



جمهوری اسلامی ایران



وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

موسسه تحقیقات خاک و آب



# عناصر غذایی و تحمل به تنش غیرزیستی در گیاهان

(جلد اول)

مترجمین

فریدون نورقلی پور، محمد علی خودشناس، جواد قدبیکلو، فاطمه اسدی، محمد

هادی میرزاپور و محمد پسندیده

1401



سازمان سنجش خاک و آب  
جمهوری اسلامی ایران

عنوان و نام پدیدآور	: عناصر غذایی و تحمل به تنش غیر زیستی در گیاهان/ نویسندگان [صحیح: ویراستاران] میرزا حسن الزمان ... [و دیگران]؛ مترجمین فریدون نورقلی پور ... [و دیگران].
مشخصات نشر	: کرج: موسسه تحقیقات خاک و آب، 1401.
مشخصات ظاهری	: 2 ج. مصور (بخشی رنگی)، جدول.
شابک	: دوره 1-978-622-6705-27-1؛ ج 1- 978-622-6705-25-7؛ ج 2- 978-622-6705-26-4
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Plant nutrients and abiotic stress tolerance, 2018
یادداشت	: نویسندگان [صحیح: ویراستاران] میرزا حسن الزمان، ماسایوکی فوجیتا، هیروسوکه اکو، کامرون ناهار، باربارا هاوریلک نوواک.
یادداشت	: مترجمین فریدون نورقلی پور، محمدعلی خودشناس، جواد قدیگلو، فاطمه اسدی، محمد هادی میرزاپور، محمد پسندیده.
یادداشت	: مترجمین جلد دوم فریدون نورقلی پور، محمدعلی خودشناس، جواد قدیگلو، محمد پسندیده، محمد هادی میرزاپور، فاطمه اسدی، محمدرضا نائینی.
یادداشت	: کتابنامه
عنوان دیگر	: عناصر غذایی گیاه و تحمل به تنش های غیرزنده.
عنوان دیگر	: تغذیه گیاهی و مقاومت به تنش های غیرزیستی.
موضوع	: گیاهان -- تغذیه Plants -- Nutrition گیاهان -- اثر تنش فیزیولوژیکی Plants -- Effect of stress on
شناسه افزوده	: حسن زمان، میرزا، 1978- م، ویراستار
شناسه افزوده	: Hasanuzzaman, Mirza, 1978-
شناسه افزوده	: نورقلی پور، فریدون، 1352-، مترجم
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات خاک و آب
شناسه افزوده	: Soil & water research institute
رده بندی کنگره	: QK 867
رده بندی دیویی	: 572/42
شماره کتابشناسی ملی	: 9001846
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

### مشخصات اثر

#### عنوان: عناصر غذایی و تحمل به تنش غیرزیستی در گیاهان (جلد اول)

نویسندگان: میرزا حسن الزمان، ماسایوکی فوجیتا، هیروسوکه اکو، کامرون ناهار و باربارا هاوریلک نوواک  
مترجمین: فریدون نورقلی پور، محمد علی خودشناس، جواد قدیگلو، فاطمه اسدی، محمد هادی میرزاپور و محمد پسندیده  
ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب  
لینتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا  
شابک جلد اول: 978-622-6705-25-7  
شابک دوره: 978-622-6705-27-1  
سال انتشار: 1401

این اثر با شماره 3140144 در تاریخ 1401/9/8 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب

کد پستی: 3177993545 صندوق پستی: 31785-311

نمابر: 02636210121 تلفن: 026-36201900

وبسایت: <http://www.swri.ir> پست الکترونیکی: [info@swri.ir](mailto:info@swri.ir)

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

## فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
فصل اول: نقش‌های زیستی، جذب و انتقال عناصر غذایی ضروری در ارتباط با رشد گیاه.....	1
فصل دوم: نقش عناصر غذایی گیاهی در فیزیولوژی و رشدونمو گیاه.....	71
فصل سوم: محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف، راهکار اصلی کاهش تنش غیرزنده در گیاهان زراعی.....	143
فصل چهارم: غنی‌سازی زیستی تغذیه گیاهان.....	177
فصل پنجم: نقش عناصر کم‌مصرف در تحمل به تنش غیرزنده.....	201
فصل ششم: وظایف بیومولکولی عناصر کم‌مصرف به‌منظور تحمل به تنش غیرزنده در گیاهان.....	225
فصل هفتم: تغذیه فسفر، رشد گیاه در واکنش به کمبود و زیاد بود آن.....	253
فصل هشتم: نقش پتاسیم در فرآیندهای فتوسنتزی و عملکرد گیاهان.....	285
فصل نهم: تحمل فلزات سنگین در دو گیاه شور پسند الجزایر: مروری بر واکنش‌های گیاه به کادمیوم و نقش کلسیم در کاهش اثرات آن.....	305
فصل 10: نقش گوگرد در تحمل به تنش غیرزنده در گیاه: برهم‌کنش‌های مولکولی و سازوکارهای دفاعی.....	329
فصل 11: نقش سیلیسیم در تحمل گیاه به تنش غیرزنده.....	377



## پیش‌گفتار

عناصر غذایی، عناصری ضروری برای رشد گیاه و بقای آن هستند. در میان 17 عنصر ضروری گیاهی، تنها سه عنصر کربن، هیدروژن و اکسیژن از طریق جو تأمین می‌شوند و مابقی آن از راه خاک یا کودها در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. هر یک از این عناصر غذایی، نقش منحصر به فردی در چرخه زندگی گیاهان دارند و مقدار نیاز به آن‌ها با توجه به نوع گونه گیاهی و مراحل رشد، متفاوت است. هم کمبود و هم بیش‌بود این عناصر، می‌تواند اثرات منفی بر رشد و نمو گیاهان داشته باشد. علاوه بر این، برای اطمینان از استفاده مؤثر از عناصر غذایی، عوامل محیطی نیز باید در شرایط مطلوب باشند.

از دهه‌های گذشته، تنش غیرزنده به موضوع مهمی برای زیست‌شناسان گیاهی تبدیل شده است. مطالعات متعددی انجام شده و یا در حال انجام است که بر بقای گیاه هنگام تغییرات محیطی، متمرکز می‌باشند. در زمانی محدود، گیاه باید برخی از سازوکارهای تحمل را در سطح سلولی دارا باشد. با توجه به این‌که، تغذیه گیاه، عاملی مهم و بخشی جدایی‌ناپذیر از چرخه حیات گیاهان است، تعداد زیادی از عناصر غذایی، مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفته‌اند. از بین همه عناصر غذایی گیاهی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، منگنز، کلسیم، کلسیم، بور، مس، آهن، منگنز، روی و مولیبدن در فعالیتهای آنزیمی و شرکت دارند؛ کلسیم، منیزیم، منگنز، کلسیم، بور، مس، آهن، منگنز، روی و مولیبدن در فعالیتهای آنزیمی و نیتروژن و گوگرد در سنتز پروتئین دخیل هستند. همچنین، این عناصر غذایی، گاه دارای نقشی خاص و حیاتی هستند که برای حفظ زندگی و فیزیولوژی طبیعی گیاهان، ضروری هستند. تشکیل اجتناب‌ناپذیر گونه‌های فعال اکسیژن<sup>1</sup> در طی فتوسنتز که باعث محدودیت استفاده از انرژی نور و تثبیت دی‌اکسید کربن می‌گردد، بر اثر تنش غیرزنده، تشدید می‌شود. ضرورت حضور برخی عناصر غذایی مانند نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و روی برای پایداری و ادامه استفاده از نور و تثبیت دی‌اکسید کربن و سایر فعالیتهای فتوسنتزی، گزارش شده است. به‌ویژه مشاهده می‌شود که پتاسیم و روی با آنزیم اکسیدکننده نیکوتین‌آمیدآدنین‌دی‌نوکلئوتیدفسفات<sup>2</sup> تداخل پیدا نموده و در نتیجه، نقشی محافظتی در برابر آسیب‌های ناشی از وجود گونه‌های فعال اکسیژن هنگام بروز تنش غیرزنده، بازی می‌کنند.

<sup>1</sup> Reactive Oxygen Species (ROS)

<sup>2</sup> NADPH

در دهه‌های اخیر، برخی از عناصر مفید (از جمله سیلیسیم و سلنیوم) در غلظت‌های اندک، اثر شگرفی در کاهش اثرات تنش مختلف غیرزنده نشان داده‌اند. با پیشرفت علم، تحقیقات فشرده‌ای در سطح جهانی برای کشف روش‌های اصلی جذب عناصر غذایی توسط گیاه، متابولیسم و تعادل پایدار نسبی آن‌ها و محافظت در مقابل تنش غیرزنده، انجام شده است. بررسی منابع بسیار خوبی در مورد نقش عناصر غذایی گیاهی در تحمل تنش غیرزنده در نشریات، مجلات سالانه و فصول برخی از کتاب‌ها، منتشر شده است. با این حال، هیچ کتاب جامعی در مورد این موضوع تاکنون منتشر نشده است. بنابراین، هدف این کتاب، ارائه بینش در خصوص آخرین یافته‌های مربوط به نقش عناصر غذایی گیاهی در ایجاد تحمل به تنش غیرزنده در گیاهان است. این کتاب برای گروه بزرگی از مخاطبان از جمله دانشمندان علوم گیاهی، متخصصان زراعی، دانشمندان خاکشناسی، گیاه‌شناسان، زیست‌شناسان مولکولی و دانشمندان محیط‌زیست، مورد استفاده خواهد بود. با این امید که این کتاب، باعث به‌روزرسانی عملی دانش ما در مورد نقش عناصر غذایی گیاهی در تحمل به تنش غیرزنده گردد.

# فصل اول

## نقش‌های زیستی، جذب و انتقال عناصر غذایی ضروری در ارتباط با رشد گیاه

K.S. Karthika, I. Rashmi and M.S. Parvathi

### چکیده

تغذیه گیاهی، ارتباط متقابل عناصر غذایی خاک و رشد گیاه را میسر می‌سازد. در این فصل، وظیفه عناصر غذایی در رشد گیاه و نقش فیزیولوژیکی آن‌ها با تأکید ویژه بر سازوکار عناصر غذایی ضروری و وظایف فیزیولوژیکی، جذب و ادغام آن‌ها در ترکیبات شیمیایی ساختارهای گیاهی، اختلالات تغذیه‌ای، قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک و حرکت آن‌ها به سمت ریشه و امکان فراهمی آن‌ها برای گیاهان در اشکال مختلف جذب، بررسی می‌شود.

هر عنصر غذایی، نقشی ضروری در انجام وظایف فیزیولوژیکی گیاهان ایفاء می‌کند که رشد مناسب گیاه را ممکن می‌سازد، به طوری که کمبود آن، موجب بروز اختلالات ویژه‌ای در گیاه خواهد شد. برخی از عناصر غذایی به مقادیر بیشتر و بعضی کمتر، مورد نیاز گیاه است، اما همین مقادیر اندک، برای تکمیل چرخه زندگی گیاه ضروری است. نقش عناصر غذایی پرمصرف در رشد و فیزیولوژی گیاه به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. نقش عناصر مفید نیز تا حدود زیادی در تغذیه گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است. خاک، بستر پیچیده‌ای است که به عنوان مخزن عناصر غذایی و آب برای رشد گیاه عمل می‌کند. گیاهان دارای سیستم ریشه‌ای وسیعی برای جذب عناصر غذایی از خاک هستند، با این وجود، قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک به جهت تأثیر عوامل متعدد، تغییر می‌کند. عناصر غذایی خاک، از طریق سازوکارهای ویژه انتقال شامل جریان توده‌ای، انتشار و تبادل تماسی به سمت ریشه‌ها حرکت می‌کنند. هنگامی که عناصر غذایی در دسترس ریشه گیاهان قرار گرفتند، یا به طور فعال و با صرف انرژی و یا غیرفعال و بدون مصرف انرژی جذب می‌شوند. از این رو، درک بهتر

تغذیه گیاهی، به افزایش بهره‌وری محصولات و ارزش غذایی آن‌ها برای جمعیت رو به رشد جهان کمک خواهد کرد.

کلمات کلیدی: عناصر غذایی معدنی، نقش‌های فیزیولوژیکی، رشد گیاه، کمبود، مسمومیت، قوانین رشد

### 1-1- مقدمه

برای داشتن یک محصول سالم، عرضه کافی عناصر غذایی از طریق خاک ضروری است؛ بنابراین، خاک سالم لازمه تولید محصول سالم است. تغذیه گیاهی به تأثیر آن دسته از عناصر غذایی موجود در خاک که در رشد و توسعه گیاه مؤثرند، ارتباط دارد. گیاهان پایه و اساس زنجیره‌های غذایی متعددی را تشکیل می‌دهند، از این رو، تغذیه گیاهی هم بر رشد گیاهان و هم بر رشد سایر موجودات زنده تأثیر می‌گذارد (Maathuis, 2009).

غلظت هر عنصر غذایی در گیاه دارای یک دامنه کفایت خاص است. عدم تعادل در این محدوده، رشد محصول را تحت تأثیر قرار خواهد داد و به کمبود و یا سمیت عناصر در گیاه منجر خواهد شد. این مسئله می‌تواند به دلیل سطح ناکافی عناصر غذایی خاک، کاربرد نادرست، ناکافی و نامتعادل کودهای شیمیایی و یا منابع غذایی باشد. مسمومیت زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار عنصر غذایی بیش از حد کفایت و مورد نیاز گیاه باشد و این امر منجر به کاهش رشد گیاه و یا افت کیفیت آن می‌شود (McCauley و همکاران، 2011). این اختلالات در گیاهان با علائم مشخصی ظاهر می‌شوند. از آنجایی که بروز این علائم می‌تواند ناشی از عوامل متعددی نظیر آفات، بیماری‌ها، کمبود و سمیت عناصر و غیره باشد، لذا تشخیص علت دقیق آن، ضروری به نظر می‌رسد.

کمبود و سمیت عناصر غذایی در نتیجه بروز علائم ظاهری غیرطبیعی، به‌طور زیان‌آوری بر سلامت محصول اثرگذار است و در نتیجه باعث کاهش تولید محصول می‌گردد. بر اساس نظر McCauley و همکاران (2011)، نقش و تحرک هر عنصر غذایی ضروری باید به‌خوبی درک شود تا مشخص گردد هر یک از عناصر غذایی در شرایط