پرایمینگ سالیسیلیک اسید بر جوانه‌زنی، بنیه و برخی خصوصیات مورفولوژیک گیاهچه‌های گلرنگ

لیلا محمدی[۱]، فرید شکاری[۲]*، جلال صبا[۲] و اسماعیل زنگانی[۳]

چکیده

پرایمینگ بذر از جمله روش‌هایی است که جهت بهبود و افزایش جوانه‌زنی بذر و سبز کردن گیاهچه تحت شرایط تنش و بدون تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور بررسی اثر پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید و هیدروپرایمینگ بر روی بنیه و خصوصیات گیاهچه‌های گلرنگ، رقم گلدشت، آزمایشی به‌صورت مزرعه‌ای انجام گردید. تیمارهای آزمایشی در هشت سطح شامل پرایمینگ با سطوح ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰، ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، یک تیمار هیدروپرایمینگ و تیمار شاهد (بذر تیمار نشده) بودند. پرایمینگ با سالیسیلیک اسید موجب گردید نه‌تنها سرعت ظهور گیاهچه‌ها، بلکه درصد ظهور و تعداد گیاهچه‌های استقرار یافته نیز افزایش یابد. علاوه براین، بر اثر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید وزن خشک کل گیاهچه، طول ریشه، تعداد برگ و شاخص سطح برگ افزایش و میانگین زمان سبز کردن کاهش یافت. بیشترین چگالی ریشه در غلظت ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید مشاهده گردید که نسبت به بذر خشک و هیدروپرایمینگ افزایشی ۶۰ درصدی داشت. نتایج نشان داد علاوه بر این که تعداد برگ از ۶/۷ در تیمار شاهد به ۱۰/۱۷ در غلظت۲۴۰۰ میکرومولار رسید، سطح برگ نیز به ازای هر تک برگ به‌طور متوسط به مقدار ۳۰ درصد در بالاترین غلظت سالیسیلیک اسید افزایش پیدا کرد، که نشان می‌دهد پرایمینگ با سالیسیلیک اسید می‌تواند هم از طریق افزایش سطح تک برگ و هم تعداد برگ موجب افزایش سطح برگ کل بوته و شاخص سطح برگ گردد. نتایج نشان داد پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید بسیار مؤثرتر از هیدروپرایمینگ بوده و موجب افزایش بنیه بذر و نمود گیاهچه‌های گلرنگ گردید. به‌ازای افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به‌کار رفته یک روند افزایشی در طول و وزن خشک ریشه مشاهده گردید. علاوه بر این که سالیسیلیک اسید طول ریشه را افزایش داد، چگالی ریشه‌ها نیز افزایش پیدا کرد و متراکم‌ترین ریشه‌ها در گیاهچه‌های تیمار شده با غلظت‌های بالاتر سالیسیلیک اسید دیده شد. به‌طور کلی هیدروپرایمینگ تاثیر چندانی بر افزایش کمیت صفات ارزیابی شده نداشت به گونه‌ای که در بیشتر صفات مورد ارزیابی، کمترین مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمار بذر شاهد و هیدروپرایمینگ مشاهده شدند.

واژه‌های کلیدی: درصد و سرعت سبز کردن، چگالی ریشه، وزن خشک گیاهچه.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۰/٤/۲۸

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.

۲- عضو هیأت علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان. نویسنده مسئول shekari@znu.ac.ir

۳- کارشناس ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.

مقدمه

در بین گیاهان دانه روغنی، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تنها گیاه بومی ایران است و دارای خصوصیات ارزشمندی نظیر سازگاری با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و کیفیت بالای روغن می‌باشد (Alyari *et al*., 2000). از آن‌جایی که زراعت این گیاه در مناطقی با محدودیت‌های آب و هوایی یا خاکی انجام می‌شود، به‌وجود آوردن شرایطی که موجب افزایش و بهبود جوانه‌زنی بذر یا سبز کردن گیاهچه شود، می‌توانند دارای اهمیت باشند. به‌طورکلی، در بین عوامل مؤثر بر پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی، بذر یکی از کم هزینه‌ترین ولی عامل بسیار مهم و مؤثر در افزایش پتانسیل تولید است. کیفیت بذر توسط فاکتورهای متعددی تعیین می‌شود. ولی از مهمترین این فاکتورها می‌توان قابلیت جوانه‌زنی و بنیه[2] بذر را نام برد. مشخص شده است بنیه بذر بر روی استقرار مناسب گیاهان می‌تواند اثر قابل توجهی را داشته باشد (Tekrony and Egli., 1991). به‌طور کلی، در چرخه زندگی گیاهان، جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس در نظر گرفته می‌شود. زیرا جوانه‌زنی نقش عمده‌ای در تعیین تراکم نهایی گیاه بازی می‌کند (Livington *et al*., 1990).

پرایمینگ یا آماده‌سازی بذر به تعدادی از روش‌های مختلف بهبود دهنده کارکرد بذر و افزایش کیفیت بذر در شرایط نامساعد محیطی اطلاق می‌شود که در تمامی آنها آبگیری[3] کنترل شده بذر اعمال می‌شود (Basra *et al*., 2004). این روش از جمله‌ی تیمارهای افزایش دهنده قدرت جوانه‌زنی بذر است. هدفی که پرایمینگ دنبال می‌کند آبگیری جزئی بذرها است. به طوری که بذر مرحله اول (جذب فیزیکی آب) و دوم (شروع فرآیندهای بیوشیمیایی و هیدرولیز قندها) جوانه‌زنی را پشت سر گذاشته ولی از ورود به مرحله سوم جوانه‌زنی (مصرف قند توسط جنین و رشد ریشه‌چه) باز ماند (Bradford, 1995). از آنجایی‌که بذرهای تیمار شده دارای مقاومت بالایی نسبت به پسابیدگی هستند، پرایمینگ بذر باعث بهبود کیفیت و کمیت محصول در شرایط مناسب و تنش می‌شود (Reed *et al*., 2007). گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که پرایمینگ باعث افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه می‌گردد (Demir Kaya *et al*., 2006; MiarSadegi *et al*., 2011b). باستیا و همکاران (Bastia *et al*., 1999) گزارش کردند به کارگیری روش‌های مختلف پرایمینگ در بذرهای گلرنگ، باعث شد تعداد بوته در مترمربع، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد بهبود یابد.

سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی و هورمونی می‌باشد که به‌عنوان تنظیم کننده رشد داخلی نقش مهمی را درمکانیزم‌های دفاع در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده بازی می‌کند (Szalai *et al*., 2000). گزارش‌هایی وجود دارد مبنی براین‌که سالیسیلیک اسید روی بسیاری از فرآیندها نظیر القای گل دهی، رشد و نمو، سنتز اتیلین، باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس اثر قابل توجهی دارد (Raskin, 1992). در مقایسه‌ای که متوالی و همکاران (Metwally *et al*., 2003) روی تیپ وحشی و جهش‌یافته *Arabidopsis* انجام دادند سالیسیلیک اسید را به‌عنوان برطرف کننده آسیب‌های اکسیداتیو در طی جوانه‌زنی بذر معرفی کردند. هم‌چنین سالسیلیک اسید در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار در افزایش درصد جوانه‌زنی بذر گوجه فرنگی مؤثر بود (Szepesi *et al*., 2005). شکاری و همکاران (Shekari *et al.,* 2010)، گزارش کردند که پرایمینگ بذرهای گاوزبان با سالیسیلیک اسید موجب گردید تا سرعت و درصد گیاهچه‌های سبز شده در مزرعه افزایش یابد. آن‌ها همبستگی بالایی را بین سرعت سبز کردن و مقدار ماده خشک تولید شده در گیاهچه‌های به‌وجود آمده مشاهده نمودند. کائور و همکاران (Kaur *et al*., 2005) گزارش دادند فعالیت مخزن در گیاهان نخود حاصله از بذرهای هیدروپرایم شده در مقایسه با شاهد بالاتر بود که این امر از طریق بالاتر بودن فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیزم ساکارز نظیر ساکارز سینتاز، اینورتازها و ساکارز فسفات سینتاز نمایان گردید. مجموعه این عوامل موجب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد گردید. در توجیه افزایش عملکرد ناشی از پرایمینگ می‌توان به استقرار سریع و مطلوب گیاهان (Ashraf and Foolad, 2005) و استفاده بیشتر آن‌ها از عناصر غذایی، رطوبت خاک و تششع خورشیدی اشاره کرد (Subedi and Ma, 2005).

هدف از اجرای این آزمایش بررسی و مقایسه اثرگذاری دو روش هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید روی بنیه بذر و گیاهچه‌های گلرنگ؛ و تعیین و ارزیابی اختلافات نمود بین بذرهای تیمار شده و بذرهای شاهد از نظر شاخص‌های

[1] vigor
[2] Hydration

سبز کردن و رشد گیاهچه‌های تولید شده در شرایط مزرعه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر پرایمینگ با سالیسیلیک‌اسید و مقایسه آن با هیدروپرایمینگ بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و نمود[1] گیاهچه‌های گلرنگ، رقم گلدشت، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار در سال زراعی ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام گرفت. بذر به‌کار رفته از مرکز تحقیقات کشاورزی زنجان تهیه گردید که در سال قبل از آزمایش در همان مرکز تکثیر شده بود.

در فروردین ماه سال ۱۳۸۹ قبل از کاشت، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم به‌طور یکنواخت در زمین پخش شد و پس از دیسک‌زنی، سطح زمین با لولر تسطیح گردید. سپس با استفاده از فاروئر جوی و پشته ایجاد شد. هر کرت شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۵ متر و با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بود. فاصله روی ردیف‌های کاشت ۱۰سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت بذرها در اوایل اردیبهشت ماه و به‌صورت دستی انجام گرفت. در این آزمایش تیمارهای آزمایشی شامل بذر شاهد (بذر تیمار نشده) و پرایمینگ بذر به‌وسیله سالیسیلیک اسید در شش سطح شامل ٤٠٠، ٨٠٠، ١٢٠٠، ١٦٠٠، ٢٠٠٠، ٢٤٠٠ میکرومولار و هیدروپرایمینگ (تیمار با آب مقطر) انجام شد.

جهت پرایمینگ پس از تهیه غلظت‌های مختلف سالسیلیک اسید، بذرهای گلرنگ به مدت ٢٤ ساعت در دمای اتاق، در غلظت‌های مختلف سالسیلیک اسید غوطه‌ور شدند. سپس بذرها در دمای اتاق به مدت ٤٨ ساعت خشک شده و پس از ضد عفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به میزان دو در هزار، جهت کاشت به مزرعه منتقل شدند. اولین آبیاری در همان روز پس از کاشت انجام گرفت و آبیاری‌های بعدی کرت‌ها هر هفت روز یک‌بار انجام گرفت.

پس از کاشت، تعداد گیاهچه‌های سبز کرده به‌صورت منظم مورد شمارش قرار گرفتند. عمل شمارش زمانی برای هر کرت پایان یافت که تعداد گیاهچه‌های سبز کرده در طی ۳ روز متوالی ثابت باقی ماندند. سرعت سبز کردن با استفاده از رابطه تغییر یافته الیس و رابرتز (Ellis and Roberts, 1981) برای جوانه‌زنی به‌صورت زیر محاسبه گردید:

$$ER = N / \sum (n_i \times d_i)$$

در این رابطه ER سرعت سبز کردن (Emergence rate) و n_i تعداد گیاهچه‌های سبز شده در روز d_i و N تعداد کل گیاهچه‌های سبز شده است.

درصد نهایی سبز کردن (EP, Emergence Percent)، از آخرین تعداد گیاهچه‌های سبز شده و استقرار یافته به کل بذرهای کاشته شده به‌دست آمد.

$$EP = 100 (n_i / N)$$

n_i، تعداد گیاهچه‌های سبز شده و N، کل بذرهای کاشته شده می‌باشد.

شاخص سبز کردن (EI, Emergence Index) با استفاده از معادله تغییر یافته بنچ آرنولد (Benech Arnold *et al.*, 1991) برای جوانه‌زنی به‌صورت زیر محاسبه گردید :

$$EI = (d_{n-1} \times E_1) + (d_{n-2} \times E_2) + (d_{n-3} \times E_3) + \dots$$

که d_n، آخرین روزی که تمام بذور سبز کردند و E_n، تعداد بذور سبز کرده در روز n ام است.

میانگین زمان سبز کردن (Mean Time of Emergence) با استفاده از رابطه تغییر یافته الیس و رابرتز (Ellis and Roberts, 1981) به‌صورت زیر محاسبه شد.

$$MTE = \sum (nd) / \sum n$$

در این رابطه n، تعداد بذور سبز شده در طی d روز، d، تعداد روزها از ابتدای سبز شدن $\sum n$، کل تعداد گیاهچه‌های سبز شده می‌باشد.

برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل VM-900 E/K) استفاده شد. برای این منظور ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی در مرحله رزت و ٦ تا ٩ برگی برداشت شد و بلافاصله در داخل کیسه‌های نایلونی به آزمایشگاه منتقل و پس از جدا کردن برگ‌ها، سطح برگ بوته‌ها با دستگاه مذکور اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، طول ریشه، وزن خشک ریشه، تعداد برگ، وزن تر برگ، وزن خشک برگ، و وزن تر و خشک کل نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری ریشه بوته‌های انتخاب شده با بیلچه با دقت از خاک خارج شدند و بعد از شستشوی ریشه بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و طول ریشه‌ها بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. پس از جدا کردن اندام‌های گیاهی از یکدیگر، در داخل پاکت گذاشته شده و به مدت ٤٨ ساعت در دمای ٧٥ درجه سلسیوس در آون قرار گرفتند.

[1] Performance

چگالی طولی ریشه از تقسیم وزن خشک ریشه بر طول ریشه به‌دست آمد.

$$\rho = RDw / RL$$

در این رابطه ρ چگالی طولی ریشه، RDw وزن خشک ریشه (mg) و RL طول ریشه (cm) می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها تبدیل داده‌ای انجام نشد.

نتایج و بحث

تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید قرار گرفتند (جدول ۱). پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید باعث شد تا تعداد گیاهچه‌های سبز کرده و استقرار یافته به‌طور معنی‌داری افزایش یابد (جدول۲). در مقایسه با هیدروپرایمینگ، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید اثر نمایان‌تری را بر بنیه گیاهچه نشان داد، به نحوی که تیمار هیدروپرایمینگ تنها توانست ۱۰ درصد نسبت به بذر شاهد تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده و درصد سبز را افزایش دهد. درحالی‌که بذرهای تیمار شده با غلظت ۲٤۰۰ میکرومولار با بیشترین میزان درصد سبز (۸٦/۳۳ درصد) نزدیک به ۵۹ درصد افزایش در درصد سبز را نشان دادند.

بالاترین سرعت سبز (۰/۳۹۲۱) در بذرهای پرایم شده با غلظت ۸۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید مشاهده گردید. در مقابل، بیشترین شاخص سبز مربوط به سطح پرایم ۲٤۰۰ میکرومولار بود (۲۰۵/۳) که اختلاف معنی‌داری با غلظت ۲۰۰۰ میکرومولار نداشت. کمترین میزان شاخص سبز در بذرهای شاهد (۱۵۷/٤) و بذرهای پرایم شده با آب مقطر (٦/۱٦۰) بدست آمد (جدول ۲). در مقایسه دو پارامتر شاخص سبز کردن و سرعت سبز کردن به نظر می‌رسد شاخص سبز کردن، شاخص مناسبتری در مقایسه با سرعت سبز کردن برای ارزیابی تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده در طول زمان باشد. زیرا در صفت سرعت سبز کردن تنها دو تیمار ۸۰۰ میکرو مولار سالیسیلیک اسید و صفر (هیدروپرایمینگ) به‌صورت مشخصی از یکدیگر مشخص شدند و اختلاف معنی‌داری بین دیگر تیمارهای پرایمینگ مشاهده نشد. در مقابل، شاخص سبز کردن توانست تیمار شاهد را از تیمارهای پرایمینگ و هم‌چنین در داخل تیمارهای پرایمینگ تیمار هیدروپرایمینگ را از تیمارهای سالیسیلیک اسید تفکیک نماید. به‌طور کلی بذرهای پرایم شده با سالیسیلیک اسید سرعت سبز کردن بیشتری نسبت به تیمار شاهد و تیمار هیدروپرایمینگ داشتند و سبز کردن بذرهای پرایم شده نسبت به بذرهای شاهد در زمان کوتاه‌تری اجرا شد. به‌طوری‌که بذرهای تیمار شده با غلظت‌های ۲۰۰۰ و ۲٤۰۰ میکرو مولار سالیسیلیک اسید دارای کمترین تعداد میانگین زمان سبز کردن و تیمار شاهد و پس از آن تیمار هیدروپرایمینگ بیشترین مقدار را برای این صفت نشان دادند (جدول ۲). هم‌چنین بذرهای تیمار شده با ۲۰۰۰ و ۲٤۰۰ میکرو مولار سالیسیلیک اسید نه‌تنها در نخستین روزها عمل سبز کردن و خروج گیاهچه‌ها را به نمایش گذاشتند، بلکه در روزهای بعدی نیز تعداد بیشتری گیاهچه را در هر روز ظاهر نمودند (شکل ۱). این مطلب نشان می‌دهد عمل پرایمینگ می‌تواند موجب افزایش سرعت سبز، تعداد گیاهچه‌های سالم و کاهش روزهای انتظار برای خارج شدن گیاهچه از خاک گردد.

یکی از عوامل دستیابی به عملکرد بالا در واحد سطح، درصد و سرعت سبز شدن بذرها واستقرار گیاهچه‌های حاصل از بذرهای کشت شده است. به‌طور طبیعی هر چه سرعت سبز و درصد بذور سبز شده در مزرعه بیشتر باشد، استفاده از منابع محیطی نظیر نور، آب و عناصر غذایی بهتر خواهد بود (Foti *et al.*, 2002). دونالدسون و همکاران (Donaldson *et al.*, 2001) نیز اعلام کردند که یکی از روش‌هایی که برای افزایش بنیه بذر و در نتیجه بهبود کلی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بکار می‌رود پرایمینگ بذر می‌باشد. هم‌چنین، یون و همکاران (Yoon *et al.*, 1997) گزارش کردند که پرایمینگ باعث افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی شد و به همین دلیل موجب بهبود سرعت رشد گیاه، تسریع در تاریخ رسیدگی و افزایش کمیت و کیفیت عملکرد گردید. نخستین پاسخ‌ها به پرایمینگ شامل، افزایش جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه است که باعث استقرار بهتر گیاه، افزایش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (Halmer, 2004). لی و همکاران (Lee *et al.*, 1998)، گزارش کردند که پیش‌تیمار کردن بذرها با غلظت‌های بهینه هورمون‌های رشد گیاهی، موجب افزایش قابل توجهی در جوانه‌زنی، رشد و عملکرد محصول در گونه‌های مختلف گیاهان زراعی می‌شود. میارصادقی و همکاران (MiarSadegi *et al.*, 2011a) مشاهده کردند که پرایم کردن بذر کلزا با سالیسیلیک اسید بر درصد و شاخص سبز کردن

کلزا اثر معنی‌داری داشت و موجب افزایش مؤلفه‌های ذکر شده گردید. هاس و سانگ (Hus and Sung, 1997) گزارش کردند که پرایمینگ باعث افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از قبیل گلوتاتیون و آسکوربات در بذر می‌گردد که این آنزیم‌ها پراکسیداسیون لیپیدها را در طی جوانه‌زنی کاهش می‌دهند و باعث افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شوند. شکاری و همکاران (Shekari *et al*., 2010) نیز گزارش کردند پرایمینگ بذرهای گاوزبان با سالیسیلیک اسید موجب گردید تا سرعت و درصد گیاهچه‌های سبز شده در مزرعه افزایش یابد.

گیاهچه‌های حاصل ازبذرهای پرایم شده با غلظت ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید دارای بالاترین وزن خشک کل بودند که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح پرایم نشان دادند (جدول ۲). به‌طورکلی کمترین مقادیر مشاهده شده در این آزمایش به تیمار شاهد (بذر خشک) و پس از آن به تیمار هیدروپرایمینگ تعلق داشت، به‌طوری که وزن خشک گیاهچه در سطح تیمار شاهد از مقدار ۰/۲۱ گرم به مقدار ۰/۵۲۱ در غلظت ۲۴۰۰ میکرومولار رسید (۱۴۸ درصد افزایش).

به‌طور کلی یک روند افزایشی در طول ریشه به‌ازای افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به‌کار رفته مشاهده گردید (جدول ۲). کوتاه‌ترین ریشه در تیمار شاهد و هیدروپرایمینگ و طویل‌ترین در تیمار ۲۴۰۰ میکرومولار دیده شد. نظیر حالت مشاهده شده برای طول ریشه، روند مشابهی نیز برای وزن خشک ریشه بدست آمد. با این تفاوت که در این صفت تیمارهای شاهد و هیدروپرایمینگ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. چگالی ریشه نیز با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به‌کار رفته افزایش پیدا کرد. این مطلب نشان می‌دهد عمل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نه‌تنها طول و وزن خشک ریشه بلکه روی چگالی ریشه نیز مؤثر بود. به‌عبارت دیگر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید، و نه هیدروپرایمینگ، موجب تولید گیاهانی با ریشه‌های طویل و متراکم گردیده است.

طول ریشه یکی از پارامترهای ارزشمند و بسیار متداول جهت توصیف سیستم ریشه‌ای کارآمد و پیش‌بینی واکنش گیاه به تغییرات محیطی است. هم‌چنین این صفت شناسه مناسبی برای بررسی جذب آب و مواد غذایی توسط این اندام به شمار می‌آید (Shekari *et al*., 2010). شاکیراوا و همکاران (Shakirova *et al*., 2003) نیز گزارش کردند تیمار گیاهان با سالیسیلیک اسید تقسیم سلولی را در مریستم راس ریشه افزایش داد و رشد ریشه گیاهان را تحریک نمود. در گزارش مشابهی توسط ساخابوت‌دینوا (Sakhabutdinova, 2003) اعلام شد که تیمار کردن بذرهای گندم نه تنها سرعت و زمان جوانه‌زنی را بهبود بخشید، بلکه بنیه گیاهچه‌ها را از طریق افزایش طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک گیاهچه و تعداد ریشه‌ها افزایش داد. میار صادقی (Miarsadegi, 2011a) نیز گزارش کرد در گیاهان کلزای حاصل از بذرهای تیمار شده با سالیسیلیک اسید، طول ریشه به طور معنی‌داری افزایش یافت. طول ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن خشک ریشه‌چه داشت. به این مفهوم که هر چه بر میزان طول ریشه‌چه افزوده شد، وزن خشک ریشه‌چه نیز افزایش پیدا کرد. دولت آبادیان و همکاران (Dolatabadian *et al*., 2008) اعلام کردند که تیمار سالیسیلیک اسید تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های گندم داشت موجب افزایش رشد طولی ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه گردید.

تعداد برگ در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش پیدا کرد (جدول ۲). به نحوی که از حدود ۶/۷ برگ در تیمار شاهد به حدود ۲/ ۱۰در تیمار ۲۴۰۰ میکرومولار افزایش پیدا کرد (۵۹ درصد افزایش). در مقابل، تیمار هیدروپرایمینگ تنها موجب ۱۶ درصد افزایش در تعداد برگ گردید. نظیر تعداد برگ، سطح برگ هر بوته نیز در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش پیدا کرد (جدول ۲). دو تیمار شاهد و هیدروپرایمینگ دارای کمترین سطح برگ، و تیمار ۲۴۰۰ میکرومولار بیشترین سطح برگ را دارا بود. سطح برگ تک بوته تحت تأثیر فاکتورهای تعداد برگ، سطح هر تک برگ و میزان سرعت ریزش یا مرگ و میر برگ قرار می‌گیرد. از آنجائی‌که در این مرحله از آزمایش ریزش برگ اتفاق نیفتاده بود، تغییرات سطح برگ تک بوته تحت تأثیر تعداد برگ و سطح هر برگ بود. سطح متوسط تک برگ که از تقسیم سطح کل برگ‌ها به تعداد برگ بدست آمده بود، نشان داد سالیسیلیک اسید نه‌تنها تعداد برگ بلکه سطح تک برگ را نیز افزایش داده است. به نحوی که سطح متوسط هر تک برگ از حدود ۳/۹ سانتی‌متر مربع در تیمار شاهد به حدود ۶ سانتی‌متر مربع در تیمار ۲۴۰۰ میکرومولار افزایش داد.

به‌طور کلی توسعه و گسترش سطح برگ با دو مؤلفه تعداد سلول‌های برگ و میزان انبساط سلول برگ تنظیم می‌شود. در این بین مؤلفه انبساط و گسترش سلول اثر بسیار بزرگ‌تری در مقایسه با تعداد سلول دارد. به‌طوری که میانگین حجم سلول‌ها

بین ۱۰ تا ۲۵ برابر افزایش پیدا می‌کند (Hay and Walker, 1989). با توجه به افزایش وزن تر و بهبود روابط آب گیاه احتمالاً این افزایش سطح برگ می‌تواند به‌دلیل افزایش در فشار تورمی و ایجاد فشار لازم برای گسترش برگ باشد.

روند مشابهی نظیر سطح برگ تک بوته برای شاخص سطح برگ (LAI) به‌دست آمد (جدول ۲). با این تفاوت که در مقایسه میانگین‌ها، تعداد گروه‌های بیشتری در شاخص سطح برگ در مقایسه با سطح برگ تک بوته وجود داشت. این مسئله می‌تواند به این دلیل باشد که شاخص سطح برگ مقدار سطح برگ در واحد سطح زمین است و در این صفت علاوه از سطح برگ هر بوته تعداد بوته در واحد سطح زمین نیز تاثیرگذار خواهد بود. در نتیجه به دلیل تعداد سبز بیشتر و استقرار تعداد بیشتری گیاهچه در واحد سطح، شاخص سطح برگ تغییرات بیشتری را نشان داد.

تقریباً با روند مشابهی وزن خشک و تر برگ در گیاهان تحت مطالعه تغییر پیدا کرد و سنگین‌ترین و پر آب‌ترین برگ‌ها در گیاهان تیمار ۲۴۰۰میکرومولار مشاهده گردید (جدول ۲). حیات و همکاران (Hayat *et al*., 2005)، گزارش کردند که گیاهچه‌های گندمی که با سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند تعداد برگ بیشتر و وزن خشک و تر بالاتری داشتند. افزایش وزن تر نشان دهنده وضعیت مطلوب روابط آب گیاه است و می‌تواند به دلیل افزایش مقدار آب جذب شده توسط سیستم ریشه باشد (Shekari *et al*., 2010). از آن‌جایی‌که در آزمایش حاضر طول، وزن خشک و چگالی ریشه به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر عمل پرایمینگ با سالیسیلیک اسید قرار گرفت، افزایش وزن تر برگ می‌تواند به دلیل افزایش عمق ریشه‌دوانی و افزایش توان جذب ریشه باشد که موجب جذب بیشتری از آب و افزایش وزن تر برگ گردیده. هم‌چنین به دلیل این که بهبود روابط آب گیاه باعث افزایش میزان گشودگی منفذ روزنه و افزایش میزان تبادلات گازی می‌شود، این عمل موجب افزایش میزان فتوسنتز در گیاهان C_3 نیز می‌گردد (Shekari *et al*., 2010). در نهایت، افزایش وزن خشک برگ می‌تواند به دلیل افزایش میزان فتوسنتز برگی باشد. افزایش میزان فتوسنتز در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید نیز گزارش شده است. فریدالدین و همکاران (Fariduddin *et al*., 2003) گزارش کردند که سالیسیلیک اسید موجب افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود.

گزارش شده است تیمار با سالیسیلیک اسید سطح سیتوکنین و اکسین را در بافت‌های گیاهی حفظ می‌کند که سبب افزایش تقسیم سلولی در مریستم ریشه و ساقه گیاهچه و در نتیجه باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (Shakirova, 2007). در آزمایش حاضر نیز به نظر می‌رسد افزایش وزن تر و خشک گیاهچه‌های گلرنگ نیز به علت افزایش سرعت رشد در ریشه و ساقه گیاهچه باشد که باعث افزایش ابعاد و وزن بافت‌ها و افزایش سرعت تولید بافت‌های جدید گردید که در نتیجه وزن خشک با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به‌کار رفته برای عمل پرایم از ۰/۱۶۸۶ گرم به ۰/۳۸۸۷ گرم در هر بوته افزایش پیدا کرد. سیوری تیپ و همکاران (Sivritepe *et al*., 2003) نشان دادند که پرایمینگ در افزایش وزن خشک گیاهچه خربزه تأثیر داشته است.

در آزمایش حاضر تیمار با غلظت ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بیشترین افزایش را در وزن تر و خشک برگ به‌وجود آورد. این مسئله می‌تواند به دلیل افزایش توان گیاهچه در جذب و تحلیل مواد اندوخته شده بذر مادری باشد. به گزارش هاندرو وهمکاران (Handro *et al*., 1997)، تیمار سالیسیلیک اسید در گیاه *Ullucus tuberosus* باعث القاء طویل شدن ساقه، تحریک رشد و افزایش وزن تر بخش هوایی شد. این نتایج با نتایج آزمایش حاضر که تیمار با سالیسیلیک اسید باعث افزایش طول و وزن خشک و تر گلرنگ گردید، مطابقت دارد.

نتایج این مطالعه نشان داد که پرایمینگ با غلظت های مختلف سالیسیلیک اسید باعث افزایش و بهبود درصد، سرعت و شاخص سبز کردن گیاهچه در گلرنگ شد در نتیجه سبز شدن بذرهای پرایم شده نسبت به بذرهای هیدروپرایم و بذرهایی که تحت تیمار قرار نگرفتند، زودتر شروع شده و این بذرها سریع‌تر از خاک خارج و این امکان برای این گیاهچه‌ها فراهم گردید که از استقرار مناسب‌تری نسبت به سایر گیاهچه‌ها برخوردار باشند، که در نهایت، شرایط نامساعد محیطی را در این مرحله پشت سر بگذارند. هم‌چنین این گیاهچه‌ها با توجه به این که طول و چگالی ریشه بیشتری را دارا بودند، توانستند از منابع موجود بهتر استفاده کرده و در یک زمان معین نسبت به بذرهای شاهد سطح برگ و ماده خشک بیشتری تولید نمایند که در نهایت موجب افزایش عملکرد گردید.

جدول۱- تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده در مرحله گیاهچه‌ای گلرنگ تحت تأثیر سطوح مختلف سالیسیلیک اسید

Table 1. Analysis of variance for traits evaluated on safflower seedlings under different levels of salicylic acid

		Mean squares													
S.O.V.	**D.F.**	**Emergence percent**	**Emergence rate**	**Emergence index**	**Mean emergence time**	**Total dry weight**	**Root length**	**Root dry weight**	**Root density**	**Leaf number**	**Leaf area**	**Average leaf area**	**Leaf area index**	**Fresh weight of leaf**	**Leaf dry weight**
Replication	5	1252.921 **	0.117**	1108.509**	12.631**	0.004**	0.437 ^{ns}	0.001**	11.15**	1.221**	15.783**	0.313**	0.001**	0. 401**	0.005**
Priming	7	726.378**	0.013ns	216.345**	2.679**	0.067**	8.008**	0.006**	22.964**	7.974**	814.716**	3.462**	0.02**	2.788**	0.034**
Error	35	13.149	0.01	79.946	0.967	0.001	0.288	0.0001	2.233	0.170	1.047	0.109	0.0001	0.029	0.001
C.V. (%)	-	5.15	31.19	6.51	26.67	8.82	4.44	24.38	24.25	4.69	7.70	7.16	7.70	6.48	8.38

*,** and ns: Significant at the 5% and 1% levels of probability and non significant, respectively.

*،** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار

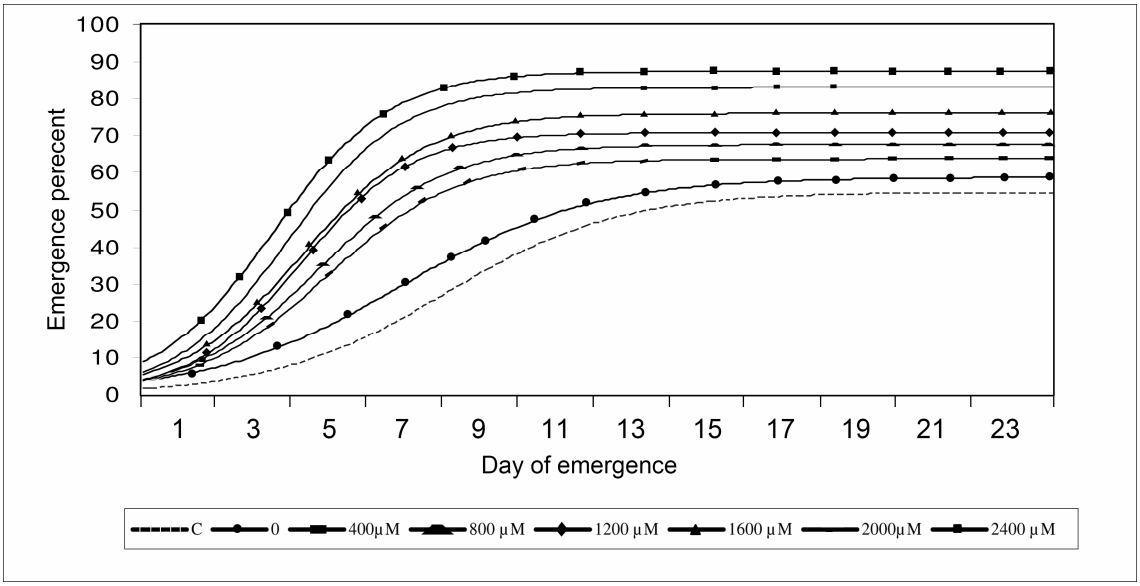
جدول ۲- مقایسه میانگین صفات گیاهچه گلرنگ در مرحله شش برگی تحت تأثیر سطوح مختلف سالیسیلیک اسید

Table 2. Comparison of safflower seedling traits at six leaf stages treated with different levels of salicylic acid

Priming levels	Emergence percent	Emergence rate	Emergence index	Mean emergence time	Total dry weight(g)	Root length (cm)	Root dry weight (g)	Root density	Leaf number	Leaf area	Mean leaf area	Leaf area index	Leaf fresh weight (g)	Leaf dry weight (g)
Dry seed	54.33 f	0.2689 ab	157.40 e	4.716 a	0.21 g	10.62 e	0.04143 h	3.833 d	6.733 f	26.36 f	3.906 d	0.1318 h	1.756 f	0.1686 f
0µM	59.50 e	0.2562 b	160.60 e	4.442 a	0.2456 fg	10.91 e	0.05054 g	4.578 cd	7.833 e	29.0 f	3.708 d	0.1450 g	1.898 ef	0.1950 ef
400 µM	65.00 d	0.2972 ab	165.30 de	4.002 ab	0.2778 ef	11.55 d	0.05718 f	4.973 bcd	8.433 d	34.36 e	4.075 d	0.1718f	2.085 e	0.2206 de
800 µM	67.83 cd	0.3921 a	177.90 d	3.6 ab	0.3093 de	11.85 cd	0.06202 e	5.256 bcd	8.60 cd	39.06 d	4.531 c	0.1948e	2.378 d	0.2473 cd
1200 µM	71.50 c	0.3275 ab	189.10 c	3.536 ab	0.3447 d	12.21 c	0.07312 d	6.009 bc	9.033 c	43.08 c	4.784 c	0.2153 d	2.842 c	0.2715 c
1600 µM	76.17 b	0.3216 ab	195.20 b	3.444 ab	0.3924 c	12.38 c	0.08218 c	6.678 b	9.60 b	44.49 c	4.641 c	0.2224 c	3.025 c	0.3103 b
2000 µM	82.50 a	0.3524 ab	202.90 a	2.952 b	0.4516 b	13.02 b	0.1108 b	8.56 a	9.967 ab	51.76 b	5.206 b	0.2587 b	3.284 b	0.3409 b
2400 µM	86.33 a	0.3656 ab	205.30 a	2.811 b	0.521 a	14.2 a	0.1324 a	9.415 a	10.17 a	61.31 a	6.042 a	0.3065 a	3.613 a	0.3887 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند

Means with at least one similar letter in each column, have no signification difference at %5 of probability level.



شکل ۱- منحنی رشد گیاهچه‌های گلرنگ تحت سطوح مختلف سالیسیلیک اسید

Figure 1. The seedling growth of safflower treated with different levels of salicylic acid

Refrences

Alyari H, Shekari F, Shekari, F (2011) Oil seed crops. Agronomy and Physiology. Amidi Publication Company [In Persian with English Abstract].

Ashraf M, Foolad MR (2005) Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination growth and crop yield under saline and none-saline conditions. Advan. Agronomy 88: 223-271.

Basra SMA, Ashraf M, Iqbal N, Khaliq A, Ahmad R (2004) Physiological and biochemical aspects of pre-sowing heat stress on cottonseed. Seed Science and Technology 32: 765-774.

Bastia DK, Rout A.K, Mohanty SK, Prusty AM (1999) Effect of sowing date, sowing methods and seed soaking on yield and oil content of rainfed safflower grown in Kalahandi, Orissa. Indian Journal of Agronomy 44: 621-623.

Benech Arnold R, Fenner RM, Edwards P (1991) Changes in germinabilty, ABA content and embryonic sensitivity in developing seeds of *Sorgum bicolor* L. Moench induced by water stress during filling. New Phytology 118: 339-348.

Bradford KJ (1995) Water relations in seed germination. In: Kigel J, Galili G (Eds), Seed development and germination. pp. 351-396. Marcel Dekker Inc., New York.

Demir Kaya M, Okcu G, Atak MA, Kolsarici O (2006) Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower. European Journal of Agronomy 24: 291-295.

Doulatabadian A, Moddares Sanavy SAM, Etemadi F (2008) Effect of pretreatment of salicylic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination under salt stress. Iranian Journal of Biology 4: 692-702. [In Persian with English Abstract].

Donaldson E, Schillinger WF, Stephen MD (2001) Straw production and grain yield relationships in winter wheat. Crop Science 41: 100 106.

Ellis RH, Roberts EH (1981) The quantification of aging and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology 9: 373-409.

Fariduddin Q, Hayat S, Ahmad A (2003) Salicylic acid influences on net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthet 41: 281-284.

Foti S, Cosentino SL, Patane C, a Agosta GMD (2002) Effects of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under low temperatures. Seed Science Technology 30: 521-533.

Halmer P(2004) Methods to improve seed performance in the field. In: Benech-Arnold RL, Sanchez RA (Eds), Handbook of Seed physiology; Application to Agriculture. pp: 65-125.

Handro W, Mello CM, Manzano MA, Floh EIS (1997) Enhancement of stem elongation and flower bud regeneration by salicylic acid. R. Bras. Fisiol. Veg 9: 139-142.

Hay RKM, Walker A J (1989) An introduction to the physiology of crop yield. Longman Ltd.

Hayat S, Fariduddin Q, Ali B, Ahmad A (2005) Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agronomy Hungary 53: 433-437.

Hus JL, Sung JM (1997) Antioxidant role of glutatnione associated with accelerated aging and hydration of triploid waremelon seeds. Physiologa Plant 100: 967-974.

Kaur S, Gupta AK, Kaur N (2005) Seed priming increase crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. Journal of Agronomy and Crop Science 191: 81-87.

Lee SS, Kim JH, Hong SB, Yuu S H, Park E H (1998) Priming effect of rice seeds on seedling establishment under adverse soil conditions. Korean Journal of Crop Science 43: 194–198.

Livington NJ, De Jong E (1990) Matric and osmotic potential effects on seedling emergence at different temperatures. Agronomy Journal 82: 995-998.

Metwally A, Finkemeier I, Georgi, M, Dietz KJ (2003) Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Physiology and Biochemistry of Plant 132: 272- 281.

Miar Sadegi S (2011) Effects of salicylic acid priming on some morphological and physiological charactristics of canola (*Brassica napus*) under drought stress. M.Sc. Thises in Agronomy. Zanjan University. Iran. [In Persian with English Abstract].

Miar Sadegi S, Shekari F, Fotovat R, Zangani E (2011) The effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*Brassica napus*) under water deficit condition. Journal of Plant Biology 6: 55-70. [In Persian with English Abstract

Raskin I (1992) Role of salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Physiology. Plant Molecular Biology 43: 439-463.

Reed DW (2007) Applied physiology of horticultural crops. Colegio de Post graduados Campus Montecillo. Hort. 604.

Sakhabutdinova AR, Fatkhutdinova DR, Bezrukova MV, Shakirova FM (2003) Salicylic acid prevents damaging action of stress factors on wheat plants. Bul. Journal of Plant Physiology. Special Issue: 314-323.

Shakirova FM, Sakhabutdinova RA, Bezrukova MV, Fatkhutdinova RA, Fatkhutdinova DR (2003) Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317- 322.

Shekari F, Baljani R, Saba J, Afsahi K, Shekari F (2010) Effect of seed priming with salicylic acid on growth characteristics of borage (*Borago officinalis*) plants seedlings. Journal of New Agricultural Science 6: 47-53. [In Persian with English Abstract].

Sivritepe N, Sivritepe HO, Eris A (2003) The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline onditions. Journal of Agricultural Science 97: 229-237.

Subedi KD, Ma BL (2005) Seed priming does not improve corn yield in a humid temperate environment. Agronomy Journal 97:211-218.

Zalai G, Tari I, Janda T, Pestenácz A, Páldi, E (2000) Effects of cold acclimation and salicylic acid on changes in ACC and MACC contents in maize during chilling. Biology of Plant 43: 637-640.

Szepesi Á, Csiszár J, Bajkán S, Gémes K, Horváth F (2005) Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. Acta Biology. Szeged. 49: 123-125.

Tekrony DM, Egli DB (1991) Relationship of seed vigor to crop yield: a review. Crop Science 31: 816-822.

Yoon BYH, Lang HJ, Greg Cobb B (1997) Priming with salt solutions improves germination of pansy seed at high temperaturers. Hort Science 32: 248-250.