 17-28.
- Bakhshandeh, E., M. Jamali, E. Afshoon and M. Gholamhossieni. 2017.** Using hydrothermal time concept to describe sesame (*Sesamum indicum* L.) seed germination response to temperature and water potential. *Acta physiologiae plantarum*, 39(11): 250.
- Bakhshandeh, E., S. Atashi, M. Hafeznia, H. Pirdashti and J.A. Teixeira. 2015.** Hydrothermal time analysis of watermelon (*Citrullus vulgaris* cv. Crimson sweet) seed germination. *Acta Physiology Plantarum*, 37 (1): 1738.
- Balbaki, R.Z., R.A. Zurayk, M.M. Blek and S.N. Tahouk. 1999.** Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Science and Technology*, 27: 291-302.
- 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.
- Bewley, J. D., K. Bradford and H. Hilhorst. 2012.** *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer Science and Business Media, 399p.
- Bewley, J.D., K. Bradford and H. Hilhorst. 2013.** *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. 3rd edn. Springer, New York.

- Bradford, K.J. 1995.** Water relations in seed germination. In: Kigel, J., Galili, G., (Eds.), Seed Development and Germination, Marcel Dekker Inc., New York, pp 351-396.
- Bradford, K.J. 2002.** Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50: 248-260.
- Bradford, K.J. and D.W. Still. 2004.** Application of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technology*, 26: 74-85.
- 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: 1441-1453.
- Grundy, A.C. 2003.** Predicting weed emergence: a review of approaches and future Challenges. *Weed Research*, 43: 1 -11.
- Grundy, A.C., K. Phelps, R.J. Reader and S. Burston. 2000.** Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytologist*, 148: 433-444.
- Guerke, W.R., T. Gutormson, D. Meyer , M. McDonald, D. Mesa, J.C. Robinson and D. TeKrony, 2004.** Application of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technology*, 26 (1): 75-85.
- Gummerson, R.J. 1986.** The effect of constant temperature and osmotic potential on the germination of *sugar beet*. *Journal of Experimental Botany*, 37: 729-714.
- 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.
- Jamali, M., F. Ghaderi-Far, H. R. Sadeghi por, A. Soltani and S. M. Alimaghham. 2017.** Evaluation of germination of wheat seeds with different levels of seed strength using hydrotime model. *Environmental stresses*, 10 (3): 413-403.
- Kebreab, E and A.J. Murdoch. 2000.** The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanches aegyptiaca* seeds. *Seed Science Research*, 10: 127-133.
- 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.
- Meyer, S.E., S.B. Debaene-Gill and P.S. Allen. 2000.** Using hydrothermal time concepts to model seed germination response to temperature, dormancy loss, and priming effects in *Elymus elymoides*. *Seed Science Research*, 10: 213–223.
- Michel, B.E and M.R. Kaufmann. 1973.** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51: 914-916.
- Mousavi, M. R. 2003.** Weed fusion management, principles and methods, 468 pp.
- Rowse, H. R and W. E. Finch-Savage. 2003.** Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub-and supra-optimal temperatures. *New Phytologist*, 158(1): 101-108.

- Sester, M., C. Durr, H. Darmency and N. Colbach. 2007.** Modelling the effects of cropping systems on the seed bank dynamics and the emergence of weed beet. *Ecological Modelling*, 204(1-2): 47-58.
- Soltani, E., A. Soltani and M. Oveisi. 2013.** 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.
- Soltani, E., S. Galeshi, B. Kamkar and F. Akramghaderi. 2008.** Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Science and Biotechnology*, 2: 32-36.
- Torabi, B., E.V. Soltan, 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. Attarzadeh and A. Soltani. 2013.** Germination response to temperature in different safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars. *Seed Science and Technology*, 35: 47-59.
- Wang, R. 2005.** Modeling seed germination and seedling emergence in winterfat (*Krascheninnikovia lanata* (Pursh) ADJ Meeuse and Smit): Physiological mechanisms and ecological relevance. PhD thesis, University of Saskatchewan.
- Watt, M. S., V. Xu and M. Bloomberg. 2010.** Development of a hydrothermal time seed germination model which uses the Weibull distribution to describe base water potential. *Ecological Modelling*, 221(9): 1267-1272.
- Windauer, L., A. Altuna, R. Benech-Arnold. 2007.** Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crops Products*, 25: 70-74.
- Yasari, E., M. Miri, S. Atashi, M. Jamali. 2018.** Application of hydrothermal time model to determine the cardinal temperatures for seed germination in crops (A case study; velvetleaf (*Abutilon theophrasti* med.)). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7 (1): 85-94.
- Zeinali, A. And S. M. ehteshami. 2004.** Biology and control of important species of weeds. Publications of Gorgan University of Agricultural Sciences and natural resources. 412 pp.
- Zhang, H., L. Irving, Y. Tian and D. Zhou. 2012.** Influence of salinity and temperature on seed germination rate and the hydrotime model parameters for the halophyte, *Chloris virgata*, and the glycophyte, *Digitaria sanguinalis*. *South African Journal of Botany*, 78: 203-210.

Application of hydrothermal time model to determine the cardinal temperatures for seed germination in wild mustard (*Sinapis arvensis*) during dormancy elimination

H. Rahimi¹, B. Torabi², E. Soltani³, F. Ghaderi-far⁴

Received date: 15 Murch 2019

Accepted date: 12 August 2022

Abstract

In order to investigate the variation in germination rate, cardinal temperature and hydrothermal time parameters of wild mustard seed in different water potentials were designed and implemented during the study in gorgan university of agricultural sciences and natural resources, in 2017 as a split plot done in a completely randomized design with three replications of the municipality. In this research, germination modeling was performed well .To describe the germination rate response to temperature in different potentials of water 0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 MPa were used from the dent-like function. By applying different concentrations of gibberellic acid (100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm), the process of germination changes in the studied temperatures was incremental, so that the highest germination percentage was related to gibberellic acid 2000 ppm. By reducing the potential at each level of gibberellic acid, the base temperature increased and the lower and upper optimum temperature and the ceiling temperature decreased. The hydrotime coefficient in control seeds decreased significantly with increasing temperature and the water potential was increased. The hydrotime coefficient and base water potential increased with decreasing gibberellic acid. The results showed that the coefficients obtained by the hydrothermal time model were of relatively high precision and the constant value of hydrothermal time, base water potential and base temperature in control seeds were 1173.83 MPa °C h⁻¹, -0.09 MPa and 3.07 °C and for gibberellic acid with concentration of 2000 ppm were 315.57 MPa °C h⁻¹, -0.50 MPa and -1.22 °C, respectively. Changes in the base water potential for 50% of germination in gibberellic acid 1500 and 2000 ppm treatments had a two segmented trend up to 20 °C so that it -0.7 to -0.6 MPa and increased above 20 °C the maximum value at 30 °C.

Keywords: Dent-like, Cardinal temperature, Weed, Modeling.

1 - Msc t in Seed Science and Technolgy, 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.

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

* Corresponding Author: ben_torabi@yahoo.com