

قارچ های همزیست

سبانی و تکنیک های کاربردی

ترجمه و تألیف:

دکتر فرشاد ابراهیم پور، دکتر سیدجواد داورپناه، بهزاد امرایی، فاطمه خوش اقبال قرابایی،
مجید دانا، منصوره صداقتی، مریم محمدی فارسانی، لیلا میرجانی

عنوان و نام پدیدآور	: قارچ‌های همزیست : مبانی و تکنیک‌های کاربردی/ترجمه و تالیف فرشاد ابراهیم‌پور ... [و دیگران].
مشخصات نشر	: تهران: آرنا، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۵۶۳ ص: مصور، جدول.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۲۶-۰۶-۹
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: ترجمه و تالیف فرشاد ابراهیم‌پور، سید جواد داورپناه، بهزاد امرایی، فاطمه خوش‌اقبال‌قربابی، مجید دانا، منصوره صداقتی، مریم محمدی فارسانی، لیلا میرجانی.
یادداشت	: کتاب حاضر برگرفته از کتاب "Symbiotic fungi : principles and practice, ۲۰۰۹C" با ویراستاری آجیت وارما و آمیت سی، کهارکوال می‌باشد.
یادداشت	: کتابنامه.
عنوان دیگر	: مبانی و تکنیک‌های کاربردی.
موضوع	: قارچ‌های میکوریز
موضوع	: همزیستی
شناسه افزوده	: ابراهیم‌پور، فرشاد، ۱۳۵۶ - مترجم، گردآورنده
شناسه افزوده	: وارما، آجیت، ۱۹۳۹ - م.
شناسه افزوده	: Varma, A. (Ajit), ویراستار
شناسه افزوده	: کهارکوال، آمیت سی، ویراستار
شناسه افزوده	: Kharkwal, Amit C
رده بندی کنگره	: ۳۹۳/۶۰۴:ق/ق۲
رده بندی دیویی	: ۴۶/۶۳۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۵۷۸۰۷۸

عنوان	: قارچ‌های همزیست : مبانی و تکنیک‌های کاربردی
ترجمه و تالیف	: فرشاد ابراهیم‌پور، سید جواد داورپناه، بهزاد امرایی، فاطمه خوش‌اقبال‌قربابی، مجید دانا منصوره صداقتی، مریم محمدی فارسانی، لیلا میرجانی
ناشر	: آرنا
طرح جلد	: میثم دانا
چاپ	: اول ۱۳۹۳
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه قیمت: ۳۰۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۲۶-۰۶-۹



نشر آرنا

سخن آغاز (نویسندگان):

به نام خالق زیبایی‌ها، آن بی‌نهایتی که نه تنها با ید قدرت خود در آسمان، زمین و دریاها، آفرینشی شگرف و بی‌بدیل را جلوه بخشید بلکه در دل ذرات خاک نیز با خلق موجوداتی کوچک و همزیست، کهکشانی خاکی به وجود آورد که با هر کاوش، ابعاد تازه‌تری از نهفته‌های آن کشف می‌گردد.

این کتاب نتیجه تلاش اساتید برجسته‌ی گروه زیست‌شناسی و تعدادی از دانشجویان دوره‌ی دکتری فیزیولوژی گیاهی است، در واقع برگرفته از کتاب قارچ همزیست Amit و Ajit Varma و C. Kharkwal (۲۰۰۹) می‌باشد که نویسندگان سعی بر آن داشته‌اند ترجمه‌ای ساده و روان بر آن داشته باشند و همچنین برای اغنای هر چه بیشتر، فصل دو نیز از منابع جدید، به آن افزوده شده است.

لذت چاپ این کتاب که راهنمایی مفید، برای علاقه‌مندان در زمینه قارچ میکوریزا است زمانی دو چندان خواهد شد که بدانیم، اولین نوشتار موجود ایران است که به شکلی کارآمد به معرفی و شناساندن روش‌های کاربردی بویس و قدیمی در باب کار بر روی قارچ‌های همزیست پرداخته است.

در حال حاضر تحقیق و بررسی بر روی قارچ‌های همزیست که برخی از آن‌ها در دل خاک، درون یا در سطح ریشه بعضی گیاهان فعالیت می‌کنند از سطح یک علم فراتر رفته و مجموعه‌ای از علوم را به خدمت گرفته است. دیگر زیست‌شناسی به تنهایی نمی‌تواند پاسخ‌گوی پیچیدگی‌های ساختاری و فیزیولوژیکی مربوط به همزیستی قارچ/گیاه باشد و یک زیست‌شناس نیاز دارد تا از تکنیک‌ها و روش‌های جدید استفاده نماید و به اسرار بیشتری از همزیستی موجودات دست یابد.

از آن‌جا که بسیاری از محققان تقاضاهای فراوانی در خصوص چاپ پروتکل و روش‌های آزمایشگاهی در زمینه‌های مختلف زیست‌شناسی داشته و دارند، کتاب حاضر به تفصیل در زمینه قارچ‌های همزیست، روش‌های آزمایشگاهی را مطرح نموده است. بسیاری از این روش‌ها ترکیبی از محیط‌زیست، ژنتیک، بیوتکنولوژی، سیستماتیک، میکروبیولوژی و زیست‌شناسی سلولی و مولکولی می‌باشد.

تکامل گیاهان در زمین به این رابطه‌ی همزیستی وابسته بوده و هست، چون در این همزیستی معمولاً دو طرف معامله سود می‌برند و یک سیاست برد - برد است، ضمن آن‌که محیط اطراف نیز از این تشریک مساعی سود می‌برد، یعنی یک رابطه با برد سه جانبه (گیاه/قارچ/محیط) محسوب می‌شود.

از آنجا که گیاهان کشاورزی در معرض تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی قرار دارند قارچ‌های همزیست در راستای بردباری برخی گیاهان می‌توانند مؤثر باشند، ارتباط مؤثر قارچ و گیاه در جهت بهبود تولیدمثل و افزایش مقاومت به این تنش‌های گیاهی قابل تحقیق و مطالعه است.

پسندیده است؛ نگاه و رویکرد ما به بحث همزیستی قارچ/گیاه از حیطه زیست‌شناسی محض، فراتر رفته و به این مقوله، از زاویه‌ی اقتصادی، بهره‌وری در کشاورزی، حفظ جنگل، احیای مراتع، تغییر و تبدیل در نقل و انتقال عناصر غذایی برای کیفیت بخشیدن به محصول یا تولید محصولی با اهداف خاص، حاصل خیزی خاک، جذب مواد غذایی و... نگریسته شود.

جا دارد از زحمات اساتید اندیشمندی که ما را در چاپ این کتاب یاری نمودند به‌ویژه از آقای مجید دلیری (مدرس دانشگاه و مدارس گناباد)، ویراستار ادبی سخن آغازین، تقدیر و تشکر گردد. امید است چاپ این اثر در جهت پیشبرد اهداف علمی سند چشم‌انداز ایران ۱۴۰۴ مؤثر واقع شود. صمیمانه از خوانندگان این اثر علمی تشکر نموده؛ و با توجه به این جمله که املائی نوشته غلط ندارد، درخواست داریم ما را از نظرات سازنده‌ی خود بی‌نصیب نگذارند.

خیلی دیر، هم‌چنان جدید:

بیش از ۴۵۰ میلیون سال پیش، گیاهان و قارچ‌ها برای ایجاد یک رابطه همزیستی دو طرف سود که از سوی گیاهان حمایت شد، برای پیش‌روی به محیط خشکی که دچار کمبود مواد غذایی بوده و در معرض خشکی و نور کامل خورشید بود. این یکی از دروس اساسی است که از فسیل‌ها گرفته شده، به خاطر گزارش‌های بسیاری از دیرینه‌شناسان، که در ابتدا توسط Kidston و Lang (۱۹۲۱) آغاز گردید. مشاهدات فوق‌العاده‌ای که توسط بسیاری دیگر تأیید گردید، ارائه پس‌زمینه تکاملی برای درک چگونگی میکوریزاها یک نیروی پیش‌برنده قدرتمند برای عملکرد اکوسیستمی است که فسفر و نیتروژن را برای گیاهان هم‌چنین کربن را برای قارچ‌ها فراهم می‌کند، که در نهایت باعث تجمع در خاک می‌شوند (۴).

از سوی دیگر، تعدادی موضوعات بیولوژیکی وارد روند کلی زیست‌شناسی شده است از جمله میکوریزا. به‌طور عمده در سایه فن‌آوری DNA و ژنتیک که ابزارهای جدیدی برای کشف ارتباطات همزیستی، توسعه و تنوع و مشخص نمودن سهم هر شریک برای عملکرد این ارتباط هستند، که در نتیجه یافته‌های بسیار مهمی را ارائه می‌دهند. با نگاهی به تاریخ میکوریزا، مشاهده

می‌شود که برخی از رویدادهای بسیار مهم در سال‌های اخیر مشخص شده‌اند: اولین ژنوم *Laccaria laccata* تعیین توالی شد. بنابراین پنجره‌ای بر روی اسرار قارچ اکتومیکوریزا باز شد که به‌خوبی در جنگل‌ها رشد می‌کند و مرتبط با گیاهان چوبی هستند، شناسایی ژن‌های گیاهی که مسیرهای انتقال سیگنال در میکوریزا آربوسکولار (AM) لگوم‌ها کنترل می‌کنند اجازه داده که مراحل بسیار مهمی از روند کلونیزاسیون قارچ را کشف شود (۸). کشف مولکول‌های گیاهی، استریگولاکتون‌ها و مشاهده آن‌ها در قارچ‌های AM و سایر فاکتورهای جوانه‌زنی تحولی در شناخت ما از این موضوع را نشان می‌دهد، و ما را به سمت کشف‌های جدید بعدی سوق می‌دهد (۱). استریگولاکتون‌ها به عنوان ویژگی فنوتیپی گیاه کشف شده که یک رده جدید هورمون‌های گیاهی درون‌زاد (آندروژن) را معرفی می‌نماید که در رده‌های وحشی آنژیوسپرم‌ها از آراییدوپسیس تالیا تا برنج وجود دارند (۹ و ۳).

اما میکوریزا فراتر از موضوع زیست‌شناسی گیاه/قارچ، بر روی زمینه‌های جدیدی مانند میکروبیولوژی محیطی، و تمرکز بر تکامل دستاوردهای جدید، مانند آن‌هایی که برای متازنومیک مورد نیاز است. در حالی که پایه و اساس کار توسط Craig Venter، که پیش‌گام پژوهش‌های ژنوم مشهور جهانی (www.jevl.org/) است، پایه‌ریزی شد، هدف، کاوش در تنوع میکروبی در اقیانوس‌ها بوده که رؤیای میکروبیولوژیست‌های خاک، درک چگونگی زندگی موجودات در خاک است (۲). با این حال، در ریزوسفر، لایه نازک خاک جایی که ریشه‌ها و میکروب‌های خاک باهم برهم‌کنش دارند (۵)، قارچ میکوریزا با انواع گوناگونی از میکروب‌های همزیست شده (باکتری‌ها، اندوفیت‌ها و ساپروفیت‌ها) تکثیر شده و قلمرو تعیین می‌کند. برای شناسایی و تعیین کمیت میکروب‌ها در این محیط، محققان بر این باورند که آن‌ها می‌توانند وسیع‌ترین تنوع زیستی در جهان را پیدا کنند، یکی از چالش‌های هیجان‌انگیز برای جامعه علمی، مبحث میکوریزا خواهد بود. این به معنی غلبه بر برخی واگرایی‌های (reductionisms) مربوط به شیوه‌های آزمایشگاهی و حرکت به سمت زمینه‌های کاربردی به روز، با استفاده از تکنیک‌های تعیین توالی ظرفیت بالای DNA و تجزیه و تحلیل ژنومی در مقیاس بزرگ است. تکامل برنامه‌های جدید می‌تواند منجر به الگوهای جدید مانند توصف میکوریزا در نتیجه فعل و انفعالات ارگانیسم‌های مختلف و عملکرد آن، شود.

فصل‌های این کتاب انعکاسی از ترکیب مفاهیم قدیمی و جدید است، با آغاز مفهوم مکتب‌آور همزیستی، که مرکزی در تکامل پیچیدگی و شاخصی برای شیوه زندگی بسیاری از حیوانات و گیاهان است، و همچنین در کل اکوسیستم‌ها که در آن موجودات همزیست نقش‌های کلیدی دارند

(۶). با این حال، هدف اصلی این کتاب، افزایش سریع دانش مربوط به میکوریزا را با بهترین شیوه‌های آزمایشگاهی متصل می‌کند. محققان متخصص بسیاری از تکنیک‌های به روز برای رسیدگی به سئوالات جدید و قدیم را نشان می‌دهند.

در نهایت، محققان از تحقیق بر روی میکوریزا لذت می‌برند، چرا که آن‌ها، خود از اهمیت نگهداری اکوسیستم آگاه هستند. در این زمینه، برخی از فصل‌های این کتاب به فناوری‌ها و تکنولوژی‌ها با هدف بهبود کیفیت تلقیح میکوریزا اختصاص داده شده است، در نتیجه دامنه کاربردی آن‌ها در چارچوب کشاورزی مساعد، افزایش می‌یابد.

این کتاب زیست‌شناسی خاک، قطعاً می‌تواند بسیاری از سئوالات مربوط به روشی که در آن می‌توانیم پتانسیل قارچ میکوریزا را شکوفا نماییم، در حقیقت این کتاب منبعی خواهد شد که در دسترس همگان خواهد بود.

Paola Bonfante

2009

References

1. Akiyama K, Matsuzaki KI, Hayashi H (2005) Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 435:824–827
2. Dance A (2008) What lies beneath. *Nature* 455:724–725
3. Gomez-Roldan V, Ferras S, Brewer PB, et al. (2008) Strigolactone inhibition of shoot branching *Nature* 455:189–194
4. Kidston R, Lang WH (1921) On Old Red Sandstone plants showing structure, from the Rhynie Chert bed, Aberdeenshire. Part V. The Thallophyta occurring in the peat-bed; the succession of the plants throughout a vertical section of the bed, and the conditions of accumulation and preservation of the deposit. *Trans R Soc Edinb* 52:855–902
5. Little AE, Robinson CJ, Peterson SB, Raffa KF, Handelsman J (2008) Rules of engagement: interspecies interactions that regulate microbial communities. *Annu Rev Microbiol* 62:375–401
6. Martin F, Acerts A, Ahre'n D, Brun A, Danchin EG, et al. (2008) The genome of *Laccaria bicolor* provides insights into mycorrhizal symbiosis. *Nature* 452:88–92
7. Moran NA (2006) Symbiosis. *Curr Biol* 16:R866–R871
8. Parniske M (2008) Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nat Rev Microbiol* 6:763–775
9. Umehara M, Hanada A, Yoshida S, Akiyama K et al. (2008) Inhibition of shoot branching by new terpenoid plant hormones. *Nature* 455:195–200

فهرست

- فصل ۱: همزیستی (هنر زندگی) ۱
- ۱-۱: مقدمه ۱
- ۲-۱: تاریخچه همزیستی ۲
- ۳-۱: همزیستی باکتری ۵
- ۳-۱-۱: رابطه همزیستی باکتری با گیاهان لگومینوز ۵
- ۳-۱-۲: رابطه همزیستی باکتری با گیاهان غیر لگوم ۷
- ۳-۱-۳: ایجاد روابط هم‌باری بین ریزوبیا و لگوم‌ها ۷
- ۳-۱-۳-۱: مرحله پیش همزیستی (Presymbiosis) ۷
- ۳-۱-۳-۲: اتصال ریزوبیا و تغییر شکل تارهای کشنده ۸
- ۳-۱-۳-۳: تشکیل رشته‌های آلوده ۹
- ۳-۱-۳-۴: تشکیل گرهک ۱۱
- ۳-۱-۳-۵: منشعب شدن رشته آلوده و رهایی ریزوبیا به گرهک ۱۱
- ۳-۱-۳-۶: باکتریوئیدها و همزیستی ۱۱
- ۳-۱-۳-۷: اندام‌زایی گرهک ۱۱
- ۳-۱-۳-۸: تولید لگ‌هموگلوبین ۱۳
- ۳-۱-۳-۹: تولید نیتروژناز ۱۴
- ۳-۱-۳-۱۰: پیری گرهک و آزادسازی ریزوبیا ۱۴
- ۴-۱: همزیستی اکتینومیسیت‌ها ۱۵
- ۵-۱: همزیستی بین جلبک سبز-آبی و قارچ: *Geosiphon pyriforme* ۱۶
- ۶-۱: همزیستی بین جلبک و قارچ: گل‌سنگ ۱۶
- ۷-۱: همزیستی در پریوفیت‌ها ۱۷
- ۸-۱: همزیستی در پتریدوفیت‌ها ۱۸
- ۹-۱: همزیستی در بازدانگان ۲۰
- ۹-۱-۱: ریشه‌های مرجانی سیکاس ۲۰

۱۰-۱:	همزیستی در نهاندانگان	۲۱
۱-۱۰-۱:	همزیستی میکوریزای	۲۱
۱-۱-۱۰-۱:	انواع قارچ‌های میکوریزا	۲۳
۲-۱-۱۰-۱:	چگونه میکوریزا کار می‌کند؟	۲۶
۳-۱-۱۰-۱:	ارتباط با سایر ارگانیسم‌های خاک	۲۶
۴-۱۰-۱:	همزیستی جدید: <i>Piriformospora indica</i> با گیاهان عالی	۲۸
۱۱-۱:	نتیجه‌گیری	۳۰
فصل ۲:	قارچ آربسکولار میکوریزا	۳۴
۱-۲:	مقدمه	۳۴
۲-۲:	خصوصیات سیتولوژی ریشه‌های گیاه <i>arbuscular mycorrhiza</i> (AM)	۳۵
۳-۲:	مراحل نفوذ قارچ به ریشه سلول میزبان	۳۷
۴-۲:	انتقال مواد غذایی بین گیاهان و قارچ‌ها	۳۹
۵-۲:	مسیرهای پیام‌رسانی در AM	۴۲
۶-۲:	واکنش‌های دفاعی ریشه‌های گیاه در طی کلونیزاسیون توسط قارچ‌های AM	۴۴
۷-۲:	مقاومت سیستمیک القایی در گیاهان AM	۴۵
۸-۲:	تأثیر AM روی خصوصیات خاک	۴۷
۱-۸-۲:	تغییرات فیزیکی	۴۷
۲-۸-۲:	تغییرات شیمیایی	۴۷
۳-۸-۲:	تغییرات بیوشیمیایی	۴۷
۹-۲:	تغییرات میکروبی خاک تحت همزیستی میکوریزایی	۴۸
۱۰-۲:	کسب مواد معدنی در خاک توسط AM	۵۰
۱-۱۰-۲:	جذب فسفر	۵۱
۲-۱۰-۲:	تغذیه نیتروژن	۵۲
۳-۱۰-۲:	عناصر و AM	۵۳

- ۱۱-۲: اثر میکوریز بر مورفولوژی ریشه..... ۵۴
- ۱۲-۲: اثر میکوریزا بر ترکیبات فرار..... ۵۴
- ۱۳-۲: اثر میکوریزا بر هورمون‌های گیاه..... ۵۵
- ۱-۱۳-۲: اسید آبیسیزیک ABA..... ۵۵
- ۲-۱۳-۲: اکسین..... ۵۶
- ۳-۱۳-۲: اسید جیبرلیک..... ۵۷
- ۴-۱۳-۲: جاسمونیک اسید..... ۵۷
- ۵-۱۳-۲: استریگولاکون‌ها..... ۵۸
- ۱-۵-۱۳-۲: نقش‌های آپوکاروتنوئیدها در تنظیم و استقرار آریسکولار میکوریزا..... ۶۲
- ۲-۵-۱۳-۲: استریگولاکون‌ها و کلونیزاسیون ریشه AM..... ۶۳
- ۳-۵-۱۳-۲: تجمع MYCORRACIDIN و سیکلوهگزانون..... ۶۳
- ۴-۵-۱۳-۲: نقش آپوکاروتنوئیدها در تنظیم و استقرار آریسکولار میکوریزا..... ۶۵
- ۱۴-۲: اثر میکوریز بر کاهش تنش‌ها..... ۶۵
- ۱-۱۴-۲: تنش خشکی..... ۶۵
- ۲-۱۴-۲: روابط آبی..... ۶۶
- ۱-۲-۱۴-۲: پروتئین‌های LEA..... ۶۷
- ۲-۲-۱۴-۲: پرولین..... ۶۸
- ۳-۲-۱۴-۲: اثر میکوریز بر روی فراوانی آکوآپورین‌ها..... ۷۰
- ۴-۲-۱۴-۲: اثر میکوریز بر روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در تنش خشکی..... ۷۱
- ۳-۱۴-۲: تنش سرما..... ۷۲
- ۴-۱۴-۲: تنش شوری..... ۷۳
- ۵-۱۴-۲: تنش فلزات سنگین..... ۷۴
- ۱-۵-۱۴-۲: کادمیوم..... ۷۴
- ۲-۵-۱۴-۲: نیکل..... ۷۵

- ۷۵..... ۲-۱۴-۳: جیوه
- ۷۵..... ۲-۱۵: اثر میکوریز روی افزایش متابولیت‌های ثانویه
- ۷۶..... ۲-۱۵-۱: فلاوونوئیدها
- ۷۷..... **References**
- ۷۹..... فصل ۳: تحلیل جوامع قارچی ریزوسفر با استفاده از rDNA و rRNA
- ۷۹..... ۳-۱: مقدمه
- ۸۱..... ۳-۲: مواد
- ۸۱..... ۳-۱-۱: وسایل
- ۸۱..... ۳-۲-۲-۲: مواد
- ۸۲..... ۳-۲-۳: روش
- ۸۲..... ۳-۲-۳-۱: نمونه‌برداری از بافت‌های ریزوسفر
- ۸۳..... ۳-۲-۳-۲: استخراج اسید نوکلئیک
- ۸۳..... ۳-۲-۳-۳: رونویسی معکوس از rRNA
- ۸۴..... ۳-۲-۳-۴: تکثیر با PCR
- ۸۴..... ۳-۲-۳-۵: واکنش‌های کنترل
- ۸۵..... ۳-۲-۳-۶: کلون کردن، توالی‌یابی و تحلیل cDNA و آمپلیکون‌های DNA محیطی
- ۸۶..... ۳-۳: نتایج
- ۸۶..... ۳-۳-۱: استخراج اسید نوکلئیک و رونویسی معکوس از ریزوسفر *Andropogon gerardii*
- ۸۶..... ۳-۳-۲: ارزیابی جامعه با استفاده از cDNAهای رونویسی معکوس شده و rDNAهای محیطی
- ۸۷.....

۸۸..... ۳-۴: نتیجه گیری

۹۲..... References

۹۳..... فصل ۴: استفاده از زیست‌سنجی‌های میکوریزاها در مطالعات بوم‌شناختی

۹۳..... ۴-۱: مقدمه

۹۴..... ۴-۲: ارزیابی آلودگی قارچ‌های AM در خاک

۹۴..... ۴-۲-۱: ارزیابی مستقیم قارچ‌های AM

۹۶..... ۴-۲-۲: ارزیابی غیر مستقیم: زیست‌سنجی میکوریزا

۹۹..... ۴-۳: هدف آزمون‌های زیستی برای ارزیابی آلودگی قارچ‌های AM

۱۰۰..... ۴-۴: نتیجه گیری

۱۰۱..... References

فصل ۵: سیستم‌های مدل درزیره برای مشاهده، سنجش و مطالعات آزمایشگاهی شبکه‌های

۱۰۵..... سالم میکوریزایی آربسکولار

۱۰۶..... ۵-۲: ساختار میسلیوم پیش‌همزیستی قارچ‌های AM: مشاهده و سنجش آناستاموز

۱۰۶..... ۵-۲-۱: پیدایش و فراوانی آناستاموز

۱۰۸..... ۴-۲-۲: پویایی ساختارهای آناستاموز در هیف‌های زنده

۱۰۸..... ۵-۲-۳: آنالیزهای شیمیایی از هیف‌های در حال آناستاموز

۱۱۰..... ۵-۲-۴: ملاحظات

۵-۳: نمایان کردن و تعیین مقدار گسترش شبکه‌های میسلیومی سالم از ریشه‌های

۱۱۱..... میکوریزایی

۱۱۱..... ۵-۳-۱: سیستم آزمایشی

۱۱۳..... ۵-۳-۲: تعیین مقدار ساختار و گسترش شبکه میکوریزایی

۱۱۳..... ۵-۳-۳: توانایی زیستن شبکه میکوریزایی

۱۱۴..... ۵-۳-۴: ملاحظات

۵-۴: نمایان کردن ارتباط‌های زیرزمینی بین گیاهان از گونه‌ها، جنس‌ها و تیره‌های مختلف

۱۱۵.....

۵-۴-۱: سیستم آزمایشی..... ۱۱۵

۵-۴-۲: پیدایش و فراوانی آناستاموزها در داخل و بین شبکه‌های میکوریزایی..... ۱۱۶

۵-۴-۳: ملاحظات..... ۱۱۷

۵-۵: نتیجه‌گیری..... ۱۱۷

References..... ۱۱۹

فصل ۶: اندازه‌گیری جریان‌های یونی خالص با استفاده از میکروالکترودهای یونی انتخابی

در سطح ریشه‌های اکتومیکوریزایی..... ۱۲۱

۶-۱: مقدمه..... ۱۲۱

۶-۲: اصول اندازه‌گیری فعالیت‌های یونی با میکروالکترودهای یونی انتخابی..... ۱۲۲

۶-۲-۱: میکروالکترودهای یونی انتخابی چیست؟..... ۱۲۲

۶-۲-۲: نمایش اختلاف ولتاژ در میان Cocktail..... ۱۲۴

۶-۳: اصول اندازه‌گیری جریان..... ۱۲۵

۶-۳-۱: بیان جریان انتشار موضعی در یک محلول..... ۱۲۵

۶-۳-۲: ارزیابی جریان‌های یون در سطح ریشه..... ۱۲۵

۶-۴: ابزار و ساخت میکروالکترودها..... ۱۲۷

۶-۴-۱: نصب آزمایشی..... ۱۲۷

۶-۴-۱-۱: مدار الکتریکی..... ۱۲۷

۶-۴-۱-۲: نصب ابزار..... ۱۲۷

۶-۴-۱-۳: وسایل مورد نیاز..... ۱۲۸

۶-۴-۱-۴: درون قفس فارادی..... ۱۲۸

۶-۴-۱-۵: بیرون قفسه فارادی..... ۱۲۹

۶-۴-۲: ساختن میکروالکترودها..... ۱۲۹