

## اثر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید روی بنیه و کارکرد گیاهچه‌های گندم در تاریخ‌های کاشت متفاوت

مهدی عبداللهی<sup>۱</sup> و فرید شکاری<sup>۲\*</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۲۳)

### چکیده

به منظور بررسی اثرات سطوح مختلف پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مرحله گیاهچه‌ای گندم در شرایط دیر کاشت و مقایسه آن با کاشت معمول، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی (۸۹-۱۳۸۸) اجرا شد. در این آزمایش، اثرات ۷ سطح پرایمینگ بذر گندم رقم الوند با سالیسیلیک اسید شامل شاهد (بذر تیمار نشده)، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ میکرومولار در دو تاریخ کاشت معمول در منطقه (اول آبان) و کاشت دیر هنگام (اول آذر) بررسی شد. نتایج نشان داد که کاشت دیرهنگام موجب کاهش درصد سبز و درصد بقای زمستانه گیاهچه، تعداد برگ و پنجه، شاخص سطح برگ، وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه و نسبت سطح برگ شد. پرایمینگ با سالیسیلیک اسید موجب شد تا ویژگی‌های گیاهچه شامل تعداد برگ، تعداد پنجه، طول اولین برگ، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام‌های مختلف بوته، میزان قند و پرولین طوقه و برگ و شاخص‌های رشد در تاریخ کاشت اول بهبود یابد. با این حال، پرایمینگ در تاریخ کاشت دوم، فقط بر درصد سبز، درصد بقای گیاهچه‌ها، طول ریشه، مقدار پرولین و کربوهیدرات‌های محلول اثر مثبت داشت و بر دیگر صفات اثر معنی‌داری نداشت. همچنین، عمل پرایمینگ موجب شد تا نسبت بخش هوایی به ریشه در هر دو تاریخ کاشت تا تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار کاهش یابد، که بیانگر اثر این هورمون در توزیع و تجمع بیشتر ماده خشک در ناحیه ریشه در مقایسه با بخش هوایی تا این غلظت است. بالاترین مقدار در تعداد برگ، تعداد پنجه، وزن تر (کل، ریشه و طوقه)، وزن خشک (کل، غلاف برگ‌های علفی و طوقه) و نسبت ریشه به ساقه مربوط به غلظت ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بود. به نظر می‌رسد کاربرد سالیسیلیک اسید از طریق افزایش سرعت جوانه‌زنی و درصد سبز و افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول و پرولین در طوقه و برگ، گیاهچه‌هایی را تولید کرده که میزان زمستان‌گذرانی بالاتری را در مقایسه با بذره‌های تیمار نشده داشتند و در نتیجه درصد گیاهچه‌های زنده مانده پس از زمستان به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ، پرولین، دیرکاشتی، سالیسیلیک اسید، سرمازدگی، کربوهیدرات محلول

## مقدمه

در مناطق معتدله گیاهان زراعی سرمدوست نظیر گندم به طور معمول در پاییز کشت می‌شوند. این گیاهان در پاییز سبز شده و بخشی از رشد رویشی خود را که به طور معمول تا مرحله گیاهچه‌ای است (مرحله چهار تا شش برگی)، قبل از وقوع زمستان انجام می‌دهند. در شرایط کشت پاییزه، دمای پایین موجب کندی رشد شده و تعداد پنجه‌ها را کاهش می‌دهد و حتی ممکن است سرمای شدید موجب صدمه به طوقه بونه‌های گندم زمستانه و نابودی آن‌ها شود (Azizi et al., 2008). تنش سرما در طول دوره رشد سبب کاهش میزان جوانه‌زنی، طولانی شدن دوره جوانه‌زنی (Basra et al., 2004) و آسیب پذیری بذر و گیاهچه در برابر عوامل بیماری‌زا مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها، کاهش و یا توقف رشد رویشی گیاه، از بین رفتن جوانه‌ها و گل‌ها و حتی مرگ گیاه می‌شود (Acharya et al., 1983). اکوئیزا و همکاران (Equiza 2001) در بررسی واکنش گندم به سرما، کاهش ۷۵ درصدی نسبت ساقه به ریشه را در دمای پایین نسبت به دمای اپتیمم و همچنین کاهش ۲۰ درصدی فراوانی روزنه‌ها در سطح برگ را بسته به رقم مورد مطالعه گزارش کردند.

کشت کرپه یا دیرهنگام به علت کوتاهی دوره رشد، امکان رسیدن به اندازه مطلوب را به گیاهچه نداده و در نتیجه احتمال زمستان‌گذرانی موفق پایین خواهد بود (Jose et al., 2004). استفاده از روش پرایمینگ یکی از روش‌های بهبود کارکرد بذر و افزایش کیفیت بذر در شرایط نامساعد محیطی می‌باشد (Basra et al., 2004). گزارش شده است پرایمینگ خسارت ناشی از جذب آب در دمای پایین که به واسطه کاشت بذر در خاک‌های سرد به وجود می‌آید، کاهش داده و علاوه بر آن موجب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن شد (Arif., 2005). فوتی و همکاران (Foti et al., 2002) گزارش کردند جوانه‌زنی بذرهای سورگوم تحت دماهای پایین (۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد) با تیمار پرایمینگ بهبود پیدا کرد.

سالیسیلیک اسید یک تنظیم کننده رشد گیاهی است که در گیاهان در مقادیر کم وزن تر (Raskin, 1992) وجود دارد، که هم به فرم آزاد و هم به فرم گلیکوزیل می‌باشد (Lee et al., 1995). سالیسیلیک

اسید نقش مهمی را در ایجاد مقاومت به تنش‌های محیطی (Raskin, 1992) از جمله در برابر تنش سرما، در برخی گیاهان (Janda et al., 1999; Horvath et al., 2002; Kang and Saltveit, 2002; Tasgin et al., 2003) بر عهده دارد. همچنین در ذرت سالیسیلیک اسید سبب تغییراتی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در زمان سرمازدگی شد (Janda et al., 1999). سالیسیلیک اسید به وسیله تأثیرگذاری بر پروتئین‌های آپوپلاستیک موجب افزایش مقاومت به یخ‌زدگی در برگ‌های گندم زمستانه شد (Tasgin et al., 2003). اظهار شده است که منطقه آپوپلاستیک برگ شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پروتئین‌های ضد یخ‌زدگی است (Yu et al., 2001). از سویی نیز نقش درونی سالیسیلیک اسید در طول دوره‌ی توسعه مقاومت به سرما هنوز ناشناخته است و نیاز به تحقیقات بیشتر دارد (Janda et al., 2003). هی و همکاران (He et al., 2005) گزارش کردند که سالیسیلیک اسید با متوقف کردن تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز موجب افزایش مقاومت به گرما در چمن دائمی (*Poa pratensis*) شد. همچنین سالیسیلیک اسید در حفاظت از ساختار سلولی در تنش‌های دمای پایین در گیاهچه‌های موز (*Musa spp*) موثر بود (Kang et al., 2007). جاندا و همکاران (Janda et al., 1999) گزارش کردند که پیش تیمار کردن ذرت با سالیسیلیک اسید در دمای رشد مناسب با تحریک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (مانند پروکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز) موجب افزایش مقاومت به سرما شد. در گزارشی دیگر، کاربرد سالیسیلیک اسید موجب کاهش فعالیت کاتالاز و افزایش سطح  $H_2O_2$  شد (Janda et al., 2003). این افزایش می‌تواند بیانگر نقش  $H_2O_2$  به عنوان مولکول نشانگر باشد که موجب فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی می‌شود (Klessig et al., 2000). پرایمینگ بذر با گلیسین بتائین (Farooq et al., 2008a) و سالیسیلیک اسید (Farooq et al., 2008c) به عنوان تحریک کننده مقاومت به سرما در ذرت شناخته شده است. به نظر می‌رسد که این کار به وسیله‌ی فعال سازی سیستم آنتی‌اکسیدانتی انجام می‌شود.

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات تجاری است که به طور معمول در مناطق سردسیر در مراحل جوانه‌زنی و

عنوان فاکتور اول و تاریخ کاشت به عنوان فاکتور دوم مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید در ۷ غلظت شامل سطوح شاهد (بذر تیمار نشده)، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ میکرومولار و دو تاریخ کاشت اول آبان و اول آذر بود. جهت انجام پرایمینگ، پس از تهیه غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید، بذره‌های گندم به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴°C، تحت تیمارهای مختلف سالیسیلیک اسید غوطه‌ور شدند (Miar Sadegi et al. 2010.; Shekari et al. 2010). سپس بذرها در دمای اتاق و به مدت ۴۸ ساعت هوا خشک شده و پس از ضد عفونی با قارچ‌کش کاربوکسی تیرام با نسبت دو در هزار، آماده کشت شدند و جهت کشت به مزرعه منتقل شدند. کاشت در دو تاریخ کاشت (اول آبان، تاریخ کاشت معمول در منطقه و اول آذر، کاشت دیر هنگام) به طور دستی انجام شد. درصد سبز در هر دو تاریخ کاشت پس از شمارش گیاهچه‌های سبز شده با استفاده رابطه زیر محاسبه شد.

$$\text{Emergence\%} = \text{En/N} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه فوق N تعداد بذر کاشته شده و En تعداد گیاهچه‌های سبز شده می‌باشند.

در هر کرت شاخص‌های چوبی به عنوان نشانه به فاصله ۲ متر از یکدیگر در قسمت وسط هر کرت نصب شد و تعداد گیاهچه‌های سبز شده قبل از شروع یخبندان‌های پاییزه در چهار ردیف وسط شمارش شد. در اوایل فروردین ماه (۸ فروردین) از همان قسمت تعداد گیاهچه‌های زنده مانده شمارش شد و درصد بقاء از تقسیم گیاهچه‌های زنده مانده به گیاهچه‌های سبز کرده بدست آمد.

در اواخر بهمن ماه (۲۵ بهمن) از هر کرت ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب شد. گیاهچه‌ها از ناحیه ریشه توسط بیلچه از عمق تقریبی ۳۰ سانتی‌متر خارج و سپس بر روی الک با قطر ۲ میلی‌متر در داخل تشتک با آب شهر آب‌کشی شدند تا خاک اطراف ریشه‌ها جدا شود. بوته‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه و جداسازی اجزای بوته با ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۰۱) توزین شدند و وزن تر یادداشت شد. سطح برگ بوته‌ها نیز با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل VM-900 E/K اندازه‌گیری شد. سپس اجزای بوته در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها قرائت شد.

سبز کردن و استقرار با تنش دمای پایین مواجه می‌شود. بنابراین، استفاده از روش‌هایی که بتوانند موجب افزایش بنیه و سرعت نمو به ویژه در مراحل اولیه سبز کردن و استقرار گیاهچه و بهبود زمستان‌گذرانی گیاهچه‌ها شوند، می‌توانند در بهبود وضعیت گیاه در مراحل بعدی و عملکرد موثر باشند. تحقیق حاضر به منظور بررسی اثرات پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مرحله گیاهچه‌ای گندم در شرایط دمای پایین در اثر دیر کاشتی انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در عرض شمالی ۴۰° و ۳۶° و طول شرقی ۲۴° و ۴۸° و ارتفاع ۱۶۱۰ متر از سطح دریا و با استفاده از طرح آماری فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. بافت خاک مزرعه لومی رسی با جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ و میانگین pH برابر با ۷/۷ بود. برخی از خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک

Table 1. Soil characteristics of research field of Zanjan University from 0 to 30 cm of soil surface

Ca (ppm)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	S (%)
680	280	9	0/092	0/28

بذر گندم رقم الوند، که از ارقام رایج در منطقه می‌باشد، از مرکز تحقیقات کشاورزی زنجان تهیه شد. در اوایل مهر ۱۳۸۸ عملیات پخش یکنواخت کود سولفات پتاسیم و فسفات آمونیوم (هر کدام به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، دیسک‌زنی، تسطیح و ایجاد جوی و پشته به وسیله فاروئر صورت گرفت. عمل کاشت با تراکم ۱۶ گرم بذر در متر مربع انجام شد. وزن هزار دانه نمونه دریافتی نیز معادل ۳۵/۴ گرم بود. هر کرت شامل دو پشته به عرض ۶۰ سانتی‌متر و طول ۵ متر بود که روی پشته‌ها ۳ خط کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم قرار داشت. فاصله بین دو کرت در بلوک یک متر و بین بلوک‌ها فاصله دو متر لحاظ شد. در این آزمایش سطوح پرایمینگ به

صفات تعداد پنجه و برگ، طول برگ و ریشه، وزن تر و خشک ریشه، غلاف برگ‌های علفی، پهنک برگ، طوقه و کل بوته اندازه‌گیری شد. درصد آب بوته، نسبت وزن برگ (LWR)، شاخص سطح برگ (LAI) و نسبت ساقه به ریشه (S/R) نیز از روابط (۲) الی (۵) محاسبه شدند (Hunt, 1982):

(۲)  $100 \times (\text{وزن تر} / \text{وزن خشک} - \text{وزن تر}) = \text{درصد رطوبت}$

(۳)  $\text{LWR} = \text{وزن کل گیاه} / \text{وزن برگ}$

(۴)  $\text{S/R} = \text{وزن ریشه} / \text{وزن بخش هوایی}$

(۵)  $\text{LAI} = \text{سطح زمین} / \text{سطح برگ}$

درصد بقاء گیاهچه‌ها پس از سرمای زمستانه نیز تحت تأثیر تاریخ کاشت و پرایمینگ و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). در بین تیمارها کمترین درصد بقاء گیاهچه‌ها متعلق به تیمار شاهد در تاریخ کاشت دوم بود و بالاترین درصد در تعداد گیاهچه‌های زنده مانده در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار تاریخ کاشت اول دیده شده که با تیمارهای ۱۶۰۰ و ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌داری را نداشت (جدول ۳). در مقایسه دو تاریخ کاشت به نظر می‌رسد میزان خسارت سرمازدگی و مرگ زمستانه در تاریخ کاشت دوم بیشتر از تاریخ کاشت اول بوده و تقریباً ۴۱٪ گیاهچه‌های سبز شده بر اثر سرمازدگی در تیمار شاهد تاریخ کاشت دوم از بین رفتند. در هر دو تاریخ کاشت با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید بکار رفته به طور نسبی یک روند افزایشی در تعداد گیاهچه‌های زنده مانده دیده شد (۱۸ و ۳۶ درصد افزایش نسبت به شاهد به ترتیب در تاریخ کاشت اول و دوم). جوانه‌زنی بذر و استقرار موفق گیاهچه دارای اهمیت زیادی در تعیین جمعیت گیاهی و رسیدن به حد مطلوب تراکم در مزرعه می‌باشد. در زراعت‌های پاییزه فاکتور اضافی دیگر، توان گیاهچه‌ها در زمستان‌گذرانی و حفظ بقاء گیاهچه تحت دماهای پایین می‌باشد. بنابراین، هر عاملی که موجب افزایش توان زمستان‌گذرانی گیاهچه‌ها شود می‌تواند در افزایش جمعیت نهایی و عملکرد موثر باشد. کاستونگای و همکاران (Castongay et al., 2006) در بررسی بقاء زمستانه و تحمل به یخ‌زدگی ژنوتیپ‌های یونجه اعلام کردند تحمل به سرما با تحمل به خشکیدگی به وجود آمده از یخ‌زدگی مرتبط بود. دمای پایین موجب تجمع قندهای محلول در گیاهان یونجه شد، ولی در ژنوتیپ‌های مقاوم مقدار آن بالاتر بود. در آزمایش حاضر نیز در تیمارهایی که مقدار قند و پرولین بالایی داشتند درصد بقاء نیز بالاتر بود (جدول ۳). این احتمال وجود دارد که افزایش قندهای محلول و پرولین به عنوان موادی با خصوصیات اسمزی و محافظ اجزای سلولی (Matysik et al., 2002; Heuer, 1999) موجب بهبود و افزایش

مقدار قند برگ و طوقه از روش فنل سولفریک اسید (Khochoert et al. 1978) و مقدار پرولین از روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری MSTATC و SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن ( $P \leq 0.05$ ) انجام شد.

نتایج و بحث

تاریخ کاشت، تمامی صفات اندازه‌گیری شده به جز LWR را تحت تأثیر قرار داد. همچنین تمامی صفات تحت تأثیر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و اثر متقابل تاریخ کاشت و سالیسیلیک اسید قرار گرفتند (جدول ۲).

سالیسیلیک اسید باعث افزایش درصد سبز گیاهچه‌ها در هر دو تاریخ کاشت شد. بالاترین درصد سبز در تاریخ کاشت اول مربوط به سطوح ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید و در تاریخ کاشت دوم نیز سطح ۲۰۰۰ میکرومولار بیشترین درصد سبز را دارا بود، هر چند که با تیمار ۲۴۰۰ میکرومولار این تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). گزارش شده است پرایم کردن بذر موجب آبنوشی بسیار سریع، افزایش توسعه‌پذیری دیواره‌های سلولی ریشه‌چه و انتقال سریع‌تر مواد ذخیره‌ای آندوسپرم به محورهای جنینی و در نهایت کوتاه‌تر شده فاز کند بین جذب آب و ظهور گیاهچه شد (Haigh, 1988). راجسکارا و همکاران (Rajaskaran et al., 2002) نشان دادند کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید موجب تحریک جوانه‌زنی بذر هویج شد. پرایم کردن بذرها در گاو زبان (Shekari et al., 2010) و کلزا (Miar

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مرحله‌ی گیاهچه‌های در گندم تحت پرایمینگ و تاریخ کاشت  
Table 1. Analysis of variance of measured traits in wheat seedlings under different sowing dates and salicylic acid priming

منابع تغییر S.O.V	df	میانگین هریمات (MS)										
		درصد سبز شدن Emergence	محتوای آب گیاه Water content	درصد بقا Seedling survival	وزن تازه طوقه Crown fresh weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight	وزن تازه گیاه Total fresh weight (g)	LAI	طول ریشه Length of root	طول اولین برگ Length of first leaf	تعداد پیچه Tiller number	تعداد برگ Leaf number
تکرار Replication	2	248.643**	0.112 <sup>ns</sup>	86.33 <sup>ns</sup>	0.000476*	0.001 <sup>ns</sup>	0.024*	0.007 <sup>ns</sup>	2.489 <sup>ns</sup>	1.39*	0.255*	1.988*
تاریخ کاشت Sowing date	1	473.357**	5.35**	261.44**	0.045474**	0.485**	2.534**	1.684**	85.001**	13.771**	437.67**	253.798**
سالسیلیک اسید (SA)	6	203.929**	3.251**	863.44**	0.001482**	0.012**	0.096**	0.047**	5.508**	0.821*	0.396**	3.684**
تاریخ کاشت SA × Sowing date	6	21.357*	4.769**	256.70**	0.000148**	0.011**	0.065**	0.049**	5.451**	1.886**	0.396**	3.311**
اشتباه آزمایشی Error	26	6.797	0.227	21.26	0.000121	0.003	0.006	0.002	0.938	0.351	0.073	0.374
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.10	0.59	8.94	21.99	25.55	19.76	14.53	5.36	8.89	21.32	13.07

ns, \*, \*\* and \*\*\* indicate non-significant, significant differences at P, 0.05 and 0.01 respectively.

ns, \*, \*\* و \*\*\* به ترتیب نشان دهنده‌ی معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰.۰۵، ۰.۰۱ و ۰.۰۰۱ می‌باشد.

Table 2. Continued

منابع تغییر S.O.V	df	میانگین مربعات (M.S)									
		وزن خشک بوته Total dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک غلاف برگ عالی Foliage leaf sheath dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک طوقه Crown dry weight	LWR	S/R	قندهای محلول Soluble sugars	پروتئین Proline	
تکرار Replication	2	0.00055*	0.000016 <sup>ns</sup>	0.000458*	0.000009 <sup>ns</sup>	0.000007*	0.006 <sup>ns</sup>	0.097 <sup>ns</sup>	171.06 <sup>ns</sup>	0.87 <sup>ns</sup>	
تاریخ کاشت Sowing date	1	0.108641**	0.024961**	0.016453**	0.012632**	0.001158**	0.005 <sup>ns</sup>	10.596**	946.6*	18.87**	
سالیسیلیک اسید (SA)	6	0.001817**	0.000248**	0.000879**	0.000215**	0.000028**	0.028**	2.19**	1083.1**	12.85**	
اثر متقابل SA × Sowing date	6	0.001689**	0.000203**	0.000519**	0.00012**	0.000028**	0.017**	0.951**	670.3**	13.16**	
اشتباه آزمایشی Error	26	0.000151	0.000016	0.000117	0.000017	0.000001	0.005	0.108	117.8	1.35	
ضریب تغییرات CV (%)	.....	16.34	11.01	37.77	13.22	14.28	13.64	14.38	7.87	7.92	

ns, \* and \*\* indicate non-significant, significant differences at P, 0.05 and 0.01 respectively.

ns, \* و \*\* به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ می‌باشد.

ادامه جدول ۲

آنجایی که در غلات شاخه‌های فرعی از منطقه طوقه ظاهر می‌شوند، بنابراین دمای خاک می‌تواند بر تعداد شاخه فرعی یا پنجه موثر باشد (Hay and Walker, 1989). دمای پایین دوره رشد گیاه را به تأخیر می‌اندازد و دوره رشد را طولانی‌تر می‌کند (Fowler *et al.*, 1996). گزارش شده است در شرایط کشت زمستانه دمای پایین باعث کندی رشد شده و تعداد پنجه‌ها را کاهش می‌دهد و حتی ممکن است سرمای شدید موجب صدمه به طوقه بوته‌های گندم زمستانه و نابودی آن‌ها شود (Mir Mohamadi Maibodi, 2004). امین و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش تعداد پنجه در گندم شد.

در مقایسه دو تاریخ کاشت، در تاریخ کاشت اول اولین برگ علفی دارای درازای بیشتری نسبت به تاریخ کاشت دوم بود. همچنین، بیشترین میزان طول اولین برگ در تیمار شاهد تاریخ کاشت اول مشاهده شد. در تاریخ کاشت اول با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید بکار رفته یک روند کاهش در طول برگ مشاهده شد. ولی در تاریخ کاشت دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد با تیمارهای پرایم شده مشاهده نشد (جدول ۳). سطح اولین برگ علفی و سطح برگ کل بوته در تاریخ کاشت اول با افزایش غلظت هورمون تا سطح ۲۰۰۰ میکرومولار افزایش پیدا کرد (Abdollahi, 2011). به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید با کاهش طول برگ باعث افزایش عرض برگ و افزایش سطح برگ شده است. این مسئله از روی میزان تغییرات سطح برگ و شاخص سطح برگ قابل مشاهده است (جدول ۳). بالاترین میزان LAI نیز در هر دو تاریخ کاشت مربوط به غلظت ۲۰۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بود که به ترتیب ۱۳۰/۳۷٪ و ۳۲/۷۵٪ نسبت به تیمار شاهد در تاریخ‌های کشت اول و دوم افزایش نشان داد (جدول ۳). این افزایش اگرچه در تاریخ کاشت دوم معنی‌دار نبود، ولی در تاریخ کاشت اول اختلاف معنی‌داری را نشان داد. در غلات، برگ‌های هر گره، بیشینه مقداری که می‌تواند توسعه پیدا کند به صورت ژنتیکی تعیین می‌شود. این مقدار توسط انتوژنی مربوط کنترل می‌شود و عوامل محیطی نیز بر انتوژنی تأثیرگذار هستند. در صورتی که عوامل محیطی محدود کننده نباشند (نظیر تنش خشکی، سایه‌اندازی و کمبود عناصر غذایی)، نظیر صفات پیشین، توسعه برگ نیز توسط دمای محیط کنترل می‌شود. در

تحمل به سرما در گیاهچه‌های تیمار شده با سالیسیلیک اسید شده و درصد بقاء گیاهچه در این تیمارها افزایش پیدا کرده است.

پرایمینگ با سالیسیلیک اسید تنها در تاریخ کاشت اول روی تعداد برگ اثر معنی‌داری را نشان داد و در تیمار دیر کاشت هیچ‌کدام از تیمارهای پرایمینگ نتوانستند تغییر معنی‌داری در تعداد برگ به وجود آورند (جدول ۳). در بین تیمارهای پرایمینگ در تاریخ کاشت اول نیز تنها تیمار ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بود که موجب تغییر و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای پرایمینگ شد. به جز این تیمار، بقیه تیمارها اختلاف چندان قابل توجهی را با یکدیگر نشان ندادند. به نظر می‌رسد صفت تعداد برگ در گندم بیشتر تحت تأثیر زمان کاشت و میزان درجه حرارت محیط برای تولید برگ‌های جدید بوده و اثر درجه حرارت محیط به حدی قوی بود که کاربرد سالیسیلیک اسید نتوانسته است تأثیر چندان روی این صفت به وجود آورد. ثابت شده است در بسیاری از گیاهان زراعی آهنگ خروج برگ از جوانه انتهایی چه در شرایط کنترل شده و چه در شرایط مزرعه‌ای، در صورتی که رشد گیاه با تنش خشکی یا تنش عناصر معدنی محدود نشود، فقط به وسیله دمای هوا کنترل می‌شود (Hay and Walker, 1989). حیات و همکاران (Hayat *et al.*, 2005)، گزارش کردند که گیاهچه‌های گندمی که با سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند، تعداد برگ بیشتری داشتند.

همانند حالت مشاهده شده برای تعداد برگ، تعداد پنجه نیز در تاریخ کاشت دوم تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ قرار نگرفت و در عمل هیچگونه پنجه‌ای در زمان یادداشت برداری در گیاهان مربوط به تاریخ کاشت دوم تولید نشده بود (جدول ۳). در تاریخ کاشت اول، کمترین تعداد پنجه در تیمار شاهد دیده شد و با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید بکار رفته، یک روند افزایشی در تعداد پنجه مشاهده شد. در بین تیمارهای پرایمینگ، تنها تیمار ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بود که اختلاف قابل توجه با دیگر تیمارهای پرایمینگ داشت و توانست تعداد پنجه را به میزان ۱۰۹٪ نسبت به تیمار شاهد تاریخ کاشت اول افزایش دهد. به نظر می‌رسد نظیر اثر درجه حرارت بر روی تعداد برگ، در این صفت نیز به دلیل عدم تأمین حرارت کافی جهت تولید پنجه و ساقه فرعی در عمل هیچ پنجه‌ای در تاریخ کاشت دوم تولید نشد. از

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی ازیابی شده در مرحله ی گیاهچه ای در گندم، تحت پرایمینگ و تاریخ کاشت  
Table 2. Mean comparisons of measured traits in wheat seedlings under different sowing dates and salicylic acid priming

تاریخ کاشت Planting date	پرایمینگ Priming ( $\mu$ M)	درصد سبزشدن Emergence (%)	درصد بقاء Seedling survival (%)	محتوای آب گیاه (%) Water content	وزن تازه مطبوعه (g/plant) Crown fresh weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight (g/plant)	وزن تازه گیاه Total fresh weight (g/plant)	LAI	طول ریشه Length of root (cm)	طول اولین برگ Length of first leaf (cm)	تعداد پیچه Tiller number	تعداد برگ Leaf number
کاشت بهنگام Conventional planting	Control	83 <sup>ab</sup>	77 <sup>d</sup>	81.01 <sup>bc</sup>	0.08223 <sup>bc</sup>	0.2758 <sup>cd</sup>	0.6967 <sup>bc</sup>	0.373 <sup>d</sup>	19.9 <sup>ab</sup>	8.217 <sup>a</sup>	1.65 <sup>c</sup>	6 <sup>c</sup>
	400	82 <sup>a</sup>	81 <sup>c</sup>	82.29 <sup>a</sup>	0.0421 <sup>d</sup>	0.2514 <sup>de</sup>	3338 <sup>d</sup>	0.3973 <sup>d</sup>	19.98 <sup>ab</sup>	7.49 <sup>abc</sup>	1.75 <sup>c</sup>	5.6 <sup>c</sup>
	800	85 <sup>cd</sup>	85 <sup>b</sup>	81.54 <sup>ab</sup>	0.007523 <sup>c</sup>	0.2625 <sup>de</sup>	0.5893 <sup>c</sup>	0.4843 <sup>c</sup>	20.39 <sup>a</sup>	7.945 <sup>ab</sup>	2.75 <sup>b</sup>	6.7 <sup>b</sup>
	1200	87 <sup>bcd</sup>	85 <sup>b</sup>	79.18 <sup>de</sup>	0.0785 <sup>bc</sup>	0.3571 <sup>abc</sup>	0.4183 <sup>d</sup>	0.4653 <sup>c</sup>	19.66 <sup>abc</sup>	7.115 <sup>bcd</sup>	2.37 <sup>b</sup>	6.46 <sup>bc</sup>
	1600	92 <sup>a</sup>	89 <sup>ab</sup>	79.36 <sup>a</sup>	0.095 <sup>b</sup>	0.3693 <sup>ab</sup>	0.7716 <sup>b</sup>	0.6013 <sup>b</sup>	18.48 <sup>bcd</sup>	7.29 <sup>abc</sup>	2.4 <sup>b</sup>	6.8 <sup>b</sup>
	2000	92 <sup>a</sup>	91 <sup>a</sup>	79.17 <sup>de</sup>	0.06873 <sup>c</sup>	0.3194 <sup>bcd</sup>	0.6419 <sup>bc</sup>	0.8593 <sup>a</sup>	19.51 <sup>abc</sup>	6.91 <sup>bcd</sup>	2.36 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>
	2400	92 <sup>a</sup>	89 <sup>ab</sup>	81.43 <sup>b</sup>	0.1388 <sup>a</sup>	0.4477 <sup>a</sup>	1.029 <sup>a</sup>	0.605 <sup>b</sup>	18.43 <sup>bcd</sup>	5.67 <sup>de</sup>	3.45 <sup>a</sup>	10.4 <sup>a</sup>
	Control	71 <sup>f</sup>	59 <sup>de</sup>	79.3 <sup>f</sup>	0.01633 <sup>a</sup>	0.1933 <sup>de</sup>	0.1297 <sup>a</sup>	0.12 <sup>a</sup>	13.85 <sup>f</sup>	6.523 <sup>cd</sup>	0 <sup>d</sup>	2.36 <sup>d</sup>
	400	74 <sup>f</sup>	61 <sup>f</sup>	78.45 <sup>f</sup>	0.0164 <sup>a</sup>	0.0585 <sup>b</sup>	0.1163 <sup>a</sup>	0.1203 <sup>a</sup>	16.67 <sup>e</sup>	5.72 <sup>de</sup>	0 <sup>d</sup>	1.85 <sup>d</sup>
	800	75 <sup>f</sup>	69 <sup>a</sup>	80.29 <sup>cd</sup>	0.0126 <sup>a</sup>	0.0561 <sup>b</sup>	0.1716 <sup>a</sup>	0.1273 <sup>a</sup>	16.58 <sup>e</sup>	5.495 <sup>f</sup>	0 <sup>d</sup>	2.23 <sup>d</sup>
1200	84 <sup>cd</sup>	75 <sup>d</sup>	80.99 <sup>bc</sup>	0.018 <sup>a</sup>	0.1507 <sup>de</sup>	0.1226 <sup>a</sup>	0.101 <sup>a</sup>	18.69 <sup>bcd</sup>	5.71 <sup>de</sup>	0 <sup>d</sup>	2.3 <sup>d</sup>	
1600	84 <sup>cd</sup>	78 <sup>cd</sup>	79.57 <sup>de</sup>	0.0175 <sup>a</sup>	0.1508 <sup>de</sup>	0.133 <sup>a</sup>	0.128 <sup>a</sup>	17.67 <sup>de</sup>	6.023 <sup>cd</sup>	0 <sup>d</sup>	2.36 <sup>d</sup>	
2000	90 <sup>ab</sup>	80 <sup>c</sup>	79.25 <sup>de</sup>	0.0172 <sup>a</sup>	0.1002 <sup>de</sup>	0.1707 <sup>a</sup>	0.1593 <sup>a</sup>	18.14 <sup>cd</sup>	6.493 <sup>cd</sup>	0 <sup>d</sup>	2.23 <sup>d</sup>	
2400	88 <sup>abc</sup>	80 <sup>c</sup>	81.14 <sup>b</sup>	0.02193 <sup>a</sup>	0.1698 <sup>de</sup>	0.1981 <sup>a</sup>	0.126 <sup>a</sup>	14.84 <sup>f</sup>	6.655 <sup>cd</sup>	0 <sup>d</sup>	2.2 <sup>d</sup>	

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 0.05 probability level, using Duncan's test.

Table 3. Continued

تاریخ کاشت Planting date	پراکنش Priming ( $\mu\text{M}$ )	S/R	LWR	وزن خشک طوقه Crown dry Weight (g/plant)	وزن خشک ریشه Root dry Weight (g/plant)	وزن خشک غلاف برگهای علوی foliage leaf sheath dry (g/plant) weight	وزن خشک برگ Leaf dry Weight (g/plant)	وزن خشک بوته Total dry Weight (g/plant)	پروتئین Proline content (mg/g)	قندهای محلول Soluble sugars content (mg/g)
کاشت پیوسته Conventional planting	Control	3.919 <sup>a</sup>	0.649 <sup>a</sup>	0.0151 <sup>bc</sup>	0.03373 <sup>a</sup>	0.0183 <sup>de</sup>	0.08593 <sup>a</sup>	0.1322 <sup>bc</sup>	8.2 <sup>c</sup>	57 <sup>d</sup>
	400	1.715 <sup>de</sup>	0.617 <sup>de</sup>	0.007933 <sup>a</sup>	0.04943 <sup>bc</sup>	0.05823 <sup>b</sup>	0.05003 <sup>a</sup>	0.1116 <sup>d</sup>	8.6 <sup>c</sup>	64 <sup>c</sup>
	800	2.612 <sup>bc</sup>	0.563 <sup>abcd</sup>	0.01393 <sup>cd</sup>	0.04303 <sup>cd</sup>	0.03503 <sup>cd</sup>	0.06233 <sup>bc</sup>	0.1113 <sup>d</sup>	9.3 <sup>c</sup>	83 <sup>c</sup>
	1200	1.872 <sup>de</sup>	0.437 <sup>de</sup>	0.0137 <sup>cd</sup>	0.0658 <sup>a</sup>	0.03843 <sup>c</sup>	0.0527 <sup>de</sup>	0.1232 <sup>cd</sup>	11.5 <sup>b</sup>	96 <sup>c</sup>
	1600	2.75 <sup>b</sup>	0.465 <sup>cd</sup>	0.0167 <sup>b</sup>	0.05253 <sup>b</sup>	0.0613 <sup>b</sup>	0.06633 <sup>b</sup>	0.1443 <sup>b</sup>	13.6 <sup>a</sup>	116 <sup>ab</sup>
	2000	2.32 <sup>bcd</sup>	0.446 <sup>de</sup>	0.0128 <sup>d</sup>	0.05433 <sup>b</sup>	0.0439 <sup>bc</sup>	0.0545 <sup>de</sup>	0.1259 <sup>bcd</sup>	15.3 <sup>a</sup>	127 <sup>a</sup>
	2400	4.35 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.0222 <sup>a</sup>	0.0413 <sup>d</sup>	0.0839 <sup>a</sup>	0.05853 <sup>cd</sup>	0.1796 <sup>a</sup>	14.8 <sup>a</sup>	123 <sup>a</sup>
	Control	2.08 <sup>cd</sup>	0.585 <sup>abc</sup>	0.0036 <sup>f</sup>	0.01233 <sup>f</sup>	0.006933 <sup>a</sup>	0.01483 <sup>f</sup>	0.0254 <sup>f</sup>	4.7 <sup>f</sup>	33 <sup>f</sup>
	400	1.665 <sup>a</sup>	0.51 <sup>bcd</sup>	0.0047 <sup>f</sup>	0.0139 <sup>f</sup>	0.0076 <sup>a</sup>	0.0118 <sup>f</sup>	0.0231 <sup>f</sup>	5.1 <sup>f</sup>	36 <sup>ef</sup>
	800	1.704 <sup>de</sup>	0.481 <sup>cd</sup>	0.003 <sup>f</sup>	0.01293 <sup>f</sup>	0.008433 <sup>a</sup>	0.0106 <sup>f</sup>	0.02203 <sup>f</sup>	5.8 <sup>f</sup>	42 <sup>a</sup>
1200	1.552 <sup>a</sup>	0.551 <sup>abcd</sup>	0.004733 <sup>f</sup>	0.01583 <sup>f</sup>	0.004933 <sup>a</sup>	0.0134 <sup>f</sup>	0.0246 <sup>f</sup>	9.6 <sup>c</sup>	59 <sup>cd</sup>	
1600	1.589 <sup>a</sup>	0.48 <sup>cd</sup>	0.004933 <sup>f</sup>	0.01673 <sup>f</sup>	0.001163 <sup>a</sup>	0.0127 <sup>f</sup>	0.0266 <sup>f</sup>	11.6 <sup>b</sup>	63 <sup>c</sup>	
2000	1.787 <sup>de</sup>	0.575 <sup>abcd</sup>	0.003633 <sup>f</sup>	0.0144 <sup>f</sup>	0.007233 <sup>a</sup>	0.01473 <sup>f</sup>	0.02563 <sup>f</sup>	13.2 <sup>bc</sup>	88 <sup>d</sup>	
2400	2.132 <sup>cd</sup>	0.473 <sup>cd</sup>	0.004233 <sup>f</sup>	0.01123 <sup>f</sup>	0.01523 <sup>a</sup>	0.0111 <sup>f</sup>	0.02383 <sup>f</sup>	11.3 <sup>b</sup>	81 <sup>d</sup>	

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 0.05 probability level, using Duncan's test.

میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری یا یکدیگر ندارند.

ادامه جدول ۳

همچنین این صفت شناسه مناسبی برای بررسی جذب آب و مواد غذایی توسط این اندام به شمار می‌آید (Shekari *et al.*, 2006). گزارش شده است کاربرد تنظیم کننده‌های رشد گیاهی، به طور عمده ضد جیبرلین‌ها در غلات باعث افزایش رشد ریشه (طول و وزن خشک ریشه) شد (Yang and Naylor, 1988). شکیراوا و همکاران (Shakirova *et al.*, 2003) نیز گزارش کردند که تیمار گیاهان با سالیسیلیک اسید تقسیم سلولی را در مریستم راس ریشه افزایش و رشد ریشه گیاهان را افزایش داد.

در هر دو تاریخ کاشت، بالاترین مقادیر وزن تر ریشه، طوقه و گیاه مربوط به غلظت ۲۴۰۰ میکرو مولار سالیسیلیک اسید بود. درصد محتوای کل آب گیاه در تاریخ کاشت اول در تیمار ۴۰۰ میکرو مولار سالیسیلیک اسید و در تاریخ کاشت دوم در تیمار ۲۴۰۰ میکرومولار بیشترین مقادیر را نشان دادند. در مقایسه با صفات دیگر دامنه نوسان در این صفت چندان بالا نبود. این احتمال وجود دارد که به دلیل خنک بودن هوا و مرطوب بودن نسبی خاک در زمان نمونه‌برداری، نوسان چندان در این صفت بین دو تاریخ کاشت و تیمارهای پرایمینگ مشاهده نشده باشد.

از نظر وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه، در وزن خشک بوته، طوقه و غلاف برگ‌های علفی در تاریخ کاشت اول بالاترین مقادیر مربوط به غلظت ۲۴۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بود. درحالی‌که در وزن خشک برگ در هر دو تاریخ کاشت مقادیر شاهد بالاترین بودند (جدول ۳). از نظر وزن خشک ریشه نیز سالیسیلیک اسید توانست مقدار وزن خشک ریشه را در تاریخ کاشت اول افزایش دهد. به طوری که غلظت ۱۲۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید در تاریخ کاشت اول دارای بالاترین مقدار وزن خشک ریشه بود. در تاریخ کاشت دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای پرایمینگ و شاهد دیده نشد. همچنین از نظر وزن خشک بوته، طوقه و ریشه در تاریخ کاشت دوم بالاترین مقادیر مربوط به غلظت ۱۶۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بود. افزایش در مقدار وزن خشک تولیدی می‌تواند مرتبط با مقدار فتوسنتز انجام شده باشد که در تیمارهای تحت پرایمینگ دیده شد (Abdolahi Fariduddin *et al.*, 2011). فریدالدین و همکاران (Fariduddin *et al.*, 2003) گزارش نمودند که کاربرد سالیسیلیک اسید

غلات و دیگر گرامینه‌ها توسعه برگ در دوره روزت توسط دمای لایه سطحی خاک کنترل می‌شود (Hay and Walker, 1989). تعداد برگ و سطح برگ از اجزای مهم تولید در گیاه هستند. همچنین، حفظ سطح برگ بزرگ‌تر در طول دوره‌های تنش بسیار مهم است. زیرا موجب افزایش جذب کربن بر اثر فتوسنتز می‌شود (Porwanto, 2003). نتایج مشاهده شده برای تاریخ کاشت اول این آزمایش با نتایج فاروق و همکاران (Farooq *et al.*, 2008c) که نشان دادند سالیسیلیک اسید موجب افزایش وزن تر و خشک شاخه‌ها و ریشه‌ها و افزایش سطح برگ در ذرت، تحت شرایط تنش سرما و بدون تنش شد، مطابقت دارد.

طول‌ترین ریشه گیاهچه مربوط به غلظت ۸۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید در تاریخ کاشت اول و ۱۲۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید در تاریخ کاشت دیر هنگام بود. اختلاف بسیار چشم‌گیری در تاریخ کاشت اول از نظر طول ریشه وجود نداشت؛ ولی تغییرات قابل توجهی در تاریخ کاشت دوم دیده شد. به نحوی که با وجود کاهش طول ریشه در تیمار شاهد کاشت دیر هنگام پرایمینگ توانست که طول ریشه را افزایش داده و در تیمارهای ۱۲۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید به میزان ۳۵٪ نسبت به تیمار شاهد کاشت دیر هنگام افزایش دهد. این احتمال وجود دارد که در تاریخ کاشت اول ریشه تا مقداری که برای تأمین زندگی گیاهچه و زمستان‌گذرانی نیاز باشد، توسعه پیدا کرده بودند و بیشتر کربن احیا شده از فتوسنتز در بخش هوایی سرمایه‌گذاری شد. در مقابل در تاریخ کاشت دوم چون گیاهچه‌ها با سرمای پاییزه برخورد کرده‌اند، ریشه نیز فرصت توسعه کمتری داشته و احتمالاً کاربرد سالیسیلیک اسید موجب شده تا مواد فتوسنتزی بیشتری به سمت ریشه هدایت شود و باعث اختلاف بزرگتری بین تیمارهای پرایمینگ با شاهد در این تاریخ کاشت شد. این مطلب در نسبت S/R نیز دیده می‌شود که در تاریخ کاشت دوم این نسبت در مقادیر پایین‌تری نسبت به تاریخ کاشت اول قرار گرفته‌اند (جدول ۳). به عبارت دیگر، در تاریخ کاشت دوم و به ویژه در تیمارهای تحت پرایمینگ توسعه ریشه بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته است. درازای ریشه یکی از پارامترهای ارزشمند و بسیار متداول جهت توصیف سیستم ریشه‌ای کارآمد و پیش‌بینی واکنش گیاه به تغییرات محیطی است.

هستند. همچنین، تعداد شاخه‌های اولیه در گیاه، وزن ریشه و بخش هوایی نیز از شاخص‌های پیشنهادی آن‌ها برای گزینش تحمل به سرما در شرایط مزرعه‌ای بود. اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول در ناحیه طوقه و برگ نشان داد مقادیر قابل توجهی از قندهای محلول در زمان نمونه‌برداری در گیاهچه وجود داشت. با این حال، کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد در هر دو تاریخ کاشت شد (جدول ۳). پایین‌ترین میزان قندهای محلول در تیمار شاهد تاریخ کاشت دوم و بالاترین مقدار در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار تاریخ کاشت اول مشاهده شد. در هر دو تاریخ کاشت نیز بیشترین مقدار قند محلول در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار بدست آمد. همبستگی بالایی بین میزان کربوهیدرات‌های محلول طوقه و برگ با میزان پرولین و درصد گیاهچه‌های زنده مانده وجود داشت (به ترتیب، ۰/۶۷ و ۰/۸۱). به نظر می‌رسد در این آزمایش افزایش و تجمع قندهای محلول در گیاهچه‌ها با میزان مقاومت به یخ‌زدگی و میزان بقاء زمستانه ارتباط بالایی را داشت. تجمع ساکاروز و دیگر قندهای ساده که معمولاً همراه با فرایند خو گرفتنی با سرما مشاهده می‌شود، با پایداری غشاء در برابر تنش سرما و یخ‌بندان ارتباط دارد. در غلات پاییزه فروکتان‌ها مهم‌ترین کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای ناحیه طوقه هستند که در زمان تنش سرما و یخ‌زدگی هیدرولیز شده به صورت قندهای محلول در می‌آیند و موجب محافظت گیاه می‌شوند (Livingston *et al.*, 2009). در گندم اختلاف در تجمع کربوهیدرات‌ها با تحمل به سرما در اوایل دوره رشد ارتباط داشت. همچنین، کربوهیدرات‌های محلول و فروکتان‌ها به صورت پیوسته‌ای طی تیمار سرمایی در تمام ژنوتیپ‌های تحت آزمایش افزایش یافت، ولی مقدار آن در ژنوتیپ‌های متحمل بالاتر از حساس بود (Vagujfalvi *et al.*, 1999). نتیجه مشابهی توسط شاهبا و همکاران (Shahba *et al.*, 2003) در مورد تحمل به یخ‌زدگی ژنوتیپ‌های علف شور (*Distichlis spicata*) و میزان تجمع گلوکز، رافینوز و استاکیوز گزارش شد. در مقابل، دیون و همکاران (Dionne *et al.*, 2001) گزارش کردند با کاهش دما تا زیر نقطه انجماد میزان کربوهیدرات‌های محلول در طوقه چمن یک ساله (*Poa annua*) افزایش یافت ولی این افزایش ارتباط قوی با تحمل به سرما در این گیاه نداشت.

موجب افزایش ماده خشک در کلزا شد. کایدان و همکاران (Kaydan *et al.*, 2007) نیز گزارش کردند که سالیسیلیک اسید موجب افزایش در وزن خشک ریشه و ساقه گیاهچه‌های گندم تحت شرایط تنش شوری شد. اثر سالیسیلیک اسید در افزایش طول و وزن گیاهچه در گندم (Basra) (Hanan, 2007; Arfan *et al.*, 2007)، برنج (Farooq *et al.*, 2006) و ذرت تحت تنش سرما (Farooq *et al.*, 2008c) گزارش شده است.

بالاترین میزان LWR در هر دو تاریخ کاشت از تیمارهای شاهد به دست آمد. به طور کلی، یک روند کاهش در LWR در هر دو تاریخ کاشت از تیمار شاهد تا بالاترین مقدار تیمار سالیسیلیک اسید استفاده شده دیده شد. به نظر می‌رسد کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش بیشتری را در وزن خشک اندام‌های گیاه نظیر طوقه و ریشه در مقایسه با پهنک برگ باعث شده است. همچنین در هر دو تاریخ کاشت نسبت S/R از تیمار شاهد تا تیمار ۲۰۰۰ میکرو مولار یک روند تقریباً نزولی را نشان داد. ولی در تیمار ۲۴۰۰ میکرو مولار این روند معکوس شد و مقدار این نسبت افزایش یافت. این احتمال وجود دارد کاربرد سالیسیلیک اسید در دامنه ۴۰۰ تا ۲۰۰۰ رشد یا تجمع ماده خشک در ریشه را در مقایسه با شاهد افزایش داده ولی در مقدار بالاتر یک اثر ممانعت‌کنندگی روی رشد ریشه یا تجمع ماده خشک در آن را باعث شده است (جدول ۳). احتمالاً این تغییر می‌تواند به دلیل اثر ممانعت‌کنندگی در غلظت بالا (overdose) روی رشد ریشه باشد. این احتمال زمانی قوت پیدا می‌کند که در تیمار ۲۴۰۰ میکرو مولار در ریشه میزان وزن خشک در مقایسه با تیمار ۲۰۰۰ میکرو مولار کاهش یافته ولی در وزن خشک طوقه و برگ این مقدار همچنان افزایش یافته است. به نظر می‌رسد بخش هوایی و ریشه واکنش متفاوتی به غلظت‌های این هورمون نشان داده‌اند. به هر حال، مطالعه بیشتر در این زمینه ضروری می‌باشد. راتینام و همکاران (Ratnam *et al.*, 1994) در بررسی اثرات محتوای قند ریشه و توزیع ماده خشک در قسمت‌های مختلف گیاه و اثر آن‌ها روی تحمل به یخ‌زدگی لگوم‌های علوفه‌ای اعلام کردند نسبت ریشه به بخش هوایی رابطه ثابتی با تحمل به سرما بدون توجه به شرایط رشد و فصل داشت. به نظر آن‌ها محتوای قند و نسبت R/S صفات‌های مناسبی در گزینش و آزمون تحمل گونه‌ها در مقایسه با دیگر روش‌ها

مقاوم شدن و افزایش مقاومت به سرما با کاهش محتوای آب و افزایش محتوای پرولین در ژنوتیپ‌های سیب زمینی همراه بود. همچنین، تحمل یخ‌زدگی با محتوای پرولین برگ ارتباط مثبتی داشت ولی با محتوای آب برگ همبستگی نشان نداد. به نظر آن‌ها احتمال دارد پرولین به عنوان وسیله‌ای برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به سرما در سیب زمینی به کار رود. همان طور که در بالا نیز ذکر شد، داده‌های این آزمایش نشان داد در تیمارهایی که مقدار پرولین و کربوهیدرات محلول بالایی داشتند درصد بقاء بالاتر و زمستان‌گذرانی بهتری نیز داشتند.

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که پرایمینگ بذر گندم با سالیسیلیک اسید باعث بهبود و افزایش رشد گیاهچه به ویژه در تاریخ کاشت معمول شد، ولی در تاریخ کاشت دوم روی صفات مطالعه شده یا اثر کمی داشت و یا اثری نشان نداد. به نظر می‌رسد مهم‌ترین اثر سالیسیلیک اسید در تاریخ کاشت دوم در افزایش میزان درصد سبز، کاهش نسبت بخش هوایی به ریشه و درصد بقای گیاهچه‌ها بعد از سرما و یخبندان زمستان بود. همچنین، به نظر می‌رسد اثر هورمون روی افزایش مقدار قندهای محلول و پرولین در ناحیه طوقه و برگ از دلایل بهبود زمستان‌گذرانی گیاهچه‌ها باشد.

روند مشابه با مقدار کربوهیدرات‌های محلول در مورد محتوای پرولین طوقه و برگ نیز مشاهده شد. پایین‌ترین میزان پرولین در تیمار شاهد تاریخ کاشت دوم و بالاترین مقدار در تیمار ۲۰۰۰ میکرو مولار تاریخ کاشت اول مشاهده شد. نظیر آنچه که در میزان کربوهیدرات‌های محلول دیده شد، در هر دو تاریخ کاشت نیز بیشترین مقدار در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار بدست آمد (جدول ۳). به طور کلی میزان تجمع پرولین در تاریخ کاشت اول بیشتر از تاریخ کاشت دوم بود که می‌تواند به دلیل دوره رشد بیشتر گیاهچه در تاریخ کاشت اول و همچنین، استفاده و تجمع بیشتر نیتروژن جذب شده از خاک و کربن احیاء شده از فتوسنتز در مقایسه با تاریخ کاشت دوم باشد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان پرولین و درصد بقاء گیاهچه‌ها پس از زمستان وجود داشت (۰/۶۳). به نظر می‌رسد در این آزمایش، افزایش و تجمع پرولین و قندهای محلول در گیاهچه‌ها با میزان مقاومت به یخ‌زدگی و میزان بقاء زمستانه ارتباط داشته باشد. تجمع پرولین در بسیاری از گونه‌های گیاهی در واکنش به تنش‌های محیطی انجام می‌شود. اگرچه اطلاعات زیادی در مورد متابولیسم پرولین وجود دارد ولی برخی جنبه‌های اعمال زیستی آن هنوز ناشناخته باقی مانده است. همچنین، مهندسی متابولیسم پرولین می‌تواند منجر به فرصت‌های جدید برای بهبود تحمل گیاه به تنش‌های محیطی شود (Szabados and Savoure 2010). وان سواچ و همکاران (Van Swaaij *et al.*, 1985) گزارش کردند

### References

- Abdollahi, M. 2011.** The effect of priming by salicylic acid on cold tolerance in winter wheat, cv. Alvand, at two different sowing dates. MSc. Dissertation, Unuversity of Zanjan, Iran. (In Persian).
- Acharya, S. N., Duck, J. and Downey, R. K. 1983.** Selection and heritability studies on canola/rapeseed for low temperature germination. **Canadian Journal of Plant Science** 63: 377-384.
- Amin, A. A., Rashed, El-Sh. M. and Gharib, F. A. E. 2008.** Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences** 2: 252-261.
- Arfan, M., Habib, R. A. and Ashraf, M. 2007.** Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthesis capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? **Journal of Plant Physiology** 164: 685-694.
- Arif, M. 2005.** Effect of seed priming on emergence, yield and storability of soybean. Ph.D. Dissertation, NWFP Agricultural University of Peshawar, Pakistan.
- Azizi, H. Nezami, A. Khazae, H. R. and Nassiri, M. 2008.** Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L) cultivars under field conditions. **Iranian Journal of Crop Research** 2: 252-343. (In Persian).

- Basra, S. M. A., Ashraf, M., Iqbal, N., Khaliq, A. and Ahmad, R. 2004.** Physiological and biochemical aspects of pre- sowing heat stress on cottonseed. **Seed Science and Technology** 32: 765-774.
- Basra, S. M. A., Farooq, M., Wahid, A. and Khan, M. B. 2006.** Rice seed invigoration by hormonal and vitamin priming. **Seed Science and Technology** 34: 775-780.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973.** Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil** 39: 205-207.
- Castonguay, Y., Laberge, S., Brummer, E. C. and Volenec, J. J. 2006.** Alfalfa winter hardiness: A research retrospective and integrated perspective. **Advances in Agronomy** 90: 203-256.
- Dionne, J., Castonguay, Y., Nadeau, P. and Desjardins, Y. 2001.** Freezing tolerance and carbohydrate changes during cold acclimation of green type annual bluegrass (*Poa annua*) ecotypes. **Crop Science** 41: 443-451.
- Equiza, M. A., Mirave, J. P. and Toynetti, J. A. 2001.** Morphological, Anatomical and Physiological Responses related to differential shoot vs. root growth inhibition at low temperature in spring and winter wheat. **Annals of Botany** 87: 67-76.
- Farahbakhsha, H. and Shamsaddin Saïid, M. 2010.** Effects of foliar application of salicylic acid on vegetative growth of maize under saline conditions. **Plant Ecophysiology** 2: 27-30. (In Persian).
- Fariduddin, Q., Hayat, S. and Ahmad, A. 2003.** Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. **Photosynthetica** 41:281-284.
- Farooq, M., Aziz, T., Hussain M., Rehman H., Jabran, K. and Khan, M. B. 2008a:** Glycinebetaine improves chilling tolerance in hybrid maize. **Journal of Agronomy and Crop Science** 194: 152–160.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Rehman, H. and Saleem, B. A. 2008b.** Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving the chilling tolerance. **Journal of Agronomy and Crop Science** 194: 55–60
- Farooq, M., Aziz, T., Basra, S. M. A., Cheema, M. A. and Rehman, H. 2008c.** Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. **Journal of Agronomy and Crop Science** 194: 161–168.
- Foti, S., Cosentino, S. L., Patane, C. and D'Agosta, G. M. 2002.** Effect of osmoconditioning upon seed germination of Sorghom (*Sorghom bicolor* L. Moench) under low temperatures. **Seed Science and Technology** 30: 521-533.
- Fowler, D. B., Chauvin, L. P., Limin, A. E. and Sarhan, F. 1996.** The regulatory role of vernalization in the expression of low-temperature induced genes in wheat and rye. **Theoretical and Applied Genetics** 93: 554-559.
- Haigh, A. H. 1988.** Why do tomato seeds prime? Physiological investigation into the control of tomato seed germination and priming. Ph. D. Dissertation, MacQuarie University, Sydney, Australia.
- Hanan E. D. 2007.** Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. **Advances in Biological Research** 1: 40-48.
- Hay, R. K. M. and Walker, A. J. 1989.** An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific and Technical Group. Essex. UK.
- Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B. and Ahmad, A. 2005.** Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedling. **Acta Agronomica Hungaricae** 53: 433-437.
- He, Y. L., Liu, Y. L., Cao, W. X., Huai, M. F., Xu, B. G. and Huang, B. 2005.** Effects of salicylic acid on heat tolerance associated with antioxidant metabolism in Kentucky bluegrass. **Crop Science** 45: 988–995.
- Heuer, B. 1999.** Osmoregulatory role of proline in plants exposed to environmental stresses. In: Pessaraky, M. (ed.) Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc., New York, USA. pp: 675- 695.
- Horváth, E., Janda, T., Szalai, G. and Páldi, E. 2002.** In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isozymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. **Plant Science** 163: 1129-1135.
- Hunt, R. 1982.** Plant growth analysis. Edward Arnold, London.

- Janda T., Szalai G., Tari I. and Pa' ldi, E. 1999.** Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling in maize (*Zea mays* L.) plants. **Planta** 208: 175–180.
- Janda, T., Szalai, G., Rios-Gonzalez, K., Veisz, O. and Pa' ldi, E. 2003.** Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. **Plant Science** 164: 301–306.
- Jose, F. C., Barros, D., Mario, C. and Gottlieb, B. 2004.** Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions. **Agronomy Journal** 21: 347-356.
- Kang, H. M. and Saltveit, M. E. 2002.** Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling leaves and roots are differentially affected by salicylic acid. **Physiologia Plantarum** 115: 571-576.
- Kang, G. Z., Wang, Z. X., Xia, K. F. and Sun, G. C. 2007.** Protection of ultrastructure in chilling-stressed banana leaves by salicylic acid. **Journal of Zhejiang University-Science** 8: 277–282.
- Kaydan, D., Yagmur, M. and Okut, N. 2007.** Effect of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). **Tarim Bilimleri Dergisi Journal of Agricultural Sciences** 13: 114-19.
- Khochert, G. 1978.** Carbohydrate determination by phenol- sulfuric acid method. In: Hellebust, J. A. and Garige J. S. (Eds.) The handbook of physiological methods. Cambridge University Press. pp. 96-97.
- Klessig, D. F., Durner, J., Noad, R., Navarre, D. A., Wendeh-enne, D., Kumar, D., Zhou, J. M., Shah, J., Zhang, S., Kachroo, P., Trifa, Y., Pontier, D., Lam, E. and Silva, H. 2000.** Nitric oxide and salicylic acid signaling in plant defense. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA. 97: 8849–8855.
- Lee, H., León, J. and Raskin, I. 1995.** Biosynthesis and metabolism of salicylic acid. **Proceedings of the National Academy of Sciences. USA** 92: 4076-4079.
- Livingston III, D. P., Hinch, D. K. and Heyer, A. G. 2009.** Fructan and its relationship to abiotic stress tolerance in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences** 66: 2007-2023.
- Miar Sadagi, S., Shekari, F., Fotovat, R. and Zangani, E. 2010.** Effects of seed priming with salicylic acid on seedling growth and vigor of rape seed under water deficit condition. **Journal of Plant Biology** 6: 55-70. (In Persian).
- Matysik, J., Bhalu, A. B., and Mohnty, P. 2002.** Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. **Current Science** 82: 525-532.
- Mir Mohamadi Maibodi, S. E. M. 2004.** Cold and frizzing stress management field and horticulture crops. Isfahan Industrial University Press. (In Persian).
- Porwanto, E. 2003.** Photosynthesis activity of soybean (*Glycin max* L.) under drought stress. **Journal of Agronomy and Crop Science** 5: 1-18.
- Rajaskaran, L. R., Stiles, A. and Caldwell, C. D. 2002.** Stand establishment in processing carrots: Effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylic acid in promoting germination at low temperatures. **Canadian Journal of Plant Science** 82: 443-450.
- Raskin I. 1992.** Role of salicylic acid in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 43: 439–463.
- Ratinam, M., Abd El Moneim, A. M. and Saxena, M. C. 1994.** Variations in sugar content and dry matter distribution in roots and their associations with frost tolerance in certain forage legume species. **Journal of Agronomy and Crop Science** 73: 345–353
- Szabados, L. and Savoure, A. 2010.** Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science** 15:89-97.
- Shahba, M. A., Qian, Y. L., Hughes, H. G., Koski, A. J. and Christensen, D. 2003.** Relationship of soluble carbohydrates and freezing tolerance in salt grass. **Crop Science** 43: 2148-2153.
- Shakirova F. M., Sakhabutdinova A. R., Bezrukova M. V., Fatkhutdinova R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2003.** Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. **Plant Science** 164: 317–322.
- Shekari, F., Shekari, F. and Esfandiari, E. 2006.** Physiology of crop production. University of Maragheh Press. pp. 412.
- Shekari, F., Baljani, R., Saba, J., Afsahi, K. and Shekari, F. 2010.** Effects of priming by salicylic acid on growth traits of borago (*Borago officinalis*). **Modern Agriculture Science** 18: 47-53. (In Persian).

- Szabados, L. and Savoure, A. 2010.** Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science** 15: 89-97.
- Tasgin E., Atici O. and Nalbantoglu, B. 2003.** Effect of salicylic acid on freezing tolerance in winter wheat leaves. **Plant Growth Regulation** 41: 231–236.
- Vagujfalvi, A., Kerepesi, I., Galiba, G., Tischner, T. and Sutka, J. 1999.** Frost hardiness depending on carbohydrate changes during cold acclimation in wheat. **Plant Science** 144: 85-92.
- Van Swaaij, A. C., Jacobsen, E. and Feenstra, W. J. 1985.** Effect of cold hardening, wilting and exogenously applied proline on leaf proline content and frost tolerance of several genotypes of *Solanum*. **Physiologia Plantarum** 64: 230-236.
- Yang, W. and Naylor, R. E. L. 1988.** Effect of tetcyclacis and chlormequat applied to seed on seedling growth of triticale cv. Lasko. **Plant Growth Regulation** 7: 289-301.
- Yu, X. M., Griffith, M. and Wiseman, S. B. 2001.** Ethylene induces antifreeze activity in winter rye leaves. **Plant Physiology** 126: 1232–1240.

## Effect of priming by salicylic acid on vigor and performance of wheat seedlings at different planting dates

Mehdi Abdolahi<sup>1</sup> and Farid Shekari<sup>2\*</sup>

1 and 2. Former Graduate Student and Assoc. Prof., respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Zanjan University

(Received: December 2, 2012- Accepted: May 13, 2013)

### Abstract

Effects of priming by different levels of salicylic acid (SA) on some characteristics of wheat, cv. Alvand, seedlings at two different sowing dates, conventional and late sowing dates, was investigated under field conditions in 2009-2010. The factors were seven levels of priming by SA, including control or untreated seeds, 400, 800, 1200, 1600, 2000 and 2400  $\mu\text{M}$  SA and two sowing dates including conventional sowing date (23 October) and late sowing (22 November). Results showed that delay in sowing date leads to reduce emergence percent, seedling winter survival, leaf and tiller number, leaf area index, plant dry weight and leaf area ratio. Seed priming by SA improved traits such as leaf and tiller number, first leaf length, root length, fresh and dry weight of different parts of plant, soluble sugar and proline content and growth indexes Especially in conventional planting date. However, In late sowing priming only affected emergence percent, seedling survival percent, root length and proline and soluble carbohydrate content. In both planting dates, seed priming induced a reduction in S/R ratio. It seems that SA enhanced dry matter accumulation and distribution in roots than shoot. The highest number of leaf and tiller, fresh weight (total, root and crown) dry weight (total, foliage leaf sheath and crown) and S/R ratio were found in 2400  $\mu\text{M}$  treatment. It seems that SA application by increment in germination rate and emergence percent and proline and soluble carbohydrate content in crown and leaf produced vigorous seedlings that had more potential to protect themselves from winter freezing compared to untreated seeds. Therefore, survived seedlings increased significantly.

**Keywords:** Cold damage, Late planting, Priming, Proline, Salicylic acid, Soluble carbohydrates

\*Corresponding author: faridshekari@yahoo.com; shekari@znu.ac.ir