بسم الله
الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی آب و خاک
گروه علوم خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک

جداسازی، شناسایی و تأثیر باکتریهای سیلیکاتی(SDB) Silicate Dissolving Bacteria در افزایش جذب پتاسیم توسط پنبه، تحت شرایط گلخانه‌ای

پژوهش ونگارش:
نرجس علیدوست چمندانی

اساتید راهنما:
دکتر محسن علمائی
دکترعلیرضا فلاح نصرت آباد

اساتید مشاور:
دکتر مجتبی بارانی مطلق
مهندس عبدالرضا قرنجیکی

۱۳۸۹

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **نرجس علیدوست چمندانی** دانشجوی رشته **بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

خدایا

مرا از تاریکی های وهم خارج کن و با انوار فهم و بینش گرامی دار

درهای رحمتت را بر من بگشای و گنجینه های علومت را بگستر

که تو مهربان ترین مهربانانی

تقدیم به

محضر ولی عصر (عج) که حضورش آشنای

همیشه ماست

همچنین تقدیم به

پدر و مادر عزیز،

اساتید دلسوز،

و همسر مهربانم

"سپاسگذاری"

سپاس خدای را که توفیق عنایت فرمود تا این تحقیق را به اتمام برسانم. اینجانب مراتب سپاس و امتنان قلبی خود را استاتید محترمم آقای دکتر محسن علمائی و آقای دکتر علیرضا فلاح که قبول زحمت فرمودند و راهنمایی این پایان نامه را تقبل نمودند ابراز می دارم.

همچنین از آقای دکتر مجتبی بارانی مطلق و آقای مهندس عبدالرضا قرنجیکی بخاطر خدمات بی شائبه ایشان در این امر و مشاورت ایشان در این پایان نامه نهایت قدردانی بعمل می آید.

از آقای مهندس علاءالدین مسئول محترم آزمایشگاه فیزیک خاک و آقای مهندس عجمی مسئول محترم آزمایشگاه بیولوژی خاک سپاسگذاری می نمایم.

از دوستان عزیزم خانم ها مهناز محمدیان، نگار قادری، محبوبه محمدی، مائده کمالی، مرضیه مقامی و خانم مهندس سودابه دولتی بخاطر کمک های بی دریغ در طی مراحل تکمیل پایان نامه، تشکر می نمایم.

نرجس علیدوست

بهمن ۱۳۸۹

چکیده

باکتری سیلیکاتی(SDB)[1] به گروهی از باکتریها گفته می‌شود که با استفاده از مکانیسم‌های ویژه‌ای چون ترشح اسیدهای آلی، باعث تبدیل پتاسیم غیرقابل استفاده به شکل های قابل استفاده گیاه می‌شود. در این تحقیق به منظور تعیین حضور و میزان کارآیی چنین باکتریهایی در خاکهای استان گلستان، تعداد ۱۰ نمونه خاک مورد ارزیابی قرار گرفت و تعداد ۲۰ ایزوله با استفاده از محیط الکساندرف[2] به عنوان باکتریهای سیلیکاتی جداسازی شدند. از آزمایشهای میکروسکوپی نتیجه شد که عمده این باکتریها متعلق به گونه باسیلوس سیرکولنس می‌باشند. این تحقیق شامل دو آزمایش بود. در آزمایش اول، که در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. باکتریهای مذکور در محیط مایع حاوی مسکویت، طی هفت روز از نظر قدرت آزادسازی پتاسیم با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج تجزیه آماری نشان داد که کاهش pH و افزایش پتاسیم محلول در محیط تلقیح شده با باکتریهای فوق در سطح یک درصد معنی دار بود. بر این اساس سه سویه از باکتریهایی که تأثیر بیشتری در آزادسازی پتاسیم داشتند برای آزمایش بعدی انتخاب شدند. در آزمایش دوم که بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی و به مدت دو ماه در شرایط گلخانه‌ای صورت گرفت تأثیر سه سویه فوق در عملکرد گیاه پنبه، کل پتاسیم جذب شده و تغییر شکل های مختلف پتاسیم در دو خاک S_1 و S_2 که به ترتیب دارای ۵۲۵/۹۵ و ۳۸۱/۷٤ پی پی ام پتاسیم قابل استفاده بودند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه آماری نشان داد که وزن خشک ساقه، ریشه، برگ و اندام هوایی (مجموع ساقه و برگ) در تیمارهای باکتریایی در سطح یک درصد اختلاف معنی داری با تیمارهای شاهد داشت..

1- Silicate Dissolving Bacteria
2- Aleksandrov

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

مقدمه ۲

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- شکل های مختلف پتاسیم در خاک ٦

۲-۱-۱- پتاسیم محلول ۷

۲-۱-۲- پتاسیم تبادلی ۹

۲-۱-۳- پتاسیم غیرقابل تبادل ۱۰

۲-۱-۳-۱- پتاسیم به سختی قابل تبادل ۱۱

۲-۱-۳-۲- پتاسیم تثبیت شده ۱۱

۲-۲- تثبیت پتاسیم و عوامل موثر بر آن ۱۱

۲-۲-۱- نوع رس ۱۲

۲-۲-۲- مواد بین لایه‌ای ۱۲

۲-۲-۳- مقدار رطوبت ۱۳

۲-۲-٤- pH خاک ۱۳

۲-۲-۵- غلظت یونهای رقابت کننده با پتاسیم ۱٤

۲-۳- آزاد شدن پتاسیم در خاک تحت تاثیر واکنشهای هوادیدگی ۱٤

۲-۳-۱- آزادسازی پتاسیم از میکا و عوامل موثر در انجام آن ۱٤

۲-۳-۱-۱- چرخش تتراهدرال و ابعاد سلولی ۱٦

۲-۳-۱-۲- ترکیب شیمیایی ۱٦

۲-۳-۱-۳- اندازه ذره ۱۷

۲-۳-۱-٤- درجه تخلیه پتاسیم ۱۸

۲-۳-۱-۵- یون‌های هیدرونیم ۱۸

۲-۳-۱-٦- فعالیت‌های بیولوژیک و اسیدهای آلی کمپلکس کننده ۱۹

۲-۳-۱-۷- کاتیون‌های معدنی ۱۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۳-۱-۸- خشک و تر شدن ۱۹
۲-۳-۱-۹- سایر عوامل ۲۰
۲-۳-۲- عوامل موثر در آزادسازی پتاسیم از فلدسپارهای پتاسیم دار ۲۱
۲-۳-۲-۱- خصوصیات ساختمانی ۲۱
۲-۳-۲-۲- یون‌های هیدرونیوم ۲۱
۲-۳-۲-۳- اسیدهای آلی کمپلکس کننده ۲۲
۲-۳-۲-٤- سایر عوامل ۲۲
۲-٤- پتاسیم در گیاه و نقشهای مهم آن ۲۳
۲-٤-۱- مقدار پتاسیم در گیاه و نیاز آن ۲۳
۲-٤-۲- پتاسیم و فتوسنتز ۲٤
۲-٤-۳- پتانسیم و راندمان استفاده از آب ۲٤
۲-٤-٤- تغییرات پتاسیم در گیاه ۲٤
۲-٤-٥- نقش پتاسیم در کیفیت محصولات ۲٥
۲-٤-٦- نقش پتاسیم در تثبیت ازت ۲٥
۲-٤-۷-نقش پتاسیم در متابولیسم پروتئین ۲٥
۲-٤-۸- نقش پتاسیم در کنترل بیماری‌های گیاهی ۲٦
۲-٤-۹- سایر نقش‌های پتاسیم ۲۷
۲-٤-۱۰- مصرف تجمعی پتاسیم ۲۷
۲-٥- روش‌های ارزیابی پتاسیم قابل استفاده گیاه از خاک ۲۸
۲-٥-۱- اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب با عصاره گیر استات آمونیوم ۲۹
۲-٥-۲- اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب با عصاره‌گیر ترا فینیل بران سدیم ۳۰
۲-٥-۳- اندازه‌گیری پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک جوشان ۳۰
۲-٥-٤- استفاده از شاخص حد مطلوب پتاسیم ۳۰
۲-٦- پتاسیم و سرنوشت کودهای پتاسیمی ۳۲
۲-۷-پنبه و اهمیت آن ۳٤

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۷-۱- نقش پتاسیم، ازت و فسفر در پنبه و علائم کمبود این عناصر ۳۶
۲-۷-۱-۱- اهمیت پتاسیم و علائم کمبود پتاسیم در پنبه ۳۶
۲-۷-۱-۲- اهمیت ازت و علائم کمبود ازت در پنبه ۳۷
۲-۷-۱-۳- اهمیت فسفر و علائم کمبود فسفر در پنبه ۳۷
۲-۷-۲- بیماریهای مهم پنبه ۳۹
۲-۷-۲-۱- امراض انگلی (پارازیتی) ۳۹
۲-۷-۲-۲-امراض فیزیولوژیکی ۴۲
۲-۸- فسفر و نقش باکتریهای حل کننده فسفات ۴۳
۲-۸-۱- اشکال مختلف فسفر در خاک ۴۳
۲-۸-۲- باکتریهای حل کننده فسفات (PSB) ۴۵
۲-۸-۳- ضرورت کاربرد میکروارگانسیم های موثر در حلالیت فسفاتها و مکانیسم عمل آنها ۴۶
۲-۹- باکتریهای سیلیکاتی (SDB) ۵۱
۲-۹-۱- تقسیم بندی باکتریهای سیلیکاتی ۵۱
۲-۹-۲- تغذیه باکتریهای سیلیکاتی ۵۲
۲-۹-۳- تجزیه کانیها به وسیله باکتریهای سیلیکاتی ۵۳
۲-۹-۴- مکانسیم های مختلف تجزیه سیلیکاتها به وسیله میکروارگانیسم‌ها ۵۸
۲-۹-۴-۱- ترشحات پلی ساکاریدی ۵۸
۲-۹-۴-۲- ترشح اسیدهای آلی ۵۸
۲-۹-۴-۳- ترشح اسیدهای معدنی ۶۰
۲-۹-۴-۴- سایر فراورده‌های متابولیک ۶۰
۲-۱۰- کودهای بیولوژیک پتاسیمی ۶۱
۲-۱۰-۱- انواع BPF ۶۱
۲-۱۰-۲- روشهای تلقیح باکتریهای سیلیکاتی و BPF ۶۱
۲-۱۰-۲-۱- تلقیح به بذر ۶۱
۲-۱۰-۲-۲- تلقیح به برگ ۶۳

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۱۰-۲-۳- تلقیح به حفره‌های ایجاد شده در خاک ٦٣
۲-۱۰-۲-٤- تلقیح به ریشه ٦٣
۲-۱۰-۳- مکانیسم تاثیر کود بیولوژیک پتاسیمی ٦٣
۲-۱۰-۳-۱- آزادسازی پتاسیم و سایر عناصر کمیاب ٦٣
۲-۱۰-۳-۲- کاهش تثبیت پتاسیم ٦٤
۲-۱۰-۳-۳- تولید مواد محرک رشد ٦٤
۲-۱۰-۳-٤- افزایش مقاومت در برابر بیماریها ٦٤
۲-۱۰-٤- تاثیر BPF در تغذیه گیاهان ٦٤
۲-۱۰-٥- تاثیر BPF در افزایش عملکرد گیاهان مختلف ٦٦
۲-۱۰-٦- عوامل موثر در کارایی BPF ٦٦
۲-۱۰-٦-۱- نوع خاک و پتاسیم قابل دسترس ٦٦
۲-۱۰-٦-۲- آفت کشها ٦٧
۲-۱۰-٦-۳- نوع گیاه ٦٧
۲-۱۰-۷- رابطه بین کودهای ازته و پتاسه با BPF ٦٨
۲-۱۱- مشخصات باسیلوس‌ها ٦٨
۲-۱۱-۱- مشخصات عمومی باسیلوس‌ها ٦٩
۲-۱۱-۲- شکل ظاهری سلول ۷۲
۲-۱۱-۳- ترکیب دیواره سلولی ۷٥
۲-۱۱-٤- کپسول ۷٥
۲-۱۱-٥- تاژک ۷٥
۲-۱۱-۷- گونه های باسیلوس موثر در تجزیه سیلیکات ها ۷٦
۲-۱۱-۷-۱- باسیلوس سیرکولنس ۷۷
۲-۱۱-۷-۲- باسیلوس مگاتریم ۷۸
۲-۱۱-۷-۳- باسیلوس سابتیلیس ۷۹
۲-۱۱-۸- کنترل زیستی آفات پنبه توسط باسیلوس ۸۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- برداشت و آماده کردن نمونه‌های خاک ۸٤

۳-۲- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها ۸۵

۳-۲-۱- اندازه‌گیری مواد آلی خاک ۸۵

۳-۲-۲- اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۸۵

۳-۲-۳- اندازگیری پتاسیم قابل جذب با عصاره‌گیر تترا فینیل بران سدیم ۸۵

۳-۲-٤- سایر تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها ۸٦

۳-۳- جداسازی باکتری‌های سیلیکاتی ۸٦

۳-٤- آزمایش‌های میکروسکوپی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک ۸۷

۳-٤-۱- رنگ آمیزی‌گرم ۸۷

۳-٤-۲- حلالیت در پتاس ۸۸

۳-٤-۳- رنگ‌آمیزی کپسول ۸۸

۳-٤-٤- رنگ‌آمیزی اسپور بروش شفر – فولتون ۸۹

۳-٤-۵- آزمایش کاتالاز ۸۹

۳-٤-٦- احیاء نیترات ۹۰

۳-٤-۷- تولید H_2S ۹۱

۳-٤-۸- هیدرولیز اوره ۹۳

۳-٤-۹- استفاده از سیترات ۹٤

۳-٤-۱۰- آزمون MRVP ۹٤

۳-٤-۱۱- آزمون استفاده از کربوهیدرات‌ها ۹۵

۳-٤-۱۲- آزمون تولید اندول (تجزیه تریپتوفان) ۹٦

۳-۵- تست کارائی آزادسازی پتاسیم توسط ایزوله‌ها ۹۷

۳-٦- اندازه‌گیری توان حل کردن فسفات‌های معدنی در محیط جامد (فسفر نیمه کمی) ۹۸

۳-۷- اندازه‌گیری میزان حلالیت فسفر به روش کمی ۹۹

۳-۸- بررسی گلخانه‌ای ۱۰۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۸-۱- طرح آزمایش ۱۰۰
۳-۸-۲- تهیه مایه تلقیح باکتری ۱۰۱
۳-۸-۳- آماده کردن بذرها ۱۰۱
۳-۸-٤- تلقیح بذرها ۱۰۱
۳-۸-۵- آماده کردن گلدان‌ها ۱۰۲
۳-۸-٦- مرحله داشت ۱۰۲
۳-۸-۷- مرحله برداشت ۱۰۳
۳-۸-۸- هضم گیاه و تهیه عصاره بافت گیاهی به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCl ۱۰٤
۳-۸-۹-تجزیه آماری ۱۰۵

فصل چهارم: نتایج

٤-۱- نتایج بررسی های آزمایشگاهی ۱۰۸
٤-۱-۱- مشخصات بیولوژیک و بیوشیمیایی ایزوله‌ها ۱۰۸
٤-۱-۲- بررسی میزان آزادسازی پتاسیم توسط ایزوله‌ها ۱۰۹
٤-۱-۳- بررسی میزان آزادسازی فسفر توسط ایزوله‌ها ۱۱٦
٤-۲- نتایج بررسی گلخانه‌ای ۱۲۵
٤-۲-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ۱۲۵
٤-۲-۲ اثر تیمارهای باکتری سیلیکاتی در میزان پتاسیم اندام های گیاهی ۱۲۷
٤-۲-۳ - اثر تیمارهای باکتری سیلیکاتی در میزان فسفر اندام‌های گیاهی ۱۳۲
٤-۲-٤- اثر تیمارهای باکتری سیلیکاتی در میزان وزن خشک اندام‌های گیاهی ۱۳۷
٤-۲-۵- اثر تیمارهای باکتری سیلیکاتی در مقدار درصد پتاسیم و فسفر اندام‌های گیاهی ۱٤۲
٤-۳- خلاصه نتایج ۱٤۵
٤-٤- توصیه و پیشنهادات ۱٤۵
منابع ۱٤۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- تعدادی از کانیهای اولیه ی حاوی پتاسیم ۷
جدول ۲-۲- سرعت تبدیل فرمهای مختلف پتاسیم به شکل محلول ۸
جدول۲-۳- رابطه بین عملکرد پنبه با پتاسیم قابل استفاده خاک و شاخص حد مطلوب پتاسیم ۳۱
جدول ۲-٤- وضعیت پتاسیم خاک و میزان کودهای پتاسیمی مصرفی در کشور در سال ۱۳۸۱ ..... ۳۲
جدول ۲-۵- برخی از میکرو ارگانیزم های حل کننده فسفات ٤٦
جدول ۲-٦- آزادسازی پتاسیم از ارتوکلاز و بیوتیت تحت تأثیر باسیلوس سیرکولنس ٥٤
جدول ۲-۷- آزادسازی SiO_2 از ارتوکلاز و بیوتیت تحت تأثیر باسیلوس سیرکولنس ٥٥
جدول ۲-۸- مقادیر استفاده شده BPF برای پنبه ٦۲
جدول ۲-۹- تاثیر BPF در جذب عناصر بوسیله گیاه ٦٥
جدول ۲-۱۰- تاثیر میزان پتاسیم قابل دسترس در کارایی BPF ٦۷
جدول ۲-۱۱- تاثیر نوع گیاه در کارایی BPF ٦۸
جدول ۲-۱۲- مشخصات باکتری‌های حاوی اسپور داخلی و جنس‌های مشابه با آن ۷۱
جدول ۲-۱۳ - مورفولوژی گونه‌های باسیلوس ۷٤
جدول۲-۱٤- شناسایی برخی گونه‌های باسیلوس ۷۷
جدول ۳-۱- محیط کشت الکساندرف ۸۷
جدول ۳-۲- محیط کشت وینوگرادسکی ۹۰
جدول ۳-۳- محیط کشت SIM ۹۲
جدول ۳-٤- محیط کشت برای تست هیدرولیز اوره ۹۳
جدول ۳-۵- محیط کشت سیمون سیترات ۹٤
جدول ۳-٦- محیط کشت برای تست MRVP ۹٥
جدول ۳-۷- محیط کشت تست کارائی آزادسازی پتاسیم ۹۷
جدول ۳-۸- محیط کشت رودریگوئز ۹۸
جدول ۳-۹- فاکتورهای مورد نظر برای انجام طرح آزمایش ۱۰۰
جدول ٤-۱- خصوصیات میکروسکوپی، مرفولوژیک و بیوشیمیایی ایزوله‌ها ۱۰۸
جدول ٤-۲- خصوصیات میکروسکوپی ومرفولوژیک ایزوله‌های انتخابی برای تلقیح ۱۰۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول٤-٣- خصوصیات بیوشیمیایی ایزوله‌های انتخابی برای تلقیح ١٠٩
جدول ٤-٤- میانگین توان آزادسازی پتاسیم توسط ایزوله‌های باکتری سیلیکاتی ١١٠
جدول٤-٥- نتایج تجزیه واریانس بر روی آزادسازی پتاسیم خاک ١١٠
جدول٤-٦- نتایج تجزیه واریانس pH در آزادسازی پتاسیم خاک ١١١
جدول ٤-٧- میزان pH و میزان پتاسیم محلول در هر یک از روزهای کشت ١١٤
جدول٤-٨- میانگین توان حل کردن فسفات معدنی توسط ایزوله‌ها به روش نیمه کمی ١١٧
جدول ٤-٩- میانگین توان حل کردن فسفات‌های معدنی توسط ایزوله‌ها به روش کمی ١١٨
جدول٤-١٠- نتایج تجزیه واریانس بر روی آزادسازی فسفر ١١٩
جدول٤-١١- نتایج تجزیه واریانس pH در آزادسازی فسفر ١١٩
جدول ٤-١٢ مقایسه pH و میزان فسفر محلول در هر یک از روزهای کشت ١٢٣
جدول ٤-١٣- خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک ١٢٦
جدول٤-١٤- نتایج تجزیه واریانس پتاسیم ساقه ١٢٨
جدول٤-١٥- نتایج تجزیه واریانس پتاسیم ریشه ١٢٨
جدول٤-١٦- نتایج تجزیه واریانس پتاسیم برگ ١٢٩
جدول٤-١٧-میانگین پتاسیم در وزن خشک در دو رقم متفاوت ١٣١
جدول٤-١٨- میانگین پتاسیم در وزن خشک در دو خاک متفاوت ١٣١
جدول٤-١٩- نتایج تجزیه واریانس فسفر ساقه ١٣٣
جدول٤-٢٠- نتایج تجزیه واریانس فسفر ریشه ١٣٣
جدول٤-٢١- نتایج تجزیه واریانس فسفر برگ ١٣٤
جدول٤-٢٢- میانگین فسفر در وزن خشک در دو رقم متفاوت ١٣٦
جدول٤-٢٣- میانگین فسفر در وزن خشک در دو خاک متفاوت ١٣٦
جدول٤-٢٤- نتایج تجزیه واریانس وزن خشک ساقه ١٣٨
جدول٤-٢٥- نتایج تجزیه واریانس وزن خشک ریشه ١٣٨
جدول٤-٢٦- نتایج تجزیه واریانس وزن خشک برگ ١٣٩
جدول٤-٢٧- نتایج تجزیه واریانس وزن خشک اندام هوایی ١٣٩

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول٤-٢٨- میانگین وزن خشک ساقه، ریشه ، برگ و اندام هوایی در دو رقم متفاوت ١٤١
جدول٤-٢٩- میانگین وزن خشک ساقه، ریشه ، برگ و اندام هوایی در دو خاک متفاوت ١٤١
جدول٤-٣٠- میانگین درصد پتاسیم و فسفر گیاه، توسط ایزوله ها در خاک و رقم متفاوت..... ١٤٣

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- ارتباط شکلهای مختلف پتاسیم خاک ٦
شکل۲-۲- محل تبادلی پتاسیم (e و p) و پتاسیم غیر تبادلی (i) در رس‌های۲:۱..... ۱۰
شکل ۲-۳- روند هوادیدگی میکا به میکای هیدراته و به ورمیکولایت ۱۵
شکل ۲-٤- تاثیر pH در آزادسازی پتاسیم از میکاهای با ترکیب شیمیایی مختلف ۱۷
شکل ۲-۵ - آزادسازی پتاسیم از ذرات مختلف مسکویت ۱۸
شکل ۲-٦- علائم کمبود مواد غذایی در برک پنبه..... ۳۸
شکل۲-۷- بیماری ورتیسیلیومی و فوزاریومی در گیاه پنبه..... ٤۲
شکل ۲-۸ - نمایی از سلول باکتری باسیلوس و اجزای آن..... ۷۰
شکل ۲-۹- مقایسه اندازه های باکتریایی..... ۷۳
شکل۲-۱۰- باسیلوس با تاژک قطبی..... ۷٦
شکل ۲-۱۱- باسیلوس سیرکولنس ۷۸
شکل۲-۱۲- باسیلوس مگاتریم ۷۹
شکل۲-۱۳- باسیلوس سابتیلیس ۸۰
شکل ۲-۱٤- نمایی از اجزای سلولی باسیلوس تورینجینسیس ۸۲
شکل ۳-۱- محل نمونه برداری خاک مزرعه ی پنبه در مراحل اولیه رشد گیاه ۸٤
شکل۳-۲- کاتالاز مثبت..... ۹۰
شکل ۳-۳ - تست احیای نیترات ۹۱
شکل۳-٤ - تست تولید H_2S در تعدادی از نمونه‌ها ۹۳
شکل ۳-۵- تست اندول (تجزیه تریپتوفان)..... ۹٦
شکل ۳-٦- اندازه‌گیری شاخص حلالیت فسفات‌های معدنی ۹۹
شکل ۳-۷- هاله‌ی نشان دهنده‌ی حلالیت فسفات معدنی توسط باکتری سیلیکاتی..... ۹۹
شکل ۳-۸- بذرهای کرک دار و کرک گیری شده ی پنبه ۱۰۱
شکل۳-۹- گیاه پنبه در مرحله هشت برگی و آماده برداشت ۱۰۳
شکل ۳-۱۰- رقم سپید و ساحل..... ۱۰٤
شکل ٤-۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف باکتریایی بر آزادسازی پتاسیم خاک ۱۱۲