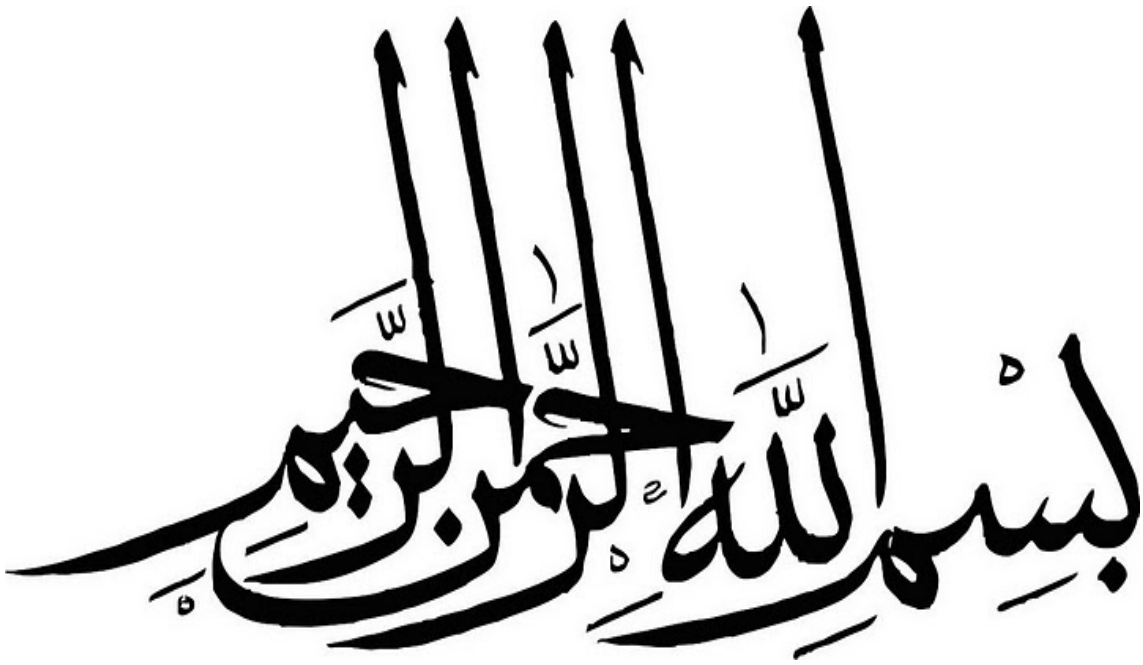
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه زیست شناسی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زیست شناسی- علوم گیاهی گرایش فیزیولوژی گیاهی

بررسی مقاومت، جذب و تجمع آرسنات در دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.)

استاد راهنما:

دکتر سید مجید قادریان

پژوهشگر:

شهلا مهدیه

اسفند ماه ۱۳۸۸

کلیه حقوق مادی مرتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نـوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانـشگاه اصفهان است.

شیوه نگارش پایان نامه
رعایت شده است.
تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان

دانشگاه اصفهان

دانشکده‌ی علوم

گروه زیست شناسی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زیست شناسی- علوم گیاهی

گرایش فیزیولوژی گیاهی خانم شهلا مهدیه تحت عنوان

بررسی مقاومت، جذب و تجمع آرسنات در دو رقم گندم
(*Triticum aestivum* L.)

در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۱۷ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

امضاء

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه جناب آقای دکتر سید مجید قادریان با مرتبه‌ی علمی دانشیار

امضاء

۲- استاد داور داخل گروه جناب آقای دکتر علی اکبر احسانپور با مرتبه‌ی علمی استاد

امضاء

۳- استاد داور خارج از گروه جناب آقای دکتر ناصر کریمی با مرتبه‌ی علمی استادیار

امضاء مدیر گروه

گروه زیست شناسی
Department Of Biology

امضاء مدير گروه

من لم يشكرالمخلوق لم يشكر الخالق

سپاس خدایی را که اول و آخر وجود است، بی آنکه اولی بر او پیشی بگیـرد یـا آخری پس از او باشد، خدایی که دست هر چشمی از دامن دیدارش کوتاه است و فهم هر کبوتر توصیفگری از پـرواز در آسـمان وصـفش عـاجز. حمـد و سـپاس خداوندی را می‌سزد که به من توان اندیشیدن بخشید تا بتوانم با استعانت و یاری از او فراز و نشیب‌های راه را پشت سرگذارم و توفیقاتی هـر چنـد نـاچیز را در عرصه علم و تحقیق بدست آورم. پس از آن لازم مي‌دانم صميمانه‌ترين مراتب تـشكر و قدرداني خود را تقديم نمايم به محضر استاد راهنماي دلسوزم، جناب آقاي دكتر قادريان به جهت كمك‌هاي بي‌پايان و راهنمايي‌هـاي ارزنـده‌شـان كـه همـواره راهگشاي مشكلات پايان نامه بود. از اساتيد داور جناب آقاي دكتـر احـسانپور و جناب آقاي دكتر كريمي به خاطر قبول داوري اين رساله و نكات ارزنده‌اي كـه درجهت بهبود كيفيت آن، من را یاری نموده‌اند تشكر مي‌نمايم. لازم می‌دانـم از تمامي اساتيد محترم گروه زيست شناسي دانشگاه اصفهان كه افتخار شاگردي در محضر آن‌ها را داشتم صمیمانه قدردانی نمایم. تشكر ويـژه دارم از جنـاب آقـاي دكتر كريمي به خاطر راهنمايي‌هاي ارزشمندشان در به انجام رسيدن اين تحقيـق. از پدر و مادر عزیزم آنان که وجودم بر ایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر، توانشان رفت تا به توانايي برسم و مويشان سپيد گشت تا رويم سپيد بمانـد، آنان كه راستي قامتم در شكستي قامتشان تجلي يافت صميمانه تشكر مـي‌نمـايم. از خواهران و برادران عزیزم و و از تمامي دوستانم كه در مراحـل مختلـف درس و تحقيق از راهنمايي‌ها و كمك‌هايشان بهره‌مند شدم ازصميم قلب تشكر مـي‌نمـايم و براي همه اين عزيزان طول عمر با عزت و موفقيـت در كـار و زنـدگي را آرزو مي‌كنم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم
که حضورشان آرامش زنـدگیم، وجودشـان امیـد زیـستنم، نگاهشان گرماي هستیم و بودنشان اطمینان خـاطرم اسـت. تمام موفقیت‌هاي مادي و معنوي خود را مدیون حمایت‌ها و پندهاي ایشان مي‌دانم.

و

برادران و خواهران مهربانم
به پاس همراهي صمیمانه‌شان در فراز و نشیب زندگي‌ام

چکیده

شبه فلزاتی نظیر آرسنیک از مهمترین ترکیبات آلوده کننده‌ی محیط زیست محسوب می‌شوند. برخی خاک‌ها بطور طبیعی (سنگ‌های مادری غنی از آرسنیک و فعالیت آتشفشان‌ها) و یا در اثر فعالیت‌های انسانی (استخراج معادن، سوزاندن زغال‌سنگ و استفاده از حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها با ترکیبات آرسنیکی) به مقادیر بالایی از این عنصر سمی آلوده‌اند. این عنصر در متابولیسم گیاه نقش قابل توجهی ندارد و تجمع آن در گیاهان رشد و نمو آن‌ها را محدود ساخته و تهدیدی جدی بر سلامتی جانوران و انسان‌ها محسوب می‌شود. شبه فلز آرسنیک در خاک به فرم‌های مختلفی وجود دارد، آرسنات و آرسنیت ترکیبات معدنی و مونومتیل آرسنیک اسید (MMA)، دی متیل آرسنیک اسید (DMA) و تری متیل آرسین ترکیبات آلی آرسنیک را با حلالیت و تحرک متفاوت تشکیل می‌دهند. آرسنات فرم غالب آرسنیک در شرایط هوازی به علت شباهت ویژگی‌های شیمیایی با یون فسفات جهت جذب توسط گیاه با فسفات رقابت نموده و در تنوعی از گونه‌ها نظیر خزه‌ها، گلسنگ‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و گیاهان عالی از طریق سیستم ترانسپورت فسفات جذب شده و بدینگونه آرسنات در فرایند فسفریلاسیون اکسیداتیو مداخله نموده و از طرق باند شدن با گروه‌های تیولی آنزیم‌ها منجر به بازدارندگی فعالیت آن‌ها می‌گردند. در غلظت‌های بالاتر، آرسنیک با دخالت در فرایندهای متابولیکی گیاه و بازدارندگی رشد منجر به مرگ گیاهان می‌شود. بنابراین فهم چگونگی جذب آرسنیک از طریق گیاهان و انتقال آن به بافت‌های مختلف برای تخمین میزان خطر آن برای بشر حیاتی است.

در این تحقیق اثر آرسنیک بر گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) در دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری مورد آزمایش قرار گرفت. در بخش اول اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰، ۱، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) بر درصد جوانه‌زنی، طول ریشه و ساقه، وزن خشک گیاهچه‌های حاصل و شاخص مقاومت ریشه بررسی و مشاهده گردید که با افزایش غلظت آرسنیک در محیط درصد جوانه‌زنی بذر، طول ریشه و ساقه، وزن خشک گیاهچه‌های حاصل و شاخص مقاومت ریشه کاهش معنی‌داری می‌یابد، البته در سطوح پایین تیماری (۱ و ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر) افزایشی در هر یک از این پارامترها مشاهده شد ولی این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. در بخش دیگر تحقیق اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰، ۱، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) بر رشد گیاه در شرایط کشت گلدانی (پرلیت) بررسی و مشاهده شد که آرسنیک در غلظت‌های پایین منجر به افزایش رشد و وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه‌ی گیاه نسبت به شاهد می‌گردد ولی در غلظت‌های بالای آرسنیک کاهش قابل ملاحظه‌ای در رشد گیاه دیده می‌شود که به نظر می‌رسد، تیمار با غلظت‌های پایین آرسنیک باعث آزاد شدن بیشتر فسفر و قابل دسترس شدن بیشتر آن در محیط می‌شود. نتیجه‌ی چنین حالتی جذب بیشتر فسفر از طریق ریشه و در نتیجه افزایش بیومس و رشد گیاه نسبت به حالت شاهد می‌باشد. همچنین میزان عنصر تجمع یافته در بخش هوایی و ریشه با غلظت آرسنیک در محیط رابطه مستقیمی دارد. بیشترین مقدار فلز تجمع یافته به ترتیب در بخش ریشه و ساقه‌ی گیاه در شرایط کشت گلدانی (پرلیت) در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آرسنیک بود که در جمعیت زرین برابر ۴۳/۱ و ۳/۲ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در جمعیت دیم‌سرداری برابر ۵۸/۵ و ۳/۵میکروگرم بر گرم وزن خشک می‌باشد. در بخش دیگر این پژوهش پاسخ‌های رشد و مقاومت دو جمعیت به غلظت‌های مختلف آرسنات (۰، ۳/۷۵، ۷/۵ و ۱۸/۷۵ میلی‌گرم در لیتر) و فسفات (۰، ۳/۷۵، ۱۱/۲۵ و ۲۲/۵ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط کشت هیدروپونیک بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش تیمار فسفات

در محیط کاهش معنی‌داری در میزان تجمع آرسنیک در بافت گیاه مشاهده می‌گردد که آرسنات و فسفات به دلیل خصوصیات شیمیایی مشابه و انتقال از طریق یک ناقل مشترک بر میزان جذب یکدیگر اثر کرده و جذب یکدیگر را کاهش می‌دهند. گیاهان با قرارگیری در معرض آرسنیک و در طول تبدیل آرسنات به آرسنیت گونه‌های فعال اکسیژن را تولید نموده که باعث تخریب DNA، پروتئین‌ها و غشاءهای لیپیدی می‌گردند. در گیاهان وجود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان (آنتی اکسیدان‌های همراه با لیپیدهای محلول غشایی (آلفا توکوفرول و بتا کاروتن) و عوامل احیاء کننده‌ی محلول در آب (گلوتاتیون و آسکوربات) با وزن مولکولی پایین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، گایاکول پراکسیداز (GPX) و آسکوربات پراکسیداز (APX) در پاک کردن ROSهای تولید شده تحت تنش اکسیداتیو نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. جهت پی بردن به مکانیسم‌های سمیت زدایی آرسنیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در ریشه و بخش هوایی به عنوان نمونه‌ای از این آنزیم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل حاکی از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در غلظت‌های بالای آرسنیک می‌باشد. در ضمن فعالیت انزیم آسکوربات پراکسیداز در ریشه و بخش هوایی در مقایسه با فعالیت آنزیم کاتالاز بیشتر بود. همچنین اثر تیمارهای مختلف آرسنیک بر محتوای کلروفیل گیاه گندم در دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در محیط پرلیت بررسی شد و نتایج به‌دست آمده نشان داد که افزایش میزان آرسنیک در محیط منجر به کاهش محتوای کلروفیل و فتوسنتز در گیاه می‌شود اما در تیمار پایین آرسنیک (۱ و ۲/۵) به دلیل افزایش رشد گیاه محتوای کلروفیل نیز نسبت به شاهد افزایش یافت. در پایان می‌توان نتیجه گرفت که چون گندم گیاه انباشته‌سازی نیست بیشتر آرسنیک جذب شده را در ریشه تجمع و به مقدار کمتر به ساقه منتقل می‌نماید. همچنین در مقایسه دو جمعیت می‌توان گفت که رقم زرین نسبت به رقم دیم در سطوح بالای آرسنیک مقاومت‌تر است ولی میزان تجمع فلز در ریشه و اندام هوایی جمعیت دیم نسبت به زرین بیشتر می‌باشد که البته این افزایش چندان معنی‌دار نیست.

کلمات کلیدی: آرسنیک، تجمع فلز، جذب، مقاومت و *T. aestivum*

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول (مقدمه)

۱-۱ عناصر تشکیل دهنده‌ی گیاهان ۱

۱-۲ تنش ۲

۱-۳ فلزات سنگین به عنوان عوامل تنش‌زا در گیاهان ۲

۱-۳-۱ فلزات سنگین در خاک ۲

۱-۳-۲ فلزات سنگین وگیاهان ۳

۱-۴ مکانیسم‌های مقاومتی گیاهان نسبت به فلزات سنگین ۵

۱-۴-۱ کلیت شدن ۵

۱-۴-۱-۱ لیگاندهای دهنده‌ی سولفور ۵

۱-۴-۱-۲ لیگاندهای دهنده‌ی اکسیژن ۵

۱-۴-۱-۳ لیگاندهای دهنده‌ی نیتروژن ۶

۱-۴-۲ تفکیک (کده‌بندی درون سلولی) ۶

۱-۴-۳ غشاء پلاسمایی ۶

۱-۴-۴ مایکوریزا ۷

۱-۵ آرسنیک ۱۰

۱-۵-۱ ترکیبات آرسنیک در محیط ۱۱

۱-۵-۲ آرسنیک در خاک ۱۲

۱-۵-۳ آرسنیک در آب ۱۳

۱-۵-۴ منابع تولید آرسنیک در محیط ۱۴

۱-۵-۵ اثرات آرسنیک بر انسان ۱۵

۱-۵-۶ اثرات آرسنیک بر گیاهان ۱۷

۱-۵-۷ مسیر انتقال آرسنیک در گیاهان و سایر موجودات ۱۸

۱-۶ آرسنیک و مکانیسم‌های مقاومتی گیاهان و دیگر موجودات ۲۲

۱-۷ فسفر ۲۴

۱-۷-۱ جذب فسقر توسط گیاهان ۲۴

۱-۷-۲ جذب مستقیم فسفر توسط گیاهان ۲۶

۱-۷-۳ جذب غیر مستقیم فسفر توسط گیاهان ۲۶

عنوان **صفحه**

۱-۸ مشخصات گیاه‌شناسی تیره‌ی گندم ۲۶

۱-۸-۱ جنس گندم ۲۷

۱-۹ اهداف پژوهش ۲۹

فصل دوم (مواد وروش‌ها)

۲-۱ بررسی اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری گیاه *T. aestivum* ۳۰

۲-۱-۱ خصوصیات و جمع‌آوری بذور گندم ۳۰

۲-۱-۲ بررسی اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های حاصل از جوانه‌زنی بذر در دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری ۳۱

۲-۱-۳ اندازه‌گیری طول ریشه‌ی گیاهچه‌های حاصل جهت محاسبه‌ی شاخص مقاومت ریشه ۳۱

۲-۱-۴ آنالیز آماری داده‌ها ۳۲

۲-۲ بررسی پاسخ های رشد و مقاومت دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری از گیاه *T. aestivum* به غلظت‌های مختلف آرسنیک در شرایط کشت گلد انی (پرلیت) ۳۲

۲-۲-۱ کشت گلدانی (پرلیت) ۳۲

۲-۲-۲ تعیین وزن خشک ۳۳

۲-۲-۳ تعیین میزان تجمع فلز در بخش‌های هوایی و ریشه‌ی گیاه ۳۳

۲-۲-۴ آنالیز آماری داده‌ها ۳۴

۲-۳ سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ۳۴

۲-۳-۱ استخراج آنزیم ۳۴

۲-۳-۲ قرائت نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر ۳۴

۲-۴ اندازه‌گیری محتوای کلروفیل ۳۵

۲-۵ بررسی پاسخ‌های رشد و مقاومت گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری به غلظت‌های مختلف آرسنات و فسفات در شرایط کشت هیدروپونیک ۳۶

۲-۵-۱ کشت هیدروپونیک ۳۶

۲-۵-۲ تعیین وزن خشک ۳۷

۲-۵-۳ تعیین میزان تجمع آرسنات در بخش هوایی و ریشه‌ی گیاه ۳۷

۲-۵-۴ تعیین میزان تجمع فسفات در بخش هوایی و ریشه‌ی گیاه ۳۷

عنوان **صفحه**

۵-۵-۲ آنالیز آماری داده‌ها ۳۹

فصل سوم (نتایج)

۳-۱ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر، وزن خشک، طول ریشه و ساقه گیاهچه‌های حاصل از جوانه‌زنی بذرهای گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری ۴۰
۳-۱-۱ ثر غلظت مختلف آرسنیک بر درصد جوانه‌زنی بذر ۴۰
۳-۱-۲ اثر غلظت مختلف آرسنیک بر طول ریشه‌ی گیاهچه‌های حاصل از جوانه‌زنی بذر درون پتری‌دیش ۴۱
۳-۱-۳ اثر غلظت مختلف آرسنیک بر طول ساقه‌ی گیاهچه‌های حاصل از جوانه‌زنی بذر ۴۲
۳-۱-۴ اثر غلظت مختلف آرسنیک بر شاخص مقاومت گیاهچه‌های حاصل از جوانه‌زنی بذر ۴۳
۳-۱-۵ اثر غلظت مختلف آرسنیک بر وزن خشک ریشه‌ی گیاهچه‌های حاصل از جوانه‌زنی بذر ۴۵
۳-۱-۶ اثر غلظت مختلف آرسنیک بر وزن خشک ساقه‌ی گیا هچه‌های حاصل از جوانه‌زنی بذر ۴۶
۳-۲ پاسخ‌های رشد و مقاومت گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری به غلظت‌های مختلف آرسنیک در شرایط کشت گلدانی (پرلیت ۴۸
۳-۲-۱ اثر غلظت مختلف آرسنیک بر وزن خشک بخش هوایی گیاه در شرایط کشت گلدانی (پرلیت) ۴۸
۳-۲-۲ اثر غلظت مختلف آرسنیک بر وزن خشک ریشه در شرایط کشت گلدانی (پرلیت) ۴۸
۳-۲-۳ میزان انباشتگی آرسنیک در بخش هوایی گیاه در پاسخ به تیمارهای مختلف آرسنیک در شرایط کشت گلدانی (پرلیت) ۵۰
۳-۲-۴ میزان انباشتگی آرسنیک در ریشه‌ی گیاه در پاسخ به تیمارهای مختلف آرسنیک در شرایط کشت گلدانی (پرلیت) ۵۱
۳-۳ اثر آرسنیک بر محتوای کلروفیل گیاه در شرایط کشت گلدانی (پرلیت) ۵۳
۳-۳-۱ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر محتوای کلروفیل a ۵۳
۳-۳-۲ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر محتوای کلروفیل b ۵۳
۳-۳-۳ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر محتوای کلروفیل کل ۵۳
۳-۴ اثر آرسنیک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ۵۵
۳-۴-۱ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر فعالیت کاتالاز در ریشه ۵۵
۳-۴-۲ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر فعالیت کاتالاز در بخش هوایی ۵۶
۳-۴-۳ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز در ریشه ۵۶

عنوان **صفحه**

۳-۴-۴ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز در بخش هوایی ۵۶
۳-۵ بررسی اثر متقابل فسفات و آرسنات در سطوح مختلف تیماری در شرایط کشت هیدروپونیک ۵۹
۳-۵-۱ تأثیر بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر طول ریشه ۵۹
۳-۵-۲ تأثیر بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر وزن خشک ریشه ۵۹
۳-۵-۳ تأثیر بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر وزن خشک بخش هوایی ۶۱
۳-۵-۴ تأثیر بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر تجمع آرسنیک در ریشه ۶۲
۳-۵-۵ تأثیر بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر تجمع آرسنیک در بخش هوایی ۶۵
۳-۵-۶ تأثیر بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر تجمع فسفر دربخش ریشه ۶۷
۳ -۶-۷ تأثیر بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر تجمع ر فسفر در بخش هوایی ۶۹

فصل چهارم (بحث)

۴-۱ آرسنیک و میزان جوانه‌زنی بذر ۷۲
۴-۲ آرسنیک، طول و شاخص تحمل ریشه ۷۳
۴-۳ آرسنیک و طول ساقه ۷۴
۴-۴ آرسنیک بیوماس ریشه و ساقه ۷۴
۴-۵ میزان تجمع آرسنیک در ریشه و ساقه ۷۵
۴-۶ آرسنیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ۷۶
۴-۷ آرسنیک و محتوای کلروفیل ۷۸
۴-۸ اثر متقابل آرسنات و فسفات ۸۰
۴-۸-۱ اثر متقابل آرسنات و فسفات بر طول ریشه ۸۰
۴-۸-۲ اثر متقابل آرسنات و فسفات بر بیوماس ریشه و ساقه ۸۱
۴-۸-۳ اثر غلظت‌های‌مختلف فسفر در محلول غذایی بر جذب و تجمع آرسنیک ۸۲
۴-۸-۴ اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک در محلول غذایی بر جذب و تجمع فسفر ۸۳
۴-۹ پیشنهادات ۸۴
پیوست‌ها ۸۴
منابع و مأخذ ۱۰۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ مکانیسم‌های دفع سمیت فلزات سنگین در گیاهان و همزیستی مایکوریزی قارچ-گیاه..... ۸

شکل ۱-۲ تقسیم‌بندی گیاهان به سه گروه بر اساس میزان انباشتگی فلز در بخش‌های هوایی در پاسخ به مقادیر بالای فلز در خاک ۹

شکل ۱-۳: بلورهای سه گوشی آرسنیک..... ۱۰

شکل ۱-۴ سیکل آرسنیک در محیط ۱۴

شکل ۱-۵ پیوند آرسنیک با گروهای Sh– پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و ایجاد سمیت..... ۱۷

شکل ۱-۶ مکانیسم جذب آرسنیک در گیاهان..... ۱۹

شکل ۱-۷ نقش آکواپورین‌های نوع NIPs در انتقال آرسنیت در گیاهان..... ۲۰

شکل ۱-۸ فرایند جذب آرسنیت در ریشه گیاه برنج..... ۲۱

شکل ۱-۹ مکانیسم جذب آرسنیک..... ۲۵.

شکل ۲-۱ منحنی استاندارد برای غلظت فسفر و مقدار جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ۳۹

شکل ۳-۱ پاسخ جوانه‌زنی بذر گیاه *T. aestivum* از جمعیت‌های زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر..... ۴۱

شکل ۳-۲ پاسخ جوانه‌زنی بذر گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین (B) و دیم‌سرداری (A) در غلظت‌های مختلف آرسنیک در شرایط آزمایشگاهی طی ۵ روز تیمار..... ۴۲

شکل ۳-۳ تغییر در طول ریشه (A) و ساقه‌ی (B) گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر..... ۴۴

شکل ۳-۴ تغییر در شاخص تحمل ریشه‌ی گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر..... ۴۵

شکل ۳-۵ تغییر در وزن خشک ریشه (A) و ساقه‌ی (B) گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در ۴۷

شکل ۳-۶ تغییر در وزن خشک ریشه (A) و ساقه‌ی (B) گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر (پرلیت)..... ۴۹

شکل ۳-۷ پاسخ رشد گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین (A) و دیم‌سرداری (B) در غلظت‌های مختلف آرسنیک در محیط آزمایشگاهی (کشت گلدانی) طی ۲۱ روز تیمار..... ۵۰

شکل ۳-۸ تغییر در غلظت آرسنیک در بخش هوایی (A) و ریشه (B) گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی .۵۲

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۹ تغییر در محتوای کلروفیل a (A)، b (B) و کل (C) گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر..... ۵۴
شکل ۳-۱۰ تغییر در فعالیت آنزیم کاتالاز در ریشه (A) و ساقه (B) گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر ۵۷
شکل ۳-۱۱ تغییر در فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در ریشه (A) و ساقه (B) گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در پاسخ به افزایش غلظت آرسنیک از ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر..... ۵۸
شکل ۳-۱۲ تأثیر افزایش آرسنات در محلول غذایی بر طول ریشه‌ی گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین (A) و دیم‌سرداری (B) در محیط هیدروپونیک..... ۶۰
شکل ۳-۱۳ تاثیر افزایش آرسنات در محلول غذایی بر وزن خشک ریشه‌ی گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین (A) و دیم‌سرداری (B) در محیط هیدروپونیک ۶۱
شکل ۳-۱۴ تأثیر افزایش آرسنات در محلول غذایی بر وزن خشک ساقه‌ی گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین (A) و دیم‌سرداری (B) در محیط هیدروپونیک..... ۶۳
شکل ۳-۱۵ تأثیر افزایش آرسنات در محلول غذایی بر میزان تجمع آرسنیک در ریشه‌ی گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین (A) و دیم‌سرداری (B) در محیط هیدروپونیک..... ۶۵
شکل ۳-۱۶ تأثیر افزایش آرسنات در محلول غذایی بر میزان تجمع آرسنیک در ساقه‌ی گیاه *T. aestivum* دو جمعیت زرین (A) و دیم‌سرداری (B) در محیط هیدروپونیک ۶۶
شکل ۳-۱۷ تأثیر افزایش آرسنات در محلول غذایی بر میزان تجمع فسفر در ریشه‌ی گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین (A) و دیم‌سرداری (B) در محیط هیدروپونیک..... ۶۸
شکل ۳-۱۸ تأثیر افزایش آرسنات در محلول غذایی بر میزان تجمع فسفر در ساقه‌ی گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین (A) و دیم‌سرداری (B) در محیط هیدروپونیک..... ۶۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ فرمول شیمیایی ترکیبات آرسنیک در محیط ۱۱
جدول ۲-۱ غلظت‌های مختلف آرسنات و فسفات در محلول تغییر یافته‌ی هوگلند. ۳۱
جدول ۱-۲ مقادیر غلظت فسفر ساخته شده برای رسم منحنی استاندارد و مقدار جذب دستگاه. ۳۹

فهرست پیوست‌ها

عنوان **صفحه**

پیوست ۱ جداول آنالیز واریانس و t محاسبه شده‌ی اثر غلظت‌های مختلف آرسنیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌ها از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در گیاه *T. aestivum*..... ۸۴

پیوست ۲: جداول آنالیز واریانس و t محاسبه شده‌ی پاسخ‌های رشد و مقاومت گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری به غلظت‌های مختلف آرسنیک در شرایط کشت گلدانی (پرلیت)..... ۸۸

پیوست ۳: جداول آنالیز واریانس و t محاسبه شده‌ی اثر آرسنیک بر محتوای کلروفیل گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در شرایط کشت گلدانی (پرلیت)..... ۹۱

پیوست ۴: جداول آنالیز واریانس و t محاسبه شده‌ی اثر آرسنیک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداریدر شرایط کشت گلدانی (پرلیت) ۹۳

پیوست ۵ جداول آنالیز واریانس و t محاسبه شده‌ی اثر متقابل فسفات و آرسنات در سطوح مختلف تیماری بر گیاه *T. aestivum* از دو جمعیت زرین و دیم‌سرداری در شرایط کشت هیدروپونیک..... ۹۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱ عناصر تشکیل‌دهنده‌ی گیاهان

در طی تکامل، موجودات زنده با محیط اطرافشان برهم‌کنش داشته که به‌تدریج عناصر فراوان و قابل دسترس برای وظایف شیمیایی خاص در ساختارها و فرایندهای زنده انتخاب شدند، اما بتدریج با تغییر زیست‌کره [1] دسترسی به عناصر و فرایندهای متابولیکی تغییر کردند (Frausto da Silva and Williams, 2001). بر این اساس عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن که معرف ترکیبات آلی بوده، بیش از ۹۹ درصد وزن خشک گیاه را تشکیل داده‌اند. عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر و گوگرد عناصر پرمصرف در گیاهان می‌باشند که در غلظت‌های بین ۳۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌مول بر گرم وزن خشک مورد نیازند (Marschner, 1995). آهن، کلر، منگنز، روی، بر، مس، مولیبدن و نیکل در گیاهان عناصر ضروری محسوب می‌شوند و نیاز معمول به آن‌ها کمتر از ۳ نانومول بر گیلوگرم وزن خشک است (Marschner, 1995; Welch, 1995). سدیم، سیلسیم و کبالت به عنوان عناصر مفید در نظر گرفته می‌شوند که فقط در برخی گیاهان ضروری هستند یا بدون اینکه ضروری باشند باعث بهبود رشد می‌شوند (Marschner, 1995).

[1] Biosphere

۱-۲ تنش[1]

تنش عبارت است از تغییر در شرایط بهینه‌ی زندگی که سبب بروز پاسخ‌هایی خاص در فیزیولوژی یک موجود زنده می‌شود. این پاسخ‌ها بسته به نوع شرایط، ممکن است موقتی یا دائمی باشند (Larcher, 1995). عوامل تنش‌زا[2] در دو گروه کلی تقسیم‌بندی شده‌اند (Larcher, 1995):

- تنش‌های زیستی شامل رقابت، بیماری‌ها و آفات
- تنش‌های غیر زیستی شامل تنش‌های فیزیکی (خشکی، دما، تابش، باد و غرقابی شدن) و تنش‌های شیمیایی (آلودگی هوا، فلزات سنگین، سموم، اسیدیته‌ی خاک و شوری).

۱-۳ فلزات سنگین به عنوان عوامل تنش‌زا در گیاهان

واژه‌ی فلزات سنگین[3] به عناصر فلزی و شبه‌فلزی با چگالی نسبتاً بالا و سمیت شدید حتی در غلظت‌های پایین اشاره دارد (Lenntech, 2004). عناصر سنگین مانند سرب، کادمیوم، روی، جیوه، آرسنیک، نقره، کروم، مس، آهن و غیره به عنوان گروهی از آلاینده‌های غیر آلی زیست محیطی، عناصری با وزن اتمی بزرگتر از ۴ یا ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب (Battarbee et al., 1988; Garbarino et al., 1995; Hawkes, 1997; Huton and Symon, 1986; Nriagu and Pacyna, 1988; Nriagu, 1989) و عدد اتمی بزرگتر از ۲۰ می‌باشند (Kabata-Pendius and Pendius, 1992) که بر اساس اسیدیته لوئیس و تمایل به لیگاندهای مختلف در دو گروه قرار دارند: یون‌های فلزی نرم (جیوه، کادمیوم، نقره، مس و پلاتین) که ترجیحاً از طریق پیوندهای کوالانسی با لیگاندهای قطبی پیوند می‌شوند و یون‌های فلزی حدواسط (آهن، روی، نیکل، کبالت و سرب) که بیشتر با لیگاندهای واسطه از قبیل آمین‌ها، آمیدها و ایمین‌ها باند می‌گردند (Niebor and Richardson, 1980).

۱-۳-۱ فلزات سنگین در خاک

فلزات سنگین به عنوان اجزاء اصلی و سازنده‌ی پوسته‌ی زمین از مهمترین ترکیبات آلوده‌کننده‌ی محیط زیست محسوب می‌شوند. برخی خاک‌ها در اثر فعالیت‌های صنعتی انسان نظیر معدن‌کاوی، استحصال فلزات و یا

---

[1] Stress
[2] Stressor
[3] Heavy metals

در اثر فرایندهای طبیعی بر روی سنگ مادری حاوی مقادیر بالایی از فلزات سنگین می‌باشند (Sandalio et al., 2001). فلزات سنگین در خاک به اشکال یون‌ها و کمپلکس‌های فلزی آزاد در محلول خاک*، یون‌های فلزی پیوند شده با مواد آلی خاک*، رسوب با اکسیدهای آهن، آلومنیوم، منگنز، هیدروکسیدها، کربنات‌ها، فسفات‌ها و ترکیبات سولفیدی، پیوند شده با بارهای منفی ترکیبات غیر آلی خاک در محل تبادلات یونی* و حضور در ساختمان کانی‌های سیلیکاتی وجود دارند (Tessier et al., 1979) که در حالات (*) سریعاً توسط گیاهان جذب می‌شوند (Lasat, 2000). ویژگی‌های شیمیایی خاک (تجزیه‌پذیری ترکیبات معدنی حاوی فلزات سنگین، وزن حجمی خاک و پتانسیل اکسیداسیون-احیاء[1]) بر قابلیت دسترسی فلزات برای جذب توسط گیاه مؤثر می‌باشند (Tessier et al., 1979). وجود فلزات در خاک امری طبیعی می‌باشد اما مقادیر بیش از حد طبیعی این عناصر به دلیل جذب توسط گیاهان و ورود به زنجیره‌ی غذایی به عنوان منابع آلاینده‌ی محیط، سلامتی انسان و سایر موجودات را به خطر می‌اندازند (Hooda and Alloway, 1993; Ma et al., 1997).

۱-۳-۲ فلزات سنگین و گیاهان

فلزات سنگین در طبیعت به صورت کاتیون‌ها (نیکل، کروم، کبالت، جیوه، روی، کادمیوم، مس و منگنز) و آنیون‌های اکسید شده با بار منفی (مولیبدن، سلنیوم، آرسنیک و بور) می‌باشند (Shaw, 1989; Gadd, 1993). به‌طور کلی از میان عناصر تشکیل دهنده‌ی یک گیاه تنها ۱ درصد یا کمتر آن فلز سنگین می‌باشد (Londrina, 2005). گروهی مانند کلسیم و منیزیم مورد نیاز گیاه بوده و افزایش آن‌ها در گیاه سمیتی ایجاد نمی‌کند. گروهی دیگر نظیر مس و روی که برای رشد و نمو طبیعی گیاه ضروری‌اند، به عنوان اجزاء سازنده‌ی بسیاری از آنزیم‌ها و پروتئین‌ها (روی در ساختمان الکل دهیدروژناز، کربونیک انیدراز و کربوکسی پپتیداز و مس در ساختمان تیروزیناز و سیتوکروم اکسیداز) می‌باشد ولی اگر مقدار آن‌ها از حد خاصی تجاوز کند باعث بروز سمیت برای گیاه می‌شود. در حالی که فلزاتی نظیر کادمیوم، سرب، آرسنیک و جیوه نقش زیستی ضروری برای گیاه ندارند و افزایش آن‌ها باعث ایجاد حالات سمیت در گیاه می‌شود (Memon et al., 2001; Williams et al., 2000). غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین ضروری و غیرضروری در خاک منجر به علائم سمیت و بازدارندگی رشد اغلب گیاهان می‌گردد. سمیت فلزات در حضور مقادیر اضافی این عناصر نتیجه پاره‌ای

[1] Oxidation-reduction potential