

نوع مقاله: پژوهشی

تأثیر شرایط محیطی گیاهان مادری اطلسی (*Petunia × atkinsiana*) بر جوانه‌زنی بذر و شادابی دانه‌ها تحت تنش‌های

غیرزیستی مختلف

اسداله سهراب‌نژاد (نویسنده مسئول)*

1- کارشناسی‌ارشد، علوم باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران، asadollah.sohrabnezhad@gmail.com

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۴

The Effect of Maternal Plant Environmental Conditions on Seed Germination and Seedling Vigor of *Petunia* under Various Abiotic Stresses

Asadollah Sohrabnezhad (Corresponding author)*

1- M.Sc, Department of Horticulture Science, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran,

asadollah.sohrabnezhad@gmail.com

Received: August 2025

Accepted: October 2025

Abstract

Seed germination and seedling vigor can be influenced by environmental conditions experienced by the maternal plant. However, information regarding maternal environment effects on seed quality in ornamental plants remains limited. This study investigated the effects of two contrasting maternal environments on seed germination and seedling vigor of *petunia* under various abiotic stresses. Maternal *petunia* plants were cultivated either in a greenhouse during spring and summer months or in a controlled growth chamber with regulated temperature and light. Collected seeds were exposed to external stress factors—polyethylene glycol (PEG), sodium chloride (NaCl), and high temperature—to determine germination percentage and seedling vigor. Results demonstrated that seeds harvested from maternal plants grown in controlled environments exhibited superior germination performance compared to those from greenhouse-grown plants. Furthermore, in salinity tests, seedlings derived from the controlled maternal environment showed better performance than greenhouse-originated seedlings. Notably, under drought stress, greenhouse seedlings displayed less damage from reactive oxygen species and lower electrolyte leakage than seedlings from controlled environments. Differences in germination and vigor of seeds from the two maternal environments may stem from inherited epigenetic memory. This study highlights the significant impact of maternal environmental conditions on seed germination and seedling vigor in *petunia*, potentially contributing to high-quality seed production in ornamental plants.

Keywords: Absciscic acid, Drought, Environmental conditions, Heat stress, Salinity, Seasonal flower

چکیده

جوانه‌زنی بذر و شادابی گیاهچه می‌تواند تحت تأثیر شرایط محیطی تجربه‌شده توسط گیاه مادری قرار گیرد. بااین‌حال، اطلاعات درباره تأثیر محیط مادری بر کیفیت بذر در گیاهان زینتی اندک است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیرات دو شرایط محیطی مختلف بر جوانه‌زنی بذر و شادابی گیاهچه‌های اطلسی تحت تنش‌های غیرزیستی مختلف انجام شد. گیاهان مادری اطلسی در گلخانه در طول ماه‌های بهار و تابستان یا در اتاقک با کنترل دما و نور پرورش یافتند. بذرها جمع‌آوری شده در معرض عوامل تنش‌زای خارجی، شامل پلی‌اتیلن‌گلیکول، کلرید سدیم و دمای بالا قرار گرفتند تا درصد جوانه‌زنی بذر و شادابی گیاهچه تعیین شود. نتایج نشان داد که بذرها برداشت‌شده از گیاهان مادری پرورش‌یافته در محیط کنترل‌شده نسبت به بذرها برداشت‌شده از گیاهان مادری پرورش‌یافته در گلخانه شرایط جوانه‌زنی بهتری داشتند. علاوه بر این، در آزمون شوری، دانه‌های حاصل از محیط مادری شاهد عملکرد بهتری نسبت به گیاهچه‌های گلخانه‌ای داشتند. جالب‌توجه اینکه، گیاهچه‌های گلخانه‌ای تحت تنش کم‌آبی، آسیب کمتری از گونه‌های فعال اکسیژن و نشت الکترولیت کمتری نسبت به گیاهچه‌های محیط کنترل‌شده نشان دادند. تفاوت در جوانه‌زنی و شادابی گیاهچه بذرها حاصل از دو شرایط محیطی مختلف ممکن است ناشی از حافظه اپی‌ژنتیکی به‌ارث‌رسیده از گیاهان مادری باشد. این مطالعه بر تأثیر قوی شرایط محیطی بر جوانه‌زنی بذر و شادابی گیاهچه در اطلسی تأکید کرد و ممکن است به تولید بذر با کیفیت بالا در گیاهان زینتی کمک کند.

کلمات کلیدی: اسید آبسیزیک، خشکی، شرایط محیطی، شوری، گرما، گل

فصلی

مقدمه و کلیات

بسیاری از گل‌های فضای سبز زندگی خود را با بذر آغاز می‌کنند و بذرهای با کیفیت بالا برای استقرار موفق گیاهان ضروری هستند. گیاه مادری به شدت بر صفات بذر، مانند اندازه بذر، سرعت جوانه‌زنی و قابلیت حیات تأثیر می‌گذارد (Donohue, 2009; Geshnizjani *et al.*, 2019). به‌طور ویژه، عوامل محیطی، از جمله نور، دما، رطوبت خاک و مواد مغذی که گیاه مادری با آن‌ها مواجه می‌شود، می‌توانند باعث تغییر در کیفیت بذر حتی درون یک ژنوتیپ یکسان شوند (Shinohara *et al.*, 2006; Donohue *et al.*, 2010). تغییرات حاصل در کیفیت بذر ناشی از اثر مادری همچنین می‌تواند تغییرات فنوتیپی را ایجاد کند (Donohue, 2009; Donohue *et al.*, 2010). مزایای پرورش گیاه مادری در محیط‌های مطلوب برای به‌دست‌آوردن بذرهای با کیفیت بالاتر به‌خوبی بررسی شده و در بسیاری از گونه‌های زراعی، از جمله گوجه‌فرنگی و حبوبات به کار گرفته می‌شود (Penfield *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017). با این حال، اطلاعات در مورد تأثیرات محیط مادری بر بینه بذر و دانه‌های گیاهان زینتی هنوز اندک است. ارزش عمده‌فروشی گل‌های فصلی در ایالات متحده در سال ۲۰۲۳ بالغ بر ۳/۶۲ میلیارد دلار و ارزش گیاهان گل‌دانی گل‌دار برای استفاده در فضای داخلی ۸۷۷ میلیون دلار بود (United States Department of Agriculture, 2023). اطلسی به دلیل داشتن گل‌های با رنگ‌های فراوان، جزء پنج گل فصلی و گل‌دانی

محسوب می‌شود. علاوه بر این، اطلسی معمولاً به‌عنوان یک گیاه مدل برای تجزیه و تحلیل مکانیسم‌های مولکولی زیربنایی رشد گیاه استفاده می‌شود. اهمیت اطلسی در صنعت گلکاری و به‌عنوان یک گیاه مدل، آن را به گزینه‌ای ایده‌آل برای آزمایش تأثیرات محیط مادری بر کیفیت بذر تبدیل می‌کند. برای اطمینان از کیفیت بالای بذر، شرکت‌های تجاری برای تولید بذر عموماً گیاهان مادری را در مناطقی با نور و دمای مطلوب پرورش می‌دهند (Penfield *et al.*, 2016). این روش زمان و مکان تولید بذر را محدود می‌کند که ممکن است مانع از تولید ایده‌آل بسیاری از گونه‌های گیاهی شود. به‌عنوان مثال، در مناطق با آب و هوای گرمسیری، جایی که دما و رطوبت نسبتاً بالا است، گیاهان گل‌دار مستعد ابتلا به بیماری‌هایی هستند که کیفیت بذر آن‌ها را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهند. به‌طور جایگزین، گیاهان مادری را می‌توان در محیطی قابل کنترل برای بهینه‌سازی شرایط دما و نور برای تولید بذر پرورش داد. این روش برای بسیاری از گونه‌های گیاهی کوچک که بدون نیاز به فضای بزرگ بذر تولید می‌کنند، مانند اطلسی و بسیاری دیگر از گیاهان بسترکاشت و گل‌دانی گل‌دار، قابل اجرا است. تمامی گونه‌های گیاهی برای رشد خود به یک محدوده دمایی بهینه نیاز دارند و دماهای بالاتر یا پایین‌تر از این محدوده ممکن است تأثیر منفی بر عملکردهای فیزیولوژیکی گیاه داشته باشد که منجر به عملکرد و بهره‌وری ضعیف می‌شود؛ بنابراین، افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی یک نگرانی جهانی برای صنعت تولید بذر است (Arshad *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2023). در برخی موارد، تنش دمای بالا در طول نمو

مواد گیاهی و شرایط محیطی: بذرهای هیبرید اطلسی رقم Dreams از فروشگاه توزیع نهاده‌های باغبانی در شهرستان شیراز در سال ۱۴۰۱ خریداری و در اتاق تاریک و خنک با دمای ثابت ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۳۰ درصد به مدت سه ماه ذخیره شدند. بذرهای روی کاغذ صافی مرطوب شده با آب جوانه زدند و بذرهای جوانه‌زده به مدت دو هفته در گلدان‌هایی با قطر ۵ سانتی‌متری تحت نور سفید فلورسنت در فتوپریود نوری-تاریکی (۸-۱۶ ساعت) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رشد کردند. سپس شرایط محیطی متفاوتی اعمال گردید. در شرایط اول دانه‌ها به گلدان‌های ۴ لیتری پر شده با خاک باغچه منتقل و به گلخانه جابه‌جا شدند و از اوایل اردیبهشت‌ماه تا پایان مردادماه ۱۴۰۲ در آنجا باقی ماندند. گلخانه با پوشش پلی‌اتیلنی، با محدوده دمایی از ۲۲ درجه سانتی‌گراد تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین فتوپریود ۱۴ تا ۱۶ ساعت نور روز بود. گیاهان گلخانه‌ای دو بار در روز به مدت ۱۵ دقیقه با آبیاری قطره‌ای آبیاری شدند و مقدار یکسان کود ۱۲-۹-۱۵ به همه گیاهان اعمال شد. در شرایط محیطی دوم، دانه‌ها در اتاقکی با تهویه مطبوع با دمای ثابت ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد قرار داده شد و گیاهان بر اساس نیاز آبیاری شدند تا خاک مرطوب بماند. نوع و میزان کوددهی به گیاهان در محیط کنترل‌شده مانند گیاهان گلخانه‌ای بود. گیاهان در اتاقک تحت نور دیود ساطع‌کننده نور (LED) با طیف کامل از ۳۸۰ تا ۷۳۵ نانومتر به مدت ۲ ساعت، قطع شده توسط ۲ ساعت نور فقط قرمز (۶۶۰ نانومتر) و مادون‌قرمز (۷۳۵ نانومتر)، و سپس ۱۲ ساعت نور

بذر می‌تواند به دلیل تغییر ترکیبات ذخیره‌ای بذر، جوانه‌زنی را کاهش دهد (Hampton et al., 2012). چندین گزارش نشان داده‌اند که انباشت و توزیع کربوهیدرات‌ها، روغن، نشاسته و پروتئین می‌تواند توسط دمای بالا تغییر کند که منجر به تغییرات زیادی در کیفیت بذر و رشد دانه‌ها می‌شود (Arshad et al., 2017; Zhao et al., 2023). نور یکی دیگر از عوامل محیطی حیاتی است، به‌ویژه فتوپریود که می‌تواند بر زمان گلدهی و تولید بذر تأثیر بگذارد (Xu and Deng, 2022). علاوه بر کمیت نور، کیفیت نور می‌تواند فرایندهای فیزیولوژیک متعددی را در طول چرخه زندگی گیاهان تنظیم کند. به‌عنوان مثال، نور قرمز جوانه‌زنی بذر را تقویت می‌کند، درحالی‌که نور مادون‌قرمز با تنظیم ژن‌های بیوسنتز اسید آسبیزیک در جو، جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد (Barrero et al., 2014). شواهد اخیر نشان می‌دهد که سایه‌اندازی در طول رشد بذر باعث تغییراتی در بیوسنتز اسیدهای چرب و فیتوهورمون‌ها می‌شود و جوانه‌زنی بعدی را در سویا تقویت می‌کند (Chen et al., 2020). از آنجایی‌که هم نور و هم دما از سرنخ‌های محیطی ضروری هستند، مطالعه حاضر با هدف درک تأثیرات دو شرایط محیطی مختلف بر جوانه‌زنی بذر اطلسی و شادابی گیاهچه تحت تنش غیرزیستی انجام شد. نتایج می‌تواند بر تأثیر شرایط محیطی بر تولید بذر برای صنعت کشاورزی آشکار سازد و شواهدی به نفع استفاده از یک محیط کنترل‌شده برای تولید بذرهای اطلسی با کیفیت بالا ارائه دهد.

فرآیند پژوهش

طیف کامل، در مجموع ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی قرار داشتند. پنج گیاه به طور تصادفی به هر تکرار اختصاص داده شد و آزمایش برای هر یک از تیمارهای محیطی سه بار تکرار شد. دو شرایط محیطی از این پس به منظور ساده سازی توضیحات به عنوان محیط گلخانه و اتاقک نام گذاری شدند.

اندازه بذر: بذره‌های جمع آوری شده از گیاهان رشد یافته در دو شرایط محیطی به مدت سه هفته در پاکت کاغذی در دمای اتاق خشک شدند و سپس در اتاق خنک و تاریک در دمای ۸ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۳۰ درصد ذخیره شدند. پس از یک ماه، ۲۵ بذر از هر دو محیط به طور یکنواخت روی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شد و یک شب در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) انکوبه شد. تصاویر بذر با استفاده از یک دوربین با بزرگنمایی یکسان گرفته شد و از فتوشاپ برای تعیین مساحت بذر استفاده شد. این آزمایش برای هر محیط شش بار تکرار شد (Tanabata et al., 2012).

جوانه زنی بذر تحت انواع مختلف تنش غیرزیستی: بذرها به مدت ۱ دقیقه در الکل ۹۰ درصد گندزدایی سطحی شدند، سپس در محلول ۱ درصد هیپوکلریت غوطه‌ور و به طور مداوم به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شدند. پس از آن، بذرها هفت مرتبه با آب استریل شسته و سپس خشک شدند. هر بذر به صورت جداگانه به تیمارهای مختلف منتقل شد. بذره‌های هر دو محیط در پتری دیش قرار گرفتند و عوامل تنش‌زا برای شبیه سازی تنش‌های غیرزیستی مختلف آزمایش شدند. به جز برای تیمار گرمایی، آزمون جوانه زنی تحت فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی (نور سفید

فلورسنت) و ۸ ساعت تاریکی در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) انجام شد. بذرهایی که ریشه‌چه حداقل ۱ میلی متر بیرون زد، به عنوان جوانه زده در نظر گرفته شدند. سه نوع تنش غیرزیستی در این مطالعه آزمایش شد. برای شبیه سازی تنش کم آبی، از PEG8000 با استفاده از پروتکل بیان شده توسط van der Weele و همکاران (۲۰۰۰) تهیه شد. به طور خلاصه، ۴۰۰ و ۵۵۰ گرم PEG8000 در یک لیتر آب حل شد تا به ترتیب پتانسیل آب -0.7 و -1.2 مگاپاسکال ایجاد شود. محلول PEG8000 یک شب روی کاغذ صافی باقی ماند تا به تعادل برسد و قبل از قراردادن بذرها روی کاغذ صافی دور ریخته شد. برای آزمون تنش شوری، بذرها در محیط پتری دیش حاوی ۲۰۰ یا ۲۵۰ میلی مولار کلرید سدیم جوانه زدند. برای تنش گرمایی، بذرها در اتاقک رشد در دمای ثابت ۳۶ یا ۳۸ درجه سانتی گراد آزمایش شدند. در روز هفتم، درصد جوانه زنی با تقسیم تعداد بذره‌های جوانه زده بر تعداد کل بذرها در هر تکرار محاسبه شد. هر پتری-دیش حاوی ۲۵ بذر از گیاهان درون اتاقک و ۲۵ بذر از گیاهان درون گلخانه‌ای بود. شش تکرار برای هر تیمار اعمال شد.

آزمون شادابی گیاهچه: بذره‌های استریل شده ابتدا در پتری دیش جوانه زدند و بذره‌های دارای ریشه‌چه حداقل ۱ میلی متر به گلدان‌های حاوی کلرید سدیم منتقل شدند. به طور خلاصه، شش بذر جوانه زده از هر شرایط محیطی (گلخانه‌ای یا اتاقک) در گلدان حاوی ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم به عنوان تیمار تنش شوری، قرار داده شدند، درحالی که از گلدان بدون کلرید سدیم به عنوان شاهد استفاده شد. گیاهچه‌ها

تحلیل آماری: این پژوهش به صورت طرح کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن تحلیل شدند. تمامی نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

نتایج و بحث

اندازه بذر اطلسی و جوانه‌زنی بذر تحت انواع مختلف تنش غیرزیستی: بذره‌های اطلسی برداشت شده از گیاهان پرورش‌یافته در اتاقک (محیط کنترل‌شده) به طور معنی‌داری بزرگ‌تر (به طور میانگین حدود ۱۸ درصد) از بذره‌های برداشت شده از گیاهان گلخانه‌ای بودند (شکل ۱). بذره‌های حاصل از گیاهان پرورش‌یافته در هر دو شرایط محیطی با موفقیت در مدت سه تا چهار روز روی پتری‌دیش جوانه زدند و در روز هفتم به حداکثر جوانه‌زنی حدود ۱۰۰ درصد رسیدند. برای آزمون تنش کم‌آبی، پتانسیل آب ۰/۷ مگاپاسکال به‌طور معنی‌داری جوانه‌زنی هر دو بذر گلخانه‌ای و اتاقک را مهار نکرد. باین‌حال، جوانه‌زنی بذره‌های گلخانه‌ای در پتانسیل ۱/۲- مگاپاسکال به‌شدت کاهش یافت (۵۵ درصد)، درحالی‌که ۹۶/۲ درصد از بذره‌های اتاقک توانستند در این پتانسیل آب پایین‌تر جوانه بزنند. نتایج مشابهی برای تیمارهای تنش شوری مشاهده شد. تقریباً ۹۹ درصد از بذره‌های هر دو شرایط محیطی روی پتری-دیش‌های حاوی ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم جوانه زدند، در مقابل، تنها ۲۶/۷ درصد از بذره‌های گلخانه‌ای روی پتری‌دیش‌های حاوی ۲۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم جوانه زدند، درحالی‌که ۷۲/۱ درصد از بذره‌های اتاقک در تحت تیمار مشابه با موفقیت جوانه زدند. جالب‌توجه اینکه، بذره‌های گیاهان پرورش‌یافته

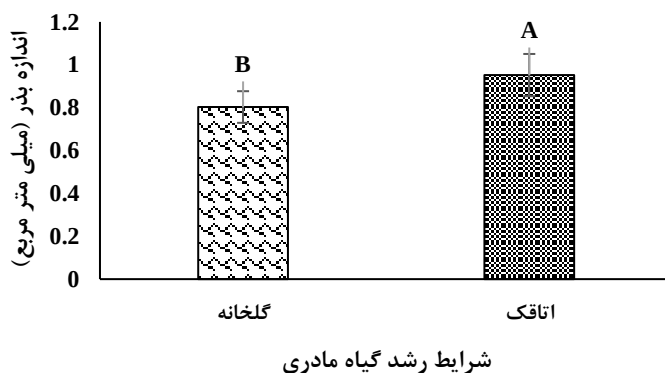
تحت نور سفید فلورسنت و فتوپریود مشابه با شرایط قبلی رشد کردند. شش تکرار برای هر تیمار اعمال شد، در مجموع ۱۲ گیاهچه برای هر شرایط محیطی وجود داشت. طول ریشه (از طوقه تا بلندترین قسمت ریشه) و طول ساقه (از طوقه تا نوک ساقه) با خط‌کش اندازه‌گیری شد. تعداد کل برگ‌ها شمارش شد. تمام اندازه‌گیری‌ها و تصاویر پس از ۱۴ روز تیمار گرفته شد.

نشت الکترولیت: بذره‌های جوانه‌زده در پتری‌دیش ابتدا به مدت هفت روز رشد کردند. پس از آن، ۴ گیاهچه از هر شرایط محیطی (گلخانه‌ای یا اتاقک) به پتری‌دیش حاوی PEG8000 (۰/۷ مگاپاسکال) یا ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به‌مدت ۱۰ دقیقه منتقل شدند. برای تنش دمای بالا، گیاهچه‌های ۱۷ روزه در پتری-دیش رشد و ۴ ساعت قبل از اندازه‌گیری نشت الکترولیت، در دمای ثابت ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پنج تکرار برای هر تیمار اعمال شد، در مجموع ۱۵ گیاهچه برای هر شرایط محیطی استفاده شد. برای تعیین نشت الکترولیت (EL)، شاخه‌های گیاهچه از هر تیمار در ۲۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه روی شیکر و در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به‌مدت یک شب انکوبه شدند. نشت الکترولیت نسبی طبق روش Cao و همکاران (۲۰۰۷) اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه اتوکلاو شدند و بلافاصله در دمای اتاق خنک شدند تا هدایت الکتریکی کل (EC_t) اندازه‌گیری شود. درصد نشت الکترولیت با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$EL = \frac{EC_1}{EC_t}$$

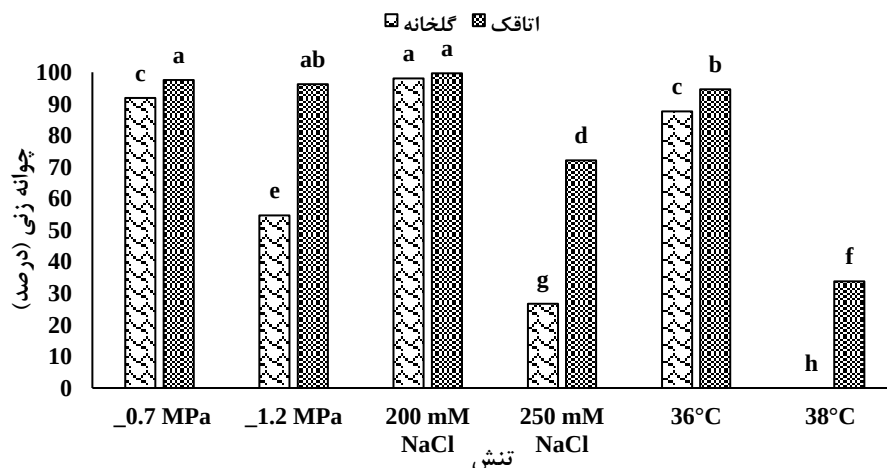
دو شرایط محیطی در دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد، جایی که بذرهای گلخانه‌ای اصلاً قادر به جوانه‌زنی نبودند، درحالی‌که ۳۳/۸ درصد از بذرهای برداشت شده از گیاهان اتاقک توانستند در همان دما جوانه بزنند (شکل ۲).

در اتاقک درصد جوانه‌زنی بالاتری در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد و ۳۸ درجه سانتی‌گراد نشان دادند. بذرهای گیاهان اتاقک در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد به طور میانگین ۹۴/۶ درصد جوانه‌زنی داشتند، در مقایسه با ۸۷/۶ درصد برای بذرهای گیاهان گلخانه‌ای. بااین‌حال، تفاوت معنی‌داری در جوانه‌زنی بین بذرهای



شکل ۱- اندازه بذرهای اطلسی از گیاهان مادری پرورش‌یافته در اتاقک و گلخانه (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین بذرهای گیاهان اتاقک و گلخانه در سطح ۱ درصد آزمون دانکن)

Fig 1- Seed size of petunia from mother plants grown in a growth chamber and greenhouse (Different letters indicate a significant difference between the seeds of chamber-grown and greenhouse-grown plants at the 1% level based on Duncan's test)



شکل ۲- پاسخ جوانه‌زنی بذرهای اطلسی از گیاهان گلخانه‌ای یا اتاقک به تیمار کم‌آبی، شوری و دمای بالا (حروف متفاوت نشانه‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین بذرهای گیاهان اتاقک و گلخانه در سطح ۱ درصد آزمون دانکن)

Fig 2- Germination response of petunia seeds from greenhouse or growth chamber plants to drought, salinity, and high temperature treatments (Different letters indicate a significant

difference between the seeds of chamber-grown and greenhouse-grown plants at the 1% level based on Duncan's test)

آبسیزیک به‌عنوان یک سیگنال در پاسخ به تنش‌های محیطی، هم زیستی و هم غیرزیستی، مانند دما، خشکی و شوری عمل می‌کند (Rodríguez-Gacio *et al.*, 2009). به‌عنوان مثال، سنتز اسید آبسیزیک در بذرهای تحت شرایط محیطی نامطلوب افزایش می‌یابد که منجر به خفتگی ثانویه بذر برای جلوگیری از رشد گیاه در شرایط سخت می‌شود (Huo *et al.*, 2016). هنگامی که بذرهای اطلسی در طول جذب آب در معرض تنش‌های مختلف قرار گرفتند، درصد جوانه‌زنی بر همین اساس کاهش یافت (شکل‌های ۱ و ۲)، احتمالاً به دلیل سطح بالای تولید اسید آبسیزیک. باین‌حال، بذرهای گیاهان مادری رشدیافته در محیط اتاقک حساسیت کمتری به تنش‌های اسید آبسیزیک، نمک، کم‌آبی و دمای بالا نشان دادند که منجر به درصد جوانه‌زنی بالاتری در مقایسه با بذرهای گیاهان مادری رشدیافته در محیط گلخانه شد (شکل‌های ۱ و ۲). برای تعیین اینکه آیا بنبه بذر می‌تواند بر رشد گیاهچه تأثیر بگذارد، بذرهای جوانه‌زده بلافاصله تحت تیمار کلرید سدیم قرار گرفتند. ویژگی‌های مورفولوژیکی، مانند طول ریشه، طول ساقه و تعداد برگ‌ها، همگی نشان دادند که گیاهچه‌های اتاقک تحت هر دو نوع تنش عملکرد بهتری نسبت به گیاهچه‌های گلخانه‌ای داشتند. طول ریشه و ساقه گیاهچه‌های اتاقک تحت تنش شوری به طور قابل‌توجهی طولانی‌تر از گیاهچه‌های گلخانه‌ای بود (شکل ۳). پاسخ گیاهچه به

جوانه‌زنی بذر مرحله‌ای حیاتی در چرخه زندگی گیاه است و دارای اهمیت بیولوژیکی، اقتصادی و اکولوژیکی است. فرایند جوانه‌زنی بذر توسط هورمون‌ها و سیگنال‌های محیطی تنظیم می‌شود که تعیین می‌کند یک بذر به رکود رود یا جوانه‌زنی را کامل کند (Finch-Savage *et al.*, 2016). هنگامی که بذرهای تحت شرایط بهینه جوانه می‌زنند، جوانه‌زنی یکنواخت و سطح بالا معمولاً به دست می‌آید، حتی اگر بذرهای از منابع مختلف باشند. باین‌حال، بذرهای برداشت شده از گیاهان رشدیافته در شرایط محیطی مختلف ممکن است قابلیت‌های متضادی برای جوانه‌زنی و استقرار گیاهان تحت شرایط جوانه‌زنی زیربینه داشته باشند. همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، بذرهای هر دو شرایط محیطی بدون تیمار تنش، قابلیت جوانه‌زنی بالایی دارند؛ اما تحت شرایط تنش‌زا پاسخ‌های متفاوتی نشان می‌دهند. فیتوهورمون اسید آبسیزیک نقش حیاتی در فرایندهای بیولوژیکی متعددی، از جمله رویدادهای کلیدی در طول رشد بذر، خواب بذر و رشد گیاهچه ایفا می‌کند (Rodríguez-Gacio *et al.*, 2009). نشان داده شده است که بذرهای خفته در طول جذب آب به سنتز اسید آبسیزیک ادامه می‌دهند، درحالی‌که کاتابولیسم اسید آبسیزیک در بذرهایی که تحت تیمار مؤثر شکست خواب قرار گرفته‌اند، ترجیح داده می‌شود (Kermode, 2005). علاوه بر خواب بذر، اسید

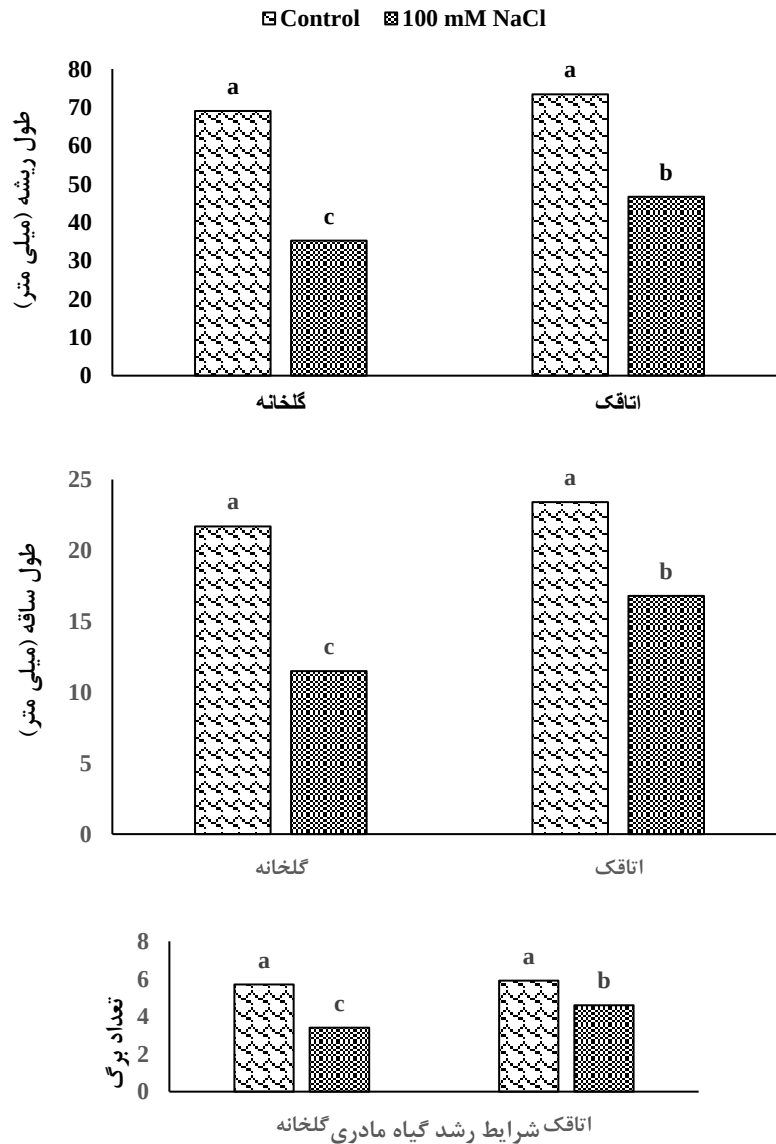
تنش شوری به احتمال زیاد به دلیل مهار جذب آب توسط کلرید سدیم است، درحالی که اسید آبسزیک پاسخ های فیزیولوژیکی متعددی غیر از تنش آب ایجاد می کند. به طور کلی، ساختار سیستم ریشه بر چگونگی کسب آب و مواد مغذی توسط گیاه تأثیر می گذارد که به نوبه خود بر رشد ساقه تأثیر می گذارد (Vamerali *et al.*, 2003)؛ بنابراین، ریشه های بلندتر نشان دهنده توانایی گیاه برای جستجوی آب در اعماق خاک، به ویژه تحت شرایط تنش را است. توانایی غلبه بر شرایط جوانه زنی زیربینه و همچنین داشتن رشد قوی گیاهچه ممکن است به دلیل تجمع بالاتر ذخایر، مانند قندها، اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه، در طول بلوغ بذر در بذرهای اطلسی از محیط مطلوب اتاقک باشد (شکل ۱). به عنوان مثال، تفاوت معنی داری در تجمع اسید آبسزیک در بذرهای گوجه فرنگی رشد یافته تحت غلظت های مختلف نیترات و فسفات وجود داشت که به نوبه خود بر عملکرد بذر ها و گیاهچه ها تأثیر گذاشت که نشان می دهد تعامل بین ژنوتیپ و محیط های تغذیه ای مادری بر کیفیت بذر و گیاهچه گوجه فرنگی تأثیر می گذارد. به طور مشابه، هنگامی که گوجه فرنگی در مزرعه با یا بدون تنش شوری رشد کردند، تنش شوری مادری اثر بین نسلی بر بذرهای زاده ها، به ویژه در تجمع اسیدهای آمینه و قندها، اعمال کرد که تأثیر منفی بر جوانه زنی بذر داشت (Rosental *et al.*, 2016). یک منبع ذخیره عالی می تواند مواد مغذی کافی را فراهم کند، به ویژه در مرحله اولیه رشد بدون فتوسنتز، همان طور که در برخی از گونه های سبزی تحت تیمارهای پرایمینگ بذر مشاهده شده است (Giordano *et al.*, 2020). اگرچه مواد مغذی

مکمل در هر دو شرایط محیط ارائه شده بود، تفاوت در منبع ذخیره اولیه بین بذرهای گلخانه ای و بذرهای اتاقک ممکن است باعث نرخ های رشد متفاوت گیاهچه تحت شرایط تنش را شده باشد. همان طور که مشاهده شد، بذرهای محیط اتاقک دارای اندازه های بزرگ تر و بنیه قوی تری بودند که ممکن است به جوانه زنی بهتر و رشد پس از جوانه زنی تحت تنش های غیرزیستی متنوع کمک کرده باشد. در واقع، مطالعات قبلی رابطه نزدیکی بین اندازه بذر و بنیه بذر در برنج و جو نشان داده اند (Massimi, 2018). نتایج این مطالعه نشان داد که شرایط محیطی به شدت بر جوانه زنی بذر اطلسی و شادابی بعدی گیاهچه تأثیر می گذارد و بذرهای با کیفیت بالاتر را می توان با پرورش گیاهان مادری اطلسی در یک محیط داخلی کنترل شده در دمای ثابت ۲۳ درجه سانتی گراد و تحت نور دیود ساطع کننده نور تولید کرد.

رشد پس از جوانه زنی تحت تنش کلرید سدیم: گیاهچه های رشد یافته در گلدان های بدون تیمار تنش به مدت ۱۴ روز، صرف نظر از شرایط محیطی منشأ بذر ها، طول ریشه (حدود ۷۲ میلی متر) و ساقه (حدود ۲۲ میلی متر) و تعداد برگ (حدود ۶) مشابهی را نشان دادند. با این حال، طول ریشه و ساقه گیاهچه های گلخانه ای رشد یافته در گلدان های حاوی ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم به ترتیب به ۳۵/۲ میلی متر (حدود ۴۹ درصد) و ۱۱/۵ میلی متر (حدود ۴۷ درصد) در مقایسه با شاهد کاهش یافت. در مقابل، طول ریشه و ساقه گیاهچه های اتاقک در مقایسه با شاهد به ترتیب به ۴۶/۷ میلی متر (حدود ۳۷ درصد) و ۱۶/۷ میلی متر (حدود ۲۸ درصد) کاهش یافت. گیاهچه های

تأثیر شرایط محیطی گیاهان مادری اطلسی بر جوانه‌زنی بذر و شادابی دانه‌ها تحت تنش‌های غیرزیستی مختلف ۲۱

گلخانه‌ای تحت تنش شوری همچنین به طور میانگین از بذرهای برداشت شده از گیاهان تحت شرایط یک برگ کمتر از گیاهچه‌های اتاقک نشان دادند محیطی مختلف به طور معنی‌داری در پاسخ‌های خود (شکل ۳). این نتایج نشان داد که گیاهچه‌های حاصل به تنش شوری متفاوت هستند.

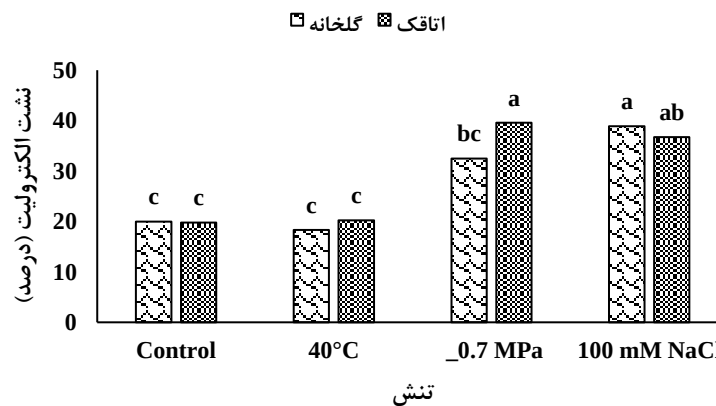


شکل ۳- تأثیر کلرید سدیم بر رشد پس از جوانه‌زنی بذرهای اطلسی برداشت شده از گیاهان گلخانه‌ای یا اتاقک (حروف متفاوت نشانه‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین بذرهای گیاهان اتاقک و گلخانه در سطح ۱ درصد آزمون دانکن)

Fig 3- Effect of sodium chloride on post-germination growth of petunia seeds harvested from greenhouse or growth chamber plants (In each graph, Different letters indicate a significant difference between the seeds of chamber-grown and greenhouse-grown plants at the 1% level based on Duncan's test)

الکترولیت بین گیاهچه‌های تحت تنش گرمایی و شاهد وجود نداشت. تنها تفاوت معنی‌دار بین گیاهچه‌های دو شرایط محیطی تحت تنش کم‌آبی مشاهده شد، جایی که گیاهچه‌های اتاقک به طور میانگین ۱۸ درصد نشت الکترولیت بیشتری نسبت به گیاهچه‌های گلخانه‌ای داشتند (شکل ۴).

تغییرات در نشت الکترولیت گیاهچه‌های اطلسی تحت انواع مختلف تنش غیرزیستی: افزایش معنی‌داری در نشت الکترولیت زمانی مشاهده شد که گیاهچه‌های اطلسی از هر دو شرایط محیطی تحت تیمارهای کم‌آبی و شوری در مقایسه با شاهد قرار گرفتند. بااین‌حال، هیچ تفاوت معنی‌داری در نشت



شکل ۴- درصد نشت الکترولیت در گیاهچه‌های اطلسی پس از تیمار با دمای بالا، کم‌آبی و کلرید سدیم (حروف متفاوت نشانه‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین بذره‌های گیاهان اتاقک و گلخانه در سطح ۱ درصد آزمون دانکن)

Fig 4- Percentage of electrolyte leakage in petunia seedlings after treatment with high temperature, drought, and sodium chloride (Different letters indicate a significant difference between the seeds of chamber-grown and greenhouse-grown plants at the 1% level based on Duncan's test)

اکسیژن به‌صورت پویا تولید یا حذف می‌شوند تا هموستاز برای عملکردهای طبیعی سلول‌های گیاهی حفظ شود که منجر به سازگاری گیاه با محیط‌های مختلف می‌شود (Mittler, 2017). اگرچه گونه‌های فعال اکسیژن بازیگران حیاتی در پاسخ‌های سیگنالی‌نگ تنش هستند، اختلال در هموستاز گونه‌های فعال اکسیژن به‌طور کلی باعث استرس اکسیداتیو و تخریب غشای سلولی می‌شود. این امر در درصد بالای نشت الکترولیت در گیاهچه‌های اطلسی تحت تنش کم‌آبی

در گیاهان، گونه‌های فعال اکسیژن به طور مداوم به‌عنوان محصول جانبی متابولیسم هوازی، عمدتاً در کلروپلاست‌ها، میتوکندری‌ها و پراکسی‌زوم‌ها تولید می‌شود (Huang *et al.*, 2019). برای جلوگیری از اثرات سمی بالقوه یا استرس اکسیداتیو ناشی از تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن، گیاهان عموماً قادر به حذف یا سم‌زدایی آن‌ها توسط مکانیسم‌های آنتی‌اکسیداتیو سلولی هستند (Apel and Hirt, 2004; Blokhina *et al.*, 2003)؛ بنابراین، گونه‌های فعال

و نمک مشهود است بود. با این حال، گونه‌های فعال اکسیژن به سادگی یک محصول جانبی سمی نیستند؛ بلکه در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه به عنوان مولکول‌های سیگنال برای تحریک واکنش سلول‌ها به یک محرک خاص درگیر هستند. آزمون شادابی گیاهچه بلافاصله پس از جوانه‌زنی پس از آزمون تنش کلرید سدیم نشان می‌دهد که بنیه قوی بذر می‌تواند به طور مثبت بر رشد گیاهچه‌ها تحت تنش غیرزیستی تأثیر بگذارد، همان‌طور که مشاهده شد زمانی که گیاهچه‌های اتاقک در رشد ریشه و ساقه از گیاهچه‌های گلخانه‌ای بهتر عمل کردند. جالب‌توجه اینکه، هنگامی که تنش‌های غیرزیستی به گیاهچه‌های هفت‌روزه اعمال شد، نتایج گونه‌های فعال اکسیژن و نشت الکترولیت نشان داد که گیاهچه‌های گلخانه‌ای توانستند آزمون کم‌آبی را بیشتر از گیاهچه‌های اتاقک تحمل کنند. در حالی که منبع ذخیره بالاتر می‌تواند بر بنیه بذر تأثیر بگذارد، اسید آسبیزیک درون‌زای پایین‌تر در طول رشد بذر نیز به جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه کمک می‌کند (Rodríguez-Gacio *et al.*, 2009). بر اساس نتایج ما، بذرهای گیاهان اتاقک حساسیت کمتری به تنش‌های غیرزیستی نسبت به بذرهای گلخانه‌ای داشتند که دلالت بر سطح پایین‌تر اسید آسبیزیک درون‌زا در بذرهای اتاقک دارد. به عنوان یک هورمون تنش که به تنش‌های محیطی برای محافظت از گیاه در برابر آسیب گونه‌های فعال اکسیژن پاسخ می‌دهد، اسید آسبیزیک درون‌زای بالاتر در گیاهچه‌های گلخانه‌ای ممکن است بر شبکه گونه‌های فعال اکسیژن در طول تیمار تنش تأثیر گذاشته باشد (Hossain *et al.*, 2015)؛ بنابراین، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهچه‌های

گلخانه‌ای در مقایسه با گیاهچه‌های اتاقک زمانی که شرایط تنش‌زا اعمال شد، کاهش یافت. علی‌رغم مطالعات زیادی که اثر معنی‌دار محیط‌های مادری بر عملکرد زاده‌های گیاهی را نشان می‌دهند، مکانیسم مولکولی زیربنای تنظیم مادری به طور کامل بررسی نشده است. اخیراً، تعداد فزاینده‌ای از گزارش‌ها نشان داده‌اند که حافظه اپی‌ژنتیکی می‌تواند از گیاهان مادری که استرس محیطی را تجربه کرده‌اند به ارث برسد و این نشانگرهای حافظه ممکن است به زاده‌های گیاهی اجازه دهند تا پاسخ‌های قوی‌تر و سریع‌تری برای مبارزه با تنش‌های مشابه برانگیزند (Iwasaki *et al.*, 2019). این که آیا اثر مادری بر گیاهچه‌های اطلسی در این مطالعه به صورت اپی‌ژنتیکی تنظیم می‌شود، باید در آینده روشن شود.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان می‌دهد که شرایط محیطی گیاهان مادری اطلسی تأثیر معناداری بر قابلیت جوانه‌زنی بذر و شادابی گیاهچه‌های حاصل تحت شرایط تنش غیرزیستی مختلف دارد. یافته‌های این تحقیق حاکی از آن است که بذرهای تولیدشده در محیط کنترل‌شده با شرایط نوری و دمایی بهینه، به‌طور کلی از درصد جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بودند و در مواجهه با تنش، گیاهچه‌های قوی‌تری ایجاد نمودند. این امر می‌تواند نشان‌دهنده تخصیص بهینه‌تر منابع و ذخایر در بذر تحت شرایط بدون تنش مادری باشد. با این حال، نتیجه‌گیری متقابل و بسیار جالب این پژوهش، ظهور مزیت رقابتی در بذرهای حاصل از گیاهان مادری پرورش‌یافته در گلخانه با شرایط متغیر و غیرکنترل‌شده بود که در مواجهه با تنش کم‌آبی، با

- 8) Donohue, K., De Casas, R.R., Burghardt, L.T., Kovach, K. and C.G, Willis. 2010. Germination, Postgermination Adaptation, and Species Ecological Ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41: 293–319.
- 9) Finch-Savage, W.E. and G.W, Bassel. 2016. Seed vigour and crop establishment: Extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 67(3): 567–591.
- 10) Geshnizjani, N., Khorami, S.S., Willems, L.A.J., Snoek, B.L., Hilhorst, H.W.M. and W, Ligterink. 2019. The interaction between genotype and maternal nutritional environments affects tomato seed and seedling quality. *Journal of Experimental Botany*, 70(11): 2905–2918.
- 11) Giordano, M., Pannico, A., Cirillo, C., Fascella, G., El-Nakhel, C., De Pascale, S. and Y, Rouphael. 2020. Influence of priming methods on seed germinability and transplants performance in six vegetable species. *Acta Horticulturae*, 1296: 297–304.
- 12) Hampton, J.G., Boelt, B., Rolston, M.P. and T.G, Chastain. 2012. Effects of elevated CO₂ and temperature on seed quality. *Journal of Agricultural Science*, 151(2): 154–162.
- 13) He, F., Wang, H.L., Li, H.G., Su, Y., Li, S., Yang, Y., Feng, C.H., Yin, W. and X, Xia. 2018. PeCHYR1, a ubiquitin E3 ligase from *Populus euphratica*, enhances drought tolerance via ABA-induced stomatal closure by ROS production in *Populus*. *Plant Biotechnology Journal*, 16(8): 1514–1528.
- 14) Hossain, M.A., Bhattacharjee, S., Armin, S.M., Qian, P., Xin, W., Li, H.Y., Burritt, D.J., Fujita, M. and L.-S.P, Tran. 2015. Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: Insights from ROS detoxification and scavenging. *Frontiers in Plant Science*, 6: 420.
- 15) Huang, H., Ullah, F., Zhou, D.X., Yi, M. and Y, Zhao. 2019. Mechanisms of ROS Regulation of Plant Development and Stress Responses. *Frontiers in Plant Science*, 10: 800.
- 16) Huo, H., Henry, I.M., Coppoolse, E.R., Verhoef-Post, M., Schut, J.W., De Rooij,

نشان دادن سطوح پایین تر آسیب اکسیداتیو و نشت الکترولیت، مقاومت بیشتری از خود نشان دادند. این پدیده را می توان به عنوان حافظه استرسی یا سازگاری اپی ژنتیکی انتقال یافته از گیاه مادری به فرزندان تفسیر کرد، جایی که قرارگیری مادری در شرایط تنش خفیف تر و غیرقابل پیش بینی، مکانیسم های محافظتی را در نسل بعد فعال می سازد.

منابع

- 1) Apel, K. and H, Hirt. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55: 373–399.
- 2) Arshad, M.S., M. Farooq, F. Asch, J.S.V. Krishna, P.V.V. Prasad and K.H.M, Siddique. 2017. Thermal stress impacts reproductive development and grain yield in rice. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115: 57–72.
- 3) Barrero, J.M., Downie, A.B., Xu, Q. and F, Gubler. 2014. A Role for Barley CRYPTOCHROME1 in Light Regulation of Grain Dormancy and Germination. *Plant Cell*, 26(3): 1094–1104.
- 4) Blokhina, O., Virolainen, E. and K.V, Fagerstedt. 2003. Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: A Review. *Annals of Botany*, 91(2): 179–194.
- 5) Cao, W.H., Liu, J., He, X.J., Mu, R.L., Zhou, H.L., Chen, S.Y. and J.S, Zhang. 2007. Modulation of Ethylene Responses Affects Plant Salt-Stress Responses. *Plant Physiology*, 143(2): 707–719.
- 6) Chen, F., Zhou, W., Yin, H., Luo, X., Chen, W., Liu, X., Wang, X., Meng, Y., Feng, L. and Y, Qin. 2020. Shading of the mother plant during seed development promotes subsequent seed germination in soybean. *Journal of Experimental Botany*, 71(6): 2072–2084.
- 7) Donohue, K. 2009. Completing the cycle: Maternal effects as the missing link in plant life histories. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1520): 1059–1074.

- High Temperature. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34(4): 299–309.
- 27) Tanabata, T., Shiba, T., Ishikawa, M., Umezaki, T., Sato, K. and K, Okada. 2012. ImageJ-based Seed Size and Shape Analysis. *Breeding Science*, 62(2): 185-191.
- 28) United States Department of Agriculture. 2023. Floriculture Crops 2023 Summary. United States Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- 29) Vamerali, T., Saccomani, M., Bona, S., Mosca, G., Guarise, M. and A, Ganis. 2003. A Comparison of Root Characteristics in Relation to Nutrient and Water Stress in Two Maize Hybrids. *Plant and Soil*, 255(1): 157–167.
- 30) Van Der Weele, C.M., Spollen, W.G., Sharp, R.E. and T.I, Baskin. 2000. Growth of *Arabidopsis thaliana* Seedlings Under Water Deficit Studied by Control of Water Potential in Nutrient-Agar Media. *Journal of Experimental Botany*, 51(350): 1555–1562.
- 31) Xu, Y. and X.W, Deng. 2022. Molecular mechanisms of flowering under long days and shade. *Current Opinion in Plant Biology*, 69: 102293.
- 32) Zhao, J., Chen, F., Yan, F., Tang, L. and Z, Li. 2023. High Temperature Reduces Fruit Set in Tomato by Disrupting Pollen Development and Pollen Tube Growth. *Scientia Horticulturae*, 309: 111608.
- H., Vogelaar, A., Joosen, R.V.L., Woudenberg, L. and L, Comai. 2016. Rapid Identification of Lettuce Seed Germination Mutants by Bulk Segregant Analysis and Whole Genome Sequencing. *Plant Journal*, 88(3): 345–360.
- 17) Iwasaki, M., Hyvärinen, L., Piskurewicz, U. and L, Lopez-Molina. 2019. Non-canonical RNA-directed DNA Methylation Participates in Maternal and Environmental Control of Seed Dormancy. *Life*, 8: e37434.
- 18) Kermode, A.R. 2005. Role of Abscissic Acid in Seed Dormancy. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24(4): 319–344.
- 19) Li, R., Chen, L., Wu, Y., Zhang, R., Baskin, C.C., Baskin, J.M. and X, Hu. 2017. Effects of Cultivar and Maternal Environment on Seed Quality in *Vicia sativa*. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1411.
- 20) Lu, X.L., Niu, A.L., Cai, H.Y., Zhao, Y., Liu, J.W., Zhu, Y.G. and Z.H, Zhang. 2007. Genetic Dissection of Seedling and Early Vigor in a Recombinant Inbred Line Population of Rice. *Plant Science*, 172(2): 212–220.
- 21) Massimi, M. 2018. Impact of seed size on seeds viability, vigor and storability of *Hordeum vulgare* (L.). *Agricultural Science Digest*, 38(1): 62–64.
- 22) Mittler, R. 2017. ROS Are Good. *Trends in Plant Science*, 22(1): 11–19.
- 23) Penfield, S. and D.R, MacGregor. 2016. Effects of Environmental Variation During Seed Production on Seed Dormancy and Germination. *Journal of Experimental Botany*, 68(4): 819–831.
- 24) Rodríguez-Gacio, M.D.C., Matilla-Vázquez, M.A. and A.J, Matilla. 2009. Seed Dormancy and ABA Signaling. *Plant Signaling & Behavior*, 4(11): 1035–1048.
- 25) Rosental, L., Perelman, A., Nevo, N., Toubiana, D., Samani, T., Batushansky, A., Sikron, N., Saranga, Y. and A, Fait. 2016. Environmental and Genetic Effects on Tomato Seed Metabolic Balance and its Association with Germination Vigor. *BMC Genomics*, 17: 104.
- 26) Shinohara, T., Hampton, J.G. and M.J, Hill. 2006. Location of Deterioration within Garden Pea (*Pisum sativum*) Cotyledons is Associated with the Timing of Exposure to