



تغذیه گیاهان زراعی

(کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی - زراعت)

دکتر سعید یوسف زاده دکتر کمال سادات اسپلان

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاوردهای انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «اقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

مقدمه.....	سیزده
فصل اول. قابلیت دسترسی و جذب عناصر معدنی.....	۱
هدف کلی.....	۱
هدف‌های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ مفهوم حرکت و قابلیت دسترسی عناصر.....	۲
۲-۱ حرکت عناصر غذایی به سطح ریشه.....	۶
۳-۱ میزان ذخیره عناصر غذایی.....	۱۱
۴-۱ توانایی گیاه در جذب عناصر.....	۱۵
۵-۱ خصوصیات ریشه.....	۱۷
۶-۱ افزایش سطح جذب ریشه.....	۱۸
۷-۱ انتقال عناصر غذایی در داخل گیاه.....	۱۹
۸-۱ جذب، تجمع و انتقال مجدد عناصر غذایی نسبت به زمان.....	۲۱
۹-۱ محل عمده جذب ریشه.....	۲۲
۱۰-۱ خصوصیات غشاء زنده.....	۲۴
۱۱-۱ نقش پروتئین‌ها در عبور مواد از غشاء.....	۲۷
۱۲-۱ انتقال غیرفعال.....	۳۱
۱۳-۱ نفوذپذیری انتخابی.....	۳۱
۱۴-۱ کانال‌های پروتئینی.....	۳۱
۱۵-۱ پروتئین‌های ناقل.....	۳۲
۱۶-۱ کانال‌های پروتئینی.....	۳۲
۱۷-۱ انتشار تسهیل شده.....	۳۲
۱۸-۱ انتقال فعال.....	۳۳

۳۷	۱۹-۱ عوامل مؤثر در جذب یون.....
۳۷	۲۰-۱ ظرفیت یون.....
۳۸	۲۱-۱ واکنش به عناصر غذایی.....
۴۱	۲۲-۱ واکنش به نیاز به عناصر غذایی.....
۴۴	۲۳-۱ واکنش به سایر عوامل محیطی و زنده.....
۴۵	۱-۲۳-۱ نور.....
۴۶	۲-۲۳-۱ دما.....
۴۷	۳-۲۳-۱ رطوبت.....
۴۷	۴-۲۳-۱ تهویه.....
۴۷	۵-۲۳-۱ غلظت عناصر.....
۴۷	۲۴-۱ واکنش متقابل بین یون‌ها.....
۴۸	خلاصه فصل اول.....
۵۰	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول.....
۵۵	فصل دوم. عناصر پر مصرف.....
۵۵	هدف کلی.....
۵۵	هدف‌های یادگیری.....
۵۵	مقدمه.....
۵۵	۱-۲ نیتروژن.....
۵۷	۱-۱-۲ چرخه نیتروژن در سیستم‌های خاک- گیاه.....
۶۱	۲-۱-۲ کارکردها و علائم کمبود.....
۶۴	۳-۱-۲ جذب و تقسیم.....
۶۵	۴-۱-۲ غلظت.....
۶۶	۵-۱-۲ جذب.....
۶۸	۶-۱-۲ جذب آمونیوم (NH_4^+) در برابر نترات (NO_3^-).....
۷۰	۷-۱-۲ برهم‌کنش با سایر عناصر غذایی.....
۷۲	۲-۲ فسفر.....
۷۳	۱-۲-۲ چرخه در سیستم خاک- گیاه.....
۷۶	۲-۲-۲ کارکردها و علائم کمبود.....
۸۰	۳-۲-۲ برهم‌کنش با سایر عناصر غذایی.....
۸۱	۴-۲-۲ فسفر در برابر محیط.....
۸۲	۳-۲ پتاسیم.....
۸۳	۱-۳-۲ چرخه پتاسیم در سیستم‌های خاک- گیاه.....
۸۵	۲-۳-۲ کارکردها و علائم کمبود.....
۸۷	۳-۳-۲ برهم‌کنش با سایر عناصر غذایی.....
۸۸	۴-۲ کلسیم.....
۸۹	۱-۴-۲ چرخه کلسیم در سیستم‌های خاک- گیاه.....
۹۰	۲-۴-۲ کارکردها و علائم کمبود.....

۹۲.....	۲-۴-۳ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....
۹۴.....	۲-۵-۵ منیزیم.....
۹۵.....	۲-۵-۱ چرخه منیزیم در سیستم های خاک- گیاه.....
۹۶.....	۲-۵-۲ کارکردها و علائم کمبود.....
۹۷.....	۲-۵-۳ برهم کنش های منیزیم با سایر عناصر.....
۹۸.....	۲-۶-۶ گوگرد.....
۱۰۰.....	۲-۶-۱ چرخه گوگرد در سیستم های خاک- گیاه.....
۱۰۲.....	۲-۶-۲ کارکرد و علائم کمبود.....
۱۰۴.....	۲-۶-۳ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....
۱۰۵.....	خلاصه فصل دوم.....
۱۰۸.....	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل دوم.....
۱۱۳.....	فصل سوم. عناصر کم مصرف.....
۱۱۳.....	هدف کلی.....
۱۱۳.....	هدف های یادگیری.....
۱۱۳.....	مقدمه.....
۱۱۴.....	۳-۱ روی.....
۱۱۷.....	۳-۱-۱ کارکردها و علائم کمبود.....
۱۱۹.....	۳-۱-۲ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....
۱۲۰.....	۳-۲ مس.....
۱۲۲.....	۳-۲-۱ کارکردها و علائم کمبود.....
۱۲۴.....	۳-۲-۲ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....
۱۲۵.....	۳-۳ آهن.....
۱۲۷.....	۳-۳-۱ کارکردها و علائم کمبود.....
۱۲۹.....	۳-۳-۲ سمیت آهن.....
۱۳۵.....	۳-۳-۳ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....
۱۳۶.....	۳-۴ منگنز.....
۱۳۸.....	۳-۴-۱ کارکردها و علائم کمبود.....
۱۴۰.....	۳-۴-۲ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....
۱۴۱.....	۳-۵ بُر.....
۱۴۴.....	۳-۵-۱ کارکردها و علائم کمبود.....
۱۴۸.....	۳-۵-۲ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....
۱۴۸.....	۳-۶ مولیبدن.....
۱۴۹.....	۳-۶-۱ کارکردها و علائم کمبود.....
۱۵۱.....	۳-۶-۲ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....
۱۵۲.....	۳-۷ کلر.....
۱۵۳.....	۳-۷-۱ کارکردها و علائم کمبود.....
۱۵۵.....	۳-۷-۲ برهم کنش با سایر عناصر غذایی.....

۱۵۶	۸-۳ نیکل.....
۱۵۸	۱-۸-۳ کارکردها و علائم کمبود.....
۱۶۰	۲-۸-۳ برهم‌کنش با سایر عناصر غذایی.....
۱۶۱	خلاصه فصل سوم.....
۱۶۵	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم.....
۱۶۹	فصل چهارم. روش‌های تشخیص کمبود عناصر غذایی.....
۱۶۹	هدف کلی.....
۱۶۹	هدف‌های یادگیری.....
۱۶۹	مقدمه.....
۱۷۰	۱-۴ شباهت علائم کمبود.....
۱۷۱	۲-۴ اثرات متقابل محیط و شیوع کمبود.....
۱۷۲	۳-۴ راه‌های شیوع علائم.....
۱۷۲	۱-۳-۴ اثر تحرک مواد غذایی روی توسعه علائم.....
۱۷۳	۲-۳-۴ رقابت گیاهان و کمبودهای تحریک.....
۱۷۴	۳-۳-۴ نیاز گیاه و کارایی جذب.....
۱۷۵	۴-۳-۴ یکسانی وضعیت عناصر.....
۱۷۶	۵-۳-۴ وسایل تشخیصی دیگر.....
۱۷۶	۶-۳-۴ توصیف علائم.....
۱۷۷	۴-۴ تجزیه گیاه.....
۱۷۷	۱-۴-۴ هدف‌ها.....
۱۷۹	۲-۴-۴ مراحل مختلف تجزیه گیاهی.....
۱۹۰	۵-۴ حدود بحرانی.....
۱۹۱	۶-۴ عوامل تغییردهنده غلظت عناصر.....
۱۹۲	۷-۴ پدیده رقت.....
۱۹۳	۸-۴ بازدارندگی (آنتاگونیسم).....
۱۹۳	۹-۴ روش دریس.....
۱۹۴	۱۰-۴ یادداشت مستمر.....
۱۹۵	۱۱-۴ تجزیه بافت (شیره گیاه).....
۱۹۶	۱۲-۴ روش نیترات پای بوته.....
۱۹۷	۱۳-۴ تجزیه خاک.....
۱۹۹	۱-۱۳-۴ عمق نمونه‌برداری.....
۱۹۹	۲-۱۳-۴ اندازه محل نمونه‌برداری.....
۱۹۹	۳-۱۳-۴ زمان نمونه‌برداری.....
۲۰۰	۴-۱۳-۴ تکرار نمونه‌برداری.....
۲۰۰	۱۴-۴ تفسیر حاصل از نتایج تجزیه خاک.....
۲۰۰	۱-۱۴-۴ pH.....
۲۰۱	۲-۱۴-۴ EC یا هدایت الکتریکی خاک.....

۲۰۱	۳-۱۴-۴ درصد سدیم قابل تبادل.....
۲۰۲	۴-۱۴-۴ ماده آلی.....
۲۰۲	۵-۱۴-۴ نیترژن و نیترات خاک.....
۲۰۴	۶-۱۴-۴ فسفر.....
۲۰۶	۷-۱۴-۴ پتاسیم.....
۲۰۷	۸-۱۴-۴ منیزیم.....
۲۰۸	۹-۱۴-۴ روی.....
۲۰۸	۱۰-۱۴-۴ مس.....
۲۰۸	۱۱-۱۴-۴ منگنز.....
۲۰۹	۱۵-۴ ظرفیت تبادل کاتیون.....
۲۰۹	۱۶-۴ توصیه کودی.....
۲۱۱	خلاصه فصل چهارم.....
۲۱۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم.....
۲۱۵	فصل پنجم. ریزوسفر و ترشحات ریشه.....
۲۱۵	هدف کلی.....
۲۱۵	هدف‌های یادگیری ویژه.....
۲۱۵	مقدمه.....
۲۱۷	۱-۵ ریزوسفر.....
۲۱۹	۲-۵ ریشه‌های موئین و نقش آن‌ها در ریزوسفر.....
۲۱۹	۳-۵ ترکیبات ترشحات ریشه گیاه.....
۲۲۰	۴-۵ شیمی ترشحات ریشه.....
۲۲۱	۵-۵ سازوکارهای ترشح از ریشه.....
۲۲۱	۱-۵-۵ پخشیدگی.....
۲۲۳	۲-۵-۵ کانال‌های یونی.....
۲۲۴	۳-۵-۵ انتقال وزیکولی.....
۲۲۴	۶-۵ تأثیر ترشحات ریشه بر ریزجانداران خاک.....
۲۲۵	۷-۵ پتانسیل آللوپاتی ترشحات ریشه.....
۲۲۶	۱-۷-۵ گردوی سیاه.....
۲۲۸	۲-۷-۵ گندم.....
۲۲۹	۳-۷-۵ سورگوم.....
۲۳۰	۸-۵ اسیدهای آلی در ریزوسفر.....
۲۳۱	۹-۵ اسیدهای آلی در گیاه.....
۲۳۴	۱۰-۵ رهاسازی اسیدهای آلی.....
۲۳۴	۱-۱۰-۵ مفاهیم تئوری.....
۲۳۶	۲-۱۰-۵ مفاهیم آزمایشگاهی.....
۲۳۷	۱۱-۵ مقایسه رهاسازی اسیدهای آلی به وسیله گیاهان آهک دوست و آهک‌گریز.....
۲۳۹	۱۲-۵ ترشح اسیدهای آلی در شرایط کمبود آهن.....

۲۳۹	۱۳-۵ ترشح اسیدهای آلی در شرایط کمبود فسفر.....
۲۴۱	۱۴-۵ نقش اسیدهای آلی در سمیت زدایی آلومینیوم.....
۲۴۲	۱۵-۵ ترشح اسیدهای آلی به وسیله ریشه در شرایط کمبود سایر عناصر غذایی.....
۲۴۲	۱۶-۵ ترشح اسیدهای آلی به وسیله ریشه در شرایط تنش اکسیژن.....
۲۴۳	۱۷-۵ تأثیر اسیدهای آلی بر pH ریزوسفر.....
۲۴۳	۱۸-۵ اسیدهای آلی در خاک.....
۲۴۳	۱-۱۸-۵ غلظت در محلول خاک.....
۲۴۴	۲-۱۸-۵ واکنش های مربوط به تشکیل کمپلکس فلزی در محلول خاک.....
۲۴۵	۳-۱۸-۵ پویاسازی آهن- منگنز و فسفر.....
۲۴۸	۴-۱۸-۵ جذب سطحی اسیدهای آلی در خاک.....
۲۴۸	۵-۱۸-۵ شیب غلظت اسیدهای آلی در ریزوسفر.....
۲۴۹	۶-۱۸-۵ نقش اسیدهای آلی در انحلال کانی های خاک و فرایند تشکیل خاک.....
۲۴۹	۷-۱۸-۵ تأثیر زیست توده میکروبی خاک بر اسیدهای آلی.....
۲۵۱	خلاصه فصل پنجم.....
۲۵۴	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل پنجم.....
۲۵۹	فصل ششم. نقش تغذیه گیاهی در سلامت افراد.....
۲۵۹	هدف کلی.....
۲۵۹	هدف های یادگیری.....
۲۵۹	مقدمه.....
۲۶۰	۱-۶ برخی پیامدهای کمبود عناصر کم نیاز در انسان.....
۲۶۵	۲-۶ بهبود وضعیت تغذیه ای گیاهان به عنوان منابع عناصر کم نیاز.....
۲۶۶	۳-۶ روش های کشت و کار.....
۲۷۰	۴-۶ مدیریت ژنتیکی.....
۲۷۲	۵-۶ ارزیابی تأثیر غنی سازی گیاهان بر تغذیه انسان.....
۲۷۳	۱-۵-۶ قدم اول. ارزیابی قابلیت استفاده عنصر غذایی.....
۲۷۶	۲-۵-۶ قدم دوم. ارزیابی کارایی بهبود وضعیت تغذیه ای انسان.....
۲۷۷	۳-۵-۶ قدم سوم. تعیین تأثیر غذاهای غنی شده در سطح جامعه.....
۲۷۸	خلاصه فصل ششم.....
۲۷۹	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل ششم.....
۲۸۳	فصل هفتم. کلات ها و آمینوکلات ها.....
۲۸۳	هدف کلی.....
۲۸۳	هدف های یادگیری.....
۲۸۳	مقدمه.....
۲۸۵	۱-۷ اهمیت کلات ها در کشاورزی.....
۲۸۷	۲-۷ کاربرد کلات ها در دام و انسان.....
۲۸۹	۳-۷ موارد کاربرد در صنعت.....

۲۹۱	۴-۷ ساختن کلات‌های مصنوعی.....
۲۹۴	۵-۷ انواع کلات‌ها.....
۲۹۵	۶-۷ تعریف آمینوکلات‌ها.....
۲۹۷	۷-۷ اهمیت آمینوکلات‌ها.....
۲۹۹	۸-۷ انواع آمینوکلات‌ها.....
۳۰۲	۹-۷ کاربرد آمینوکلات‌ها.....
۳۰۳	۱۰-۷ اسیدهیومیک.....
۳۰۷	۱۱-۷ مزیت‌های استفاده از آمینوکلات‌ها در تغذیه گیاهی.....
۳۰۸	۱-۱۱-۷ ارزش بالای تغذیه‌ای.....
۳۰۹	۲-۱۱-۷ کاهش آلودگی‌های محیطی.....
۳۱۱	۳-۱۱-۷ راندمان بالای مصرف.....
۳۱۲	۴-۱۱-۷ رفع کمبود عناصر.....
۳۱۳	۱۲-۷ نحوه کاربرد آمینوکلات‌ها.....
۳۱۳	۱۳-۷ عوامل مؤثر در جذب و کارایی آمینوکلات‌ها.....
۳۱۶	خلاصه فصل هفتم.....
۳۱۷	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم.....
۳۲۱	پاسخنامه خودآزمایی چهارگزینه‌ای.....
۳۲۳	منابع.....
۳۳۹	پیوست رنگی.....

پیشگفتار

تغذیه معدنی نقش مهمی را در افزایش عملکرد گیاهان زراعی ایفا می‌کند. غلظت عناصر غذایی در محلول خاک، دهه‌های متمادی است که به عنوان شاخص‌هایی از حاصلخیزی خاک مورد توجه بوده است. تغذیه معدنی به عرضه، دسترسی، جذب، انتقال و مصرف عناصر معدنی برای رشد و نمو گیاهان زراعی اشاره دارد. شناخت نیازهای تغذیه‌ای گیاهان و مدیریت صحیح عناصر غذایی یکی از راهکارهای مناسب جهت تولید بهینه و پایدار محصولات زراعی می‌باشد. کتاب حاضر حاصل تدوین و گردآوری چندین کتاب جدید در زمینه تغذیه گیاهان زراعی می‌باشد که در آن از یافته‌های جدید محققین داخلی و خارجی استفاده شده است. در این کتاب علاوه بر جنبه‌ای تئوری به به جنبه‌های کاربردی در تغذیه گیاهان پرداخته شده است. کتاب حاضر به سرفصل‌های مهمی چون قابلیت دسترسی و مکانیسم‌های ریشه گیاهان در جذب مواد غذایی، آشنایی با عناصر غذایی (پرمصرف و کم‌مصرف)، کارکردها و علائم کمبود عناصر غذایی، اثر متقابل بین عناصر غذایی، روش‌های تشخیص عناصر غذایی، نقش ریزوسفر در تغذیه گیاه، نقش تغذیه گیاه در سلامت افراد و نقش کلات‌ها و آمینو کلات‌ها در تغذیه گیاهان پرداخته است. مطالعه این کتاب به تمامی اساتید، پژوهشگران و دانشجویان رشته‌های کشاورزی به‌ویژه رشته زراعت و خاکشناسی توصیه می‌شود. انتقادات و پیشنهادهاى خوانندگان ارجمند مایه سپاس‌گذاری خواهد بود. لازم می‌دانیم از زحمات کلیه کسانی که در چاپ این کتاب ما را یاری‌کردن تشکر و قدردانی نماییم.

سعید یوسف‌زاده - کمال‌سادات اسپیلان

پاییز ۹۵

فصل اول

قابلیت دسترسی و جذب عناصر معدنی

هدف کلی

آشنایی با قابلیت دسترسی، نحوه حرکت و جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان

هدف‌های یادگیری

در پایان این فصل دانشجو با مفاهیم زیر آشنا می‌شود:

۱. مفهوم حرکت و قابلیت دسترسی به عناصر غذایی
۲. حرکت عناصر غذایی به سطح ریشه
۳. توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی
۴. خصوصیات ریشه و محل‌های جذب عناصر غذایی توسط ریشه
۵. انتقال عناصر غذایی در داخل گیاه
۶. نقش پروتئین‌ها در عبور مواد از غشاء
۷. روش‌های انتقال مواد و واکنش به نیاز عناصر غذایی

مقدمه

جذب عناصر به مفهوم عبور یون‌ها از غشاء زنده سلول است، ولی مجموعه فرایندهایی وجود دارد که عناصر را به سطح غشاء منتقل می‌کند. چنانچه این فرایندها بررسی نشود یا به عبارت دیگر یون تا سطح غشاء نرسد جذب مفهومی ندارد، حتی پس از عبور یون به داخل سلول، لازم است یون دیگر مجدد وارد سلول شود. بنابراین، جذب عناصر جزئی از فرایند قابلیت دسترسی عناصر است و در این فصل ابتدا حرکت عناصر و سپس جذب بررسی خواهد شد.

۱-۱ مفهوم حرکت و قابلیت دسترسی عناصر

به غیر از O، H، C که توسط اندام‌های هوایی جذب گیاه می‌شوند، بقیه عناصر ضروری معدنی توسط ریشه به شکل یون از محلول خاک جذب می‌شوند. یک استثناء در مورد N و B وجود دارد که گیاهان بقولات N را از N تثبیت شده توسط موجودات همزیست خود به دست می‌آورند (نیتروژن و بور به شکل مولکولی نیز می‌توانند جذب شوند). همیشه زمانی که صحبت از قابلیت دسترسی عناصر می‌شود، خصوصیات شیمیایی خاک و یا جذب توسط گیاه به ذهن می‌رسد، درحالی‌که قابلیت دسترسی عناصر در خاک دو جنبه شیمیایی و فیزیکی دارد، که بخش شیمیایی آن شامل غلظت، پیوندها، تبادل کاتیونی، فعالیت یونی، pH و غیره است؛ درحالی‌که بخش فیزیکی آن شامل مکان عناصر، توزیع در خاک و حرکت عناصر را در خاک شامل می‌شود. علاوه بر این دو فرایند، یک اصطلاح دیگر به نام Nutrient acquisition وجود دارد (با Nutrient uptake متفاوت است) که شامل فرایندهایی است که گیاه عناصر را برای جذب مهیا می‌کند. Nutrient acquisition یک عامل فیزیولوژیکی است و به خواص گیاه مرتبط می‌شود و بدون در نظر گرفتن این عامل و تنها بررسی رفتار خاک اطلاعات درستی را از قابلیت دسترسی عناصر به گیاه نخواهد داد. عامل فیزیکی در قابلیت دسترسی عناصر به اندازه عامل شیمیایی مهم است و چنانچه عناصر در سطح ریشه نباشند، قابل استفاده گیاه نخواهند بود. آنچه که در سیستم آبکشت اتفاق می‌افتد، این است که تخلیه مواد در اطراف ریشه صورت نمی‌گیرد و مکرراً در این سیستم با چرخش محلول عناصر جایگزین می‌شود؛ درحالی‌که اطراف ریشه در خاک از یون‌ها در عرض چند ساعت تخلیه شده و جایگزینی آن‌ها تابعی از روابط فیزیکی است و به این راحتی عناصر نمی‌توانند به سطح ریشه برسند. مثلاً سرعت حرکت نیترات را از فرمول زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$\Delta X = \sqrt{\pi De t}$$

در این فرمول t، زمان بر حسب ثانیه، De، ضریب انتشار بر حسب مترمربع بر ثانیه و ΔX ، فاصله بر حسب میلی‌متر است. اگر De نیترات $10^{-11} \times 5$ مترمربع در ثانیه باشد (این عدد در آب به عنوان یک محیط هموژن متفاوت است)، در این صورت نیترات بر حسب میلی‌متر در ۲۴ ساعت ۵ میلی‌متر حرکت خواهد کرد. پتاسیم نیز با $10^{-12} \times 5$ مترمربع در ثانیه در ۲۴ ساعت ۱/۴ میلی‌متر حرکت می‌کند (لطفاً این

۳ قابلیت دسترسی و جذب عناصر معدنی

اعداد را از فرمول بالا محاسبه کنید). دقت شود که حرکت عناصر در خاک با خصوصیات هتروژنی و وجود کلوئیدها و مسیرهای پر پیچ و خم کند است. باید به خاطر داشت که خاک و محلول خاک در معرض تغییرات شیمیایی و زیستی است و تحت تأثیر دما، مقدار رطوبت، pH، مقدار عناصر موجود و مقدار تهویه قرار می‌گیرد. در محلول خاک یک عنصر باید به شکل یونی خود (جدول ۱-۱) باشد تا جذب گیاه شود و چگونگی حرکت این عناصر به محل ریشه‌ها با سه پدیده قابل تشریح است.

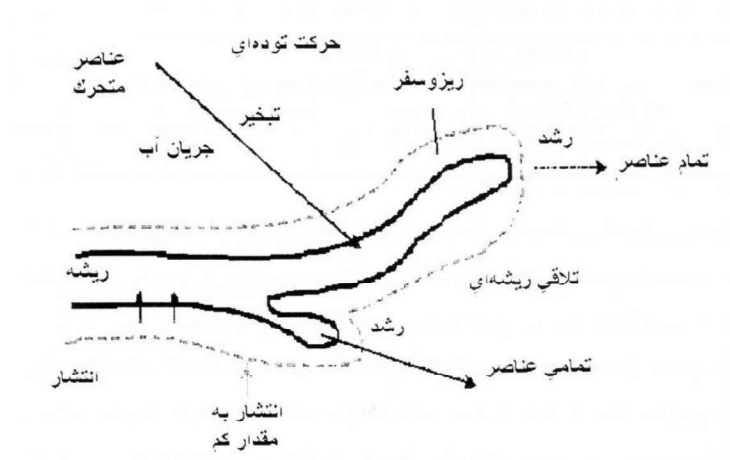
- حرکت توده‌ای

- انتشار

- تلاقی ریشه‌ای

این سه روش حرکت یون‌ها در شکل ۱-۱ دیده می‌شود.

همچنان‌که آب در خاک حرکت می‌کند، یون‌های محلول همراه با آب حرکت می‌کنند که به این فرایند حرکت توده‌ای گفته می‌شود. مثلاً یون کلسیم و نیتروژن (به‌صورت یون نیترات) عمدتاً به‌صورت حرکت توده‌ای منتقل می‌شوند. با این روش این یون‌ها می‌توانند به فواصل دور حرکت کنند و چنانچه مقدار آب خاک کم باشد، حرکت یون‌ها به طریق حرکت توده‌ای مختل خواهد شد.



شکل ۱-۱. عناصر حل‌شده در آب به روش حرکت توده‌ای حمل می‌شوند و عناصر موجود در محلول خاک از مناطق با غلظت بالا به طرف مناطق با غلظت پایین به روش انتشار حرکت می‌کنند. گیاه با تلاقی ریشه‌های خود با توده خاک تماس خود را با خاک افزایش می‌دهد (طباطبایی، ۱۳۹۲)

جدول ۱-۱. عناصر ضروری و اشکال آنها در محلول خاک

عناصر یا مواد	نام شیمیایی	فرم یونی
آمونیم	NH ₄	NH ₄ ⁺
نترات	NO ₃	NO ₃ ⁻
کلسیم	Ca	Ca ²⁺
مس	Cu	Cu ²⁺
آهن	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
منیزیم	Mg	Mg ²⁺
پتاسیم	K	K ⁺
روی	Zn	Zn ²⁺
منگنز	Mn	Mn ²⁺
بر	B	H ₂ BO ₃ ⁻ , HBO ₂
کلر	Cl	Cl ⁻
مولیبدن	Mo	MoO ₄ ²⁻
فسفر	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
سولفور	S	SO ₄ ²⁻

انتشار، فرایندی است که یون‌ها در محلول خاک از نقاطی که غلظت بالا دارند، به نقاط با غلظت پایین حرکت می‌کنند. بیشتر یون‌های عناصر غذایی به روش انتشار در محلول خاک، که اطراف ریشه را محصور کرده‌اند، حرکت می‌کنند. وقتی که یون توسط ریشه از حوزه ریشه جذب شد، مواد از مناطق غلیظ‌تر به مناطق رقیق‌تر حرکت می‌کنند. حرکت عناصر به این طریق از چند میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. سرعت انتشار در آب Fd برابر است با حاصل ضرب منفی ضریب پخشیدگی در واحد سطح در شیب غلظت در فاصله dx

$$Fd = -D \times A \times \frac{dc}{dx}$$

$$A = \text{سطح مقطع}$$

$$D = \text{ضریب پخشیدگی}$$

$$\frac{dc}{dx} = \text{شیب غلظت در فاصله}$$

فرمول انتشار ساده در آب یعنی فرمول فوق، در محیط هتروژن خاک صادق نیست و تا اندازه‌ای می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد:

$$D = D_I \times \Theta \times f \times 1/b$$

$$D_I = \text{ضریب انتشار در محلول}$$

$$\Theta = \text{مقدار آب حجمی خاک}$$

f = فاکتور مقاومت

b = بافر خاک (dc / dc_1)

عامل دیگر، حرکت توده‌ای (F_m) است. مقدار کل عناصر غذایی از طریق حرکت توده‌ای به سطح ریشه منتقل می‌شود به دو عامل بستگی دارد:

$$F_m = VC_L$$

C_L = غلظت عناصر در محلول غذایی

V = میزان مصرف آب توسط گیاه

میزان مصرف آب توسط گیاه نیز با ضریب تعرق برآورد می‌شود، بنابراین:

$$\text{مقدار ماده خشک تولید شده} = \frac{\text{غلظت عنصر در گیاه}}{\text{غلظت عنصر در محلول}} = \text{ضریب تعرق}$$

اگر غلظت پتاسیم در محلول خاک 300 mg/kg و مقدار آن در گیاه 250 mg/kg باشد، در این حالت ضریب تعرق حدود $8/3$ خواهد بود. در حالت عادی ضریب تعرق حدود $4-5$ است. بنابراین اگر ضریب تعرق $8/3$ بالاتر از حد معمول باشد، جریان توده‌ای نیاز غذایی گیاه را کفایت نخواهد کرد. مجموع انتشار و حرکت توده‌ای براساس فرمول زیر است:

$$\text{Flux (total)} = V \times C_L + (-D \times dc / dx)$$

عامل مهم دیگر در دسترسی عناصر، تلاقی ریشه‌ای است که با رشد سیستم ریشه گیاه، تماس ریشه با ذرات خاک و محلول خاک به وجود می‌آید که به این فرایند نیز تلاقی ریشه‌ای گفته می‌شود. با توجه به نوع و یا شرایط موجود در اطراف ریشه، ممکن است ریشه موئین تشکیل شده و سطح جذب را افزایش دهند. تشکیل تارهای کشنده با کاهش رطوبت و مواد غذایی موجود در خاک افزایش می‌یابد. مثلاً مقدار نیتروژن و فسفر زیاد در خاک تشکیل تارهای کشنده را کاهش می‌دهد، ولی ممکن است در این شرایط تعداد ریشه‌های موئین افزایش یابد. در اطراف نوارهای کودی توده وسیعی از ریشه‌های موئین پیدا نمی‌شود. این نکته را باید در نظر داشت که با وجود سیستم وسیع ریشه گیاهان، تنها قسمت کوچکی از خاک با این ریشه‌ها در تماس است. بنابراین اهمیت جریان توده‌ای و انتشار همراه باتلاقی ریشه‌ای آشکار می‌شود و

برای جریان یون‌ها در خاک ضروری هستند. اگر تمامی این فرایندها مختل شوند، احتمال کمبود عناصر غذایی وجود دارد.

۱-۲ حرکت عناصر غذایی به سطح ریشه

در حین رشد ریشه‌ها در خاک، بعضی از عناصر غذایی توسط ریشه‌ها جذب می‌شوند، اما این مقدار اغلب کمتر از میزان مورد نیاز برای ریشه‌های در حال رشد است و بنابراین به‌عنوان یک منبع محض عناصر غذایی برای بقیه گیاه نخواهد بود. بنابراین، گیاهان به سمت عناصر غذایی حرکت نمی‌کنند، بلکه عناصر غذایی از طریق جریان توده‌ای یا انتشار باید در اختیار گیاه قرار گیرند. تعرق سریع در گیاهان، عامل اصلی انتقال عناصر غذایی از توده خاک به سطح ریشه از طریق جریان توده‌ای است. محدوده‌ای که جریان توده‌ای مشمول انتقال یون‌ها به ریشه‌ها است به غلظت یون‌های مختلف در محلول خاک نسبت به مقدار مورد نیاز برای رشد گیاه بستگی دارد (جدول ۱-۲). اگر عناصر غذایی که به سطح ریشه می‌رسند کمتر از مقدار مورد نیاز برای نگهداری رشد گیاه باشد، به علت جذب توسط ریشه‌ها غلظت عناصر در سطح ریشه کاهش می‌یابد. در این حالت تغییرات غلظت به‌وجود آمده، سبب انتشار یون به سمت ریشه می‌شود (مثلاً برای فسفات و پتاسیم). سایر یون‌ها سریع‌تر از آنچه که مورد نیاز ریشه است از طریق جریان توده‌ای در اختیار آن قرار می‌گیرد (به‌عنوان مثال کلسیم) که در سطح ریشه رسوباتی (اغلب به‌صورت سولفات کلسیم) ایجاد می‌کند. انتشار از توده خاک به سطح ریشه به تغییرات غلظت و همچنین به ضریب انتشار بستگی دارد. این ضریب، که بسته به نوع خاک متغیر است، در بین یون‌ها تا ۳۰۰ برابر از نظر مقدار متفاوت است. این ضریب برای نیتрат بزرگ است، لذا در خاک‌های مرطوب به سرعت به سطح ریشه حرکت می‌کند، حتی زمانی که جذب آب اندک است. همچنین ضریب انتشار برای روی و فسفات معدنی به دلیل اثرات متقابل ویژه با کانی‌های رسی جایگاه (کمپلکس) تبادل‌ی خاک، بسیار کوچک است، بنابراین اختلاف در مقدار رس خاک یکی از عوامل تأثیرگذار بر ضریب انتشار خواهد بود. نیتروژن و فسفر دو عنصر غذایی هستند که اغلب موارد ریشه گیاه را محدود می‌کنند و به‌ندرت به مقدار کافی از طریق جریان توده‌ای نیاز گیاه را مرتفع می‌سازند (جدول‌های ۱-۳ و ۱-۴).

۷ قابلیت دسترسی و جذب عناصر معدنی

جدول ۱-۲. اهمیت جذب ریشه، جریان توده‌ای و انتشار در استفاده از عناصر غذایی برای ذرت و یک اکوسیستم توندرا ب جگن

عناصر غذایی	جذب توسط گیاه	جذب ریشه‌ای	جریان توده‌ای	انتشار
ذرت				
نیتروژن	۱۹۰	۲	۱۵۰	۳۸
فسفر	۴۰	۱	۲	۳۷
پتاسیم	۱۹۵	۴	۳۵	۱۵۶
کلسیم	۴۰	۶۰	۱۶۵	۰
منیزیم	۴۵	۱۵	۱۱۰	۰
گوگرد	۲۲	۱	۲۱	۰
مس	۰/۱	—	۰/۴	—
روی	۰/۳	—	۰/۱	—
بر	۰/۲	—	۰/۷	—
آهن	۱/۹	—	۱/۰	—
منگنز	۰/۳	—	۰/۴	—
مولیبیدن	۰/۰۱	—	۰/۰۲	—
اکوسیستم توندرا ب جگن				
نیتروژن	۲۲	—	۰/۱	۲۱/۹
فسفر	۱/۴	—	۰/۰۱	۱/۴
پتاسیم	۹/۷	—	۰/۶	۹/۱
کلسیم	۲۰/۹	—	۵۲	۰
منیزیم	۴۷/۱	—	۳۹/۱	۸/۰

* تمام اطلاعات بر حسب کیلوگرم در هکتار، اطلاعات ذرت مربوط به یک خاک لوم سیلنی حاصلخیز و عملکرد محصول ۹۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. و اطلاعات توندرا نیز متعلق به یک علفزار مرطوب جگن با خاک پیتی کم عنصر است. مقدار بکار رفته به وسیله جریان توده‌ای از غلظت عناصر غذایی در حجم محلول خاک و مقدار تعرق محاسبه شده است. مقدار استفاده شده برای انتشار از طریق اختلاف به دست آمده است سایر اشکال انتقال به ریشه (نظیر میکوریزا) نیز ممکن است مهم باشد، اما در این برآوردها به کار نرفته است. عناصر که دارای علامت * می‌باشد عمدتاً از جریان توده‌ای انتقال می‌یابند، این‌ها ممکن است در فصل مشترک خاک/ریشه و انتشار معکوس به درون توده خاک محاسبه شده باشند.

$$\text{Flux}(\text{total}) = V \times C_L + (-D \times dc / dx)$$

جدول ۱-۳. مقادیر خاص برای ضرایب انتشار یون‌ها در خاک‌های مرطوب*

یون	ضریب انتشار (m^2s^{-1})
Cl^-	$2-9 \times 10^{-10}$
NO_3^-	1×10^{-10}
SO_4^{2-}	$1-2 \times 10^{-10}$
H_2PO_4^-	$0.3-3.3 \times 10^{-10}$
K^+	$1-28 \times 10^{-10}$

* دامنه مقادیر بیان‌کننده مقدار برای انواع مختلف خاک‌ها است.

جدول ۱-۴. مقایسه عملکرد گیاهچه‌های پنج‌گونه که در مقدار مساحت سطح ریشه در خاک دچار کمبود فسفات با تیمارهای فسفات اضافی نسبت به عملکرد به‌دست آمده در بالاترین مقدار فسفات اختلاف داشتند.

گونه	قطر ریشه (mm)	ریشه‌های موین فراوانی	طول (mm)	۰	۱۵	۴۵	۱۳۵
<i>Podocarpus totara</i>	>۱	هیچکدام	-	۳۱	۳۱	۴۰	۱۰۰
<i>Coprismma robusta</i>	۰/۲-۰/۳	کم	۰/۲	۴	۴	۷	۱۰۰
<i>Leptosperma scoparium</i>	۰/۱۵-۰/۲	متوسط	<۱	۱۶	۲۴	۶۲	۱۰۰
تاجریزی	۰/۱۵-۰/۲	فراوان	۱	۱	۴	۲۵	۱۰۰
چچم	>۰/۱	فراوان	۱	۱۰۱	-	-	۱۰۰

مأخذ: چارکسون ۱۹۸۱.

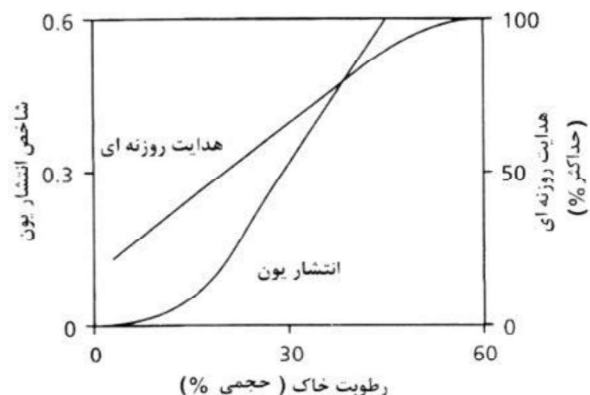
* مقدار کود فسفات به‌صورت mg گلدان‌های حاوی ۲۰۰ گرم خاک بیان شده‌است. همه گیاهان بدون میکوریزا کشت شده‌اند.

در اغلب بررسی‌های اهمیت جریان توده ای، صرفاً به حرکت آب در اثر تعرق توجه می‌شود، با این حال حرکت حجیم محلول خاک نیز به‌عنوان « جبهه رطوبتی » متعاقب بارندگی به وقوع می‌پیوندد. این جبهه رطوبتی، یون‌ها را با خود حمل می‌کند و جایگاه‌های انتشار را، که در حقیقت مکانی است در اطراف هر یک از ریشه‌ها که در اثر جذب گیاه غلظت عناصر غذایی کاهش یافته است، دوباره پر می‌کند. در توندرای قطب شمال، که یخبندان دائمی حرکت قابل توجه جانبی آب را سبب می‌شود، جریان آب در حدود ۹۰٪ از تحویل عناصر غذایی به گونه‌هایی که دارای ریشه عمیق هستند، بر عهده دارد (چاپین و همکاران، ۱۹۹۸). حرکت حجمی آب ممکن است تأثیر زیادی (اما هم‌اکنون ناشناخته است) بر ذخیره عناصر غذایی در سایر اکوسیستم‌های مرطوب داشته باشد. ناهمگنی خاک می‌تواند اهمیت جریان حجمی آب برای ذخیره عناصر غذایی مورد نیاز ریشه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. ریشه‌ها و آب باران هر دو ترجیحاً از درون شکاف‌های ایجادشده به‌وسیله کرم‌ها یا خشک‌شدن خاک حرکت می‌کنند. مثلاً در حدود ۴۰٪ از ریشه‌های سیب در طول شکاف‌هایی است که توسط کرم‌ها ایجاد شده‌است. این اثرات ناهمگنی خاک می‌تواند اهمیت حرکت حجمی آب را به‌عنوان یک راهکار ذخیره عناصر غذایی بیش از آنچه که امروز تصور می‌شود، افزایش دهد. جریان توده‌ای و انتشار همیشه نمی‌توانند پاسخگوی انتقال عناصر غذایی به سطح ریشه باشند. جریان توده‌ای فسفات معدنی

بسیار کمی را در اختیار ریشه می‌گذارد و ضریب انتشار برای فسفات معدنی در خاک بسیار پایین‌تر از آن است که فسفات معدنی بتواند از طریق انتشار حرکت کند. مقداری از مولکول‌های فسفات آلی ممکن است سریع‌تر انتشار یافته و در اختیار ریشه‌ها قرار بگیرد، اما معمولاً انتشار فسفات آلی نیز کند است. چنانچه گیاهان به این منبع فسفر دسترسی نداشته باشند، سازگاری‌ها یا انطباق‌پذیرهای ویژه‌ای برای جذب فسفات در مواردی که غلظت آن در محلول خاک پایین است، نیاز خواهند داشت. میکوریزا یک راهکار مهم جانبی انتقال عناصر غذایی به ریشه‌هاست.

به علت اینکه نیتрат با سهولت بیشتر به سمت سطح ریشه حرکت می‌کند به نظر می‌رسد که نسبت به آمونیوم به مقدار زیادتری در دسترس باشد. آیا نیترات واقعاً برای هر نوع گیاهی منبع غالب نیتروژن است؟ این موضوع به دامنه وسیع شرایط محیطی وابسته است. چنانچه pH خاک پایین باشد، مقدار نیتریفیکاسیون بالا خواهد بود. دلیل این امر اکسیداسیون آمونیوم به نیتريت و سپس اکسیداسیون نیتريت به نیترات می‌باشد. این موضوع برای خاک‌های واجد شرایط بی‌هوازی نیز صادق است، زیرا نیتریفیکاسیون یک واکنش بی‌هوازی است. در خاک‌های سرد، نظیر خاک‌های قطبی، معدنی‌شدن، پایین است و در نتیجه آمونیوم خیلی کمی تولید خواهد شد و قسمت عمده ذخیره نیتروژن خاک به صورت اسیدهای آمینه خواهد بود (کی لاند، ۱۹۹۴). در چنین شرایطی، اسیدهای آمینه به جای نیترات و آمونیوم، به عنوان منبع مهم نیتروژن (N) عمل می‌کنند (چاپین و همکاران، ۱۹۹۳). این بدان معنی نیست که گیاهان قطبی قادر به استفاده از نیترات یا آمونیوم نیستند. چنانچه ذخیره این مواد به حد کافی باشد، آن‌ها قادر به جذب و اسیمیلایون آن خواهند بود. چنین به نظر می‌رسد که اغلب گیاهان خاک‌های اسیدی، توانایی جذب و اسیمیلایون نیترات را دارا باشند و تنها گونه‌های محدودی ممکن است از این توانایی برخوردار نباشند (آتکین، ۱۹۹۶).

کمبود آب مقدار انتشار را در خاک‌های خشک نسبت به خاک‌های مرطوب کمتر کاهش می‌دهد، زیرا در روزنه‌های خاک خشک هوا به جای آب قرار می‌گیرد که این وضعیت طول مسیر از توده خاک تا سطح ریشه را طولانی می‌کند. پویایی یون می‌تواند بین مقادیر ۰/۰۱- و ۱- مگا پاسکال کاهش یابد و این دامنه‌ای از پتانسیل آب خاک است که جذب آب توسط بسیاری از گیاهان خیلی محدود نمی‌شود (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲. میزان انتشار یون (حاصل از عامل ممانعت انتشار برای کلراید) و هدایت برگ نسبت به بخار که وابسته به رطوبت خاک بوده برای گیاه *Nerium Oleander* پرورش یافته در خاک لوم شنی (چاپین، ۱۹۹۱).

به دلیل اینکه انتشار به عنوان یک مرحله محدودکننده مقدار جذب بسیاری از عناصر غذایی محدودکننده است، کاهش موجودی آب خاک می تواند اثر زیادی بر رشد گیاه داشته باشد. دو رشته از شواهد نشان می دهد که این حالت ممکن است مکانیزم اصلی محدودیت رشد گیاه، در شرایط کمبود ذخیره آب باشد (چاپین، ۱۹۹۱).

– غلظت عناصر غذایی محدود کننده رشد بافت ها اغلب با تنش آب نقصان می یابد، درحالی که انتظار می رود تراکم بافت ها به دلیل محدودیت بیشتر رشد نسبت به جذب عناصر غذایی، افزایش یابد.

– افزایش عناصر غذایی، رشد بعضی از گیاهان یک ساله صحرایی را بیشتر از افزایش آب، افزایش می دهد. غلظت بافت ها برای یون های متحرک خاک نظیر نترات، با فراهمی رطوبت خاک تفاوت می کند که دقیقاً عکس این حالت برای یون های غیرمتحرک برقرار است. این حالت در گیاهان چوبی مولگا^۱ نواحی نیمه خشک استرالیا مشاهده شده است که زمانی که فراهمی رطوبت خاک پایین است، غلظت نترات در بافت ها رو به افزایش و مقدار اسیمیلایون نترات رو به کاهش نهاده است. بعد از بارندگی شدید نیتروژن در خاک مورد نظر به سرعت افزایش یافت و میزان اسیمیلایون نترات در بافت ها نیز زیاد شد، درحالی که غلظت نترات در بافت ها کاهش یافت.

1. Mulga

۳-۱ میزان ذخیره عناصر غذایی

مقادیر ذخیره عناصر غذایی در خاک نهایتاً میزان جذب عناصر معدنی توسط گیاه را کنترل می‌کنند. مواد مادری، سنگ‌ها یا رسوبات موجود در خاک، نسبت‌های بالقوه مواد معدنی قابل دسترسی برای گیاهان را تعیین می‌کنند. به‌عنوان مثال، گرانیات در برابر هوازدهی مقاوم است و معمولاً مقادیر فسفر و کاتیون‌های کمتری نسبت به سنگ آهک، جهت استفاده گیاهان دارد. سایر مواد مادری نظیر سرپانتین دارای مقدار زیادی فلزات سنگین است که یا توسط گیاهان جذب نمی‌شود و یا در مقادیر بسیار کم مورد نیاز هستند که در این حالت غلظت بالا در خاک‌های سرپانتین‌دار، موجب افزایش ترکیبات سمی در گیاهان می‌شود. عوامل اکولوژیکی مختلف (آب و هوا، پوشش سبز، توپوگرافی و سن بستر) به شدت بر مقدار هوازدهی و میزان آبشویی مواد و سرانجام رابطه بین مواد مادری و فراهمی عناصر غذایی تأثیر می‌گذارد (جنی، ۱۹۸۰). اتمسفر، منبع مهم نیتروژن، از هر دو طریق تثبیت زیستی و همچنین رسوب نیترات و آمونیوم در نزولات آسمانی محسوب می‌شود. رسوبات خشک و تر نیز از منابع اساسی کاتیون‌ها به‌شمار می‌روند. منشأ اولیه برخی از این کاتیون‌ها (مثل سدیم) ممکن است از نمک دریا خصوصاً در نواحی ساحلی باشد، اما برخی دیگر (کلسیم، منیزیم و پتاسیم) از ذرات گرد و غبار (حاصل از صحراها، مناطق کشاورزی و راه‌های شوسه) و آلودگی‌های صنعتی ناشی می‌شوند، این ورودی‌های اتمسفری می‌توانند از اهمیت قابل توجهی برخوردار باشند. برای مثال ورودی‌های اتمسفری کلسیم معادل ۰/۶۲٪، ۰/۴۲٪ و ۱۵/۴٪ از جذب جنگل‌ها به ترتیب در شرق ایالات متحده، سودان و هلند است (هدین و همکاران، ۱۹۹۴) که به نحو چشمگیری بیش از ورود مواد سمی سالانه از طریق هوازدهی است. لذا ممکن است ورودی‌های اتمسفری بیش از آنچه که معمولاً انتظار می‌رود به‌عنوان منبع خارجی ذخیره عناصر معدنی اهمیت داشته باشد. pH خاک عوامل مهمی در تشخیص فراهمی عناصر معدنی در خاک‌ها است. غلظت‌های بالای یون‌های هیدروژن با افزایش میزان هوازدهی، سبب افزایش ورود عناصر معدنی می‌شود (جانسون و همکاران ۱۹۷۲)، اما در اثر آبشویی اتلاف بیشتر کاتیون‌های پایه را سبب خواهد شد. باران اسیدی یکی از منابع افزایشدهنده اسیدیته خاک به‌شمار می‌رود که در اثر حل شدن اتمسفری اسید نیتریک و اسید سولفوریک در نزولات جوی به‌وجود می‌آید. این اسیدها ابتدا به جای کاتیون‌های موجود در جایگاه‌های تبادل ذرات رس و