

نقش عناصر معدنی در گیاهان:

نظریه و تحلیل، بابایی‌ها و کارکردهای فیزیولوژیک

www.ketab.ir

مؤلف

دکتر رقیه حاجی بلند

دانشیار دانشگاه تبریز

سرشناسه	: حاجی بلند، رقیه، ۱۳۴۸ -
عنوان و نام	: نقش عناصر معدنی در گیاهان: جذب و تحلیل، جایجایی ها و کارکردهای
پدیدآور	: فیزیولوژیک/رقیه حاجی بلند
مشخصات نشر	: تیریز: شایسته، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۳۹۷ ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار، ۲۹×۲۲ س.م.
شابک	: 978-600-6573-39-7
وضعیت فهرست	: فیا
نویسی	
موضوع	: گیاهان - اثر مواد معدنی
موضوع	: گیاهان - جذب مواد
موضوع	: گیاهان - تغذیه
رده بندی کنگره	: QK۸۶۷/ج۲:۰۰۰۱۳۹۱
رده بندی دیویی	: ۵۸/۱۳۰۵
شماره کتابشناسی	: ۰۰۴۹۸۴
ملی	



انتشارات شایسته

تیریز: خیابان امام - رویروی سه راه طالقانی

تلفن تماس: ۳۵۵۶۱۹۶۱

نقش عناصر معدنی در گیاهان:
جذب و تحلیل جایجایی ها و کارکردهای فیزیولوژیک
رقیه حاجی بلند

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۵

اندازه: رحلی

تعداد صفحه: ۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

لیتوگرافی: واژه، چاپ: شهاب، صحافی: اسلامی

قیمت: ۳۰۰۰۰۰

ISBN: 978-600-6573-39-7

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۷۳-۳۹-۷

به نام خداوند جان و خرد کزین برتر اندیشه بزرگ دارد

کتابی که در پیش رو دارید به یکو ر مهم از مباحث فیزیولوژی گیاهان که ارتباط بین عناصر و گیاه است، می‌پردازد. این مبحث شامل جذب، جابجایی‌ها در پیکر گیاه و نحوه استفاده از آن به ساختارهای آلی و کارکرد عناصر در آنزیم‌ها و سایر درشت‌مولکول‌هاست. گیاهان به واسطه داشتن توانایی سنتز مجموعه‌ای از ترکیبات کربنی و ازتی، می‌توانند در محیط معدنی ساده متشکل از آب و عناصر البته به شرط وجود نور رشد کرده و تمام نیازهای خود را مرتفع نمایند. به همین دلیل در کنار توجه به روابط آبی گیاهان و فتوسنتز، هر متخصص فیزیولوژی گیاهی باید دانش کافی در مورد نحوه جذب عناصر و کارکرد آن‌ها در پیکر گیاه داشته باشد. بنابراین «تغذیه معدنی گیاهان» یکی از شاخه‌های مهم فیزیولوژی گیاهی است.

در سال‌های اخیر پیشرفت دانش ما در این زمینه اجازه داده است که پاسخ‌های فیزیولوژیک و مولکولی گیاهان به شرایط کمبود این عناصر و سازوکارهای جذب و کده بندی سلولی با جزئیات بیشتری شناخته شود. این موضوع به‌ویژه در مورد ازت، فسفر و آهن که کمبود آن‌ها در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی رایج‌تر و اهمیت آن‌ها برای گیاهان بیشتر بوده است، صادق می‌باشد. این‌که چگونه این عناصر در محیط ریشه و یا در سلول حسگری می‌شوند و یا گیاه چگونه وضعیت تغذیه‌ای خود را درک کرده و براساس آن پاسخ مناسبی برای افزایش جذب و یا جلوگیری از جذب بیشتر از خود می‌دهد، از یافته‌های جدید این مبحث از فیزیولوژی گیاهی محسوب می‌شوند.

اکنون که نزدیک به ده سال است از میان مباحث این شاخه از علم فیزیولوژی گیاهی، دروس «تغذیه معدنی گیاهان» و «جذب و انتقال مواد» را در دوره کارشناسی ارشد و درس «فیزیولوژی همزیستی» را در دوره دکتری فیزیولوژی گیاهی دانشگاه تبریز تدریس می‌کنم، کمبود یک منبع جامع به زبان فارسی برای این دروس را بیش از پیش حس کرده و با هدف ترویج این شاخه از دانش فیزیولوژی گیاهی در بین پژوهشگران جوان و علاقمندان این رشته، تصمیم به تألیف این کتاب گرفتم. در این کار علاوه بر چندین کتاب مهم درسی که توسط ناشرین بین‌المللی منتشر شده‌اند، از فصول مختلف ویراست سوم کتاب «تغذیه معدنی گیاهان عالی» تألیف بنیان‌گذار این رشته شادروان «هورست مارشنر» که افتخار دانشجویی ایشان را در دانشگاه مونیخ آلمان داشتم، بهره فراوان برده‌ام. برای مبحث مهم جذب و جابجایی‌های عناصر و نیز پاسخ‌های مولکولی گیاهان در شرایط کمبود از سایر منابع که در پایان کتاب فهرست شده‌اند و بیشتر شامل مقالات مروری می‌باشند، استفاده شده است. از نتایج آزمایش‌هایی که در طی فعالیت پژوهشی مولف در دانشگاه تبریز و یا در دوره‌های مطالعاتی به دست آمده است نیز در فصول مختلف استفاده شده است.

سازمان بندی کتاب و مطالب فصول را براساس عناوین تعدادی از دروس دوره کارشناسی ارشد و دکترای رشته زیست شناسی گیاهی تنظیم کرده و تلاش نموده‌ام مجموعه‌ای فراهم شود که نیاز دانشجویان را نه تنها در رشته‌های مختلف زیست شناسی گیاهی بلکه در برخی دروس مرتبط در رشته‌های کشاورزی نیز مرتفع کرده و نیز سهمی در فراهم کردن بستری برای کارهای پژوهشی داشته باشد. دانشجویان و پژوهشگران می‌توانند از دیدگاه‌های مطرح شده در این کتاب در طراحی بررسی‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای استفاده کرده و از نحوه نگرش و تفسیر داده‌ها بهره‌برداری نموده و علم تغذیه معدنی را به بیش از جایگاه فعلی خود در ایران ارتقاء دهند.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از تمام کسانی که در کارهای علمی اینجانب جایگاه استاد، سرپرست یا همکار را داشته‌اند و در پرورش موضوعات و نقد فرضیه‌ها و طرح‌های ذهنی‌ام نقش ایفا نموده‌اند، سپاس و قدردانی کنم. هم‌چنین از دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترای که با کشت گیاهان، نتایج جالب و سنجش‌های بی‌نقص خود این افکار را در عمل نیز به بار نشانده و بخشی از داده‌های ارائه شده در این کتاب را فراهم کرده‌اند، بی‌نهایت سپاسگزارم.

رقیه حاجی بلند

بهمن سال یک‌هزار و سیصد و نود و چهار شمسی

تبریز

فهرست مطالب

بخش یک - تاثیر تغذیه معدنی در رشد رویشی و زایشی گیاهان

فصل اول: مقدمه و تعاریف

تاریخچه

طبقه‌بندی عناصر ضروری

فصل دوم: تغذیه معدنی، عملکرد و روابط منبع و مخزن

مقدمه

ارتباط بین مقدار عناصر غذایی و عملکرد گیاهان

نقش عناصر غذایی در سبک‌داری و اندام‌های منبع

نقش عناصر غذایی در تشکیل اندام‌های مخزن

تاثیر عناصر غذایی در غلظت فیتوهورمون‌ها

جذب عناصر، تفاوت‌های بین گونه‌ای و ژن‌های

بخش دو - فیزیولوژی تغذیه در گیاهان: عناصر پرمصرف

فصل سوم: ازت

مقدمه

جذب و انتقال نیترات و آمونیوم در گیاهان

جذب ریشه‌ای، انتقال و بازتوزیع نیترات در گیاهان

جذب ریشه‌ای آمونیوم و جایجایی‌های آن در گیاه

احیای نیترات و جذب و تحلیل آمونیوم

احیای نیترات

جذب و تحلیل آمونیوم

ترکیبات آلی ازت دار با وزن مولکولی کم

مقایسه تغذیه آمونیومی و نیتراتی

پروتئین‌های ذخیره‌ای

سمیت آمونیوم و نیترات

تغییر رشد گیاه و معماری ریشه در پاسخ به عرضه ازت

سازوکارهای مولکولی تاثیر ازت در ریخت‌شناسی ریشه

کارآیی استفاده از ازت

فصل چهارم: گوگرد

۴۹	مقدمه
۴۹	جذب ریشه‌ای و جابجایی‌های سولفات در گیاهان
۵۰	احیای سولفات و جذب و تحلیل آن
۵۳	عملکرد متابولیکی گوگرد
۵۳	گلوتاتیون
۵۵	فیتوکلاتین
۵۵	تیوردوکسین‌ها
۵۵	کوآنزیم‌ها
۵۶	ترکیبات ثانوی گوگرددار
۵۷	هوموستازی گوگرد در گیاهان
۵۸	کمبود و سمیت گوگرد

فصل پنجم: فسفر

۶۳	مقدمه
۶۳	جذب و جابجایی‌های فسفر در گیاهان
۶۵	کارکردهای فسفر
۶۵	فسفر به عنوان یک عنصر ساختاری
۶۶	نقش در ایجاد واکنش‌گری در مولکول‌ها
۶۶	نقش در انتقال انرژی
۶۷	نقش در تنظیم متابولیسم
۶۷	بخشیه‌های فسفات در گیاهان و نقش متابولیسمی و نموی آنها
۶۷	فسفات نآلی، کده بندی و نقش تنظیمی
۷۰	اشکال ذخیره‌ای فسفات
۷۲	هوموستازی فسفر در گیاهان
۷۴	مسیرهای ترارسانی علامت در پاسخ به کمبود فسفر
۷۷	مسیرهای ترارسانی علامت تنظیم کننده بیان ناقلین فسفات
۷۸	کمبود و سمیت فسفر، نشانگان و سازش‌های گیاه

فصل ششم: منیزیم

۸۳	مقدمه
۸۴	جذب و انتقال منیزیم
۸۶	شکل اتصال، کده بندی و هوموستازی
۸۶	نقش در ساختمان کلروفیل و ستر پروتئین
۸۸	فعال‌سازی آنزیم‌ها و نقش در فسفودارشدگی و فتوستز
۸۹	توزیع و تقسیم کربوهیدرات‌ها

کمبرود منیزیم در شرایط تنش محیطی

کمبرود و سمیت منیزیم

فصل هفتم: کلسیم

مقدمه

جابجایی های کلسیم در گیاهان

شکل اتصال و کده بندی

پایداری و استحکام دیواره

گسترش سلول و فرآیندهای ترشحی

پایداری غشاء

تعادل کاتیون- آنیون و تنظیم اسمزی

یون کلسیم به عنوان پیک ثانوی

کمبرود کلسیم عوارض کمبود و نیاز رشدی

فصل هشتم: پتاسیم

مقدمه

جذب و جابجایی های پتاسیم در گیاهان

کانال های پتاسیم شیک

ناقلین پتاسیم H⁺/KUP/KT

کانال های HKT

کانال های غیرانتخابگر یونی

کانال پتاسیم واکوئلی

کده بندی و غلظت های سلولی

کارکردهای فیزیولوژیک

فعال سازی آنزیم ها

سنتز پروتئین

فتوسنتز

منبع انرژی برای انتقال

تعادل کاتیون- آنیون

تنظیم اسمزی

گسترش سلولی

جنبش های گیاه

تحمل تنش ها

عرضه پتاسیم، رشد گیاه و نشانگان کمبود

بخش سه - فیزیولوژی تغذیه در گیاهان: عناصر کم مصرف

فصل نهم: آهن

۱۲۱	مقدمه
۱۲۱	نقش آهن در واکنش های آنزیمی
۱۲۱	پروتئین های هم
۱۲۳	پروتئین های آهن-گوگرد
۱۲۴	سایر آنزیم های دارای آهن
۱۲۵	نمو کلروپلاست ها و فتوسنتز
۱۲۸	محل استقرار و حالت اتصال
۱۲۹	پاسخ های ریشه به کمبود آهن
۱۳۰	استراتژی I یا استراتژی احیاء
۱۳۱	استراتژی II یا استراتژی همبند کردن
۱۳۳	جابجایی های آهن - پیکر کلاه
۱۳۳	جابجایی های آهن در دیسک سلول
۱۳۵	انتقال راه دور آهن
۱۳۷	پاسخ های مولکولی گیاه به کمبود آهن و مسیر ترانس سانی علامت هوموستانزی آهن
۱۴۱	جذب و تحلیل آهن
۱۴۲	کمبود و سمیت آهن

فصل دهم: منگنز

۱۴۵	مقدمه
۱۴۵	جذب و جابجایی های منگنز در گیاهان
۱۴۶	ورود منگنز به سیتوسول
۱۴۷	خروج منگنز از سیتوسول
۱۴۸	آنزیم ها و پروتئین های دارای منگنز
۱۴۸	سوپراکسید دیسموتاز منگنزدار
۱۴۹	پروتئین شکافنده مولکول آب در PSII
۱۴۹	آنزیم های وابسته به منگنز
۱۵۱	نقش در فتوسنتز
۱۵۲	سنتز پروتئین، کربوهیدرات ها و لیپیدها
۱۵۳	تقسیم و تطویل سلولی
۱۵۴	کمبود و سمیت منگنز
۱۵۴	کمبود منگنز
۱۵۵	سمیت منگنز

فصل یازدهم: مس

۱۵۷	مقدمه
-----	-------

۱۵۷	جذب و جابجایی های مس در گیاهان
۱۵۹	پروتئین های دارای مس
۱۵۹	پلاستوسیانین
۱۶۰	سوپراکسید دیسموتاز مس - روی
۱۶۰	سیتوکروم c اکسیداز
۱۶۰	آسکوربات اکسیداز
۱۶۱	دی آمین اکسیداز
۱۶۲	فنل اکسیدازها
۱۶۳	متابولیسم کربوهیدرات ها، لیپید و ازت
۱۶۴	ستز لیگنین
۱۶۴	تشکیل دانه گرده و گرده افشانی
۱۶۵	هومئوستازی مس در گیاهان
۱۶۶	کمبود و سمیت مس
۱۶۶	کمبود مس
۱۶۸	سمیت مس
	فصل دوازدهم: روی
۱۷۱	مقدمه
۱۷۱	جذب و جابجایی های روی در گیاهان
۱۷۳	آنزیم های دارای روی
۱۷۳	الکل دهیدروژناز
۱۷۴	کربونیک آنهیدراز
۱۷۵	سوپراکسید دیسموتاز مس - روی
۱۷۶	نقش روی در آنزیم ها و پروتئین های دیگر
۱۷۷	ستز پروتئین
۱۷۸	متابولیسم کربوهیدرات ها
۱۷۹	ستز تریپتوفان و اکسین
۱۷۹	تمامیت غشاء
۱۸۰	متابولیسم رادیکال های آزاد اکسیژن
۱۸۲	اثرات متقابل فسفر و روی
۱۸۴	شکل اتصال و کده بندی
۱۸۴	کمبود و سمیت روی
۱۸۴	کمبود روی
۱۸۶	سمیت روی
	فصل سیزدهم: مولیبدن
۱۸۷	مقدمه

۱۸۸	جذب و جابجایی های مولیدن در گیاهان
۱۸۸	آنزیم های دارای مولیدن
۱۸۸	نیروژناز
۱۸۹	نیترات ردوکتاز
۱۹۱	سایر آنزیم های دارای مولیدن
۱۹۲	تغییرات متابولیسمی در شرایط کمبود
۱۹۳	کمبود و سمیت مولیدن
۱۹۳	کمبود مولیدن
۱۹۶	سمیت مولیدن

فصل چهاردهم: نیکل

۱۹۷	مقدمه
۱۹۷	آنزیم های دارای نیکل
۱۹۸	نقش نیکل در متابولیسم ازت
۱۹۹	نقش نیکل در رشد و نمو گیاهان
۲۰۰	کمبود و سمیت نیکل
۲۰۰	کمبود نیکل
۲۰۱	سمیت نیکل

فصل پانزدهم: بور

۲۰۳	مقدمه
۲۰۴	جذب و جابجایی های بور در گیاه
۲۰۵	کمپلکس بور با ساختارهای آلی
۲۰۶	مهم ترین کارکردهای فیزیولوژیک بور
۲۰۶	رشد ریشه و اندام هوایی
۲۰۸	ساختار و بیوسنتز دیواره
۲۰۹	عملکرد غشاء
۲۱۰	رشد زایشی گیاهان
۲۱۱	دیگر کارکردهای بور در گیاهان
۲۱۲	تمایز سلولی و سازمان یابی بافت ها
۲۱۳	اثر متقابل بین بور و کلسیم
۲۱۳	اثر متقابل بین بور و ژرمانیوم
۲۱۳	متابولیسم فنل ها
۲۱۴	زندگی همزیستی
۲۱۴	متابولیسم ازت و کربن
۲۱۵	انتقال قندها
۲۱۵	تحمل تنش ها

۲۱۵	ارزیابی عملکرد بور در گیاهان
۲۱۶	نقش میکرو RNA ها در تنظیم پاسخ گیاهان به کمبود بور
۲۱۷	کمبود و سمیت بور
۲۱۷	کمبود بور
۲۱۹	سمیت بور

فصل شانزدهم: کلر

۲۲۱	مقدمه
۲۲۱	جذب و جابجایی های کلر در گیاه
۲۲۲	آزادسازی اکسیژن فتوسنتزی
۲۲۳	تلمبه ATPase تونوپلاست
۲۲۳	تنظیم اسمزی و کارکرد روزنه ها
۲۲۴	تأثیر عرضه کلر بر رشد گیاه
۲۲۵	کمبود و سمیت کلر
۲۲۵	کمبود کلر
۲۲۷	سمیت کلر

به شش چما - فیزیولوژی تغذیه در گیاهان: عناصر مفید

فصل هفدهم: سدیم

۲۲۹	مقدمه
۲۲۹	جابجایی ها، کده بندی و هومئوستازی سدیم
۲۳۲	نقش سدیم به عنوان یک عنصر ضروری
۲۳۳	نقش سدیم در گونه های C ₄
۲۳۵	سدیم به عنوان جایگزین پتاسیم
۲۳۷	سدیم به عنوان عامل تحریک رشد
۲۴۰	کاربرد کودهای سدیم

فصل هجدهم: سیلیکون

۲۴۱	مقدمه
۲۴۲	جذب و جابجایی های سیلیکون در گیاهان
۲۴۵	ضروری بودن سیلیکون
۲۴۶	نقش سیلیکون در دیواره ثانویه
۲۴۶	نقش سیلیکون در دیواره اولیه
۲۴۷	اثر سیلیکون در مقابله با تنش های غیر زیستی
۲۴۷	افراشتگی برگ ها و استحکام ساختاری گیاه
۲۴۸	تنش خشکی
۲۴۸	سمیت منگنز

۲۴۹	سمیت آلومینیوم
۲۵۰	سمیت کادمیوم
۲۵۰	کمبود فسفر
۲۵۰	تنش شوری
۲۵۱	اثر سیلیکون در مقابله با تنش‌های زیستی
۲۵۲	کاربرد کودهای سیلیکون

فصل نوزدهم: سلنیم

۲۵۳	مقدمه
۲۵۳	جذب و جابجایی سلنیم در گیاهان
۲۵۵	جذب و تحلیل و متابولیسم
۲۵۷	اثرات مفید سلنیم
۲۵۷	تحریک فعالیت بیستم دفاع آنتی اکسیداتیو
۲۵۷	نقش در حفاظت در برابر توی فرابنفش
۲۵۷	تنش دمایی
۲۵۸	تنش خشکی
۲۵۸	پیری
۲۵۹	سمیت عناصر فلزی سنگین
۲۵۹	تحریک متابولیسم ازت و کربن
۲۵۹	سلنیم در دام و انسان

فصل بیستم: کبالت

۲۶۱	مقدمه
۲۶۱	نقش کبالت در میکروارگانیسم‌ها
۲۶۲	نقش کبالت در لگوم‌ها
۲۶۴	نقش کبالت به عنوان یک عنصر مفید

فصل بیست و یکم: آلومینیوم

۲۶۵	مقدمه
۲۶۶	گونه‌های انباشته گر آلومینیوم
۲۶۶	اثرات مفید آلومینیوم
۲۶۷	اثر بر روی جذب عناصر غذایی از خاک
۲۶۷	تخفیف سمیت پرتون
۲۶۷	تخفیف سمیت آهن
۲۶۸	تحریک دفاع آنتی اکسیداتیو
۲۶۹	تحریک متابولیسم کربن و ازت
۲۶۹	سازوکارهای تحمل غلظت بالای آلومینیوم در گونه‌های انباشته گر

بخش پنجم: نقش محیط شیمیایی و بیولوژیکی ریشه در تغذیه معدنی گیاهان

فصل بیست و دوم: ریزوسفر و نقش آن در رشد و تغذیه معدنی گیاه

۲۷۱	مقدمه
۲۷۲	گستره مکانی و زمانی ریزوسفر
۲۷۲	شیب شعاعی
۲۷۳	شیب طولی
۲۷۴	تغییرات در طی زمان
۲۷۴	عناصر در ریزوسفر
۲۷۷	pH ریزوسفر
۲۷۸	نقش منبع ازت در تغییر pH ریزوسفر
۲۸۰	تاثیر وضعیت تغذیه‌ای گیاهان بر روی pH ریزوسفر
۲۸۲	اثر pH روی جذب عناصر غذایی
۲۸۲	پتانسیل، رکت و فرآیندهای احیا کننده
۲۸۲	اثر غرقابی
۲۸۳	تحرك منگ
۲۸۳	تحرك آهن
۲۸۳	نهشته‌های آلی ریشه
۲۸۵	بافت‌ها و سلول‌های جدا شده از ریشه
۲۸۶	تراوشات ریشه- ترکیبات با وزن مولکولی بالا
۲۸۷	تراوشات ریشه- ترکیبات با وزن مولکولی کم
۲۸۸	سازوکارهای بازیافت
۲۸۸	آزادسازی کنترل شده ترکیبات با وزن مولکولی کم
۲۹۰	میکروارگانسیم‌های ریزوسفر
۲۹۱	نقش میکروارگانسیم‌ها در تغذیه گیاه
۲۹۲	تراوشات ریشه به عنوان علامت و پیش ساز هورمون‌های گیاهی
۲۹۳	میکروارگانسیم‌های تثبیت کننده ازت
۲۹۴	فراهمی و جذب عناصر از خاک
۲۹۵	حرکت عناصر غذایی به سمت ریشه
۲۹۶	سرعت جذب عناصر از خاک
۲۹۷	نقش ویژه ریشه در جذب عناصر
	فصل بیست و سوم: تثبیت زیستی ازت
۲۹۹	مقدمه
۳۰۰	میکروارگانسیم‌های تثبیت کننده ازت
۳۰۰	تثبیت همزیستی ازت
۳۰۱	همزیستی گونه‌های مختلف لگوم با ریزوبیوم‌ها
۳۰۲	میکروسمبیونت

۳۰۴	ماکروسمبیونت
۳۰۵	تشکیل همزیستی
۳۰۵	تشخیص میزبان
۳۰۷	تشکیل گرهک
۳۱۳	گرهک‌های ساقه
۳۱۴	بیوشیمی تثبیت ازت و ویژگی‌های آنزیم نیتروژناز
۳۱۷	سازوکار عمل مهار اکسیژن روی نیتروژناز
۳۱۸	متابولیسم گرهک‌ها
۳۱۸	متابولیسم کربن و ازت
۳۲۰	متابولیسم گونه‌های فعال اکسیژن و ازت در گرهک‌ها
۳۲۱	پیری گرهک
۳۲۲	تراسانی علامت در همزیستی ریزوبیوم‌ها با لگوم‌ها
۳۲۴	اجزای متراسانی علامت
۳۲۶	بیان ژن‌های نودولین
۳۲۶	خود تنظیمی گرهک و تاثیرات
۳۲۸	ارتباط بین همزیستی و پاسخ‌ها در گیاه میزبان
۳۳۰	جنبه‌های تکاملی همزیستی لگوم‌ها با ریزوبیوم‌ها
۳۳۳	اکولوژی همزیستی لگوم‌ها با ریزوبیوم‌ها
۳۳۳	رقابت، بقا و تنوع در ریزوبیوم‌ها
۳۳۴	برآوردهای هزینه تثبیت ازت
۳۳۵	اثر عناصر مختلف بر کارکرد گرهک‌ها و تثبیت ازت
۳۴۱	اثر عوامل محیطی بر ریزوبیوم‌ها، کارکرد گرهک و تثبیت ازت
۳۴۲	تاثیر روش کشت در کارکرد همزیستی

فصل بیست و چهارم: ارتباط بین قارچ‌ها و ریشه گیاهان (میکوریزا)

۳۴۵	مقدمه
۳۴۵	میکوریزا
۳۴۶	اندومیکوریزا
۳۴۸	میکوریزای غلاف‌دار
۳۴۹	کارکرد فیزیولوژیک و اکولوژیک میکوریزای آربوسکول‌دار و اکتومیکوریزا
۳۵۱	کلنی‌داری ریشه
۳۵۲	نیاز به فرآورده‌های فتوسنتزی گیاه میزبان
۳۵۴	رشد ریشه و اندام هوایی میزبان
۳۵۴	نقش میکوریزا در تغذیه گیاه میزبان
۳۵۴	نقش میکوریزای آربوسکول‌دار در تغذیه گیاه میزبان
۳۶۲	نقش اکتومیکوریزا در تغذیه گیاه میزبان
۳۶۴	نقش میکوریزا در تحمل تنش‌های محیطی

۳۶۴	نقش میکوریز آربوسکول‌دار در افزایش تحمل تنش‌ها
۳۶۶	نقش اکتومیکوریزا در افزایش تحمل تنش‌ها
۳۶۷	اثرات هورمونی قارچ‌های میکوریزی
۳۶۸	ممانعت از پاتوژن‌های ریشه توسط قارچ‌های میکوریزی
۳۶۹	تراسانی علامت در همزیستی میکوریزی
۳۶۹	جنبه‌های بیوشیمیایی و مولکولی همزیستی میکوریزای آربوسکول‌دار
۳۷۰	تبادل علامت بین گیاه و قارچ آربوسکول‌دار و آغاز همزیستی
۳۷۵	تبادل علامت و جنبه‌های بیوشیمیایی همزیستی اکتومیکوریزا
۳۸۱	منابع مورد استفاده