نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۱ ، بهار ۱۳۹۴، ص. ۱۰۸-۱۰۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 1, Spring. 2015, p. 101-108

ارزیابی اثر پرایمینگ بذر بر ویژگی‌های ریشه دو رقم جو (*Hordeum vulgare* L.) در سطوح مختلف تنش شوری، با استفاده از تکنیک اتاقک ژل

حمیدرضا خزاعی[۱]- احمد نظامی[۲]- بیژن سعادتیان[۳*]- امید آرمندپیشه[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۱۵

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تاثیر پرایمینگ بذر بر رشد ریشه دو رقم جو در شرایط تنش شوری در محیط فیتوژل انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو رقم جو (یوسف و ماکویی)، سطوح پرایمینگ بذر (شاهد، هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با ۴/۳۵ گرم بر لیتر اوره) و تنش شوری حاصل از نمک کلرید سدیم در چهار سطح (صفر، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ مولار) بود. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد که شوری و پرایمینگ بذر بر صفات طول، حجم، وزن تر، وزن خشک، چگالی و سرعت توسعه ریشه جو اثر معنی‌داری داشت. اثر رقم نیز بر صفات حجم، وزن تر و چگالی ریشه معنی‌دار شد. شوری باعث کاهش صفات طول، حجم، چگالی، وزن تر و خشک و سرعت توسعه ریشه شد، اما اکثر صفات جو تحت تاثیر پرایمینگ بذر در سطوح صفر، ۰/۱ و ۰/۲ مولار نمک بهبود یافت و پرایمینگ با اوره بیشترین اثر مثبت را بر صفات ریشه به همراه داشت. در بالاترین سطح شوری، هیچ یک از تیمارهای پرایمینگ بذر اثر معنی‌داری بر صفات ریشه نداشتند. بیشترین تاثیر هیدروپرایمینگ در شرایط عدم تنش به‌دست آمد. رقم یوسف در مقایسه با رقم ماکوئی وزن تر و حجم ریشه بیشتری در اکثر تیمارهای شوری داشت. به طور کلی پرایمینگ بذر با اوره راهکاری مناسب برای بهبود توسعه ریشه گیاهچه‌های جو در مواجه با تنش شوری تا سطح ۰/۲ مولار بود.

واژه‌های کلیدی: اسموپرایمینگ، اوره، فیتوژل، هیدروپرایمینگ، کلرید سدیم

مقدمه

شوری یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که جوانه‌زنی و رشد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲). خشکی فیزیولوژیک ناشی از تنش شوری ممکن است موجب محدودیت در جذب آب شود. از سویی دیگر، افزایش جذب نمک و سمیت یونی، سبب اختلال در کارکرد سلولی و آسیب رساندن به فرآیندهای فیزیولوژیک می‌شود (۴). شوری با ایجاد تغییرات مضر در تعادل یون‌ها، وضعیت آب و عناصر غذایی موجب کاهش فرایندهای رشد و نموی گیاه نظیر جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و در نهایت کاهش میزان تولید محصول می‌گردد (۴، ۲۲ و ۲۴). جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه دو مرحله بحرانی و مهم در دوره زندگی گیاهان، خصوصاً در شرایط تنش به شمار می‌روند (۱، ۱۲، ۱۹، ۲۳ و ۲۴). در این بین، تنش شوری به عنوان یکی از تنش‌های محیطی مهم، نقش بسزایی در کاهش جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهان زراعی مختلف ایفا می‌کند (۶، ۷، ۱۲ و ۱۳).

جو یکی از مهمترین غلات ایران به شمار می‌رود و سطح زیر کشت آن معادل ۱/۵ میلون هکتار است و از نظر مساحت کشت پس از گندم در رتبه دوم قرار دارد (۲). اگرچه این گیاه نسبت به شوری متحمل است و حد آستانه تحمل به شوری آن ۸ دسی زیمنس بر متر برآورد شده است. اما علیرغم مقاومت به شوری جو، این گیاه در مراحل جوانه‌زنی و رشد اولیه حساسیت بیشتری به تنش شوری دارد (۴ و ۸). از طرفی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه جو در نهایت درصد سبز و عملکرد در واحد سطح را نیز تحت تاثیر خود قرار می‌دهد (۲، ۳ و ۸). از این رو با توجه به کشت آن در مناطق خشک و نیمه خشک و وجود خاک و منابع آب شور در این مناطق، احتمالا استفاده از تکنیک پرایمینگ بذر می‌تواند در بهبود درصد سبزشدن، استقرار گیاهچه و عملکرد نهایی مطلوب گیاه جو نقش بسزایی داشته باشد (۲). پرایمینگ به مقاوم سازی بذر در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه توجه دارد (۱، ۷، ۸، ۱۴، ۱۵، ۲۰، ۲۳ و ۲۶). در طی پرایمینگ بذر، مراحل جذب فیزیکی آب و تکثیر DNA و RNA جهت ساخت پروتئین‌ها و

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب استادان و دانشجویان دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول:Email: bijan.saadatian@stu-mail.um.ac.ir)

هیدرولیز قندها انجام گیرد، اما بذر وارد فاز سوم و خروج ریشه‌چه نمی‌گردد (۱۱). سپس بذر پس از خشک شدن، جهت کاشت مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳). ترکیبات مختلفی جهت پرایمینگ بذر استفاده می‌شود. رایج ترین آنها استفاده از آب خالص است که تحت عنوان هیدروپرایمینگ نامیده می‌شود (۱۶ و ۲۰). همچنین در بسیاری از پژوهش‌ها، استفاده از نمک‌های معدنی، آلی و پلی اتیلن گلایکول تحت عنوان تیمار اسموپرایمینگ معمول است (۱، ۲، ۵، ۶، ۷ و ۲۰).

در اکثر پژوهش‌های انجام شده، پرایمینگ بذر سبب بهبود شاخص‌هایی همچون درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد اولیه ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط تنش در گیاهان مختلف شده است. به عنوان نمونه، در شرایط تنش‌های اسمزی و دمایی، تیمارهای هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با نمک نیترات پتاسیم میانگین زمان جوانه‌زنی بذرهای هندوانه را کاهش داده و افزایش جوانه‌زنی نهایی نسبت به شاهد را در پی داشته است (۱۶). در آزمایشی دیگر، پرایمینگ با نیترات پتاسیم باعث افزایش جوانه‌زنی بذور آفتابگردان در تنش شوری شده و تیمار هیدروپرایمینگ بیشترین اثر مثبت را بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه آفتابگردان داشته است (۲۰). همچنین در بررسی‌های صورت گرفته، با افزایش تنش شوری ظهور نهایی بذور آفتابگردان پرایم شده با نمک‌های نیترات پتاسیم و کلرید سدیم، بیشتر از بذور پرایم نشده بود (۶). یافته‌ها همچنین حاکی از تاثیر مثبت هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با کلرید سدیم بر درصد و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی گونه مرتعی فستوکا (*Festuca ovina* L.) در شرایط تنش‌های شدید تا سطح ۲۰ دسی زیمنس بر متر بود (۱). اما در بررسی پرایمینگ بذر جو رقم آبیدر با غلظت‌های مختلف عناصر روی و فسفر، نتایج نشان داد که درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه‌های عادی و وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه به طور معنی‌داری کاهش نشان داد و تاثیر پرایمینگ بر خصوصیات ذکر شده بذر، منفی بود (۳). در مقابل بررسی ژنوتیپ‌های مختلف جو در شرایط تنش شوری، حاکی از تاثیر مثبت پرایمینگ بذر با کلرید سدیم بر صفات وزن خشک ساقه‌چه، ریشه‌چه و محتوای پتاسیم اندام هوایی جو بود و همچنین بین ژنوتیپ‌ها از نظر واکنش به شوری در هر دو تیمار عدم پرایم و پرایم تفاوت وجود داشت (۸). برخی محققان تاثیر پرایمینگ بذر را به افزایش فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و سنتز ترکیبات محافظت کننده سلولی مرتبط می‌دانند (۱۴، ۱۵ و ۲۵). از این رو به نظر می‌رسد که استفاده از روش صحیح پرایمینگ بذر، امکان افزایش توانایی گیاهچه جو جهت رشد و توسعه در شرایط شور را فراهم خواهد ساخت.

در بسیاری از آزمایش‌های انجام شده پیرامون روش‌های پرایمینگ بذر، بر جوانه‌زنی و مولفه‌های مربوط به آن توجه شده و رشد ریشه‌چه نیز تنها در بازه کوتاه آزمایش و در داخل ظروف پتری بررسی گردیده است. از این رو واکنش ریشه گیاه پس از تکمیل جوانه‌زنی و آغاز رشد اتوتروفی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از دلایل مهم آن عدم امکان بررسی مستقیم ریشه پس از جوانه‌زنی در شرایط کشت در پتری دیش به دلیل محدودیت فضا و تاثیر استفاده از نور بر ریشه‌چه گیاه است. از سویی دیگر در شرایط گلدانی نیز مشاهده مستقیم ریشه و بررسی روند تغییرات آن وجود ندارد و حتی در موارد استفاده از بسترهای شنی نیز در انتهای آزمایش ریشه به طور کامل قابل بازیافت به شکل اولیه نخواهد بود. از این رو لزوم استفاده از تکنیک‌های جدید در بررسی ریشه در مطالعات مرتبط با بذر گیاهان، امری ضروری است. یکی از روش‌های جدید در بررسی ریشه گیاهان استفاده از اتاقک ژل است (۹). در این روش استفاده از محیط‌های کشت مانند آگار و فیتوژل، امکان بررسی مستقیم ریشه و تغییرات آن را در طی زمان مقدور می‌سازد (۹). محیط دو بعدی دارای قدرت تفکیک بالا به دلیل وجود سطح سیاه رنگ و قابلیت جابجایی و تصویر برداری آسان اتاقک‌ها امکان بررسی دقیق روند تغییرات و توسعه ریشه گیاهان در مراحل اولیه رشد را می‌دهد. همچنین به دلیل نمایش طبیعی ریشه از نظر رشد افقی و عمودی بر روی ژل مورد استفاده، می‌توان تصویر واقعی‌تری از رویدادهای اولیه مرتبط با گسترش ریشه بدست آورد. از این رو برای اولین بار، در این تحقیق نقش تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر بر دو رقم جو با تاکید بر خصوصیات ریشه و روند تغییرات آن در طی زمان مورد ارزیابی قرار گرفت تا علاوه بر توسعه کاربرد تکنیک اتاقک ژل در تحقیقات مرتبط، اثرات پرایمینگ از دیدگاه تغییرات ریشه در طی زمان در تنش شوری بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۰ در آزمایشگاه تحقیقات فیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ارقام جو (یوسف و ماکویی)، پرایمینگ بذر در سه سطح صفر (شاهد)، هیدروپرایمینگ و اسمو پرایمینگ با ۴/۳۵ گرم بر لیتر اوره (۴۶ درصد نیتروژن) و تنش شوری حاصل از نمک کلرید سدیم در چهار سطح صفر، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ مولار بود. تیمار غلظت اوره بر اساس نتایج بررسی سطوح مختلف غلظت اوره در آزمایش مقدماتی حاصل شد. تیمار هیدروپرایمینگ در آزمایش برای جدا کردن اثر آب در محلول نمک مورد استفاده قرار گرفت. برای تیمار شاهد (صفر) تنها از بذور ضد عفونی شده استفاده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی و در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام گرفت.

ابتدا بذر دو رقم جو به مدت پنج دقیقه در محلول هیپوکلرید سدیم ۲/۵ درصد ضد عفونی شد، سپس با آب مقطر سه مرتبه شستشو گردید. در مرحله بعد، بذور به منظور انجام عمل پرایمینگ به

مدت ۶ ساعت در محلول‌های تهیه شده قرار داده شدند. در پایان بذرها سه مرتبه با آب مقطر شسته شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه (۲۰ درجه سانتی‌گراد) پهن گردیدند تا رطوبت آن‌ها تا ۱۴ الی ۱۶ درصد کاهش یابد. سپس به منظور جوانه‌زنی اولیه، بذور مربوط به هر تیمار در ظرف‌های پتری استریل روی کاغذ صافی واتمن شماره یک قرار داده شده و مقداری آب مقطر به ظروف پتری اضافه گردید. پس از جوانه‌زنی بذر، گیاهچه‌های عادی و نماینده جمعیت تیمار مورد نظر به اتاقک‌های حاوی فیتوژل (Sigma) منتقل گردید (۹). دلیل استفاده از فیتوژل، شفافیت و گران روی بالای آن بود که امکان تثبیت بذر و تهیه تصاویر با کیفیت مناسب را فراهم می‌نمود.

شکل۱- اتاقک ژل حاوی جوانه‌های جو (نمونه حاضر تیمار شوری ۰/۲ مولار نمک است و از چپ به راست تیمارهای شاهد، هیدروپرایم و پرایمینگ با اوره قرار دارند.)

هر اتاقک ژل دارای سه منفذ برای رشد گیاهچه بود که هر یک به عنوان یک تکرار برای تیمارهای مورد نظر منظور شد. هر اتاقک ژل از دو صفحه یکی سیاه و دیگری بی رنگ تشکیل شده است. هر یک از این واحدها دارای طول، عرض و ضخامت ۳×۲۱۵×۳۰۰ میلی‌متر بود. در بالای هر یک از اتاقک‌های ژل سه منفذ به طول ۶ میلی‌متر برای خروج گیاهچه و نفوذ هوا تعبیه شده بود (شکل۱). روی هر صفحه اتاقک ژل ۵۰ میلی‌لیتر از فیتوژل تهیه شده با غلظت ۱/۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب اضافه و در سطح صفحه با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر پخش شد. سپس دو صفحه پس از بذر گذاری در فاصله ۸ سانتی‌متری از دهانه هر یک از منفذها، روی یکدیگر قرار گرفته و به وسیله گیره به یکدیگر متصل شدند. سطوح شوری در مرحل تهیه ژل اعمال گردید. اتاقک‌های ژل در دمای ۱± ۱۲ درجه سانتی‌گراد در تناوب ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی در ژرمیناتور قرار گرفتند (۹).

در طی بازه ۲۲ روزه آزمایش، ۵ بار ریشه گیاهان داخل اتاقک ژل توسط دستگاه اسکنر، تصویربرداری شد و توسط نرم افزار JMicroVision روند تغییرات طول و قطر ریشه بدست آمد و حجم ریشه بر اساس معادله تعیین حجم استوانه (معادله ۱) محاسبه شد. در این معادله V: حجم ریشه (میلی‌مترمکب)، π: عدد پی (۳/۱۴)، r: متوسط شعاع ریشه‌چه و L: طول ریشه است.

$$V = \pi r^2 . L \qquad (۱)$$

در پایان وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شد. توزین نمونه‌ها با ترازوی یک هزارم گرم انجام شد. از طریق تقسیم وزن خشک ریشه به حجم آن چگالی ریشه محاسبه گردید. سرعت رشد ریشه جو با استفاده از معادله تغییر شکل یافته سرعت جوانه‌زنی ارائه شده توسط ماگوئر (۲۱) بدست آمد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Li}{Ni}}{N} \qquad (۲)$$

در این معادله R: سرعت توسعه ریشه (سانتی‌متر در روز)، Li افزایش طول تمامی انشعابات ریشه بین دو تصویربرداری Ni تعداد روز بین دو مرحله تصویربرداری و N تعداد کل تصویربرداری‌هاست. آنالیز داده‌ها توسط نرم افزار MSTAT-C انجام شد. رسم نمودار با نرم افزار Excel انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD محافظت شده در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

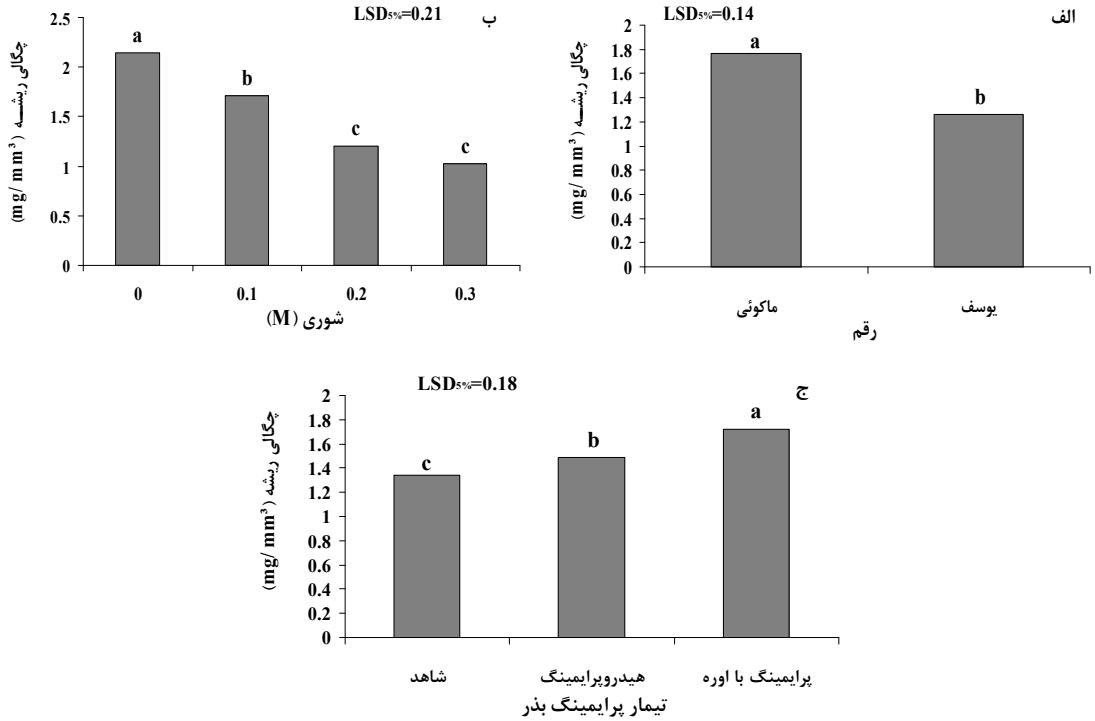
نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده معنی‌داری اثرات اصلی شوری و پرایمینگ بذر در سطح احتمال ۱ درصد در تمامی صفات مرتبط به ریشه جو بود. همچنین یافته‌ها حاکی از معنی‌داری اثر اصلی رقم در صفات حجم ریشه، وزن تر و چگالی ریشه بود (جدول۱). اثرات برهمکنش شوری و رقم در صفات طول ریشه، چگالی و سرعت توسعه ریشه اختلاف معنی‌داری نشان نداد. اثرات متقابل رقم در پرایمینگ بذر نیز تنها در صفت حجم ریشه تفاوت آماری داشت. به جز صفت چگالی ریشه، در سایر صفات اثرات متقابل شوری و پرایمینگ بذر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در تمامی صفات به جز وزن خشک ریشه اثرات متقابل سه گانه رقم× شوری× پرایمینگ بذر تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول۱).

جدول۱- تجزیه واریانس صفات ریشه جو

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		طول ریشه	حجم ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	چگالی ریشه	سرعت توسعه ریشه
رقم (C)	۱	۱۹/۲^{ns}	۴۷۹۶۶**	۳۴۹*	۰/۱۲^{ns}	۴/۸۲**	۰/۱۳^{ns}
شوری (S)	۳	۲۳۱۹۰**	۱۴۴۷۱۲**	۹۳۳۱۲**	۳۸۱**	۴/۶۱**	۶۵/۷۴**
پرایمینگ (P)	۲	۳۳۲**	۷۸۰۷**	۲۸۵۰۶**	۱۱۷**	۰/۸۹**	۱/۰۳**
C×S	۳	۵۴^{ns}	۳۰۰۳۰**	۴۶۴۲**	۸/۳۸*	۰/۰۵^{ns}	۰/۱۰^{ns}
C×P	۲	۱۲/۹^{ns}	۱۲۴۰**	۱۵۸^{ns}	۳/۸۷^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۶^{ns}
S×P	۶	۲۱۶**	۳۸۹۳**	۹۳۸۴**	۱۴/۳۶**	۰/۰۲^{ns}	۰/۷۱**
C×S×P	۶	۱۴۷**	۱۳۳۱**	۶۴۸**	۴/۴۱^{ns}	۰/۲۷۲*	۰/۲۳*
Error	۴۸	۲۳/۲	۲۰۸/۵	۸۱/۵	۲/۴۶	۰/۰۹	۰/۰۵
CV (درصد)	-	۱۴	۱۶	۹/۳	۱۸	۲۰	۱۲/۶

ns، * و **- به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

با توجه به آنکه تنها اثرات اصلی در صفت چگالی ریشه معنی‌دار بود (جدول۱)، لذا مقایسات میانگین سطوح شوری، رقم و پرایمینگ بذر در صفت یاد شده انجام شد (شکل۲). چگالی ریشه رقم ماکویی با ۴۰ درصد اختلاف نسبت به رقم یوسف به طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل۲، الف). یکی از دلایل عمده این تفاوت را می‌توان به تفاوت ژنتیکی بین دو رقم جو نسبت داد. در سایر مطالعات نیز تفاوت بین ارقام از نظر گسترش ریشه مشاهده شده است (۷، ۹ و ۱۸). افزایش شوری تاثیر منفی بر چگالی ریشه جو داشت به طوری که در سطوح غلظت ۰/۲ و ۰/۳ مولار کلرید سدیم، کمترین مقادیر صفت یادشده بدست آمد و از نظر آماری بین دو سطح مزبور تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل۲، ب).



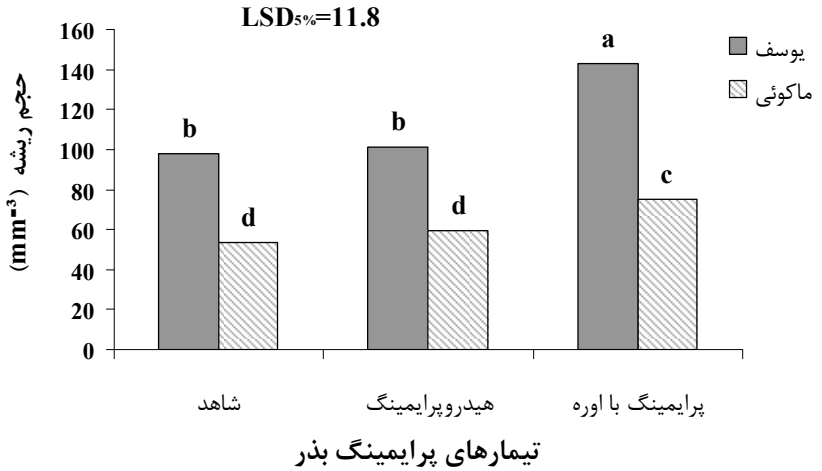
شکل۲- اثرات اصلی رقم (الف)، شوری (ب) و پرایمینگ بذر (ج) در صفت چگالی ریشه جو

احتمالا افزایش شوری با تاثیر منفی بر رشد و به خصوص تقسیم سلولی مانع رشد شعاعی ریشه شده و در نتیجه آن وزن خشک ریشه در واحد سطح کاهش محسوسی داشته است. نتایج بررسی اثر پرایمینگ بذر بر دو رقم سویا نیز حاکی از تاثیر منفی تنش شوری بر تخصیص منابع بذر به ریشه‌چه بود (۷). سلطانی و همکاران (۲۴) تاثیر منفی شوری بر تقسیم سلولی اندام‌های گیاهچه را عامل اصلی در کاهش وزن و حجم ریشه دانستند و عنوان داشتند که شوری در مراحل اولیه با اختلال در جذب آب و ممانعت از تورژسانس سلولی و در ادامه با تجمع یون‌ها و تاثیر منفی آنها بر فرایندهای سلولی مانع گسترش ریشه و افزایش وزن خشک آن می‌گردد.

حجم ریشه هر دو رقم جو تحت تاثیر تیمارهای پرایمینگ بذر قرار گرفت (شکل۳). اگرچه در هر رقم بین تیمارهای شاهد و هیدروپرایمینگ بذر از نظر حجم ریشه تفاوت آماری وجود نداشت، اما پرایمینگ با اوره سبب افزایش معنی‌دار حجم ریشه دو رقم جو شد. به طوری که حجم ریشه رقم یوسف در پرایمینگ با اوره نسبت به تیمارهای شاهد و هیدروپرایمینگ به ترتیب ۴۱ و ۴۶ درصد افزایش نشان داد. همچنین در رقم ماکوئی نیز میزان افزایش به ترتیب به ۴۰ و ۲۷ درصد رسید. این نتایج نشان دهنده تاثیر بیشتر تیمار اوره بر حجم ریشه رقم یوسف نسبت به رقم ماکویی است. همچنین در هر یک از سطوح پرایمینگ، حجم ریشه رقم یوسف نسبت به رقم ماکوئی به طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل۳). به عبارت دیگر رقم یوسف نسبت به رقم ماکوئی از توانایی بیشتری در تولید ریشه برخوردار بود. این نتایج چنین به نظر می‌رسد که تفاوت ژنتیکی بین دو رقم یکی از دلایل تفاوت در حجم ریشه آنها بوده است که احتمالا به تعداد سلول‌های اولیه ریشه در بذر و سرعت تجزیه، تولید و انتقال ترکیبات برای رشد ریشه مرتبط می‌باشد. به اعتقاد محققان یکی از دلایل عمده تاثیر مثبت پرایمینگ بر حجم ریشه گیاه، آمادگی بیشتر بذر پرایم شده نسبت به بذر پرایم نشده در رشد و توسعه ریشه می‌باشد که در نتیجه پیش اندازی فعالیت‌های بذر در طی فرآیند پرایمینگ در بذر حاصل شده است (۱، ۵، ۷، ۱۰ و ۲۳).

با افزایش شوری، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه در هر دو رقم جو به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول۲). تاثیر منفی شوری بر خصوصیات ریشه گیاهان مختلف از جمله سویا (*Glycine max* L.) (۷ و ۱۸)، آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) (۲۰)، فستوکا (*Festuca glauca*) (۱)، تریتیکاله (*Triticosecale wittmack*) (۲۶)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (۲۴) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (۸ و ۹) نیز گزارش شده است. تنش شوری سبب نقصان در جذب آب گیاه و در نتیجه موجب محدودیت رشد و تقسیم سلولی شده و به دنبال آن رشد و توسعه گیاه کاهش می‌یابد (۴). به نظر می‌رسد که در این پژوهش نیز تنش بر توسعه و تقسیم سلولی گیاه جو در حال رشد تاثیر منفی گذاشته و رشد ریشه در مقایسه با شرایط نرمال (سطح صفر تنش) کاهش یافته است و با افزایش شدت تنش شوری، اثر تنش بر فرایندهای سلولی شدت یافته است. همچنین عوامل یاد شده می‌تواند وزن خشک کمتر گیاهچه‌های بدست آمده در شرایط تنش را نیز توجیه نماید.

در هر یک از سطوح شوری صفر، ۰/۱ و ۰/۲ مولار حجم ریشه رقم یوسف به طور معنی‌داری بیشتر از رقم ماکوئی بود. به طوری که در سطوح یاد شده حجم ریشه رقم یوسف نسبت به رقم ماکوئی به ترتیب ۲/۳، ۱/۳ و ۱/۶ برابر بود. اما در بالاترین سطح شوری تفاوتی بین دو رقم از نظر صفت یادشده مشاهده نشد (جدول۲).



شکل۳- اثر متقابل رقم و پرایمینگ بذر در صفت حجم ریشه جو

وزن تر ریشه دو رقم جو تنها در تیمار ۰/۲ میلی‌مولار با یکدیگر اختلاف نشان نداد. در حالی که در سایر سطوح شوری برتری با رقم یوسف بود (جدول۲). اختلاف بین ارقام گونه‌های مختلف از نظر وزن تر و خشک ریشه در شرایط تنش توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (۷، ۸، ۱۸ و ۲۴). بر خلاف دو صفت دیگر، وزن خشک ریشه رقم ماکوئی تا سطح ۰/۲ مولار تفاوت آماری با رقم یوسف نداشت و حتی در بالاترین تیمار شوری برتری با رقم ماکوئی بود (جدول۲). بررسی سه صفت فوق نشان می‌دهد که عامل اصلی برتری رقم یوسف در صفت حجم ریشه وجود آب بیشتر در بافت ریشه آن بوده که علاوه بر ایجاد تورژسانس و افزایش حجم ظاهری ریشه سبب افزایش وزن تر آن نیز گردیده است. چون با حذف آب از وزن ریشه آن تفاوت بسیار زیاد بین دو رقم وجود نداشت و دو رقم توانایی یکسانی در تخصیص ماده خشک و تولید اندام زیرزمینی نشان دادند. همچنین نتایج حاضر حاکی از توانایی بیشتر رقم یوسف نسبت به ماکوئی در جذب آب توسط ریشه در شرایط شور می‌باشد. که احتمالا به توانایی بالاتر رقم یوسف در تنظیم اسمزی ریشه در شرایط تنش مرتبط است.

جدول۲- اثر متقابل رقم و شوری بر خصوصیات ریشه جو

رقم	شوری (M)	صفت		
		حجم ریشه (mm^{-3})	وزن تر ریشه (mg)	وزن خشک ریشه (mg)
ماکوئی	۰	۱۲۹/۴	۱۷۴/۱	۱۲/۴
	۰/۱	۷۴/۴	۱۰۸/۳	۷/۸
	۰/۲	۲۷/۳	۵۴/۲	۴/۴
	۰/۳	۱۹/۲	۴۳/۹	۳/۰
یوسف	۰	۳۰۲/۶	۲۲۳/۴	۱۳/۶
	۰/۱	۹۴/۶	۸۵/۰	۷/۴
	۰/۲	۴۳/۵	۵۸/۹	۵/۷
	۰/۳	۱۶/۱	۳۰/۸	۱/۳
	$LSD_{5\%}$	۱۳/۷	۸/۶	۵/۷

صرف نظر از تیمارهای پرایمینگ بذر، افزایش شوری سبب کاهش معنی‌دار صفات طول، حجم، وزن تر و خشک ریشه و سرعت توسعه آن شد (جدول۳). هرچند در شرایط عدم تنش (سطح صفر)، تیمار هیدروپرایمینگ در مقایسه با شاهد از برتری معنی‌داری در اکثر صفات یاد شده برخوردار بود، اما پرایمینگ با اوره بیشترین تاثیر مثبت را بر صفات طول، حجم، وزن تر، وزن خشک و سرعت توسعه ریشه داشت (جدول۳). در تیمار شوری ۰/۱ مولار، صفات طول و سرعت توسعه ریشه بذور پرایم نشده نسبت به دو تیمار پرایمینگ بذر به طور معنی‌داری کمتر بود (جدول۳). اما در صفات وزن تر و خشک ریشه بین هر سه تیمار پرایمینگ بذر اختلاف آماری مشاهده شد و اوره بیشترین تاثیر مثبت را بر صفات فوق الذکر داشت. به طوری که پرایمینگ با اوره نسبت به شاهد و هیدروپرایمینگ وزن تر ریشه جو را به ترتیب ۸۱ و ۳۸ درصد افزایش داد و در صفت وزن خشک، این اختلاف به ترتیب به ۹۲ و ۳۰ درصد رسید. همچنین هیدروپرایمینگ بذر جو در سطح شوری ۰/۱ مولار تاثیری بر حجم ریشه نداشت، اما تیمار اوره سبب افزایش معنی‌دار صفت مزبور شد. اگرچه با افزایش شوری تا سطح ۰/۲ مولار، تیمار پرایمینگ با اوره همچنان بر صفات وزن تر و خشک ریشه جو تاثیر مثبت و معنی‌داری داشت، اما در سایر صفات در هیچ یک از تیمارهای شوری ۰/۲ و ۰/۳ مولار نمک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. این نتایج نشان می دهد که پرایمینگ بذر سبب ایجاد تغییرات مثبت در بذر جو برای مواجه با تنش شوری شده است. کایول و همکاران (۱۳) دلیل تحمل به شوری بالاتر گیاهان در بذور پرایم شده را در نتیجه ظرفیت بالاتر این بذور برای سازگاری اسمزی دانستند. به طوری که مشخص شده است مقدار یون‌های کلر و سدیم در ریشه و مواد قندی و اسیدهای ارگانیک در برگ‌های بذور پرایم شده نسبت به بذور پرایم نشده بیشتر است. پژوهشگران علت توسعه سریعتر ریشه در بذور پرایم شده را به بازده بیشتر جذب آب و فعالیت متابولیکی آن نسبت دادند (۱۸) و معتقدند که توانایی بالاتر جذب آب در بذور پرایم شده نسبت به بذور پرایم نشده منجر به تاثیر مثبت این صفت می گردد (۱۷). در پژوهش حاضر نیز تا سطح ۰/۲ مولار نمک تاثیر هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با اوره بر سرعت توسعه ریشه کاملا مشهود بود و به نظر، ویژگی‌های بیان شده در بذور پرایم شده باعث توسعه بیشتر ریشه گردیده است.

نمود بیشتر اثر مثبت پرایمینگ بذر با اوره با افزایش شوری نسبت به تیمار هیدروپرایمینگ احتمالا به دلیل القاء اولیه شوری ناشی از نمک آلی استفاده شده بوده که علاوه بر پیش‌اندازی مراحل جوانه-زنی، موجب آمادگی بیشتر بذر جوانه‌زده نسبت به شوری گردیده است. اثرات سودمند پرایمینگ بذر به بازسازی و تجمع اسیدهای نوکلئیک، سنتز پروتئین‌ها و بازسازی غشاها مربوط است (۲۵). همچنین یافته‌ها نشان داده که تحت تاثیر تیمارهای پرایمینگ بذر، مقدار ترکیب مضر مالون دی آلدئید و پراکسیداسیون کل مواد به طور معنی‌داری کاهش یافته و در مقابل بسته به گونه گیاهی، آنتی اکسیدان‌هایی همچون اسید آسکوربیک، سوپر اکسید دسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز و ترکیبات ایزوسیترات لیاز، مالات سنتتاز و مقدار پروتئین محلول در بذرهای پرایم شده افزایش معنی‌داری داشته است (۱۵ و ۲۵) که خود عامل مهمی در افزایش تحمل به تنش‌های مختلف محیطی از جمله شوری است (۴). در ادامه، تحقیقات نشان داده که اسموپرایمینگ بذر سبب تجمع بیشتر پروتئین‌های LEA[1]

1- Late Embryogenesis Abundant

شده و این ترکیبات با افزایش پایداری غشای پلاسمایی مانع از اثر تنش‌ها بر فعالیت و نقش غشاء گردیده‌اند (۱۴). احتمالا تاثیر پرایمینگ بذر جو با اوره بر بیان ژن‌های موثر بر پایداری غشاهای پلاسمایی، از عوامل کلیدی در افزایش مقاومت گیاهچه‌ها در مقایسه با تیمارهای هیدروپرایمینگ و شاهد (بدون پرایمینگ) به شوری بوده است.

جدول۳- اثر متقابل شوری و پرایمینگ بذر بر خصوصیات ریشه جو

تیمار شوری (M)	تیمار پرایم	صفت				
		طول ریشه (cm)	حجم ریشه (mm^{-3})	وزن تر ریشه (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	سرعت توسعه ریشه (cm per day)
صفر	شاهد	۸۳/۳	۱۷۹/۹	۱۳۱/۵	۸/۸	۴/۳۹
	هیدروپرایمینگ	۷۵/۲	۱۸۹/۲	۱۶۱/۵	۱۳/۱	۳/۹۲
	پرایمینگ با اوره	۹۸/۴	۲۷۸/۹	۳۰۳/۳	۱۷/۰	۵/۲۵
۰/۱	شاهد	۲۴/۷	۷۶/۶	۷۰/۳	۵/۲	۱/۲۴
	هیدروپرایمینگ	۳۰/۸	۷۴/۸	۹۲/۳	۷/۷	۱/۶۰
	پرایمینگ با اوره	۳۴/۴	۱۰۲/۲	۱۲۷/۳	۱۰/۰	۱/۷۴
۰/۲	شاهد	۱۲/۰	۳۴/۵	۵۰/۵	۳/۲	۰/۵۸
	هیدروپرایمینگ	۱۳/۹	۳۷/۲	۵۳/۵	۴/۸	۰/۶۸
	پرایمینگ با اوره	۱۲/۷	۳۴/۴	۶۵/۷	۷/۲	۰/۶۴
۰/۳	شاهد	۵/۹	۱۲/۳	۲۴/۸	۱/۸	۰/۲۹
	هیدروپرایمینگ	۷/۸	۱۹/۹	۴۰/۳	۲/۲	۰/۳۸
	پرایمینگ با اوره	۷/۱	۲۰/۷	۴۶/۸	۲/۵	۰/۳۵
	$LSD_{5\%}$	۵/۶	۱۶/۸	۱۰/۵	۱/۸	۰/۲۶

نتیجه گیری کلی

دو رقم جو ماکوئی و یوسف در اکثر صفات مورد بررسی با یکدیگر تفاوت داشتند، اما در هر دو رقم تاثیر مثبت تیمارهای هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با اوره بر خصوصیات ریشه مشاهده شد. اگرچه شوری موجب کاهش تمامی صفات ریشه جو شد، اما تیمار پرایمینگ با اوره نقش مهمی در تقلیل اثرات منفی شوری بر ریشه جو داشت. همچنین پرایمینگ تنها تا سطح ۰/۲ مولار نمک دارای اثرات مثبت بر صفات ریشه جو بود، به نظر می‌رسد که قابلیت کاربرد پرایمینگ بذر تا یک حد آستانه از تنش شوری است و در سطوح بالاتر به دلیل شدت تنش تغییرات ایجاد شده در بذر پرایم شده کافی نخواهد بود. پیشنهاد می‌شود برای کاربردی تر شدن نتایج این پژوهش، آزمایشات مزرعه‌ای و گلخانه‌ای صورت گیرد.

منابع

۱- دیانتی تیلکی، ق.، ب. شاکرمی، م. طبری، و ب. بهتری. ۱۳۹۰. اثر NaCl پرایمینگ بر مولفه های جوانه زنی و رشد اولیه بذرهای گونه *Festuca ovina* L. در شرایط تنش شوری. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۸: ۴۶۲-۴۵۲.

۲- عبدالرحمنی، ب.، ک. قاسمی گلعذانی، م. ولی زاده، و. فیضی اصل، و ع. توکلی. ۱۳۹۰. اثر پرایمینگ بذر بر روند رشد و عملکرد دانه جو (*Hordeum vulgare* L.) رقم آبیدر در شرایط دیم. مجله به زراعی نهال و بذر. ۲۷: ۱۲۹-۱۱۱.

۳- عبدالرحمنی، ب.، ک. قاسمی گلعذانی، م. ولی زاده، و. فیضی اصل، و ع. توکلی. ۱۳۸۸. اثر پرایمینگ بذر بر قدرت رویش و عملکرد دانه جو رقم آبیدر در شرایط دیم. مجله علوم زراعی ایران. ۱۱: ۲۵۲-۲۳۷.

۴- کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی، ع. کمندی، ع. معصومی، و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۰۲ صفحه.

۵- مکی زاده تفتی، م.، ر. فرهودی، و م. راستی فر. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر اسموپرایمینگ بر جوانه زنی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تحت تنش شوری. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۷: ۵۸۶-۵۷۳.

6- Afkari, A. 2010. The effects of NaCl priming on salt tolerance in sunflower germination and seedling grown under salinity conditions. African J. Biotech, 9: 1764-1770.
7- Ahmadvand, G., F. Soleymani, B. Saadatian, and M. Pouya. 2012. Effects of seed priming on germination and emergence traits of two soybean cultivars under salinity stress. International Res. J. Applied and Basic Sci, 3: 234-241.
8- Anwar, S., M. Shafi, J. Bakht, M. Tariq Jan, and Y. Hayat. 2011. Effect of salinity and seed priming on growth and biochemical parameters of different barely genotypes. African J. Biotech, 10: 15278-15286.
9- Bengough, A. G., D. C. Gordon, H. Al-Menaie, R. P. Ellis, D. Allan, R. Keith, W. T. B. Thomas, and B. P Forster. 2004. Gel observation chamber for rapid screening of root traits in cereal seedlings. Plant and Soil, 262: 63-70.
10- Bose, B, and T. Mishra. 1992. Response of wheat seed to pre sowing seed treatments with Mg (NO_3). Annual of Agric Res, 13: 132-136.
11- Bradford, K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Horti Sci, 21: 1105-1112.
12- Cavusoglu, K, and K. Kabar. 2010. Effects of hydrogen peroxide on the germination and early seedling growth of barley under NaCl and high temperature stresses. EurAsian J. Bio Sci, 4: 70-79.
13- Cayuela, E., F. Perez-Alfocea, and M. C. Caro. 1996. Priming of seeds with NaCl induces physiological change in tomato plants growth under salt stress. Plant Physiol, 96: 231-236.
14- Chen, K., A. Fessehaie, and R. Arora. 2011. Dehydrin metabolism is altered during seed osmopriming and subsequent germination under chilling and desiccation in *Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale: Possible role in stress tolerance. Plant Sci, 182: 420-430.
15- Chiu, K. Y., S. J. Chuang, and J. M. Sung. 2006. Both anti-oxidation and lipid-carbohydrate conversion enhancements are involved in priming-improved emergence of *Echinacea purpurea* seeds that differ in size. Scientia Horti, 108: 220-226.
16- Demir, I., and H. A. Van De Venter. 1999. The effect of priming treatments on the performance of watermelon (*Citrillus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai) seeds under temperature and osmotic stress. Seed Sci and Technol, 27: 871-875.
17- Ghana, S. G, and W. F. Schillinger. 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. Crop Sci, 43: 2135-2141.
18- Hopper, N. W., J. R. Overholt, and J. R. Martin. 1979. Effect of cultivar, temperature and seed size on the germination and emergence of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). Ann. Botany, 44: 301-308.
19- Jafar, M. Z., M. Farooq, M. A. Cheema, I. Afzal, S. M. A. Basra, M. A. Wahid, T. Aziz, and M. Shahid. 2011. Improving the Performance of Wheat by Seed Priming Under Saline Conditions. J. Agron and Crop Sci, 14: 1-8.
20- Kaya, M. D., G. Okcu, M. Atak, Y. Cıkılı, and O. Kolsarıcı. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annus* L.). Eur. J. Agron, 24: 291-295.
21- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Sci, 2: 176-177.
22- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environ, 25:239-250.
23- Patade, V. Y., S. Bhargava, and P. Suprasanna. 2009. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in Sugarcane. Agri Ecosys. and Environ, 134: 24-28.
24- Soltani, A., M. Gholipoor, and M. E. Zeinali. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environ. Exp. Botany, 55: 195-200.
25- Wang, H. Y., C. L. Chen, and J. M. Sung. 2003. Both warm water soaking and solid priming treatments enhance anti-oxidation of bitter gourd seeds germinated at sub-optimal temperature. Seed Sci. and Technol, 31: 47-56.
26- Yagmur, M, and D. Kaydan. 2008. Alleviation of osmotic stress of water and salt in germination and seedling growth of triticale with seed priming treatments. African J. Biotech. 7: 2156-2162.