

تأثیر پرایمینگ بر جوانه‌زنی دانه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای زیربینه

خورشید نیک زاد چالستری و ریحانه عموآقایی*

شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۸

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۲۶

چکیده

شرایط محیطی نامساعد نظیر دماهای غیربینه، به طور قابل‌توجهی از جوانه‌زنی و رشد گیاهان ممانعت می‌کند و ممکن است سبب کاهش محصول آنها شوند. پرایمینگ دانه‌ها به عنوان روشی امیدبخش برای افزایش و بهبود جوانه‌زنی بسیاری از گیاهان در شرایط تنش در نظر گرفته شده است. در این تحقیق اثر پرایمینگ بر جوانه‌زنی دو رقم گوجه‌فرنگی (فالکاتو و زیتونی)، در دماهای غیربینه بررسی شد. پرایمینگ با خیساندن دانه‌ها در محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ با هوادهی مداوم (روش اسموپرایمینگ) و در ورمی‌کولیت مرطوب (روش هیدراسیون) برای ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. دانه‌ها در ظروف پتری محتوی دو لایه کاغذ صافی قرار داده شدند و در اتاقکهای رشد و در چهار سطح دمایی مختلف (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) انکوبه گردیدند و میانگین جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که هر دو تیمار پرایمینگ، میزان و سرعت جوانه‌زنی دانه گوجه‌فرنگی را حتی در دماهای غیربینه بهبود بخشیدند.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ دانه، پلی‌اتیلن‌گلیکول، جوانه‌زنی، دما، گوجه‌فرنگی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۸۱۴۴۲۴۴۱۹، پست الکترونیکی: rayhanehamooaghaie@yahoo.com

مقدمه

اثرات القاء شده به وسیله تنشها توسط گونه‌های فعال اکسیژن میانجیگری می‌شوند. گیاهان خودشان را برعلیه H_2O_2 و دیگر گونه‌های فعال اکسیژن به وسیله فعال سازی آنزیمی (پراکسیداز، سوپراکسیداز، دیسموتاز و کاتالاز) و آنتی اکسیدانهای غیر آنزیمی (از قبیل گلوتاتیون، اسکوربات و فلاونوئیدها)، محافظت می‌کنند (۳۰).

شرایط محیطی نامساعد مثل درجه حرارت‌های غیربینه، بطور قابل‌توجهی جوانه‌زنی و رشد گیاهان را ممانعت می‌کند و بنابراین کاهش‌دهنده محصول است. از نظر اقتصادی پیدا کردن روش‌هایی برای غلبه بر این مشکلات اهمیت دارد (۳۰).

تیمارهای آماده سازی بذور یکی از ارزان‌ترین راه‌های بهبود استقرار گیاهچه محسوب می‌گردد. استفاده از روش

از آنجایی که گیاهان موجوداتی هستند که پیکر آنها دمای ثابتی ندارد و تابع دمای محیط است، تنشهای محیطی مشکلاتی را در رشد آنها سبب می‌شود. بسیاری از نشاها و بذور جوانه‌زده، بومی مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری نسبت به دماهای کم حساس هستند. آسیبهای ناشی از دمای صفر تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد، باعث کوتاه شدن فصل رشد و محدودیت توزیع جغرافیایی این محصولات می‌گردد. سرما می‌تواند ساختار غشاء را از طریق پراکسیداسیون لیپیدی، تغییر متابولیکی، تغییر در مقدار پروتئین و فعالیت آنزیمی، تراوش الکترولیت‌ها و آمینواسیدها و سایر عوامل دیگر تغییر دهد. فعالیتهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان گرمسیری و نیمه گرمسیری، وقتی که در معرض درجه حرارت‌های زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند، کاهش می‌یابد. بعضی از

و آماده سازی زمین، نمی‌توان نشاها را به محل اصلی انتقال داد که موجب رشد رویشی زیاد و طولیل شدن نشاها می‌گردد. در اکثر موارد چنین نشاهایی در زمین اصلی، خوب استقرار نمی‌یابند و موجب کم شدن تعداد گیاه در واحد سطح گشته و در نهایت موجب کاهش عملکرد می‌شود (۲۱).

مشکل اصلی دیگر در اکثر نقاط، وجود سرمای بهاره در اوایل دوره کاشت نشاها در هوای آزاد می‌باشد که موجب کاهش قدرت رشد محصول، افزایش حساسیت به بیماریها و حتی مرگ گیاه می‌گردد (۲۶). در چنین مناطقی کشاورزان مجبور به تهیه مجدد نشا برای واکاری کردن می‌باشند که موجب تأخیر در کاشت می‌گردد.

با توجه به نکات فوق، برای بررسی این فرضیه که: آیا می‌توان از پرایمینگ به عنوان روشی برای کاهش اثرات منفی سرما بر گوجه‌فرنگی استفاده کرد یا نه؟ در این پژوهش اثر دو شیوه پرایمینگ (مجاورت با PEG و روش هیدراسیون-دهیدراسیون) بر جوانه‌زنی دانه‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما بررسی شده است.

مواد و روشها

در این پژوهش آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد و فاکتورها شامل دما در چهار سطح (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، پرایمینگ در سه سطح (شاهد، اسموپرایمینگ و هیدراسیون) و رقم در دو سطح (فالکاتو و زیتونی) بود. بذر دو رقم گیاهی از سازمان جهاد کشاورزی اصفهان تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند. بذور گوجه‌فرنگی توسط اتانول ۹۰ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی شدند و سپس توسط آب مقطر چندین بار شستشو گردیدند تا سطح آلودگی کاهش یابد.

برای پرایمینگ دانه‌ها به روش اسموپرایمینگ از محلول ۳۰۰ گرم در لیتر پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد. بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد،

پرایمینگ در کشورهای در حال توسعه می‌تواند خطر از دست رفتن محصول را در شرایط نامساعد به حداقل رساند و در مواردی باعث افزایش محصول گردد (۱۸).

پرایمینگ عملی است که طی آن دانه تا حدی آبیگری می‌کند و سپس خشک می‌گردد. بنابراین مراحل جوانه‌زنی آغاز می‌شود، اما ظهور ریشه‌چه اتفاق نمی‌افتد. روشهای پرایمینگ با جزئیات به وسیله Bradford (۱۹۸۶) و Khan (۱۹۹۲) شرح داده شده است و شامل خیساندن دانه در آب (هیدروپرایمینگ) و یا در یک محلول اسمزی از قبیل مانیتول، پلی اتیلن گلیکول و یا سدیم کلراید (اسموپرایمینگ) برای یک دوره زمانی معین و به دنبال آن شستن و خشک کردن مجدد دانه‌ها تا حد رطوبت اولیه است (۱۲ و ۲۳). پرایمینگ یک تکنیک اقتصادی، ساده و بی‌خطر برای افزایش توانایی دانه‌ها در تعدیل اسمزی و افزایش استقرار گیاهچه و تولید محصولات، تحت شرایط تنش‌زا می‌باشد. این تکنیک می‌تواند باعث ظهور سریع‌تر ریشه‌ها و ساقه‌ها، تولید گیاهانی با بنیه قوی‌تر، تحمل بهتر شرایط خشکی، گل‌دهی زودتر، برداشت زودتر و به دست آوردن محصول تحت شرایط نامساعد شود (۲۲).

گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین سبزیهایی است که کشت و پرورش آن در گلخانه یا زیر پلاستیک به منظور تولید محصول پیش‌رس یا خارج از فصل یا به صورت کشت در هوای آزاد در اغلب نقاط ایران در حال گسترش است. در بیشتر موارد، برای تولید گوجه‌فرنگی، کاشت بذر در محلهای گرم (گلخانه) بصورت خزانه‌کاری انجام می‌گیرد و سپس نشاهای به دست آمده به محل اصلی انتقال می‌یابند. مشکلاتی در زمان تولید نشا در خزانه و همچنین در موقع انتقال آنها به هوای آزاد، برای تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی وجود دارد. یکی از این مشکلات این است که معمولاً نشاهای گوجه‌فرنگی را برای تاریخ کاشت مشخصی پرورش می‌دهند، اما بعضی اوقات به دلایلی چون سرد بودن هوا در اوایل فصل بهار و یا تأخیر در تهیه

$$MGT (days) = (N_1 \times T_1 + (N_2 - N_1) \times T_2 + (N_3 - N_2) \times T_3 + \dots) / n$$

که در آن N_1, N_2, \dots تعداد بذرهای جوانه زده در روز اول، دوم و ... T_1, T_2 و ... روزهای شمارش و n مجموع شمارش کلی است.

سرعت جوانه‌زنی (Velocity) از رابطه $X = \sum (n/t)$ محاسبه گردید که در این رابطه n تعداد بذور جوانه زده تا زمان t و t تعداد روز تا شمارش مورد نظر می‌باشد (۲۸). زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی (T_{50})، از رابطه زیر به دست آورده شد (۱۶).

$$T_{50} = [(t_2 - t_1) \times 50\% + (p_2 t_1 - p_1 t_2)] / p_2 - p_1$$

در رابطه بالا t_1 زمانی که درصد جوانه‌زنی کمتر از ۵۰ درصد بوده، t_2 زمانی که درصد جوانه‌زنی بیش از ۵۰ درصد بوده و p_1 و p_2 درصد جوانه‌زنی در زمان t_1 و t_2 می‌باشند.

آزمایش به صورت فاکتوریل طراحی و انجام گردید. داده‌های جمع‌آوری شده توسط برنامه نرم افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه بین تیمارهای مختلف در هر یک از شاخصهای جوانه‌زنی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش تأثیر رقم، پرایمینگ و دما بر فاکتورهای جوانه‌زنی در جدول ۱ ارائه گردیده است. تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر رقم، پرایمینگ و دما بر میانگین جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال $P < 0.01$ معنی‌دار می‌باشد. تأثیر متقابل رقم و پرایمینگ بر میانگین جوانه‌زنی در سطح احتمال $P < 0.01$ معنی‌دار است، در حالی که بر میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال $P < 0.05$ معنی‌دار است. اثر متقابل رقم و دما و همچنین اثر متقابل پرایمینگ و دما

در ۲۰ میلی‌لیتر از پلی‌اتیلن‌گلیکول قرار داده شد و برای جلوگیری از کمبود اکسیژن هوادهی شدند. سپس بذرها از محلول خارج شده و پس از شستشو با آب مقطر، آب اضافی به وسیله کاغذ صافی گرفته شد. در مرحله بعد بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا رطوبت آنها به سطح اولیه برسد.

برای انجام پرایمینگ به روش هیدراسیون از ورمی‌کولیت به عنوان ماده جاذب رطوبت استفاده شد. مقدار ۱۰ گرم ورمی‌کولیت در پاکتهای پلاستیکی ریخته شد و سپس ۶۰ عدد بذر با این ماده مخلوط شده و ۱۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. سپس پاکتها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگاه‌داشته شدند، بعد از این مدت بذرها از ورمی‌کولیت جدا شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

برای بررسی تستهای جوانه‌زنی، بذرها به سه گروه تقسیم شدند. یک گروه بذرهایی که به روش اسموپرایمینگ تیمار شدند، گروه دوم بذرهایی تیمار شده به روش هیدراسیون و گروه سوم بذرهایی بودند که به عنوان شاهد و بدون تیمار استفاده شدند. هر سه گروه بذر درون ظروف پتری با دو لایه کاغذ صافی، قرار داده شده و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به هر پتری اضافه گردید. این کار با سه تکرار و قرار دادن ۲۰ عدد بذر در هر پتری انجام گرفت. سپس ظروف پتری درون اتاقک رشد در چهار درجه حرارت مختلف (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند و هر روز بذرهایی جوانه‌زده شمارش و ثبت شد. بذوری با اندازه ریشه‌چه بیشتر از ۲ میلی‌متر به عنوان بذور جوانه‌زده در نظر گرفته شدند. در نهایت درصد جوانه‌زنی (Germination Percentage) از رابطه $PG = 100(n/N)$ محاسبه شد، که در این رابطه n تعداد بذرهایی جوانه‌زده و N تعداد کل بذرهایی کشت شده می‌باشد. میانگین زمان جوانه‌زنی (Mean Germination Time) از رابطه زیر به دست آورده شد (۲۵).

نیز بر فاکتورهای جوانه‌زنی در سطح احتمال $P < 0.01$ مورد میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال $P < 0.01$ معنی‌دار می‌باشد، ولی اثر متقابل سه فاکتور رقم، پرایمینگ و دما بر روی میانگین جوانه‌زنی معنی‌دار نیست ولی در

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم، پرایمینگ و دما بر فاکتورهای جوانه‌زنی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	زمان رسیدن به ۵۰٪ جوانه‌زنی
رقم (A)	۱	۲۱۲۹/۱۸۴**	۵۹/۰۶۰**	۲۷۲/۷۶۷**	۶۵/۲۶۵**
پرایمینگ (B)	۲	۱۷۱۸/۵۵**	۶/۲۲۶**	۳۰۵/۴۸۹**	۸/۰۵۱**
دما (C)	۳	۱۲۳۸/۸۷۱**	۱۱۳۰/۸۰۰**	۱۷۰/۷۴۰**	۱۰/۱۹/۶۱**
A×B	۲	۵۳/۸۶۷**	۱/۰۲۷*	۲/۰۵۲*	۱/۸۵۳*
A×C	۳	۴۷/۸۳۸**	۱۴/۴۵۷**	۷/۵۸۰**	۲۱/۴۵۰**
B×C	۶	۴۴/۹۶۰**	۲/۷۳۵**	۱۳/۲۰۷**	۲/۵۸۹**
A×B×C	۶	۶/۵۳۸ ^{ns}	۱/۰۹۲**	۲/۳۱۶**	۱/۷۳۲**
خطای آزمایش	۴۸	۴/۴۴۸	۰/۲۵۰	۰/۵۶۴	۰/۴۳۸

* و ** به ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ معنی‌دار است و ns معنی‌دار نیست.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سه فاکتور رقم، پرایمینگ و دما بر فاکتورهای جوانه‌زنی

منبع تغییرات	میانگین جوانه‌زنی (درصد)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر جوانه زده در روز)	زمان رسیدن به ۵۰٪ جوانه‌زنی (روز)
رقم				
فالکاتو	۴۸/۵۵۷ ± ۰/۳۵۹ ^b	۹/۳۷۳ ± ۰/۰۸۳ ^a	۱۳/۶۱۲ ± ۰/۱۲۹ ^b	۸/۶۲۹ ± ۰/۱۱ ^a
زیتونی	۵۹/۴۳۳ ± ۰/۳۵۲ ^a	۷/۵۶۱ ± ۰/۰۸۷ ^b	۱۷/۵۰۵ ± ۰/۱۲۵ ^a	۶/۷۲۴ ± ۰/۱۳ ^b
پرایمینگ				
شاهد	۴۴/۳۶۱ ± ۰/۴۲۱ ^c	۸/۸۷۴ ± ۰/۱۰۲ ^a	۱۱/۵۲۲ ± ۰/۱۵۳ ^c	۸/۲۸۳ ± ۰/۱۳۶ ^a
اسموپرایمینگ	۵۷/۰۰۴ ± ۰/۴۳۵ ^b	۸/۶۳۲ ± ۰/۱۰۵ ^a	۱۶/۸۶۴ ± ۰/۱۵۶ ^b	۷/۶۱۷ ± ۰/۱۳۵ ^b
هیدراسیون	۶۰/۲۲۵ ± ۰/۴۳۱ ^a	۷/۸۹۶ ± ۰/۱۰۲ ^b	۱۸/۲۹۰ ± ۰/۱۵۱ ^a	۷/۱۳۰ ± ۰/۱۳۴ ^c
دما				
۲۵	۶۱/۱۵۳ ± ۰/۴۹۵ ^a	۳/۷۹۴ ± ۰/۱۱۷ ^c	۱۸/۱۹۲ ± ۰/۱۷۳ ^a	۳/۱۷۵ ± ۰/۱۵۶ ^d
۲۰	۵۸/۷۲۳ ± ۰/۴۹۷ ^b	۴/۰۶۴ ± ۰/۱۱۸ ^c	۱۷/۵۹۷ ± ۰/۱۷۷ ^a	۳/۸۲۳ ± ۰/۱۵۴ ^c
۱۵	۵۳/۶۳۳ ± ۰/۴۹۷ ^c	۵/۷۲۲ ± ۰/۱۱۹ ^b	۱۵/۰۱۸ ± ۰/۱۷۵ ^b	۴/۷۸۶ ± ۰/۱۵۸ ^b
۱۰	۴۲/۴۷۳ ± ۰/۴۹۲ ^d	۲۰/۲۸۷ ± ۰/۱۱۶ ^a	۱۱/۴۲۷ ± ۰/۱۷۷ ^c	۱۸/۹۲۲ ± ۰/۱۵۶ ^a

هر میانگین متوسط حداقل ۳ تکرار و ۲۰ عدد بذر در هر تکرار می‌باشد. حروف متفاوت در هر ستون برای هر یک از عوامل نشان دهنده اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

بذور گوجه‌فرنگی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دماهای پایین‌تر میانگین جوانه‌زنی بالاتری نشان دادند. همچنین دانه‌ها در مدت زمان کوتاه‌تری به حداکثر جوانه‌زنی رسیدند. البته میانگین جوانه‌زنی در بذور

شاهد معنی‌دار بود. مخصوصاً در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد میانگین جوانه‌زنی در دانه‌های تیمار شده به روش هیدراسیون و اسمو پرایمینگ به طور معنی‌داری بهتر از دانه‌های شاهد بدون پرایمینگ بوده است.

مقایسه میانگین اثرات متقابل پرایمینگ و دما بر زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (شکل d-۱) نشان می‌دهد که بالاترین مقدار مربوط به تیمار شاهد و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در حالی که کمترین مقدار مربوط به تیمار هیدراسیون و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. در حالی که در دماهای ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی دانه‌های پرایمینگ شده با شاهد تفاوت معنی‌داری ندارد. در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد هیدراسیون بطور معنی‌داری زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذور را نسبت به شاهد و اسموپرایمینگ کاهش داده است.

از بررسی اثرات متقابل پرایمینگ و دما بر میانگین زمان جوانه‌زنی (شکل e-۱) مشخص گردید که بالاترین مقدار میانگین زمان جوانه‌زنی (۲۱/۱۸۷ روز) مربوط به تیمار شاهد و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و کمترین مقدار آن (۳/۵۶۷ روز) مربوط به تیمار هیدراسیون و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. در حالی که در ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد اسموپرایمینگ و هیدراسیون نسبت به شاهد اثر معنی‌داری بر میانگین زمان جوانه‌زنی نداشته‌اند، ولی در ۱۰ درجه سانتی‌گراد هیدراسیون به طور معنی‌داری میانگین زمان جوانه‌زنی را نسبت به شاهد و اسموپرایمینگ کاهش داده است.

همچنین مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دو فاکتور پرایمینگ و دما بر سرعت جوانه‌زنی (شکل f-۱) نیز مشخص کرد که بالاترین مقدار سرعت جوانه‌زنی (۲۱/۲) عدد بذر در روز) مربوط به تیمار هیدراسیون و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. البته تیمار هیدراسیون و اسموپرایمینگ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف

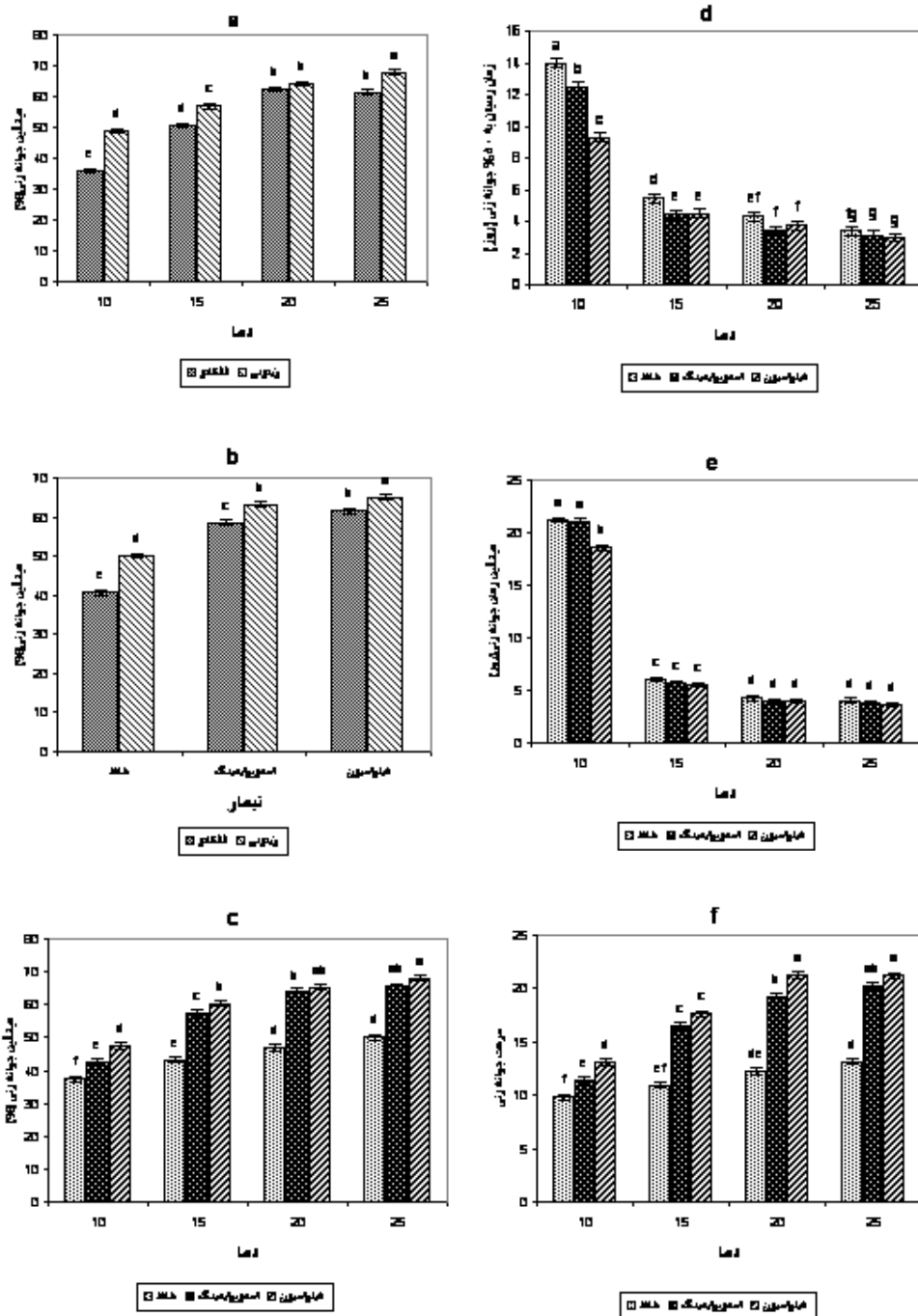
گوجه‌فرنگی رقم زیتونی نسبت به رقم فالکاتو بیشتر بود (جدول ۲). میانگین زمان جوانه‌زنی و همچنین زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دماهای دیگر کمتر بود و سرعت جوانه‌زنی در این دما بیشتر بود.

دانه‌های پرایمینگ شده با استفاده از روش اسموپرایمینگ در محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول با هوادهی مداوم و روش هیدراسیون با استفاده از ورمی‌کولیت مرطوب میانگین جوانه‌زنی بالاتری نسبت به دانه‌های شاهد در درجه حرارت‌های مختلف نشان دادند (جدول ۲). همچنین اثر تحریکی این تیمارهای پرایمینگ بر روی سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی مشهود می‌باشد. البته نتایج حاصل نشان داد که تیمار هیدراسیون نسبت به اسموپرایمینگ مؤثرتر بوده است (جدول ۲).

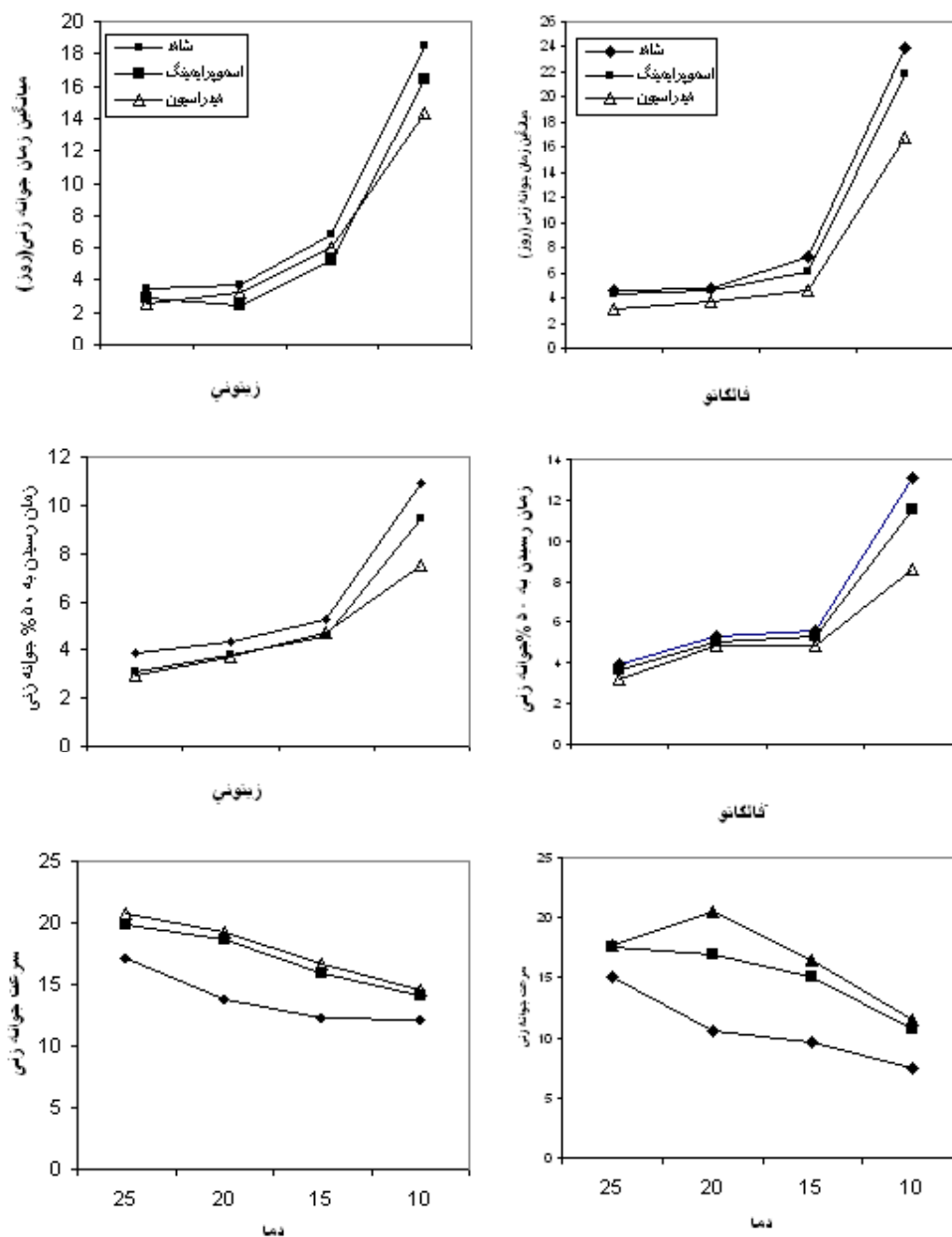
بررسی اثر متقابل رقم و دما بر میانگین جوانه‌زنی نشان می‌دهد که رقم فالکاتو نسبت به رقم زیتونی نسبت به سرما حساس‌تر بوده و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد میزان جوانه‌زنی آن نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۳۰ واحد افت کرده است. در حالی که این افت برای رقم زیتونی معادل ۱۵ واحد می‌باشد (شکل a-۱).

بررسی اثر متقابل رقم و پرایمینگ نیز نشان داد که گرچه همواره میزان جوانه‌زنی در رقم زیتونی بیش از رقم فالکاتو است و هر دو رقم به تیمارهای پرایمینگ پاسخ مثبت و معنی‌داری نشان داده‌اند، ولی اثر مثبت پرایمینگ بر میانگین جوانه‌زنی رقم فالکاتو تا حدودی بیشتر از رقم زیتونی بوده است. به طوری که تیمار هیدراسیون میانگین جوانه‌زنی رقم فالکاتو را نسبت به حالت شاهد ۲۰ واحد افزایش داده است، اما این اثر برای رقم زیتونی معادل ۱۰ واحد بوده است (شکل b-۱).

از نظر اثرات متقابل پرایمینگ و دما بر میانگین جوانه‌زنی (شکل c-۱) در همه دماها اثر تیمارهای پرایمینگ نسبت به



شکل ۱- اثرات دما بر سرعت جوانه زنی (a) و بر میانگین جوانه زنی (b) و اثر متقابل پرایمینگ و دما بر میانگین جوانه زنی (c) اثر متقابل پرایمینگ و دما بر میانگین جوانه زنی (d) اثر متقابل پرایمینگ و دما بر زمان رسیدن به ۵۰٪ جوانه زنی (e) اثر متقابل پرایمینگ و دما بر میانگین زمان جوانه زنی (f) اثر متقابل پرایمینگ و دما بر سرعت جوانه زنی



شکل ۲- مقایسه اثر دما و پرایمینگ بر میانگین زمان جوانه‌زنی، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی دو رقم گوجه فرنگی فالکاتو و زیتونی

پرایمینگ (شاهد) در دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری ندارند، اما سرعت جوانه‌زنی تیمار شاهد در ۱۰ درجه سانتی‌گراد به طور معنی‌داری کاهش یافته

معنی‌داری با یکدیگر ندارند. کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای بدون

دانه‌های رقم‌های تجاری مختلف گوجه‌فرنگی هیچ نوع خواب داخلی یا خارجی از خود نشان نمی‌دهند. اما دماهای جوانه‌زنی مناسب برای ژنوتیپ‌های مختلف، متغیر بوده و دامنه‌ای از حداقل ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد تا حداکثر ۳۵ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند (۳۵).

دمای بهینه برای جوانه‌زنی اکثر رقم‌ها بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. تجربه نشان می‌دهد که میزان جوانه‌زنی اکثر این رقم‌های تجاری به طور چشم‌گیری در دماهای زیر ۱۲ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد (۱۲). در آب و هوای مدیترانه‌ای، گوجه‌فرنگی اغلب در زمستان یا در اوایل بهار در گلخانه‌های سرد یا تونل‌های پلاستیکی و یا به طور مستقیم در مزرعه کشت می‌شود. در حالت اخیر این گیاهان ممکن است، در مراحل اولیه کاشت، دوره‌های دمایی کمتر از حد بهینه (تقریباً نزدیک به دماهای کمینه جوانه‌زنی یعنی ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد) را تجربه کنند. در چنین شرایطی دانه‌ها در مدت طولانی‌تری جوانه می‌زنند و هماهنگی و سرعت جوانه‌زنی بذور کاهش می‌یابد که این امر مشکلاتی را در رشد بعدی گیاهچه در اثر رقابت بین آنها بوجود می‌آورد که در نهایت موجب کاهش استقرار گیاهچه و محصول نهایی می‌شود (۱۹ و ۲۴).

نتایج این پژوهش نشان داد تیمار پرایمینگ باعث افزایش میانگین جوانه‌زنی می‌گردد. همچنین پرایمینگ باعث کاهش زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و افزایش سرعت جوانه‌زنی بذورهای گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شد. یعنی جوانه‌زنی بذورهای پرایم شده نسبت به بذورهای شاهد زودتر آغاز شده و در نتیجه تحت شرایط نامساعد این بذرها سریع‌تر و هماهنگ‌تر جوانه می‌زنند (جدول ۲). نتایج نشان داد که به کارگیری تیمارهای پرایمینگ می‌تواند بنیه هر دو نوع بذور گوجه‌فرنگی را افزایش دهد. این نتایج مطابق با کارهای انجام گرفته توسط سایر پژوهشگران بر روی گندم (۹)، ذرت (۴) و دانه‌های کدو (۳۳) می‌باشد که افزایش سرعت جوانه‌زنی و میانگین

است. در تمامی دماها هیدراسیون و اسموپرایمینگ، سرعت جوانه‌زنی را افزایش داده‌اند و این اثر در دماهای بالا بیشتر بوده است. با این وجود تیمارهای پرایمینگ در ۱۰ درجه سانتی‌گراد نیز به طور معنی‌داری نسبت به شاهد سرعت بالاتری برای جوانه زنی دارند.

بررسی اثرات سه گانه رقم، دما و پرایمینگ (شکل ۲) نشان می‌دهد که زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی در دماهای پایین برای رقم فالکاتو در حد معنی‌داری بیش از رقم زیتونی بود و در مقابل سرعت جوانه‌زنی رقم فالکاتو در حد معنی‌داری بیش از رقم زیتونی بود. همچنین نتایج نشان داد که اثر پرایمینگ بر افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش زمان جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در رقم فالکاتو بیشتر از رقم زیتونی بوده است و اثر هیدراسیون بهتر از اسموپرایمینگ بوده است.

بحث

جوانه‌زنی بذور مرحله پیچیده و پویایی از رشد گیاه می‌باشد و از طریق اثراتی که بر استقرار گیاهچه دارد، می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد (۲ و ۷).

نتایج این پژوهش نشان داد که در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد فاکتورهای جوانه‌زنی نظیر میانگین جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، کاهش و در مقابل زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش چشمگیری دارند (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهند که گوجه‌فرنگی گیاهی حساس به سرما است. جعفری و همکاران (۱۳۸۵) نیز گزارش کردند که گوجه‌فرنگی به سرما حساس بوده و سرما موجب کاهش پارامترهای رشد گیاه و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی آن می‌شود (۱). این نتایج با گزارشهای بسیاری از محققان در مورد پاسخ گوجه‌فرنگی به سرما مطابقت دارد.

جوانه‌زنی را به دنبال تیمار بذر به روش پرایمینگ مشاهده نمودند.

پرایمینگ دانه‌ها برای گیاهان علفی که به طور مستقیم و یا به صورت نشاکاری در مزرعه کاشته می‌شوند، اهمیت دارد. گوجه‌فرنگی عموماً بصورت نشا کاشته می‌شود. پرایمینگ دانه‌های گوجه‌فرنگی باعث نمو بهتر نشاها حتی تحت شرایط بهینه و مناسب رشد، می‌گردد. این قبیل نشاها تنش‌های موجود در مزرعه را بهتر از نشاهای دیگر تحمل می‌کنند (۵).

پرایمینگ سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی دانه و رشد نشا را افزایش می‌دهد (۲۳ و ۳۴). اختلاف معنی‌داری در مقادیر عددی فاکتورهای جوانه‌زنی و ظهور دانه‌های پرایم شده در برابر دانه‌های پرایم نشده، گزارش شده است. افزایش سرعت جوانه‌زنی در دانه‌های پرایم شده به راه‌اندازی فرآیندهای متابولیکی مختلف مورد نیاز برای جوانه‌زنی دانه نسبت داده می‌شود (۱۰). این فعالیت‌های متابولیکی در طول خشک کردن دانه‌های پرایم شده کاهش می‌یابد ولی از بین نمی‌روند. بنابراین وقتی این قبیل دانه‌ها دوباره آبنوشی می‌کنند، جوانه‌زنی، سریع‌تر و یکنواخت‌تر صورت می‌گیرد (۱۷ و ۳۲).

از دو روش پرایمینگ ارزیابی شده در این تحقیق به نظر می‌رسد که هیدراسیون با ورمی‌کولیت مرطوب نسبت به اسموپرایمینگ با محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ مؤثرتر باشد. شاید کم بودن اثر اسمو پرایمینگ تا حدودی مربوط به کاهش غیر منتظره پتانسیل آب محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول به دلیل تبخیر آب محلول باشد که بیشتر از محیطی که فقط حاوی آب (هیدراسیون) باشد، نمود پیدا می‌کند (۱۵).

در این پژوهش رقم فالکاتو به طور ژنتیکی نسبت به رقم زیتونی بنیه کمتر و پاسخ‌های جوانه‌زنی ضعیف‌تری را نشان داد (جدول ۲). به طوری که رقم فالکاتو حتی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به رقم زیتونی جوانه‌زنی پایین‌تری داشت (شکل ۲).

از سوی دیگر بررسی اثر متقابل رقم و پرایمینگ نشان داد که گرچه همواره میزان جوانه‌زنی در رقم زیتونی بیش از رقم فالکاتو است و هر دو رقم به تیمارهای پرایمینگ پاسخ مثبت و معنی‌داری نشان داده‌اند، ولی اثر مثبت پرایمینگ بر میانگین جوانه‌زنی رقم فالکاتو تا حدودی بیشتر از رقم زیتونی بوده است (شکل b-۱). همین نتایج در مورد افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (شکل ۲) نیز صدق می‌کند. این نتایج در تطابق با یافته‌های Heydeker و همکاران (۱۹۷۵) می‌باشد که مشاهده کردند ارقام بذر با کیفیت فیزیولوژیکی کمتر، بیشتر از ارقامی با بنیه ژنتیکی قوی‌تر از تیمار پرایمینگ سود می‌برند (۲۰).

بررسی اثر متقابل رقم و دما نشان داد که گرچه همواره میزان جوانه‌زنی هر دو رقم در دماهای پایین کاهش چشمگیر و معنی‌داری دارد، ولی اثر منفی سرما بر میانگین جوانه‌زنی رقم فالکاتو تا حدودی بیشتر از رقم زیتونی بوده است. در حالی که جوانه‌زنی این دو رقم در دماهای ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد خیلی نزدیک به هم بوده ولی در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد تفاوت چشمگیر و معنی‌داری دارند. کاهش سرعت جوانه‌زنی و افزایش میانگین زمان جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (شکل ۲) در پاسخ به سرما نیز در رقم فالکاتو تا حدودی بیشتر از رقم زیتونی بوده است. فالکاتو یکی از ارقام گوجه‌فرنگی زودرس با میوه‌های درشت و سفت بوده که استقرار آن در آب و هوای نسبتاً گرم خوب گزارش شده است. در مقابل رقم زیتونی دارای میوه‌های کوچک و زیتونی شکل است که بومی انگلستان بوده و اخیراً در ایران هم کاشته می‌شود. نتایج این تحقیق در مورد حساس‌تر بودن رقم فالکاتو در مقایسه با رقم زیتونی، نسبت به سرما با پیشینه تکاملی این دو رقم هماهنگی دارد.

در این پژوهش اثرات متقابل پرایمینگ و دما بر روی شاخص‌های میانگین جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی،

مشاهده شده تحت تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌باشد که باعث ایجاد گیاهانی با بنیه ضعیف‌تر می‌شوند (۷). تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه با تنش‌های مختلف ممانعت می‌شود (۵). اگر اثرات این قبیل تنش‌ها در مراحل اولیه نمو گیاه کم شوند، استقرار موفقیت‌آمیز یک گیاه علفی به طور زیادی تحت شرایط تنش‌زا افزایش می‌یابد (۶). پرایمینگ به عنوان روشی برای مقاومت بیشتر دانه‌ها به تنش‌های مختلف مزرعه (شوری، تنش‌های اسمزی و درجه حرارت) در مراحل اولیه نمو گیاه شناخته می‌شود.

توانایی پرایمینگ دانه برای بهبود جوانه‌زنی در درجه حرارت‌های پایین در نواحی مدیترانه و در مناطق سردسیری حائز اهمیت می‌باشد. در این قبیل شرایط، دانه‌های پرایم شده در اوایل بهار و اواخر پاییز وقتی رطوبت خاک برای جوانه‌زنی دانه کافی است، کاشته می‌شوند و پرایمینگ اثر مثبتی بر روی استقرار گیاه قبل از دوره‌های تنش‌زای زمستان و تابستان دارد (۳).

تحقیق حاضر نشان می‌دهد که هیدراسیون برای بهبود جوانه‌زنی در درجه حرارت‌های پایین، در نواحی سردسیری کشور نظیر شهرکرد ممکن است مفید و مؤثر واقع شود و بنابر این توصیه می‌شود مشابه این تحقیق در سطح مزرعه‌ای و تازمان برداشت میوه انجام شود.

سرعت جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بوده است.

اثرات مفید اسموپرایمینگ دانه بر روی جوانه‌زنی در درجه حرارت‌های پایین در گوجه‌فرنگی (۱۳ و ۱۴) و گونه‌های دیگر از قبیل فلفل (۲۹)، هندوانه و خربزه (۲۷ و ۳۱) و در جو، سویا و ذرت (۸ و ۱۱) توسط سایر محققان نیز گزارش شده است. همچنین Zhang و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که دانه‌های اسموپرایمینگ شده برنج در درجه حرارت‌های پایین (۵ درجه سانتی‌گراد) جوانه‌زنی سریع و بالاتری را نسبت به دانه‌های شاهد نشان دادند (۳۶).

با وجود اینکه اصلاح ژنتیکی بذر گیاهی توانسته است تا حدودی از طریق بهبود جوانه‌زنی در شرایط نامساعد، عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد ولی بعد از گذشت دو دهه از شناخت روش‌های آماده‌سازی بذر، تکنیک پرایمینگ همچنان یک روش شایع و رایج برای افزایش سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی سبز شدن در شرایط مزرعه و همچنین افزایش مقاومت آنها در برابر شرایط نامساعد محیطی به شمار می‌رود (۷).

جوانه‌زنی سریع و ظهور یکنواخت نشا برای استقرار یک گیاه علفی در مزرعه تحت شرایط بهینه و تنش‌زا لازم می‌باشد. جوانه‌زنی ضعیف و پراکنده، پدیده‌های معمول

منابع

۱. جعفری، س.ر.، منوچهری کلانتری، خ. و ترکزاده، مسعود. ۱۳۸۵. بررسی اثر پاکلوبوترازول بر افزایش مقاومت به سرما در نهال‌های گوجه‌فرنگی. مجله زیست‌شناسی ایران. جلد ۱۹. صفحات ۲۹۸-۲۹۰.
۲. عمواقلایی، ر. ۱۳۸۴. تاثیر خیساندن بذر، مدت زمان و دمای پیش‌سرما مرطوب بر شکست خواب بذر کما. مجله زیست‌شناسی ایران. جلد ۱۸. صفحات ۳۵۹-۳۵۰.

3. Adegbuyi E., S. R. Cooper and R. Don. 1981. Osmotic priming of some herbage grass seeds using polyethylene glycol (PEG). Seed Science and Technology. 9: 867-878
4. Afzal I., S. M.A. Basra, N. Ahmad, M. A. Cheema, E. A. Warriach and A. Khaliq. 2002. Effect of priming and growth regulator treatment on emergence and seedling growth of

hybrid maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology. 4: 302-306.

5. Arin L. and Y. Kijak. 2003. The effects of pre-sowing treatments on emergence and seedling growth of tomato seed (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under several stress conditions. Pakistan Journal of Biological Science. 6: 990-994.

6. Ashraf M., R. Zafar and M. Y. Ashraf. 2003. Time-course changes in the inorganic and organic components of germinating sunflower achenes under salt (NaCl) stress. *Flora*. 198: 26-36.
7. Ashraf M. and M. R. Foolad. 2005. Presowing seed treatment-a shotgun saline condition. *Advances in Agronomy*. 88: 223-271.
8. Basra A. S., S. Bedi and C. P. Malik. 1988. Accelerated germination of maize seeds under chilling stress by osmotic priming and associated changes in the embryo phospholipids. *Annals of Botany*. 61: 653-669.
9. Basra S. M. A., M. N. Zia, I. Afzal and A. Khaliq. 2002. Comparison of different invigoration techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Pakistan Journal of Arid Agriculture*. 5: 11-16.
10. Bewley J. D. and M. Black. 1982. Physiology and biochemistry of seeds. Viability, dormancy and environmental control. Vol. 2. Berlin, Springer-Verlag.
11. Bodsworth S. and J. D. Bewley. 1981. Osmotic priming of seeds of crop species with polyethylene glycol as a means of enhancing early and synchronous germination at cool temperatures. *Canadian Journal of Botany*. 50: 672-676.
12. Bradford K. J. 1986. Manipulation of seed water relation via osmotic priming to improve germination under stress condition. *Hortscience*. 21: 1105-1112.
13. Cavallaro V., G. Mauromical and G. Di Vincenzo. 1994. Effects of seed osmoconditioning on emergence characteristics of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Horticulturae*. 362: 213-220.
14. Dahal P., K. J. Bradford and R. A. Jones. 1990. Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. I. Germination at suboptimal temperatures. *Journal of Experimental Botany*. 41: 1431-1439.
15. Emmerich, W.E. and S.P. Hardegree. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Science*. 31: 454-458
16. Farooq M., S. M. A. Basra, I. Afzal and A. Khaliq. 2006. Optimization of hydropriming techniques for rice seed in vigation. *Seed Science and Technology*. 34: 507-512.
17. Gurusinghe S. H. and K. J. Bradford. 2001. Galactosyl-sucrose oligosaccharids and potential longevity of primed seeds. *Seed Science Research*. 11: 121-133.
18. Harris D. 2003. Reducing risk and increasing yields from rain fed crops in Africa using on-farm seed priming. 87-88. in Abstracts: Harnessing crop technologies to alleviate hunger and poverty in Africa. 6th Biennial Conference of the Africa Crop Science Society, Hilton Nairobi, Kenya. 12-16th October. pp: 87-88.
19. Herner R. C. 1986. Germination under cold soil condition. *Hortscience*. 5: 1118-1122.
20. Heydecker W., J. Higgins and Y. Turner. 1975. Invigoration of seeds? *Seed Science and Technology*. 3: 881-888.
21. James M. P. and W. E. Splitt Stoesser. 1979. Controlling tomato transplant height with chlormequat, daminozide and ethephon. *Journal of American Society Hortscience*. 104(3): 342-344.
22. Kaur S., A. K. Gupta and N. Kaur. 2002. Effect of osmo-and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. *Plant Growth Regulation*. 37: 17-22.
23. Khan A. A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. *Horticultural Review*. 14: 131-181.
24. Leskovar D. I. and W. L. Sims. 1987. Emergence and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in response to presowing treatments. *Acta Horticulturae*. 2000: 145-152.
25. Li W., M. B. McDonald, M. A. Bennett and F. Y. Kwong. 2005. Hydropriming of differing sized impatiens "Expo wine" seeds. *Seed Science and Technology*. 33: 639-646.
26. Nathaniel S. and W. J. Bramlage. 1981. Effect of chemical protectors against chilling injury of young cucumber seedling. *Journal of American Society Hortscience*. 106(3): 282-284.
27. Nerson H. and A. Govers. 1986. Salt priming of muskmelon seeds for low-temperature germination. *Scientia Horticulturae*. 28: 85-91.
28. Nichols M. A. and W. Heydecker. 1968. Two approaches to the study of germination data. *Proceedings of the International Seed Testing Association*. 33: 531-540.
29. O'Sullivan J. and W. J. Bouw. 1984. Pepper seed treatment for a low- temperature germination. *Canadian Journal of Plant Sciences*. 64: 387-393.

30. Posmyk M. M. and K. M. Janas. 2007. Effects of seed hydropriming in presence of exogenous proline on chilling injury limitation in *Vigna radiata* L. seedlings. Acta Physiology Plant.
31. Sachs M. 1977. Priming of watermelon seeds for low-temperature germination. Journal of the American Society for Horticultural Science. 102: 175-178.
32. Schipper J., P. Vander Toorn and T. Bruggink. 2001. Process for prolonging shelf- life of primed non germinated seeds. Us Patent No. 6,313,377B1.
33. Soon K. J., C. Y. Whan, S. B. Gu, A. C. Kil and C. J. Lai. 2000. Effect of hydropriming to enhance the germination of gourd seeds. Journal of Korean Society of Horticultural Sciences. 41: 559-564.
34. Taylor A. G., P. S. Allen, M. A. Bennett, J. K. Bradford, J. S. Burris and M. K. Mishra. 1998. Seed enhancements. Seed Science Research. 8: 245-256.
35. Thompson P. A. 1974. Characterization of the germination responses to temperature of vegetable seeds. I. tomatoes. Scientia Horticulturae. 2: 35-54.
36. Zhang S., J. Hu, N. Liu and Z. Zhu. 2006. Presowing seed hydration treatment enhances the cold tolerance of direct-sown rice. Seed Science and Technology. 34: 593-601.

The effects of priming on tomato seeds germination under suboptimal temperatures

Nikzad Kh. and Amooaghaie R.

Biology Dept., Faculty of Science, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. of Iran

Abstract

The unsuitable climatic conditions such as suboptimal temperatures inhibit seed germination and plant growth and their yield may be reduced. The priming is considered as a promising technique for increasing of seed germination percentage and improvement of germination rate of many plants in stress condition. In this research effect of priming was investigated on seed germination of two tomato cultivars (Cherry and Falcato) under suboptimal temperatures. Priming was accomplished by soaking seeds in a polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) aerated solution (osmopriming) and in moist vermiculite (hydration) for 24 h at 25°C. Seeds were laid in Petri dishes with two filter papers and were incubated in growth chambers at 10, 15, 20 and 25°C and calculated the germination mean, mean germination time, germination velocity and T₅₀. Result showed that both priming treatments improved germination percentage and rate of tomato seeds, even under suboptimal temperatures.

Keywords: Germination, PEG, Seed priming, Temperature, Tomato