

تأثیر آنتیموان، فسفر و شوری بر عملکرد شاخساره، غلظت برخی عناصر و نفوذپذیری غشاء ریشه ذرت در محیط آبکشت

حوریه برانگیزی^{۱*}، مجید افیونی^۱ و بهزاد رضایی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۵/۱۸)

چکیده

همراه با صنعتی شدن کشورها و افزایش مصرف ترکیبات حاوی آنتیموان، آلودگی به این عنصر در سال‌های اخیر افزایش یافته است. با توجه به اهمیت آنتیموان و تحقیقات بسیار کمی که در باره این عنصر در ایران صورت پذیرفته، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر آنتیموان بر رشد و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه (به عنوان شاخص خسارت اکسیداتیو) و غلظت عناصر مختلف در ریشه ذرت شیرین (*Zea mays L. hybrid Cchase*) انجام گرفت. این پژوهش گلخانه‌ای در محیط آبکشت و در قالب بلوک کامل تصادفی و آزمون فاکتوریل با سطوح مختلف آنتیموان، فسفر و شوری انجام گرفت. آنتیموان به صورت KSb(OH)_6 در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۸ میلی‌گرم در لیتر)، فسفر در دو سطح (صفر و ۳ میلی‌گرم در لیتر) و شوری به صورت کلرید سدیم در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) اعمال شد. پس از برداشت ذرت، وزن تر و خشک شاخساره و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه اندازه‌گیری شد. هم‌چنین غلظت عناصر آنتیموان، آهن و روی ریشه اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، عملکرد وزن تر و خشک شاخساره به طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش غلظت آنتیموان در هر سطح فسفر، وزن تر شاخساره ذرت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. ریشه‌های گیاهانی که در محلول غذایی حاوی فسفر کمتر رشد کرده بودند، دارای نفوذپذیری بیشتری بودند. همراه با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، نفوذپذیری غشاء ریشه ابتدا به طور معنی‌داری کاهش و در سطح بالاتر عنصر، دوباره افزایش یافت. نفوذپذیری غشاء ریشه با افزایش سطح شوری در محلول غذایی نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش غلظت آنتیموان و هم‌چنین سطح شوری محلول غذایی سبب افزایش غلظت آنتیموان ریشه گیاه ذرت شد. با افزایش غلظت آنتیموان محلول غذایی، کاهش معنی‌داری در غلظت روی در ریشه مشاهده شد، در حالی که غلظت آهن ریشه تغییری نداشت.

واژه‌های کلیدی: آنتیموان، فسفر، شوری، نفوذپذیری غشاء

مقدمه

انسان مطرح می‌باشد. به دلیل آلودگی‌های به‌وجود آمده، منابع طبیعی تخریب شده و همین امر باعث مشکلات و محدودیت‌هایی برای انسان گردیده است. فرایندهای صنعتی شدن در کشورهای در حال توسعه منجر به ورود عناصری از

امروزه به دلیل صنعتی شدن جهان و افزایش فعالیت کارخانجات به منظور پاسخگویی به نیاز جمعیت، آلودگی محیط زیست به عنوان یکی از مسائل بسیار مهم در زندگی

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استاد دانشکده شیمی دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.barangizi@ag.iut.ac.ir

جمله جیوه، سرب، کادمیوم و آنتیموان به زیست‌کره می‌شوند و تهدیدهای زیادی را برای انسان‌ها و به‌ویژه افرادی که در معرض این عناصر قرار دارند در پی دارد (۱).

آنتیموان شبه فلزی است که اغلب در طبیعت به شکل $Sb(III)$ با نام آنتیمونیت (*Antimonite*) و یا $Sb(V)$ با نام آنتیمونیت (*Antimonate*) به ترتیب در حالت کاهش و اکسایش یافت می‌شود. در شرایط اکسیدی، گونه غالب آنتیموان در محلول خاک، $Sb(V)$ است که می‌تواند همانند آنیون‌های فسفات و آرسنات، توسط ذرات خاک تثبیت شود (۵). از آنتیموان در طیف وسیعی از صنایع استفاده می‌شود. مهم‌ترین کاربرد جهانی آنتیموان مصرف آن به عنوان فلز اولیه در تولید انواع باتری‌های معمولی و هیبریدی با سایر آلیاژهای فلزی مانند سرب است. آنتیموان یک عنصر کمیاب ($0.3-0.2$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در پوسته زمین می‌باشد (۱۸). نش و همکاران (۱۷)، منابع اصلی ورود آنتیموان به محیط را فعالیت‌های انسانی نظیر احتراق سوخت‌های فسیلی، حفر معدن، گداختن فلزات و به ویژه دود ناشی از وسایل نقلیه ذکر کردند.

دود وسایل نقلیه از مهم‌ترین منابع انسانی ورود آنتیموان به محیط است به طوری که در طی دهه اخیر، تراکم ترافیکی بالا بیش از سایر منابع انسانی، افزایش آلودگی به این عنصر را به همراه داشته است (۸). تحقیقات در آلمان نیز نشان داده است که ارتباط نزدیکی بین انتشارات حاصل از وسایل نقلیه با غلظت آنتیموان در خاک وجود دارد. به طوری که با افزایش فاصله از جاده، غلظت این عنصر در خاک و گیاه به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است (۱۰).

ظروف پلاستیکی که برای بسته بندی آب معدنی استفاده می‌شود می‌تواند ماده سمی خطرناک و کشنده به نام آنتیموان را از خود آزاد نماید. مقدار این عنصر با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند و بعد از ۲ تا ۳ ماه به دوبرابر غلظت آن در زمان بسته‌بندی آب می‌رسد (۲۰). شوتیک و همکاران (۲۰) ظروف پلاستیکی حاوی آب را آزمایش کرده و دریافتند که با گذشت زمان آنتیموان به‌طور پیوسته وارد آب می‌شود.

به طور کلی آنتیموان و ترکیبات آن اثر سمی بر حیوانات و انسان دارد (۱۲). در مقایسه با سایر عناصر کمیاب، آنتیموان در خاک به نسبت متحرک است و همین امر، احتمال ورود آن به چرخه غذایی را از طریق جذب گیاه افزایش می‌دهد (۱۴). آینسورت و همکاران (۶) با اندازه‌گیری غلظت آنتیموان در گیاهان رشد کرده در خاک آلوده به آنتیموان، نشان دادند که جذب آنتیموان از سطح برگ بیشتر از جذب آن از طریق ریشه گیاه صورت می‌گیرد. نتایج یک آزمایش گلدانی نیز نشان داد که بین گیاهان رشد کرده در خاک غیرآلوده تفاوتی با گیاهان رشد کرده در خاک آلوده از لحاظ غلظت آنتیموان وجود نداشت (۶). نشان و همکاران (۲۴) با بررسی میزان جذب آنتیموان توسط گیاه آفتابگردان از محلول غذایی، نشان دادند که جذب این عنصر توسط گیاه به طور معنی‌داری با غلظت آنتیموان محلول غذایی ارتباط مستقیم داشت.

افزایش غلظت آنتیموان در خاک و منابع آب و ورود آن به زنجیره غذایی خطرناکی برای سلامت گیاهان، حیوانات و انسان به همراه دارد. آلودگی به آنتیموان از اهمیت خاصی برخوردار است و تحقیقات خاصی در این زمینه در ایران صورت نگرفته است. نقاطی از خاک‌های کشورمان نیز دارای مشکل شوری می‌باشند و شوری به عنوان عامل مؤثر در جذب آنتیموان توسط گیاه عمل می‌کند (۱۹). هم‌چنین شوری موجب تغییرات ساختمانی در ساقه، ریشه و برگ و گیاهان می‌شود. آنتیموان دارای خصوصیات شیمیایی مشابهی با آرسنیک و فسفر است به طوری که به نظر می‌رسد گیاهان این سه عنصر را با سازوکار مشابهی جذب می‌کنند (۱۶). فسفر می‌تواند با آنتیموان حالت آنتاگونیستی ایجاد کرده و بر جذب آنتیموان توسط گیاه تأثیر داشته باشد. تجمع مواد سمی در گیاه سبب ایجاد تنش‌های اکسیداتیو می‌شود. این مواد در غلظت‌های زیاد، بر رشد و عملکرد گیاهان اثرهای منفی بر جای می‌گذارد و سبب آزاد شدن رادیکال‌های اکسیژن فعال نظیر رادیکال هیدروکسیل، سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در گیاه شده و بر ساختار غشاء سلولی تأثیر گذاشته و با ایجاد آسیب‌های غشایی سبب اختلال

از شوری زیاد، غلظت ۱۲۰ میلی مولار شوری طی مدت یک هفته و به تدریج به محلول اضافه شد. پ-هاش محلول توسط NaOH و اسید نیتریک در حدود ۶ ثابت نگه داشته شد. در طول دوره رشد گیاه مراقبت‌های لازم از جمله مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام شد. هوادهی محلول نیز با استفاده از کمپرسور هوا روزی ۲ مرتبه و هر بار به مدت ۲۰ دقیقه صورت گرفت. در مرحله ۵ برگی، ۲۱ روز پس از انتقال گیاه به محلول غذایی اصلی، بوته‌ها برداشت شدند و پس از شستشو با آب مقطر، ریشه و اندام هوایی از ناحیه طوقه گیاه از یکدیگر جدا شد. صفات رویشی از قبیل وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. بوته‌های گیاه به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک‌کن قرار داده شده و سپس با آسیاب پودر شدند. برای عصاره‌گیری ریشه گیاه، ۵/۰ گرم از نمونه پودر شده گیاه خشک به کروزه چینی ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. دمای کوره الکتریکی در ۵۵۰ درجه سلسیوس تنظیم شده و نمونه‌ها به مدت حدود ۲ ساعت داخل کوره الکتریکی قرار داده شدند. بعد از خنک شدن کروزه‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه گیاه اضافه شده و روی گرم‌کن به آرامی حرارت داده شد تا زمانی که نیمی از اسید تبخیر شد. سپس محلول تهیه شده از کاغذ صافی عبور داده شده و عصاره صاف شده در بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری جمع‌آوری شد و با آب مقطر، حجم نهایی عصاره به ۲۵ میلی‌لیتر رسید. برای اندازه‌گیری غلظت آهن و روی از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ و برای اندازه‌گیری غلظت آنتیموان نیز از دستگاه جذب اتمی ولی با استفاده از روش Hydride Generation استفاده شد.

نفوذپذیری غشاء ریشه یکی از معیارهای بررسی خسارت اکسیداتیو برخی تنش‌های غیرزیستی و زیستی بر گیاه است. نفوذ پذیری غشاء ریشه پس از برداشت گیاه به وسیله روش یان و همکاران (۲۶) اندازه‌گیری شد. بدین صورت که بخشی از بافت ریشه‌ای گیاه مورد نظر را درون ظرف شیشه‌ای مخصوص با فشار اسمزی معکوس، به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده، سپس قابلیت هدایت الکتریکی محلول

در فرایندهای مختلف سلولی می‌گردد (۹). این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش شوری، آنتیموان و فسفر بر رشد ذرت و نفوذپذیری غشاء ریشه آن (به عنوان یک شاخص تنش اکسیداتیو) در شرایط آبکشت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلخانه‌ای در محیط آبکشت در گلخانه مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه عامل آنتیموان، فسفر و شوری انجام گرفت. آنتیموان به صورت KSb(OH)_6 در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۸ میلی‌گرم در لیتر)، فسفر در دو سطح (صفر و ۳ میلی‌گرم در لیتر) و شوری به صورت کلرید سدیم در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی مولار)، به محلول غذایی اضافه شد. هر تیمار دارای ۳ تکرار بود و در هر گلدان نیز دو گیاه کاشته شد به طوری که در مجموع، ۵۴ گلدان به کار گرفته شد. پس از تعیین ترکیبات مورد نیاز جهت ساخت محلول غذایی پایه و اعمال تیمارها و انجام محاسبات لازم، مراحل سه گانه کاشت، داشت و برداشت صورت گرفت که هر یک از این مراحل به صورت مشروح در ادامه بیان خواهد شد. پس از برداشت گیاه، وزن تر و خشک اندام هوایی و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه و غلظت آنتیموان، آهن و روی ریشه اندازه‌گیری شد.

ابتدا بذره‌های ذرت در ماسه جوانه زده و بعد از ۱۰ روز به گلدان‌های پلاستیکی ۳۰ لیتری حاوی محلول غذایی هوگلند منتقل شد. محلول غذایی شامل ۰/۴ میلی مولار $\text{Ca(NO}_3)_2$ ، ۰/۲ میلی مولار MgSO_4 ، ۰/۱ میلی مولار KH_2PO_4 ، ۰/۵ میلی مولار KNO_3 ، ۰/۰۱ میلی مولار NaFe(III)EDTA ، ۰/۰۱ میلی مولار H_3BO_3 ، ۲ میکرو مولار MnSO_4 ، ۰/۲ میکرو مولار ZnSO_4 ، ۰/۲ میکرو مولار CuSO_4 ، ۰/۱ میکرو مولار Na_2MoO_4 و ۰/۰۲ میلی مولار NaCl بود (۲۴). پس از دو هفته، گیاهان به گلدان‌های پلاستیکی ۲ لیتری حاوی محلول‌های غذایی منتقل شدند. برای جلوگیری از تنش حاصل

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس

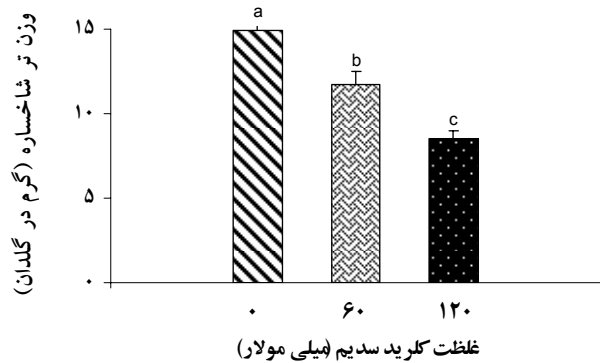
| میانگین مربعات | | | | | | | منابع تغییرات | درجه آزادی |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----|---------------|------------|
| غلظت روی ریشه | غلظت آهن ریشه | درصد نفوذپذیری غشاء ریشه | غلظت آنتیموان ریشه | وزن خشک | وزن تر | خطا | | |
| ۱۰۶/۵۰ ^{ns} | ۱۹۱۷۴/۶ ^{ns} | ۱۶/۰۵ ^{ns} | ۰/۰۰۸ ^{ns} | ۰/۰۰۸ ^{ns} | ۰/۳۶ ^{ns} | ۲ | (R) بلوک | |
| ۶۵۵/۷۶** | ۱۴۳۵۱۱/۰۸ ^{ns} | ۸۰۳/۳۰** | ۷/۱۹** | ۰/۰۱۴۳** | ۱۸/۷۶** | ۲ | (a) آنتیموان | |
| ۲۴۱/۵۱ ^{ns} | ۳۹۹۳۲۷/۲۴* | ۱۱۷۲/۴۵** | ۰/۰۰۰۶ ^{ns} | ۱/۰۶۴** | ۱۲۲/۸۵** | ۱ | (b) فسفر | |
| ۲۵۴/۲۴ ^{ns} | ۱۹۲۹۹۹/۱۳ ^{ns} | ۱۲۸۶/۹۴** | ۰/۶۵۲** | ۲/۰۵۸** | ۱۸۲/۲۸** | ۲ | (c) شوری | |
| ۱۵۶/۴۴ ^{ns} | ۵۶۳۹۰۹/۷۵** | ۳۹۹/۶** | ۰/۰۰۷ ^{ns} | ۰/۲۶۱** | ۱۸/۹۴** | ۲ | a × b | |
| ۶۲۸/۵۰** | ۲۳۷۵۷۴/۲۴* | ۸۸/۰* | ۰/۳۵۲** | ۰/۰۴۸** | ۳/۱۴ ^{ns} | ۴ | a × c | |
| ۵۲۰/۵۷* | ۸۵۰۴۹/۱۴ ^{ns} | ۸۳/۱۸* | ۰/۰۱۹ ^{ns} | ۰/۲۶۷** | ۳۰/۵۹** | ۲ | b × c | |
| ۱۲۰/۶۸ | ۶۲۵۲۷/۶۲ | ۲۳/۴۲ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۱۲ | ۱/۳۲ | ۳۴ | خطا | |

ns و * و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

نتایج و بحث

عملکرد وزن تر شاخساره

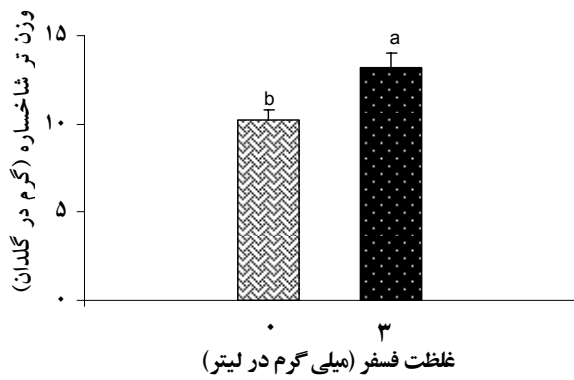
با افزایش سطح شوری، عملکرد وزن تر شاخساره ذرت کاهش معنی‌داری ($P < 0/01$) داشت (جدول ۱) به طوری که عملکرد گیاه در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری، ۴۲/۸ درصد و در سطح ۶۰ میلی‌مولار شوری ۲۱/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۱). با افزایش غلظت آنتیموان محلول غذایی، عملکرد وزن تر شاخساره به طور معنی‌داری ($P < 0/01$) کاهش یافت (جدول ۱). عملکرد وزن تر شاخساره در سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان، ۶/۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. این کاهش در سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان تا ۱۶/۱ درصد رسید (شکل ۲). هی و همکاران (۱۴) با بررسی اثر آنتیموان بر ریشه و جوانه برنج بیان کردند که با افزایش غلظت آنتیموان، رشد گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافته است. وزن تر بوته‌های رشد کرده در محلول غذایی حاوی فسفر در مقایسه با بوته‌های رشد کرده در محلول غذایی بدون فسفر بیشتر بود. به طوری که با افزودن ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر به محلول غذایی، عملکرد وزن تر شاخساره ۲۹/۶ درصد افزایش یافت (شکل ۳). نقش



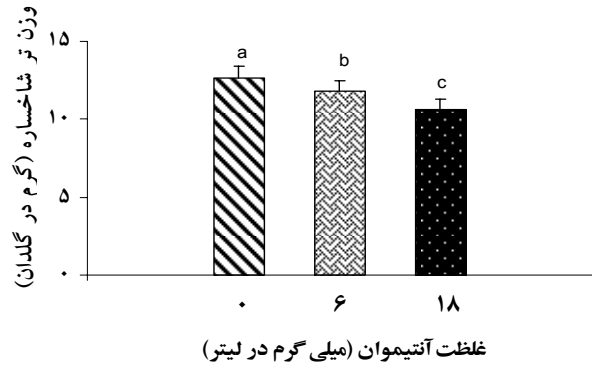
شکل ۱. اثر شوری بر وزن تر شاخساره ذرت

توسط هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. در ادامه، نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه جوشانیده و بعد از سرد شدن در دمای اتاق، قابلیت هدایت الکتریکی آنها دومرتبه اندازه‌گیری شد. درصد الکترولیته محلول طبق فرمول ذکر شده $[EC = ((C_1/C_2) \times 100)]$ محاسبه شد. C_1 و C_2 به ترتیب عبارتند از: هدایت الکتریکی محلول قبل و بعد از جوشانیدن (۲۶).

تجزیه واریانس نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵٪ انجام شد و رسم شکل‌ها نیز توسط نرم‌افزار Excel صورت گرفت.



شکل ۳. اثر فسفر بر وزن تر شاخساره ذرت



شکل ۲. اثر آنتیموان بر وزن تر شاخساره ذرت

جدول ۲. اثر متقابل آنتیموان با شوری و با فسفر بر وزن تر شاخساره ذرت

| میانگین | وزن تر اندام هوایی (گرم در گلدان) | | | | | | آنتیموان (mgL ⁻¹) |
|---------|-----------------------------------|--------|--------|---------------------------|---------|--------|-------------------------------|
| | غلظت کلرید سدیم (میلی مولار) | | | فسفر (mgL ⁻¹) | | | |
| | ۱۲۰ | ۶۰ | ۰ | میانگین | ۳ | ۰ | |
| ۱۲/۶۷A | ۱۰/۰۳a | ۱۱/۹۲a | ۱۶/۰۶a | ۱۲/۶۷A | ۱۳/۴۰a | ۱۱/۹۴b | ۰ |
| ۱۱/۷۹ B | ۷/۹۱a | ۱۲/۶۰a | ۱۴/۸۷a | ۱۱/۷۹ B | ۱۴/۴۷a | ۹/۱۲c | ۶ |
| ۱۰/۶۳ C | ۷/۶۳a | ۱۰/۵۳a | ۱۳/۷۳a | ۱۰/۶۳ C | ۱۱/۷۵b | ۹/۵۱c | ۱۸ |
| | ۸/۵۲C | ۱۱/۶۸B | ۱۴/۸۹A | | ۱۳/۲۱ A | ۱۰/۱۹B | |

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی دار نمی باشند. حروف کوچک نشان دهنده مقایسه برهمکنش ها و حروف بزرگ نشان دهنده مقایسه عامل های اصلی می باشند.

غلظت آنتیموان، در سطح یکسان فسفر، بوته هایی با وزن تر کمتری تولید شد (جدول ۲).

تجزیه داده ها نشان داد که اثر متقابل فسفر و شوری بر وزن تر شاخساره ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱). بوته های رشد کرده در محلول غذایی با سطوح شوری بالا ولی در سطوح فسفر یکسان، دارای وزن تر کمتری نسبت به گیاهان رشد کرده در سطوح کمتر شوری بودند. مقایسه سطوح مختلف شوری و فسفر نشان داد که بوته های رشد کرده در تیمار ۳ میلی گرم در لیتر فسفر و در شرایط غیر شور (بدون کلرید سدیم) بیشترین وزن تر شاخساره را داشتند (جدول ۲). با توجه به اهمیت فسفر در گیاه و نقش آن در بسیاری از ترکیبات مهم سلول های گیاهی، از جمله اسیدهای

عنصر نسبت داده می شود (۴). فسفر در گیاه نقش اساسی و مستقیمی در انتقال انرژی ایفا می کند. علاوه بر این، فسفات در کربن گیری گیاه نیز نقش مهمی دارد. به دلیل نقش این عنصر در انتقال انرژی مورد نیاز رشد، در گیاهانی که در شرایط کمبود فسفر رشد می کنند، ابتدا رشد ریشه متوقف شده، سپس رشد اندام هوایی کاهش یافته و بلوغ گیاه به تأخیر می افتد (۲).

اثر متقابل آنتیموان و شوری بر وزن تر شاخساره ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی دار نشد، اما اثر متقابل فسفر و آنتیموان بر وزن تر شاخساره ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱). در حضور آنتیموان، همراه با افزایش سطح فسفر، وزن تر شاخساره نیز افزایش یافت که دلیل این امر مربوط به اثر مثبت تغذیه فسفر بر رشد و نمو گیاه می باشد و با افزایش

جدول ۳. اثر متقابل شوری و فسفر بر وزن خشک شاخساره

| میانگین | وزن تر اندام هوایی (گرم در گلدان) | | | | | | |
|---------|-----------------------------------|--------|-------|---------|----------------------------|-------|-------------------------------|
| | غلظت کلرید سدیم (میلی مولار) | | | میانگین | فسفر (mgL^{-1}) | | آنتیوان (mgL^{-1}) |
| | ۱۲۰ | ۶۰ | ۰ | | ۳ | ۰ | |
| ۱/۴۲A | ۱/۱۶d | ۱/۲۶cd | ۱/۸۵a | ۱/۴۲A | ۱/۴۴b | ۱/۴۰b | ۰ |
| ۱/۳۰B | ۰/۹۳e | ۱/۳۴c | ۱/۶۳b | ۱/۳۰B | ۱/۵۶a | ۱/۰۴c | ۶ |
| ۱/۲۵B | ۰/۹۵e | ۱/۲۱cd | ۱/۵۸b | ۱/۲۵B | ۱/۳۹b | ۱/۱۱c | ۱۸ |
| | ۱/۰۱C | ۱/۲۷B | ۱/۶۹A | | ۱/۴۶A | ۱/۱۸B | میانگین |

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.

۸/۴ درصد و در سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیوان، ۱۲/۰ درصد بود. وزن خشک گیاهان کشت شده در محلول‌های حاوی فسفر به‌طور معنی‌داری از گیاهان رشد کرده در محلول‌های بدون فسفر بیشتر بود ($P < 0/01$)، به طوری که با افزایش غلظت فسفر تا ۳ میلی‌گرم در لیتر، عملکرد وزن خشک ۲۴ درصد افزایش یافت.

در حضور آنتیوان، وزن خشک شاخساره با افزایش شوری به طور معنی‌داری ($P < 0/01$) کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین وزن خشک مربوط به گیاهان رشد کرده در محلول صفر آنتیوان و شوری و کمترین آن در هر سه سطح آنتیوان، مربوط به سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری بوده است (جدول ۳). تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر متقابل آنتیوان و فسفر بر وزن خشک شاخساره ذرت، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۱). بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیوان و ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر و کمترین آن مربوط به سطح حاوی آنتیوان و فاقد فسفر بوده است (جدول ۳).

اثر متقابل فسفر و شوری بر وزن خشک شاخساره ذرت نشان داد که با افزایش شوری در یک سطح فسفر، وزن خشک گیاه به طور معنی‌داری ($P < 0/01$) کاهش یافت. اگرچه وزن خشک گیاه در سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر در کلیه سطوح شوری، بیشتر از سطح فسفر صفر میلی‌گرم در لیتر بود. مقایسه

نوکلئیک، فسفولیپیدهای غشاء و نوکلئوتیدهایی که در متابولیسم گیاه شرکت دارند، تغذیه فسفر سبب افزایش تحمل گیاهان زراعی در برابر شوری شده است (۳). بر اساس گزارش معینی و فرح‌بخش (۳) کاربرد فسفر، به ویژه در غلظت‌های کم، اثرهای منفی شوری بر آفتابگردان را کاهش داد.

عملکرد وزن خشک شاخساره

افزایش سطح شوری، سبب کاهش معنی‌داری ($P < 0/01$) در وزن خشک شاخساره شد و از لحاظ سطوح مختلف شوری بر وزن خشک شاخساره تفاوت معنی‌داری وجود داشته است (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به سطح صفر و کمترین آن مربوط به سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری بود (جدول ۳). عملکرد وزن خشک در سطح ۶۰ میلی‌مولار شوری، ۲۴ درصد و در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری، ۳۴ درصد نسبت به صفر کاهش یافت.

وزن خشک شاخساره، با افزایش غلظت آنتیوان در محلول غذایی کاهش معنی‌داری ($P < 0/01$) یافت (جدول ۳) و از لحاظ سطوح مختلف آنتیوان بر وزن خشک شاخساره تفاوت معنی‌داری وجود داشته است. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد بیشترین وزن خشک مربوط به سطح صفر و کمترین آن مربوط به سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیوان بود. کاهش وزن خشک شاخساره در سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیوان،

جدول ۴. اثر متقابل شوری و فسفر بر وزن تر و خشک شاخساره ذرت

| غلظت کلرید سدیم (میلی مولار) | وزن تر شاخساره (گرم در گلدان) | | وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) | | میانگین |
|---------------------------------|-------------------------------|---------|--------------------------------|-------|---------|
| | فسفر (mgL ⁻¹) | | فسفر (mgL ⁻¹) | | |
| | ۰ | ۳ | ۰ | ۳ | |
| ۰ | ۱۶/۷۸a | ۱۲/۹۹c | ۱/۶۹A | ۱/۸۷a | ۱/۴۹b |
| ۶۰ | ۱۴/۲۶b | ۹/۱۱d | ۱/۲۷B | ۱/۵۰b | ۱/۰۴c |
| ۱۲۰ | ۸/۵۸d | ۸/۴۷d | ۱/۰۱C | ۱/۰۱c | ۱/۰۱c |
| میانگین | ۱۳/۲۱A | ۱۰/۱۹ B | | A۱/۴۶ | B۱/۱۸ |

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی دار نمی باشند. حروف کوچک نشان دهنده مقایسه برهمکنشها و حروف بزرگ نشان دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می باشند.

آن مربوط به سطح صفر آنتیموان بوده به طوری که غلظت گیاه در تیمار بدون آنتیموان، کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود. افزایش غلظت آنتیموان از ۶ به ۱۸ میلی گرم در لیتر، منجر به ۳۷ درصد افزایش در غلظت آنتیموان ریشه گردید. نشان و همکاران (۲۴) نشان دادند که غلظت آنتیموان در دو گیاه ذرت و آفتابگردان رابطه مستقیمی با غلظت آنتیموان محلول غذایی داشت. با وجود این که آنتیموان یک عنصر غیر ضروری برای گیاهان است، اما می تواند به آسانی توسط گیاه جذب شود (۷) و سطح ۱۰-۵ میلی گرم در کیلوگرم آنتیموان در بافت های گیاهی سمی گزارش شده است (۱۵). ولی در این پژوهش با اعمال سطوح مشخصی از آنتیموان، غلظت آنتیموان گیاه به حد سمیت نرسیده است.

افزایش غلظت فسفر در محلول غذایی، تفاوت معنی داری را در غلظت آنتیموان ریشه ایجاد نکرد (جدول ۱). اثر متقابل شوری بر آنتیموان و فسفر بر آنتیموان ریشه ذرت، در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود. مقایسه میانگین ها نشان داد بیشترین غلظت آنتیموان ریشه مربوط به سطح ۱۸ میلی گرم در لیتر آنتیموان و ۶۰ میلی مولار شوری و کمترین آن مربوط به سطح ۶ میلی گرم در لیتر آنتیموان و صفر شوری بوده است (جدول ۵).

بیشترین غلظت آنتیموان، مربوط به سطح ۱۸ میلی گرم در لیتر آنتیموان و فسفر صفر و کمترین غلظت این عنصر مربوط به

میانگین ها نشان داد که بیشترین وزن خشک مربوط به گیاهان رشد کرده در محلول غذایی غیرشور حاوی سطح ۳ میلی گرم در لیتر فسفر و کمترین آن مربوط به بوته های رشد کرده در سطح ۱۲۰ میلی مولار شوری در هر دو سطح فسفر بوده است (جدول ۴).

غلظت آنتیموان ریشه

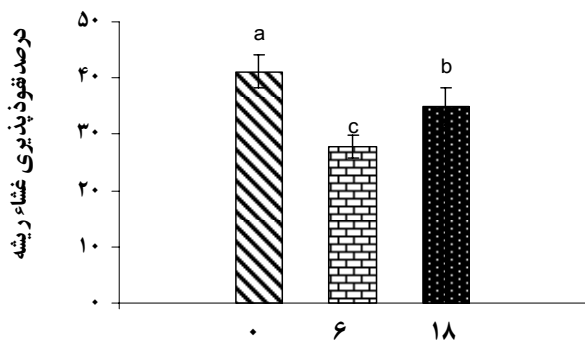
تجزیه آماری نشان داد که با افزایش شوری، غلظت آنتیموان در ریشه گیاه به طور معنی داری ($P < 0/01$) افزایش یافت (جدول ۱). مقایسه میانگین ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین غلظت آنتیموان ریشه مربوط به سطح ۶۰ میلی مولار و کمترین غلظت در ریشه مربوط به سطح صفر شوری بود. غلظت آنتیموان ریشه در سطح ۶۰ میلی مولار شوری، ۷۴ درصد و در سطح ۱۲۰ میلی مولار شوری، ۵۰ درصد نسبت به سطح صفر شوری افزایش یافت. شوری زیاد می تواند قدرت انتخاب غشاء سلول را مختل نموده و ورود آنتیموان به سلول را تسهیل نماید. در نتیجه با افزایش سطح شوری، غلظت آنتیموان ریشه نیز افزایش می یابد (۱۹).

افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، به طور معنی داری سبب افزایش غلظت آنتیموان ریشه شد ($P < 0/01$). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بیشترین غلظت آنتیموان ریشه مربوط به سطح ۱۸ میلی گرم در لیتر آنتیموان و کمترین

جدول ۵. اثر متقابل آنتیموان با شوری و با فسفر بر غلظت آنتیموان ریشه

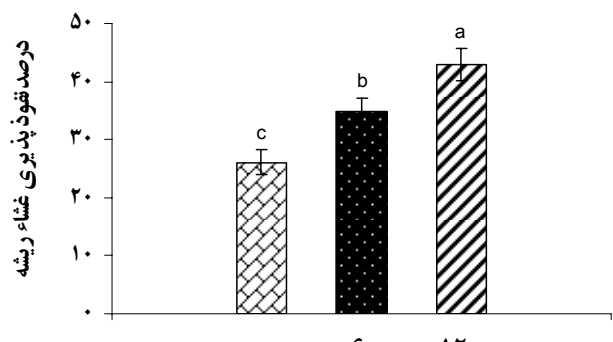
| میانگین | غلظت آنتیموان ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم گلدان) | | | | | | آنتیموان (mgL ⁻¹) |
|---------|--|-------|---------|------------------------------|-------|--------|-------------------------------|
| | فسفر (mgL ⁻¹) | | میانگین | غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار) | | | |
| | ۳ | ۰ | | ۱۲۰ | ۶۰ | ۰ | |
| - | nd | nd | - | nd | nd | nd | ۰ |
| ۰/۸۹B | ۰/۹۶c | ۰/۸۳d | ۰/۸۹B | ۱/۰۲c | ۰/۹۴c | ۰/۷۲d | ۶ |
| ۱/۲۲A | ۱/۱۷b | ۱/۲۸a | ۱/۲۲A | ۱/۲۳b | ۱/۶۷a | ۰/۷۷cd | ۱۸ |
| میانگین | ۰/۷۱A | ۰/۷۰A | | ۰/۷۵B | ۰/۸۷A | ۰/۴۹C | |

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.



غلظت آنتیموان (میلی گرم در لیتر)

شکل ۵. اثر آنتیموان بر نفوذپذیری غشاء ریشه ذرت



غلظت کلرید سدیم (میلی مولار)

شکل ۴. اثر شوری بر نفوذپذیری غشاء ریشه ذرت

گزارش کردند که در شرایط تنش، فرایندهای مخرب غشاء فعال شده و منجر به اکسایش لیپیدهای غشاء می‌شوند. در نتیجه، درصد نفوذپذیری غشاء ریشه در شرایط تنش افزایش می‌یابد. با افزایش شوری، درصد نفوذپذیری غشاء ریشه به علت تنش حاصل از شوری افزایش یافت.

مقایسه میانگین تیمارهای آنتیموان نشان داد که بیشترین نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به سطح صفر و کمترین آن مربوط به سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان بود. درصد نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان ۳۲/۵ درصد و در سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان ۱۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۵). با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، نفوذپذیری غشاء ریشه ابتدا کاهش و دوباره افزایش یافت ($P < 0/01$). گزارش‌های آرتتکس

سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و فسفر صفر بوده است. اثر متقابل شوری و فسفر بر غلظت آنتیموان ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪، تفاوت معنی‌داری را ایجاد نکرد (جدول ۱).

نفوذپذیری غشاء ریشه

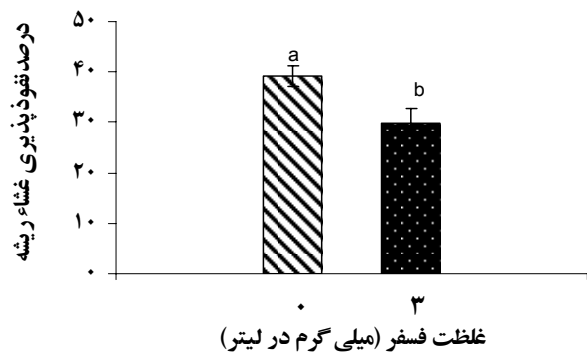
افزایش سطح شوری در محلول غذایی، نفوذپذیری غشاء ریشه را نیز به طور معنی‌داری ($P < 0/01$) افزایش داد (جدول ۱). بیشترین نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و کمترین آن مربوط به سطح شاهد شوری بود به طوری که درصد نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح ۶۰ میلی‌مولار شوری ۳۴ درصد و در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری ۶۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۴). سوفو و همکاران (۲۱)

درصد بیشتر از تیمار ۳ میلی گرم در لیتر فسفر بود (شکل ۶). فسفر نیز به دلیل نقش در گروه‌های فسفات غشاء سبب استحکام آن و کاهش درصد نفوذپذیری غشاء ریشه می‌شود.

افزایش شوری در هر سطحی از آنتیموان سبب افزایش درصد نفوذپذیری غشاء ریشه شد ولی افزایش آنتیموان در یک سطح از شوری منجر به کاهش درصد نفوذپذیری شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به تیمار صفر آنتیموان و ۱۲۰ میلی مولار شوری و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۸ میلی گرم در لیتر آنتیموان و بدون شوری بود (جدول ۶). با افزایش سطح شوری در یک سطح معین از آنتیموان درصد نفوذپذیری غشاء ریشه افزایش یافته ولی این افزایش در سطح ۶ میلی گرم در لیتر آنتیموان نسبت به دو سطح دیگر کمتر بود.

همراه با افزایش فسفر محلول غذایی حاوی آنتیموان، درصد نفوذپذیری غشاء ریشه گیاهان کاهش معنی‌داری ($P < 0/01$) یافت (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین درصد نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به تیمار صفر آنتیموان و فسفر و کمترین آن مربوط به تیمار ۶ میلی گرم در لیتر آنتیموان و سطح ۳ میلی گرم در لیتر فسفر بود (جدول ۶). بررسی اثر متقابل آنتیموان و فسفر نشان داد که در سطوح صفر و ۶ میلی گرم در لیتر آنتیموان، با افزایش فسفر، درصد نفوذپذیری غشاء ریشه کاهش یافت. ولی در سطح ۱۸ میلی گرم در لیتر آنتیموان، به علت اثر منفی آنتیموان، فسفر نتوانسته نقش مثبت خود را ایفا کند و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه تغییر معنی‌داری نداشته است.

نفوذپذیری گیاهان رشد کرده در سطح یکسان فسفر، با افزایش شوری افزایش معنی‌داری ($P < 0/05$) داشت. افزایش در سطح ۳ میلی گرم در لیتر فسفر نسبت به سطح صفر کمتر بود چون اثر مثبت فسفر نتوانسته اثر منفی شوری را تا حدودی کاهش دهد. در هر سطح شوری، با افزایش غلظت فسفر، درصد نفوذپذیری غشاء کاهش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان



شکل ۶. اثر فسفر بر نفوذپذیری غشاء ریشه ذرت

و همکاران (۹) نشان داد که تجمع مواد سمی در گیاه سبب آزاد شدن رادیکال‌های اکسیژن فعال در گیاه شده و بر ساختار غشاء سلولی تأثیر گذاشته و سبب اختلال در فرایندهای مختلف سلولی می‌گردد.

نتایج این پژوهش نشان داد که آنتیموان می‌تواند در غلظت کم برای گیاه ضروری و در غلظت بالا سمی باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، میانگین درصد نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح صفر میلی گرم در لیتر آنتیموان بیشتر از دو سطح دیگر بود. بر اساس گزارش تشان و همکاران (۲۴)، آنتیموان از لحاظ خصوصیات شیمیایی شبیه به آرسنیک و فسفر است. گیاهان با سازوکار مشابهی این عناصر را جذب می‌کنند. در نتیجه، در غلظت صفر میلی گرم در لیتر آنتیموان نسبت به دو سطح دیگر، گیاه از نظر برخی عناصر دچار کمبود شده و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه افزایش می‌یابد. غلظت زیاد آنتیموان نیز برای گیاه سمی است و گروه‌های سولفیدریل و فسفات غشاء را از بین برده و نفوذپذیری را افزایش می‌دهد (۲۲). نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح ۱۸ میلی گرم در لیتر نسبت به سطح صفر آنتیموان کمتر است.

ریشه گیاهانی که در محلول غذایی فسفر کمتری رشد کرده بودند دارای نفوذپذیری بیشتری بوده و افزایش غلظت فسفر تأثیر معنی‌داری ($P < 0/01$) بر درصد نفوذپذیری غشاء ریشه داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که نفوذپذیری غشاء ریشه در تیمار صفر فسفر ۲۴

جدول ۶. اثر متقابل آنتیموان با شوری و فسفر بر نفوذپذیری غشاء ریشه

| میانگین | نفوذپذیری غشاء ریشه (%) | | | | | | آنتیموان (mgL ⁻¹) |
|---------|---------------------------|--------|---------|------------------------------|---------|--------|-------------------------------|
| | فسفر (mgL ⁻¹) | | میانگین | غلظت کلرید سدیم (میلی مولار) | | | |
| | ۳ | ۰ | | ۱۲۰ | ۶۰ | ۰ | |
| ۴۱/۱۱A | ۳۱/۸۴b | ۵۰/۳۸a | ۴۱/۱۱A | ۴۷/۱۷a | ۴۱/۲۵bc | ۳۴/۹۱d | ۰ |
| ۲۷/۷۶C | ۲۲/۹۱c | ۳۲/۶۱b | ۲۷/۷۶C | ۳۶/۲۲cd | ۲۵/۳۸e | ۲۱/۶۸e | ۶ |
| ۳۴/۹۲B | ۳۵/۰۶b | ۳۴/۷۷b | ۳۴/۹۱B | ۴۵/۴۶ab | ۳۷/۷۴cd | ۲۱/۵۳e | ۱۸ |
| | ۲۹/۹۴B | ۳۹/۲۵A | | ۴۲/۹۵A | ۳۴/۷۹B | ۲۶/۰۴C | میانگین |

۱- مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح یک درصد معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه عامل‌های اصلی می‌باشد.

جدول ۷. اثر متقابل شوری و فسفر بر غلظت آنتیموان ریشه نفوذپذیری غشاء ریشه

| میانگین | نفوذپذیری غشاء ریشه (%) | | | | غلظت کلرید سدیم (میلی مولار) | |
|---------|--|--------|---------------------------|-------|------------------------------|---------|
| | غلظت آنتیموان ریشه (میلی گرم در کیلوگرم گلدان) | | فسفر (mgL ⁻¹) | | | |
| | ۳ | ۰ | ۳ | ۰ | | |
| ۲۶/۰۴C | ۱۹/۲۱d | ۳۲/۸۷c | ۰/۵۰C | ۰/۵۰a | ۰/۵۰a | ۰ |
| ۳۴/۷۹B | ۳۰/۱۷c | ۳۹/۴۱b | ۰/۸۷A | ۰/۸۴a | ۰/۹۰a | ۶۰ |
| ۴۲/۹۵A | ۴۰/۴۲b | ۴۵/۴۸a | ۰/۷۵B | ۰/۷۹a | ۰/۷۱a | ۱۲۰ |
| | ۲۹/۹۴B | ۳۹/۲۵A | | ۰/۷۱A | ۰/۷۰A | میانگین |

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.

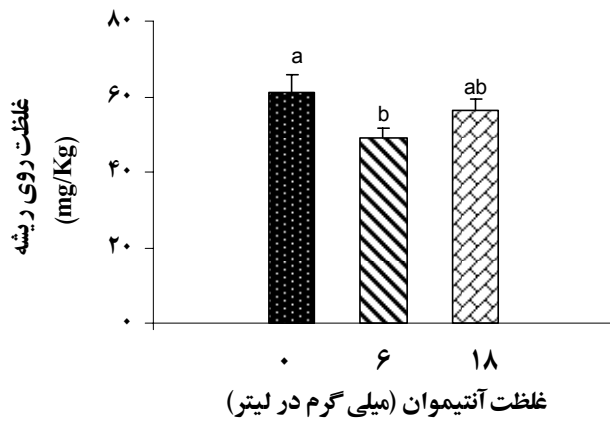
تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر متقابل شوری و آنتیموان بر غلظت آهن ریشه ذرت در سطح احتمال ۵٪ و اثر متقابل آنتیموان و فسفر بر غلظت آهن ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. اما، اثر متقابل شوری فسفر بر غلظت آهن ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیست (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین غلظت آهن ریشه مربوط به تیمار صفر آنتیموان و ۱۲۰ میلی مولار شوری و کمترین آن مربوط به سطح ۱۸ میلی گرم در لیتر آنتیموان و صفر کلرید سدیم بود (جدول ۸).

همان طور که در جدول ۸ نشان داده شده، بیشترین غلظت آهن ریشه مربوط به سطح صفر آنتیموان در فسفر و کمترین آن، مربوط به سطح ۱۸ میلی گرم در لیتر آنتیموان و ۳ میلی گرم در لیتر

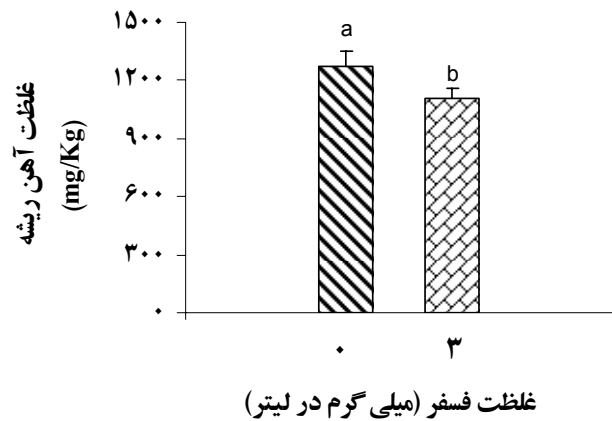
داد بیشترین درصد نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به بوته‌های رشد کرده در محلول بدون فسفر و سطح ۱۲۰ میلی مولار شوری و کمترین آن مربوط به سطح ۳ میلی گرم در لیتر فسفر و شوری صفر بود (جدول ۷).

غلظت آهن ریشه

اثر شوری و آنتیموان بر غلظت آهن ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت آهن ریشه، مربوط به سطح صفر فسفر بیشتر از غلظت ۳ میلی گرم در لیتر فسفر بود (شکل ۷). غلظت آهن در سطح ۳ میلی گرم در لیتر فسفر نسبت به سطح فسفر صفر ۱۳٪ کاهش یافته است.



شکل ۸. اثر آنتیموان بر غلظت روی ریشه



شکل ۷. اثر فسفر بر غلظت آهن ریشه

جدول ۸. اثر متقابل آنتیموان با شوری و فسفر بر غلظت آهن ریشه

| آنتیموان (mgL ⁻¹) | غلظت آهن ریشه (میلی گرم در کیلوگرم) | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------|------------|------------------------------|----------|-----------|----------|
| | فسفر (mgL ⁻¹) | | میانگین | غلظت کلرید سدیم (میلی مولار) | | | |
| | ۳ | ۰ | | ۱۲۰ | ۶۰ | ۰ | |
| ۰ | ۱۲۳۹/۹۷۸ | ۱۰۵۷/۸۲cd | ۱۴۲۲/۱۲a | ۱۲۳۹/۹۷۸ | ۱۳۵۰/۵۹a | ۱۱۴۹/۳۹a | ۱۲۱۹/۹۳a |
| ۶ | ۱۲۴۴/۲۰۸ | ۱۳۶۲/۷۰ab | ۱۱۲۶/۱۶b-d | ۱۲۴۴/۴۳۸ | ۱۲۱۷/۰۹a | ۱۱۷۲/۹۳a | ۱۳۴۳/۲۸a |
| ۱۸ | ۱۰۸۷/۵۹۸ | ۸۹۳/۵۰d | ۱۲۸۱/۶۹a-d | ۱۰۸۷/۵۹۸ | ۱۳۴۹/۸۶a | ۱۱۶۰/۲۶a | ۷۵۲/۶۷b |
| میانگین | ۱۲۳۹/۹۷۸ | ۱۱۰۴/۶۷B | ۱۲۷۶/۶۶A | | ۱۳۰۵/۸۵A | ۱۱۶۰/۸۶AB | ۱۱۰۵/۲۹B |

۱- مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح یک درصد معنی دار نمی باشند. حروف کوچک نشان دهنده مقایسه برهمکنشها و حروف بزرگ نشان دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می باشد.

کمترین آن، مربوط به سطح ۶ میلی گرم در لیتر بوده و این تفاوت از نظر آماری معنی دار بود ($P < 0/01$) (شکل ۸).
بیشترین غلظت روی ریشه، مربوط به سطوح صفر آنتیموان و شوری و کمترین غلظت عنصر، مربوط به سطوح ۱۸ میلی گرم در لیتر آنتیموان و صفر شوری بود که این تفاوت از نظر آماری معنی دار است ($P < 0/01$) (جدول ۹).
تجزیه داده‌ها نیز نشان داد اثر متقابل آنتیموان و فسفر بر غلظت روی ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی دار نیست (جدول ۹).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت روی مربوط به تیمار بالاترین سطح فسفر و شوری و کمترین آن، مربوط به سطوح متقابل ۳ میلی گرم در لیتر فسفر و صفر شوری بوده

فسفر بود. بررسی اثر متقابل آنتیموان و فسفر نشان داد که همراه با افزایش فسفر در محلول غذایی در یک سطح آنتیموان، غلظت و جذب آهن ریشه کاهش یافت ولی در سطح ۶ میلی گرم در لیتر آنتیموان همراه با افزایش فسفر، غلظت و جذب آهن ریشه افزایش یافت. یعنی بین سطوح ۶ میلی گرم در لیتر آنتیموان و ۳ میلی گرم در لیتر فسفر یک هم‌افزایی جهت افزایش جذب غلظت آهن در ریشه گیاه بود.

غلظت روی ریشه

اثر شوری و فسفر بر غلظت روی ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی دار نیست (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت روی ریشه مربوط به سطح صفر آنتیموان و

جدول ۹. اثر متقابل آنتیموان با شوری و فسفر بر غلظت روی ریشه

| میانگین | غلظت روی ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم) | | | | | | آنتیموان (mgL ⁻¹) |
|---------|-------------------------------------|--------|---------|------------------------------|-----------|--------|----------------------------------|
| | فسفر (mgL ⁻¹) | | میانگین | غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار) | | | |
| | ۳ | ۰ | | ۱۲۰ | ۶۰ | ۰ | |
| ۶۰/۸۷A | ۶۰/۴۹a | ۶۱/۲۶a | ۶۰/۸۷A | ۶۵/۵۱a | ۴۸/۲۰d | ۶۸/۹۲a | ۰ |
| ۴۸/۹۱B | ۵۴/۲۷a | ۴۳/۵۴a | ۴۸/۹۱B | ۵۰/۰۴cd | ۵۱/۴۲ bcd | ۴۵/۲۶d | ۶ |
| ۵۶/۲۶AB | ۵۷/۶۲a | ۵۴/۸۹a | ۵۶/۲۶AB | ۶۳/۳۶ab | ۶۱/۶۶abc | ۴۳/۷۵d | ۱۸ |
| | ۵۷/۴۶A | ۵۳/۲۳A | | ۵۹/۶۳A | ۵۳/۷۶A | ۵۲/۶۴A | میانگین |

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.

جدول ۱۰. اثر متقابل شوری و فسفر بر غلظت آهن و روی ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم)

| میانگین | غلظت روی ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم) | | میانگین | غلظت آهن ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم) | | غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار) |
|---------|-------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|
| | فسفر (mgL ⁻¹) | | | فسفر (mgL ⁻¹) | | |
| | ۳ | ۰ | | ۳ | ۰ | |
| ۵۲/۶۴A | ۴۹/۴۳b | ۵۵/۸۶b | ۱۱۰۵/۲۹B | ۱۰۸۳/۹۱a | ۱۱۲۶/۶۸a | ۰ |
| ۵۳/۷۶A | ۵۵/۷۸b | ۵۱/۷۳b | ۱۱۶۰/۸۶AB | ۱۰۸۲/۴۸a | ۱۲۳۹/۲۳a | ۶۰ |
| ۵۹/۶۳A | ۶۷/۱۸a | ۵۲/۱۰b | ۱۳۰۵/۸۵A | ۱۱۴۷/۶۳a | ۱۴۶۴/۰۷a | ۱۲۰ |
| | ۵۷/۴۶A | ۵۳/۲۳A | | ۱۱۰۴/۶۷B | ۱۲۷۶/۶۶A | میانگین |

ریشه گیاه شد. غلظت بالای آنتیموان در محیط بر نفوذپذیری غشاء ریشه اثر منفی داشت در حالی که غلظت کم آنتیموان در محلول غذایی باعث کاهش معنی‌دار درصد نفوذپذیری غشاء ریشه شد. بالا رفتن غلظت آنتیموان در محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن ریشه نداشت در حالی که باعث کاهش غلظت روی و افزایش غلظت آنتیموان ریشه شد. با توجه به اهمیت آنتیموان و تحقیقات کم انجام شده پیرامون این عنصر در ایران پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در زمینه فرایند جذب و انتقال آنتیموان در گیاه و عوامل موثر بر انباشت آن در اندام‌های خوراکی ذرت به عمل آید.

است. در سطح صفر فسفر با افزایش شوری تفاوت معنی‌داری در غلظت روی ریشه مشاهده نشد. اما، در سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر با افزایش غلظت شوری، غلظت روی ریشه نیز افزایش یافت ($P < 0/05$) (جدول ۱۰).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آنتیموان منجر به کاهش وزن تر گیاه ذرت شد اما میزان انباشتگی آنتیموان در آن به حد سمیت نرسید. اثر متقابل آنتیموان با فسفر، در غلظت‌های به‌کار رفته در این آزمایش تأثیر مثبتی بر گیاه داشته و باعث افزایش وزن تر شاخساره و کاهش درصد نفوذپذیری غشاء

منابع مورد استفاده

۱. رجایی، م. ۱۳۸۵. تأثیر زمان، سطوح و منابع کادمیم و نیکل بر شکل‌های شیمیایی، رشد و جذب این دو عنصر توسط اسفناج. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۲. سالاردینی، ع. ۱۳۷۶. حاصلخیزی خاک و کودها. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
۳. معینی، م. و ع. فرح بخش. ۱۳۸۲. بررسی اثر کاربرد فسفر در شرایط شوری روی آفتابگردان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، رشت.
۴. قولر عطا، م.، ف. رئیسی و ح. نادیان. ۱۳۸۷. اثرات متقابل شوری و فسفر بر رشد، عملکرد و جذب عناصر در شبدر برسیم، پژوهش‌های زراعی ایران ۶: ۱۱۷-۱۲۶.
5. Adriano, D. C. 2001. Trace elements in terrestrial environments. 2nd Ed., Springer-Verlag, New York.
6. Ainsworth, N., J. A. Cooke and M. S. Johnson. 1990. Distribution of antimony in contaminated grassland: 1. Vegetation and soils. Environ. Pollut. 65: 65-77.
7. Ainsworth, N., J. A. Cooke and M. S. Johnson. 1991. Biological significance of antimony in contaminated grassland. Water, Air and Soil Pollut. 57/58: 193-199.
8. Amereih, S., Th. Meisel., R. Scholger and W. Wegscheider. 2005. Antimony speciation in soil samples along two Austrian motorways by HPLC-ID-ICP-MS. Environ. Monit. 7: 1200-1206.
9. Artetxe, U., J. I. Garcia-Plazaola, A. Hernandez and J. M. Becerril. 2002. Low light grown duckweed plants are more protected against the toxicity induced by Zn and Cd. Plant Physiol. Bioch. 40: 859-863.
10. Dietl, C., W. Reifenhauer and L. Peichl. 1997. Association of antimony with traffic-occurrence in airborne dust, deposition and accumulation in standardized grass cultures. Sci. The Total Environ. 205: 235-244.
11. Elinder, C. G. and L. Friberg. 1986. Antimony. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
12. Filella, M., N. Belzile and Y. W. Chen. 2002. Antimony in the environment: A review focused on natural waters. I. Occurrence. Earth Sci. Rev. 57: 125-176.
13. Gresch, M. and B. Wettstein. 2002. Antimon-und Bleibelastung bei Schiessanlagen. Fallbeispiel Eschenbach (SG), Semesterarbeit, Zurich, ETH.
14. He, M. and J. Yang. 1999. Effects of different forms of antimony on rice during the period of germination and growth and antimony concentration in rice tissue. Sci. The Total Environ. 243/244: 149-155.
15. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
16. Lintschinger, J., B. Michalke, S. Schulte-Hostede and P. Schramel. 1998. Studies on speciation of Sb in soil contaminated by industrial activity. Environ. Anal. Chem. 72: 11-25.
17. Nash, M., J. Maskall and S. Hill. 2000. Methodologies for determination of antimony in terrestrial environmental samples. Environ. Monit. 2: 97-109.
18. Rish, M. A. 2004. Antimony. Elements and their compounds in the environment. 2. Auflage: 659-670.
19. Pilarski, J., P. Waller and W. Pickering. 1994. Sorption of antimony species by humic acid. Water, Air and Soil Pollut. 84: 51-59.
20. Shoty, W., M. Krachler and B. Chen. 2006. Toxic risk in bottled water. Environ. Monit. 8: 288-292.
21. Sofo, A., B. Dichio, C. Xiloyannis, and A. Masia. 2004. Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. Plant Sci. 106: 293-300.
22. Streeter, T. C., Z. Rengel, S. M. Neate, and R. D. Graham. 2001. Zinc fertilization increases tolerance to *Rhizocotina Solani* in *Medicago truncatula*. Plant Soil 228: 223-242.
23. Sun, H., S. C. Yan and W. S. Cheng. 2000. Interaction of antimony tartrate with the tripeptide glutathione: Implication for its mode of action. Biochem. 267: 5450-5457.
24. Tschan, M., B. Robinson and R. Schulin. 2008. Antimony uptake by *Zea mays* (L.) and *Helianthus annuus* (L.) from nutrient solution. Environ. Geochem. Health 30: 187-191.
25. Woollen, E. A., J. H. Axley, and P. C. Kearney. 1973. The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soils: Effects of time and phosphorous. Soil Sci. Soc. Am. J. 37: 254-259.
26. Yan, B., Q. Dai, X. Liu, S. Huang and Z. Wang. 1996. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. Plant Soil 179: 261-268.