



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
معاونت آموزش و ترویج کشاورزی

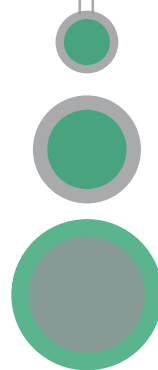
تغذیه بر اساس مراحل رشد فیزیولوژیکی



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی
خراسان رضوی
سال ۱۴۰۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تغذیه بر اساس مراحل رشد فیزیولوژیکی





نشر آموزش کشاورزی

عنوان: تغذیه بر اساس مراحل رشد فیزیولوژیکی

نویسنده: سید فاضل فاضلی کاخکی

مدیر داخلی: ویدا همتی

سرپرستار: نصیبه پورفاتیح

ویراستار ادبی: مهشید شیرمحمدلو

صفحه آرا: نادیا اکبری

تهیه شده در: معاونت آموزش و ترویج کشاورزی - دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی

ناشر: نشر آموزش کشاورزی

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول، ۱۴۰۰

مسئولیت درستی مطالب با نویسنده است.

شماره ثبت در مرکز فن آوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی ۶۱۱۹۳ به تاریخ ۱۴۰۰/۱۲/۰۸ است.

نشانی: تهران، خیابان آزادی، بین نواب و رودکی، پلاک ۲۰۵، معاونت آموزش و ترویج کشاورزی

تلفن: ۶۶۴۳۰۴۶۵ | تلفکس: ۶۶۴۳۰۴۶۴ | کد پستی: ۱۴۵۷۸۹۶۶۸۱

فهرست

عنوان	صفحه
۱-۱- مقدمه	۹
۱-۲- مراحل رشد فیزیولوژیکی گیاه: جوانه زدن	۱۰
۱-۳- سبز شدن و رشد گیاهچه	۱۱
۱-۴- مرحله رشد رویشی	۱۲
۱-۵- تغذیه با ماکروالمنت ها	۱۵
۱-۶- تغذیه با میکروالمنت ها:	۱۹
منگنز:	۲۰
مس:	۲۰
روی (Zn):	۲۱
بور (B):	۲۲
۱-۷- تغذیه در مراحل فیزیولوژیکی زایشی: مرحله پیش از گل دهی، آغاز گل دهی، پنجاه درصد گل دهی، پنجاه درصد دانه بندی، مرحله پرشدن دانه و مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی	۲۴
۱-۸- خلاصه	۲۶
۲-۱- مقدمه	۲۹
۲-۲- عناصر غذایی:	۳۰
۲-۳- قابلیت تحرک عناصر غذایی در داخل گیاه:	۳۱
۲-۴- علایم کمبود عناصر غذایی	۳۳
۲-۵- چکیده ای از ویژگی های کودهای شیمیایی	۳۳
عنصر نیتروژن:	۳۳
۲-۵-۱- علایم کمبود برخی از عناصر کم مصرف	۳۷
۲-۶- خلاصه	۴۱
۳-۱- مقدمه	۴۵
۳-۲- کمبود آب	۴۵
۳-۳- تاثیر CO ₂	۴۶
۳-۴- خلاصه	۴۸

تغذیه بر اساس مراحل رشد فیزیولوژیکی

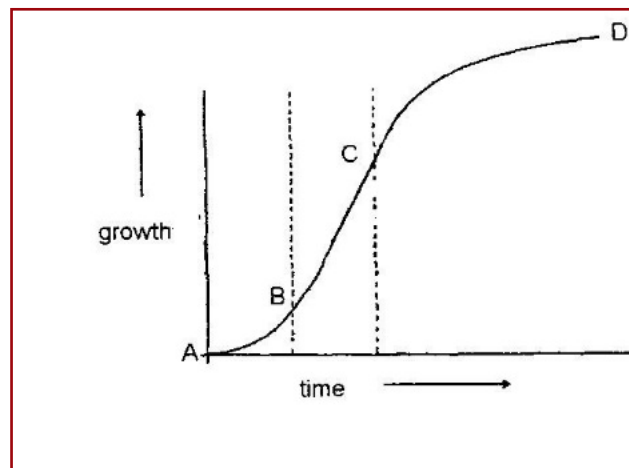
هدف های رفتاری:

فراگیر پس از مطالعه این فصل قادر خواهد بود:

- ۱- با مراحل رشد فیزیولوژیکی گیاه آشنا شود
- ۲- با منحنی رشد گیاه آشنا شود
- ۲- نیاز های غذایی را در هر مرحله بداند
- ۳- تاثیر عناصر پر مصرف را در رشد و نمو هر مرحله از رشد گیاه را توضیح دهد
- ۴- زمان مناسب برخی از عناصر را در مرحله رشدی توضیح دهد
- ۵- با عناصر ریز مغذای موثر بر هر مرحله از رشد آشنا شود

۱-۱- مقدمه

رشد و نمو، مجموع رویدادهایی است که به تکامل تدریجی بدن یک ارگانیسم منجر می شود. در این باره، رشد گیاه همچون مجموعه‌ای از رویدادهای قابل‌شناسایی و نتیجه‌گیری کیفی (جوانه زنی، گل‌دهی و مانند آن‌ها) یا کمی (تعداد برگ، تعداد گل و مانند آن) است (Bonhomme, 2000). به‌طورمعمول، زمانی که یک مرحله نمویی در گیاه مطالعه می‌شود، بخشی کاملاً مشخص‌شده بین مرحله رویشی و زایشی قرار دارد. در آغاز ظهور مرحله نمویی، گیاه بیشتر صفات مورفولوژی خاصی را نشان می‌دهد. بیشتر مراحل نمویی کارکردهای متفاوتی داشته و استفاده ویژه‌ای از آن‌ها می‌شود. برای مثال، شناخت مراحل نمو در مدیریت آفت، تغذیه و پیش‌بینی زمان برداشت گیاه کاربرد دارد (Normand and Lechaudel, 2006). مراحل نمویی از طریق آزمایش‌های متمایزکننده تشخیص‌پذیر هستند. با این حال، عبور از مراحل نمویی متوالی اغلب به‌وضوح تشخیص‌پذیر نیست. رشد همچون افزایشی برگشت‌ناپذیر در ابعاد یک موجود یا یک گیاه در طول زمان تعریف می‌شود، مثل افزایش ارتفاع، قطر، سطح یا توده. الگوهای رشدی بیشتر به‌صورت تجمعی در ابعاد طی زمان، با یک منحنی شبیه‌سازی‌شده سیگنوییدی مرکب از سه قسمت مشخص می‌شوند (شکل ۱). مرحله شتاب نخستین شامل رشد نمایی و فاز خطی می‌شود و مرحله آخر شامل فاز رشدی کم و هموار است که در این مرحله، گیاه به مرحله نهایی رشد خود رسیده و منحنی به سمت پایین و صفر میل می‌کند. روش‌های قراردادی تجزیه و تحلیل رشد بیشتر بر اساس مولفه‌های رشدی ویژه در طول زمان یا رشد یک اندام است (برای نمونه، مقدار رشد نسبی در طول رشد نمایی یک موجود یا پیشینه رشد مطلق که در یک نقطه اتفاق می‌افتد) (Cookson et al., 2005). رشد و نمو بیشتر به‌صورت جداگانه مطالعه می‌شوند. با وجود این، این دو فرآیند کاملاً وابسته به یکدیگر هستند؛ برای نمونه، تخصیص کربوهیدرات بین اندام‌ها طی رشد و نیز مقدار رشد گیاه به نوع اندام، مرحله نموی آن و شرایط محیطی بستگی دارد (Dechaine et al., 2014).



شکل ۱. منحنی رشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۲)



۲-۱- مراحل رشد فیزیولوژیکی گیاه: جوانه زدن

نخستین مرحله رشد گیاه جوانه زدن و رشد گیاهچه است. یکی از عوامل دستیابی به سطح سبز مناسب و عملکرد بالا در گیاهان زراعی درصد و سرعت سبز شدن بذرهای کشت شده است. جوانه زنی بذر اساسی ترین مرحله تعیین کننده رشد گیاه است. این فرایند پیچیده و چندمرحله ای بوده و تحت تاثیر ژن ها و محیط قرار دارد. طی فرایند جوانه زنی، وقایع مرتبط با چرخه سلولی و شکاف اندوسپرم به سبب فعالیت های هیدرولیزی و تجزیه پروتئین های ذخیره ای آغاز شده و منجر به ظهور اندام های ریشه چه و ساقه چه می شود. بذر بالغ اندام های درحال رکودی دارد که محتوای رطوبتی اندک و ذخیره غذایی کمی دارند و فعالیت های متابولیکی آن ها در حال سکون است. به طور طبیعی، بذرها پس از مساعد شدن شرایط محیطی و طی مراحل که منجر به رسیدگی جنین در آنها می شود، قادر به جوانه زنی هستند؛ پس از خروج ریشه چه، گیاهچه نخستین از خاک خارج می شود. هرچه سرعت سبز شدن و درصد بذرهای استقرار یافته در مزرعه بیشتر باشد، گیاهان رشد یافته از منابع رشد مثل نور، آب و عناصر غذایی بیشتری استفاده خواهند کرد.

برای کمک به قدرت و استقرار گیاهچه ها در مزارع، می توان روش های کمکی مانند پرایم کردن بذر با مواد و محلول های غذایی را به کار برد. این روش کم هزینه است؛ بذرها برای مدت معینی، در محلول غذایی قرار گرفته و سپس خشک و برای کاشت آماده می شوند. در واقع، در این روش به بذر اجازه جذب آب و مواد غذایی تا حد کنترل شده ای داده می شود. پیش از خروج ریشه چه، بذرها از محلول خارج و در مکان خشک نگهداری می شوند تا کشت شوند. این بذرها پس از قرارگیری در بستر کشت، زودتر جوانه زده و پس از استقرار نیز گیاهان حاصل از این بذرها سریع تر، بهتر و درعین حال یکنواخت تر رشد و نمو می کنند. همچنین بذرها پرایم شده با گسترش سیستم ریشه، قادر به تحمل بهتر خشکی در مزرعه هستند (Guan et al., 2009). در این راستا، یکی از روش هایی که به استقرار بهتر گیاهچه در مزرعه کمک می کند، استفاده از ترکیباتی است که فسفر را به صورت محلول در اختیار ریشه گیاه قرار می دهند. فسفر از عناصر ضروری و پرمصرف و پس از نیتروژن، محدود کننده ترین عنصر برای رشد گیاه است. مزیت تغذیه با فسفر برای گیاه، تولید ریشه های عمیق تر و فراوان تر است. مقدار فسفر ضروری برای گیاه را می توان با تغذیه از کودهایی همچون فسفره، کودهای بیولوژیک که توانایی حل کردن فسفات محلول خاک را دارند و استفاده از قارچ های میکوریزا تامین کرد. قارچ های میکوریزا آربوسکولار از جمله موجودات حل کننده فسفات نامحلول در خاک هستند که سبب افزایش سطح تماس ریشه با خاک، توسعه و استقرار سیستم ریشه ای، جوانه زنی بهتر و سریع تر بذرها می شوند. استفاده از مایع های تلقیح حاوی میکروارگانیسم های تثبیت کننده فسفر، حجم انبوه و فعالی از آن ها را به منطقه فعال ریشه وارد کرده و توان ریشه را برای جذب مواد غذایی افزایش می دهد (Khan et al., 2007). توسعه شبکه ای گسترده از ریشه های فرعی و تارهای کشنده، حجم بیشتری از خاک را درگیر کرده و موجب افزایش مواد غذایی ضروری گیاه می شود.

یکی دیگر از شیوه های موثر در افزایش توانایی گیاه برای افزایش استقرار گیاه در مزرعه، استفاده از



بذر مال های روی است. عنصر روی برای بسیاری از سیستم های آنزیمی گیاه، اکسین ها، ساخت پروتئین و تولید بذر قوی لازم است. کمبود روی به طور معمول، در خاک های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران شایع است. تاثیر استفاده از پرایم روی (Zn)، در افزایش رشد ریشه ها، افزایش کارایی جذب آب و عناصر غذایی و سرانجام، وزن خشک کل در گیاهانی مانند نخود، گندم، ذرت و لوبیا و برنج مطالعه شده است (Farooq et al., 2006; Harris, 2006). پرایم بذرهای گندم و لوبیا با محلول روی، موجب افزایش رشد ریشه ها و افزایش کارایی جذب آب و عناصر غذایی و وزن خشک کل شده است. در خصوص کاهش زمان جوانه زدن و افزایش قدرت استقرار گیاه آزمایشی، میرشکاری و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کرده اند که بیشترین عملکرد دانه زیره سبز به مقدار ۵۷۱ کیلوگرم در هکتار، به تیماری تعلق داشت که در آن، بذر همزمان با باکتری و عناصر کم مصرف تلقیح شده بود. در این مطالعه، عملکرد اسانس حداکثر تا ۱۷/۲ کیلوگرم در هکتار، طی تیمار پوشش دار کردن بذر با عناصر کم مصرف افزایش یافت. با وجود این، بررسی ها نشان داده است که استفاده از عناصر غذایی برای پوشش دار کردن بذر باید در غلظت مشخصی به کار رود زیرا تاثیر سوئی بر شاخص های جوانه زنی دارد. برای مثال، یافته های فاروق و همکاران نشان داد (Farooq et al., 2006) که استفاده از غلظت های بالای روی (Zn) می تواند تاثیر مخربی بر بذر داشته و سبب ایجاد جوانه ضعیف در بذر ها شود؛ بنابراین پیش از کاربرد مزرعه ای، منبع روی و مقدار مصرف آن باید در آزمایشگاه بررسی شود.

۳-۱- سبز شدن و رشد گیاهچه

سبز یکنواخت در مزرعه به عوامل متعددی بستگی دارد که از جمله این عوامل می توان به نحوه آماده سازی زمین و عمق کاشت اشاره کرد. از آنجاکه هر بذر ذخیره غذایی معینی دارد؛ از این رو، قرارگیری بذر در عمق مناسب سبب ظهور گیاهچه های قوی و یکنواخت در سطح مزرعه خواهد شد. زمانی که مقاومت مکانیکی لایه بالای بذر زیاد می شود، توانایی بذر در خروج گیاهچه از خاک کاهش یافته و جوانه ضعیفی را تولید خواهد کرد. در این شرایط، بیشتر انرژی ذخیره شده در بذر صرف تولید محور ساقه شده تا به هر ترتیبی، گیاهچه را به سطح خاک برساند و در مواردی نیز پیش از رسیدن به سطح خاک این انرژی از بین رفته و گیاهچه می میرد. پس از پاره شدن غشای کلوپتیل در سطح زمین، برگ های اولیه ظاهر می شوند؛ اما آن ها هنوز وابسته به مواد غذایی ای هستند که از سمت دانه به آنان انتقال می یابد، هر چند که فتوسنتز در برگ ها آغاز شده است. بررسی ها در یولاف نشان داده است که خودکفایی در گیاه زمانی اتفاق می افتد که گیاه در مرحله دو تا چهاربرگی باشد؛ بنابراین، فتوسنتز برگ های اولیه، صرف رشد و نمو همان برگ خواهد شد. بدین ترتیب، ماده سازی و تولید آسیمیلات لازم برای گسترش سیستم ریشه ای وابسته به مواد غذایی موجود در محیط ریشه و خاک خواهد بود. هر چه مقدار ریشه دوانی گیاهچه در این مرحله بیشتر باشد، تولید برگ و متعاقب آن ارتفاع و شاخه نیز بیشتر خواهد بود. گسترش سیستم ریشه در این مرحله، وابسته به تغذیه گیاه در مرحله کاشت است. در مرحله گیاهچه ای، سطح سبز کم و توان بالا برای رشد دو عاملی هستند که بر



میزان عملکرد تاثیر می‌گذارند. عملکرد بر اساس شکل‌گیری نخستین آغازه‌های گل در گیاه شکل می‌گیرد و این به‌نوبه‌خود، وابسته به برنامه‌ریزی گیاه در انگیزش اولیه سلول‌های مولد اندام‌زایی است. کاهش تولید مواد فتوسنتزی به سبب کمبود سطح سبز، منجر به کمبود متابولیت‌های لازم برای ساخت سلول‌ها می‌شود و سبب این کمبود نیز فقر تغذیه‌ای خاک و گسترش نیافتن سیستم ریشه‌ای است. نیتروژن یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاه است. مقدار نیتروژن داده‌شده در مرحله کاشت، بر اثر جذب یا آب‌شویی (به سبب تحرک بالای نیتروژن در خاک) از دست می‌رود. این عنصر به واسطه نقشی که در اجزای پروتئینی، کوانزیم‌ها، کلروفیل‌ها، پیریمیدن‌ها، پورین‌ها، نوکلئیک اسیدها و بسیاری از مسیرهای متابولیتی دارد، در هر مرحله از رشد برای گیاه ضروری است (Taiz and Zaiger, 2006). از همین‌رو، در مرحله چهار تا شش‌برگی می‌توان بر اساس نوع محصول، حداکثر تا پنجاه کیلوگرم کود نیتروژن به‌صورت اوره به زمین داد تا بتوان فتوسنتزی افزایش و سطح سبز محصول گسترش یابد. لازم به ذکر است که برخی از گیاهان مانند گیاهان خانواده لگوم، توانایی تامین ازت لازم خود را از اتمسفر را با فرآیند تثبیت ازت دارند. به‌طورمعمول و طبق عرف منطقه، هم‌زمان با کاشت، کودهای شیمیایی مثل فسفر، پتاس و نیتروژن به خاک اضافه می‌کنند که مقدار آن‌ها بر اساس نوع گیاه و آزمایش خاک متغیر است. هرچند مقدار ماده آلی خاک در فراهم شدن و دسترسی‌پذیری عناصر غذایی موثر است؛ باوجوداین، رشد قسمت هوایی به‌طور مستقیم تحت مدیریت ژن‌ها و به‌طور غیر مستقیم متاثر از محیط است. برای مثال در فیزیولوژی نسب ساقه به ریشه یا Shoot: Root بیان شده‌است و نمایانگر وضعیت رشدی گیاه است. عوامل محیطی روی این نسبت تاثیر دارند، برای نمونه، کمبود آب رشد هر دو قسمت را کاهش می‌دهد ولی اثر نسبی بیشتری روی قسمت‌های هوایی دارد. بررسی‌ها در برنج نشان داده است که کود ازت تاثیر زیادی بر نسبت S-R تحت رژیم ازت داشته و که بیش از نود درصد مواد فتوسنتزی به ساقه اختصاص می‌یابد؛ حال آنکه در شرایط کمبود ازت، فقط پنجاه درصد مواد فتوسنتزی به ساقه اختصاص می‌یابد. رشد ساقه جدید تحریک‌شده با کود ازته نسبت به ریشه‌ها، مخزن (مصرف‌کننده) قوی‌تری برای مواد فتوسنتزی به شمار می‌رود. در این حالت، فراوانی آب و ازت برای رشد قسمت‌های هوایی مطلوب‌تر است، ولی محدودیت این دو عامل برای ریشه‌ها بهتر است. ریشه‌ها اولین دسترسی را به آب، ازت و دیگر عناصر و عوامل خاکی دارند و قسمت‌های هوایی اولین دسترسی به نور یا عوامل اقلیمی مثل CO_2 دارند (کافی و همکارات، ۱۳۷۸).

۴-۱- مرحله رشد رویشی

رشد رویشی از مریستم‌های جوانه انتهایی و مریستم میان‌بافتی برگ‌های جوان و میان‌گره‌ها منشأ می‌گیرد. رشد حاصل از فعالیت میان‌بافتی بیشتر به تعدادی سلول فعال محدود می‌شود که با هورمون‌های خاصی که از منابع دیگر (جوانه‌ها و برگ‌های جوان) تامین می‌شوند. هنگامی که مریستم‌های میان‌بافتی در میان‌گره‌ها با کمبود هورمون رویشی به‌ویژه GA3 روبه‌رو می‌شوند، گیاه پاکوتاه می‌شود.



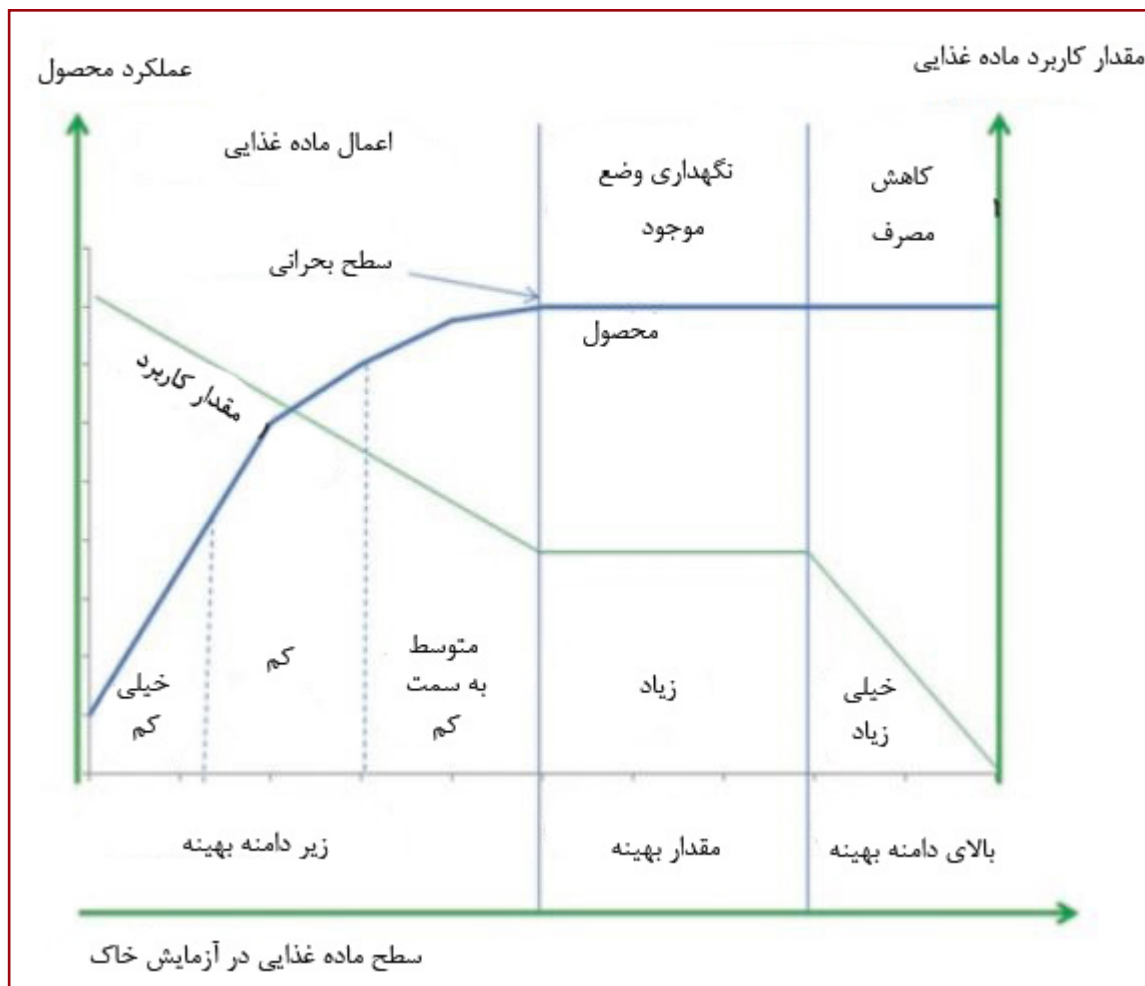
برگ ها به شکل زوائیدی برجسته از کنار یا اطراف نقطه رشد یا جوانه انتهایی در فاصله زمانی مشخص به نام پلاستوکورن منشأ می گیرند. تعداد پلاستوکورن تا زمان پیدایش گل ها نامحدود است؛ در این زمان، آغازه های برگ به آغازه های گل آذین تبدیل می شوند. اندازه نهایی برگ بنا بر وضعیت آن در طول گیاه متفاوت است. درجه حرارت بالا و تشعشع کم، سبب بزرگ و نازک شدن برگ ها و درجه حرارت پایین و تشعشع زیاد، سبب کوچک و ضخیم شدن و افزایش وزن مخصوص برگ می شود. به طور معمول، سطح برگ در برگ های پایینی بیشتر و نازک تر است و پیش از رسیدن به بلوغ کامل، به ویژه در وضع سبز، گیاهان زراعی زودتر پیر می شوند. بنا به نوع گیاه، غلاف های برگ و دم برگ ها تاثیر بسیاری در فتوسنتز گیاه می گذارند؛ البته، پهنک برگ عمده مکان فتوسنتز در گیاه است.

رشد ساقه بیشتر نتیجه فعالیت مریستم میان بافتی در قاعده میان گره ها است. در بعضی از گونه ها (بدون ساقه) میان گره ها به جز میان گره آخر، که محور گل آذین را تشکیل می دهد، رشد نمی کنند. گرامینه های معتدل پیش از پیدایش گل بدون ساقه هستند. جوانه هایی که در زاویه برگ و ساقه قرار گرفته اند، باتوجه به سن و فتوپریود، ممکن است پنجه های رویشی یا شاخه جانبی یا شاخه زایشی مثل ساقه بلال دهنده ذرت و خوشه سویا را به وجود آورند. شاخه های جدید یا پنجه هایی که در غلاف های زنده برگ به وجود می آیند، رو به بالا رشد می کنند و مشابه ساقه اصلی هستند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۲).

بررسی ها نشان داده است که تولید و حفظ ساختارهای رویشی در گیاه که نتیجه تاثیر متقابل ژنتیک و محیط است، در به فعالیت رساندن توان تولید نقش مهمی دارد. به موازات رشد رویشی گیاه، همواره بخشی از آسیمیلات ساخته شده در بخش های خاصی مثل ریشه، ساقه و میان گره ها ذخیره می شود. این مواد ذخیره ای نقش مهمی در دفاع گیاه در برابر تنش های غیرزنده (تغییرات آب و هوایی) و زنده (حمله پاتوژن ها) و تحمل گیاه دارد (Sinclair et al., 2006). قرار داشتن عوامل محیطی (آب، دما و عناصر غذایی) در سطح بهینه، لازمه تداوم فعالیت فرایندهای فتوسنتزی گیاه است. در صورتی که در بازساخت ترکیبات ضروری گیاه تاخیری ایجاد شود، بخشی از مراحل رشد و نمویی دچار خسارت می شود. از سوی دیگر، بنا بر ماده غذایی و نوع گیاه، تامین عناصر غذایی لازم برای گیاه در طول دوره رشد رویشی، می تواند از ده تا صد درصد افزایش چشمگیری یابد (Dimkpa and Bindraban, 2016). شکل (۲) ارتباط شماتیکی بین سطوح تغذیه ای خاک، پاسخ محصول به حضور عناصر غذایی در خاک و توصیه کودی انجام شده بر مبنای سطوح تغذیه ای خاک را نشان می دهد. سطح بحرانی (critical) تصویر شده در منحنی، بیانگر این نکته است که زمانی که سطح ماده غذایی از آن سطح کمتر باشد، تاثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاه خواهد داشت؛ بنابراین، افزودن ماده غذایی در بالاتر از سطح بحرانی پاسخ مثبت رشد و نمو گیاه را در پی دارد. به همین سبب، ارتباط سطح بحرانی عناصر غذایی خاک به عواملی مثل نیاز ویژه گیاه، بافت خاک، عمق خاک و وضعیت آنتاگونیستی یا سینرژیستی در خاک وابسته است (Voortman and Bindraban, 2015). جدول (۱) سطح بحرانی عناصر غذایی را در خاک های کشاورزی که از شرایط مختلف خاک- محصول و بر اساس عصاره گیری ویژه تهیه شده نشان می دهد



(Alloway, 2008; Anderson et al., 2013; Heckman, 2006; Koenig, 2002). از همین رو، عناصر غذایی باتوجه به آزمایش خاک و در صورت وجود شرایط آزمایشگاهی، با تجزیه عناصر غذایی برگ تامین خواهد شد. با این حال، تغذیه در مرحله رویشی، که بسترسازی برای مرحله زایشی است، اهمیت بسیاری دارد که در ادامه، به نقش هر عنصر غذایی در فرایند رشد و نمو پرداخته خواهد شد.



شکل ۲. رابطه مفهومی بین سطح مواد غذایی خاک، توصیه کودی و عملکرد محصول. سطح عناصر غذایی در خاک، به آزمایش خاک، (که همبستگی با مقدار عملکرد محصول دارد) و مقدار توصیه کودی انجام شده وابسته است که می تواند نه فقط عملکرد محصول را به دنبال داشته باشد بلکه این اطمینان را می دهد که این عناصر به هنگام نیاز، در مقدار مناسب به کار برده شوند (Voortman and Bindraban, 2015).

جدول ۱. سطوح بحرانی عناصر غذایی در خاک کشاورزی

نام عنصر و مقدار (mg.kg^{-1})												
N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	B	Mo	Mn	Cu	Fe	
۲۰-۱۰	۱۰-۷	۲۰۰	۳۰۰-۲۰۰	۳۰-۱۵	۱۵-۱۰	۱,۰-۰,۵	۱-۰,۵	۰,۱۵-۰,۰۱	۸-۵	۱,۰-۰,۵	۴,۵-۲,۵	



۵-۱- تغذیه با ماکروالمنت ها

تغذیه با عناصر معدنی به‌ویژه نیتروژن در دوران رشد رویشی، به سبب نقش این عنصر در بسیاری از فرایندهای حیاتی گیاه اهمیت دارد. مقدار نیتروژن در محلول خاک نوسانات زیادی داشته و به‌شدت تحت تاثیر کوددهی و برداشت گیاهان قرار دارد. تحرک ازت در فرم اسیدهای آمینه در گیاهان خوب است و این اسیدها می‌توانند با شدت زیاد در آوند چوب و آبکش انتقال یابند؛ سمت و سوی این انتقال به اندام‌هایی است که سنتز پروتئین در آن‌ها زیاد است یعنی در مراحل رویشی، به برگ‌های جوان و در مرحله زایشی، به دانه‌ها و میوه‌ها هدایت می‌شوند. کودهای ازته‌ای که در کشاورزی استفاده می‌شوند، بیشتر نیترات و آمونیوم دارند مثل نیترات آمونیوم آهکی (21% N) و آمونیوم سولفات نیترات (26% N) و اوره (46% N). دادن کودهای سرک در مرحله رویشی، تولید پروتئین و رشد رویشی گیاه را تقویت می‌کند. در دوران رشد رویشی، استفاده از کود نیتروژنه به‌صورت سرک و در چند مرحله، بنا به گونه گیاه نقش بسزایی در رشد و تولید دارد که در این زمینه، تحقیقات گسترده‌ای در زراعت گیاهان زراعی و نیز محصولات باغی انجام یافته است (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶).

هرچند از لحاظ بیوشیمیایی، همه گیاهان برای ساخت یک واحد ساده رشد، به مقادیر مشابهی از N, P, S و مانند آن‌ها نیازمند هستند، با این حال گیاه به کمبود عنصر وابسته به ذخیره غذایی در محیط ریشه واکنش نشان می‌دهد. بخشی از مقدار گوگرد ضروری گیاه از طریق SO_2 موجود در اتمسفر تامین می‌شود؛ برای نمونه، در یک منطقه صنعتی در اروپا (آلمان) بیشترین مقدار گوگرد اندازه‌گیری‌شده در هکتار طی سال، ۱۴۹ کیلوگرم بوده و این مقدار چندین برابر بیشتر از نیاز مزارع غلات (۱۲ تا ۱۵ کیلوگرم در هکتار) است. با این همه، کودهای محتوی سولفات از قبیل سوپرفسفات، سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم مقدار گوگرد را در حد ثابتی تامین می‌کنند و نیازی به کوددهی جداگانه نیست. کمبود گوگرد در خاک‌های فقیر از هوموس و در شرایط آب‌وهوایی مرطوب بیشتر دیده می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که در تغذیه ناکافی با گوگرد، گرامینه‌ها در مقایسه با لگومینوزها قدرت بهتری در تطابق با سولفات دارند. به‌همین سبب، در یک مزرعه مخلوط، در حالت کمبود گوگرد ابتدا لگومینوزها از بین می‌روند. کروسیفره‌ها به سبب داشتن روغن خردل، نسبت به غلات، سیب‌زمینی و چغندر قند، نیاز بیشتری به گوگرد دارند. برداشت توسط منداب سه تا چهار برابر بیشتر از غلات است. در مصرف کودهای گوگردی، علاوه بر سولفات‌ها، از گل گوگرد نیز استفاده می‌کنند.

فسفر یکی دیگر از عناصر ضروری گیاه است که بیشتر در ابتدای کاشت و باتوجه به آزمایش خاک به زمین می‌دهند. از آنجایی که بخشی از فسفات‌های ناپایدار به فسفات‌های پایدار تبدیل می‌شود؛ از همین‌رو، در بیشتر موارد باید کود فسفاته بیشتری به خاک داده شود. مقدار اضافی آن در خاک‌های مختلف می‌تواند در حدود ۵۰-۱۰ درصد از کل مقداری باشد که گیاه جذب می‌کند. میزان مناسب کود فسفات برای رشد گیاه، به گسترش ریشه دوانی گونه‌های گیاهی بستگی دارد. به‌طور معمول، بخش بزرگی از کل فسفات در گیاه سبز به فسفات معدنی اختصاص دارد و این بخش در برگ‌های پیر از همه بخش‌ها بیشتر است. برگ‌های جوان کم‌وبیش فسفات آلی زیادی به ویژه فسفات اسید نوکلئیکی دارند. با افزایش کود فسفاته، فقط مقدار فسفات



معدنی افزایش یافته و فسفر فسفاتیدی فقط کمی اضافه می شود و فسفر اسید نوکلئیکی مطلقاً تغییری نمی کند. تغذیه کافی با فسفات بر بسیاری از فرایندهای متابولیسمی تاثیر می گذارد که حساس ترین آن ها سنتز اسید نوکلئیک و پروتئین است؛ این سنتز در کمبود فسفات به طور مستقیم از طریق کاهش شدت رشد، خود را نشان می دهد. گیاهان مبتلا به کمبود فسفر، کوچک و وامانده هستند، برگ های خشک و سخت دارند و به سبب کمبود فسفر "خشک منظر" نامیده می شوند. علایم کمبود فسفر در رابطه با رشد و تولید شاخه های جانبی و همچنین ریشه، مشابه کمبود ازت است و مهم ترین علامت مشخصه آن رنگ سبز کثیف برگ ها است و در بسیاری از مواقع، رنگ بنفش آنتوسیانین نیز ظاهر می شود و رنگ برنزه هم نادر نیست. این شاخه ها درباره بیشتر گیاهان زراعی صادق است، برگ ها زودتر از موعد می ریزند. کمبود فسفر در درختان و بوته ها، از رشد شاخه های جانبی، باز شدن شکوفه ها، جوانه ها و همچنین رسیدن میوه ها جلوگیری می کند؛ برگ ها قرمز و برنزه شده و زودتر از موعد می ریزند. در درختان میوه کمبود فسفر مقاومت به سرما را کاهش می دهد. در خاک هایی که فقر شدید فسفات دارند، کوددهی ردیفی با فسفات می تواند مناسب تر باشد. در این روش، کودهای فسفاته را به طور ردیفی مانند ردیف گیاهان پخش می کنند. کود داده شده در این حالت، فقط با حجم معین و محدودی از خاک در تماس است و به همین سبب، کندتر از پخش معمولی تثبیت می شود. پس از آنکه سطح فسفات خاک به حد مناسب رسید، میزان کود فسفاته را می توان طبق برداشت گیاه تنظیم کرد. در صورتی که خاک کمبود داشته باشد، می توان حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد بیشتر از مقدار توصیه شده کود فسفات به خاک افزود. کود سوپر فسفات از هضم فسفات خام در H_2SO_4 ایجاد شده و محتوی $Ca(PO_4)_2$ محلول در آب است و گچ موجود در آن نیز برای تامین نیاز گوگردی گیاهان اهمیت دارد. فسفات تریپل محتوی P_2O_5 50% از هضم فسفات خام از سوی H_3PO_4 تهیه می شود و بیشتر محتوی $Ca(H_2PO_4)_2$ محلول در آب است. فسفات به شدت در خاک تثبیت می شود و به ندرت به لایه های زیرین خاک مهاجرت می کند. در صورت استفاده مدام از کودهای فسفاته، شدت آب شویی آن زیر یک کیلوگرم P_2O_5 در هکتار است. با توجه به جابه جا نشدن عمودی فسفات در خاک، می توان آن را در هر زمان حتی در فصول پرباران بدون ترس از آب شویی به خاک داد.

سلول های گیاهی پتاسیم را به مقدار زیادی به صورت یون های این عنصر جذب می کنند. پتاسیم به سبب جذب زیاد، قادر است تا حد زیادی از جذب سایر کاتیون ها مثل کلسیم، سدیم و مینزیوم با رقابت یونی غیرویه جلوگیری کند. تاثیر پتاسیم در فرایندهای متابولیسمی بسیار زیاد است، پتاسیم برای تامین و مصرف آب در گیاهان و همچنین برای مدیریت مواد اهمیت اجتناب ناپذیری دارد. پتاسیم در حفظ روابط آبی سلول و در تورژسانس سلول ها نقش مهمی دارد؛ برای نمونه، زمانی که مقدار پتاسیم سلول در لوبیا کاهش می یابد، تورژسانس سلول ها کاهش داشته یا حتی بلوکه می شود. رابطه تنگاتنگ پتاسیم با رشد مریستمی، در تاثیر سینرژیستی (تقویت کنندگی) هورمون های مختلف گیاهی همچون اسید جیبرلیک و ایندول استیک اسید نمایان شده است. انتقال قند از سلول های مزوفیل به آپوپلاست و انتقال به مسافت دور به ویژه انتقال در آوند آبکش، با پتاسیم تقویت می شود. در صورت تغذیه ناکافی پتاسیم، سنتز مولکول های زیادی به ویژه



ماکرومولکول‌هایی مثل سلولز، نشاسته و پروتئین تضعیف می‌شود. زمانی که گیاه پتاسیم کمی در اختیار دارد، برای تامین مقدار ATP خود، به تنفس روی می‌آورد و از این طریق سطح انرژی گیاه به شدت کاسته می‌شود زیرا سنتز RUBP-کرب اکسیلاز بسیار وابسته به غلظت بالای پتاسیم است و در صورت کمبود پتاسیم در گیاه، فتوفسفریلاسیون کاهش می‌یابد. پتاسیم برای تقویت بسیاری از آنزیم‌ها لازم است، محققان عقیده دارند که پتاسیم بسیاری از آنزیم‌های موجود در سیتوپلاسم را تقویت می‌کند؛ به‌ویژه در سنتز و شکل‌گیری پروتئین اهمیت فراوانی دارد. پتاسیم در افزایش مقاومت بسیاری از گیاهان زراعی در مقابل حمله قارچ‌ها و حشرات مفید است. شدت یافتن تولید دیواره سلولی، توجیهی برای افزایش مقاومت گیاهان با تغذیه خوب با پتاسیم به شمار می‌رود. تحقیقات نشان داده که استفاده از کود پتاسیم، می‌تواند مقاومت گیاه را در مقابل یخبندان افزایش دهد؛ دادن کود پتاسیم به مزرعه انگور، سبب افزایش مقاومت جوانه‌های انگور به سرما شده است. تغذیه خوب با پتاسیم می‌تواند به گیاه وضعیت انرژی‌تیک دهد تا قسمت‌های آسیب‌دیده خود را بهتر ترمیم کند.

بنابراین، تامین نیاز پتاسیمی گیاه در مرحله رشد رویشی مدنظر بسیاری از محققان است. برای مثال، در اواسط مرحله ساقه رفتن گندم، می‌توان نسبت با محلول‌پاشی ترکیبات پتاسیمی گیاه را تقویت کرده و در افزایش عملکرد تاثیر گذارد. در واقع، بیشترین نیاز گیاهان به پتاسیم در زمان اوج رشد آن است. غلات در فاز رویشی خود به شدت به تغذیه با پتاسیم جواب مثبت می‌دهند. اختلال در تغذیه غلات با پتاسیم در مرحله ۲ تا ۳ برگی، تعداد ساقه‌های خوشه‌دار را کم می‌کند و اختلالات بعدی یعنی در زمان به ساقه رفتن، تاثیر منفی در وزن هزار دانه دارد. گیاهانی که میوه آبدار و اندام‌های ذخیره‌ای مثل گوجه‌فرنگی، انگور، سیب‌زمینی و چغندر قند می‌سازند، در طول دوره رشد رویشی به پتاسیم بسیاری نیاز دارند. در مرحله گل‌دهی و جوانه زنی انگور، مقدار پتاسیم برگ بسیار بالا است؛ بنابراین، هرچه توقع برداشت محصول بیشتر باشد و هرچه سایر عوامل به‌ویژه ازت و آب بیشتری در اختیار باشد، اهمیت کودهای معدنی پتاسیمی نیز بیشتر است. در تغذیه ضعیف با ازت، تاثیر کودهای پتاسیمی در تولید محصول کم است و برعکس در تغذیه خوب با ازت، این تاثیر کاملاً واضح به چشم می‌خورد. با این‌همه، تاثیر کودهای پتاسیمی به عامل‌های دیگری نیز بستگی دارد؛ از جمله ساختمان خاک که در گسترش سیستم ریشه‌ای نقش دارد. در حالتی که میزان کمی K^+ جذب‌پذیر در خاک مناسب باشد، مقدار کود پتاسیمی لازم را براساس دریافت K^+ در گیاه تعیین می‌کنند. بیشتر کودهای پتاسیمی محلول در آب هستند و به همین سبب پتاسیم آن‌ها به سرعت با پتاسیم خاک مخلوط می‌شود، به‌طوری‌که پتاسیم کودی و پتاسیم خاک هر دو در تولید محصول شرکت دارند. متداول‌ترین کودهای پتاسیمی بر پایه کلرید هستند (کم‌بیش ۴۸ درصد K_2O). کودهای کلریدی پتاسیم بیشتر برای غلات، چغندر قند، علوفه، چمن و مرتع استفاده می‌شوند و کودهای پتاسیمی سولفات (۵۲-۴۸ درصد K_2O) برای گیاهان حساس به کلرید مناسب هستند. این‌گونه گیاهان عبارت‌اند از: انگور، پنبه، نیشکر، توتون، سیب‌زمینی. تاثیر کودهای سولفات پتاسیمی در اراضی شور به مراتب بهتر از انواع کلریدی آن است.



مقدار پتاسیم در گیاه، به شدت تحت تاثیر تغذیه با پتاسیم قرار دارد و این مقدار در گیاهانی که کمبود دارند کم و غلظت آن در قسمت های سبز گیاه اغلب زیر 15 mg/kg ماده خشک است. غلظت پتاسیم در گیاهانی که خوب تغذیه شده اند $20-60 \text{ mg/kg}$ ماده خشک است. پیش تر گفته شد که گیاهان جوان از نظر پتاسیم غنی تر از گیاهان پیر هستند؛ بنابراین، غلظت پتاسیم در غلات به هنگام پنجه زنی کمابیش $50-60 \text{ mg/kg}$ ماده خشک و کلش رسیده $15-10 \text{ mg/kg}$ ماده خشک دارند (حق پرست تنها، ۱۳۷۱).

نیاز گیاهان مختلف به کلسیم متفاوت است. گرامینه ها از نوک ریشه و لگومینوزها از قسمت های پیر ریشه کلسیم جذب می کنند. کلسیم چهار نقش عمده در گیاه دارد: غشای سلولی را پایدار می کند، در ساختمان دیواره سلولی شرکت دارد، بر آنزیم ها تاثیر می گذارد و در فرایندهای هورمونی دخالت دارد. تاثیر کلسیم در پروتئین های غشایی و آنزیمی با خواص شیمیایی آن توجیه می شود. کمبود کلسیم همیشه با علائم خارجی مشخص نمی شود و در بسیاری از اوقات، گیاهان از رشد عقب می مانند. در کمبود کلسیم، رشد بافت های مریستمی متوقف می شود و در ادامه پیشرفت کمبود، این بافت ها می میرند. جوان ترین برگ ها کلروز می شوند و بیشتر برگ های پیر برعکس سبز تیره دارند و پهنه برگ در آن ها بزرگ تر می شود. آسیب ناشی از کمبود کلسیم در سلول های جوان، با نرم شدن و تغییر رنگ دیواره سلول ها شروع می شود و سپس اجزای تشکیل دهنده دیواره سلولی حل شده و ماده ای قهوه ای رنگ به وجود می آید که با تجمع در فضای داخل سلولی، آوندها را مسدود کرده و بدین ترتیب از انتقال مواد جلوگیری می کند. پس از این مرحله، آسیب های ثانویه مثل خم شدن و آویزان شدن قسمت بالایی ساقه و قهوه ای شدن رگ برگ ها در برگ های جوان ظاهر می شود. مقدار کلسیم گیاهانی که دچار کمبود هستند کم و بیشتر زیر 0.5 درصد در ماده خشک است. انتقال ناکافی کلسیم از طریق ترنسپیراسیون به قسمت های معینی از گیاه به ویژه میوه ها، سبب کمبود فیزیولوژیکی کلسیم در بسیاری از سبزی ها و انواع میوه ها مانند کرفس، کلم، فلفل، گوجه فرنگی و سیب می شود. در انتقال ناکافی کلسیم به میوه سیب، سلول ها ناقص می مانند و همین مسئله موجب تخریب بخش هایی از بافت می شود که به شکل لکه های قهوه ای دیده می شوند. مشخصه سیب های مبتلا، وجود مقدار کم کلسیم و مقدار زیاد K^+ و Mg^{2+} در آن ها است. در اثنای دوره رویشی گیاه، می توان از ایجاد بسیاری از کمبودهای کلسیمی در گیاه جلوگیری کرد. بیماری لکه سیاه گوجه فرنگی ناشی از کمبود کلسیم است که هوای سرد و رطوبت بروز این بیماری را تقویت می کند، نسبت بالای پتاسیم به کلسیم در محلول غذایی نیز این بیماری را تقویت می کند. خاک به کود کلسیمی زیادی نیاز دارد و این مقدار به مراتب بیشتر از نیاز کلسیمی گیاه است. برای بهبود وضعیت خاک به آن کود آهکی می دهند و در صورت مناسب شدن وضعیت کلسیمی خاک، گیاهان نیز می توانند در صورت از آن تغذیه کنند. خاک های مناطق مرطوب همیشه گرایش به اسیدی شدن و فقیر شدن از کلسیم دارند؛ بنابراین، می توان از کربنات ها، اکسیدها و سیلیکات های کلسیم و منیزیم در این خاک ها استفاده کرد. در خاک های قلیایی، باید یون های کلسیمی به خاک اضافه کرد تا یون های سدیم از کمپلکس های جذبی خارج شوند. افزون بر آن، باید سعی کرد تا حد امکان pH

خاک نیز کم شود. در چنین مواردی، استفاده از گچ گزینه مناسبی است زیرا تاثیر خنثی دارد. در هر حال، مقدار زیادی کلسیم در سال از دست می-رود؛ از این رو، حتی هنگامی که وضعیت آهک هنوز خوب است نیز می توان کوددهی کرد. آهک نگهداری کننده را باید هر سه سال یکبار به خاک داد و این عمل بیشتر در اواخر تابستان یعنی پس از برداشت محصول انجام می شود و آهک داده شده با بقایای محصول به زیر خاک منتقل می شود. با وجود این، افزایش pH خاک موجب تثبیت میکروالمانت ها می شود و قابلیت جذب عناصری مانند Fe، Mn، Zn، Cu و برات (B) در گیاهان با افزایش pH خاک کمتر شده، حتی در شرایطی نیز آثار کمبود عناصر یادشده نمایان می شود. به ویژه در خاک های مردابی نباید آهک زیاد مصرف کرد زیرا به طور معمول، در اینجا در محدوده pH= 4-5 رشد اپتیمم گیاه حاصل می شود.

۶-۱- تغذیه با میکروالمنت ها:

آهن: در شرایط هوای حلالیت آهن بسیار ضعیف است و برای تامین ریشه گیاهان کافی نیست. ریشه ها و میکروارگانسیم های زیادی باید برای متحرک شدن آن همکاری کنند تا میزان آهن بیشتری قابل استفاده شود. قارچ ها و باکتری های بسیاری قادر به ساخت حامل ویژه آهن یعنی زیدروفور (Siderophore) هستند. این مواد به کمپلکس های آهن سه ظرفیتی متصل شده و به این وسیله، از رسوب شدن آن جلوگیری می کنند. برخی از گیاهان پروتون (H^+) زیادی از ریشه ترشح می کنند تا با کاهش pH خاک، ترکیبات آهن دار موجود در محیط ریشه بیشتر محلول شده و آن را جذب کنند. آهن بیشتر از نوک ریشه جذب می شود، نوک ریشه فیتوزیدروفور ترشح کرده و آهن را به شکل ترکیب فیتوزیدروفور- آهن جذب می کند. بخش بزرگی از آهن موجود در سلول به صورت ذخیره ای است (فرم فریتین) و تامین تدریجی گیاهان را با آهن تضمین می کند. تغذیه ناکافی با آهن، به سبب کاهش سنتز کلروفیل، خود را به شکل بی رنگ و زرد شدن برگ ها نمایان می سازد. برای سنتز ماده اولیه کلروفیل آهن نیاز است، همچنین در نبود تغذیه با آهن، سنتز پروتئین های مختلف کلروپلاستی هم کاهش می یابد (پروتئین های که در فتوسیستم I و II و کمپلکس سیتوکروم b/f قرار دارند). در تغذیه با آهن، مقدار کلروفیل و پروتئین کلروپلاستی بیشتری ساخته شده و سبب سبز شدن دوباره گیاه می شود. کمبود فیزیولوژیکی آن در خاک های آهکی (کربناتی و شور) و به ویژه در گیاهان انگور، میوه های مختلف، مرکبات، ذرت و سویا دیده می شود. در شرایط پرباران، تجمع HCO_3^- سبب کلروز آهن می شود و گیاهان می توانند با ترشح H^+ در ریشه، HCO_3^- را خنثی کنند. برای کاهش کلروز آهن، استفاده از کودهای آلی ثمربخش بوده، همچنین برای جلوگیری از کلروز آهن استفاده از کلات آهن توصیه می شود. این ماده را می توان از طریق برگ یا از خاک به گیاه داد. عرضه آن از طریق برگ باید در چندین نوبت انجام شود. به تازگی گزارش شده است که استفاده از کمپوست های آهن دار و یا کود دامی، در مبارزه با کلروز آهن با ارزش هستند.



منگنز:

منگنز موجود در محلول خاک و همچنین منگنزه‌های جذب‌شده به کلوئیدها، فقط دو ظرفیتی است تا برای گیاهان قابل استفاده باشد. ریشه گیاهان در قابلیت جذب شدن منگنزه‌های سخت محلول شرکت دارند. هرچه pH خاک بالاتر باشد، برای تغذیه خوب گیاهان با منگنز، به منگنز فعال بیشتری نیاز است. مقدار تهویه خاک نیز در آزادسازی منگنز نقش دارد؛ هرچه تهویه خاک نامناسب‌تر باشد، احیای ترکیبات چندظرفیتی منگنز به ترکیبات دوظرفیتی بیشتر است. در این حالت، قابلیت جذب منگنز بیشتر است و احتمال بروز مسمومیت افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان داده است که غرقاب شدن خاک برای مدت کوتاهی موجب افزایش بیش از اندازه منگنز در یونجه شده که با کاهش چشمگیر محصول همراه بوده است. علائم مسمومیت در برگ‌های پیر، به صورت لکه‌های کلروز و نقطه‌های قهوه‌ای که از رسوبات MnO_2 تشکیل شده ایجاد می‌شود. انواع مختلف گیاهان در مقابل وفور منگنز مقاومت متفاوتی نشان می‌دهند؛ یونجه و خیار در مقابل فراوانی Mn بسیار حساس هستند، درحالی‌که جو و برنج مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند. بیشتر خاک‌ها به اندازه کافی منگنز دارند و نیاز به کوددهی مداوم منگنز نیست؛ با این حال، در خاک‌های آلی تغذیه ناکافی با منگنز مشاهده می‌شود. کوددهی به برگ با ترکیبات منگنزدار، می‌تواند در رفع کمبود منگنز تاثیر داشته باشد. به طور معمول در خاک‌های کربناتی با pH بالا، موارد کمبود این عنصر دیده می‌شود. علامت کمبود منگنز را که به شکل کلروز بین‌برگی در برگ‌های جوان در اوایل دوره رویشی دیده می‌شود، می‌توان با مصرف ۵ تا ۱۰ کیلوگرم منگنز در هکتار مرتفع کرد.

مس:

بیشینه مقدار مس در خاک بین ۵ تا ۱۰ میلی گرم در یک کیلوگرم خاک است و بیش از پنجاه درصد آن به مواد آلی متصل است. مس به شدت به اکسیدهای منگنز و آهن متصل می‌شود و تحرک مس به سبب شدت پیوند آن با کلوئیدهای خاک بسیار ضعیف است. مس‌هایی که همراه با مصرف محلول‌های پاششی مس دار به خاک داده می‌شود، بیشتر در لایه فوقانی خاک باقی می‌مانند. کمبود مس بیشتر در خاک‌های آلی دیده می‌شود و مواد آلی به شدت مس را تثبیت می‌کنند. گیاهان به مقدار کمی مس را جذب می‌کنند که این میزان به طور معمول برابر با ۲۰-۲ میلی گرم مس در یک کیلوگرم ماده خشک گیاهی است. تحرک این عنصر در گیاه کم است. غلظت مس در کلروپلاست زیاد بوده و همچون جزء فلزی در پلاستوسیانین، نیاز الکترونی فتوسیستم I را تامین می‌کند. همچنین آنزیم سوپراکسید دیسموتاز یک پروتئین Cu/Zn دار است که در سم‌زدایی رادیکال آزاد اکسیژن و تبدیل آن به آب اکسیژنه موثر است. کمبود مس در غلات اغلب پس از پنجه زنی و از نوک برگ‌ها شروع می‌شود، نوک برگ‌ها سفید می‌شوند و برگ‌ها باریک مانده به دور خود می‌چرخند. رشد میان‌گره‌ها تضعیف شده و با پیشرفت دوره رویشی، کمبود شدت می‌یابد و در موارد حاد، خوشه دهی متوقف می‌شود؛ بنابراین، نوک سفید و تاب‌خورده و تشکیل نیافتن سنبله و خوشه علامت کمبود



مس است. در درختان میوه، نشانه‌های کمبود مس به صورت از بین رفتن جوانه‌های کوچک، کلروز و نکروز شدن حاشیه برگ‌ها بوده و مانند غلات، از تولید شکوفه و میوه جلوگیری می‌شود. به‌طور معمول، تمام خاک‌ها نیاز کم گیاه به مس را در تغذیه برطرف می‌کنند. کمبود مس بیشتر در خاک‌های شنی هوموسی و مردابی دیده می‌شود. حساس‌ترین گیاهان به کمبود مس یولاف، جو و گندم هستند و چاودار، کتان، کنف، پنبه، ارزن، شبدر قرمز واکنش کمتری در مقابل کمبود مس نشان می‌دهند. سیب‌زمینی نسبت به تغذیه با این عنصر کم‌توقع‌ترین است. سولفات مس مانند کود مسی استفاده می‌شود و مقدار آن به‌طور معمول، ۵ تا ۱۰ کیلوگرم مس در هکتار است (حق پرست تنها، ۱۳۷۱).

روی (Zn):

مقدار روی (Zn) در خاک بستگی زیادی به معدنی‌های موجود در خاک (بیوتیت، آمفیبول و پیراوکس) دارد. در غرقابی شدن خاک، مقدار زیادی H_2S ساخته می‌شود که می‌تواند در ترکیب با روی موجود در خاک رسوب ZnS ایجاد کند؛ بنابراین، غرقابی شدن خاک مقدار Zn محلول را به شدت کاهش می‌دهد. این فرایند می‌تواند سبب کمبود روی در برنج شود. قابلیت جذب روی در خاک‌های قلیایی کم است. بیشترین بخش از روی محلول به کمپلکس‌های آلی متصل است و این عنصر بیشتر به شکل Zn^{2+} و در pH بالا نیز به شکل $ZnOH^+$ جذب می‌شود. روی از طریق آوند چوبی و آبکش به قسمت‌های دورتر و به شکل Zn^{2+} و کمپلکس‌های آلی روی دار منتقل می‌شود. فسفات تاثیر روی را کاهش می‌دهد و تغذیه زیاد با فسفات می‌تواند منجر به کمبود روی شود. جلوگیری از سنتز IAA در کمبود روی، مهم‌ترین عامل برای تضعیف رشد محسوب می‌شود. در این حالت، اندام‌های گیاهی به‌ویژه برگ‌ها کوچک می‌مانند. و فواصل بین رگ‌برگ‌ها زرد، سبز کم‌رنگ و گاهی سفید می‌شوند. این نوع کلروز در تک‌لپه‌ها به شکل نواری ظاهر می‌شود. کمبود روی در درختان میوه، کوچک ماندن و تغییر شکل برگ‌ها را در پی دارد و برگ‌ها بیشتر به صورت مجتمع در می‌آیند؛ رشد شاخه‌ها کم می‌شود، و جوانه‌های کوچک از بین می‌روند و به‌طور معمول، پیش از موعد مقرر می‌ریزند. کمبود روی در انگور موجب تشکیل برگ‌های کوچک همراه با لکه‌هایی در قسمت میانی شده، شاخه‌های باریک و نیز شاخه‌های فرعی زیادی ایجاد می‌شود و دانه‌های انگور کوچک می‌مانند. از میان مهم‌ترین گیاهان زراعی، ذرت حساسیت ویژه‌ای به کمبود روی دارد. درحالی‌که یولاف، گندم و چاودار غیرحساس هستند. مصرف روی در ذرت سبب افزایش محصول می‌شود. میزان دریافت این عنصر در گیاهان، ۰/۵ کیلوگرم روی در هکتار است و مقدار مصرف کود روی باید چندین برابر بیشتر از مقدار دریافت گیاه باشد. مقدار کود لازم برای خاک‌های سنگین ۱۵-۱۰ کیلوگرم روی در هکتار و در خاک‌های سبک ۸-۵ کیلوگرم روی در هکتار است. برای گیاهان چندساله، محلول‌پاشی با کودهای روی ۰/۵ تا ۱ درصد سولفات روی توصیه می‌شود (حق پرست تنها، ۱۳۷۱).



بور (B):

مقدار کل بور (B) در خاک ۲۰-۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک است. به طور معمول، خاک های شور بور زیادی دارند. بور محلول در خاک، بیشتر به شکل اسید بوریک $B(OH)_3$ است. جذب برات بی گمان به pH بستگی دارد و مطابق با آن، قابلیت جذب برات در گیاهان پس از $pH=6$ ، با افزایش pH کاهش می یابد ولی pH پایین تر از ۶/۳ روی قابلیت جذب برات اثر ندارد. مقدار زیادی از ذخیره بور در خاک های سبک، در بیشتر مواد آلی یافت می شود. گیاهان بور را به صورت یونیزه نشده یعنی به شکل H_3BO_3 جذب می کنند. آثار کمبود بور در گیاهان بیشتر در قسمت های مریستم انتهایی ظاهر می شود. بور نقش مهمی در خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی و پایداری ممبران های سلولی دارد و می تواند ATP-آز ممبرانی را تقویت کند؛ این نتایج نشان می دهد که در کمبود بور، انتقال آسیمیلات از برگ ها متوقف می شود. بور اهمیت زیادی در متابولیسم RNA گیاهی دارد. در کمبود بور، سنتز اسیدهای نوکلئیک کاهش یافته و در پی آن سنتز پروتئین هم کاهش می یابد. در کمبود بور رشد سلول متوقف می شود و در تغذیه ناکافی با بور، ریشه مقدار آسیمیلات کمتری در اختیار دارد. کمبود بور سبب توقف در رشد گیاه و توقف در هم پیچیدگی برگ ها می شود، برگ ها ضخیم شده و به رنگ سبز متمایل به خاکستری می آیند و در کل، گیاه کوتاه و کوچک می شود. این کمبود ریشه ها را نیز ضخیم و کوتاه کرده و سبب می شود تا نوک ریشه ها نکروزه شده و بافت پوست ریشه شکاف بردارد. گاهی هم اصلاً ریشه ای ساخته نمی شود. مهم ترین کودهای بور شامل بربراکس، اسید بوریک، تتراپورات سدیم، پنتا پورات سدیم و مخلوطی از دو ماده اخیر می شوند. این ترکیبات محلول در آب هستند و به همین سبب می توان آن ها را برای کوددهی برگ و همچنین خاک به کار برد. گیاهان بور را به خوبی جذب می کنند و در عرضه زیاد آن، دچار مسمومیت ایجاد می شوند. چغندر قند به ۲-۱ کیلوگرم بور در هکتار نیاز دارد. لگومینوزها و انگور به بور زیادی نیاز دارند. در صورت نبود بور کافی در انگور، حبه های انگور کوچک و ترش می مانند و عملکرد انگور کاهش می یابد. مصرف بور در بهار بهتر از پاییز است. آزمایش ها نشان داده است که استفاده از بور برای هر درخت در مرکبات سبب رفع کمبود بور در آنها شده است. با این همه، باید از مصرف زیاد بور اجتناب کرد زیرا فاصله بین کمبود بور و مسمومیت آن بسیار کوتاه است. گیاهانی مثل چغندر قند، هویج، کرفس، منداب، پنبه، یونجه و انگور به کمبود بور حساس هستند. گیاهانی همچون کتان، ذرت، کلم، اسفناج، توتون، گوجه فرنگی و شبدر حساسیت کمتری به بور دارند و از گیاهان غیر حساس به بور، می توان گندم، جو، یولاف، سورگوم، سویا، سیب زمینی و نیشکر را نام برد. کمبود بور در چغندر قند، سبب پوسیدگی و فساد مرکز رویشی آن می شود. pH بالا این بیماری را تشدید می کند. برگ های جوان قسمت های داخلی چغندر قند قهوه ای و سیاه می شوند و کمی بعدتر، فساد غده آغاز شده و به تدریج از قسمت بالا پوک و سوراخ می شود. کرفس نیز همین علائم را نشان می دهد. در برخی از چغندر ها ریشه ها بیشتر سخت و صابونی شده و حفره بزرگی در غده ها ایجاد می شود. سطح ناصاف، لکه دار و همچنین سوراخ شده و کرک دار در قسمت های مختلف گوجه فرنگی، گل کلم، و نیز سیب و مرکبات از علائم کمبود بور در آنها است. خشکی کمبود بور را تشدید می کند.



بررسی‌ها نشان می‌دهد که جذب عناصر غذایی در ریشه‌ها، در پاسخ به افزایش ذخیره عناصر غذایی تا زمانی که بیشترین مقدار جذب به وضعیت ثابتی برسد، روند افزایشی خواهد داشت. این پروسه مشابه منحنی‌های فتوسنتزی و اکتنش به نور و CO_2 است؛ بنابراین، افزایش سطح سبز نیاز به تامین عناصر غذایی را ملزم می‌کند. در این راستا، گیاه از مسیرهای مختلف آن‌ها را تامین می‌کند؛ بخشی از نیاز خود را از ذخایر عناصر در اندام‌های خود برآورده می‌کند. برای نمونه در خاک‌های غنی از ازت، گیاه ازت را به‌صورت نیترات در دمبرگ‌ها و شاخه‌های گونه‌های سریع‌الرشد ذخیره می‌کند. همچنین در شرایطی که دسترسی به ازت در حد متعادل است، ازت به‌شکل اسیدهای آمینه، آمیدها یا پروتئین‌ها ذخیره می‌شود. برگ‌ها مقادیر زیادی رایبیسکو دارند که ممکن است در فتوسنتز نقش نداشته باشد و این ماده می‌تواند مانند یک منبع آمینو اسید، قابل‌صدور به سایر بخش‌ها باشد. فسفر به‌صورت فسفات معدنی (مثل ارتوفسفات یا پلی فسفات) و نیز در ترکیبات آلی فسفات‌دار [مثل فیتیت (اینوسیتول هگزا فسفات)] ذخیره می‌شود. در سویا، علاوه بر پروتئین‌هایی که هنگام رشد رویشی در متابولیسم اولیه گیاه ذخیره می‌شوند، پروتئین‌های ذخیره‌ای رویشی خاصی نیز وجود دارند. این گلیکوپروتئین‌های واکوئلی به مقدار فراوان، در غلاف آوندی و سلول‌های مزوفیل مربوطه و نیز در اپیدرم بالایی برگ‌ها تجمع می‌یابند. در محور زیر لپه نیز پروتئین‌های ذخیره‌ای در بافت‌های آوندی و اپیدرم جمع می‌شوند. همچنان که این اندام‌ها آغاز به رسیدن می‌کنند، پروتئین‌های ذخیره‌ای هیدرولیز شده و آمینو اسیدها صادر خواهند شد. باین‌حال، مقدار ذخیره پروتئین‌ها در گیاه سویا به مقدار ازت موجود در دسترس گیاه بستگی دارد. شرایطی همچون کمبود آب، ایجاد زخم و مانند این‌ها سبب افزایش تجمع پروتئین‌ها در برگ سویا خواهند شد. با این وصف، نیاز کودی گیاهان را می‌توان از دو روش مختلف تعیین کرد: الف) از طریق میزان رشد و مقدار مواد معدنی موجود در گیاهان زراعی (تجزیه گیاه). ب) از طریق عصاره‌گیری خاک با محلول‌های مختلف، مقدار مواد معدنی حل‌شده می‌تواند معیاری برای قابلیت جذب مواد باشد (تجزیه خاک).

تجزیه گیاه به‌ویژه برای درختان میوه و درختان جنگلی اهمیت زیادی دارد زیرا ریشه این درختان به‌شدت در خاک فرو می‌روند و از منطقه‌ای که آن‌ها مواد غذایی را جذب می‌کنند، به‌سختی می‌توان نمونه برداری کرد. به‌همین سبب، تجزیه برگ برای تعیین نیاز کودی آن‌ها ارجح‌تر است. هرچند تجزیه برگ برای تعیین چگونگی وضعیت تغذیه درختان در باغ‌های میوه بسیار متداول است، مقدار عناصر لازم برای تغذیه خوب در میوه‌های مختلف و حتی واریته‌های مختلف متفاوت است. آنالیز گیاه در گیاهان یک‌ساله سوال‌برانگیزتر است زیرا مقدار مواد جذب‌شده به‌شدت تحت تاثیر شرایط جذبی در همان سال قرار دارد. درباره تغذیه کافی گیاهان زراعی با عناصر غذایی مسلم شده است که هرچه مقدار رس خاک بیشتر باشد، مقدار عناصر غذایی آن نیز در سطح بالاتری قرار دارند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶).



۷-۱- تغذیه در مراحل فیزیولوژیکی زایشی: مرحله پیش از گل دهی، آغاز گل دهی، پنجاه درصد گل دهی، پنجاه درصد دانه بندی، مرحله پرشدن دانه و مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی

نوعی گذار تدریجی از مرحله گیاهچه ای با کمترین ذخایر به مرحله جوانی، با تجمع مواد ذخیره ای برای مقاوم ساختن گیاه به شرایط نامساعد محیطی شکل می گیرد. از نظر طول مرحله جوانی و مقدار تجمع مواد ذخیره ای بین گیاهان تفاوت فاحشی وجود دارد. برخی از گیاهان مانند سلمه، می توانند بلافاصله پس از جوانه زنی و در مرحله لپه ای وارد گل دهی شوند، درحالی که بعضی از درختان برای ورود به مرحله زایشی به ده ها سال زمان نیاز دارند. به طور معمول، گیاه با واسطه هورمون ها به مرحله زایشی وارد می شود. گیاهان یک ساله اغلب مقدار اندکی از منابع اکتسابی (کربن و مواد غذایی) را برای ذخیره سازی اختصاص می دهند، در صورتی که که از مشخصه های گیاهان چندساله، ذخیره سازی مواد غذایی و هیدرات کربن است. گونه های دوساله مشخصاً تا زمانی که منابع ذخیره آنها برای تبدیل به مرحله زایشی کافی نباشد، به صورت رویشی روزت رشد می کنند (کافی و همکاران، ۱۳۷۸).

کمی کردن اختصاص برای تولیدمثل مشکل است زیرا گل آذین اغلب نیاز کربن خود را تامین می کند و نیز به این سبب که بعضی از اندام ها هم نقش رویشی و هم نقش زایشی دارند، قسمت عمده ای از هزینه انرژی تولیدمثل از طریق فتوسنتز و برگ ها تامین می شود. برای نمونه، فتوسنتز گل آذین ۲ تا ۶۵ درصد (میانگین ۲۲ درصد) از نیاز کربن تولیدمثل را در درختان مناطق معتدله تامین می کند. در غلات، خوشه تا ۷۵ درصد نیاز فتوسنتز را برای تولید دانه را تامین می کند و گل آذین و نزدیک ترین برگ (برگ پرچمی) کل نیاز فتوسنتزی را برای تولیدمثل تامین می کنند. سرعت فتوسنتزی بالای برگ پرچم نتیجه توانایی زیاد بخش های زایشی مجاور است، البته انتقال مواد فتوسنتزی از برگ ها به بخش زایشی در حمایت از این بخش، به تلفیق مقدار کربن و نیاز کل گیاه بستگی دارد. پس از گل دهی، مواد متحرک در آوند آبکش از برگ های پیر و ریشه ها، به میوه های در حال رشد منتقل می شوند. آنزیم های پروتئولیتیک هیدرولیز و اسیدهای آمینه آزاد پروتئین های برگ را با آوند آبکش از برگ خارج می کنند و سپس این پروتئین ها به سمت مکان های مصرف هدایت می شوند. بررسی ها در گندم نشان داده است که پنج روز پس از گرده افشانی، طی روز دانه ها موجب تجمع ۸۵۰ میکروگرم ازت می شوند که همه آن از قسمت های پیر گیاه حاصل شده و ازت خاک در زمان گرده افشانی کاملاً تخلیه شده است. همه اندام های رویشی تلفات و فقدان ازت دارند، اما همچنان به صادرات ترکیبات ازته از طریق آوند چوبی (اندام های بالای سطح زمین) یا آبکش (ریشه ها) ادامه می دهند. برگ ها مقداری از ازت خود را به طور مستقیم به دانه های پر شده منتقل می کنند ولی مقداری از آن، از طریق ریشه ها پیش از رسیدن به دانه ها چرخه ای می شود.

غلظت عناصر غذایی در بافت ها در حین زمان رشد فرق می کند؛ با این حال، گیاهان در مقدار و زمان عناصر غذایی بازپس گرفته شده به هنگام پیری و پیش از ریزش برگ با یکدیگر اختلاف دارند. همچنین غلظت عناصر



غذایی موجود در بافت‌ها، خود بنا بر مقدار تخصیص آنها متفاوت است. فرایندهای مربوط به دخل و خرج کربن در انتهای دوره رشدی، میزان کارایی و مصرف عناصر غذایی را مشخص می‌کند. به سبب نوسانات کوتاه‌مدتی که در ترکیبات شیمیایی گیاهان وجود دارد (مانند نوسانات روزانه نشاسته در کلروپلاست‌ها یا نیترات در واکوئول‌ها، بخشی از مواد به‌صورت موقت ذخیره می‌شوند. ذخیره‌سازی زمانی رخ می‌دهد که شرایط برای فتوسنتز، مساعدتر از شرایط برای تحصیل منابع غذایی است؛ برای نمونه، به هنگام وفور ازت یا وقتی که تامین ازت بیش از میزان ازت لازم برای رشد است، ازت در گیاه ذخیره می‌شود. ذخیره‌سازی موجب می‌شود تا کربن و عناصر غذایی که در حین رشد به دست می‌آیند، فقط صرف فرایند تنفس شود. مواد ذخیره‌ای وابستگی گیاه را به فتوسنتز جاری و جذب مواد غذایی از خاک کم می‌کنند، به‌ویژه هنگامی که تقاضا برای این مواد بالا است و برگ‌های موجود نیز توانایی تامین منابع را ندارند. برای مثال، در تغییر از حالت رویشی به زایشی که یک منبع بزرگ (دانه) ایجاد می‌شود، این مواد ذخیره‌ای کارایی دارند. طی تغییر از فاز رویشی به زایشی که بیشتر با افت موقت رشد رویشی (در گیاهان رشد نامحدود) یا توقف رشد رویشی (در گیاهان رشد محدود) همراه است، بخشی از مواد غذایی در مرحله رشد زایشی، از بازگردش مواد غذایی حاصل می‌شود. تشکیل ذخایر و بازگردش مواد غذایی نشان داده است که ۳۰ تا ۶۰ درصد از ازت و فسفر لازم برای رشد مجدد در بهار، از مواد غذایی ذخیره و بازگردش‌شده از برگ‌ها و دیگر قسمت‌ها تامین شده است. از این‌رو، تامین مقدار ازت و فسفر برگ در دوره رشد رویشی، تاثیر چشمگیری در بازگردش آن‌ها از سمت ذخیره به سمت مصرف در اندام‌های زایشی دارد که به‌طور معمول، این مهم از طریق اعمال کود سرک ازت در مرحله رویشی (دو تا سه بار) تامین می‌شود. گیاهان یک‌ساله، که بیشتر گیاهان زراعی در این گروه قرار می‌گیرند، مقدار کمی از کربن و عناصر غذایی را به صورت مواد ذخیره‌ای اختصاص می‌دهند. این گیاهان عمر کوتاهی دارند و در طول دوره زندگی، برای تشکیل بذر و اجتناب از تنش برنامه‌ریزی می‌کنند. هنگام پر شدن دانه، ذخایر کربوهیدرات موجود در ساقه تخلیه می‌شود و پس از هیدرولیز پروتئین به آمینواسید، ازت سرمایه‌گذاری‌شده در دستگاه فتوسنتزی با آوند آبکش صادر می‌شود. تجزیه تدریجی و صدور منابع سرمایه‌گذاری‌شده در برگ‌ها، در مرحله پیری برگ و بیشتر با ظهور و توسعه اندام‌های زایشی رخ می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که طی توسعه اندام‌های زایشی، ریشه‌ها و برخی از قسمت‌ها دچار تلفات خالص ازت و کاهش جذب مواد غذایی می‌شوند. برای مثال در دانه‌های گندم، ازت (بیشتر به‌صورت آمینواسیدها و آمیدهای ناشی از هیدرولیز پروتئین) از پوشینه‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های در حال پیر شدن و نیز تجمع همان مقدار، در حد فاصل بین ۹ تا ۱۵ روز پس از گل‌دهی صادر می‌شود. به‌طوری‌که در این دوره به ازای هر روز، از ازت پوشینه‌ها، برگ‌ها، ساقه و ریشه‌ها به ترتیب ۱۹۲، ۳۳۵، ۱۹۳ و ۱۳۲ میلی گرم کسر می‌شود. این اعداد نشان می‌دهد که طی فرایند زایشی، تامین عناصر غذایی به‌صورت سرک یا محلول‌پاشی، اهمیت فراوانی در توسعه اندام‌های زایشی دارد. در مثالی دیگر، در سویا افزون بر پروتئین‌هایی که هنگام رشد رویشی در متابولیسم اولیه گیاه به مصرف می‌رسند، پروتئین‌های ذخیره‌ای خاصی نیز وجود دارند.



این گلیکوپروتئین های واکوئلی به مقدار فراوان در غلاف آوندی و سلول های مزوفیل مربوطه و نیز در اپیدرم بالایی برگ ها تجمع می یابند و همچنان که این اندام ها شروع به رسیدن می کنند، پروتئین های ذخیره ای هیدرولیز شده و آمینو اسیدها نیز صادر می شوند. از این رو و بر اساس توضیحات یادشده در بالا، برای حمایت از بخش زایشی در تامین عناصر غذایی لازم، باید این عناصر را در انتهای مرحله رویشی یا اوایل دوره گل دهی به شکل سرک به گیاه داد. برای مثال، از طریق محلول پاشی با کودهای جدید اسیدامینه و کودهای ازته یا سایر زیرمغذی ها (بر اساس نتایج تجزیه برگ و خاک) می توان کمبود آن ها را مرتفع ساخت.

۸-۱- خلاصه

رشد افزایش بی برگشت در ابعاد یک موجود یا یک گیاه مثل افزایش ارتفاع، قطر، سطح و یا زیست توده در طی زمان تعریف می شود که با مهیا شدن شرایط رشدی، قادر به ادامه چرخه زندگی خود و رسیدن به عملکرد است. عبور از مراحل نمویی، مستلزم تامین نیازهای غذایی گیاه است؛ هرچند این موارد به صورت ژنتیکی مدیریت می شوند، اما شرایط محیطی در به فعلیت رساندن توان ژنتیکی موثر است. سرعت و زمان ظهور مراحل رشدی را می توان با استفاده از مدیریت به زراعی تسریع کرد. برای مثال، در مرحله جوانه زنی می توان با پرایم کردن بذرها با انواع کودهای میکروالمنت (مانند روی)، زیستی و مانند این ها به استقرار سریع تر گیاه در مزرعه کمک کرده و موجب افزایش سطح سبز معنادار در گیاهان شد. در مرحله رشد رویشی که رویدادهای بی شماری در حال وقوع است، تامین عناصر تغذیه ای بر اساس آنالیزهای آزمایشگاهی خاک و برگ گیاهان، سبب افزایش بنیه تولید اندام های زایشی یا موجب فرونشست آن ها در مکان های ذخیره ای مثل ساقه، دم برگ و مانند آن ها می شود و هنگامی که مخزنی بزرگ مانند دانه تشکیل می شود، بر اثر انتقال مجدد عناصر غذایی به آن ها، سبب افزایش تعداد و وزن دانه می شود. تغذیه مناسب در دوران رشد رویشی، افزایش توانایی گیاه در مواجهه با شرایط نامساعد محیطی (مانند خشکی، سرما و امثال آنها) را در پی دارد. عبور از مرحله رویشی به زایشی و تامین نیازهای گیاه در این دوره، سبب افزایش تعداد گل های بارور و افزایش تعداد و وزن دانه در بوته می شود که سرانجام، افزایش عملکرد را به دنبال خواهد داشت؛ بنابراین، استفاده از عناصر تغذیه ای زمانی بیشترین کارایی را خواهد داشت که این عناصر به درستی انتخاب شده باشند.

آشنایی با عناصر غذایی لازم برای گیاه

هدف های رفتاری:

فراگیر پس از مطالعه این فصل قادر خواهد بود:

- ۱- با انواع عناصر غذایی که محدود کننده رشد هستند آشنا شود
- ۲- منظور از قابلیت تحرک عناصر غذایی در خاک را به تواند توضیح دهد
- ۳- علت تکرار مصرف عناصری غذایی که قابلیت تحرک در خاک را دارند توضیح دهد
- ۴- نقش کارکردی عناصر غذایی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه را ارائه نماید
- ۵- علائم کمبود عناصر پر مصرف و کم مصرف را بتواند شناسایی نماید
- ۶- با شکل قابل جذب عناصر غذایی آشنا شود.

۱-۲- مقدمه

عناصر غذایی معدنی همواره بین موجودات زنده و محیط زندگی آنها در گردش هستند. جذب و آسیمیلاسیون مواد معدنی در گیاهان طی هر مرحله از رشد آنها، بخشی از چرخه مواد غذایی در بیوسفر است. عناصر غذایی معدنی از طریق سیستم‌های ریشه‌ای و به کمک بخشی از ریزموجودات خاک زی مانند باکتری‌ها و برخی از قارچ‌ها (مایکوریزا) به گیاه وارد می‌شوند. پویایی و ارتباط زیاد سیستم ریشه‌ای با خاک، در فراهم‌سازی آب و مواد غذایی محیط اطراف آنها برای رشد مهم است. بررسی‌ها نشان داده است که 67% کل سطح ریشه با ریشه‌های موین اشغال شده است. نوع سیستم ریشه‌ای نیز در گسترش آن اهمیت دارد؛ برای نمونه، در تک‌لپه‌ها گسترش ریشه با خروج ۳ تا ۶ ریشه بذری از بذر در حال جوانه زدن شروع می‌شود. با ادامه رشد، ریشه‌های نابه‌جای جدید، که ریشه‌های گره‌ای یا ریشه‌های هوایی نامیده می‌شوند، سیستم ریشه‌ای افشان را تشکیل می‌دهند. در دولپه‌ای‌ها، سیستم ریشه در طول یک محور با نام ریشه اصلی توسعه یافته و ضخامت آن نیز در نتیجه فعالیت کامبیوم ثانویه افزایش می‌یابد.

منطقه دقیق ورود مواد معدنی به داخل سیستم ریشه برای عناصر مختلف متفاوت است. برخی از نوک ریشه و برخی از تمامی نقاط ریشه جذب‌پذیر هستند. در جو پتاسیم و فسفات آمونیوم به راحتی و آزادانه از همه نقاط سطح ریشه جذب می‌شود. بیشترین جذب کلسیم یا آهن در نوک ریشه است. عناصر غذایی با دو روش جریان توده‌ای و انتشار به سوی ریشه حرکت می‌کنند. وقتی که جذب عناصر غذایی از ریشه زیاد و غلظت آنها در خاک کم باشد، روش جریان توده‌ای بخش کوچکی از کل عناصر غذایی لازم را تامین می‌کند. از سوی دیگر، جذب عناصر غذایی به وسیله ریشه، سبب کاهش غلظت عناصر در سطح ریشه شده و در نتیجه، شیب غلظت در محلول خاک اطراف ریشه ایجاد می‌شود. انتشار عناصر غذایی در جهت شیب غلظت، فراهم‌سازی مواد غذایی در سطح ریشه را افزایش می‌دهد. به طور معمول، ریشه‌ها عناصر غذایی موجود در اطراف خود را تخلیه می‌کنند؛ بنابراین، باید به خصوصیات رشدی ریشه در دسترسی به منابع جدید عناصر غذایی توجه کرد.

همه اجزای خاک در فراهم‌سازی عناصر غذایی در سطح ریشه دخیل هستند. ذرات غیرآلی جزء جامد همچون مخزن عناصر غذایی از جمله پتاسیم، کلسیم، منگنز و آهن عمل می‌کنند. ذرات آلی حاوی ازت، فسفر، گوگرد نیز با جزء جامد خاک ارتباط دارند. جزء مایع، محلول خاک را ایجاد کرده و یون‌های محلول را در خود جای می‌دهد و همچون بستر حرکت یون‌ها به سمت ریشه عمل می‌کند. امکان انحلال اکسیژن و دی‌اکسید کربن در محلول خاک وجود دارد که در این حالت، در فضای آزاد بین ذرات خاک تبادل می‌شوند. فراهم بودن اکسیژن برای تنفس سلولی ضروری است زیرا تنفس منبع انرژی متابولیکی برای تداوم جذب عناصر غذایی محسوب می‌شود. بار منفی موجود در سطح خاک، جذب سطحی آنیون‌ها و کاتیون‌های معدنی را متاثر می‌سازد.

قابلیت دسترسی عناصر غذایی به شدت تحت تاثیر pH خاک قرار دارد. ریشه‌ها برای رشد خود محیط



اندکی اسیدی را ترجیح می‌دهند ($pH = 5/5$ تا $6/5$). به‌طور معمول، در خاک مجاور ریشه که pH اسیدی دارد، قارچ‌ها غالب بوده و برعکس باکتری‌ها، در pH بالاتر غالبیت خود را اعمال می‌کنند. pH خاک تعیین‌کننده مواد غذایی دسترس‌پذیر گیاه است؛ برای مثال، pH پایین خاک سبب بهبود هوادیدگی سنگ‌ها شده و یون‌هایی نظیر Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، K^+ و Mn^{2+} را آزاد می‌کند. در pH پایین، قابلیت انحلال نمک‌های موجود در خاک مثل کربنات‌ها، سولفات‌ها و فسفات‌ها افزایش می‌یابد. میزان بارندگی عامل مهمی در کاهش pH خاک و تجزیه مواد آلی خاک‌ها به شمار می‌آید. تجزیه میکروبی مواد آلی نیز آمونیوم و سولفید هیدروژن تولید می‌کند که قابلیت اکسیدشدگی در خاک داشته و به‌صورت اسیدی قوی درمی‌آیند. از سوی دیگر در مناطق خشک، هوادیدگی سنگ‌ها سبب آزادسازی عناصر می‌شود که در خاک همچون باز عمل کرده و pH خاک را افزایش می‌دهند (حق پرست تنها، ۱۳۷۱).

۲-۲- عناصر غذایی:

از عناصر موجود در بیوسفر فقط ۱۷ عنصر ضروری تشخیص داده شده است که در نبود آن‌ها، گیاه با علایم کمبود مواجه شده و نمی‌تواند چرخه زندگی خود را کامل کند یا اعمال فیزیولوژیکی طبیعی خود را انجام دهد. این ۱۷ عنصر عبارت‌اند از: Ni ، C ، H ، O ، N ، P ، S ، K ، Ca ، Mg ، Fe ، Mn ، Cu ، Mo ، B ، Zn ، Cl . این عناصر بر اساس مقدار مصرف به دو گروه پرمصرف و کم‌مصرف تقسیم می‌شوند. عناصری مثل C ، H ، O ، N ، P ، S ، K ، Ca ، Mg در گروه پرمصرف‌ها قرار دارند و بقیه عناصر در گروه کم‌مصرف طبقه‌بندی می‌شوند. در یک طبقه‌بندی دیگر، برخی از عناصر در خاک متحرک هستند و برخی دیگر غیرمتحرک. کودهای ازته کاملاً متحرک هستند، در صورتی که کودهای فسفات غیرمتحرک بوده و باید با پوسته بذر باند شوند. قاعده کلی آنکه یون‌های آمونیوم، پتاسیم، کلسیم، و منیزیم بیشتر از عناصر کودی فلزی همچون مس، آهن، منگنز، نیکل و روی متحرک هستند؛ بنابراین، کودهایی که عناصر متحرک دارند، باید با تکرار در مزرعه استفاده شوند زیرا یا شسته شده از دسترس خارج می‌شوند یا جذب گیاه می‌شوند. مواد غذایی با قابلیت تحرک کم را در صورت زیاد مصرف کردن، می‌توان برای محصول بعد در زمین ذخیره کرد. مدیریت حاصلخیزی خاک در رفع محدودیت‌های دسترسی عناصر غذایی اهمیت دارد. نکته مهم در تغذیه گیاهان آنکه باید باروری خاک به‌گونه‌ای باشد که بتواند مواد مغذی را در زمان مناسب و به مقدار مناسب برای رشد گیاه تحویل دهد تا بتواند نقش فیزیولوژیک خود را در فرایند رشد و نمو ایفا کند (جدول ۲) که این مهم تحت تاثیر شرایطی مثل pH ، اکسیداسیون و احیای خاک قرار دارد (Withers et al. 2018). بنابراین، تاثیرات متقابل بین میکروارگانیزم‌های خاک و عناصر غذایی را می‌توان عاملی در دسترسی به عناصر غذایی نامید (تاثیر قارچ میکوریزا و عنصر فسفر). برای حفظ باروری خاک، مقدار متناسب مواد غذایی باید در طول دوره رشد گیاه در خاک توزیع شود. نتایج یک پژوهش بلندمدت تغذیه گیاهی نشان داد که کاربرد مقادیر متفاوت کودهای NPK و کودهای حیوانی، اهمیت تعادل کودی را در موارد افزایش باثبات بهره‌وری محصول، باروری بالای خاک و استفاده

موثر گیاه از مواد غذایی آشکار ساخت (Van Der Bom et al., 2018). رویه‌ای عمومی در مصرف کود بر اساس پنج R به کار می‌رود که بدین مضمون است: Right fertilizer, Right time, Right rate, Right place, و همچنین Recycling nutrients یعنی استفاده از نوع کود مناسب، در زمان مناسب، در مقدار مناسب، در مکان مناسب و با قابلیت بازچرخش عناصر غذایی (Withers et al., 2018).

۳-۲- قابلیت تحرک عناصر غذایی در داخل گیاه:

همه عناصر غذایی به سادگی از ریشه به سمت اندام‌های در حال رشد از طریق آوند چوبی حرکت می‌کنند. اگر کمبود عناصر غذایی وجود داشته باشد، برخی از عناصر غذایی به‌شکلی جالب‌توجه از برگ‌های پیر به سمت برگ‌های جدید حرکت می‌کنند. شناخت عناصر غذایی متحرک در تشخیص کمبود آن‌ها بسیار سودمند است زیرا تعداد کمی از برگ‌ها درگیر کمبود آن‌ها می‌شوند. اگر برگ‌های بالایی گیاه علایم کمبود را نشان دهند، احتمال می‌رود که گیاه درگیر کمبود عنصری غیرمتحرک است زیرا ماده غذایی حاوی عنصر غیرمتحرک نمی‌تواند از برگ‌های پیر به سمت برگ جدید حرکت کند. شش عنصر متحرک و هشت عنصر غیرمتحرک وجود دارد، گوگرد یکی از عناصری است که بین دو گروه متحرک و غیرمتحرک قرار دارد.

جدول ۲. شکل ماده غذایی که به‌وسیله گیاه جذب می‌شود و میانگین غلظت آن در ماده خشک گیاهی برای رشد و انجام اعمال فیزیولوژیکی طبیعی

نام عنصر	شکل قابل جذب به وسیله گیاه	غلظت در ماده خشک	مهمترین نقش عنصر
کربن (C)	CO ₂	6%	مستقیماً در فتوسنتز نقش دارد
هیدروژن (H)	H ₂ O	45%	
اکسیژن (O)	H ₂ O, O ₂	45%	
نیتروژن (N)	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	1.5%	در کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، و آنزیم‌های کنترل‌کننده بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی
فسفر (P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	1%	جزء ATP اسید نوکلئیک، فسفو لیپیدها، اسید فیتیک و ...
پتاسیم (K)	K ⁺	0.5%	در تعادل آب گیاه، مقاومت به بیماری‌ها، ایجاد مقاومت به خشکی، سنتز پروتئین و ...
کلسیم (Ca)	Ca ²⁺	0.2%	ضروری در تقسیم و طول شدن سلول، در تشکیل دیواره و غشاء سلول و ...
منیزیم (Mg)	Mg ²⁺	0.1%	جزء اولیه کلروفیل و مهم در فرآیند فتوسنتز



ادامه دول ۲. شکل ماده غذایی که به وسیله گیاه جذب می شود و میانگین غلظت آن در ماده خشک گیاهی برای رشد و انجام اعمال فیزیولوژیکی طبیعی

نام عنصر	شکل قابل جذب به وسیله گیاه	غلظت در ماده خشک	مهمترین نقش عنصر
گوگرد (S)	SO_4^{2-}	0.1%	در سنتز آمینو اسیدها، در شکل گیری پروتئین ها، شکل گیری گره ها در لگوم ها
کلر (Cl)	Cl^-	100ppm	در گیر در واکنش های انرژی، روابط آبی سلول، تنظیم روزنه، خشکی و ...
آهن (Fe)	Fe^{2+}	100ppm	کاتالیزر سنتز کلروفیل، در گیر در واکنش های اکسیدانسیون و احیا تنفس و فتوسنتز
منگنز (Mn)	Mn^{2+}	20ppm	در گیر در واکنش های آنزیمی و سنتز کلروفیل
بور (B)	H_3BO_3 , BO_3^{3-} , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	50 ppm	ضروری در جوانه زدن دانه گرده، رشد لوله گرده، تشکیل دیواره سلولی و دانه
روی (Zn)	Zn^{2+}	20 ppm	در گیر در سنتز ترکیبات رشدی گیاه و سیستم آنزیمی
مس (Cu)	Cu^{2+}	6 ppm	ضروری برای تشکیل آنزیم ها مانند کربنیک آیدراز و ...
مولیبدن (Mo)	MoO_4^{4-}	0.1 ppm	در فعال سازی سیستم های آنزیمی در احیایی NO_3^- به NH_4^+ در گیاهان، در تثبیت ازت
نیکل (Ni)	Ni^{2+}	0.1 ppm	جزئی از آنزیم اوره آز، ضروری برای گیاهانی که در متابولیسم نیتروژن شرکت دارند و ...
کبالت (Co)	Co^{2+}	-	در ترکیب با N و سنتز ویتامین B12
سدیم (Na)	Na^+	-	برای گیاهی شورپسند مفید و جایگزین پتاسیم می شود و ...
سیلیس (Si)	H_4SiO_4	-	امکان تنظیم آنزیم های در گیر در فتوسنتز و ...
سelenium (Se)	SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-}	-	برای گیاهان ضروری نیست اما برای حیوانات ضروری است
وانادیوم (V)	VO_3^{3-}	-	در تثبیت به وسیله ریزوبیوم ها و یا شرکت در واکنش بیولوژیکی های اکسیدانسیون و احیا
آلومینیوم (Al)	Al^{3+}	-	کاهش سمیت فسفر، روی و مس

۴-۲- علایم کمبود عناصر غذایی

زمانی که منبع یک یا چند عنصر غذایی در گیاه کاهش می یابد، علایم کمبود عنصر غذایی ظاهر می شود. گاهی اوقات، نشانه های کمبود بر اثر استفاده شکل غیر کاربردی گیاه آشکار می شود. علایم کمبود برای برخی از عناصر کلیدی است. خاک ها نیز باتوجه به ویژگی هایی که دارند، می توانند سبب کمبود برخی از عناصر شوند (جدول ۳).

جدول ۳. نقش عامل خاکی در کمبود عناصر غذایی

عناصر	عامل خاکی که سبب کمبود می شود
نیتروژن (N) و پتاسیم (K)	خاکی با زه کش زیاد، بافت درشت و کمی ماده آلی
فسفر (P)	خاک های دارای کمی ماده آلی، اسیدیته کم، خاک های سرد و مرطوب که در اوایل بهار اتفاق می افتد
گوگرد (S)	خاک هایی با ماده آلی کم، بافت درشت و زهکش زیاد به خصوص در مناطق با آلودگی هوای کم اتفاق می افتد
کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg)	در خاک هایی با بافت درشت، کمی ماده آلی و زهکش زیاد و در خاک هایی که مقدار پتاسیم زیاد بکار رفته رخ می دهد.
آهن (Fe)	در خاک با زهکش ضعیف، کمی ماده آلی، pH بیشتر از ۷، خاکی با مقدار فسفر زیاد
روی (Zn)	در خاک های سرد و مرطوب با زهکش زیاد و کمی ماده آلی، pH بالای هفت و مقدار فسفر زیاد در خاک
مس (Cu)	در خاک های شنی، خاک های با مقادیر زیاد نیتروژن، pH خاک بالا و ...
بور (B)	در خاکی با بافت درشت، زهکشی بالا و کمی ماده آلی و pH بالای هفت
منگنز (Mn)	در خاکی با بافت درشت، زهکشی بالا و کمی ماده آلی و pH بالای شش و نیم
مولیبدن (Mo)	خاک هایی با مقادیر زیاد اکسیدهای آهن توانایی جذب زیاد مولیبدن و خاک هایی که برای مدت طولانی زیر کشت رفته است

۵-۲- چکیده ای از ویژگی های کودهای شیمیایی

عنصر نیتروژن:

نقش آن در گیاه: جزء پروتئین ها، آنزیم ها، امینواسیدها، اسید نوکلئیدها و کلروفیل بوده، برای رشد سریع و رنگ سبز ضروری است.

نسبت C/N: (کربوهیدرات : نیتروژن)

نسبت بالای C/N: گیاه بیشتر به سمت زایشی می رود.

نسبت پایین C/N: گیاه بیشتر به سمت رویشی می رود.

*: علائم کمبود و سمیت در گیاه:

علائم کمبود: کاهش رشد، زردی برگ‌های پیر
علائم سمیت: طولیل شدن ساقه، برگ‌ها سبز تیره و آبدار

*: کودها:

- نیتрат آمونیوم (NH_4NO_3) - نیترات کلسیم $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ - نیترات پتاسیم (KNO_3)
 - اوره $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$
 - بسیاری از گیاهان نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات را ترجیح می‌دهند $(\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-)$.
 - نیتروژن به شکل آمونیوم سبب کاهش pH خاک می‌شود.
 - نیتروژن به شکل نیترات سبب افزایش pH خاک می‌شود.
 - کودهای آلی (حیوانی و باقی‌مانده گیاهان) سبب آزادسازی تدریجی نیتروژن می‌شوند.
 - کودهای نیتروژنه را می‌توان به صورت محلول‌پاشی برگی نیز استفاده کرد.
- علائم کمبود نیتروژن در شکل ۳ تصویر شده است:



شکل ۳. علائم کمبود نیتروژن. الف) کلروز عمومی، کلروز از سبز کم‌رنگ به سمت زردی پیشرفت می‌کند و در صورت تداوم، تمام گیاه به رنگ زرد در می‌آید؛ رشد متوقف شده و برگ‌های پیر می‌ریزند. ب) علائم متحدشکل کمبود نیتروژن در مزرعه، ج) در گیاه جو، نوک برگ‌ها با کمبود نیتروژن مواجه شده‌اند و رنگ آن‌ها در سمت قاعده سبز روشن است؛ در برگ پایین، شکل برگ در طبیعی خود قرار دارد

(McCauley, 2011)

عنصر فسفر (P):**ویژگی‌های فسفر در خاک:**

- به صورت آپاتیت معدنی $[Ca_5F(PO_4)_3]$ کمابیش در خاک باثبات است، تحرک کمی دارد و محلول پاشی تاثیر ندارد.

نقش فسفر در گیاه:

- جزء اسید نوکلئیک (DNA, RNA)، فسفولیپید و کوآنزیم بوده، در باندهای پرانرژی ATP شرکت دارد.

کمبود و سمیت فسفر در گیاه:

- فسفر در گیاه متحرک (علائم کمبود در برگ‌های پیر ظاهر می‌شود).
* کمبود: برگ‌های پیر تیره‌رنگ شده و به رنگ ارغوانی مشخص می‌شوند (شکل ۴).
وفور فسفر: نشانه‌های کمبود روی، مس، آهن و منگنز را نشان می‌دهد.

**** کودهای فسفاته:**

- مونو سوپرفسفات (۸/۶ درصد فسفر دارد)، $CaH_4(PO_4)_2$ - سوپر فسفات تریپل (۲۰٪ فسفر دارد): $CaH_4(PO_4)_2$
- آمونیوم فسفات: $(NH_4)_2PO_4$, NH_4HPO_4 - شکل‌های دسترس‌پذیر فسفر: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^+$ - جذب فسفر تحت تاثیر pH قرار دارد.



شکل ۴. الف) علائم کمبود فسفر: برگ‌ها سبز تیره، سبز مایل به آبی یا قرمز ارغوانی، به‌ویژه در قسمت زیرین برگ و در برخی از موارد به‌خصوص در رگ‌برگ میانی. دم‌برگ ممکن است به رنگ ارغوانی درآید، کاهش رشد نیز دور از انتظار نیست. ب) گیاه شاهد و گیاه با کمبود فسفر که در محیط هیدروپونیک رشد کرده‌اند. A) افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی، کاهش در تعداد پنجه و وزن اندام هوایی همه از نشانه‌های کمبود فسفر در گیاه جو در مقایسه با گیاه شاهد است. B) در گیاهان با علائم پنهان کمبود فسفر، علامت رویت‌پذیری در برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته و در مقایسه با گیاه شاهد دیده نمی‌شود. (Frydenvang et al., 2015)



عنصر پتاسیم:

روابط خاکی: در خاک های معدنی به مقدار زیاد وجود دارد، خاک های آلی مقادیر پتاسیم کمی دارند. نقش پتاسیم در گیاه: فعال سازی بسیاری از آنزیم ها، تنظیم حرکت آن ها از غشای سلولی و تاثیر در باز و بسته کردن روزنه ها.

*: علایم کمبود: حاشیه برگ ها بافت مرده و قهوه ای رنگ دارد و بیشتر، برگ های پیر تحت تاثیر قرار می گیرند (شکل ۵).

**: کودهای پتاسیمی:

کلرید پتاسیم، (KCl) - سولفات پتاسیم (K_2SO_4)، - نترات پتاسیم (KNO_3)



شکل ۵. علایم کمبود پتاسیم: حاشیه برگ ها بافت مرده و رنگ قهوه ای دارد و در برخی از گیاهان، برگ ها به سمت پایین فنجانی شکل هستند (الف) در گیاه سویا و ب) در گیاه ذرت، حاشیه برگ ها در کمبود ملایم پتاسیم زرد رنگ شده و در حالت کمبود شدید، به رنگ قهوه ای در می آیند (Mallarino, 2020).

عنصر کلسیم:

روابط خاکی: به مقادیر زیادی در پوسته زمین وجود دارد و وجود آن بر قابلیت دسترسی سایر یون ها تاثیر دارد.

نقش آن در گیاه:

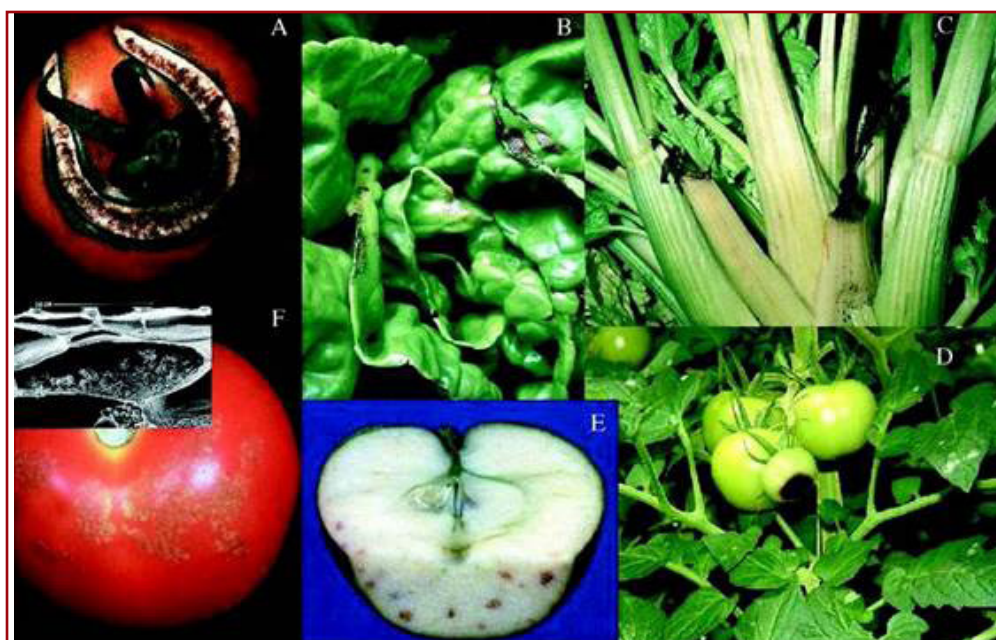
جزء دیواره سلولی و در گیر در اعمال غشای سلولی بوده و مقادیر زیادی از آن، در تیغه میانی سلول به صورت پکتات کلسیم وجود دارد (پکتات کلسیم در بافت های گیاه های غیر متحرک است).

*: کمبود و وفور کلسیم:

علایم کمبود در برگ های جوان و ساقه های تازه روییده دیده می شود (کلسیم غیر متحرک است). توقف رشد، برگ های تغییر شکل یافته، نقاط بافت مرده در برگ ها، نوک ساقه بافت مرده و پوسیدگی گل گاه در گوجه فرنگی. شکل ۶ علایم کمبود کلسیم را نشان می دهد.

**: کودهای کلسیمی: - آهک ($CaCO_3$)، گچ ($CaSO_4$) - سوپر فسفات

علائم وفور کلسیم مشاهده نشده است.



شکل ۶. علائم کمبود کلسیم: (A) ترک برداشتن میوه گوجه‌فرنگی، (B) سوختگی نوک برگ کاهو، (C) کمبود کلسیم در کرفس، (D) پوسیدگی گل‌گاه در میوه نارس گوجه‌فرنگی، (E) وجود لکه‌های قهوه‌ای و تلخ در میوه سیب. از نشانه‌های وفور کلسیم وجود نقطه‌های طلایی در پوست میوه گوجه‌فرنگی شکل شماره. (White and Broadley, 2003).

۲-۵-۱- علائم کمبود برخی از عناصر کم مصرف

منیزیوم (Mg): حاشیه برگ‌ها کلروز می‌شود و، بین برگ‌ها رنگ زردی و در برخی از گونه‌ها، قرمز مایل به ارغوانی بوده که در حال پیشرفت است. برگ‌ها جوان که تحت تاثیر مداوم کمبود قرار می‌گیرند، علائم را نیز بیشتر نشان می‌دهند. مناطقی که به رنگ زرد در می‌آیند، بعدها به بافت مرده تبدیل می‌شوند؛ در شکل ۷، علائم کمبود منیزیوم تصویر شده است.



شکل ۷. علائم کمبود منیزیوم در گیاه. رشد ریشه‌ها و ساقه‌های گندم رشد یافته در محلول‌های غذایی با مقادیر خیلی کم منیزیوم (ده میکرومول منیزیوم)، مقدار متوسط منیزیوم (۲۵ میکرومول منیزیوم) و مقادیر کافی منیزیوم (پانصد میکرومول منیزیوم) که به مدت ۳۸ روز بررسی شدند (Cakmak, 2013).



گوگرد (S): علایم کمبود: برگ‌ها سبز روشن و سپس زرد رنگ می‌شوند، در این برگ‌ها کلروز کامل رخ نمی‌دهد. گیاهان با کمبود گوگرد کوتاه بوده و رشد آن‌ها از نمونه‌های طبیعی عقب‌تر است (شکل ۸).



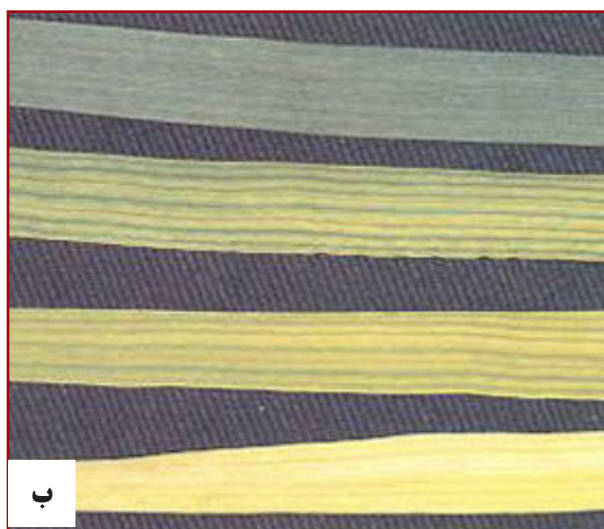
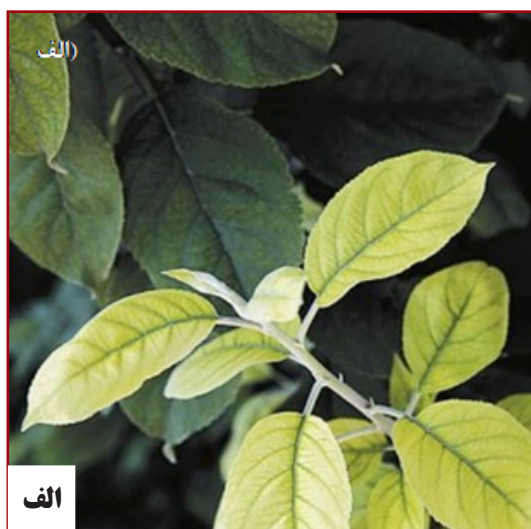
شکل ۸. علایم کمبود عنصر غذایی گوگرد. الف) گیاه سمت چپ نشانه‌های کمبود گوگرد شامل برگ‌های سبز روشن به همراه کوتاهی ارتفاع در مقایسه با گیاه سمت راست شاهد (McCauley, 2011). ب) تاثیر گوگرد بر برگ پرچم و خوشه گندم.

مس (Cu): علایم کمبود: برگ‌ها پژمرده، کلروز و سپس بافت‌مرده می‌شوند. در گندم، خوشه‌ها به رنگ سیاه کدر (ملانینی) درآمده و این حالت حتی در دانه‌ها هم نمایان می‌شود، و نوک برگ‌های جوان بالایی پیچ‌خورده می‌شود (شکل ۹).



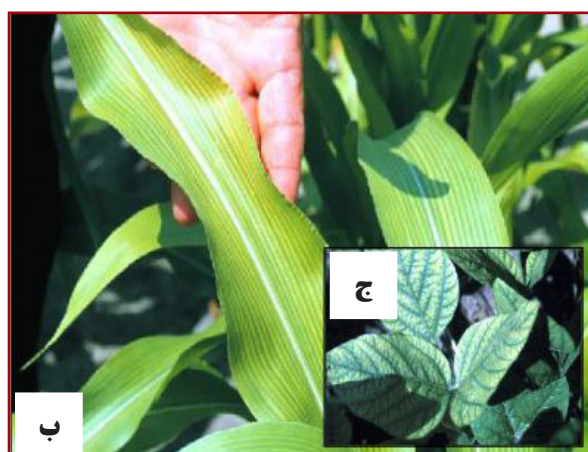
شکل ۹. علایم کمبود مس در گندم، خوشه‌های سمت چپ با کمبود مس، در مقایسه با خوشه‌های سمت راست که حالت طبیعی دارند. رنگ آنها متمایل به سیاهی کدر است (McCauley, 2011)

آهن (Fe): زردی یا سفیدی بین رگ‌برگ‌ها که گاهی اوقات بافت‌مرده می‌شود، از علایم مشخصه این کمبود است. علایم در برگ‌های بالغ نادر است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. الف) علایم تیپیک کمبود عنصر آهن، ب) علایم کمبود آهن در برگ‌های گندم: برگ بالایی در حالت طبیعی بوده و برگ‌های پایینی کمبود پیش‌رونده آهن را نشان می‌دهند. (Grundon, 1987)

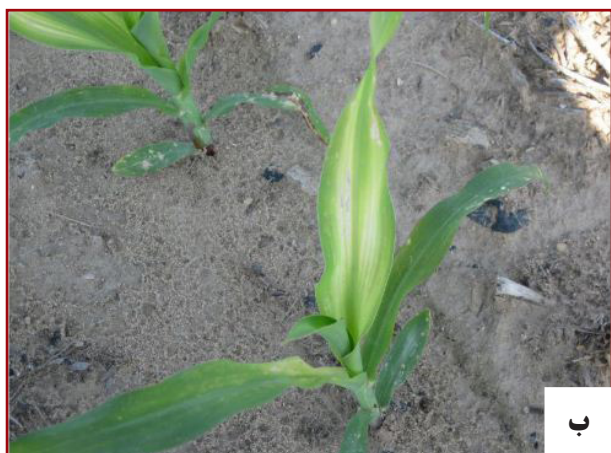
منگنز (Mn): علایم کمبود: بروز کلروز و زردی نزدیک رگ‌برگ، نواحی کلروز عاقبت به رنگ قهوه‌ای شفاف درآمده یا به بافت مرده تبدیل می‌شوند، ممکن است علایم بعدها در برگ‌های پیر ظاهر شوند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. علایم کمبود عنصر غذایی منگنز الف) در برگ گندم، ب) در برگ ذرت و ج) برگ سویا. علامت مشخصه کمبود بین رگ‌برگ‌ها به حالت کلروز (به رنگ زرد) درآمده و رگ‌برگ‌ها به حالت سبز تیره باقی می‌مانند. علایم کمبود منگنز و منیزیوم مشابه است با این تفاوت که کمبود منیزیوم در برگ‌های پیر اتفاق می‌افتد. علایم کمبود منگیزیوم نیز ممکن است با نشانه‌های کمبود آهن مشابه باشد با این تفاوت که علایم کمبود منگنز ابتدا در برگ‌های جوان ظاهر می‌شوند. در کمبود آهن، کلروز بین رگ‌برگی خیلی واضح است ولی در منگنز مقداری هم‌پوشانی دارد. (Hong et al., 2010)

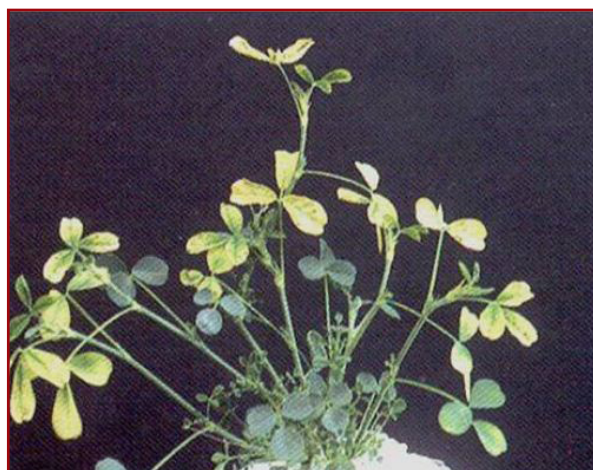


روی (Zn): علائم کمبود: برگ‌ها به صورت غیرطبیعی، کوچک و بافت‌مرده و میان‌گره‌ها کوچک می‌شوند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. علائم کمبود عنصر روی (Zn). الف) علائم کمبود در برگ‌های گندم و ب) علائم کمبود در برگ‌های ذرت. در برگ‌ها جوان ظاهر می‌شود، رنگ زرد مایل به سفیدی در دو طرف رگ‌برگ اصلی از قاعده برگ آغاز شده و به انتهای برگ نمی‌رسد. رگ‌برگ اصلی و حاشیه برگ‌ها بیشتر سبز رنگ هستند. (Camberato and Maloney, 2012).

بور (B): علائم کمبود: برگ‌های جوانه و توسعه‌یافته ممکن است بافت‌مرده یا بدشکل شوند و به دنبال مرگ نقطه رشد در آن‌ها، میان‌گره‌ها نیز به‌ویژه در انتهای ساقه کوتاه شوند. ساقه‌ها هم ممکن است زیر و شکاف‌دار شده یا در طول بافت‌های آوندی ترک بخورند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. علائم کمبود عنصر غذایی بور در یونجه. برگ‌های بالایی کلروز شده و به حالت روزت ماندن برگ‌های پایینی (Jacobsen and Jasper, 1991).

۶-۲- خلاصه

عناصر غذایی معدنی پی‌درپی بین موجودات زنده و محیط زندگی آنها در گردش هستند. جذب و آسیمیلاسیون مواد معدنی به‌وسیله گیاهان در هر مرحله از رشد آنها، بخشی از چرخه مواد غذایی در بیوسفر به شمار می‌رود. منطقه دقیق ورود مواد معدنی به سیستم ریشه برای عناصر مختلف متفاوت است. برخی از مواد از نوک ریشه و برخی از تمامی نقاط ریشه قابلیت جذب دارند. بیشترین جذب کلسیم یا آهن در نوک ریشه است. عناصر غذایی با دو روش جریان توده‌ای و انتشار به سمت ریشه حرکت می‌کنند. دسترس‌پذیری عناصر غذایی به‌شدت متأثر از pH خاک است. ریشه‌ها برای رشد خود محیط اندکی اسیدی را ترجیح می‌دهند (۶/۵ تا ۵/۵ pH). pH خاک عامل تعیین‌کننده دسترس‌پذیری مواد غذایی برای گیاه محسوب می‌شود. تأثیرات متقابل بین میکروارگانیزم‌های خاک و عناصر غذایی را می‌توان عامل دسترسی گیاه به عناصر غذایی نامید. رویه‌ای عمومی در مصرف کود بر اساس پنج R استفاده بدین مضمون وجود دارد: Recycling nutrients و Right fertilizer، Right time، Right rate، Right place، یعنی استفاده از نوع کود مناسب، در زمان مناسب، در مقدار مناسب، در مکان مناسب و همچنین با قابلیت بازچرخش عناصر غذایی. علایم کمبود عناصر پرمصرف مانند ازت، فسفر، پتاسیم قابلیت تشخیص بالایی دارند. کودهای ریز مغذی دامنه تأثیرپذیری و سمیت کوتاهی دارند؛ از این‌رو، باید در کاربرد آنها تامل بیشتری کرد.

تأثیر تغییر اقلیم بر کارایی جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه

هدف های رفتاری:

- ۱- فراگیر پس از مطالعه این فصل قادر خواهد بود:
 - ۱- تأثیر تغییر اقلیم را بر رشد گیاه توضیح دهد
 - ۲- کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency: WUE) را در شرایط تغییر اقلیم بداند
 - ۳- کارایی مصرف نیتروژن (Nitrogen Use Efficiency: NUE) را در شرایط تغییر اقلیم توضیح دهد
 - ۴- تغییرات نسبت C: N را در شرایط افزایش CO₂ را شرح دهد
 - ۵- بروز تغییرات در مقدار CO₂ اتمسفر را در طی زمان آشنا شود
 - ۶- از تأثیر تغییر اقلیم بر مقدار مصرف عناصر غذایی آگاهی یابد

۱-۳- مقدمه

جذب آب و مواد غذایی پاسخ‌های متفاوتی به تغییر اقلیم دارد. از این رو، این دو فرایند تعریف فیزیولوژیکی مستقل از یکدیگر دارند. با وجود این، مقدار دی‌اکسید کربن و بخار آب از طریق روزنه‌ها در دو جهت متفاوت منتقل می‌شوند. نتیجه نوسانات تعرق به تولید مواد فتوسنتزی همچون کارایی مصرف آب تعریف می‌شود؛ به این سبب، مقدار تثبیت کربن و میزان تجمع ماده خشک در گیاه هم‌زمان میزان نیاز تغذیه‌ای گیاه را تعیین می‌کنند (Seginer, 2003). نسبت جذب ماده غذایی به آب، ثبات چشمگیری را با زمان نشان می‌دهد و این ثبات هنگامی واقعیت دارد که تغییرات اقلیمی چندان از شرایط بهینه عبور نکند. با این همه، تغییرات زیاد در مولفه‌های اقلیمی گاه تأثیرات متفاوتی در نسبت‌های جذب یک یا چند عنصر غذایی در مقایسه با مقدار آب جذب‌شده گیاه دارند. این مهم به‌ویژه هنگامی واقعیت می‌یابد که یک مولفه اقلیمی به‌شدت از شرایط بهینه خود منحرف شده باشد، در نتیجه شرایط تنشی را بر گیاه اعمال می‌کند و بر مقدار جذب مواد غذایی بیش از مقدار جذب آب تأثیر می‌گذارد. (Klärning et al., 1997)

۲-۳- کمبود آب

در بین محدودیت‌های مهم تولید گیاهان در سطح جهان، کمی یا کمبود آب یکی از مهم‌ترین موانع تولید است که همه گیاهان در طول حیات خود کم‌وبیش آن را تجربه می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود که به‌واسطه تغییر اقلیم این مشکل در آینده نیز حادث‌تر شود (IPCC, 2014). از طرفی، رقابت در مصرف آب نیز همچون چالشی مطرح است که تولید را با موانع مواجه می‌کند. تحت شرایط محدودیت دسترسی به منابع آبی، استفاده از سازه‌های مهارشده و اختصاص آن به محصولات با ارزش توجیه می‌یابد. برای افزایش بهره‌وری در شرایط محدودیت منابع و افزایش جمعیت، استفاده از گونه‌های مقاوم و چندساله نسبت به یک‌ساله‌ها به سبب افزایش بیومس تولید را می‌توان یک راهکار به شمار آورد. با وجود این، گونه‌های زراعی در شرایط رشدی کارایی‌های متفاوتی دارند. در طول چرخه زندگی گیاه، مهار تعرق از طریق روزنه‌ها، زودگل‌دهی، افزایش حجم ریشه، تغییر شکل برگ، تغییر قدرت ارتجاعی گیاه، و بسیاری از سازوکارهای مولکولی و فیزیولوژیکی متعدد در گیاه رخ می‌دهد. (Farooq et al., 2009) افزایش کارایی موثر آب در گیاهان، یکی از بهترین گزینه‌ها برای افزایش امنیت غذایی در جهان تلقی می‌شود. کودها از مهم‌ترین منابع تامین نیاز تغذیه‌ای گیاهان محسوب می‌شوند. دانشمندان علوم خاک در قرن ۲۱، روی سه حوزه تحقیقاتی متمرکز شده‌اند: (۱) تأثیر کود در اکوسیستم، سلامتی انسان و چرخه مواد غذایی در گیاه، (۲) تداخل بین میکروب‌های خاک و گیاه، (۳) فرایندهای انتقالی خاک. (Adewopo et al., 2014) نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر پرمصرف در گیاهان و یکی از محدودکننده‌ترین آن‌ها در عملکرد به شمار می‌رود. آلودگی اتمسفر با گازهای N_2O و NO_x سبب گرمایش زمین و تغییر اقلیم شده است. افزایش مصرف کودهای با بنیان نیتروژنه سبب آلودگی نیتروژنه آب‌های زیرزمینی و اکوسیستم‌های حاشیه‌ای شده است. بهترین روش و کار ممکن برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن (Nitrogen Use Efficiency: NUE) از طریق انتخاب شیوه مدیریت آن مثل انتخاب منبع، مقدار مناسب و روش جای‌گذاری آن در زمین است (Norton et al., 2015). بررسی‌ها در گندم نشان داده است که کارایی مصرف نیتروژن بستگی مستقیم با میزان دسترسی به آب و ارتباط غیرمستقیم با



مقدار نیتروژن در گیاه دارد (Pirmoradian et al., 2004). محققان بین عملکرد دانه و مقدار N تاثیرات متقابلی را یافته‌اند، به‌طوری که: $WUE = \frac{WUE}{Water\ Use\ Efficiency}$ وابسته به مقدار N است ولی NUE وابسته به منبع آب است. کمبود آب بر جذب N تاثیرگذار است، حتی اگر مقدار آن در خاک و اتمسفر در حد بهینه باشد زیرا آب عامل انتقال این عنصر به گیاه است؛ بنابراین، در شرایط کمبود آب دسترس‌پذیر به سبب تغییر اقلیم، مدیریت خاک، گیاه و شرایط محیطی برای افزایش NUE ضروری است. برای افزایش کارایی مقدار مصرف نیتروژن در شرایط محدودیت، استفاده از ارقام متحمل به خشکی گزینه ایده‌آلی محسوب می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که عملکرد بالای برخی از ارقام متحمل به خشکی ذرت، ناشی از افزایش جذب بهتر N یا افزایش کارایی مصرف N بوده است (Kamara et al., 2014). یکی از روش‌های بهبود کارایی مصرف N، تنظیم مقدار مصرف و زمان مصرف با نیاز واقعی گیاه است. تامین مقدار نیاز نیتروژن گیاه با کودهای ارگانیک و طبیعی، در افزایش حداکثری NUE اثرگذار است؛ بنابراین، در شرایط محدودیت منابع می‌توان از تناوب نیز همچون عاملی برای افزایش NUE استفاده کرد. بسیاری از آزمایش‌ها نشان داده‌اند که افزایش مقدار NUE در ریشه‌ها بر اثر کاهش جذب N و در نتیجه کمی تعرق در گیاه، منجر به افزایش نسبت C:N در گیاه در شرایط افزایش CO_2 بوده است. به‌علاوه، تغییر در ساختار ریشه و ظرفیت ویژه جذب ریشه‌ها، می‌تواند ظرفیت جذب N در ریشه‌ها را کاهش دهد. با این حال، پاسخ به جذب N به مقدار تعرق و فتوسنتز در گیاه وابسته است که بنا به گونه و مرحله رشدی گیاه، می‌تواند متفاوت باشد. همواره گیاهان جوان ظرفیت جذب بالای N را دارند که این توانایی ناشی از نیاز بالای آن‌ها به کربوهیدرات نسبت به گیاهان پیرتر است. در گیاهان پیر، کاهش مقدار جذب N در شرایط افزایش CO_2 ناشی از کاهش مقدار تعرق بوده است. افزایش CO_2 نیز سبب افزایش کلونیزه شدن بیشتر ریشه با مایکرویزا شده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که افزایش CO_2 اتمسفری سبب افزایش رشد و ظرفیت تثبیت N_2 در لگوم‌ها و موجب غنی شدن جمعیت مایکوریزا شده است. مدارکی وجود دارد که در شرایط تغییر اقلیم و افزایش دما، مایکوریزا می‌تواند همچون مقصدی برای مواد غذایی باشد و این شرایط در انتقال مواد غذایی به گیاه موثر نیستند (BassiriRad et al., 2001).

۳-۳-۳- تأثیر CO_2

آزمایش‌ها در برخی از نواحی با اقیانوس‌های باز و دیگر اکوسیستم‌های آبی نشان داده‌اند که تغییرات اقلیمی سبب محدودیت دسترسی به فسفر شده است. طی سال‌های ۱۹۶۰-۲۰۱۴، مقدار CO_2 اتمسفری به‌سرعت در حال افزایش از ۳۱۵ ppm به حدود ۴۰۰ ppm بوده است و انتظار می‌رود که مقدار آن در اواسط قرن ۲۱، به ۵۵۰ ppm برسد (IPCC, 2014). افزایش دی‌اکسیدکربن سبب کاهش تنفس نوری و افزایش مقدار فتوسنتز و رشد در گیاهان سه‌کربنه می‌شود. در غلات، این افزایش سبب تقویت عملکرد آن‌ها می‌شود، اما شاید غلظت عناصر معدنی را در بافت‌های سبز و دانه کاهش دهد. محدودیت جذب عناصر غذایی در واحد سطح ریشه، فرضیه‌ای پیشنهادی برای کاهش مواد غذایی جذب‌شده در شرایط افزایش CO_2 است. این کاهش جذب را می‌توان ناشی از کاهش تقاضای مناطق رشد به مواد غذایی یا ناشی از محدود شدن مقدار تعرق به سبب بسته شدن روزنه‌ها تحت شرایط افزایش دی‌اکسیدکربن اتمسفر دانست. CO_2 افزایش‌یافته در اتمسفر، نه تنها تغییراتی را در مقدار مصرف آب ایجاد می‌کند که سبب تغییر در شیره آوند چوب نیز می‌شود. این تغییر از یک سو، موجب کاهش جریان انتقال بوده و از سوی دیگر، در غلظت عناصر معدنی شیره آوند



چوب تأثیر می‌گذارد. تحقیقات در گندم نشان داد که در شرایط افزایش دی‌اکسیدکربن، مقدار کلسیم و منیزیم شیره آوند آبکش به ترتیب حدود ۱۰ و ۱۵ درصد امکان کاهش دارد؛ همچنین در این مطالعه، مقدار تعرق حدود ده درصد نسبت به شاهد کاهش یافته بود (Houshmandfar et al., 2015). در همین رابطه، طی یک بررسی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۷ که بر جامعه‌ای از بلوط درختچه‌ای انجام شد که در معرض افزایش CO_2 قرار گرفته بودند، کیفیت بیومس گیاهان کاهش یافت و در نتیجه، سبب کاهش تراکم حشرات گیاه‌خوار در آن‌ها شد. با این حال، بیومس با کیفیت پایین، پسند برخی از حشرات گیاه‌خوار است که جمعیت حشرات را تغییر می‌دهد. افزون بر این، در شرایط تغییر اقلیم قارچ‌های بیماری‌زا نیز به سبب افت سطح دفاع گیاه ناشی از کمبود عناصر غذایی در آن‌ها افزایش می‌یابند (Chakraborty and Datta, 2003).

افزایش CO_2 اتمسفری سبب افزایش تقاضای جذب فسفر، افزایش دما موجب افزایش ظرفیت تثبیت N_2 و نهاده‌های اتمسفری سبب افزایش نسبت N:P در گیاهان می‌شوند. با وجود این، در برخی دیگر از اکوسیستم‌های خشکی، تأثیر تغییر اقلیم در نسبت تغییرات N:P به وضوح آشکار نشده است. در نواحی خشک، افزایش نسبت C:N همراه با افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن اتمسفری گزارش شده است که شاید در نسبت N:P نیز حالت افزایشی دارد. این موضوع سبب کاهش مقدار N و P در بیومس و محصول سرپا خواهد بود. تغییرات کوتاه‌مدت در شرایط تغییر اقلیم به‌ویژه خشکی، موجب افزایش غلظت N و P در خاک و کاهش آن در بیومس گزارش شده است (Sardans et al., 2008). گونه‌های گیاهی، در پاسخ به افزایش فراوانی N قادر به افزایش مقدار P یا افزایش بازجذب فسفر هستند؛ بنابراین، در شرایط تغییر اقلیم باید مقدار N به سبب تغییری که بر جذب سایر عناصر می‌گذارد و نقش آن در بسیاری از فرایندهای گیاهی افزایش یابد، به‌ویژه در نواحی مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک زیرا در این مناطق، تغییر اقلیم و خشکی حادث‌شده ناشی از آن، نسبت C:N و C:P را در درختچه‌ها و درختان این نواحی افزایش می‌دهد. کاهش آب در دسترس و کاهش تحرک مقدار نیتروژن آزادشده از مواد آلی خاک از عواملی هستند که مقدار جذب N را کاهش می‌دهند. جریان تعرق می‌تواند نقش افزایشی را در حرکت N از خاک به سوی محیط ریشه داشته باشد (González-Dugo et al., 2010). در بسیاری از زمین‌های زراعی سراسر جهان، افزایش عمدی کاربرد N و P از ضایعات دامی (کود دامی) نسبت N:P خاک را کاهش می‌دهد. هرچند به‌طور طبیعی، نسبت N:P کود دامی کم است و P کمتر از N محلول است؛ از این رو، این عناصر در خاک تجمع می‌یابند. کوددهی فشرده منجر به آب‌شویی نیتروژن (N) از مزارع و سرانجام، سبب تغییر در اکوسیستم آب زیرزمینی می‌شود. این افزایش آب‌شویی ازت سبب افزایش نسبت N:P در اکوسیستم‌های آب‌های زیرزمینی هم می‌شود.

اگرچه عناصر غذایی لازم برای گیاه، (بیش از ۱۶ عنصر) به‌وسیله زیست توده در کل کره زمین در حال چرخش است، اثر تغییر اقلیم و افزایش دی‌اکسیدکربن بر سطوح عناصر غذایی کمتر مطالعه شده است. در این شرایط، غلظت عناصر غذایی در گیاه روند کاهشی دارد زیرا تجمع کربوهیدرات‌ها در گیاه کاهش یافته است. الگوی جای‌گذاری عناصر غذایی در پاسخ به تغییر اقلیم بر اساس نوع گیاه یا اکوسیستم تغییر می‌کند؛ در نتیجه، مواد غذایی به‌ویژه بر اساس نوع ترکیب شیمیایی و فرایند دخیل در آن کارکرد متفاوتی دارند. با این حال، تغییر اقلیم و خشک‌سالی سبب کاهش فعالیت‌های آنزیمی خاک و قابلیت دسترسی عناصر غذایی خاک می‌شود. مقدار N و P همراه با کارایی مصرف آب در گیاه است که در شرایط خشکی کاهش می‌یابند. افزایش CO_2 و خشکی، سبب افزایش نسبت C:N و C:P در بافت‌های فتوسنتزکننده گیاهان در محیط‌های نیمه‌خشک می‌شود که تجمع N و P را در خاک به دنبال داشته و بر اثر بارندگی‌های بعدی از



دسترس خارج می شوند (Sardans et al., 2012). گرما می تواند سبب افزایش و کاهش نسبت C:N شود یا بدون تاثیر روی این نسبت، بنا بر نوع گونه گیاه و شرایط اقلیمی تاثیرگذار باشد. نتایج مطالعات جاری نشان می دهد که گرما و خشکی می توانند سبب افزایش نسبت C:N و C:P در اکوسیستم های خاکی نواحی گرم و خشک و گرم و معتدل شوند زیرا موجب افزایش در کارایی استفاده از مواد غذایی یا افزایش در مقاومت به خشکی می شوند (سازوکارهای محافظتی همراه با افزایش کارایی مصرف آب و جلوگیری از کمبود آب در گیاه). همزمانی گرما و خشکی در مناطق نیمه خشک یا در محیط های مرطوب، سبب تشدید آثار آن ها می شود؛ همچنین زمانی که آثار افزایش CO₂ نیز به آن ها اضافه شود، این آثار افزایش تنفس در پاسخ به گرمای محیطی را در گیاهان به دنبال دارد. در اکوسیستم های سرد و معتدل که محدودیت آب ندارند، گرما سبب کاهش نسبت C:N در گیاهان می شود (Sardans et al., 2012).

بررسی های شرایط تغییر اقلیم و افزایش CO₂ نشان داده که در این حالت ممکن است کیفیت مواد غذایی گیاه سویا رقیق شود. مقدار ایزوفلاون در گیاهان پاکوتاه سویا در پاسخ به افزایش دی اکسیدکربن افزایش معناداری یافته است، در صورتی که افزایش CO₂ تاثیری بر مقدار پروتئین دانه، روغن کل و ترکیب اسید چرب نداشته است؛ همچنین مقدار فسفر و نیتروژن دانه نیز تحت تاثیر افزایش CO₂ نبوده است (Thomas et al., 2003). در دیگر گیاهان، افزایش مقدار CO₂ اتمسفر موجب افزایش ترکیب اسید چرب دانه در آن ها شده است، به طوری که مقدار اسید لینولنیک موجود در دانه کلزا و آفتابگردان، با افزایش مقدار CO₂ در محیط افزایش یافته است (Pal et al., 2014).

۴-۳- خلاصه

جذب آب و مواد غذایی در گیاه، در پاسخ به تغییر اقلیم متفاوت است. نسبت جذب ماده غذایی به آب، ثبات جالب توجهی را با زمان نشان می دهد و این نسبت هنگامی واقعیت دارد که تغییرات اقلیم چندان از شرایط بهینه عبور نکند. نیتروژن یکی از مهم ترین عناصر پرمصرف در گیاهان و یکی از محدود کننده ترین آن ها در عملکرد به شمار می رود. آلودگی اتمسفر با گازهای N₂O و NO_x سبب گرمایش زمین و تغییر اقلیم شده است. بهترین روش و کار ممکن برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن (Nitrogen Use Efficiency: NUE) از طریق انتخاب شیوه مدیریت آن مثل انتخاب منبع مناسب، مقدار مناسب و روش جای گذاری اش در زمین است (Norton et al., 2015). طی سال های ۱۹۶۰-۲۰۱۴، مقدار CO₂ اتمسفری به سرعت از ۳۱۵ ppm به حدود ۴۰۰ ppm افزایش یافته است. CO₂ افزایش یافته در اتمسفر نه تنها تغییراتی را در مقدار مصرف آب ایجاد می کند که سبب تغییر در شیره آوند چوب نیز می شود. این تغییر از یک سو، سبب کاهش جریان انتقال و از سوی دیگر، سبب تغییر در میزان غلظت عناصر معدنی شیره آوند چوب می شود. تحقیقات در گندم نشان داد که در شرایط افزایش دی اکسیدکربن، مقدار کلسیم و منیزیوم شیره آوند آبکش گندم به ترتیب حدود ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش یابد. در شرایط تغییر اقلیم، مقدار N به واسطه تغییری که بر جذب سایر عناصر وارد می کند و نقشی که در بسیاری از فرآیندهای گیاهی دارد، باید افزایش یابد. تحقیقات نشان داده است که در شرایط تغییر اقلیم و افزایش CO₂، امکان تغییر کیفیت محصولات تولیدی نیز وجود دارد.

