شبیه‌سازی روش‌های مختلف کم‌آبیاری در کشت هیدروپونیک از طریق اعمال تنش شوری بر خصوصیات فیزیکی ریشه لوبیا چشم بلبلی

امید بابایی مقدم[۱]، علی شاهنظری[۱*]، میرخالق ضیاءتبار احمدی[۱] و قاسم آقاجانی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۳۰)

چکیده

به‌منظور شبیه‌سازی روش‌های مختلف کم‌آبیاری از طریق اعمال تنش شوری بر خصوصیات فیزیکی ریشه گیاه لوبیا چشم بلبلی، تحقیقی در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. این طرح در سال ۱۳۹۰ و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تیمار و ۳ تکرار و تحت کشت هیدروپونیک در محیط کشت هوگلند انجام شد. تیمارها عبارت بودند از: تیمار بدون تنش شوری (WS) (EC=0.8 dS/m)، DS1 و DS2 که در آنها کل ریشه به‌ترتیب در محلول‌های با EC=2.3 dS/m و EC=3.6 dS/m قرار داشت و PRS1 و PRS2 که در آنها یک طرف ریشه در محلول بدون تنش شوری و طرف دیگر به‌ترتیب در محلول‌های با EC=2.3 dS/m و EC=3.6 dS/m قرار داشت. شانزده مرحله عکس‌برداری از ریشه به‌مدت ٤٥ روز بعد از اعمال تیمارها انجام پذیرفت و پارامترهای قطر، طول، مساحت و حجم ریشه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تیمارهای شوری بر رشد طول ریشه و متعاقب آن بر رشد مساحت و حجم آن اثر معنی‌داری داشتند. با توجه به این‌که محیط کشت با میزان EC=3.6 dS/m در تیمارهای WS، PRS1 و PRS2 رشد ریشه‌ها را به‌شدت کاهش داد، این مقدار EC برای رشد لوبیا چشم بلبلی توصیه نمی‌گردد.

واژه‌های کلیدی: محیط کشت، محلول هوگلند، گلخانه، کلرید سدیم

مقدمه

کمبود آب شیرین، پیشروی آب شور دریاها و متعاقب آن شور شدن خاک‌های زراعی از تهدیدهای اساسی برای بقای تمدن بشری و اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌رود. زیرا این عوامل امنیت غذایی و اقتصاد کلان جهان را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهند. برای در امان ماندن از تهدیدات، اعمال مدیریت‌های آگاهانه و به‌کارگیری فناوری‌های نوین مهندسی امری ضروری است. استفاده از روش‌های مختلف کم‌آبیاری (Deficit irrigation, DI) و هم‌چنین استفاده آگاهانه، هدفمند و هوشمندانه از آب‌های شور موجود از روش‌هایی است که امروزه برای رسیدن به حداکثر تولید و سود در مهندسی آبیاری مطرح است.

کم‌آبیاری عبارت است از استفاده بیشتر و بهتر از واحد حجم آب. این روش راهکاری است برای به عمل آوردن محصولات کشاورزی تحت شرایط کمبود آب، که عموماً با کاهش محصول در واحد سطح همراه است، ولی می‌توان با آب صرفه‌جویی شده سطح زیر کشت آبی را افزایش داد. در این روش، تنش‌های تنظیم شده و مورد نظر بر ریشه گیاهان اعمال شده و فعل و انفعالات ناشی از آن بررسی و مطالعه می‌گردد (۲).

در شرایط کم‌آبیاری، گیاهان از خود سازگاری‌هایی نشان می‌دهند که یکی از آنها افزایش رشد ریشه می‌باشد. از آنجایی

۱. دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aliponh@yahoo.com

که رشد و توسعه ریشه به بسیاری از شرایط تنش‌زا و فاکتورهای رشد حساس است، رشد ریشه به‌عنوان یک شاخص برای نمایش تغییراتی که در اثر اعمال تنش یا هورمون‌های رشد ایجاد می‌شود به‌شمار می‌رود (۲۳).

لوبیا چشم بلبلی با نام علمی *Vigna unguiculata* یکی از مهم‌ترین حبوباتی است که در سطح وسیعی در جهان کشت می‌شود و به‌عنوان یک منبع تغذیه مهم مصرف می‌گردد. مقاومت خوب این گیاه به گرما و خشکی، هم‌چنین پتانسیل بالای محصول‌دهی آن تحت شرایط آبیاری، باعث شده که هم در نواحی گرمسیر و نیمه‌گرمسیر و هم در نواحی نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب کشت گردد. این گیاه در درون غلاف‌های نازک تولید می‌شود و به‌عنوان یک سبزی مهم در چین، آسیای جنوبی و برخی از نواحی استوایی مصرف می‌شود. لوبیای چشم بلبلی معمولاً به‌عنوان گیاهی با مقاومت شوری متوسط در نظر گرفته می‌شود که مقاومت آن در برابر شوری بیشتر از ذرت و کمتر از جو، گندم و پنبه است (۱۹).

اطلاعات اندکی در مورد رشد ریشه در شرایط تنش شوری و هم‌چنین در مورد اعمال شوری به بخشی از سیستم ریشه وجود دارد. مطالعات شافی و همکاران (۲۰) نشان داد که افزایش شوری در کشت هیدروپونیک گیاه گندم، وزن خشک ریشه، تعداد ریشه، طول کلی ریشه، متوسط قطر ریشه و حجم کل ریشه را کاهش داد. طباطبایی و همکاران (۲۱) سیستم ریشه منشعب برای کاربرد آب شور در کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی را مورد مطالعه قرار دادند که در نتیجه آن شوری تأثیر منفی بر عملکرد ریشه داشت و در تیمارهای با توزیع نامساوی نمک، منبع اصلی تأمین آب گیاه از بخشی از سیستم ریشه بود که دارای کمترین میزان شوری بود.

کوشافر و همکاران (۱۴) تأثیر توزیع نامساوی نمک بر ریشه در کشت هیدروپونیک گیاه گوجه‌فرنگی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که سیستم هیدروپونیک ریشه منشعب متناوب یک شیوه کاربردی برای استفاده از آب شور است، هر چند موفقیت این سیستم بستگی زیادی به میزان شوری و فواصل زمانی تعویض بخش‌های ریشه بین محلول غذایی و آب شور دارد.

مطالعات نشان داده که با کاهش رطوبت خاک، ریشه‌ها علائمی به اندام‌های هوایی برای افزایش مقاومت ارسال می‌کنند. در این شرایط، ابتدا اندام‌های هوایی با کاهش تعرق و حفظ رطوبت برگ، با خشکی مقابله می‌کنند و در ادامه رشد خود را کاهش داده یا متوقف می‌نمایند. این در حالی است که ریشه‌ها همچنان به رشد خود ادامه می‌دهند. نتیجه این امر توسعه ریشه برای تأمین آب بیشتر و بهبود نسبت ریشه به اندام هوایی خواهد بود (۱۳ و ۱۵).

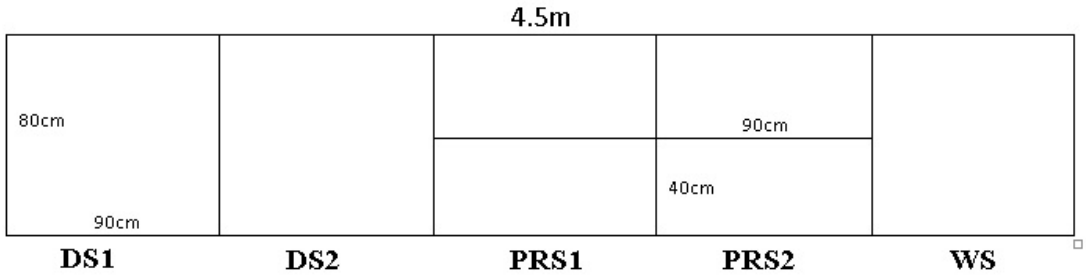
از آنجایی که بررسی رفتار ریشه عموماً مشکل، زمان‌بر و تخمینی است، لذا استفاده از محیط کشت هیدروپونیک و اعمال تنش از طریق اضافه کردن نمک به آن، راهکار آسانی برای کنترل دقیق رفتار ریشه در مقابل تنش و یافتن جواب بسیاری از سؤالات در مطالعه ارتباط بین آب و ریشه می‌باشد (۱۷).

هدف از انجام این مطالعه عبارت بود از: الف) شبیه‌سازی روش‌های کم‌آبیاری و آبیاری ناقص ریشه (Partial rootzone drying, PRD) از طریق اعمال تنش شوری و مقایسه تأثیر آنها بر ریشه گیاه لوبیای چشم بلبلی و ب) تعیین مشخصات فیزیکی ریشه گیاه لوبیا چشم بلبلی(طول، سطح، عمق توسعه) تحت اثر سطوح مختلف شوری.

مواد و روش‌ها

این تحقیق از مهر تا آذر سال ۱۳۹۰ و در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری که دمای آن بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس کنترل می‌شد، در شرایط کشت هیدروپونیک با محیط کشت هوگلند انجام شد.

برای اعمال تنش‌های مورد نظر بر ریشه گیاه، از سه سطح شوری EC= 0.8 dS/m (تیمار شاهد)، EC= 2.3 dS/m و EC=3.6 dS/m استفاده شد. این سطوح شوری از طریق NaCl و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۵ تیمار و ۳ تکرار اعمال شد. تیمارها عبارت بودند از: ۱- آبیاری بدون تنش



شکل ۱. پلان و ابعاد و شکل قرارگیری جعبه‌ها

شوری (Without salinity stress, WS) یا آبیاری کامل (Full irrigation, FI) که طی آن هیچگونه تنش شوری به ریشه وارد نمی‌شد و به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. مقدار EC (هدایت الکتریکی) در این تیمار برابر 0.8 dS/m بود؛ ۲- کم‌آبیاری نوع اول (DS1، کل ریشه در محلولی با EC= 2.3 dS/m قرار داشت)؛ ۳- کم‌آبیاری نوع دوم (DS2، کل ریشه در محلولی با EC= 3.6 dS/m قرار داشت)؛ ۴- PRS1 (به یک طرف ریشه، آب بدون هیچگونه شوری داده شد و طرف دیگر ریشه در محلولی با EC= 2.3 dS/m قرار داشت)؛ ۵- PRS2 (به یک طرف ریشه، آب بدون هیچگونه شوری داده شد و طرف دیگر ریشه در محلولی با EC= 3.6 dS/m قرار داشت).

برای کاشت گیاهان از آکواریوم‌های شیشه‌ای استفاده گردید. به منظور اجرای سیستم PRS، دو عدد از آکواریوم‌ها توسط تیغه شیشه‌ای کدر به دو قسمت تقسیم شدند. ابعاد و نحوه قرارگیری جعبه‌ها در شکل ۱ ارائه شده است.

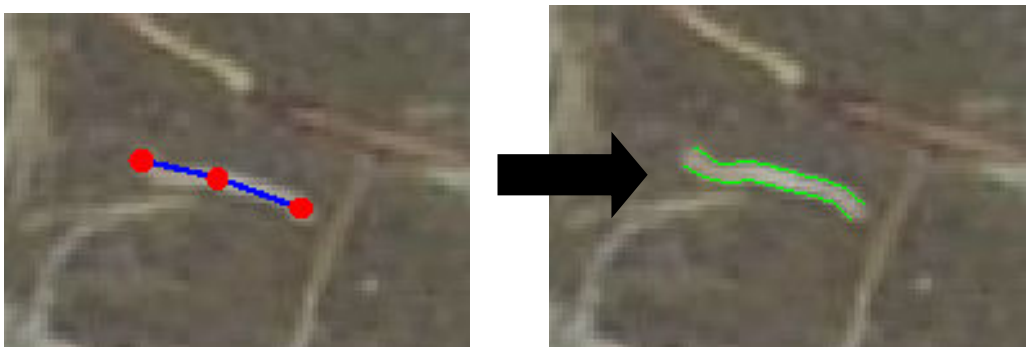
بذرهای لوبیای چشم بلبلی پس از جوانه‌زنی، در تاریخ ۱۳۹۰/۸/۵ در جعبهٔ حاوی محلول غذایی کشت شدند. پس از گذشت ۲۰ روز و پس از ۶ برگی شدن گیاهان در تاریخ ۱۳۹۰/۸/۲۵ به جعبه‌های حاوی محلول غذایی که تیمارهای مربوطه در آنها اعمال شده بود انتقال یافتند.

عکس‌برداری از ریشه‌ها از یک روز بعد از شروع اعمال تیمارها آغاز و تا ٤٥ روز بعد ادامه داشت. در این تحقیق، ١٦ مرحله عکس‌برداری در فواصل زمانی ۱، ۴، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۶، ۲۹، ۳۱، ۳۳، ۳۶، ۴۰ و ۴۵ روز از شروع اعمال تیمارها انجام شد. به منظور عکس‌برداری، ریشه‌ها از محلول خارج می‌گشت و بعد از قرار گرفتن در یک سطح مسطح و استفاده از یک خط‌کش به‌عنوان مقیاس در کنار آنها، عکس‌برداری‌ها انجام می‌شد. در این عکس‌برداری‌ها، سعی شد ریشه‌ها حداقل همپوشانی را داشته باشند.

برای تحلیل این عکس‌ها از نرم‌افزار DigiRoot 2.5 استفاده شد که برای تحلیل عکس‌های لوله‌ای شکل، مانند ریشه، به‌کار می‌رود. در این نرم‌افزار، هر ریشه، یا هر بخش از ریشه، با سه نقطه تعریف می‌شود که نقطه ابتدایی، نقطه میانی و نقطه انتهایی نام دارند. این نرم‌افزار با توجه به مقیاس‌های داده شده، قابلیت دنبال کردن مسیر ریشه را دارد. بعد از انجام پیمایش مسیر ریشه توسط نرم‌افزار، قابلیت تصحیح خطاهای احتمالی نیز وجود دارد (شکل ۲).

بعد از نقطه‌گذاری روی مسیر ریشه، لازم است که موارد محاسباتی از قبیل مقیاس، واحدها و غیره در محل مربوطه به‌دقت وارد گردد. این کار به‌دقت لازم برای محاسبه مشخصات ریشه کمک خواهد کرد. سپس، نرم‌افزار مطابق شکل ۲ ریشه مورد نظر را ترسیم می‌کند.

خروجی این نرم‌افزار شامل اطلاعاتی مثل طول، قطر، مساحت و حجم هر ریشه و مجموع و میانگین ریشه‌ها در هر گیاه را در اختیار می‌گذارد. از نرم‌افزار SAS نیز برای تحلیل آماری داده‌ها استفاده شد. برای آنالیز واریانس بین میانگین‌های مورد نظر از رویه GLM استفاده شد. در این نرم‌افزار، برای مقایسه تیمارها، از آزمون استیودنت- نیومن استفاده می‌گردد.



شکل ۲. نحوه عملکرد نرم‌افزار تحلیل ریشه‌ها

نتایج و بحث

بررسی‌های انجام شده در این پژوهش و نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری برای متغیرهای مورد مطالعه و بین تیمارهای مختلف در جدول ۱ ارائه گردیده است.

بررسی‌ها نشان داد که در انتهای دوره رشد، تیمار WS دارای بیشترین میزان رشد طول ریشه (۱۱۵/۵۳ میلی‌متر) و تیمار PRS2 دارای کمترین میزان رشد طول ریشه (۱۱/۹۳ میلی‌متر) بود. شکل ۳ بیانگر منحنی رشد طول ریشه با اعمال تیمارهای مختلف می‌باشد. در این نمودار، میزان تغییرات طول ریشه از روز اول اعمال تیمار تا روز چهل و پنجم در همه تیمارها مشخص شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، تیمار WS با سایر تیمارها از همان ابتدا اختلاف مشخصی داشت. منحنی‌های DS2 و PRS2 تقریباً مماس با هم هستند، که این مسأله نشان می‌دهد میزان تنش اعمال شده تفاوتی بر طول ریشه بین این دو تیمار نداشته است.

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری برای طول ریشه نشان داد که اختلاف تیمار WS با تیمار DS1 معنی‌دار نیست، ولی با تیمارهای DS2، PRS1 و PRS2 در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین، تیمار DS1 نیز با تیمارهای DS2، PRS1 و PRS2 در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار دارند. تیمارهای DS2 و PRS2 نیز اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند که بیانگر این است که شوری به میزان EC=3.6 dS/m، چه بر کل ریشه و چه بر نیمی از ریشه، اثر مشابهی بر رشد طولی ریشه داشت و میزان رشد را به‌شدت کاهش داد.

جهاداکبر و همکاران (۵) که واکنش چغندرقند به شوری آب آبیاری در مراحل مختلف رشد ریشه را مورد بررسی قرار دادند نیز دریافتند که بیشترین عملکرد ریشه و عملکرد قند به تیمار شاهد تعلق داشت که کمترین شوری آب آبیاری را دریافت کرده بود. افزایش شوری آب، عملکرد ریشه و عملکرد قند را کاهش داد. هم‌چنین، مطالعات یوسفی و همکاران (۱۱) که اثر تنش شوری کلرید سدیم در بخشی از سیستم ریشه بر عملکرد، کمیت و کیفیت میوه توت‌فرنگی را مورد بررسی قرار دادند نشان داد که با اعمال شوری در کل سیستم ریشه، وزن تر و خشک میوه، طول میوه و عملکرد ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

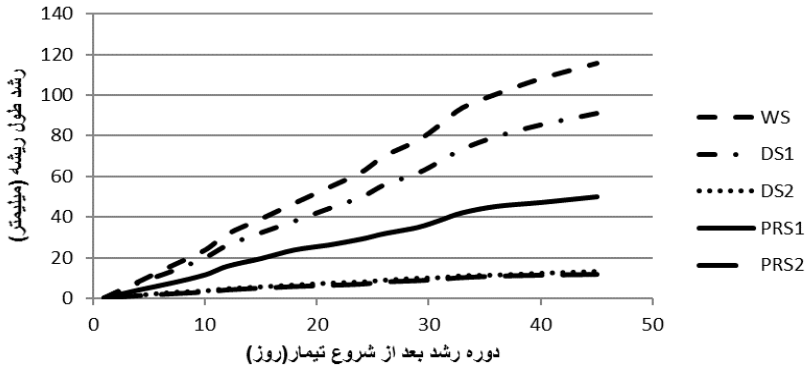
نتایج نشان داد که در مجموع بین تیمارهای مختلف به لحاظ افزایش قطر ریشه در طول دوره ۴۵ روزه اعمال تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. این مسأله بیان‌کننده این امر است که اعمال سطوح مختلف شوری (EC=0.8، EC=2.3 و EC=3.6) به یک سمت، یا دو سمت ریشه، تأثیری بر رشد قطر ندارد. دلیل این امر احتمالاً این است که شوری حتی در تیمار WS نسبت به حد مجاز بیشتر بوده (برای تهیه محلول بایستی EC= 0.8 dS/m اعمال می‌گشت) و تأثیرش را بر روند رشد قطر گذاشته است.

شکل ۴ بیانگر منحنی رشد قطر ریشه با اعمال تیمارهای مختلف آبیاری می‌باشد. در انتهای دوره رشد، تیمار PRS1 دارای بیشترین میزان رشد قطر ریشه (۱/۱۳۳ میلی‌متر) و تیمار PRS2 دارای کمترین میزان رشد قطر ریشه (۰/۹۱۳ میلی‌متر) بود.

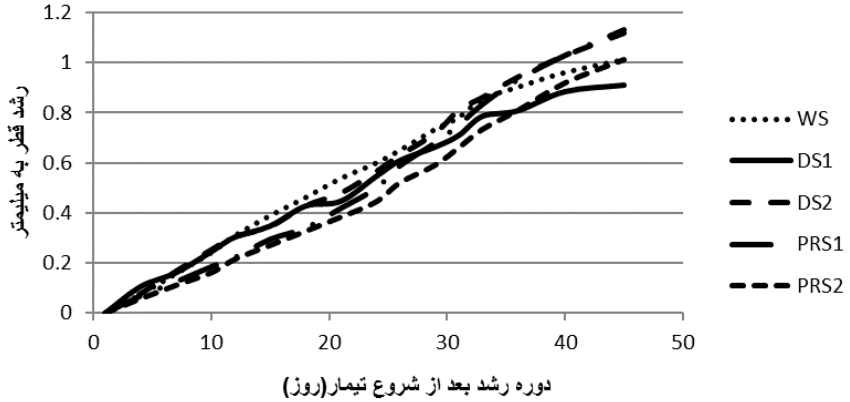
جدول ۱. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری برای متغیرهای مورد مطالعه

تیمار (i)	تیمار (j)	اختلاف میانگین متغیر طول (i-j)	اختلاف میانگین متغیر قطر (i-j)	اختلاف میانگین متغیر مساحت (i-j)	اختلاف میانگین متغیر حجم (i-j)
WS	DS1	۱۱/۷۳	۰/۰۴	۱۸۶/۷۴	۳۱/۹۲
	DS2	۵۱/۰ **	-۰/۰۰۳	۲۷۶/۲۴ *	۵۰/۰۸
	PRS1	۳۱/۴۲ **	۰/۰۳	۳۲۰/۱۳ **	۶۶/۹۶ **
	PRS2	۵۱/۵۹ **	۰/۰۹	۴۶۷/۳۹ **	۱۰۴/۶۲ **
DS1	WS	-۱۱/۷۳	-۰/۰۴	-۱۸۶/۷۴	-۳۱/۹۲
	DS2	۳۹/۲۶ **	-۰/۰۴	۸۹/۴۹	۱۸/۱۶
	PRS1	۱۹/۶۸ **	-۰/۰۰۸	۱۳۳/۳۸	۳۵/۰۴
	PRS2	۳۹/۸۵ **	۰/۰۴	۲۸۰/۶۴ *	۷۲/۷۰ **
DS2	WS	-۵۱/۰ **	۰/۰۰۳	-۲۷۶/۲۴ *	-۵۰/۰۸
	DS1	-۳۹/۲۶ **	۰/۰۴	-۸۹/۴۹	-۱۸/۱۶
	PRS1	-۱۹/۵۸ **	۰/۰۳	۴۳/۸۹	۱۶/۸۸
	PRS2	۰/۵۸	۰/۰۹	۱۹۱/۱۵	۵۴/۵۴
PRS1	WS	-۳۱/۴۲ **	-۰/۰۳	-۳۲۰/۱۳ **	-۶۶/۹۶ **
	DS1	-۱۹/۶۸ **	۰/۰۰۸	-۱۳۳/۳۸	-۳۵/۰۴
	DS2	۱۹/۵۸ **	-۰/۰۳	-۴۳/۸۹	-۱۶/۸۸
	PRS2	۲۰/۱۶ **	۰/۰۵	۱۴۷/۲۶	۳۷/۶۶
PRS2	WS	-۵۱/۵۹ **	-۰/۰۹	-۴۶۷/۳۹ **	-۱۰۴/۶۲ **
	DS1	-۳۹/۸۵ **	-۰/۰۴	-۲۸۰/۶۴ *	-۷۲/۷۰ **
	DS2	-۰/۵۸	-۰/۰۹	-۱۹۱/۱۵	-۵۴/۵۴
	PRS1	-۲۰/۱۶ **	-۰/۰۵	-۱۴۷/۲۶	-۳۷/۶۶

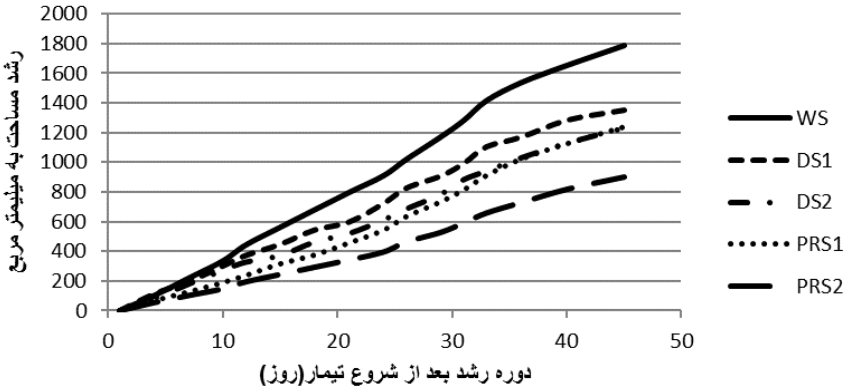
** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪



شکل ۳. منحنی روند رشد طول ریشه در طول دوره آزمایش



شکل ۴. منحنی روند رشد قطر در طول دوره آزمایش



شکل ۵. منحنی روند رشد مساحت در طول دوره آزمایش

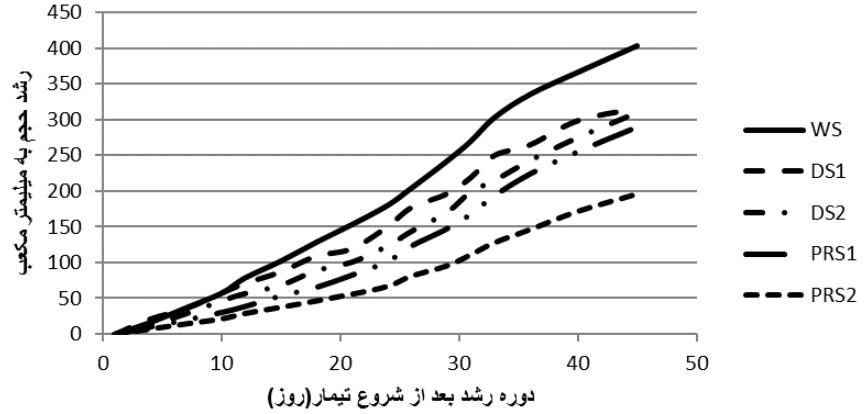
میزان رشد مساحت و حجم ریشه، به‌دلیل این‌که متغیرهایی وابسته هستند، متأثر از میزان رشد طول و قطر ریشه می‌باشند. بررسی‌ها نشان داد که در انتهای دوره رشد، تیمار WS دارای بیشترین میزان رشد مساحت ریشه (۱۷۸۸ میلی‌مترمربع) و تیمار PRS2 دارای کمترین میزان رشد مساحت ریشه (۸۹۸/۱ میلی‌مترمربع) بود. شکل ۵ بیانگر منحنی رشد مساحت ریشه با اعمال تیمارهای مختلف شوری می‌باشد.

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری برای مساحت ریشه نشان داد که تیمارهای WS و DS1 اختلاف معنی‌داری با هم ندارند، ولی WS با DS2 در سطح ۵٪ و با PRS2 و PRS2 در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار داشتند. تیمار DS1 نیز با تیمار PRS2 از نظر تأثیر بر مساحت ریشه در سطح ۵٪ اختلاف داشتند. سایر تیمارها با هم اختلاف معنی‌داری نشان ندادند.

هم‌چنین، در انتهای دوره رشد، تیمار WS دارای بیشترین میزان رشد حجم ریشه (۴۰۳/۷ میلی‌مترمکعب) و تیمار PRS2 دارای کمترین میزان رشد حجم ریشه (۱۹۵/۴ میلی‌مترمکعب) بود. شکل ۶ بیانگر منحنی رشد مساحت ریشه با اعمال تیمارهای مختلف شوری می‌باشد.

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری برای حجم ریشه نشان داد که تیمار WS با تیمارهای PRS1 و PRS2 اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ دارند. تیمار DS1 نیز با تیمار PRS2 از نظر تأثیر بر حجم ریشه در سطح ۱٪ اختلاف دارد. سایر تیمارها با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند.

نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج به‌دست آمده از سایر مطالعات موجود در این مورد بسیار نزدیک می‌باشد.



شکل ۶. منحنی روند رشد حجم در طول دوره آزمایش

مطالعات شافی و همکاران (۲۰) که تأثیر تنش شوری (NaCl) بر مورفولوژی ریشه گندم را مورد بررسی قرار داده بودند، نشان داد که NaCl وزن خشک ریشه، تعداد ریشه، طول کلی ریشه، متوسط قطر ریشه و حجم کل ریشه را کاهش داد. هم‌چنین، مطالعات کوشافر و همکاران (۱۴) که تأثیر توزیع نامساوی نمک روی ریشه و بر نسبت محصول به میزان آب مصرفی(CPD) در کشت هیدروپونیک گیاه گوجه‌فرنگی را مورد مطالعه قرار دادند، نشان داد که در سیستم هیدروپونیک با ریشه‌های منشعب متحرک که در آن تعویض انشعاب‌های ریشه بین محلول مغذی و آب شور با فاصله ۳ روز انجام می‌گردید، کاهش معنی‌داری در رشد ریشه و اندام‌های هوایی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به منظور شبیه‌سازی روش‌های مختلف کم‌آبیاری از طریق اعمال تنش شوری، بر خصوصیات فیزیکی ریشه گیاه لوبیا چشم بلبلی، تحقیقی تحت سیستم هیدروپونیک در محیط کشت هوگلند انجام شد. تیمارهای مختلف با سطوح شوری ۰/۸ (شاهد)، ۲/۳ و ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر بر کل و نیمی از ریشه اعمال شد. نتایج نشان داد که تیمارهای شوری بر طول ریشه و متعاقب آن بر مساحت و حجم آن اثر معنی‌داری داشت. در مجموع، تیمار شاهد بیشترین میزان عملکرد ریشه را داشته است و کمترین عملکرد ریشه در تیمار PRS2 با EC=3.6 dS/m بوده است. با توجه به این‌که محیط کشت با میزان EC=3.6 dS/m در هر دو تیمار WS و PRS، رشد ریشه‌ها را به‌شدت کاهش داد، این میزان EC برای رشد لوبیا چشم بلبلی توصیه نمی‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. آروین، م. ج. و ن. کاظمی‌پور. ۱۳۸۰. آثار تنش‌های شوری و خشکی بر رشد و ترکیب شیمیایی و بیوشیمیایی چهار رقم پیاز خوراکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵(۴):۴۱-۵۱.

۲. الباجی، م. ۱۳۹۰. مقایسه روش‌های آبیاری معمولی، کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری به‌صورت خشکی موضعی ریشه بر بهره‌وری آب، کارایی مصرف آب، توزیع شوری و قلیائیت در خاک، شاخص برداشت و مقدار محصول گیاه آفتابگردان. پایان‌نامه دکتری آبیاری و زه‌کشی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳. باقری، ع. و م. حسن‌بیگی. ۱۳۸۸. اثر سطوح مختلف تنش شوری بر جوانه‌زنی و میزان تجمع یون‌های سدیم و پتاسیم در بذر ارقام لوبیا. مجله تنش‌های محیطی در علوم گیاهی ۱(۲): ۱۳۷-۱۴۲.

۴. بنادر، م. و ا. نادری. ۱۳۸۸. اثر شوری آب آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی نیشکر. فصلنامه علمی تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۱(۲): ۸۵-۹۰.

۵. جهاداکبر، م. ر.، ح. ر. ابراهیمیان و س. واحدی. ۱۳۹۰. واکنش چغندرقند به شوری آب آبیاری در مراحل مختلف رشد ریشه. مجله چغندر قند ۲۷(۱): ۵۳-۶۶.

۶. جهانسوز، م. ر.، م. ر. نقوی و ع. ر. طالعی. ۱۳۹۰. تعیین روابط بین صفات مختلف در ارقام لوبیا چشم بلبلی. مجله علوم کشاورزی ۱۲(۱): ۱۴۳-۱۴۸.

۷. خزاعی، ح. ر. و م. کافی. ۱۳۸۲. تأثیر تنش خشکی بر رشد ریشه و توزیع ماده خشک بین ریشه و بخش هوایی در ارقام مقاوم و حساس گندم. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۱(۱): ۳۳-۴۰.

۸. راد، م. ه.، م. ح. عصاره و م. سلطانی. ۱۳۸۹. واکنش ریشه اکالیپتوس نسبت به تنش خشکی. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۸(۲): ۲۸۵-۲۹۶.

۹. گنجعلی، ع. و ع. باقری. ۱۳۸۹. ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی ریشه نخود در واکنش به تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران ۱(۲): ۱۰۱-۱۱۰.

۱۰. گنجعلی، ع.، م. کافی، و م. ثابت تیموری. ۱۳۸۹. تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی ریشه و اندام هوایی نخود در واکنش به تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۳(۱): ۳۵-۴۵.

۱۱. یوسفی، م.، س. ج. طباطبایی، ج. حاجیلو و ن. مهنا. ۱۳۹۰. اثر تنش شوری کلرید سدیم در بخشی از سیستم ریشه بر عملکرد، کمیت و کیفیت میوه توت‌فرنگی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲(۱): ۱۳۶-۱۴۴.

12. Chen, C., C. Tao, H. Peng and Y. Ding. 2007. Genetic analysis of salt stress responses in asparagus bean (*Vigna unguiculata* (L.) ssp. sesquipedalis Verdc.). J. Hered. 98(7): 655-665.
13. Chiatante, D., A. Di-Iorio, S. Sciandra, G. Stefania and S. Mazzoleni. 2006. Effect of drought and fire on root development in *Quercus pubescens* wild and *Fraxinus ornal* seedlings. Environ. Exp. Bot. 56: 190-197.
14. Koushafar, M., A.H. Khoshgoftarmanesh, A. Moezzi and M. Mobli. 2011. Effect of dynamic unequal distribution of salts in the root environment on performance and crop per drop (CPD) of hydroponic-grown tomato. Sci. Hort. 131: 1-5.
15. Masinde, P.W., H. Stutzel, S. Agong and A. Goand-Fricke. 2006. Plant growth, water relations and transpiration of two species of African nightshade (*Solanum villosum* Mill. ssp. *Miniatum* (Bernh. Ex Wild.) Edmonds and *S. sarrachoides* Sendtn.) under water-limited conditions. Sci. Hort. 110: 7-15.
16. Mass, E.V. and J.A. Poss. 1989. Salt sensitivity of cowpea at various growth stages. Irrig. Sci. 10: 313-320.
17. Mohammad, M., R. Shibli, M. Ajlouni and L. Nimri. 1988. Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. J. Plant Nutr. 21(8): 1667-1680.
18. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25: 239-250.
19. Murillo-Amador, B., E. T-Die´guez, J.L. Herna´ndez, R. Lo´pez-Aguilar, N.Y. Serrano, S. Salgado, E.O. Puente and C. Kaya. 2006. Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. Sci. Hort. 108:423-431.
20. Shafi, M., Z. Guoping, J. Bakht, M. Aman Khan, E.U. Islam, M. Dawood Khan and Raziuddin. 2010. Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat. Pak. J. Bot. 42(4): 2747-2754.
21. Tabatabaie, S.J., P.J. Gregory, L. Ho and P. Hadley. 2003. Split root system for the use of saline water in hydroponic tomato production. Acta Hort. 609: 307-312.
22. West, D.W. and L.E. Francois. 1982. Effects of salinity on germination, growth and yield of cowpea. Irrig. Sci. 3: 169-175.
23. Xiaojun, Q., W. Yajun and L.M. Root. 2006. A simple color image analysis program for length measurement of primary roots in *Arabidopsis.* www.plantroot.org, pp. 10-16.