"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد یازدهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠١
(ص ١٦-١)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 11, No.: 4, Winter 2023
(pp: 1-16)
DOI: 10.22092/ijsst.2022.359726.1446
Research Article

تاثیر هیدرو و اسموپرایمینگ بر بهبود جوانه‌زنی بذر کنجد رقم شوین (*Sesamum indicum* Lvar.shevin) در شرایط تنش خشکی

بهمن احمدوند[1]، فرزاد شریف زاده[2*]، مجتبی میراب زاده اردکانی[3]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. مربی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰؛ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۷/۱۲)

چکیده

در این تحقیق تأثیر پرایمینگ بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد رقم شوین (*Sesamum indicum* Lvar.shevin) در شرایط تنش خشکی بررسی گردید. ابتدا در دو آزمایش جداگانه، پاسخ جوانه‌زنی بذور به شرایط دمایی (۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس) و تنش خشکی (۹- ، ۱۱ - ، ۱۳- و ۱۵- بار) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج آزمایش اول دمای ۲۵ درجه سلسیوس به عنوان دمای اپتیمم جوانه‌زنی و همچنین پتانسیل ۱۱- بار به عنوان کمترین پتانسیل جوانه‌زنی بذور در شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شد. هیدرو و اسموپرایمینگ بذرها در سه دمای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس انجام شد و مدت زمان پرایم بر اساس نوع و دمای پرایم تعیین گردید. تیمار اسموپرایم کلریدکلسیم در سه غلظت ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و اسموپرایم نیترات‌پتاسیم در سه غلظت ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد انجام شد. پس از اعمال تیمارهای مذکور، بذرها در معرض تنش خشکی ۱۱- بار قرار گرفتند تا بهترین تیمارهای پرایمینگ از نظر بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی تعیین گردند. تیمارهای پرایمینگ به طور معنی‌داری خصوصیات جوانه‌زنی بذر را تحت تنش خشکی بهبود بخشیدند. در مجموع با توجه به نتایج آزمایش اعمال تیمار هیدروپرایم بر روی بذور کنجد رقم شوین بیشترین درصد جوانه‌زنی را به همراه داشت و با توجه به مزایای اقتصادی، راحتی و سازگاری با محیط زیست می‌تواند به عنوان یک تیمار مناسب برای گیاه کنجد توصیه گردد.

کلمات کلیدی: بذر کنجد، پرایمینگ بذر، تنش خشکی، جوانه‌زنی بذر

The effect of hydro and osmo priming treatments on germination traits enhancement of *Sesamum indicum* L var.shevin seeds under drought stress

B. Ahmadvand [1], F. Sharifzadeh[2]*, M. Mirabzadeh Ardakani [3]

1. M.Sc. Graduate of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Sep. 01, 2022 – Accepted: Oct. 04, 2022)

Abstract

In this research, Sesame (*Sesamum indicum* L var.shevin) seed germination characteristics under drought stress conditions influenced by different seed priming treatments were investigated. In two separate experiments, germination responses to different temperatures (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 ° C) and also different drought stresses (water potentials of -9, -11, -13 and -15 bar) were considered. Based on the results, 25 ° C was determined as optimum germination temperature. The -11 bar water potential was also determined as drought stress. Hydropriming and osmopriming of the seeds were performed at three temperatures of 20, 25 and 30 ° C. The duration of priming was determined based on the priming temperature and type. Calcium chloride osmopriming treatment was performed in three concentrations of 1, 2 and 3 mM. The seeds were primed using potassium nitrate in three concentrations of 0.1, 0.2 and 0.3%. After priming using the mentioned treatments, the seeds were dried out to initial seed moisture content and then subjected to drought stress (-11 bar) during germination period to determine the best priming treatments. Priming treatments significantly improved seed germination characteristics under drought stress. Overall, The results of this experiment demonstrated that use of hydropriming for the seeds of sesame had the highest germination features. So this treatment can be presented as an appropriate treatment for this plant as it is cost-effective, safe and eco-friendly.

Keywords: Seed germination, sesame seed, Drought stress, Seed priming

* Email: sharifz@ut.ac.ir

مقدمه

گیاهان در طول چرخه زندگی تنش‌های غیرزنده مختلفی را تحمل می‌کنند که تاثیر زیادی بر زنده‌مانی، رشد، مورفولوژی و تولید مثل گیاهان دارند (Radfar, 2004). تنش‌های محیطی از مهمترین عوامل تعیین کننده الگوی پراکنش گیاهی در سطح جهان هستند و تنش خشکی نیز به سهم خود تعیین کننده بخشی از این پراکنش در نظر گرفته می‌شود (Zabet *et al.*, 2003). ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و در حدود ۹۰٪ از سطح کشور در این اقلیم واقع شده است، بنابراین عملکرد گیاهان زراعی در نتیجه این نزولات جوی به شدت کاهش می‌یابد. وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان امری اجتناب ناپذیر است (Zabet *et al.*, 2003). اثر تنش خشکی بر فرآیند رشدی گیاهان مهم است، به این جهت گیاهانی که به منظور استفاده های دارویی و یا استفاده زراعی کشت می شوند، می‌بایست حداکثر سازگاری را با این شرایط داشته باشند، تنش خشکی می توانند به طورقابل ملاحظه‌ای جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها درچرخه زندگی گیاه تحت تاثیر قرار دهد. تنش خشکی زمانی در گیاه ادراک می‌شود که میزان آب دریافتی گیاه از اتلاف آن کمتر باشد. این امر ممکن است به علت اتلاف بیش از حد آب یا کاهش جذب یا هر دو مورد باشد (Sarmadnia and Koocheki,1989). تنش خشکی می‌تواند در کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی تأثیر گذار باشد. ناکافی بودن رطوبت لازم جهت جوانه‌زنی در لایه های سطحی خاک و به دنبال آن تنش خشکی در مرحله گیاهچه یکی از عوامل مهم در عدم استقرار مطلوب گیاه چه در مناطق خشک می‌باشد (Paulsen, 1987). ویرا و همکاران (Viera *et al.*, 1992) در آزمایش روی کنجد بیان کردند که تنش خشکی از طریق تأثیر مستقیم بر متابولیسم بذر، باعث کاهش حداکثری درصد جوانه‌زنی بذرهای به دست آمده می‌شود. بنابراین باید برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاه در مزرعه اقداماتی را قبل از کاشت انجام داد. یکی از روش‌های بسیار موثر که قدرت و استقرار گیاه‌چه‌ها و در نتیجه کارائی گیاه را در مزارع بهبود می‌بخشد، پرایمینگ بذر می‌باشد (Yarnia *et al*,2008). در جریان پرایمینگ، بذرها معمولا اجازه می‌یابندتا حد کمی (تا قبل از خروج ریشه‌چه) آب جذب کنند و سپس از آب خارج می‌گردند. میزان این آب آنقدر اندک است که مانع از تکمیل فرآیند جوانه‌زنی می‌شود، اما امکان وقوع یکسری فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در مرحله پیش از جوانه‌زنی را فراهم می‌آورد (Basra, 2003) کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) گیاهی است یک ساله از تیره کنجد (Pedaliaceae) که دانه و برگ آن به عنوان داروی گیاهی در طب سنتی کاربرد دارد و در صنایع داروسازی از آن به عنوان حلال در محلول‌های تزریقی عضلانی استفاده می‌شود و استعمال خارجی بر اندام‌های مختلف بدن دارد و یکی از دانه‌های روغنی و خوراکی مهم در کشاورزی سنتی نواحی گرم به شمار می‌رود. کنجد از گیاهان سودآور و راهبردی برای کشت در مناطق معتدل گرمسیری و نیمه گرمسیری می‌باشد (Gandhi, 2009). ویژگی تحمل به خشکی از مزیت عمده آن محسوب می‌شود، زیرا می‌توان آن را در مناطق تا حدودی خشک نیز کشت کرد. اطلاق کلمه تحمل به خشکی به این معنی نیست که با آب کم، محصول مناسبی می‌دهد. همچنین، کنجد در مراحل اولیه رشد، نسبت به خشکی فوق العاده حساس است (Seyed sharifi, 2007).به طور کلی، این گیاه به تنش‌های دمایی و رطوبتی حساس می‌باشد و عملکرد آن تحت تاثیر تنش، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند (Kumaresan and Nadarajan, 2010). با توجه به اهمیت بالای کنجد و نیاز کشور به تولید آن همچنین با توجه شرایط تغییر اقلیم و کمبود آب، باید تحقیقات بیشتری پیرامون مسائلی نظیر استفاده از تیمارهای بذری جهت افزایش جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه تحت

شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی انجام گیرد از این رو مطالعه حاضر با هدف بهبود جوانه‌زنی بذر کنجد با استفاده از تیمارهای مختلف پرایمینگ (هیدروپرایمینگ، پرایمینگ با کلریدکلسیم و نیترات پتاسیم) تحت شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی بذرها

بذر کنجد مورد مطالعه (رقم شوین)، از مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول تهیه شد. این تحقیق در قالب دو آزمایش جداگانه با اهداف: ۱- بررسی صفات جوانه‌زنی بذر کنجد در دماهای مختلف از ۱ تا ۴۰ درجه سلسیوس (به عنوان پیش آزمایش برای تعیین دمای بهینه جوانه‌زنی) ۲- بررسی اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذرگروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجراء گردید. قبل از آزمایش، جهت ضد عفونی بذرها از سدیم هیپوکلرید (وایتکس) نیم درصد به مدت ۲۰ ثانیه، استفاده شد و سپس بذرها سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. استریل نمودن پتری دیش‌های شیشه‌ای قبل از آزمایش با دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه صورت گرفت.

آزمون جوانه‌زنی بذر کنجد رقم شوین تحت تیمارهای مختلف دمایی

جهت بررسی اثر دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی، بذرهای کنجد در دماهای ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس در پتری دیش‌های پلاستیکی ۹ سانتی‌متری بر روی دو لایه کاغذ صافی و با افزودن ۷ میلی‌لیتر آب مقطر به هر پتری دیش کشت شدند. جهت انجام آزمون‌ها، آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار ۵۰ بذری انجام شد. شمارش بذرها به صورت روزانه در فواصل زمانی یکسان ۲۴ ساعته صورت گرفت و در هر روز تعداد بذرهای جوانه‌زده یادداشت گردید. جهت انجام آزمون‌ها دوره زمانی ثابت ۶ روز (بر اساس نتایج پیش آزمایشی، جوانه‌زنی بیش از این مدت افزایش نیافت) در نظر گرفته شد و پس از این مدت سایر شاخص‌های در نظر گرفته شده محاسبه و بررسی شدند.

آزمون جوانه‌زنی بذر کنجد رقم شوین تحت تنش خشکی

آزمایش تنش خشکی طبق دستورالعمل میشل - کافمن (Michel and kaufman, 1973) (رابطه ۱) با استفاده از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ (PEG[1]) در ۴ سطح ۹- ، ۱۱- ، ۱۳- و ۱۵- بار در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار ۵۰ بذری در پتری دیش‌های شیشه‌ای و بدون استفاده از کاغذ صافی (به طوری که ۵۰ درصد سطح بذرها خارج از محلول جوانه‌زنی بودند) و در شرایط دمایی بهینه برای تعیین پتانسیل آب مناسب جهت ارزیابی تیمارهای بذری انجام گرفت.

$$\Psi s = -(1/18\ 10^{-2})\ c - (-1/18\ 10^{-4})\ c^2 + (2/6\ 10^{-4})\ CT + (8/39\ 10^{-7})\ C^2T \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن Ψs: پتانسیل اسمزی بر حسب بار،C: غلظت پلی اتیلن گلایگول بر حسب گرم در کیلوگرم آب، T:درجه حرارت محیط بر حسب سلسیوس می‌باشد.

آزمون جوانه‌زنی بذرهای کنجد (رقم شوین) پرایم شده با تیمارهای مختلف پرایمینگ تحت تنش خشکی

از آنجا که پتانسیل و دمای مطلوب محلول‌های پرایم بسته به نوع گیاه و رقم آن تغییر می‌کند (Mauromical *et al.*, 1994) بنابراین زمان‌های تمامی

[1] Polyethylene Glycol

تیمارهای پرایم بذر باید به صورت تجربی تعیین می‌گردید (Taylor *et al.*, 1998). به همین دلیل پیش از انجام پرایم‌ها تمام زمان‌های مورد نیاز پرایم به وسیله پیش آزمایش تعیین شد. به طوری که پیش آزمایش‌ها در سه تکرار ۵۰ بذری که در هر پتری دیش شیشه‌ای ۷ میلی‌لیتر از محلول پرایم در غلظت‌های مشخص در سه دمای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس برای تست جوانه‌زنی قرار گرفتند. اثر تیمارهای مورد نظر هر ۲ ساعت بررسی شد و خروج دو میلی‌متر ریشه چه ملاک جوانه‌زنی قرار گرفت. هیدروپرایم بذور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در دو مدت ۲۴ و ۱۲ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در دو مدت ۱۶ و ۸ ساعت و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در دو مدت ۱۰ و ۵ ساعت انجام گردید. مدت پرایم نیز بر اساس دمای پرایم با انجام پیش آزمایش تعیین گردید. تیمار اسموپرایم با کلریدکلسیم در پتانسیل ۱۱- بار که طبق رابطه میشل - کافمن محاسبه شد در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در سه غلظت ۱ ، ۲ و ۳ میلی‌مولار بر لیتر و در دو مدت ۲۲ و ۱۱ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در سه غلظت ۱ ، ۲ و ۳ میلی‌مولار بر لیتر و در دو مدت ۱۴ و ۷ ساعت و همچنین در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در سه غلظت ۱ ، ۲ و ۳ میلی‌مولار بر لیتر و در دو مدت ۸ و ۴ ساعت انجام گرفت. در این آزمایش مدت پرایم نیز بر اساس دمای پرایم با انجام پیش آزمایش تعیین گردید. تیمار اسموپرایم با نیترات‌پتاسیم در پتانسیل ۱۱- بار که طبق رابطه میشل - کافمن محاسبه شد در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در سه غلظت ۰/۱ ، ۰/۲ و ۰/۳ درصد و در دو مدت ۲۲ و ۱۱ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در سه غلظت ۰/۱ ، ۰/۲ و ۰/۳ درصد و در دو مدت ۱۴ و ۷ ساعت و همچنین در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در سه غلظت ۰/۱ ، ۰/۲ و ۰/۳ درصد و در دو مدت ۸ و ۴ ساعت انجام گرفت. در این آزمایش مدت پرایم نیز بر اساس دمای پرایم با انجام پیش آزمایش تعیین گردید.

اندازه‌گیری صفات جوانه‌زنی

صفات مورد ارزیابی شامل درصد جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی نرمال (AOSA, 1986)، سرعت جوانه‌زنی، طول گیاه‌چه و وزن خشک گیاه‌چه بودند. بررسی جوانه‌زنی هر ۲۴ ساعت انجام شد و معیار جوانه‌زنی خروج ۲ میلی‌متر ریشه‌چه بود. متوسط مدت زمان جوانه‌زنی(MGT[1]) بذور از رابطه ۲ به دست آمد (Ellis and Roberts, 1980).

$$MGT = \Sigma(nt)/\Sigma(n) \qquad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه MGT: متوسط مدت زمان جوانه‌زنی، n: تعداد بذرهای جوانه زده جدید در هر روز، t: شماره روزی که شمارش انجام گرفته است. سرعت جوانه‌زنی از طریق معکوس رابطه ۱ محاسبه شد. برای بدست آوردن وزن خشک، گیاه‌چه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه قرار گرفتند.

تجزیه داده‌ها

تجزیه‌های آماری با نرم افزار SAS 9.4 صورت گرفت. آزمایش‌ها بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن (Duncan) در سطح ۱ درصد انجام شد و جداول توسط نرم افزار Word 2019 رسم گردید.

نتایج و بحث

آزمایش اول: واکنش جوانه‌زنی بذر کنجد رقم شوین تحت دماهای مختلف

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر دماهای مختلف بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین نتایج بدست آمده نشان داد که در تمامی صفات مورد بررسی کمترین میزان مربوط به دماهای ۱، ۵ ، ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس بود که از لحاظ آماری باهم تفاوتی نداشتند

[1] Mean Germinaton Time

(جدول ۲). مقایسه میانگین اثر دماهای مختلف بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد در دماهای ۲۵ ،۳۰ ، ۳۵، ۴۰ درجه سلسیوس بدون تفاوت آماری معنی‌دار با یکدیگر دارای بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) بودند. دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به طور معنی‌داری در مقایسه با سایر دماهای مورد آزمایش دارای بیشترین درصد جوانه‌زنی نرمال (۹۶ درصد) بود. به نظر می‌رسد تغییر در فعالیت‌های هورمونی، آنزیمی و در نتیجه تجزیه اندوخته بذری و انتقال آن به محور جنینی، علت حساسیت بالای جوانه‌زنی بذر کنجد رقم شوین به شرایط دمایی باشد. صفت سرعت جوانه‌زنی نیز مانند سایر صفات تحت تأثیر دمای جوانه‌زنی قرار گرفت، بیشترین سرعت جوانه‌زنی بذور (۰/۸۴) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس مشاهده شد که با دماهای دیگر اختلاف معنی‌دار داشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد تحت دماهای مختلف (درجه سلسیوس)

Table 1-Analysis of variance of seed germination traits of Sesamum under different temperatures

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Ms				
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(gr)
تیمار Treatment	8	6410.001**	4931.009**	0.554**	23.50**	0.000036**
خطای آزمایشی Error	18	0.25	0.148	0.00004	0.053	0.0000001
ضریب تغییرات (درصد) %CV	–	1.04	1.06	1.43	8.01	4.00031

**معنی‌داری در سطح ۱ درصد **Significant at 1% probability level.

از آنجایی که درجه حرارت تاثیر مستقیمی بر سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی دارد در نتیجه سرعت جوانه‌زنی پایین در درجه حرارت‌های پایین را می‌توان به پایین بودن سرعت فرآیندهای بیوشیمیایی نسبت داد (Espanani *et al.*,2021). مقایسه میانگین صفات مورد بررسی نشان داد که بین میانگین طول گیاهچه تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد که حداکثر میزان (۶/۵۷ سانتی‌متر) مربوط دمای ۲۵ درجه سلسیوس بود و همچنین بین دماهای ۲۰ ،۳۰ ، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس از لحاظ آماری تفاوتی نبود. همچنین بین میانگین وزن خشک تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد که بیشترین مقدار (۰۲۸/ گرم) مربوط دمای ۲۵ درجه سلسیوس بود. با توجه به اینکه بذر کنجد رقم شوین به دمای زیر بهینه حساسیت بیشتری نسبت به دماهای بالاتر از بهینه نشان داد تنش دمای پایین باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی، اختلال در روند مصرف مواد ذخیره‌ای و در نتیجه کاهش وزن خشک و طول گیاهچه در این گیاه می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش دمای ۲۵ درجه سلسیوس به عنوان دمای اپتیمم جوانه‌زنی در نظر گرفته شد.

جدول ۲- اثر دماهای مختلف بر صفات جوانه‌زنی بذر کنجد

Table 2- The effect of the different temperature on seed germination traits of Sesamum.

دما Temperature(°C)	صفات جوانه‌زنی Germination traits				
	درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(g)
1	0 c	0 f	0 d	0 c	0 e
5	0 c	0 f	0 d	0 c	0 e
10	0 c	0 f	0 d	0 c	0 e
15	0 c	0 f	0 d	0 c	0 e
20	81 b	76.70 e	0.78 c	4.94 b	0.012 d
25	100 a	96 a	0.84 a	6.57 a	0.028 a
30	100 a	94 b	0.81 b	4.34 b	0.024 b
35	100 a	91 c	0.82 b	4.82 b	0.015 c
40	100 a	89 d	0.81 b	4.98 b	0.012 d

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significant different ($\alpha \leq 0.01$) based on Duncan test.

آزمایش دوم: واکنش جوانه‌زنی بذر کنجد رقم شوین تحت تنش خشکی

پس از تعیین دمای بهینه، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس واکنش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد رقم شوین در سطوح مختلف خشکی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی بر روی همه شاخص‌های جوانه‌زنی اندازه‌گیری شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول۳). بررسی مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد که در مورد تمامی شاخص‌های جوانه‌زنی بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۰ درصد) مربوط به تیمار شاهد (بدون تنش) بود که با تیمار های دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. بذرهایی که در پتانسیل رطوبتی ۱۳- و ۱۵- بار بودند قادر به جوانه‌زنی نبوده و به طور معنی‌داری نسبت به سایر سطوح پتانسیل رطوبتی دارای کمترین مقادیر جوانه‌زنی بودند. بیشترین جوانه‌زنی نرمال (۸۲ درصد) مربوط به تیمار شاهد (بدون تنش) و کمترین آن مربوط به تنش خشکی ۱۱- بار بود.

در مورد صفت سرعت جوانه‌زنی تفاوت پتانسیل‌های آب ۹- و ۱۱- از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ولی در مورد سایر صفات مورد آزمایش تفاوت پتانسیل‌های آب ۹- و ۱۱- از لحاظ آماری معنی‌دار بود و بذرهای جوانه‌زده در پتانسیل ۹- بار به طور معنی‌داری نسبت به پتانسیل آب ۱۱- بار مقادیر بیشتری داشتند (جدول ۴). با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش، سطح خشکی ۱۱- بار به عنوان تنش خشکی جوانه‌زنی منظور گردید. فرید و همکاران (Farid *et al*., 2019) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی کاهش چشمگیری در شاخص‌های جوانه‌زنی بذر سویا مشاهده شد. مسیرهای بیوشیمیایی دخیل در میتوکندری و همچنین میزان فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی نقش مهمی در تحمل به تنش خشکی ایفاء می‌کنند. اثر تنش خشکی بر تنفس میتوکندریایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی بسته به

نوع گونه، مدت و شدت تنش متفاوت می‌باشد. افزایش فعالیت در آنزیم‌های تنفسی و آنتی‌اکسیدانتی سبب افزایش تحمل به شرایط تنش خشکی می گردد (Rezayian *et al.*, 2018).

جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 3-Analysis of variance of seed germination traits of Sesamum under drought srtess

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Ms				
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(gr)
تیمار Treatment	4	4154.26**	3675.56**	0.504**	24.08**	0.0005**
خطای آزمایشی Error	10	0.33	0.466	0.00006	0.055	0.00000018
ضریب تغییرات (درصد) %CV	–	2.07	3.06	5.52	8.38	2.99

**Significant at 1% probability level. ** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

جدول ۴- اثر تنش خشکی بر صفات جوانه‌زنی بذر کنجد

Table 4- The effect of the drought stress on seed germination traits of Sesamum

پتانسیل Bar	صفات جوانه‌زنی Germination traits				
	درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(gr)
0	90 ac	82.33 a	0.84 a	6.57 a	0.056 a
-9	31.66 bc	24 b	0.70 b	4.23 b	0.046 b
-11	17.33 c	5 c	0.66 b	3.2 c	0.040 c
-13	0 d	0 d	0 c	0 d	0 d
-15	0 d	0 d	0 c	0 d	0 d

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significant different ($\alpha \leq 0.01$) based on Duncan test.

آزمایش سوم: اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر بهبود صفات جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی هیدروپرایم

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر هیدروپرایم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که کاربرد تیمار هیدرو پرایم بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). هیدروپرایم بر روی بذر کنجد باعث افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی شد که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۶ درصد) مربوط به تیمار ۵ ساعت پرایم در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود و در مقایسه با سایر تیمارهای هیدروپرایم و شاهد (بدون پرایم) تفاوت معنی‌داری داشت .کمترین درصد جوانه‌زنی (۹ درصد) مربوط به تیمار شاهد (بدون پرایم) بود که به طور معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارهای مورد آزمایش جوانه‌زنی کمتری داشت. بیشترین (معنی‌دار در مقایسه با سایر تیمارها) درصد جوانه‌زنی نرمال (۹۱ درصد) نیز در تیمار ۵ ساعت پرایم در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و کمترین آن (۵ درصد) مربوط به تیمار شاهد (بدون پرایم) بود که به طور معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارهای مورد آزمایش جوانه‌زنی کمتری داشت (جدول۶).

جدول ۵ - تجزیه واریانس تأثیر هیدروپرایم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 5-Analysis of variance of hydropriming treatment on seed germination traits of Sesamum under drought stress

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Ms				
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(gr)
تیمار Treatment	6	2938.04**	2892.33**	0.013**	22.062**	11.330**
خطای آزمایشی Error	14	11.9	11.04	0.0005	0.071	0.026
ضریب تغییرات (درصد) %CV	–	7.27	8.04	9.904	4.444	3.79

**Significant at 1% probability level. ** معنی‌داری در سطح ۱درصد

مقایسه میانگین اثر هیدروپرایم بر روی بذر کنجد باعث افزایش شاخص سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی شد و بیشترین سرعت آن (۰/۳) مربوط به بذرهایی بود که در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بدون توجه به مدت پرایم نگهداری شده بودند. البته این تیمارها با پرایمینگ در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۸ ساعت تفاوت معنی‌داری نداشتند. کمترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۱۱) مربوط به تیمار شاهد (بدون پرایم) بود که به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای مورد آزمایش سرعت کمتری داشت. نتایج حاصل از تأثیر تنش خشکی بر روی صفت طول گیاهچه نشان داد که بیشترین طول گیاهچه (۱۰ سانتی‌متر) مربوط تیمار۵ ساعت پرایم در دمای ۳۰ درجه

سلسیوس بود و نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به طور معنی‌داری طول گیاه‌چه‌های بیشتری داشت. کمترین طول گیاه‌چه (۳/۲۰ سانتی‌متر) مربوط به بذرهایی بود که در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و به مدت ۱۶ ساعت پرایم شدند که به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای مورد آزمایش از جمله شاهد طول گیاه‌چه کمتری داشت. بیشترین وزن خشک (۰/۰۳ گرم) گیاه‌چه مربوط به تیمار ۵ ساعت پرایم در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود که نسبت به سایر تیمارهای مورد آزمایش تفاوت آماری معنی‌داری داشت. کمترین وزن خشک گیاه‌چه (۰/۰۰۴ گرم) مربوط به تیمار شاهد (بدون پرایم) بود که به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای مورد آزمایش، وزن خشک کمتری داشت.(جدول ۶). خزایی و همکاران (Khazaie *et al.*, 2013) اثرات مثبت هیدروپرایمینگ را ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌ها در محور جنینی دانسته‌اند. در این شرایط افزایش انتقال مواد ذخیره‌ای از جمله اسیدآمینه‌های آزاد، پروتئین‌ها و ترکیبات قندی به سمت محور جنینی اتفاق می‌افتد و مقدمات جوانه‌زنی زودهنگام را فراهم می‌کند.

جدول ۶- تأثیر پرایمینگ با هیدروپرایم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 6- Effect of hydropriming treatment on seed germination traits of Sesamum under drought stress

تیمار پرایم Priming treatment	دما Temperature	مدت پرایم(ساعت) Priming time(h)	غلظت پرایم Priming concentration(%)	صفات جوانه‌زنی Germination traits: درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاه‌چه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاه‌چه (گرم) Seedling dry weight(gr)
	20	24	0	32d	27d	0.234b	5e	0.019cd
	20	12	0	26.66d	21.66d	0.220b	5.9c	0.018d
هیدروپرایم	25	16	0	30.66d	26.33d	0.239b	2.34g	0.021b
Hydropriming	25	8	0	46.66d	43.66c	0.2867a	6.33d	0.018d
	30	10	0	80.66b	75.66b	0.292a	8.23b	0.02bc
	30	5	0	96a	91a	0.303a	10a	0.03a
شاهد Control	25	-	0	9e	5e	0.111c	3.20f	0.004e

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significant different ($\alpha \leq 0.01$) based on Duncan test

نیترات‌پتاسیم

جدول تجزیه واریانس اثر نیترات‌پتاسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی (پتانسیل ۱۱- بار) نشان داد که کاربرد تیمارهای مختلف نیترات‌پتاسیم بر تمام شاخص‌های جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۷).

کمترین درصد جوانه‌زنی (۹ درصد) و جوانه‌زنی نرمال (۵ درصد)مربوط به تیمار شاهد (بدون پرایم) بود و نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به طور معنی‌داری ($\alpha<0/01$) از مقادیر کمتری برخوردار بود. مقایسه میانگین تیمار نیترات‌پتاسیم تحت تنش خشکی نشان داد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۲۷) مربوط به غلظت ۰/۳ درصد به

مدت ۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود که با برخی از تیمارهای آزمایشی از جمله شاهد (بدون پرایم) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین میزان سرعت جوانه‌زنی (۰/۱۱) برای تیمار شاهد (بدون پرایم) بدست آمد .بیشترین طول گیاه‌چه (۸/۹ سانتی‌متر) مربوط به تیمار اسموپرایم با غلظت ۰/۲ درصد نیترات‌پتاسیم و مدت زمان پرایم ۴ ساعت و دمای پرایم ۳۰ درجه سلسیوس بود که نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی از جمله شاهد (بدون پرایم) دارای تفاوت آماری معنی‌داری بود ($\alpha<0/01$). اثر نیترات‌پتاسیم بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی نشان از آن داشت که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۳ درصد) و جوانه‌زنی نرمال (۷۰ درصد) مربوط به پرایمینگ بذر با غلظت ۰/۳ درصد نیترات‌پتاسیم در مدت زمان ۴ ساعت و دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود و این تیمار نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی از جمله شاهد تفاوت معنی‌داری داشت ($\alpha<0/01$).

کمترین طول گیاه‌چه (۱/۶۳ سانتی‌متر) مربوط به تیمار پرایمینگ بذر با غلظت ۰/۲ درصد در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۷ ساعت بود که با تعداد زیادی از تیمارهای آزمایشی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. بررسی مقایسه میانگین صفات بدست آمده نشان داد که بیشترین وزن خشک گیاه‌چه (۰/۰۲۷ گرم) مربوط به تیمار اسموپرایم با نیترات‌پتاسیم در غلظت ۰/۱ درصد و مدت زمان ۴ ساعت و دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود البته این تیمار با پرایمینگ در غلظت ۰/۳ درصد در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت تفاوت آماری معنی‌داری نداشت ولی اختلاف آن با سایر تیمارهای آزمایشی از جمله شاهد (بدون پرایم) از نظر آماری ($\alpha<0/01$) معنی‌دار بود.

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر پرایمینگ با نیترات‌پتاسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 7-Analysis of variance of nitrate potassium priming on seed germination traits of Sesamum under drought stress

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Ms				
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاه‌چه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاه‌چه (گرم) Seedling dry weight(gr)
تیمار Treatment	18	949.09**	1009.36**	0.0037**	8.030**	0.000105**
خطای آزمایشی Error	38	0.855	1.03	0.0020	0.0129	0.000005
ضریب تغییرات (درصد) %CV	–	2.134	2.56	20.93	6.136	15.84

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significant different ($\alpha\leq0.01$) based on Duncan test

جدول ۸- تأثیر پرایمینگ با نیترات‌پتاسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 8-Effect of nitrate potassium priming on seed germination traits of Sesamum under drought stress

تیمار پرایم Priming treatment	دما Temperature	مدت پرایم(ساعت) Priming time(h)	غلظت پرایم Priming concentration(%)	صفات جوانه‌زنی Germination traits				
				درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(g)
نیترات‌پتاسیم Nitrate potassium	20	22	0.1	23.5r	19.5p	0.238ab	2.5ef	0.013cd
	20	22	0.2	24.67p	20.67op	0.218ab	2.13g	0.011de
	20	22	0.3	26.33q	22.33o	0.185bc	2.13g	0.011de
	20	11	0.1	28.67o	24.67n	0.237ab	2.2fg	0.102de
	20	11	0.2	31n	26n	0.203ab	2.1g	0.009d-f
	20	11	0.3	33m	28m	0.204ab	2.2fg	0.012c-e
	25	14	0.1	36k	31l	0.220ab	2.2fg	0.009d-f
	25	14	0.2	39j	34k	0.240ab	2.2fg	0.009d-f
	25	14	0.3	36.67l	37.67j	0.195ab	3.13g	0.006fg
	25	7	0.1	45h	42i	0.186bc	2.56e	0.20b
	25	7	0.2	48g	45h	0.196ab	1.63h	0.009d-f
	25	7	0.3	42i	48g	0.217ab	2.2fg	0.008d-f
	30	8	0.1	56f	53f	0.214ab	3.23d	0.016c
	30	8	0.2	59e	56e	0.232ab	2.23fg	0.012de
	30	8	0.3	63d	60d	0.2180ab	3.23d	0.013cd
	30	4	0.1	65c	62c	0.245a	6.76b	0.027a
	30	4	0.2	70b	67b	0.253ab	8.9a	0.022b
	30	4	0.3	73a	70a	0.279a	5.06c	0.024ab
شاهد Control	25	-	-	9s	5q	0.111c	3.20d	0.004g

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significant different ($\alpha \leq 0.01$) based on Duncan test

کمترین وزن خشک (۰/۰۰۴گرم) نیز برای تیمار شاهد بود که با تیمار غلظت ۰/۳ درصد در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۴ ساعت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). اثر مثبت تیمار نیترات پتاسیم بر جوانه‌زنی بذرها احتمالا به دلیل تعادل هورمونی در بذر و کاهش مواد بازدارنده رشد می‌باشد. نیترات پتاسیم نقش مهمی در تشکیل پروتوپلاسم و سلول‌های جدید ایفاء می‌کند و سبب افزایش در طول گیاهچه می‌شود. همچنین پتاسیم عنصری ضروری در جهت رشد گیاهچه می‌باشد (Mansouri and Omidi., 2018).

کلریدکلسیم

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کلریدکلسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی (پتانسیل ۱۱- بار) نشان داد که کاربرد تیمارهای مختلف کلریدکلسیم بر همه شاخص‌های جوانه‌زنی مورد بررسی

در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۹). اثر این تیمار نشـان داد که بیشـترین درصـد جوانه‌زنی (۸۳ درصـد) و جوانه‌زنی نرمال (۸۰ درصد) از تیمار پرایمینگ با غلظت ۱ میلی‌مولار در طی زمـان ۴ ســاعـت و دمـای ۳۰ درجـه سـلسـیوس بود و کمترین درصـد جوانه‌زنی (۹ درصـد) و درصـد جوانه‌زنی نرمال (۵ درصـد) از تیمار شـاهد بدست آمـد. بیشـــترین ســـرعـت جوانه‌زنی (۰/۴۷) مربوط تیمار اسـموپرایم با کلریدکلسیم و غلظت ۱ میلی‌مولار در مدت زمان ۴ سـاعت و دمای ۳۰ درجه سـلسیوس بود و کمترین سـرعت جوانه‌زنی (۰/۱۱) مربوط به تیمار شـاهد بود که با تیمار با غلظت ۳ میلی‌مولار به مدت ۲۲ ســاعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج بدست آمده نشـان داد که بیشترین طول گیاه‌چه (۱۰/۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار اسموپرایمینگ با پرایم غلظت ۱ میلی‌مولار در مدت زمان ۴ سـاعت و دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود و کمترین طول گیـاه‌چـه (۲/۰۸ ســانتی‌متر) مربوط تیمـار اسـموپرایم به کلریدکلسیم و غلظت ۳ میلی‌مولار در مدت زمان ۲۲ ساعت و دمای ۲۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید کـه بـا پرایم غلظـت‌هـای ۱۱ ســاعـت دمـای ۲۰ درجه و غلظـت‌هـای ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار مـدت زمـانی ۷ و ۱۴ ســاعـت دمای ۲۵ درجه و غلظت ۲/ میلی‌مولار مدت ۲۲ ساعت دمای ۲۰ درجه تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۹- تجزیه واریانس تأثیر پرایمینگ با کلریدکلسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 9-Analysis of variance of choloride calcium priming on seed germination traits of Sesamum under different drought stress

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Ms				
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(g)
تیمار Treatment	18	1247.105**	1315.15**	0.0364**	10.401**	0.0005**
خطای آزمایشی Error	38	1.22	1.12	0.00004	0.029	0.000005
ضریب تغییرات (درصد) %CV	–	2.508	2.74	2.04	5.52	15.844

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

**Significant at 1% probability level.

بیشترین وزن خشک گیاه‌چه (۰/۰۳ گرم) مربوط تیمار اسـموپرایم با کلریدکلسیم و غلظت ۱ میلی‌مولار در مدت زمان ۴ سـاعت و دمای ۳۰ درجه سـلسیوس بود و کمترین وزن خشک گیاه‌چه (۰/۰۰۴ گرم) مربوط به شاهد بود که از لحاظ آماری با سـایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشـت (جـدول ۱۰). غلظـت و مـدت پرایم همراه بـا نوع گونه بر بهینـه‌ســازی اثر تیمـار کلریـدکلســیم نقش مهمی دارد. پرایمینگ با کلریدکلسیم به طور کلی سبب افزایش غلظت K^+ و Ca^{2+}، افزایش فعـالیـت آنزیم α-آمیلاز و کـاهش مـیـزان مـواد قـنـدی در بـذر و گـیـاه‌چـه مـی‌گـردد (Kacszmarek *et al.*, 2017).

جدول ۱۰- تأثیر پرایمینگ با کلریدکلسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 10-Effect of calcium choloride priming on seed germination traits of Sesamum under drought stress

تیمار پرایم Priming treatment	دما Temperature	مدت پرایم(ساعت) Priming time(h)	غلظت پرایم Priming concentration(mM)	صفات جوانه‌زنی Germination traits				
				درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(gr)
کلرید کلسیم Choloride calcium	20	22	1	25n	20n	0.210l	2.83g	0.024b
	20	22	2	23o	18o	0.154m	2.2hi	0.008gh
	20	22	3	19p	14p	0.119n	2.08i	0.021c
	20	11	1	23k	29k	0.289i	2.26hi	0.006h
	20	11	2	30l	26l	0.2466j	2.16hi	0.007gh
	20	11	3	28m	24m	0.221k	2.26hi	0.009g
	25	14	1	39i	35i	0.336g	2.2hi	0.006h
	25	14	2	36j	32j	0.31h	2.2hi	0.006h
	25	14	3	32k	29k	0.294i	2.53gh	0.011f
	25	7	1	46g	43g	0.375e	2.4hi	0.020c
	25	7	2	43h	40h	0.348f	2.26hi	0.018d
	25	7	3	39i	36i	0.317h	4.36e	0.008gh
	30	8	1	58d	55.33	0.425c	3.4f	0.024b
	30	8	2	55e	52e	0.401d	4.76d	0.021c
	30	8	3	52f	48.66f	0.395d	6.13c	0.021c
	30	4	1	83a	80.33a	0.479a	10.1a	0.080a
	30	4	2	79b	76.33b	0.453b	8.56b	0.025b
	30	4	3	73c	70.33c	0.418c	5.93c	0.016e
شاهد Control	25	0	0	9q	5q	0.111n	3.20f	0.004i

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significant different ($\alpha \leq 0.01$) based on Duncan test

انتخاب بهترین تیمار

نتایج جدول تجزیه واریانس بهترین تیمارهای پرایم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی (پتانسیل ۱۱- بار) نشان داد کاربرد بهترین تیمارهای مختلف پرایم (در دماها، غلظت‌ها و زمان‌های متفاوت) بر تمام شاخص‌های جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱۱). مقایسه میانگین اثر بهترین تیمارهای پرایم در شرایط تنش خشکی (پتانسیل ۱۱- بار) بر شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد که در تمامی صفات کمترین میزان مربوط به تیمار شاهد بود که از نظر آماری با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۶ درصد) و جوانه‌زنی نرمال (۹۰ درصد)مربوط به تیمار هیدروپرایم به مدت ۵ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای پرایم داشت. بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۲۹) مربوط به تیمار

هیدروپرایم مدت ۵ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای پرایم نداشت ولی تفاوت این تیمار با شاهد (بدون پرایم) از لحاظ آماری معنی‌دار بود. بررسی صفات نشان داد که بیشترین طول گیاه‌چه (۱۰/۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار کلریدکلسیم با غلظت ۱ میلی‌مولار و مدت ۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای پرایم داشت. همچنین بیشترین وزن خشک گیاه‌چه (۰/۰۳۰ گرم) مربوط به تیمار کلریدکلسیم با غلظت ۱ میلی‌مولار و مدت زمان ۴ ساعت دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود. در تیمار هیدروپرایم اثرات مفید و معنی‌داری در شاخص‌های مورد بررسی مشاهده شد. هیدروپرایمینگ باعث بهبود جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی شد. بنابراین هیدروپرایمینگ می‌تواند جهت بهبود جوانه‌زنی کنجد مورد استفاده قرار گیرد. از آن جایی که استفاده از این تیمار ساده و ارزان است و احتیاج به مواد شیمیایی پرهزینه برای تیمار بذر نیست، بنابراین استفاده از آن در سطح وسیع مقرون به‌صرفه و برای کشت امکان پذیر است.

جدول ۱۱ - تجزیه واریانس اثر بهترین تیمارهای پرایمینگ بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 11-Analysis of variance of best priming treatments on seed germination traits of Sesamum under drought stress

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین صفات Ms: درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاه‌چه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاه‌چه (گرم) Seedling dry weight(gr)
تیمار Treatment	5	2494.32**	2480.62**	0.0157**	20.07**	2.442**
خطای آزمایشی Error	12	56.88	56.88	0.0031	0.099	0.0083
ضریب تغییرات (درصد) %CV	–	12.04	12.75	18.01	4.47	4.23

**Significant at 1% probability level. ** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

به طور کلی پرایمینگ با افزایش فعالیت میتوزی (تقسیم سلولی) و همچنین افزایش تعداد سلول‌ها در ریشه‌چه و ساقه‌چه، منجر به افزایش تجمع ماده خشک سلولی و در نتیجه افزایش طول گیاه‌چه می‌گردد (Yan-Yan *et al.*, 2010). نتایج بدست آمده از عکس العمل جوانه‌زنی به دماهای مختلف نشان داد که بهترین دمایی که در آن تمام شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری با دماهای دیگر داشت دمای ۲۵ درجه سلسیوس بود که به عنوان دمای بهینه انتخاب گردید. نتایج بدست آمده در تنش خشکی نشان داد که بهترین تیمارهای انتخاب شده در تنش خشکی عبارت بودند از: هیدروپرایم ۵ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در پتانسیل ۱۱- بار، اسموپرایم کلریدکلسیم با غلظت ۳ میلی‌مولار در لیتر به مدت ۴ ساعت و دمای ۳۰ درجه سلسیوس و پتانسیل ۱۱- بار، اسموپرایم نیترات‌پتاسیم به ترتیب با غلظت ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد به مدت ۴ ساعت و دمای ۳۰ درجه سلسیوس و پتانسیل ۱۱- بار، در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین درصد جوانه‌زنی بودند.

جدول ۱۲ - اثر بهترین تیمارهای پرایمینگ بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کنجد تحت تنش خشکی

Table 12-Effect of best priming treatments on seed germination traits of Sesamum under different drought stress

تیمار پرایم Priming treatment	دما Temperature	مدت پرایم(ساعت) Priming time(h)	غلظت پرایم Priming concentration(%)	غلظت پرایم Priming concentration(mM)	صفات جوانه‌زنی Germination traits				
					درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی نرمال Normal germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight(gr)
شاهد Control	25	-	_	_	9c	5c	0.103b	3.13f	0.004e
هیدروپرایم Hydroprime	30	5	_	_	96a	91a	0.292a	8.23c	0.020d
کلرید کلسیم Choloride calcium	30	4	_	1	62.67b	59.66b	0.296a	10.1a	0.030a
نیترات پتاسیم Nitrate potassium	30	4	0.1	_	65b	65b	0.245a	6.76d	0.027b
	30	4	0.2	_	70b	67b	0.253a	8.9b	0.022d
	30	4	0.3	_	73b	70b	0.279a	5.06e	0.024c

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significant different ($\alpha \leq 0.01$) based on Duncan test

سپاسگزاری

بدینوسیله از مساعدت مالی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشــگاه تهران جهت اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

Reference

Association of Official Seed Analysts. 1986. Rules for seed testing. J. Seed Technol.13:1–126.

Basra, S.M., A.M. Farooq, and A. Khaliq. 2003. Comparative study of pre-sowing seed enhancement treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.) Pakistan J. Life Soc. Sci. 20: 372-400.

Ellis, R.H., and E.H. Roberts. 1980. Towards rational basis for testing seed quality, Hebblethwaite, P (Doctoral dissertation, D.(Ed.), Seed Production, Butterworths, London, 605–635.

Farid, Z., and F. Sharifzade. 2019. The effect of priming on soybean seed germination under drought and low temperature stresses and the impacts of storage conditions on seed quality.M.Sc thesis, The University of Tehran. (In Persian)

Gandhi, A.P. 2009. Simplified process for the production of sesame seed (*Sesamum indicum* L.) butter and its nutritional profile. Asian J. Food . Agro Ind. 2(1): 24-27.

Kaczmarek, M., O. Fedorowicz-Strońska, K. Głowacka, A. Waśkiewicz, and J.Sadowski. 2017. $CaCl_2$ treatment improves drought stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). Acta Physiol Planta. 39(1): 1-11.

Khazaie, H., H.Earl, S. Sabzevari, J. Yanegh, and M. Bannayan. 2013. Effects of osmo-hydropriming and drought stress on seed germination and seedling growth of rye (*Secale montanum*). ProEnvironment Promediu: 6(15).

Kumaresan, D., and N. Nadarajan. 2010. Genotype x environment interactions for seed yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L). Electron. J. Plant Breed. 1: 1126-1132.

Mansouri, A., and H.Omidi. 2018. Effect of Chitosan Nano Particle and Potassium Nitrate on Germination and Some Morpho-physiological Characteristics of Seedlings of Quinoa (*Chenopodium quinoa*). Iranian J. Seed Res. 5(1) :147-159.

Mauromicale, G., and V. Cavallaro. 1996. Effects of seed osmopriming on germination of three herbage grasses at low smed SH-2 sweet corn seeds. Sci Hortic. 98/99-111.

Michel, B.E., and M.R. Kaufman. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiol. 51: 914-916.

Paulsen, G. M., 1987. Wheat stand establishment. Wheat and wheat important American Society Agro. USA.

Radfar, H. 2004. The evaluation of cold stress on germination and seedling stage of rice in control condition of Mazandaran area. M. Sc. Thesis. Islamic Azad University. Varamin Branch, Tehran, Iran. (In Persian).

Rezayian, M., V. Niknam, and H. Ebrahimzadeh. 2018. Effects of drought stress on the seedling growth, development, and metabolic activity in different cultivars of canola. Soil Sci. Plant Nutr. 64(3): 360-369.

Sarmadnia, Gh.H., and A. Koocheki. 1989. Crop Physiology. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran. (In Persian).

Seyed sharifi, R. 2007. Industrial plant. Mohaghegh Ardabili. Press, Ardabil, Iran.(In Persian).

Espanany, A., F. Sharifzadeh, , and M. R. Naghavi. 2021. The effect of different priming treatments on germination traits of *Securigera securidaca* seeds under low temperature stress. Iranian J. Seed Sci . Technol. 10(3): 101-119.

Taylor, A. G., P. S. Allen, M. A. Bennett, K. J. Bradford, J. S. Burris, and M. K. Misra. 1998. Seed enhancements. Seed Sci. Res. 8: 245-256.

Vieira, R. D., D. M. Tekrony, and D. B. Egli. 1992. Effect of drought and defoliation stress in the field in the on-soybean seed germination and vigour. J. Crop Sci. 32: 471.

Yarniya, M., V. Ahmadzadeh, A. Farajzadeh Memari Tabrizi, and N. Noori. 2008. Effect of priming and seed size and treated with tumbleweed extract on germination and growth of soybean. In: Proceedings of the First National Conference on Seed Science and Technology of Iran. University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian)

Yuan-Yuan., S. U. N., S. U. N.Yong-Jian, W. A. N. G. Ming-Tian, L. I. Xu-Yi, G. U. O. Xiang, H. U. Rong, and M. A. Jun. 2010. Effects of seed priming on germination and seedling growth under water stress in rice. Acta Agronomica Sinica. 36(11): 1931-1940.

Zabet, M., A.H. Hosein Zade, A. Ahmadi, and F. Khialparas. 2003. Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vigna radiata*). Iranian J. Agric. Sci. 34 (4): 889-898. (In Persian)