Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۱ صفحه‌های ۲۴۷ تا ۲۶۰/ سال ۱۳۹۴

اثر توأم شوری و تراکم خاک بر برخی شاخص‌های رشد ذرت

رضا حسن‌پور[۱]*، محمدرضا نیشابوری[۲] و داود زارع‌حقی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۰

[۱]- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۲]- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۳]- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rzh92@yahoo.com

چکیده

شوری و تراکم خاک از مهم‌ترین محدودیت‌های رشد و تولید گیاهان زراعی به حساب می‌آیند. تحقیق حاضر برای بررسی اثر توأم شوری و تراکم خاک بر برخی شاخص‌های رشد گیاه ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد. برای این منظور آزمایشی گلدانی و به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل شوری خاک در سه سطح (قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۱/۵، ۲/۵ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و تراکم خاک در سه سطح (چگالی ظاهری، ۱/۳، ۱/۵۵ و ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. برای ایجاد سطوح شوری در خاک گلدان‌ها، مقادیر مختلف NaCl در حجم آب مقطر لازم برای رساندن رطوبت جرمی به ۱۶ درصد، حل و سپس به خاک افزوده شد. برای ایجاد تراکم در خاک گلدان‌ها وزنه ۴/۵ کیلوگرمی از ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری بر سطح خاک درون گلدان‌ها رها می‌شد. افزایش شوری خاک از ۱/۵ به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح برگ و شاخص کلروفیل برگ (از ۱۰ تا ۲۴ درصد) شد. افزایش تراکم خاک از ۱/۳ به ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نیز شاخص‌های مذکور را به‌طور معنی‌داری (از ۱۱ تا ۶۳ درصد) کاهش داد. در سطوح شوری و تراکم به‌کار رفته، به‌طور میانگین، تراکم خاک بیش از شوری خاک باعث کاهش رشد ذرت شد. اثر شوری و تراکم خاک به‌صورت توأم بیشتر از اثر جداگانه هر یک از آنها بر شاخص‌های مذکور بود و منجر به کاهش شدید (از ۲۲ تا ۷۳ درصد) شاخص‌های رشد، به‌ویژه شاخص کلروفیل برگ شد. به‌عبارت دیگر، تراکم خاک اثرهای منفی شوری بر رشد ذرت را تشدید کرد.

واژه‌های کلیدی: تراکم خاک، ذرت، شاخص‌های رشد، شوری خاک

www.SID.ir

Archive of SID

Combined Effect of Soil Salinity and Compaction on Some Growth Indices of Corn

R Hassanpour[*1], MR Neyshabouri[2] and D Zarehaghi[3]

[1-] Former M.Sc. Student, Soil Science Department, University of Tabriz, Iran
[2-] Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
[3-] Assist. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
[*] Corresponding author, E-mail: rzh92@yahoo.com

Abstract

Soil salinity and compaction are probably the most prevailed limitations for crop growth and yield. This research was performed to investigate the combined effect of soil salinity and soil compaction on several aspects of corn (*Zea mays* cv. single cross 704) growth. For this purpose a factorial pot experiment on the basis of completely randomized design with three replications was performed. The experimental factors were soil salinity at three levels (saturated extract electrical conductivity of 1.5, 2.5 and 4.5 dS/m) and soil compaction at three levels (bulk density of 1.30, 1.55 and 1.75 g/cm^3). For creating salinity in the soil different amounts of NaCl dissolved in required volumes of distilled water to raise the mass water content to 16% were added to the pots' soil. For soil compaction a mass of 4.5 kg was allowed to fall from a 45 cm height over the soil surface in the pots. Increasing the soil salinity from 1.5 to 4.5 dS/m resulted in significant decline (from 10 to 24%) in plant height, shoot and root dry weight, leaf area and chlorophyll index. Increasing the soil compaction from 1.3 to 1.75 g/cm^3 significantly decreased (from 11 to 63%) the mentioned growth indices. In the applied range of soil salinity and compaction, soil compaction caused more decline and suppression than soil salinity in the corn growth. Combined effect of the salinity and compaction became more significant than their individual effects and reduced drastically (22 to 73%) the growth indices specially chlorophyll index. In other words, soil compaction intensified the negative effects of salinity on corn growth.

Keyword: Corn, Growth indices, Soil compaction, Soil salinity

مقدمه

تنش‌های محیطی عوامل اصلی کاهش تولید و عملکرد هستند. شوری خاک از مهم‌ترین و متداول‌ترین تنش‌های محیطی در سطح جهان و ایران است که سطوح بالای آن از رشد و نمو گیاهان، به‌ویژه گیاهان حساس به شوری به‌شدت می‌کاهد و باعث اختلال و توقف رشد و حتی مرگ گیاه می‌شود. آمار طولانی‌مدت حاکی از آن است که سطح زیرکشت سالانه محصولات کشاورزی در کشور از ۱۰ تا ۱۸ میلیون هکتار در نوسان است (بی‌نام ۱۳۹۰). در نقشه مطالعات

www.SID.ir

Archive of SID

خاکشناسی که از سال ۱۳۳۲ تا ۱۳۸۸ انجام شده است، ۶/۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشور، مبتلا به درجات مختلف شوری تشخیص داده شده‌اند (مومنی ۱۳۸۹). بنابراین مسئله شوری یکی از جدی‌ترین تهدیدهای موجود برای امنیت غذایی کشور محسوب می‌شود. بر اساس مطالعات ماس و هافمن (۱۹۹۷) اغلب گیاهان شوری را تا یک حد معین تحمل نموده و بعد از آن با افزایش شوری از عملکرد آنها کاسته می‌شود. آنان برای ارزیابی تحمل گیاهان به شوری‌های مختلف خاک رابطه زیر را ارائه دادند:

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a)$$

که در آن Y_r عملکرد نسبی برای هر شوری بیش از آستانه شوری، a آستانه شوری و b درصد کاهش عملکرد به ازای هر واحد افزایش شوری، و EC_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک می‌باشد. البته در این رابطه منبع شوری NaCl فرض شده است، در حالی که در طبیعت شوری خاک تنها ناشی از این نمک نیست و املاح دیگر در شور شدن خاک نقش دارند.

تأثیر معنی‌دار و قابل‌توجه شوری خاک بر شاخص‌های رشد گیاه توسط محققان زیادی به اثبات رسیده است. شمس‌الدین سعید و فرحبخش (۱۳۸۸) اثر سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم و کلسیم با نسبت دو به یک) ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر را بر روی گیاه ذرت بررسی و ملاحظه کردند که اختلاف معنی‌داری در ارتفاع ساقه بین غلظت‌های مختلف نمک در اوایل دوره رشد گیاه مشاهده نشد اما ارتفاع ساقه با افزایش شوری کاهش یافت و با گذشت زمان اختلاف ارتفاع ساقه بین تیمارهای مختلف شوری زیاد شد. در مطالعه آنها ارتفاع ساقه ذرت از ۸۱ سانتی‌متر در تیمار ۴ دسی‌زمنس بر متر به ۵۸ سانتی‌متر در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر رسید. نتایج تحقیق عباسی و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که با اعمال تیمار شوری خاک کاهش قابل‌توجهی در طول ساقه گیاه روناس ایجاد شد. طول ساقه از میزان ۷۷/۲۵ در شاهد به ۲۶ سانتی‌متر در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر رسید، به‌طوری که بیش از ۵۰ درصد کاهش یافت و در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش ارتفاع گیاه به ۸۰ درصد رسید. نتایج آنان نشان داد که با افزایش شوری نسبت طول ریشه به ساقه کاهش یافت. مولوی و همکاران (۱۳۹۰) اثر ۵ نوع آب آبیاری شامل آبیاری با آب غیرشور با ۰/۷ EC دسی‌زیمنس بر متر (M_1)، آبیاری با آب شور با ۵ EC دسی‌زیمنس بر متر (M2)، آبیاری با مخلوط آب شور و غیرشور با ۲/۸۵ EC دسی‌زیمنس بر متر (M_3)، آبیاری تناوبی با آب شور و غیرشور (M_4) و آبیاری یک در میان جویچه‌ها به‌طور همزمان با آب شور و غیرشور (M_5) را روی رشد ذرت بررسی و مشاهده کردند که در تیمارهای M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5 به‌ترتیب ارتفاع گیاه برابر ۲۱۰، ۱۶۱، ۱۷۵، ۱۹۰ و ۲۰۱ سانتی‌متر بود به‌طوری‌که با شور شدن آب آبیاری ارتفاع ذرت کاهش معنی‌دار نشان داد. نجفی و سرهنگ‌زاده (۱۳۹۱) گزارش کردند که افزایش شوری خاک از ۰/۱۱ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش ۳۱ درصدی ارتفاع گیاه ذرت شد. نتایج بسیاری از محققان نشان دهنده کاهش سطح برگ بر اثر بالارفتن شوری خاک است. عباسی و همکاران (۱۳۸۱) گزارش کردند که با افزایش شوری خاک شاخص سطح برگ در گونه *آلوروپوس لیتورالیس*[1] کاهش یافت. در مطالعه شمس‌الدین سعید و فرحبخش (۱۳۸۸) سطح برگ ذرت بر اثر افزایش شوری خاک کاهش معنی‌دار نشان داد. به گونه‌ای که مقدار آن در تیمار شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، ۳۰۲۰ و در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر برابر ۱۷۱۴ سانتی‌متر مربع شد. فیکما و بیکر (۲۰۱۱) بین شاخص سطح برگ گیاه اکالیپتوس و شوری خاک برحسب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک رابطه عکس به‌صورت $LAI = 1.96 - 0.06\ EC_e$ با $r^2 = ۰/۷۶$ به‌دست آوردند. شریعتمداری و همکاران (۱۳۹۰) دریافتند که افزایش شوری خاک به ۹ دسی‌زیمنس بر متر، شاخص سطح برگ آفتابگردان را از ۳ در تیمار شاهد (۱ دسی‌زیمنس بر متر) به ۲ در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داد. بر اثر شوری میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. بر اساس گزارش رضایی و همکاران (۱۳۸۳) شوری خاک باعث کاهش مقدار کلروفیل در هر دو رقم

[1] *Aeluropus littoralis*

www.SID.ir

Archive of SID

پنبه شد، به‌طوری که با افزایش شوری از ۰/۶ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کلروفیل a+b در رقم ساحل (نیمه متحمل به شوری) از ۱۴ به ۲/۵ و در رقم سای-اکرا (مقاوم به شوری) از ۱۶ به ۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ رسید. چایوام و کیردمانی (۲۰۰۹) اثر شوری NaCl را روی ذرت بررسی و مشاهده کردند که با افزایش شوری خاک از ۰ تا ۴۰۰ میلی‌مولار NaCl، مقدار کلروفیل a از ۲۰۰ به ۴۵/۲، مقدار کلروفیل b از ۸۷/۸ به ۲۸ و مقدار کلروفیل کل از ۲۸۸/۲ به ۷۳ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ رسید، به‌طوری‌که کاهش ۷۵ درصدی در مقدار کلروفیل کل برگ بر اثر شوری مشاهده شد. توران و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش شوری خاک از صفر به ۱۰۰ میلی-مولار NaCl مقدار کلروفیل کل ذرت از ۶/۱۳ به ۲/۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ کاهش یافت. شمس‌الدین سعید و فرحبخش (۱۳۸۸) گزارش کردند که افزایش شوری خاک از ۴ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش شاخص کلروفیل برگ ذرت از ۲۶ به ۱۲ (کاهش ۵۴ درصدی) شد. نجفی و سرهنگ‌زاده (۱۳۹۱) گزارش کردند که با افزایش شوری خاک تا سطح ۴ دسی‌زیمنس بر متر شاخص کلروفیل برگ‌ها در ذرت تغییر معنی-داری نکرد، ولی با افزایش شوری به بالاتر از ۴ دسی-زیمنس بر متر، شاخص کلروفیل کاهش معنی‌داری نشان داد.

تخریب خاک به‌خاطر اثرهای منفی آن بر قابلیت تولید کشاورزی[1] ، محیط زیست و تأثیر آن بر امنیت غذایی و کیفیت زندگی، یک چالش مهم جهانی برای قرن بیست‌ویکم باقی خواهد ماند (اسواران و همکاران ۲۰۰۱). تراکم خاک یکی از شکل‌های فیزیکی تخریب خاک است که ساختمان خاک را تغییر می‌دهد و بر قابلیت تولید خاک تأثیر منفی می‌گذارد. تراکم خاک باعث کاهش تخلخل کل و افزایش چگالی ظاهری خاک (پاگلیای و همکاران ۲۰۰۳) می‌شود. علاوه بر کاهش تعداد و حجم منافذ درشت، بر اثر تراکم هندسه منافذ، پیوستگی و مورفولوژی آنها نیز تغییر می‌کند (آلاکوکو ۲۰۱۰). تراکم خاک اتصال و پیوستگی منافذ را کم می-کند و به دنبال آن باعث کاهش سرعت نفوذ آب در خاک می‌شود و کاهش شدید هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را به همراه دارد (هاکانسون و مدودوف ۱۹۹۵). ریچارد و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک به‌عنوان تابعی از خیسی خاک، به‌طور کلی بر اثر تراکم خاک کاهش یافت اما در بعضی دامنه-های تراکم و پتانسیل‌های پایین آب، هدایت هیدرولیکی غیراشباع در خاک متراکم در مقایسه با خاک غیرمتراکم بالاتر بود. تراکم خاک باعث کاهش پخش اکسیژن می-شود که این مسئله می‌تواند موجب ایجاد شرایط بی-هوازی در خاک‌های متراکمی که مصرف اکسیژن سریع‌تر از انتشار آن است، شود (اسچنور–پوتز و همکاران ۲۰۰۶). غرقاب سطحی و عدم حضور اکسیژن در خاک‌های متراکم منجر به کاهش پتانسیل رداکس و تشکیل شکل‌های احیا شده آهن (Fe^{2+}) می‌شود (پونامپروما ۱۹۸۵).

مطالعات متعددی اثرهای مستقیم تراکم خاک را روی ویژگی‌های مختلف گیاهان نشان داده است. معلمی اوره و کارپرورفرد (۱۳۸۵) اثر چهار الگوی تردد تراکتور (بدون تردد اضافی، تردد بین خطوط کشت، تردد روی ردیف کشت و تردد در کل زمین) را روی ارتفاع و سرعت رشد ذرت مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند ارتفاع و سرعت رشد ذرت در تیماری که تردد تراکتور در کل زمین صورت گرفته بود، نسبت به تیمار بدون تردد اضافی، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در مطالعه اسکینر و همکاران (۲۰۰۹) تراکم خاک تا چگالی ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب تأثیری روی ارتفاع گیاه ولپیا و اکالیپتوس نگذاشت. بر اساس گزارش رمضان و همکاران (۲۰۱۲) بیشترین ارتفاع گیاه ذرت زمانی به دست آمد که عبور تراکتوری از مزرعه صورت نگرفت اما در شرایطی که تراکتور چهار بار از خاک مزرعه عبور کرد ارتفاع گیاه کمترین شد. آنان گزارش کردند که اختلافات معنی‌دار مشاهده شده برای ارتفاع گیاه ذرت در تیمارهای خاک فشرده ممکن است به کاهش توانایی ریشه‌ها در نفوذ به لایه‌های عمیق جهت جذب رطوبت و مواد غذایی مرتبط باشد که رشد

[1] Agronomic productivity

www.SID.ir

Archive of SID

و توسعه ذرت را کند یا متوقف ساخته و ساختار آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گرزسیاک (۲۰۰۹) گزارش کرد که بر اثر افزایش چگالی ظاهری خاک، سطح برگ ذرت و تریتیکاله کاهش معنی‌دار نشان داد. با افزایش چگالی ظاهری از ۱/۳ به ۱/۵۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سطح برگ در ذرت از ۱/۱۶۹ به ۰/۸۱ متر مربع و در تریتیکاله از ۰/۴۳۶ به ۰/۳۲۷ متر مربع کاهش یافت. به گزارش اخوان و همکاران (۱۳۹۱) تراکم خاک روی سطح برگ گندم اثر معنی‌دار داشت. در مطالعه آنها تراکم ۱۰ درصد و ۲۰ درصد در خاک رسی به ترتیب باعث کاهش سطح برگ به میزان ۸ و ۴۸ درصد و در خاک شنی به ترتیب به میزان ۳۶ و ۴۵ درصد شد. اخوان و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که شاخص کلروفیل برگ‌های گندم در بین تیمارهای تراکم خاک تفاوت معنی‌دار داشتند. در تیمار ۲۰ درصد تراکم خاک کمترین مقدار شاخص کلروفیل (۳۲/۷۸) و در تیمار صفر درصد تراکم خاک بیشترین مقدار شاخص کلروفیل (۴۱/۳۶) به دست آمد.

در ارتباط با تأثیر توأم شوری و تراکم خاک بر ویژگی‌های رشد ذرت مطالعات چندانی صورت نگرفته است و به ویژه در ایران اطلاعاتی در خصوص تأثیر تراکم خاک بر رشد و عملکرد محصول در خاک‌های شور وجود ندارد که بتوان به‌عنوان منابع به آنها رجوع کرد. کنترل این دو پدیده یکی از کلیدهای مدیریت تولید محصول است که پایداری و ثبات تولید و استفاده بهینه از زمین را تضمین می‌نماید. پس در چنین شرایطی برای دستیابی به عملکرد مطلوب، بعد از شناخت ویژگی‌های آب و خاک، اطلاع از رفتار گیاهان مختلف در مقابل شوری و تراکم خاک، کاری بنیادی محسوب می‌شود. لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر توأم شوری و تراکم خاک بر برخی شاخص‌های رشد ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در گلخانه واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز با میانگین دمای ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس در روز و ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس در شب و رطوبت نسبی ۳۰ تا ۴۰ درصد انجام شد. برای تهیه خاک مورد نیاز آزمایش از قسمت سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) مزرعه در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز نمونه مرکب تهیه شد که پس از هوا خشک کردن از الک ۴/۷۵ میلی‌متری گذرانده شد. از لوله‌های پی‌وی‌سی به قطر ۱۵ سانتی‌متر (۶ اینچ) و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر به‌عنوان گلدان استفاده شد.

بافت خاک مورد مطالعه به‌روش هیدرومتر و با چهار قرائت (گی و بأدر ۱۹۸۶)، مقدار ماده آلی نمونه-های خاک به روش اکسایش تر (نلسون و سامرس ۱۹۹۶)، درصد کربنات کلسیم معادل خاک به‌روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (جکسون ۱۹۵۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌وسیله روش سه مرحله‌ای باور (۱۹۵۲) و pH و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک مورد مطالعه به ترتیب توسط دستگاه pHمتر و ECمتر اندازه‌گیری شد (ریچارد ۱۹۶۹).

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور هر کدام در سه سطح و با سه تکرار در خاک مذکور اجرا شد. فاکتور اول شوری خاک بود که در سه سطح ۱/۵ (سطح شوری خاک مورد استفاده)، ۲/۵ و ۴/۵ دسی زیمنس بر متر اعمال شد. این سطوح شوری براساس معادله ماس و هافمن (۱۹۹۷) و با توجه به آستانه تحمل ذرت به شوری خاک در نظر گرفته شد. برای تهیه خاک‌هایی با EC ذکر شده با افزودن مقادیر متفاوت NaCl به‌صورت محلول به یک کیلوگرم خاک و اندازه‌گیری EC عصاره اشباع، ابتدا یک رابطه خطی بین مقدار NaCl اضافه شده به خاک و EC عصاره اشباع در خاک مورد مطالعه به صورت $ECe\ (dS/m)=9.9043NaCl\ (g/kg)$ با $R^2 = 0.9992$ به‌دست آمد، سپس از روی آن مقادیر مورد نیاز NaCl برای رسیدن به سطح EC مورد نظر در خاک، در آب لازم جهت رساندن رطوبت خاک به ۱۶ درصد جرمی حل شده و به خاک اضافه شد. فاکتور دوم تراکم خاک بود که سطوح آن براساس آزمایش‌های مقدماتی و با توجه به مقاومت مکانیکی ایجاد شده در رطوبت ۱۶ درصد جرمی (رطوبتی که در کمتر از آن در این خاک

www.SID.ir

Archive of SID

چگالی‌های بالاتر ایجاد نمی‌شود و در بیشتر از آن مقاومت مکانیکی ایجاد شده برای چگالی‌های بالا، تفاوت زیادی با چگالی‌های پایین نمی‌کند)، در مقادیر چگالی ظاهری ۱/۳، ۱/۵۵ و ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب ایجاد شد. ارتفاع خاک در داخل همه گلدان‌ها مساوی و ۳۰ سانتی‌متر بود. مقدار خاک مورد نیاز در رطوبت جرمی ۱۶ درصد در هر سطح شوری با توجه به حجم گلدان و چگالی ظاهری مورد نظر، از روابط زیر محاسبه شد:

$$m_w = Db_w \times V_t \quad [۱]$$

$$Db_w = Db_d (1 + \theta_m) \quad [۲]$$

$$V_t = \pi r^2 h \quad [۳]$$

در روابط بالا m_w وزن خاک مرطوب (g)، Db_d و Db_w به ترتیب چگالی ظاهری خشک و مرطوب (g/cm^3)، V_t حجم گلدان (cm^3)، θm رطوبت جرمی خاک (g/g)، r شعاع گلدان (cm) و h ارتفاع گلدان می‌باشد.

مقدار خاک محاسبه شده (m_w) برای هر سطح چگالی ظاهری و برای هر گلدان به ۵ قسمت مساوی تقسیم شد تا تراکم خاک در آن در ۵ مرحله صورت پذیرد تا تراکم نسبتاً یکنواختی در خاک گلدان‌ها ایجاد شود. تراکم با استفاده از وزنه ۴/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری به‌صورت سقوط آزاد بر سطح خاک گلدان‌ها رها می‌شد، ایجاد شد.

بعد از ایجاد سطوح شوری و تراکم در هر گلدان ۶ بذر ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ قرار داده شد و برای اینکه گیاه بتواند به‌راحتی جوانه زده و با تنش شوری و محدودیت چگالی ظاهری مواجه نشود، روی بذور موجود در داخل هر گلدان، ۵ سانتی‌متر خاک معمولی ریخته شد. آبیاری گلدان‌ها در طول سه ماه آزمایش از طریق توزین و با آب مقطر انجام گرفت. بدین ترتیب که با کنترل وزن گلدان‌ها توسط ترازوی با دقت ۱± گرم، هر زمان نیاز به آبیاری بود، انجام می‌شد تا گیاه با کم‌آبی مواجه نشود. برای اینکه سطوح شوری ایجاد شده در خاک تغییر نکند، آبیاری با آب مقطر انجام شد. بعد از سبز شدن ۴ تا از بوته ها حذف شده و ۲ بوته سالم و شاداب تر حفظ شد که بر روی این دو بوته اندازه‌گیری‌های گیاهی صورت گرفت.

بعد از رشد گیاه و در مرحله سه برگی اندازه‌گیری شاخص‌های رشد شروع و در مرحله قبل از گلدهی از نظر فنولوژی خاتمه یافت. ارتفاع گیاه با خط‌کش از سطح خاک تا انتهای جوان‌ترین برگ (داسیلوا و کی ۱۹۹۷) اندازه گیری شد و وزن خشک بخش هوایی به‌وسیله ترازوی حساس (۰/۰۰۱± گرم) تعیین شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ، به تعداد ۱۰ برگ در اندازه‌های مختلف در هر تیمار شوری انتخاب شده و روی هم قرار داده شدند، از قسمت پهنک برگ ۱۰ تا دیسک دایره ای با مساحت مشخص تهیه شد و در داخل آون قرار داده شد تا وزن خشک آنها به‌دست آید. سپس همه برگ‌های هر گلدان جدا شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا خشک گردند. از روی رابطه زیر سطح برگ در هر گلدان به دست آمد:

$$A_L = W_L \times (A_D/W_D)$$

که در آن A_L مساحت برگ هر گلدان (cm^2)، W_L وزن خشک برگ‌های هر گلدان (g)، A_D میانگین مساحت دیسک‌ها (cm^2) و W_D میانگین وزن خشک دیسک‌ها (g) می‌باشد. شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر Hansatech مدل CL-01 تعیین شد. برای این منظور در هر بوته سه تا برگ توسعه یافته انتخاب شد و مقدار شاخص کلروفیل آنها اندازه‌گیری و میانگین آنها به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ در هر بوته گزارش شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس جدول۱ بافت خاک مورد آزمایش لوم شنی است که جزء گروه خاک‌های نسبتاً درشت بافت به شمار می‌رود (بای-بوردی ۱۳۸۲). ماده آلی و پتاسیم خاک زیاد بوده و فسفر خاک خیلی زیاد است. بنابراین از نظر NPK، حداقل عناصر کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک خیلی زیاد است و pH آن در محدوده قلیایی قوی قرار دارد (نیشابوری و ریحانی‌تبار ۱۳۸۹).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	کلاس بافتی (USDA)	OC (٪)	CEC (meq/100 g)	pH_e	CCE (٪)	EC_e (dS/m)	رطوبت (٪) معادل ۱۰ kPa
۶۲/۸	۲۲/۵	۱۴/۷	لوم شنی	۲/۱	۷۵/۵	۸/۷	۲۰/۵	۱/۵	۱۸/۹

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری و تراکم خاک بر برخی شاخص‌های رشد ذرت

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع گیاه	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه	S/R	سطح برگ	شاخص کلروفیل
شوری خاک	۲	۲۲۶/۰۶**	۳۰/۱۱**	۴/۷۰**	۰/۰۱$^{n.s}$	۳۸۶۴۰۹/۲**	۵/۵۹*
تراکم خاک	۲	۲۲۵/۴۶**	۳۳/۹۵**	۷/۲۷**	۰/۰۰۵$^{n.s}$	۱۱۸۱۶۹/۴*	۵۹/۲۵**
شوری × تراکم	۴	۴۵/۰۷*	۱۰/۱۶*	۱/۹۳*	۰/۰۰۳$^{n.s}$	۵۵۵۷۱/۶$^{n.s}$	۳/۷۹**
خطای آزمایشی	۱۶	۱۲/۴۳	۳/۲۳	۰/۴۹	۰/۰۲	۳۱۵۷۴/۰	۱/۲۴
تکرار	۲	۱۱/۱۵$^{n.s}$	۱/۱۸$^{n.s}$	۰/۴۴$^{n.s}$	۰/۰۹$^{n.s}$	۳۸۹۹۴/۲$^{n.s}$	۲/۵۰$^{n.s}$
ضریب تغییرات (٪)	-	۴/۱۱	۱۴/۳۱	۱۲/۸۲	۶/۰۴	۱۱/۳۸	۱۹/۴۱

S/R: نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه

n.s، *، ** به ترتیب تفاوت غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ارتفاع گیاه

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی شوری و تراکم خاک و اثر متقابل آنها بر ارتفاع گیاه ذرت معنی‌دار بود (جدول۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع ذرت در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین آن در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (جدول ۳). به‌طوری‌که بر اثر افزایش شوری خاک از ۱/۵ به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر، ارتفاع گیاه ۱۲ درصد کاهش نشان داد. با توجه به اینکه آستانه تحمل ذرت نسبت به شوری خاک، ۱/۷ دسی-زیمنس بر متر است (ماس و هافمن ۱۹۹۷) ولی همانطور که در شکل جدول ۳ نشان داده شده است، ارتفاع گیاه در شوری ۱/۵ و ۲/۵ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد. نتیجه به دست آمده با نتایج مولوی و همکاران (۱۳۹۰) و نجفی و سرهنگ‌زاده (۱۳۹۱) مبنی بر کاهش ارتفاع ذرت بر اثر افزایش شوری خاک، مطابقت داشت. بر اثر افزایش غلظت املاح در خاک، پتانسیل اسمزی و به دنبال آن پتانسیل آب در خاک کاهش می‌یابد که این مسئله باعث افزایش تنفس و کاهش ارتفاع و عملکرد گیاه می‌گردد(حیدری شریف‌آباد (۱۳۸۰).

ارتفاع ذرت تحت تأثیر تراکم خاک نیز قرار گرفت، در چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بالاترین و در چگالی ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب پایین‌ترین ارتفاع ذرت مشاهده شد (جدول ۳). به-طوری که در چگالی ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نسبت به چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب حدود ۱۲ درصد ارتفاع گیاه کاهش یافت. همانطور که در جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود، بین سه سطح چگالی ظاهری تفاوت آماری معنی‌داری از نظر ارتفاع گیاه وجود دارد. این نتایج با یافته‌های رمضان و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد که بر اثر افزایش چگالی ظاهری و متراکم شدن خاک ارتفاع ذرت کاهش می‌یابد. تراکم خاک باعث کاهش تخلخل خاک، به‌ویژه کاهش منافذ درشت در خاک می‌شود که این مسئله در رشد ریشه ایجاد محدودیت می‌کند. کاهش جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه بر اثر تراکم خاک از دیگر اثرهای تراکم در خاک است که همه اینها رشد ریشه را مختل می‌کنند و به دنبال آن رشد ساقه کاهش می‌یابد و گیاه کوتاهتر می‌ماند. اثر متقابل شوری و تراکم خاک نسبت به اثر جداگانه آنها، ارتفاع ذرت را بیشتر کاهش

www.SID.ir

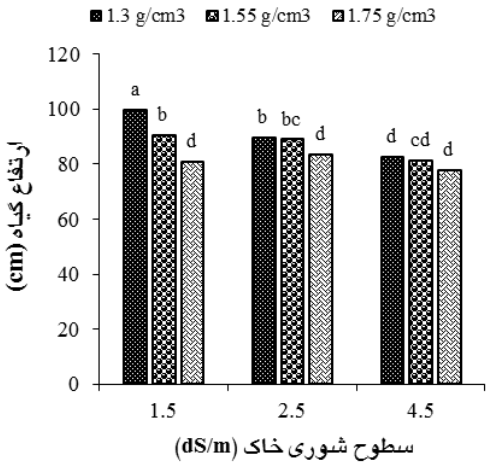
Archive of SID

داد (شکل ۱). به گونه ای که باعث کاهش ۲۲ درصدی ارتفاع گیاه شد. به عبارت دیگر خاک شوری که متراکم شده بود، بیشتر از خاک غیرشور متراکم و خاک شور غیرمتراکم، ارتفاع ذرت را کاهش داد. این مسئله نشان دهنده آن است که دو فاکتور شوری و تراکم خاک اثر مضر همدیگر را در کاهش ارتفاع ذرت تشدید کرده‌اند. ساکیب و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند که تراکم خاک اثر منفی شوری خاک بر ارتفاع گندم را تشدید کرد.

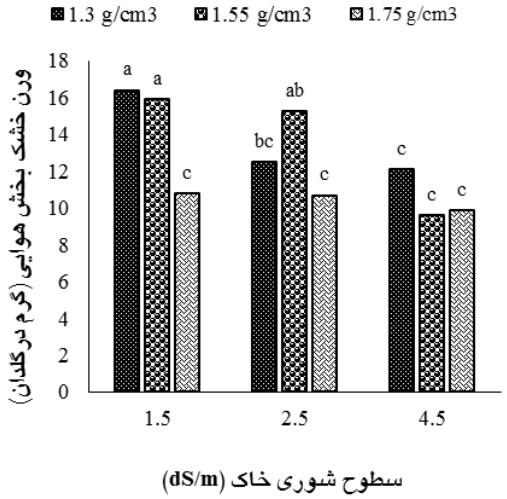
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های مقادیر برخی شاخص‌های رشد ذرت تحت تأثیر شوری و تراکم خاک

فاکتور اصلی	سطح	ارتفاع گیاه (cm)	وزن خشک بخش هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	S/R	سطح برگ (cm^2)	شاخص کلروفیل
شوری (dS/m)	۱/۵	۹۰/۲ a	۱۳/۶۴ a	۵/۹۴ a	۲/۳۰ a	۱۷۴۹ a	۶/۶ a
	۲/۵	۸۶/۹ a	۱۳/۵۸ a	۵/۸۹ a	۲/۳۱ a	۱۵۹۶ a	۵/۶ ab
	۴/۵	۸۰/۳ b	۱۰/۴۴ b	۴/۶۶ b	۲/۲۴ a	۱۳۳۹ b	۵/۰ b
تراکم (g/cm^3)	۱/۳۰	۹۰/۳ a	۱۴/۳۶ a	۶/۳۴ a	۲/۲۶ a	۱۶۵۲ a	۸/۱ a
	۱/۵۵	۸۶/۷۶۸ b	۱۲/۸۰ a	۵/۶۱ b	۲/۲۸ a	۱۵۹۹ a	۶/۲ b
	۱/۷۵	۸۰/۴ c	۱۰/۴۹ b	۴/۵۵ c	۲/۳۱ a	۱۴۳۲ b	۳/۰ c

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ارتفاع ذرت در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های وزن خشک بخش هوایی در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک

وزن خشک بخش هوایی

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی شوری و تراکم خاک و اثر متقابل آنها بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین وزن خشک بخش هوایی در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین آن در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۳). بر اثر افزایش شوری خاک از ۱/۵ به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک بخش هوایی در حدود ۲۱ درصد کاهش یافت. وزن خشک بخش هوایی در شوری ۱/۵ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌دار آماری نشان نداد ولی در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

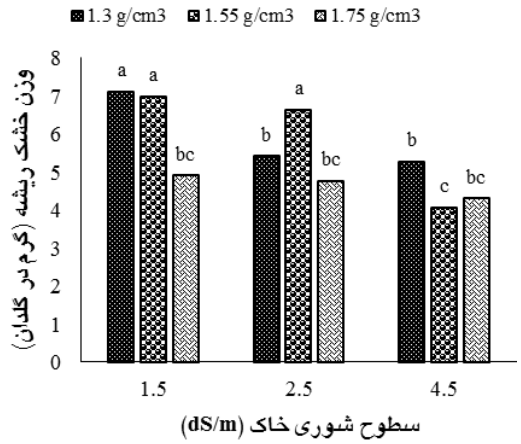
معنی‌دار مشاهده شد که در جدول ۳ نیز ملاحظه می‌شود. بر اثر بالا رفتن شوری خاک ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ و سطح برگ کاهش می‌یابد که این مسئله باعث کاهش وزن بخش هوایی می‌شود. بر اثر تراکم خاک نیز وزن بخش هوایی ذرت کاهش یافت به‌طوری که با افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۳ به ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، وزن خشک بخش هوایی ذرت ۲۷ درصد کاهش یافت. بیشترین وزن بخش هوایی در چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین آن در چگالی ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد (جدول ۳). این نتایج با نتایج توبیله و همکاران (۲۰۰۳) مشابهت دارد. در مطالعه آنان افزایش چگالی ظاهری از ۱/۳ به ۱/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب باعث کاهش وزن بخش هوایی ذرت از ۱/۳۱ به ۱/۰۵ گرم شد. همانطور که در تفسیر اثر شوری خاک نیز ذکر شد، افزایش تراکم باعث کاهش رشد ساقه، قطر ساقه، تعداد و سطح برگ می‌شود و بنابراین وزن خشک بخش هوایی کمتر می‌شود (لیپیک و همکاران، ۱۹۹۶). اثر توأم شوری و تراکم خاک باعث کاهش ۴۰ درصدی وزن خشک بخش هوایی شد (شکل ۲). این کاهش وزن خشک بخش هوایی نسبت به حالتی که کاهش وزن بر اثر شوری و تراکم خاک به تنهایی ایجاد شد، به ترتیب ۱۷ و ۱۳درصد بیشتر شد. در مطالعه ساکیب و همکاران (۲۰۰۴) نیز کمترین وزن کاه و کلش گندم در تیمار خاک شور متراکم مشاهده شد.

وزن خشک ریشه

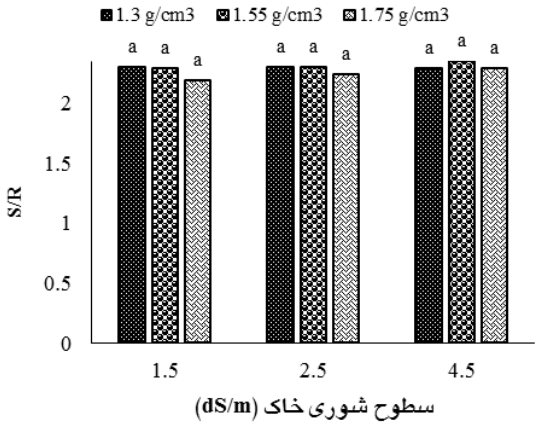
وزن خشک ریشه در بین سطوح شوری تفاوت معنی‌دار داشت. اثر تراکم خاک نیز بر وزن خشک ریشه معنی‌دار شد. وزن خشک ریشه تحت تأثیر متقابل شوری و تراکم خاک نیز قرار گرفت (جدول ۲). در بین سطوح شوری، بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار آن در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. بین سطح شوری ۱/۵ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر از نظر وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری حاصل نشد. افزایش شوری از ۱/۵ به ۲/۵ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک ریشه را به ترتیب حدود ۰/۷ و ۲۱ درصد کاهش داد. در خاک‌های شور، تجمع املاح در اطراف ریشه باعث ایجاد تنش آب (بر اثر افزایش فشار اسمزی) و سمیت یونی می‌شود و رشد ریشه را با مشکل مواجه می‌کند. در بین سطوح تراکم خاک کمترین مقدار وزن ریشه (۴/۵۵ گرم) در چگالی ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد و با کاهش چگالی ظاهری خاک، مقدار آن بیشتر شد به‌طوری که در چگالی ظاهری ۱/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به ۵/۶۱ گرم و در چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب به ۶/۳۴ گرم افزایش یافت (جدول ۳) که نشان دهنده اختلاف حدود ۲۸ درصدی در وزن ریشه بین بالاترین و پایین‌ترین سطح چگالی ظاهری است. نتیجه به دست آمده با نتایج گرزسیاک (۲۰۰۹) توبیله و همکاران (۲۰۰۳) مشابهت دارد. تراکم خاک از ریشه‌دوانی و رشد و توسعه ریشه گیاه در خاک جلوگیری می‌کند. به دنبال آن حجم خاک در معرض ریشه کاهش می‌یابد و ریشه از جذب آب و مواد غذایی محروم می‌ماند. به همین خاطر وزن خشک ریشه در سطوح بالای تراکم خاک کمتر به دست می‌آید. وزن خشک ریشه ذرت تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل شوری و تراکم خاک نیز قرار گرفت. در تیماری که ECe آن ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و چگالی ظاهری آن ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود، بیشترین مقدار وزن ریشه حاصل شد. در حالی که کمترین مقدار آن در ترکیب تیماری EC، ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و چگالی ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد. در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش چگالی ظاهری خاک، وزن ریشه ابتدا کاهش جزئی نشان داد ولی بعد از آن به‌شدت کاهش یافت در حالی که در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش چگالی ظاهری، وزن ریشه ابتدا افزایش سپس کاهش نشان داد. افزایش چگالی ظاهری در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر نیز، ابتدا باعث کاهش شدید وزن خشک ریشه شد سپس وزن ریشه اندکی افزایش یافت (شکل ۳). مقاومت و ممانعت مکانیکی ایجاد شده بر اثر تراکم خاک از رشد و نفوذ ریشه در خاک می‌کاهد. اگر چنانچه این خاک شور هم باشد گیاه با مشکلات تغذیه‌ای مواجه شده و رشد ریشه و بخش هوایی آن با مشکل رو به رو می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک

نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه (S/R)

اثر شوری بر S/R معنی‌دار نشد (جدول ۳). در مطالعه نجفی و سرهنگ‌زاده (۱۳۹۰) افزایش شوری از صفر به ۸ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش S/R شد. اثر تراکم خاک نیز بر S/R معنی‌دار نشد ولی با افزایش چگالی ظاهری از ۱/۳ به ۱/۷۵ مقدار S/R افزایش یافت (جدول ۳). در حالیکه در مطالعه اخوان و همکاران (۱۳۹۱) افزایش تراکم خاک از صفر به ۲۰ درصد منجر به کاهش S/R گردید. در بحث اثر متقابل شوری و تراکم خاک، همانطور که در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود، در شوری ۱/۵ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش چگالی ظاهری، S/R کاهش یافت در حالی که در چگالی ظاهری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر این روند مشاهده نشد. کاهش S/R بر اثر شوری و تراکم خاک، نشان دهنده آن است که ریشه بیشتر از ساقه تحت تأثیر تراکم خاک قرار می‌گیرد.

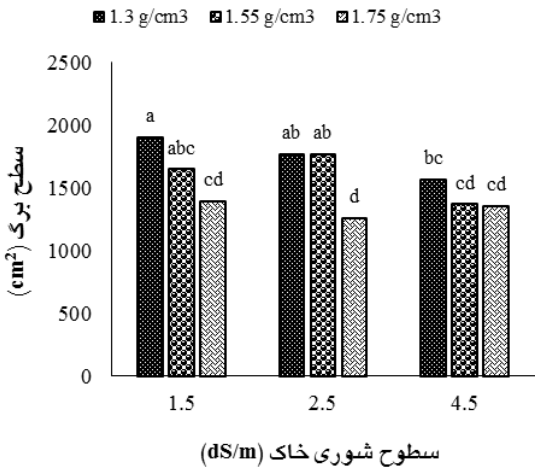
سطح برگ

اثر شوری و تراکم خاک به تنهایی بر سطح برگ ذرت معنی‌دار شد ولی اثر متقابل آنها از نظر آماری بر سطح برگ معنی‌دار نشد (جدول ۲). اثر شوری تا ECe، ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش معنی‌دار سطح برگ نشد ولی با افزایش ECe، به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر، سطح برگ حدود ۲۳ درصد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج شمس‌الدین سعید و فرحبخش (۱۳۸۸) نیز تأیید کننده نتیجه به دست آمده در این تحقیق است. کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها که بر اثر شوری خاک اتفاق می‌افتد، منجر به کاهش رشد و توسعه سلول‌ها خصوصاً در ساقه و برگ‌ها می‌شود. به همین خاطر اثر مشهود شوری بر گیاهان به‌صورت تعداد کمتر برگ‌ها، اندازه کوچکتر آنها و ارتفاع کمتر گیاهان مشاهده می‌شود. از طرف دیگر چون شوری موجب اختلال در جذب عناصر غذایی و برهم زدن تعادل یونی می‌گردد (میرمحمدی میبدی و قره‌یاضی ۱۳۸۱)، بنابراین می‌توان کاهش رشد و توسعه برگ‌ها و ساقه را به کمبود عناصر غذایی و اختلالات غذایی ناشی از شوری نسبت داد. افزایش چگالی ظاهری از ۱/۳ به ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب موجب کاهش حدود ۱۳ درصدی سطح برگ ذرت شد. بیشترین مقدار سطح برگ در چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین آن در

www.SID.ir

Archive of SID

چگالی ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب حاصل شد (جدول ۳). نتیجه حاصل شده با نتایج توبیله و همکاران (۲۰۰۳) مشابهت دارد. در مطالعه آنان با افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۳ به ۱/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سطح برگ ذرت حدود ۱۶ درصد کاهش یافت. علت احتمالی کاهش رشد برگ (تعداد و مساحت) در اثر تراکم خاک، محدودیت در تأمین آب و مواد غذایی توسط گیاه است که به‌خاطر توقف رشد سیستم ریشه‌ای و کاهش تأمین کربن گیاه ایجاد می‌شود (گرزسیاک و همکاران ۲۰۱۳).



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های سطح برگ در گلدان در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک

شاخص کلروفیل برگ

شاخص کلروفیل برگ در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک تفاوت معنی‌دار داشت. اثر متقابل شوری و تراکم خاک نیز بر شاخص کلروفیل از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۲). از بین سطوح شوری خاک، در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر کمترین مقدار شاخص کلروفیل با میانگین ۵/۰۴ و در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین مقدار شاخص کلروفیل با میانگین ۶/۶۰ به دست آمد. شاخص کلروفیل در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌دار آماری با شوری ۱/۵ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر نداشت ولی شوری‌های ۱/۵ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف آماری معنی‌دار داشتند (جدول ۳). این نتیجه با نتایج رضایی و همکاران (۱۳۸۳) و چایوام و کیردمانی (۲۰۰۹) مطابقت دارد. برخی پژوهشگران تغییر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین را که بر اثر شوری برای تنظیم اسمزی به کار می‌رود، علت کاهش کلروفیل گزارش کرده‌اند. برخی دیگر هم اختلال تغذیه‌ای بر اثر شوری را دلیل کاهش کلروفیل عنوان کرده‌اند. از دیگر دلایل کاهش مقدار کلروفیل، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (ردی و ورا ۱۹۸۶) و تجمع یونی در برگ‌ها (یئو و فلاورز ۱۹۸۳) است. شاخص کلروفیل به صورت قابل توجهی تحت تأثیر تراکم خاک قرار گرفت. شاخص کلروفیل در هر سه سطح چگالی ظاهری تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). بین بالاترین و پایین‌ترین سطح چگالی ظاهری از نظر شاخص کلروفیل برگ، حدود ۶۳ درصد اختلاف مشاهده شد که قابل توجه است. نتایج اخوان و همکاران (۱۳۹۱) نیز با نتایج به دست آمده در این تحقیق مشابهت دارد. اثر متقابل شوری و تراکم خاک تأثیر قابل توجهی بر شاخص کلروفیل گذاشت. بیشترین مقدار شاخص کلروفیل (۹/۸۹) در ترکیب تیماری EC ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین مقدار (۲/۶۵) آن در ترکیب تیماری EC، ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و چگالی ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. به طوری که بین آنها ۷۳ درصد تفاوت بود. نتایج به دست آمده نشان دهنده کاهش شاخص کلروفیل بر اثر بالا رفتن سطوح شوری و تراکم خاک بود (شکل ۶).

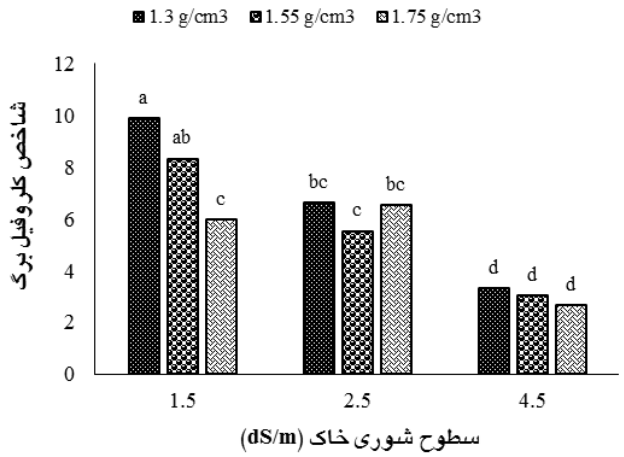
نتیجه‌گیری کلی

با افزایش سطح شوری خاک، ارتفاع گیاه، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح برگ و شاخص کلروفیل ذرت به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. به‌طوری که درصد کاهش از ۱۰ تا ۲۴ درصد نوسان داشت. با افزایش سطح تراکم خاک نیز مقادیر پارامترهای مذکور کاهش معنی‌دار (از ۱۱ تا ۶۳ درصد) نشان داد. اثر متقابل شوری و تراکم خاک نسبت به اثرهای اصلی آنها بر ارتفاع گیاه، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک

www.SID.ir

Archive of SID

ریشه و شاخص کلروفیل شدیدتر تأثیر گذاشته و منجر به کاهش (از ۲۲ تا ۷۳ درصد) شاخص‌های مذکور شد. نتیجه‌گیری می‌شود که تنش شوری و تراکم خاک به صورت توأم نسبت به اثرهای جداگانه‌ی آنها رشد ذرت را بیشتر محدود کرده و موجب اختلال در رشد و توسعه آن می‌شوند.



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برگ در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک

منابع مورد استفاده

اخوان س، شعبانپور م و اصفهانی م، ۱۳۹۱. اثر تراکم و بافت خاک بر رشد ریشه و اندام هوایی گندم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۳، صفحه‌های ۷۲۷ تا ۷۳۵.

بایبوردی م، ۱۳۸۲. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران.

بی‌نام، ۱۳۹۰. آمارنامه‌های کشاورزی. دفتر آمار و فناوری اطلاعات. تهران.

حیدری شریف‌آباد ح، ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران.

رضائی مع، خاوری‌نژاد رع و فهیمی ح، ۱۳۸۳. پاسخ فیزیولوژیک گیاه پنبه به شوری‌های مختلف خاک. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۶۲، صفحه‌های ۸۱ تا ۸۹.

شریعتمداری مح، زمانی غ و سیاری مح، ۱۳۹۰. اثرهای شوری و محلولپاشی آهن بر شاخص سطح برگ، درصد جذب نور و رابطه ی آنها با عملکرد دانه آفتابگردان. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۹، شماره ۲، صفحه‌های ۲۸۵ تا ۲۹۳.

شمس‌الدین سعید م و فرحبخش ح، ۱۳۸۸. اثر تنش شوری بر عملکرد و برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک دو هیبرید ذرت در منطقه کرمان. تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۲، شماره ۱۰، صفحه‌های ۱۳ تا ۲۴.

عباسی ف، خاوری‌نژاد ر، کوچکی ع و فهیمی ح، ۱۳۸۱. اثر تنش شوری بر خصوصیات رشد و جنبه‌های فیزیولوژیکی گونه. بیابان، جلد ۷، شماره ۱، صفحه‌های ۱۰۱ تا ۱۱۰.

عباسی ف، کوچکی ع و جعفری آ، ۱۳۸۸. ارزیابی جوانه‌زنی و رشد رویشی گیاه روناس (*Rubia tinctorum L.*) در غلظت‌های مختلف NaCl. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۷، شماره ۲، صفحه‌های ۵۱۵ تا ۵۲۵.

معلمی اوره ع و کارپرورفرد سح، ۱۳۸۵. اثر تراکم خاک ناشی از تردد تراکتور بر رشد و عملکرد ذرت آبی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۲، صفحه‌های ۵۷۹ تا ۵۹۴.

www.SID.ir

Archive of SID

مولوی ح، محمدی م و لیاقت ع، ۱۳۹۰. اثر مدیریت آب شور طی دوره رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و پروفیل شوری خاک. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی) ، جلد ۳۵، شماره ۳، صفحه‌های ۱۱ تا ۱۸.

مومنی ع، ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۴، شماره ۳، صفحه‌های ۲۰۳ تا ۲۱۵.

میرمحمدی میبدی س‌ن و قره‌یاضی ب، ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان. انتشارات مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

نجفی ن و سرهنگ‌زاده ا، ۱۳۹۱. اثر شوری و غرقاب شدن خاک بر ویژگی‌های رشد ذرت علوفه‌ای در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال ۳، شماره ۱۰، صفحه‌های ۱ تا ۱۴.

نیشابوری مر و ریحانی‌تبار ع، ۱۳۸۹. تفسیر نتایج آزمون خاک (این همه اعداد و ارقام چه معنی دارند؟). انتشارات دانشگاه تبریز.

Alakukku L, 2010. Soil compaction. Combacting Soil Degradation. University of Helsinki, Finland 28: 217-223.

Bower CA, 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science 730: 251-261.

Cha-um S and Kirdmanee C, 2009. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. Pakistan Journal Botany 41(1): 87-98.

da Silva AP, and Kay BD, 1997. Estimating least limiting water range of soils from properties and management. Soil Science Society of American Journal 61: 877–883.

Eswaran H, Lal R and Reich P, 2001. Land degradation: an overview. Pp. 35-45. Proceeding of 2nd International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. Oxford Press, New Delhi, India.

Feikema PM and Baker TG, 2011. Effect of soil salinity on growth of irrigated plantation Eucalyptus in south-eastern Australia. Agricultural Water Management 98:1180-1188.

Gee GW and Bauder JW, 1979. Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measured parameters. Soil Science Society of American Journal 43: 1004-1007.

Grzesiak MT, 2009. Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. Plant Root 3: 10-16.

Grzesiak S, Grzesiak MT, Hura T, Marcinska I and Rzepka A, 2013. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedling affected by soil compaction. Environmental and Experimental Botany.

Hakansson I and Medvedev VW, 1995. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. Soil Tillage Research 35: 85– 97.

Jackson ML, 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliff, 480 pp.

Lipiec J, Ishioka T, Szustak A, Pietrusiewicz J and Stepniewski W, 1996. Effects of soil compaction and transient oxygen deficiency on growth, water use and stomatal resistance of maize. Acta. Agric. Scand., B Soil Plant Science 46: 186–191.

Mass EV, and Hoffman GJ, 1997. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division 103: 115-134.

Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539-579 .In: Page AL, Miller RH, and Keeney DR, (eds). Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Pagliai M, Marsili A, Servadio P, Vignozzi N and Pellegrini S. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. Soil & Tillage Research 73: 119–129.

Ponnamperuma FN, 1985. Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. Pp. 71-89. Proceedings of a workshop. 26 March-5 April. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.

Ramazan M, Daraz Khan G, Hanif M and Ali S, 2012. Impact of soil compaction on root length and yield of corn (*Zea mays*) under irrigated condition. Middle-East Journal of Scientific Research 11(3): 382-385.

Reddy MP, Vora AB, 1986. Changes in pigment composition, hill reaction activity and saccharides metabolism in bajra (Pennisetum typhoides S&H) leaves under NaCl salinity. Photosynthica 20: 50 – 55.

Richard G, Cousin I, Sillon JF, Bruand A and Guerif J, 2001. Effect of compaction on soil porosity: consequences on hydraulic properties. European Journal of Soil Science 52: 49–58.

Richards LA, 1969. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook No 60. USDA. USA.

Saqib M, Akhtar J and Qureshi R, 2004. Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil I. Grain yield and yield components. Soil & Tillage Research 77: 169–177.

www.SID.ir

Archive of SID

Schnurr-Putz S, Guggenberger G and Kusell K, 2006. Compaction of forest soil by logging machinery favours occurrence of prokaryotes. FEMS Microbiology Ecology 58: 503–516.

Skinner AK, Lunt ID, Spooner P and McIntyre S, 2009. The effect of soil compaction on germination and early growth of Eucalyptus albens and an exotic annual grass. Austral Ecology 34: 698-704.

Tubeileh A, Groleau-Renaud V, Plantureux S and Guckert A, 2003. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize–soil system. Soil & Tillage Research 71: 151-161.

Turan MA, Elkarim AHN, Taban N, Taban S, 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. African Journal of Agricultural Research 4(9): 893-897.

Yeo AR, Flowers TJ, 1983. Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. Physiology Plant 59: 189 – 195.

www.SID.ir