

نحوه جذب عناصر غذایی توسط گیاهان

دکتر بیوشیمیایی و مولکولی

جیانندرا نات میترا، (Gyanendra Nath Mitra)

انتشارات اشپرینگر - ۲۰۱۵

مترجمان

دکتر ایرج اله دادی

مهندس مرجان السادات حسینی فرد

مهندس دلیر فیاضی پور

دکتر علی ایزدی دربندی

سرشناسه	میترا، جیانتدرا نات
عنوان و نام پدیدآور	Mitra, Gyanendra Nath
مشخصات نشر	نحوه جذب عناصر غذایی توسط گیاهان با رویکرد بیوشیمیایی و مولکولی / جیانتدرا نات میترا: مترجمان ایرج الهادادی ... [و دیگران]. تهران: جهاد دانشگاهی، سازمان انتشارات، واحد تهران، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۴۱۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۳۳-۳۹۱-۰
وضعیت فهرست نویسی	فیا
یادداشت	عنوان اصلی: Regulation of nutrient uptake by plants : a biochemical and molecular approach,c2015.
یادداشت	مترجمان ایرج الهادادی، مرجان السادات حسینی فرد، دلیر فیاضی پور، علی ایزدی دربندی.
موضوع	علوم زیستی
موضوع	Life sciences
موضوع	کشاورزی
موضوع	Agriculture
موضوع	گیاهان - بوم شناسی
موضوع	Plant ecology
موضوع	خاک شناسی
موضوع	Soil science
شناسه افزوده	الهادادی، ایرج، ۱۳۴۰ - مترجم
شناسه افزوده	جهاد دانشگاهی سازمان انتشارات، واحد تهران
رده بندی کنگره	QH ۳۰۷۱۰۳ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	
شماره کتابشناسی ملی	۰۰۰۶۹۸



♦ نام کتاب: نحوه جذب عناصر غذایی توسط گیاهان با رویکرد بیوشیمیایی و مولکولی

♦ مؤلف: جیانتدرا نات میترا

♦ مترجمان: ایرج الهادادی، مرجان السادات حسینی فرد، دلیر فیاضی پور، علی ایزدی دربندی

♦ ناشر: انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی تهران

♦ طراح جلد: سعید صحابی

♦ لیتوگرافی: زاویه نور

♦ قیمت: ۵۰۰۰۰۰ ریال

♦ نوبت چاپ: اول - بهار ۱۳۹۸

♦ شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۳۳-۳۹۱-۰

www.jahat.ir

♦ نشانی: تهران - صندوق پستی ۱۸۶ - ۱۳۱۴۵

en.jahat@gmail.com

♦ تلفن: ۶۶۹۵۴۳۶۸ تلفکس: ۶۶۴۶۴۹۴۱

♦ تلفن مراکز پخش: ۶۶۹۵۵۷۵۳-۶۶۹۵۴۳۶۸ خانه کتاب دانشگاه: ۶۶۹۷۳۴۲۳

این اثر، مشمول قانون حمایت مولفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است. هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مولف یا ناشر تکثیر و کپی برداری نماید مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

پیشگفتا: سبب نده

طی ۳۰-۲۵ سال گذشته، در مورد جذب مواد مغذی توسط گیاهان در سطح مولکولی تحقیقات زیادی در جهان انجام شده است و حجم زیادی از اطلاعات حاصل شده است. این امر عمدتاً به دلیل استفاده از تکنولوژی مدرن توسعه یافته در تحقیقات بیوتکنولوژی، ابزار دقیق، امکانات محاسبات مدرن، بیوانفورماتیک به و حجم زیادی از اطلاعات با استفاده از فناوری های اومیکس و البته کار سخت و تکرار پذیر است. جایزه نوبل شیمی در سال ۲۰۰۳ به پیتراگرا و رادریک مک کینن برای کشف اکتاسفات پیشگام مربوط به کانال های آب و یون سلول ها اعطا شد. نقل قولی برای معرفی این کشف تحقیقات اخیر نشان می دهد جذب مواد مغذی و انتقال و توزیع مجدد آن در گیاهان تحت کنترل ژنتیکی است. گروهی از ژن ها برای هر ماده غذایی پروتئین های ناقل را کدگذاری می کنند که آن ها به دست آوردن مواد مغذی مشخص از خاک و انتقال آن از طریق غشای پلاسمایی درون های ریشه های موثر به منظور استفاده در سوخت و ساز گیاهان است. کمبود و یا کافی بودن مواد مغذی گیاهی موجب القای بیان گروه های مختلف از ژن ها سپس تولید m-RNA برای ترجمه پروتئین های ناقل می شود. همچنین شواهدی وجود دارد که نشان می دهد ترجمه پروتئین های ناقل در پاسخ به تغییرات وضعیت مواد مغذی گیاهان تنظیم می شود. کاهش و افزایش تعداد زیادی از آنزیم های متابولیک در پاسخ به کمبود مواد مغذی گیاهی تنظیم می شوند. اسیدهای آمینه، تنظیم کننده های رشد گیاه، متابولیت های حد واسطه و مواد مغذی خود در القاء یا سرکوب ژن های رمزگذاری کننده ناقل ها و همچنین در تعدیل پروتئین های ناقل پس از رونویسی نقش دارند. مقالات مروری عالی در مورد جذب مواد مغذی در مجلات مروری سالانه و یا بعنوان فصول برخی کتاب ها منتشر شده است. احتمالاً جای یک کتاب حاوی اطلاعات جامع در مورد تمام مواد مغذی مورد استفاده گیاهان و پیشرفت های اخیر در سطوح بیوشیمیایی و

مولکولی خالی است.

این کتاب برای موارد ذیل در نظر گرفته شده است:

۱. به عنوان یک مرجع راهنمایی توسط محققانی که در زمینه جذب مواد مغذی توسط گیاهان و یا در زمینه های مرتبط فعالیت می کنند، استفاده می شود.
۲. آماده سازی معلم ها به منظور ارائه دوره های جذب مواد مغذی توسط گیاهان با آخرین اطلاعات و به روز رسانی دوره های خود.
۳. به روز رسانی اطلاعات دانش آموزان و ایجاد علاقه در آن ها برای انجام تحقیقات در این زمینه.

در مورد برخی از موضوعات خاص اطلاعات اضافی در کادر جداگانه داده شده است. اصطلاحات علمی تا آنجا که ممکن است در متن توضیح داده شده است، که بیشتر در داخل پرانتز قرار دارد. نویسندگان می توانند اطلاعات مندرج در این کتاب را از اصل مقالات متنوعی که در متن نقل شده بررسی کنند. منابع این مقالات با عنوان "منابع" در پایان هر فصل آورده شده است.

جیانندرا نات میترا

باحوث سرور هند

فهرست مطالب

مقدمه ناشر.....	۵
پیشگفتار نویسندگان.....	۷
فصل ۱ / معرفی و جذب یون‌های آب و مواد مغذی	۲۵
۱-۱- معرفی.....	۲۵
۲-۱- طرز کار جذب آب و یون.....	۲۷
۱-۲-۱- کانال‌های آب.....	۲۷
۳-۱- آکوآپورین‌های گیاهان.....	۲۸
۱-۳-۱- ژن‌های آکوآپورین در گیاهان مختلف.....	۲۸
۲-۳-۱- پروتئین‌های درونی اصلی.....	۲۹
۳-۳-۱- ساختار آکوآپورین‌ها.....	۳۰
۴-۳-۱- عملکردهای آکوآپورین‌ها.....	۳۱
۵-۳-۱- تنظیم جذب آب تحت رژیم آبی نامناسب.....	۳۱
۴-۱- کانال‌های یونی و ناقل‌ها.....	۳۲
۱-۴-۱- کانال‌های یونی.....	۳۲
۲-۴-۱- ناقل‌های یونی (حامل‌ها).....	۳۳
فصل ۲ / جذب نیتروژن (N)	۳۷
۱-۲- منشاء نیتروژن (N) موجود در خاک.....	۳۸
۲-۲- محتوای نیتروژن گیاهان.....	۳۹

- ۳-۲- عملکرد نیتروژن در گیاهان ۳۹
- ۴-۲- سازوکار جذب نیتروژن توسط گیاهان ۴۰
- ۱-۴-۲- ناقل های نیتراتی ۴۱
- ۱-۱-۴-۲- برنج ۴۲
- ۲-۱-۴-۲- ذرت ۴۳
- ۲-۴-۲- ناقل های آمونیومی ۴۳
- ۱-۲-۴-۲- برنج ۴۴
- ۲-۲-۴-۲- ذرت ۴۴
- ۱-۴- تنظیم ناقل های نیتراتی ۴۵
- ۴-۲-۲- تنظیم ناقل های آمونیومی ۴۶
- ۵-۴-۲- نیترات یا آمونیوم ۴۷
- ۶-۴-۲- راهبرد: است و آوری برای بهینه کردن کارایی مصرف نیتروژن (NUE) ۴۷
- ۱-۶-۴-۲- مسأله: کمبود کارایی مصرف نیتروژن (NUE) ۴۷
- ۲-۶-۴-۲- راهبرد: برای بهینه سازی NUE ۴۸
- ۳-۶-۴-۲- راهبرد: زیست فناوری ۴۹
- ۴-۶-۴-۲- جذب نیتروژن ۴۹
- ۵-۶-۴-۲- جذب و ترکیب (اسیمیلایون) نیتروژن ۵۲
- ۶-۶-۴-۲- انتقال مجدد نیتروژن برای پر شدن ۵۵

فصل ۳ / جذب فسفات (Pi) ۶۳

- ۱-۳- منشأ فسفات (Pi) موجود در خاک ۶۳
- ۲-۳- محتوای فسفات گیاهان ۶۴
- ۳-۳- عملکرد فسفر در گیاهان ۶۵
- ۴-۳- سازوکار جذب فسفات توسط گیاهان ۶۵
- ۱-۴-۳- سازگاری ریخت شناسی گیاهان به علت کمبود Pi ۶۵
- ۱-۱-۴-۳- ریشه ها ۶۶
- ۲-۱-۴-۳- رویش شاخه ۷۰
- ۲-۴-۳- سازوکارهای متابولیک برای دستیابی به Pi در خاک ۷۰
- ۱-۲-۴-۳- تراوش اسیدهای آلی توسط گیاهان ۷۰

۷۱.....	۲-۲-۴-۳- فعالیت‌های آنزیم‌های چرخه TCA به علت کمبود Pi
۷۳.....	۳-۴-۳- بدست آوری Pi از خاک با کمبود Pi
۷۴.....	۴-۴-۳- توزیع مجدد داخلی Pi در گیاهان به علت کمبود Pi
۷۵.....	۵-۴-۳- مسیرهای متابولیکی متناوب در شرایط کمبود Pi
۷۵.....	۱-۵-۴-۳- انباشتگی نشاسته
۷۵.....	۲-۵-۴-۳- سنتز آنتوسیانین‌ها
۷۵.....	۳-۵-۴-۳- سنتز ATP
۷۶.....	۴-۵-۱-۳- گلیکولیز
۷۶.....	۵-۵-۳- انتقال الکترون
۷۶.....	۱-۵-۴-۳- متابولیسم نیتروژنی
۷۷.....	۱-۵-۴-۳- سوخت‌رسانایی
۷۷.....	۶-۴-۳- واکنش‌هایی که کمبود فسفات
۷۷.....	۱-۶-۴-۳- ناقل‌های فسفات
۷۸.....	۲-۶-۴-۳- ساختار ناقل‌های فسفات
۷۸.....	۳-۶-۴-۳- ژن‌های درگیر در جذب و انتقال فسفات
۷۹.....	۴-۶-۴-۳- ژن‌های اولیه و تازه
۷۹.....	۵-۶-۴-۳- واکنش ژنتیکی سریع به کمبود Pi
۸۲.....	۶-۶-۴-۳- واکنش ژنتیکی کند به کمبود Pi
۸۲.....	۷-۴-۳- عوامل نمونه‌برداری دخیل در فرآوری ژن‌های واکنش تحت فشار Pi
۸۳.....	۱-۷-۴-۳- WRKY TF
۸۳.....	۲-۷-۴-۳- BHLH (Basic Helix-loop-Helix) TF
۸۳.....	۳-۷-۴-۳- عامل نمونه‌برداری HD-Zip (Homeodomain Leucine Zipper)
۸۴.....	۴-۷-۴-۳- عامل نمونه‌برداری MYB (Mycloblast)
۸۴.....	۵-۷-۴-۳- عامل نمونه‌برداری Zinc Finger
۸۵.....	۸-۴-۳- پیام‌رسانی قند
۸۵.....	۹-۴-۳- میکرو RNA (miRNA)

فصل ۴ / جذب پتاسیم (K)..... ۸۷

۸۷.....	۱-۴- منشأ پتاسیم موجود در خاک
---------	-------------------------------

- ۸۸-۲-۴-..... محتوای پتاسیمی گیاهان
- ۸۸-۳-۴-..... عملکرد پتاسیم در گیاهان
- ۸۹-۴-۴-..... سازوکار جذب پتاسیم توسط گیاهان
- ۸۹-۴-۴-۱-..... دسته بندی ناقل های پتاسیمی
- ۹۰-۲-۴-۲-..... کانال های لرزشی (Shaker Channels)
- ۹۰-۱-۲-۴-۴-..... کانال های SKOR و GORK
- ۹۱-۲-۴-۲-..... ژن هایی که خانواده لرزشی را رمزگذاری می کنند
- ۹۲-۳-۲-۴-۴-..... ساختار پلی پپتیدهای لرزشی گیاهی
- ۹۲-۴-۲-۴-..... کانال های KCO
- ۹۳-۳-۴-۴-..... کانال های با دریچه های نوکلئوتیدی چرخه ای (CNGC)
- ۹۳-۴-۴-۴-..... ناقل های Trk / HKT (TC:2.A.38)
- ۹۴-۵-۴-۴-..... ناقل های KUP / HAK KT (TC:2.A.72)
- ۹۵-۱-۵-۴-۴-..... ناقل های گیمی
- ۹۵-۲-۵-۴-۴-..... ناقل های گروه ۲
- ۹۶-۶-۴-۴-..... عضوهای آنتی پورهای هم لوگ K^+ / H^+
- ۹۶-۷-۴-۴-..... گیرنده های گلوتاماتی (GLR)
- ۹۶-۸-۴-۴-..... انتقال پتاسیم در برگ ها
- ۹۷-۱-۸-۴-۴-..... کانال های K^+ در سلول های فقط روزنه
- ۹۷-۲-۸-۴-۴-..... کانال های K^+ در غشای پلاسمایی سلول مزوفیل برگ
- ۹۸-۳-۸-۴-۴-..... کانالهای K^+ در اپی درم
- ۹۸-۴-۸-۴-۴-..... کانال های K^+ در بافت های آوندی
- ۹۸-۵-۸-۴-۴-..... کانال های K^+ در واکوئل
- ۹۹-۶-۸-۴-۴-..... کانال های K^+ در کلروپلاست
- ۹۹-۷-۸-۴-۴-..... کانال های K^+ در میتوکندری
- ۱۰۰-۹-۴-۴-..... اثر جذب K^+ در مقاومت خشکی
- ۱۰۱-۱۰-۴-۴-..... ناقل های K^+ و تحمل به شوری

فصل ۵ / جذب کلسیم (Ca)

- ۱۰۴-۱-۵-..... منشاء کلسیم موجود در خاک

۱۰۴	۲-۵- محتوای Ca گیاهان
۱۰۵	۳-۵- عملکرد کلسیم در گیاهان
	۵-۳-۱- کلسیم به عنوان یک مولفه دیواره سلولی و نقش آن در ظرفیت کاتیون تبادلی
۱۰۵	ریشه
۱۰۶	۵-۳-۲- حرکت کلسیم در گیاهان
۱۰۶	۵-۳-۳- مداخله کلسیم در فرآیندهای اساسی در گیاهان
۱۰۶	۵-۳-۴- تنش غیرزنده و اثر کلسیم
۱۰۷	۵-۴-۱- زوکار جذب کلسیم توسط گیاهان
۱۰۷	۵-۴-۲- نفوذ (ریزش یا ورود) Ca^{2+}
۱۰۷	۵-۴-۲- کانال های کلسیمی
۱۰۸	۵-۴-۲-۱- کانال های کاتیونی فعال شده توسط هایپرپلاریزاسیون
۱۰۸	۵-۴-۲-۲- کانال های کاتیونی فعال شده توسط دیپلاریزاسیون
۱۰۹	۵-۴-۲-۳- کانال های کاتیونی متقل از ولتاژ (VICC ها)
	۵-۴-۲-۴- کانال های دریچه لیگاندی (کانال های دریچه نوکلئوتیدی چرخه ای،
۱۰۹	CNGC ها)
۱۰۹	۵-۴-۲-۵- گیرنده های گلوتاماتی (GLR ها)
۱۱۰	۵-۴-۳- جریان Ca^{2+}
۱۱۰	۵-۴-۳-۱- آنتی پورت های Ca^{2+}/H^{+}
۱۱۲	۵-۴-۳-۲- Ca^{2+} ATPase نوع P
۱۱۲	۵-۴-۴- حس گر Ca^{2+} و علامت دهی
۱۱۲	۵-۴-۴-۱- EF Hand ها
۱۱۳	۵-۴-۴-۲- انواع EF Hand
۱۱۴	۵-۴-۴-۳- پروتئین های پیوند کلسیمی
۱۱۷	۵-۴-۵- بیان ژن تنظیم کننده Ca^{2+} و پاسخ به تنش های غیرزنده
۱۱۷	۵-۴-۵-۱- سازوکارهای بیان ژن توسط پیام ناشی از سطح Ca^{2+} سلولی
۱۱۸	۵-۴-۵-۲- عوامل رونویسی پیوند Ca^{2+} و CaM
	۵-۴-۵-۳- بیان ژن تنظیم شده توسط Ca^{2+} در پاسخ به برخی تنش های غیرزنده
۱۲۰	خاص

- ۱۲۴ ۵-۴-۶- تنش زنده
- ۱۲۴ ۵-۴-۶-۱- اثر کلسیم در درک اولیه حمله عوامل بیماری‌زا
- ۱۲۶ ۵-۴-۶-۲- CaM ها و علامت دهی عوامل بیماری‌زای گیاه
- ۵-۴-۶-۳- تعامل CaM با خانواده‌های عامل رونویسی (TF) درگیر در دفاع گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا
- ۱۲۷ ۵-۴-۶-۴- CDPK ها و پیام‌رسانی MAMP
- ۱۲۸ ۵-۴-۶-۴-۴-۵

فصل ۶ / جذب منیزیم (Mg)

- ۶-۱- منشاء منیزیم (Mg) موجود در خاک
- ۶-۲- محتوای Mg گیاهان
- ۶-۳- عملکردهای Mg در گیاهان
- ۶-۴- سازوکار جذب منیزیم توسط گیاهان
- ۶-۴-۱- CorA (فنتوپ مفهم کبالت در برابر جهش باکتریایی)
- ۶-۴-۲- پروتئین‌های COX و خانواده atmg در پروتئین‌های ناقل Mg^{2+}
- ۶-۴-۳- نقش Mg^{2+} درک‌مشی سیست Al^{3+}
- ۶-۴-۴- سازوکار قابلیت تحمل Al^{3+} در برنج

فصل ۷ / جذب گوگرد (S)

- ۷-۱- منشاء گوگرد موجود در خاک
- ۷-۲- محتوای گوگردی گیاهان
- ۷-۳- عملکردهای گوگرد در گیاهان
- ۷-۳-۱- اثرات گوگرد بر عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی
- ۷-۴- سازوکار جذب گوگرد توسط گیاهان
- ۷-۴-۱- اشکال گوگرد جذب شده و تجهیز آن در گیاه
- ۷-۴-۲- اجزای تشکیل دهنده آبیگر گوگردی
- ۷-۴-۳- مسیری برای ذخیره گوگرد در گیاهان
- ۷-۴-۴- ناقل‌های سولفات در گیاه
- ۷-۴-۵- خانواده ژنی که ناقل‌های سولفات را رمزگذاری می‌کند
- ۷-۴-۶- بیان گروه‌های مختلف ناقل‌های سولفاتی در گیاهان

۱۴۸.....	۷-۴-۱-آراییدوپسیس
۱۵۰.....	۷-۴-۲-گندم
۱۵۰.....	۷-۴-۳-کلزا
۱۵۱.....	۷-۴-۴-برنج
۱۵۲.....	۷-۴-۵-گیاهان دیگر
۱۵۲.....	۷-۴-۷-تنظیم جذب سولفات
۱۵۲.....	۷-۴-۱-تنظیم توسط مواد غذایی دیگر
۱۵۲.....	۷-۴-۲-تنظیم توسط OAS (O-acetylserine)
۱۵۳.....	۷-۴-۳-SURE (گوگرد- عنصر واکنشی)
۱۵۳.....	۷-۴-۷-SI 1 (محدودیت گوگردی شماره یک)
۱۵۴.....	۷-۴-۷-RM (microRNA) یک

فصل ۸ / مشخصات فلزات سنگین، مواد مغذی گیاهی ضروری و مفید..... ۱۵۵

۱۵۵.....	۸-۱-تعریف فلزات سنگین
۱۵۷.....	۸-۲-مواد مغذی ضروری گیاه
۱۵۷.....	۸-۳-مواد مغذی سودمند گیاهی

فصل ۹ / جذب فلزات سنگین..... ۱۵۹

۱۵۹.....	۹-۱-منشاء فلزات سنگین موجود در خاک
۱۶۰.....	۹-۱-۱-آلومینیم (Al)
۱۶۰.....	۹-۱-۲-کروم (Cr)
۱۶۰.....	۹-۱-۳-کادمیوم (Cd)
۱۶۱.....	۹-۱-۴-آرسنیک (As)
۱۶۲.....	۹-۱-۵-سرب (Pb)
۱۶۲.....	۹-۲-محتوای فلزات سنگین در گیاهان
۱۶۲.....	۹-۲-۱-آلومینیوم
۱۶۳.....	۹-۲-۲-کروم
۱۶۳.....	۹-۲-۳-کادمیم
۱۶۴.....	۹-۲-۴-آرسنیک

- ۱۶۴-۲-۹-۵- سرب ۱۶۴
- ۱۶۴-۳-۹- عملکرد فلزات سنگین و شبه فلزات ۱۶۴
- ۱۶۶-۴-۹- سازوکار جذب فلزات سنگین توسط گیاهان عالی ۱۶۶
- ۱۶۶-۴-۹-۱- سازوکارهای سلولی برای رفع سمیت فلز و مقاومت در گیاهان عالی ۱۶۶
- ۱۶۷-۴-۹-۱-۱- مایکوریزا ۱۶۷
- ۱۶۷-۴-۹-۲- دیواره سلولی ۱۶۷
- ۱۶۸-۴-۹-۳- سلول های لبه ای ریشه ۱۶۸
- ۱۶۹-۴-۹-۴- غشای پلاسمایی ۱۶۹
- ۱۶۹-۴-۹-۵- مواد ترشح شده از ریشه ۱۶۹
- ۱۶۹-۴-۹-۶- پروتئین ها و پلی پپتیدهای کوچک تر ۱۶۹
- ۱۷۸-۴-۹-۲- سیستم های انتقال غشایی درگیر در انتقال ریزمغذی ها و فلزات سنگین ۱۷۸
- ۱۷۹-۴-۹-۲- ATPase های نوع P ۱۷۹
- ۱۸۱-۴-۹-۲-۲- انتقال یون ATP (نوار پیوندی) ۱۸۱
- ۱۸۴-۴-۹-۳-۲- AMP و NADPH پروتون های ماکروفاژی مقاومتی طبیعی) ۱۸۴
- ۱۸۶-۴-۹-۴-۲- خانواده آسانسورهای انتقال کاتیون (CDF) ۱۸۶
- ۱۸۶-۴-۹-۵-۲- خانواده ZIP (پروسیسین های IRT و ZRT گونه) ۱۸۶
- ۱۸۹-۴-۹-۶-۲- خانواده CAX (آنتی پورترهای H^+ /کاتیون) ۱۸۹

فصل ۱۰ / جذب آهن (Fe) ۱۹۱

- ۱۹۱-۱-۱۰- منشأ آهن موجود در خاک ۱۹۱
- ۱۹۲-۲-۱۰- محتوای آهن گیاهان ۱۹۲
- ۱۹۲-۳-۱۰- عملکردهای آهن در گیاهان ۱۹۲
- ۱۹۲-۳-۱۰-۱- کمبود آهن ۱۹۲
- ۱۹۳-۳-۱۰-۲- سمیت آهن ۱۹۳
- ۱۹۴-۳-۳-۱۰- عملکردهای بیوشیمیایی آهن ۱۹۴
- ۱۹۴-۴-۱۰- سازوکار جذب آهن توسط گیاهان ۱۹۴
- ۱۹۴-۴-۱۰-۱- گیاهان راهبردی I ۱۹۴
- ۱۹۵-۴-۱۰-۲- گیاهان راهبردی II ۱۹۵
- ۱۹۶-۴-۱۰-۱-۲- سیدروفورهای گیاهی (PS) خانواده موژنیک اسید (MA) ۱۹۶

۱۹۸	۱-۲-۲-۲- نیکوتین آمین (NA)
۲۰۰	۱-۳-۳- ناقل های آهن
۲۰۰	۱-۳-۴- خانواده ZIP (ZRT، پروتئین های IRT گونه)
۲۰۰	۱-۳-۴-۲- NRAMP ها (پروتئین های ماکروفاژ مرتبط با مقاومت طبیعی)
۲۰۱	۱-۳-۳-۳- ناقل های ABC
۲۰۲	۱-۳-۴-۲- H^+ -ATPase
۲۰۳	۱-۳-۵- ناقل های YSL
۲۰۴	۱-۴-۱- استفاده دوباره از آهن آپوپلاستی
۲۰۴	۱-۴-۱- فنول ها، اسیدهای آلی و تجهیز آهن آپوپلاستی
۲۰۵	۱-۴-۴- ناقل FRD3 MA17
۲۰۶	۱-۴-۵- عامل سرزده برداری القا شده توسط کمبود آهن (۱)
۲۰۶	۱-۴-۶- ژن های FIN
۲۰۷	۱-۴-۷- هموستازی آهن در اندام های درون سلولی
۲۰۷	۱-۴-۷- میتوکندری
۲۰۸	۱-۴-۷-۲- کلروپلاست
۲۱۰	۱-۴-۷-۳- واکوئل

فصل ۱۱ / جذب روی (Zn) ۲۱۳

۲۱۳	۱-۱۱- منشاء Zn موجود در خاک
۲۱۴	۱۱-۲- مقدار روی در گیاهان
۲۱۴	۱۱-۳- نقش های Zn در گیاهان
۲۱۴	۱۱-۳-۱- کمبود Zn
۲۱۵	۱۱-۳-۲- سمیت Zn (بیش بود روی)
۲۱۶	۱۱-۳-۳- نقش های بیوشیمیایی روی
۲۱۶	۱۱-۴- سازوکار جذب Zn توسط گیاهان
۲۱۷	۱۱-۴-۱- وزن کم مولکولی اسیدهای ارگانیک و لیگاندها
۲۱۷	۱۱-۴-۲- موژنیک اسید
۲۱۸	۱۱-۴-۳- آنزیم های مورد نیاز Zn
۲۱۸	۱۱-۴-۴- فیتوچلاتین (PCs)

- ۲۱۸..... ۵-۴-۱۱- متالوتئونین ها (MTs)
- ۲۱۸..... ۶-۴-۱۱- ویژگی های ریشه
- ۲۱۹..... ۷-۴-۱۱- ناقل های Zn
- ۲۲۰..... ۱-۷-۴-۱۱- خانواده برتر ATP از نوع ATP:P از فلز سنگین (HMAs)
- ۲۲۰..... ۲-۷-۴-۱۱- ناقل های مقاومت کادمیم گیاه (PCR)
- ۲۲۱..... ۳-۷-۴-۱۱- خانواده CDF: MTP (پروتئین های ناقل فلز)
- ۲۲۱..... ۴-۷-۴-۱۱- خانواده ZIP (ZRT- و IRT- مانند پروتئین ها)
- ۲۲۲..... ۵-۷-۴-۱۱- خانواده CAX (آنتی پورتر H^+ /کاتیون)
- ۲۲۲..... ۸-۴-۱۱- فاکتورهای رونویسی (TFs)
- ۲۲۲..... ۸-۴-۱۱- bZIPs (زیپهای ناحیه پایه ای)
- ۲۲۳..... ۲-۸-۴-۱۱- NAM (بدون مریستم انتهایی)

فصل ۱۲ / جذب منگ (Mn)

- ۲۲۵..... ۱-۱۲- منشأ Mn موجود در خاک
- ۲۲۶..... ۲-۱۲- مقدار Mn گیاهان
- ۲۲۶..... ۳-۱۲- نقش های Mn در گیاهان
- ۲۲۶..... ۱-۳-۱۲- کمبود Mn
- ۲۲۷..... ۲-۳-۱۲- سمیت Mn
- ۲۲۸..... ۳-۳-۱۲- نقش های بیوشیمیایی Mn در گیاهان
- ۲۲۹..... ۴-۱۲- سازوکار جذب Mn توسط گیاه
- ۲۳۰..... ۱-۴-۱۲- ناقل های Mn
- ۲۳۰..... ۱-۱-۴-۱۲- ناقل های H^+ /کاتیون
- ۲۳۰..... ۲-۱-۴-۱۲- Nramps
- ۲۳۱..... ۳-۱-۴-۱۲- خانواده ZIP
- ۲۳۱..... ۴-۱-۴-۱۲- خانواده CDF

فصل ۱۳ / جذب مس (Cu)

- ۲۳۳..... ۱-۱۳- منشأ Cu موجود در خاک
- ۲۳۴..... ۲-۱۳- مقدار مس (Cu) گیاهان

۲۳۵	۳-۱۳- نقش‌های مس
۲۳۵	۱-۳-۱۳- کمبود مس
۲۳۵	۱-۱-۳-۱۳- گیاهان حساس به کمبود Cu
۲۳۶	۲-۳-۱۳- سمیت Cu
۲۳۶	۳-۳-۱۳- اعمال بیوشیمیایی Cu در گیاهان
۲۳۸	۴-۱۳- سازوکار جذب Cu توسط گیاهان
۲۳۸	۱-۴-۱۳- پروتئین‌های ناقل مس (COPT)
۲۳۹	۲-۴-۱۳- ATPase نوع P
۲۴۰	۲-۴-۱۳- خانواده ZIP
۲۴۰	۳-۴-۱۳- NRAMPs
۲۴۰	۵-۴-۱۳- ناقل‌های YSL
۲۴۰	۶-۴-۱۳- نیکوتین این (NA)
۲۴۱	۷-۴-۱۳- کاپرون مس (CH)
۲۴۱	۸-۴-۱۳- CCS (Copper Chaperone for Cu/Zn Superoxide Dismutase)
۲۴۲	۹-۴-۱۳- siRNA و miRNA

فصل ۱۴ / جذب بور (B) ۲۴۳

۲۴۳	۱-۱۴- منشأ بور موجود در خاک
۲۴۴	۲-۱۴- مقدار غلظت بور در گیاهان
۲۴۵	۳-۱۴- وظیفه‌ی بور در گیاهان
۲۴۵	۱-۳-۱۴- کمبود B
۲۴۶	۲-۳-۱۴- محصولات حساس به کمبود بور
۲۴۶	۳-۳-۱۴- سمیت بور
۲۴۶	۱-۳-۳-۱۴- مقدار بور در آب آبیاری و میزان حساسیت محصولات زراعی
۲۴۷	۲-۳-۳-۱۴- علائم ظاهری سمیت بور
۲۴۷	۴-۳-۱۴- فعالیت‌های بیوشیمیایی بور در گیاهان
۲۴۸	۴-۱۴- سازوکار جذب B توسط گیاهان
۲۴۹	۱-۴-۱۴- ناقل‌های بور
۲۴۹	۱-۱-۴-۱۴- NIPs:1

۲۵۰	NIP6:1 - ۲-۱-۴-۱۴
۲۵۰	BOR1 - ۳-۱-۴-۱۴
۲۵۰	Os BOR1 - ۴-۱-۴-۱۴
۲۵۱	BOR4 - ۵-۱-۴-۱۴
۲۵۱	۲-۴-۱۴ - دستکاری ژنتیکی برای بهبود تحمل کمبود و سمیت بور
۲۵۱	۱-۲-۴-۱۴ - کمبود B
۲۵۱	۲-۲-۴-۱۴ - سمیت B
۲۵۲	۳-۲-۴-۱۴ - مقاومت گیاهان زراعی به بور

فصل ۱۵ / جذب مولیبدن (Mo) ۲۵۳

۲۵۳	۱-۱۵ - منشأ مولیبدن (Mo) موجود در خاک
۲۵۴	۲-۱۵ - مقدار ریزیدگی گیاهان
۲۵۴	۳-۱۵ - نقش‌های مولیبدن در گیاهان
۲۵۴	۱-۳-۱۵ - کمبود Mo
۲۵۵	۲-۳-۱۵ - حساسیت گیاهان به کمبود Mo
۲۵۵	۳-۳-۱۵ - سمیت Mo
۲۵۵	۴-۳-۱۵ - نقش‌های بیوشیمیایی Mo
۲۶۱	۴-۱۵ - سازوکار جذب مولیبدن توسط گیاهان
۲۶۱	۱-۴-۱۵ - Sultr5;1 (MOT1)
۲۶۲	۲-۴-۱۵ - دانه‌ها به عنوان منبع Mo
۲۶۲	۳-۴-۱۵ - برهم کنش با سایر مواد مغذی

فصل ۱۶ / جذب نیکل (Ni) ۲۶۳

۲۶۳	۱-۱۶ - منشأ نیکل (Ni) موجود در خاک
۲۶۴	۲-۱۶ - مقدار نیکل موجود در خاک
۲۶۴	۳-۱۶ - نقش‌های نیکل در گیاهان
۲۶۵	۱-۳-۱۶ - علائم ظاهری کمبود نیکل
۲۶۵	۲-۳-۱۶ - کمبود نیکل و مسمومیت
۲۶۵	۳-۳-۱۶ - مقدار نیکل بیش از نیاز منجر به مسمومیت می‌شود

۲۶۷	۱۶-۴- سازوکار جذب نیکل توسط گیاهان
۲۶۷	۱۶-۴-۱- AtIRT1
۲۶۷	۱۶-۴-۲- ناقل های YSL
۲۶۷	۱۶-۴-۳- خانواده CAX (آنتی پورترهای H^+ /کاتیون)
۲۶۸	۱۶-۴-۴- NRAMP ها
۲۶۸	۱۶-۴-۵- خانواده تسهیل کننده پخشیدگی کاتیون (CDFs)
۲۶۸	۱۶-۴-۶- انتقال نیکل به درون گیاه
۲۶۸	۱۶-۴-۷- نعل وانفعالات Ni با سایر مواد مغذی
۲۶۹	فصل ۱۷ / جذب کلرید (Cl^-)
۲۶۹	۱۷-۱- منشاء کلرید موجود در خاک
۲۷۰	۱۷-۲- مقدار کلرید گیاهان
۲۷۰	۱۷-۳- وظایف کلرید در گیاهان
۲۷۰	۱۷-۳-۱- کمبود کلرید
۲۷۱	۱۷-۳-۲- کلرید و مقاومت به بیماری
۲۷۱	۱۷-۳-۳- حساسیت گیاهان به کمبود کلرید
۲۷۱	۱۷-۳-۴- سمیت کلرید
۲۷۲	۱۷-۳-۵- وظایف بیوشیمیایی کلرید در گیاهان
۲۷۳	۱۷-۴- سازوکار جذب کلرید توسط گیاهان
۲۷۳	۱۷-۴-۱- جذب فعال و غیرفعال
۲۷۴	۱۷-۴-۲- کانال ها و انتقال دهنده های کلرید
۲۷۴	۱۷-۴-۲-۱- کانال قطبی یک سویه ی آنیونی بیرون بر (ORDAACs)
۲۷۴	۱۷-۴-۲-۲- کانال قطبی یک سویه ی درون بر (IRAC)
۲۷۵	۱۷-۴-۳- ژن های درگیر در انتقال کلرید
۲۷۵	۱۷-۴-۳-۱- ژن کانال کلرید (CLC)
۲۷۶	۱۷-۴-۳-۲- ناقل های کاتیون کلرید (2A.30) (CCC)
۲۷۷	۱۷-۴-۳-۳- سایر ناقل هایی که در کانال های کلریدی شرکت می کنند
۲۷۷	۱۷-۴-۴- کلرید و تحمل به نمک

فصل ۱۸ / جذب سدیم (Na) ۲۷۹

- ۱-۱۸- منشاء سدیم موجود در خاک ۲۷۹
- ۲-۱۸- مقدار Na^+ در گیاهان ۲۸۰
- ۳-۱۸- وظایف Na در گیاهان ۲۸۱
- ۱-۳-۱۸- اثرات سودمند کاربرد Na در گیاهان ۲۸۱
- ۲-۳-۱۸- تأثیر کاربرد Na روی برخی از پارامترهای کیفی ۲۸۲
- ۳-۳-۱۸- سمیت Na^+ ۲۸۲
- ۳-۱- نقش های بیولوژیکی Na^+ در گیاهان ۲۸۳
- ۴-۱- سازوکار جذب سدیم توسط گیاهان ۲۸۴
- ۱-۴-۱۸- میل ترکیبی بالای جذب Na^+ ۲۸۴
- ۱-۴-۱۸- انتقال دهنده های HKT و میل ترکیبی بالای Na جذب شده ۲۸۴

فصل ۱۹ / جذب سیلیسیم (Si) ۲۸۷

- ۱-۱۹- سیلیسیم موجود در خاک ۲۸۷
- ۲-۱۹- مقدار سیلیسیم گیاهان ۲۸۸
- ۱-۲-۱۹- برنج ۲۸۸
- ۲-۲-۱۹- سایر گیاهان ۲۸۹
- ۳-۱۹- نقش های سیلیسیم در گیاهان ۲۸۹
- ۱-۳-۱۹- اثرات مفید Si ۲۹۰
- ۲-۳-۱۹- حفاظت از تنش های زیستی و غیرزیستی ۲۹۰
- ۱-۲-۳-۱۹- Si و تنش غیرزیستی ۲۹۰
- ۲-۲-۳-۱۹- سیلیسیم و تنش زیستی ۲۹۳
- ۴-۱۹- سازوکار جذب سیلیسیم توسط گیاهان ۲۹۴
- ۱-۴-۱۹- ناقل های Na ۲۹۴
- ۱-۱-۴-۱۹- LSi1 ۲۹۵
- ۲-۱-۴-۱۹- LSi2 ۲۹۵
- ۳-۱-۴-۱۹- LSi6 ۲۹۶

فصل ۲۰ / کبالت (Co)، سلنیوم (Se)، وانادیم (V)، کادمیم (Cd)، سرب (Pb)، تیتانیم (Ti)	۲۹۷
۱-۲۰- کبالت (Co)	۲۹۷
۱-۱-۲۰- منشاء کبالت موجود در خاک	۲۹۷
۲-۱-۲۰- مقدار کبالت در گیاهان	۲۹۸
۳-۱-۲۰- سمیت Co برای گیاهان	۲۹۸
۱-۲۰- اثر کبالت روی ذخیره آلکالوئید	۲۹۸
۱-۲۰- ۵- تغییرات کبالت بر روی افزایش طول عمر گل های گلدانی	۲۹۹
۲-۲۰- سلنیوم	۲۹۹
۱-۲-۲۰- منشاء سلنیوم موجود در خاک	۲۹۹
۲-۲-۲۰- Se در گیاهان	۳۰۰
۳-۲-۲۰- اثرات مفید Se در گیاهان	۳۰۱
۱-۳-۲-۲۰- اثرات مفید S بر روی انسان ها	۳۰۲
۴-۲-۲۰- سازوکار جذب Se توسط گیاهان	۳۰۳
۳-۲۰- وانادیم (V)	۳۰۴
۱-۳-۲۰- منشاء وانادیم موجود در خاک	۳۰۴
۲-۳-۲۰- وانادیم موجود در گیاهان	۳۰۵
۳-۳-۲۰- وانادیم به عنوان یک عامل وابسته انسولین	۳۰۵
۴-۳-۲۰- سمیت وانادیم	۳۰۶
۴-۲۰- کادمیم، سرب، تیتانیم	۳۰۶
منابع	۳۰۷