Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۹
۹۹۵-۱۰۰۷
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2218.1561

مقاله پژوهشی

کمی سازی اثرات دما بر جوانه‌زنی و القای کمون ثانویه در ارقام مختلف جو

محسن ملک[۱]، ساعد حمیدی[۱]، فرشید قادری‌فر[۲*]، مرتضی گرزین[۳]، محمدهادی پهلوانی[۴]، محسن اسماعیل‌زاده‌مقدم[۵]

۱. فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۲. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۳. دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۴. دانشیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۵. دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۳

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی اثرات دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین، القای کمون در بذرهای ارقام جو صورت گرفت. در این مطالعه بذرهای ۱۵ رقم جو در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور محاسبه‌ی درصد و سرعت جوانه‌زنی در سه تکرار مورد آزمون جوانه‌زنی قرار گرفتند. سرعت جوانه‌زنی بذرها با استفاده از برازش مدل لجستیک سه پارامتره به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان محاسبه و درنهایت دماهای کاردینال جوانه‌زنی توسط مدل دوتکه‌ای برآورد شدند. نتایج نشان داد بین ارقام ازلحاظ درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف اختلاف قابل‌توجهی وجود داشت و بیشترین اختلاف نیز در دماهای بالا (به‌ویژه در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. دماهای کاردینال جوانه‌زنی نیز در ارقام مختلف جو متمایز از یکدیگر بود. به‌طوری‌که دمای پایه در ارقام مختلف بین ۱/۶۱ تا ۴/۳۴ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. همچنین دمای مطلوب جوانه‌زنی بذرها در ارقام صحرا، ارس و ارم به ترتیب معادل ۲۳/۱۵، ۲۷/۴۹ و ۳۵/۳۴ درجه سانتی‌گراد و در سایر ارقام موردمطالعه بین ۳۳-۳۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. از طرفی دمای سقف جوانه‌زنی در تمامی ارقام حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد که اختلاف بین ارقام معنی‌دار نبود. در این مطالعه، علت عدم جوانه‌زنی بذرهای جو در دمای بالا نیز موردمطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد، عدم جوانه‌زنی بذرهای ارقام جو در دمای بالا بخشی مربوط به القای کمون و بخشی مربوط به مرگ بذرها پس از قرارگیری در دمای بالا است. به‌طورکلی با افزایش مدت‌زمان قرارگیری بذرها در دمای بالا قابلیت جوانه‌زنی و مرگ بذرها به ترتیب به‌صورت نمایی کاهش و افزایش یافت. از طرفی، القای کمون در بذرها از یک توزیع نرمال تبعیت کرد. به‌طوری‌که با افزایش زمان قرارگیری بذرها در دمای بالا ظرفیت القای کمون ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: **بازدارندگی دمایی، حساسیت دمایی، دماهای کاردینال جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، کمون ناشی از دمای بالا**

مقدمه

تنش‌های محیطی ازجمله مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد در گیاهان به‌خصوص گیاهان زراعی می‌باشند و به‌طور قابل‌توجهی تمامی مراحل رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به نظر می‌رسد مدیریت زراعی و برنامه‌ریزی دقیق به‌منظور اجتناب از تنش‌های محیطی، مناسب‌ترین راه برای کاهش خسارت‌های وارده است. به این منظور می‌بایست با استفاده از تکنیک‌های مدیریت زراعی از مواجه‌شدن مراحل حساس رشد و نمو با وقوع شرایط نامناسب محیطی جلوگیری شود. در این راستا، اولین و مهم‌ترین اقدام انتخاب تاریخ کاشت مناسب و به دنبال آن سبز شدن به‌موقع گیاهچه‌ها است. پیش‌بینی زمان سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب و استقرار کامل گیاهچه‌ها که لازمه‌ی یک نظام زراعی موفق

* نگارنده پاسخگو: فرشید قادری‌فر. پست الکترونیک: farshidghaderifar@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

است، به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند (Seefeldt et al., 2002). سبز شدن مناسب و به‌موقع ارتباط مستقیمی با جوانه‌زنی بذرها دارد که این موضوع ضرورت مطالعه‌ی رفتار جوانه‌زنی بذرها در شرایط محیطی مختلف را نشان می‌دهد.

دما یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کنترل‌کننده رشد و نمو گیاهان است. تمامی مراحل رشد یک گیاه ازجمله جوانه-زنی بذرها و استقرار گیاهچه‌ها تحت تأثیر دما قرار می‌گیرند. پس از دسترسی به آب، مهم‌ترین عامل محیطی تأثیرگذار بر جوانه‌زنی، دما است (Alvarado and Bradford, 2002). دما از سه طریق، جوانه‌زنی و سبزشدن بذرها در مزرعه را تنظیم می‌کند: (۱) تأثیر بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای بدون کمون، (۲) رفع کمون اولیه و ثانویه بذرها و (۳) القای کمون ثانویه (Bewley et al., 2013). در بذرهای بدون کمون، دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها تأثیر می‌گذارد. ازاین‌رو، بذرها دارای سه دمای کاردینال شامل دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف برای جوانه‌زنی هستند. دمای پایه دمایی است که در آن دما و پایین‌تر از آن، جوانه‌زنی متوقف می‌شود. دمای سقف جوانه‌زنی نیز دمایی است که در آن دما و بالاتر از آن، جوانه‌زنی متوقف می‌شود. دمای مطلوب جوانه‌زنی دمایی است که در آن درصد و سرعت جوانه‌زنی در حداکثر مقدار خود است (Akram-Ghaderi et al., 2008a).

همچنین، دما باعث رفع کمون اولیه و ثانویه در بذرهای دارای کمون می‌گردد. استراتیفیکاسیون و پس‌رسی پیش تیمارهایی هستند که از طریق دما باعث رفع کمون بذرها می‌گردند. دو نوع استراتیفیکاسیون وجود دارد که شامل استراتیفیکاسیون سرد و گرم است. در استراتیفیکاسیون سرد بذرها در شرایط مرطوب و دمای پایین (۱۰-۰ درجه سانتی‌گراد بسته به گونه) به مدت معینی قرار می‌گیرند و سپس در دمای مطلوب برای جوانه‌زنی قرار می‌گیرند. قرارگیری بذرها در شرایط سرد و مرطوب باعث رفع کمون برخی از بذرهای می‌گردد. استراتیفیکاسیون گرم نیز باعث رفع کمون برخی از بذرها می‌گردد (Willemsen, 1975). در این روش بذرها در شرایط مرطوب و دمای بالا (بیشتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت‌زمان مشخصی قرار می‌گیرند و سپس به دمای مطلوب برای جوانه‌زنی منتقل می‌شوند (Chen et al., 2015). همچنین، برخی از بذرها برای رفع کمون، به استراتیفیکاسیون سرد و گرم به‌صورت دوره‌ای نیاز دارند (Baskin and Baskin, 2001). پس‌رسی نیز یکی از تیمارهای رفع کمون، به‌خصوص در بذرهای دارای کمون مورفولوژیک و کمون فیزیولوژیک می‌باشد. در این روش بذرها پس از خشک شدن در انبار نگهداری می‌شوند و پس از گذشت مدت‌زمان مشخص در این شرایط، کمون بذرها رفع می‌شود (Zhang et al., 2017). سرعت رفع کمون در طی پس‌رسی به دو عامل دما و رطوبت بذر بستگی دارد. با افزایش دما و محتوای رطوبت بذر طی پس‌رسی، سرعت خروج از حالت کمون نیز افزایش می‌یابد (Skourti and Thanos., 2015; Carrera et al., 2008). بااین‌وجود، باید به این نکته توجه داشت که دما و رطوبت بیش‌ازحد می‌تواند باعث زوال بذرها طی پس‌رسی شوند.

دما علاوه بر تأثیر بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و رفع کمون اولیه و ثانویه بذرها، باعث القای کمون ثانویه در بذرها می‌گردد (Xia et al., 2018). همان‌طور که بیان شد، جوانه‌زنی بذرها در دمای سقف و بالاتر از آن متوقف می‌شود. عدم جوانه‌زنی بذرها در دمای بالا ناشی از عوامل مختلفی هستند. برادفورد (Bradford, 2002) بیان داشت که در دماهای بالاتر از مطلوب، تاخوردگی پروتئین‌ها، اختلال در غشاها، کاهش کارایی متابولیکی سلولی و اثرات متقابل با خشکی وجود دارد. همچنین، برخی محققان بیان داشتند که عدم جوانه‌زنی بذرها در دمای بالا (دمای سقف) با القای کمون ارتباط دارد (Yoong et al., 2016; Argyris et al., 2011). گزارش‌ها حاکی از آن است که زمانی که بذرهای برخی از گیاهان از قبیل کاهو، آفتابگردان، نخود، آرابیدوبسیس و یولاف وحشی در زمان آبنوشی در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند، کمون به آن‌ها القا می‌گردد و ازاین‌رو، این بذرها قادر به جوانه‌زنی نمی‌باشند (Corbineau et al., 1988; Dutta and Bradford, 1994; Gallardo et al., 1994; Toh et al., 2008). برای این تیپ رفتار جوانه‌زنی در دمای بالا، واژه‌های بازدارندگی جوانه‌زنی ناشی از دمای بالا و کمون ناشی از دمای بالا استفاده می‌شود. در حالت اول، بذرها در دمای بالا آبنوشی انجام می‌دهند و در این دما جوانه نمی‌زنند، اما پس از انتقال بذرها به دمای مطلوب، جوانه‌زنی رخ می‌دهد. درواقع، در این شرایط بازدارندگی موقت جوانه‌زنی مشاهده می‌شود که با کاهش دما رفع می‌گردد و بذرها پس از انتقال به دمای پایین‌تر قادر به جوانه‌زنی می‌باشند. در مقایسه باحالت اول، کمون ناشی از دمای بالا حالتی از کمون ثانویه است که اگر بذرها در زمان آبنوشی در

www.SID.ir

Archive of SID

معرض دمای بالا قرار گیرند و سپس به دمای مطلوب منتقل شوند، قادر به جوانه‌زنی نمی‌باشند و برای جوانه‌زنی نیاز به تیمارهای رفع کمون از قبیل کاربرد اسید جیبرلیک و یا استراتیفیکاسیون سرد دارند (Argyris et al. 2008; Hills and Van staden, 2003).

گیاه جو پس از گندم، عنوان مهم‌ترین غله را به خود اختصاص داده است و این موضوع به دلیل کاربرد وسیع آن در تغذیه انسان و دام است. همچنین، به دلیل اهمیت مرحله جوانه‌زنی در چرخه زندگی گیاهان و ارتباط آن با دما، مطالعه رفتار جوانه‌زنی جو در پاسخ به دما به‌منظور بهبود روش‌های مدیریت زراعی بسیار ضروری می‌باشد. مطالعه رفتار جوانه‌زنی بذرهای جو علاوه بر مباحث زراعی در صنایع مالت سازی نیز بسیار حائز اهمیت است. بااین‌وجود مطالعات اندکی بر روی واکنش جوانه‌زنی بذر جو به شرایط محیطی ازجمله دما وجود دارد و از طرفی مطالعات انجام‌شده اکثراً به بررسی دماهای کاردینال بسنده کرده و اطلاعات چندانی در مورد رفتار جوانه‌زنی بذر جو در دماهای بالا وجود ندارد. ازاین‌رو، این مطالعه باهدف بررسی اثرات دما بر جوانه‌زنی پانزده رقم جو به‌منظور تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و نیز تعیین علت عدم جوانه‌زنی بذرهای این گیاه زراعی در دماهای بالا انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه اثرات دما بر رفتارهای جوانه‌زنی بذر ارقام جو بررسی شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱۵ رقم جو بانام‌های ارس (Aras)، دشت (Dasht)، ارم (Eram)، فجر ۳۰ (Fajr 30)، جنوب (Jonoob)، کارون (Karoon)، نیک (Nike)، نیمروز (Nimrooz)، نصرت (Nosrat)، زرجو (Zarjoo)، صحرا (Sahra)، سینا (Sina)، ترکمن (Torkaman)، والفجر (Valfajr) و زهک (Zahak) و هشت سطح دمای جوانه‌زنی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) بود. بذور استفاده‌شده در سال ۱۳۹۵ از کرت‌های ازدیادی مربوط به ارقام تجاری غلات که هرساله در مزرعه به نژادی بخش تحقیقات غلات موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در شهرستان کرج، استان البرز، تولید می‌گردد، تهیه گردید. با توجه به امکان وجود کمون اولیه در بذرهای جو، به‌منظور اطمینان از عدم وجود کمون، بذرها پس از تهیه به مدت ۴ ماه در شرایط اتاق با دمای ۲۵-۲۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری (پس‌رسی) شدند و پس‌ازآن تا شروع آزمایش در یخچال نگهداری شدند. آزمون جوانه‌زنی در محیط حوله کاغذی (روش ساندویچ) در چهار تکرار ۲۵ تایی بذر صورت گرفت. در این روش بذرهای هر رقم داخل سه لایه حوله کاغذی به ابعاد ۴۵×۳۰ سانتی‌متر قرارگرفته و برای جلوگیری از تبخیر آب، حوله‌های کاغذی در داخل کیسه فریزر قرار گرفتند و سپس به دمای موردنظر برای جوانه‌زنی منتقل شدند. همچنین، در طول آزمایش در صورت نیاز به محیط‌های کشت آب مقطر اضافه شد. به‌منظور هم‌دمایی آب، یک روز قبل از شروع آزمایش آب مقطر در دمای موردنظر قرار گرفت تا دمای آب مقطر با دمای محیط جوانه‌زنی به تعادل برسد. پس از شروع جوانه‌زنی، شمارش بذرهای جوانه‌زده ۲ الی ۴ بار در هرروز انجام و معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به‌اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر در نظر گرفته شد (Soltani et al., 2001). شمارش تا زمانی که تمامی بذرها جوانه‌زده و یا دیگر قادر به جوانه‌زنی نبودند، ادامه یافت. بازه زمانی جوانه‌زنی بسته به دمای آزمایش بین ۴ الی ۱۴ روز متغیر بود. به‌منظور توصیف تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان (ساعت) از یک مدل لجستیک سه پارامتره (رابطه ۱) استفاده شد (Ghaderi-Far et al., 2012).

$$y = \frac{G\max}{1+\left(\frac{x}{D_{50\max}}\right)^{b}} \qquad [۱]$$

که در این رابطه y درصد جوانه‌زنی، x زمان (ساعت)، G_{max} حداکثر درصد جوانه‌زنی، D_{50max} مدت‌زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (ساعت) و b شیب منحنی است. نظر به اینکه درصد جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های مختلف جو در دماهای مختلف متفاوت بود، برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از معکوس زمان تا ۵۰ درصد جمعیت بذری ($D_{50}T/۱$) استفاده شد (Soltani et al. 2016). برای این کار، پس از برازش مدل لجستیک به تک‌تک تیمارها، از طریق درون‌یابی، زمان تا ۵۰ درصد جمعیت بذری برآورد شد. همچنین در این مطالعه به‌منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر تیمارهای آزمایشی (دما و رقم) بر درصد جوانه‌زنی از تجزیه‌ی مرکب در قالب طرح کاملاً تصادفی در چند مکان استفاده شد. لازم به ذکر است تیمارهای دمایی که توسط ۸ انکوبارتور با دقت ±۰/۵ درجه سانتی‌گراد ایجاد شد، به‌عنوان مکان در نظر گرفته شد.

برای کمی سازی سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما و محاسبه دماهای کاردینال جوانه‌زنی در رقم‌های مختلف جو از مدل

www.SID.ir

Archive of SID

دوتکه‌ای (رابطه ۲) استفاده شد (Akram-ghaderi et al. 2008b; Soltani et al. 2006).

$$y = \frac{\left(\frac{(T-T_b)}{(T_o-T_b)}\right)}{f_o} \rightarrow if \rightarrow T_b < T < T_o$$
$$y = \frac{\left(\frac{1-(T-T_o)}{(T_c-T_o)}\right)}{f_o} \rightarrow if \rightarrow T_o < T < T_c \quad [۲]$$
$$y = 0 \rightarrow if \rightarrow T \le T_b ... or ... T \ge T_c$$

که در آن y سرعت جوانه‌زنی، T دمای آزمایش، T_b دمای پایه، T_o دمای مطلوب و T_c دمای سقف جوانه‌زنی است.

نظر به اینکه بذرهای همه ارقام جو در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد جوانه نزدند، آزمایشی برای تعیین علت عدم جوانه‌زنی بذرها در این دما انجام شد. در این آزمایش بذرهای چهار رقم از جو بر اساس واکنش به دماهای بالا از آزمایش‌های قبل انتخاب و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ساعت قرار گرفتند و سپس به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و به مدت یک هفته در این دما نگهداری شده و در انتها درصد جوانه‌زنی ثبت گردید. پس از اتمام آزمون، برای تعیین زنده‌مانی بذرهای باقی‌مانده، آزمون تترازولیوم انجام شد. برای این کار بذرها به‌صورت طولی بریده‌شده و در محلول یک درصد نمک تترازولیوم در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت قرار گرفتند و بر مبنای رنگ‌پذیری جنین، بذرهای مرده و زنده تعیین شدند (Ghaderi-Far and Soltani, 2017). بذرهایی که پس از انتقال به دمای مطلوب جوانه نزدند اما در آزمون تترازولیوم زنده تشخیص داده شدند به‌عنوان بذرهای دارای کمون ثانویه در نظر گرفته شدند. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.0.2 و رسم شکل‌ها به کمک نرم‌افزار Excel 2013 صورت گرفت

نتایج و بحث

برای کمی سازی اثرات دما بر سرعت جوانه‌زنی ارقام جو و برآورد دماهای کاردینال از مدل دوتکه‌ای استفاده شد (شکل ۱ و جدول ۱). این مدل برازش مناسبی به داده‌های سرعت جوانه‌زنی ارقام جو در مقابل دما داشت. در جدول ۱ پارامترهای مدل دوتکه‌ای دماهای کاردینال جوانه‌زنی ارقام جو ارائه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بذرهای ارقام جو ازلحاظ دمای پایه و دمای مطلوب جوانه‌زنی باهم اختلافات قابل‌توجهی داشتند. اما ازلحاظ دمای سقف، اختلاف قابل‌توجهی بین ارقام مشاهده نشد. دماهای پایه برآورد شده در ارقام مختلف با توجه به جدول (۱) دارای اختلاف معنی‌داری ازلحاظ آماری نبودند ولی درمجموع دارای تنوع نسبتاً بالایی بودند، به‌طوری که دمای پایه در ارقام مختلف بین ۱/۶۱ تا ۴/۳۴ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. کمترین و بیشترین دمای پایه به ترتیب مربوط به رقم‌های ارم و صحرا بود. دمای مطلوب جوانه‌زنی در ۱۲ رقم از پانزده رقم جو بین ۳۳-۳۰ درجه سانتی‌گراد بود، اما در ارقام صحرا، ارس و ارم متفاوت از سایر ارقام، و به ترتیب معادل ۲۳/۱۵، ۲۷/۴۹ و ۳۵/۳۴ درجه سانتی‌گراد بود. به‌عبارت‌دیگر، رقم ارم در مقایسه با سایر ارقام جو دارای سرعت جوانه‌زنی بالایی در دماهای بالا می‌باشد. ازلحاظ دمای سقف جوانه¬زنی، بین ارقام جو اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و دمای سقف در تمامی ارقام در حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد.

محققان برای کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما و محاسبه دماهای کاردینال از مدل‌های مختلفی استفاده می‌کنند (Soltani et al., 2006; Akram-Ghaderi et al., 2008a; Akram-Ghaderi et al., 2008b). خلیلی اقدم و همکاران (Khaliliaghdam et al. 2017) از مدل دندان مانند و بتا برای محاسبه دماهای کاردینال بذر کتان استفاده کردند. در مطالعه‌ی دیگری ترابی و همکاران (Torabi et al., 2015) برای تعیین دماهای کاردینال آفتابگردان مدل‌های بتا، دوتکه‌ای و دندان مانند را به کار بردند و بهترین مدل به‌منظور برآورد دماهای کاردینال سبز شدن بذرهای آفتابگردان را مدل دوتکه‌ای معرفی کردند. مطالعات محدودی نیز بر روی تعیین دماهای کاردینال جو گزارش‌شده است. خلیلی و همکاران (Khalili et al., 2014) دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای جو رقم ماهور را بررسی و دماهای پایه، مطلوب و سقف را با استفاده از مدل دوتکه‌ای به ترتیب معادل ۳/۱، ۲۷/۷ و ۳۸/۶ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. همچنین اشراقی نژاد و همکاران (Eshraghi-Nejad et al. 2015) به بررسی دماهای کاردینال سبز شدن بذرهای جو پرداختند که دماهای پایه، مطلوب و سقف را توسط مدل دوتکه‌ای به ترتیب صفر، ۲۶/۸۵ و ۴۳/۲۱ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. لازم به ذکر است در اکثر مطالعات دمای کاردینال جوانه‌زنی تنها در یک رقم یا ژنوتیپ انجام می‌شود، درحالی‌که ممکن است بین

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. دماهای کاردینال جوانه‌زنی ارقام مختلف جو برآورد شده با مدل دوتکه‌ای

Table 1. Cardinal temperatures of germination in different barely cultivars estimated by segmented model

Cultivar Name	نام رقم	T_b	T_o	T_c	R^2
Aras	ارس	3.96±1.25	27.49±0.79	39.54±0.54	0.94
Dasht	دشت	2.11±2.20	31.21±0.26	40.01±0.79	0.96
Eram	ارم	1.61±2.56	35.34±0.20	40.00±0.44	0.95
Fajr 30	فجر۳۰	2.80±2.29	32.18±0.94	40.01±0.56	0.96
Jonoob	جنوب	2.04±2.00	30.96±1.20	40.01±0.74	0.96
Karoon	کارون	3.42±1.76	31.62±1.01	40.01±0.66	0.97
Nike	نیک	2.98±1.68	32.57±0.74	40.01±0.52	0.97
Nimrooz	نیمروز	2.53±2.32	30.00±1.76	39.89±1.00	0.95
Nosrat	نصرت	3.71±1.58	32.26±0.79	40.00±0.55	0.97
Zarjoo	زرجو	2.87±1.99	3.98±1.26	40.01±0.79	0.96
Sahra	صحرا	4.34±1.74	23.15±1.32	39.43±1.57	0.93
Sina	سینا	4.20±1.89	31.73±1.12	40.01±0.75	0.96
Torkaman	ترکمن	2.76±2.16	31.63±1.17	40.01±0.77	0.96
Valfajr	والفجر	4.18±0.72	31.98±1.76	40.01±0.66	0.97
Zahak	زهک	2.53±2.03	32.98±0.78	40.01±0.57	0.95

T_b، T_o و T_c به ترتیب دمای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی و R^2 ضریب تبیین مدل است.

اعداد مقابل برآورد پارامترها (±) نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار محاسبه‌شده توسط مدل است.

T_b, T_o and T_c are base, optimum and ceiling temperatures of seed germination, respectively and $R^2$is coefficient of determination model. Numbers in front of parameters (±) estimation indicate calculated standard error by model

ارقام و ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری ازلحاظ دماهای کاردینال وجود داشته باشد. مطالعات مختلفی در خصوص بررسی دماهای کاردینال جوانه‌زنی ارقام یا ژنوتیپ‌های مختلف گیاهانی همچون کلزا (Vigil et al., 1997)، سویا (Matthews and Hayes, 1982)، آفتابگردان (Mwale et al., 1994)، کنجد (Ghaderi-Far and Soltani, 2015)، کینوا (Mamedi et al., 2017) و گندم (Zeinali et al., 2010) انجام‌شده است. تعیین دماهای کاردینال ژنوتیپ‌های مختلف یک‌گونه می‌تواند اطلاعات مفیدی در خصوص انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای هر رقم و مهم‌تر از آن انتخاب و اصلاح ارقام مناسب برای جوانه‌زنی و استقرار در شرایط تنش‌های دمایی (دمای بالا و پایین) در اختیار اصلاح‌گران قرار دهد.

نتایج تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی بذرهای ارقام جو در دماهای مختلف نشان داد هردو فاکتور آزمایشی (دما و رقم) و همچنین اثرات متقابل فاکتورها دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بودند (جدول ۲). درنتیجه مقایسه‌ی میانگین درصد جوانه‌زنی بین ارقام مختلف و همچنین درصد جوانه‌زنی بذرهای ارقام مختلف پس از برش دهی اثر متقابل انجام شد.

در جدول ۳ درصد جوانه‌زنی ارقام جو در دماهای مختلف ارائه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در کلیه ارقام ازلحاظ درصد جوانه‌زنی در اکثر دماها اختلاف معنی‌داری وجود داشت که این اختلاف در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به سایر دماها کمتر بود و در دماهای کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد این اختلاف افزایش یافت. همچنین، اختلاف درصد جوانه‌زنی در دماهای بالا بیشتر از دماهای پایین بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دمای ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی در کلیه ارقام (به‌استثنای رقم صحرا) بالاتر از ۷۵ درصد است. در دمای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد نیز درصد جوانه‌زنی در کلیه ارقام (به‌استثنای صحرا) بالابود و به‌طور میانگین درصد جوانه‌زنی بالاتر از ۸۵ درصد مشاهده شد. با افزایش دما به بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی در کلیه ارقام کاهش یافت و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در هیچ‌یک از ارقام جوانه‌زنی مشاهده نشد. نکته قابل‌توجه این است که

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار کاهش درصد جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در بین ارقام متفاوت بود. به‌طوری‌که بیشترین درصد کاهش جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در ارقام ارس و صحرا مشاهده شد و کمترین کاهش نیز در رقم‌های زهک، سینا و ارم مشاهده شد. به‌عبارت‌دیگر، در ارقام زهک، سینا و ارم دامنه تحمل به دماهای بالا بیشتر از سایر ارقام بود، به‌طوری‌که در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد دارای جوانه‌زنی بالاتر از ۷۵ درصد بودند. این در حالی است که در این دما درصد جوانه‌زنی ارقام ارس و صحرا در حدود ۳۰ درصد بود.

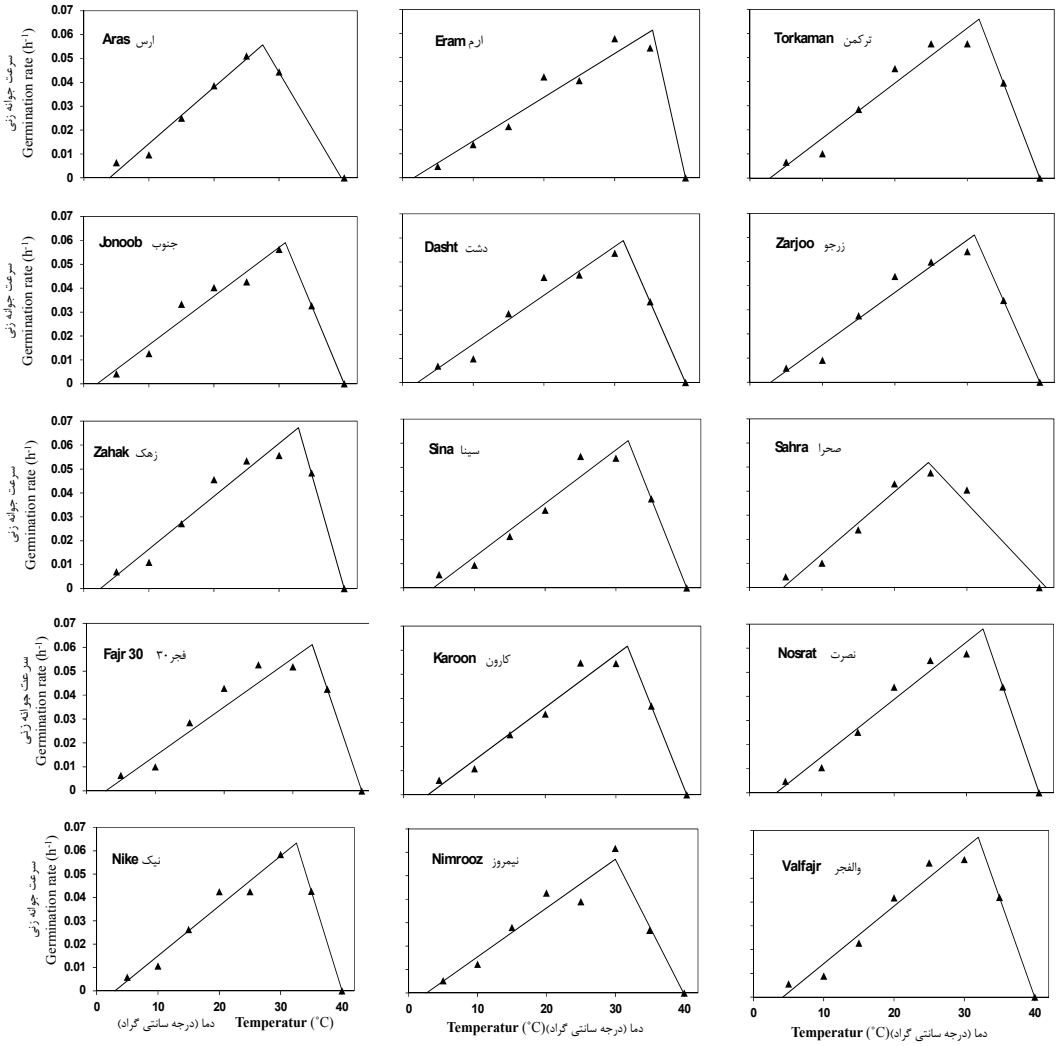
جدول ۲. میانگین مربعات درصد جوانه‌زنی ارقام جو در دماهای مختلف.

Table 2. Mean square of germinationpercentage of barley cultivars at different temperatures

S.O.V	منبع تغییر	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage
Temperature (T)	دما	7	6434.65**
Error 1	خطا ۱	8	14.16
Cultivar (C)	رقم	14	1265.20**
T × C	دما × رقم	98	113.20**
Error2	خطا ۲	232	21.38
CV%	ضریب تغییرات		*6.35*

**نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد است.

** Indicates a significant 1% probability level



شکل ۱. کمی سازی سرعت جوانه‌زنی در مقابل دماهای مختلف توسط مدل دوتکه‌ای در ارقام جو.

Fig. 1. Quantification of germination rate versus various temperature by segmented model in barely cultivars.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی ارقام جو در دماهای مختلف.

Table 3- Mean comparison of germination percentage of barely cultivars at different temperatures

نام رقم Cultivar Name		دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	*Difference
Aras	ارس	$^{B}76.0^{e}$	$^{B}78.00^{f}$	$^{A}88.00^{e}$	$^{A}88.00^{e}$	$^{A}90.00^{e}$	$^{C}65.00g$	$^{D}36.00^{g}$	0	54.00
Dasht	دشت	$^{E}80.0^{de}$	$^{D}84.00^{d}$	$^{B}94.00^{c}$	$^{A}97.00^{bc}$	$^{C}90.00^{e}$	$^{F}74.00^{e}$	$^{G}56.00^{f}$	0	41.00
Eram	ارم	$^{C}89.0^{b}$	$^{BC}92.00^{b}$	$^{B}94.00^{c}$	$^{A}98.00^{ab}$	$^{BC}92.00^{d}$	$^{D}84.00^{b}$	$^{C}89.33^{a}$	0	14.66
Fajr 30	فجر۳۰	$^{D}84.0^{dc}$	$^{C}88.00^{c}$	$^{A}98.00^{a}$	$^{A}97.33^{bc}$	$^{B}90.00^{e}$	$^{E}74.00^{e}$	$^{F}66.67^{c}$	0	31.33
Jonoob	جنوب	$^{C}81.3^{d}$	$^{B}88.00^{c}$	$^{A}96.00^{b}$	$^{A}97.33^{bc}$	$^{B}88.00^{f}$	$^{C}82.00^{bc}$	$^{D}53.33^{f}$	0	43.67
Karoon	کارون	$^{AB}92^{ab}$	$^{C}84.00^{d}$	$^{A}94.00^{c}$	$^{A}94.67^{d}$	$^{B}90.00^{e}$	$^{D}77.33^{dc}$	$^{E}56.00^{f}$	0	38.67
Nike	نیک	$^{AB}94^{a}$	$^{B}92.00^{b}$	$^{A}96.00^{b}$	$^{A}96.00^{dc}$	$^{A}96.00^{b}$	$^{C}80.00^{c}$	$^{D}68.00^{e}$	0	28.00
Nimrooz	نیمروز	$^{C}82.0^{d}$	$^{C}80.00^{e}$	$^{A}97.87^{a}$	$^{A}100^{a}$	$^{B}88.00^{f}$	$^{D}70.00^{f}$	$^{E}61.33^{e}$	0	39.67
Nosrat	نصرت	$^{D}76.0^{e}$	$^{C}84.00^{d}$	$^{A}98.00^{a}$	$^{A}96.00^{dc}$	$^{B}90.00^{e}$	$^{D}76.00^{de}$	$^{E}33.61^{e}$	0	36.67
Zarjoo	زرجو	$^{C}82.0^{d}$	$^{D}80.00^{e}$	$^{AB}98.00^{a}$	$^{A}100^{a}$	$^{B}96.00^{b}$	$^{E}76.00^{de}$	$^{E}76.00^{b}$	0	24.00
Sahra	صحرا	$^{D}54.7^{f}$	$^{C}60.00^{h}$	$^{A}76.00^{g}$	$^{A}77.33^{f}$	$^{B}64.00^{g}$	$^{E}42.67^{h}$	$^{F}30.67^{h}$	0	46.66
Sina	سینا	$^{C}89.3^{b}$	$^{A}98.00^{a}$	$^{B}94.00^{c}$	$^{B}94.67^{d}$	$^{AB}96.00^{b}$	$^{A}98.00^{a}$	$^{D}77.33^{b}$	0	20.67
Torkaman	ترکمن	$^{C}84.0^{dc}$	$^{B}92.00^{b}$	$^{C}84.00^{f}$	$^{A}96.00^{dc}$	$^{A}98.00^{a}$	$^{D}70.67^{f}$	$^{E}62.67^{de}$	0	35.33
Valfajr	والفجر	$^{C}82.7^{d}$	$^{D}72.00^{g}$	$^{B}90.00^{d}$	$^{A}94.67^{d}$	$^{A}94.00^{c}$	$^{D}70.67^{f}$	$^{E}65.33^{cd}$	0	29.34
Zahak	زهک	$^{C}88.0^{bc}$	$^{B}92.00^{b}$	$^{A}96.00^{b}$	$^{A}96.00^{dc}$	$^{A}98.00^{a}$	$^{D}78.00^{dc}$	$^{D}77.33^{b}$	0	20.67
**Difference		*39.99*	*38.00*	*22.00*	*22.67*	*34.00*	*55.33*	*58.33*	0	-

حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی هر رقم در دماهای مختلف و حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی هر دما در ارقام مختلف است.

* اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف به‌جز دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

**اختلاف درصد جوانه‌زنی بین ارقام مختلف در هر دما

The capital letters are the mean germination percentage of each cultivar at different temperatures, and the small letters are the mean germination percentage of each temperature in different cultivars.

* Difference between highest and lowest germination percentages at various temperatures except 40 °C

** Difference in germination percentage between different cultivars at each temperature

می و سونگ (Mei and song, 2008) گزارش کردند که بذرهای جو در مرحله جوانه‌زنی به دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد حساسیت شدیدی نشان می‌دهند. آن‌ها نشان دادند که پیش تیمار بذر در دماهای پایین موجب افزایش جوانه‌زنی در دمای بالا می‌گردد و علت آن را به تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی بذر در دمای پایین و افزایش تحمل به تنش اکسیداتیو در دمای بالا مرتبط دانستند.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود بذرهای قرارگرفته چهار رقم جو در دوره‌های زمانی مختلف در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، دارای درصد جوانه‌زنی متفاوتی پس از انتقال به دمای مطلوب بودند. به‌طورکلی، با افزایش دوره زمانی قرارگیری بذرها در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از ۲۴ ساعت هیچ بذری جوانه نزد. نتایج آزمون تترازولیوم نشان داد که کلیه بذرهای ارقام ارس، جنوب و صحرا قابلیت حیات خود را نیز در این شرایط از دست دادند. درحالی‌که در بذرهای رقم ارم قابلیت حیات بذرها بعد از ۴۸ ساعت به‌طور کامل از بین رفت. درصدی از بذرهایی که کمتر از ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، قادر به جوانه‌زنی در دمای مطلوب بودند و پاسخ ارقام در این مورد نیز متفاوت بود. با افزایش دوره قرارگیری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تا شش ساعت، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت که در سه رقم ارس، صحرا و جنوب مقدار کاهش جوانه‌زنی بیشتر از رقم ارم بود (شکل ۲). به‌طوری‌که درصد جوانه‌زنی در سه رقم ارس، صحرا و جنوب در دمای مطلوب پس از قرارگیری به مدت شش ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی-گراد در حدود ۲۰ درصد بود، اما در رقم ارم این مقدار در حدود ۷۰ درصد بود. با افزایش قرارگیری بذرها در دمای بالا از شش به ۱۲ ساعت جوانه‌زنی در رقم‌های ارس، صحرا و جنوب متوقف شد، درحالی‌که در رقم ارم جوانه‌زنی بذرها پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد متوقف شد. کاهش

www.SID.ir

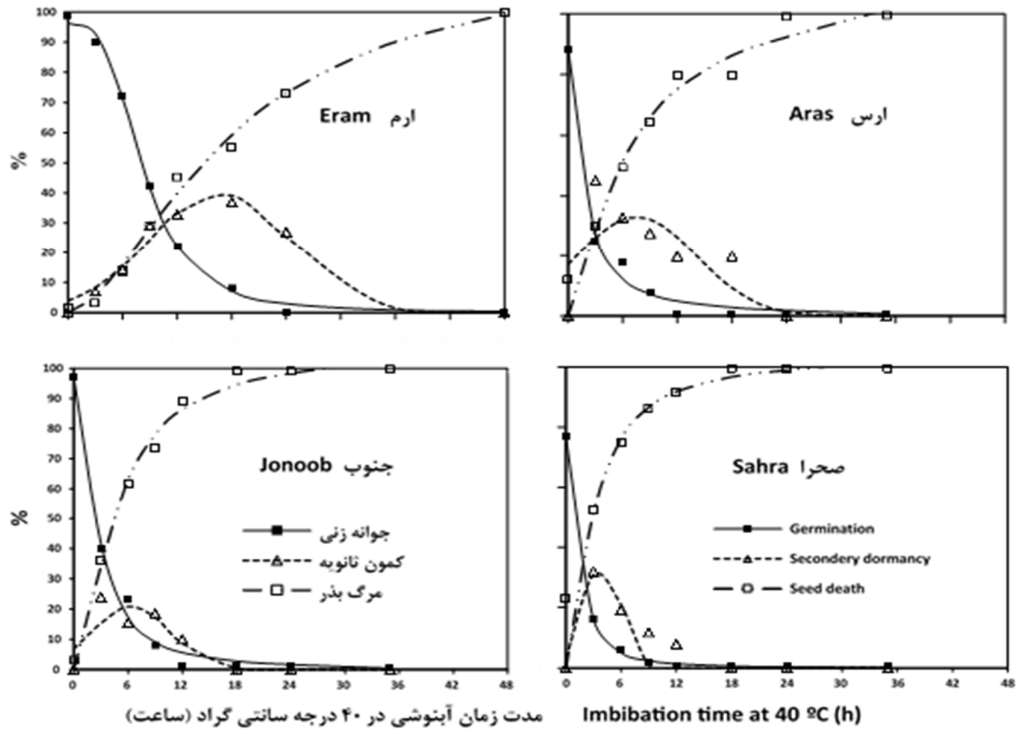
Archive of SID

قابلیت حیات بذرها در دوره‌های زمانی مختلف قرارگیری در دمای بالا، کم‌تر از کاهش درصد جوانه‌زنی بذرها بود (شکل ۲). اختلاف قابلیت جوانه‌زنی و قابلیت حیات بذرها در رقم-های ارس و ارم بیشتر از ارقام صحرا و جنوب بود. میزان مرگ بذرها در کلیه ارقام با افزایش زمان قرارگیری در دمای بالا افزایش یافت و در ارقام ارس، جنوب و صحرا کلیه بذرها پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد از بین رفتند درحالی‌که در رقم ارم این اتفاق بعد از ۴۸ ساعت قرارگیری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد (شکل ۲). اختلاف بین قابلیت جوانه‌زنی و قابلیت حیات، نشان‌دهنده وجود یک عامل بازدارنده جوانه‌زنی در بذر است که پس از انتقال بذرها از دمای بالا به دمای مطلوب مانع از جوانه‌زنی بذرها می‌شود. محققان این عامل را در بذر گیاهان مختلف بررسی و علت را نوعی از کمون ثانویه تحت عنوان کمون ناشی از قرارگیری در دمای بالا بیان کرده‌اند (Dutta and Bradford., 1994; Gallardo et al., 1994; Toh et al., 2008). با توجه به شکل ۲ علت کاهش جوانه‌زنی بذرهای جو با افزایش دوره قرارگیری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، بخشی به القای کمون ناشی از قرارگیری در دمای بالا و بخشی به مرگ بذرها ارتباط داشت. القای کمون در بذرهای جو از یک توزیع نرمال تبعیت کرد. به این صورت که میزان القای کمون در بذرها با افزایش مدت‌زمان قرارگیری بذرها در دمای بالا افزایش و سپس کاهش یافت. در مقابل درصد بذرهای مرده با افزایش مدت‌زمان قرارگیری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد. همچنین، میزان القای کمون در بذر رقم‌های مختلف متفاوت بود و بیشترین درصد القای کمون مربوط به رقم ارم و پس‌ازآن مربوط به رقم ارس بود. ارقام صحرا و جنوب نیز از درصد القای کمون ثانویه کمتری برخوردار بودند.

سازوکارهای مختلفی در القای کمون ناشی از قرارگیری بذرها در دمای بالا وجود دارد. برخی گزارش‌ها حاکی از آن است که آبنوشی بذرها در دمای بالا منجر به عدم شل شدن آندوسپرم و درنتیجه عدم خروج ریشه‌چه می‌شود و با برداشتن آندوسپرم، جوانه‌زنی در دمای بالا مشاهده می‌شود (Nascimento et al., 2001; Chen and Bradford, 2000). از طرفی ناسیمنتو و همکاران (Nascimento et al. 2004) علت عدم جوانه‌زنی بذرهای کاهو در دمای بالا را به کاهش مقدار اتیلن و به دنبال آن کاهش فعالیت آنزیم بتا مانانز در این شرایط ارتباط دادند؛ زیرا این آنزیم باعث شل شدن آندوسپرم می‌گردد. همچنین، تعادل هورمونی نیز نقش به سزایی در عدم جوانه‌زنی بذرها در صورت قرارگیری در دمای بالا ایفا می‌کنند. توه و همکاران (Toh et al., 2008) بیان داشتند که آبنوشی بذرها در دمای بالا، منجر به افزایش سنتز اسید آبسیزیک و کاهش سنتز جیبرلین و سیتوکینین می‌گردد. بدینگتون و توماس (Biddington and Thomas, 1978) گزارش کردند که عدم جوانه‌زنی بذرهای کرفس با کاهش هورمون جیبرلین و سیتوکینین ارتباط دارد و با کاربرد این دو هورمون، جوانه‌زنی بذرهای این گیاه در دمای بالا افزایش می‌یابد. لی‌ماری و همکاران (Leymarie et al. 2009) القای کمون ناشی از دمای بالا در بذرهای جو را بررسی کردند. نامبردگان بیان کردند تعادل هورمونی در بذرهای جو پس از قرارگیری در دمای بالا به‌هم‌ریخته و میزان اسید آبسیزیک افزایش و میزان جیبرلین طی این فرایند کاهش می‌یابد. همچنین، لی‌ماری و همکاران (Leymarie et al. 2008) گزارش کردند که ارقام مختلف جو می‌توانند دارای سطوح مختلفی از کمون اولیه و ثانویه باشند. گشنیزجانی و همکاران (Geshnizjani et al. 2018) بیان کردند با افزایش قرارگیری بذرهای گوجه‌فرنگی در دمای بالا جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. نامبردگان علت عدم جوانه‌زنی بذرها القای کمون ناشی از دمای بالا بیان کردند و بیان داشتند که با افزایش قرارگیری بذرهای گوجه‌فرنگی در دمای بالا، ژن‌های دخیل در سنتز اسید آبسیزیک افزایش و ژن‌های دخیل در سنتز جیبرلین و اتیلن کاهش می‌یابد که این افزایش و کاهش، با کاهش جوانه‌زنی در بذرهای گوجه‌فرنگی همراه بود. از طرفی، برخی گزارش‌ها بیانگر این مطلب است که عدم جوانه‌زنی بذرها در دمای بالا با مکانیسم فیتوکروم‌ها ارتباط دارد. زمانی که بذرها در دمای بالا در تاریکی آبنوشی می‌شوند، نسبت فیتوکروم Pr به فیتوکروم Pfr افزایش می‌یابد و زمانی که در این شرایط نور قرمز تابانده شود، بذرها جوانه می‌زنند. محققان بیان داشتند کاهش فعالیت آنزیم بتا مانانز در دمای بالا با سیستم فیتوکرومی و از طرفی سازوکار فیتوکروم‌ها با سنتز اتیلن و سیتوکینین در ارتباط است (Saini et al., 1989; Nascimento et al. 2000). این موضوع بیانگر این مطلب است که در برخی مواقع، عدم جوانه‌زنی بذرها در دمای بالا می‌تواند به دلیل واکنش فیتوکروم‌ها اتفاق بیفتد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. تغییرات درصد جوانه‌زنی، کمون ثانویه و مرگ بذرها پس از آبنوشی در دوره‌های زمانی مختلف در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در ارقام جو.

Fig. 2. Changes in germination, secondary dormancy and seed death after imbibition in different periods at 40 ° C in barley cultivars

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی، از نتایج این مطالعه می‌توان دریافت که بین ارقام مختلف جو ازلحاظ درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف اختلافاتی وجود داشت که این اختلافات در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌خصوص در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بسیار قابل‌توجه بود. این موضوع نشان‌دهنده حساسیت به دمای بالا در بذرهای جو است. همچنین، با بررسی دماهای کاردینال جوانه‌زنی مشخص شد اختلاف قابل‌توجهی بین ارقام جو ازلحاظ دمای پایه و دمای مطلوب وجود داشت، اما ازنظر دمای سقف اختلاف معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد. قرارگیری بذرها در دوره‌های زمانی متفاوت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد که علت عدم جوانه‌زنی بذرها در دمای بالا بخشی به مرگ بذر و بخشی به القای کمون ارتباط دارد. به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر می‌تواند موردتوجه اصلاحگران به‌منظور توجه به خصوصیات جوانه‌زنی ارقام مختلف و همچنین موردتوجه تولیدکنندگان بذر به‌منظور توصیه‌ی ارقام متناسب با شرایط تنش‌های دمایی دوره‌ی جوانه‌زنی و سبز شدن قرار بگیرد. درنهایت نیز با توجه به مطالعه حاضر، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به بررسی ژن‌های دخیل در بیوسنتز اسید آبسیزیک، جیبرلین و اتیلن شامل Fus3، NCED، GA3ox1 و ACS در شرایط مختلف دمایی در بذرهای جو با سطوح مختلف جوانه‌زنی در دماهای بالا توجه شود.

منابع

Alvarado, V., Bradford, K., 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Plant, Cell and Environment. 25, 1061-1069 .

Argyris, J., Dahal, P., Hayashi, E., Still, D.W., Bradford, K.J., 2008. Genetic variation for lettuce seed thermoinhibition is associated with temperature-sensitive expression of abscisic

www.SID.ir

Archive of SID

acid, gibberellin, and ethylene biosynthesis, metabolism, and response genes. Plant Physiology. 148, 926-947.

Argyris, J., Truco, M.J., Ochoa, O., McHale, L., Dahal, P., Van Deynze, A., Bradford, K.J., 2011. A gene encoding an abscisic acid biosynthetic enzyme (LsNCED4) collocates with the high temperature germination locus Htg6. 1 in lettuce (*Lactuca* sp.). Theoretical and Applied Genetics. 122, 95-108 .

Akram-Ghaderi, F., Soltani, A., Sadeghipour, H.R., 2008a. Cardinal temperature of germination in medical pumpkin (*Cucurbita pepo* conver pepo var. styriaca), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Asian Journal of Plant Science. 2, 101-109.

Akram-Ghaderi, F., Soltani, E., Soltani A., Miri, A.A., 2008b. Effect of priming on response of germination to temperature in cotton. Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 15, 44-51. [In Persian with English summary].

Bewley, J.D., Bradford, K.J. Hilhorst, H.W.M., Nonagaki, H., 2013. Seeds: physiology of development, germination and dormancy, 3th Edition. Springer. New York Heidelberg Dordrecht London. 392p.

Baskin, C.C., Baskin, J.M., 2001. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, California. 666p.

Biddington, N., Thomas, T., 1978. Thermodormancy in celery seeds and its removal by cytokinins and gibberellins. Physiologia Plantarum. 42, 401-405 .

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

Carrera, E., Holman, T., Medhurst, A., Dietrich, D., Footitt, S., Theodoulou, F.L., Holdsworth, M. J., 2008. Seed after-ripening is a discrete developmental pathway associated with specific gene networks in Arabidopsis. The Plant Journal. 53, 214-224 .

Chen, F., Bradford, K.J., 2000. Expression of an expansin is associated with endosperm weakening during tomato seed germination. Plant Physiology. 124, 1265-1274 .

Chen, S.Y., Chou, S.H., Tsai, C.C., Hsu, W.Y., Baskin, C.C., Baskin, J.M., Kuo-Huang, L.L., 2015. Effects of moist cold stratification on germination, plant growth regulators, metabolites and embryo ultrastructure in seeds of *Acer morrisonense* (Sapindaceae). Plant Physiology and Biochemistry. 94, 165-173 .

Corbineau, F., Rudnicki, R., Côme, D., 1988. Induction of secondary dormancy in sunflower seeds by high temperature. Possible involvement of ethylene biosynthesis. Physiologia Plantarum. 73, 368-373 .

Dutta, S., Bradford, K.J., 1994. Water relations of lettuce seed thermoinhibition. II. Ethylene and endosperm effects on base water potential. Seed Science Research. 4, 11-18 .

Eshraghi-Nejad, M., Bakhshandeh, A., Gharineh, M.H., Soltani, A., 2015. Quantification of Barley Emergence to Temperature. International Journal of Agriculture Innovations and Research. 3, 1318-1321 .

Gallardo, M., De Rueda, P.M., Matilla, A., Sánchez-Calle, I., 1994. The relationships between ethylene production and germination of Cicer arietinum seeds. Biologia Plantarum. 36(2), 201 .

Geshnizjani, N., Ghaderi-Far, F., Willems, L. A., Hilhorst, H. W., Ligterink, W., 2018. Characterization of and genetic variation for tomato seed thermo-inhibition and thermo-dormancy. BMC Plant Biology. 18, 229 .

Ghaderi-Far, F., Alimagham, S., Kameli, A., Jamali, M., 2012. Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) seed germination and emergence as affected by environmental factors and planting depth. International Journal of Plant Production. 6, 185-194 .

Ghaderi-Far, F., Soltani, E., 2015. Evaluation of seed germination in sesame genotypes in response to temperature: determination of cardinal temperatures and thermal tolerance. Iranian Journal of Filed Crop Science. 46, 473-483 [In Persian with English summary].

Hills, P.N., Van Staden, J., 2003. Thermoinhibition of seed germination. South African Journal of Botany. 69, 455–461.

Khaliliaghdam, N., Mirmahmoodi, T. Saedian, Sh., 2017. Critical temperature determination of flax seed germination (*Linum usitatissimum* L.) by nonlinear regression. Seed Research. 7: 41-49 [In Persian with English summary].

Khalili, N. Soltani, A. Zeinali, E. Ghaderi-Far, F., 2014. Evaluation of nonlinear regression models to quantify barely germination rate

www.SID.ir

Archive of SID

response to temrature and water potential. Journal of Crop Production. 4, 23-40 [In Persian with English summary].

Leymarie, J., Benech-Arnold, R. L., Farrant, J. M., Corbineau, F., 2009. Thermodormancy and ABA metabolism in barley grains. Plant Signaling and Behavior. 4, 205-207 .

Leymarie, J., Robayo-Romero, M.E., Gendreau, E., Benech-Arnold, R.L., Corbineau, F., 2008. Involvement of ABA in induction of secondary dormancy in barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds. Plant and Cell Physiology. 49(12), 1830-1838 .

Matthews, D., Hayes, P., 1982. Effect of temperature on germination and emergence of six cultivars of soybean (*Glycine max*). Seed Science and Technology. 10, 547-555 .

Mamedi, A., Tavakkol Afshari, R., Oveisi, M., 2017. Cardinal temperatures for seed germination of three Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. Iranian Journal of Field Crop Science. 48, 89-100 [In Persian with English summary].

Mei, Y., Song, S., 2008. Cross-tolerance is associated with temperature and salinity stress during germination of barley seeds. Seed Science and Technology. 36, 689-698 .

Mwale, S., Azam-Ali, S., Clark, J., Bradley, R., Chatha, M., 1994. Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus*). Seed Science and Technology. 22, 565-571.

Nascimento, W. M., Cantliffe, D. J., Huber, D. J., 2000. Thermotolerance in lettuce seeds: association with ethylene and endo-β-mannanase. Journal of the American Society for Horticultural Science. 125, 518-524 .

Nascimento, W.M., Cantliffe, D.J., Huber, D.J., 2001. Endo-β-mannanase activity and seed germination of thermosensitive and thermotolerant lettuce genotypes in response to seed priming. Seed Science Research. 11, 255-264 .

Nascimento, W.M., Cantliffe, D.J., Huber, D.J., 2004. Ethylene evolution and endo-beta-mannanase activity during lettuce seed germination at high temperature. Scientia Agricola. 61, 156-163 .

Saini, H.S., Consolacion, E.D., Bassi, P.K., Spencer, M.S., 1989. Control processes in the induction and relief of thermoinhibition of lettuce seed germination: actions of phytochrome and endogenous ethylene. Plant Physiology. 90, 311-315 .

Seefeldt, S. S., Kidwell, K. K., Waller, J. E., 2002. Base growth temperatures, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the US Pacific Northwest. Field Crops Research. 75, 47-52.

Soltani, A., Galeshi, S., Latifi, N., Zeynali, E., 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. Seed Science and Technology. 29, 653-662.

Skourti, E., Thanos, C.A., 2015. Seed afterripening and germination photoinhibition in the genus Crocus (Iridaceae). Seed Science Research. 25, 306-320 .

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

Soltani, E., Ghaderi-Far, F., Baskin, C.C., Baskin, J.M., 2016. Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. Australian Journal of Botany. 63, 631-635 .

Toh, S., Imamura, A., Watanabe, A., Nakabayashi, K., Okamoto, M., Jikumaru, Y., Tamura, N., 2008. High temperature-induced abscisic acid biosynthesis and its role in the inhibition of gibberellin action in Arabidopsis seeds. Plant Physiology. 146, 1368-1385 .

Torabi, B., Adibniya, M., Rahimi, A., 2015. Seedling emergence response to temperature in safflower: measurements and modeling. International Journal of Plant Production. 9, 393-412.

Vigil, M. F., Anderson, R., Beard, W., 1997. Base temperature and growing-degree-hour requirements for the emergence of canola. Crop Science. 37, 844-849 .

Willemsen, R. W., 1975. Effect of stratification temperature and germination temperature on germination and the induction of secondary dormancy in common ragweed seeds. American Journal of Botany. 62, 1-5 .

Xia, Q., Maharajah, P., Cueff, G., Rajjou, L., Prodhomme, D., Gibon, Y., El-Maarouf-Bouteau, H., 2018. Integrating proteomics and enzymatic profiling to decipher seed

www.SID.ir

Archive of SID

metabolism affected by temperature in seed dormancy and germination. Plant Science. 269, 118-125 .

Yoong, F.Y., O'Brien, L. K., Truco, M. J., Huo, H., Sideman, R., Hayes, R., Bradford, K. J., 2016. Genetic variation for thermotolerance in lettuce seed germination is associated with temperature-sensitive regulation of ETHYLENE RESPONSE FACTOR1 (ERF1). Plant Physiology. 170, 472-488 .

Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S. Sadati, S.J., 2010. Cardinal temperatures, response to temperature and range of thermal tolerance for seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Journal of Crop Production. 3: 23-42 [In Persian with English summary].

Zhang, R., Baskin, J.M., Baskin, C.C., Mo, Q., Chen, L., Hu, X., Wang, Y., 2017. Effect of population, collection year, after-ripening and incubation condition on seed germination of Stipa bungeana. Scientific Reports. 7, 13893. 1010, 75-85.

www.SID.ir

Archive of SID

University of Birjand

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 3, pp. 995-1007
Fall 2020
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2218.1561

Original Article

Quantification of temperature effects on germination and induction of secondary dormancy in barley cultivars

M. Malek [1], S. Hamidi [1], F. Ghaderi-Far[2*], M. Gorzin[3], M.H. Pahlavani[4], M. Esmaeilzadeh Moghaddam[5]

1. M.Sc. Graduated in Seed Science and Technology, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resource, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resource, Iran
3. Ph.D. Student in Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran
4. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resource, Iran
5. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Extension, Education and Research Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received 17 January 2019; Accepted 4 March 2019

Abstract

This study was conducted to investigate the temperature effects on germination rate and percentage as well as induction of dormancy in barley cultivars seeds. In this study, seeds of 15 barley cultivars at 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 °C were tested to calculate germination rate and percent with three replications. Germination rate was calculated by fitting the three-parameter logistic model to the cumulative germination data versus time, and finally, the cardinal temperature of the germination was estimated by segmented model. Results showed that there was a significant difference between the cultivars in terms of germination percentage at different temperatures and the highest differences were observed at high temperatures (especially at 35°C). Cardinal temperatures of germination were also different in cultivars. The base temperature varied from 1.61 to 4.34 °C in different cultivars. Also the optimum temperatures in Sahara, Aras and Eram cultivars were 23.15, 27.49 and 35.34 °C, respectively, and in other cultivars studied between 30-33 °C. On the other hand, the ceiling temperature was estimated about 40 °C in all cultivars, which was not significant differences between them. In this study, the reason for lack of germination in barley seeds at high temperatures was also investigated and the results indicated that non-germination at high temperature was partly due to the induction of secondary dormancy and at some extent related to the seed death after being exposed to high temperatures. The germinability and seed deaths respectively increased and decreased exponentially as duration of seed imbibition at high temperatures increased. On the other hand, induction of secondary seed dormancy followed a normal distribution, so that as imbibition duration at high temperatures increased, the capacity for dormancy induction first increased and then decreased.

***Keyword*:** Germination cardinal temperature, Germination rate, Temperature sensitivity, Thermo-dormancy, Thermo-inhibition

[*]Correspondent author: Farshid Ghaderi-Far; E-Mail: farshidghaderifar@yahoo.com.

www.SID.ir