

اثر پرایمینگ بذر بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر و اجزاء عملکرد دانه در ارقام مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش خشکی

Effect of Seed Priming on Germination, Biochemical Indices and Yield Components of Seed in Different Cultivars of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Drought Stress

میترا آیینی^۱، حسین حیدری شریف‌آباد^۲، مجتبی یوسفی‌راد^{۳*}، اسلام مجیدی هروان^۴ و حمید مدنی^۵

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۵

(مقاله پژوهشی)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر شیوه‌های مختلف پرایمینگ بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی، خصوصیات بیوشیمیایی و اجزای عملکرد سه رقم گلرنگ در شرایط تنش خشکی، دو آزمایش به‌مزرعه‌ای (به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی) و آزمایشگاهی (به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی) با سه تکرار اجرا گردید. در شرایط مزرعه، عوامل آزمایشی شامل تنش خشکی در دو سطح آبیاری کامل در طول فصل رشد و قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی به‌عنوان عامل اصلی، پرایمینگ بذر (اسموپرایمینگ، هیدروپرایمینگ، هورموپرایمینگ و شاهد) و ارقام گلرنگ (اصفهان، صفه و گلدشت) نیز به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند. کاربرد هم‌زمان هیدروپرایمینگ و تنش خشکی در رقم اصفهان باعث بیش‌ترین میزان طول ریشه‌چه (۴/۸ سانتی‌متر) گردید. هیدروپرایمینگ و هورموپرایمینگ ضریب سرعت جوانه‌زنی را در رقم اصفهان نسبت به گلدشت به میزان ۵۲/۳۴ درصد افزایش دادند. هیدروپرایمینگ درصد جوانه‌زنی را نسبت به شاهد به میزان ۱۱/۳۳ درصد افزایش داد. بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۱۰۰/۷۲ گرم در مترمربع) در رقم صفه هنگام آبیاری کامل و کاربرد هیدروپرایمینگ حاصل گشت. بالاترین میزان کربوهیدرات محلول (۱۵/۱۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به اثر متقابل تنش خشکی با عدم پرایمینگ بود. رقم گلدشت در زمان آبیاری کامل و کاربرد هیدروپرایمینگ بیش‌ترین میزان عملکرد روغن (۲۴/۹۳ گرم در مترمربع) را به خود اختصاص داد. اعمال تنش در رقم گلدشت هنگام هیدروپرایمینگ بیش‌ترین میزان پرولین (۱۰/۰۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را نشان داد بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۵۶/۱ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در کاربرد هورموپرایمینگ هنگام تنش مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: سوپراکسید دیسموتاز، عملکرد روغن، کربوهیدرات محلول، پرولین

۱، ۲ و ۴. به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استادان، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، ساوه، ایران

۵. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، اراک، ایران

* نویسنده مسئول Email: m.yousefirad@iau-saveh.ac.ir

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول تحت راهنمایی حسین حیدری شریف‌آباد و مجتبی یوسفی راد می‌باشد.

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از قدیمی‌ترین محصولاتی است که به‌طور سنتی به‌منظور برداشت دانه‌های آن کشت می‌گردد، علاوه بر این به‌عنوان بهبوددهنده طعم و رنگ غذا و ساخت رنگ قرمز و زرد مورد استفاده قرار می‌گیرد (امیدی^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس گزارش فائو^۲ (۲۰۱۷) سطح زیر کشت و عملکرد گلرنگ در ایران به‌ترتیب ۵۲۱۷ هکتار و ۱/۲ تن در هکتار است. طبق آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت گلرنگ در استان همدان ۲۵ هکتار و عملکرد آن ۹۶۰ کیلوگرم گزارش شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). روغن گلرنگ دارای میزان بالایی از لینولئیک اسید و مشتقات لینولئیک می‌باشد که همین امر منجر به کاربرد آن در صنعت شده است. تفاله‌های حاصل از استخراج روغن، غنی از پروتئین است و به‌عنوان غذای دام مورد استفاده قرار می‌گیرد (گگل^۳ و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه ژنوتیپ یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده محتوای روغن و ترکیبات اسیدچرب می‌باشد، اما فاکتورهای محیطی مانند خشکی نیز ممکن است بر میزان محتوای روغن و اسیدچرب اثرگذار باشد (لیو^۴ و همکاران، ۲۰۱۶). علی‌رغم مقاومت نسبتاً بالای گلرنگ به تنش خشکی و هم‌چنین ارزش تغذیه‌ای آن، تاکنون مطالعات کمی در مورد اثرات تنش خشکی بر کمیت و کیفیت روغن صورت گرفته است (حسین^۵ و همکاران، ۲۰۱۵). تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدودکننده تولید محصولات و یک تهدید بزرگ برای ایجاد قحطی در بسیاری از مناطق جهان می‌باشد از این‌رو لازم است که مطالعات بیشتری در زمینه مقاومت گیاهان به‌خصوص محصولات زراعی به تنش خشکی صورت گیرد. به همین دلیل افزایش دانش اولیه در مورد تحمل به تنش خشکی در گیاهان کشت شده و یافتن روش‌های مؤثر کاهش‌دهنده اثرات مخرب خشکی لازم و مهم می‌باشد (فلتا سوریانو و مونه بوش^۶، ۲۰۱۶). گیاهان در شرایط تنش به‌منظور کاهش تبخیر و تعرق اقدام به ریزش برگ می‌کنند به‌طوری‌که میزان سطح برگ و فتوسنتز کاهش یافته، از طرفی میزان جذب دی‌اکسیدکربن در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد که این تأثیر منفی در مرحله زایشی که یک مرحله بحرانی در طول زندگی گیاه است شدیدتر می‌باشد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود. از این‌رو بررسی اثر پرایمینگ بر

واکنش گیاه به تنش خشکی در مرحله گل‌دهی به‌خصوص در گیاهانی که دانه‌های آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌تواند مفید باشد (موسوی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹).

فاروک^۷ و همکاران (۲۰۰۹)، روش‌هایی مانند کاربرد خارجی تنظیم‌کننده رشد، استفاده از سیلیکون و پرایمینگ بذور را در تحمل گیاهان به تنش خشکی مؤثر دانستند. مطالعات بسیاری، اثر مثبت پرایم‌های مختلف در محدوده وسیعی از شرایط محیطی را نشان داده‌اند (پتید^۸ و همکاران، ۲۰۱۲؛ خلیق^۹ و همکاران، ۲۰۱۵). پرایمینگ، وقایع متابولیکی را تا قبل از خروج ریشه‌ها ادامه می‌دهد (بیولی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۳) و باعث می‌شود که بذر به مرحله جوانه‌زنی برسد اما ظهور ریشه‌ها صورت نگیرد، بر این اساس جوانه‌زنی بهبود می‌یابد و با یکنواختی بیش‌تر صورت می‌گیرد (چن و /رورا^{۱۱}، ۲۰۱۳). در تمام تکنیک‌های پرایمینگ، جذب جزئی آب توسط بذرها صورت می‌گیرد که همین امر باعث متمایز شدن این تکنیک‌ها نسبت به سایر تیمارهای پیش‌کشت شده است. روش‌های در دسترس و رایج پرایمینگ شامل: هورموپرایمینگ، استفاده از هورمون‌های گیاهی مانند سالیسیلیک اسید، (طاهری و همکاران، ۱۳۹۷؛ ساجدی و ساجدی، ۱۳۹۷)، هیدروپرایمینگ (خیساندن بذرها در آب با دوره محدود جذب)، اسموپرایمینگ (خیساندن بذرها در محلول اسموتیک مانند پلی‌اتیلن گلیکول PEG یا محلول نمک) می‌باشد (جیشا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاپارلا^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۵).

گلرنگ گیاهی است که با شرایط متفاوت محیطی سازگار و به شرایط نامساعد اقلیمی مقاوم می‌باشد اما مانند سایر گیاهان، عملکرد کمی و کیفی گیاه در مواجهه با تنش‌های غیرزیستی مانند تنش خشکی کاهش می‌یابد. شناسایی ویژگی‌های فیزیولوژیکی به‌عنوان واکنش‌های سازگار، و بهره‌برداری از آن‌ها به‌منظور بهبود ژنتیکی و تولید کولتوارهای سازگار به کمبود آب، مراحل مهمی در مطالعات تنش خشکی می‌باشند. از آنجایی که ژنوتیپ‌ها براساس ویژگی‌های مطلوب فیزیولوژیکی و فنولوژیکی شناسایی می‌شوند امکان انتقال صفات مطلوب به ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا امکان‌پذیر است. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد پرایمینگ بذور می‌تواند استقرار گیاهان را در مزرعه بهبود بخشد و مقاومت آن‌ها را به تنش خشکی افزایش دهد.

7. Farooq

8. Patade

9. Khaliq

10. Bewley

11. Chen and Arora

12. Jisha

13. Paparella

1. Omid

2. FAO

3. Gecgel

4. Liu

5. Hussain

6. Fleta-Soriano and Munné-Bosch

سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی به روش ذیل بررسی شد. معیار جوانه‌زنی بذور، خروج دو میلی‌متری ریشه‌چه در نظر گرفته شد.

ضریب سرعت جوانه‌زنی (Coefficient of Velocity of Germination) به روش جونز و ساندرز^۴ (1987) انجام گرفت.

$$CVG = \frac{N1 + N2 + \dots + Nx}{(N1T1 + N2T2 + \dots + NxTx)}$$

N: تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز، T: شماره روز مربوط به تعداد N ام

در بخش مزرعه، بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر صفاتی مانند عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه در شرایط تنش انجام شد. زمین مورد آزمایش در پاییز آماده و بستر آزمایش متشکل از سه بلوک مجزا که هر بلوک شامل ۷۲ کرت در ابعاد ۲/۵ × ۵ متر و شامل ۵ ردیف با فواصل ۵۰ سانتی‌متر انجام شد، در پایان ۳۰ بوته در هر کرت وجود داشت. فواصل بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فواصل بین بلوک‌ها دو متر و بذور پرایم شده در تاریخ بیستم اسفندماه کشت و با توجه به آزمایش خاک و توصیه‌های کودی، کودهای شیمیایی موردنیاز استفاده شد. در مرحله ۴-۶ برگی، تنک کردن مزرعه صورت گرفت. کنترل علف‌های هرز در دو مرحله هم‌زمان با اولین آبیاری و در مرحله ساقه‌دهی به‌صورت وجین دستی انجام شد. در پایان برای محاسبه تمامی صفات موردنظر از هر کرت ۵ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه، برداشت از دو پشته میانی، در اواسط مرداد ماه، پس از رعایت حاشیه و مساحتی حدود یک مترمربع صورت گرفت و صفات تعداد دانه در مترمربع، عملکرد روغن، میزان کربوهیدرات محلول، محتوی پروتئین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) مورد ارزیابی قرار گرفت، لازم به ذکر است صفات فیزیولوژیک در مرحله غنچه‌دهی اندازه‌گیری شدند

اندازه‌گیری درصد روغن با روش ای/ای سی^۵ (2002) و خلال N- هگزان انجام شد و عملکرد روغن از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول، از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV- VIS, Shimadzu, Japan) در طول موج ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شده و مقدار کل کربوهیدرات‌های محلول، بر مبنای میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه تعیین شد. (دوبویس^۶ و همکاران، 1956).

بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر رشد و تولید ارقام مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در دو بخش، آزمایشگاهی (به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی) و مزرعه‌ای (به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اکباتان وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. پژوهش حاضر با سه عامل شامل آبیاری در دو سطح آبیاری کامل در تمام فصل رشد گیاه و تنش خشکی به‌صورت حذف یک دوره آبیاری در مرحله ساقه‌دهی به‌عنوان عامل اصلی و ارقام گلرنگ شامل گلدشت، صفه و محلی اصفهان و روش‌های پرایمینگ در چهار سطح عدم پرایمینگ (شاهد)، اسموپرایمینگ (با محلول PEG6000 در سطح پتانسیل اسمزی ۱- مگاپاسکال با مدت‌زمان ۱۶ ساعت) (نبی‌زاده^۱ و همکاران، 2012)، هورموپرایمینگ (با محلول سالیسیلیک اسید با غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام به مدت‌زمان ۱۲ ساعت) (جمشیدی جم^۲ و همکاران، 2012) و هیدروپرایمینگ بذرها (با بهره‌گیری از آب مقطر به مدت‌زمان ۱۲ ساعت) (بستیا^۳ و همکاران، 1999) به‌صورت فاکتوریل در کرت فرعی انجام شد. قابل‌ذکر است که بذرها پرایمینگ شده توسط آب مقطر شست‌وشو شدند و تمامی بذرها تا رسیدن به وزن اولیه در دمای اتاق در شرایط تاریکی خشک گردیدند.

به‌منظور بررسی تأثیر پرایمینگ گلرنگ در شرایط تنش اسمزی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر، بذرها در آزمایشگاه با استفاده از محلول هیپوکلرید سدیم سه درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و سه مرتبه با آب مقطر آبشویی شدند و سپس پرایمینگ با تیمارهای ذکر شده انجام شد. در این بخش در هر پتری‌دیش تعداد ۲۰ عدد بذر قرار گرفت و برای ایجاد تنش از محلول PEG6000 در سطح پتانسیل اسمزی ۱- مگاپاسکال استفاده شد. پتری‌دیش‌ها به مدت ۱۴ روز در ژرمیناتور با دمای ۲۵±۱ درجه سلیسیوس قرار داده شدند. شمارش بذرها از اولین روز جوانه‌زنی به‌صورت روزانه آغاز گردید و به مدت ۱۴ روز ادامه یافت. قابل‌ذکر است اولین جوانه‌زنی در روز سوم مشاهده شد و پس از روز هشتم، تقریباً جوانه‌زنی متوقف گردید و خصوصیات رشدی تمام گیاهچه‌های موجود در پتری‌دیش‌ها در روز چهاردهم اندازه‌گیری شد. صفات طول ریشه‌چه، ضریب

4. Jones and Sanders
5. AOAC
6. Dubois

1. Nabizadeh
2. Jamshidi Jam
3. Bastia

آیینی و همکاران: اثر پرایمینگ بذر بر ویژگی‌های جوانه‌زنی، ... به‌منظور سنجش محتوای پرولین بافت برگ از روش بیتس^۱ و همکاران (1973) استفاده و واحد به‌صورت میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم SOD، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر صورت گرفت (جاینوپلیتس و ریس^۲، 1997). واحد فعالیت نسبت به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS (9.1) و مقایسه میانگین داده‌ها در سطح آماری ۵ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد، لازم به ذکر است تست نرمال بودن باقیمانده خطا انجام گردید و نرمال بودن آن‌ها تأیید شد.

نتایج

طول ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش، پرایمینگو اثر متقابل تنش - پرایم (در سطح ۵ درصد)، اثر رقم و اثرات متقابل رقم - پرایم در سطح ۱ درصد بر صفت طول ریشه‌چه معنی‌دار بود درحالی‌که اثر متقابل تنش - رقم بر این صفت معنی‌دار نبود. اثر سه عامل تنش خشکی با رقم و پرایمینگ تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد (جدول ۱).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین طول ریشه‌چه تحت اثر متقابل تنش خشکی با رقم و پرایمینگ بیانگر این بود که بیش‌ترین طول ریشه‌چه به میزان ۴/۸ سانتی‌متر از هیدروپرایمینگ رقم اصفهان در شرایط تنش و کم‌ترین طول ریشه‌چه به میزان ۰/۹ سانتی‌متر در عدم‌کاربرد پرایمینگ و تنش در رقم گلدشت به‌دست آمد (جدول ۳).

کوبالا^۳ و همکاران (2015) و ژانگ^۴ و همکاران (2015) نیز گزارش کردند در تنش خشکی کاربرد هورموپرایمینگ (SA) هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ باعث افزایش طول ریشه می‌شود. می‌توان گفت دلیل احتمالی افزایش طول ریشه‌چه، تأثیر پرایمینگ بر افزایش قابلیت گسترش دیواره سلولی جنین است (علایی طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۲). عوامل دیگری مانند افزایش جذب اکسیژن و راندمان حرکت مواد غذایی از لپه به محور جنینی و افزایش تقسیم سلولی در نوک ریشه نیز باعث افزایش طول ریشه‌چه می‌گردد (بخرد و همکاران، ۱۳۹۴).

ضریب سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل شده از تجزیه واریانس مشخص کرد که رقم در سطح احتمال ۱ درصد، پرایمینگ و اثر متقابل رقم - پرایمینگ در سطح احتمال ۵ درصد بر ضریب سرعت جوانه‌زنی تأثیر معنی‌دار داشتند. ولی اثر تنش خشکی و اثرات متقابل تنش خشکی - رقم، تنش خشکی- پرایمینگ و اثرات سه‌گانه بر صفت موردنظر معنی‌دار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین ضریب سرعت جوانه‌زنی (۲۰) در هورموپرایمینگ و هیدروپرایمینگ رقم اصفهان و کم‌ترین آن (۹/۵۴) در رقم گلدشت بدون پرایمینگ حاصل شد (جدول ۳). نتایج مطالعه‌ای نشان داد تنش خشکی، میزان جوانه‌زنی بذر و استقرار دانهال را کاهش می‌دهد و یا حتی مانع آن می‌گردد (موسوی^۵ و همکاران، 2009) که این موضوع نیز در تحقیق حاضر صادق است. پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی، رشد و توسعه گیاهچه اثر مثبت دارد و سبب بهبود استقرار گیاهان زراعی می‌شود. در برخی موارد اثرات پرایمینگ بذر در مراحل پیشرفته‌تر رشد قوی‌تر می‌باشد (کایولا^۶ و همکاران، 1996). به گزارش گاسوامی^۷ و همکاران (2013)، در گیاه برنج تحت تنش خشکی، کاربرد هیدروپرایمینگ، آسموپرایمینگ (PEG)، هالوپرایمینگ (NaCl) جوانه‌زنی و رشد دانهال را افزایش داد. طبق یافته‌های چن و همکاران (2010)، پرایمینگ منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی تحت هر دو شرایط مطلوب و نامطلوب محیطی در گونه‌های گوناگون (سویا *Glycine max*، لفل *Capsicum annum*، گندم *Triticum aestivum*) گردید که تأییدکننده‌ی نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. می‌توان گفت افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذرهای پرایم‌شده ممکن است به‌دلیل افزایش سرعت تقسیم سلولی در نوک ریشه باشد (فاروک و همکاران، 2005). پرایمینگ بذر می‌تواند منجر به تغییرات مولکولی و بیوشیمیایی متعددی مانند افزایش فعالیت‌های آنزیمی و متابولیکی، سنتز پروتئین‌ها، افزایش فعالیت‌ها و مواد موردنیاز دیواره سلولی شود.

5. Moosavi
6. Cayuela
7. Goswami

1. Bates
2. Giannopolitis and Ries
3. Kubala
4. Zhang

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس تأثیر اعمال شیوه‌های مختلف پرایمینگ بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی گلرنگ تحت تنش خشکی
Table 1: Analysis of variance of the effects of seed priming methods on germination characteristics of *Carthamus tinctorius* L. under drought stress

درصد جوانه‌زنی Percent of germination	ضریب سرعت جوانه‌زنی Coefficient of velocity of germination	طول ریشه‌چه Radicle length	df	منابع تغییرات Sources of Variations
217.11 ^{ns}	6.14 ^{ns}	0.17*	1	تنش خشکی Stress
8948.26**	440.45**	0.64**	2	رقم Cultivar
249.42 ^{ns}	15.51*	0.11*	3	پرایمینگ Priming
158.168 ^{ns}	6.1 ^{ns}	0.008 ^{ns}	2	تنش × رقم Stress × Cultivar
45.72 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.1*	3	تنش × پرایمینگ Stress × Priming
195.95 ^{ns}	13.45*	0.31**	6	رقم × پرایمینگ Cultivar × Priming
108.22 ^{ns}	2.45 ^{ns}	0.31**	6	تنش × رقم × پرایم Stress × Cultivar × Priming
136.81	4.42	0.04	48	خطا Error
13.06	12.54	13.71		ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)

ns, ** و *: به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد

ns, ** and *: Indicate significance at the 0.05 and 0.01 probability levels and not significant, respectively

مشاهده شد. در صورتی که رقم گلدشت کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۶۳/۳۳ درصد) را نشان داد (جدول ۵). هیدروپرایمینگ با ۹۲/۷۲ جوانه‌زنی بیش‌ترین سطح جوانه‌زنی را به خود اختصاص داد (جدول ۶). اگرچه تفاوت معنی‌داری را نسبت به هورموپرایمینگ ایجاد نکرد. عدم پرایمینگ با کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۸۲/۲۲ درصد) با هورموپرایمینگ در یک سطح قرار گرفت (جدول ۶).

گزارشات متعددی به اثر مثبت هیدروپرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی اشاره کرده‌اند (سیدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ صفری ساعلو و همکاران، ۱۳۹۴؛ منصوری و همکاران، ۱۳۹۶). احتمال می‌رود که اسموپرایمینگ از طریق فعالیت‌های احتمالی مانند فعال شدن تنفس، همانند سازی DNA، افزایش هورمون‌های محرک جوانه‌زنی، فعالسازی آنزیم‌ها، تجزیه بخشی از پروتئین‌ها، و کربوهیدرات‌ها و آغاز مجدد چرخه سلولی نقش مثبتی را در درصد جوانه‌زنی باعث گردد (جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۳). می‌توان گفت پرایمینگ با تحریک فعالیت‌های متابولیکی جنین مقدمات لازم جهت جوانه‌زنی را فراهم می‌نماید مانند افزایش هورمون‌های محرک جوانه‌زنی. از سوی دیگر پرایمینگ با کمک به جذب آب در دو مرحله اول جوانه‌زنی می‌تواند درصد جوانه‌زنی را افزایش دهد.

می‌توان چنین گفت که در زمان پرایمینگ جنین توسعه و نمو می‌یابد و آندوسپرم را فشرده می‌سازد. که نیروی فشار جنین و فعالیت‌های هیدرولیکی دیواره سلولی آندوسپرم از یک طرف و فضای ایجاد شده داخل بذر پرایم شده از طرف دیگر می‌تواند به خروج ریشه‌چه کمک کند و میزان جوانه‌زنی را از طریق تسهیل جذب آب تسریع نماید. افزایش درصد جوانه‌زنی را می‌توان به افزایش آنزیم‌هایی مانند گلوکاتایون و آسکوربات توسط پرایمینگ نسبت داد بدین صورت که آنزیم‌های مذکور فعالیت پراکسید لیپید را طی جوانه‌زنی کاهش می‌دهد که منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی می‌گردند (هوس و سانگ^۱، ۱۹۹۷). بردفورد^۲ (۱۹۹۵) تسریع جوانه‌زنی در زمان پرایمینگ را به دلیل توسعه فاز دو از سه فاز جوانه‌زنی می‌داند که این امر از طریق کوتاه نمودن مدت زمان سوخت‌وساز حاصل می‌گردد.

درصد جوانه‌زنی

همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است تنها اثر رقم (۱ درصد) بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بوده است. بالاترین سطح جوانه‌زنی در رقم اصفهان با میزان ۹۸/۷۵ درصد جوانه‌زنی

1. Hus and Sung
2. Bradford

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس تأثیر اعمال شیوه‌های مختلف پرایمینگ بذر بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و اجزای عملکرد سه رقم گلرنگ تحت تنش خشکی

Table 2: Analysis of variance of the effects of seed priming methods on biochemical characteristics and yield components in Safflower cultivars under drought stress

میانگین مربعات Mean squares						درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources of Variations
سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	پرولین Prolin	کربوهیدرات محلول Soluble Carbohydrates	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد روغن Oil yield	تعداد دانه در مترمربع Seed number per m ²		
9.54 ^{ns}	0.12 ^{ns}	5.44 ^{ns}	320.23 ^{ns}	20.99 ^{ns}	110218.51 ^{ns}	2	بلوک Block
526.45*	20.90*	0.42 ^{ns}	1441.06 ^{ns}	53.47*	1028417.01*	1	تنش خشکی Drought stress
143.081	1.36	0.18	280.45	17.23	47618.01	2	خطای a Error a
972.14**	13.09**	35.49**	538.25**	27.39*	710349.94**	3	پرایمینگ Priming
651.40**	8.37**	60.42**	196.90 ^{ns}	14.45 ^{ns}	309119.16*	3	تنش × پرایمینگ Stress × Priming
76.37 ^{ns}	8.87**	41.65**	3822.61**	140.29**	11926893.72**	2	رقم Cultivar
76.80 ^{ns}	0.63 ^{ns}	11.36 ^{ns}	286.43*	9.85 ^{ns}	194339.39*	2	تنش × رقم Stress × Cultivar
5.85 ^{ns}	4.43**	10.55 ^{ns}	106.55 ^{ns}	16.8 ^{ns}	139652.43*	6	رقم × پرایمینگ Cultivar × Priming
36.19 ^{ns}	3.72*	9.67 ^{ns}	204.06*	24.25**	215250.2*	6	تنش × رقم × پرایم Stress × Cultivar × Priming
45.07	1.19	6.97	76.48	8.27	55698.29	44	خطا Error
14.57	15.07	20.86	11.44	14.90	10.10		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

ns, ** و *: به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد

ns, ** and *: Indicate significance at the 0.05 and 0.01 probability levels and not significant, respectively

تعداد دانه در مترمربع

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و رقم به‌طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد و سایر اثرات اصلی، متقابل دو گانه و سه گانه در سطح ۵ درصد در تعداد دانه تفاوت ایجاد می‌کند (جدول ۲).

در بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه پرایمینگ، ارقام و تنش خشکی بر تعداد دانه در مترمربع دیده شد که رقم صفه، عدم تنش و هیدروپرایمینگ با میانگین ۳۳۵۸/۶۶ بیش‌ترین و تیمار تنش، رقم گلدشت و عدم پرایم با میانگین ۱۰۲۳/۶۶ دانه کم‌ترین تعداد دانه را نشان دادند (جدول ۸). فنایی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که با کاهش رطوبت قابل استفاده در خاک تعداد طبق در بومه، دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه کاهش یافت. اختلاف بین ارقام مختلف از نظر تعداد دانه می‌تواند به علت تفاوت‌های ژنتیکی باشد. پاسبان اسلام (۱۳۹۰) نیز به اختلاف ارقام گلرنگ در تعداد دانه اشاره کرده است. در توضیح اثر مثبت پرایمینگ بر تعداد دانه می‌توان چنین گفت که، پرایمینگ

عملکرد دانه

بررسی نتایج نشان داد که اثر اصلی پرایمینگ بذر و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش دوگانه آبیاری و رقم و اثر سه گانه پرایمینگ بذر با رقم و آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات سه گانه نشان داد که هیدروپرایمینگ در رقم صفه همراه با آبیاری کامل می‌تواند

خود باعث کاهش عملکرد روغن می‌شود. از طرف دیگر می‌توان گفت تنش رطوبتی می‌تواند با کاهش اندازه دانه در میزان روغن اثرگذار باشد.

کربوهیدرات محلول

اثرات ساده پرایمینگ و ارقام مختلف و نیز اثر متقابل تنش خشکی-پرایمینگ (در سطح ۱ درصد) به‌طور معنی‌داری در میزان کربوهیدرات محلول اثرگذار بود، اگرچه تنش خشکی و سایر اثرات دوگانه و سه گانه تغییر معنی‌داری را در صفت مذکور ایجاد نکرد (جدول ۲). در بین اثرات متقابل، اعمال تنش به‌همراه عدم استفاده از پرایمینگ میزان کربوهیدرات کل را نسبت به شاهد (آبیاری کامل به‌همراه عدم پرایمینگ) به میزان ۳۵/۵۰ درصد افزایش داد (جدول ۷).

هم‌راستا با نتایج به‌دست‌آمده، های و رامانیوجام^۳ (1997) گزارش کرده‌اند که سطح قندها در پاسخ به پرایمینگ پس از اعمال تنش در ارقام ماش کاهش می‌یابد. پاکمهر و همکاران (1990)، احتمال کم‌بودن محتوای قندهای محلول برگ در بذره‌ای پرایم‌شده با سالیسیلیک‌اسید را به‌دلیل تأثیر مطلوب این اسید در بهبود اثرات تنش و کاهش ترکیبات مذکور در این تیمار بیان کرده‌اند.

عملکرد دانه را نسبت به سایر تیمارها افزایش دهد. قابل‌ذکر است که اثرات عدم پرایمینگ و تنش در رقم گلدشت عملکرد دانه را به میزان حدود ۵۰ درصد نسبت به هیدروپرایمینگ در رقم صفه و آبیاری کامل کاهش داده است (جدول ۸). به نظر می‌رسد پرایمینگ سبب استقرار بهتر گیاهچه می‌گردد که به دنبال آن میزان شاخص سطح برگ، فتوسنتز و در نهایت عملکرد دانه افزایش می‌یابد. در تأیید نتایج حاضر، طاهری و همکاران (۱۳۹۷) نیز اثر مثبت پرایمینگ و آبیاری بر عملکرد دانه در گیاه گلرنگ را گزارش کرده‌اند. تحقیقات انجام شده روی پرایمینگ بذر گیاهان زراعی در ایران، افزایش ۳۱ درصدی عملکرد گیاهان را تحت تأثیر پرایم نشان داد که علت آن را بازسازی غشاء سلولی، حرکت بهتر قندها و پروتئین‌ها و رشد سریع‌تر جنین در زمان پرایمینگ دانسته اند (سلطانی و سلطانی^۱، 2015).

عملکرد روغن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ارقام مختلف و اثر متقابل سه عامل بر عملکرد روغن از نظر آماری در سطح ۱ درصد و اثر پرایمینگ و تنش خشکی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج عملکرد روغن تحت تأثیر تنش خشکی، پرایمینگ و رقم بیش‌ترین عملکرد روغن به مقدار ۲۴/۹۳ گرم در مترمربع مربوط به هیدروپرایمینگ بذر رقم گلدشت در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین عملکرد روغن به مقدار ۱۴/۱ گرم در مترمربع مربوط به هیدروپرایمینگ بذر رقم گلدشت در شرایط تنش خشکی بود (جدول ۸).

اثر بخشی پرایمینگ بذور به انتخاب شرایط مناسب براساس نوع گونه گیاهی و ارقام درون یک گونه بستگی دارد (حسین و همکاران، 2015). رایت^۲ و همکاران (1997) گزارش کردند که تنش خشکی در بادام زمینی میزان روغن دانه را کاهش داد. هیدروپرایمینگ و تنش خشکی میزان روغن را در گلرنگ به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌دهد که بسیاری از مطالعات این موضوع را مورد تأیید قرار داده‌اند (اشرفی و رزمجو، ۱۳۹۳)، این کاهش می‌تواند به‌دلیل کاهش نسبت مغز به پوسته دانه گلرنگ باشد. که این نتایج تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر می‌باشند. فنایی و همکاران (۱۳۹۴) نیز به کاهش میزان روغن در زمان کاهش رطوبت اشاره کرده‌اند. اگرچه گیاه گلرنگ متحمل به شرایط کم آبی می‌باشد اما تنش خشکی به‌ویژه در مرحله گل‌دهی می‌تواند منجر به کاهش تعداد دانه گردد که

آیینی و همکاران: اثر پرایمینگ بذر بر ویژگی‌های جوانه‌زنی، ...

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رقم × پرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی در گیاه گلرنگ

Table 3: Comparison of means interactions effects cultivar×priming on germination characteristics in *Carthamus tinctorius*

ضریب سرعت جوانه‌زنی Coefficient of velocity of germination	پرایمینگ Priming	رقم Cultivar
9.54 ^d	شاهد Control	گلدشت Goldasht
10.68 ^{cd}	هور موپرایمینگ Hormoprining	
11.84 ^{cd}	اسموپرایمینگ Osmoprining	
15.34 ^{bc}	هیدروپرایمینگ Hydropriming	
19 ^{ab}	شاهد Control	صفه Soffe
19.5 ^{ab}	هور موپرایمینگ Hormoprining	
19.01 ^{ab}	اسموپرایمینگ Osmoprining	
17.67 ^{ab}	هیدروپرایمینگ Hydropriming	
19.5 ^{ab}	شاهد Control	اصفهان Isfahan
20 ^a	هور موپرایمینگ Hormoprining	
19.17 ^{ab}	اسموپرایمینگ Osmoprining	
20 ^a	هیدروپرایمینگ Hydropriming	

میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند
Means with the same letter are not significantly different

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × پرایمینگ × تنش خشکی بر طول ریشه‌چه

Table 4: Comparison of mean interaction effect cultivar × priming × Drought stress on Radicle length

تنش خشکی Drought stress	رقم Cultivar	پرایمینگ Priming	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)
آبیاری کامل Full irrigation	گلدشت Goldasht	شاهد Control	2.27 ^{b-g}
	گلدشت Goldasht	هورموپرایمینگ Hormoprining	1.57 ^{d-j}
	گلدشت Goldasht	اسموپرایمینگ Osmoprining	1.36 ^{f-j}
	گلدشت Goldasht	هیدروپرایمینگ Hydropriming	1.91 ^{c-i}
	گلدشت Goldasht	شاهد Control	1.41 ^{f-j}
آبیاری کامل Full irrigation	صفه Soffe	شاهد Control	1.65 ^{d-j}
	صفه Soffe	هورموپرایمینگ Hormoprining	1.93 ^{c-i}
	صفه Soffe	اسموپرایمینگ Osmoprining	1.45 ^{e-j}
	صفه Soffe	هیدروپرایمینگ Hydropriming	1.41 ^{f-j}
	صفه Soffe	شاهد Control	1.41 ^{f-j}
آبیاری کامل Full irrigation	اصفهان Isfahan	شاهد Control	2.87 ^{bc}
	اصفهان Isfahan	هورموپرایمینگ Hormoprining	1.31 ^{ghij}
	اصفهان Isfahan	اسموپرایمینگ Osmoprining	3.18 ^b
	اصفهان Isfahan	هیدروپرایمینگ Hydropriming	2.18 ^{c-h}
	اصفهان Isfahan	شاهد Control	2.18 ^{c-h}
تنش خشکی Drought stress	گلدشت Goldasht	شاهد Control	0.9 ^j
	گلدشت Goldasht	هورموپرایمینگ Hormoprining	2 ^{c-h}
	گلدشت Goldasht	اسموپرایمینگ Osmoprining	2.74 ^{bc}
	گلدشت Goldasht	هیدروپرایمینگ Hydropriming	2.28 ^{b-f}
	گلدشت Goldasht	شاهد Control	2.28 ^{b-f}
تنش خشکی Drought stress	صفه Soffe	شاهد Control	2.4 ^{bcde}
	صفه Soffe	هورموپرایمینگ Hormoprining	2.48 ^{bcd}
	صفه Soffe	اسموپرایمینگ Osmoprining	1 ^{ij}
	صفه Soffe	هیدروپرایمینگ Hydropriming	1.3 ^{hij}
	صفه Soffe	شاهد Control	1.3 ^{hij}
تنش خشکی Drought stress	اصفهان Isfahan	شاهد Control	2.74 ^{bc}
	اصفهان Isfahan	هورموپرایمینگ Hormoprining	1.3 ^{hij}
	اصفهان Isfahan	اسموپرایمینگ Osmoprining	2.7 ^{bc}
	اصفهان Isfahan	هیدروپرایمینگ Hydropriming	4.8 ^a
	اصفهان Isfahan	شاهد Control	4.8 ^a

میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند

Means with the same letter are not significantly different

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر رقم بر درصد جوانه‌زنی

Table 5: Comparison of mean effect of cultivar on percent of germination

درصد جوانه‌زنی Percent of germination	رقم Cultivar
63.33 ^b	گلدشت Goldasht
94.38 ^a	صفه Soffe
98.75 ^a	اصفهان Isfahan

میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند
Means with the same letter are not significantly different

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی

Table 6: Comparison of mean effect of priming on percent of germination

درصد جوانه‌زنی Percent of germination	پرایمینگ Priming
82.22 ^b	شاهد Control
84.17 ^{ab}	هورموپرایمینگ Hormopriming
90.83 ^a	اسموپرایمینگ Osmopriming
92.72 ^a	هیدروپرایمینگ Hydropriming

میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند
Means with the same letter are not significantly different

جدول ۷: مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش خشکی × پرایمینگ بر خصوصیات بیوشیمیایی و اجزای عملکرد گلرنگ

Table 7: Comparison of means interactions effects drought stress × priming on biochemical characteristics and yield components in *Carthamus tinctorius* L.

سوپراکسید دیسموتاز (گرم در پرولین) Superoxide dismutase (g/pro)	کربوهیدرات محلول (میلی گرم در گرم) Soluble carbohydrates (mg/g)	پرایمینگ Priming	تنش خشکی Drought stress
25.76 ^e	11.08 ^{bc}	شاهد Control	آبیاری کامل Full irrigation
50.01 ^{abc}	9.65 ^c	هورموپرایمینگ Hormopriming	
44.45 ^{cd}	15.04 ^a	اسموپرایمینگ Osmopriming	
53.21 ^{ab}	14.57 ^a	هیدروپرایمینگ Hydropriming	
47.83 ^{bcd}	15.14 ^a	شاهد Control	قطع آبیاری در مرحله ظهور ساقه Cut irrigation at stem emergence
56.10 ^a	11.92 ^{bc}	هورموپرایمینگ Hormopriming	
42.93 ^d	13.24 ^{ab}	اسموپرایمینگ Osmopriming	
48.21 ^{bcd}	10.64 ^c	هیدروپرایمینگ Hydropriming	

میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند
Means with the same letter are not significantly different

پرولین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل تنش خشکی - رقم بر میزان پرولین از نظر آماری معنی‌دار نبود. درحالی‌که اثر نوع پرایمینگ، نوع رقم، اثرات دوگانه رقم - پرایم و تنش - پرایم از نظر آماری در سطح ۱ درصد و اثرات سه گانه تنش - رقم - پرایم و اثر ساده تنش خشکی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. (جدول ۲). در بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه پرایمینگ، ارقام و تنش خشکی بر میزان پرولین برگ دیده شد که در رقم گلدشت تحت شرایط تنش خشکی و هیدروپرایمینگ با میانگین ۱۰/۰۸ میلی‌گرم در گرم بیش‌ترین و رقم گلدشت به همراه عدم تنش و هورموپرایمینگ با میانگین ۳/۹۹ میلی‌گرم در گرم کم‌ترین میزان پرولین وجود داشته است (جدول ۸).

شهاب^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، اثرات مثبت پرایمینگ را با محدوده وسیعی از بهبود متابولیکی و فیزیولوژیکی همراه دانستند. یکی از مکانیزم‌هایی که گیاهان در مقابل تنش خشکی به کار می‌برند تنظیم پتانسیل اسمزی سلول می‌باشد (لیپیک^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). لیو و همکاران (۲۰۱۱) و معاونی^۳ و همکاران (۲۰۱۱) تجمع مواد آلی مانند پرولین و قندهای محلول را در مقابل فشار اسمزی مورد تأیید قرار می‌دهند. همان‌طور که هاسگاوا^۴ و همکاران (۲۰۰۰)، پرولین را به‌عنوان یک اسمولیت سازگار و تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی معرفی کرده‌اند افزایش میزان پرولین در پژوهش حاضر توجیح‌پذیر می‌باشد.

فعالیت آنزیم SOD

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده کاربرد پرایمینگ و اثر متقابل تنش - پرایمینگ از نظر آماری در سطح ۱ درصد و اثر تنش خشکی در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان فعالیت آنزیم SOD معنی‌دار شد، سایر اثرات ساده، متقابل دوگانه و سه گانه تفاوت معنی‌داری را در میزان آنزیم SOD سبب نشدند (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین کاربرد تنش خشکی - هورموپرایمینگ بیش‌ترین (۵۶/۱) میلی‌گرم پروتئین در دقیقه و آبیاری کامل - عدم کاربرد پرایم کم‌ترین میزان آنزیم مذکور (۲۵/۷۶) میلی‌گرم پروتئین در دقیقه را نشان داد (جدول ۷).

طبق مطالعات فاروک و همکاران (۲۰۰۹)، تنش خشکی منجر به یک‌سری تغییرات نامطلوب در فرآیندهای فیزیولوژیکی

و بیوشیمیایی سلول‌های گیاهی می‌گردد و باعث افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که آسیب اکسیداتیو را به‌دنبال خواهد داشت. در مطالعه حاضر با اعمال تنش خشکی، افزایش آنزیم SOD مشاهده شد که این افزایش می‌تواند به‌دنبال افزایش گونه‌های فعال اکسیژن باشد. در واقع می‌توان گفت گیاهان هنگام رویارویی با تنش‌های زیستی و غیرزیستی به تغیر سطح و یا سنتز برخی ترکیبات دفاعی می‌پردازند که آنزیم SOD یکی از این ترکیبات می‌باشد. طبق نتایج کوبالا^۵ و همکاران (۲۰۱۵) و ژانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۵) کاربرد هورموپرایمینگ (SA)، هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ در تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم SOD می‌گردد. در گیاه بامیه (Okra) پرایمینگ بذور منجر به فعالیت بیش‌تر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در دانه‌ها گردید (شارما^۷ و همکاران، ۲۰۱۴). از موارد تأییدکننده دیگر می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم SOD در دانه‌های برنج رشدکرده از بذره‌های پرایم‌شده اشاره کرد (جیسا و پوتور^۸، ۲۰۱۶).

5. Kubala
6. Zhang
7. Sharma
8. Jisha and Puthur

1. Shehab
2. Lipiec
3. Moaveni
4. Hasegawa

جدول ۸: مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × پرایمینگ × تنش بر خصوصیات بیوشیمیایی و اجزای عملکرد در گلرنگ

Table 8: Comparison of mean interaction effect cultivar × priming × stress on biochemical characteristics and yield components in *Carthamus tinctorius* L.

تنش خشکی Drought stress	رقم Cultivar	پرایمینگ Priming	تعداد دانه در مترمربع Seed number per m ²	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed yield (g/m ²)	عملکرد روغن (گرم در مترمربع) Yield oil (g/m ²)	پروترین (میلی گرم در گرم) Prolin (mg/g)
آبیاری کامل Full irrigation	گلدشت	شاهد Control	1107.66 ^{gh}	52.61 ^k	15.61 ^{efgh}	7.7 ^{cde}
	گلدشت	هورموپرایمینگ Hormopriming	1234.66 ^{gh}	62.11 ^{hijk}	14.61 ^{gh}	3.99 ⁱ
	گلدشت	اسموپرایمینگ Osmopriming	1099.33 ^{gh}	57.41 ^{ijk}	15.21 ^{fgh}	7.61 ^{cde}
	گلدشت	هیدروپرایمینگ Hydropriming	2251 ^e	88.77 ^{abcd}	24.93 ^a	9.56 ^{ab}
آبیاری کامل Full irrigation	صفه	شاهد Control	2821.33 ^b	94.40 ^{ab}	22.26 ^{abcd}	6.44 ^{defgh}
	صفه	هورموپرایمینگ Hormopriming	2676.33 ^{bcd}	94.26 ^{ab}	21.56 ^{abcd}	6.11 ^{efgh}
	صفه	اسموپرایمینگ Osmopriming	2638.33 ^{bcd}	88.53 ^{abcd}	23.77 ^{abc}	5.51 ^{fghi}
	صفه	هیدروپرایمینگ Hydropriming	3358.66 ^a	100.72 ^a	22.94 ^{abc}	8.08 ^{bcd}
آبیاری کامل Full irrigation	اصفهان	شاهد Control	2798 ^{bc}	80.96 ^{bcdefg}	22.56 ^{abcd}	7.14 ^{cdef}
	اصفهان	هورموپرایمینگ Hormopriming	2378.66 ^{de}	89.86 ^{abc}	19.77 ^{abcdefgh}	4.88 ^{gi}
	اصفهان	اسموپرایمینگ Osmopriming	2269 ^e	74.40 ^{defgh}	17.41 ^{cdefgh}	5.34 ^{ghi}
	اصفهان	هیدروپرایمینگ Hydropriming	2554.33 ^{bcd}	87 ^{abcde}	2138 ^{abcde}	8.06 ^{bcd}
قطع آبیاری در مرحله ظهور ساقه Cut irrigation at stem emergence	گلدشت	شاهد Control	1023.66 ^h	50.80 ^k	17.09 ^{cdefgh}	8.43 ^{abc}
	گلدشت	هورموپرایمینگ Hormopriming	1486 ^g	67.62 ^{ghij}	14.53 ^{gh}	7.95 ^{bcd}
	گلدشت	اسموپرایمینگ Osmopriming	1353 ^{gh}	61.52 ^{higk}	16.6 ^{defgh}	7.72 ^{bcd}
	گلدشت	هیدروپرایمینگ Hydropriming	1171 ^{gh}	56.41 ^{jk}	14.1 ^h	10.08 ^a
قطع آبیاری در مرحله ظهور ساقه Cut irrigation at stem emergence	صفه	شاهد Control	2295.66 ^{de}	71.36 ^{fghi}	16.98 ^{cdefgh}	7.78 ^{bcd}
	صفه	هورموپرایمینگ Hormopriming	2274.66 ^e	72.40 ^{fgh}	17.87 ^{bcdefgh}	6.96 ^{ceefg}
	صفه	اسموپرایمینگ Osmopriming	2479.33 ^{bcd}	82.85 ^{bcdef}	22.03 ^{abcd}	7.38 ^{cde}
	صفه	هیدروپرایمینگ Hydropriming	2668 ^{bcd}	84.03 ^{bcdef}	22.3 ^{abcd}	8.49 ^{abc}
قطع آبیاری در مرحله ظهور ساقه Cut irrigation at stem emergence	اصفهان	شاهد Control	2417 ^{cde}	78.82 ^{cdefg}	20.82 ^{abcdefg}	8.28 ^{bc}
	اصفهان	هورموپرایمینگ Hormopriming	2514.33 ^{bcd}	78.56 ^{cdefg}	20.18 ^{abcdef}	7.67 ^{cde}
	اصفهان	اسموپرایمینگ Osmopriming	2144 ^f	73.90 ^{efgh}	18.2 ^{bcdefgh}	7.46 ^{cde}
	اصفهان	هیدروپرایمینگ Hydropriming	2492.33 ^{bcd}	85.40 ^{bcdef}	2074 ^{abcdef}	4.92 ^{hi}

میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند

Means with the same letter are not significantly different

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان گفت استفاده از روش‌های ایمن و کم هزینه در جهت افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان به‌منظور پیشبرد توسعه اقتصادی ضروری است. یکی از ابزارهای امیدبخش در این زمینه پرایمینگ بذور می‌باشد. نتایج آزمایش حاضر تفاوت معنی‌داری را در کاربرد روش‌های مختلف پرایمینگ نشان داد، از این بین هیدروپرایمینگ در کاهش

منابع

اثرات سوء تنش موفق‌تر بوده است. با قطع آبیاری، عملکرد دانه در رقم اصفهان به میزان کمتری کاهش داشت. کشت رقم مذکور همراه با هیدروپرایمینگ، به‌دلیل پاسخ‌های فیزیولوژی مناسب و استقرار بهتر گیاهچه، در شرایط تنش خشکی مناسب می‌باشد. لازم به ذکر است که تغییرات ایجاد شده در گیاهان به گونه گیاهی، مدت‌زمان تنش، مرحله رشدی اعمال تنش و شدت تنش بستگی دارد.

- احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ. و رفیعی، م. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی.
- اشرفی، ا. و رزمجو، ج. ۱۳۹۳. اثر هیدروپرایمینگ بذر و رژیم آبیاری بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، درصد روغن و پروتئین دانه ارقام مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). پژوهش‌های کاربردی زراعی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۳: ۶۸-۶۱.
- بخرد، ح.، مهدوی، ب. و رحیمی، ا. ۱۳۹۴. اثر پرایمینگ بذر بر رشد رویشی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط شوری حاصل از نمک‌های قلیایی. پژوهش‌های زراعی ایران. دوره ۱۳، شماره ۴: ۸۲۲-۸۱۰.
- پاسبان اسلام، ب. ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. دوره ۴۲، شماره ۲: ۲۸۳-۲۷۵.
- پاک‌مهر، آ.، راستگو، م.، شکاری، ف.، صبا، ج. و زنگانی، ا. ۱۳۹۰. تأثیر پیش‌ تیمار بذر با سالیسیلیک‌اسید بر برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد تحت تنش کم آبی لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۹ (۴): ۶۱۴-۶۰۶.
- جوانمرد، ز.، طبری کوچکسرای، م. و احمدلو، ف. ۱۳۹۳. تأثیر اسموپرایمینگ بر جوانه‌زنی و شاخص‌های فیزیولوژیکی بذر کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۲۷ (۳): ۴۰۵-۳۹۵.
- ساجدی، ع.، ساجدی، ع. ن. ۱۳۹۷. تأثیر بیوجار، پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی با آب و سالیسیلیک‌اسید بر عملکرد گلرنگ در شرایط دیم. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۷ (۲): ۳۱۶-۳۰۵.
- سیدی، م.، حمزه‌ئی، ج.، بوربور، ا.، دادرسی، و. و صادقی، ف. ۱۳۹۰. تأثیر هیدروپرایمینگ بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گلرنگ تحت تنش خشکی (*Carthamus tinctorius* L.). مجله دانش زراعت، سال پنجم، شماره ۸: ۷۶-۶۳.
- صفری ساعتلو، م.، نجات‌زاده، ف. و تقوی تبت، ر. ۱۳۹۴. تأثیر پرایمینگ در بهبود جوانه‌زنی بذر توتون رقم بارلی ۲۱ با پلی اتیلن گلیکول تحت شرایط تنش شوری. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی - مولکولی، دوره ۶، شماره ۲۱: ۴۷-۴۱.
- طاهری، ش.، غلامی، ا.، عباسدخت، ح. و مکاریان، ح. ۱۳۹۷. پاسخ عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ارقام گلرنگ به تنش کم آبی و پرایمینگ بذر. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، سال پنجم، شماره ۳۸: ۵۸-۳۹.
- علایی طباطبایی، ف.، قرینه، م. ح.، فتحی، ق. و سیادت، س. ع. ۱۳۹۲. اثر اسمو و هیدروپرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر، استقرار گیاهچه و عملکرد دانه ارقام گندم در شرایط آب و هوایی خوزستان. نشریه علوم و فناوری بذر ایران، ۲ (۱): ۱۱۴-۱۰۱.
- فنائی، ح. ر.، کیخا، ه. و پیری، ع. ۱۳۹۴. اثر پرایمینگ بذر بر عملکرد دانه و روغن گلرنگ تحت شرایط کم آبیاری. علوم و تحقیقات بذر ایران، سال دوم، شماره ۲: ۵۹-۴۹.
- منصوری، ع.، احمدی، ا. و امیدی، ح. ۱۳۹۶. اثر نانوذرات کیتوزان و اکسید آهن بر جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد اولیه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش شوری. نشریه تحقیقات بذر، سال هفتم، شماره ۳: ۸۰-۷۲.
- موسوی‌فر، ب. ا.، بهدانی، م. ع.، جامی‌الاحمدی، م. و حسینی بجد، م. ۱۳۸۹. اثر آبیاری محدود بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ بهاره در شرایط بیرجند (*Carthamus tinctorius* L.). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۲ (۴): ۶۳۹-۶۲۷.

Anonymous. 2017. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. (visited in 07-06-2019).

AOAC, 2002. Official Methods of Analysis, 17th ed Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teave, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

- Bastia, D. K., Rout, A. K., Mohanty, S. K. and Prusty, A. M. 1999. Effect of sowing date, sowing methods and seed soaking on yield and oil content of rainfed safflower (*Carthamus tinctorius*) grown in Kalahandi, Orissa. *Indian Journal of Agronomy*, 44 (3): 621-623.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M. and Nonogaki, H. 2013. *Seeds physiology of development, germination and dormancy*, 3rd ed. Springer, New York, Heidelberg, Dordrecht London.
- Bradford, K. J. 1995. Water Relations in Seed Germination: 351-396. In: Kigel, J. and Galili, G. (eds.), *Seed Development and Germination*. Marcel Dekker, New York, 872p.
- Cayuela, E., Perez-Alfocea, F., Caro, M. and Bolarin, M. C. 1996. Priming of seeds with NaCl induces physiological changes in tomato plants grown under salt stress. *Physiologia Plantarum*, 96: 231-236.
- Chen, K. and Arora, R. 2013. Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 94: 33-45.
- Chen, K., Arora, R. and Arora, U. 2010. Osmopriming of spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale) seeds and germination performance under temperature and water stress. *Seed Science and Technology*, 38: 36-48.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Hafeez, K. and Ahmad, N. 2005. Thermal hardening, a new seed vigor enhancement tool in rice. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47: 187-193.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. 2009. *Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management*. Sustainable Agriculture, Springer, Dordrecht. pp. 153-188.
- Fleta-Soriano, E. and Munné-Bosch, S. 2016. Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7: 143.
- Gecgel, U., Demirci, M., Esendal, E. and Tasan, M. 2007. Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84 (1): 47-54.
- Giannopolitis, C. and Ries, S. 1997. Superoxide desmutase: I. Occurrence in higher plant. *Plant Physiology*, 59: 309-314.
- Goswami, A., Banerjee, R. and Raha, S. 2013. Drought resistance in rice seedlings conferred by seed priming: role of the anti-oxidant defense mechanisms. *Protoplasma*, 250: 1115-1129.
- Jamshidi Jam, B., Shekari, F., Azimi, M. R. and Zangani, E. 2012. Effect of priming by salicylic acid on germination and seedling growth of safflower seeds under CaCl₂ stress. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 2: 1097-1105.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K. and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 463-499.
- HI, S. A. and Ramanujam, M. P. 1997. Effect of salicylic acid on black gram (*Vigna mungo*) cultivars. *Indian Journal of Plant Physiology*, 2 (2): 138-141.
- Hus, J. L. and Sung, J. M. 1997. Antioxidant role of glutathione associated with accelerated aging and hydration of triploid Watermelon seeds. *Physiol Plantarum*, 100: 967-974.
- Hussain, S., Zheng, M., Khan, F., Khaliq, A., Fahad, S., Peng, S., Huang, J., Cui, K. and Nie, L. 2015. Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. *Scientific Reports*, 5 (8101): 1-12.
- Jisha, K. C. and Puthur, J. T. 2016. Seed priming with beta-amino butyric acid improves abiotic stress tolerance in rice seedlings. *Rice Science*, 23 (5): 242-254.
- Jisha, K. C., Vijayakumari, K. and Puthur, J. T. 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiol Plant*, 35: 1381-1396.
- Jones, K. W. and Sanders, D. C. 1987. The influence of soaking pepper seed in water or potassium salt solutions on germination at three temperatures. *Journal of Seed Technology (USA)*, 11 (1): 97-102.
- Khaliq, A., Aslam, F., Matloob, A., Hussain, S., Geng, M., Wahid, A. and ur Rehman, H. 2015. Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice. *Biological Trace Element Research*, 166 (2): 236-244.
- Kubala, S., Wojtyla, L., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S. and Garnczarska, M. 2015b. Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, 183: 1-12.
- Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A. and Kondracka, K. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*, 27: 463-477.
- Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, G., Li, G. and Zheng, Y. 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment, and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst of Southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, 71: 174-183.
- Liu, L., Guan, L. L., Wu, W. and Wang, L. 2016. A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil. *World Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2: 48-52.
- Moaveni, P. 2011. Effect of water deficit stress on some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum*). *Agricultural Science Research Journal*, 1 (1): 64-68.
- Moosavi, A., Tavakkol Afshari, R., Sharif-Zadeh, F. and Aynehband, A. 2009. Seed priming to increase salt and drought stress tolerance during germination in cultivated species of Amaranth. *Seed Science and Technology*, 37 (3): 781-785.

- Nabizadeh, E., Yousefi, F. and Gerami, F. 2012. Osmopriming effects on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed germination and seedling growth. *European Journal of Experimental Biology*, 2 (3): 623-630.
- Omidi, A. H., Khazaei, H., Monneveux, P. and Stoddard, F. 2012. Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 17 (1): 10-15.
- Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D. and Balestrazzi, A. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, 34: 1281-1293.
- Patade, V. Y., Khatri, D., Manoj, K., Kumari, M. and Ahmed, Z. 2012. Cold tolerance in thiourea primed capsicum seedlings is associated with transcript regulation of stress responsive genes. *Molecular Biology Reports*, 39 (12): 10603-10613.
- Soltani, E. and Soltani, A. 2015. Meta-analysis of seed priming effects on seed germination, seedling emergence and crop yield: Iranian studies. *International Journal of Plant Production*, 9 (3): 413-432.
- Sharma, A. D., Rathore, S. V. S., Srinivasan, K. and Tyagi, R. K. 2014. Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Scientia Horticulturae*, 165: 75-81.
- Shehab, G. G., Ahmed, O. K. and El-Beltagi, H. S. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38 (1): 139-148.
- Soxhlet, F. 1879. The gravimetric determination of milk fat. *Digitalisierung des Polytechnischen Journals*, 232: 461-465.
- Wright, P. R., Morgan, J. M. and Jessop, R. S. 1997. Turgor maintenance by osmoregulation in *Brassica napus* and *B. juncea* under field conditions. *Annual Botany*, 80: 313-319.
- Zhang, F., Yu, J., Johnston, C. R., Wang, Y., Zhu, K., Lu, F., Zhang, Zh. and Zou, J. 2015. Seed priming with polyethylene glycol induces physiological changes in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seedlings under suboptimal soil moisture environments. *PLoS One*, 10 (10): e0140620, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0140620>.

Effect of Seed Priming on Germination, Biochemical Indices and Yield Components of Seed in Different Cultivars of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Drought Stress

Aeini¹, M., Heidari Sharif Abad², H., Yousefi Rad^{3*}, M., Majidi Heravan⁴, E. and Madani⁵, H.

Abstract

In order to investigate the effect of different methods of seed priming on germination indices, biochemical characteristics and yield component of three safflower cultivars under drought stress conditions, two experiment was carried out in the form of filed (as split factorial in randomized complete blocks design) and laboratory (as factorial based on completely randomized design) with three replications. The experimental factors included drought stress in two levels of complete irrigation during the growing season and drought stress at the stem elongation as the main factor and seed priming with osmopriming, hydropriming, hormopriming and control (without priming) and safflower cultivars included Isfahan, Sofeh and Goldasht as subplot factor. Simultaneous application of hydropriming and drought stress in Isfahan cultivar resulted in the highest root length (4.8 cm). Hydropriming and hormopriming increased the coefficient of velocity of germination in Isfahan cultivar 52.34% compared to control. Hydropriming increased the germination percentage by 11.33% compared to the control. The highest seed yield (100.72 g/m²) were obtained in Sofeh cultivar during complete irrigation and hydropriming application. The highest soluble carbohydrate amount (15.14 mg/g FW) was related to the interaction between stress and no priming. Goldasht cultivar had the highest oil yield (24.93 g/m²) at the time of complete irrigation and hydropriming application. Usage of hydropriming during stress in Goldasht cultivar caused the highest amount of proline (10.08 mg/g FW). The interaction of hormopriming with drought stress causes the most activity of superoxide dismutase enzyme (56.1 mg protein/min).

Keywords: Superoxide dismutase, Oil yield, Soluble carbohydrate, Proline

1, 2 and 4. PhD Graduate and Professors, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Saveh Branch, Saveh, Iran

5. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

✉: Corresponding author Email: m.yousefirad@iau-saveh.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's PhD thesis under the guidance of Hossein Heidari Sharif Abad and Mojtaba Yousefi Rad.