نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد یازدهم، شماره سوم، پاییز ۹۷
۹۵-۷۹
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:

اثر خاک‌پوش و محلول‌پاشی سلنیوم و بور بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در خاک شور

فاطمه خدایی[۱]، *علیرضا ابدالی مشهدی[۲]، امین لطفی جلال‌آبادی[۳] و احمد کوچک‌زاده[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان،
[۲]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان،
[۳]استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲٤؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/٤/۱۷

چکیده

سابقه و هدف: سطح وسیعی از خاک‌های ایران شور است و پرورش گیاهان در این خاک‌ها با مشکلات متعددی از جمله مشکلات تغذیه‌ای همراه است. در چنین شرایطی عملکرد کمی و کیفی گیاهان کاهش می‌یابد. در این راستا و در شرایط خاک شور آزمایشی با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی برگی عناصر سلنیوم و بور و همچنین کاربرد دو نوع خاک‌پوش کلش گندم و کود گاوی در مقایسه با عدم کاربرد بر تعدادی از خصوصیات گیاه آفتابگردان انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی امکان افزایش کمیت و کیفیت محصول در شرایط خاک شور (در عمق صفر تا ٦۰ سانتی‌متر با میانگین هدایت الکتریکی ۸/٦۵ دسی‌زیمنس بر متر، پی‌اچ ۷/۸۵ و بافت خاک رسی‌سیلتی) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بر روی گیاه آفتابگردان (هیبرید قاسم) انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه خاک‌پوش (بدون خاک‌پوش، خاک‌پوش کلش گندم به میزان ۱۵ تن در هکتار، کود گاوی پوسیده به میزان ۳۰ تن در هکتار)، محلول‌پاشی سلنیوم به شکل سلنیت سدیم (عدم کاربرد، ۱۷ و ۳٤ میلی‌گرم در لیتر) و محلول‌پاشی بور از منبع اسید بوریک (عدم کاربرد و ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. آبیاری به‌صورت جوی پشته‌ای (نشتی) انجام شد. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، عملکرد روغن، درصد پروتئین دانه، محتوای سلنیوم دانه، محتوای بور دانه، شاخص برداشت روغن، شاخص برداشت دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه بود.

یافته‌ها: کاربرد خاکپوش‌ها به‌ویژه خاک‌پوش کلش گندم در مقایسه با عدم کاربرد خاک‌پوش بر بیشتر صفات مورد بررسی اثر مثبت داشت. کاربرد سلنیوم به‌صورت معنی‌داری محتوای سلنیوم دانه را نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد به‌طوری‌که بیشترین مقدر سلنیوم دانه (۰/۱٤ قسمت در میلیون) در بالاترین سطح محلول‌پاشی سلنیوم و کمترین محتوای سلنیوم دانه در عدم کاربرد آن (۰/۱۲ قسمت در میلیون) مشاهده شد. اثر اصلی تیمار محلول‌پاشی بور اثر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی نداشت ولی اثر متقابل سه‌گانه آن با محلول‌پاشی سلنیوم و خاک‌پوش بر روی

*مسئول مکاتبه: alirezaabdali@ramin.ac.ir

صفات مهمی مانند عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت معنی‌دار گردید. کاربرد سلنیوم به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش وزن هزار دانه شد به‌طوری‌که بیشترین وزن هزار دانه از عدم کاربرد سلنیوم (۵۵/۵۰ گرم) و کمترین وزن هزار دانه (۵۰/۵۵ گرم) از بالاترین سطح سلنیوم به‌دست آمد. اثر متقابل محلول‌پاشی سلنیوم و بور بر تعداد دانه در طبق اثر معنی‌دار داشت به طوری‌که کمترین تعداد دانه در طبق (۱۲۹۳ عدد) از عدم کاربرد سلنیوم و بور به‌دست آمد که به‌طور متوسط بیش از ۱۰۰ دانه کمتر از سایر ترکیبات تیماری بود. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد روغن به‌ترتیب با متوسط ٦٤٣١ و ۲۵۲۹ کیلوگرم در هکتار در حضور توأم محلول‌پاشی بور و کاربرد کلش گندم به‌دست آمد. تیمارها اثر معنی‌داری بر درصد روغن دانه (با میانگین ۳۵/۷۸ درصد) نداشتند. بیشترین پروتئین دانه (۲۵/٤٦ درصد) از تیمار کاربرد کلش گندم حاصل گردید.

نتیجه‌گیری: در شرایط خاک شور، در مجموع از میان سه تیمار به کار رفته در آزمایش، کاربرد خاک‌پوش کلش گندم بالاترین اثر مثبت را بر عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان داشت. کلش گندم در سطح خاک با ایجاد یک میکروکیلمای مناسب‌تر نسبت عدم کاربرد آن، شرایط بهتری را برای رشد و نمو آفتابگردان فراهم ساخت. با توجه به قیمت پایین‌تر خاک‌پوش گندم نسبت به سایر خاک‌پوش‌های موجود در بازار و نیز امکان دسترسی به آن در بیشتر نقاط کشور می‌توان با انجام آزمایشات بیشتر، کاربرد آن را در زراعت آفتابگردان در شرایط خاک‌های شور مشابه وضعیت اقلیمی در دشت خوزستان توصیه و ترویج نمود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، شاخص برداشت روغن، گیاه روغنی، مالچ کلش گندم

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گیاهی است که به‌خوبی می‌تواند تحت شرایط مختلف آب و هوایی و خاک رشد نماید. اگرچه هیبریدهای آفتابگردان دارای عملکرد دانه و اجزای عملکرد مشخصی هستند ولی گیاه هیبریدی، زمانی توان تولیدی خویش را آشکار می‌سازد که بتواند استفاده مؤثری از متغیرهای محیطی نماید؛ بنا بر این در بسیاری از موارد، پتانسیل ژنتیک هیبریدهای آفتابگردان تحت تأثیر فاکتورهای مختلف مؤثر بر رشد و عوامل محیطی قرار گرفته و کاهش می‌یابد (۱۱). یکی از جدی‌ترین تنش‌های محیطی در کشاورزی شوری خاک است و تخمین زده می‌شود که حدود یک میلیارد هکتار از کل اراضی جهان متأثر از شوری باشد (۲٤)؛ لذا با توجه به شور بودن سطح وسیعی از اراضی دنیا، لازم است که از این اراضی در جهت تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به افزایش استفاده گردد. شوری بالا ممکن است سبب ایجاد تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک شامل سمیت یون، تنش اسمزی، کمبود مواد مغذی و تنش اکسیداتیو شود که در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌گردد (۳۵). با وجود این‌که عناصر ریز مغذی به میزان کم موردنیاز گیاه هستند اما تأثیرگذاری بالایی بر فرآیندهای زیستی گیاه دارند. گاهی اوقات این عناصر موجود در خاک به‌دلیل شور بودن خاک و pH بالا توسط گیاه قابل‌جذب نیستند. تغذیه برگی روشی مناسب در مصرف و کاهش خطرات زیست‌محیطی کودهای شیمیایی است؛ بنابراین جهت استفاده بهینه از کودهای شیمیایی در مناطق خشک و بهبود کمی و کیفی محصول، مصرف کودها از طریق محلول‌پاشی

می‌تواند در اولویت قرار گیرد. سلنیوم با این‌که هنوز به‌عنوان یک عنصر ضروری گیاهی رده‌بندی نشده اما می‌توان نقش آن را به‌عنوان یک عنصر سودمند در گیاهان مورد توجه قرار داد (۳۲). برای وارد نمودن سلنیوم به رژیم غذایی انسان و دام، با توجه به هزینه‌ها و عوارض استفاده از مکمل‌های دارویی، مطالعات زیادی در مورد غنی‌سازی فرآورده‌های کشاورزی با این عنصر در سراسر دنیا در حال انجام است (۲۸). صرف‌نظر از اثر مفید سلنیوم در تحمل به تنش‌های محیطی در گیاهان، استفاده از این عنصر به‌عنوان کود می‌تواند موجب ورود آن به زنجیره غذایی دام و انسان شود (۳۷)؛ بنابراین غنی‌سازی زیستی محصولات زراعی با سلنیوم، از طریق کاربرد سلنیوم همراه با کودها، یک تکنیک مفید برای افزایش مصرف سلنیوم توسط حیوانات و انسان است (٦). سلنیوم نقش ضد پیری در گیاهان داشته و موجب به تأخیر انداختن پیری در گیاهان یک‌ساله می‌گردد (۹). در گزارشی بیان شد که عملکرد دانه آفتابگردان پس از کاربرد برگی سلنیوم، کاهش یافت (۲۷) در حالی‌که در آزمایشی دیگر مصرف خاک کاربرد و برگی سلنیوم اثری مثبت بر عملکرد دانه آفتابگردان داشت (۸). این نتایج متفاوت ممکن است به‌علت واکنش متفاوت ارقام، فصل کاشت، شیوه اعمال تیمارها و تفاوت شرایط اقلیمی به‌ویژه شرایط شیمیایی، زیستی و فیزیکی خاک در دو آزمایش بوده باشد. از بین عناصر کم‌مصرف، بور بیشترین اهمیت را در فرآیند تشکیل اندام زایشی دارد. بور در عمل تلقیح بر قابلیت زنده بودن دانه گرده، جوانه‌زنی و رشد لوله گرده تأثیر دارد (۲۳). وجود شرایط قلیایی در خاک‌های آهکی باعث کمبود عناصر کم‌مصرف از جمله بور می‌شود (۱۸). در نتایج تحقیقی در مورد اهمیت عناصر کم‌مصرف مشخص گردید که وجود عناصر کم‌مصرف نظیر بور برای رشد گیاه کلزا ضروری است (۱۹). نتایج آزمایشی نشان داد که کاربرد برگی بور در زمان شروع گل‌دهی آفتابگردان اثرات مثبتی بر روی استقرار و عملکرد دانه دارد. عملکرد دانه با افزایش در کاربرد بور افزایش یافت که این ممکن است از طریق طولانی‌تر شدن ظرفیت فتوسنتزی در طی مرحله گل‌دهی و استقرار دانه و یا از طریق بهبود یافتن تقسیم‌بندی بیوماس حاصل شده باشد (۲). نتایج تحقیقی نشان داد که مصرف بور در آفتابگردان باعث افزایش معنی‌دار ۲۱ درصدی قطر طبق، ۹/۵ درصدی تعداد دانه در طبق و ۱۵ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شد (٤). مصرف بور از طریق افزایش باروری دانه گرده و در نهایت افزایش تعداد دانه‌های پر، موجب افزایش عملکرد دانه گردید (۵). خاک‌پوش‌ها مواد پوششی هستند که بر روی سطح خاک قرار می‌گیرند تا از طریق کاهش تبخیر، نفوذ بیشتر آب، مهار فرسایش خاک، کنترل علف‌های هرز و نیز بهبود و اصلاح ساختمان خاک، شرایط دستیابی به عملکرد بیشتر را فراهم سازند (۱۵). در آزمایشی کاربرد خاک‌پوش کلش گندم در مقایسه با تیمار شاهد، خاک‌پوش برگ کاج و خاک‌پوش پلاستیک سیاه به‌طور معنی‌داری عملکرد سیب‌زمینی شیرین را افزایش داد (۲۲). در پژوهشی مشخص گردید که کاربرد کلش گندم به‌عنوان مالچ به‌طور مؤثر و معنی‌داری باعث کاهش تلفات روان‌آب و رسوب‌گذاری و نیز بهبود نفوذپذیری خاک گردید. بنا به‌نظر این پژوهش‌گران کلش گندم به‌عنوان یک خاک‌پوش پتانسیل بالایی برای مهار فرسایش و حفاظت منابع آب و خاک دارد (۳٦). مدیریت صحیح کاه و کلش گندم می‌تواند در افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی مانند نیتروژن و نیز بهبود عملکرد گیاهان زراعی تأثیرگذار باشد (۱۷). کاربرد مواد مالچی وضعیت گرمایی و حاصلخیزی موردنیاز را برای رشد و عملکرد بهینه آفتابگردان بهبود می‌بخشد

(۱). در آزمایشی اثر متقابل کاربرد کود گاوی و میزان آبیاری به‌طور معنی‌داری محتوای مس را در برگ و محتوای عناصر بور و روی را در میوه بامیه افزایش داد (۷). در آزمایشی کاربرد کود گاوی در آفتابگردان به‌طور معنی‌داری اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب را افزایش داد (۱۰). در همین راستا این پژوهش به‌منظور بررسی کاربرد هم‌زمان عناصر ریز مغذی بور و سلنیوم و نیز اثرات مثبت خاک‌پوش در شرایط خاک شور بر عملکرد گیاه آفتابگردان طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سلنیوم، بور و خاک‌پوش بر عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان با ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا انجام شد. خصوصیات اقلیمی منطقه کشت در جدول ۱ ارائه شده است. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح خاک‌پوش (بدون خاک‌پوش (m1)، کاه گندم به میزان ۱۵ تن در هکتار (m2)، کود گاوی پوسیده به میزان ۳۰ تن در هکتار (m3))، محلول‌پاشی سلنیوم در سه سطح (عدم کاربرد (se1)، ۱۷ (se2) و ۳٤ میلی‌گرم در لیتر (se3)) از منبع سلنیت سدیم (Na_2SeO_3) (۱٦ و ۲۵) و محلول‌پاشی بور در دو سطح (عدم کاربرد (b1) و ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر (b2) از منبع اسید بوریک (H_3BO_3) (۲۰) در نظر گرفته شد. قبل از کاشت آزمون خاک بر روی ۲ نمونه مرکب گرفته شده در عمق‌های ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر انجام شد و مشخص گردید که خاک محل اجرای آزمایش شور است (جدول ۲). هدایت الکتریکی آب آبیاری ۲/۲ دسی زیمنس بر متر بود. ابعاد هر کرت ۳/۵×٤ متر (۱٤ مترمربع) بود و در هر کرت ۵ جوی و پشته با فاصله پشته ۷۵ سانتی‌متر ایجاد شد. بذرها در تاریخ ۲٤ اسفند در وسط پشته کشت و آبیاری اول در همان روز انجام گرفت. تراکم بوته ۸۳ هزار بوته در هکتار بود که بر اساس آن فاصله بوته‌ها روی پشته ۱٦ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین دو کرت با یک خط نکاشت مشخص گردید و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. بذر مورد استفاده از مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول تهیه گردید که یک هیبرید روغنی سینگل‌کراس به نام قاسم با ارتفاع ۱۵۲ سانتی‌متر، دوره رسیدن فیزیولوژیک ۹۲ روز، وزن هزار دانه ۵۰/۲۷ گرم بود. این هیبرید به بیماری سفیدک کرکی و به زنگ آفتابگردان مقاوم، به بیماری ماکروفومینا و ریزوپوس متحمل و نسبت به تنش کم‌آبی تحمل نسبی داشت.

هم‌چنین این هیبرید برای برداشت مکانیزه مناسب است. بعد از جوانه‌زنی و خروج گیاه‌چه‌ها از سطح خاک عملیات خاک‌پوش‌دهی داخل جوی و روی پشته‌ها آغاز گردید. خاک‌پوش‌ها به‌صورت یک لایه بر روی سطح خاک قرار گرفتند و با خاک مخلوط نشدند. با توجه به مساحت هر کرت (۱٤ مترمربع) میزان کلش گندم و کود دامی برای هر کرت به‌ترتیب ۲۱ و ٤۲ کیلوگرم تخمین زده شد. محلول‌پاشی برگی سلنیوم و بور قبل از مرحله گل‌دهی به‌وسیله سم‌پاش پشتی در بعد از ظهر انجام شد. برای این منظور ابتدا سم‌پاش کالیبره و میزان آب مصرفی برای هر کرت مشخص گردید. سپس با محاسبه جرم مولکولی سلنیت سدیم (Na_2Se0_3) و بوریک اسید (H_3BO_3) و میزان آب مصرفی برای هر کرت (۱/۵ لیتر) تعیین شد که در هر کرت برای غلظت ۱۷ و ۳٤ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر به‌ترتیب ۰/۰۵٦ و ۰/۱۱۱ گرم سلنیت سدیم و برای غلظت ٤۰۰ میلی‌گرم بور ۳/٤۲ گرم بوریک اسید مصرف شد. بعد از اولین محلول‌پاشی هفت روز بعد دوباره محلول‌پاشی تکرار گردید.

وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد به‌صورت دستی و هر نوبت آبیاری نیز بعد از ٦٠ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A انجام گرفت. برداشت نهایی در اوایل تیر ماه پس از قهوه‌ای شدن پشت طبق انجام شد. در مرحله برداشت برای محاسبه عملکرد دانه و صفات مورد بررسی، از هر واحد آزمایش ۲ پشته کناری به‌عنوان اثر حاشیه منظور گردید و نمونه‌برداری فقط از پشته وسطی (با احتساب حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر پشته) با انتخاب ۸ بوته به‌طور تصادفی صورت گرفت. صفات مورد بررسی شامل وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت دانه، عملکرد روغن، شاخص برداشت روغن، محتوی سلنیوم، بور و پروتئین موجود در دانه بود. محتوی سلنیوم دانه با استفاده از دستگاه جذب اتمی (٣٤)، محتوی بور دانه از روش رنگ‌آمیزی با کورکامین (١٢)، درصد پروتئین دانه با استفاده از دستگاه کجلدال (١٤) (٦/٢٥ × درصد نیتروژن = درصد پروتئین) و درصد روغن دانه با روش سوکسله و با استفاده از حلال انهگزان (٣) انجام شد. تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار $SAS_{9.3}$ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام شد.

جدول ١- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقاتی اهواز طی مدت اجرای طرح (٩٥-١٣٩٤) و در دراز مدت (١٣٨٩-١٣٣٠).

Table 1. Statistics meteorological research station in ahvaz during the project (2016) and long-term (1951-2010).

پارامتر Parameters	میانگین اسفند ٩٤ March average 2016	میانگین اسفند ١٣٨٩-١٣٣٠ March average 1951-2010	میانگین فروردین ٩٥ April average 2016	میانگین فروردین١٣٨٩-١٣٣٠ April average 1951-2010	میانگین اردیبهشت ٩٥ May average 2016	میانگین اردیبهشت ١٣٨٩-١٣٣٠ May average 1951-2010	میانگین خرداد ٩٥ June average 2016	میانگین خرداد ١٣٨٩-١٣٣٠ June average 1951-2010	میانگین تیر ٩٥ July average 2016	میانگین تیر ١٣٨٩-١٣٣٠ July average 1951-2010
کمینه دما (درجه سلسیوس) Temperature min. (^{0}C)	11.8	12.5	14.2	17.6	21.2	23.0	24.3	25.9	27.3	28.2
بیشینه دما (درجه سلسیوس) Temperature max (^{0}C)	25.0	25.5	29.9	32.2	38.5	39.3	43.3	44.6	45.8	46.3
میانگین دما (درجه سلسیوس) Temperature average (^{0}C)	18.4	19.0	22.1	24.9	29.8	31.1	32.7	35.2	36.5	37.3
میزان بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	57.3	26.4	26.7	16.1	0.9	4.4	0.9	0.4	0.0	0.1
مجموع ساعات آفتابی Total sunny hours	213	214.1	265	233.8	293	284.4	297	326.2	356	336.1

جدول ٢- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 2. Physical and chemical soil characteristics.

عمق خاک Soil depth	بافت خاک Soil texture	pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	ماده آلی O.C (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب P (mg.Kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب K (mg.Kg^{-1})	بور قابل جذب B (mg.Kg^{-1})	آهن قابل جذب Fe (mg.Kg^{-1})	منگنز قابل جذب Mn (mg.Kg^{-1})	روی قابل جذب Zn (mg.Kg^{-1})	مس قابل جذب Cu (mg.Kg^{-1})
0-30 cm	SiCL	7.9	7.32	1.1	0.026	18.31	124	0.26	12	7.9	1.74	1.08
30-60 cm	SiCL	7.8	9.98	0.98	0.014	16.25	140	0.62	18.2	9.4	3.18	1.4

حد بحرانی فسفر، پتاسیم، بور و مس برای آفتابگردان به‌ترتیب ١٢، ٣٥٠، ٣٤ و ١ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

P, K, B and Cu critical concentration for sunflower is 12, 350, 34 and 1 mg.Kg^{-1} respectively.

نتایج و بحث

وزن هزار دانه: در این آزمایش وزن هزار دانه در سطح احتمال خطای پنج درصد تحت تأثیر معنی‌دار محلول‌پاشی سلنیوم قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه (۵۵/۵۰ گرم) در تیمار عدم محلول‌پاشی سلنیوم و کمترین مقدار آن در تیمار محلول‌پاشی ۳٤ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر (۵۰/۵۵ گرم) به‌دست آمد (جدول ٤). بر اساس جدول مقایسه میانگین روند کاهش وزن هزار دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم نسبت به تیمار شاهد قابل مشاهده است. با توجه به این‌که در اغلب موارد حد فاصل بین مقادیر مطلوب، بیشبود و کمبود عناصر ریز مغذی مانند سلنیوم بسیار اندک است بنابراین کاهش وزن هزار دانه در بالاترین سطح به‌کار رفته سلنیوم در این آزمایش ممکن است به‌علت ایجاد مسمویت در گیاه باشد. در گیاهان سلنوسیس (Selenosis) یا سمیت سلنیوم زمانی رخ می‌دهد که غلظت سلنیوم از حد مطلوب تجاوز نماید. سلنیوم از طریق دو مکانیسم باعث بروز مسمویت در گیاهان می‌شود. یکی از آن‌ها ایجاد ناهنجاری در سلنوپروتئین‌ها (selenoproteins) و دیگری از طریق القاء تنش اکسیداتیو است (۱۳).

تعداد دانه در طبق: جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمار خاک‌پوش و اثر متقابل سلنیوم × بور در سطح احتمال خطای یک درصد بر تعداد دانه در طبق اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳). جدول مقایسه میانگین اثر خاک‌پوش نشان داد که بیشترین تعداد دانه در طبق مربوط به کاربرد تیمار کلش گندم بود که با خاک‌پوش کود دامی اختلاف معنی‌داری نداشت. این دو تیمار با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند. تیمار خاک‌پوش کلش گندم و کود دامی به‌ترتیب با ۱۳/۸ و ۹/٦ درصد نسبت به تیمار شاهد تعداد دانه در طبق بیشتری داشتند (جدول ٤). در آزمایشی دیگر نیز خاک‌پوش شاخ و برگ‌های گیاه *Chromolaena odorata L.* در سال اول آزمایش ۲۵/۸ درصد و در سال دوم ۲٦/٤ درصد تعداد دانه در طبق آفتابگردان را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (۱). مقایسه میانگین اثر متقابل سلنیوم × بور نشان داد که کمترین تعداد دانه در طبق مربوط به تیمار عدم محلول‌پاشی بور و سلنیوم بود (۱۲۹۳/۹۷ دانه) بود و بیشترین تعداد دانه در طبق (۱٤٦۷/٦۰ دانه) از تیمار محلول‌پاشی ۳٤ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم × عدم محلول‌پاشی بور به‌دست آمد که با سایر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان چنین بیان داشت که کاربرد هم‌زمان سلنیوم و بور می‌تواند در افزایش تعداد دانه در طبق (به‌عنوان یکی از اجزاء مهم عملکرد دانه آفتابگردان) تأثیر داشته باشد. در تأیید نقش مثبت کاربرد بور بر تعداد دانه در طبق، در پژوهشی اثر بور با سطوح ۰، ۲، ٤، ٦، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد و کیفیت آفتابگردان بررسی شد و بیان گردید که بیشترین تعداد دانه در طبق (۱۱۸۲/۸۰ دانه) با کاربرد ٤ کیلوگرم بور در هکتار به‌دست آمد که با سطح ٦ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت و حداقل تعداد دانه در طبق (۹۱۳/۸۰ دانه) در سطح شاهد مشاهده گردید (۳۰). برآیند مثبت فراهمی عناصر ریز مغذی از طریق محلول‌پاشی برگی می‌تواند باعث بهبود متابولیسم گیاه و عرضه مواد پرورده بیشتر به سوی بخش‌های زایشی گیاه گردد، این امر می‌تواند منجر به افزایش تعداد دانه شود. در آزمایشی محققین افزایش تعداد دانه در طبق آفتابگردان را مربوط به افزایش انتقال مواد پرورده از منبع به سوی مقصد دانستند (۲٦).

عملکرد دانه: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات اصلی سلنیوم و خاک‌پوش و اثرات متقابل دوگانه

سلنیوم × خاک‌پوش و سلنیوم × بور و اثر متقابل سه‌گانه سلنیوم × بور × خاک‌پوش بر عملکرد دانه اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (جدول ۷) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور × کاربرد خاک‌پوش کلش گندم به‌دست آمد که نسبت به کمترین عملکرد دانه در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۱۷ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر × محلول‌پاشی بور × عدم کاربرد خاک‌پوش ٤۲/۸ درصد عملکرد دانه بیشتری داشت. بر اساس نتایج این جدول کمترین عملکردها از ترکیبات تیماری شامل حضور توأم محلول‌پاشی سلنیوم و بور به‌دست آمد و بیشترین عملکردها مربوط به ترکیبات تیماری دارای خاک‌پوش کلش گندم بود و این موضوع برتری کاربرد این سطح از خاک‌پوش را نسبت به کود دامی در این آزمایش نشان می‌دهد. کلش گندم به‌واسطه دارا بودن جرم حجمی پائین، وجود فضای خالی زیاد و هم‌چنین تراکم‌پذیری اندک، می‌تواند به‌صورت یک لایه ضخیم و حجیم بر روی سطح خاک قرار گیرد و از میزان تبخیر از سطح خاک به‌شدت کاسته و روند انتقال املاح و تجمع نمک بر روی سطح خاک توسط لوله‌های کاپیلاری را کاهش دهد. در حالی‌که کود دامی وزن مخصوص بیشتری نسبت به کلش گندم دارد و از تراکم‌پذیری بالاتری نیز برخوردار است و هم‌چنین سطح تماس آن با سطح خاک به‌مراتب بیشتر از کلش گندم است. لذا احتمال دارد که تجمع املاح به سطح خاک در شرایطی استفاده از خاک‌پوش کود دامی بیشتر از کلش گندم باشد؛ بنابراین بر اساس نتایج این آزمایش در شرایط و محدوده خاک شور محل اجرای آزمایش استفاده از کلش گندم به‌عنوان خاک‌پوش نسبت به کود دامی برتری دارد. با نگاهی به جدول برش‌دهی (جدول ۸) در سطح عدم کاربرد خاک‌پوش مشاهده می‌گردد که بیشترین عملکرد دانه (٦۲۲۲/۰۰ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب تیماری عدم کاربرد خاک‌پوش × عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور و کمترین مقدار آن (٤٥۰۲/٥٦ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ترکیب تیماری عدم کاربرد خاک‌پوش × محلول‌پاشی ۱۷ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر × محلول‌پاشی بور بود. نتایج این سطح نشان داد که محلول‌پاشی جداگانه دو عنصر بور و سلنیوم بر افزایش عملکرد دانه مؤثر بودند و در مقام مقایسه، اثر بور بر افزایش عملکرد بیشتر از سلنیوم بوده است. نکته جالب توجه آن است که هرگاه این دو عنصر در کنار هم بر روی گیاه محلول‌پاشی شده‌اند نه‌تنها اثر افزایشی بر عملکرد نداشتند بلکه اثر منفی ایجاد نموده و کمترین عملکردها را باعث شدند. احتمال می‌رود که این دو عنصر بر واکنش‌های بیوشیمیایی مؤثر بر عملکرد دانه تأثیرگذاری و کارکرد مشابهی داشته باشند و کاربرد توأم آن‌ها باعث بیشبود فراتر از حد نرمال گردیده و اثر منفی بر عملکرد دانه را موجب گردد. به‌طور تقریبی همین روند در سطح کاربرد خاک‌پوش کلش گندم مشاهده گردید به‌طوری‌که بیشترین عملکرد (٦٤۳۱/۷٦ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب تیماری کاربرد خاک‌پوش گندم × عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور و کمترین عملکرد (٥٤۹٦/٦۰ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب تیماری کاربرد خاک‌پوش گندم × محلول‌پاشی ۳٤ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر × محلول‌پاشی بور به‌دست آمد. در آزمایشی کاربرد جداگانه بور و روی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در گیاه نخود گردید در حالی‌که کاربرد توأم این دو عنصر اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشت (۳۳). روند اثر محلول‌پاشی بور و سلنیوم بر عملکرد دانه در شرایط کاربرد خاک‌پوش کود دامی با عدم کاربرد خاک‌پوش و کاربرد خاک‌پوش کلش گندم تا حدودی متفاوت بود. تفاوت

عمده خاک‌پوش کود دامی با تیمارهای عدم کاربرد خاک‌پوش و کاربرد خاک‌پوش کلش گندم به عرضه عناصر غذایی و نیز وجود میکروارگانیسم‌های همراه در خاک‌پوش کود دامی مربوط است؛ به‌عبارت دیگر کلش گندم بیشتر به‌عنوان یک خاک‌پوش فیزیکی تأثیرگذار است و اثر تغذیه‌ای و زیستی مستقیم بر فون و فلور خاک ندارد در حالی‌که کود دامی انباشته از عناصر غذایی ماکرو و میکرو بوده و از لحاظ تنوع و تعداد میکروارگانیسم‌ها و جانداران موجود در آن بسیار غنی‌تر از کلش گندم است و عناصر غذایی را بهتر برای گیاه فراهم می‌کند. لذا منطقی به‌نظر می‌رسد که اثر محلول‌پاشی بور و سلنیوم در خاک‌پوش کود دامی تا حدودی متفاوت از دو سطح دیگر خاک‌پوش باشد. نتایج برش‌دهی بور و سلنیوم در سطح خاک‌پوش کود دامی (جدول ۸) نشان داد بیشترین عملکرد دانه در ترکیب تیماری خاک‌پوش کود دامی × محلول‌پاشی ۱۷ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر × محلول‌پاشی بور (٦٢١٤/٥٤ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه (٤٩٥٠/٩٩ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب تیماری خاک‌پوش کود دامی × محلول‌پاشی ٣٤ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر × محلول‌پاشی بور حاصل گردید. این نکته که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌دست آمده ناشی از تفاوت میان سطح دوم و سوم سلنیوم است بیانگر اثرگذاری منفی شدیدتر سلنیوم بر عملکرد دانه در شرایط خاک‌پوش کود دامی است. در اینجا نیز مانند شرایط عدم کاربرد خاک‌پوش و کاربرد خاک‌پوش کلش گندم کمترین عملکرد از کاربرد هم‌زمان بالاترین سطوح بور و سلنیوم به‌دست آمد.

عملکرد بیولوژیک: پنج درصد و خاک‌پوش در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک اثر معنی‌دار داشت ولی محلول‌پاشی بور اثر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سلنیوم به‌ترتیب از تیمار ۱۷ میلی‌گرم در لیتر (۱۷۳۰۸/۵۹ کیلوگرم در هکتار) و تیمار ٣٤ میلی‌گرم در لیتر (١٥٨٩١/٤٩ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و هم‌چنین بین دو تیمار کاربرد ۱۷ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر و عدم کاربرد سلنیوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد که اثر سمیت غلظت بالای سلنیوم دلیل اثر منفی آن بر عملکرد بیولوژیک در این آزمایش بوده باشد. بیشترین عملکرد بیولوژیک خاک‌پوش، مربوط به کاربرد کلش گندم (۱۷۳٦۸/۱۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن مربرط به تیمار کود دامی (١٥٨٢٣/٦٦ کیلوگرم در هکتار) بود. هم‌چنین اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار کلش گندم و عدم کاربرد خاک‌پوش وجود نداشت (جدول ٤). با توجه به این‌که کود دامی خود دارای عناصر غذایی میکرو است کاربرد توأم آن با محلول‌پاشی عناصر میکرو دیگر مانند سلنیوم می‌تواند باعث بالا رفتن غلظت این عناصر در محدوه بازدارنده یا سمی در فرآیند متابولیسم گیاه شود که بازخورد آن می‌تواند منجر به کاهش اجزای عملکرد گردد.

عملکرد روغن: در این تحقیق اثر اصلی سلنیوم، خاک‌پوش و اثر متقابل سلنیوم × بور در سطح احتمال خطای یک درصد و اثر متقابل سه‌گانه در سطح احتمال خطای پنج درصد بر عملکرد روغن معنی‌دار گردید (جدول ۳). جدول مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (جدول ۷) نشان داد که بیشترین عملکرد روغن (۲۵۲۹/٦۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور × خاک‌پوش کلش گندم به‌دست آمد؛ که بین این تیمار با تیمار محلول‌پاشی ۱۷ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم × عدم محلول‌پاشی بور × خاک‌پوش کلش گندم (۲۲۷۰/۲٦ کیلوگرم در هکتار) و ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور × عدم کاربرد

خاک‌پوش (۲۲۳۱/۷۲ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کمترین عملکرد روغن مربوط به ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۱۷ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم × محلول‌پاشی بور × عدم کاربرد خاک‌پوش (۱۶۳۶/۷۸ کیلوگرم در هکتار) بود. با نگاهی به نتایج جدول مقایسه میانگین می‌توان دریافت که این ترکیب تیماری با هفت ترکیب تیماری دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). نتایج به‌دست آمده برای عملکرد روغن تا حدود بسیار زیادی شبیه نتایج به‌دست آمده برای عملکرد دانه بود. با توجه به عدم تأثیرپذیری درصد روغن دانه از تیمارهای آزمایشی (جدول ۳) می‌توان چنین بیان داشت که در این آزمایش عملکرد روغن بیشتر تحت تأثیر عملکرد دانه بوده است.

شاخص برداشت دانه: تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سلنیوم و خاک‌پوش به‌ترتیب در سطح احتمال خطای پنج و یک درصد معنی‌دار بود، اثر متقابل سلنیوم × بور در سطح احتمال خطای یک درصد و اثر متقابل سه‌گانه سلنیوم × بور × خاک‌پوش در سطح احتمال خطای پنج درصد بر شاخص برداشت دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) نشان داد که کمترین شاخص برداشت دانه از ترکیب تیماری کاربرد ۱۷ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر × محلول‌پاشی بور × عدم کاربرد خاکپوش (۲٤/۸۸ درصد) حاصل شد. بیشترین شاخص برداشت دانه در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور × خاک‌پوش کود دامی (۳۷/۹۰ درصد) به‌دست آمد که با نه ترکیب تیماری دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۷). برش‌دهی اثر متقابل سه‌گانه (جدول ۸) نشان داد شاخص برداشت دانه فقط در تیمار عدم کاربرد خاک‌پوش (Pr>F= ۰/۰۰۱۳) معنی‌دار شد. در شرایط عدم کاربرد خاک‌پوش، بیشترین و کمترین شاخص برداشت دانه با میانگین ۳۷/۱۱ و ۲٤/۸۷ درصد به‌ترتیب از عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور و محلول‌پاشی ۱۷ میلی‌گرم سلنیوم در لیتر × محلول‌پاشی بور به‌دست آمد. این نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت محلول‌پاشی بور بر شاخص برداشت دانه است. در شرایط عدم کاربرد خاکپوش، ترکیب‌های تیماری محلول‌پاشی ۳٤ میلی‌گرم لیتر سلنیوم × عدم محلول‌پاشی بور و هم‌چنین محلول‌پاشی ۳٤ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم × محلول‌پاشی بور با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور (دارای بالاترین شاخص برداشت) تفاوت معنی‌داری وجود نداشتند. این امر می‌تواند بیانگر آن باشد که غلظتی مناسب از بور میان دو سطح عدم کاربرد بور و غلظت به‌کار رفته در این آزمایش وجود دارد که در آزمایشات بعدی با در نظر گرفتن سطوح بیشتری از بور بین این دو حد می‌توان آن را مشخص نمود.

شاخص برداشت روغن: نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم، کاربرد خاک‌پوش و اثر متقابل سلنیوم × بور در سطح احتمال خطای یک درصد بر شاخص برداشت روغن معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سلنیوم × بور نشان داد که بیشترین شاخص برداشت روغن (۱۳/۷۷ درصد) در تیمار عدم محلول‌پاشی سلنیوم × محلول‌پاشی بور به‌دست آمد و کمترین مقدار (۱۱/۲۳ درصد) در تیمار محلول‌پاشی ۱۷ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم × محلول‌پاشی بور مشاهده شد (جدول ۵). با توجه به نحوه محاسبه شاخص برداشت روغن و نقش مهم عملکرد روغن در آن و همچنین با توجه به مشابهت بسیار زیاد نتایج عملکرد روغن به عملکرد دانه، نتایج شاخص برداشت روغن نیز بسیار مشابه نتایج عملکرد دانه بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سلنیوم، بور، خاک‌پوش و برهمکنش آن‌ها بر برخی صفات آفتابگردان.

Table 3. Analysis of variance (Mean of squares) for the effect of selenium, boron, malch and their interaction on sunflower traits.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن هزار دانه 1000- seed weight	تعداد دانه در طبق Seeds per capitule	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد روغن Oil yield	درصد روغن Oil (%)	شاخص برداشت دانه Seed harvest index	شاخص برداشت روغن Oil harvest index	محتوی بور دانه Seed boron contain	محتوی سلنیوم دانه Seed selenium contain	محتوی پروتئین دانه Seed protein contain
تکرار Replication	2	29.94^{ns}	3453^{ns}	163962^{ns}	4720421^{ns}	10747^{ns}	7.37^{ns}	25.05^{ns}	1.47^{ns}	0.43^{ns}	0/00^{ns}	0.68^{ns}
سلنیوم Selenium (Se)	2	110*	21680^{ns}	758078*	9166169*	234204**	16.94^{ns}	33.75*	6.69*	1.06^{ns}	0.00*	12.67^{ns}
بور Boron (B)	1	0.01^{ns}	9268^{ns}	58939^{ns}	3823324^{ns}	18033^{ns}	1.12^{ns}	9.92^{ns}	0.50^{ns}	15.66^{ns}	0/00^{ns}	9.95^{ns}
خاک‌پوش Mulch (M)	2	58.54^{ns}	154229**	1774095**	10886461**	257432**	2.13^{ns}	54.14**	9.11**	5.69^{ns}	0/00^{ns}	124*
سلنیوم × بور (Se × B)	2	7.72^{ns}	62718**	1389001**	1979141^{ns}	314276**	11.11^{ns}	51.28**	11.47**	8.81^{ns}	0/00^{ns}	11.32^{ns}
سلنیوم × خاک‌پوش (Se × M)	4	15.07^{ns}	16771^{ns}	492767*	1381041^{ns}	53602^{ns}	38.30^{ns}	19.50^{ns}	1.26^{ns}	2.46^{ns}	0/00^{ns}	4.13^{ns}
بور × خاک‌پوش (B × M)	2	16.17^{ns}	11114^{ns}	80016^{ns}	3028126^{ns}	13482^{ns}	25.23^{ns}	5.13^{ns}	3.23^{ns}	19.88*	0/00^{ns}	9.51^{ns}
خاک‌پوش× بور× سلنیوم (Se × B × M)	4	8.49^{ns}	9486^{ns}	753651**	1978422^{ns}	116668*	12.64^{ns}	24.79*	3.76^{ns}	2.06^{ns}	0/00^{ns}	1.42^{ns}
خطا Error	34	27.69	9489	185783	2405294	40693	258.34	9.42	1.47	3.94	0/00	5.92
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		9.94	6.90	7.70	9.31	10.07	7.70	9.07	10.03	17.21	10.91	10.67

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

محتوی بور دانه: نتایج نشان داد که اثر متقابل بور × خاک‌پوش در سطح احتمال خطای پنج درصد بر محتوی بور دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل بور × خاک‌پوش نشان داد که بیشترین محتوی بور (۰/۰۱۳۲٤ گرم بر کیلوگرم) از ترکیب تیماری محلول‌پاشی بور × خاک‌پوش کلش گندم به‌دست آمد. این ترکیب تیماری با ترکیبات تیماری محلول‌پاشی بور × عدم کاربرد خاک‌پوش (۰/۰۱۱٦٦ گرم بر کیلوگرم) و نیز عدم محلول‌پاشی بور × خاک‌پوش کود دامی (۰/۰۱۲٥٤ گرم بر کیلوگرم) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین محتوی بور دانه (۰/۰۱۰۱۲ گرم بر کیلوگرم) از ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی بور × عدم کاربرد خاک‌پوش به‌دست آمد (جدول ٦). منطقی به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی بور سبب افزایش محتوی بور دانه گردد. در آزمایشی بر روی کلزا تیمار بور باعث افزایش غلظت و جذب بور در دانه و کاه گردید اما افزایش غلظت بور و جذب آن در کاه بیش از دانه بود (۱۹). در این تحقیق تفاوت معنی‌داری میان ترکیبات تیماری محلول‌پاشی بور × خاک‌پوش کلش گندم با تیمار عدم محلول‌پاشی بور × خاک‌پوش کود دامی وجود نداشت. اجرای این آزمایش در شرایط خاک شور ممکن است دلیل تفاوت نتایج متفاوت این آزمایش با نتایج آزمایش‌های دیگر باشد. همچنین

عوامل مختلفی می‌تواند در این زمینه نقش داشته باشند برای مثال نسبت عناصر موجود در گیاه و کنش و واکنش آن‌ها می‌تواند در میزان جذب عناصر در بخش‌های مختلف گیاه اثر بگذارد. در آزمایشی اثر خاک کاربرد بور و فسفر بر روی دو رقم کلزا مورد بررسی قرار گرفت و ضرایب همبستگی نشان داد که میان محتوای بور دانه و درصد نیتروژن دانه همبستگی منفی معنی‌دار وجود دارد. همچنین غلظت بور در تیمار ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک کاهش معنی‌دار (۱۵ درصد) و نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار (۳۳ درصد) نشان داد (۳۱). محتوی سلنیوم دانه: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که فقط اثر اصلی محلول‌پاشی سلنیوم در سطح احتمال خطای پنج درصد بر محتوی سلنیوم دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر اصلی سلنیوم نشان داد که بیشترین میزان سلنیوم از محلول‌پاشی سطح ۳٤ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم (۰/۱٤۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌دست آمد که با سطح ۱۷ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم (۰/۱۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) اختلاف معنی‌داری نداشت. ولی این دو سطح سلنیوم با عدم محلول‌پاشی سلنیوم (۰/۱۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ٤). قابل پیش‌بینی بود که با محلول‌پاشی سلنیوم، محتوی سلنیوم دانه نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یابد. در تحقیقی کاربرد برگی سلنیوم (۱۵۰ گرم سلنیوم در هکتار) در سطح احتمال خطای یک درصد سبب افزایش معنی‌دار میزان محتوی سلنیوم دانه آفتابگردان از ۱۲۳ میکروگرم بر کیلوگرم به ٦۰۰۵ میکروگرم بر کیلوگرم در دانه شد (۲۹). محتوی پروتئین دانه: جدول آنالیز واریانس نشان داد که فقط تیمار خاک‌پوش در سطح احتمال خطای پنج درصد بر محتوی پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمار خاک‌پوش (جدول ٤) نشان داد که هر سه سطح این تیمار با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشت. به‌طوری که به‌ترتیب بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۵/٤٦ درصد) از کاربرد خاک‌پوش کلش گندم، خاک‌پوش کود دامی (۲۲/۸۰ درصد) و عدم کاربرد خاک‌پوش (۲۰/۲۰ درصد) به‌دست آمد (جدول ٤). مواردی مانند کاهش نوسانات دمایی، حفظ رطوبت خاک، کاهش روند انتقال نمک از اعماق خاک به سطح خاک، فراهم نمودن شرایط مناسب‌تر برای فعالیت میکروارگانیسم‌های درون خاک و نیز مبارزه بهتر با علف‌های هرز می‌تواند از عوامل مهم در اثرگذاری مثبت خاک‌پوش کلش گندم نسبت به تیمار شاهد باشد. شاید کود دامی نیز به واسطه در بر داشتن نیتروژن و انتقال آن به گیاه سبب افزایش محتوی پروتئین دانه گردیده است. نتایج آزمایشی نشان داد که کاربرد کود دامی سبب افزایش پروتئین خام دانه لوبیا شد. آن‌ها افزایش پروتئین خام دانه را به اثر مثبت کود دامی و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر، روی، آهن، مس و سایر عناصر غذایی نسبت دادند (۲۱).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر سلنیوم، بور و خاک‌پوش بر برخی صفات آفتابگردان.

Table 4. Means comparisons of effects of selenium, boron and mulch on sunflower traits

تیمارها Treatments	وزن هزار دانه (گرم) 1000- seed weight (g)	تعداد دانه در طبق Seeds per capitule (No.head^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت دانه (درصد) Seed harvest index (%)	محتوی سلنیوم دانه (میلی‌گرم در کیلوگرم) Seed selenium contain (mg.kg^{-1})	محتوی پروتئین دانه (درصد) Seed protein contain (%)	درصد روغن دانه Seed oil (%)
سلنیوم Selenium								
عدم کاربرد No application	55.50 a	1374 a	5822 a	16747 ab	34.99 a	0.12 b	23.78 a	36.40 a
۱۷ میلی‌گرم بر لیتر 17 (mg.L^{-1})	52.79 ab	1425 a	5549 ab	173089 a	32.34 b	0.13 a	22.40 a	35.91 a
۳٤ میلی‌گرم بر لیتر 34 (mg.L^{-1})	50.55 b	1441 a	5420 b	15891 b	34.24 ab	0.14 a	22.27 a	35.05 a
بور Boron								
عدم کاربرد No application	52.96 a	1400 a	5630 a	16915 a	33.42 a	0.13 a	22.39 a	35.93 a
٤۰۰ میلی‌گرم بر لیتر 400 (mg.L^{-1})	52.93 a	1427a	5564 a	16383 a	34.28 a	0.13 a	23.25 a	35.64 a
خاک‌پوش Mulch								
عدم کاربرد No application	52.56 a	1311 b	5306 b	16755 ab	31.94 b	0.13 a	20.20 c	35.53 a
کلش گندم Wheat straw	54.91 a	1492 a	5930 a	17368 a	34.30 a	0.14 a	25.46 a	35.81 a
کود دامی Cow manure	51.36 a	1437 a	5556 b	15823 b	35.32 a	0.13 a	22.80 b	36.02 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) ندارند.

In each column means followed by at least one letter not significantly different (LSD: 0.05).

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر متقابل سلنیوم × بور بر تعداد دانه در طبق و شاخص برداشت روغن.

Table 5. Comparison interaction of selenium × boron on seed number per head and oil harvest index

تیمارها Treatments	تعداد دانه در طبق Seed number per capitule	شاخص برداشت روغن (درصد) Oil harvest index (%)
se1 b1	1293.97 b	11.74 bc
se2 b1	1440.98 a	11.86 bc
se3 b1	1467.60 a	12.41 b
se1 b2	1455.93 a	13.77 a
se2 b2	1409.95 a	11.23 c
se3 b2	1415.27 a	11.59 bc

se1، se2 و se3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی سلنیوم، محلول‌پاشی ۱۷ و ۳٤ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم.

se1, se2 and se3 respectively, to the lack of selenium spraying, spraying 17 and 34 mg per liter selenium.

b1 و b2 به‌ترتیب تیمار عدم محلول‌پاشی بور و محلول‌پاشی ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر بور.

b1 and b2, respectively, to the lack of boron and spraying 400 mg per liter boron.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) ندارند.

In each column means followed by at least one letter not significantly different (LSD: 0.05).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل بور × خاک‌پوش بر محتوی بور دانه

Table 6. Mean comparisons of the boron × mulch on seed boron content.

تیمارها Treatments	محتوی بور دانه (گرم بر کیلوگرم) Seed boron content ($g.kg^{-1}$)
b1 m1	0.01012 c
b1 m2	0.01033 c
b1 m3	0.01254 ab
b2 m1	0.01166 abc
b2 m2	0.01324 a
b2 m3	0.01132 bc

b1 و b2 به‌ترتیب تیمار عدم محلول‌پاشی بور و محلول‌پاشی ٤٠٠ میلی‌گرم در لیتر بور.

b1 and b2, respectively, to the lack of boron and spraying 400 mg per liter boron.

m1، m2 و m3 به‌ترتیب عدم کاربرد خاک‌پوش، کاربرد خاک‌پوش کلش گندم و کاربرد خاک‌پوش کود دامی.

m1, m2 and m3 respectively, non-applying mulch, application of wheat straw mulch and manure mulch.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) ندارند.

In each column means followed by at least one letter not significantly different (LSD: 0.05).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سلنیوم × بور × خاک‌پوش بر برخی صفات آفتابگردان.

Table 7. Means comparison of interaction effect of selenium × boron × mulch on some sunflower traits.

تیمارها Treatments	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت دانه (درصد) Seed harvest index (%)
se1 b1 m1	5340 cde	1894 def	31.76 cd
se1 b1 m2	5828 abc	2045 b-e	31.29 d
se1 b1 m3	5480 cde	2048 b-e	34.80 a-d
se1 b2 m1	6222 ab	2231 abc	37.12 ab
se1 b2 m2	6431 a	2529 a	37.08 ab
se1 b2 m3	5633 b-e	2004 b-e	37.90 a
se2 b1 m1	5316 cde	1940 b-f	31.42 d
se2 b1 m2	6303 ab	2270 ab	33.74 a-d
se2 b1 m3	5338 cde	1921 c-f	33.27 a-d
se2 b2 m1	4502 f	1636 f	24.88 e
se2 b2 m2	5622 b-e	2031 b-e	34.13 a-d
se2 b2 m3	6214 ab	2106 bcd	36.56 abc
se3 b1 m1	5450 cde	1878 def	32.73 bcd
se3 b1 m2	5898 abc	2026 b-e	34.81 a-d
se3 b1 m3	5720 a-d	2168 bcd	37.00 ab
se3 b2 m1	5007 def	1726 ef	33.74 a-d
se3 b2 m2	5496 cde	1839 def	34.72 a-d
se3 b2 m3	4950 ef	1758 ef	32.40 bcd

se1، se2 و se3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی سلنیوم، محلول‌پاشی ۱۷ و ۳٤ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم.

se1, se2 and se3 respectively, to the lack of selenium spraying, spraying 17 and 34 mg per liter selenium.

b1 و b2 به‌ترتیب تیمار عدم محلول‌پاشی بور و محلول‌پاشی ٤٠٠ میلی‌گرم در لیتر بور.

b1 and b2, respectively, to the lack of boron۰ and spraying 400 mg per liter boron.

m1، m2 و m3 به‌ترتیب عدم کاربرد خاک‌پوش، کاربرد خاک‌پوش کلش گندم و خاک‌پوش کود دامی.

m1, m2 and m3 respectively, non-applying mulch, application of wheat straw mulch and manure mulch.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌داری (LSD:۰/۰۵) ندارند.

In each column means followed by at least one letter not significantly different (LSD: 0.05).

جدول ۸- برش‌دهی اثر متقابل سلنیوم × بور × خاک‌پوش بر برخی صفات آفتابگردان.

Table 8. The sliced analysis of variance of interaction effects of selenium × boron × mulch on some sunflower traits.

تیمارها Treatments		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت دانه (درصد) Seed harvest index (%)
	se1 b1	5340 b	1894 b	31.75 b
	se1 b2	6222 a	2231 a	37.11 a
m1	se2 b1	5316 ab	1940 ab	31.41 b
	se2 b2	4502 c	1636 b	24.87 c
	se3 b1	5450 b	1878 b	32.73 ab
	se3 b2	5007 bc	1726 b	33.74 ab
	se1 b1	5828 abc	2045 bc	31.29 a
	se1 b2	6431 a	2529 a	37.08 a
m2	se2 b1	6303 ab	2270 ab	33.74 a
	se2 b2	5622 bc	2031 bc	34.13 a
	se3 b1	5898 abc	2026 bc	34.81 a
	se3 b2	5496 c	1839 c	34.72 a
	se1 b1	5480 ab	2048 ab	34.79 a
	se1 b2	5633 abc	2004 ab	37.89 a
m3	se2 b1	5338 bc	1921 ab	33.27 a
	se2 b2	6214 a	2106 a	36.56 a
	se3 b1	5720 ab	2168 a	37.00 a
	se3 b2	4950 c	1758 b	32.40 a
	m1	Pr>F= 0.0013	Pr>F= 0.0207	Pr>F= 0.0013
	m2	Pr>F= 0.0758	Pr>F= 0.0039	Pr>F= 0.3683
	m3	Pr>F= 0.0292	Pr>F= 0.1945	Pr>F= 0.2066

m1، m2 و m3 به‌ترتیب عدم کاربرد خاک‌پوش، کاربرد خاک‌پوش کلش گندم و خاک‌پوش کود دامی.

m1, m2 and m3 respectively, non-applying mulch, application of wheat straw mulch and manure mulch.

se1، se2 و se3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی سلنیوم، محلول‌پاشی ۱۷ و ۳٤ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم.

se1, se2 and se3 respectively, to the lack of selenium spraying, spraying 17 and 34 mg per liter selenium.

b1 و b2 به‌ترتیب تیمار عدم محلول‌پاشی بور و محلول‌پاشی ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر بور.

b1 and b2, respectively, to the lack of boron and spraying 400 mg per liter boron.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌داری (LSD:۰/۰۵) ندارند.

In each column means followed by at least one letter not significantly different (LSD: 0.05).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده، اثر اصلی تیمار محلول‌پاشی بور اثر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی نداشت ولی اثر متقابل آن با محلول‌پاشی سلنیوم و خاک‌پوش بر روی صفات مهمی مانند عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت معنی‌دار گردید. خاک‌پوش کلش گندم در شرایط خاک شور به‌ترتیب باعث افزایش ۱۳/۸، ۱۱/۷٦، ۷/۳۸ و ۲٦/۰٤ درصدی در صفات تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه، شاخص برداشت و درصد پروتئین دانه نسبت به عدم کاربرد خاک‌پوش داشت. با وجود اثرات مفیدی که محلول پاشی سلنیوم داشت ولی حد فاصل غلظتی که اثرات مثبت داشت با غلظتی که اثرات منفی داشت بسیار بهم نزدیک بود. به‌طور کلی، تیمار خاک‌پوش کلش گندم نسبت به خاک‌پوش کود دامی و عدم کاربرد خاک‌پوش برتری داشت. محلول‌پاشی سلنیوم محتوای سلنیوم دانه را هرچند اندک به طور معنی‌دار افزایش داد. خاک‌پوش کلش گندم با توجه به فراهمی و در دسترس بودن در اکثر نقاط کشور، ارزانی نسبی، طبیعی بودن و عدم ایجاد آلودگی زیست محیطی و نیز دوام به نسبت بالا می‌تواند به‌عنوان یک خاکپوش مناسب به‌ویژه در مناطقی با خاک شور مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به جهت کمک در اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Agele, S.O., Olaore, J.B., and Akinbode, F.A. 2010. Effect of some mulch materials on soil physical properties, growth and yield of sunflower (*Helianthus Annuus* L.). Adv. Environ. Biol., 4: 3.368-375.
2. Al-Amery, M.M., Hamza, J.H., and Fuller, M.P. 2011. Effect of boron foliar application on reproductive growth of sunflower (*Heliantus annuus* L.). Intl. J. Agron., 1: 1-5.
3. AOCS, 1993. Official methods and recommended practices of the american oil chemists society, 5thend, Ba 6-48. The American Oil Chemists Society, Champaign.
4. Barmaki, Y., Jalili, F., Eivazi, A., and Rezaei, A.R. 2010. Effect of foliar application of zink, iron and boron on yield and quality of two cultivars of sunflower oil. J. Res Crop Sci., 2: 6.13-26. (In Persian)
5. Brighenti, A.M., and Castro, C. 2008. Boron foliar application on sunflower (*Helianthus annuus* L.) associated with herbicides. Helia, 48: 31.127-136.
6. Broadley, M.R., Alcock, J., Alford, J., Cartwright, P., Foot, I., Fairweather-Tait, S.J., Hart, D.J., Hurst, R., Knott, P., McGrath, S.P., Meacham, M.C., Norman, K., Mowat, H., Scott, P., Stroud, J.L., Tovey, M., Tucker, M., White, P.J., Young, S.D., and Zhao, F.J. 2010. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. Plant Soil., 332: 5-18.
7. Chaves, L.H.G., Mesquita, E.F., Ferreira, D.S., and Sobrinho, S.O.M.M. 2017. Organic matter, irrigation and soil mulching in the nutritional status and production of okra. Chem. Eng. Trans., 58: 703-708.
8. Dadnia, M.R., Habib, D., Nourmohamad, G., and Rdakani, M.R. 2008. Antioxidative response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) varieties under water deficit and selenium foliar application. Crop Res., 35: 3.195-200.
9. Djanaguiraman, M., Devi, D.D., Shanker, A.K., Sheeba, J.A., and Bangarusamy, U. 2005. Selenium an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant Soil., 272: 77-86.
10. Filho, F.C.F.M., Mesquita, E.F., Guerra, H.O.C., Moura, M.F., and Chaves, L.H.G. 2013. Effect of cattle manure on sunflower production and water use in two types of soil. Rev. Ceres, 60: 3.397-405.
11. Gonzales, J., Mancuso, N., and Luduena, P. 2013. Sunflower yield and climatic variables. Helia., 36: 58.69-76.
12. Grotheer, E.W. 1979. Spectrophotometric determination of boric acid in boron powder with curcumin. Anal. chem., 51: 14. 2042-2043.
13. Gupta, M., and Gupta, S. 2016. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. Front. Plant Sci., 7: 2074.
14. Hoffmann, G. 1991. Die untersuchung von boden. handbuch der landwirtschaftlichen versuchs und untersuchungsmethodik (Methodenbuch), 1: VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
15. Irannejad, H., Ghannadha, M., and Nejad Mohammad Namghi, A.R. 2002. A comparison of the polyethylene and organic mulch effect on the yield of cotton. . Iran. J. Agric. Sci., 33: 1.179-186. (In Persian)
16. Kopsell, D.A., Sams, C.E., Barickman, T.C., and Deyton, D.E. 2009. Selenization of basil and cilantro

through foliar applications of selenate-selenium and selenite-selenium. HortScience, 44(2): 438–442.
17. Limon-Ortega, A., Govaerts, B., and Sayre, K.D. 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. Eur. J. Agron., 29: 1.21–28.
18. Malakouti, M.J., and Tehrani, M.M. 2005. Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products (micro nutrients with macro effects). Tarbiat Modares University publication. Press, 328p.
19. Malhi, S.S., Raza, M., Schoenau, J.J., Mermut, A.R., Kutcher, R., Johnson, A.M., and Gill, K.S. 2003. Feasibility of boron fertilization for yield, seed quality and B uptake of canola in northeastern Saskatchewan. Can. J.Soil Sci., 83: 99-108.
20. Mekki B. 2015. Effect of boron foliar application on yield and quality of some sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. J. Agri. Sci. Technol., 5: 5.309-316.
21. Najafi, N., Mostafaei, M., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Oustan, Sh. 2013. Effect of intercropping and farmyard manure on the growth, yield and protein concentration of corn, Bean and Bitter Vetch. J. Agr. Sci. Sustain. Prod., 23: 1.99-115.
22. Nwosisi S., Nandwani D., and Pokharel B. 2017. Yield performance of organic sweetpotato varieties in various mulches. Horticulturae, 3: 3.48.
23. Ozgul, G. 2005. Interactive effect of nitrogen and boron on cotton yield and fiber quality. Turk. J. Agric. For., 29: 51-59.
24. Rains, W.D., and Goyal, S.S. 2003. Crop production in saline environments: global and integrative perspectives. In: Goyal, S.S., Sharma, S.K., Rains, W.D. (eds.), Strategies for managing crop production in saline environments, Haworth Press, New York, USA.
25. Rebecca, A.J., Babu, P.S., Patnaik, M.C., and Hussain, S.A. 2017. Effect of selenium, Ssulphur and their interaction on yield, contents and uptake by sunflower (*Helianthus annus* L.). Int. J. Pure App. Biosci., 5: 6.1356-1363.
26. Reddy, N.Y.A., Shaanker, R.U., Prasad, T.G., and Kumar, M.U. 2003. Physiological approaches to improve harvest index and productivity in sunflower. Helia, 26: 38.81-90.
27. Ruiz, J.M., Rivero, R.M., and Romero, L. 2007. Comparative effect of Al, Se, and Mo toxicity on NO3- assimilation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. J. Environ. Manage., 83: 2.207-212.
28. Seppanen, M.M., Kontturi, J., Lopez Heras, I., Madrid, Y., Camara, C., and Hartikainen, H. 2010. Agronomic biofortification of Brassica with selenium enrichment of SeMet and its identification in Brassica seeds and meal. Plant Soil., 337: 1.273–283.
29. Skarpa, Petr. 2013. Fortification of sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) with selenium. J. Microbio. Biotechnol. Food Sci., 2: 1.1569-1579.
30. Tahir, M., YounasIshaq, M., Sheikh, A.A., Naeem, M., and Rehman, A. 2014. Effect of boron on yield and quality of sunflower under agro-ecological conditions of faisalabad (Pakistan). Sci. Agri., 7: 1.19-24.
31. Tavajjoh, M., Karimian, N.A., Ronaghi, A., Yasrebi, J., Hamidi, R., and Olama, V. 2016. Yield, yield components and seed quality of two rapeseed cultivars as affected by different levels of phosphorus and boron under greenhouse conditions. J. Sci. Technol. Greenh. Cult., 6: 4.99-113. (In Persian)
32. Terry, N., and Zayed, A.M. 1994. Selenium volatilization by plants. P343-367, In W.T. Frankenberger, Jr., and S., Benson, (eds.), Selenium in the Environment, Marcel Dekker, New York.
33. Valenciano, J.B., Boto, J.A., and Marcelo, V. 2011. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) response to zinc, boron and molybdenum application under field conditions. N.Z.J. Crop Hortic. Sci., 39: 4. 217-229.
34. Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G., and Van der lee. J.J. 1989. Soil and plant

analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University, the Netherland.
35. Wang, H.M., Xiao, X.R., Yang, M.Y., Gao, Z.L., Zang, J., Fu, X.M., and Chen, Y.H. 2014. Effects of salt stress on antioxidant defense system in the root of kandelia candel. Bot. Stud., 1: 55-57.
36. Wang, L., Ma, B., and Wu, F. 2017. Effects of wheat stubble on runoff, infiltration, and erosion of farmland on the Loess Plateau, China, subjected to simulated rainfall. Solid Earth, 8: 1.281–290.
37. Zhu, Y.G., Pilon-Smits, E.A.H., Zhao, F.J., Williams, P.N., and Meharg, A.A. 2009. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. Trends Plant Sci., 14: 8.436–442.