مجله پژوهش علف‌های هرز
جلد ۱۰، شماره ۱، ۱۳۹۷
صفحات ۷۴-۶۱

تأثیر روش‌های مختلف محاسبه سرعت جوانه‌زنی در ارزیابی قابلیت جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی (*Cyperus rotundus* L.) و برآورد آستانه‌های دمایی

The Effect of Different Methods of Calculation of Germination Rate in Evaluation of Sprouting potential of Purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) tuber and Estimation of Thermal Thresholds

سجاد میجانی[۱]، مهدی راستگو[۱*]، علی قنبری[۱]، مهدی نصیری محلاتی[۱] و خوزه لوییس گونزالز اندوخار[۲]

چکیده

اویارسلام ارغوانی، به‌واسطه رشد و تکثیر سریع از غده‌های زیرزمینی یکی از سمج‌ترین علف‌های هرز در محیط‌های زراعی می‌باشد. کسب اطلاعات در مورد شرایط محیطی که رویش اندام‌های رویشی را تنظیم می‌کنند، در پیش‌بینی زمان ظهور علف‌های هرز چندساله مؤثر می‌باشند. به‌منظور مقایسه قابلیت جوانه‌زنی و تعیین آستانه‌های دمایی (یا دماهای اصلی) جوانه‌زنی غده‌ها، چندین روش سرعت جوانه‌زنی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های عکس متوسط زمان جوانه‌زنی و عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، روش مناسبی برای برآورد دماهای اصلی جوانه‌زنی و همچنین ارزیابی قابلیت جوانه‌زنی غده‌ها تحت تأثیر دماهای مختلف نمی‌باشند. بر اساس دو شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) و سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$)، به ترتیب دو دمای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بهترین دماها بودند. از طرف دیگر، بر اساس روند شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) بهترین دما، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در میان معیارهای مختلف جوانه-زنی، شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی، به خاطر لحاظ کردن مقدار گرمای مورد استفاده، ارزیابی دقیق‌تری برای بررسی پتانسیل جوانه‌زنی در میان دماهای مختلف می‌باشد. برای بررسی روند درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$)، شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) مدل دندانه‌ای برازش بهتری نشان داد (۰/۸۳ تا ۰/۹۹)، ولی برای بررسی روند شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$)، مدل خطوط متقاطع، مدل برتر (۰/۷۶) بود. به‌طورکلی، دامنه دمایی کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی به ترتیب بین ۷/۱۵ تا ۹/۲۰، ۲۸/۰۵ تا ۳۲/۶۲ و ۰/۴۳ ٤ تا ۴۲/۹۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

کلمات کلیدی: دمای بهینه، دمای کمینه، شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده، شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی، زمان حرارتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۶

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲-موسسه تحقیقات کشاورزی- کوردوبا اسپانیا

*نویسنده مسئول: E- mail: M.rastgoo@um.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

علف‌های هرز چندساله، به‌طورکلی مهم‌ترین و مشکل‌سازترین علف‌های هرز و یکی از تنش‌های غیر زیستی کاهش‌دهنده تولیدات کشاورزی می‌باشند. مهم‌ترین عامل دخیل در سختی کنترل، اندام-های رویشی و تکثیر شونده زیرزمینی آن‌ها می‌باشد. علف‌های هرز چندساله هر فصل را با ذخایر کربوهیدراتی ذخیره‌شده آغاز می‌کنند که یک مزیت رقابتی بر علیه گیاهان زراعی می‌باشد (Holt and Orcutt, 1996). غده‌ها ابزار اصلی تکثیر و پراکنش اویارسلام ارغوانی (*Cyperus rotundus* L.) (Wills, and Briscoe, 1970) و اویارسلام زرد (*Cyperus esculentus* L.) می‌باشند (Bendixen, 1973). نیمه‌عمر غده‌های اویارسلام ارغوانی و زرد در اعماق خاک به ترتیب ۱۶ و ۴ تا ۶ ماه گزارش شده است (Neeser *et al*., 1997). نتایج نشان داده است که اویارسلام زرد قابلیت تولید بذر زنده دارد که در دمای ۳۸/۳۲ درجه سانتی‌گراد در شرایط نور و تاریکی به ترتیب ۸۲-۷۷ و ۳۰-۲۳ درصد جوانه‌زنی نشان دادند، اما در مقایسه، اویارسلام ارغوانی بذر خیلی کمی تولید و جوانه‌زنی هم مشاهده نشده است (Thullen and Keeley, 1979). اویارسلام ارغوانی دارای مسیر فتوسنتزی چهار کربنه می‌باشد که آن را قادر می‌سازد تا در آب‌وهوای گرم و سطح بالای نور رشد و گسترش سریع داشته باشد. علی‌رغم تحمل بالا به گرما در شرایط مزرعه‌ای، غده‌ها ۲۴ درصد رطوبت خود در مقابل نور خورشید (Holm *et al*., 1991) و یا در معرض ۱۲۲ درجه فارنهایت (۵۰ درجه سانتی‌گراد) در مدت‌زمان ۱۲ ساعت (Webster, 2003) زنده‌مانی خود را از دست می‌دهند.

اطلاعات در مورد شرایط محیطی که جوانه‌زنی[1] اندام‌های رویشی را تنظیم می‌کنند در پیش‌بینی زمان ظهور علف‌های هرز چندساله کمک خواهند کرد و می‌توانند راهبردهای کنترلی علف‌های هرز در گیاهان زراعی را بهبود ببخشند (Holt and Orcutt, 1996). کارایی روش‌های مدیریت علف‌های هرز به‌شدت به زمان دقیق کاربرد آن‌ها بر اساس پویایی ظهور گیاهچه بستگی دارد (Masin *et al*., 2011). هنگامی‌که رطوبت بهینه خاک فراهم باشد، مانند کشاورزی فاریاب، زمان ظهور علف‌های هرز چندساله از اندام‌های زیرزمینی به دمای خاک بستگی دارد (Kigel and Koller, 1985). دما یکی از عوامل محیطی می‌باشد که هم نقش در محرّک (دمای کمینه تا بهینه) و هم در نقش بازدارنده (دمای بیشینه یا به‌نوعی همان تنش گرمایی)، جوانه‌زنی علف‌های هرز را متأثر می‌سازد. ازاین‌رو درک صحیح از رفتار جوانه‌زنی علف‌های هرز در پاسخ به دما، نقش به سزایی در اتخاذ روش‌هایی کارآمد برای مدیریت پایدار آن‌ها در محیط‌های زراعی دارد. دراین‌ارتباط، دمای کمینه[2]، دمای بهینه[3] و دمای بیشینه[4] سه دمای اصلی[5] یا آستانه‌های دمایی هستند که فرآیند جوانه‌زنی نسبت به آن‌ها واکنش نشان می‌دهد. دماهای کمینه (دمای پایه) و بیشینه (دمای سقف)، دماهایی هستند که به ترتیب پایین‌تر و بالاتر از آن‌ها جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد، درحالی‌که دمای بهینه دمایی است که حداکثر سرعت جوانه‌زنی در آن اتفاق می‌افتد (Alvarado and Bradford, 2002). برای تعیین دماهای اصلی جوانه‌زنی، مدل‌هایی دندانه‌ای، خطوط متقاطع و بتا بیشترین کاربرد را دارند (Soltani *et al*., 2002). هر کدام مزیت خود را دارد اما برتری مدل دندانه‌ای، تعیین دامنه دمای برای دمای بهینه می‌باشد. درصورتی‌که سایر مدل‌ها یک دما رو به‌عنوان دمای بهینه برآورد می‌کنند. برای بیان واکنش جوانه‌زنی بذر و غده گیاهان به دما و به دست آوردن دماهای کاردینال، معمولاً سرعت جوانه‌زنی را در مقابل دما قرار می‌دهند. از طرفی، جهت محاسبه سرعت جوانه‌زنی از روش‌های مختلف استفاده می‌شود اما آنچه بیشتر استفاده شده و رایج است استفاده از عکس زمان رسیدن تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($\frac{1}{D50}$) می‌باشد (Bradford, 2002). در مقایسه چند روش در تعیین دمای کمینه، برازش رگرسیون خطی بر عکس‌العمل عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در مقابل دما، قوی‌ترین روش معرفی شد (Steinmaus et al., 2000).

معادله‌های سرعت جوانه‌زنی عمدتاً بر اساس زمان سنجیده می-شوند که این امر مستعد برداشت اشتباه در تفسیر نتایج می‌شود (Grundy *et al*., 2000; Kader, 2005; Soltani *et al*.

1- Sprouting

2- Base or Minimum Temperature(Tb)
3- Optimum Temperature(To)
4- Ceiling or Maximum Temperature(Tc or Tm)
5- Cardinal Temperature

www.SID.ir

Archive of SID

2015). بر این اساس، عدم ارتباط بین زمان جوانه‌زنی و یکنواختی آن (Kader, 2005) و یا بیش برآورد در زمان صرف شده برای متوسط زمان جوانه‌زنی (Soltani *et al.*, 2015) گزارش شده است. ثابت شده است که تلفیق زمان با دما (زمان حرارتی[1]) برای پیش‌بینی نمو گیاهان بهتر از زمان عمل می‌کند (Trudgill *et al.*, 2005; Lonati *et al.*, 2009). همچنین بررسی Wilen *et al.* (1996) نشان داده است که مدل‌های زمان حرارتی، پیش‌بینی دقیقی از جوانه‌زنی غده اویارسلام زرد داشته است. ازاین‌رو، به دلیل ضعف روش‌های سرعت جوانه‌زنی بر اساس زمان، یک روش بر پایه زمان حرارتی نیاز است که تا تفسیر درستی از جوانه‌زنی در دماهای مختلف ارائه شود. به خاطر اینکه در دماهای مختلف، گیاهان زمان حرارتی‌های مختلفی را کسب می‌کند. بر این اساس، در این آزمایش روش شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) (Wang, 2005) با سایر روش‌های معمول مورد مقایسه قرار گرفته شده است. علی‌رغم اینکه این روش یک روش بسیار مناسب برای بررسی قابلیت جوانه‌زنی در دماهای مختلف می‌باشد، به‌هیچ‌عنوان مورد استفاده و مقایسه با سایر روش‌های سرعت جوانه‌زنی قرار نگرفته است. از طرف دیگر، همان‌طور بیان شد تعیین دماهای اصلی و نقش مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی جوانه‌زنی و رویش علف‌های هرز چندساله اهمیت بسزایی دارند. تاکنون اطلاعاتی در این زمینه در مورد اکوتیپ اویارسلام ارغوانی داخل کشور موجود نمی‌باشد. ازاین‌رو، در این مطالعه، چندین روش برای تعیین سرعت جوانه‌زنی استفاده شده و جهت برآورد دماهای اصلی جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. همچنین، دلایل ضعف و قوّت هر روش مورد بحث قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و مشخصات غده

غده‌های اویارسلام ارغوانی از مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد از عمق ۰ تا ۷۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شدند. دو هفته قبل از آزمایش؛ غده‌ها از هرگونه خاک پاک و با آب شیر شسته شدند و ریشه و ریزوم متصل به غده‌ها جدا و در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. نگه‌داری کوتاه‌مدت ۴ روز تا ۲ هفته غده‌های اویارسلام ارغوانی در دمای ۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد باعث شکسته شدن خواب آن‌ها شده است (Dor and Hershenhorn, 2013; Tumbleson, and Kommedahl, 1962). رنگ غده‌ها قهوه‌ای تیره و متوسط وزن آن‌ها (۰٫۱۷ ±۰٫۸۳) بود.

شرایط انجام آزمایش

تأثیر دما بر جوانه‌زنی غده‌های اویارسلام ارغوانی، در آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور در هر تکرار، ۱۵ غده داخل پتری دیش ۲۰ سانتی‌متری روی یک کاغذ صافی قرار داده و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر آب اضافه شد. این آزمایش به‌طور جداگانه برای دماهای ثابت ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و در تاریکی مطلق انجام شد. شمارش جوانه‌زنی غده‌ها هر روز انجام شد و ملاک جوانه‌زنی، رویش نیم میلی‌متر جوانه روی غده بود. معمولاً چندین جوانه روی هر غده فعال می‌شوند که در اینجا اولین جوانه فعال‌شده روی هر غده مد نظر بود. مدت‌زمان انجام آزمایش ۳۰ روز بود. در صورت وجود غده مرده در بین غده‌ها (بر اساس تجربه، غده‌های مرده آلوده به قارچ هستند)، از محاسبات حذف و جوانه‌زنی نهایی بر اساس تعداد غده زنده محاسبه شد.

محاسبه شاخص‌های جوانه‌زنی به شرح زیر می‌باشد:

۱- درصد جوانه‌زنی نهایی[2]

$$SP = (\frac{g}{N})*100$$

g، تعداد غده جوانه‌زده و N، تعداد کل غده در هر پتری دیش

۲- شاخص سرعت جوانه‌زنی[3] (غده در روز$^{-1}$) (Steinmaus *et al.*, 2000):

$$GRI = \sum_{i=1}^{n} \frac{gi}{Di}$$

در این معادله gi تعداد غده جوانه‌زده در هر روز و Di تعداد روز شمارش تا روز n می‌باشد.

۳- شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) (Steinmaus *et al.*, 2000): به دلیل اینکه در این شاخص، جوانه‌زنی نهایی یا همان نسبت جوانه‌زنی $\left(\frac{Gtotal}{N}\right)$ در سرعت جوانه‌زنی ضرب می-

1-Thermal time

2- Sprouting Percentage

3- Germination Rate Index

www.SID.ir

Archive of SID

شود، به‌نوعی به معادله، وزن داده شده است. ازاین‌رو، ما در اینجا از آن به‌عنوان سرعت وزنی جوانه‌زنی یا سرعت جوانه‌زنی موزون[1] شده نام می‌بریم.

$$GRI = \left(\frac{Gtotal}{N}\right) * \sum_{i=1}^{n} \frac{gi}{Di}$$

G_{total}، تعداد کل غده‌های جوانه‌زده و N تعداد کل غده‌ها در هر پتری دیش

۴- شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی[2] (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) (Wang, 2005):

$$TGRI = \left(\frac{Gtotal}{N}\right) * \sum_{i=1}^{n} \frac{gi}{\theta T(g)}$$

θ T(g): همان زمان گرمایی در هر دما می‌باشد و از این طریق $\theta T(g) = (T-Tb)\ t(g)$ به دست می‌آید. T، دما Tb، دمای پایه جوانه‌زنی و t(g)، زمان جوانه‌زنی می‌باشد. برای محاسبه زمان گرمایی از میانگین دمای پایه محاسبه‌شده از دو شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (۷٫۰۳ درجه سانتی‌گراد) استفاده شد.

۵- عکس زمان رسیدن تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی کل ($\frac{1}{D50}$): منحنی پیشرفت جوانه‌زنی در مقابل زمان (روز) ترسیم و زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی کل (D_{50}) از طریق برازش رگرسیون ۳ پارامتره برآورد شد (Mutti *et al.*,2019).

$$y = \frac{a}{1 + \exp(-(\frac{X - X0}{b})}$$

در این معادله، Y: درصد جوانه‌زنی در زمان مورد نظر، a: حداکثر درصد جوانه‌زنی، x: زمان بر حسب روز و Xo: زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و b: ضریب ثابت معادله می‌باشند.

۶- عکس متوسط زمان جوانه‌زنی ($\frac{1}{MGT}$): ابتدا متوسط زمان جوانه‌زنی[3] (Matthews and Khajeh-Hosseini 2006) و سپس عکس آن محاسبه شد.

$$MGT = \frac{\sum_{i=1}^{n} gi * Di}{Gtotal}$$

برازش مدل‌های اصلی جوانه‌زنی

برای تعیین دماهای اصلی از دو مدل خطوط متقاطع[4] و داندانه‌ای[5] استفاده شد (Soltani *et al.*, 2000).

معادله (۷):

$$f(T) = (T - Tb) / (To - Tb) \quad \text{if } Tb < T \leq To$$
$$f(T) = (Tc - T) / (Tc - To) \quad \text{if } To < T < Tc$$
$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq Tb \text{ or } T \geq Tc$$

معادله (۸):

$$f(T) = ((T-Tb)/(To1-Tb)) \quad \text{if } Tb < T \leq To1$$
$$f(T) = ((Tc-T)/(Tc-To2)) \quad \text{if } To2 < T \leq T$$
$$f(T) = 1 \quad \text{if } To1 < T \leq To2$$
$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq Tb \text{ or } T \geq Tc$$

در هر دو مدل، f (T) سرعت جوانه‌زنی، Tb، To و Tc به ترتیب دمای کمینه، بهینه و بیشینه می‌باشند. To1 و To2 به ترتیب دمای بهینه اول و دمای بهینه دوم در مدل داندانه مانند هستند.

قابل ذکر است، ۲ هفته بعد از آزمایش اول، آزمایش دوم نیز به‌طور مشابه با ۳ تکرار انجام شد و در نهایت داده‌های دو آزمایش ادغام و آنالیزها با ۶ تکرار و برازش مدل‌ها بر روی میانگین داده‌ها انجام شد. تجزیه واریانس آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین با آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین برازش مدل‌ها با نرم‌افزار Sigma plot 12.5 انجام شد. مقایسه مدل‌ها بر اساس سنجه‌های $R^2_{adjusted}$ و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE= Root mean square root) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد که دما بر مؤلّفه‌های جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی به‌طور معنی‌داری مؤثر می‌باشد (جدول ۱). با افزایش دما از ۱۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی (۴۷٫۱۳ درصد) آغاز می‌شود و در دامنه دمایی ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد به بالاترین مقدار (۹۲٫۱۳ تا ۹۴٫۳۵ درصد) می‌رسد و بعد از آن در دمای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد، جوانه‌زنی به ترتیب به ۷۱٫۰۴ و ۲۵٫۵۳ درصد کاهش می‌یابد (جدول ۱). قابل ذکر است که درصد جوانه‌زنی در دامنه دمایی ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری ندارد.

1- Weighted Germination Rate Index
2- Thermal Germination Rate Index
3- Mean Germination Time
4- Intersected-lines
5- Dent-liked

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. تأثیر دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی. درصد جوانه‌زنی (٪)، شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$)، شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$)، شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$)، عکس متوسط زمان جوانه‌زنی ($\frac{1}{روز}$) و عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($\frac{1}{روز}$)

Table1. Impact of temperature on sprouting indices of purple nutsedge tubers. Sprouting percent (SP), Germination rate Index (GRI), Weighted Germination rate index (WGRI), Thermal germination rate index (TGRI), the inverse of time to reach 50% germination ($\frac{1}{D50}$), the inverse of mean germination time ($\frac{1}{MGT}$)

دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)	درصد جوانه‌زنی (٪) SP (%)	شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) GRI (tuber day^{-1})	شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$) WGRI (tuber day^{-1})	شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) TGRI (tuber °C^{-1} day^{-1})	عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی ($\frac{1}{روز}$) $\frac{1}{D50}$ (day^{-1})	عکس متوسط زمان جوانه‌زنی ($\frac{1}{روز}$) $\frac{1}{MGT}$ (day^{-1})
10	47.13(4.11)^{c}	0.48(0.38)^{e}	0.22(0.15)^{d}	0.007 (0.002)^{e}	0.039 (0.004)^{e}	0.037 (0.003)^{e}
15	92.13(2.05)^{a}	0.96 (0.027)^{d}	0.79(0.05)^{c}	0.013 (0.008)^{d}	0.06 (0.002)^{d}	0.058 (0.001)^{d}
20	91.02(2.22)^{a}	1.21 (0.034)^{c}	1.10(0.32)^{c}	0.015 (0.008)^{cd}	0.085 (0.005)^{c}	0.080 (0.004)^{c}
25	93.24(2.43)^{a}	2.54 (0.032)^{a}	2.37(0.55)^{a}	0.044 (0.04)^{a}	0.176 (0.003)^{b}	0.162 (0.004)^{b}
30	94.35(3.18)^{a}	2.69 (0.126)^{a}	2.55(0.52)^{a}	0.039 (0.003)^{b}	0.191 (0.006)^{a}	0.168 (0.010)^{b}
35	71.04(3.71)^{b}	2.08 (0.113)^{b}	1.49(0.42)^{b}	0.019 (0.002)^{c}	0.194 (0.008)^{a}	0.173 (0.007)^{ab}
40	25.53(2.05)^{d}	0.76 (0.062)^{d}	0.19(0.23)^{d}	0.002 (0.0003)^{f}	0.199 (0.0005)^{a}	0.184 (0.009)^{a}
CV (%)		8.43	11.13	18.80	19.44	7.75	8.83
ضریب تغییرات						

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند با اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشند.

The means within the column followed by different letters differ significantly at p≤0.05 level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز-۱) نیز تحت تأثیر دما قرار گرفت (جدول ۱). به این صورت که در دو دمای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد (به ترتیب ۲/۵۴ و ۲/۶۹) بالاترین مقدار بود و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بعد از این دو دما، دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۲/۰۸) و اختلاف معنی‌داری با سایر دماها دارد. کمترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۴۸) در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. سرعت جوانه‌زنی بین ۴۰ درجه سانتی‌گراد (۰/۷۶) و ۲۰ درجه سانتی‌گراد (۱/۲۱) تفاوت معنی-داری نشان نداد. دو تفاوت اساسی در مقایسه دو شاخص درصد و سرعت جوانه‌زنی (غده در روز-۱) مشاهده می‌شود. از یک طرف، دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین سرعت جوانه‌زنی (غده در روز-۱) و اختلاف معنی‌داری نسبت به دیگر دماها دارند و از طرف دیگر، کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی متعلق به دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

سرعت جوانه‌زنی (غده در روز-۱)، معیاری از مجموع میزان بذر یا غده جوانه‌زده در هر روز می‌باشد؛ و هرچه بذر یا غده، زودتر جوانه بزند این معیار افزایش نشان می‌دهد. با افزایش دما، غده‌ها زودتر جوانه می‌زنند و به‌تبع سرعت جوانه‌زنی افزایش نشان می‌دهد. باید عنوان شود که سرعت جوانه‌زنی (غده در روز-۱) در واقع مجموعی از نرخ جوانه‌زنی در هر روز (یا سرعت روزانه) می-باشد. چون در این معادله، تعداد غده یا بذر جوانه‌زده در هر روز بر همان روز تقسیم می‌شود و در نهایت مجموع آن‌ها به‌عنوان شاخصی از سرعت جوانه‌زنی ارائه شده است. بیان کردن سرعت جوانه‌زنی اشتباه می‌باشد چون سرعت جوانه‌زنی واقعی به بخش

www.SID.ir

Archive of SID

کردن تعداد جوانه‌زنی نهایی بر آخرین روز جوانه‌زنی مفهوم پیدا می‌کند. بهترین عنوان، مجموع نرخ جوانه‌زنی (سرعت جوانه‌زنی روزانه یا همان نرخ) می‌باشد. ازآنجایی‌که سرعت جوانه‌زنی به‌عنوان شاخص بسیار مهمی در مطالعات جوانه‌زنی ترجمه و استفاده شده است برای سهولت در اینجا هم ما از عنوان سرعت جوانه‌زنی استفاده می‌کنیم. واحد سرعت جوانه‌زنی هم غده (بذر) بر روز یا غده (بذر) در روز$^{-1}$ می‌باشد.

شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$)، روند کاملاً مشابهی همانند سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) نشان می‌دهد (جدول ۱). به این صورت که با افزایش دما تا ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب با ۲٫۳۷ و ۲٫۵۵ به حداکثر و سپس کاهش می‌یابد. اختلاف معنی‌دار بین این دو دما مشاهده نشد. بعد از این دو دما، دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین مقدار (۱٫۴۹) و اختلاف معنی‌داری با سایر دماها نشان داد. کمترین مقدار شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (۰٫۱۹) و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (۰٫۲۲) مشاهده شد. هرچند که بین این دو اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. مقایسه این معیار با سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) نشان می‌دهد که سرعت جوانه‌زنی دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد با اختلاف بیشتری (یا کاهش تقریباً یک و نیم برابری) نسبت به دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد در رتبه دوم قرار دارد. به‌عبارت‌دیگر، بعد از دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$) با شیب بیشتری کاهش نشان می‌دهد. از طرف دیگر همان‌طور مشاهده شد، دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد برتری نسبت به دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد ندارد (اختلاف غیر معنی‌دار است). همان‌طور ذکر شد، سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$)، معیاری از مجموع میزان بذر یا غده جوانه‌زده در هر روز می‌باشد و جوانه‌زنی زودتر این معیار را افزایش می‌دهد. درحالی‌که شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شدن (غده در روز$^{-1}$) علاوه بر دارا بودن فوق، نسبت جوانه‌زنی (تعداد غده‌های جوانه‌زده به کل غده‌ها) را لحاظ می‌کند. تفسیر نتایج حاکی از آن است که در دماهای پایین مانند ۱۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دماهای بالا مانند ۴۰ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی بیشتر، اما سرعت جوانه‌زنی کمتر می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، این علف هرز در دماهای بالا، با وجود تعداد گیاه کم، با راهبرد جوانه‌زنی سریع و در نتیجه برتری در کسب منابع محیطی به رقابت با گیاه زراعی می‌پردازد (Mesgaran *et al*.,2014).

اما بررسی روند شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) نشان می‌دهد که با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت جوانه‌زنی افزایش و سپس کاهش می‌یابد (جدول ۱). دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین مقدار (۰٫۰۴۴) و اختلاف معنی‌داری با سایر دماها نشان داد. بعد از آن، دمای ۳۰ و درجه سانتی‌گراد با ۰٫۰۳۹ بیشترین مقدار و اختلاف معنی‌داری با سایر دماها دارد. همچنین بین دو دمای ۳۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب اختلاف معنی‌دار نبود. کمترین مقدار را دمای ۴۰ (۰٫۰۰۲) و اختلاف معنی‌داری با بقیه نشان داد. در مقایسه شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) نسبت به شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$)، نه تنها اختلاف معنی‌داری بین دمای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد وجود دارد بلکه بین ۴۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد هم اختلاف وجود دارد و کمترین مقدار را دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد شامل شده است. شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی علاوه بر دارا بودن سرعت جوانه‌زنی و مقدار جوانه‌زنی پایانی، میزان درجه حرارت استفاده شده توسط غده یا بذر را در هر دما نیز لحاظ می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، دو شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) و سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$) را شامل می‌شود.

بالاتر بودن شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی به‌منزله جوانه‌زنی بالاتر در مقدار زمان گرمایی مشابه است (Wang, 2005). از طرفی با توجه به یکسان بودن میزان جوانه‌زنی در دامنه دمایی ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد (۹۲٫۱۳ تا ۹۴٫۳۵ درصد)، بالا بودن این شاخص در دمای ۲۵، به‌منزله جوانه‌زنی یکسان در زمان گرمایی کمتری می‌باشد؛ که این امر یک مزیت در جوانه‌زنی می‌باشد که با مقدار زمان گرمایی کمتر بتوان جوانه‌زنی حداکثری را شامل شد. در واقع، دمای بهینه جوانه‌زنی بر اساس این شاخص دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. طبق این شاخص، دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با توجه به میزان بالای حرارت مورد استفاده، باید جوانه‌زنی بیشتری نشان می‌داد که این امر اتفاق نمی‌افتد. البته باید در نظر داشت که در

www.SID.ir

Archive of SID

دماهای بالاتر از بهینه و به‌خصوص دمای نزدیک به دمای بیشینه جوانه‌زنی، تأثیر منفی بر جوانه‌زنی (کاهش درصد و سرعت) مشاهده می‌شود (Huo *et al.*, 2013)؛ که این امر می‌تواند دلیل کاهش سرعت جوانه‌زنی و به‌تبع کاهش شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالا باشد.

با افزایش دما از ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، عکس متوسط زمان جوانه‌زنی ($\frac{1}{MGT}$) و عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($\frac{1}{D50}$) به‌صورت خطی روند افزایشی نشان می‌دهد (جدول ۱). به‌عبارت‌دیگر، با افزایش دما، جوانه‌زنی در هر دما زودتر به متوسط خود می‌رسد؛ که نشان از بالا بودن سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. قابل ذکر است که بین دمای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد؛ اما در مورد شاخص $\frac{1}{D50}$، بالاترین مقدار در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (۰/۱۹۹) می‌باشد اما اختلاف معنی‌داری با دماهای ۳۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد ندارد. باید عنوان شود که زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D_{50}) و متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT) یک مفهوم دارند و بیانگر زمان رسیدن به متوسط جوانه‌زنی (روز یا ساعت) می‌باشند. متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT) از طریق معادله ۶ محاسبه می‌شود، اما زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D_{50}) از طریق برازش معادله سیگموییدی ۳ پارامتره محاسبه می‌شود. مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده حاکی از آن است که مقادیر ($\frac{1}{MGT}$) نسبت به ($\frac{1}{D50}$) کمتر برآورد شده‌اند. یا به‌عبارت‌دیگر، مقادیر متوسط زمان جوانه‌زنی بیشتر برآورد شده‌اند. معتقدند که متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT) شاخص مناسبی برای مقایسه در آزمون‌های جوانه‌زنی نمی باشد (Soltani *et al.*, 2015). آن‌ها بیان داشتند که در مقایسه با زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D_{50})، این شاخص مقادیر بزرگ‌تری از متوسط کل جوانه‌زنی ارائه می‌دهد و حتی در آزمون مقایسه میانگین هم منجر به اشتباه در تفسیر نتایج می‌شود؛ که در راستا با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. از طرف دیگر، عنوان شده است که بین یکنواختی جوانه‌زنی و زمان هیچ ارتباطی وجود ندارد (Kader, 2005). روند ($\frac{1}{MGT}$) و ($\frac{1}{D50}$) معمولاً مانند عکس حرف u انگلیسی می باشد. هرچند در این آزمایش همچنین روندی مشاهده نمی‌شود و به‌صورت خطی می‌باشند. در مطالعات جوانه‌زنی، عکس متوسط زمان جوانه‌زنی به‌عنوان شاخصی از سرعت جوانه‌زنی در نظر گرفته می‌شود که در برآورد دماهای اصلی جوانه‌زنی کاربرد دارد. ازآنجایی‌که این روند بایستی به‌صورت منحنی (عکس حرف u انگلیسی) باشد تا بتوان مدل‌های مربوطه را برازش داد، نبود این روند مانع به‌کارگیری آن‌ها می‌شود. از طرف دیگر، بررسی قابلیت جوانه‌زنی بر اساس معیار متوسط زمان جوانه‌زنی، نشان می‌دهد که دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با کمترین مقدار، بیشترین سرعت جوانه‌زنی را دارا می‌باشد؛ اما همان‌طور قبلاً مشاهده شد جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، ضعیف‌ترین قابلیت جوانه‌زنی را از لحاظ درصد و سرعت جوانه‌زنی دارد. پس این معیار، شاخص مناسبی جهت بررسی قابلیت جوانه‌زنی غده اویارسلام نمی‌باشد. ازاین‌رو، شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی، بهترین تفسیر را برای مقایسه قابلیت جوانه‌زنی در دماهای مختلف ارائه می‌دهد. به خاطر اینکه در دماهای مختلف، زمان حرارتی‌های متفاوتی وجود دارد و مقایسه جوانه‌زنی بر اساس زمان حرارتی، تفسیر دقیق‌تری از جوانه‌زنی نسبت به لحاظ کردن فقط زمان ارائه می‌دهد. به‌طورکلی، محقق بایستی بر اساس هدف خود هر یک از شاخص‌های جوانه‌زنی را مورد توجه قرار دهد.

برازش مدل‌های اصلی جوانه‌زنی بر اساس درصد جوانه‌زنی نشان می‌دهد که مدل دندانه‌ای، برازش مناسبی (RMSE=0.0024, R^2adjusted=0.99) برای توصیف این مؤلّفه در مقابل دما دارد (شکل ۱). بر اساس این مدل، دمای کمینه، بهینه اول، بهینه دوم و دمای بیشینه به ترتیب ۷/۱۵، ۱۲/۷۵، ۳۲/۶۲ و ۴۲/۸۰ درجه سانتی‌گراد تعین شده است (جدول ۲). در واقع این مدل، دو دمای بهینه یا به‌عبارت‌دیگر به‌جای تعیین یک دمای مطلوب، دامنه دمایی مطلوب (۱۹/۵۵ درجه سانتی‌گراد) را تعیین می‌کند. دامنه دمایی مطلوب، اختلاف دمای بهینه دوم و اول می‌باشد. قابل ذکر است که مدل دندانه‌ای در واقع یک مدل توسعه‌یافته بر اساس مدل خطوط متقاطع می‌باشد که به‌جای دو رگرسیون خطی از سه خط رگرسیونی تشکیل شده است که خط میانی در تعیین دامنه دمایی نقش ایفا می‌کند. برای یادآوری ذکر می‌شود برای تعیین دماهای اصلی جوانه‌زنی، برازش مدل‌ها به سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما ملاک اصلی می‌باشد؛ اما برازش

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌های اصلی جوانه‌زنی به روند درصد جوانه‌زنی هم قابل انجام می‌باشد (Grundy *et al*., 2000).

در بررسی روند شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$)، مدل دندانه‌ای برازش مناسب‌تری (RMSE=0.019, R^2adjusted=0.83) را نشان داد (شکل ۱). بر اساس این مدل، دمای کمینه، بهینه اول، بهینه دوم و بیشینه به ترتیب ۷٫۷۲، ۲۸٫۳۶، ۳۲٫۶۹۲۲ و ۴۲٫۹۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است (جدول ۲). همان‌طور مشاهده می‌شود مدل دندانه‌ای در مقایسه با درصد جوانه‌زنی، دامنه دمایی کمتری (۴٫۳۳ درجه سانتی‌گراد) را برای دمای بهینه سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) غده اویارسلام ارغوانی در نظر می‌گیرد.

مدل دندانه‌ای بهترین برازش (RMSE=0.011, $R^2_{adjusted}$ =0.87) را برای شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$)، نشان می‌دهد (شکل ۱). بر اساس مدل دندانه‌ای، دمای کمینه، بهینه اول، بهینه دوم و بیشینه به ترتیب ۹٫۲۰، ۲۸٫۰۵، ۳۰٫۸۹ و ۴۰٫۷۷ درجه سانتی‌گراد تخمین شده است (جدول ۲). همان‌طور پیش‌تر عنوان شد، بررسی سرعت جوانه‌زنی بر اساس شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$) برآورد دقیق‌تری از پتانسیل جوانه‌زنی تحت تأثیر دماهای مختلف نسبت به‌سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) می‌باشد. از طرف دیگر، مدل دندانه‌ای برای این شاخص، برآورد دقیق‌تری ارائه می‌دهد و ازاین‌رو بهترین مدل برای بررسی آن می‌باشد. دمای کمینه بر اساس این مؤلفه نسبت به درصد و سرعت جوانه‌زنی، بیشتر و دمای بیشینه کمتر برآورد شده است.

مدل خطوط متقاطع در ترسیم روند شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) بهترین برازش (RMSE=0.034, $R^2_{adjusted}$ =0.76) و برآورد دقیق‌تری از پارامترها ارائه داد. این مدل، دمای کمینه، بهینه و بیشینه را به ترتیب ۸٫۸۳، ۲۸٫۳۰ و ۴۰٫۴۳ درجه سانتی‌گراد برآورد کرد (جدول ۲). همان‌طور قبلاً عنوان شد شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) بهترین شاخص برای ارزیابی رفتار جوانه‌زنی جهت مقایسه جوانه‌زنی در میان دماهای مختلف می‌باشد. از طرف دیگر، یکی از ملزومات محاسبه زمان گرمایی، محاسبه دمای کمینه جوانه‌زنی را می‌باشد. در صورت عدم امکان محاسبه دمای کمینه و در دسترس نبودن در منابع علمی، شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$) ارزیابی قابل قبول‌تری نسبت به شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) و درصد جوانه‌زنی می‌باشد.

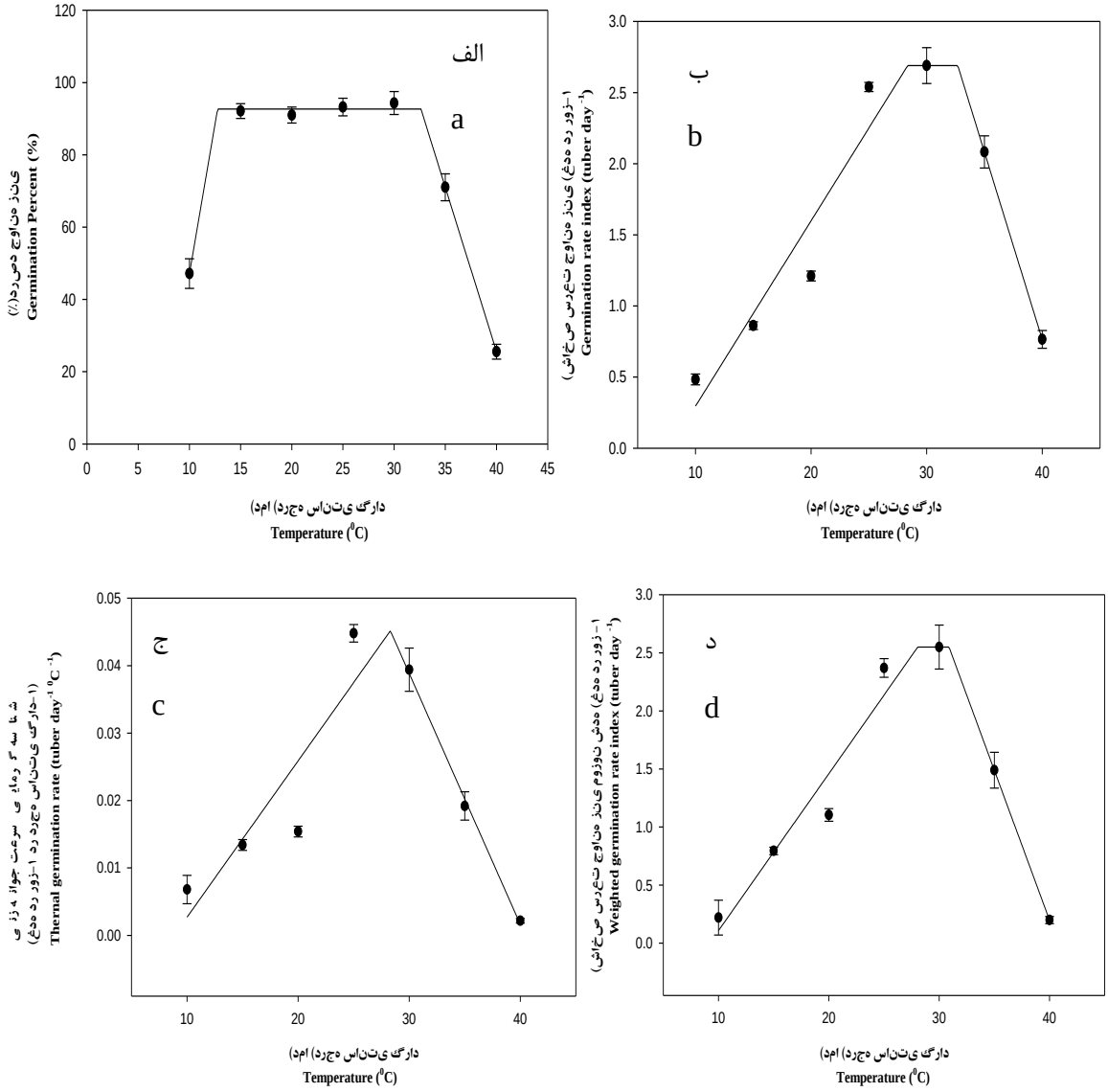
بر اساس نتایج این آزمایش، بهترین مدل که شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$) و شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$) را در مقابل دما برازش می‌دهد، بهترین برآورد برای تعیین دماهای اصلی جوانه‌زنی می‌باشد. همچنین شاخص‌های مذکور، برای مقایسه پتانسیل جوانه‌زنی در میان دماهای مختلف، معیارهای قابل اطمینان‌تری می‌باشند.

اهمیت اکولوژیکی و دلایل فیزیولوژیکی دماهای اصلی جوانه‌زنی

دماهای کمینه و بیشینه، دماهایی هستند که به ترتیب پایین‌تر و بالاتر از آن‌ها جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد، درحالی‌که دمای بهینه، دمایی است که حداکثر سرعت جوانه‌زنی در آن می‌باشد (Alvarado and Bradford, 2002). در مزرعه، در اوایل بهار وقتی‌که دما کمتر از دمای پایه آن‌ها باشد گونه‌هایی با دمای پایه نسبتاً بالا، قادر به جوانه‌زنی نمی‌باشند (Steinmaus *et al*., 2000). هرچند که داشتن جوانه‌زنی سریع (شیب بزرگ‌تر) به افزایش دما می‌تواند این جوانه‌زنی کند اولیه را جبران کند (Steinmaus *et al*., 2000)؛ که این امر در مورد اویارسلام ارغوانی صدق می‌کند. همان‌طور مشاهده شد در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی غده کند و سپس تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر خود می‌رسد. پایین بودن دمای پایه به‌منزله تحمل بیشتر به دماهای کم و بیانگر سرما زیست بودن گیاه می‌باشد. دمای کمینه جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی (گرمازیست) بین ۹٫۹۰ تا ۱۱٫۴۰ و اویارسلام زرد (سرما زیست) بین ۲٫۶۰۲۲ تا ۵٫۸۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شده است (Holt and Orcutt, 1996).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- برازش مدل‌های داندانه‌ای و خطوط متقاطع به روند درصد جوانه‌زنی (الف)، شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) (ب)، شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$)(ج) و شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$)(د)

Figure 1. The fitting of dent-like and segmented models on the trend of sprouting percent (%) (a), germination rate index (tuber day $^{-1}$) (b), weighted germination rate index (tuber day $^{-1}$) (c), thermal germination rate index (tuber day^{-1} ^{0}C $^{-1}$) (d).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. پارامترهای تخمین زده شده برای مدل‌های خطوط متقاطع و دانداندانه ای بر اساس شاخص‌های مختلف: درصد جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده و شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی.

Table 2. Calculated parameters for segmented and dent-like models based on different indices: Sprouting percent (SP), Germination rate Index (GRI), Weighted Germination rate index (WGRI), Thermal germination rate index (TGRI),

	مدل خطوط متقاطع Segmented model	مدل دندانه‌ای Dent-like model		
پارامترها Parameters	شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (TGRI)	درصد جوانه‌زنی (SP)	شاخص سرعت جوانه‌زنی (GRI)	شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (WGRI)
دمای پایه Tb	8.83 (6.53-11.12)	7.15 (5.83-9.51)	7.72 (5.59-9.86)	9.20 (6.76-11.98)
دمای بهینه TO	28.30 (26.81-29.78)	-	-	-
دمای بشینه Tm	40.43 (38.94-41.91)	42.80 (40.11-45.12)	42.90 (41.14-44.65)	40.77 (38.33-43.23)
دمای بهینه اول TO1	-	12.75 (10.14-15.23)	28.36 (25.22-31.49)	28.05 (25.56-30.54)
دمای بهینه دوم TO2	-	32.62 (30.45-34.87)	32.69 (30.77-34.60)	30.89 (28.65-33.13)
ضریب تعیین تعدیل‌شده adjusted R2	0.76	0.99	0.83	0.87
ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	0.034	0.0024	0.019	0.011
دامنه بهینه دمایی (TO1- TO2) Optimal temperature range (TO1- TO2)	-	19.55	4.33	2.84

اعداد داخل پرانتز فواصل اطمینان پارامترها در سطح احتمال ۹۵ درصد می‌باشند.

Values in parenthesis are the confidence intervals at 95% probability level.

همان‌طور بیان شد دمای بهینه، دمایی است که حداکثر سرعت جوانه‌زنی در آن اتفاق می‌افتد و بعدازآن سرعت جوانه‌زنی کاهش پیدا می‌کند. دلایل مختلفی برای کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای بهینه بیان شده است. نوسانات سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف ناشی از عکس‌العمل متفاوت آن‌ها به گرما می‌باشد. در دماهای خیلی پایین، پروتئین و آنزیم برای تطابق با تغییرات مورد نیاز برای واکنش به اندازه کافی انعطاف‌پذیر نیست، با افزایش دما فعالیت آنزیم‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه سرعت جوانه‌زنی نیز زیاد می‌شود، از طرفی دماهای خیلی بالا باعث غیرفعال شدن برخی آنزیم‌ها می‌شوند در نتیجه قادر به انجام کاتالیز واکنش‌ها نمی‌باشند، لذا سرعت واکنش‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی، هنوز فرآیندهای مولکولی کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالا مشخص نشده است (Huo et al., 2013). به همین دلیل است که عکس‌العمل کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی به درجه حرارت وجود دارد (Bonhomme, 2000). معمولاً دامنه دمایی بهینه درصد جوانه‌زنی بیشتر از حداکثر سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. در دامنه دمایی ۱۱ تا ۳۳ درجه سانتی‌گراد میزان درصد جوانه‌زنی ریزوم و استولون پنجه مرغی (Cynodon dactylon) ۱۰۰ درصد بود ولی بالاترین سرعت جوانه‌زنی در ۳۳ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (Satorre *et al.*, 1996). این اختلاف دما برای سرعت و درصد جوانه‌زنی به دلیل وابستگی فعالیت آنزیم‌ها و فعالیت‌های متابولیکی و هم‌چنین انتقال مواد به جنین، است که با افزایش دما این فعالیت‌ها افزایش می‌یابد که در زمان کوتاه‌تری انجام می‌شود و موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌شود (Bradford, 1995).

دمای بیشینه جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی بین ۴۴٫۲۰ تا ۴۶٫۹۰ و اویارسلام زرد بین ۴۳ تا ۴۵٫۱۰ درجه سانتی‌گراد بسته به نوع روش بکار رفته تعیین شده است (Holt and Orcutt, 1996). نتایج نشان می‌دهد که زنده‌مانی غده‌های اویارسلام ارغوانی و زرد

www.SID.ir

Archive of SID

در دماهای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد به‌شدت کاهش می‌یابد (Webster, 2003). این در حالی است که اویارسلام زرد در مدت‌زمان کمتری (۳۰٫۴۰ ساعت) نسبت به اویارسلام ارغوانی (۷۱٫۲۰ ساعت) ۵۰ درصد زنده‌مانی خود را از دست داده است. در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، اویارسلام زرد و ارغوانی به ترتیب طی ۶٫۲۰ و ۲۳٫۲۰ ساعت نیمی از زنده‌مانی خود را از دست دادند.

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش، جوانه‌زنی غده‌های اویارسلام ارغوانی تحت تأثیر دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش عکس متوسط زمان جوانه‌زنی ($\frac{1}{MGT}$) و عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($\frac{1}{D50}$) روش مناسبی برای برآورد دماهای اصلی جوانه‌زنی و همچنین ارزیابی پتانسیل جوانه‌زنی غده‌ها تحت تأثیر دماهای مختلف نمی‌باشد. در میان معیارهای مختلف جوانه-زنی، شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$)، به خاطر لحاظ کردن مقدار گرمای مورد استفاده، ارزیابی دقیق‌تری برای بررسی پتانسیل جوانه‌زنی در میان دماهای مختلف می‌باشد. در صورت عدم امکان محاسبه دمای کمینه و در دسترس نبودن در منابع علمی، شاخص سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) ارزیابی قابل قبول‌تری نسبت به روش‌های سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$) و درصد جوانه‌زنی می‌باشد. برای بررسی روند درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی (غده در روز$^{-1}$)، شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده (غده در روز$^{-1}$) مدل دندانه‌ای برازش بهتری نشان داد ولی برای بررسی روند شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی (غده در درجه سانتی‌گراد$^{-1}$ در روز$^{-1}$)، مدل خطوط متقاطع مدل برتر بود. به‌طورکلی، دمای پایه جوانه‌زنی غده اویارسلام ارغوانی بین ۷٫۱۵ تا ۹٫۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. دمای بهینه جوانه‌زنی نیز در دامنه دمایی ۱۲٫۷۵ تا ۳۲٫۶۲ درجه سانتی‌گراد برآورد شد، اما با توجه به گرما زیست بودن اویارسلام ارغوانی، دامنه دمایی ۲۸٫۰۵ تا ۳۲٫۶۲ قابل قبول می‌باشد. همچنین، دماهای ۰٫۴۳ ۴ تا ۴۲٫۹۰ درجه سانتی‌گراد، دمای بیشینه برآورد شده می‌باشند. در پایان، برای برآورد دماهای اصلی جوانه‌زنی، توصیه می‌شود در صورت امکان، ابتدا دمای پایه تخمین، زمان حرارتی و شاخص گرمایی سرعت جوانه‌زنی برای هر دما محاسبه شود. سپس مدلی که تخمین قابل قبول‌تری از بررسی روند این شاخص در دماهای مختلف ارائه می‌دهد، به‌عنوان مدل برتر و دماهای اصلی بر اساس آن برآورد شود.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از دانشگاه فردوسی مشهد، به خاطر حمایت مالی از این تحقیق به شماره ۳٫۳۳۴۳۲ تقدیر و تشکر می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

References فهرست منابع

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.

Bendixen, L. E. 1973. Anatomy and sprouting of yellow nutsedge tubers. Weed Science, 21: 501-503.

Bonhomme, R. 2000. Bases and limits to using 'degree.day' units. European Journal of Agronomy, 13: 1-10.

Bradford, K. J. 1995. Water relations in seed germination. Pages 351-396 in J. Kigel, and G. Galili, eds. Seed development and germination. New York, Marcel Dekker.

Bradford, K. J. 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science, 50: 248-260.

Dor, E., and J. Hershenhorn. 2013. Effect of low temperature on purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) reproductive biology. Weed Science, 61: 239–243

Grundy, A., R. Phelps., R. Reader., and S. Burston. 2000. Modelling the germination of Stellaria media using the concept of hydrothermal time. New Phytol, 148: 433–444.

Holm, L. G., D. L. Plucknett., J. V. Pancho., and J. P. Herberger. 1991. The world's worst weeds. Kriegar Publishing Company, Malabar, FL.

Holt, J. S., and D. R. Orcutt. 1996. Temperature thresholds for bud sprouting in perennial weeds and seed germination in cotton. Weed Science, 44: 523–533.

Huo, H., P. Dahal., Kunusoth, K., C. M. McCallum., K. J. Bradford. 2013. Expression of 9-cis-EPOXYCAROTENOID DIOXYGENASE4 is essential for thermoinhibition of lettuce seed germination but not for seed development or stress tolerance. Plant Cell, 25: 884–900.

Kader, M. A. 2005. A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. Journal and Proceeding of the Royal Society of New South Wales, 138: 65–75.

Kigel, J., and D. Koller. 1985. Asexual reproduction f weeds. Pages 65-100 in S. 0. Duke, ed. Weed Physiology. Vol. I. Reproduction and Ecophysiology. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.

Lonati, M., D. J. Moot., P. Aceto., A. Cavallero., and R. J. Lucas. 2009. Thermal time requirements for germination, emergence and seedling development of adventive legume and grass species. New Zealand Journal of Agricultural Research, 52: 17-29.

Masin, R., V. P. Vasileiadis., D. Loddo., S. Otto., and G. Zanin. 2011. A single-time survey method to predict the daily density for weed control decision making. Weed Science, 59: 270–275.

Mesgaran, M. B., H. R. Rahimian Mashhadi., H. Alizadeh., S. Ohadi., and A. Zare. 2014. Modeling the germination responses of wild barley (*Hordeum spontaneum*) and littleseed cannary grass (*Phalaris minor*) to temperature. Iranian Journal of Weed Science, 9(2): 105-118. (In Farsi)

Matthews, S., and M. Khajeh-Hosseini. 2006. Mean germination time as an indicator of emergence performance in soil of seed lots of maize (*Zea mays*). Seed Science Technolgy, 34: 339–347.

Mutti, N. K., G. Mahajan., and B. S. Chauhan. 2019. Seed-germination ecology of glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible biotypes of *Echinochloa colona* in Australia. Crop & Pasture Science, 70: 367–372.

Neeser, C., R. Agiiero., C. J. Swanton. 1997. Survival and dormancy of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) tubers. Weed Science, 45: 784-790.

Satorre, E. H., F. A. Rizzo., S. P. Arias. 1996. The effect of temperature on sprouting and early establishment of *Cynodon dactylon*. Weed Research, 36: 431–440.

Soltani, E., F. Ghaderi-Far., C. C. Baskin., and J. M. Baskin. 2015. Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. Australian Journal of Botany, 63: 631–635.

www.SID.ir

Archive of SID
Soltani, A., M. J. Robertson., B. Torabi., M. Yousefi-Daz., and R. Sarparast. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology, 138: 156-167.

Steinmaus, S. J., T. S. Prather., and J. S. Holt. 2000. Estimation of base temperatures for nine weed species. Journal of Experimental Botany, 51: 275–286.

Thullen, R. J., and P. E. Keeley. 1979. Seed production and germination in *Cyperus esculentus* and C. *rotundus*. Weed Science, 27: 502–505

Trudgill, D. L., A. Honek., D. Li., and N. M. Van Straalen. 2005. Thermal time—concepts and utility. Annals of Applied Biology, 146(1): 1–14.

Tumbleson, M. E., and T. Kommedahl. 1962. Factors affecting dormancy in tubers of *Cyperus esculentus*. Botanical Gazette, 123: 186-190.

Wang, R. 2005. Modeling seed germination and seedling emergence in winterfat (*Krascheninnikovia lanata* (pursh) A.D.J. Meeuse & Smit): physiological mechanisms and ecological relevance. University of Saskatchewan. 176 pages

Webster, T. M. 2003. High temperatures and durations of exposure reduce nutsedge (*Cyperus* spp.) tuber viability. Weed Science, 51: 1010–1015

Wilen, C. A., J.S. Holt., and W. B. McCloskey. 1996. Predicting yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) emergence using degree-day models. Weed Science, 44: 821–829.

Wills, G. D., and G. A. Briscoe. 1970. Anatomy of purple nutsedge. Weed Science, 18: 631-635.

www.SID.ir

Archive of SID

The Effect of Different Methods of Calculation of Germination Rate in Evaluation of Sprouting Potential of Purple Nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) Tuber and Estimation of Thermal Thresholds

S. Mijani[1], M. Rastgoo[1*], A. Ghanbari[1], M. Nassiri mahallati[1], J. L. Gonzalez-Andujar[2]

Abstract

Purple nutsedge, is one of the most burdensome weeds in the agroecosystems, due to the rapid growth and proliferation of underneath tubers. The tubers are the main means of propagation and distribution of Purple nutsedge. Information on environmental conditions that regulate the growth of the vegetative organs would help to predict the emergence time of perennial weeds. Several methods of germination were tested to compare the germination potential and determine the thresholds (the main temperatures) for germination of the tubers. The results showed that the ($\frac{1}{MGT}$) and ($\frac{1}{D50}$) methods are not an appropriate index for estimating the temperature thresholds and evaluating sprouting potential. Based on germination rate (tubers per day $^{-1}$) and weighted germination rate (tubers per day^{-1}) indices, temperatures of 25 and 30°C were the best temperatures. On the other hand, based on the thermal germination rate index, (tuber per°C $^{-1}$ per day-^{1}) the best temperature is 25°C. Among indices, the thermal germination rate index is a more justified assessment for precise description of sprouting potential versus temperature due to take into account the amount of used heat. In order to study the germination percentage, germination rate, weighted germination rate, Dent-like model showed better fit (R^2 adjusted =0.83 to 0.99) but for study of the thermal germination rate index segmented model was superior model (R^2 adjusted =0.76). In general, the minimum, optimal and maximum range of germination of Purple nutsedg was determined to be between 7.51 to 9.20, 28.5 to 32.62, and 0.43 to 42.49 ° C, respectively.

Keyword: Minimum temperature, Optimum temperature, thermal germination rate index, Thermal time, Weighted germination rate index.

Received date: 30 July 2017 Accepted date: 18 October 2017

1- Department of Agrotechnology, Agriculture faculty, Ferdowsi University of Mashhad
2- Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC) Cordoba (Spain)
Corresponding author E-mail: M.rastgoo@um.ac.ir

www.SID.ir