بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات برنج کشور

تغذیه برنج

نویسندگان:
دکتر شهرام محمود سلطانی
دکتر مسعود کاووسی
مهندس حسن شکری واحد
دکتر تیمور رضوی پور
دکتر شهریار بابازاده
دکتر مریم شکوری کتیگری
دکتر محمد محمدیان
اعضای هیات علمی و محققین موسسه تحقیقات برنج کشور

۱۴۰۰

عنوان و نام پدیدآور	:	تغذیه برنج/ نویسندگان شهرام محمودسلطانی ... [و دیگران]؛ [برای] وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور.
مشخصات نشر	:	تهران: راز نهان، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	۱۵۶ ص.: جدول.
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۲۷۸-۲۲۰-۷
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	نویسندگان شهرام محمودسلطانی، مسعود کاووسی، حسن شکری‌واحد، تیمور رضوی‌پور، شهریار بابازاده، مریم شکوری‌کتیگری، محمد محمدیان.
یادداشت	:	کتابنامه: ص. [۱۴۸] - ۱۵۷.
موضوع	:	برنج -- تغذیه
موضوع	:	Rice -- Nutrition
شناسه افزوده	:	محمودسلطانی، شهرام، ۱۳۴۶-
شناسه افزوده	:	سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
شناسه افزوده	:	موسسه تحقیقات برنج کشور
رده بندی کنگره	:	SB۱۹۱
رده بندی دیویی	:	۶۳۳/۱۸
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۴۰۴۱۹۶
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

تغذیه برنج

نویسندگان: دکتر شهرام محمود سلطانی، دکتر مسعود کاووسی، مهندس حسن شکری واحد، دکتر تیمور رضوی پور، دکتر شهریار بابازاده، دکتر مریم شکوری کتیگری، دکتر محمد محمدیان

ویراستاران علمی: دکتر صاحب سودایی‌مشایی، دکتر رضا ابراهیمی
ویراستار ادبی: دکتر مهدی جلائیان
انتشارات: رازنهان
صفحه آرا: اکرم ملک نژاد
طراح جلد: الویرا صیامی
نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۰
شمارگان: ۱۰۰۰ جلد
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۷۸-۲۲۰-۷
قیمت: ۴۵۰,۰۰۰ ریال

۱- این اثر به شماره 400-37 k و تاریخ ۱۴۰۰/۰۶/۲۴ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی به ثبت رسیده است.
۲- مسئولیت صحت مطالب با نویسندگان است.
۳- کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور می‌باشد.
شماره تماس: ۰۹۲۲۴۰۱۳۷۰۴ و ۰۲۱۶۶۹۳۲۲۴۵

پیش‌گفتار

اکنون که کشور عزیز ایران دوران دشوارکم‌آبی را پیش‌رو دارد، نه‌تنها امکان افزایش سطح زیر کشت برای محصول راهبردی برنج فراهم نیست بلکه ترجیح سیاست‌گذاران بخش کشاورزی به محدود کردن کشت برنج در استان‌های شمالی است، مدیریت هرچه بهتر منابع تولید بیش از پیش ضروری می‌نماید. اگرچه در سال‌های اخیر از تکنیک‌هایی که برای تولید نیاز به استفاده از خاک ندارند استفاده می‌شود ولی این تکنیک‌ها در ذات خود این امکان را ندارند که نیاز بشر به خاک را مرتفع سازند. بنابراین همچنان خاک به عنوان منبع اصلی تولید محصولات کشاورزی در درجه اول اهمیت قرار دارد. از عوامل اصلی و تاثیرگذار در مدیریت خاک به عنوان منبع تولید، شناخت و ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک و انتخاب سازوکار مناسب برای ارائه توصیه‌های کودی جهت دستیابی به عملکرد مطلوب می‌باشد. در سطح دنیا از روش‌های مختلفی چون آزمون خاک، توصیه کودی مختص مکان، تجزیه بافت، استفاده از علائم ظاهری نشان‌دهنده کمبود، کفایت یا بیش‌بود عناصر غذایی و غیره برای ارزیابی وضعیت حاصلخیزی و توصیه کودی استفاده می‌شود که انتخاب هر یک از روش‌های ذکرشده وابسته به امکانات موجود، سطح دقت مورد نیاز و عوامل دیگر می‌باشد. کتاب حاضر سعی نموده که هرکدام از روش‌های مذکور را تشریح نموده و معایب و مزایای هرکدام را متذکر شود. مبنای توصیه کودی برای عناصر اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم نتایج حاصل از اجرای پروژه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی است که طی سی سال گذشته در مراکز تحقیقات استان‌های گیلان و مازندران و همچنین موسسه تحقیقات برنج کشور انجام گردیده ولی درتوصیه‌ها برای سایر عناصر غذایی بطور عمده از منابع سایر مراکز تحقیقاتی در نقاط دیگر دنیا استفاده شده است. امید است که با استفاده از دستورالعمل‌های ارائه شده در این کتاب که حاصل تلاش جمعی از محققان عرصه تحقیقات حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در موسسه تحقیقات برنج کشور است گامی مفید در راستای رسیدن به امنیت غذایی و تولید محصول سالم با کمترین لطمه به منابع تولید برداشته شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱۱
۱- انواع خاک‌های غرقاب و تغییرات الکترو شیمیایی مهم پس از غرقاب شدن خاک‌های شالیزاری ... ۱۴
۱-۱ انواع خاک‌های غرقاب ۱۴
۱-۲ تغییرات شیمیایی و الکترو شیمیایی مهم در خاک‌های شالیزاری ۱۵
فصل دوم: روش‌های ارزیابی حاصلخیزی خاک و توصیه کودی ۱۹
۲-۱- آزمون خاک ۲۱
۲-۲- تفسیر نتایج آزمایش‌های واسنجی ۲۲
۲-۳- تشخیص کمبود ۲۴
۲-۳-۱- نمونه برداری و آزمون خاک ۲۵
۲-۳-۲- تجزیه گیاه ۲۷
۲-۳- مدیریت کودی مختص مکان ۲۹
۲-۴- توصیه کودی بر اساس تجزیه بافت‌های گیاهی ۳۱
۲-۵- توصیه کودی براساس علائم ظاهری گیاه ۳۵
فصل سوم: عناصر غذایی ۳۷
۳-۱-نیتروژن ۳۹
۳-۱-۱- نیتروژن در خاک ۳۹
۳-۱-۲- تغییرات نیتروژن در خاک ۴۰
۳-۱-۳- نیتروژن و گیاه برنج ۴۵
۳-۱-۴- کارایی کودهای نیتروژنه ۴۵
۳-۱-۵- راهکارهایی برای افزایش کارایی کودهای نیتروژنه ۴۶
۳-۱-۶- نقش نیتروژن در گیاه برنج ۴۸
۳-۱-۷- علائم کمبود نیتروژن در گیاه برنج ۴۹
۳-۱-۸- عواملی که موجب کمبود نیتروژن می‌شوند ۵۱
۳-۱-۹- خصوصیات خاک‌هایی که در معرض کمبود نیتروژن هستند ۵۱
۳-۱-۱۰- مصرف بیش از حد نیتروژن و علائم آن ۵۱
۳-۱-۱۱- محاسبه مقدارکود ۵۴
۳-۲- فسفر ۵۶
۳-۲-۱- فسفر در خاک ۵۶
۳-۲-۲-شکل‌های فسفر در خاک ۵۶
۳-۲-۳- وضعیت فسفر در اراضی شالیزاری استان گیلان ۵۸

۳-۲-۴- فسفر و اهمیت آن در تغذیه گیاه برنج ۵۹
۳-۲-۵- وظایف اصلی فسفر در گیاه برنج ۵۹
۳-۲-۶- غلظت فسفر در اندام‌های برنج ۶۰
۳-۲-۷-کمبود فسفر در گیاه برنج) ۶۰
۳-۲-۸- عوامل مؤثر در جذب فسفر به وسیله گیاه ۶۳
۳-۲-۹- مدیریت کود فسفر در برنج ۶۴
۳-۳- پتاسیم ۶۶
۳-۳-۱-پتاسیم درخاک ۶۶
۳-۳-۲- پتاسیم در گیاه ۶۹
۳-۳-۳- علایم کمبود پتاسیم در برنج ۷۲
۳-۳-۴- زمان مناسب کاربرد کودهای پتاسیمی ۷۳
۳-۴-سیلیسیم ۷۴
۳-۴-۱- سیلیسیم در خاک ۷۴
۳-۴-۲-نقش سیلیسیم در تغذیه گیاه ۷۵
۳-۴-۳- حد بحرانی سیلیس در خاک و گیاه برنج ۷۶
۳-۴-۴- علائم کمبود سیلیس در گیاهان ۷۸
۳-۴-۵-روش‌های مدیریتی عنصر سیلیس در مزارع شالیزاری ۷۹
۳-۵- روی (ZN) ۸۰
۳-۵-۱- روی در خاک ۸۰
۳-۵-۲- عوامل مؤثر در فراهمی روی در خاک ۸۱
۳-۵-۳- خاک‌های مستعد کمبود روی ۸۳
۳-۵-۴- نقش روی در برنج ۸۴
۳-۵-۵- علائم کمبود روی در گیاه برنج ۸۴
۳-۵-۶- حدبحرانی روی در اراضی شالیزاری ۸۶
۳-۵-۷- کودهای حاوی عنصر روی ۸۷
۳-۵-۸- روش‌های مصرف کود روی ۸۹
۳-۶-کلسیم ۹۲
۳-۶-۱- کلسیم در خاک ۹۲
۳-۶-۲- کلسیم در گیاه ۹۳
۳-۶-۳- علائم کمبود کلسیم ۹۴
۳-۶-۴- دلایل کمبود کلسیم ۹۵
۳-۷- منیزیم ۹۶
۳-۷-۱- نقش منیزیم در گیاه ۹۶
۳-۷-۲- علایم کمبود منیزیم ۹۶

۳-۸-گوگرد ۹۷
۳-۸-۱- نقش گوگرد در گیاه ۹۷
۳-۸-۲-علایم کمبود ۹۸
۳-۸-۳- علائم مسمومیت سولفید در گیاه برنج ۹۹
۳-۸-۴- دلایل وقوع سمیت سولفید ۹۹
۳-۹-آهن ۹۹
۳-۹-۱- نقش آهن در گیاه ۹۹
۳-۹-۲- علایم کمبود آهن در گیاه برنج ۱۰۰
۳-۹-۳-علائم مسمومیت آهن ۱۰۱
۳-۱۰- منگنز ۱۰۲
۳-۱۰-۱- منگنز در خاک و گیاه ۱۰۲
۳-۱۰-۲- علایم کمبود منگنز ۱۰۲
۳-۱۰-۳- علایم مسمومیت منگنز ۱۰۳
فصل چهارم: شوری و عوارض آن در برنج ۱۰۵
۴-۱- تغییرات شوری خاک در اثر غرقاب شدن خاک ۱۰۷
۴-۲-پارامترهای مؤثر در کیفیت آب ۱۰۸
۴-۳- پیش بینی خسارت ناشی از شوری در برنج ۱۱۰
۴-۴- علایم شوری در برنج ۱۱۰
فصل پنجم: مواد آلی ۱۱۳
۵-۱- نقش مواد آلی در زراعت برنج سالم و ارگانیک ۱۱۵
۵-۲- تعریف کود و طبقه بندی آن ۱۱۶
۵-۳- انواع کودهای آلی ۱۱۷
۵-۳-۱-کودهای دامی ۱۱۸
۵-۳-۲-کودآلی بقایای گیاهی و حیوانی مزرعه ۱۱۹
۵-۳-۳- بقایای برنج نمونه‌ای از کودهای گیاهی ۱۱۹
۵-۴- کودهای بیولوژیک یا زیستی ۱۲۱
۵-۴-۱- مزایای کودهای بیولوژیک ۱۲۱
۵-۴-۲- طبقه‌بندی کودهای بیولوژیک ۱۲۲
۵-۵- نقش آزولا در تغذیه برنج ۱۲۳
۵- ۶- ماده تلقیحی سیانوباکتر (BGA) ۱۲۵
۵-۷-کود سبز ۱۲۵
۵- ۸- کمپوست ۱۲۶
۵- ۹- اثرکمپوست بر ویژگی‌های خاک ۱۲۷
۵- ۱۰- کمپوست کاه و کلش برنج ۱۲۸

۵- ۱۱- ورمی‌کمپوست ۱۳۰
۵-۱۲- فواید ورمی‌کمپوست ۱۳۱
۵-۱۳- هوموس ۱۳۲
۵-۱۳-۱- هوموسی شدن فرایند تبدیل ماده آلی به هوموس ۱۳۴
۵-۱۳-۲- مواد تشکیل‌دهنده هوموس (گیاه‌خاک) ۱۳۵
۵-۱۳-۳- انواع هوموس ۱۳۵
۵-۱۳-۴- فواید هوموس ۱۳۷
۵-۱۳-۵- معایب هوموس ۱۳۷
۵-۱۳-۶- کاربرد هوموس در باغبانی ۱۳۸
۵-۱۳-۷- تعیین میزان هوموس موردنیاز ۱۳۸
۵-۱۳-۸- ترکیب خاک و هوموس ۱۳۸
۵-۱۳-۹- کاربرد هوموس در بستر ریشه ۱۳۹
۵-۱۳-۱۰- دفعات کوددهی هوموس ۱۳۹
۵-۱۳-۱۱- هوموس یا کمپوست ۱۳۹
۵-۱۳-۱۲- نتیجه‌گیری استفاده از هوموس ۱۴۰
فصل ششم: ضمیمه ۱۴۳
۶-۱- توصیه کودی فسفر در اراضی شالیزاری از منبع سوپر فسفات تریپل برای ارقام بومی برحسب کیلوگرم در هکتار (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور) ۱۴۵
۶-۲- توصیه کودی پتاسیم در اراضی شالیزاری از منبع کلرور پتاسیم یا سولفات پتاسیم برای ارقام بومی برحسب کیلوگرم در هکتار (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور) ۱۴۵
۶-۳- دامنه و میانگین تعدادی از خصوصیات شیمیایی خاک (تعداد نمونه خاک ۳۹۹) (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور) ۱۴۶
۶-۴- مقدار عناصر در بافت گیاه برنج (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور) ۱۴۶
منابع ۱۴۷

فصل اول

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی نزدیک به نیمی از جمعیت جهان و تأمین کننده ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز ساکنان مناطق برنج‌خیز جهان است (FAO, 2018). آمارهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) نشان می‌دهد که با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، تا سال ۲۰۲۵ به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک برای پاسخگوی به نیاز غذایی رو به رشد جمعیت جهان به این منبع راهبردی غذایی نیاز می‌باشد. این در حالی است که افزایش قابل اتکای سطح اراضی شالیزاری امکانپذیر نبوده و تنها بایستی به روش‌های به‌زراعی روی آورد که منجر به افزایش عملکرد در واحد سطح می‌شوند (FAO, 2013). اگرچه پیشرفت‌های ژنتیکی و به‌زراعی در طول پنج دهه گذشته همانند دو جهش بزرگ در علوم کشاورزی میزان عملکرد دانه برنج را بیش از سه برابر افزایش داده است (Tonini and Cabrera, 2013؛ Khoshgoftarmanesh et al., 2009). ولی همچنان شکافهای بزرگی بین عملکرد در زمین کشاورزان، ایستگاه‌های تحقیقاتی و نیازهای غذایی کشورهای در حال توسعه دیده می‌شود که مانع از دست یابی به عملکرد ژنتیکی گیاه برنج می‌شود. چرا که برای تولید پایدار و اقتصادی برنج نه تنها به آب آبیاری کافی نیاز است بلکه عرضه متعادل عناصر پر و کم‌مصرف حیاتی و نیازمند توجه جدی است.

در ایران بعد از گندم (به غیر از استان‌های شمالی کشور) غذای اصلی مردم کشور را تشکیل می‌دهد. براساس آمار سال ۱۳۹۸ سطح زیر کشت برنج در کشور بطور متوسط ۶۰۰ هزار هکتار با متوسط عملکرد ۴۸۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. این مقدار عملکرد حتی از کشورهایی مانند مصر نیز کمتر است. بخش عمده اراضی برنجکاری کشور بصورت کشت غرقابی است. کشت غرقابی عموماً جزء اراضی تحت آبیاری طبقه بندی شده و بیشتر آنها در آسیا (تولید کننده ۷۰٪ برنج جهان) قرار دارند. آماده سازی زمین شامل غرقاب‌کردن وبه دنبال آن شخم و گلخرابی خاک اشباع می‌باشد. زمین تحت شرایط غرقابی برای بخش عمده‌ای از فصل زراعی اشباع از آب نگه داشته می‌شود (Bouman and Tuong, 2001). پس

از غرقابی، مزارع برنج دچار تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی مختلفی شده که در تعیین مناسب بودن زمین برای تولید برنج بسیار مهم است. به طور کلی، غرقاب کردن خاک شالیزاری که به خوبی زهکشی شده است باعث می‌شود تا اکسیژن آن تخلیه شده و در نتیجه پتانسیل اکسایش و احیا آن کاهش و pH آن در خاک‌های اسیدی افزایش یابد (Mahmoud Soltani et al., 2014)، در حالی که در خاک‌های قلیایی و یا آهکی، اسیدیته خاک در اثر احیای همزمان شیمیایی برخی عناصر پر و کم مصرف کاهش می‌یابد

(Renkou et al., 2003). با این حال، میزان این تغییرات نیز به ویژگی‌های فیزیکی خاک، رژیم آب و درجه حرارت در ریزوسفر ارتباط دارد.

اگرچه در دهه‌های اخیر روش‌های مبتنی بر به‌نژادی توانسته گام‌های موثری در افزایش عملکرد در واحد سطح بردارد ولی روش‌های به زراعی مبتنی بر کاربرد کود و مواد اصلاح کننده شرایط خاک همچنان کارآترین و سریع‌ترین روشها برای جلوگیری از کاهش عملکرد و یا افزایش عملکرد می‌باشند. بنابراین کاربرد عناصر غذایی در شالیزارهای دارای کمبود، مهم‌ترین و آسان‌ترین راهبرد مقابله با کمبود آنها بوده و همزمان سبب افزایش عملکرد دانه و افزایش غلظت این عناصر در دانه می‌شود (Hussian et al., 2012؛ MahmoudSoltani et al., 2017).

۱- انواع خاک‌های غرقاب و تغییرات الکترو شیمیایی مهم پس از غرقاب شدن خاک‌های شالیزاری

۱-۱ انواع خاک‌های غرقاب

الف) خاک‌های ماندابی[1] خاک‌هایی هستند که در قسمت اعظم طول سال غرقاب بوده و تحت تأثیر فرایندهای اکسیداسیون- احیا دارای یک افق مشخص گلی شده می‌باشند. این خاک‌ها دارای مشخصات زیر می‌باشند:

- دارای یک افق A نسبتاً اکسیدی با مواد آلی بالا هستند
- دارای مناطقی با منقوطه‌های رنگی هستند که در آن تغییرات وضعیت اکسایش- کاهش به چشم می‌خورد
- دارای منطقه کاملاً احیایی به رنگ سبز مایل به آبی هستند.

1. Waterlogged Soils

ب) خاک‌های مارش[1]: خاک‌های مارش را می‌توان به عنوان خاک‌هایی که کم و بیش بطور دائم اشباع از آب یا غرقاب هستند، تعریف نمود. مشخصه بارز این خاک‌ها، تجمع بقایای گیاهی در افق سطحی و وجود یک لایه دائماً احیایی در زیر آن می‌باشد.

ج) خاک‌های نیمه غرقابی[2]: این خاک‌ها از رسوبات اقیانوسی، دریاچه‌ای و رودخانه‌ای تشکیل می‌شوند.

د) خاک‌های شالیزاری[3]: خاک‌هایی هستند که با روش‌های خاصی برای کشت آبی برنج مدیریت می‌شوند. این عملیات مدیریتی شامل تسطیح و احداث مرز به منظور جمع آوری آب در مزرعه، شله زنی یا گلخرابی (شخم و بهم زدن خاک و صاف کردن سطح خاک)، نگهداری چند سانتی‌متر آب در بالای سطح خاک به مدت ۳ تا ۵ ماه طول دوره رشد گیاه، زهکشی و خشک کردن مزرعه در زمان برداشت و غرقاب نمودن مجدد خاک به فاصله چند هفته تا ۸ ماه پس از برداشت برنج می‌باشد تا امکان کشت برنج و رشد آن در یک بستر نرم فراهم گردد (Bouman and Tuong, 2001). خاک‌های شالیزاری معمولاً از نظر زهکشی سطحی و درونی ضعیف هستند. بنابراین بیشترین شالیزارها در دلتاها و دشت‌های سیلابی مجاور آن و در دره‌ها و دشت‌های ساحلی یافت می‌شوند.

۱-۲ تغییرات شیمیایی و الکترو شیمیایی مهم در خاک‌های شالیزاری

غرقاب شدن خاک غیر اشباع مجموعه‌ای از تغییرات شیمیایی و الکتروشیمیایی در آن ایجاد می‌کند که در حاصلخیزی خاک بسیار مؤثر است. مهم‌ترین این تغییرات عبارتند از:

- **مصرف و کاهش اکسیژن:** معمولاً چند ساعت پس از غرقاب شدن خاک، اکسیژن گازی و حل شده در آب به وسیله میکروارگانیسم‌های هوازی مصرف می‌شود و خاک (بجز یک لایه نازک در سطح خاک) عاری از اکسیژن مولکولی می‌شود. سپس باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری و بی‌هوازی اجباری از ترکیبات اکسید شده خاک به عنوان‌پذیرنده الکترون طی فرایندهای تنفسی خود استفاده نموده و باعث احیای آنها طبق توالی پیش‌بینی شده توسط اصول ترمودینامیکی می‌شوند (Bouman and Tuong, 2001).

1. Marsh
2. Subaquatic Soils
3. Paddy Soils

- **تغییرات واکنش خاک (pH):** با غرقاب شدن خاک pH خاک‌های اسیدی افزایش می‌یابد ولی عکس این پدیده یعنی کاهش pH در خاک‌های آهکی و سدیمی اتفاق می‌افتد. معمولاً در اثر غرقاب pH خاک بین ۶/۷ تا ۷/۲ در خاک و بین ۶/۵ تا ۷ در محلول خاک تثبیت می‌گردد (Mahmoudsoltani et al., 2015). درابتدا و به فاصله چند روز پس از غرقاب شدن خاک به علت افزایش فشار گاز کربنیک ناشی از افزایش فعالیت تنفسی میکروارگانیسم‌های خاکزی، اسیدیته خاک به پایین‌ترین حد خود رسیده و سپس به سمت اسیدیته پایدارخنثی (pH=6-7) حرکت می‌کند. اسیدیته خاک‌های قلیا، پس از غرقاب شدن کاهش می‌یابد واین کاهش بدلیل افزایش فشارجزیی گاز گربنیک است.

- **تغییرات در هدایت ویژه خاک:** هدایت ویژه محلول اکثر خاک‌ها بعد از غرقاب افزایش می‌یابد و به یک حداکثر می‌رسد و سپس به یک حد تقریباً ثابتی که در خاک‌های مختلف فرق می‌کند، کاهش می‌یابد. اوج هدایت ویژه در خاک‌های نرمال در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس ۲ تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر است (Malakooti and Kavoosi, 2004).

- **تغییرات پتانسیل اکسایش-کاهش در اثر غرقاب شدن خاک شالیزاری:** وقتی یک خاک غرقاب می‌شود پتانسیل رداکس آن در روزهای اول غرقاب کاهش می‌یابد و به کمترین مقدار خود براساس وضعیت خاک می‌رسد و سپس مجدداً افزایش یافته و به یک مقدار حداکثر رسیده و مجدداً کاهش می‌یابد و در یک مقدار مشخصی که معادل پتانسیل رداکس خاک پس از ۸ تا ۱۲ هفته پس از غرقاب است ثابت می‌ماند. تأثیر فاکتورهای خاکی بر رداکس خاک را می‌توان بطور خلاصه به شرح زیر عنوان نمود:

الف) خاک‌های با نیترات زیاد (بیش از ۲۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) پس از چند هفته غرقاب شدن، هنوز می‌توانند رداکس مثبت داشته باشند.

ب) خاک‌های با مواد آلی کم (کمتر از ۱/۵ درصد) یا منگنز زیاد (بیش از ۰/۲ درصد) پس از ۶ ماه غرقاب پتانسیل رداکس را در حد مثبت حفظ می‌کنند.

ج) خاک‌های شنی با فعالیت پایین منگنز و آهن و با بیش از ۳ درصد ماده آلی بعد از دو هفته غرقاب شدن، رداکس آن‌ها به ۲۰۰- تا ۳۰۰- میلی‌ولت می‌رسند.

- تأثیر غرقاب بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در شالیزار

- **نیترات:** نیترات در زمان غرقاب در خاک های هوازی و همچنین در آب ایستابی، چند میلی متر تا یک سانتی متر سطح فوقانی خاک شالیزار و در منطقه اکسیدی ریزوسفر وجود دارد. اما به سرعت در لایه‌های احیایی خاک‌های شالیزاری به N_2O و N_2 احیا می گردد. در واقع یکی از دلایل مهم پایین بودن راندمان مصرف کودهای نیتروژنی در خاک‌های شالیزاری، ازبین رفتن نیترات طی فرایند دنیتریفیکاسیون می‌باشد (Malakooti and Kavoosi, 2004).

- **آمونیوم:** در خاک‌های هوازی فراورده نهایی معدنی شدن نیتروژن آلی، نیترات و در خاک‌های غرقاب آمونیوم است. در خاک‌های با پتانسیل رداکس پایین، غلظت نیترات در مقایسه با آمونیوم ناچیز است. بنابراین در خاک‌های غرقاب آمونیوم تجمع یافته و شکل غالب نیتروژن معدنی خاک می‌باشد. بنابراین سرعت آزاد شدن آمونیوم درخاک‌های شالیزاری شاخص مناسبی برای ارزیابی خاک در تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه می‌باشد. فرآیند آمونیفیکاسیون تا حد زیادی به نوع خاک و دمای آن بستگی دارد و با افزایش دما عموماً شدت این پدیده افزایش می‌یابد. خاک‌های با نیتروژن کل بالا، آمونیوم بیشتری نسبت به خاک‌های دیگر آزاد می‌کنند. معمولاً بیش از نیمی از آمونیوم معدنی شده در طول ۱۶ هفته رشد برنج، در همان دو هفته اول پس از غرقاب آزاد می‌شود. وجود نیتروژن به صورت آمونیوم در خاک‌های شالیزاری از نظر حاصلخیزی خاک یک پدیده مفید ارزیابی می‌گردد چون هدررفت نیتروژن به صورت دنیتریفیکاسیون و شستشو را در مقایسه با نیترات کاهش می‌دهد (Malakooti and Kavoosi, 2004).

- **فسفر:** هنگامی که خاک غرقاب می‌شود، غلظت فسفر محلول درآب و محلول در اسید افزایش می‌یابد، به حداکثر خود می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد. نوع فسفر محلول در آب تا حد زیادی به واکنش خاک، مقدار کربن آلی خاک، مقدار آهن فعال و بافت خاک بستگی دارد.

- **پتاسیم:** بررسی‌های مختلف نشان داده که پس از غرقاب کردن خاک، پتاسیم محلول در آب افزایش می‌یابد. چون با غرقاب شدن خاک غلظت یون‌های $Fe2^{+}$ و Mn^{2+} افزایش یافته و این یون‌ها بر سر مکان‌های تبادلی با پتاسیم رقابت کرده و پتاسیم تبادلی را

به محلول خاک آزاد می‌کنند. بنابراین با افزایش میزان پتاسیم قابل جذب در محلول خاک گیاه برنج آسانتر و به میزان بیشتری از آن را جذب می‌کند.

- **آهن:** بارزترین تغییری که هنگام غرقاب شدن خاک و کاهش پتانسیل رداکس آن به وجود می‌آید احیا آهن سه ظرفیتی به آهن دو ظرفیتی می‌باشد که نتیجه آن تغییر رنگ خاک از قهوه‌ای به رنگ خاکستری و آزاد شدن مقادیر زیادی از آهن دو ظرفیتی به محلول خاک می‌باشد. غلظت آهن محلول پس از افزایش شدید به مقدار نسبتاً ثابتی می‌رسد که از غلظت آهن قبل از غرقاب قطعاً بیشتر است.

- **منگنز:** منگنز محلول و تبادلی پس از غرقاب افزایش یافته و پس از رسیدن به یک حداکثر دوباره کاهش می‌یابد.

- **سولفات:** در خاک‌های خنثی و قلیایی بدون توجه به مقدار سولفات اولیه خاک، آنیون سولفات سریعاً تلف شده و ظرف ۴ هفته پس از غرقاب غلظت آن به کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر در محلول خاک کاهش می‌یابد. اما در خاک‌های اسیدی ابتدا یک افزایش قابل ملاحظه در غلظت آنیون سولفات اتفاق می‌افتد و سپس در ۱۶ هفته پس از غرقاب به کمترین مقدار خود می‌رسد. احیای سولفات در خاک‌های آهکی خنثی و قلیایی در اثر غرقاب ممکن است منجر به کمبود گوگرد در این خاک‌ها گردد.

- **مس:** مس محلول در آب پس از غرقاب نمودن خاک کاهش می‌یابد. کاهش قابلیت دسترسی مس در خاک‌های اسیدی تا نزدیک خنثی پس از غرقاب، ناشی از رسوب آن به صورت هیدروکسید، کربنات و سولفید می‌باشد.

فصل دوم

روش‌های ارزیابی حاصلخیزی خاک و توصیه کودی

روش‌های متفاوتی برای ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک و توصیه‌های کودی برمبنای آن وجود دارد که در زیر به چند روش مهم اشاره می‌شود.

۲-۱- آزمون خاک

یکی از شیوه‌های علمی توصیه کودی، اجرای برنامه آزمون خاک و استفاده از نتایج آن می‌باشد. برنامه آزمون خاک برای یک عنصرغذایی شامل مراحل زیر است:

الف- انتخاب عصاره‌گیر

ب- همبستگی بین مقدار عنصر غذایی عصاره‌گیری‌شده و مقدار جذب‌شده توسط گیاه.

ج- واسنجی مقادیر بدست‌آمده از آزمون برای بررسی اثر آن بر ویژگی‌های موردنظر گیاه که اغلب عملکرد می‌باشد.

د- توصیه‌های کودی که برپایه تفسیر نتایج آزمایش‌های واسنجی و منحنی‌های پاسخ گیاه انجام می‌شود (Corey,1987).

آزمایش‌های واسنجی از ارکان اساسی و بسیار مهم در یک برنامه آزمون خاک موفق می‌باشد. بدون داشتن اطلاعات کافی از پاسخ گیاه نسبت به مصرف کود در ارتباط با سطح عنصر مورد مطالعه درخاک، در واقع اعداد بدست‌آمده از عصاره‌گیرهای شیمیایی عنصر موردنظر، معنی و مفهومی ندارد (Evans,1987). برای واسنجی یک عنصر غذایی خاص لازم است که خاک‌هایی که دارای دامنه وسیعی از آن عنصر غذایی از حد کمبود تا حد کفایت هستند را انتخاب‌کنیم. برای اینکه توزیع نقاط در منحنی‌های پاسخ مطلوب باشد باید طیف وسیعی از مقادیر آن عنصر غذایی در خاک‌های مورد بررسی موجود باشد. این کار را می‌توان با انتخاب چندین محل که مقدار عنصر قابل استفاده آنها در دامنه مورد نظر قرار دارند و یا با انتخاب محلی که خاک آن از نظر آن عنصر دارای کمبود است و ایجاد دامنه مورد نظر در آن با استفاده ازمقادیرکودی مختلف، امکان‌پذیر نمود (Evans,1987). با استفاده از دو روش

مذکور می‌توان با شیوه‌های مختلف منحنی‌های پاسخ گیاه به مصرف کود را بدست آورد و با این منحنی‌ها توصیه‌های‌کودی لازم را انجام داد. آزمایش‌های واسنجی باید بطور پیوسته و دائم انجام شود چون تغییر در مدیریت عملیات کشاورزی و معرفی و کشت ارقام جدید و عوامل دیگر باعث می‌شود که منحنی‌های پاسخ گیاه به مصرف کود نیز احتمالاً تغییر نماید که این امر تداوم مطالعات واسنجی را ضروری می‌سازد. منحنی‌های پاسخ گیاه معمولاً منحنی‌های پیوسته‌ای هستند که در آن مقادیر مختلف عنصر عصاره‌گیری شده از خاک در مقابل عملکرد نسبی یا عملکرد مطلق گیاه قرارداده می‌شود و سپس یک منحنی پیوسته بین نقاط بدست‌آمده برازش می‌یابد (Dhanke and Olson,1990). این منحنی‌ها سپس به بخش‌های مختلفی از نظر مقدار قابل استفاده آن عنصر در خاک چون کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌شود.

۲-۲- تفسیر نتایج آزمایش‌های واسنجی

تفسیر نتایج آزمایش‌های واسنجی دریک برنامه آزمون خاک فرآیندی است که به وسیله آن وضعیت حاصلخیزی براساس برخی از عوامل مشخص و داده‌های موجود ارزیابی می‌گردد. شکل ساده این تفسیر آن است که ارزیابی براساس روابط بین مقادیر عصاره‌گیری شده عنصر غذایی و عملکرد انجام می‌گیرد و در انواع پیچیده‌تر ملاحظات دیگری چون نوع گیاهی که باید کشت شود، عملکردی که می‌خواهیم به آن دست یابیم، کیفیت محصول، ویژگی‌های خاک و آب و هوا و اخیراً سیستم‌های شخم و فاکتورهای زیست محیطی نیز در تفسیر در نظر گرفته می‌شود (Eckert,1987). داده‌های حاصل از آزمایش‌های واسنجی به شیوه‌های مختلفی می‌توانند تفسیر شوند که این تفاوت در شیوه تفسیر ناشی از فلسفه و طرز نگرش به موضوع حاصلخیزی و تغذیه گیاه می‌باشد. با اینکه دیدگاه‌های مختلفی در تفسیر داده‌های واسنجی وجود دارد ولی عموماً سه فلسفه حد کفایت، فلسفه افزایش عناصرغذایی در خاک و حفظ آن و فلسفه نسبت اشباع کاتیونی ایده‌آل بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- **فلسفه حدکفایت:** این فلسفه معتقد است سطح مشخصی از یک عنصر غذایی درخاک وجود دارد که در کمتر از آن، گیاه نسبت به مصرف کود پاسخ و در بیشتر از آن سطح، احتمالاً گیاه نسبت به مصرف کود عکس‌العمل نشان نخواهد داد. این فلسفه فرض می‌کند که با افزودن عنصرغذایی در حدی که فقط رفع کمبود شود نیاز گیاه به آن عنصر

مرتفع می‌گردد و نیازی به مصرف بیشتر کود نمی‌باشد و هدف کوددهی در این فلسفه عبارت است از افزودن مقادیر کافی کود برای تولید عملکرد موردنظر و یا بهره اقتصادی مطلوب و اگر مقدار عنصر در خاک در حدی باشد که افزایش عملکرد یا بهره حاصل از آن اقتصادی نباشد، توصیه کودی انجام نمی‌شود. این نوع تفسیر به عنوان کوددهی گیاه نامیده می‌شود (Black,1993- Eckert,1987). این فلسفه در بعضی شرایط معتبر نمی‌باشد. مثلاً وقتی‌که با یک عنصرغذایی متحرک چون نیتروژن روبرو باشیم به علت تحرک زیاد این عنصر و شکل‌های انتقالی آن درخاک، عملاً تعیین حد کفایت آن در خاک بسیار مشکل و یا غیرممکن بوده و استفاده از این فلسفه دچار محدودیت خواهد شد. استثنای دیگر در مورد خاک‌هایی است که به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی پایین قادر نیستند سطح قابل قبولی از عنصر را در محدوده ریشه تأمین و حفظ نمایند بنابراین استفاده از این فلسفه در بعضی از خاک‌های شنی که دارای شرایط مذکور هستند، معتبر نمی‌باشد. برای استفاده ازاین فلسفه باید چند شرط لازم را فراهم نمود. روش‌های تجزیه یا اندازه‌گیری عنصر غذایی مورد مطالعه در خاک باید به نحوی باشند که آن عنصر را متناسب با مقدار جذب بوسیله گیاه تحت شرایط مزرعه‌ای استخراج نمایند. اعداد بدست آمده درآزمون خاک باید هبستگی‌شان با عملکرد گیاه در شرایط مزرعه‌ای تعیین شده و مشخص گردد تا حد کفایت عنصر مورد نظر در شرایط مزرعه‌ای تشخیص داده شود و نهایتاً ظرفیت بافری هریک از خاک‌ها در ارتباط با عنصر مورد نظر باید بررسی شود تا بتوان توصیه کودی مناسبی ارائه نمود (Eckert,1987).

۲- **فلسفه افزایش عناصرغذایی در خاک و حفظ آن:** برطبق این فلسفه تأمین عناصرغذایی در خاک‌ها باید به نحوی باشدکه ظرف یک تا دو سال سطح این عناصر درخاک باکوددهی به حد بالایی افزایش یابد و سپس این سطح با افزودن هر ساله مقادیری از آن عناصر که گیاه صرفنظر از مقدار آن عنصر در خاک جذب می‌کند، حفظ گردد. این فلسفه گاهی تحت عنوان کوددهی خاک نامیده می‌شود. از دیدگاه اقتصادی، کوددهی خاک با مقادیرکافی برای تولید حداکثر عملکرد، اگر کود مجانی و هزینه مصرف آن نیز ناچیز باشد، مفیدترین و مطلوب‌ترین روش برای کشاورزان می‌باشد. ولی با وجوداینکه در کشورهای پیشرفته قیمت کود در مقایسه با قیمت محصول کم می‌باشد اما با این حال مقادیرکودی

توصیه شده براساس این فلسفه، اغلب از نظر اقتصادی بهره‌دهی کمتری از مصرف کود لازم فقط برای تولید حداکثر محصول دارد (Black,1993).

۳- **فلسفه نسبت اشباع کاتیونی ایده‌آل:** این فلسفه نخستین بار در نیوجرسی آمریکا و توسط بئر و همکاران (۱۹۴۸) ارائه گردید. برطبق نظر آنها دریک خاک ایده‌آل کلسیم ۶۵ درصد، منیزیم ۱۰ درصد، پتاسیم ۵ درصد و هیدروژن ۲۰ درصد از مکان‌های تبادلی را اشغال کرده‌اند. بعدها گراهام و بیکر (۱۹۵۱) بجای استفاده از اعداد خاص، دامنه‌ای از نسبت اشباع کاتیونی ایده‌آل برای هر عنصر را مطرح نمود که در آن کلسیم ۶۵ تا ۸۵ درصد، منیزیم ۶ تا ۱۲ درصد و پتاسیم ۲ تا ۵ درصد از کمپلکس‌های تبادل کاتیونی را شامل می‌شد. استفاده از این فلسفه در تفسیر برنامه آزمون خاک چندان زیاد نبوده و بسیاری از محققین نتوانسته‌اند نسبت ایده‌آلی از کاتیون‌ها را معرفی نمایند. به هرحال این فلسفه بیشتر توسط آزمایشگاه‌های تجاری و صنعتی دنبال شده است تا آزمایشگاه‌های علمی و تحقیقاتی (Mc Lean,1977).

۲-۳- تشخیص کمبود

کنترل و پایش نشانه‌های قابل مشاهده کمبود یک عنصر در مزرعه یک ابزار تشخیصی سریع و راحت برای یافتن موارد کمبود شدید در بسیاری از محصولات زراعی مانند برنج است. اگرچه این کار نیاز به دانش و تخصص کافی دارد. با این حال، در برخی موارد بدلیل مشابه بودن علائم کمبود یک عنصر خاص با کمبود برخی عناصر دیگر گیج کننده است. البته این واقعیت که موارد خفیف یا حتی متوسط کمبودها اغلب منجر به علائم تشخیصی روشن نمی‌شود نیز در برنامه‌های تشخیصی گمراه کننده است. اگر یک محصول رشد کافی و یا عملکرد خوب نداشته باشد، فقدان علائم قابل مشاهده مشخص نمی‌تواند به عنوان نشانه‌ایی از نبود کمبود و یا کمبود سایر عناصر دیگر فرض شود. چرا که بررسی‌های تشخیصی می‌تواند این حقیقت را که گیاه دچار گرسنگی پنهان (کمبود بدون علامت) بوده و گاهی اوقات می‌تواند کاهش عملکردی در حدود ۴۰ درصد یا بیشتر را بدون علائم قابل مشاهد سبب شود را آشکارمی‌کند.

در این راستا عاقلانه‌ترین کار انجام آزمون خاک و / یا تجزیه بافت گیاهی تأیید کننده وجود کمبود در موارد مشکوک به کمبود است. این کار کشاورزان را قادر می‌سازد تا علاوه بر

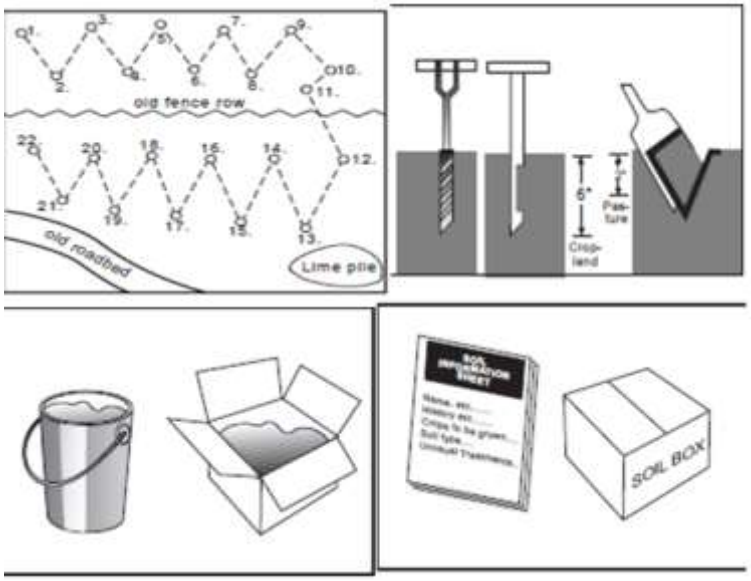
تشخیص وجود و یا عدم وجود کمبود، وضعیت عرضه یک عنصر توسط خاک را برای برای محصولات بعدی پیش‌بینی کرده تا اقدامات پیشگیرانه مناسب قبل از کاشت محصول انجام شده تا از کاهش عملکرد و کیفیت دانه اجتناب شود. چرا که پس از کاربرد کودهای شیمیایی حاوی عنصر مورد نیاز گیاه برای رشد و تولید عملکرد مناسب را تأمین می‌کند. با این حال، انجام آزمون‌های دوره‌ای خاک یا گیاه برای اطمینان‌بخشی از کاهش میزان قابل جذب یک عنصر به کمتر از مقادیر بحرانی همواره توصیه می‌شود.

۲-۳-۱- نمونه برداری و آزمون خاک

آزمون خاک دارای این مزیت است که پیش از آنالیز بافت گیاهی صورت پذیرفته و در هر زمان (قبل و همزمان با چرخه رشد گیاه) قابل انجام است. اینکه تمام بررسی‌های تشخیصی به تهیه نمونه مناسب و درست وابسته است مورد توافق تمامی کارشناسان علوم تغذیه گیاهی می‌باشد. با توجه به ناهمگونی مجموعه خاک در بسیاری از زمین‌های کشاورزی، برداشت تعداد کافی از نمونه‌های فرعی درمزرعه مورد بررسی، و انتخاب یک نمونه ترکیبی (از ترکیب نمونه‌های فرعی) که نماینده دقیق زمین کشاورزی برای اطمینان بیشتر لازم است. تغییردر مقدار یک عنصر در خاک حتی در نقاط گوناکون از سطح یک مزرعه مشکلی است که ناشی از تفاوت در بافت و خواص دیگرفیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین پخش غیر یکنواخت کود می‌باشد.

یک دستورالعمل معمولی نمونه برداری عبارت است از تهیه یک نمونه مرکب از ۱۵ تا ۲۰ نمونه ساده، از لایه سطحی خاک (۲۵ - ۰ سانتی متر)، بازای هر هکتار و یا کمتراز یک هکتار. این نمونه‌ها بایستی در الگویی به شکل W بر روی زمین مورد نظربرداشته شوند. در صورتی که امکان ترسیم الگوی W در شالیزار فراهم نباشد، براساس دستور العمل موسسه بین المللی برنج هرگاه اراضی شما بین ۰/۱ تا ۱ هکتار باشد می‌توانید آنرا به قطعات مساوی (مربع و یا مستطیل شکل) تقسیم و از هر قطعه بطور تصادفی نمونه فرعی تهیه نمایید. برای این کار می‌توانید از یک مته نمونه گیری خاک و یا دیگر ابزار نمونه برداری مانند بیل، بیلچه استفاده نمایید. این نمونه‌های فرعی را باید در یک سطل پلاستیکی تمیز قرار داده و تمامی بقایای گیاهی، سنگ و کلوخ آنرا خارج نموده و زمانی که همه ۵ نمونه جمع آوری شدند به طور کامل مخلوط و سپس بر روی یک ورق تمیز پلاستیک روی یک نیمکت یا بر روی

زمین قرار داده و نمونه‌ای کوچک در حدود ۲۵۰ گرم برای تجزیه و تعیین مقدار عنصر مورد نظر برداشت نمایید (شکل ۲-۱). برای تهیه نمونه نه‌ایی ۲۵۰ گرمی، علاوه بر روش بیان شده می‌توانید از روش برداشت ۵۰ گرم از هر نمونه فرعی و مخلوط آنها نیز استفاده کنید. نمونه یا نمونه‌های نهایی تهیه شده بایستی در ظروف تمیز، غیر فلزی بسته بندی گردیده و تمام اطلاعات و جزئیات مربوط به محل نمونه برداری شامل طول و عرض جغرافیایی (در صورت امکان)، نام کشاورز، نام جغرافیایی محلی که مزرعه در آن واقع شده است، تاریخ نمونه برداری، نام نمونه بردار، عمق نمونه برداری بر روی کاغذی با ضخامت مناسب نوشته و پس از قرار دادن آن در کیسه پلاستیکی (مانندکیسه فریزر) و بستن درب آن، آنرا در داخل ظرف نمونه قرار داده و یا با خود داشته باشید. توجه به این نکته ضروری است که از زمان نمونه گیری تا تحویل نمونه یا نمونه‌ها به آزمایشگاه سعی نمایید از آلوده شدن آنها به هرگونه مواد خارجی جلوگیری نمایید. تمام نمونه‌هایی که به شکل استاندارد بیان شده، تهیه شده است فقط و فقط به آزمایشگاه مجاز ارسال نمایید. هر آزمایشگاه مجازی ممکن است به یکی از روش‌های استاندارد مقدار قابل جذب یک عنصر برای گیاه را تعیین نماید.



شکل ۲- ۱- چگونگی نمونه برداری و ابزار مورد نیاز: الف) نحوه تقسیم بندی زمین، ب) ابزار نمونه گیری، ج) ظروف ترکیب نمونه‌های فرعی برای گزینش نمونه اصلی، د) ظرف نگاهداری نمونه و اطلاعات مورد نیاز
http://www.cglrc.cgiar.org/iita/soilSampling/9._Sampling_Tools_and_Sample_Preparation

اگرچه آزمایشگاه‌های گوناگون از روش‌های متفاوتی برای تعیین مقدار قابل جذب عناصر استفاده می‌کنند. از انجائیکه استفاده از حد بحرانی برای تفسیر آزمون خاک بشدت به نوع محصول و همچنین نوع خاک شالیزاری وابسته است بنابر این برای کشاورزان و متخصصین محلی بخش کشاورزی لازم است تا در تفسیر نتایج آزمون خاک و ارائه مناسب‌ترین روش درمان، اطلاعاتی مانند pH خاک، مقدار رس خاک و مواد آلی را نیز در نظر داشته باشند. برتری آزمون‌های خاک نسبت به تجزیه گیاه این است که آنها قادر به پیش‌بینی کمبودهای احتمالی قبل از کاشت نشا و شروع رشد محصول بوده و با اطلاعات ناشی از این آزمون‌ها می‌توان میزان کود مناسب و یا راهکارهای مناسب دیگر برای جلوگیری از افت عملکرد و / یا کیفیت دانه برنج را ارائه نمود تا در فصل زراعی پیش روگیاه دچار کمبود نشود.

۲-۳-۲- تجزیه گیاه

مزیت تجزیه گیاه برای تعیین مواد غذایی نسبت به آزمون خاک در این است که می‌تواند وضعیت گیاه را دقیقاً در زمان نمونه‌گیری تعیین کرده و منجر به ارائه راهکارهای سریع برای رفع کمبودهای احتمالی شود. همه عواملی که در خاک و گیاه بر فراهمی و قابلیت جذب، و انتقال یک عنصر در گیاه مؤثر است اثر خود را در نتیجه تجزیه نشان می‌دهند. تجزیه بافت گیاه بشدت وابسته به نوع بافت گیاه و مراحل رشد گیاه برنج است و نتیجه تجزیه گیاه نشان دهنده قوی‌ترین رابطه همبستگی با عملکرد و کیفیت گیاه می‌باشند.

همانند آزمون خاک، غلظت‌های بحرانی کمبود اغلب برای تفسیر نتایج تجزیه گیاه استفاده می‌شوند. غلظت کمبود بحرانی، غلظتی از عنصر در بافت مشخصی از گیاه تعریف شده است که در آن کاهشی در حدود ۱۰٪ در عملکرد گیاه رخ داده است. غلظت کمبود بحرانی معمولاً توسط آزمایش‌های گلخانه‌ای تعیین شده ولی می‌بایست با کارهای مزرع‌هایی تأیید شود، زیرا در غالب موارد در گلدان‌های گلخانه‌ایی نسبت به همان خاک در مزرعه برای گیاه یکسان مقدار بیشتری از جذب عناصر رخ می‌دهد.

بافت گیاهی انتخاب شده برای تجزیه باید به آسان قابل شناسایی بوده واز بخش‌هایی نمونه برداری شود که به مسیرحرکت عنصر در گیاه مربوط می‌شود چراکه تحرک آنها در گیاهانی که مقدار کافی از یک عنصر را دریافت می‌کنند بیشتر از گیاهانی است که ازکمبود رنج می‌برند. اندام‌های گیاهی انتخاب شده برای تجزیه شامل تمام ساقه، کامل‌ترین برگ‌های

گیاه از نظر فیزیولوژیکی (دومین برگ از تاج گیاه) و در برخی موارد، دانه آنها است (برای آزمون کیفیت). نمونه برداری از تمام ساقه با مشکلات همراه است زیرا غلظت در این بخش از گیاه با سن تغییر می‌کند. غلظت بحرانی با افزایش سن گیاهان کاهش می‌یابد. این تا حدودی به خصوصیت ساقه مرتبط است که تمایل دارد تا غلظت‌های پایین‌تری را در خود نگاه دارد. ولی در هر صورت پیشنهاد می‌شود در صورت امکان نمونه گیاه کامل را برای آزمون‌های تشخیصی به آزمایشگاه مجاز برده تا در آنجا کارشناسان متبحر بتواند از بخش‌های مهم نمونه‌های نهایی را تهیه و نسبت به تجزیه آن اقدام نمایند. در تهیه نمونه‌ای گیاهی و انتقال آن به آزمایشگاه مجاز توجه به نکات زیر ضروری است:

۱- از اندام‌های گیاهی آلوده به خاک، گردو غبار و سایر آلودگی‌های محیطی اجتناب نمایید.

۲- از اندام‌های گیاهی که تخریب شده و شکل طبیعی خود را ازدست داده‌اند نمونه برداری نکنید.

۳- از اندام ای گیاهی آلوده شده با آفات و بیماری‌های گیاهی برای نمونه برداری استفاده نکنید.

۴- برای آزمون‌های تشخیصی کمبود روی از نقاطی که علائم کمبود را دارند نمونه برداری کنید و نتیجه آنرا با نمونه‌ایی که از مناطق بدون مشکل مزرعه گرفته‌اید مقایسه نمایید.

۵- حتی‌الامکان از مناطق حاشیه مزرعه نمونه برداری نشود

۶- در زمان نمونه برداری به مرحله رشد گیاه و اندام گیاهی دقت نموده و در برچسب حاوی اطلاعات بهمراه تاریخ، نام کشاورز، محل نمونه برداری ثبت نمایید.

۷- در صورت نداشتن دانش کافی در باره چگونگی نمونه برداری از گیاه، از گیاه کامل (دارای علائم و بدون علائم) نمونه‌گیری گردد.

۸- نمونه‌ها را در پاکت‌های کاغذی تمیزقرار نگاهداری کرده و قبل از ارسال به آزمایشگاه در محیط خشک و خنک (ترجیحاً یخچال) قرار دهید.

پس از تجزیه گیاه، نتیجه را می‌توانید با اطلاعات مندرج در جداول استاندارد (در بخش‌های زیر و مربوط به هر عنصر) مقایسه و از وجود کمبود در عنصر مورد نظر در مزرعه آگاه شوید.

۲-۳- مدیریت کودی مختص مکان

توصیه‌های کودهای موجود برای برنج اغلب شامل یک مقدار از پیش تعیین شده نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) برای مناطق وسیع تولید برنج است. در چنین توصیه‌هایی فرض می‌شود که نیاز گیاه زراعی برنج به مواد غذایی ثابت است. اما نیازهای گیاه برنج در طی رشد برای مواد غذایی بیشتر می‌تواند در فصل‌ها و سال‌های مختلف به علت تفاوت‌هایی که در شرایط کشت محصول، مدیریت محصول و خاک، و آب و هوا بوجود می‌آید بسیار متفاوت باشد. از اینرو، مدیریت مواد غذایی برای برنج نیازمند یک رویکرد جدید است تا تنظیم و تعادل را در استفاده از N، P و K برای تعدیل نیازهای خاص محصول مزرعه برنج برای مواد مغذی اضافی را انجام دهد.

رویکرد مدیریت تغذیه مختص مکان چیست؟

روش مدیریت تغذیه مختص مکان[1] در کشورهای تولیدکننده برنج آسیایی از طریق مشارکت در اتحادیه تحقیقات برنج آبیاری[2] توسعه یافت. این شیوه تلاش می‌کند تا کشاورزان را قادر سازد که به صورت پویا و مداوم میزان کود مورد نیاز گیاه را کنترل و تنظیم کرده و بتوانند بطور دقیق و مطلوب کمبود بین نیازهای مواد مغذی یک محصول و عرضه آن مواد مغذی از منابع طبیعی بومی مانند خاک، مواد ارگانیک، بقایای محصولات، کود و آب آبیاری را جبران نمایند.

اهداف:

- تأمین مواد مغذی بومی در هر مکان (سایت)
- تغییرات زمانی در وضعیت N گیاه در یک دوره رشد (فصل خاص)
- تغییرات متوسط در تغییرات پتاسیم خاک براساس مقدار مواد مغذی تجمعی

1. Specific Nutrient Management (SSNM)
2. Irrigated Rice Research Consortium

رویکرد مدیریت تغذیه مختص مکان بطور خاص به منظور کاهش یا افزایش مصرف کود نیست. در عوض، هدف آن است که مواد مغذی را به میزان و زمان مناسب به منظور دستیابی به عملکرد بالا و افزایش راندمان مصرف مواد مغذی توسط محصول برنج اعمال نماید. رویکرد مدیریت تغذیه مختص مکان را می‌توان در سه مرحله اساسی توصیف کرد.

مرحله ۱: ایجاد یک هدف قابل دستیابی

عملکرد برنج در یک مکان وابسته به شرایط آب و هوایی، نوع رقم، مدیریت محصول و خاک می‌باشد. هدف از عملکرد برای یک مکان و فصل مشخص شده، عملکرد دانه تخمینی قابل دستیابی با مدیریت کشاورزان است که در آن محدودیت‌های N، P و K برطرف می‌شوند. مقدار مواد مغذی که توسط محصول برنج مصرف می‌شود به طور مستقیم با عملکرد محصول ارتباط دارد. بنابراین هدف، نشان دهنده مقدار کل مواد مغذی است که باید توسط محصول مورد استفاده قرار گیرد.

مرحله ۲: استفاده مؤثر از مواد غذایی موجود

رویکرد مدیریت تغذیه مختص مکان، استفاده بهینه از مواد مغذی موجود (بومی) در خاک، مواد آلی، بقایای محصول، کود، و آب آبیاری را ترویج می‌کند. جذب مواد غذایی از منابع بومی می‌تواند از عملکرد محدودی که از کرت‌های شاهد بدون مصرف کود بدست می‌آید محاسبه شود.

مرحله ۳: مصرف کود برای پرکردن کسری بین نیازهای محصول و عرضه بومی خاک

به منظور پرکردن کسری بین نیازهای محصول و عرضه بومی خاک، کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه برای افزودن مواد مغذی به منابع بومی و رسیدن به عملکرد هدف‌گذاری شده استفاده می‌شود. مقدار کود ضروری به وسیله کسری بین نیازهای کل مواد غذایی تعیین شده توسط هدف و میزان عرضه این مواد مغذی از منابع بومی تعیین می‌شود. کود مورد نیاز در چندین برنامه کاربردی در طی فصل رشد محصول به منظور فراهم نمودن بهترین عملکرد و غلبه بر کمبود و حفظ باروری خاک استفاده می‌شود.

۲-۴- توصیه کودی بر اساس تجزیه بافت‌های گیاهی

تجزیه گیاه ابزار مهمی برای بهبود تغذیه و عملکرد محصول می‌باشد. در حالی که از آزمون خاک برای شناسایی مواد مغذی ارائه شده به گیاه استفاده می‌گردد، تجزیه گیاه نشان می‌دهد که گیاه چه مقدار از مواد غذایی خاک را استفاده نموده است؛ زیرا علاوه بر مقدار مواد غذایی قابل جذب در خاک عوامل دیگری نیز در روند جذب توسط گیاه اثرگذار است که می‌تواند مانع از جذب عناصر از خاک گردد (Nagornyy, 2013). علاوه بر این، تجزیه گیاه کمبودهای پنهان را شناسایی، علائم بصری کمبود را تأیید و سطوح سمی را مشخص می‌نماید (Shahaei, 2007). البته بایستی در نظر داشت تجزیه گیاهان یک ساله مانند برنج به ندرت می‌تواند یک راهنما برای اصلاح وضعیت فصل رشد حاضر باشد و ما را قادر به مدیریت کودی محصول در همان فصل زراعی نماید مگر در ابتدای فصل رشد تشخیص داده شود تا فرصت کافی برای اصلاح وجود داشته باشد. اما نتایج تجزیه می‌تواند برنامه‌ریزی برای فصل زراعی آتی را امکان‌پذیر سازد (EPA[1], 2002). تجزیه گیاه نمی‌تواند جانشین آزمون خاک شود اما هنگامی که در کنار آزمون خاک انجام گیرد می‌تواند در جهت تکمیل توصیه کودی مؤثر واقع گردد (Shahaei, 2007). اهداف عمومی تجزیه گیاه:

- تشخیص یا تأیید علائم کمبود قابل مشاهده
- شناسایی مشکلات کمبود پنهان عناصر
- مشخص نمودن مناطق کمبود اولیه عناصر
- اطلاع یافتن از انتقال موادغذایی خاک به گیاه
- شناسایی اثرات متقابل بین مواد غذایی
- کمک به درک عملکرد داخلی گیاهان
- پیشنهادات تکمیلی برای شناسایی مشکلات (EPA, 2002).

برای بدست آوردن نتایج صحیح و کاربردی بایستی روش نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه و در نهایت تجزیه‌های آزمایشگاهی گیاه به درستی انجام گیرد. برای رسیدن به این امر چند نکته اساسی را بایستی در نظر گرفت.

1. Environmental Protection Agency

۱- نمونه‌برداری از بخش درست گیاه انجام گیرد.

۲- بخش مورد نظرگیاه باید در مرحله‌ی مشخصی از رشد آن نمونه‌برداری شود. زیرا غلظت عناصر غذایی در اندام‌های گیاه با سن فیزیولوژیکی گیاه تغییر می‌نماید به عنوان مثال غلظت عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر در برگ با افزایش سن گیاه کاهش، اماکلسیم و منیزیم با سن گیاه افزایش می‌یابد. بنابراین بسیار مهم است که چه قسمت از گیاه را در چه مرحله از سن فیزیولوژیکی گیاه نمونه‌برداری گردد که بیان کننده نیاز واقعی گیاه باشد (جدول ۱). بخش‌های لازم برای نمونه‌برداری بافت گیاه برنج را در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی نشان می‌دهد.

۳- باید متوجه بود که غلظت یک عنصر ممکن است به وسیله‌ی عنصر دیگری تحت تأثیر قرار گیرد. بنابراین بعضی مواقع نسبت یک عنصر غذایی به عنصر دیگر (برای نمونه منیزیم به پتاسیم، گوگرد به نیتروژن، آهن به منگنز) ممکن است قابل اعتمادترین راهنما از حالت تغذیه‌ی گیاه باشد (Shahaei, 2007).

اندازه‌گیری‌ها در تجزیه گیاهی برای تعیین غلظت عناصر غذایی در بافت گیاه می‌باشد که به دو روش آزمایش سریع بافت و تجزیه کامل بافت گیاهی انجام می‌گیرد. در آزمایش سریع بافت، شیره‌گیاهی را با فشار از سلول خارج نموده و غلظت عناصر را در آن تعیین می‌کنند. نتایج این آزمایشات معمولاً به صورت کیفی (کم، متوسط و زیاد) گزارش می‌شود. غلظت یک عنصر غذایی خاص در شیره گیاه نمایانگر میزانی است که در زمان آزمایش در اختیار گیاه بوده و بنابراین می‌تواند نشان‌دهنده قابلیت جذب آن عنصر در خاک باشد. از مهم‌ترین مزایای آزمایش سریع بافت سرعت عمل، سهولت انجام آن و پی بردن به کمبود قبل از ظهور علائم در گیاه است. کمی نبودن نتایج و نبود روش‌های سریع اندازه‌گیری برای کلیه عناصر از مشکلات استفاده از این روش می‌باشد.

در روش‌های تجزیه کامل، گیاه کامل یا قسمتی از آن مورد آزمایش قرار گرفته و مقدار کل عنصر مورد نظر در آن تعیین می‌گردد. در این روش بافت‌های گیاهی پس از خشک شدن در دمای ۷۰ درجه و آسیاب شدن برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد نیاز در آزمایشگاه آماده می‌گردد. سپس بافت گیاهی به روش هضم خشک یا هضم‌تر به عصاره تبدیل می‌گردد تا برای تعیین و اندازه‌گیری مقدار کل عنصر یا عناصر مورد نظر استفاده گردد

(Benton, 2001). دقت بالا و کمی بودن نتایج از مهم‌ترین مزیت‌های این روش است.

جهت تفسیر و توصیه کودی براساس نتایج تجزیه بافت می‌توان از روش‌های غلظت بحرانی و حد کفایت استفاده نمود (Ray Campbell, 2013). این روش‌ها بطور گسترده برای تفسیر نتایج تجزیه بافت گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. غلظت بحرانی یا حد کفایت مواد غذایی بیشتر یک واژه نسبی است؛ زیرا کمبود مطلق را نمی‌توان تعیین نمود. بهتر است این حدود به صورت دامنه‌ای غلظت بیان شود تا یک غلظت خاص (Owen Plank, 1992). شناسایی دقیق مرحله رشد در تعیین این محدودیت‌های غذایی، بسیار مهم است، زیرا این محدوده برای هر ماده مغذی بر اساس نوع محصول و مرحله خاص رشد مشخص می‌گردد (Williams et al, 2010) به عنوان مثال: اگر یک نمونه گیاهی از برنج در مرحله پنجه‌زنی (کل گیاه) دارای ۲/۹ درصد تا ۴/۲ درصد نیتروژن کل باشد، در محدوده حد کفایت قرار دارد. این در حالی است که سطح نیتروژن کل در مرحله رسیدن دانه بین ۰/۶ تا ۰/۸ درصد بایستی قرار داشته باشد تا در دامنه مناسب قرار گیرد. در واقع دامنه کفایت با سن گیاه تغییر می‌کند. با آنکه این سیستم یک روش رایج برای تفسیر تجریه و تحلیل بافت است، اما دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد، مانند:

۱- حساسیت کم: تشخیص کمبودها در دامنه‌ایی از غلظت است که این محدوده‌ها بسیار گسترده است، بنابراین حساسیت کم است.

۲- عدم سهولت: همیشه نمونه‌برداری از مرحله ویژه فیزیولوژیکی گیاه آسان نیست.

۳- مرحله رشد گیاه: شناخت و تعیین درست مرحله رشد کار دشواری بوده و نیاز به تخصص و تجربه دارد.

۴- مشکلات چندگانه: ناتوانی در تعیین اهمیت نسبی عوامل محدودکننده عملکرد مخصوصاً زمانی بیش از یک عامل محدودکننده وجود داشته باشد. اگر دیگر استرسها مثل خشکسالی، شوری، بیماری یا حشرات مشکلی در رشد طبیعی گیاه ایجاد کند می‌تواند بر غلظت موادغذایی در بافت گیاهی اثرگذار باشد. بنابراین تفسیر علائم کمبود بسیار مشکل است.

۵- سطوح بحرانی برای چندین عنصر غذایی شناسایی شده است، اما مقادیر بر اساس شرایط آب و هوایی، رقم و مرحله رشد می‌تواند متغیر باشند. از این رو مقادیر بحرانی را باید تنها با احتیاط خیلی زیاد استفاده کرد. (جدول ۲-۲)

با این حال استفاده از غلظت عناصر غذایی در گیاه در کنار آزمون خاک و مشاهدات دقیق ظاهری می‌تواند یک ابزار مفید برای تشخیص مشکلات محصول باشد (Williams et al, 2010).

جدول ۲-۲- مقادیر بحرانی عناصر مختلف برای کمبود و سمیت در گیاه برنج (دلاور و محمدی، ۱۳۹۱)

عنصر	کمبود یا سمیت	حد بحرانی	قسمت‌های تجزیه شده گیاه	مرحله رشد
نیتروژن	کمبود	۲/۵ درصد	پهنک برگ	پنجه زنی
فسفر	کمبود	۰/۱ درصد	پهنک برگ	پنجه زنی
	سمیت	۱ درصد	کاه	رسیدگی
پتاسیم	کمبود	۱ درصد	کاه	رسیدگی
	کمبود	۱ درصد	پهنک برگ	پنجه زنی
کلسیم	کمبود	۰/۱۵ درصد	کاه	رسیدگی
منیزیم	کمبود	۰/۱ درصد	کاه	رسیدگی
گوگرد	کمبود	۰/۱۶ درصد	اندام هوایی	پنجه زنی
	کمبود	۰/۰۶ درصد	کاه	رسیدگی
سیلیسیم	کمبود	۵ درصد	کاه	رسیدگی
آهن	کمبود	۷۰ پی پی‌ام	پهنک برگ	پنجه زنی
	سمیت	۳۰۰ پی پی‌ام	پهنک برگ	پنجه زنی
روی	کمبود	۱۰ پی پی‌ام	اندام هوایی	پنجه زنی
	سمیت	بیشتر از ۱۵۰۰ پی‌پی ام	کاه	رسیدگی
منگنز	کمبود	۲۰ پی‌پی‌ام	اندام هوایی	پنجه زنی
	سمیت	۷۰۰۰ پی‌پی‌ام	اندام هوایی	پنجه زنی
بر	کمبود	کمتر از ۳/۴ پی‌پی‌ام	کاه	رسیدگی
	سمیت	۱۰۰ پی‌پی‌ام	کاه	رسیدگی
مس	کمبود	کمتر از ۶ پی پی‌ام	کاه	رسیدگی
	سمیت	۳۰ پی‌پی ام	کاه	رسیدگی
ید	سمیت	۳۰ پی پی‌ام	اندام هوایی	پنجه زنی
آلومینیم	سمیت	۳۰۰ پی پی‌ام	اندام هوایی	پنجه زنی

۲-۵- توصیه کودی براساس علائم ظاهری گیاه

هر یک از عناصر غذایی مسئولیت ویژه‌ای در گیاه به عهده دارند. از نظر نقش عناصر باید گفت که عناصر پرمصرف در ساختمان سلول و اندام گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند در حالی که عناصر کم مصرف در نظام‌های حیاتی گیاه، در آنزیم‌ها و کوآنزیم‌ها فعالیت می‌کنند (Salardini, 2004). بنابراین کمبود هر کدام از این عناصر در خاک اختلالاتی در گیاه به وجود می‌آورد که علائم ظاهری این اختلالات در اندام‌های هوایی گیاهان ظاهر می‌گردد. در صورتی که این علائم به موقع و با دقت کافی تشخیص داده شوند، تخمین ارزیابی حاصلخیزی خاک براساس آن‌ها امکان‌پذیر می‌باشد. با ظاهر شدن علائم کمبود در گیاه می‌توان کمبود عنصر مربوطه را در گیاه تشخیص داد. ارزیابی علائم ظاهری کمبود و سمیت در گیاه بسیار سخت و دشوار است، به همین دلیل آزمون خاک برای تأیید این علائم در تجزیه و تحلیل بافت‌های گیاهی بسیار ارزشمند است. از دلایل اصلی احتیاط در شناسایی و استفاده علائم ظاهری کمبود یا سمیت مواد مغذی عبارتند از:

۱- بسیاری از علائم مشابه هستند، به عنوان مثال نیتروژن و گوگرد بسته به موقعیت، مرحله رشد و شدت کمبود دارای علائم یکسان است.

۲- کمبودها و یا سمیت‌های متعدد می‌تواند هم زمان رخ دهد، و یا می‌تواند منجر به افزایش دیگر مواد مغذی گردد. به عنوان مثال، فسفر بیش از حد باعث کمبود روی می‌گردد.

۳- گونه‌های زراعی و حتی برخی از ارقام همان گونه، در توانایی انطباق با کمبود یا سمیت مواد مغذی متفاوت است.

۴- عواملی مانند بیماری، خشکسالی، ناهنجاری‌های ژنتیکی، علف‌کش و آفت‌کش‌ها، حشرات و تراکم خاک علائم ظاهری مشابه با علائم کمبود مواد مغذی دارند.

۵- گیاهان ممکن است گرسنگی پنهان داشته باشند، بدون نشان دادن علائم ظاهری کمبود.

علاوه بر اقدامات احتیاطی ذکر شده در بالا، مشاهدات علائم ظاهری با محدودیت زمان نیز همراه است؛ زیرا ممکن است زمان بین کمبود (گرسنگی پنهان) تا ظهور علائم ظاهری کمبود، سلامت محصول و بهره وری به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد (McCauley et al., 2003).

شکل‌های ۲-۲ و ۲-۳ علائم رایج کمبود عناصر را در برگ و غلاف برنج نشان می‌دهند.

شکل ۲-۲- علائم رایج کمبود عناصر پرمصرف در برگ گیاه برنج
https://journals.plos.org/plosone/article/figure?id=10.1371/journal.pone.0113200.g001

شکل ۲-۳- علائم کمبود عناصر پرمصرف در غلاف برگ گیاه برنج
https://journals.plos.org/plosone/article/figure?id=10.1371/journal.pone.0113200.g002

فصل سوم

عناصر غذایی

۳-۱-نیتروژن

۳-۱-۱- نیتروژن در خاک

نیتروژن بطور وسیع در سراسر لیتوسفر، اتمسفر، هیدروسفر و بیوسفر توزیع شده است، برخلاف دو عنصر مهم تغذیه‌ای دیگر (فسفر و پتاسیم)، انبار ذخیره‌ای از نیتروژن در معادن لیتوسفر وجود نداشته و بنابراین‌کودهای حاوی نیتروژن از تغییر و تبدیل نیتروژن غیرفعال اتمسفر به اشکال فعال این عنصر ساخته می‌شوند. بخش ناچیزی از نیتروژن که بطور عمده بصورت ترکیبات آلی می‌باشد در خاک وجود دارد. مقدار نیتروژن کل موجود در مواد معدنی بخش سطحی خاک بطور طبیعی بین ۰/۰۵ تا ۰/۲ درصد بوده که این مقدار تقریباً معادل ۱۷۵۰ تا ۷۰۰۰ کیلوگرم نیتروژن درهکتار در لایه شخم می‌باشد مقادیرکمتر یا بیشتر نیتروژن در خاک می‌تواند تحت تأثیر فرآیندهای متفاوت تشکیل خاک یافت شود. از مقدار کل نیتروژن موجود در خاک فقط بخش ناچیزی از آن (کمتر از ۵ درصد) مستقیماً قابل دسترس گیاهان بوده که این میزان عمدتاً بصورت نیترات و آمونیوم می‌باشد. نیتروژن آلی خاک طی فرآیند معدنی شدن می‌تواند به تدریج قابل استفاده گیاه گردد. نیتروژن یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهان و تولید بهینه آنها می‌باشد این عنصر تقریباً در تمامی اجزای گیاه نقش داشته و جزء اصلی ترکیب کلروفیل، آنزیم‌ها وپروتئین می‌باشد. از آنجایی که مقادیر زیادی از نیتروژن در زمان کمتری در مقایسه با دیگر عناصر ضروری باید در اختیار گیاه قرار گیرد لذا نقاط استقرار این عنصر تابع شرایط خاص می‌باشد. نیتروژن با تحریک رشد ریشه، جذب سایر عناصر غذایی و توسعه اجزای گیاهی را سبب می‌شود بنابراین اکثر گیاهان بجز لگوم ها که قادر به تثبیت گاز نیتروژن (N_2) اتمسفری هستند به مصرف کودهای حاوی نیتروژن بسرعت پاسخ می‌دهند (lagreid and et al., 1999).

در بسیاری از اکوسیستم‌ها، نیتروژن از خاک به گیاه و سپس از طریق بقایای گیاهی بـه خاک انتقال می‌یابد، این جابجایی‌ها عمدتاً از طریق فعالیـت میکروارگانیسـم‌هـای خـاک در

چرخه‌ای که به چرخه نیتروژن معروف است صورت می گیرد. در شرایط طبیعی مقدار نیتروژن ورودی و خروجی به این چرخه در تعادل با هم می‌باشند ولی در اکوسیستم‌های کشاورزی این تعادل بدلیل خروج مقدار قابل توجهی از نیتروژن با برداشت محصول از سطح مزرعه بهم می‌خورد و در نتیجه مصرف کودهای نیتروژنه جهت حفظ و نگهداری و یا افزایش باروری خاک ضروری می‌باشد. طی ۵۰ سال گذشته استفاده از کودهای حاوی نیتروژن و مدیریت مناسبتر مصرف آنها موجب افزایش تولیدات جهانی غذا شده است (lagreid and et al., 1999).

۳-۱-۲- تغییرات نیتروژن در خاک

میکروارگانیسم‌ها خاک مسئول تغییرات مهم ترکیبات نیتروژن در خاک هستند از جمله:

۱- آزادسازی نیتروژن از ترکیبات آلی ۲- اکسید کردن آمونیوم و تبدیل آن به یون‌های نیتریت و نیترات

۳- احیای نیترات به گاز نیتروژن و اکسیدهای آن مخصوصاً اکسید نیترو ۴- تثبیت نیتروژن اتمسفری در خاک.

از اصلی‌ترین تغییرات نیتروژن توسط موجودات خاکزی در خاک می‌توان از آمونیفیکاسیون[1]، نیتریفیکاسیون[2]، دنیتریفیکاسیون[3] و تثبیت نیتروژن[4] نام برد (Hofman and cleemput, 2004).

معدنی شدن[5]

به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن نیتروژن آلی خاک به اشکال معدنی مانند آمونیوم یا نیترات تبدیل می‌شوند. تبدیل ترکیبات آلی نیتروژن به نیترات توسط موجودات خاکزی خاصی صورت می‌گیرد، لذا می‌توان معدنی شدن را شامل دومرحله مجزا آمونیفیکاسیون و نیتریفیکاسیون دانست (Hofman and cleemput, 2004).

1. Ammonification
2. Nitrification
3. Denitrification
4. Nitrogen Fixation
5. Mineralization

آمونیفیکاسیون[1]

به فرآیندی اطلاق می‌شود که طی آن نیتروژن آلی به نیتروژن آمونیاکی تبدیل می‌شود. این فرآیند ناشی از عمل تعداد زیادی موجودات خاکزی به ویژه باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌باشد. قسمت اعظم آمونیاک تولید شده در خاک طی تشکیل باند قوی بین آمونیاک و یون هیدروژن تبدیل به یون آمونیوم (NH_4^+) می‌گردد.

مواد آلی نیتروژن‌دار

$$R.\ NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + R - OH$$

$$NH_3 + H_2CO_3 \longrightarrow (NH_4)_2 \longrightarrow CO_3\ 2\ NH_4^+ + CO_3^{--}$$

توانایی خاک برای تأمین نیتروژن معدنی موردنیاز گیاهان زراعی بعد از فصل رشد به مقدار زیاد وابسته به ذخیره نیتروژن آلی خاک، طبیعت بقایای آلی و توان جامعه موجودات خاکزی برای تولید آمونیوم می‌باشد. آمونیفیکاسیون فرآیند مهمی است نه‌تنها از آن جهت که مواد خام فرآیند نیتریفیکاسیون را تأمین می‌کند؛ بلکه از آن جهت که یک منبع سهل‌الوصول نیتروژنه برای گیاهان علفی و غلات محسوب شده و می‌تواند به دلیل تلفات کمی که در خاک ایجاد می‌کند یک منبع قابل توصیه برای گیاهان زراعی تلقی شود. یون آمونیوم در گیاه دارای راندمان بیشتر بوده و کمتر از نیترات در پروفیل خاک حضور دارد (Hofman and cleemput, 2004).

نیتریفیکاسیون[2]

اگر یون آمونیوم تولید شده در مرحله آمونیفیکاسیون به وسیله گیاه یا میکروارگانیسم‌ها به مصرف نرسد و یا در بین لایه‌های رس تثبیت نگردد اکسید شده و به نیتریت و نیترات تبدیل می‌گردد این عمل توسط موجودات خاکزی صورت می‌گیرد. پس به فرآیند تبدیل آمونیوم موجود در محیط توسط موجودات خاکزی به نیتریت و نیترات نیتریفیکاسیون گویند. باکتری‌های عامل در این فرآیند نیتروزموناس و نیتروباکترها هستند. نیتروزموناس با اکسید کردن آمونیوم آن را به نیتریت و نیتروباکترها، نیتریت تولید شده را به نیترات تبدیل می‌نمایند (Hofman and cleemput, 2004).

1. Ammonification
2. Nitrification

نیتروزوناموس

$$NH_4^+ + {}^3/_2O_2 \longrightarrow NO_2^- + H_2O + 2H$$

نیتروباکتر

$$NO_2^- + {}^1/_2O_2 \longrightarrow NO_3^-$$

هردوی این باکتری‌ها هوازی هستند، لذا تهویه خاک باید مناسب باشد.

از عوامل متعدد محیطی تأثیرگذار بر روی نیترات‌سازی می‌توان به درجه حرارت، تهویه، رطوبت خاک، pH محیط و مواد سمی اشاره نمود. مناسب‌ترین دما برای فعالیت باکتری‌های مسئول این فرآیند ۳۰- ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رطوبت خاک هم خود بر این مرحله مؤثر است و هم با تأثیرگذاری بر روی تهویه خاک بر نیتریفیکاسیون مؤثر می‌باشد. در رطوبت کم خاک، عمل معدنی شدن نیتروژن آلی کُند و بنابراین از نظر آمونیوم قابل دسترس محیط دچار محدودیت می‌باشد. هرچند باکتری‌های مسئول عمل نیترات‌سازی حتی در رطوبت‌های پایین‌تر از نقطه پژمردگی نیز می‌توانند مقادیر قابل اندازه‌گیری از نیترات را تولید کنند. عمل نیترات‌سازی در خاک‌های اسیدی به آسانی صورت نمی‌پذیرد در بعضی از خاک‌ها با pH بین ۵ تا ۴ این مرحله به کُندی صورت می‌پذیرد و در بعضی دیگر از خاک‌ها با pH بیش از ۵، عمل نیترات‌سازی فقط در صورت افزودن آهک به آن صورت می‌گیرد. به طور کلی pH مناسب بین ۵/۵ تا ۸ تشخیص داده شده است.

در اثر پدیده نیتریفیکاسیون نیتروژن قابل استفاده خاک به شکل نیترات در می‌آید البته این مسئله اهمیتی ندارد زیرا در بسیاری از گیاهان سهولت جذب نیترات و آمونیاک یکسان است. گیاه برنج نیتروژن آمونیاکی را ترجیح داده و در این گونه اراضی نیتروژن آمونیاکی شکل اصلی نیتروژن قابل استفاده می‌باشد، زیرا در شرایط غیرهوازی این خاک‌ها امکان نیتریفیکاسیون آمونیاک وجود ندارد. در خاک‌هایی که دارای تهویه خوب هستند یون نیترات کاملاً مقاوم بوده و به سهولت همراه آب به طرف سطح ریشه‌ها (براساس حرکت توده‌ای) حرکت می‌کند. در ضمن آبشویی نیترات‌ها خیلی به آسانی صورت می‌گیرد. این مسئله هم از نظر اقتصادی در رابطه با استفاده از کودها حائز اهمیت است و هم از نظر آلودگی آب‌های زیرزمینی، بنابراین باید توجه داشت که:

الف) در روند آبشویی خطر آبشویی نیترات به مراتب بیشتر از یون آمونیوم است چون یون آمونیوم به وسیله کلوئیدهای خاک تثبیت می‌شود در صورتی که یون نیترات این شرایط را ندارد.

ب) به جهت جلوگیری از آبشویی بیش از حد بایستی سعی شود کودهای نیتروژنه به طور یکنواخت در سطح مزارع پاشیده شود و از تجمع در یک منطقه جلوگیری شود.

دنیتریفیکاسیون[1]

احیای نیترات به گاز نیتروژن را دنیتریفیکاسیون می‌گویند. به عبارت دیگر طی شرایط بی‌هوازی (تهویه نامناسب) نیترات احیا شده و به صورت گاز N_2 هدر می‌رود. این فرآیند یکی از عوامل مهم اتلاف نیتروژن کودها و خاک می‌باشد. مراحل این پدیده را به صورت ذیل می‌توان نوشت:

نیتروژن ← اکسید نیترو ← اکسید نیتریک ← نیتریت ← نیترات

دی‌نیتریفیکاسیون با دخالت باکتری‌های بی‌هوازی از قبیل اکروموباکتر[2]، باسیلوس[3] و پسودوموناس[4] انجام می‌شود. در محیط بی‌هوازی این باکتری‌ها از اکسیژن نیترات برای انجام فعالیت‌های خود استفاده می‌کنند و موجب احیای نیترات می‌شوند

.Hofman and cleemput,2004 (Toufiq iqbal, 2005;)

ایموبیلیزاسیون[5]

فرآیندی است که طی آن ترکیبات ساده معدنی (نیترات و آمونیوم) که قابل جذب گیاهان هستند به مولکول‌های آلی تبدیل می‌گردند. به عبارت دیگر پس از جذب NH_4^+ و NO_3^- به وسیله ریشه گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاک، نیتروژن معدنی به نیتروژن آلی تبدیل می‌گردد. این فرآیند ایموبیلیزاسیون (غیرمتحرک شدن) نامیده می‌شود. معدنی شدن و ایموبیلیزاسیون دو فرآیند عکس هم بوده و به هم وابسته می‌باشند و به شدت میزان نیتروژن قابل جذب خاک را کنترل می‌کنند. در صورتی که عدم تعادل بین کربن و نیتروژن

1. Denitrification
2. Achromobacter
3. Basillus
4. Pseudomonas
5. Immobilization

در مواد آلی خاک وجود داشته باشد. فرآیند آلی شدن نیتروژن معدنی می‌تواند تأمین مواد غذایی نیتروژنه گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. اگر نسبت کربن به نیتروژن یا $^{C}/_{N}$ در بقایای گیاهی زیاد باشد مانند کاه غلات، محدودیت در نیتروژن قابل دسترس میکروب‌ها بوجود آمده در نتیجه میکروب‌ها بناچار باید از ذخیره نیتروژن خاک بهره‌برداری نمایند. اگر به طور هم زمان نسبت $^{C}/_{N}$ بقایای گیاهی زیاد باشد و نیتروژن خاک نیز کم باشد رشد میکروب‌های خاک محدود شده و تجزیه مواد آلی کاهش می‌یابد (Hofman and Cleemput, 2004).

تثبیت بیولوژیکی نیتروژن[1]

تبدیل مولکولی نیتروژن (N_2) به یک ترکیب نیتروژنه مانند آمونیوم و نیترات (NH_3 و NO_3) را که می‌توانند به عنوان یک ماده مغذی غذایی مورد استفاده قرار گیرند را تثبیت نیتروژن می‌گویند. در یک سیستم همزیستی (همزیستی عبارت از زندگی دو موجود نامشابه در کنار هم و یا یک همجواری کم و بیش نزدیک، که در این حالت دو موجود از یکدیگر بهره می‌گیرند) گیاه میزبان، کربن تثبیت شده حاصل از فتوسنتز را در اختیار موجودات تثبیت‌کننده قرار می‌دهد و در عوض این گیاه از نیتروژن تثبیت شده بهره‌مند می‌شود میکروارگانیسم‌های تثبیت‌کننده شامل باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و جلبک‌های سبز آبی می‌باشند.

گره‌های موجود در گیاهان خانواده بقولات به همراه باکتری‌های از جنس ریزوبیوم موجود در محیط ریشه این گیاهان از سیستم‌های دائمی تثبیت نیتروژن در اراضی کشاورزی هستند که در واقع از این طریق بخش زیادی از نیتروژن مورد نیاز گیاهان زراعی تأمین می‌شود (YosefTabar, 2013) . یکی از شناخته‌شده‌ترین روابط همزیستی تثبیت‌کننده نیتروژن که در جلبک‌ها شایع است رابطه‌ای است که بین سیانوباکتر و قارچ‌ها به شکل گلسنگ مشاهده می‌شود، جلبک با تثبیت نیتروژن، نیازهای قارچ را برآورد می‌کند و قارچ نیز با تولید بیوتین و تیامین نیازهای جلبک را فراهم می‌سازد. مهم‌ترین نوع همزیستی جلبک‌ها از دیدگاه کشاورزی همزیستی بین آزولا و جلبک آنابنا است که در مزارع برنج حضور آنها چشمگیر است. آزولا نوعی سرخس شناور است که ریشه‌های آن به زیر سطح آب نفوذ می‌نماید. آنابنا که نوعی جلبک سبز- آبی است در زیر برگ سرخس زندگی می‌کند. در

1. Biological Nitrogen Fixation

این نوع همزیستی هیچ ارتباط آوندی بین دو موجود زنده برقرار نمی‌شود تا حدود ۶۰ درصد نیتروژن مورد نیاز سرخس از آمونیاک تولید شده به وسیله آنابنا ایجاد می‌شود. فایده حاصل از این همزیستی برای جلبک هنوز روشن نیست. در شرایط مناسب که تولید سریع این توده زنده به اندازه کافی صورت می‌گیرد مجموعه سرخس و جلبک به عنوان کود سبز حاوی مقادیر قابل توجهی نیتروژن مورد استفاده واقع می‌شوند (Buresh and et al., 2004).

۳-۱-۳- نیتروژن و گیاه برنج

نیتروژن پرمصرف‌ترین عنصر مورد نیاز برنج است. بعلاوه این عنصر مهمترین نهاده تولید و محدود کننده‌ترین عنصر غذائی در تولید برنج در گستره جهانی محسوب می‌شود. به ازای تولید هر تن دانه (شلتوک) بایستی حدود ۲۰ کیلوگرم نیتروژن جذب گیاه شده باشد، از طرفی نیاز برنج به دیگر عناصر غذایی پر مصرف (ماکرو) عمدتاً به عرضه و فراهمی نیتروژن بستگی دارد. هنگامی که نیتروژن کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، نیاز به دیگر عناصر غذائی اصلی مثل فسفر و پتاسیم افزایش می‌یابد. این عنصر به رشد سریع گیاه (افزایش‌ارتفاع و تعداد پنجه)، افزایش اندازه برگ، تعداد دانه درخوشه، درصد دانه‌های پردر هر خوشه، مقدار پروتئین دانه و وزن هزار دانه کمک می‌نماید. بنابراین نیتروژن تمامی مشخصه‌های مؤثر بر عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Buresh and et al., 2004).

۳-۱-۴- کارایی کودهای نیتروژنه

یکی از تنگناهای کلیدی در مدیریت مصرف کودها در همه محصولات زراعی و از جمله برنج با سیستم آبیاری ویژه (غرقاب دائم) راندمان مصرف پائین عناصر غذایی بویژه نیتروژن می‌باشد. در ایران کود اوره، یکی از منابع مهم تأمین نیتروژن برنج به حساب می‌آید و در شالیزارهای گیلان و مازندران، مقدار مصرف این کود به ترتیب حدود ۷۴ هزار تن می‌باشد. برای کاهش هزینه تولید شایسته است که اقداماتی در راستای افزایش راندمان مصرف صورت گیرد که در همین راستا می‌توان گامی در جهت کاهش آلودگی محیط زیست نیز برداشت. تحقیقات نشان داده است که تلفات نیتروژن در اراضی شالیزاری توسط آبهای زیرزمینی، روان آب سطحی، نیترات شویی و عمدتاً از طریق تصعید نیترات NH_3 اتفاق می‌افتد و این امر موجب کاهش راندمان مصرف نیتروژنه در برنج می‌شود بطوریکه بیشتر

کود اوره مصرف شده در خاک‌های شالیزاری از دسترس گیاه خارج شده و در بهترین شرایط مدیریت مصرف، راندمان مصرف آن حداکثر تا حدود ۴۰ درصد می‌رسد (ملکوتی و کاوسی،۱۳۸۳).

۳-۱-۵- راهکارهایی برای افزایش کارایی کودهای نیتروژنه

الف) همزمان کردن عرضه نیتروژن قابل جذب خاک و کود مصرف شده با نیاز نیتروژنه محصول

تطبیق زمان عرضه نیتروژن با زمان نیاز گیاه به نیتروژن باعث حداکثر شدن راندمان مصرف این عنصر و کاهش آلودگی نیتراتی منابع آب می‌شود. درحال حاضر بسیاری از شالیکاران کودهای نیتروژنه را به یکباره قبل از کاشت و یا در فواصل زمانی ثابت بدون در نظر گرفتن نوع رقم (به خصوص از نظر طول دوره رویش) وتغییرات فصلی (شرایطآب وهوایی) مصرف می‌کنند که عمدتاً مصادف با مراحل حساس فیزیولوژیکی رشد گیاه نیست. با در نظر گرفتن تمامی نکات فوق ممکن است کشاورزان کود نیتروژنه را بسیار زودتر، هنگامی‌که گیاه به آن نیاز ندارد و یا بسیاردیرتر، از زمانی که گیاه به آن نیاز دارد، مصرف کنند (Alivelu and et al., 2006) .

ب) تعیین فرمول کودی نیتروژنه برای ارقام مختلف برنج بر حسب ظرفیت تأمین نیتروژنه خاک و تنظیم تقسیط کود نیتروژنه بر اساس ظرفیت تأمین نیتروژنه خاک

بطور کلی مصرف تقسیطی کودهای نیتروژنه برای افزایش راندمان آن بخصوص در شرایط شالیزاری یکی از روش‌های افزایش راندمان مصرف کود نیتروژنه می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره درهکتار با تقسیط در ۴-۳ مرحله برای ارقام پرمحصول عملکرد بیشتری نسبت به مصرف ۳۰۰ کیلوگرم اوره درهکتارخواهد داشت. بعلاوه مصرف دو سوم نیتروژن توصیه شده در مرحله نشاکاری و یک سوم باقیمانده در مرحله غلاف دهی، راندمان بازیافت نیتروژن بالاتری (۵۱ درصد) در مقایسه با مصرف تمامی کود نیتروژنه در مرحله نشا کاری (۳۸ درصد) یا مصرف سرک کود نیتروژنه در مرحله پنجه زنی (۳۲ درصد) داشته است (ملکوتی و کاوسی،۱۳۸۳).

ج) استفاده از راهبردهای مبتنی بر گیاه که بر ارزیابی مداوم وضعیت نیتروژن محصول برنج تکیه می‌کند

د- استفاده از فن‌آوری جدید

کلروفیل‌متر و نمودار رنگ برگ (چارت (LCC) که در مراحل بخصوصی (پنجه‌زنی تا ظهور سنبله) می‌توان از این وسایل برای پیش بینی زمان مصرف نیتروژن استفاده نمود

هـ) قرار دادن کود بطور عمقی در خاک

تحقیقات نشان داده است وقتی که کود اوره بطور مستقیم در آب شالیزار مصرف می‌شود دارای بالاترین تلفات است اما اگر کود بطور عمقی در خاک قرار گیرد مقدار تلفات آن کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهد که اگر کود اوره قبل از نشا کاری به زمین داده و با خاک مخلوط گردد، مقدار تلفات آن ۱۳ درصد کود مصرفی است در حالیکه اگر ۲ یا ۳ هفته پس از نشاکاری کود اوره در داخل آب غرقاب بطور مستقیم پاشیده شود تلفات آن تا ۴۷ درصد افزایش می‌یابد (De Datta, 1981).

و- افزایش راندمان کود نیتروژنه با مصرف کودهای کندرها

یکی از روشها برای افزایش بازیافت کودهای نیتروژنه در شرایط غرقاب، تغییر مواد محلول به گونه‌ای است که آزادسازی مواد غذایی آنها در محلول خاک کند شود. کودهای کندرها از جمله کودهایی هستند که این قابلیت را داشته و مواد غذایی قابل جذب خود را به آهستگی به دورن محلول خاک آزاد می‌کنند. این کودها در شرایط مختلف و برای گیاهان مختلف تأثیر متفاوتی دارند. در شالیزارها هر چه سرعت آزادسازی نیتروژن در کودهای نیتروژنی کندرها پائین تر باشد، مناسب‌تر است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد کود اوره با پوشش گوگردی (SCU) یکی از این کودها می‌باشد. این کود دارای ۳۶ درصد نیتروژن و ۱۷-۱۵ درصد گوگرد است و به دلیل اینکه بوسیله گوگرد با تکنیک ویژه‌ای پوشش داده شده از قابلیت حل شدن تدریجی برخوردار است. برخی گزارشات نشان می‌دهد که در صورت استفاده از این کود می‌توان حدود ۲۵ درصد در مصرف عنصر نیتروژن (در مقایسه با اوره معمولی) صرفه جویی نمود. از طرفی باید اذعان نمود که هزینه تولید این کود در مقایسه با اوره معمولی حدود ۳۰ درصد گران‌تر می‌باشد. از آنجا که کاهش تلفات نیتروژن با

مصرف کود SCU[1] از دیدگاه محیط زیستی نیز مهم است، لذا کود SCU یک کود بسیار مناسب به عنوان جانشین کود اوره معمولی در شالیزار مطرح می‌باشد ((De Datta, 1981.

ز) افزایش راندمان کود نیتروژنه از طریق مصرف کودهای بیولوژیک نیتروژنه

تأمین نیتروژن برای محصول از طریق منابع آلی که به تدریج تجزیه می‌شود و نیتروژن را در اختیار گیاه قرار می‌دهد، دیدگاه آرمانی را ترسیم می‌کند که تلاش در این جهت گام‌های اساسی به سوی تولید پایدار تلقی می‌شود. در صورتی که متوسط مصرف اوره در شالیزارها در شرایط فعلی ۱۵۰ کیلوگرم در نظر گرفته شود و با فرض اینکه ۶۰ درصد کود نیتروژنه مصرفی دستخوش تلفات شود، ارزش ریالی این تلفات در سطح کشور که در کار آلوده سازی محیط هستند رقمی ۴۰ میلیارد ریال در سال است. این درحالی است که اگر تنها استفاده از کودهای بیولوژیک بتواند ۱۰ درصد از مصرف کودهای نیتروژنی راکاهش دهد ارزش ریالی آن معادل ۴۰ میلیارد ریال در سال خواهد بود. در نتیجه هرگونه سرمایه گذاری در تحقیقات مربوط به تثبیت بیولوژیک از نظر اقتصادی و زیست محیطی توجیه پذیر خواهد بود. بطور کلی مصرف کودهای بیولوژیک مناسب در برنج باعث افزایش قدرت پنجه زنی، افزایش حجم ریشه، افزایش ضخامت و طول ساقه‌ها و افزایش تعداد دانه در خوشه می‌گردد (Malakooti and Kavoosi, 2004).

۳-۱-۶- نقش نیتروژن در گیاه برنج

عنصر نیتروژن جهت تشکیل اسیدهای آمینه، اسیدهای نوکلئیک، نوکلئوتیدها و کلروفیل ضروری می‌باشد. این عنصر موجب تسریع در رشد (از طریق افزایش ارتفاع گیاه و تعداد پنجه‌ها) و اندازه برگ و افزایش تعداد خوشچه‌ها در هر خوشه و تعداد دانه‌های پر و افزایش پروتئین دانه می‌گردد. بنابراین نیتروژن در همه عواملی که عملکرد را تحت تأثیر قرارمی‌دهد، نقش دارد. غلظت نیتروژن برگ به میزان زیادی با مقدار فتوسنتز و تولید بیوماس درارتباط می‌باشد. زمانی که در مزارع برنج کود نیتروژنه به میزان کافی جهت تولید محصول بکار برده می‌شود نیاز برای سایر عناصر ماکرو از قبیل فسفر و پتاسیم افزایش می‌یابد.

1. Sulfur Coated Urea

نیتروژن به شکل نیترات و آمونیوم منابع اصلی برای جذب نیتروژن معدنی می‌باشند. نیتروژن جذب شده به شکل آمونیوم با ترکیبات آلی در ریشه ترکیب شده اما نیترات که در آوندهای چوبی بیشتر متحرک است، در واکوئل سلول‌های گیاه ذخیره می‌شود. شکل نیتراتی برای تنظیم نسبت کاتیون به آنیون و نیز تنظیم فشار اُسمزی استفاده می‌شود. این شکل برای این که به عنوان یک عنصر ضروری در گیاه نقش داشته باشد بایستی به وسیله آنزیم‌های نیترات و نیتریت رداکتاز به آمونیوم احیا شود (Dobermann and Fairhurst, 2000).

نیتروژن در تمام دوره رشد گیاه مورد نیاز می‌باشد اما زمان حداکثر مورد نیاز بین ابتدای پنجه‌زنی تا اواسط آن و نیز مرحله خوشه‌دهی اولیه می‌باشد. ذخیره کافی از نیتروژن در دوره رسیدن دانه برای تأخیر پیری برگ، ثابت ماندن فتوسنتز در زمان پرشدن دانه و افزایش درصد پروتئین دانه موردنیاز می‌باشد. این عنصر در داخل گیاه خیلی متحرک بوده و به دلیل انتقال آن از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان‌تر، علائم کمبود آن ابتدا در برگ‌های پیر مشاهده می‌شود.

در مقایسه با ارقام بومی، برنج‌های اصلاح شده دارای خصوصیات ویژه زیر هستند:

- پتانسیل بالاتر جذب و استفاده از نیتروژن خاک به دلیل سیستم ریشه‌ای قوی‌تر (ریشه‌های سطحی بیشتر و قدرت بالاتر اکسیداسیون ریشه) راندمان بالاتر انتقال نیتروژن از منبع (ساقه و برگ) به مخزن (دانه)
- جذب بیشتر نیترات و استفاده از آن در مرحله زایشی.
- پاسخ بیشتر به مصرف نیتروژن نیتراتی به صورت سرک به دلیل تعداد بیشتر ریشه‌های سطحی

۳-۱-۷- علائم کمبود نیتروژن در گیاه برنج

توقف رشد، برگ‌های پیرتر یا تمام گیاه سبز متمایل به زرد می‌شوند، برگ‌های پیرتر و بعضی اوقات همه برگ‌ها سبز روشن و در نوک کلروزه می‌شوند، در شرایط کمبود شدید برگ‌ها می‌میرند، به جز برگ‌های جوان که سبزتر هستند سایر برگ‌ها باریک، کوتاه، عمودی و سبز متمایل به زرد لیمویی هستند. تمام مزرعه ظاهری زردرنگ دارد، پنجه‌زنی کاهش، برگ‌ها کوتاه و به طور کامل کل گیاه کوتاه بوده و تعداد دانه نیز کاهش می‌یابد. کمبود

نیتروژن اغلب در مراحل بحرانی رشد از قبیل پنجه‌زنی و تشکیل خوشه در غلاف، زمانی که نیاز برای نیتروژن بیشتر می‌باشد، اتفاق می‌افتد.

کمبود نیتروژن ممکن است با کمبود گوگرد تداخل یابد ولی در کمبود گوگرد ابتدا برگ‌های جوانتر یا همه برگ‌ها درگیاه برنج زرد رنگ می‌شود که در کمبود نیتروژن این چنین نمی‌باشد. کمبود جزیی نیتروژن هم‌چنین می‌تواند با کمبود آهن تداخل پیدا کند ولی باید توجه داشت که اثرات کمبود آهن ابتدا در جوانه‌های برگ مشاهده می‌شود (شکل‌های ۳-۱ و ۳-۲) (Dobermann and Fairhurst, 2000).

شکل ۳-۱- علائم کمبود نیتروژن در بوته برنج

https://ariesagro.com/paddy

شکل ۳-۲- علائم کمبود نیتروژن در شالیزار

https://www.alamy.com/uneven-fertilizer-application-leading-to-areas-of-nitrogen-deficiency-in-seedling-rice-image280750456.html

۳-۱-۸- عواملی که موجب کمبود نیتروژن می‌شوند

کمبود نیتروژن می‌تواند توسط یک یا چند عامل زیر بروز نماید

- مقدار کم ذخیره نیتروژن در خاک
- کاربرد ناکافی کودهای نیتروژنی
- پایین بودن راندمان کودهای نیتروژنی (هدررفت از طریق تصعید، دنیتریفیکاسیون، زمان مصرف نامناسب، جایگذاری نامناسب، آبشویی و روان‌آب)
- غرقاب طولانی مدت که ذخیره معدنی نیتروژن را کاهش می‌دهد (به طور مثال در سیستم‌های چند کشتی)
- هدررفت از طریق بارندگی سنگین (آبشویی، نفوذ عمقی)
- خشک شدن ناگهان خاک در طی دوره رشد
- تثبیت بیولوژیکی ضعیف نیتروژن به دلیل کمبود شدید فسفر

کمبود نیتروژن در همه اراضی شالیزاری که ارقام جدید بدون مصرف کافی از کودهای نیتروژنی کشت می‌شوند، وجود دارد. این کمبود همچنین درجاهایی که مقدار کافی از کود نیتروژنه در زمان و روش نامناسب مصرف می‌شود نیز وجود دارد.

۳-۱-۹- خصوصیات خاک‌هایی که در معرض کمبود نیتروژن هستند

خاک‌های با مقدار کربن آلی خیلی کم (کمتر از ۰/۵ درصد کربن آلی)، خاک‌های اسیدی با بافت درشت، خاک‌های شور، خاک‌های مبتلا به کمبود فسفر، خاک‌های با زهکشی ضعیف و خاک‌هایی که معدنی شدن نیتروژن یا تثبیت بیولوژیکی N_2 در آنها کم می‌باشد وخاک‌های قلیایی و آهکی با مقدار کم مواد آلی و پتانسیل بالای تصعید NH_3.

۳-۱-۱۰- مصرف بیش از حد نیتروژن و علائم آن

- رنگ سبز تیره گیاه

در کمبود فسفرنیز برگ‌ها رنگ سبزتیره به خود می‌گیرند که ممکن است با مصرف اضافی نیتروژن اشتباه شود اما در اکثر مواقع در کمبود فسفر، پنجه‌زنی کاهش و رشد متوقف خواهد شد.

- گیاه ممکن است سالم باشد اما در مرحله رسیدن ورس (شکل ۳-۳) خواهد کرد

از عوامل تشدید کننده دیگر به ورس یا خوابیدگی می‌توان به بالابودن مواد آلی خاک، باتلاقی بودن شالیزار، انباشته شدن بقایای گیاهی و آزولا در خاک، مصرف کود نیتروژنه در زمان نامناسب، عدم مصرف کود پتاسیمی، وزش بادهای شدید در مرحله زایشی، عدم مدیریت مصرف آب، آفات و بیماری‌های برنج مورد اشاره نمود (Dobermann and Fairhurst, 2000).

- نازک شدن ساقه‌ها
- حساس شدن نسبت به بیماری‌ها و آفات
- طولانی شدن طول دوره رشد
- تأخیر در رسیدن دانه
- ترد و شکننده شدن ساقه
- رشد طولی گیاه

شکل ۳-۳- ورس دراراضی شالیزار
http://sri.ciifad.cornell.edu/countries/kenya/KenyaArchives.html

به طور کلی کود قادر است به میزان محصول بیفزاید ولی این افزایش محصول تابع عواملی از قبیل نحوه مصرف کود، مقدار مصرف، شرایط اقلیمی و اکولوژیکی خواهد بود. همانطور که کود باعث بالا رفتن میزان محصول می‌شود ولی استفاده بیش از اندازه توصیه شده و نیز کاشت ارقامی که پاسخ مثبت به معرفی کود نمی‌دهند، هر کدام از این عوامل به ترتیب ۲۰ تا ۵۰ درصد و ۲۰ تا ۴۰ درصد می‌تواند در کاهش محصول مؤثر باشند.

در شالیزارهای گیلان و مازندران در شرایط معین و متداول سایر عوامل (نوع رقم، مقدار آب، ...) افزایش تولید ناشی از مصرف کود می‌تواند طیفی از صفر تا ۱۰۰ درصد را شامل گردد. دو نکته مهم در مصرف کود که باید مورد توجه قرار گیرد مصرف مقادیر مناسب کود بر اساس درجه حاصلخیزی خاک و مصرف متعادل کود می‌باشد. به عبارت دیگر مصرف بهینه کود در گرو مصرف کارآمد (دارای راندمان بالای استفاده از کود) و مصرف متعادل (تأمین نیاز تمامی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه) آن می‌باشد. بنابراین با تنظیم مقدار مصرف کود براساس نیاز گیاه (نوع رقم)، آزمون خاک و افزایش راندمان مصرف کود (کاهش مصرف کودهای شیمیائی) بدون کاهش عملکرد در واحد سطح می‌توان در کل هزینه تولید، صرفه جوئی نمود. از بین عواملی که در تولید مؤثرند، افزایش عملکرد ناشی از مصرف کود بطور متوسط حدود ۲۵ درصد می‌باشد و این نشان دهنده اهمیت فراوان کود در افزایش تولید برنج است. یکی از تنگناهای کلیدی در مدیریت مصرف کودها در همه محصولات زراعی و از جمله برنج با سیستم آبیاری ویژه (غرقاب دائم) راندمان مصرف پائین عناصر غذایی بویژه نیتروژن می‌باشد (جداول ۳-۱ و ۳-۲).

جدول ۳-۱- منابع کود نیتروژنی برای گیاه برنج (Dobermann and Fairhurst, 2000)

نام کود	فرمول	درصد عنصر	خصوصیات
نیترات آمونیوم	$NH_4 NO_3$	۳۳ - ۳۴ N	بدون خاصیت اسیدی
کلراید آمونیوم	$NH_4 CL$	۲۸ N	بدون خاصیت اسیدی
سولفات آمونیوم	$(NH_4)_2 SO_4$	۲۱ N - ۲۴ S	دارای خاصیت اسیدی
بی‌کربنات آمونیوم	$NH_4 HCO_3$	۱۷ N	بدون خاصیت اسیدی- دارای کیفیت پایین N
اوره	$CO (NH_2)_2$	۴۶ N	بدون خاصیت اسیدی
منوآمونیوم‌فسفات MAP))	$NH_4 H_2 PO_4$	۱۱ N - ۲۲ P	محلول، دارای‌خاصیت‌اسیدی، دارای‌واکنش‌سریع
دی‌آمونیوم‌فسفات PAP))	$(NH_4)_2 HPO_4$	۲۱- N - ۲۰ P ۱۸	محلول، دارای‌خاصیت‌اسیدی، دارای‌واکنش‌سریع
فسفات اوره	$CO(NH_4)_2+H_3PO_4$	۱۸ N - ۲۰ P	محلول، دارای واکنش سریع

جدول ۳-۲- توصیه کودی نیتروژن در اراضی شالیزاری از منبع اوره برای دستیابی به پتانسیل عملکرد در ارقام بومی برحسب کیلوگرم در هکتار (نتایج کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور)

نیتروژن خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)	مقدار N توصیه شده	مقدار اوره توصیه شده
۰/۰۹-۰/۱۱	۱۰۵	۲۲۸
۰/۱۲-۰/۱۴	۹۰	۱۹۶
۰/۱۵-۰/۱۷	۷۵	۱۶۳
۰/۱۸-۰/۲	۶۰	۱۳۰
۰/۲۱-۰/۲۳	۴۵	۹۸
۰/۲۴-۰/۲۶	۳۰	۶۵

۳-۱-۱۱- محاسبه مقدار کود

- معمولاً توصیه‌های کودی براساس $N - P_2O_5 - K_2O$ بیان می‌گردد. به طور مثال اگر میزان نیاز کودی محصول زراعی ۵۰- ۷۵- ۹۰ تعیین شده باشد، مقدار کود لازم برای ۵ هکتار زمین به روش زیر محاسبه می‌شود.

نیاز گیاه در هکتار

N = ۹۰ کیلوگرم

P_2O_5 = ۷۵ کیلوگرم

K_2O = ۵۰ کیلوگرم

در بازار ایران کودهای رایج عبارتند از: اوره دارای ۴۶٪ نیتروژن، سوپرفسفات تریپل دارای ۴۶٪ P_2O_5 و سولفات پتاسیم دارای ۵۰ درصد اکسیدپتاسیم

- **مقدار کود مورد نیاز از رابطه ذیل تعیین می‌گردد:**

$$X = \frac{a \times b}{c} \times 100$$

- a = مقدار عنصر با اکسید درهکتار
- b = مساحت مزرعه برحسب هکتار
- c = مقدار عنصر در ۱۰۰ کیلو گرم کود

- **کیلوگرم اوره** $X_1 = \frac{۹۰ \times ۵}{۴۶} \times ۱۰۰ = ۹۷۸$
- **کیلوگرم سوپرفسفات تریپل** $X_2 = \frac{۷۵ \times ۵}{۴۶} \times ۱۰۰ = ۸۱۵$

$$X_3 = \frac{۵۰ \times ۵}{۵۰} \times ۱۰۰ = ۵۰۰$$

- **کیلوگرم سولفات پتاسیم**

محاسبه مقدار عنصر در گیاه که از طریق کود تأمین شده است:

$$\%\,Nutrient\quad recovery = \frac{(Total\ nutrient\ uptake)_f - (Total\ nutrient\ uptake)_c}{amount\ of\ nutrient} \times 100$$

۱۰۰×مقدار کود مصرفی / (مقدار عنصرجذب شده از قطعه کودخورده – مقدار عنصرجذب شده از قطعه شاهد)= بازیافت نیتروژن

(٪) غلظت عنصر در قطعه کودخورده)عملکرد قطعه کودخورده = مقدار عنصرجذب شده از قطعه کودخورده

(٪) غلظت عنصر در قطعه شاهد)عملکرد در قطعه شاهد = مقدار عنصرجذب شده از قطعه شاهد

- عملکرد برنج از قطعه کودخورده = ۴۰۰۰ kg
- درصد نیتروژن دانه در قطعه کودخورده = ۲/۵٪ — ۴۰۰۰(۱/۵ / ۱۰۰ = ۱۰۰ Kg N
- عملکرد برنج در قطعه شاهد = ۲۸۰۰ kg
- درصد نیتروژن دانه در قطعه شاهد = ۱/۵٪ — ۲۸۰۰(۱/۵ / ۱۰۰ = ۴۲ Kg N

- مقدار کود مصرفی (سولفات آمونیوم) ۴۰۰ کیلوگرم ← ۲۰٪ N

Kg سولفات آمونیوم

۱۰۰ ۲۰

۴۰۰ x = ۸۰ Kg

۱۰۰ = ۷۲/۵٪ (۱۰۰ - ۴۲ / ۸۰

۳-۲- فسفر

۳-۲-۱- فسفر در خاک

کمبود فسفر معمولاً در خاک‌های آهکی، آلتی سول‌ها، خاک‌های قلیایی، خاک‌های اسید سولفاته، خاک‌های لاتوسول اسیدی، خاک‌های آتشفشانی و خاک‌های دارای pH بالا یا پایین رخ می‌دهد. بعضی از خاک‌ها مانند ورتی سول‌ها ظرفیت بالایی را برای تثبیت فسفر مصرف شده دارند و نیازمند مقادیر بیشتری فسفر نسبت به شرایط معمول می‌باشند. به علاوه افزایش فسفر در دسترس در این خاک‌ها به وسیله غرقاب کردن کم است (Raju et al., 2003).

۳-۲-۲-شکل‌های فسفر در خاک

فسفر در خاک به طور کلی به دوگروه ۱- آلی و ۲- معدنی تقسیم می‌شود.

فسفر آلی

فسفرآلی در خاک‌ها بین ۱۵ تا ۸۰ درصد کل فسفر را به خود اختصاص می‌دهد. عواملی از قبیل اقلیم، پوشش گیاهی، بافت خاک، الگوی بهره برداری از اراضی و زهکشی و آبیاری در میزان فسفر آلی خاک سهیم هستند. معمولاً سهم فسفر آلی در مناطق گرم کمتر از مناطق سرد است. فسفر آلی در تمام موجودات زنده طی فرایند فسفریلیزاسیون ADP ساخته می‌شود و فسفات‌های آلی خاک نیز مربوط به همین فرآیند است. فسفر آلی در خاک به سه بخش ۱- استرهای فسفاتی اینوزیتول (اسید فیتیک) ۲- فسفولیپیدها و ۳- اسیدهای نوکلئیک تقسیم می‌شود. استرهای فسفاته بزرگ‌ترین بخش از فسفات‌های آلی در خاک را تشکیل می‌دهند.

معدنی شدن فسفات‌های آلی در خاک به فعالیت آنزیم فسفاتاز موجود در خاک بستگی دارد. این فسفاتازها توسط ریشه گیاهان و همچنین میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. فسفات‌های آلی خاک برای تغذیه گیاهان از اهمیت زیادی برخوردار بوده و منبع مهمی برای تأمین فسفر گیاه از طریق خاک می‌باشند.

شکل‌های معدنی فسفر در خاک

شکل‌های معدنی فسفر در خاک شامل موارد زیر است:

الف) کانی‌های فسفاته: کانی‌های فسفاته مهم در خاک شامل فسفات‌های کلسیم در خاک‌های قلیایی و فسفات‌های آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی می‌باشند.

از مهم‌ترین کانی‌های فسفات آهن در خاک استرنگیت $FePO_4.2H_2O$ و کانی‌های فسفات آلومینیوم واریسایت $AlPO_4.\ 2H_2O$ می‌باشد. فسفات‌های آهن و آلومینیوم کمتر در خاک به صورت کریستاله یافت می‌شوند و از تغییر شکل فسفات‌های آهن و آلومینیوم بی شکل و در مدت زمان طولانی بوجود می‌آیند.

اما کانی‌های فسفات کلسیم در خاک می‌تواند شامل دی کلسیم فسفات دی هیدرات، دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، تری کلسیم فسفات، هیدروکسی آپاتیت و فلورآپاتیت باشد. این کانی‌ها از طریق آزاد کردن پروتون و جذب کلسیم به یکدیگر تبدیل می‌گردند. کانی‌های فسفاته دارای حلالیت پایین هستند و با قدرت زیاد در سطح ذرات جذب می‌شوند. بنابراین مقدار کانی‌های فسفاته با حلالیت زیاد (مونوکلسیم فسفات) در شرایط طبیعی خاک ناچیز است و تنها در مدت کوتاهی پس از مصرف کودهای شیمیایی در خاک پدیدار می‌شوند و سپس به سرعت به کانی‌های با حلالیت پایین تبدیل می‌شوند (Lindsay, 1987):

ب) فسفر جذب سطحی شده: علاوه بر کانی‌های فسفاته، فسفر به شکل‌های دیگر نیز در فاز جامد خاک جای می‌گیرند. یکی از این شکل‌ها جذب سطحی به وسیله هیدروکسیدهاو اکسی هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم است. این حالت در اثر جایگزینی PO_4^{3-} به جای گروه‌های OH^- در سطح کلوئیدهای خاک ایجاد می‌شود. در این فرآیند ممکن است یک یا دو هیدروکسیل به وسیله PO_4^{3-} جایگزین گردد. هنگامی که تنها یک هیدروکسیل جایگزین گردد پیوند را تک دندانه‌ای می‌گویند که برگشت پذیر است. اما وقتی دو گروه هیدروکسیل به وسیله PO_4^{3-} جایگزین شوند پیوند را دودندانه‌ای می‌گویند که برگشت پذیر نمی‌باشد.

ج) فسفر جذب سطحی شده به وسیله کربنات‌ها: واکنش فسفر با آهک‌ها شامل دو مرحله است. واکنش اول در غلظت‌های کم فسفر رخ می‌دهد و به صورت جذب سطحی

فسفر بر روی کلسیت می‌باشد. در حالی که فرآیند دوم تشکیل هسته‌های از بلورهای فسفات کلسیم می‌باشد. فسفر با کربنات کلسیم نسبت به اکسیدهای آهن و آلومینیوم پیوند سست‌تری برقرار می‌کند. بنابراین برای گیاه قابل دسترس‌تر می‌باشد.

د) فسفر کمپلکس شده با ترکیبات آلی: فسفر می‌تواند به شکل کمپلکس‌های هومات- Al – فسفات در خاک‌ها جذب شوند. کاتیون‌های دیگر مثل آهن و کلسیم موجود در هوموس خاک نیز قادرند مقادیر قابل توجهی از فسفر را جذب نمایند.

هـ) فسفر محلول خاک: غلظت فسفر در محلول خاک معمولاً کمتر از ۰/۰۵ تا ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است و عمدتاً به صورت یون‌های ارتوفسفات H_2PO4^- و $HPO4^{2-}$ هستند. در pH حدود ۶ تقریباً ۹۶ درصد از فسفر محلول به صورت یون H_2PO4^- می‌باشد. اما این مقدار در pH حدود ۷ به ۶۰ درصد کاهش یافته و در pH بین ۸ تا ۱۰ گونه $HPO4^{2-}$ غالب خواهد شد. معمولاً گیاهان گونه تک ظرفیتی را برای جذب ترجیح می‌دهند ولی سرعت تبدیل دوگونه فوق در محلول خاک آنقدر زیاد است که مشکلی برای گیاه بوجود نمی‌آید. در خاک‌های معدنی، حداکثر فسفر در محلول خاک در pH حدود ۶/۵ وجود دارد. زیرا کانی‌های کنترل کننده فسفر در این pH تواماً حضور داشته و از حلالیت بالایی برخوردارند.

۳-۲-۳- وضعیت فسفر در اراضی شالیزاری استان گیلان

حداقل و حداکثر مقدار فسفر قابل استفاده در اراضی شالیزاری استان گیلان ۰/۰۱ تا ۵۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Davatgar et al., 2015). میانگین غلظت فسفر نیز ۱۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که بالاتر از مقدار حد بحرانی (۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است نتایج حاصل از مطالعه محققین موسسه تحقیقات برنج نشان داد که مقدار فسفر خاک حدود ۴۰ درصد از سطح اراضی استان از حد بحرانی کمتر بوده و احتمال پاسخ نسبی به مصرف کود فسفره در آنها زیاد خواهد بود. اراضی شالیزاری واقع در غرب شهرستان رشت و شهرستان شفت بحرانی‌ترین منطقه از نظر فسفر قابل استفاده در استان می‌باشند که مقدار فسفر قابل استفاده خاک کمتر از شش میلی‌گرم بر کیلوگرم است. ۶۰ درصد اراضی استان گیلان دارای غلظت فسفر قابل استفاده بیشتر از حد بحرانی می‌باشند. اراضی واقع در شمال

دشت فومنات به ویژه در جنوب تالاب انزلی از فسفر بیشتری نسبت به دیگر نواحی برخوردارند. (Davatgar et al., 2015).

۳-۲-۴- فسفر و اهمیت آن در تغذیه گیاه برنج

فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز در تولید محصول برنج به شمار می‌رود. فسفر در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی زا و ساز و کار انتقال انرژی دخالت دارد. گرچه میزان فسفر مورد نیاز گیاه در مقایسه با مقدار عناصر اصلی کم است، با این حال این عنصر جزء عناصر پرنیاز محسوب می‌شود (Malakouti et al., 2008). به طورکلی ملاحظه شده است که گیاهان بیشتر فسفر مورد نیاز خود را بصورت یون $H_2PO^-_4$ جذب می‌کنند و از یون $HPO4^{-2}$ مقدار کمتری جذب می‌کنند. در حقیقت در ریشه گیاهان تعداد محل‌های جذب $H_2PO^-_4$ ده برابر تعداد محل‌های جذب HPO_4^{-2} است. مقادیر نسبی جذب هر یک از دو یون بوسیله گیاه متأثر از pH محیط اطراف ریشه‌ها است. pH پایین‌تر جذب یون $H_2PO^-_4$ را افزایش می‌دهد در حالی که pH بالاتر جذب HPO_4^{-2} را بیشتر می‌کند. بطور خلاصه فسفر نقش مفیدی در توسعه ریشه، رشد رویشی، گلدهی، رسیدن محصول وکیفیت گیاه دارد. همچنین وجود فسفر باعث زودرسی، مقاومت گیاه در مقابل ورس، رشد جوانه‌های جانبی (پنجه دهی برنج) و در نهایت افزایش عملکرد می‌گردد (Matinfar and Maleki, 2010).

۳-۲-۵- وظایف اصلی فسفر در گیاه برنج

- ✓ رشد و نمو ریشه را تحریک کرده و در استخراج بیشتر مواد غذایی از خاک کمک می‌کند.
- ✓ گل‌دهی زودتر در گیاه برنج را افزایش داده که این امر تشکیل خوشه‌های سنگین‌تر را سبب می‌شود.
- ✓ در گل‌دهی و رسیدگی همزمان محصول به ویژه تحت شرایط آب و هوای سرد کمک می‌کند.
- ✓ پنجه‌زنی اولیه را افزایش داده که این امر تشکیل خوشه‌های سنگین‌تر را می‌شود.
- ✓ فرآیند فتوسنتز را در گیاهان تحریک می‌کند.

- ✓ توسعه و گسترش سیستم ریشه‌ای مخصوصاً ریشه‌های افشان و جانبی را سبب می‌شود.

۳-۲-۶- غلظت فسفر در اندام‌های برنج

کل فسفر قابل جذب گیاه در خاک را می‌توان شامل فسفر جذب شده توسط ریشه و بخش هوایی و فسفر قابل جذب باقیمانده در خاک پس از برداشت دانست. حداقل و حداکثر مقدار فسفر قابل استفاده در بافت گیاه برنج ۰/۰۲ تا ۰/۳۲ درصد می‌باشد. میانگین غلظت فسفر نیز ۰/۱۴ درصد است (جدول ۳-۳). برخی از محققین گزارش کردند که غلظت فسفر در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به ریشه بیشتر است. در طی رشد زایشی ترتیب بصورت دانه> برگ > ساقه > ریشه می‌باشد و ریشه‌ها در دوره رویشی گیاه دارای غلظت بالاتری از فسفر هستند اما در دوره زایشی، غلظت بصورت خوشه مساوی ریشه و بیشتر از ساقه و ساقه بیشتر از برگ‌ها می‌باشد. همچنین گزارش گردیده که دانه نسبت به ساقه و برگ‌ها دارای غلظت بالاتری از فسفر می‌باشد. معمولاً در مرحله رسیدگی، دانه دارای بالاترین غلظت فسفر هستند غلظت فسفر در بافت‌های رویشی با افزایش سن گیاه کاهش می‌یابد.

جدول ۳-۳- غلظت فسفر (درصد) در قسمت‌های مختلف گیاه در دو زمان خوشه دهی و برداشت (Dobermann and Fairhurst, 2000)

مرحله رشد	لبه برگ	پهنک برگ	ساقه	ریشه	سنبله
خوشه دهی	۰/۰۶۱	۰/۰۷۸	۰/۰۶۶	۰/۰۴۹	۰/۰۵۶
برداشت	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۴۲	۰/۰۲۶

۳-۲-۷-کمبود فسفر در گیاه برنج)

برنج علائم واضح و مشخصی را در مواقع نارسایی تغذیه‌ای نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) نشان می‌دهد و این علائم مبتنی بر تشخیص سریع مورفولوژیکی در این زمینه است. تشخیص مورفولوژی، به مقدار زیادی تجربه نیاز دارد. این روش قابل اندازه گیری نیست. استفاده از این روش برای کشاورزان بسیار دشوار هستند. محققان جدیداً با استفاده از تصویربرداری دیجیتال و کاربرد تکنیک اسکن استاتیک با جمع‌آوری تصاویری از سه برگ

بالایی گیاه برنج، کمبود نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در گیاه شناسایی نمودند. که روشی دقیق، سریع و عملی برای تشخیص نارسایی تغذیه برنج می‌باشد و می‌تواند در مدیریت عناصر غذایی مؤثر باشد (Chen et al., 2014).

کمبود فسفر موجب تجمع آنتوسیانین شده و موجب پیدایش رنگ ارغوانی و گاهاً سبز تیره در حاشیه برگ می‌شود. فسفر در گیاه کاملاً متحرک است. لذا کمبود آن در اندام‌های پایین گیاه (تشکیل ماده آنتی سیانین) و تیره‌تر شدن رنگ برگ، کاهش پنجه دهی و کاهش طول گیاه و تأخیر در رشد زایشی و گل دهی است. زیادی فسفر در گیاه باعث زود به زایشی رفتن گیاه می‌گردد. رشد گیاهان مبتلا به کمبود فسفر متوقف شده و پنجه زنی آنها تا حد زیادی کاهش می‌یابد. برگ‌ها باریک، کوتاه، راست بوده و رنگ سبز تیره به خود می‌گیرند. ساقه‌ها نازک و سوزنی بوده و نمو گیاهان به تعویق می‌افتد. همچنین تعداد برگ‌ها، خوشه‌ها و تعداد دانه در هر خوشه نیز کاهش می‌یابد. وقتی کمبود فسفرشدید باشد برنج به گلدهی نمی‌رود و دانه‌ها پوک می‌گردد. عدم تشکیل دانه درکمبود شدید فسفر، وزن هزار دانهٔ پائین، کیفیت ضعیف دانه، عدم تأثیر کود نیتروژنی و عدم وجود جلبک درآب مزرعه از دیگر نشانه‌های کمبود این عنصر به شمار می‌رود (شکل‌های ۳-۴ و ۳-۵)(Dobermann and Fairhurst, 2000). دامنه مناسب و سطوح بحرانی برای کمبود فسفر در اندام‌های هوایی در مراحل مختلف برنج در جدول شماره ۳-۴- مشخص شده است.

شکل ۳-۲-الف-- پیدایش رنگ ارغوانی در حاشیه برگ در اثر کمبود
https://www.cdfa.ca.gov/is/ffldrs/frep/FertilizationGuidelines/Rice.html

شکل ۳-۴- مقایسه گیاه دچار کمبود فسفر با گیاه نرمال، گیاه برنج سمت چپ فاقد کمبود فسفر و سمت راست گیاه برنج (Dustin Harrell and Johnny Saichuk, 2014)

شکل ۳ –۵- توقف رشد گیاه برنج و عدم یکنواختی در اراضی شالیزاری دارای کمبود فسفر
http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/nutrient-management/deficiencies-and-toxicities-fact-sheet/item/phosphorous-deficiency

۳-۲-۸- عوامل مؤثر در جذب فسفر به وسیله گیاه

۱- غلظت فسفر قابل استفاده در محلول خاک

۲- سرعت پخشیدگی فسفر به سطح ریشه

۳- گسترش و پراکنش ریشه (با افزایش حجم خاک اشغال شده توسط ریشه، به علت تحرک و پویایی کم فسفر در خاک، جذب فسفر افزایش می‌یابد

۴- ترشح مواد اسیدی‌زا از ریشه که با افزایش آن مقدار فسفر قابل استفاده گیاه در خاک افزایش می‌یابد.

۵- حضور یا عدم میکوریزا در خاک

جدول ۳-۴- دامنه مناسب و سطوح بحرانی برای کمبود فسفر در برگ در مراحل مختلف برنج
(Doberman and Fairhurst, 2000)

مرحله رشد	اندام گیاه	حد مناسب (درصد)	سطح بحرانی کمبود (درصد)
پنجه‌زنی تا تشکیل خوشه اولیه	برگ جوان	۰/۲-۰/۴	<۰/۱
گلدهی	برگ پرچم	۰/۲-۰/۳	<۰/۱۸
رسیدن دانه	کاه و کلش	۰/۱-۰/۱۵	<۰/۰۶

۳-۲-۹- مدیریت کود فسفر در برنج

فسفر عامل محدود کننده برای عملکرد مطلوب برنج می‌باشد. جذب فسفر به مقدار کافی در اوایل دوره رشد گیاه، اهمیت بسیاری دارد. این اهمیت در اندام های زایشی بیشتر نمایان است. فسفر برداشتی از خاک در مقایسه با نیتروژن، پتاسیم و حتی گوگرد و منیزیم به مراتب کمتر است و معمولاً بین ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار است (Malakouti et al., 2008). بعد از ظهور ارقام پرمحصول برنج، توجه بسیار زیادی به مصرف کود های نیتروژن شده و عناصر غذایی فسفر و پتاسیم به فراموشی سپرده شد. اغلب کشاورزان معمولاً مقدار بالایی از کود اوره در اراضی شالیزاری مصرف می‌کنند و به مصرف کودهای فسفره توجه زیادی ندارند. این امر سبب عدم توازن تغذیه‌ای شده و مشکلات جدی برای رشد محصول پدید آورده است (Davatgar et al., 2015؛ Raju et al., 2003).

فسفر بومی خاک‌ها در بسیاری موارد کمتر از مقداری است که بتواند نیاز غذایی گیاه را تأمین کند. کود فسفاته محلول، وقتی به خاک افزوده می‌شود در خاک تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود. ریشه‌های جوان نشاء به دلیل این که هنوز توسعه کافی پیدا نکرده‌اند قدرت جذب فسفات را به اندازه کافی نداشته و دسترسی آنها به فسفر کم می‌شود. و لذا بازیابی فسفر توسط گیاه اندک می‌باشد. مجموعه عوامل فوق الذکر استفاده از کودهای فسفره را به صورت پایه برای رسیدن به عملکرد مورد انتظار الزامی می‌سازد. فسفر تثبیت شده را نمی‌توان فسفر هدر رفته تلقی کرد. درصد کمی از آن می‌تواند برای زراعت سال‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

مازاد فسفر مصرفی در خاک تثبیت شده و برای سال‌های دیگر قابل استفاده است. به علت مصرف همه ساله و عموماً بیش از مقدار مورد نیاز، فسفر قابل جذب خاک‌ها بالا بوده و از حد بحرانی بیشتر است و به ندرت اراضی هستند که فسفر قابل جذبشان کمتر از حد بحرانی باشد. اراضی که فسفر قابل جذب‌شان از حد بحرانی بیشتر است و توان خاک برای تثبیت فسفر مهیا می‌باشد به مدت یک سال یا چند سال نیازی به دادن کود فسفاته نخواهند داشت. و اراضی که فسفر قابل جذبشان کمتر از حد بحرانی است به نسبت کمتری باید فسفر به خاک اضافه کرد. حد بحرانی فسفر در اراضی شالیزاری نقطه‌ای است که اگر فسفر قابل جذب خاک کمتر از آن باشد باید به خاک فسفر اضافه نمود و اگر فسفر خاک از

آن نقطه بیشتر باشد نیازی به دادن کود فسفره نیست. حد بحرانی برای ارقام مختلف برنج ۱۲ الی ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. کمبود فسفر را می‌توان با کاربرد کودهای فسفره جبران کرد که این کودها فسفر لازم برای رشد گیاه را به شکل P_2O_5 وارد خاک می‌کنند (Malakouti and Kavoosi, 2004).

ترکیبات فسفره دارای تحرک ناچیز در خاک بوده و مقادیری از آن نیز که به مصرف گیاه نمی‌رسد به طریق مختلف در خاک ذخیره می‌گردد. ادامه این روند در طولانی مدت می‌تواند در مقدار کود مصرفی تاثیرگذار باشد، بطوری که در شرایطی خاص ممکن است نیاز به مصرف کودشیمیایی درطی سالیان متمادی که از نهاده‌های مهم در تولید اقتصادی می‌باشد تغییرنماید، نتایج نشان می‌دهدکه اثرات باقی‌مانده مصرف فسفر بمدت چندسال در خاک ممکن است پایدار باشد و لذا مدیریت این عنصر باید بر تدارک و ابقاء سطح فسفر قابل دسترس خاک به میزان کافی در طول دوره رشد مورد تاکید باشد. در اراضی شالیزاری با نیاز ۶۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار معادل ۱۲۸ کیلوگرم درهکتارسوپر فسفات تریپل یا بیشتر، با هر دوسال مصرف می‌توان یکسال کاربرد این کود را قطع کرد (جدول ۳-۵) (Shokrivahed, 2011).

جدول ۳-۵- توصیه کودی فسفر در اراضی شالیزاری جهت دستیابی به پتانسیل عملکرد در ارقام بومی (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور)

مقدار فسفر خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)	مقدار P_2O_5 توصیه شده	مقدار کود سوپر فسفات توصیه شده
۲/۱-۴	۱۳۰	۲۸۸
۴/۱-۶	۱۱۵	۲۵۵
۶/۱-۸	۹۰	۲۰۰
۸/۱-۱۰	۷۵	۱۶۶
۱۰/۱-۱۲	۶۰	۱۳۳
۱۲/۱-۱۴	۴۵	۱۰۰
۱۴/۱-۱۶	۳۰	۶۶
۱۶/۱-۱۸	۱۵	۳۳
۱۸/۱-۲۰	-	-

۳-۳- پتاسیم

۳-۳-۱-پتاسیم درخاک

پتاسیم از نظر فراوانی هفتمین عنصر و چهارمین عنصر غذایی معدنی در لیتوسفر است (Aighewi and Russelle,1993). میانگین این عنصر در لیتوسفر ۲/۶ درصد می‌باشد. پتاسیم کل خاک‌های معدنی بین ۰/۱ تا ۴ درصد (یابیشتر) و معمولاً بین ۰/۲ تا ۰/۳ درصد تغییر می‌کند (Mutscher,1995).

منابع پتاسیم درخاک‌های معدنی، آلومینوسیلیکاتهای اولیه مثل‌فلدسپارهای پتاسیم، بیوتیت وموسکوویت وآلومینوسیلیکاتهایی چون ایلیت وفرآورده‌های حاصل ازهوادیدگی موجود درموادمادری خاک است (Tisdal et al.,1993). در بیشتر خاک‌ها، میکاها عمدتاً از موادمادری خاک منشاء گرفته و به مرور زمان به معدنیهای دیگر هوازده می‌شوند. بنابراین کانیهای ذکرشده درخاک‌های جوان‌تر و کمی هوازده، فراوان‌تر ازخاک‌های هوازده می‌باشند. درخاک‌های با هوادیدگی بیشتر، میکاهای تری‌اکتاهیدرال کمتر بوده ومیکاهای موجود در رسهای اکثراین خاک‌ها غالباً دی‌اکتاهیدرال هستند.

شکل‌های مختلف پتاسیم درخاک عبارتند از (Tisdal et al.,1993):

۱- پتاسیم موجود در محلول خاک

۲- پتاسیم تبادلی‌که برروی مکانهای با بارمنفی‌موجود درکمپلکسهای‌کلوئیدی جذب‌شده است.

۳- پتاسیم غیرتبادلی که موقیعت‌های درونی ورقه‌های رسی وحفرات شش وجهی بعضی ازکانیها را اشغال می‌کند.

۴- پتاسیم موجود در ساختمان کریستالی کانیهای اولیه و ثانویه

علاوه بر این شکل‌ها پتاسیم موجود درموادآلی را نیزمی توان اضافه نمود (Malavolta,1985).

پتاسیم محلول وتبادلی بطور مستقیم و به سادگی‌توسط گیاه قابل‌جذب است ولی شکل غیرتبادلی که بخشی از آن قابل جذب است را می‌توان به دو قسمت بسختی قابل تبادل و بخش تثبیت شده تقسیم نمود (Malavolta,1985).

مطالعات مختلف نشان داده است که مقدارکمی ازکل پتاسیم مورد نیازگیاه در محلول خاک اطراف ریشه گیاه وجود دارد (Gething,1990). پتاسیم موجود در محلول خاک یا در محلول آزاد خاک است ویا تحت تأثیر میدان الکتریکی حاصل از بارهای منفی سطوح کمپلکسهای جذبی قرار دارد. پتاسیم موجود درمحلول خاک سریعاً و بلافصل بوسیله گیاه می‌تواند جذب شود (Martin and Sparks,1985). پتاسیم موجود در محلول خاک با پتاسیم تبادلی درحال تعادل بوده و تمایز آن از بخش تبادلی دشوار است. در خاک‌های رسی، غلظت پتاسیم محلول با افزایش مقدار پتاسیم تبادلی به کندی افزایش می‌یابد در حالیکه در خاک‌های شنی افزایش مذکور با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. غرقاب‌نمودن خاک که معمولاً در اراضی شالیزاری به وقوع می‌پیوندد، غلظت یون پتاسیم را در محلول خاک افزایش می‌دهد ((Matscher,1995. در یک مطالعه حداقل پتاسیم محلول استخراج شده از تعدادی از خاک‌های شالیزاری استان گیلان به روش عصاره گیری با آب ۱۵، حداکثر ۵۰ و میانگین آن را ۲۷ میلی گرم در لیتر گزارش شده است (کاووسی، ۱۳۷۸).

بخش نسبتاکوچکی از پتاسیم کل خاک بصورت تبادلی بوده و مجموع پتاسیم تبادلی و محلول خاک شاید ۱ تا ۲ درصدازکل پتاسیم خاک راشامل شود (Tisdal et al., 1993). این بخش ازپتاسیم به آسانی می‌تواند برای گیاه قابل استفاده باشد و هنوز اندازه‌گیری آن یکی از مهمترین راههای برآورد قابلیت جذب پتاسیم بوسیله گیاه است.

درشرایط مزرعه غلظت پتاسیم محلول عمدتاً بوسیله پتاسیم موجود در سطوح خارجی کانیهای رسی بافر می‌شود ولی پتاسیم موجود درلبه‌ها و بین لایه‌های کانیهای رسی نیز در طولانی‌مدت می‌توانند در بافرکردن پتاسیم محلول خاک نقش داشته باشند. کاتیونهایی‌که پتاسیم را ازمکانهای تبادلی جابجا کرده وپتاسیم محلول درخاک را بافر می‌کنند، عمدتاً کلسیم، هیدروژن، آمونیوم و آلومینیوم می‌باشند. کلسیم بخوبی پتاسیم جذب‌شده بر روی سطوح خارجی رسها را جایگزین می‌کند اما قادر به جایگزینی پتاسیم جذب‌شده در لبه کانیهای رسی نیست ولی یون آمونیوم بخوبی می‌تواند پتاسیم موجود در لبه و حتی بخشی از پتاسیم جذب‌شده دربین لایه‌های کانیهای رسی را نیز جایگزین نماید. یون هیدروژن نیز بخوبی می‌تواند پتاسیم را جایگزین نماید (Matscher, 1995). میانگین پتاسیم تبادلی

استخراج شده با استات آمونیوم در استان گیلان ۱۵۲/۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (کاووسی، ۱۳۷۸).

بعضی از خاک ها پتاسیم را در مکانهایی نگه می‌دارند که نمی‌تواند بسرعت بوسیله یون آمونیوم جایگزین شوند. این بخش از پتاسیم، غیرتبادلی نامیده می‌شود و به کندی برای گیاه قابل استفاده می‌باشد. با اینکه پتاسیم غیرتبادلی غالباً درکوتاه مدت قابل دسترسی نیست ولی می‌تواند سهم مهمی در حفظ پتاسیم لبایل درخاک داشته باشد (Johnston and Krauss,1998).

درخاک‌هایی که حاوی مقدارکمی پتاسیم غیرتبادلی می‌باشند، پتاسیم تبادلی ممکن است شکل غالب قابل استفاده باشد ولی خاک‌هایی که حاوی مقادیرکمی پتاسیم تبادلی اما دارای مقادیر زیادی کانیهای میکایی و ایلیت هستند، تجدید پتاسیم تبادلی یا محلول تا حد زیادی وابسته به آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی است. بایدبخاطرداشت که آزادشدن پتاسیم بین لایه‌ای یک فرآیند تبادلی تحت کنترل انتشار با سرعت پایین است (Rahmatullah and Mengel,1993).

پتاسیم ساختمانی به شکلی ازپتاسیم اطلاق می‌شودکه جزیی ازشبکه کریستالی کانیها می‌باشد. تعداد زیادی از کانی‌ها و بیشتر سیلیکات‌ها ممکن است حاوی چنین شکلی از پتاسیم باشند. به هرحال سه گروه مهم از کانیهای پتاسیم‌دار عبارتند از: فلدسپارها، میکاها و سیلیکاتهای رسی شبه میکایی. پتاسیم ساختمانی فلدسپارها معمولاً با تخریب شبکه سیلیکاتی طی فرآیندهای هوادیدگی آزاد می‌شود. پتاسیم بین لایه‌ای میکاها ممکن است بوسیله تخریب شیمیایی کانیها آزاد شود اما حداقل بخشی از پتاسیم ساختمانی این کانیها می‌تواند بوسیله انتشار از فضای بین لایه‌ای بطرف بیرون حرکت کرده و بدون آنکه تخریبی در ساختمان کریستال ایجاد شود، آزاد گردد (Matscher,1995).

تثبیت پتاسیم بوسیله خاک‌ها که نتیجه آن کاهش پتاسیم قابل دسترس برای گیاه است یکی از عوامل بسیار مهم و مؤثر در تغذیه گیاه از پتاسیم است. حرکت تدریجی پتاسیم از محلول خاک و مکانهای جذب سطحی با نیروی پیوند کم (که نشان‌دهنده پتاسیم فوق‌العاده لبایل است)، بطرف مکانهای با نیروی پیوند بیشتر و نیز بطرف مکانهای بین لایه‌ای با جذب اختصاصی که نتیجه آن کمتر شدن پتاسیم لبایل نسبت به پتاسیم کل است، تثبیت پتاسیم

درخاک تعریف می‌شود (Olk et al.,1995). تثبیت پتاسیم را می‌توان عکس فرآیند هوادیدگی درکانیهای میکایی درنظرگرفت. در فرآیندهای هوادیدگی، تغییر کانیها بصورت میکا ← ایلیت ← ورمی‌کولیت حد واسط ← مونت موریلونیت ← کائـولینت است ولی فرآیند تثبیت پتاسیم ممکن است عکس این مسیر باشد با این تفاوت که کائولینیت قادر به تثبیت پتاسیم نمی‌باشد. در همین رابطه باید ذکر نمود که خاک‌هایی که در آن مقدار ورمی‌کولیت، بایدلیت و ایلیت زیاد است، مقدار تثبیت پتاسیم در آنها ممکن است فوق‌العاده زیاد باشد (De Datta and Mikkelsen,1985).

۳-۳-۲- پتاسیم در گیاه

پتاسیم از دیر باز به عنوان یک عنصر غذایی ضروری برای گیاه و عاملی در جهت افزایش تولید و بهبود کیفیت گیاه شناخته شده است. برخلاف بسیاری از عناصر غذایی ضروری دیگر، پتاسیم با اینکه در گیاهان نرمال به مقدار زیاد وجود دارد ولی از اجزای تشکیل دهنده هیچکدام از ترکیبات آلی گیاه نمی‌باشد. این عنصر درتمام سلول‌ها و ارگانهای گیاهی وجود داشته و در گیاه بسیار متحرک می‌باشد. پتاسیم در برنج بعد از آمونیوم متحرکترین یون می‌باشد (De Datta,1987). تحرک بالای این عنصر باعث می‌شود که در فعال بودن بسیاری از آنزیم‌های مؤثر در فرایندهای متابولیکی مهمی چون فتوسنتز وتشکیل پروتیین ها، نقش موثری داشته باشد. از جمله کنشهای پتاسیم در گیاه تأثیر آن درفشار اسمزی وفشار تورمی ودرنتیجه افزایش اندازه سلول است که شاید یکی از مهمترین نقشهای پتاسیم در گیاه باشد (Beringer and Nothdurf,1985). بعضی از اثرات دیگر پتاسیم درگیاه می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

الف) پتاسیم باعث افزایش شدت فتوسنتز در گیاه می‌شود. اگر مقدار پتاسیم در برگ گیاهان به اندازه کافی زیاد باشد (۴ تا ۵ درصد)، راندمان مصرف انرژی آنها ممکن است ۵۰ تا ۷۰ درصد بیشتر از برگهای گیاهانی باشد که غلظت پتاسیم در آنها کم است (۱ تا ۲ درصد). بعلاوه پتاسیم زیاد می‌تواند باعث افزایش تعداد روزنه‌ها درسطح برگ شده و پیامد آن تبادل گازی و جذب دی اکسید کربن را افزایش داده و باعث افزایش شدت فتوسنتز شود (Von Uexkull,1979).

ب) پتاسیم بازوبسته شدن روزنه‌ها را کنترل می‌کند. باز شدن روزنه‌ها در نور روز ناشی از تورم سلولهای محافظ می‌باشد. فشار تورمی بالای این سلولها به دلیل تجمع یونهای پتاسیم در آنها وایجاد جریان اسمزی وجذب آب در آن‌ها می‌باشد. مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهند که غلظت پتاسیم سلولهای محافظ در روزنه‌های باز نسبت به روزنه‌های بسته فوق العاده بیشتر است.. وقتی که گیاه دچار کمبود پتاسیم است، استوماتها بخوبی به وظایف خود عمل نمی‌کنند وتلفات آب از گیاه ممکن است به حد خسارت زا برسد. ولی گیاهانی که بخوبی با پتاسیم تغذیه شده‌اند در مقابل کم آبی به سرعت عکس العمل نشان داده و با تنظیم باز وبسته شدن بموقع روزنه‌ها به حفظ آب در گیاه کمک می‌کند. کنترل روابط آب وگیاه به عقیده بعضی‌ها شاید مهمترین اثر پتاسیم در گیاه باشد (Gething, 1990).

ج) پتاسیم سرعت انتقال مواد ساخته شده را افزایش می‌دهد. از پیامدهای این انتقال سریع پر شدن بهتر اندام‌های ذخیره‌أی در گیاه می‌باشد(Gething, 1990) .

پتاسیم علاوه بر تسریع انتقال فراورده‌های فتوسنتز در انتقال نیتروژن وسنتز آن به پروتئین نقش مثبتی ایفا می‌کند. هنگامی که نیترات بوسیله گیاه جذب می‌گردد، بار منفی آن توسط بار مثبت پتاسیم خنثی می‌شود وهمراه با جریان تعرقی به سمت برگها حرکت کرده وتبدیل به پروتئین می‌شود. در قسمت فوقانی گیاه، یون پتاسیم با مالات ترکیب شده ومجددا به سمت ریشه جریان می‌یابد. مالات که بوسیله پتاسیم به ریشه منتقل شده دکربوکسیله شده به پیرووات و بیکربنات تبدیل می‌شود. بیکربنات سپس با نیترات تبادل شده ونیترات از خاک بوسیله گیاه جذب می‌شود و درنتیجه پتاسیم مجدداً در چرخه جذب نیتروژن مشارکت می‌کند. بنابراین پتاسیم به مثابه پمپ نیتروژن عمل کرده وجذب آن را از خاک ونیز استفاده گیاه از آن را بهبود می‌بخشد. پیامد کمبود پتاسیم درگیاهی که به مقدار زیادی نیتروژن دریافت نموده، تجمع فراورده‌های حدواسط سنتز پروتئین می‌باشد که با دریافت پتاسیم به مقدار کافی، تبدیل ترکیبات نیتروژنی به پروتئین تشدید می‌شود (Gething, 1990).

د) نقش پتاسیم در اجزای عملکرد و مقاومت به ورس و بیماریها.

پتاسیم به جز مواردی که کمبود آن بسیارحاد می‌باشد، پنجه زنی را افزایش نمی‌دهد. اگرنیتروژن و فسفر فقط کمی پایینتر ازحد کفایت باشد، افزودن پتاسیم به خاک حتی ممکن است باعث کاهش تعداد پنجه و نهایتاً کاهش عملکرد در گیاهان مختلف ازجمله برنج گردد (Gething, 1990). کاربرد پتاسیم می‌تواند تعداد دانه درخوشه، درصد دانه‌های پر و وزن دانه و در نتیجه وزن هزاردانه را در برنج افزایش دهد. چون پتاسیم کمک می‌کند که برگ پرچم ازنظر فیزیولوژیکی مدت طولانی‌تری فعال باقی مانده وپر شدن دانه بهتر انجام گیرد. بنابراین برای عملکرد بالای دانه برنج، جذب مداوم پتاسیم تا رسیدن دانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Meha et al., 1995).

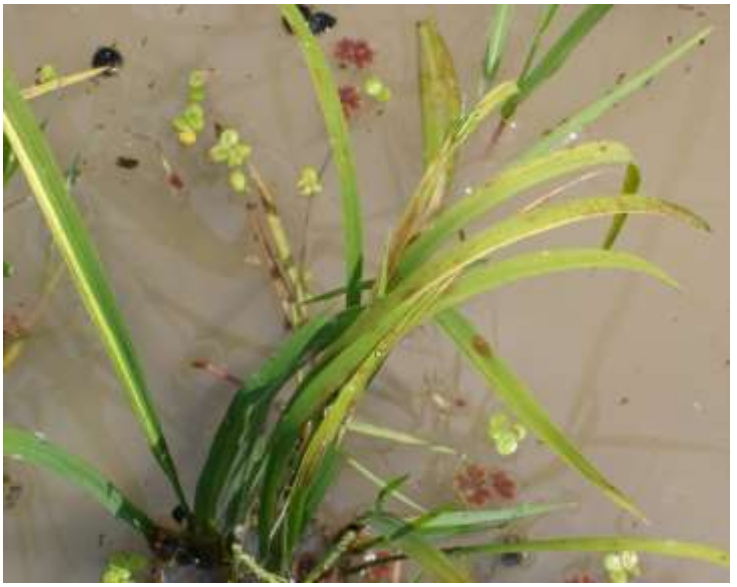
پتاسیم، لیگنینی شدن سلولهای اسکلرانشیمی را افزایش داده و باعث ضخیم شدن دیواره‌های ساقه بخصوص در قسمتهای نزدیک به یقه گردیده وبنابراین مقاومت گیاه به ورس را افزایش می‌دهد (De datta, 1985). این اثر پتاسیم بویژه در مواردی که مقدار زیادی کودنیتروژنی استفاده شده باشد بخصوص در ارقام پابلند برنج بسیار مهمتر است.

برنج‌هایی که دچار کمبود پتاسیم هستند ویانسبت نیتروژن به پتاسیم در آنها بالا است به بیماری‌های لکه قهوه‌ای، پوسیدگی ساقه وبلایت باکتریایی برگ بسیار حساس هستند. حتی در بسیاری از موارد بروز علایم بیماریهای فوق‌الذکر می‌تواند نشانه کمبود پتاسیم درخاک باشد. بسیاری از بیماریهای دیگر ازجمله شیت بلایت، لکه قهوه‌ای نازک برگ یا اسکلروتیوم و بلاست هنگامی که نسبت نیتروژن به پتاسیم بالا است، در برنج تقویت می‌شوند (Von Uexkull, 1979).

کمبود پتاسیم همچنین آزاد شدن اکسیژن از ریشه برنج را کاهش می‌دهد ودرنتیجه قدرت اکسیدکنندگی آهن دوظرفیتی بوسیله برنج کاهش یافته واحتمال مسمومیت آهن در برنج افزایش می‌یابد. بارفع کمبودپتاسیم، علاوه بر کاهش خطر مسمومیت آهن، محیط مناسبی برای فعالیت باکتریهای آزادزی تثبیت کننده نیتروژن فراهم شده وتثبیت بیولوژیکی نیتروژن افزایش می‌یابد (Chen et al., 1992).

۳-۳-۳- علایم کمبود پتاسیم در برنج

در شرایط‌کمبود شدید پتاسیم، نوک برگها زرد متمایل به قهوه‌ای‌می‌شود. علایم کمبود ابتدا در برگهای پیرتر و سپس در امتداد حاشیه برگها و سرانجام در کل پهنه برگ ظاهر می‌شود. برگهای بالایی کوتاه، افتاده و به رنگ سبز کثیف تیره دیده می‌شوند. برگهای پیر از رنگ زرد به رنگ قهوه‌ای در می‌آیند و اگر کمبود پتاسیم در گیاه اصلاح نشود، تغییر رنگ در برگهای جوان‌تر نیز بروز می‌کند (شکل‌های ۳-۶ و ۳-۷)(Dobermann and Fairhurst, 2000). کاوسی‌و ملکوتی (۱۳۸۵). غلظت بحرانی‌پتاسیم در خاک برای رقم خزر بر اساس ۹۰ درصد حداکثر عملکرد را ۱۱۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک وغلظت بحرانی‌پتاسیم در کاه برنج رقم سپیدرودرا ۱/۱ درصد گزارش کرده‌اند.



شکل ۳-۶- علائم کمبود پتاسیم در گیاه برنج

http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/nutrient-management/deficiencies-and-toxicities-fact-sheet/item/potassium-deficiency

شکل ۳-۷- علائم کمبود پتاسیم در گیاه برنج
http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/nutrient-management/deficiencies-and-toxicities-fact-sheet/item/potassium-deficiency

۳-۳-۴- زمان مناسب کاربرد کودهای پتاسیمی

چون پتاسیم بعد از کاربرد می‌تواند تا حد زیادی به وسیله رسهای خاک تثبیت شود، بهتر است کودهای پتاسیمی در مراحل پایانی آماده سازی زمین مصرف گردد. یادآور می‌گردد که جذب پتاسیم در مرحله پنجه زنی باعث افزایش تعداد خوشه و سنبلچه در گیاه برنج می‌گردد. جذب پتاسیم در مرحله تشکیل خوشه در افزایش تعداد سنبلچه‌ها و همچنین وزن هزاردانه مؤثر می‌باشد و پتاسیم جذب شده بعد از مرحله تشکیل خوشه عمدتاً در افزایش وزن هزار دانه مؤثر است.

از کاربرد یکجای کودهای پتاسیمی در موارد زیر باید اجتناب نمود:

- مقدار فراهمی نیتروژن خاک پایین باشد.
- گنجایش تبادل کاتیونی خاک پایین و زهکشی خاک شدید باشد.
- فواصل نشاکاری زیاد باشد.
- ارقامی کاشته شده باشند که دارای قدرت پنجه زنی کم باشند.

جدول ۳-۶ توصیه کودی پتاسیم در اراضی شالیزاری از منبع کلرور پتاسیم یا سولفات پتاسیم را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۶- توصیه کودی پتاسیم در اراضی شالیزاری از منبع کلرور پتاسیم یا سولفات پتاسیم (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور)

پتاسیم خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)	مقدار K_2O توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)	مقدار کلرور پتاسیم توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)	مقدار سولفات پتاسیم توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)
۳۰-۶۰	۱۷۵	۲۹۲	۳۵۰
۶۱-۹۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۰۰
۹۱-۱۲۰	۱۲۵	۲۰۸	۲۵۰
۱۲۱-۱۵۰	۱۰۰	۱۶۷	۲۰۰
۱۵۱-۱۸۰	۷۵	۱۲۵	۱۵۰
۱۸۱-۲۱۰	۵۰	۸۳	۱۰۰

۳-۴-سیلیسیم

۳-۴-۱- سیلیسیم در خاک

سیلیسیم (Si) دومین عنصر فراوان (۲۸ درصد) پوسته زمین است. سیلیس در طبیعت به صورت آزاد و یا به صورت ترکیب با سایر عناصر وجود دارد. این عنصر جزء عناصر مفید برای گیاهان است (Tisdale, 1985). سیلیس به صورت ارتوسیلیسیک اسید (H_4OSi_4) توسط ریشه گیاه جذب می‌شود. سیلیسیم در خاک به ۳ صورت وجود دارد:

الف) سیلیسیم موجود در فاز جامد شامل سیلیسیم هایی است که در ساختمان کانی‌های رسی و سیلیکات‌های آمورف (بی شکل) یافت می‌شود.

ب) سیلیسیم جذب سطحی شده

ج) سیلیسیم موجود در محلول خاک

سیلیسیم موجود در محلول خاک به صورت اسید مونو سیلیسیک است. سیلیسیم جذب سطحی شده در دسترس‌ترین منبع تأمین سیلیسیم محلول است. سیلیکات‌های بی‌شکل مهمترین منبع اولیه تأمین سیلیسیم مورد نیاز می‌باشد. هرچند که سیلیسیم محلول از انحلال و فروپاشی سیلیکات‌های بی شکل و سیلیسیم موجود در کانیهای رسی حاصل می‌شود، جذب سطحی سیلیکات از طریق تبادل لیگاندی یا نفوذ آنیونی صورت می‌گیرد (Havlin et al., 2016).

رقابت آنیون‌های معمول در خاک‌های زراعی در جذب روی سطوح به صورت زیر است:

$SiO_4^{4-} > PO_4^{2-} > SO_4^{2-} > NO_3^- \sim Cl^-$

از این رابطه چنین می‌توان نتیجه گرفت که آنیون فسفات در حضور سیلیکات جذب نخواهد شد و سیلیکات در آزادسازی عنصر فسفر نقش مهمی دارد. علیرغم نقش مثبت سیلیسیم در مزارع برنج، هنوز تقش فیزیولوژیکی خاصی به آن ارتباط نداده‌اند، ولی برای داشتن رشد ساقه و برگ سالم و قوی وجود این عنصر ضروری است (Brady et al., 2016).

با استفاده از استات سدیم به عنوان عصاره گیر، سطح بحرانی سیلیسیم، در خاک‌های اسیدی ژاپن (Ma and Feng, 2002; Nonaka and Takahashi. 1988) و کره جنوبی (Tubaña and Heckman, 2015) بیش از ۱۳۰ و در تایوان (Nwajiaku et al., 2018) بیش از ۹۰ میلی‌گرم SiO_2 در هر کیلوگرم خاک پیشنهاد شده است. البته در خاک‌های آهکی سیلیسیم خیلی بیشتر از مقادیر فوق است و افزودن کودهای سیلیسیمی به خاک باز هم عکس العمل مثبت گیاهان را در پی دارد.

۳-۴-۲-نقش سیلیسیم در تغذیه گیاه

این عنصر جزء عناصر مفید برای گیاهان است. سیلیس به صورت ارتوسیلیسیلیک اسید توسط ریشه گیاه جذب می‌شود. درصد سیلیس در ماده خشک گیاهان از ۰/۵ تا ۴ درصد متغیر می‌باشد مکانیسم جذب این عنصر بسته به نوع گیاه متفاوت است، مثلاً در گندم به صورت غیر فعال و در برنج به صورت فعال جذب می‌شود(Yamauchi and Winslow, 1987). گیاهان عالی از نظر ظرفیت جذب سیلیسیم ویژگی‌های گوناگون دارند. بر پایه میزان اکسید سیلیسیم موجود در آنها (که بر پایه درصد وزن خشک ساقه ارائه می‌شود)، می‌توان سه گروه عمده غلات مناطق مرطوب مانند برنج ۱۰ تا ۱۵ درصد و غلات مناطق خشک مانند نیشکر و گندم ۱ تا ۳ درصد و بیشتر دو لپه‌ای‌ها، به ویژه لگوم ها کمتر از ۰/۵ درصد تقسیم کرد. مطالعه‌های متعددی فواید سیلیس را برای گیاهان عالی مخصوصاً برای گیاهان گروه گرامینه ثابت کرده است. گیاهان زیادی توانایی جذب این عنصر را دارند و بسته به گونه گیاه، محتوی سیلیس تجمع یافته دربیوماس می‌تواند از دامنه ۱۰ تابیشتر از ۱۱۰ گرم در کیلوگرم باشد (Tubaña and Heckman, 2015; Epstein, 1991).

سیلیس سبب ایستایی بیشتر برگها می‌شود و اثر اصلاحی سیلیس بر عمود بودن برگ، زمانی مفید خواهد بود که گیاه در تراکم بالا کشت شده و محدودیت نور برای فتوسنتز وجود دارد (Rossate et al., 2001). افزایش رشد و عملکرد گیاه در حضور سیلیس از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌باشد (Samuels et al., 1993). کاربرد سیلیس باعث افزایش اندازه برگ، تعداد برگ و سطح برگ گیاه می‌شود (Kaya et al., 2006). همچنین با افزایش غلظت سیلیس در محلول غذایی وزن خشک برگ نیز به طور کاملاً معنی داری افزایش می‌یابد (Gao et al., 2006). این عنصر با سرعت بخشیدن به رشد رویشی و افزایش تولید ماده خشک و کاهش تعرق،، باعث افزایش کمیت دانه و در نهایت عملکرد اقتصادی می‌گردد (Agarie et al.,1993). علاوه بر این عنصر سیلیس اثرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه دارد (Epstein, 2009). تعدادی از مطالعات نشان داد که افزایش عملکرد دانه با مصرف سیلیس در گیاهان مختلف به خاطر افزایش وزن هزاردانه است (Balastra et al., 1989). کاربرد کودهای سیلیسی، باعث افزایش تعداد خوشه در گیاهان نیز می‌شود (Chaoming et al., 1999). سیلیس همچنین موجب، افزایش مقاومت گیاهان به آفات می‌شود (Merrill,, 2005). در میان تعداد زیادی از عوامل تنش زای زنده و غیر زنده که عملکرد برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهند، آفات و امراض گیاهی جز مهمترین آن‌ها هستند. از جمله آفات برنج، کرم ساقه خوار است که از آفات مهم اراضی شالیزاری دنیا محسوب می‌شود. استفاده از سیلیس به عنوان منبع کودی سبب افزایش تحمل گیاهان در برابر این آفت می‌شود. از دیگراثرات مثبت سیلیس بر محصولات زراعی می‌توان به کاهش سمیت آلومینیوم، کاهش سمیت آهن و منگنز، متحرک کردن فسفات خاک، افزایش تولیدات فتوسنتزی و افزایش مقاومت گیاه به آفات، بیماری‌ها و ورس (خوابیدگی) را نام برد (Gholami et al., 1393). کاووسی و همکاران (۱۳۸۵) نشان دادند که اگرچه اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم در سال اول بر میزان بیماری بلاست معنی دار نبوده ولی در سال دوم باعث کاهش معنی‌دار شدت بیماری بلاست در ارقام هاشمی، حسنی و بینام شده است.

۳-۴-۳- حد بحرانی سیلیس در خاک و گیاه برنج

منابع آب آبیاری شامل رودخانه‌ها، چاه‌ها و شبکه‌هایی که از سدها تغذیه می‌شوند، مقادیر مختلفی از سیلیسم برای زراعت برنج تأمین می‌نمایند. در هندوستان مقدار سیلیسیم

اندازه‌گیری شده در آب یک چاه آبیاری حدود ۳/۲-۲/۴ میلی گرم در لیتر و سیلیسیم اندازه‌گیری شده از آب یک سد ۵/۶ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است. در شیلی اندازه‌گیری مقدار سیلیسیم در رودخانه‌های مرکزی این کشور نشان داد که مقدار سیلیسیم در یک رودخانه به خصوصیات شیمیایی سنگ‌ها بستگی داشته وحوزه‌هایی که دارای سنگ‌های آتشفشانی هستند مقدار سیلیسم بیشتری برای رودخانه‌ها تأمین می‌نمایند (Malakooti and Kavoosi, 2004). نتایج به دست آمده از آزمایشی شش بخشی در استان گیلان نشان داد که به ترتیب بیشترین مقدار عرضه سیلیسیم در اراضی که آب آنها از سد تاریک و آهندان می‌گذرد، بوده (۲۳/۶۱ و ۲۴/۱۲ کیلوگرم درهکتار) و کمترین مقدار در کانال پسیخان (۱۸/۲۳ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. همچنین میانگین عرضه مستقیم سیلیسیم در کل شبکه برابر ۲۱/۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. دامنه Si محلول (۹/۵ تا ۱۲۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و میانگین آن ۷۰/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که از حد بحرانی بیشتر است (کاووسی و همکاران، ۱۳۸۵).

هوا (۱۹۹۴) مقدارسیلیسیم قابل‌دسترس در ۲۷۰ نمونه خاک را بین ۲۲ تا ۴۵۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک برآورد نموده است. این تحقیق غلظت بحرانی سیلیسیم را ۹۸ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک ملحوظ داشته وبراین اساس‌گزارش نمودکه $\frac{۲}{۳}$ خاک‌های موردمطالعه وی پایین‌تر ازحد بحرانی بوده‌اند. در مطالعات او عملکرد دانه برنج همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقدار سیلیسیم خاک و مقدار سیلیسیم گیاه نشان داده است. حد بحرانی سیلیسیم در گیاه برنج توسط این محقق ۱۱۲/۸ گرم اکسیدسیلسیم (SiO_2) درکیلوگرم ماده خشک گزارش شده است. در ۲۹۶ آزمایشی که در ۶ نوع خاک مختلف شالیزاری توسط این محقق انجام گرفت، کاربرد سیلیسیم در ۷۵ درصد مزارع آزمایشی افزایش عملکردی بیشتر از ۵ درصد به همراه داشت و میانگین افزایش عملکرد درخاک‌های دچار کمبودسیلیسیم با کاربرد سیلیسیم ۱۰/۲ درصد بوده است. غلظت بحرانی سیلیسیم خاک برای رقم هاشمی ۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین گردید و براساس آن ۵۸ درصد از شالیزارهای مورد بررسی با کمبود سیلیسیم مواجه هستند. غلظت بحرانی سیلیسیم در کاه برنج رقم هاشمی نیز ۸ درصد تعیین گردید. غلظت بحرانی سیلیسیم بخش رس

خاک برای رقم خزر ۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و غلظت بحرانی سیلیسیم کاه برای برنج رقم خزر ۶/۲ درصد تعیین گردید (جدول ۳-۷)(کاووسی و همکاران، ۱۳۸۵).

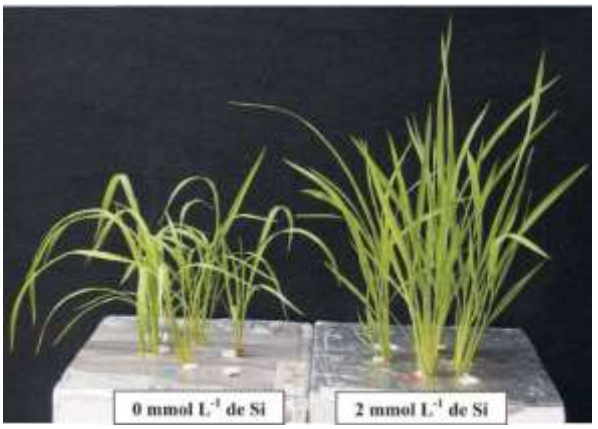
جدول ۳-۷- دامنه مناسب و سطح بحرانی سیلیسیم (Tubaña and Heckman, 2015)

مرحله رشد	قسمت گیاه	حد مناسب $mgkg^{-1}$	حد بحرانی کمبود $mgkg^{-1}$
جوانه زنی تا خوشه دهی	برگ جوان	-	<۵
رسیدگی دانه	ساقه	۸-۱۰	<۵

اگرچه سطح بحرانی سیلیسیم در خاک برای بروز کمبود ۴۰ میلی‌گرم در کیلو گرم خاک نیز با عصاره گیر استات سدیم ۱ مولار نیز بیان شده است و این شاید به این دلیل باشد که بافر استات سدیم موجب انحلال کربنات کلسیم و آزاد شدن سیلیسیمی می‌شود که تحت شرایط مزرعه قابل استفاده گیاهان نمی‌باشد (Ma and Takahashi, 2002; Tubaña and Heckman, 2015).

۳-۴-۴- علائم کمبود سیلیس در گیاهان

برگ‌ها و ساقه‌ها نرم و پژمرده شده در نتیجه موجب افزایش ورس می‌شود. کاهش فتوسنتز، کاهش عملکرد دانه، افزایش حساسیت به بیماریها مثل بلاست یا پوسیدگی قهوه‌ای، در کمبود شدید سیلیسیم تعداد خوشه در مترمربع و تعداد سنبلچه‌های پرشده در خوشه کاهش می‌یابد و گیاه به ورس حساس می‌شود. آزمایش خاک و گیاه برای ارزیابی کمبود آن می‌تواند بسیار راهگشا باشد (شکل ۳-۸)(غلامی و همکاران،۱۳۹۳).



شکل ۳-۸- علائم ورس یا خوابیدگی در برنج با و بدون تیمار با سیلیسیم (Zanão Júnior et al., 2010)

۳-۴-۵-روش‌های مدیریتی عنصر سیلیس در مزارع شالیزاری

۱- کاربرد آب آبیاری دارای مقدار سیلیس زیاد

ورودی سیلیس از منابع طبیعی حاوی سیلیس فراوان مانند آب آبیاری بویژه مناطقی که آب زیرزمینی دارای غلظت سیلیس است. از مهمترین منابع تأمین سیلیسیم مزارع شالیزاری می‌باشد. فرض می‌شود اگر غلظت سیلیس در آب آبیاری بین ۳-۸ میلی‌گرم در لیتر باشد و در حدود ۱۰۰۰ میلی لیتر آب داشته باشیم ورودی سیلیسیم از طریق آ ب آبیاری در حدود ۳۰ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار است که می‌تواند نیاز گیاه را در یک دوره رشد برآورده کند.

۲- مدیریت کاه و کلش

در برنامه‌های درازمدت زراعی کمبود سیلیسیم تنها با بازگرداندن کاه و کلش اتفاق نمی‌افتد. کاه و کلش ۵-۶٪ و پوسته برنج ۱۰٪ سیلیسیم دارند(Malakooti and Kavoosi, 2004).

۳- مدیریت کودهای نیتروژن دار

ممانعت از کاربرد مقادیر اضافی از کودهای نیتروژنه که موجب افزایش عملکرد و جذب نیتروژن و سیلیسیم می‌شود و همچنین کاهش غلظت سیلیسیم در کاه و کلش بدلیل بیوماس اضافی که تولید می‌شود.

۴- مدیریت پس از برداشت

پس از پایان فصل زراعی بازگرداندن پوسته برنج که در فرآیند سفیدکردن برجای می‌ماند و یا خاکستر ناشی از سوزاندن آن به بازگرداندن این عنصر و جلوگیری از تخلیه آن از خاک کمک می‌کند.

۵- افزودن کودهای حاوی سیلیسیم

کود دارای سیلیسیم نه تنها می‌تواند به افزایش مقدار آن در خاک کمک نماید بلکه می‌تواند قابلیت جذب فسفات را نیز افزایش دهد. مطالعات نشان می‌دهد افزودن ۴۵۰ کیلوگرم سیلیکات سدیم به کرت‌های بی فسفات بعد از ۱۰۰ سال هنوز هم منجر به افزایش جذب فسفر می‌شود. برای رفع کمبود این عنصر در خاک کاربرد ۱ تا ۳ تن در هکتار ضروری است. برای رفع سریع و جلوگیری از تأثیر منفی کمبود آن بر گیاه مصرف ۱۲۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم سیلیکات کلسیم و یا ۴۰ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار سیلیکات پتاسیم ضروری است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با انجام محلول پاشی با غاظت ۵ در هزار کود سیلیس مایع

در اواسط پنجه زنی صفات ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه و برگ، ساقه در گلخانه افزایش یافت. بیشترین وزن خشک برگ مربوط به رقم کوهسار و وزن خشک کل مربوط به رقم طارم محلی بود (کاووسی و ملکوتی، ۱۳۸۳).

کاووسی و همکاران (۱۳۸۵) نشان دادند که سیلیسیم قابل جذب عصاره‌گیری شده با استفاده از محلول بافر استات سدیم مولار (pH 4) در دامنه ۱۴۷ تا ۱۲۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و میانگین آن ۵۴۱/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین افزایش غلظت سیلیسیم با کاربرد سیلیکات در ارقام برنج مورد بررسی، در مرحله پنجه‌زنی تفاوت معنی‌داری نداشته ولی در مرحله خوشه‌رفتن و رسیدگی کامل به ترتیب ارقام حسنی و سپیدرود بیشترین غلظت سیلیسیم را در اندام هوایی (برگ و ساقه) داشتند (جدول ۳-۸).

۳—۸- کودهای سیلیسیمی (Dobermann and Fairhurst, 2000)

نام	فرمول	درصد عنصر	توضیحات
Blastfurnace Slag	$CaSiO_3$ $MgSiO_3$	14- 19% Si, 25-32% Ca 2-4% Mg	
Convertor Slag	$CaSiO_3$ $MgSiO_3$	4- 10% Si, 26-46% Ca 0.5-9% Mg	
Silico-manganese Slag	$CaSiO_3$ $MgSiO_3$	16- 21% Si, 21-25% Ca 0.5-2% Mg	
Fused magnesium Phosphate		9% Si, 9% P, 7-9% Mg	گرانوله
سیلیکات کلسیم سیلیکات پتاسیم		14- 19% Si, 1-4% Mg 14.5% Si, 17% K, 2.5% Mg	گرانوله، کندرها

۳-۵- روی (Zn)

۳-۵-۱- روی در خاک

غلظت کل روی درمحدوده وسیعی از سنگ‌های آذرین با میانگین ۱۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک تا سنگ‌های دگرگونی (با مقدارکم روی درمواد مادری آنها) با متوسط روی ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در نوسان است. درمقایسه با خواص فیزیکی و شیمیایی دیگر خاک، روی کل یک شاخص از ظرفیت بالقوه خاک برای تأمین روی کافی جهت تولید محصول بهینه بوده و همچنین، آن را مهم‌ترین عامل در روند جذب و واجذب روی در محلول خاک و فاز جامد نموده است (Alloway, 2013).

۳-۵-۲- عوامل مؤثر در فراهمی روی در خاک

pH خاک

قابلیت فراهمی روی در خاک تحت تأثیر فرآیندهای جذب و واجذب قرار داشته (Krishnamurti and Naidu, 2002) و خود این دو فرآیند به شدت تحت تأثیر pH خاک می‌باشند (Antoniadis et al., 2008). فعالیت کاتیون دو ظرفیتی روی (یکی از مهمترین شکل‌های روی قابل جذب) در خاک به مربع (به توان دوم) فعالیت یون مثبت (پروتون) وابسته است. بنابراین با افزایش pH خاک و کاهش غلظت H^+، حلالیت و فراهمی روی به شدت کاهش می‌یابد.در این راستا هرگاه واکنش خاک (pH) یک واحد افزایش یابد حلالیت روی ۱۰۰ برابر کاهش خواهد یافت که دلیل آن افزایش ظرفیت جذب سطحی خاک است (Zhang et al., 2010). در نتیجه، غلظت روی قابل جذب موجود در خاک‌های اسیدی نسبتاً بالا است و این به دلیل خاصیت مؤثرpH برحلالیت روی در خاک است.

ماده آلی

کمپلکس‌های آلی روی و روی‌های آلی لبایل مهم‌ترین اشکال روی آلی موجود در خاک هستند. کمپلکس‌های آلی مانند اسید آلی، آمینه اسید و اسید فولویک به تشکیل روی محلول، و اسید هیومیک به تشکیل روی لبایل کمک می‌کند. بنابراین، کربن آلی با تولید عوامل کلاته کننده و مواد آلی قابل حل یاد شده سبب افزایش فراهمی روی در خاک می‌شوند. اسیدهای فولویک به عنوان عامل اصلی کلاته کننده روی در خاک در طیف گسترده‌ای از pH سبب افزایش حلالیت و تحرک روی می‌شود Güngör and Bekbölet, 2010).

غرقاب کردن خاک

شرایط بی‌هوازی خاک در بخش عمده‌ای از چرخه رشد گیاه برنج وجود داشته و فقط ۱۵-۱۰ روز قبل از مرحله برداشت محصول، کشاورزان با تخلیه آب، خاک را هوازی کرده و باعث افزایش پتانسیل اکسایش و کاهش خاک می‌شوند(Jäckel et al., 2001). شرایط غرقابی از طریق مجموعه‌ای از واکنش‌ها بر تعادل جذب و واجذب روی تأثیر می‌گذارند. درابتدا و به فاصله چند روز پس از غرقاب شدن خاک به علت افزایش فشار گاز کربنیک ناشی از افزایش فعالیت تنفسی میکروارگانیسم‌های خاکزی، اسیدیته خاک به پایین‌ترین حد خود رسیده و

سپس به سمت اسیدیته پایدارخنثی (pH=6-7) حرکت می‌کند. اسیدیته خاک‌های قلیا، پس از غرقاب شدن کاهش می‌یابد واین کاهش بدلیل افزایش فشارجزیی گاز گربنیک است.علاوه بر اینها، در اثر ایجاد شرایط بی هوازی در خاک‌های غرقابی، اکسیدهای کریستالی - معدنی فلزاتی مانند آهن و منگنز به اکسیدهای بی شکل با سطح ویژه بالا تبدیل شده و این اکسیدهای معدنی بی شکل جدید می‌توانند باعث افزایش جذب مجدد روی از طریق جانشینی هم شکل در لبه‌ها، لایه‌های داخلی و کریستالی شده و غلظت روی قابل جذب را در خاک کاهش دهد(Weber et al., 2009).

فسفر

مقدار زیاد فسفر در خاک‌های کشاورزی که می‌تواند ناشی از غلظت بالای فسفربومی و یا کاربرد بیش از حد کودهای فسفاته در اراضی کشاورزی باشد، سبب کاهش غلظت روی شده و در نتیجه باعث ایجاد تنش غیر زنده کمبود روی در محصولات کشاورزی شود. کمبود روی ناشی از فسفر بدلیل ایجاد عدم تعادل فیزیولوژیکی مواد غذایی نه تنها بازده اقتصادی محصول برنج راکاهش می‌دهد، بلکه غلظت روی محلول موجود در اندام‌های برنج را نیز کاهش می‌دهد. اگرچه برمقدار کل روی در اندام‌های محصول برنج تأثیر نمی‌گذارد (Hafeez et al., 2013).

کربنات کلسیم

ناهنجاری‌های رشد گیاه برنج ناشی از کمبود روی برای اولین بار در خاک‌های با کلسیم بالا (خاک‌های آهکی) گزارش شده است. در این خاک‌ها جانشینی هم شکل روی با منیزیم در دولومیت و مگنزیت سبب جذب روی در شبکه و یا لبه‌های ساختارهای کریستالی به کمبود روی می‌انجامد. همچنین با افزایش مقدار یون‌های کربنات، روی محلول در آب در خاک به شکل کربنات، هیدروکسیل کربنات روی

(Chatierjee et al., 1992) ، اکسید کلسیم نامحلول، و در نهایت تبدیل به شکل پایدار ترمودینامیکی معدنی هیدروزنسیت $Zn_5 (OH)_6 (CO_3)_2$ روی رسوب کرده(Wijebandara, 2007)و درنهایت این تغییرات شیمیایی سبب کاهش غلظت روی قابل جذب می‌گردد (Johnson-Beebout et al., 2009).

۳-۵-۳- خاک‌های مستعد کمبود روی

خاک‌های آهکی

خاک‌های آهکی، براساس تعاریف علم خاکشناسی به خاک‌هایی گفته می‌شود که دارای بیش از ۱۵ درصد کربنات کلسیم باشند. اگرچه در بسیاری از موارد آنیون بی کربنات هم در محلول خاک به وفور دیده می‌شود. این خاک‌ها طی فرآیندهایی سبب کاهش مقدار روی خاک شده و در اکثر موارد از کمبود روی قابل جذب کافی برای رشد مناسب برنج رنج می‌برند.

خاک‌های شنی

خاک‌های شنی، خاک‌هایی هستند که دارای بافت درشت بوده و این سبب بروز مشکلات فراوانی در استفاده کشاورزی از آنها می‌شود. براساس تعاریف به خاک‌هایی که بیش از ۶۵ درصد از بافت آن از شن (ذرات با اندازه ۲-۰/۰۶ میلی متر) و کمتر از ۱۸ درصد رس (ذرات کمتر از ۰/۰۰۲ میلی متر) تشکیل شده و بیش از ۶۵ درصد بافت خاک در ۱۰۰ سانتی‌متر بالایی پروفیل خاک از شن باشد.

خاک‌های شور، سدیمی و شور و سدیمی

خاک‌های شور، خاک‌هایی هستند که دارای تجمع زیاد نمک بوده و این سبب بروز مشکلات فراوانی در استفاده کشاورزی از آنها می‌شود. براساس تعاریف به خاک‌هایی که هدایت الکتریکی عصاره اشباع آن بیش از ۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشد، خاک‌های شور گفته می‌شود. خاک‌های سدیمی خاک‌هایی هستند که میزان درصد سدیم تبادلی آن بیش از ۱۵ درصد می‌باشد. خاک‌های شور سدیمی ترکیبی از این دو خصوصیت را دارا هستند (Soil Taxonomy, 2010).

خاک‌های با سیستم کشت فشرده

خاک‌هایی که نظام‌های کشت متمرکز داشته و طی یک سال دو یا چند کشت در آن انجام می‌شوند و برای برداشت محصول اقتصادی مقادیر زیادی کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه مصرف می‌شوند ولی کودهای حاوی عناصر کم مصرف مانند کود روی در گذشته و حال به مقدار کافی به خاک افزوده نمی‌شوند (Cakmak, 2009).

خاک‌های شالیزاری

خاک‌های شالیزاری که طی یک سال در آن تا سه محصول برنج کشت می‌شوند و به مدت طولانی تحت غرقاب بوده و همچنین زهکشی آن ضعیف و مقدار ماده آلی متوسط تا زیاد است (Cakmak, 2004).

خاک‌های شدیداً هوادیده

این خاک‌ها که عمدتاً در مناطق گرمسیری قرار داشته و اسیدیته آن اسیدی بوده و بافت درشت داشته و مواد مادری آن دارای مقدار کمی روی کل می‌باشند (MahmoudSoltani et al., 2016).

۳-۵-۴- نقش روی در برنج

روی در تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و فرآیندهای سوخت‌وساز آن از جمله فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم، سنتز پروتئین، متابولیسم‌های درگیردرتولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم باروری (تشکیل گرده) دخالت دارد. عنصر روی با تحت تأثیر قرار دادن فعالیت‌های آنزیم‌های هیدروژناز و کربونیک آنهیدراز، تثبیت ساختارهای ریبوزومی و سنتز سیتوکروم، نقش بسیار مهمی در متابولیسم گیاه بازی می‌کند. آنزیم‌های گیاهی که توسط روی فعال می‌شوند عمدتاً در متابولیسم قندها، حفظ یکپارچگی ساختار غشای سلولی، سنتز پروتئین، تنظیم سنتز هورمون اکسین و تشکیل گرده دخیل هستند (Alloway,2008).

۳-۵-۵- علائم کمبود روی در گیاه برنج

علائم چندگانه کمبود عنصر روی حدوداً ۱۵ روز پس از انتقال نشای برنج به شالیزار اصلی بروز کرده و قابل دیدن است. بروز این علائم در صورت عدم کنترل و رفع آن در نهایت منجر به تأخیر در بلوغ و رسیدن برنج شده و کاهش عملکردی بین ۲۰ تا ۸۰ درصد را باعث می‌شود (Neue and Lantin, 1994).

علائم قابل دیدن کمبود روی در برنج عبارتند از: مرگ نشای برنج، پژمردگی و پلاسیده شدن برگها در اثر از دست دادن آب و تاخیردر رشد ساقه، سوختگی در رگبرگ میانی برگ‌های جوان‌ترو نقاط قهوه‌ای پیش رونده در برگ‌های قدیمی و پیرتر. در شرایط نه چندان

حاد کمبود روی در خاک‌های شالیزاری (کمبود متوسط) در زمان پنجه زنی، گیاه برنج با تأخیر انداختن بلوغ و کاهش خودکار عملکرد تا ۲۰ درصد با این بحران مقابله می‌کند. در شرایط حاد و شدید کمبود، به علت کاهش و توقف تولید هورمون رشد اکسین، اندازه برگ کوچک شده (ریزبرگی) و میان‌گره‌ها کوتاه‌تر از حالت عادی گیاه می‌گردد (شکل‌های ۳-۹ و ۳-۱۰ و ۳-۱۱).(Irsha, et al., 2004; Teale et al., 2006; Alloway, 2008)

شکل ۳-۹- علائم کمبود روی: بروز سوختگی برگ‌های پایینی نشا ۱۵ روز پس از نشاکاری
(http://www.deltafarmpress.com)

شکل ۳-۱۰- علائم کمبود روی در برگ‌های برنج
(http://www.knowledgebank.irri.org)

شکل ۳- ۱۱- علائم کمبود روی: توقف رشد، سوختگی و بروز کچلی درسطح شالیزار

۳-۵-۶- حدبحرانی روی در اراضی شالیزاری

براساس تعریف علمی حدآستانه یا حد بحرانی عنصر روی در خاک یا بافت گیاهی برای رشد نرمال گیاه بدون کاهش درعملکرد عبارت است از غلظت بهینه از میزان قابل جذب عنصر روی در محیط ریشه (خاک) و یا اندام‌های گیاهی است که در بیشتر از این غلظت، افزودن کودهای حاوی روی توان تحریک بیشتر رشد گیاه و در نتیجه تولید عملکرد محصول بیشتر را نخواهد داشت. برای خاک‌ها و گیاهان دچار کمبود بایستی نمونه‌های خاک محیط اطراف ریشه و اندام‌های گیاه برنج دارای علائم کمبود در خاک‌های دارای کمبود و تحت کشت برنج را تجزیه کرده و نتیجه تجزیه را با اعداد مندرج در جدول‌های مبنا (جدول ۳-۹) مقایسه تا به میزان و شدت کمبود پی برد (Alloway, 2008).

جدول ۳-۹- حد بحرانی روی قابل تبادل (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) برای برنج برای عصاره گیرهای گوناگون (محمود سلطانی، ۱۳۹۶)

نوع عصاره گیر	حد آستانه	نوع گیاه
DTPA[1]	۰/۱-۱	برنج
DTPA+AB	۰/۹	برنج و گیاهان حساس
DTPA	۰/۶۵	برنج وگندم
DTPA	۰/۷۶-۱/۲۴	برنج
DTPA	۰/۵	برنج
DTPA	۰/۸	برنج
EDTA	۱/۵	برنج
مهلیچ ۱	۰/۵-۳	برنج
HCL ۰/۰۵ مولار	۱	برنج
HCL۰/۱ مولار	۱-۵	متوسط تمام گیاهان
HCL ۰/۱ مولار	۱-۷/۵	تعداد زیادی از گیاهان
HCL ۰/۱ مولار	۲	برنج
کربنات آمونیوم و EDTA	۱/۱۸-۳	تعداد زیادی از گیاهان
استات آمونیوم یک مولار با اسیدیته ۴/۸	۰/۶	برنج
استات آمونیوم + دی تی زون	۱/۱۸	برنج

۳-۵-۷- کودهای حاوی عنصر روی

پنج نوع مختلف از ترکیبات حاوی روی به عنوان کود روی استفاده شده که از لحاظ مقدارروی، قیمت و اثربخشی بر محصولات کشاورزی تفاوت‌های قابل توجهی با یکدیگر دارند. این منابع کودی حاوی روی عبارتند از: ترکیبات معدنی، کلات‌های مصنوعی، کمپلکس‌های آلی طبیعی، کمپلکس‌های معدنی و کودهای شیمیایی عناصر پرمصرف حاوی روی (جدول ۳-۱۰).

۱- منابع معدنی: این ترکیبات معدنی حاوی روی عبارتند از: اکسید روی (ZnO)، کربنات روی ($ZnCO_3$)، سولفات روی ($ZnSO_4$)، نیترات روی $Zn(NO_3)_2$ و کلرید روی

1. Diethylenetriamine Pentaacetic Acid

($ZnCl_2$). سولفات روی معمول‌ترین منبع در حال استفاده روی در سراسر جهان است و دردو شکل کریستالی و دانه‌ای (گرانول) در دسترس است.

۲- کلات‌های مصنوعی: این نوع از کودهای حاوی روی عموماً ترکیبی از یک عامل کلاته کننده مانند EDTA با عنصر روی می‌باشند و حلالیت اتصال کلات – فلز تعیین کننده فراهمی این فلز برای گیاهان می‌باشد. Zn-EDTA (یا اتیلین دی امین تترا استیک اسید-روی) معمول‌ترین کود کلاته است که در مزارع تولید برنج استفاده می‌شود. همچنین کلات سیترات روی نیز از دیگر منابع حاوی روی می‌باشند که البته گرانتر وبا پایداری کمتر از Zn-EDTA است. کلات‌ها نسبت به سایر منابع حاوی روی تأثیر بیشتری بر رشد گیاه دارند. اگرچه بررسیها نشان می‌دهند که Zn-EDTA بین ۲ تا ۵ برابر موثرتر از سولفات روی می‌باشد ولی ۵ تا ۱۰ برابر گرانتر نیز است. برای کاهش هزینه و تأثیر بیشتر این کودها بایستی بصورت نواری و یا محلول پاشی استفاده شوند. برای توصیه‌های دقیق‌تر بایستی برای هر منطقه کود مناسب و زمان ونحوه پاشش آن تعیین گردد.

۳- کمپلکس‌های آلی طبیعی: کمپلکس‌های آلی طبیعی معمولاً محصول واکنش نمک روی با کمپلکس‌های آلی (محصولات جانبی تولید خمیر کاغذ) می‌باشند. این ترکیبات آلی شامل لیگنوسولفوناید، فنل ها وپلی فلاونوئیدها هستند. این گروه از ترکیبات کمپلکس روی به طور معمول ارزانتر و کم اثرتراز کلات‌های مصنوعی روی مانند Zn-EDTA است.

۴- کمپلکس‌های (ترکیبات پیچیده) معدنی: یکی ازمهمترین ترکیبات پیچیده معدنی که به عنوان یک منبع مناسب روی مورد استفاده قرار می‌گیرد محلول آمونیومی سولفات روی بوده که دارای ۱۰ تا ۱۵ درصد نیتروژن، ۱۰ درصد روی و ۵ درصد گوگرد است و اغلب به همراه پلی فسفات آمونیوم به عنوان یک کود شروع کننده (استارتر) بکار می‌رود. کلرید روی آمونیومی نمونه دیگری از یک ماده کودی پیچیده معدنی است.

۵- کودهای شیمیایی عناصر پرمصرف حاوی روی: علاوه بر کودهای روی چهارگانه بیان شده، کودهای شیمیایی عناصر پرمصرف حاوی روی مانند کود فسفاته و سوپر فسفات‌هایی که به طورگسترده مورداستفاده قرار می‌گیرند نیز دارای غلظت نسبتاً بالای روی (کمتر از ۶۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم کود فسفره) بوده و می‌تواند تأمین کننده مقادیر قابل ملاحظه‌ای روی موردنیاز گیاه به خاک باشد. اگرچه با استفاده کودهای خالص‌تر مانند

مونو آمونیوم فسفات و دی آمونیوم فسفات از مقدار روی موجود در آنها کاسته می‌شود (Alloway, 2004).

جدول ۳-۱۰- کودهای حاوی روی و مقدار روی موجود در آنها (Mahmoudsoltani, 2017)

نوع ترکیب حاوی روی	اسم شیمیایی	ترکیب شیمیایی	درصد روی	تفسیر
ترکیبات معدنی	سولفات روی با یک مولکول آب	$ZnSO_4.H_2O$	۳۶-۳۷	اسیدی با واکنش سریع
	سولفات روی با هفت مولکول آب	$ZnSO_4.7H_2O$	۲۲-۲۳	
	اکسی سولفات روی	$xZnSO_4.xZnO$	۲۰-۵۰	
	سولفات روی پایه	$ZnSO_4.4Zn(OH)_2$	۵۵	
	اکسید روی	Zn O	۵۰-۸۰	کم محلول با واکنش کند
	کربنات روی	$ZnCO_3$	۵۰-۵۶	با واکنش سریع
	کلرید روی	$ZnCl_2$	۵۰	محلول با واکنش سریع
	نیترات روی	$Zn(NO_3)2.3H_2O$	۲۳	
	خمیر روی	خمیر کریستالی	۱۰-۳۰	
	محلول سولفات روی آمونیومی	$Zn(NH_3)4.SO_4$	۱۰	
ترکیبات آلی	دی سدیم ای دی تی ا روی	$Na_2ZnEDTA$	۸-۱۴	با واکنش سریع
	سدیم روی اچ ای دی تی ا	Na Zn HEDTA	۶-۱۰	
	سدیم ای دی تی ای روی	Na Zn EDTA	۹-۱۳	
	پلی فلاونواید روی	-	۵-۱۰	
	لیگن سولفونایت	-	۵-۸	

۳-۵-۸- روش‌های مصرف کود روی

کودهای حاوی روی بایستی بنحوی مصرف شوندکه سبب بیشترین فراهمی روی برای جذب گیاه شوند. روی را می‌توان به خاک، بذر و برگ افزود وهمچنین ریشه نشاهای برنج را در محلول حاوی کود روی غوطه‌ور کرد. به طورکلی، روی مصرف شده در شالیزارهای برنج

از طریق ریشه و یا برگ جذب می‌شوند روش‌های گوناگون کاربرد کود روی در زیر بحث شده است (Jiang et al., 2007).

مصرف خاکی روی (اختلاط با خاک)

روش کاربرد خاکی (پاشش روی سطح خاک و یا اختلاط با خاک سطحی) ساده‌ترین و رایج‌ترین راه مصرف کود است. در این روش کود باید تا حد امکان بصورت یکنواخت در سطح مزرعه پخش شوند تا به هر گیاه مقدار یکسانی ازعنصر غذایی برسد که البته کار آسانی نیست. ولی کشاورزان با تجربه در اکثر موارد قادر به پخش دستی کود با دقت قابل قبول هستند. اگرچه دراراضی شالیزاری انجام عملیات شخم و گلخرابی به توزیع یکنواخت کود در سطح مزرعه کمک شایانی می‌کند. روی را می‌توان از طریق پخش، قرار دادن در مجاورت دانه، و یا از طریق آب آبیاری به خاک افزود. روی رامعمولا در کشت برنج تحت شرایط غرقابی، قبل از غرقابی و یا پس از نشاکاری به خاک می‌دهند تا از کمبود روی جلوگیری کرده و سبب افزایش عملکرد دانه شود (Dobermann and Fairhurst, 2000; Naik and Das, 2007; MahmoudSoltani et al., 2016). برای پخش یکنواخت کود روی در سطح مزرعه و در روش کاربرد خاکی (بدلیل مقدار کم آن، حداکثر ۲۵ کیلوگرم در هکتار) (MahmoudSoltani et al., 2008) می‌توان آنرا با مواد بی‌ضرری مانند شن و به نسبت ۲۵ درصد کود و ۷۵ درصد شن مخلوط و مصرف نمود (محمود سلطانی، ۱۳۹۶).

محلول‌پاشی کود

پاسخ گیاه به تغذیه برگی بستگی به گونه گیاه، شکل کود، غلظت کود، دفعات کاربرد کود و مرحله رشدی گیاه دارد. ترکیب کودی مورد استفاده در تغذیه برگی معمولاً بر اساس مرحله رشدی گیاه یا میوه تنظیم می‌شود. تغذیه برگی هم چنین برای کمک به گیاه درترمیم شوک‌های ناشی از انتقال از مرحله نشایی، آسیب تگرگ و سایر عوارض ناشی از شرایط آب وهوایی سخت بکار برده می‌شود. در هر حال این میزان تأثیر معمولادر شرایط واقعی قابل دسترسی نیست. دربیشتر موارد عدم موفقیت در تغذیه برگی ناشی از عدم توجه به اصول کاربرد برگی کود است عنصر روی زمانی که به صورت محلول‌پاشی برگی مصرف شود از طریق روزنه برگ جذب و سپس ازطریق سیستم آوندی گیاه به بخش‌هایی که نیازمند روی هستند، انتقال می‌یابد. تعدادی از منابع روی مانند سولفات روی، نیترات روی و

ای دی تی ای روی[1] به عنوان کودهای مناسب محلول‌پاشی در تعدادی از محصولات زراعی معرفی شده‌اند. محلول‌پاشی با سولفات روی در برطرف کردن کمبود روی و بهبود غلظت روی دانه مؤثر است (Jiang et al. 2008; Stomph et al., 2011). افزایش قابل توجهی در عملکرد دانه، کاه و غلظت روی دانه با محلول‌پاشی کودهای سولفات روی و ای دی تی ای روی مشاهده شده، اما بیشترین افزایش با استفاده از کود ای دی تی ای روی مشاهده گردید (Karak and Das, 2006). محلولپاشی روی (سولفات روی ۰/۵ درصد) در شروع خوشه‌دهی در افزایش دو برابری میزان روی دانه موثربود. محلول‌پاشی می‌تواند از مشکلات ناشی از جذب و تثبیت روی برروی ذرات خاک جلوگیری کرده، اما زمان پاشش روی باید در زمان یک هفته پیش از گل‌دهی انجام شود تا سبب افزایش غلظت روی دانه گردد (Phattarakul et al., 2011). برای دریافت پاسخ مناسب گیاه بایستی محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی (۲۵ تا ۳۰ روز بعد از نشاکاری) شروع و با فواصل زمانی ۱۰ تا ۱۴ روزه و بسته به شدت کمبود، دو تا سه بار تکرار شود (محمود سلطانی،۱۳۹۶).

فروبردن ریشه نشا در محلول‌های حاوی عنصر روی

فروبردن ریشه نشاء در محلول‌های حاوی کود روی ممکن است رویکردی عملی‌تر و راحت‌تر از مصرف خاکی و یا محلولپاشی روی باشد. بنابراین، این روش به عنوان یک گزینه مناسب جایگزین روش‌های دیگر کاربرد روی در شرایط اراضی پست و غرقابی است (Dobermann and Fairhurst, 2000). برخی از محققان گزارش دادند که گیاهچه‌های برنجی که ریشه آنها پیش از نشاکاری در محلول ۲ درصد اکسیدروی غوطه‌ور شده است عملکرد دانه بیشتری نسبت به اختلاط روی به صورت پایه با خاک داشته است. وقتی گیاهچه برنجی که ریشه‌اش در محلول ۲ درصد اکسیدروی غوطه‌ور شده است با محلول‌پاشی تکمیلی با محلول ۰/۵ درصد سولفات روی تیمار گردید افزایش عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با فرو بردن ریشه در محلول به تنهایی داشته است (Abilay and De Datta, 1978).

1. Zinc EDTA

تیمار بذر یا آغشته‌کردن بذر با کود روی

مقدار زیاد روی در بذور می‌تواند همانند یک کوددهی اولیه کافی عمل‌کرده و محرکی خوب برای دستیابی به عملکرد بالای محصولات کشاورزی بوده، اگرچه غلظت روی در دانه را بالا نخواهد برد. بهبود در مقدار روی دانه برنج می‌تواند نتیجه افزایش جذب روی توسط ریشه پس از گلدهی باشد. بنابراین، همراه با استفاده از بذر با مقدار روی بالا درزمان کاشت، کاربرد روی مکمل نیز برای بهبود عملکرد دانه و مقدار روی دانه اهمیت دارد. کاربرد روی از طریق تیمار بذر به طورگسترده می‌تواند به آغشته سازی بذر با کود و پوشش بذر با کود تقسیم شود (Farooq et al., 2012). آغشته‌سازی بذر، روش ساده و کم هزینه خیساندن بذر در محلول‌های دارای عناصر غذایی و یا هرگونه موادی است که می‌تواند با تغییر فشار اسمزی بر روی گیاه مانده و پس از کشت بذرآغشته شده به بهبود رشد و تأمین عنصر بخصوصی برای گیاه کمک کند. در مقابل، در پوشش بذر، ذرات جامد که به خوبی ریزشده اند یا مایعات حاوی مواد جامد محلول یا معلق بکارگرفته می‌شوند تا به شکل‌گیری یک لایه پوششی (یک یا بیشتر از یک لایه) پیوسته در اطراف دانه می‌انجامد. برای این منظور از محلول ۴ میلی مول روی از منبع سولفات روی با ۷ مولکول آب برای غوطه‌ورکردن بذر برنج به مدت ۱۲ ساعت می‌توان استفاده کرد (محمود سلطانی، ۱۳۹۶).

۳-۶-کلسیم

۳-۶-۱- کلسیم در خاک

کلسیم پنجمین عنصر از نظر فراوانی در پوسته زمین می‌باشد و معمولاً در مناطق معتدل مرطوب بین ۵/۱ تا ۷/۰ درصد، در خاک‌های کاملاً هوادیده مناطق گرم و مرطوب ۱/۰ تا ۳/۰ درصد و در خاک‌های آهکی از یک تا بیش از ۲۵ درصد می‌باشد. کلسیت ($CaCO_3$) منبع غالب کلسیم در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد که گاهی با دولومیت همراه است.

این عنصر در گیاه غیر متحرک بوده و علایم کمبود آن ابتدا در برگهای جوان مشاهده می‌شود.

با وجود اینکه کمبود کلسیم از شالیزارهای شمال کشور گزارش نگردیده و کلسیم به عنوان عامل محدود کننده رشد در شالیزارهای مناطق مذکور به حساب نمی‌آید ولی در زیر به علایم کمبود آن اشاره می‌گردد.

۳-۶-۲- کلسیم در گیاه

کلسیم به عنوان یک عنصر کلیدی در کیفیت محصولات زراعی اثر دارد به گونه‌ای که می‌توانند کنترل کننده کیفیت محصول و هم چنین سلامتی آن از لحاظ بیماریها و آفات گیاهی باشد.

کلسیم جزء مهم دیواره سلولی بوده و در نفوذ پذیری غشای سلولی که تمام سلولهای زنده را احاطه نموده است اثر مستقیم دارد. کلسیم در جذب آب توسط سلولها دخالت دارد. کلسیم برای رشد نقاط مریستمی ریشه و اندام هوائی و بخصوص در طویل شدن سلول و تقسیم سلولی نقش مهمی دارد. نقشهای دیگر کلسیم از جمله خنثی کردن شیره سلولی، فعال کردن آنزیم‌ها و تأثیر در ساخت پروتئین را نیز می‌توان نام برد. جذب کلسیم در تمام طول عمر گیاه صورت می‌گیرد. مقدار کلسیم برگها حدود ۰/۲ تا ۱ درصد است و در ریشه‌های گیاه نیز کلسیم به وفور یافت می‌شود. کلسیم در سلولهای برخی از گونه‌های گیاهی به صورت اگزالات کلسیم رسوب می‌نماید.

نقش‌های فیزیولوژیکی کلسیم در گیاهان کاملاً مشخص نشده است. بطورکلی کلسیم به خاطر نقشی که در تولید پکتات کلسیم جهت تشکیل دیواره میانی سلول دارد ضروری است. کلسیم در تشکیل پروتئین در میتوکندری دخالت دارد و با توجه به نقش میتوکندری در تنفس هوازی و میزان جذب املاح می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که رابطه مستقیم بین مقدار کلسیم و جذب سایر عناصر غذایی وجود دارد. کلسیم در سنتز پروتئین از طریق تسریع جذب نیتروژن نیتراتی و همراهی با سیستم‌های آنزیمی مؤثر است. اگر pH شیره سلولی به هر دلیلی کاهش یابد یکی از کاتیونهای کنترل کننده pH کلسیم می‌باشد. همچنین کلسیم جز ساختمانی پکتات‌ها (که در ساختمان دیواره سلولی هستند) بوده و در پایداری غشا زنده نقش موثری دارند. به عنوان یک فعال کننده آنزیم در پایداری غشا و در تنظیم اسمزی و نسبت کاتیون به آنیون نقش موثری دارد. به دلیل عدم انتقال مجدد کلسیم به نقاط در حال رشد، کمبود آن ابتدا در برگهای جوان بروز می‌کند.

کمبودکلسیم باعث اختلال در وظایف ریشه شده و گیاه برنج را ممکن است در معرض سمیت آهن قرار دهد. وجود کلسیم کافی در گیاه مقاومت گیاه برنج به بیماریهایی چون بلایت باکتریای برگ را افزایش می‌دهد (Malakooti and Kavoosi, 2004; Halvin et al., 2016)

۳-۶-۳- علائم کمبود کلسیم

علائم این عارضه در شرایط کمبود شدید مانند آزمایش‌های گلدانی بروز می‌کند. در صورت بروز کمبود کلسیم:

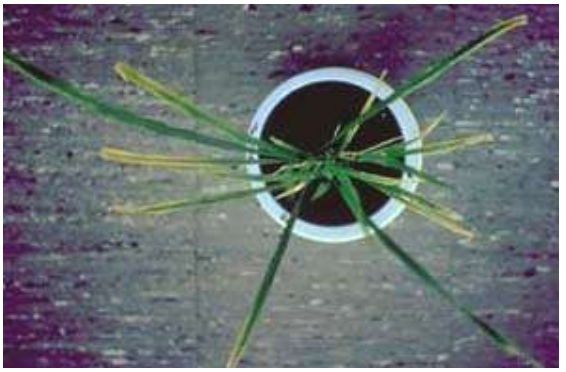
- نوک برگهای جوان سفید، جمع و پیچ خورده می‌شود.
- بافتهای کلروتیک ممکن است به طرف حاشیه برگها گسترش یافته و برگهای پیر به رنگ قهوه‌ای در آمده و در نهایت می‌میرند.
- در شرایط کمبود شدید کلسیم، توقف و مرگ نقاط رویش اتفاق می‌افتد.

برای تأیید کمبود کلسیم هم از آزمون خاک و هم از تجزیه برگ گیاه برنج می‌توان کمک گرفت.

جدول ۳-۱۱- دامنه مناسب و غلظت بحرانی کلسیم در بافتهای گیاه (Dobermann and Fairhurst, 2000)

مرحله رشد گیاه برنج	بافت گیاهی مورد تجزیه	دامنه مناسب (٪)	غلظت بحرانی (٪)
جوانه‌زنی تا خوشه‌دهی	برگ جوان، ساقه	۰/۶- ۰/۲	کمتر از ۰/۱۵
رسیدگی	اندام هوایی	۰/۵- ۰/۳	کمتر از ۰/۱۵

در ساقه‌های گیاه برنج اگر نسبت کلسیم به منیزیم در مرحله جوانه‌زنی یا مرحله خوشه‌دهی حدود ۱ تا ۱/۵ باشد، مناسب خواهد بود (جدول ۳-۱۱). سفیدی نوک برگ‌ها معمولاً موقعی بروز می‌کند که نسبت کلسیم به منیزیم کمتر از یک باشد. اگر مقدار کلسیم تبادلی خاک کمتر از یک سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک باشد ویا کلسیم تبادلی کمتر از ۸ درصد ظرفیت تبادل کاتیونی را تشکیل دهد، احتمال بروز کمبود کلسیم افزایش می‌یابد (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲- علایم کمبود کلسیم در برنج

http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/nutrient-management/deficiencies-and-toxicities-fact-sheet/item/calcium-deficiency

۳-۶-۴- دلایل کمبود کلسیم

- مقادیر خیلی‌کم کلسیم قابل استفاده خاک (خاک هوادیده، اسیدی و خاک شنی)
- pH قلیایی با نسبت Na:Ca تبادلی بالا در خاک که باعث کاهش قابلیت دسترسی کلسیم می‌شود. استفاده از آب آبیاری با غلظت بالای کربنات سدیم نیز نتایج مشابهی به دنبال دارد.
- نسبت بالای آهن یا منیزیم به کلسیم که باعث کاهش قابلیت دسترسی کلسیم می‌شود.
- کاربرد مقادیر زیاد کودهای نیتروژن دار و پتاسیم دار که باعث افزایش نسبت یونهای آمونیوم و پتاسیم به کلسیم و در نتیجه کاهش قابلیت دسترسی کلسیم می‌گردد.

- کاربرد مقادیر زیاد فسفر که با تشکیل فسفاتهای کلسیم منجر به کاهش دسترسی کلسیم می‌گردد.

۳-۷- منیزیم

۳-۷-۱- نقش منیزیم در گیاه

منیزیم بر خلاف کلسیم در گیاه بسیار پویا بوده و می‌تواند در اندامهای گیاهی به سهولت منتقل شود. این عنصر از اجزای اصلی مولکول کلروفیل بوده و به عنوان اتم مرکزی کلروفیل به حساب می‌آید و کمبود آن در گیاه سبب کاهش مقدار کلروفیل و در نتیجه کندی رشد گیاه می‌گردد. منیزیم در ساخته شدن روغن در گیاه دخالت داشته و به همراه گوگرد سبب افزایش روغن در برخی از گیاهان به ویژه دانه‌های روغنی می‌گردد. منیزیم جذب سایر عناصر غذایی مخصوصاً فسفر را تنظیم کرده و در تولید مواد قندی تأثیر دارد. منیزیم همچنین به عنوان انتقال دهنده فسفر به دانه عمل می‌کند و فعال کننده بسیاری از آنزیم‌ها از جمله دی هیدروژناز و دی کربوکسیلاز است.

۳-۷-۲- علایم کمبود منیزیم

- کلروز بین رگبرگی به رنگ زرد متمایل به نارنجی در برگهای پیرتر
- گیاه به طورکلی رنگ پریده بوده و کلروز بین رگبرگی که ابتدا در برگهای پیرتر ظاهر شده با شدت یافتن کمبود در برگهای جوان نیز ظاهر می‌شود.
- در شرایط کمبود شدید، کلروز به زردرنگی و در نهایت نکروز در برگهای پیرتر تغییر می‌یابد.
- تعداد و طول برگ در گیاهان دچار کمبود منیزیم بیشتر می‌شود و برگهای دچار کمبود به صورت موجی و افتاده در می‌آیند که دلیل آن افزایش زاویه بین غلاف و پهنه برگ است.
- در کمبود نه شدید و نه خفیف، ارتفاع و تعداد پنجه گیاه چندان تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد.
- تعداد سنبلچه و وزن ۱۰۰۰ دانه کاهش می‌یابد.
- ممکن است کیفیت دانه (پروتئین، مقدار نشاسته و درصد برنج آرد شده) کاهش یابد.

- اگر کمبود منیزیم همراه با کمبود عناصر دیگر مثل کلسیم، پتاسیم و فسفر باشد، علایم مسمومیت آهن بیشتر به چشم می‌خورد (شکل ۳-۱۳).

شکل ۳-۱۳- علایم کمبود منیزیم در برنج
http://www.knowledgebank.irri.org

۳-۸-گوگرد

۳-۸-۱- نقش گوگرد در گیاه

گوگرد عنصری ضروری برای گیاهان بوده و عمدتاً در ساخت پروتئین و روغن دخالت دارد. مقدار گوگرد جذب شده برای هر تن دانه‌های روغنی ۱۲ کیلوگرم، برای بقولات ۸ کیلوگرم و برای غلات ۴ کیلوگرم می‌باشد. این عنصر باعث افزایش جذب سایر عناصر غذایی، بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی، اصلاح بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آهکی و سدیمی و کاهش تنشهای ناشی از شوری و سدیمی بودن خاک می‌گردد. نیاز گیاهان به گوگرد مشابه فسفر و حتی بیشتر است. غلظت گوگرد در اکثر گیاهان بیشتر از دو برابر فسفر است که نشان دهنده لزوم توجه بیشتر به این عنصر است. شکل قابل استفاده گوگرد برای گیاه، یون سولفات است.

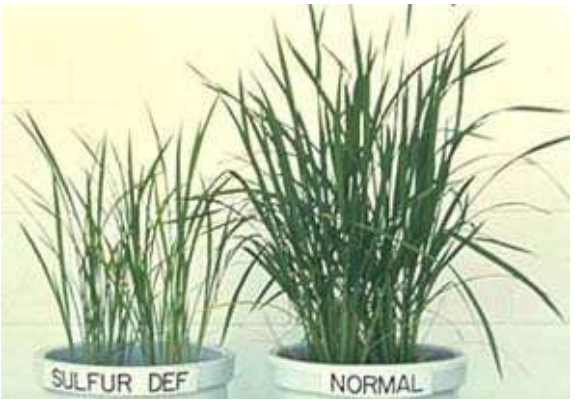
۳-۸-۲-علایم کمبود

- تمام گیاه به رنگ زرد یا سبز کم رنگ دیده می‌شود.
- برگهای جوان به رنگ سبز کم رنگ در آمده یا کلروز می‌شوند. نوک گیاه نیز ممکن است کلروزه شود.
- اگر کمبود گوگرد در دوره رویشی بروز نماید، ارتفاع گیاه کاهش یافته، تعداد پنجه‌ها کم می‌شود، توقف در رشد به وقوع می‌پیوندد و عملکرد کاهش می‌یابد.
- تعداد خوشه و تعداد سنبلچه در خوشه کاهش می‌یابد.
- تأخیر در توسعه گیاه و رسیدگی به مدت ۱ تا ۲ هفته.
- زردی نشاها در خزانه با تأخیر در رشد، افزایش تلفات بعد از کشت نشا و کاهش مقاومت گیاه به شرایط غیرمعمول مثل سرما در شرایط کمبود گوگرد (شکل ۳-۱۴).

برای تأیید کمبود گوگرد می‌توان از آزمایش خاک و گیاه (جدول ۳-۱۲) استفاده نمود.

جدول ۳-۱۲- دامنه مناسب و سطح بحرانی گوگرد در بافتهای گیاهی (Dobermann and Fairhurst, 2000)

مرحله رشد گیاه برنج	بافت گیاهی مورد تجزیه	دامنه مناسب (٪)	غلظت بحرانی (٪)
پنجه‌زنی	برگ جوان		کمتر از ۰/۱۶
پنجه‌زنی	ساقه	۰/۱۵ -۰/۳۰	کمتر از ۰/۱۱
گل‌دهی	برگ پرچم	۰/۱۰ -۰/۱۵	کمتر از ۰/۱۰
گل‌دهی	ساقه		کمتر از ۰/۰۷
رسیدن دانه	اندام هوایی		کمتر از ۰/۰۶



شکل ۳-۱۴- علائم کمبود گوگرد در گیاه برنج
http://www.knowledgebank.irri.org

۳-۸-۳- علائم مسمومیت سولفید در گیاه برنج

- کلروز بین رگبرگی جوانه‌های برگی

- سیستم ریشه‌ای به رنگ قهوه‌ای تیره و یا کلاً تیره دیده می‌شود و احتمال بروز بیماری پوسیدگی قهوه‌ای به دلیل عدم تعادل عناصر غذایی ناشی از مسمومیت سولفید، زیاد است.

۳-۸-۴- دلایل وقوع سمیت سولفید

- غلظت بالای سولفید هیدروژن در محلول خاک به دلیل شرایط احیایی شدید در خاک و رسوب کم سولفید آهن.

- ضعف عمومی گیاه و عدم تعادل عناصر غذایی در گیاه که موجب کاهش قدرت اکسیداسیونی ریشه می‌گردد.

- کاربرد اضافی سولفات‌ها از طریق کودهای شیمیایی و یا از طریق فاضلابهای صنعتی در اراضی با زهکشی ضعیف و یا خاک‌های دارای شرایط احیایی شدید.

۳-۹-آهن

۳-۹-۱- نقش آهن در گیاه

آهن به عنوان چهارمین عنصر از نظر فراوانی در لیتوسفر است. مقدار آهن کل در خاک بسیار زیاد است اما قسمت اعظم آن در شرایط معمولی برای گیاه قابل استفاده نیست. غلظت آهن در خاک می‌تواند بین ۰/۰۲ تا ۱۰ درصد متغیر باشد. آهن اولین عنصر کم مصرف و ضروری شناخته شده برای گیاه است.

آهن نقش بسیار مهم در متابولیسم باکتری‌های ریزوبیوم‌های آزادزی ایفا می‌کند چون در ساختمان پروتئین‌های مهمی مثل سیتوکروم‌ها، پروتئین‌هایی مانند فرودوکسین و همچنین آنزیم‌های حاوی آهن مثل نیتروژناز وجود دارد. آهن برای ساخت کلروفیل و لگ هموگلوبین نیز ضروری است. آهن برای انتقال الکترون در فتوسنتز، جز ترکیب پروفیرین آهن و فرودوکسین‌ها که جز ترکیبات ضروری در فاز نوری فتوسنتز هستند موردنیاز می‌باشد. آهن به عنوان یک پذیرنده الکترون در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا و به عنوان فعال کننده چندین آنزیم می‌باشد اما یک عامل بازدارنده در جذب پتاسیم می‌باشد. در خاک‌های قلیایی،

غیرمتحرک شدن آهن در ریشه‌های گیاه به دلیل رسوب آهن اتفاق می‌افتد. چون آهن در بافتهای گیاهی غیرمتحرک است، علایم کمبود آن نخست در برگهای جوان بروز می‌کند.

۳-۹-۲- علایم کمبود آهن در گیاه برنج

علائم کمبود آهن در برنج را می‌توان شامل موارد زیر می‌باشد (جدول ۳-۱۵):

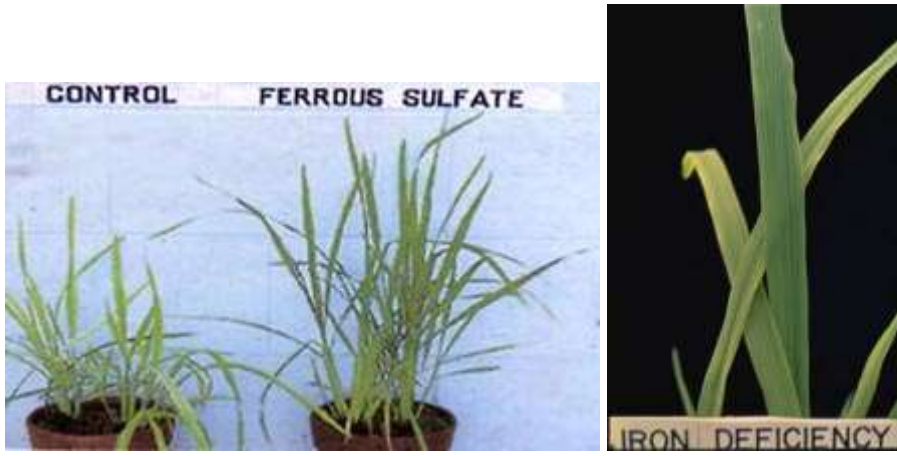
- زردی بین رگبرگی و کلروز شدن جوانه‌های برگی
- تمام برگها کلروز شده و سپس بی رنگ می‌شوند
- اگر کمبود خیلی شدید باشد، تمام گیاه کلروزه شده و سپس می‌میرد
- تولید ماده خشک کاهش می‌یابد

برای تأیید کمبود آهن می‌توان هم خاک و هم گیاه را آزمایش (جدول ۳-۱۳) نمود.

جدول ۳-۱۳- دامنه و سطح بحرانی برای کمبود آهن در بافت‌های گیاهی

(Dobermann and Fairhurst, 2000)

مرحله رشد گیاه برنج	بافت گیاهی مورد تجزیه	دامنه مناسب $mg\ kg^{-1}$	غلظت بحرانی $mg\ kg^{-1}$
جوانه‌زنی تا خوشه‌دهی	برگ جوان	۱۵۰- ۷۵	کمتر از ۷۰
رسیدن دانه	ساقه‌ها	۱۰۰- ۶۰	کمتر از ۵۰



شکل ۳-۱۵- علائم کمبود آهن در گیاه برنج

http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/nutrient-management/deficiencies-and-toxicities-fact-sheet/item/iron-deficiency(Right)

https://www.fftc.org.tw/en/publications/detail/1437 (Left)

۳-۹-۳-علائم مسمومیت آهن

- نقاط قهوه‌ای باریک روی برگهای قدیمی ظاهر می‌شود که از نوک شروع و به سمت ته برگ گسترش می‌یابد و یا تمام برگ رنگ زرد نارنجی متمایل به قهوه‌ای پیدا می‌کند.
- نقاط در بین رگبرگها به هم پیوسته و برگها رنگ قهوه‌ای نارنجی پیدا کرده و در نهایت می‌میرند.
- برگ‌ها باریک شده ولی اغلب سبز باقی می‌مانند.
- در شرایط مسمومیت شدید، برگ‌ها به رنگ قهوه‌ای کم رنگ در می‌آیند.
- پوشش قهوه‌ای تیره بر روی ریشه‌ها تشکیل شده و در نتیجه آسیب دیده و می‌میرند.
- غلظت بحرانی مسمومیت آهن در برگهای جوان گیاه برنج در مرحله جوانه‌زنی تا خوشه‌دهی ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد (شکل ۳-۱۶).

شکل ۳-۱۶- علائم مسمومیت آهن در برنج

http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/nutrient-management/deficiencies-and-toxicities-fact-sheet/item/iron-deficiency

۳-۱۰- منگنز

۳-۱۰-۱- منگنز در خاک و گیاه

منگنز از عناصر کم‌مصرف و ضروری برای گیاه می‌باشد. منگنز یازدهمین عنصر فراوان تشکیل دهنده پوسته زمین می‌باشد و میانگین آن در کره زمین تقریباً ۰/۰۹ درصد می‌باشد. مقدار منگنز در خاک‌ها بین ۲۰ تا ۳۰۰۰ و به طور میانگین ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. منگنز در خاک عمدتاً به شکل اکسیدها و هیدروکسیدهای پوششی بر روی دیگر ذرات خاک و یا به شکل گره‌هایی با اشکال مختلف دیده می‌شود. این عنصر در خاک همراه با آهن بوده و رفتارهایی مشابه با آن دارد و مانند آهن دارای ظرفیتهای متفاوت می‌باشد.

در گیاهان منگنز به صورت کاتیون دو ظرفیتی شکل غالب است که به آسانی به منگنز سه یا چهار ظرفیتی تبدیل می‌گردد. به همین دلیل منگنز در گیاه نقش مهمی در فرایندهای اکسیداسیون و احیا به عهده دارد. در خاک‌های ماندابی غلظت منگنز محلول به چند دلیل افزایش می‌یابد که مهمترین عامل را تغییر پتانسیل اکسیداسیون و احیا می‌توان دانست.

۳-۱۰-۲- علایم کمبود منگنز

- کلروز بین رگبرگی سبز خاکستری کم رنگ که از نوک برگ به طرف دمبرگ آن گسترش می‌یابد.
- نقاط قهوه‌ای نکروتیک که در نهایت باعث می‌شود برگ به رنگ قهوه‌ای تیره دیده شود.
- جوانه‌های برگی کوتاه، باریک و سبز کم رنگ می‌شوند
- گیاهان دچار کمبود منگنز کوتاه با برگهای کمتر و سیستم ریشه‌ای و پنجه زنی ضعیف دارند.
- توقف رشد
- گیاهان دچار کمبود منگنز نسبت به پوسیدگی قهوه‌ای حساسیت بیشتری نشان می‌دهند.

جدول ۳-۱۴ - دامنه مناسب و غلظت بحرانی منگنز در بافتهای گیاهی برنج را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱۴ - دامنه مناسب و غلظت بحرانی منگنز در بافتهای گیاهی برنج
(Dobermann and Fairhurst, 2000)

مرحله رشد گیاه برنج	بافت گیاهی مورد تجزیه	حد کفایت $mg\ kg^{-1}$	حد بحرانی $mg\ kg^{-1}$
جوانه‌زنی تا خوشه‌دهی	برگ جوان	۷۰۰- ۴۰	کمتر از ۴۰
پنجه‌زنی	اندام هوایی	۱۵۰- ۵۰	کمتر از ۲۰

۳-۱۰-۳- علایم مسمومیت منگنز

- نقاط زرد متمایل به قهوه‌ای بین رگبرگها که به طرف سطح برگ گسترش می‌یابد
- نقاط قهوه‌ای روی رگبرگهای برگهای پایین و غلاف برگ
- نوک برگها در حدود هشت هفته بعد از کاشت خشک می‌شود
- برگهای جوان‌تر کلروز شده و علایمی مشابه با کلروز آهن نشان می‌دهند.
- توقف رشد، کاهش پنجه زنی و افزایش عقیمی که در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود.

غلظت بحرانی سمیت منگنز در برگهای جوان گیاه برنج در مرحله پنجه‌زنی بین ۸۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (شکل ۳-۱۷).

شکل ۳-۱۷- علائم مسمومیت منگنز در برنج
https://www.fftc.org.tw/en/publications/detail/1430

فصل چهارم

شوری و عوارض آن در برنج

۴-۱- تغییرات شوری خاک در اثر غرقاب شدن خاک

یکی از عوامل تخریب خاک و محدود کننده تولیدات کشاورزی، پدیده شوری می‌باشد. شوری را می‌توان با شاخص حضور غلظت‌های خیلی زیاد نمکهای محلول در خاک تعریف نمود که می‌تواند در مناطق خشک و نیمه خشک و نواحی ساحلی بروز نماید (Yoshida 1981).

شوری در مناطق ساحلی بیشتر به دلیل نفوذ و پیشروی آب دریا می‌باشد. البته مشکلات ناشی از شوری در مناطق خشک و نیمه خشک بیشتر مطرح است که دلیل آن کافی نبودن بارندگی سالیانه برای شستشوی نمکهای تجمع یافته در منطقه ریشه گیاه و بالا بودن سطح تبخیر است.

وقتی خاک برای کشت برنج غرقاب می‌گردد، هدایت الکتریکی خاک که شاخصی از شوری خاک است در در اوایل دوره غرقاب افزایش می‌یابد و به یک حد بیشینه می‌رسد و سپس به یک مقدار تقریباً ثابت کاهش می‌یابد. افزایش هدایت الکتریکی در هفته‌های اول غرقاب ناشی از عوامل زیر می‌باشد :(Ponnamperuma, 1977)

۱- آزاد شدن آهن و منگنز دو ظرفیتی که پیامد احیای هیدروکسیدهای آهن غیر محلول و منگنز چهار ظرفیتی است.

۲- تجمع آمونیوم، بیکربنات و بنیان‌های آلی

۳- جابجای کاتیون‌های دوظرفیتی از کلوئیدهای خاک به وسیله یونهای دوظرفیتی آهن و منگنز

۴-۲-پارامترهای مؤثر در کیفیت آب

پارامترهای مؤثر در کیفیت آب در ارتباط با شوری شامل موارد زیر است:

الف) غلظت کل نمک[1]:

مهم‌ترین شاخص کیفیت آب از نظر شوری نمک کل می‌باشد. این پارامتر را به صورت مواد جامد حل شده کل)در حجم معینی از آب تا خشک شدن کامل آن، بیان می‌کنند. این بیان البته خالی از ابهام و اشکال نیست چون نمکهای مختلف در وضعیت‌های هیدراتاسیون مختلفی هستند که به درجه خشک شدن آنها بستگی دارد. بنابراین غلظت کل نمک گزارش شده از آزمایشگاههای مختلف ممکن است متفاوت باشد. محدودیت دیگر این پارامتر این است که قادر به بیان تفاوت ترکیبات نمونه‌های آب تحت تجزیه با یکدیگر نمی‌باشد. مهم‌ترین استفاده‌ای که از غلظت کل نمک می‌شود تخمین پتانسیل اسمزی محلول می‌باشد. برای آب آبیاری که غلظت کل نمک آن بین ۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر باشد، رابطه بین پتانسیل اسمزی و این شاخص می‌تواند به صورت زیر بیان گردد:

غلظت کل نمک (میلی گرم درلیتر) × $۱۰^{-۴}$ × ۵/۶ - = پتانسیل اسمزی محلول

اگر علامت منفی از رابطه بالا حذف گردد، این رابطه فشار اسمزی را نشان خواهد داد.

ب) هدایت الکتریکی[2].

هدایت الکتریکی یک شاخص ساده برای ارزیابی نمکهای حل شده در آب آبیاری است. از هدایت الکتریکی می‌توان به عنوان یک پارامتر که با رشد گیاه همبستگی خوبی دارد استفاده نمود. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بر این اصل علمی استوار است که مقدار جریان الکتریکی انتقال یافته به وسیله محلول نمکی، تحت شرایط استاندارد با افزایش غلظت نمک در محلول افزایش می‌یابد. در غیاب اثر یون ویژه، کاهش رشد گیاه ناشی از شوری کلاً به پتانسیل اسمزی محلول خاک اطراف منطقه ریشه مربوط می‌گردد. سلول‌های گیاهی باید پتانسیل اسمزی داخلی خود را کمتر از پتانسیل اسمزی محیط خارجی نگهدارند در غیر این صورت آب خود را از دست می‌دهند.

رابطه بین هدایت الکتریکی و پتانسیل اسمزی با معادله زیر بیان می‌گردد:

1. Total Disolved Solids
2. Electrical Conductivity

(دسی زیمنس برمتر) EC. × ۰/۳۶- = پتانسیل اسمزی

البته این معادله برای عصاره محلولهای خاکی که EC آن‌ها بین ۳ تا ۳۰ دسی زیمنس بر متر است مصداق دارد. هدایت الکتریکی با فرمول زیر تبدیل به TDS می‌شود.

(دسی زیمنس برمتر) EC. × ۶۴۰ = TDS (میلی گرم در لیتر)

ج) نسبت جذب سدیم[1].

علاوه بر خطر شوری کل آب آبیاری یا محلول خاک، تمایل محلول به تولید سدیم تبادلی نیز باید در نظر گرفته شود. شاخص مناسب برای پیش بینی این تمایل، نسبت جذب سدیم به جذر میانگین کلسیم و منیزیم می‌باشد که با SAR نشان داده می‌شود.

د) یون‌های ویژه.

علاوه بر خطر شوری کل و سدیم، بعضی از گیاهان ممکن است به غلظتهای متوسط یا زیاد یونهای ویژه در آب آبیاری یا محلول خاک حساس باشند. مثلاً بعضی از گیاهان به مسمومیت بیکربنات حساس هستند یا مثلاً مرکبات و آووکادو نسبت به سدیم فوق‌العاده حساس هستند و یا بعضی از گیاهان نسبت به سیلسیم حساس می‌باشند. بنابراین مقدار این عناصر در گیاهان حساس باید اندازه‌گیری و بررسی شود. یکی از این یونهای ویژه که اغلب باید درنظر گرفته شود عنصر بر است چون دامنه کمبود و مسمومیت آن در گیاهان بسیار کوچک است. به طور کلی یونهایی که در ایجاد شوری نقش قابل ملاحظه‌ای دارند عبارتند از یونهای کلرید، سولفات، بیکربنات، سدیم، کلسیم، منیزیم و بعضاً نیترات و پتاسیم. هریک از یونهای ذکرشده می‌توانند اثرات اختصاصی بر روی گیاه نیز داشته باشند. البته اثرات بعضی از آنها ممکن است به ندرت اتفاق بیفتد. به عنوان مثال گیاهان حساس به کلرید وقتی غلظت یون کلرید در عصاره اشباع خاک از ۵ تا ۱۰ میلی اکی والانت در لیتر تجاوز نماید ممکن است شدیداً صدمه ببینند در حالیکه اکثر گیاهان مقاوم به کلرید تنها در غلظتهای بالاتر از ۳۰ میلی اکی والانت در لیتر خسارت می‌بینند.

1. Sodium Adsorption Ratio

۴-۳- پیش بینی خسارت ناشی از شوری در برنج

عملکرد گیاهان معمولاً تا زمانی که EC از حد ویژه‌ای برای گیاه تجاوز ننماید، کاهش معنی‌داری نشان نمی‌دهد. این مقدار شوری به عنوان سطح شوری آستانه برای هر گیاه نامگذاری شده است. برای پیش بینی مقدار افت عملکرد می‌توان از معادله زیر استفاده نمود (Maas and Hofman, 1977).

$$Y = 100 - B\,(EC_e - A)$$

در این معادله:

A = آستانه شوری برحسب دسی زیمنس بر متر

B = درصد کاهش محصول به ازای هر واحد افزایش شوری از آستانه شوری

EC = ECe عصاره اشباع خاک بر حسب دسی زیمنس بر متر می‌باشد.

میانگین مقدار آستانه شوری برای برنج ۳ دسی زیمنس برمتر و مقدار B برای گیاه برنج ۱۲ درصد بیان شده است (Maas and Hofman 1977). اما EC آستانه کاهش عملکرد برای رقم سپیدرود ۲ دسی زیمنس بر متر، برای رقم خزر ۲/۲۷ و برای رقم حسن سرایی ۲/۴۵ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است. مقدار B برای رقم سپیدرود ثابت نبوده و بسته به سطح شوری متغیر می‌باشد و برای ارقام خزر و حسن سرایی به ترتیب ۱۴/۲ و ۱۱/۶ درصد گزارش شده است (کاوسی ۱۳۷۴).

۴-۴- علایم شوری در برنج

- نوک برگهای تحت تأثیر شوری سفید می‌شود.
- لکه‌های کلروتیک روی بعضی از برگها ظاهر می‌شود.
- رشد گیاه در مزرع حالت لکه‌ای به خود می‌گیرد یعنی در بعضی مناطق رشد بوته‌ها کم و در مناطق همجوار حالت نرمال دارد.
- علائم ابتدا در اولین برگ و پس از آن دومین برگ و در نهایت به برگهای در حال رشد گسترش می‌یابد.
- شوری یا سدیمی بودن ممکن است با کمبود فسفر، روی و آهن یا با مسمومیت بر همراه باشد.
- درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد.

- ارتفاع گیاه و تعداد پنجه‌زنی کاهش می‌یابد.
- تعداد سنبلچه‌های عقیم افزایش و وزن هزار دانه کاهش می‌یابد.
- رشد ریشه کاهش یافته و سیستم ریشه‌ای ضعیف می‌شود.
- درصد کل پروتئین در گیاه کاهش می‌یابد اما کیفیت پخت دانه تغییر عمده نمی‌کند (شکل ۴-۱).

شکل ۴-۱- علائم شوری در گیاه برنج

http://www.knowledgebank.irri.org/decision-tools/rice-doctor/rice-doctor-fact-sheets/item/salinity

فصل پنجم

مواد آلی

۵-۱- نقش مواد آلی در زراعت برنج سالم و ارگانیک

درسال‌های اخیر نگرانی‌های جهانی درباره عواقب و اثرات جانبی برخی از فعالیت‌های کشاورزی نوین برمحیط زندگی انسان افزایش یافته و محققان را به تفکر بیشتر و نگاهی عمیق‌تر در این باره واداشته است. بنابراین دانشمندان علوم مختلف به‌دنبال روش‌های کشاورزی جایگزینی هستند که بدون تهدیدهای کنونی برای سلامت انسان و محیط زیست، تأمین کننده امنیت غذایی و توسعه پایدار کشاورزی باشند. کاربرد کودهای آلی می‌تواند گام مؤثری در جهت کاهش اثرات سوء استفاده از کودهای شیمیایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین برخی عناصر کم‌مصرف باشد، در حالی‌که در نظام‌های زراعی فشرده، مواد آلی و عناصر غذایی خاک به سرعت تخلیه می‌شوند و استفاده متمرکز از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را تقلیل می‌دهد. این کاهش عملکرد می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت بیولوژیک و نامساعد شدن خصوصیات فیزیکی خاک باشد (Adediran et al., 2005).

کودهای شیمیایی و آلی به‌تنهایی نمی‌توانند پایداری تولید را تضمین کنند، بلکه استفاده تلفیقی از آن‌ها می‌تواند یک راه حل مناسب برای افزایش پایداری تولید در نظام‌های زراعی باشد (Sharpley et al., 2004).

استفاده مداوم کودهای آلی به‌تنهایی در مزرعه برنج موجب کاهش عملکرد و کمبود نیتروژن و پتاسیم در اواسط پنجه‌زنی برنج می‌شود. این نشان می‌دهد که به مدیریت تلفیقی مواد غذایی برای برنج نیاز است (Wolie and Adamassu, 2016). گزارش شده است که استفاده ترکیبی کودهای آلی و کودهای شیمیایی به حفظ پایداری عملکرد از طریق اصلاح کمبود عناصر کم‌مصرف، افزایش عناصر غذایی در دسترس گیاه، افزایش کارآیی مصرف کود و بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و کاهش آلودگی محیط زیست کمک

می‌کند و می‌تواند یک روش مناسب به‌منظور حفاظت از محیط زیست و افزایش عملکرد برنج باشد.

(Xu et al., 2008; Gill and Walia, 2014; Sannathimmappa et al., 2015).

۵-۲- تعریف کود و طبقه بندی آن

به هر نوع ماده معدنی، آلی یا بیولوژیک که دارای عناصر غذایی باشد و باعث بالابردن حاصل‌خیزی خاک و همچنین باعث افزایش عملکرد کیفی و کمی محصول شود کود اطلاق می‌شود. به تعریفی دیگر موادی که برای افزایش حاصل‌خیزی و جبران مواد از دست رفته خاک به آن داده می‌شوند کود نامیده می‌شوند.

کودها به چند دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

الف) کودهای شیمیایی: که برخی از آنها جز عناصر پر مصرف گیاه و برخی نیز جز عناصر کم مصرف گیاه می‌باشند. عناصر پر مصرف شامل: نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد و عناصر کم مصرف شامل: آهن، روی، منگنز، مس، بر، کلر و مولیبدن. به کودهایی که مجموع عناصر فوق را با هم و به نسبت متناسب دارا باشند اصطلاحاً کود کامل اطلاق می‌شود.

ب) کودآلی (ارگانیک): به کودهایی اطلاق می‌شوند که منشاء گیاهی و یا حیوانی دارند. مانند کود دامی یا کودهای سبز. امروزه به کمک روش‌هایی همراه پوساندن کود اولاً میزان شوری و قلیائیت آن را پایین می‌آورند و ثانیاً آن را با عناصر معدنی غنی‌سازی می‌نمایند و یا به کمک نوعی کرم به ورمی‌کمپوست تبدیل می‌کنند. در مورد کودهای سبز نیز که حاصل پوساندن بقایای سبز باغات و مزارع می‌باشند، فرآیندی مشابه صورت می‌گیرد (Bidwell, 1982).

موادآلی به علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیزیکی (پایداری خاکدانه‌ها)، شیمیایی (افزایش ظرفیت نگهداری عنصری) و بیولوژیکی (فعالیت بیوماس میکروبی) دارد، به‌عنوان رکن باروری خاک شناخته شده است. به‌طور خلاصه نقش ماده‌آلی در تأمین سلامت و کیفیت خاک را می‌توان به شرح زیر بیان داشت (USDA, 1996, 2003):

۱- منبع کربن و انرژی برای میکروارگانیسم‌های خاک

۲- منبع عناصر غذایی نظیر نیتروژن، گوگرد، فسفر و ...

۳- پایداری و نگهداری ذرات خاک به‌عنوان خاکدانه یا خاک واحد و کاهش خطر فرسایش خاک

۴- افزایش تخلخل خاک و افزایش ظرفیت نگهداری هوا و آب و تسهیل توسعه و رشد ریشه‌ای

۵- حفظ و ابقای عناصر غذایی و جلوگیری از هدررفت آن‌ها با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت تبادل آنیونی

۶- جلوگیری از فشردگی و تراکم خاک با پائین نگهداشتن وزن مخصوص ظاهری و ممانعت از ایجاد قشرها و پوسته‌های سخت، ترک و گسل

۷- افزایش قابلیت خاک‌ورزی و تغییر در خصوصیات خاک مثل کاهش چسبندگی، افزایش نفوذپذیری و نرمی خاک

۸- ابقای کربن از اتمسفر و دیگر منابع

۹- کاهش اثرات محیطی منفی مثل اثر حشره‌کش‌ها، فلزات سنگین و بسیاری از آلاینده‌های دیگر

۱۰- افزایش قدرت بافری خاک و مقابله با تغییرات سریع اسیدیته خاک

۱۱- افزایش سرعت نفوذ آب در خاک و کاهش تولید رواناب

ج) کودهای بیولوژیک یا زیستی

نسل جدیدی از کودهای موجود بوده و در حقیقت میکروارگانیسم‌های مفیدی هستند که در تغذیه گیاهان نقش مثبتی دارند و به تثبیت و جذب بهتر عناصر کمک می‌کنند.

۵-۳- انواع کودهای آلی

شامل کودهای دام و طیور، کود سبز و کمپوست هستند. کودهای دامی شامل فضولات دامی و بقایای تمام یا قسمتی از بدن حیوانات (شاخ، خون، استخوان و لاشه) می‌باشند. کود دامی باید کاملاً پوسیده و تخمیر شده باشد تا گیاه بتواند از آن استفاده کند. مقدار مصرف کود دامی برای برنج و سایر گیاهان زراعی بین ۵۰ -۱۰ تن در هکتار بسته به نوع خاک و نوع محصول متفاوت است. این مقدار در زمین‌های حاصلخیز بین ۱۵-۱۰ تن و در زمین‌های غیر حاصلخیز بین ۵۰- ۴۰ تن در هکتار می‌باشد.

بطور کلی کودهای آلی به دو قسمت تقسیم می‌شوند:

۱- کودهای آلی گیاهی و دامی

۲- کودهای بیولوژیک یا زیستی

۵-۳-۱-کودهای دامی

کودهای دامی یا حیوانی را بقایای دامها و کاه و کلشی که برای تهیه بستر آنها به‌کار می‌رود، تشکیل می‌دهند. این کود شامل دو بخش مایع و جامد می‌باشد که از لحاظ وزنی، تولید کود اصطبلی جامد سه برابر مقدار مایع آن است. حدود نیمی از نیتروژن و پتاسیم و تمام فسفر کود اصطبلی در قسمت جامد آن متمرکز شده است ولی از آنجا که فضولات دامی دارای مقدار زیادی نیتروژن قابل جذب هستند، این مواد دارای جنبه اقتصادی با ارزش می‌باشند و به همین دلیل کودهای حیوانی باید پیش از خشک شدن در کشتزار پخش و در خاک دفن شوند تا نیتروژن آنها به‌صورت آمونیاک به هدر نرود.

روش و زمان مصرف کود دامی (حیوانی)

کود دامی ابتدا در سطح خاک پخش می‌شود و سپس با عمل شخم زدن با خاک مخلوط می‌شود. بهترین زمان مصرف آن بستگی به درجه پوسیدگی کود دارد. کودهای آلی تازه که پوسیده نشده و به کمپوست تبدیل نشده‌اند در فصل پائیز و کودهای پوسیده و تبدیل شده به کمپوست یا هوموس در فصل بهار و قبل از کشت استفاده می‌شوند.

اگر کود دامی به مقدار زیاد مصرف شود نیازی به مصرف سالیانه آن نیست چون کود دامی دارای دوام چند ساله بوده و اثر آن در خاک باقی می‌ماند. تقریباً هر ۴ سال مصرف کود دامی برای تأمین نیازهای غذایی کفایت می‌کند. اما تأثیر آن بر روی خصوصیات فیزیکی خاک ممکن است ۵ الی ۶ سال ادامه پیدا کند و حتی در بعضی موارد تا ۷ یا ۸ سال از اثرات مثبت کود دامی بر روی خصوصیات فیزیکی عنوان شده است. بسته به نوع کود دامی علاوه بر درصد رطوبت، مقدار فسفر و پتاسیم موجود در کودهای مختلف متفاوت است. کود مرغی نسبت به بقیه کودها غنی‌تر و بهتر است.

۵-۳-۲-کودآلی بقایای گیاهی و حیوانی مزرعه

این کود در واقع از مدفوع و ادرار دام‌ها، کاه وکلش و بقایای گیاهی دیگر استفاده شده برای بستر دام تهیه می‌شود. این کود برای استفاده در خاک می‌تواند بسیار مفید بوده (جدول ۵-۲) و دارای خواص زیر می‌باشد:

۱- غنی از مواد و عناصر غذایی گیاه می‌باشد.

۲- قسمت کمی از آن مستقیماً مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و قسمت زیادی از آن پس از تجزیه می‌تواند برای گیاه قابل استفاده شود.

۳- وقتی‌که مواد دفعی جامد و مایع دام با بقایای دیگر و سپس با خاک مخلوط می‌شوند، توازن مناسبی را برای تغذیه گیاه ایجاد می‌کنند و جذب عناصر غذایی برای گیاه از خاک را بهبود می‌بخشند.

۴- قابلیت دسترسی گیاه برای پتاسیم و فسفر موجود در آن همانند قابلیت دسترسی آنها در کودهای شیمیایی می‌باشد.

۵- باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود.

۵-۳-۳- بقایای برنج نمونه‌ای از کودهای گیاهی

بقایای برنج مثل کاه و کلش ۵۰ درصد یا بیشتر از تولید محصول را شامل می‌شوند (Bangar et al., 1989). مقدار کاه تولید شده در اراضی شالیزاری ممکن است از ۲ تا ۱۰ تن در هکتار باشد که این مقدار بستگی به نوع رقم برنج کاشته شده، پرمحصول بودن آن، روش برداشت برنج (برداشت کف‌بُر برنج کاه بیشتری را تولید خواهد کرد) و عوامل دیگر دارد (سلیمانی و لاریجانی، ۱۳۸۳). در عملیات کشت برنج یکی از مهم‌ترین مسائل آن است که اکثر کشاورزان کاه و کلش را بعد از برداشت محصول آتش می‌زنند. این عمل به‌منظور آماده‌سازی زمین برای کشت دوم و یا سهولت انجام شخم زمستانه صورت می‌گیرد اما این عمل در صورت تداوم در طول سالیان بعدی باعث کاهش مواد آلی خاک می‌شود (سلیمانی و لاریجانی، ۱۳۸۳). سوزاندن کاه و کلش بیشتر در کشورهای در حال توسعه رایج است و در بسیاری از کشورهای پیشرفته ممنوع شده است، زیرا در اثر سوزاندن این بقایا مقدار زیادی گاز دی اکسید کربن وارد اتمسفر شده که با توجه به اثر گلخانه‌ای آن منجر به آلودگی محیط زیست و مشکلات تنفسی در انسان می‌شود (Zayed and Abdel motaal, 2004;

(Biswas et al., 1996). پسماندها و بقایای مواد آلی قابلیت بالقوه‌ای برای بالا بردن کیفیت خاک دارند و منبع غذایی برای گیاهان به حساب می‌آیند. از طرفی مصرف مواد آلی تازه (پسماند) نباید مستقیماً صورت گیرد، چون پروسه تجزیه، رشد قابل ملاحظه میکروب‌ها را باعث می‌شود و امکان دارد ضمن ترشح مواد آللوپاتیک، پدیده حرارت‌زا رخ دهد که برای رشد گیاه مضر است. در چنین شرایطی میکروب‌ها و گیاهان به رقابت برای جذب عناصر غذایی پرداخته و لذا گرسنگی و کمبود این عناصر برای رشد مطلوب محصول فراهم می‌شود (Garcia et al., 1997). کاه و کُلش برنج در مقایسه با سایر مواد آلی نسبت به تجزیه میکروبی مقاوم است. این مواد حتی اگر تمام شرایط محیطی بهینه باشند به کندی تجزیه می‌شوند. چون دارای نسبت $^{C}/_{N}$ و مقدار لیگنوسلولز زیادی می‌باشند (Zayed and Abdel motaal, 2004). کاه برنج دارای مقادیر زیادی سلولز (۴۳٪)، همی سلولز (۲۵٪)، لیگنین (۱۲٪)، مقدار کمتری پروتئین (۴- ۳ درصد) و مواد معدنی (۱۷- ۱۶ درصد) می‌باشد. حدود ۸۳ درصد مواد معدنی کاه برنج را سیلیکات‌ها تشکیل می‌دهند (Lima et al., 2005). کاه و کُلش برنج بستر مورد نیاز را برای تجزیه و معدنی شدن کربن توسط میکروارگانیسم‌های خاک فراهم می‌نماید. قارچ‌ها و باکتری‌ها در تجزیه این مواد دخالت دارند. ابتدا قسمت‌های نرمتر این مواد در اثر حمله میکروبی تجزیه می‌شود. قارچ‌هایی مثل آسپرژیلوس[۱]، تریکودرما[۲]، فوزاریم[۳]، فوما[۴] و غیره در ابتدای تجزیه شرکت دارند. با نزدیک شدن به مراحل انتهایی تجزیه، قارچ‌های بازیدومیست و برخی باکتری‌ها و غیره وارد عمل می‌شوند (فلاح، ۱۳۸۵). شدت تجزیه در ابتدای کمپوست شدن بیشتر است. بیشترین مقدار حرارت نیز در اوایل کمپوست شدن تولید می‌شود و به مرور زمان تا انتهای کمپوست شدن کاهش می‌یابد.

---

۱. آسپرژیلوس (Aspergillus) یک نوع قارچ شامل چند صد گونه است که در اقلیم‌های متنوع آب و هوایی و در سرتاسر جهان یافت می‌شود. این قارچ را نخستین بار یک کشیش و زیست‌شناس ایتالیایی به نام پی‌یر آنتونیو می‌چلی کشف کرد. او با دیدن این قارچ در زیر میکروسکوپ بخاطر شباهت آن با آب افشانی که در مراسم مذهبی آسپرژیلیوم خوانده می‌شد، نام آسپرژیلوس برای این گونه برگزید.

۲. تریکودرما (Trichoderma) نوعی قارچ از خانواده هیپوکراسه (Hypocreaceae) است که در تمام خاک‌ها وجود دارد. گیاه شناسان بسیاری از گونه‌های موجود در این جنس را به عنوان سمبل‌های گیاهی فرصت طلب توصیف می‌کنند.

۳. فوزاریوم (Fusaium) گروه بزرگی از قارچ‌های خاکی است که در بسیاری از نقاط جهان یافت می‌شوند. اغلب آنها جزو گونه‌های ساپروفیت بی‌ضرر هستند و در اجتماعات میکروبی خاک به‌وفور یافت می‌شوند. بعضی از گونه‌های فوزاریوم، به خاطر تأثیر مخربی که روی محصولات دارند، به لحاظ اقتصادی حائز اهمیت هستند.

۴. فوما (Phoma) نوعی قارچ درون کوئلومیست‌ها است. این قارچها معمولاً و در همه محیط‌های کشت و اغلب شرایط محیطی رشد و گسترش می‌یابند؛ اما شناسایی آنها بسیار دشوار است.

اُفت درجه حرارت مربوط به کاهش فعالیت میکروبی و تجمع ترکیبات کربنی مقاوم به تجزیه مثل لیگنین و سلولز است. مقدار اسید هیومیک در طول کمپوست شدن کاه برنج کاهش ولی مقدار اسید فولویک افزایش می‌یابد (Helal, 2007). کاه برنج غنی از کربن بوده و از لحاظ نیتروژن فقیر است. بنابراین کمبود نیتروژن سرعت تجزیه را در طول کمپوست شدن کاهش می‌دهد. از این‌رو می‌توان مقداری نیتروژن از منابعی مثل کودهای باغی، گاوی و مرغی یا اوره استفاده نمود. خرد کردن کاه و غنی کردن آن با اوره سرعت تجزیه را بالا می‌برد.

۵-۴- کودهای بیولوژیک یا زیستی

گرچه استفاده از کودهای بیولوژیک در کشاورزی از تأثیر بسیار زیادی برخوردار است و در گذشته نه چندان دور تمام مواد غذایی که مورد مصرف انسان با استفاده از چنین منابع ارزشمندی تولید می‌شد؛ اما بهره‌برداری علمی از این گونه منابع سابقه چندانی ندارد. بدون تردید کاربرد کودهای بیولوژیک علاوه بر اثرات مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی نیز مثمر ثمر واقع شده و می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی باشد. کودهای بیولوژیک منحصراً به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، اضافات گیاهی و غیره اطلاق نمی‌شود بلکه تولیدات حاصل از فعالیت میکروارگانیسم‌هایی که در ارتباط با تثبیت نیتروژن و یا فراهمی فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک فعالیت می‌کنند را نیز شامل می‌شود (آستارایی و کوچکی، ۱۳۷۵؛ حیدری، ۱۳۸۴).

۵-۴-۱- مزایای کودهای بیولوژیک

صرفه‌جویی اقتصادی، حفظ و توسعه باروری خاک به موازات افزایش حاصلخیزی خاک، جلوگیری از ایجاد آلودگی خاک و منابع آب‌های سطحی، جلوگیری از توسعه بیماری‌های ناشی از مصرف آب و محصولات آلوده به ترکیبات نیتروژنه می‌باشد.

براساس گزارشات و مشاهدات موجود، کاربرد کود بیولوژیک باعث کاهش مصرف کود شیمیایی حداقل تا مقدار ۳۰ درصد می‌گردد. با احتساب ارزان‌ترین قیمت اوره در بازار جهانی (۱۸۵ دلار در هر تن فله، تولید اندوندزی) و همچنین با فرض حداقل صرفه‌جویی ۳۰

درصدی در نیاز به کود شیمیایی، جایگزین نمودن کود بیولوژیک به‌جای آن، مزایای اقتصادی مناسبی را برای کشاورزان و کشور به‌همراه دارد. همچنین کاربرد حجم کمتری از کود بیولوژیک (تا ۳۰ درصد مقدار کودهای شیمیایی)، به تنهایی می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش هزینه‌های حمل و نقل، انبارداری و توزیع داشته باشد (آستارایی و کوچکی، ۱۳۷۵؛ حیدری، ۱۳۸۴).

علاوه بر صرفه‌جویی فوق، تولید و مصرف کودهای بیولوژیک می‌تواند مزایای زیر را نیز به دنبال داشته باشد:

۱- حفظ و توسعه باروری خاک به موازات افزایش حاصل‌خیزی خاک.

۲- جلوگیری از ایجاد آلودگی خاک ومنابع آب‌های سطحی و زیرزمینی ناشی از ترکیبات باقی‌مانده کودهای شیمیایی.

۳- جلوگیری از توسعه بیماری‌های ناشی از مصرف آب و محصولات آلوده به ترکیبات نیتروژنه‌ای که در اثر کاربرد کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه ایجاد می‌شوند.

۵-۴-۲- طبقه‌بندی کودهای بیولوژیک

الف) با توجه به نوع میکروارگانیسم‌ها، کودهای بیولوژیک را می‌توان به‌صورت زیر طبقه بندی کرد (آستارایی و کوچکی، ۱۳۷۵):

۱- کودهای بیولوژیک باکتریایی (ریزوبیوم، نیتروباکتر، آزوسپریلیوم و ...)

۲- کودهای بیولوژیک قارچی (میکوریزا و ...)

۳- کودهای بیولوژیک جلبکی (جلبک‌های سبز- آبی و آزولا)

۴- کودهای بیولوژیک اکتینومیستی (اکتینومیست‌ها، فرانکیا و ...)

ب) با توجه به اعمالی که میکروارگانیسم‌ها انجام می‌دهند کودهای زیستی به‌شرح ذیل تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- تثبیت کننده‌های نیتروژن مولکولی

۲- قارچ‌های میکوریزا

۳- میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات‌های نامحلول

۴- باکتری‌های ریزوسفر محرک رشد

۵- میکروارگانیسم‌های تبدیل کننده مواد آلی زاید به کمپوست

۶- کرم‌های خاکی تولید کننده ورمی کمپوست.

۵-۵- نقش آزولا در تغذیه برنج

آزولا (Azolla sp) یکی از مهم‌ترین موجودات زنده تأمین‌کننده نیتروژن مورد نیاز برنج می‌باشد که از همزیستی سرخس با جلبک سبز- آبی آنابنا آزولا[1] برخوردار است و به‌واسطه همین زیست مشترک، نیتروژن هوا را تثبیت می‌نماید (رضوی‌پور، ۱۳۸۷؛ غروی‌بایگی و همکاران، ۱۳۹۳). این موجود زنده، انرژی خود را برای تثبیت نیتروژن اتمسفر از طریق فتوسنتز به‌دست می‌آورد. ورود آزولا به ایران برای تثبیت نیتروژن در شالیزارها صورت گرفت، در حالی که در کشورهای آسیای جنوب شرقی سال‌هاست که این گیاه علاوه بر انتقال نیتروژن هوا به خاک، سبب جلوگیری از رشد علف‌های هرز، جلوگیری از تبخیر آب شالیزار و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود (رضوی‌پور، ۱۳۸۷؛ غروی‌بایگی و همکاران، ۱۳۹۳). آزولا می‌تواند در صورت فراهم بودن شرایط مناسب سبب افزایش روزانه دو تا چهار کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار شود که معادل ۱۰ تا ۲۰ درصد نیتروژن موجود در کود شیمیایی سولفات آمونیوم است (غروی‌بایگی و همکاران، ۱۳۹۳).

کمپوست آزولا مخلوطی از موادآلی پوسیده شده بوسیله میکروارگانیسم‌ها است که در یک محیط گرم، مرطوب و تحت شرایط هوازی، مواد و عناصر غذایی موجود در خود را به‌صورت قابل استفاده در اختیار گیاه قرار می‌دهد. استفاده از کمپوست در مدیریت عناصر غذایی خاک به‌عنوان یکی از ارکان رسیدن به یک سیستم کشاورزی پایدار مفید به نظر می‌رسد (رضوی‌پور، ۱۳۸۷؛ Yazdani Biouki et al., 2014). فراهمی نیتروژن موجود در کمپوست در کشت فاریاب و در سال اول و دوم زراعی به‌ترتیب معادل ۳۵ و ۲۰ درصد نیتروژن بر حسب مادهٔ خشک گزارش شده است (Eghball et al., 2001). کمپوست آزولا نسبت به منابع آلی دیگر به‌دلیل بالا بودن درصد نیتروژن آن بر پایه ماده خشک، سهل‌الوصول بودن گیاه و استقرار سریع آزولا دارای مزیت می‌باشد. نتایج بررسی اثر استفاده از آزولای تازه و کمپوست شده بر عملکرد دانه و جذب عناصر در دانه و ساقه برنج نشان داد که استفاده توأم از ۵ تن کمپوست آزولا همراه با ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره بیشترین

1. Anabaena Azollae

مقدار عملکرد دانه را تولید نمود. با این روش از مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه آلودگی ناشی از مصرف آن‌ها نیز به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاسته شده و می‌توان گام بسیار مؤثری در حفظ محیط‌زیست و ایجاد کشاورزی پایدار و ارگانیک برداشت (رضوی‌پور، ۱۳۸۷).

نظر به اهمیت کمپوست‌سازی در جمع‌آوری ضایعات آلی کشاورزی، صنعتی و خانگی و تبدیل آن به محصولات سودمند قابل استفاده در کشاورزی، می‌توان از آزولا در سطح وسیع به‌عنوان یک روش بیولوژیکی منطبق با حفظ محیط‌زیست جهت تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود خصوصیات فیزیکی و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک استفاده نمود (رضوی‌پور، ۱۳۸۷). آزولا در کشورهایی همچون چین، ویتنام و فیلی‌پین علاوه بر غنی‌سازی مزارع برنج به‌عنوان کود سبز، برای خوراک دام و طیور حتی در مواردی به‌عنوان خوراک انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما این سرخس (آزولا فیلیکولوئیدس[1]) ده‌ها سال است که به‌واسطه قابلیت تثبیت نیتروژن، در مزارع برنج به‌عنوان کود سبز استفاده می‌شود (Rakhshaee et al., 2006). با این هدف بود که آزولا از دو دهه اخیر وارد ایران و در واقع برخی از شالیزارهای گیلان شد. در این میان رشد بی‌رویه و کنترل نشده آزولا می‌تواند مشکلات زیادی را برای اکوسیستم‌های گیاهی و جانوری به بار آورد که شالیزارهای شمال ایران نیز از این امر مستثنی نبوده‌اند (Rakhshaee et al., 2006). مواد افزودنی همچون کاه برنج به‌عنوان منبع کربن و آزولا به‌عنوان منبع نیتروژن با مقادیر لازم جهت به‌دست آوردن نسبت کربن به نیتروژن مناسب مخلوط شده و ماده اولیه جهت فعالیت میکروارگانیسم‌ها به‌دست می‌آید. همچنین، می‌توان مواد مختلف را با هم آمیخته و ترکیب نمود تا مقدار مواد غذایی کمپوست افزایش یابد (Alam, 2004).

آزولا را می‌توان همراه با کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار مانند اوره و سولفات آمونیوم نیز مصرف نمود. آزولا بعد از برگرداندن توده آزولا به زیر خاک، سریعاً پوسیده شده و نیتروژن تثبیت شده توسط آن مورد استفاده برنج قرار می‌گیرد. موقعی که آزولا سطح شالیزار را به‌طور کامل پوشش دهد و سپس آب داخل شالیزار تخلیه گردد، مقدار ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم نیتروژن به هر هکتار اضافه می‌گردد. همچنین، در مقایسه با اغلب کودهای شیمیائی و

1. Azolla Filiculoides

به‌ویژه کود نیتروژنه از منبع اوره، که در عرض یک هفته به مقدار قابل توجه‌ای مصرف شده و از دسترس ریشه‌های برنج خارج می‌شوند، آزولا در مدت حدود ۸ هفته مصرف شده و مواد غذائی آن به‌تدریج در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. همچنین، ویتأمین‌ها، هورمون‌ها و آنزیم‌های گیاهی را که کودهای شیمیایی قادر به فراهم نمودن آن نیستند، فراهم می‌نماید. اگر آزولا طی عملیات آماده کردن زمین با خاک مخلوط شود، نیتروژن تثبیت شده آن بعد از ۲۰ روز به‌تدریج آزاد می‌گردد (Payawal, 1989).

۵- ۶- ماده تلقیحی سیانوباکتر (BGA)

برنج به‌طور گسترده در مناطقی که دارای شرایط آب و هوایی مرطوب است کشت می‌شود و وجود شرایط اشباع و لایه‌ای از آب دائم به روی خاک، رشد جلبک‌های سبز ـ آبی را ترغیب می‌کند. جلبک‌های سبز- آبی در حقیقت دارای توانایی دوگانه یعنی فتوسنتز و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن هستند. علاوه بر تثبیت نیتروژن، این جلبک‌ها ویتامین B12، اکسین‌ها و اسکوربیک اسید را ترشح کرده که ممکن است این مواد سهمی در رشد گیاه برنج داشته باشند.

۵-۷-کود سبز

یکی دیگر از راههای افزایش ماده آلی خاک استفاده از کود سبز در تناوب زراعی می‌باشد. منظور از کود سبز شخم زدن گیاه در خاک پس از رشد کافی و بدون برداشت محصول است. اثر کود سبز بر خصوصیات فیزیکی خاک همانند کود حیوانی می‌باشد. کود سبز عملاً مواد غذایی به خاک اضافه نمی‌کند، بلکه آنچه را که طی رشد خود از خاک جذب کرده و در خود ذخیره نموده است، به خاک بر می‌گرداند؛ اما در صورتی که از گیاهان تیره بقولات به‌عنوان کود سبز استفاده شود تمام نیتروژن تثبیت شده را به خاک بر می‌گرداند. از طرف دیگر کود سبز با جذب و ذخیره مواد غذایی در خود از شسته شدن آنها جلوگیری می‌نماید. گیاه مورد استفاده به‌عنوان کود سبز می‌بایستی اثرات فیتوتوکسینی بر رشد محصول بعدی نداشته باشد، فصل رشد کوتاهی داشته، تراکم بوته بالا را تحمل کند و رشد سبزینه‌ای زیادی داشته باشد تا علاوه بر این که مقدار زیادی ماده آلی به خاک اضافه می‌کند، پوشش کامل خاک را تأمین نماید. پوشش کامل خاک برای جلوگیری از فرسایش

خاک و بازدارندگی رشد علف‌های هرز ضرورت دارد. بنابراین اهداف کود سبز را می‌توان در افزایش ماده آلی خاک، حفظ مواد غذائی خاک (و در صورت استفاده از گیاهان تیره بقولات افزایش نیتروژن خاک)، جلوگیری از فرسایش خاک و مبارزه با علف‌های هرز خلاصه نمود. توجه به اهداف فوق روشن می‌سازد که کود سبز قبل از گیاهان وجینی در تناوب قرار می‌گیرد. مهم‌ترین گیاهانی که به‌عنوان کود سبز در کشت آبی ممکن است مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از خُلر، لوبیا روغنی، انواع لوبیا، چاودار، شبدر، جو و گندم سیاه. یونجه به‌عنوان کود سبز کاشته نمی‌شود؛ اما در صورتی که پس از حصول رشد کافی سبزینه‌ای به خاک برگردانده شود، بعضی از هدف‌های کود سبز را تأمین می‌کند. گیاهانی مثل گندم سیاه، چاودار و شبدر ایرانی به خوب در خاک‌های فقیر رشد می‌کنند و در بهبود باروری و ساختمان خاک‌ها مؤثر می‌باشند.

در مناطقی که برای افزایش مواد آلی خاک از کاه و کلش استفاده می‌شود، کربن بالای موجود در کاه وکلش موجب تثبیت شدید نیتروژن معدنی می‌شود و قابلیت جذب نیتروژن در خاک را شدیداً کاهش می‌دهد. به همین دلیل توصیه می‌شود با استعمال کودهای نیتروژنی همیشه مقداری نیتروژن اضافی به خاک داده شود و در خاک‌هایی که از نظر نیتروژن مخصوصاً نیترات فقیر هستند، برای هر ۱۰۰ کیلوگرم کلش یک کیلوگرم نیتروژن توصیه می‌شود. تأثیر مثبت کوددهی به کلش در مقدار کربن آلی خاک بستگی زیادی به قابلیت نگهداری نیتروژن خاک دارد. بدینوسیله معلوم می‌گردد که در افزایش مواد آلی به خاک نه فقط به کربن آلی بلکه به نیتروژن نیز نیازمند است؛ اما شدت تجزیه مواد آلی در خاک به مقدار لیگنین آن‌ها بستگی دارد. به‌طوریکه ۵۰ درصد کود دامی، ۶۰ درصد کلش و ۸۰ درصد مواد سبز گیاهی می‌توانند سریعاً تجزیه شده و بقیه به علت وجود لیگنین در آنها که دیر تجزیه می‌باشد، در کمپوست حاصل از آن باقی مانده و در طولانی مدت تجزیه می‌شوند (آستارایی و کوچکی، ۱۳۷۵).

۵- ۸- کمپوست

کمپوست ماده پایدار و تقریباً به کندی قابل تجزیه‌ای است که از بقایای مواد آلی یعنی مواد گیاهی و جانوری به‌دست می‌آید. این بقایای مواد آلی تجزیه شده و کمپوست شده معمولاً دارای مقادیر نسبتاً کمی از برخی عناصر غذایی مهم می‌باشند. در حالت طبیعی معمولاً مقدار ماده آلی موجود در آن کاهش یافته و غلظت مواد موجود در آن زیاد می‌شود چون در واقع حجم و مقدار ماده آلی کم می‌شود (رضوی پور، ۱۳۷۸؛ Bell et al., 2004). کمپوست یک کود آلی است که حاصل تغییر و تبدیل انواع پس‌ماندهای گیاهی و حیوانی در نتیجه فعالیت گروه‌های مختلف ریزجاندران بوده و یک کود بیولوژیک محسوب می‌شود (رضوی پور، ۱۳۷۸؛ جهانی و همکاران، ۱۳۹۰). کمپوست نمودن، پایدارترین و اقتصادی‌ترین گزینه برای مدیریت مواد زائد آلی می‌باشد. پروسه تبدیل مواد آلی به کود آلی، تکنیکی در جهت کاهش مشکلات محیط زیستی، افزایش حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی و کاهش توسعه مکان‌های جدید برای دفن می‌باشد (خرازی و همکاران، ۱۳۹۳). کمپوست‌ها بر اساس نوع و ماهیت تولید و فرآوری به انواع ورمی‌کمپوست، کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب، کمپوست کاه و کلش برنج و کمپوست آزولا تقسیم می‌شوند.

۵- ۹- اثرکمپوست بر ویژگی‌های خاک

هنگامی که خاکی از لحاظ فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی دارای کیفیت مطلوبی باشد به آن یک خاک خوب و مناسب برای رشد و پرورش‌گیاه و یا به عبارت دیگر برای کشت محصول می‌گویند. بسیاری از کشاورزان دوست دارند که بتوانند حاصلخیزی زمین کشاورزی خود را از طریق دادن کود و مواد دیگر به زمین به حالت مناسب اولیه برگردانند ولی شاید تعداد معدودی از آنها در فکر حفظ سلامت خاک و پایداری حاصلخیزی آن در طولانی‌مدت بوده و روش‌های حفاظت از خاک و سالم نگه داشتن آن را درک می‌کنند. اضافه کردن و یا برگرداندن بقایای‌گیاهی و مواد آلی به خاک از جمله ضروریات در حفظ سلامت و پایداری آن می‌باشد. البته منظور موادآلی است که می‌توانند عناصر مورد نیاز (عناصرغذایی) را به خاک برگشت داده و در حفظ خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و نیز تهویه‌ای خاک مؤثر باشند چون مقدار هوموس موجود در خاک در اثر کشت و کار و سایر عوامل و شرایط محیطی هرساله به مقدار قابل توجهی‌کاسته می‌شود (فرحدهر و همکاران، ۲۰۱۵). مواد آلی ممکن است به صور مختلف مثلاً به عنوان مالچ در سطح خاک، کود سبز، بصورت کمپوست

شده، از طریق کشت و پرورش آزولا و فعالیت‌های دیگری که در هر منطقه ممکن باشد، به خاک اضافه شوند. اگر مقدار موادآلی موجود در هر خاک به اندازه کافی وجود داشته باشد گیاه کشت شده در آن خاک به ندرت ممکن است دچارکمبود عناصرغذایی مورد نیاز خود گردد و تأمین مقدار کافی مواد آلی به خاک یکی از مهم‌ترین و ایده‌آل‌ترین اهداف در امر کشاورزی پایدار محسوب می‌شود (Alam, 2004). درمواقعی‌که مقدار موادآلی خاک به دلایل مختلف کاهش می‌یابد، تهدید بسیار جدی برای ایجاد و تداوم سیستم‌کشاورزی پایدارمحسوب خواهد شد، اگر چه ممکن است از طریق کودهای شیمیایی بتوانیم کمبود برخی عناصر را جبران نمائیم (احمد و همکاران، ۲۰۰۸).

۵- ۱۰- کمپوست کاه و کلش برنج

بخش بزرگی از اندام گیاهان زراعی را ترکیب‌های لیگنوسلولزی تشکیل می‌دهند. این مواد خشبی در بیشتر گیاهان شامل سلولز ۶۰-۱۵ درصد، همی‌سلولز ۳۰-۱۰ درصد، ۳۰-۱۰ درصد لیگنین می‌شوند. البته با زیاد شدن سن گیاه مقدار همی‌سلولز، سلولز و لیگنین افزایش یافته و ترکیب‌های ساده‌تر کاهش می‌یابند (رضوی و همکاران، ۱۳۹۳). در طول دهه گذشته، زراعت برنج در بسیاری از کشورهایی که در آن‌ها برنج کشت می‌شود، به‌علت افزایش تقاضای صادرات و رشد جمعیت افزایش یافته است که منجر به تولید حجم زیادی از بقایا، شامل کاه و کلش برنج و پوسته برنج پس از برداشت شده است (Shak et al., 2014). کاه و کلش برنج به‌عنوان ضایعات برنج برای پایداری قابلیت تولید برنج و سلامت خاک در یک محیط بدون آلودگی مفید است زمانی‌که به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیب با کودهای معدنی یا با میکروارگانیسم‌ها و یا ترکیب با هر دو استفاده می‌شود (Singh et al., 2016).

سوزاندن بقایای گیاهی عوارض ناخوشایندی را بر جای گذاشته و سلامت محیط‌زیست را به خطر می‌اندازد (تولی، ۱۳۸۷). از سوی دیگر باقی ماندن بقایای گیاهی پس از برداشت محصول معضل بزرگی برای کاشت محصولات بعدی می‌شود. امروزه به‌علت ناآشنایی بسیاری از کشاورزان برای رها و آزاد کردن زمین به‌منظور کشت بعدی بقایای گیاهی را می‌سوزانند و یا دور می‌ریزند در صورتی‌که با به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید و با فرآوری بقایای گیاهی می‌توان استفاده‌های متعددی از آنها نمود. مخلوط کردن بقایای برنج با خاک دارای آثار مثبتی می‌باشد که در درازمدت حاصل می‌گردد.

گزارش شده است که برگرداندن مقدار زیادی از کلش برنج به خاک یکی از روش‌های مؤثر برای کنترل پویایی نیتروژن خاک و کاهش شستشوی نیتروژن می‌باشد زیرا کلش برنج فعالیت میکروبی آلی شدن را به‌خاطر نسبت C/N بالای آن افزایش می‌دهد (Shindo, and Nishio, 2005). کمپوست کردن باعث می‌شود که بقایای آلی گیاهی و یا جانوری به کود آلی بهتری تبدیل شوند. اگر چه کودهای آلی مثل کمپوست بقایای برنج، اغلب عناصر غذایی اصلی مثل نیتروژن (N) و فسفر (P) کمتری را در خود دارند، ولی معمولاً از نظر عناصر غذایی کم‌مصرف، آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌ها، بسیار غنی بوده و از این لحاظ در رشد گیاه فواید بسیار زیادی خواهند داشت. البته ساقه برنج یا کلش از نظر عنصر غذایی اصلی پتاسیم (K) بسیار غنی می‌باشد (Bell et al., 2004).

محققان با بررسی اثرات تلفیقی کودهای نیتروژن و کمپوست مواد آلی بر عملکرد برنج در طی دو سال زراعی، اظهار نمودند که بیشترین تعداد خوشه در کپه در سال دوم از مصرف پنج تن در هکتار کمپوست کاه برنج + ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره حاصل شد. این محققان علاوه بر این، بیان داشتند که کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و کمپوست کاه برنج به‌واسطه افزایش قابلیت دسترسی گیاه به فسفر، حفظ باروری و بهبود خصوصیات خاک سبب افزایش تعداد خوشه در کپه گردید. همچنین بر طبق نتایج به دست آمده، کمترین درصد خوشه نابارور از مصرف پنج تن در هکتار کمپوست کاه برنج + ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره حاصل شد (Zayed et al., 2013). بررسی اثر کاربرد مداوم کمپوست کاه و کلش برنج بر عملکرد برنج در ویتنام نشان داد که کاربرد مداوم کمپوست کاه و کلش برنج اثرات مثبتی بر روی عملکرد برنج و خصوصیات فیزیکی خاک داشت (Takeshi et al., 2009). کاربرد ۵ تن کمپوست کاه و کلش برنج همراه با نصف مقدار توصیه شده کود شیمیایی، زیست‌توده کربن میکروبی فعالیت دهیدروژناز و آلکانین فسفات خاک را افزایش داد. همچنین کمپوست کاه و کلش برنج، کربن آلی و نیتروژن خاک را از ۰/۴۷۱ و ۰/۰۳۹ درصد به ترتیب ۰/۵۴۵ درصد و ۰/۰۶۴ درصد افزایش داد. مقادیر کربن و نیتروژن معدنی خاک بیشتر از شاهد و خاک هایی بود که کود شیمیایی توصیه شده را دریافت کرده بودند (Goyal et al., 2009). در مطالعه‌ای دیگر کاربرد دوسوم نیتروژن توصیه شده به‌همراه ۵ تن کمپوست کاه و کلش برنج موجب تولید وزن خشک بالاتر و شاخص سطح برگ بهتر و

محتوای فسفر و نیتروژن گیاه بالاتر تحت شرایط شوری خاک گردید (شکل ۵-۱) (Zayed et al., 2013). جدول ۵- ۱- تجزیه شیمیایی ساقه برنج و کود دام را در حالت خشک و تر نشان می‌دهد.

جدول ۵- ۱- تجزیه شیمیایی ساقه برنج و کود دامی (Bell et al., 2004).

عناصر موجود در برخی ترکیبات آلی (بر اساس وزن مرطوب و تازه)					
ماده آلی	**کربن (درصد)**	**نیتروژن (درصد)**	**فسفر (درصد)**	**پتاسیم (درصد)**	**کلسیم (درصد)**
ساقه برنج	۴۱	۰/۶ -۰/۸	۰/۰۵ -۰/۱	۰/۳ -۲	۰/۰۳ -۰/۱۷
کود گاوی تازه	۸ -۱۰	۰/۴ -۰/۶	۰/۱ -۰/۲	۰/۴ -۰/۶	۰/۲ -۰/۴
کود گاوی پوسیده شده	۳۰ -۳۵	۱/۵	۱/۲	۲/۱	۲

شکل ۵-۱ بقایای حاصل از برداشت و خرمنکوبی برنج (راست) و کمپوست تولید شده (چپ)
https://gilan.niazerooz.com/local

۵- ۱۱- ورمی‌کمپوست

ورمی کمپوست از یک کلمه لاتین Worm به معنی کرم است. ورمی‌کمپوست به کودی اطلاق می‌شودکه از فضولات گونه‌ای خاص از کرم‌های خاکی به‌دست می‌آید (جهانی و همکاران، ۱۳۹۰). در طبیعت بیش از ۲۵۰۰ گونه مختلف از کرم‌های خاکی زندگی می‌کنند. اقسام این کرم‌ها از نوع فعال در سطح زمین تا کرم‌های مستقر در سوراخ‌های عمیق خاک متفاوت است. بیولوژی، الگوهای رفتاری، عادات تغذیه‌ای و احتیاجات زیست‌محیطی این گونه‌ها بسیار متنوع می‌باشد (خرازی و همکاران، ۱۳۹۳).

برای تهیه ورمی کمپوست از گونه‌ای خاص از کرمهای قرمز رنگ مناطق گرم و مرطوب که به کرم ببری یا کرم کمپوست کننده[1] نیز معروف می‌باشند، استفاده می‌شود. فرآیند تولید ورمی کمپوست عبارت است از عبور آرام و پیوسته موادآلی از درون دستگاه گوارش کرم و تغییر حالت این مواد به مدفوع کرم. فضولات کرم‌ها شامل مواد مغذی برای گیاهان بوده و دارای حالتی است که به موقع برای تغذیه گیاه آزاد می‌شوند. ورمی کمپوست ماده‌ای است که به‌خوبی تغییر شکل یافته و ساختار، تخلخل، تهویه، زهکشی و ظرفیت نگهداری رطوبت در آن در حد عالی بوده و از لحاظ کیفی سرشار از مواد هومیک و عناصر قابل جذب برای گیاهان است (Shak et al., 2014).

از بین کودهای آلی، کود ورمی‌کمپوست دارای بیشترین مواد و عناصر غذایی می‌باشد. هر ۱۰۰ کیلوگرم ورمی‌کمپوست دارای ۸۰۰ گرم نیتروژن (N)، ۱۱۱۰ گرم فسفر (P) و ۵۰۰ گرم پتاسیم (K) می‌باشد. بعلاوه این کود می‌تواند کلسیم (Ca)، بُر (B)، روی (Zn)، مولیبدن (Mo) و سایر عناصر مورد نیاز گیاهان را تأمین نماید. همچنین دارای مقادیر فراوانی از میکروارگانیسم‌ها نیز می‌باشد. اضافه کردن این کود به خاک باعث کاهش pH خاک می‌شود (Rakhshaee et al., 2006).

۵-۱۲- فواید ورمی‌کمپوست

۱- ورمی‌کمپوست موجب بهبودی ساختمان، دانه‌بندی و تهویه خاک شده و ذخیره عناصر غذایی خاک را افزایش می‌دهد.

۲- شرایط محیط رشد را برای فعالیت میکروارگانیسم‌های مختلف از جمله باکتری‌های آزادکننده فسفر و تثبیت‌کننده نیتروژن فراهم کرده و باعث افزایش قابلیت دسترسی این عناصر برای جذب گیاه می‌شود. همچنین میکروارگانیسم‌هایی را که رابطه آنتاگونیستی با میکروارگانیسم‌های بیماریزای گیاهان دارند، افزایش می‌دهد و در نتیجه باعث کاهش عوامل بیماریزای گیاهان می‌شود.

۳- مواد غذایی کم‌مصرف را به شکلی در می‌آورد که براحتی توسط گیاه جذب شوند.

1. Composter

۴- با فراهم کردن هورمون‌ها و سایر عوامل مؤثر در رشد، باعث افزایش مقدار رشد گیاه شده و مقاومت آنها را در برابر آفات و بیماری‌ها افزایش می‌دهد.

۵- ادامه افزایش ورمی‌کمپوست در یک باعث کاهش شوری، قلیائیت و اسیدیته خاک می‌شود (جهانی و همکاران، ۱۳۹۰)(جدول ۵-۳).

۵-۱۳- هوموس[1]

توده‌ای از ذرات معدنی به تنهایی یک خاک واقعی را تشکیل نمی‌دهد. خاک‌های واقعی به‌وسیله ارگانیسم‌های زنده تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر می‌کنند و موادی دیگر به آنها افزوده می‌شوند. گیاهان و جانوران در توسعه و گسترش خاک‌ها بوسیله ایجاد مواد آلی اضافی کمک می‌کنند. قارچ‌ها و باکتری‌ها این مواد آلی را به یک ترکیب شیمیایی نیمه محلول تبدیل می‌کنند که هوموس نامیده می‌شود. ارگانیسم‌های بزرگتر موجود در خاک مانند کرم‌های خاکی، سوسک‌ها و موریانه‌ها، هوموس را با مواد معدنی موجود در خاک در هم می‌آمیزند (Garcia et al., 1997). در علم خاکشناسی، هوموس به هر نوع ماده آلی گفته می‌شود که تجزیه و پوسیده شدن آن توسط موجودات زنده به مرحله نهایی و پایداری رسیده باشد و به مرحله‌ای می‌رسد که دیگر شکسته نمی‌شود و چنانچه شرایط محیطی که در آن قرار گرفته، تغییر نکند ممکن است قرن‌ها بدون تغییر باقی بماند. در کشاورزی معمولاً به هوموس نوعی کمپوست بالغ نیز اطلاق می‌شود (Jan et al., 2008).

تعریف هوموس دقیقاً دشوار است زیرا ماده‌ای بسیار پیچیده و شامل ترکیبات مختلفی است که تاکنون کاملاً شناخته نشده است. هوموس با تجزیه مواد آلی خاک متفاوت است. مواد آلی خاک معمولاً خشن به نظر می‌رسند و بقایای قابل توجهی از گیاه اصلی یا ماده حیوانی دارد. در عوض، هوموس کاملاً پوسیده شده، ظاهری کاملاً تیره، اسفنجی و ژله‌ای دارد. ممکن است به تدریج در طی چندین سال تجزیه شود یا تجزیه آن در برخی مواقع هزاران سال ادامه یابد (Hoitink and Fahy, 1986) که شکل، ساختار و کیفیت مشخصی ندارد. با این حال، هنگامی که زیر میکروسکوپ مورد بررسی قرار گیرد، هوموس ممکن است بقایای گیاهی، حیوانی یا میکروبی کوچکی را نشان دهد که از نظر مکانیکی، اما نه از نظر

1. Humus

شیمیایی تخریب شده‌اند (Michael Hogan, C. 2010). این حالت حاکی از مرز مبهم بین هوموس و مواد آلی خاک است. اگرچه متمایز است، هوموس بخشی جدایی ناپذیر از مواد آلی خاک است (De Macedo et al., 2002).

هوموس یک ماده بیوشیمیایی است که در لایه‌های تیره رنگ بالایی خاک تشکیل می‌شود. خود هوموس به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه است. مطالعه هوموس به‌صورت مجزا بسیار مشکل است، چرا که هوموس با ذرات ریز مواد معدنی به‌خوبی مخلوط شده است. هوموس از اسیدها (هومیک و فولیک)، قارچ‌ها، باکتری‌ها، دیاستازها و ترکیبات آلی دیگر که در مراحل گوناگون تجزیه می‌باشند، تشکیل یافته است و در تشکیل آن نقش لیگنین حائز اهمیت فراوان است؛ زیرا مواد نیتروژنه و گلوسیدها بر روی آن تثبیت گشته و به این ترتیب از یک طرف مولکول‌های بزرگ آلی را تشکیل داده و از طرف دیگر به ذرات رس متصل می‌گردد. خاکدانه‌های رسی- هوموسی که به این ترتیب از آمیزش تنگاتنگ مواد آلی و معدنی پدید می‌آیند، ساختمانی نرم و قابل تهویه با ظرفیت بالای ذخیره آب و عناصرغذایی را به خاک می‌بخشد (Lima et al., 2005).

مواد پروتئینی موجود در هوموس که از کالبد موجودات زنده حاصل می‌شود، توسط موجودات ذره‌بینی با منشاء گیاهی و جانوری تجزیه و به آهستگی معدنی شده و به‌طور پیوسته غذای گیاهان را تأمین می‌نمایند. به بیان دیگر هوموس ماده غذایی بینابینی و ذخیره‌ای است که عامل اصلی حاصل‌خیزی خاک را تشکیل می‌دهد. هوموس فواید زیادی را برای خاک فراهم می‌آورد. هوموسی که به‌عنوان جزء آلی خاک محسوب می‌شود، در نتیجه تداوم مراحل تثبیت و معدنی شدن مواد توسط فعالیت‌های میکروبی در خاک ایجاد می‌شود. به همین نحو، بقایای گیاهی تحت تأثیر تداوم این مراحل تغییر شکل داده و اجزای آلی خاک را تشکیل می‌دهند. هوموس خاصیت دینامیکی و پویا دارد و دارای اسیدهای آمینه، پیورین، پیریمیدن، مواد معطر با ترکیبات حلقوی، اسیدهای اورنیک، قندهای آمینه، الکل‌های قندی، قند و اسیدهای حاوی ترکیبات خطی است. به استثنای اسیدهای آمینه و اسیدهای حاوی ترکیبات خطی که محلول هستند، سایر مواد غذایی موجود در هوموس به‌صورت اتصالی بوده و توسط بازها می‌توان آنها را به شکل محلول تبدیل کرد.

هوموس دارای هر سه جزء اصلی فولیک اسید، هیومین و هیومیک اسید است که هیومیک اسید به‌عنوان مقاوم‌ترین جزء دارای حداکثر طول عمر است. قارچ‌هایی مثل پنیسیلیوم و آسپرژیلیوس و برخی از اکتینومیست‌ها، موادی هوموس مانند به رنگ سیاه تولید می‌کنند که در تولید مواد هوموسی به‌عنوان اساس ساختمانی آن تلقی می‌شوند (Helal, 2007).

۵-۱۳-۱- هوموسی شدن[1] فرایند تبدیل ماده آلی به هوموس

افتادن برگ‌ها، شاخه‌ها و سایر بافت‌های گیاهی، جزئی از چرخه زندگی گیاهان است. آنچه که روی زمین می‌افتد، لایه‌ای روی سطح خاک ایجاد می‌کند که آشغال‌برگ خوانده می‌شود. حیوانات هم به روش مشابه می‌میرند. لاشه حیوانات نیز زمانی که با خاک در تماس باشد، به مرور بخشی از خاک می‌شود. همه این مواد وارد فرآیند تجزیه می‌شوند. شکل اولیه آنها کاملاً از بین می‌رود و به اجزای اولیه شیمیایی تبدیل می‌شود که آن را شکل داده بودند. این مواد غذای موجوداتی است که زندگی‌شان وابسته به خاک است، گیاهان در رده اول این موجودات هستند. غیر از روش طبیعی که در آن هوموس تولید می‌شود، این ماده را می‌توان از طریق تولید کمپوست هم تولید کرد. با جمع‌آوری آشغال‌های ارگانیک مانند باقی‌مانده غذاها و پوست میوه‌ها و سبزیجات می‌توان هوموس تولید کرد. هوموس با تشکیل بیش از نیمی از خاک، بخش اصلی آن محسوب می‌گردد. باید گفت که مواد هوموسی که هوموس را ایجاد می‌کنند اغلب ناهمگن و نسبتاً پایدار هستند. بنابراین، ساختار پایداری در خاک به‌وجود می‌آورند. هوموسی که درون خاک یافت می‌شود، قدمتی معادل قرن‌ها دارد. میکروب‌ها و آنزیم‌هایی که تولید می‌کنند، مانع از آن می‌شود که ذرات هوموس به‌طور کامل به دی اکسید کربن تجزیه شوند. اگر این روند پیش نمی‌رفت، هوموس در طول یک دهه تجزیه و به ساختار ناپایداری تبدیل می‌شد. پایداری هوموس موجب می‌شود که مواد غذایی زیادی به گیاه نرسد اما به‌جای آن بافت خاک را بهبود می‌بخشد. اگر ماده‌ای مانند زغال برروی سطح خاک قرارگیرد، کربن موجود در خاک کمتر اکسید می‌شود و در نتیجه

1. Humification

هوموس شکل پایداری می‌یابد. مثال بارزی از این موضوع پیدایش خاک‌های غنی در جنگل‌های آمازون است (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۲- مواد تشکیل‌دهنده هوموس (گیاه‌خاک)

هوموس حاصل تجزیه بقایای موجودات زنده است. بنابراین، جزء اصلی آن کربن است. سایر عناصر شامل نیتروژن، فسفر و گوگرد هستند. وقتی یک ارگانیسم تجزیه می‌شود، هوموس از سایر اجزای مواد ارگانیک مانند پروتئین و چربی جدا می‌شود. میکروارگانیسم‌ها به‌سرعت مولکول‌های کوچکی را که به هوموس تبدیل نشده‌اند، تجزیه می‌کنند. اما در شرایط نرمال، هوموس همچنان برای تجزیه‌شدن به زمان نیاز دارد. در واقع، فرآیند تولید هوموس – هوموس‌سازی- صدها سال طول می‌کشد (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۳- انواع هوموس

ترکیباتی که در هوموس وجوددارند، طبقه‌بندی‌های اصلی هوموس را تشکیل می‌دهند که شامل هوموس خام[1]، هوموس شیرین [2]و هوموس کامل[3] است. علاوه بر ارگانیسم‌هایی که هوموس را تولید می‌کنند، عامل تعیین‌کننده دیگری که طبقه‌بندی‌های هوموس را ایجاد می‌کند، نحوه تشکیل آن در خاک است (https://fa.wikipedia.org). هوموس دارای انواع گوناگونی است که بستگی به کیفیت مواد آلی اولیه، نوع سنگ مادر و شرایط محیطی و خاک دارد.

۱-هوموس مور: فشرده‌تر از دو نوع هوموس دیگر بوده، در اقلیم سردتر و بر روی خاک برگ‌هایی که به دشواری تجزیه می‌شوند (مانند سوزنی‌برگان، کاج و ...) و بر روی خاک‌های ماسه‌ای و اسیدی که عملاً فاقد کلوئید رس می‌باشند، تشکیل می‌شود (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹). اولین نوع هوموس، نوعی است که در شرایط خام تولید می‌شود. این هوموس زمانی در خاک ایجاد می‌شود که میکروارگانیسم‌ها یا حیوانات بسیار کمی در آن حضور دارند. مثال‌هایی از این حیوانات شامل کرم‌های خاکی و سوسک‌هاست. قارچ‌ها هم

1. Mor
2. Mull
3. Moder

بخشی از این اکوسیستم (زیست‌بوم) محسوب می‌شوند. حیوانات به تجزیه مواد ارگانیک زیر خاک کمک می‌کنند. لایه‌های خاک معمولاً با خاکروبه‌های سطحی شروع می‌شود و زیر آن لایه هوموس قرار می‌گیرد. زیر لایه هوموس نیز خاک اصلی قراردارد. اگر جانوارن به اندازه کافی در لایه هوموس نباشند، خاک خام بیشتر از حالت معمول اسیدی می‌شود. این حالت معمولاً در جنگل‌های مخروطی و مکان‌هایی که ارتفاع زیاد و هوای سرد دارند اتفاق می‌افتد (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۲-هوموس مول: پیوند تنگاتنگ با ذرات معدنی دارد و غالباً در اقلیم معتدل و مرطوب بر روی خاک‌های قلیایی و رسی با خاک برگ فراوان و تجزیه‌پذیر تشکیل می‌شود (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹). هوموس شیرین، نوع دوم هوموس است. این نوع هوموس معمولاً در جنگل‌هایی با درختان تنومند و یا در مرتع‌هایی که هوا گرم و مرطوب است شکل می‌گیرند. در این شرایط، تعداد زیادی باکتری، حشرات و کرم‌های خاکی، خاک را تهویه می‌کنند. هوموس به‌سرعت تجزیه و با بخش‌های معدنی خاک کاملاً ترکیب می‌شود. هوموس شیرین محیطی قلیایی است و دارای سطح بالای از pH است (https://fa.wikipedia.org).

۳-هوموس مودر: نوع بینابینی دو قسم فوق می‌باشد. نمونه هوموس اسیدی در اطراف کوه‌های آلپ مشاهده می‌شود (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹). در نهایت، هوموس کامل، بخشی است که بین دو لایه هوموس خام و شیرین قرارمی‌گیرد. نام دیگر هوموس کامل، هوموس شیرینِ حشره‌دار است زیرا حاوی مقدار زیادی از مدفوع بندپایان است. این مواد منجر به اتصال ریشه گیاهان به ذرات معدنی می‌شوند و ساختاری شبکه‌مانند ایجاد می‌کنند. هوموس کامل نسبت به هوموس شیرین دارای مواد ارگانیک بیشتری است اما توانایی ترکیب با مواد معدنی خاک را ندارد (https://fa.wikipedia.org).

فعالیت‌های آلی در خاک‌ها فراوان است. یک سانتی‌متر مکعب از خاک حاوی بیش از ۱۰۰۰۰۰۰ باکتری است. یک هکتار از چراگاه‌ها در یک آب و هوای مرطوب می‌توانند حاوی بیش از ۱۰۰۰۰۰۰ کرم خاکی و ۲۵۰۰۰۰۰۰ حشره باشد. حشرات و کرم‌های خاکی در به هم آمیختن و تهویه خاک‌ها نقش بسیار مؤثری دارند. این ارگانیسم‌ها (موجودات زنده) مسئول ایجاد بخش مهمی از هوموس بوسیله گوارش ناقص مواد آلی هستند (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۴- فواید هوموس

۱- هوموس توانایی خاک را برای نگهداری و ذخیره رطوبت افزایش می‌دهد.

۲- موجب ته نشست مواد حمل شده توسط باد و باران می‌شود.

۳- هوموس منبع مهم مورد نیاز تأمین کربن و نیتروژن گیاهان است.

۴- هوموس باعث بهبود ساختمان خاک برای رشد گیاهان می‌شود (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹).

مفیدترین اثر هوموس تقویت خاک برای پرورش گیاهان سالم‌تر است. هوموس با اتصال ذرات به‌هم موجب بهبود ساختار مواد خاک می‌گردد. این فرآیند کشت نامیده می‌شود. وجود هوموس در خاک‌هایی که شن و رس زیادی دارند بسیار اهمیت دارد. هوموس مانند اسفنجی عمل می‌کند که مواد ارگانیک آن آب و مواد مغذی را به‌خود جذب می‌کنند. همچنین هوموس منجر به کاهش فرسایش در خاک‌های شنی می‌شود و رواناب‌های سطحی را کنترل می‌کند. خوشبختانه در حال حاضر هوموس‌های تجاری در دسترس هستند. یکی از مزایای کاربردی آن این است که این نوع از هوموس‌ها را می‌توان به‌سادگی از طریق فروشگاه‌های اینترنتی یا لوازم باغبانی تهیه کرد (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۵- معایب هوموس

هوموس نواقصی هم دارد. در مقایسه با سایر کودها، مثل کود حیوانی، هوموس مواد مغذی کمتری دارد. میکروب‌ها و کرم‌های خاکی قادرند که به محتوای مغذی هوموس بیفزایند، اما این روند سال‌ها طول می‌کشد. همچنین تعیین محتوای هوموس و اینکه آیا به‌عنوان یک کود، بهترین است یا خیر، کار دشواری است. جدای از منشأ هوموس، روش ساخت و تهیه هوموس عامل مهم دیگری است که محتوای مغذی آن را تعیین می‌کند. اگر روش کمپوست‌سازی در هوموس سرد و آرام باشد، به‌اندازه کافی گرما برای کشتن عوامل بیماری‌زا و مهاجم مانند علف‌های هرز تولید نمی‌شود. از سوی دیگر، کمپوست‌سازی گرم زمانی اتفاق می‌افتد که منبعی از نیتروژن مانند کود حیوانی وجود داشته باشد. این روند هوموس را استرلیزه می‌کند اما مواد مغذی آن کمتر است (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۶- کاربرد هوموس در باغبانی

هوموس را می‌توان به انواع مختلفی از خاک اضافه کرد تا قدرت آن بالاتر برود. هوموس حاوی مقدار زیادی از مواد مغذی و معدنی است که برای رشد گیاه مفید هستند. همچنین باکتری‌های و میکروارگانیسم‌های بسیاری در هوموس هستند که موجب رشد قوی و سالم در گیاهان می‌شوند. در ادامه روش‌های استفاده از هوموس در باغبانی مطرح می‌شوند (https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۷- تعیین میزان هوموس موردنیاز

نسبت معمول هوموس به خاک برابر است با یک فوت مکعب از هوموس در ازای ۲۵ فوت مربع از خاک (در حدود ۰٫۰۳ مترمکعب هوموس به ازای ۲/۳ مترمربع از خاک(یک فوت مکعب تقریباً معادل با یک فرغون پر است). اگر بیش از این مقدار استاندارد، هوموس اضافه کنیم، تأثیر منفی روی گیاه ندارد. قبل از اضافه کردن هوموس، باید آن را به‌خوبی با خاک مخلوط کرد. خاکی که سبک شده باشد بهتر می‌تواند هوموس را با خود ترکیب کند. هدف آن است که کلوخه‌های موجود در خاک از هم باز شوند تا تهویه مناسب در آن صورت گیرد. شخم خاک باید تا عمق حدوداً یک فوتی از خاک یا حداقل ۷ اینچ انجام شود (بین ۱۸ تا ۳۰ سانتی‌متر) (https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۸- ترکیب خاک و هوموس

در مواردی که هوموس ذاتاً دارای ذرات رسی است، می توان بدون نیاز به اقدامات بعدی، هوموس را به خاک اضافه کرد. با استفاد از یک بیل می‌توان به‌سادگی هوموس را روی سطح خاک پخش کرد. توصیه می‌شود که در سطوح کوچک اقدام به ترکیب کنید تا مواد مغذی وقتی در معرض عوامل مختلف مثل باران قرارمی گیرند، از بین نروند. وقتی یکبار از هوموس استفاده کردید، بار بعد خاک را بهم بزنید. با فاصله یک روز، هوموس را می‌توانید دوبار استفاده کنید تا اثربخشی آن بیشتر شود (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۹- کاربرد هوموس در بستر ریشه

هوموس را برای خاک‌های گلدانی و بستر ریشه هم استفاده می‌کنند. در مورد بستر ریشه، ابتدا بستر را با لایه‌ای از برگ‌های خشک بپوشانید و سپس روی آن هوموس بریزید. یک لایه شن به ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری اضافه کنید. این لایه شن موجب به‌تله افتادن رطوبت می‌شود. این طبقه‌بندی مواد برای رشد ریشه گیاه فوق‌العاده است زیرا ریشه‌ها هنگام رشد و گسترش به اطراف با هیچ مانعی مواجه نمی‌شوند. همچنین لایه شن باعث می‌شود که هنگام بروز رواناب مواد مغذی هدر نروند. در نهایت، بافت سبکی که از ترکیب خاک و هوموس ایجاد شد از رشد بی‌جای جوانه‌ها جلوگیری می‌کند و امکان رشد را نواحی دائمی فراهم می‌کند (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۱۰- دفعات کوددهی هوموس

خاک‌های ضعیف باید به‌طور مرتب با هوموس ترکیب شوند. قبل از هر اقدامی، بهتر است که میزان اسیدی بودن خاک را آزمایش کرد. سطح pH خاک باید در محدوده ۶٫۲ تا ۷ باشد. اگر خاک خیلی اسیدی است، اضافه‌کردن گچ یا آهک قبل از ترکیب هوموس ضروری است. از سوی دیگر، سطوح کم pH نیاز به افزودن آب و مخلوط آمونیوم دارد. اضافه‌شدن هوموس به خاکی که pH نامناسبی دارد مشکلی ایجاد نمی‌کند، اما در این شرایط خاک هم برای رشد گیاه مزیتی ندارد زیرا لایه‌های زیرین آن شرایط مناسب را ندارند (https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۱۱- هوموس یا کمپوست

کمپوست اصطلاح دیگری است که در باغبانی و کشاورزی کاربرد دارد. این واژه به مواد ارگانیکی اطلاق می‌گردد که در حال تجزیه هستند. این ماده معمولاً ترکیبی از غذاهای فاسد، برگ‌ها و چمن‌های خشک‌شده است. در هنگام تهیه کمپوست باید ستونی از مواد را که روی هم انباشه شده‌اند به‌طور منظم مخلوط کرد تا مواد تجزیه‌شده و در حال تجزیه در حالت یکنواخت باهم ترکیب شوند. این موضوع سرعت تجزیه را هم افزایش می‌دهد. وقتی فرآیند به پایان رسید، کمپوست بدست‌آمده شبیه به خاک است و هیچ یک از مواد ارگانیک آن قابل تشخیص نیست (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

کمپوست نیز برای بهبود ساختار خاک در باغبانی استفاده می‌شود. خاک‌های سبک به هوا اجازه عبور می‌دهند و توانایی آن را برای نگهداشت آب بیشتر می‌کنند. مواد کمپوستی منجر به زهکشی بهتر و بهبود فعالیت باکتری‌ها در خاک می‌شوند. کمپوست نقش کود هم دارد. در نتیجه، گیاه قادر به جذب بیشتر مواد مغذی است. فایده دیگری هم برای افزودن کمپوست به خاک وجوددارد. کمپوست موجب دفع رشد علف‌های هرز و به‌تله افتادن رطوبت می‌شود (ساگه و همکاران، ۲۰۱۱). اگر بگوییم که فرآیند تجزیه کمپوست به‌اتمام رسیده است، ادعایی نابجاست. کمپوست در سطح میکروسکوپی به فرآیندهای تجزیه در درون خود ادامه می‌دهد. تفاوت اصلی بین کمپوست و هوموس در آن است که کمپوست حاوی مقدار کمی از هوموس است. برای اینکه کمپوست به سطح تجزیه هوموس برسد، سال‌های سال زمان نیاز است. وقتی تجزیه خاتمه یافت، کمپوست تبدیل به هوموس شده است (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹؛ https://fa.wikipedia.org).

۵-۱۳-۱۲- نتیجه‌گیری استفاده از هوموس

در نگاه اول، از دیدگاه باغبانی، هوموس شبیه به ماده‌ای است که ترکیبات آن مشخص هستند، اما با دقت بیشتر درمی‌یابیم که هوموس ترکیب پیچیده‌تری دارد. با بررسی آنچه که درون هوموس است و شناخت فواید و عیوب آن، می‌توان با نگاهی مثبت از این ماده استفاده کرد. آیا فکر می‌کنید که اضافه‌کردن هوموس به زحمتش می‌ارزد؟ لطفاً مارا از نظرات خود مطلع کنید. با شنیدن صدای شما به‌خود می‌بالیم. اگر این مقاله مفید بود، با انتشار آن، دیگران را با هوموس آشنا کنید (https://fa.wikipedia.org).

جدول ۵-۲- ترکیب متوسط کودهای مختلف دامی (Antoun, 1982)

عنصر غذایی	واحد	کودگاوی		کود	کود	کود
		شیری	گوشتی	اسبی	گوسفندی	مرغی
نیتروژن (N)	٪	۲/۲۶	۲/۲۳	۳/۰۹	۳/۶۲	۳/۶۱
فسفر (P)	٪	۰/۶۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۶۸	۱/۹۹
پتاسیم (K)	٪	۲/۰۴	۱/۳۷	۱/۳۷	۲/۹۷	۱/۶۶
کلسیم (Ca)	٪	۱/۴۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۱/۸۱	۷/۰۹
منیزیم (Mg)	٪	۰/۴۴	۲/۳۰	۲/۳۰	۰/۴۷	۰/۸۹
سدیم (Na)	٪	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۳۱
گوگرد (S)	٪	۰/۴۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۴۹	۰/۶۱
روی (Zn)	ppm	۲۰۹/۸۵	۱۵۴/۹۱	۱۵۴/۹۱	۱۴۸/۰۰	۴۶۸/۳۱
مس (Cu)	ppm	۵۴/۷۸	۶۱/۶۷	۶۱/۶۷	۲۷/۰۳	۱۲۴/۹۲
منگنز (Mn)	ppm	۲۳۸/۱۸	۴۰۲/۹۴	۴۰۲/۹۴	۳۵۲/۷۸	۵۲۸/۳۹
آهن (Fe)	ppm	۱۸۵۶/۱۳	۶۱۹۳/۱۰	۶۱۹۳/۱۰	۴۳۶۸/۵۱	۱۶۸۱/۲۲
ماده آلی	٪	۸۵/۱۹	۷۹/۸۵	۷۹/۸۵	۷۷/۳۰	۷۳/۶۳
ماده خشک	٪	۲۰/۰۹	۳۴/۲۶	۳۴/۲۶	۳۰/۳۲	۴۸/۴۱
EC	dS/m	۱۹/۷۴	۱۵/۸۰	۱۵/۸۰	۲۵/۳۳	۴۶/۰۰
PH	-	۷/۵	۷/۳۰	۷/۳۰	۸/۰	۷/۵

جدول ۵-۳- ترکیبات موجود در ورمی‌کمپوست (Antoun, 1982)

عنصر غذایی	درصد
نیتروژن (N)	۱/۵
فسفر (P)	۰/۳
پتاسیم (K)	۰/۵۶
کلسیم (Ca)	۰/۵ – ۱/۰
آلومینیوم (Al)	۱۲۸ – ۵۴۸
کربن آلی (O.C)	۹/۱۵ – ۱۷/۹۸
آهن (Fe) (ppm)	۲/۰ – ۹/۵
روی (Zn) (ppm)	۵/۷ – ۱۱/۵
مس (Cu) (ppm)	۲/۰ – ۹/۵

فصل ششم

ضمیمه

۶-۱- توصیه کودی فسفر در اراضی شالیزاری از منبع سوپر فسفات تریپل برای ارقام بومی برحسب کیلوگرم در هکتار (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور)

فسفر خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)	مقدار P_2O_5 توصیه شده	مقدار سوپرفسفات تریپل توصیه شده
۲/۱-۴	۱۳۰	۲۸۸
۴/۱-۶	۱۱۵	۲۵۵
۶/۱-۸	۹۰	۲۰۰
۸/۱-۱۰	۷۵	۱۶۶
۱۰/۱-۱۲	۶۰	۱۳۳
۱۲/۱-۱۴	۴۵	۱۰۰
۱۴/۱-۱۶	۳۰	۶۶
۱۶/۱-۱۸	۱۵	۳۳
۱۸/۱-۲۰	--	--

۶-۲- توصیه کودی پتاسیم در اراضی شالیزاری از منبع کلرور پتاسیم یا سولفات پتاسیم برای ارقام بومی برحسب کیلوگرم در هکتار (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور)

پتاسیم خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)	مقدار K_2O توصیه شده	مقدار کلرور پتاسیم توصیه شده	مقدار سولفات پتاسیم توصیه شده
۳۰-۶۰	۱۷۵	۲۹۲	۳۵۰
۶۱-۹۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۰۰
۹۱-۱۲۰	۱۲۵	۲۰۸	۲۵۰
۱۲۱-۱۵۰	۱۰۰	۱۶۷	۲۰۰
۱۵۱-۱۸۰	۷۵	۱۲۵	۱۵۰
۱۸۱-۲۱۰	۵۰	۸۳	۱۰۰

۶-۳- دامنه و میانگین تعدادی از خصوصیات شیمیایی خاک (تعداد نمونه خاک ۳۹۹) (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور)

عنصر	میانگین	حداقل	حداکثر
نیتروژن کل (٪)	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۸۹
فسفر قابل استفاده (پی پی‌ام)	۱۲	۰/۲	۱۱۹
پتاسیم قابل استفاده (پی پی‌ام)	۱۷۰	۳۷/۲	۹۷۰/۲
pH	۷/۳۵	۵/۸۸	۷/۹۸
EC (dsm^{-1})	۰/۹۸	۰/۲۱	۲/۶۸
روی قابل استفاده (پی پی‌ام)	۸/۷	۰/۳۱	۷۰/۵

۶-۴- مقدار عناصر در بافت گیاه برنج (کارهای پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور)

مقدار عناصر در بافت گیاه برنج	حداقل	حداکثر	میانگین
نیتروژن (٪)	۰/۱	۰/۳۱	۰/۱۹
فسفر (٪)	۰/۰۲	۰/۳۲	۰/۱۴
پتاسیم (٪)	۱	۲/۵۸	۱/۸۲
مس (میلی‌گرم/ کیلوگرم)	۴/۳۱	۱۱/۸۷	۷/۴۸
منگنز (میلی‌گرم/ کیلوگرم)	۱۹۴/۸	۸۷۵	۴۲۳/۷
آهن (میلی‌گرم/ کیلوگرم)	۴۳/۶۵	۲۴۳/۷	۱۲۷/۰۴
روی (میلی‌گرم/ کیلوگرم)	۷/۷۵	۸۸/۷	۱۷/۰۳

منابع

۱. آستارایی، ع و کوچکی، ع. ۱۳۷۵. کاربرد کودهای بیولوژیک در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه مشهد.

۲. بای‌بوردی، م.، ملکوتی، م. ج.، امیر مکری، ه و نفیسی، م. ۱۳۷۹. تولید و مصرف بهینه کود شیمیایی در راستای اهداف کشاورزی پایدار. نشر آموزش کشاورزی، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، وزارت جهاد کشاورزی، ۲۸۲ ص.

۳. تولی، ا. ۱۳۸۷. بررسی موارد استفاده از ضایعات برنج به‌ویژه کاه و کلش در جهت توسعه کشاورزی پایدار. سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدیدشونده در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، ایران.

۴. جهانی، م.، بشارتی، ح. و گلچین، ا. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست‌های غنی شده بر درصد ظهور گیاهچه و وزن خشک بوته ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۳۸ -۳۳: (۱)۲۵.

۵. حیدری، ح. ۱۳۸۴. وضعیت کشور از نظر کشاورزی ارگانیک، فایل نرم افزاری تهیه شده برای معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی.

۶. خرازی، س. م.، یونسی، ح. و عابدینی طرقبه، ج. ۱۳۹۳. تأثیر ترکیب ضایعات ذرت با کود گاوی و کارتن بر کیفیت ورمی‌کمپوست تولید شده با Eisenia fetida. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۸۹ -۱۷۹: (۱۰۳).

۷. دلاور، م. ا. و محمدی، م. ۱۳۹۱. تفسیر نتایج آزمون خاک اعداد چه معانی می‌دهند؟. انتشارات دانشگاه زنجان. ۲۷۰ ص.

۸. رضوی، س. ا.، کامکار، ب. و صادقی‌پور، ح. ر. ۱۳۹۳. تجزیه بقایای پنج گیاه زراعی به کمک چهار گونه قارچ گندروی خاک‌زی و چوب‌زی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۳۴۶ -۳۳۱: (۴)۴.

۹. رضوی پور، ت. ۱۳۸۷. اثر استفاده از آزولای تازه و کمپوست شده بر عملکرد دانه و جذب عناصر در دانه و ساقه برنج. سومین کنگره ملّی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی. اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، دانشکده کشاورزی.

۱۰. رضوی‌پور، ت. ۱۳۸۷. تهیه کمپوست از آزولا و کاه برنج. نشریه شماره ۸۶/۶۱۸، مرکز اطلاعات علمی کشاورزی.

۱۱. سلیمانی، ع و امیری لاریجانی، ب. ۱۳۸۳. اصول بهزراعی برنج. انتشارات آرویج. ۳۰۳ صفحه.

۱۲. کریمی امیر کیاسرم و کاوسی. م، ۱۳۹۲. غلظت بحرانی فسفر در خاکهای شالیزاری استان گیلان. مجله دانش آب و خاک. جلد ۲۳. شماره ۱. صفحات ۱۳۴-۱۲۳

۱۳. غروی‌بایگی، م.، پیردشتی، ه.، عباسیان، ا. و آقاجانی مازندرانی، ق. ۱۳۹۳. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم طارم هاشمی در کشت توأم برنج، اردک و آزولا (*Azolla* sp). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۴۸۷-۴۷۷: (۳)۶.

۱۴. غلامی، ی.، درخشان، ع.، غلامی، ا.، قلی پور، م.۱۳۹۳. تأثیر منابع و مقادیر مختلف کود سیلیس بر رشد، عملکرد و میزان آلودگی به کرم ساقه خوار در رقم طارم هاشمی و لاین 348 در گیاه برنج. نشریه دانش زراعت. سال پنجم. شماره ۱۰. صفحه ۶۴-۵۳.

۱۵. فلاح، ع. ۱۳۸۵. میکروبیولوژی خاک (ترجمه). انتشارات آییژ. ۱۷۹ صفحه.

۱۶. کاوسی، م.۱۳۸۵. بررسی ضرورت کاربرد سیلیسیم در شالیزارهای گیلان. موسسه تحقیقات برنج کشور. گزارش نهایی.

۱۷. کاوسی، م.. ۱۳۷۴ تعیین مدل پیش بینی عملکرد برنج در شوریهای مختلف برای ارقام سپیدرود، حسن سرایی و خزر. پایان نامه کارشناسی خاکشناسی. دانشگاه تبریز. تبریز. ایران.

۱۸. کاوسی، م. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۵. تعیین حد بحرانی پتاسیم با عصاره گیر استات آمونیوم در شالیزارهای گیلان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰(۳). ۱۱۳-۱۲۳.

۱۹. کاوسی، م. ۱۳۷۸. مطالعه عوامل مؤثر در جذب پتاسیم از خاک توسط گیاه برنج و تعیین عصاره گیر مناسب برای پتاسیم در برخی از شالیزارهای گیلان. رساله دکتری خاکشناسی. دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان. ایران.

۲۰. ملکوتی، م. ج. و کاوسی، م. ۱۳۸۳. تغذیه متعادل گیاه برنج. انتشارات سنا.

21. Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A. and Idowu, O. J. 2005. Application of organic fertilizer for sustainable maize and cowpea yield in Nigeria. Journal of Plant Nutrition, 27(7): 1163- 1181.

22. Agarie, S., H. Uchida, W. Agata, F. Kubota, and B. Kaufamn, 1993. Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice (Oryza sativa L.). Crop Production and Improvement Technology, 34: 225-234.

23. Aighewi, I.T., and Russalle, M.P. 1993. Development and validation of equations to predict index of subsoil potassium supply capability. Soil Sci. 155: 349-356.

24. Alam, S. M. 2004. "Azolla" a green compost for rice. The DAWN Group of Newspapers.

25. Alivelu, K., Subba Rao, A., Sanjay, S., Singh, K.N., Raju, N.S., Madhuri, P. 2006. Prediction of optimal nitrogen application rate of rice based on soil test values. Europ. J. Agronomy 25 (2006) 71–73

26. Balastra, M. L., C. M. Juliano, P. Villreal, 1989. Effect of silicon level on some proprietes Oryza sativa straw and Hult. Canadian Journal of Botany, 67: 2356-2363.

27. Bangar, K. C., Shanker, S., Kapoor, K. K., Kamlesh, K. and Mishra, M. M. 1989. Preparation of nitrogen and phosphorus – enriched paddy straw compost and its effect on yield and nutrient uptake by wheat (Triticum aestivum L.). Biology and fertility of soil, (8), pp 339 – 342.

28. Bell, M. A., Balasubramanian V. and Richman, J. F. 2004. Composting Rice Residue International Rice Research Institute (IRRI).

29. Beringer, H., and Nothdurft, F.1985. Effect of potassium on plant and cellular structures. P.351-367In: Munson, R.D. (ed.) Potassium in agriculture.SSSA,Madison, WI.

30. Bidwell, O. W. 1982. Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. American Journal of Alternative Agriculture, 91-92.

31. Biswas, B. C., Yadav, D. S. and Soumitra, N. 1996. Effect of nitrogen on yield and quality of field crops. In: H. L. S. Tadson (ed.) Nitrogen research and crop production. Fertilizer Development and Consulation Organization.New Delhi, India pp.173.

32. Black, C. A. 1993. Soil fertility evaluation and control, Lewis. Pub.

33. Bear, Firman E., and Stephen J. Toth. 2016. "Influence of calcium on availability of other soil cations." Soil Sci 65, no. 1 (1948): 69-75. Havlin, J. L.,

Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2016). Soil fertility and fertilizers. Pearson Education India.

34. Bouman, B.A.M., Tuong, T.P. 2001. Field water management tosave water and increase its productivity in irrigated rice.Agric Water Manag 49:11–30

35. Buresh, R., Peng, S., Huang, J., Yang, J., Wang, G., Zhong, X., and Zou, Y. 2004. Rice systems in China with high nitrogen inputs. In: A. R. Mosier, J. K. Syers and J. R. Freney (eds.). Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment.

36. Chaoming, Z., L. Jianfei, and CH. Liping, 1999. Yield effects on the application of silicon fertilizer in early hybrid Rice. Journal Article, 2: 79 -80.

37. Chen, J.X, Xuan, J.X, Du, C.L. and Xie, J.C. 1992. Effect of potassium nutrition of different varieties of rice on the redox status in microzone rizosphere soils. IPI. Subject 6.4th Suite. No.2.

38. Chen, L., Lin, L., Cai, G., Sun, Y., Huang, T., Wang, K. and Deng., j. 2014. Identification of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Deficiencies in Rice Based on Static Scanning Technology and Hierarchical Identification Method. journal.pone.0113200

39. Corey, R.B.1987. Soil test procedures. P.15-21 In: Browns, J.R. (ed.) Soil testing: Sampling, correlation, calibration and interpretation. SSSA. Special Pub.21.

40. Dahnke, W.C., and R.A. Olson, R.A. 1990. Soil test correlation, calibration and recommendation. P.45-71 In: Soil testing and plant analysis. SSSA Book Series, no.3.

41. Davatgar, N., Zare, A. Shakoori, M. K., Rezaeii, L., Kavoosi, M., Sheikholeslam, H., Shahnazari, M., Kahne, E., 2015. Fertility Status of Paddy Soils in Guilan Province. Journal of Land Management (Issue 1). 3:1-13.

42. De Datta, S. K. 1981. Principles and practices of rice production. John Wiley and Sons, Inc. P. 402-404

43. De Datta, S.K., and Mikkelsen, D.S. 1985. Potassium nutrition of rice. P.665-701

44. In: Munson, R.D. (ed.)Potassium in agriculture. SSSA. Madison, WI.

45. De Datta, S.K.1978. Fertilizer management for efficient use in wetland rice soils. P.671-702 In: Soils and rice.Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.

46. Doberman, A. and Fairhurst, T. 2000. RICE Nutrient Disorders and Nutrient Management. ISBN 981-04-2742-5. Pp203.

47. Doberman, A. and Firhurest, T. 2005.Rice Nutrient Disorders & Nutrient Management.Mazandran University Publication.

48. Dobermann, A., and Fairhurst, T. 2000. Nutrient disorders and nutrient management. Handbook series. p. 12-83. PPI. PPIC- IRRI.

49. Eckert, D.J.1987. Soil test interpretations. Basic cation saturation ratios and sufficiency levels. P.53-63 In: Browns, J.R. (ed.) Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation. SSSA. Special Pub.21.

50. Eghball, B., Wienhold, B. and Gilley, J. 2001. Comprehensive manure management for improve nutrient utilization and environment. International Soil and Water Conservation Research, 1: 128- 135.

51. Emami, A. 1997. Plant analysis methods. Agricultural Research, Training and Promotion Organization, Soil and Water Research Institute.Pp 128.

52. Epstein, E., 2009. Silicon: Its manifold roles in plants. Department of Land, Air and Water Resources – Soils and Biogeochemistry, University of California, Davis, CA, USA. pp. 155-160.

53. Evans, C.E.1987. Soil test calibration. P.23-29 In: Browns, J.R. (ed.) Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation. SSSA. Special Pub.21.

54. Garcia, F. D., Obcemea, W. N., and Gruz, R. T. 1997. Inorganic and organic fertilizer for lowland rice: Effect on soil available nitrogen and grain yield. Philippine Journal Crop Science, 22: 35-42.

55. Gething, P.A.1990. Potash facts. Int. Potash Inst. Bern, Switzerland.

56. Gill, J. S., and Walia, S. S. 2014. Influence of FYM, Brown Manuring and Nitrogen Levels on Direct Seeded and Transplanted Rice (Oryza sativa L.) A review. Research Journal of Agriculture and Environmental Management, 3(9): 417- 426.

57. Goyal, S., Singh, D., Suneja, S. and Kapoor, K. K. 2009. Effect of rice straw compost on soil microbiological properties and yield of rice. Indian Journal of Agriculture Research, 43(4): 263- 268.

58. Graham, E. R. and Baker, W. L.1951. Ionic saturation of plant roots "with special reference to hydrogen. Soil Sci. 72: 435-441

59. Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L. and Beaton, J.D., 2016. Soil fertility and fertilizers. Pearson Education India

60. Helal, A. A. 2007. Binding constant of thorium with gray humic acid. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 274(3), pp.575-580.

61. Hofman, G., and Van cleemput, O. 2004. Soil and plant nitrogen. International fertilizer industry association, first version, published by IFA

62. Hua, W. K. 1994. Available silicon contents of paddy soils and the effect of silicon fertilization on rice in Sichuan province. Pedosphere. 4(1):67-78.

63. IRRI (International Rice Research Institute). 1973. Annual report for 1972. Los Baños, Philippines.

64. Johnston, A.E., and Krauss, A.1998. Is exchangeable K a sufficient guide for K recommendations? Proceed. 18 World Soil Sci. Cong. Paris, French.

65. Kawaguchi, K., Kyuma, K.1977. Paddy soils in tropical Asia. Univ. of Hawaii Press.

66. Kaya, C., L. Tuna, and D. Higgs, 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress condition. Journal of Plant Nutrition, 29: 1469- 1480.

67. Lagreid, M., Bockman, O.C. and Kaarstad, O. 1999. Agriculture, fertilizers and the environment. CABI Publishing, Oxon, UK, 294 pp.

68. Lima, C. C., mendonca, E. S. and Silva, I. R. 2005. Effect of mineral enrichment on the humic fraction composition during the composting process. Universidade Federal de Vicosa, 36.571000, Vicosa, MG, Brazil.

69. Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils.John Willey & Sons, New York, 449 pp.

70. Ma, J. F., & Takahashi, E. 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. Elsevier.

71. Ma, J. F., and E. Takahashi. 1990. The effect of silicic acid on rice in a P-deficient soil. Plant Soil. 126(1):121-125.

72. Maas, E.V. and Hoffman, G.J.1977. Crop salt tolerance- current assessment. J. Irrig. Drai. Div. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 103:115-134.

73. Mahmoud Soltani, S., Hanafi, M.M., Wahid, S.A. and Kharidah, S.M.S., 2015. Zinc fractionation of tropical paddy soils and their relationships with selected soil properties. Chemical Speciation & Bioavailability, 27(2), pp.53-61.

74. Malakouti, M. J., Keshavarz, P. and Karimyan, N., 2008. Comprehensive Approach towards Identification of Nutrient Deficiencies and Optimal Fertilization for Sustainable Agriculture (7th Ed.). Tarbiat Modares University Publication.

75. Malakooti, M.J., and Kavoosi, M. 2004. Balance nutrition of rice. SANA publication press. Iran, 611p

76. Malavolta, A.E. 1985. Potassium status of tropical and subtropical region soils.Pp. 163-200 In: Munson R.D.9ed.) "Potassium in agriculture". SSSA. Madison, WI.

77. Martin, H.W., and D.L. Sparks, D.L.1985. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 16: 133-162.

78. Matin Far, H. M. and Mleki, A. 2010. Soil Science. Lorestan University Publication.

79. Mc Lean, E. O. 1977. Contrasting concepts in soil test interpretation: Sufficiency levels of available nutrient versus basic cation saturation ratios. P. 39-54 In: T. R. Peck et al. (eds.) Soil testig: correlating and interpreting the analytical results. Spec. Pub. 29. American society of Agron. Crop Sci. Soc. Am, and soil sci. Soc. Am. Madison, WI.

80. McCauley, A., Jones, C and Jacobsen, J. 2003. Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms No.9. Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. Pp 16.

81. McKeague, J. A. and M. G. Cline. 1963. Silica in soils solutions. 11. The absorption of monsilic acid y soil and by other substances. Can. J. Soil Sci. 43, 83-96.

82. Meha, D.S., Gupta, A.P. and Panwar, D.V.S.1995. Potassium fertilizer for higher yields in scented rice. Int. Rice Res. Notes. 20(1):150.

83. Merrill, R. C., 2005. Industrial Applications of the Sodium Silicontes, Some Recent Developments, Quartz Company, Philadelphia, Chap. 3: 337.

84. Motti, L. C., 2018. Nutritional recommendations for: RICE. Published on Haifa Group. From https://www.haifa-group.com/rice-fertilizer/crop-guide-rice-nutrition.

85. Mustscher, H.1995. Measurement and assessment of soil potassium. Int. potash Inst. Res. Topic.4.

86. Nagornyy, V.D. 2013. Soil and plant laboratory analysis, Moscow. University of Russia.

87. Nonaka, K., and K. Takahashi. 1988. A method of measuring available silicates in paddy soils. Jpn. Agric. Res. Quart. 22: 91-95.

88. Nwajiaku, I.M., Sato, K., Tokunari, T., Kitano, S. and Masunaga, T. 2018. Improvement of Rice Husk Residue Silicon Availability for Replenishing Available Silicon in Paddy Soil.International Journal of Plant & Soil Science. 24(2): 1-11.

89. Olk, D.C., Cassman, K.G. and Carlson, R.M.1995. Kinetics of potassium fixation in Vermiculitic soils under different moisture regimes. Soil Sci. Soc.Am. J.59:423-429.

90. Owen Plank, C. 1992. Plant Analysis Reference Procedures for the Southern Region of the United States. pp 68.

91. Payawal, P. C. 1989. Azolla, The nitrogen fixing aquatic fern. University of Philippines at Los Banos.

92. Ponnamperuma, F. N. 1978. Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. Soils and rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines, pages 421–444.

93. Ponnamperuma, F.N. 1977. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. Int. Rice Res. Inst. Paper ser. 5. 32pp.

94. Ponnamperuma, F.N.1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron.24:29-96.

95. Rahmatullah, S. M., and Mengel,K. 1993. Potassium uptake by plants as offected soil conditions. P. 167-178 In: Mengel, K., and A. Krauss (eds.) K availability of soils in west Asia and north Africa-status and perspectives. Proc. of the Reg. Symp. Held in Tehran, Iran.

96. Raju, A. R. 2008**.** Rice technology: Planting, harvesting, harvesting. Agricultural and Natural Resources Engineering Organization of Iran. Translators: Mohammad Sabbar Homishi ,Mohammad Babak Abbasari

97. Raju, R, A. 2003.Glimpses of Rice Technology. Agrobios (India), p: 262.

98. Rakhshaee, R., Khosravi, M. and Ganji, M. T. 2006. Kinetic modeling and thermodynamic study to remove Pb (II), Cd (II), Ni (II) and Zn (II) from aqueous solution using dead and living Azolla filiculoides. Journal of Hazardous Materials, 2006; 134

99. (1-3):120–9.

100. Ray Campbell, C. 2013. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States (Eds.). URL: www.ncagr.gov/agronomi/saaesd/scsb394.pdf. ISBN: 1-58161-394-6.

101. Rice knowledge Bank. Published on International Rice Research Institute. From http://www.knowledgebank.irri.org/

102. Rossate, L., P. Laine, and A. Qurry, 2001.Nitrogen storage and remobilization in Brassica napus L. during the growth cycle. Journal of Experimental Botany, 52 (361): 1655-1663.

103. Salardini, A.A. 2004. Soil Fertility. University of Tehran Press. Pp428.

104. Samuels, A.L., Glass, A.D.M., Ehret, D.L. and Menzies, J.G., 1993. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics. Annals of Botany, 72(5), pp.433-440.

105. Sannathimmappa, H. G., Gurumurthy, B. R., Jayadeva, H. M., Rajanna, D. and Shivanna, M. B. 2015. Effect of paddy straw based integrated nutrient management practices for sustainable production of rice. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. 8(1): 74- 77.

106. Shahaei, S. (Translate).2007. The Nature and properties of soils. University of Kordestan. Press. Pp880.

107. Shak, K. P., Wu, T. Y., Lim, S. L. and Lee, C. A. 2014. Sustainable reuse of rice residues as feedstocks in vermicomposting for organic fertilizer production. Environmental Science Pollution Research, 21(2): 1349- 1359.

108. Sharpley, A. N., McDowell, W. R. and Kleinmon, P. J. A. 2004. Amounts, forms and solubility of phosphorus in soils receiving manure. Soil Science Society of America Journal, 68(6): 2048- 2057.

109. Shindo, H. and Nishio, T. 2005. Immobilization and remineralization of nitrogen following addition of wheat straw in to soil: determination of gross nitrogen transformation rates by nitrogen- ammonium isotope dilution technique. Soil Biology and Biochemistry, 37(3): 425- 432.

110. Shokri vahed, H. 2011. The Residual Effect of Long-Term Consumption of Phosphorus Fertilizer on rice field Soil Fertility. Final report. Published on Rice Research Institute of Iran. (In Persian).

111. Singha, S. R., Maitraa, D. N., Kundua, D. K., Majumdara, B., Sahaa, A. R. and Mahapatraa, B. S. 2014. Integrated Fertilizer Prescription Equations for Recommendations of Fertilizers in Jute–Rice–Garden Pea Sequence on Alluvial Soil of Eastern India.

112. Takeshi, W., Luu, H. M., Duong, M. V., Vu, T. Kh. and Nguyen, N. H. 2009. Effects of continuous rice straw compost application on rice yield and soil properties in the Mekong Delta. Soil Science Plant Nutrition, 55(6): 754- 763.

113. Tisdal, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. and Halvin, J.L. 1993**.** Soil fertility and fertilizers. Macmillan Pub.634p.

114. Tisdale, S. L., W. L. nelson, and J. B. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. 4th Ed. Macmillan Pub. Company.

115. Toufiq Iqbal, M.D. 2005. Measurement of ammonia emission following surface application of urea fertilizer from paddy fields. Pakistan Journal of Biological Sciences 8(3): 429-432

116. Tubaña, B.S. and Heckman, J.R., 2015. Silicon in soils and plants. In Silicon and plant diseases (pp. 7-51). Springer, Cham.

117. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2002. Guidance for Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection (EPA QA/G-5S). From epa.gov/quality/index.html.

118. USDA Natural Resources Conservation Services. 2003. Managing soil organic matter. Technical Note No. 5. WWW.soils.usda.gov. 29-www.worldbank.org.

119. USDA Natural Resources Conservation Services.1996. Soil quality indicators: Organic matter. Soil Quality Information Sheet.

120. Von Uexkull, H. R. 1979. Aspects of fertilizer use in modern high-yield rice culture.Int.Potash Inst., Bulletin No.3. Bern, Switzerland.

121. Williams, J.f., Horwath, W.R., Pettygrove, S.G., Plant, R.E., Kessel, C.V., Linquist, B. OGeen, A.T., Hill, j.E., Bruice, C and Hartley, C. 2010. Rice nutrient management in California.From http://anrcatalog. Ucdavis.edu.

122. Wolie A. W. and Adamassu, M. A. 2016. Effects of Integrated Nutrient Management on Rice (Oryza sativa L) Yield and Yield Attributes, Nutrient Uptake and Some Physico-Chemical Properties of Soil: A Review. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 6(5): 20- 26.

123. Xu, M. G., Li, D. C., Li, J. M., Qin, D. Z., Yagi, K. and Hosen, Y. 2008. Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield rice in Hunan of Southern China. Agricultural Sciences in China, 7(10): 1245- 1252.

124. Yamane, I.1978. Electrochemical changes in rice soils. Soils and rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines, pages 381–398.

125. Yamauchi, M., and M. D. Winslow. 1987. Silica reduces disease on upland rice in a high rainfall area. International Rice Research Newsletter. 12(6):22-23.

126. Yazdani Biouki, R., Bannayan Aval, M., Khazaie, H. R. and Sodaeeizadeh, H. 2014. Investigating the effects of urea, Azocompost and cutting on quantitative and qualitative characteristics of Oregano (Origanum vulgare virid). International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(4): 993- 1010.

127. YosefTabar, S. 2013. Role of biological nitrogen fixation in rice. International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences Volume 1 Issue 1.

128. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.

129. Zanão Júnior, L.A., Fontes, R.L.F., Neves, J.C.L., Korndörfer, G.H. and Ávila, V.T.D., 2010. Rice grown in nutrient solution with doses of manganese and silicon. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34(5), pp.1629-1639.

130. Zayed, B. A., Elkhoby, W. M., Salem, A. K., Ceesay, M. and Uphoff, N. T. 2013. Effect of integrated nitrogen fertilizer on rice productivity and soil fertility under saline soil conditions. Journal of Plant Biology Research. 2(1): 14- 24.

131. Zayed, G. and Abdel motaal, H. 2004. Bioactive composts from rice straw enriched with rock phosphate and their effect on the phosphorus nutrition and microbial community in rhizospher of cowpea. Bioresource Technologym 96(8), pp.929-935.