



کودهای آلی و بیولوژیک و اهمیت آنها در کشاورزی پایدار

مؤلفان:

دکتر تیمور رضوی پور کومله

دکتر سینا سیاوش مقدم

دکتر بهنام دولتی

مهندس فائقه جنگجو

تابستان ۱۳۹۹

عنوان و نام پدیدآور	: کودهای آلی و بیولوژیک و اهمیت آنها در کشاورزی پایدار/مولفان تیمور رضوی پور... [و دیگران]؛ ویراستاران علمی محمد محمدیان، صاحب سودایی، شهرام محمودسلطانی؛ ویراستار ادبی مهدی جلائیان.
مشخصات نشر	: تهران: نارون دانش، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۲ ص.
شابک	: 978-622-715862-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: مولفان تیمور رضوی پور، سینا سیاوش مقدم، بهنام دولتی و فائقه جنگجو.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۸۱.
موضوع	: کودهای زیستی Biofertilizers
موضوع	: قارچ های میکوریز Mycorrhizal fungi
موضوع	: میکوریزا در کشاورزی Mycorrhizas in agriculture
شناسه افزوده	: رضوی پور، تیمور
رده بندی کنگره	: ۵/۶۵۴
رده بندی دیویی	: ۶۳۱/۸۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۱۹۴۲۵۷

	آدرس: میدان انقلاب اسلامی، خیابان کارگر شمالی، خیابان نصرت شرقی، پلاک هفتادودو، واحد یک شماره تماس: ۰۹۲۲۴۰۱۳۷۰۴ و ۰۲۱۶۶۹۳۲۲۴۵ آدرس الکترونیکی: narvanpub@gmail.com آدرس سایت: www.narvanpub.com	
--	---	---

نام کتاب: کودهای آلی و بیولوژیک و اهمیت آنها در کشاورزی پایدار مؤلفان: تیمور رضوی پور، سینا سیاوش مقدم، بهنام دولتی و فائقه جنگجو ویراستاران علمی: محمد محمدیان، صاحب سودایی، شهرام محمودسلطانی ویراستار ادبی: مهدی جلائیان طرح روی جلد: الویرا صیامی صفحه آرای: اکرم ملک نژاد این اثر به شماره ی k98-28 و تاریخ ۱۳۹۸/۱۲/۱۰ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی به ثبت رسیده است. نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۹ ناشر: انتشارات نارون دانش شمارگان: ۱۰۰۰ جلد قیمت: ۳۸۰۰۰ تومان شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۱۵۸-۶۲-۵ * هر گونه چاپ و تکثیر فقط در انتشارات مؤسسه تحقیقات برنج کشور است.

پیش گفتار

افزایش تولید محصولات کشاورزی در جهت تأمین نیازهای جامعه مستلزم استفاده از کودها می‌باشد. کشاورزان و تولیدکنندگان زراعی به منظور تقویت زمین‌های کشاورزی، بهبود حاصلخیزی خاک و در پی آن افزایش تولیدات از کودها استفاده می‌کنند. امروزه حذف یا کم نمودن مصرف کودهای شیمیایی نظیر فسفات و نیتрат و جایگزینی آنها توسط کودهای آلی و زیستی از اهمیت بالایی برخوردار است. کاربرد کودهای شیمیایی برای تولید بیشتر محصولات کشاورزی دارای اثرات زیست‌محیطی قابل توجه و جبران ناپذیری بوده که از جمله آنها می‌توان به کاهش کیفیت خاک، آب و آلودگی آنها، تأثیر بر موجودات زنده، کم شدن عناصر غذایی خاک، کاهش فعالیت میکروبی و از بین رفتن مواد ارگانیکی و حاصلخیزی خاک، تخریب محیط زیست، خاک و نیز تجمع عناصر سنگین اشاره نمود. کودهای آلی شامل بقایای گیاهی و جانوری هستند که به منظور تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود خاک به آن افزوده می‌شوند. مواد آلی به دلیل اثرات مثبت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به‌عنوان عامل مهم در حاصلخیزی خاک اهمیت دارند. ارزان بودن، آلودگی کمتر نسبت به کودهای شیمیایی و کاهش آثار زیست‌محیطی منفی حاصل از استفاده از کودهای شیمیایی، بهبود تولید محصول، افزایش حاصلخیزی، جلوگیری از فرسایش و اصلاح عملکرد خاک، افزایش قدرت جذب مواد غذایی توسط گیاه و سازگاری با آن از جمله ویژگی‌ها و مزیت‌های استفاده از این کودها می‌باشند. این کتاب به اهمیت و استفاده از کودهای آلی و بیولوژیکی در کشاورزی می‌پردازد. کتاب حاضر به منظور بررسی اثرات و مضرات استفاده از کودهای شیمیایی، کاربرد کودهای آلی و زیستی تألیف شده است که می‌تواند مورد استفاده دانشجویان، اساتید و دست‌اندرکاران در حوزه کشاورزی قرار گیرد. صاحب نظران و خوانندگان ارجمند می‌توانند جهت بهبود هر چه بیشتر کیفیت مطالب کتاب انتقادهای و پیشنهادهای خود را با مؤلفان کتاب در میان گذارند.

مؤلفان

یک هزار و سیصد و نود و هشت هجری شمسی

سپاسگزاری

خداوند قادر متعال را سپاس می‌گوئیم که توفیق تهیه و تدوین این کتاب را به اینجانبان عطا فرمود. این کتاب حاصل ترجمه، گردآوری و تألیف مطالب علمی محققان دنیا و میهن عزیزمان ایران و همچنین برگرفته از نتایج پروژه‌های متعدد تحقیقاتی و پایان‌نامه‌های دانشجویی بوده است که اینجانبان در اجرای آنها به عنوان مجری مسئول، راهنما، مشاور و غیره همکاری داشته‌ایم. از کلیه دوستان و همکاران موسسه تحقیقات برنج کشور و همکاران بخش تحقیقات خاک و آب به‌ویژه خانم معصومه بصیری که در تایپ، تنظیم و صفحه‌آرایی متن کتاب اینجانبان را یاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمائیم. از زحمات اعضای محترم شورای انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور و داوران محترم که در چند مرحله این کتاب را داوری کرده و نظرات ارشادی دادند سپاسگزاری و قدردانی می‌نمائیم.

مؤلفان

یک هزار و سیصد و نود و هشت هجری شمسی

فهرست مطالب

مقدمه	۱۱
تاریخچه‌ای در خصوص انواع کودها	۱۱
مقدمه بر کشاورزی پایدار	۱۲
فصل اول: اهمیت حاصلخیزی خاک	۱۵
سلامت و کیفیت خاک	۱۸
ویژگی‌های فیزیکی خاک	۲۱
ویژگی‌های شیمیایی خاک	۲۶
ویژگی‌های بیولوژیکی خاک	۲۹
عوامل کنترل کننده مواد آلی در خاک	۳۱
افزایش عملکرد و تولیدات گیاهی	۳۱
کاهش تجزیه یا تخریب ماده آلی	۳۲
فصل دوم: کودها	۳۳
دسته‌بندی کودها	۳۴
۱- کودهای شیمیایی	۳۴
استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی در خاک	۳۵
۲- کودهای آلی (ارگانیک)	۳۶
۱-۲- کودهای دامی	۳۹
ترکیب و مشخصات کود دامی	۴۲
عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی کود دامی	۴۵
روش و زمان مصرف کود دامی	۴۶
فرآوری کود دامی	۴۶
تخمیر غیرهوازی فضولات دامی و ضایعات کشاورزی	۴۷
کود گوسفندی	۴۹
کود مرغی	۴۹
شرایط نگهداری کود مرغی	۵۰
تعیین مقدار مصرف کود مرغی	۵۰

۵۱	 زمان و نحوه مصرف کود مرغی
۵۲	 ۲-۲- کود سبز
۵۳	 کاربرد کود سبز به عنوان یک کود ارگانیک
۵۷	 بهترین زمان تهیه کود سبز
۵۷	 مزایای استفاده از کودهای سبز
۵۹	 محدودیت‌های استفاده از کود سبز
۵۹	 روش‌های کشت کودهای سبز
۶۰	 شرایط برگرداندن کود سبز به زمین
۶۳	 فصل سوم: کودهای بیولوژیک یا زیستی
۶۳	 مقدمه
۶۷	 تاریخچه
۶۸	 کشاورزی ارگانیک
۷۰	 کشاورزی زیستی در ایران
۷۰	 اصول و اهداف کشاورزی ارگانیک
۷۳	 مدیریت تلفیقی عناصر غذایی
۷۷	 کشاورزی تلفیقی
۷۹	 مدیریت تلفیقی خاک و تنوع زیستی خاک
۸۰	 کودهای زیستی
۸۲	 کاربرد کودهای زیستی نیتروژنه
۸۳	 مزایای استفاده از کودهای زیستی
۸۴	 طبقه بندی کودهای زیستی
۸۵	 تثبیت کننده‌های نیتروژن مولکولی
۸۸	 باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن
۸۸	 الف- باکتری‌های هوازی
۸۸	 ب- باکتری‌های بی‌هوازی
۸۹	 ج- باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری
۸۹	 ازتوباکتر

۹۱	مزایای ازتوباکتر
۹۲	نقش ازتوباکتر در کنترل عوامل بیماری‌زا گیاهی
۹۳	نقش ازتوباکتر در زیست پالایی عناصر سنگین
۹۳	آزوسپیریوم
۹۴	اهمیت آزوسپیریوم
۹۴	ریزوبیوم
۹۶	نقش لگ هموگلوبین
۹۷	استوباکتر
۹۷	اهمیت استوباکتر
۹۷	باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم
۹۸	پیشرفت مرحله‌ای تجزیه یا توالی میکروبی
۹۹	قارچ‌های میکوریزا
۱۰۲	مزایای میکوریزا
۱۰۳	اکتومیکوریزا
۱۰۴	اندومیکوریزا
۱۰۶	چگونگی حضور گسترش VAM
۱۰۷	اکولوژی قارچ‌های VAM در خاک
۱۰۷	آزمایشات زراعی با قارچ‌های VAM
۱۰۷	اثر متقابل بقولات گره‌دار با قارچ‌های VAM
۱۰۸	نقش قارچ میکوریزا VAM در تشکیل خاکدانه
۱۱۱	اکتواندومیکوریزا
۱۱۱	تأثیر کودهای شیمیایی و سموم بر فعالیت میکوریزا
۱۱۱	الف) کودهای شیمیایی
۱۱۱	ب) سموم شیمیایی
۱۱۳	فواید زیست محیطی استفاده از میکوریزا
۱۱۳	پالایش میکوریزایی
۱۱۴	میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات

آزولا.....	۱۱۶
آزولا به عنوان کود آلی.....	۱۱۷
خصوصیات آزولا و جلبک آنابنا.....	۱۲۰
فواید آزولا.....	۱۲۱
جلبک سبز- آبی.....	۱۲۲
مزایای جلبک سبز- آبی.....	۱۲۴
ماده تلقیحی جلبک سبز- آبی (BGA).....	۱۲۴
کمپوست.....	۱۲۵
تولید کود کمپوست.....	۱۲۷
۱- روش صنعتی.....	۱۲۷
۲- روش سنتی.....	۱۲۷
عمل میکروارگانسیم‌ها در تهیه کمپوست.....	۱۲۸
ورمی کمپوست.....	۱۳۰
فواید ورمی کمپوست.....	۱۳۱
مشخصات کرم‌ها و انتخاب گونه مناسب.....	۱۳۳
ترکیب بستر و میزان تغذیه کرم‌ها.....	۱۳۳
بیوجار.....	۱۳۴
عوامل مؤثر در تولید بیوجار.....	۱۴۲
الف- اثر بیوجار بر رشد گیاهان.....	۱۴۴
ب- اثر بیوجار بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک.....	۱۴۵
بیوجار چگونه ساخته می‌شود؟.....	۱۵۰
خصوصیات بیوجار.....	۱۵۱
تأثیر بیوجار بر کیفیت خاک.....	۱۵۲
غلظت نیتروژن بعد از کاربرد بیوجار.....	۱۵۲
غلظت فسفر بعد از کاربرد بیوجار.....	۱۵۳
غلظت پتاسیم بعد از کاربرد بیوجار.....	۱۵۳
جذب مواد شیمیایی توسط بیوجار.....	۱۵۴

گیاه پالایی توسط بیوجار.....	۱۵۴
تأثیر بیوجار بر ویژگی‌های میکروبی خاک.....	۱۵۵
اثر دما بر تولید بیوجار.....	۱۵۸
تأثیر دمای پیرولیز بر میزان ماندگاری علف‌کش‌ها در بیوجار.....	۱۵۹
زئوپونیکس.....	۱۶۰
کودهای زیستی مایع.....	۱۶۱
لجن فاضلاب.....	۱۶۳
تأثیر لجن فاضلاب بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک.....	۱۶۴
شدت آلودگی فاضلاب.....	۱۶۵
الف) اکسیژن مورد نیاز زیست شیمیایی.....	۱۶۵
ب) اکسیژن مورد نیاز شیمیایی.....	۱۶۶
ج) کل مواد جامد معلق.....	۱۶۶
موارد استفاده از فاضلاب تصفیه شده.....	۱۶۶
مصرف فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی.....	۱۶۶
روش‌های تصفیه فاضلاب.....	۱۶۷
الف- رسوبگذاری و صاف کردن.....	۱۶۷
ب- فیلتراسیون.....	۱۶۷
ج- تصفیه زیست شناسی.....	۱۶۷
د- ضد عفونی کردن.....	۱۶۸
لئوناردیت.....	۱۶۸
تأثیر لئوناردیت بر حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی.....	۱۷۰
تأثیر لئوناردیت بر آلاینده‌های آبی.....	۱۷۱
اثر لئوناردیت بر حذف فلزات سنگین از محیط خاکی.....	۱۷۱
تأثیر لئوناردیت بر حاصلخیزی خاک.....	۱۷۳
هیومیک اسید.....	۱۷۳
فولویک اسید.....	۱۷۵
هوموس.....	۱۷۵

۱۷۸.....	فواید هوموس
۱۷۸.....	انواع هوموس
۱۷۹.....	تشکیل هوموس در خاک
۱۸۱.....	فهرست منابع

مقدمه

از دیرباز بشر به اهمیت نقش عناصر معدنی و آلی در رشد گیاه و تولید محصول پی برده بود. مهم‌ترین این عناصر (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، به صورت کودهای سنتزی شیمیایی با هدف افزایش تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفتند. کاربرد روزافزون کودهای شیمیایی باعث بروز خسارت جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی، بهداشتی و اقتصادی شده است. کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه به واسطه بر جای ماندن آنها در طبیعت، باعث آلودگی آب و خاک شده و از طرفی تولید هر کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژنه، مستلزم مصرف ۲۲۰۰ کیلوکالری انرژی است. این مقدار انرژی عموماً از منابع نفتی و صنایع پتروشیمی تأمین می‌گردد. این معایب کودهای شیمیایی باعث شد که تولید کودهای آلی و بیولوژیک مورد توجه جدی قرار گیرند. با توجه به سازگاری میکروارگانیسم‌ها با شرایط محیطی و اقلیمی زیستگاه خود، استفاده از باکتری‌های غیرومی که از مناطقی با ویژگی‌های متفاوت نسبت به شرایط اقلیمی کشور به دست آمده‌اند، جهت تولید کود بیولوژیک و استفاده از آنها در شرایط اقلیمی کشور، مسلماً از کارایی لازم برخوردار نخواهد بود. بنابراین استفاده از باکتری‌های بومی که با شرایط خاک و اقلیم کشور سازگار هستند، برای تولید کود بیولوژیک از ارزش ویژه‌ای برخوردار است (قربانی، ۱۳۸۶).

تاریخچه‌ای در خصوص انواع کودها

مخاطرات زیست‌محیطی و نگرانی زیاد در خصوص پایداری سیستم‌های موجود در کشاورزی، استفاده تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی را باعث شده است. قرن‌ها است که چینی‌ها بهترین استفاده

را از مواد آلی، کود حیوانی و کمپوست حاصل از بقایای گیاهی به عمل آورده‌اند. حتی بعد از معرفی ارقام پر محصول غلات و در نتیجه استفاده وسیع از کودهای شیمیایی (چینی‌ها اکنون رتبه اول مصرف کودهای نیتروژنی و فسفوری را دارند)، کشاورزان چینی هم‌چنان به استفاده از کودهای آلی برای تهیه غذا ادامه داده‌اند. کنگره ایالات متحده در سال‌های اخیر بالغ بر هشت میلیون دلار به وزارت کشاورزی جهت تحقیق در مورد یک برنامه تحت عنوان کشاورزی پایدار کم‌نهاد^۱ که شامل استفاده از گیاهان خانواده بقولات در تناوب با دیگر گیاهان به‌منظور تثبیت نیتروژن، دامداری‌ها به‌منظور تولید کود حیوانی و به‌عنوان منبع عناصر غذایی برای گیاهان و استفاده از کنترل‌کننده‌های زیستی و مکانیکی آفت اختصاص داده است. کود آلی شامل بقایای گیاهی و حیوانی در مراحل مختلف تجزیه می‌باشد که جهت تأمین مواد غذایی گیاه و بهبود خصوصیات فیزیکی به خاک افزوده می‌شود. کودهای آلی شامل کودهای حیوانی، بقایای گیاهی و صنعت چوب، ضایعات آلی صنعتی مانند بقایایی که از صنعت کاغذ و قند حاصل می‌شوند، لجن فاضلاب و ضایعات حاصل از تولید فرآورده‌های غذایی، می‌باشند.

مقدمه بر کشاورزی پایدار

سیستم‌های کشاورزی سنتی، وارث و نماینده سیستم‌های پیچیده مبتنی بر اصول و قوانین طبیعی هستند که با شرایط و عوامل محیطی سخت و متغیر سازگار شده و امکان مدیریت بهینه تحت این شرایط را فراهم می‌آورند. در طی سی سال گذشته افزایش تولید انبوه محصولات کشاورزی گرچه بخشی از نیازهای جمعیت رو به رشد را برطرف نموده است؛ اما امروزه مشخص شده است که تکنولوژی مدرن به‌علت استفاده بی‌رویه از منابع منجر به فرسایش منابع شده است. تخریب محیط زیست و در نتیجه تخریب و تبدیل اراضی جنگلی به زمین‌های زراعی، فرسایش خاک و آلودگی آب ناشی از بهره‌برداری بیش از حد و بی‌رویه از مواد شیمیایی و ضایعات و فاضلاب‌های

کشاورزی ابعاد فوق‌العاده بحرانی را به خود گرفته است. به هر حال کشاورزی کلاسیک و مدرن نه تنها محیط زیست را نادیده گرفته است، بلکه درک کشاورزان را نیز در ارتباط با حفاظت منابع نادیده انگاشته است. در صورتی که کشاورزان نه تنها مجری نهایی هر نوع تصمیمی در رابطه با منابع هستند، بلکه آنها خود مبتکر برخی از راهبردهای حفاظت کننده منابع از قبیل تناوب زراعی و یا استفاده از حداقل نهاده‌ها می‌باشند. از آنجایی که این افزایش جمعیت با مهاجرت از مناطق روستایی به شهرهای بزرگ به هم خوردن توازن اقتصادی و زیست‌محیطی، نظیر آلودگی، تبدیل اراضی زراعی به مسکونی، کاهش نیروی کار فعال در بخش کشاورزی و غیره را به دنبال خواهد داشت؛ امروز مقوله توسعه پایدار جزء جدا نشدنی در واژه‌شناسی توسعه شده است و در این میان توسعه بخش کشاورزی پیش شرط و نیاز ضروری توسعه اقتصادی کشور است. تا زمانی که موانع توسعه در این بخش برطرف نشود، سایر بخش‌ها از جمله بخش صنعت به شکوفایی و توسعه دست نخواهند یافت. بنابراین ضروری است تا برنامه‌ریزی‌هایی، برای دستیابی به هدف افزایش امنیت غذایی جامعه انجام گیرد. گرچه در ایران سیاست‌ها و برنامه‌های جدید در سطح کلان بر حفاظت محیط زیست و توسعه پایدار تأکید دارد؛ ولی مطالعات نشان می‌دهند که اکثر تولید کنندگان کشاورزی ملاحظات لازم را در استفاده از نهاده‌هایی نظیر سموم آفت کش به کار نمی‌گیرند و در استفاده از منابع طبیعی همیشه اصول به‌زراعی را رعایت نمی‌کنند. در چنین مواقعی به نظر می‌رسد از وظایف سازمان‌های آموزشی، ترویجی و اجرایی کشاورزی کشور، راهنمایی و تشویق روستائیان در استفاده بهینه از امکانات و نهاده‌ها و منابع طبیعی باشد تا ضمن افزایش بهره‌وری در کشاورزی، جامعه روستایی از توسعه همه جانبه و پایداری برخوردار شود. در سال‌های اخیر به علت مشکلاتی که در اثر مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی در کشاورزی و روش‌های رایج تولید مواد غذایی بروز کرده است، توجه بیشتری به نظام کشاورزی پایدار معطوف شده است. در کشاورزی پایدار استفاده از فناوری نانو در حفظ محیط زیست نقش مهمی در اصلاح خاک‌های آلوده و حذف یا

پاک‌سازی آلاینده‌های شیمیایی موجود در منابع آب، خاک و هوا ایفا می‌کند. همچنین با توسعه فرآیند تولید سبز، کاهش انتشار و تولید ضایعات سبب کاهش مصرف مواد خام مورد نیاز شده و راهکاری در جهت حفظ محیط زیست و منابع طبیعی و دستیابی به توسعه پایدار به حساب می‌آید. مطابق بررسی‌های انجام شده در خصوص فناوری نانو با کاهش آلاینده‌ها، محیط زیستی سالم‌تر را فراهم می‌آورد و محافظ محیط در جهت توسعه‌های پایدار است (محمد قاسمی و همکاران، ۱۳۹۷). سازمان خواربار جهانی شعار خود را در سال ۱۹۹۳ "کشاورزی پایدار و بهره‌وری بهینه از منابع طبیعی" قرار داده است. کشاورزی پایدار نوعی کشاورزی است که در جهت منافع انسانی بوده، کارایی بیشتری در استفاده از منابع دارد و با محیط در توازن است.

در کشاورزی پایدار فرآیندهای خاک که امکان تولید را فراهم می‌سازند از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. افزودن کودها تنها از طریق شناخت چرخه مواد و فرآیندهای اکولوژیک خاک بخصوص پویایی مواد آلی و حفظ حاصلخیزی می‌توانند باعث افزایش تولید شوند. به‌طور کلی نظام‌های اکولوژیک یا پایدار نظام‌هایی هستند که حداقل تکیه را بر نهاده‌های خارج مزرعه‌ای دارند. در این گونه نظام‌ها بر استفاده از نهاده‌های طبیعی، محلی-بومی و گزینه‌های محیطی تاکید می‌شود. استفاده از کودهای آلی، تناوب زراعی، کشت چنگانه و گیاهان پوششی از جمله مؤلفه‌های این نوع کشاورزی هستند (کوچکی، ۱۳۷۶).

فصل اول: اهمیت حاصلخیزی خاک

سالانه حدود ۲۰ میلیارد تن از خاک سطحی مزارع جهان از طریق فرسایش از بین می‌رود و حدود ۶ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی دچار بیابان‌زایی غیرقابل برگشت می‌شوند. اگرچه کاهش فزاینده خاک مسئله مهمی می‌باشد؛ ولی عواملی دیگر مانند سرعت رواناب، کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک، مواد آلی، عناصر غذایی و عوامل زیستی خاک به دنبال فرسایش خاک به همان اندازه باعث کاهش باروری زمین می‌شوند. وارد کردن مواد و نهاده‌های مختلف به نظام‌های کشاورزی به منظور بالا بردن حاصلخیزی خاک باعث افزایش سیر انرژی در این نظام می‌گردد. حاصلخیزی خاک توصیف کننده توانایی و قابلیت خاک برای تأمین شرایط رشد پایا، بهینه و مطلوب گیاه است. در گذشته حاصلخیزی خاک، صرفاً تأمین نیاز عنصری نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) بوده است. در طی مطالعات متعدد انجام شده سیستم دینامیکی زیستی^۱ مورد بررسی قرار گرفت که این سیستم توسط دانشمندی آلمانی به نام رودلف استونر^۲ ارائه شد که کشاورزی را به عنوان یک سیستم پایدار درون اکوسیستم معرفی نمود و نام آن از واژه یونانی بیو^۳ که به معنی انرژی زیستی^۴ است، گرفته شده است. در این سیستم جانوران به عنوان یک قسمت از اکوسیستم کشاورزی در نظر گرفته شده‌اند. استانداردهای بیودینامیک محدودتر از کشاورزی آلی

1 . Biodynamic System

2 . Roudolph Steuner

3 . Bio

4 . Bio energy

بود و در کشاورزی بیودینامیک روش‌هایی شبیه به همسان درمانی^۱ کنونی رایج بوده است و سرانجام بحث کشاورزی آلی مطرح شد. هر چند استفاده از کودهای معدنی ظاهراً سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک به شمار می‌روند، لیکن هزینه‌های زیاد مصرف کود، آلودگی و تخریب محیط زیست و خاک در اثر استفاده از این کودهای شیمیایی نگران‌کننده است. بنابراین استفاده کامل از منابع گیاهی غذایی قابل تجدید موجود (آلی و بیولوژیکی) به همراه کاربرد بهینه‌ای از مواد معدنی، نقش مهمی در جهت حفظ حاصلخیزی، ساختمان و فعالیت حیاتی خاک ایفا می‌کند.

حاصلخیزی یک خاک علاوه بر وابسته بودن به مقدار عناصر غذایی، به توازن و تعادل آنها نیز شدیداً وابسته است. به‌طوری که در حالت عدم توازن و تعادل تغذیه‌ای، مصرف کودها نه تنها مؤثر واقع نمی‌شود، حتی در بعضی مواقع در جهت عکس عمل کرده و کشاورزان را متحمل ضررهای اقتصادی فراوانی می‌کند. مثلاً در سطح ثابت یک عنصر غذایی مانند پتاسیم (K)، افزایش کود نیتروژنی نه تنها افزایش عملکردی را به دنبال نداشته بلکه در بعضی مواقع منجر به کاهش آن نیز شده است، لذا اهمیت توازن تغذیه‌ای در برخی موارد و در مورد برخی عناصر بیش از خود آنها است، به‌طوری که متخصصین تغذیه اغلب برای آگاهی از وضعیت تغذیه‌ای گیاهان نسبت‌های بین عناصر را به غلظت واحد آنها ترجیح می‌دهند؛ اما از طرفی هم ایجاد توازن تغذیه‌ای و مصرف متعادل کودهای شیمیایی کاری بسیار دشوار و وقت‌گیر است و نیازمند صدها آزمایش کودی در مناطق مختلف می‌باشد که غالباً هم به خاطر شرایط پیچیده موجود در خاک، نیاز و قدرت متفاوت جذب گیاهان، رفتارهای متفاوت عناصر در خاک، عوامل متغیر محیطی و شرایط مدیریتی مزرعه نتایج مطلوبی نمی‌دهند. بنابراین استفاده از کودهای دامی که اکثریت عناصر مورد نیاز گیاهان را تقریباً به نسبتی که آنها جذب می‌کنند، دارا بوده و می‌توانند دامنه موفقیت را افزایش دهند. چرا که

دریک تن کود دامی خوب ۳ الی ۴ کیلوگرم نیتروژن (N)، ۳/۵ کیلوگرم فسفر (P_2O_5)، ۴ کیلوگرم پتاسیم (K_2O)، ۲ کیلوگرم کلسیم (CaO) و ۵ کیلوگرم منیزیم (MgO) و گوگرد و به مقداری کمتر ریزمغذی‌ها وجود دارد و خاک را در درازمدت در جهت تعادل پیش خواهد برد. بنابراین با افزودن ۳۰ تن کود دامی مرغوب به یک هکتار خاک زراعی حدود ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم فسفر، ۱۶۰ کیلوگرم پتاسیم و ... به خاک افزوده می‌شود که تقریباً با نیاز گیاهان مطابقت دارند و البته بسته به نوع خاک و گیاه بایستی کاستی‌ها را توسط کودهای شیمیایی جبران نمود. جدول (۱) برخی تعاریف از انواع حاصلخیزی را معرفی می‌نماید (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶)

جدول ۱- تعاریف پیشنهاد شده و مورد استفاده از حاصلخیزی خاک و اجزای آن (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶)

تعریف	حاصلخیزی
ظرفیت خاک برای تأمین نیازهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک مورد نیاز برای رشد، باروری، تولید مثل و کیفیت گیاهان (برای تغلیف دام و غذای انسان) که این مفاهیم بستگی به نوع گیاه، خاک، استفاده از اراضی و شرایط آب و هوایی دارد.	خاک
توان موجودات خاکزی برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان، تغلیف دام، تولید مثل و کیفیت (از دیدگاه انسان و دام) در عین حفظ فرایندهای بیولوژیک، تأثیر مثبتی بر وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک دارند.	بیولوژیک
ظرفیت خاک برای تأمین محیط شیمیایی مناسب و وضعیت تغذیه‌ای خوب برای گیاهان و تغلیف دام، تولید مثل و کیفیت (از دیدگاه انسان و دام) به نحوی که به فرایندهای مفید فیزیکی و بیولوژیک که در چرخه عناصر غذایی نقش دارند، آسیبی وارد نشود.	شیمیایی
ظرفیت خاک برای ایجاد شرایط فیزیکی مناسب که سبب بهبود تولید گیاه، تولید مثل و کیفیت (از دیدگاه انسان و دام) شود بدون این‌که به تخریب ساختمان خاک و یا فرسایش خاک منجر شود و بر فرایندهای شیمیایی و بیولوژیک خاک تأثیر مثبتی داشته باشند.	فیزیکی

توازن پایدار تولید و باروری خاک که از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک است به همراه مدیریت مناسب بهره‌برداری از خاک موجب تداوم حاصلخیزی خاک می‌شود. هرگونه اقدام در جهت برهم زدن این تعادل اثرات جبران‌ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. از طرفی افزایش جمعیت با نرخ بیش از ۲ درصد در درازمدت شرایطی ناپایداری را به وجود خواهد آورد. در بسیاری از کشورها، برای ۵۰ تا ۱۰۰ سال آینده، تولیدات کشاورزی باید دست کم سالانه ۳ درصد رشد داشته باشد. تحقق این اهداف نیاز به بهره‌برداری بیشتر از مواد غذایی خاک دارد. مشکل اساسی رسیدن به این مقدار رشد در تولیدات کشاورزی می‌باشد که در آن کمیت منابع محیط و ظرفیت تولید اراضی و منابع آبی حفظ شود. مدیریت پایدار منابع و کاربرد فناوری مناسب در ارتباط با بهره‌وری از منابع آب و خاک و منابع غذایی باید به گونه‌ای باشد که هدف فوق تحقق یابد. در ایران با اقلیم غالب خشک و نیمه خشک نه تنها خاک‌ها عموماً از نظر مواد آلی فقیر بوده (کمتر از یک درصد) بلکه به جهت بالا بودن دما، ثابت نگه داشتن و حفظ مقدار ماده آلی خاک بسیار دشوار می‌باشد. علاوه بر آن با توجه مشکل یارانه‌ای کودهای شیمیایی، رسیدن به هدف و دستیابی به افزایش عملکرد در هکتار و ترمیم مواد آلی خاک‌ها، مستلزم حمایت‌های عملی دولت و نیازمند عزم ملی می‌باشد چرا که علاوه بر ترویج فرهنگ مصرف کودهای آلی در کشاورزی، نیاز به تولید انبوه این کودها را می‌طلبد.

سلامت و کیفیت خاک

سلامت خاک متأثر از فرآیندهای میکروبیولوژیک است. ریز جانداران توانایی ویژه‌ای در سنجش کیفیت و سلامت خاک دارند و سریعاً به تغییرات محیطی واکنش نشان می‌دهند. تغییراتی که در کوتاه مدت در سلامت خاک ایجاد می‌شود توسط پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مثل بافت خاک، هدایت الکتریکی، واکنش خاک و غیره قابل سنجش نیستند. این پارامترها در دراز مدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند ولی پارامترهای بیولوژیک و اکوفیزیولوژیک سریعاً تحت تأثیر قرار

گرفته و با اندازه‌گیری آنها می‌توان به میزان و نوع تغییرات در اکوسیستم خاک پی برد (دوران، ۱۹۸۰؛ دیک، ۱۹۸۴؛ گوپتا و جرمیدا، ۱۹۸۸). کیفیت خاک بر ظرفیت آن در حفظ و تداوم حاصلخیزی بیولوژیک، حفظ کیفیت زیست‌محیطی و افزایش سلامت گیاه، حیوان و انسان دلالت دارد. مدیریت اراضی به درجات مختلف بر کیفیت خاک مؤثر بوده و هر گونه مدیریت نادرست می‌تواند منجر به تخریب و کاهش کیفیت خاک گردد. تأثیر فعالیت‌های مدیریتی بر کیفیت خاک را می‌توان با کنترل شاخص‌های کیفیت خاک ارزیابی نمود. بنابراین سنجش این شاخص‌ها به‌عنوان یک ابزار مناسب به‌منظور پایش نقش‌های خاک و پایداری یک اکوسیستم به‌کار می‌رود. همچنین ارزیابی کیفیت خاک ابزاری است که مدیران و کارشناسان می‌توانند از آن برای بررسی مشکلات خاک در کوتاه مدت استفاده کرده و راهکارهای مدیریتی مناسبی را برای حفظ کیفیت خاک در بلند مدت اتخاذ نمایند. کیفیت خاک از طرق مختلف مخصوصاً افزایش میزان مواد آلی، کمپوست و کودهای زیستی و غیرقانونی نمودن سوزاندن بقایای گیاهی در مزارع کشور بهبود خواهد یافت. در رابطه با اهمیت کیفیت خاک و انواع استفاده از زمین، رسولی و همکاران (۲۰۱۸a) بیان کردند که در سطح مزرعه‌ای و مدیریت مناسب که موجب افزایش میزان ماده آلی خاک می‌شوند، بازیافت مؤثر بقایای گیاهی و کودها در شرایطی که زمین مورد استفاده به‌طور مداوم تحت کشت قرار می‌گیرد، باید در نظر گرفته شود.

ویژگی‌های خاک که در بیشتر پژوهش‌های مربوط به کیفیت خاک مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است شامل:

۱- ویژگی‌های فیزیکی: مانند وزن مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه‌ها و تخلخل

۲- ویژگی‌های شیمیایی: مانند کربن و نیتروژن آلی

۳- ویژگی‌های بیولوژیکی: مانند تنفس خاک، کربن زیست‌توده^۱ میکروبی و فعالیت آنزیمی.

مواد آلی به‌علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیزیکی (پایداری خاکدانه‌ها)، شیمیایی (افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی مورد نیاز گیاه) و بیولوژیکی (فعالیت زیست‌توده میکروبی) دارد، به‌عنوان رکن مؤثر حاصلخیزی خاک شناخته شده است. به‌طور خلاصه نقش ماده آلی در تأمین سلامت و کیفیت خاک را می‌توان به شرح زیر بیان داشت:

- 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^۲ و ظرفیت تبادل آنیونی^۳
- ۶- جلوگیری از فشردگی و تراکم خاک با پائین نگه‌داشتن وزن مخصوص ظاهری و ممانعت از ایجاد لایه‌ها و پوسته‌های سخت، ترک و گسل
- ۷- افزایش قابلیت خاک‌ورزی و تغییر در خصوصیات خاک مثل کاهش چسبندگی، افزایش نفوذپذیری و نرمی خاک
- ۸- تثبیت کربن از اتمسفر و دیگر منابع

1 . Biomass

2 . Cation Exchangable Capacity- CEC

3 . Anion Exchangable Capacity- AEC

۹- کاهش اثرات محیطی منفی مثل اثر حشره کش ها، فلزات سنگین و بسیاری از آلاینده های

دیگر

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

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

همان گونه که ذکر شد توان حاصلخیزی خاک، حاصل اثرات سازنده فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک است. لذا لازم است به طور خلاصه اثرات مواد آلی بر این ویژگی ها مورد بررسی قرار گیرد.

ویژگی های فیزیکی خاک

ویژگی های فیزیکی خاک از عوامل مهم و مشخص کننده رشد گیاهان می باشند که خود تابع عوامل مختلف هستند. در این بحث اثر متقابل مهم ترین خواص فیزیکی خاک و ماده آلی مورد بررسی قرار می گیرد.

۱- رنگ خاک^۱: رنگ خاک واضح ترین مشخصه ظاهری خاک است که به آسانی قابل شناسایی و اندازه گیری است. از طریق رنگ خاک می توان به خواص مهم دیگری مثلاً وضعیت زهکشی خاک پی برد. تأثیر رنگ خاک در رشد گیاه، فقط از طریق جذب و بازتاب انرژی خورشید در سطح خاک زراعی است که در تعادل حرارتی و از آن طریق بر مقدار رطوبت خاک و رشد گیاه ایفای نقش می کنند. در برخی موارد رنگ تیره خاک می تواند نشان دهنده میزان ماده آلی مناسب، کافی و یا حتی زیاد باشد. هر چه رنگ خاک زراعی تیره تر باشد به دلیل گرم تر شدن زودتر سطح خاک، زمان کشت در بهار تسریع می شود.

۲- ساختمان خاک^۱: ساختمان خاک عبارت است از وضعیت قرار گرفتن ذرات خاک در مجاورت یکدیگر و تشکیل ذرات بزرگتر ثانویه (خاکدانه) است. خاکدانه‌ها باعث پیدایش فضای خالی در بین آنها می‌گردند که به مراتب بزرگتر از خلل و فرجی است که در فواصل ذرات شن، سیلت و رس درون خاکدانه‌ها به وجود می‌آید. در حقیقت تأثیر ساختمان خاک بر خلل و فرج خاک است که آن را در زمره یکی از خصوصیات مهم قرار می‌دهد. آرایش ذرات خاک در تشکیل خاکدانه‌ها، اندازه و پایداری خاکدانه‌ها، بر روی تخلخل، نفوذپذیری و مقاومت آنها بسیار مؤثر است و ماده آلی به دلیل ایجاد کننده هسته مرکزی در تشکیل خاکدانه‌ها در پایداری و قوام آنها بسیار مؤثر است.

۳- تخلخل خاک و نفوذپذیری آن^۲: ذرات خاک توسط موادی از جمله رس، کربنات کلسیم و هوموس به هم متصل گردیده و در ساختمان خاک، خاکدانه را ایجاد می‌کند ولی از آنجایی که این ذرات دارای شکل و اندازه یکنواختی نمی‌باشند، در بین آنها منفذهایی ایجاد می‌شود که خلل و فرج نامیده می‌شود. تخلخل خاک بیانگر حجم منافذ و روزنه‌های خاکی است و معبری برای جریان آب و هوا محسوب می‌شود. به عبارتی مقدار خلل و فرج خاک برابر است با نسبت حجم منفذها به حجم کل خاک و از آنجایی که بین حجم خاک و وزن مخصوص آن رابطه‌ای موجود است با داشتن جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل قابل محاسبه است:

$$n = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

که در آن:

ρ_b = وزن مخصوص ظاهری، ρ_s = وزن مخصوص حقیقی

1 . Soil Structure

2 . Soil Prosimity

وزن مخصوص حقیقی عبارت است از وزن واحد حجم خاک کاملاً فشرده (بدون خلل و فرج) و وزن مخصوص ظاهری عبارت است از وزن واحد حجم خاک دست نخورده (با خلل و فرج). میزان تخلخل خاک معمولاً (۶۰-۳۰ درصد) بوده و تابعی از ساختمان، بافت و محتوای ماده آلی خاک می‌باشد. در واقع ماده آلی با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، وضعیت تخلخل خاک و نفوذپذیری آن را بهبود می‌بخشد.

۴- **خلل و فرج درشت^۱ و خلل و فرج ریز^۲**: خلل و فرج درشت به منفذهایی گفته می‌شوند که قطر آن‌ها از ۸ میکرون بیشتر باشد. این منفذ در حالت طبیعی از هوا اشغال گردیده است. خلل و فرج ریز به منفذهایی دارای قطر کمتر از ۸ میکرون گفته می‌شود و معمولاً به وسیله آب اشغال می‌شوند که آن‌ها را پروزیت کاپیلار^۳ یا تخلخل موئینه‌ای نیز می‌نامند.

۵- **بافت خاک^۴**: چگونگی خاک از لحاظ نسبت ذرات تشکیل دهنده را بافت خاک می‌گویند. به عبارتی اندازه نسبی ذرات خاک را اصطلاحاً بافت خاک گویند که حاکی از سبکی و یا سنگینی خاک می‌باشد. خاک را از نظر بافت در تقسیم بندی مدرن به ۱۲ کلاس و در متد آمریکایی به ۱۸ کلاس تقسیم می‌کنند (مثلاً بافت خاک). هنن و گراس، خاک‌ها را از نظر بافت به سه کلاس تقسیم نموده:

الف) خاک‌های رسی: هنگامی که مقدار رس بیش از ۲۵٪ باشد.

ب) خاک‌های سیلتی: هنگامی که مقدار سیلت بیش از ۳۵٪ باشد.

ج) خاک‌های شنی: هنگامی که مقدار شن بیش از ۵۵٪ باشد.

جدول (۲) طبقه‌بندی آمریکایی و اندازه ذرات خاک را نشان می‌دهد. هر یک از ذرات در این طبقه‌بندی خود به واحدهای کوچک‌تری نیز گروه‌بندی می‌شوند.

1 . Macro prosity
2 . Micro prosity
3 . Capilar prosity
4 . Soil Texture

جدول ۲- طبقه بندی و مشخصات ذرات تشکیل دهنده خاک (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹)

گروه ذرات خاک	قطر (mm) بین المللی	ذرات قطر ذرات (mm) آمریکایی	تعداد ذرات در یک گرم	سطح (cm ²)	ویژه
شن خیلی درشت	۱-۲	-	۹۰	۱۱	
شن درشت	۰/۵-۱	۰/۲-۲	۷۲۰	۲۳	
شن متوسط	۰/۲۵-۰/۵	-	۵۷۰۰	۴۵	
شن ریز	۰/۱-۰/۲۵	۰/۰۲-۰/۲	۴۶۰۰۰	۹۱	
شن خیلی ریز	۰/۰۵-۰/۱	-	۷۲۲۰۰۰	۲۲۷	
سیلت	۰/۰۰۲-۰/۰۵	۰/۰۰۲-۰/۰۲	۵۷۷۶۰۰۰	۴۵۴	
رس	< ۰/۰۰۲	< ۰/۰۰۲	۹۰۲۶۰۸۵۳۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰	

بسیاری از خواص خاک مثل تخلخل، نفوذپذیری، قابلیت فراهمی و ابقای عناصر غذایی تابعی از بافت خاک می‌باشند. بافت خاک عامل اصلی نگهداری رطوبت و تنظیم‌کننده غلظت عناصر غذایی در محلول خاک و تغذیه گیاه است. علاوه بر آن تعیین‌کننده ساختمان و میزان خلل و فرج موجود در خاک و تهویه آن نیز می‌باشد. از این رو در تعیین حاصلخیزی خاک و قابلیت بهره‌برداری از آن نقش اساسی دارد. بهترین خاک از نظر بافت در کشاورزی خاکی است که حاوی ۱۰ تا ۲۰٪ رس، ۵ تا ۱۰٪ مواد آلی و مابقی نیز ترکیبی برابر از شن و سیلت باشد. ذرات خاک با اندازه ۰/۰۵-۲ میلی‌متر بر توزیع هوادهی و زهکشی خاک بسیار مؤثرند؛ اما ممکن است در حاصلخیزی خاک نقش کمتری داشته باشند.

رس که اندازه ذرات آن کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر است دارای بار منفی، سطح ویژه وسیع و خاصیت ابقای عناصر غذایی می‌باشد؛ اما در کلاس بندی، بافت خاک یک نوعی از خاصیت

فیزیکی است که نقش کم‌رنگ‌تری در نفوذپذیری و زهکشی دارد. ماده آلی دارای خاصیت اصلاح‌کننده بافت در خاک‌های سبک و سنگین است.

۶- ظرفیت نگهداری آب خاک^۱: حداکثر مقدار آبی را که خاک می‌تواند در شرایط زهکشی در خود نگهداری کند ظرفیت نگهداری آب در خاک گویند. این ویژگی ارتباط مستقیمی با میزان خلل و فرج دارد. در واقع قسمت اعظم مقدار آبی که نمایان‌گر این ظرفیت است خلل و فرج ریز خاک را پر می‌کند. میزان ظرفیت نگهداری آب خاک متأثر از نوع بافت و میزان ماده آلی می‌باشد. در حالت‌های مختلف میزان آب خاک متفاوت است.

۷- عمق خاک^۲: عمق ریشه‌ها بر مقدار خاک در دسترس ریشه‌ها که آب و مواد غذایی را برای گیاه تأمین می‌کند، مؤثر است و به‌وسیله سطح ایستابی، سنگ بستر، کفه‌ها و سخت لایه‌ها و pH پائین محدود می‌شود.

۸- درجه حرارت^۳: حرارت از عوامل مهم در پیدایش و تکامل خاک، فعل و انفعالات درون خاک، رویش بذر و رشد گیاه است. فعالیت‌های حیاتی موجودات خاکزی، آزاد شدن عناصر غذایی و قابلیت جذب آنها برای گیاه، حرکت و قابلیت جذب آب در خاک، جریان هوموسی شدن مواد آلی و چرخش نیتروژن و کربن در خاک با افزایش درجه حرارت سرعت بیشتری می‌گیرد. مقدار و شدت نوری که توسط خاک جذب می‌گردد به عوامل متعددی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: رنگ خاک، مقدار رطوبت خاک، مشخصات جغرافیایی و عوامل اقلیمی منطقه. خاک‌ها با رنگ تیره در مقایسه با خاک‌های سفید رنگ، نور بیشتری را جذب می‌کنند. مقدار جذب نور بستگی به حرارت مخصوص ذرات تشکیل‌دهنده خاک دارد و هر چه حرارت مخصوص یک جسم بالاتر باشد انتقال حرارتی آن کندتر بوده و در نتیجه دیرتر گرم

1 . Water Holding Capacity of Soil

2 . Soil Depth

3 . Soil Temperature

می‌شود. رطوبت خاک نقش عمده‌ای در تعادل حرارتی خاک دارد. با تغییر شدت یا زاویه تابش خورشید حرارت نیز تغییر می‌کند. جهت زمین نیز در مقدار درجه حرارت خاک مؤثر است. درجه حرارت قسمت‌های سطحی خاک تحت تأثیر تغییرات درجه حرارت اتمسفر محیط می‌باشد. در فصل سرما مقدار نور گرم‌کننده‌ای که به سطح زمین می‌رسد کمتر از مقدار حرارتی است که خاک از خود دفع می‌کند.

ویژگی‌های شیمیایی خاک

۱ - ظرفیت تبادل کاتیونی^۱: کلوئیدهای خاک از بخش‌های فعال شیمیایی خاک می‌باشند که شامل رس، هوموس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشند. کلوئیدها دارای بار منفی هستند و مجموع این بارهای منفی ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) نامیده می‌شود. ظرفیت تبادل کاتیونی مبین مقدار کاتیون‌های ابقاء شده در ۱۰۰ گرم خاک (آون خشک) می‌باشد که بر حسب سانتی‌مول در کیلوگرم ($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) بیان می‌شود. قدرت تبادل کاتیونی از عمده‌ترین عوامل حاصلخیزی خاک است. از همین رو یکی از راه‌های افزایش قدرت تبادل کاتیونی، افزودن مواد آلی به خاک است. هر چه اندازه ذرات کلوئیدی خاک کوچک‌تر باشد ظرفیت تبدالی آن بیشتر است. میزان جذب کاتیونی تابعی از بار الکتریکی، اندازه و غلظت کاتیون است. اگر دو کاتیون هم‌بار باشند، کاتیون دارای شعاع بزرگ‌تر، قوی‌تر جذب می‌شود؛ زیرا کاتیون‌های بزرگ‌تر، شعاع آبگیری کوچک‌تری دارند. CEC در تمام خاک‌ها تابع میزان رس، نوع رس، ماده آلی، pH و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد. مواد آلی در خاک‌ها، دارای بیشترین ظرفیت تبادل کاتیونی‌اند و با افزایش درجه هوموسی شدن افزایش می‌یابند به‌طوری که مقدار آن در ۱۰۰ گرم ماده آلی کاملاً هوموسی شده در حدود ۳۰۰-۲۰۰ میلی‌اکی‌والان است. در جدول (۳) میزان CEC کلوئیدهای خاکی آلی و برخی رس‌های لایه‌ای نشان داده شده است.

1 . Cation Exchange Capacity (CEC)

جدول ۳- مقادیر CEC چند کلئید خاکی در مقایسه با ماده آلی هوموس (برادی، ۱۹۹۰)

CEC ($\text{Cmol}^+ \text{kg}^{-1}$)	کلئید خاکی
۳۰۰	هوموس
۱۲۰	ورمیکولیت
۹۰	اسمکتایت
۲۵	میکای ریزدانه
۵	کائولینیت
۳	اکسیدهای آبدار

علاوه بر تأثیر مواد آلی در ویژگی‌های شیمیایی خاک، از اثرات مهم دیگر این مواد تأمین عناصر غذایی و برقراری توازن تغذیه‌ای می‌باشد. عدم مصرف مواد آلی در اراضی زراعی باعث صدمات غیر قابل جبرانی در حاصلخیزی خاک‌ها می‌شود. متأسفانه مصرف کودهای آلی در جامعه کشاورزی ما، تقریباً به فراموشی سپرده شده است.

علی‌رغم دشواری‌های اجرایی، وزارت جهاد کشاورزی برای نیل به کشاورزی پایدار در نظر دارد تهیه مواد آلی را مورد توجه و حمایت قرار دهد. خوشبختانه منابع تأمین کودهای آلی در ایران دارای تنوع زیادی است و شامل کودهای دامی، کمپوست حاصل از بقایای شاخه و برگ گیاهان، کمپوست حاصل از تخمیر سبوس برنج، کاه و کلش برنج و گندم، ضایعات کشت و صنعت‌های تولید قارچ خوراکی، کمپوست حاصل از ضایعات کارخانجات دخانیات و چای خشک‌گنی و ضایعات کارخانجات قند، کمپوست حاصل از تخمیر زباله‌های شهری، شاخه‌های هرس شده چای، خرما، کمپوست حاصل از تخمیر فاضلاب شهری، کمپوست حاصل از ضایعات نیشکر، کودهای آلی حاصل از ضایعات پسته و پودر استخوان و سایر مواد مشابه که علاوه بر اصلاح نسبت کربن به نیتروژن، غلظت عناصر غذایی مورد استفاده گیاهان زراعی را افزایش

می‌دهند. در جدول (۴) چند نمونه از مواد کودهای آلی با درصد عناصر غذایی موجود در آنها گنجانده شده است.

جدول ۴- درصد عناصر غذایی موجود در برخی از مواد و کودهای آلی (بای‌بوردی و همکاران، ۱۳۷۹)

منبع کود آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	گوگرد	کلر
				%			
لجن فاضلاب فعال شده	۰/۶	۲/۲	-	۵/۲	۵/۱	۴/۰	۵/۰
خون خشک شده	۰/۱۳	-	-	۵/۰	-	-	۶/۰
آرد استخوان (خام)	۵/۳	۰/۲۲	-	۵/۳۱	۰/۱	۲/۰	۲/۰
آرد پوسته کاکائو	۵/۲	۰/۱	۰/۳	۵/۱	۵/۰	-	-
آرد پنبه دانه	۶/۶	۵/۲	۵/۱	۵/۰	۵/۱	۲/۰	-
پسماند ماهی (اسیدی شده)	۷/۵	۰/۳	-	۵/۸	۵/۰	۸/۱	۵/۰
پسماند ماهی (خشک شده)	۵/۹	۰/۶	-	۵/۸	۵/۰	۲/۰	۵/۱
کود زباله خانگی	۵/۲	۵/۱	۰/۱	۵/۴	۵/۰	۴/۰	۳/۱
آرد پوست بادام	۲/۷	۵/۱	۲/۱	۵/۰	۵/۰	۶/۰	۱/۰
آرد پوست بادام زمینی	۲/۱	۵/۰	۸/۰	-	-	-	-
پیت	۷/۲	-	-	۰/۱	۵/۰	۰/۱	۱/۰
آرد سویا	۰/۷	۲/۱	۵/۱	۵/۰	۵/۰	۲/۰	-
کود مایع، دامی	۰/۷	۰/۱۰	-	۵/۱۵	۵/۰	۴/۰	۷/۰
ساقه توتون	۵/۱	۵/۰	۰/۵	۰/۵	۵/۰	۴/۰	۲/۱

۲- واکنش خاک^۱: این خصوصیت از ویژگی‌های مهم خاک است؛ زیرا همبستگی‌های متعددی بین قابلیت استفاده عناصر غذایی و واکنش خاک و به‌طور کلی سایر مشخصات خاک

وجود دارد. واکنش خاک می تواند بر فعالیت ریزجانداران و رشد گیاه مؤثر باشد. خاک ها را بر اساس میزان pH می توان به ترتیب جدول (۵) تقسیم بندی کرد:

جدول ۵- تقسیم بندی خاک ها بر اساس pH آنها (کسرای، ۱۳۶۴)

واکنش خاک	محدوده pH
فوق العاده اسیدی	۳ <
اسیدی خیلی شدید	۳-۴
اسیدی شدید	۴-۵
نسبتاً اسیدی	۵-۶
اسیدی ضعیف	۶-۷
خنثی	۷
قلیایی ضعیف	۷-۸
قلیایی شدید	۸-۹
فوق العاده قلیایی	۹ >

۳- **هوموس**^۱: به طور کلی هوموس به آن دسته از مواد آلی اطلاق می شود که به طور کامل تجزیه شده و بیش از آن تغییر پذیر نمی باشند. بقایای مواد آلی موجود در خاک یک جا تجزیه نمی شوند، بلکه اجزای شیمیایی متشکله آن به طور مستقل از یک دیگر تجزیه و فاسد می شوند.

ویژگی های بیولوژیکی خاک

خاک یک محیط زنده است که بسته به نوع آن در هر سانتی متر مکعب آن میلیون ها موجود زنده از جمله قارچ ها، باکتری ها، اکتینومیسست ها و ... زندگی می کنند. این موجودات خاکری

1 . Humus

مهم‌ترین نقش در تخریب و تحول مواد آلی در خاک را بر عهده دارند و به مراحل هوموسی و معدنی شدن مواد آلی سرعت می‌بخشند.

با مطالعه بیولوژی ارگانسیم‌های خاک می‌توان دریافت که با افزایش مواد آلی خاک، محیط جهت رشد آن‌ها مساعدتر شده و بر جمعیت آن‌ها افزوده می‌شود، طوری که هرچه مواد آلی خاک (تا حدی) افزایش یابد، ارگانسیم‌های آن زیاد شده و خاک شکل زنده‌تری به خود می‌گیرد. هرچه خاک زنده‌تر باشد به دلایل زیر حاصلخیزتر خواهد بود:

۱- تولید هوموس (هوموس به خاطر خواص کلوئیدی یکی از ارکان حاصلخیزی خاک است).

۲- معدنی شدن و چرخه سریع تبدیل عناصر غذایی

۳- افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان به خصوص در مورد فسفر

۴- افزایش تثبیت نیتروژن (باکتری‌های آزادزی، ریزوبیوم‌ها و ...)

از مزایای دیگر میکروارگانسیم‌ها در خاک افزایش فرآیندهای اکسایشی عناصر از جمله گوگرد در خاک می‌باشد. اکسیداسیون گوگرد و تبدیل آن به شکل قابل جذب یعنی سولفات (SO_4^{2-})، در خاک‌های آهکی کشور ما اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد، چون در این نوع خاک‌ها به علت بالا بودن pH، باکتری‌های تیوباسیلوس جمعیت کمی داشته و افزایش عناصر به خاک‌ها اغلب بی‌ثمر خواهد بوده و به شکل قابل جذب آن تبدیل نمی‌شود. لذا با وجود ماده آلی، میکروارگانسیم‌های دیگر وارد عمل شده و در نتیجه گوگرد را به سولفات که قابل استفاده برای گیاهان است، تبدیل می‌نمایند.

بنابراین با توجه به اهمیت مواد آلی و اثرات مثبت آن، می‌توان به یک‌سری از عوامل کنترل‌کننده میزان مواد آلی در خاک اشاره کرد.

عوامل کنترل کننده مواد آلی در خاک

- ۱- مقدار ماده آلی خاک به وسیله تعادل بین اضافه شدن مواد آلی گیاهی و جانوری و مقدار هدررفت و تجزیه آنها
- ۲- مکانیسم‌های اضافه شدن و کاهش یافتن ماده آلی به وسیله عوامل و فعالیت‌های مدیریتی
- ۳- مقدار آب قابل دسترسی برای رشد گیاه (کنترل کننده تولید مواد گیاهی)
- ۴- حاصلخیزی خاک و میزان دمای هوا
- ۵- دمای محیط، سرعت تجزیه ماده آلی در دمای نزدیک به صفر درجه خیلی پائین است؛ اما با افزایش دما سرعت تجزیه ماده آلی به شدت افزایش می‌یابد.
- ۶- استرس و تنش‌های اعمال شده و وجود مواد شیمیایی سمی در خاک
- ۷- شدت تابش نور خورشید
- ۸- محتوای دی‌اکسید کربن در اتمسفر و رطوبت نسبی
- ۹- مقدار ماده آلی باقی‌مانده در خاک که به جمعیت مصرف کننده هتروتروف وابسته است. مجموعه عملیات مدیریتی که موجب افزایش مقدار مواد آلی می‌شوند از جمله اقداماتی در جهت افزایش تولیدات گیاهی، جلوگیری از هدررفت و اقداماتی برای جلوگیری از تجزیه و تخریب سریع مواد آلی است که شامل موارد زیر می‌باشد:

افزایش عملکرد و تولیدات گیاهی

- ۱- آبیاری
- ۲- کوددهی مناسب و افزایش تولید زیست‌توده گیاهی
- ۳- استفاده از گیاهان پوشاننده^۱

- ۴- بهبود و اصلاح زیستی گیاهان
- ۵- احیای جنگل‌داری
- ۶- احیای چمن‌زارها و مراتع
- ۷- افزایش فراهمی مواد آلی
- ۸- حفاظت از آتش سوزی و عدم آتش زدن مزارع بعد از دروی محصول
- ۹- کنترل آفات، حشرات، جونندگان
- ۱۰- استفاده از کود دامی و فاضلاب غنی از کربن
- ۱۱- کنترل شخم
- ۱۲- استفاده کنترل شده از گیاهان به منظور چرا در مواقع مقتضی
- ۱۳- ممانعت از چرای بی‌رویه

کاهش تجزیه یا تخریب ماده آلی

۱. کاهش یا حذف شخم غیر ضروری
۲. استفاده از گیاهان پوشاننده
۳. نگه‌داری حالت اشباع خاک در برخی موارد خاص، هر چند ممکن است باعث برخی مشکلات دیگر شود (وایت، ۱۹۹۷).

فصل دوم: کودها

کودها به منظور تکمیل ذخیره مواد غذایی طبیعی خاک به کار می‌روند و مصرف زیاد آنها برای افزایش عملکرد در واحد سطح لازم است. اولین قانون کود (۱۹۶۲) در آلمان فدرال به شرح زیر بیان گردید است: کودها موادی هستند که استعمال آنها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم جهت تسریع نمو گیاهان زراعی مفید است و موجب افزایش محصول یا بهبود کیفیت آنها می‌شوند (کسرای، ۱۳۷۲). هر ماده طبیعی یا مصنوعی که شامل حداقل ۵ درصد از یک یا تعدادی از سه عنصر تغذیه‌ای اولیه (K_2O ، P_2O_5 ، N) باشد می‌تواند کود نامیده شود.

علاوه بر مقدار عناصر مغذی در کودها، کیفیت فیزیکی آنها با دانه‌بندی، سختی و چگالی، میزان مقاومت در برابر رطوبت و صدمات فیزیکی و درجه کلوخه شدن آنها مشخص می‌شود. از نقطه نظر حمل و نقل، نگهداری و استفاده در مزارع، چگالی کودها نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. واحد کودی بر اساس مقدار عناصر تغذیه‌ای اولیه معمولاً به شکل درصد از سمت چپ K_2O ، P_2O_5 ، N بیان می‌شود. بنابراین در یک فرمول ۱۷-۱۰-۵ اولین عدد از سمت چپ شامل ۵ درصد N ، عدد دوم ۱۰ درصد P_2O_5 و عدد سوم بیان‌گر ۱۷ درصد K_2O است. به هر نوع ماده معدنی، آلی و یا بیولوژیک که دارای عناصر غذایی باشند و باعث بالا بردن حاصلخیزی خاک و همچنین باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول گردد کود اطلاق می‌شود. به عبارت دیگر موادی که برای افزایش حاصلخیزی و جبران مواد از دست رفته خاک به آن افزوده می‌شود کود نامیده می‌شوند. کودهایی که تنها حاوی یک عنصر تغذیه‌ای باشد به عنوان کودهای تک عنصری و

آن دسته از کودهایی که حاوی دو یا سه عنصر تغذیه‌ای اولیه باشند را کودهای چند عنصری، گاهی دو عنصری یا سه عنصری می‌گویند. فرخ و همکاران (۱۳۸۹) میزان تأثیرپذیری قابلیت تولید راتون برنج در اثر استفاده از کود اعلام کردند در تیمارهای کودی افزایش عملکرد نسبت به شاهد حاکی از تأثیرگذاری مثبت کود بر عملکرد راتون برنج می‌باشد. نیتروژن با تأثیرگذاری بر اندازه، طول عمر، تشکیل و بقای پنجه، افزایش اندازه و دوام ساقه، اندازه گیاه، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ، باعث تولید ماده خشک و عملکرد گردید. پتاسیم می‌تواند باعث افزایش تعداد روزنه در سطح برگ برنج شده و پیامد آن تبادل گازی و جذب دی اکسید کربن بیشتر و در نتیجه افزایش شدت فتوسنتز و افزایش رشد و نمو و عملکرد برنج می‌باشد.

مهم‌ترین مزیت قابل توجه کودهای شیمیایی برای کشاورزی عبارتند از:

- ۱- سهولت در حمل و نقل و نگهداری
- ۲- سهولت در کاربرد
- ۳- مقدار بالای عناصر تغذیه‌ای
- ۴- سهولت پخش این کودها در سطح مزرعه
- ۵- کوددهی متعادل
- ۶- بالا بودن کارایی کودها (کسرائیان، ۱۳۹۲).

دسته‌بندی کودها

۱- کودهای شیمیایی

خاکستر و سنگ‌های طبیعی حاوی برخی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه هستند که به صورت خام به خاک داده می‌شوند را کودهای معدنی می‌نامند. مانند انواع سنگ فسفات که در طبیعت به فراوانی یافت می‌شود. چنانچه این سنگ‌ها را در کارخانه‌های تولید کننده کودها خالص‌سازی یا تبدیل کنند و یا آن‌که اشکال مختلفی از یک عنصر را که در طبیعت فراوان‌تر است (مانند نیتروژن

مولکولی موجود در اتمسفر) با عناصر دیگری ترکیب نمایند و ترکیبات قابل استفاده این عناصر را برای گیاه به وجود آورند به آنها کودهای شیمیایی می گویند. کودهایی که حاوی فقط یک عنصر غذایی باشد را کودهای ساده می نامند. مانند اوره که تنها از لحاظ نیتروژن مورد استفاده قرار می گیرد. کودهایی که حاوی بیش از یک عنصر غذایی باشند را کودهای مرکب می نامند. مانند نیتروفوسکا^۱ که هم دارای نیتروژن، فسفر و پتاسیم است. برخی از آنها حاوی عناصر پر مصرف گیاه (ماکرو المنت) و برخی نیز حاوی عناصر کم مصرف گیاه (میکرو المنت) می باشند.

عناصر پر مصرف شامل: نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و گوگرد (S)، عناصر کم مصرف شامل: آهن (Fe)، روی (Zn)، منگنز (Mn)، مس (Cu)، مولیبدن (Mo)، کلر (Cl) و بُر (B) می باشند. به کودهایی که مجموع عناصر فوق را با هم و به نسبت متناسب دارا باشند، اصطلاحاً کود کامل اطلاق می شود. گیاهان مختلف بر حسب نیاز و با توجه به نتایج آزمایش برگ و خاک به کودهای فوق نیازمند خواهند بود.

استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی در خاک

طبق تحقیقات به عمل آمده در بخش های مختلف دنیا مشخص شده که تنها کمی بیش از ۳۰٪ کودهای شیمیایی مصرف شده در مزارع توسط گیاهان جذب و تقریباً ۷۰٪ از این کودها به اشکال مختلف وارد چرخه های طبیعی می شوند. بدیهی است که این امر نتایج بسیار ناگوار زیست محیطی و بهداشتی را به همراه خواهد داشت و عواملی مثل خاک، موجودات زنده، اکوسیستم، کیفیت آبهای جاری و زیرزمینی را تحت تأثیر قرار خواهد داد (تاج بخش و قیاسی، ۱۳۹۷).

مهم‌ترین آثار مصرف کودهای شیمیایی به شرح زیر است:

- ۱- آلودگی خاک، آب و محیط زیست
- ۲- کاهش عناصر غذایی کم‌مصرف گیاه در خاک
- ۳- از دست دادن خواص بیولوژیکی و فیزیکی خاک‌ها
- ۴- تجمع عناصر سنگین و سمی در بدن انسانی که از گیاهان تولید شده با کمک مواد شیمیایی تغذیه می‌کنند.
- ۵- افزایش مصونیت آفات و بیماری‌های گیاهی در اثر استفاده طولانی مدت از کودها و سموم
- ۶- بر طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت هر ساله بیش از یک میلیون نفر نیز دچار سمیت ناشی از استفاده از حشره‌کش‌ها می‌شوند و از بین آنها حدود ۲۰۰۰۰ نفر جانشان را از دست می‌دهند.
- ۷- فعالیت میکروب‌ها و انواع کرم‌های خاکی کاهش پیدا کرده و خاک در اثر فقدان فعالیت‌های بیولوژیکی حاصلخیزی خود را از دست می‌دهد.
- ۸- از آنجایی که قابلیت نگهداری آب در خاک کم می‌شود، لذا مقدار آب آبیاری مورد نیاز بیش‌تر می‌شود.

۲- کودهای آلی (ارگانیک)

کودهای آلی در طیف وسیعی تعریف می‌شوند، نه تنها شامل مواد آلی حاصل از کودهای دامی و بقایای گیاهی هستند، بلکه مواد حاصل از فعالیت جاندارانی ویژه که قابلیت انتقال عناصر غذایی از شکل غیرقابل استفاده به شکل قابل استفاده را به واسطه فرآیندهای زیستی دارند و با تثبیت نیتروژن یا فراهم نمودن فسفر و سایر عناصر غذایی قابل جذب برای گیاهان در خاک فعالیت می‌کنند را نیز شامل می‌شود (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). کودهای آلی به کودهایی اطلاق

می‌شوند که منشاء طبیعی داشته و به وسیله میکروب‌ها قابل تجزیه باشند. به عبارت دیگر به بقایای پوسیده جانوران، گیاهان، فضولات حیوانی، انسانی و زواید زندگی آنها نیز کود آلی اطلاق می‌شود. از ویژگی‌های مختلف کودهای آلی با کودهای شیمیایی قابلیت تجزیه پذیری آنها می‌باشد. به طوری که این مواد می‌توانند در اثر انجام واکنش‌های شیمیایی و یا فعالیت میکروارگانیسم‌ها به مواد ساده‌تر تبدیل شده و به تدریج مواد معدنی موجود در ساختار خود را نیز آزاد کنند. بنابراین می‌توان گفت هر ماده‌ای که قابلیت تجزیه در خاک را داشته باشد و از تجزیه آن، مواد غذایی مورد نیاز گیاهان در خاک آزاد شود، می‌توان کود آلی قلمداد کرد (تاج‌بخش و قیاسی، ۱۳۹۷). حفظ مقدار مناسب ماده آلی در خاک یکی از اساسی‌ترین اصول کشاورزی پایدار است. کاربرد کودهای آلی در کشاورزی علاوه بر بهبود حاصلخیزی خاک، می‌تواند روی خصوصیات فیزیکی خاک نیز مؤثر باشد. عمده‌ترین منابع تأمین مواد آلی در خاک‌ها عبارتند از فضولات دامی، بقایای گیاهی، لجن فاضلاب‌ها و کمپوست زباله شهری که امروزه با توجه به اهمیت کشاورزی ارگانیک بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

کودهای آلی (مرغی، گاوی، اسبی، کودهای سبز و بیولوژیک) از نظر عناصر غذایی (در قیاس با کودهای شیمیایی) مورد نیاز گیاه، ارزش کمتری دارند که امروزه به کمک روش‌هایی همراه با پوساندن کود اولاً میزان شوری و قلیائیت آن‌ها را کاهش داده و ثانیاً با عناصر معدنی غنی‌سازی می‌نمایند. همچنین به کمک گونه‌ای از کرم به ورمی‌کمپوست تبدیل می‌کنند. ارزان بودن، عدم ایجاد آلودگی محیط زیست و سازگاری با محیط از ویژگی اصلی این گروه از کودها است که در بسیاری از مواقع برای توسعه فعالیت زیستی و توسعه قابلیت‌های مختلف گیاهان به کار می‌روند (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). کودهای آلی شامل کودهای دامی (حیوانی)، کودهای سبز، ضایعات کشاورزی و زباله‌های شهری (کمپوست) می‌باشند که در اینجا به منابع کودهای آلی و انواع آنها اشاره می‌شود. کشاورزان جهت حاصلخیزی زمین‌های خود از کودهای شیمیایی استفاده

می‌کنند که در دراز مدت باعث تخریب ساختمان خاک و از بین رفتن مواد ارگانیک و آلودگی محیط زیست می‌شود. کاهش آلودگی زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به‌ویژه کود اوره باعث بروز مشکلات زیادی می‌شود. ساعی و همکاران (۱۳۸۹) بیان کردند که کاربرد کمپوست موجب افزایش عملکرد برنج شده و استفاده از کود شیمیایی را کاهش می‌دهد. نصرالله ماسوله و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی تأثیر کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد و خصوصیات کیفی برنج بیان کردند که بیشترین میزان عملکرد و افزایش کیفیت دانه با بهبود ویژگی کیفی دانه مانند قوام ژل^۱ در صورت کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار (۸۰ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین درصد آمیلوز^۲ و دمای ژلاتینه شدن^۳ در تیمار مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار (۴۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. در بین کودهای آلی بالاترین میزان عملکرد، با استفاده از کمپوست آزولا (۵ تن در هکتار) و بالاترین GC و GT در تیمار کود گاوی (۱۰ تن در هکتار) به‌دست آمد.

در مناطق با آب و هوای خشک و نیمه خشک، با توجه به شرایط نامناسب خاک، به کارگیری کمپوست زباله شهری به‌عنوان یک کود آلی می‌تواند راهی برای بهبود بخشیدن شرایط خاک از نظر نفوذپذیری و تخلخل باشد (آگلیدز و لاندرا، ۲۰۰۰). در آزمایشی که زیتین و آران (۲۰۰۳)، در اسپانیا به منظور بررسی اثر کمپوست روی خواص فیزیکی خاک انجام دادند، مشخص شد که با اضافه کردن کمپوست به خاک، درصد تخلخل افزایش و جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به شاهد کاهش پیدا می‌کند. به‌طور مشابه سرهات و باران (۲۰۰۳)، از آزمایش خود بر خواص فیزیکی خاک، نتیجه‌گیری کردند که با به‌کارگیری ۲۵ تن کمپوست در هکتار، میزان تخلخل از ۶۲/۵ به ۸۷/۲ درصد افزایش پیدا کرده است. تجادا و گونزالز (۲۰۰۸)، همچنین با کاربرد کودهای

1 . GC- Gel Consistency

2 . AC- Amylose Content

3 . GT- Gelatinization Temperature

آلی کمپوست، ورمی کمپوست و کود دامی در خاک، کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش منافذ خاک را گزارش کردند و بیشترین اثر را به کمپوست نسبت دادند. میرزایی و همکاران (۱۳۸۸) نیز طی آزمایشی، با به کارگیری ورمی کمپوست در خاک بیان کردند که این نوع کود باعث اسفنجی شدن خاک و افزایش درصد خلل و فرج و در نهایت کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می شود. همچنین در آزمایشی که در ترکیه صورت گرفت، مشخص شد که با به کارگیری کمپوست در خاک میزان تخلخل خاک نسبت به شاهد تقریباً ۲۴ درصد افزایش داشته است. به طور مشابه اپستین و همکاران (۱۹۷۶)، نیز در نتیجه آزمایش خود روی خواص فیزیکی خاک، گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری نسبت به شاهد می شود در طی آزمایش هایی که توسط فریک و وگنامن (۱۹۹۴)، به منظور بررسی اثر کمپوست روی خواص فیزیکی خاک صورت گرفت افزایش معنی دار رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی و همچنین افزایش آب قابل دسترس را با کاربرد کمپوست در خاک گزارش کردند. همچنین در طی آزمایشی که برای بررسی اثر کاربرد کمپوست روی برخی خصوصیات فیزیکی خاک انجام شد، در نتیجه اضافه کردن کمپوست به خاک، درصد افزایش رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی ۳۱/۷ و ۲۴/۱ درصد گزارش شد (زیتن و آران، ۲۰۰۳). آگلیدز و لاندرا (۲۰۰۰)، همچنین براساس نتایج به دست آمده از آزمایش خود بیان کردند که کاربرد ۳۰۰ متر مکعب کمپوست در هکتار، باعث کاهش ۶۲/۲۷ درصدی جرم مخصوص ظاهری نسبت به شاهد می شود.

۲-۱- کودهای دامی

کشاورزان در اغلب کشورها دارای تعداد نسبتاً زیادی دام و طیور هستند که میلیون ها تُن فضولات و ادرار دفع می کنند. مقدار زیادی فضولات تولید می شود که اگر به طور صحیح مورد استفاده قرار بگیرند، می توانند به طور قابل توجهی در تأمین نیازهای تغذیه ای گیاه و حاصلخیز

کردن خاک نقش داشته باشند. در ایالات متحده، کود تولید شده از حیوانات اهلی و طیور، ۱۷۵ میلیون تن در سال برآورد شده است. نیتروژن موجود در کود حیوانی (بر اساس وزن خشک) از ۳ تا ۴ درصد در طیور، ۱ تا ۲ درصد در گاوهای شیری یا گوشتی، مقدار فسفر از ۱ تا ۲ درصد در طیور، ۰/۲ تا ۱ درصد در گاوهای شیری یا گوشتی متغیر می‌باشد. در ارتباط با مسائل زیست محیطی، استفاده یا دفع صحیح کودحیوانی مهم می‌باشد.

از آنجا که کودهای دامی دارای مقادیر قابل توجهی عناصر کم مصرف نیز هستند، استفاده مداوم از آنها یک اقدام پیشگیرانه بوده و از بروز کمبود بسیاری از عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاه جلوگیری می‌کنند، چون این عناصر معمولاً در کودهای شیمیایی رایج موجود نمی‌باشند. البته استفاده از کود دامی نیز به عنوان منبع تغذیه گیاه برای تولید محصول، خالی از اشکال نیست. کم بودن مقدار عناصر غذایی در کود دامی، مسافتی را که کودهای دامی از محل تولید تا محل مصرف حمل می‌گردد از جمله محدودیت‌هایی هستند که مصرف مناسب کودهای آلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

ترکیب شیمیایی کودهای آلی بسیار متفاوت بوده در نتیجه کاربرد یک مقدار مشخص عناصر غذایی هنگام پخش کود مشکل می‌باشد. معدنی شدن نیتروژن کود آلی به بسیاری از عوامل وابسته است، و در برخی موارد به‌خوبی توسط تولید کننده‌ها قابل کنترل نیست. بنابراین عدم استفاده از مواد آلی و تأمین بسیاری از عناصر غذایی به‌صورت کودهای شیمیایی، پتانسیل آبخویی عناصر غذایی به‌ویژه نیترات را افزایش خواهد داد.

منظور از کود دامی (حیوانی) مجموعه‌ای از مواد بستری، ادرار و مدفوع گاو، گوسفند، مرغ یا هر حیوان دیگری است که از محل نگهداری آنها به‌دست می‌آید. درصد مواد غذایی موجود در کود دامی و کیفیت فیزیکی آن به عواملی مثل نوع حیوان، کیفیت مواد بستری، میزان پوسیدگی کود، تغذیه دام، میزان سدیم و مقدار بذر علف‌های هرز، اسپور بیماری‌ها، لارو و تخم حشرات،

شن و خاک بستگی دارد. فراوانی ترکیبات آلی نیتروژن دار ساده در کود دامی تازه بسیار مسئله ساز است. تجزیه سریع این مواد سبب آزاد شدن آمونیاک و تجمع آن در مجاورت ریشه ها گشته و موجب مسمومیت گیاه می گردد. پوسیده شدن اولیه کود این مشکل را مرتفع می سازد. به همین جهت هیچ گاه نباید کود دامی تازه را به محصول کاشته شده داد. زیادی املاح در کود نیز می توانند از طریق ایجاد پتانسیل اسمزی و یا مسمومیت مستقیم گیاه مسئله ساز باشد. بنابراین وجود مقدار متعادلی از عناصر غذایی و عدم زیادی عناصری مثل سدیم (Na) در کود دامی مطلوب خواهد بود.

کیفیت مواد بستر نیز نقش مهمی در کیفیت و حالت فیزیکی کود دامی دارد. معمولاً اصطبل گوسفند فاقد بستر است. بدین لحاظ سرعت تجزیه و پوسیدگی کود گوسفندی زیاد و دوام آن در خاک کمتر از سایر کودها می باشد. لازم به ذکر است کود گوسفندی را کود گرم نیز می نامند. مواد بستری مورد استفاده در پرورش دام و طیور متفاوت است؛ لذا درجه پوسیدگی آنها نیز متفاوت خواهد بود. به طوری که در مرغداری ها بیشتر از خاک اره و در گاوداری ها معمولاً از کاه به عنوان مواد بستری استفاده می کنند. سرعت تجزیه و پوسیدگی کاه بیش از خاک اره می باشد و برعکس دوام خاک اره در خاک بیش از کاه است. زیرا خاک اره از ترکیبات مقاوم تری در مقایسه با کاه تشکیل شده است.

به طور کلی، هر چه مقدار مواد نامطلوب مثل بذر علف های هرز، شن، خاک، اسپور بیماری ها و تخم و لارو حشرات در کود کمتر و تجزیه اولیه آن بیشتر باشد، ارزش کیفی کود بیشتر است. پوسیدگی کود سبب می شود که از میزان بذر علف های هرز و آلودگی به امراض و حشرات نیز کاسته شود. برای پوسیدگی اولیه کود دامی می توان آن را در شرایطی مشابه تهیه کمپوست قرار داد و یا کود دامی را مدتی قبل از کاشت در خاک مزرعه پاشیده و سپس در خاک تا عمق زراعی

مخلوط کرد. تجزیه کود در خاک و تبدیل آن به هوموس نیز مستلزم تهویه کافی، حرارت و رطوبت در خاک می‌باشد. این عوامل از طریق انجام عملیات مناسب زراعی تأمین می‌شوند.

کود دامی را در زراعت گیاهانی مانند سبزیجات، سیب زمینی، ذرت، پنبه و چغندر قند به مقدار تقریبی ۲۰ تا ۵۰ تن در هکتار به خاک می‌دهند. کود دامی را معمولاً در زمان شروع عملیات تهیه بستر تا حداقل یک ماه قبل از کاشت بر سطح خاک می‌پاشند و با وسایلی مانند گاو آهن، دیسک یا کولتیواتور با خاک سطحی و تا عمق حدود ۲۰ سانتی‌متری مخلوط می‌نمایند. در زراعت‌های کوچک و سنتی کود دامی را به صورت کپه‌هایی در مزرعه قرار می‌دهند و سپس آن را با بیل بر سطح خاک پراکنده ساخته و با خاک مخلوط می‌کنند، در حالی که در زراعت‌های مکانیزه از دستگاه مخصوص پخش کود استفاده می‌شود. دستگاه مخصوص پخش کود مانند یک تریلر است که در کف آن یک نوار نقاله قرار دارد. نوار نقاله کود را به سمت عقب و خارج از تریلر هدایت کرده و روی یک مارپیچ گریز از مرکز می‌ریزد. چرخش مارپیچ کود را به اطراف پرتاب می‌کند. از آنجائی که هزینه خرید، حمل و نقل و پاشیدن کود دامی بسیار زیاد است و به خصوص در زراعت‌های وسیع می‌تواند مشکلاتی را در برنامه‌ریزی و زمان بندی عملیات زراعی پیش آورد، لازم است به باقی گذاشتن بقایای گیاهی بر خاک و تلاش در حفظ هوموس خاک توجه کافی مبذول گردد.

ترکیب و مشخصات کود دامی

کودهای دامی به دلیل تأثیراتی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و فعالیت‌های بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک دارند، در تغذیه گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. این کودها شامل دو بخش مایع و جامد می‌باشند که از لحاظ وزنی، تولید کود اصطبل‌ی جامد سه برابر مقدار مایع آن می‌باشد.

حدود نیمی از نیتروژن، پتاسیم و تمام فسفر کود اصطیلی در قسمت جامد آن متمرکز شده است؛ اما 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 دامی باید پیش از خشکیدن در کشت‌زار (قبل از کشت) پخش و در خاک دفن شوند تا نیتروژن آنها به صورت آمونیاک به هدر نرود. هر دو بخش جامد و بخش مایع این نوع کود برای گیاه دارای ارزش غذایی است. با توجه به جدول (۶) و ارزیابی‌های مشابه می‌توان گفت که کود مرغی از نظر عناصر N، P، Ca، Mg، Na و S از قوی‌ترین کودها است. در میان کودهای دامی متداول، ترتیب: کود مرغی < کود گوسفندی < کود گاوی را از نظر غنای عناصر مورد نیاز گیاهان می‌توان قائل شد. به‌طوری که از نظر ریزمغذی‌ها هم عناصر Cu، Zn، Mn در کود مرغی غنی بوده و عنصر آهن هم در کود اسبی بالاترین مقدار را دارد و کود گاوی در این میان حالت بینابین را دارا می‌باشد. محققان این اختلافات را به نوع تغذیه حیوانات ربط می‌دهند و بر این باورند که علف خشک، سیلو، علف تازه و گیاهان غده‌ای غنی از پتاسیم هستند و تغذیه با آنها موجب زیاد شدن K در کود دامی می‌شود، دانه‌ها و بذرها هم محتوی نیتروژن و فسفر زیادی دارند و به همین دلیل کود مرغی (به علت تغذیه طیور از دانه) محتوی نیتروژن و فسفر بالایی دارد. البته قابلیت هضم و جذب هر یک از عناصر غذایی در کودهای دامی را نباید از نظر دور داشت و علاوه بر مقدار مطلق آنها باید این عامل را نیز در بیلان غذایی دخیل دانست.

در کودهای دامی سه بخش مختلف نیتروژن تمیز داده می‌شود:

- نیتروژنی که مستقیماً قابل جذب است مانند نیتروژن معدنی و اوره
- نیتروژنی که به آهستگی قابل جذب است مانند پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه
- نیتروژنی که عملاً غیر قابل جذب است. مانند نیتروژنی که در ساختمان مواد آلی سخت

تجزیه شونده وارد شده‌اند.

جدول ۶- ترکیب متوسط کودهای مختلف دامی (آنتون، ۱۹۸۲)

عنصر غذایی	واحد	کود گاوی		کود اسبی	کود گوسفندی	کود مرغی
		شیری	گوشتی			
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 ⁻¹	۱۹/۷۴	۱۵/۸۰	۱۵/۸۰	۲۵/۳۳	۴۶/۰۰
pH	-	۷/۵	۷/۳۰	۷/۳۰	۸/۰	۷/۵

بخش نیتروژنی که به آسانی قابل جذب است، در کود دامی جامد برابر ۱۰ درصد و در کود دامی مایع تقریباً برابر ۵۰ درصد است. تأثیر آن نیز تقریباً سریع و مشابه کودهای نیتروژنی معدنی می‌باشد؛ اما نیتروژن آلی موجود در کودهای دامی به سختی قابل جذب گیاه هستند و بیشتر در

ساختمان اسیدهای فولویک، هومیک و هومین‌ها یافت می‌شوند. در حالت کلی فقط ۵۰ درصد نیتروژن موجود در کود دامی را می‌توان در بیلان کودی منظور کرد. در این رابطه باید زمان مصرف کود و سرعت به زیر خاک بردن آن نیز مورد توجه قرار گیرد. به‌طوری‌که اُفت نیتروژن در صورت به زیر خاک بردن کود دامی برابر ۱۰ درصد و در صورتی که به زیر خاک برده نشوند، برابر ۹۰-۴۰ درصد آمونیاک موجود است که این عمل از طریق متصاعد شدن آمونیاک حاصل می‌شود. بنابراین در یک مدیریت کودی صحیح باید تمام عوامل ذکر شده بالا را در نظر داشت و با توجه به نوع گیاه، تجزیه خاک و نوع کود دامی کم و کاستی‌های کود دامی را از کودهای شیمیایی جبران کرد. به‌گونه‌ای که امروزه برای رسیدن به عملکردهای بالا مخصوصاً در وارته‌های پر محصول چاره‌ای جز مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی نیست چرا که کودهای آلی با توجه به سرعت کم معدنی شدن نمی‌توانند تمام نیاز غذایی گیاهان پرمحصول را تأمین نمایند. استفاده مطلق از کودهای شیمیایی خاک را در جهت تخریب و پسرفت حاصلخیزی سوق خواهد داد. بهتر است در مزارع از کودهای دامی پوسیده استفاده شود، چون استفاده از کودهای دامی تازه علاوه بر افزایش علف‌های هرز و بیماری‌ها، گیاهان را در اوایل رشد با کمبود نیتروژن (زردی عمومی مزرعه) مواجه می‌سازند. لذا توصیه می‌شود حتی‌الامکان در این حالت همراه با ماده آلی از کودهای نیتروژنی استفاده شود. برای رهایی از خطر بیماری‌ها و علف‌های هرز نیز بهتر است کودهای دامی را به مدت ۶-۳ ماه در شرایط مناسب نگه داشت تا در اثر تولید حرارت اکثریت این عوامل از بین بروند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴).

عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی کود دامی

۱- نوع دام: کود گاوی، کود گوسفندی، اسبی و مرغی که هر یک دارای خصوصیات شیمیایی متفاوتی هستند.

- ۲- نوع بستر دام: برای نگهداری دام در اصطبل از بستر کاه و گُلش استفاده می‌کنند. این نوع بستر در ترکیب شیمیایی کود مؤثر می‌باشد.
- ۳- نوع علوفه مصرفی: اگر دام از علوفه‌ای مصرف کند که مواد غذایی بیشتری داشته باشد کود متفاوتی خواهد داشت.
- ۴- سن و شرایط رشدی دام
- ۵- روش تخمیر و پوساندن کود: ترکیبات شیمیایی کود پوسیده با کود تازه متفاوت است.
- ۶- روش مصرف کود

روش و زمان مصرف کود دامی

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 نپوسیده در فصل پائیز و کودهای پوسیده 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. یعنی 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 خاک عنوان شده است.

فرآوری کود دامی

در این روش می‌توان فضولات دامی را به کود تبدیل نمود. کافی است تا در روستاهایی که فضولات دامی زیاد است، کشاورز اقدام به حفر گودالی بر روی زمین به عمق ۱/۲ متر و طول و عرض ۲ متر نماید و فضولات دامی را در داخل آن بریزد. می‌بایستی بر روی هر لایه از فضولات

دامی کود اوره و کمی آب ریخته شود. بعد از آنکه گودال از لایه‌های فضولات دامی و کود اوره پر شد، روی آن را با کاه و گلش یا نایلون به خوبی پوشانده و هر ۱۵ روز آن را بازرسی و آب پاشی نموده تا کود کاملاً داغ (دمای حدود ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی گراد) شود.

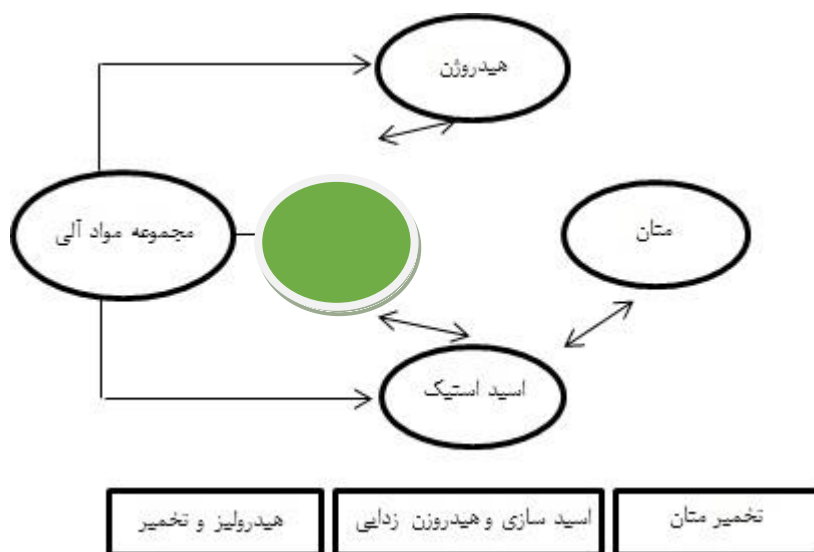
تخمیر غیر هوازی فضولات دامی و ضایعات کشاورزی

در مناطق روستایی، بقایای گیاهی و فضولات دامی جمع آوری شده و برای تهیه گاز متان به عنوان سوخت استفاده می‌شوند. امروزه از این روش در هند، چین، تایوان، کره، اوگاندا و بنگلادش استفاده می‌شود. این روش دارای دو امتیاز عمده کاهش آلودگی و مصرف باقی‌مانده فضولات به عنوان کود در مزارع است. فضولات گاوی منبع خوبی برای تولید بیوگاز توسط تخمیر غیر هوازی است.

از دیگر مواد آلی با توان بالقوه برای تولید متان می‌توان به ضایعات گیاهی، حیوانی، تفاله‌های حاصل از کارخانجات کشاورزی و ضایعات حاصل از جنگل‌ها و دریاها اشاره کرد. مواد آلی شامل فضولات دامی، انسانی و بقایای گیاهی قابل تجزیه می‌باشد. قسمتی از مواد آلی می‌توانند تحت شرایط ویژه‌ای به دور از اکسیژن تخمیر شده و به بیوگاز تبدیل شوند. بیوگاز، گاز تولیدی از طریق هضم بی‌هوازی^۱ زباله‌های زیست‌توده (کود دامی، بقایای گیاهی، فاضلاب، مواد زاید جامد شهری، انسانی، زباله‌های صنعتی کشاورزی و ...) توسط مجموعه‌ای از میکروارگانیسم‌ها که با محیط‌زیست نیز سازگارند می‌باشد.

میکروارگانیسم‌های آغازگر برای عمل تخمیر غیر هوازی مواد آلی، با افزودن فضولات گاوی به توده‌ای از بقایای خرد شده گیاهی تأمین می‌شوند. در شرایط غیرهوازی، مواد آلی با کمک میکروارگانیسم‌های اولیه و ثانویه تجزیه می‌شوند. توده‌های میکروبی اولیه کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های پیچیده را به منابع کربن قابل حصول تبدیل می‌کند. هضم بی‌هوازی که در آن هر نوع

پسماند ماده آلی می‌تواند در محیط عاری از اکسیژن به روش بیولوژیکی تغییر کند یک فرآیند پیچیده است که نیاز به شرایط محیطی خاص و باکتری‌های متفاوتی دارد. در این فرآیند مخلوطی از باکتری‌های مختلف، مواد آلی را تخریب کرده و گاز پرانرژی به نام بیوگاز را که عمدتاً شامل متان و دی‌اکسید کربن است، تولید می‌کنند. به‌علاوه تولید آنزیم‌های مختلف از باکتری‌های موجود سه واکنش عمده: هیدرولیز^۱، استون سازی^۲ و متان سازی^۳ مطابق شکل در فرآیند یاد شده انجام می‌گیرد (لاستلا و همکاران، ۲۰۰۲).



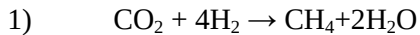
شکل ۱ - مراحل مختلف تولید متان (لاستلا و همکاران، ۲۰۰۲)

باکتری جنس *کلوستریدیوم*^۴ که در محیط‌های غیر هوازی غالب است، سلولز (سلولز، ترکیب اصلی مواد آلی موجود در بقایای گیاهی است) را تجزیه کرده و اسیدهای آلی و الکل تولید

- 1 . Hydrolysis
- 2 . Acetogenesis
- 3 . Methanogenesis
- 4 . *Clostridium*

می‌کنند. باکتری‌های تولید کننده متان مثل متانوکوکوس^۱ که جزء توده‌های میکروبی ثانویه هستند.

اسیدهای آلی را به صورت واکنش‌های زیر به گاز متان و گاز کربنیک تبدیل می‌کنند:



کود گوسفندی

کود گوسفندی نیز یکی از کودهای آلی بسیار خوب می‌باشد که دارای ۳/۶۲ درصد نیتروژن (

N)، ۰/۶۸ درصد فسفر (P_2O_5) و ۲/۹۷ درصد پتاسیم (K_2O) می‌باشد.

کود مرغی

کودهای دامی مانند کود مرغی علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، حاوی مواد غذایی

مهم برای تغذیه گیاه هستند و حدود ۳ درصد نیتروژن، ۲/۶۳ درصد فسفر و ۱/۴ درصد پتاسیم

هستند (ردی و ردی، ۱۹۹۵). فضولات دامی از قرن‌ها پیش به عنوان کود مورد استفاده قرار

می‌گیرند که در این بین کود مرغی به دلیل داشتن مقدار بالای نیتروژن یکی از مطلوب‌ترین

کودهای آلی شناخته شده است. کود دامی و مرغی از منابع کودهای آلی هستند که استفاده از آنها

در نظام‌های مدیریت پایدار خاک مرسوم می‌باشد. این کودها باعث اصلاح ویژگی‌های فیزیکی،

شیمیایی و میکروبی خاک می‌شوند. درصد نیتروژن کود گاوی بیشتر از کود گوسفندی است ولی

درصد فسفر و پتاسیم کود مرغی از کودهای گاوی و گوسفندی بیشتر است (عزیز و همکاران،

۲۰۱۰).

کود مرغی موجب اصلاح فعالیت بیولوژیکی، کشت و کار و خواص شیمیایی خاک می‌شود.

مقدار سه تن کود مرغی تازه معادل ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم، ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات

ترپل و ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم اوره می‌باشد. کود مرغی ترکیب شیمیایی بسیار متفاوت نسبت به سایر

1 . *Methanococcus*

کودهای حیوانی دارد. این بدان علت است که در کود مرغی مقادیر نسبتاً زیاد اسید اوریک و سایر اورئیدها وجود دارند. این مواد از اشکال مختلف اوره هستند و برای گیاهان زراعی می‌توانند به‌وسیله جذب از خاک و ورود به داخل بافت گیاه بسیار سمی باشند. کود مرغی تازه حدود ۷۰ درصد رطوبت دارد. کود مرغی اگر به درستی نگهداری و به مزرعه منتقل و مصرف شود، کود بسیار با ارزشی می‌باشد.

شرایط نگهداری کود مرغی

نگهداری توده کود مرغی در فضای باز و در معرض باد و باران موجب هدر رفتن نیتروژن آن به شکل گاز آمونیاک می‌شود. بوی تند متصاعد شده از کود مرغی در واقع حاصل تصعید از گاز آمونیاک می‌باشد که در نتیجه ارزش غذایی کود مرغی از نظر نیتروژن کاهش می‌یابد. برای کاهش خروج گاز آمونیاک و بوی تند کود مرغی و کاستن تلفات آبخویی فسفر و عناصر غذایی کم مصرف و خارج شدن این عناصر از دسترس ریشه گیاه، کود مرغی را با مصرف سولفات آلومینیوم اصلاح می‌کنند. برای حفظ نیتروژن کود مرغی و کاهش بوی گاز آمونیاک و تلفات نیتروژن، کود سوپر فسفات تریپل به مقدار ۵۰ کیلوگرم به ازای هر تن کود مرغی استفاده می‌شود. فسفات با آمونیوم کود مرغی ترکیب شده و از هدر روی نیتروژن مرغی جلوگیری می‌کند. کمپوست کردن کود مرغی با گوگرد نه تنها آلودگی زیست محیطی مربوط به کود مرغی را کاهش می‌دهد بلکه موجب افزایش تأثیر زراعی آن نیز می‌شود. با کمپوست کردن کود مرغی محصولی به دست می‌آید که حمل و نقل و کاربرد آن راحت‌تر انجام می‌گیرد.

تعیین مقدار مصرف کود مرغی

بهترین روش در تعیین مقدار مصرف کود مرغی در هر هکتار انجام تجزیه فیزیکی شیمیایی کود مرغی می‌باشد. در این تجزیه مقدار عناصر غذایی موجود در کود مرغی و خواص شیمیایی آن

مخصوصاً pH مشخص می‌شود. مقدار مصرف آن با توجه به تجزیه کود مرغی و آزمون خاک زراعی تعیین می‌شود.

زمان و نحوه مصرف کود مرغی

در فصول مختلف سال کود مرغی را در مزارع مصرف می‌کنند. با مصرف آن در فصل پائیز بیشترین زمان برای تجزیه کود مرغی و آزاد سازی عناصر غذایی موجود در آن فراهم می‌گردد. کاربرد کود مرغی در فصل پائیز به منظور جلوگیری از هدر رفتن نیتروژن در خاک‌های با بافت سبک توصیه نمی‌شود. کاربرد آن در فصل بهار برای هدر روی نیتروژن در مزرعه فرصت کمی وجود دارد. به هرحال مصرف آن در فصل بهار، انجام عملیات زراعی و کاشت را به تأخیر می‌اندازد و می‌تواند موجب افزایش فشردگی خاک شود. در بیشتر مواقع کود مرغی را در فصول تابستان و زمستان مصرف می‌کنند. هنگام مصرف کود مرغی قبل از کاشت، مخلوط کردن کامل آن با خاک به وسیله شخم زدن خاک برای اجتناب از قرار گرفتن بذور در محل دارای کود مرغی به شدت توصیه می‌شود. چون امکان دارد بذور گیاهان زراعی در اثر سمیت آمونیاک موجود در این کود جوانه زنند و یا گیاهچه حاصل از آنها از بین بروند. تقریباً ۳۵ تا ۵۰ درصد نیتروژن موجود در قسمت آلی کود مرغی برای گیاهان هر ساله قابل استفاده است. بعد از مصرف کود مرغی تقریباً ۲۰ درصد نیتروژن کل آن برای گیاهان زراعی در سال دوم و حدود ۵ تا ۱۰ درصد آن در سال سوم قابل استفاده می‌باشد.

مصرف صحیح و پخش درست آن در سطح مزرعه به منظور حداکثر استفاده از ارزش کود مرغی و قرار گرفتن عناصر غذایی آن به یک اندازه برای گیاهان زراعی مهم می‌باشد. مقدار تلفات نیتروژن کود مرغی پس از پخش در سطح مزرعه به فاصله زمانی مصرف و اختلاط آن با خاک بستگی دارد. اختلاط آن با خاک در طی مدت ۱۲ ساعت پس از پخش کود مرغی برای به حداکثر رساندن بازدهی نیتروژن بسیار مطلوب است. کود مرغی نیز غنی از مواد و عناصر غذایی

می‌باشد. عناصر موجود در این کود چه به شکل جامد و چه مایع قابل استفاده برای گیاه می‌باشند. کلسیم، منیزیم، سدیم و عناصر دیگر موجود در فضولات مرغی موجب تقویت خاک و در نتیجه افزایش محصول خواهد شد. این کود همچنین باعث افزایش قابلیت نگهداری رطوبت و افزایش تهویه در خاک شده و از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند. این کود همچنین فعالیت بیولوژیکی خاک را افزایش می‌دهد.

۲-۲- کود سبز

گزارش‌های مختلف نشان می‌دهند که حدود ۱۰۰۰ میلیون تن در سال بقایای گیاهی فقط از غلات تولید می‌شود. علاوه بر این، بقایایی از گیاهان فیبری نظیر پنبه و کتان بذری، گیاهان تولید کننده شکر نظیر نیشکر و چغندر قند و لگوم‌های دانه‌ای وجود دارند. با استفاده گسترده از ماشین‌های دروگر در کشورهای پیشرفته، بقایای گیاهی در مزرعه باقی می‌ماند و به منظور فراهم نمودن حداکثر سودمندی ممکن، مخصوصاً جهت حفاظت آب، کنترل فرسایش و تقویت ماده آلی خاک، مدیریت خاصی اعمال می‌شود. در بعضی از کشورهای پیشرفته (انگلستان، ایرلند، کانادا و استرالیا) اغلب کاه و گلش گندم را می‌سوزانند؛ اما در بعضی کشورهای دیگر (نظیر آلمان) قوانین محدود کننده‌ای برای سوزاندن آنها وجود دارد. در کشورهای جنوب و جنوب غرب آسیا، دانه غلات مستقیماً مورد مصرف انسان قرار می‌گیرد و بقایای محصول منبع عمده تغذیه حیوانات است. به علاوه بقایای گیاهانی مانند پنبه به عنوان سوخت جهت پخت غذا، جهت ساختن کلبه و گاوداری استفاده می‌شوند. هنگامی که کنترل علف‌های هرز در خاک‌های با زهکشی خوب ممکن باشد، عملکرد محصول در سیستم بدون شخم^۱ معمولاً برابر یا حتی بهتر از عملکرد با سیستم شخم مرسوم^۲ مخصوصاً در مناطق خشک می‌باشد. در نواحی مرطوب و سرد جهان یا در

1 . No tillage

2 . Conventional tillage

خاک‌هایی با زهکشی نامطلوب (ضعیف) هنگامی که بقایای گیاهی در محل باقی بماند و شخم قبل از کاشت هم انجام نشود، عملکرد محصول ممکن است کمتر باشد.

به‌طور کلی باقی گذاشتن بقایای گیاهی در سطح خاک در سیستم بدون شخم منتج به تجمع کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و بعضی دیگر از عناصر غذایی گیاهی قابل جذب در ۵ سانتی‌متری سطح خاک می‌شود. در کشورهایی که بقایای گیاهی را به‌طور معمول برای سوخت و بستر دام از مزرعه خارج می‌کنند، خاک سرانجام از ماده آلی تهی شده و خصوصیات مطلوب فیزیکی معمولاً کمتر توسعه می‌یابد.

کاربرد کود سبز به عنوان یک کود ارگانیک

یکی دیگر از راه‌های افزایش ماده آلی خاک استفاده از کود سبز در تناوب زراعی می‌باشد. منظور از کود سبز شخم زدن و مخلوط کردن گیاه در خاک پس از رشد کافی و بدون برداشت محصول است. اثر کود سبز بر خصوصیات فیزیکی خاک همانند کود دامی 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 بازداري رشد علف‌های هرز ضرورت دارد. بنابراین اهداف کود سبز را می‌توان در افزایش ماده آلی خاک، حفظ مواد غذایی 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.

کود سبز در چرخه تناوب فقط می‌تواند جایگزین آیش فصلی گردد. چنانچه طول آیش فصلی موجود برای تولید یک محصول کفایت نماید، استفاده از کود سبز طی آن آیش فصلی مجاز نیست. نوع آیش فصلی (زمستانه یا تابستانه) که در شرایط کشت آبی توسط کود سبز جایگزین می‌شود، به شرایط اقلیمی بستگی دارد. در نواحی اقلیمی که دارای زمستانی سرد می‌باشند، گیاهان وجینی (مانند چغندر قند، پنبه، ذرت و سیب‌زمینی) در بهار کاشته می‌شوند و آیش زمستانه می‌تواند توسط کود سبز اشغال گردد. در نواحی اقلیمی که زمستان ملایمی دارند، گیاهان وجینی ممکن است در پائیز (مانند چغندر قند و سیب‌زمینی) یا در بهار (مانند ذرت، پنبه و آفتابگردان) کاشته شوند و کود سبز می‌تواند محصولی تابستانه یا پائیزه (برعکس دوران رشد محصول اصلی) باشد.

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 خوبی در خاک‌های فقیر رشد می‌کنند و در بهبود حاصلخیزی و ساختمان خاک‌ها مؤثر می‌باشند. به‌کارگیری کود سبز در شرایط دیم ایران به نواحی پرباران ساحل خزر محدود می‌شود. در این نواحی می‌توان از گیاهانی مانند جو و چاودار به‌عنوان کود سبز برای محصولات وجینی بهاره مانند پنبه، ذرت و آفتابگردان استفاده نمود. در این شرایط کود سبز را می‌بایستی حدود یک ماه قبل از کاشت در خاک شخم زد تا پوسیدگی مناسبی اتفاق افتاده و رطوبت کافی برای رشد محصول اصلی در خاک ذخیره شود.

سالیان مدیدی است که کشاورزان با چگونگی تهیه کودهای سبز آشنایی دارند و معمولاً در سال‌های گذشته که کشاورزی به این حد متمرکز نبود و بشر این گونه خاک را تحت فشار قرار نداده بود، با این مسئله و رعایت آیش، اُنس بیشتری داشت. در هر حال کود سبز از کشت گیاهان علوفه‌ای با رشد سریع به‌ویژه از خانواده بقولات و زیر خاک کردن محصول سبز به دست می‌آید. به‌علت قابلیت زیاد تجزیه و تخریب این مواد، مقدار هوموس حاصله از کود سبز تا حدودی تحت‌الشعاع سایر محاسن قرار می‌گیرد.

فواید بسیاری برای دادن کودهای سبز به خاک قائل شده‌اند که مهم‌ترین آنها افزایش مواد آلی، افزودن خاک، ازدیاد فعالیت‌های زیستی و بالاخره نگه‌داری و قابل جذب نگه‌داشتن عناصر غذایی خاک می‌باشد. یک هکتار کود سبز معمولاً بین ۵۰-۲۵ تن شاخ و برگ و انساج گیاهی تازه را وارد خاک می‌کند. این مقدار کود سبز خود برابر با ۲۰-۱۰ تن کود دامی بوده و می‌تواند بین ۲-۱ تن هوموس به خاک بیفزاید. بنابراین در صورت کمبود کود دامی یکی از بهترین راه‌های جبران تلفات مواد آلی خاک، دادن کود سبز می‌باشد. در بیشتر مواقع از گیاهان خانواده بقولات به‌عنوان کود سبز استفاده می‌شود. با این عمل معمولاً نزدیک به ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن هوا به وسیله غده‌ها در ریشه‌های یونجه، ۱۵۰-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در ریشه‌های شبدر و نصف این مقدار در سویا تثبیت می‌شود. شبدر بین ۲/۵-۲ درصد نیتروژن در شاخ و برگ و غده خود دارد. بنابراین هنگامی که یک هکتار از این گیاه در خاک برگردانده شود، نزدیک به ۸۰-۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به خاک افزوده می‌شود. پیامد افزایش کود سبز، تشدید فعالیت میکروب‌های مفید خاک می‌باشد که این خود تصعید گازکربنیک و آزاد شدن نترات و دیگر ترکیبات غذایی را باعث می‌شود (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴).

میکروب‌هایی مانند ازتوباکتر که نیتروژن خاک را زیاد می‌کند، حساسیتی فوق‌العاده به مقدار کربن خاک دارد. هر چه مقدار این ماده بیشتر باشد فعالیت آنها نیز فراوان‌تر خواهد بود. کودهای

سبز به خاطر دارا بودن رشد رویشی زیاد و ریشه‌های قوی می‌توانند مقدار زیادی از عناصر محلول را که در شرایط عادی بر اثر شستشو به اعماق پایین خاک حرکت می‌کنند، جذب خود کنند و با تجزیه و فساد سریع خود در زیر خاک آنها را در افق‌های سطحی نگهداری نموده و در اختیار زراعت بعدی قرار دهند. همچنین این گیاهان قادرند از فسفات‌های غیر محلول پتاسیم تثبیت شده و عناصر کم‌مصرف، تا حدی زیاد استفاده کنند. بنابراین برگرداندن این گیاهان به خاک علاوه بر بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک، سبب تسهیل در آزاد شدن عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف می‌شود.

لازم به ذکر است در مناطقی که برای افزایش مواد آلی خاک از کاه و گُلش استفاده می‌شود، کربن بالای موجود در کاه و گُلش موجب تثبیت شدید نیتروژن معدنی شده 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. در خاک‌هایی که از نظر نیتروژن مخصوصاً نترات فقیر هستند، برای هر ۱۰۰ کیلوگرم کلش یک کیلوگرم نیتروژن توصیه می‌شود (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴).

تأثیر مثبت کود دهی با گُلش در مقدار کربن آلی خاک بستگی زیادی به قابلیت نگهداری نیتروژن خاک دارد. 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 حدود 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 به کندی تجزیه شده و در کمپوست حاصل از آن باقی مانده و در طولانی مدت تجزیه شوند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴).

بهترین زمان تهیه کود سبز

بهترین زمان استفاده از کود سبز پس از به گل رفتن گیاه است. کود انتخاب شده باید در زمان گلدهی یا خوشه بستن به زیر خاک برده شود. زیرا قبل از این زمان، رشد و نمو قسمت‌های سبزینه‌ای گیاه کافی نبوده و از برگرداندن آن ماده آلی زیادی به خاک اضافه نخواهد شد. کود سبز به منظور تقویت زمین از لحاظ مواد آلی غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور گیاهان برای مدت زمانی معین در مزرعه کاشته شده و بعد از رشد کافی به زمین برگردانده می‌شوند. از گیاهان زراعی گوناگون اعم از علوفه‌ای و بقولات مانند انواع شبدر، عدس، باقلا و ... و همچنین گیاهان خودرو مانند ختمی، گل بنفشه، مرغ و حتی بعضی از اجزای گیاهی مانند ساقه و برگ سیب‌زمینی و شلغم می‌توان به‌عنوان کودسبز استفاده کرد.

معمولاً از گیاهانی برای تهیه کود سبز استفاده می‌شود که:

- ۱- دارای رشد سریعی بوده و مدت کوتاهی زمین زراعی را اشغال کنند.
- ۲- پرشاخ و برگ، شاداب و سرشار از مواد غذایی باشد تا هم با سایه خود مانع سبز شدن بذر علف‌های هرز شوند و هم زیر خاک بردن آنها به سادگی انجام گیرد.
- ۳- کم توقع بوده و برای حداکثر رشد خود به کود حیوانی یا شیمیایی کمتری احتیاج داشته باشند.
- ۴- نیاز آبی آنها بسیار کم باشد. این ویژگی در مناطق گرمسیری و خشک اهمیت بیشتری دارد.

مزایای استفاده از کودهای سبز

• تأمین ماده آلی

یکی از اثرات استفاده از کودهای سبز تأمین ماده آلی خاک است. به‌خصوص زمانی که کود حیوانی کافی در دسترس نبوده و یا بقایای گیاهی به جا مانده در زمین به حدی نباشد که بتواند مقدار هوموس خاک را در حد مطلوبی نگه دارد. پس از برگرداندن کود سبز در خاک، هم

قسمت‌های هوایی و هم ریشه‌های آن پوسیده شده و ماده آلی خاک را افزایش می‌دهد. کود سبز در زمین‌های سبک (شنی) ایجاد چسبندگی می‌کند و در زمین‌های سنگین (رسی) خاک را پوک و سبک می‌کند.

• افزایش نیتروژن

کود سبز علاوه بر کربن آلی، مقداری نیتروژن آلی به خاک اضافه می‌کند. این مقدار نیتروژن بر حسب شرایط، ممکن است ناچیز یا قابل توجه باشد. برای مثال چنانچه یک گیاه لگومینه^۱ (گیاهان خانواده بقولات) به خاک برگردانده شود، با توجه به این که بیشتر این گیاهان در شرایط مساعد، آمادگی و قدرت جذب و تثبیت نیتروژن آزاد هوا را دارند، احتمال افزایش ذخیره نیتروژن خاک را بالا می‌برد. حال آن که با برگرداندن گیاهی غیر لگومینه به خاک نیتروژن قابل ملاحظه‌ای به خاک اضافه نخواهد شد.

• حفاظت خاک

معمولاً در فصولی از سال که خطر فرسایش خاک وجود دارد، برای آن که خاک بی حفاظ نباشد، از یک گیاه پوششی استفاده می‌شود. این گیاهان در مناطقی که باران‌های زمستانه زیاد است از نشست خاک‌های سنگین و نیز از فرسایش خاک‌های سبک جلوگیری می‌کنند. این گیاهان در مناطق بادخیز با پوشاندن سطح خاک، سرعت باد را در سطح کم کرده و خاک را در مقابل کنده شدن حفظ و در جای خود نگه می‌دارد. بهترین نمونه از گیاهان پوششی، چاودار زمستانه و یولاف بهاره است.

• تأمین مواد بیوشیمیایی خاک

کود سبز به‌عنوان ماده غذایی، مورد استفاده میکروارگانیسم‌های خاک قرار می‌گیرد و گاز کربنیک، گاز آمونیاک، ترکیبات نیترا ته و بسیاری از ترکیبات ساده و پیچیده دیگر را تولید کرده

و مورد استفاده نباتات زراعی قرار می‌دهد.

محدودیت‌های استفاده از کود سبز

- ۱- وقت گیر بودن و کار و زحمت فراوان در تهیه و توزیع کود سبز در زمین
 - ۲- نداشتن تأثیر آنی همانند کودهای شیمیایی
 - ۳- عدم امکان تخصیص قسمتی از زمین زراعی برای مدت ۸-۶ هفته به منظور کشت
 - ۴- محدودیت گونه‌های گیاهی برای تهیه کود سبز در تمام مناطق زراعی
 - ۵- وجود محدودیت در تعداد کارگر، آب و تهیه بذر گیاه کودی
- موارد ذکر شده از جمله مواردی هستند که در تولید کود سبز در مقیاس زیاد مشکلاتی ایجاد می‌کند. از سوی دیگر با توجه به شناسایی گونه‌های بقولات تولیدکننده گره در ساقه و ریشه مانند گونه‌های *Sesbania Tostrata*, *Aesvhynomene* spp. نیاز مبرم به احیای دوباره تهیه کودهای سبز احساس می‌شود. کودهای آلی حاصل از گیاهان بقولات کودهای ارگانیک هستند که عمدتاً از مواد تازه و سبز گیاهان علفی، بوته‌ها و درختان خاصی تشکیل شده است که سرشار از نیتروژن بوده و به سادگی تجزیه می‌شوند.

روش‌های کشت کودهای سبز

کودهای سبز را بر حسب شرایط مختلف می‌توان به‌طور کلی به دو صورت اصلی و فی مابین کشت کرد. از جمله مزایای انتخاب روش صحیح کشت این است که هم از فاصله زمانی موجود بعد از برداشت و کاشت نباتات زراعی استفاده بیشتر شده و هم از خاک و رطوبت موجود در آن به‌طور کامل استفاده می‌برند و همچنین ادوات و ماشین آلات کم‌تری نیز به کار گرفته می‌شود. منظور از کشت اصلی آن است که کود سبز مانند گیاهان زراعی هم در فصل معین و هم به صورت یک زراعت اصلی و یا تنها کاشته شوند. زمان کشت اصلی می‌تواند پائیز و یا بهار باشد. جز در

مورد گیاهانی مثل ذرت، ذرت خوشه‌ای و یا یونجه که در بهار کشت می‌شوند، کشت دیگر کودهای سبز در پائیز انجام می‌گیرد. قابل ذکر است در مواردی که از کشت یک کود سبز نتیجه مطلوبی به دست نمی‌آید، توصیه می‌شود که دو گیاه را به صورت مخلوط با هم به عنوان کود سبز کشت کرد. لازم است که این دو گیاه از نظر خصوصیات زراعی مثل رشد و نمو شاخه، برگ، ریشه و نیز خصوصیات آب و هوایی و نیازهای غذایی هماهنگی خاصی با یکدیگر داشته باشند. بهترین مثال از کشت مخلوط یولاف و نخود فرنگی و یا چاودار و ماشک است. کشت فی مابین در فاصله زمانی بین برداشت و کشت دو گیاه زراعی متوالی انجام می‌گیرد. اگر این کود سبز بعد از یک گیاه صیفی در اواخر تابستان یا اوایل پائیز کشت شده و دوران رشد آن تا زمستان یا حتی بهار سال آینده که زمین برای زراعت گیاه اصلی بعدی آماده می‌شود، ادامه یابد به آنها کشت فی مابین زمستانه می‌گویند. مانند انواع غلات به خصوص جو، چاودار، ماشک، گل خوشه‌ای، چچم ریشک‌دار، شبدر، گل میخکی و غیره. اگر کود سبز در فاصله بین برداشت زراعت اصلی پائیزه سال قبل و کاشت زراعت اصلی پائیزه سال بعد کشت شود، به آن کشت فی مابین تابستانه می‌گویند.

شرایط برگرداندن کود سبز به زمین

کود سبز را حداقل دو هفته قبل از کاشت محصول اصلی به خاک برمی‌گردانند. هرچه درصد مواد خشبی کود سبز بیشتر و نیتروژن آن کمتر باشد، می‌بایستی با فاصله زمانی طولانی‌تری از کاشت محصول اصلی به خاک برگردانده شود. در صورتی که از گیاهانی مثل یونجه یا شبدر به عنوان کود سبز استفاده می‌شود می‌بایستی ابتدا آنها را با ماشین آلاتی مانند کولتیواتور پنجه‌غازی از پائین طوقه قطع نمود تا خشک گردند و یا آن‌ها را با علف‌کش راندآپ یا توفوردی خشک کرد و سه تا چهار هفته بعد از کندن گیاه از ناحیه طوقه یا تیمار با علف‌کش در وضعیت گاورو بودن خاک، شخم شوند. در غیر این صورت رشد مجدد این گیاهان به وقوع پیوسته و به صورت علف هرز در خواهند آمد. هیچ‌گاه نبایستی کود سبز را به عنوان علوفه برداشت و یا مورد چرای دام

قرار داد. این عمل باعث خروج مواد غذائی از خاک گشته و ممکن است رشد و عملکرد محصول بعدی را نقصان دهد. چرای دام یا یک برداشت مختصر علوفه از کود سبز هنگامی امکان پذیر است که کود شیمیایی کافی به خاک داده شود و آیش فصلی موجود اجازه رشد مجدد و کافی را به کود سبز بدهد. بهتر است کود سبز را پیش از برگرداندن، غلطک زده و اگر طول ساقه‌ها بلند است، آنها را درو کرد. در نتیجه این عمل ساقه‌های بلند، روی زمین خوابیده و زیر خاک کردن آنها به وسیله گاواهن آسان‌تر صورت می‌گیرد.

شخم باید در جهت خط غلطک انجام گیرد؛ زیرا در غیر این صورت گیاه کاملاً دفن نشده و مقدار زیادی از آن در مجاورت هوا خشک شده و از بین می‌رود. پس از شخم و دفن کود سبز باید زمین را نیز غلطک زد تا با مساعد شدن شرایط تهویه زمین، پوسیدن کود تسریع شود. برای بهبود وضع تهویه در مناطق پرآب هم لازم است که زمین زهکشی شود. در بعضی مواقع در صورت امکان می‌توان کود سبز را در جایی کاشته و پس از برداشت آن را در جای دیگری به زیر خاک برد.

فصل سوم: کودهای بیولوژیک یا زیستی^۱

مقدمه

برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و تحقق اهداف و سیاست‌های پیش‌بینی شده در این راستا، استفاده از راهکاری مناسب برای تأمین نیازهای غذایی گیاه به کمک موجودات زنده ساکن خاک ضروری خواهد بود. استفاده از کودهای زیستی می‌تواند راهکار مؤثری برای این کار باشد. کودهای زیستی به مواد حاصلخیز کننده‌ای گفته می‌شود که شامل تعداد کافی از یک یا چند گونه از ارگانیسم‌های مفید خاکزی هستند که در بستری از مواد نگه‌دارنده قرار دارند. به عبارت دیگر این نوع کودها که حاوی گونه‌های میکروبی مؤثر برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه هستند، بازده تولید در واحد سطح را افزایش می‌دهند. میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی عناصر غذایی را به مواد غذایی قابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌کنند. تبدیل این عناصر به مواد غذایی مورد نیاز گیاه فرآیند زیستی است که توسط این میکروارگانیسم‌ها انجام می‌شود.

اگرچه تنش‌های محیطی بلندمدت از قبیل خشکی، افزایش دما، یخبندان و غرقاب بودن زمین برای مدت زمان طولانی و همچنین استفاده بی‌رویه از سموم شیمیایی و عدم حضور گیاه میزبان مناسب به مدت طولانی سبب کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید در خاک آن منطقه می‌شود؛ اما می‌توان شرایط را به گونه‌ای تحت کنترل قرار داد که جمعیت این گروه از میکروارگانیسم‌ها در خاک افزایش یافته و بتوان از آنها برای تولید کودهای زیستی استفاده کرد. با

توجه به نوع میکروارگانیسم‌هایی که از آنها برای تولید کودهای زیستی استفاده می‌شود کودهای زیستی را در گروه‌های کودهای زیستی باکتریایی، قارچی، جلبکی و اکتینومیسیت‌ها^۱ طبقه‌بندی می‌کنند؛ این در حالی است که چگونگی عملکرد هر یک از میکروارگانیسم‌ها نیز متفاوت است.

تثبیت‌کننده‌های نیتروژن مولکولی یکی از رایج‌ترین انواع کودهای زیستی هستند. مکانیسم عمل میکروارگانیسم‌های موجود در این نوع کود سبب افزایش نیتروژن موجود در خاک می‌شود. قارچ‌های میکوریزا یکی از دیگر انواع کودهای زیستی هستند. این قارچ‌ها با ریشه برخی از انواع گیاهان همزیستی کرده و تغییرات مفیدی را ایجاد می‌کنند که سبب افزایش جذب مواد غذایی از ریشه گیاه خواهد شد. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات نیز فسفات نامحلول خاک را به فسفر محلول و قابل جذب توسط گیاه تبدیل می‌کنند. باکتری‌های ریزوسفر نیز یکی از انواع کودهای زیستی هستند که محرک رشد گیاه می‌باشند. علاوه بر این، برخی از میکروارگانیسم‌ها نیز مواد آلی زاید خاک را به کمپوست تبدیل می‌کنند که به‌عنوان یک منبع غذایی مفید مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد. برخی از کرم‌های خاکی که در تولید هوموس از آنها استفاده می‌شود نیز نوعی کود زیستی محسوب می‌شوند که نوعی کود کمپوست به نام ورمی‌کمپوست^۲ تولید می‌کنند. باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از رایج‌ترین کودهای میکروبی عرضه شده در سطح وسیع تجاری هستند و معمولاً در تحقیقات علمی برای بررسی تأثیر کودهای زیستی از ریزوبیوم‌ها در همزیستی با لگومینوزها استفاده می‌شود.

در همزیستی با گیاهان چوبی غیرلگومینوز استفاده از فرانکیا^۳ به‌عنوان یک نوع کود زیستی تهیه شده از اکتینومیسیت‌ها بیشترین کارایی را داشته و در مورد غلات نیز استفاده از آزوسپیریلوم^۴

1. Actinomyces
2. Vermicompost
3. Frankia
4. Azospirillum

مرسوم است. بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که در شالیزارها بهتر است از باسیلوس^۱ به حالت آزاد یا همزیستی و از آزولا به عنوان یک کود زیستی مناسب برای افزایش عملکرد در واحد سطح استفاده شود. جالب است بدانید بیش از ۸۳ درصد از گیاهان دو لپه‌ای و حدود ۷۹ درصد از گیاهان تک‌لپه‌ای قادر به تشکیل سیستم میکوریزایی و تولید کود زیستی قارچی هستند و تنها تعداد محدودی از گیاهان زراعی فاقد این توانایی هستند (احمدزاده، ۱۳۹۱). نخستین کود زیستی در اواخر قرن نوزدهم و با نام تجاری نیتراژین تولید و به بازار عرضه شد و پس از آن به ترتیب کودهای زیستی دیگری نیز ساخته شدند. ارگانسم‌هایی که در تولید این کودها از آنها استفاده می‌شود معمولاً از خاک گرفته شده و پس از تکثیر و پرورش در شرایط آزمایشگاه و در محیط‌های کشت مخصوص به صورت پودرهایی بسته‌بندی شده و آماده مصرف می‌شوند.

کود زیستی ازتوباکتر^۲ یکی از بهترین و مؤثرترین کودهای بیولوژیک تأمین‌کننده نیازهای طبیعی گیاهان زراعی، سبزی، صیفی و درختان میوه است. این کود با تثبیت نیتروژن هوا و در انتقال آن به سیستم رشد گیاه، موجب ایجاد تعادل در جذب مواد اصلی مورد نیاز گیاه می‌شود و با ترشح هورمون رشد اکسین، رشد و توسعه ریشه و قسمت‌های هوایی گیاه را افزایش داده و در نتیجه موجب افزایش میزان محصول در واحد سطح می‌شود. علاوه بر این، باکتری‌های موجود در کودهای زیستی ازتوباکتر با ترشح انواع آن‌تیبیوتیک‌ها، سیانید هیدروژن و ... از تهاجم بسیاری از عوامل بیماری‌زای خاکری به ریشه گیاه جلوگیری می‌کنند. کار اصلی تثبیت‌کننده‌های نیتروژن، تثبیت نیتروژن هوا و تبدیل آن به نیتروژن معدنی قابل استفاده برای گیاه است (رحمانی، ۱۳۸۹).

برای انتخاب باکتری‌های سبز از میان گونه‌های مختلف این باکتری آزمایش‌های متعددی در شرایط آزمایشگاهی، گلخانه و مزارع با همکاری زیست‌شناسان انجام شده است. این باکتری به‌طور متوسط ۳۰ تا ۳۵ کیلوگرم از نیتروژن اتمسفر در هر هکتار از خاک زراعی را تثبیت می‌کند. این

1. Bacillus

2. Azotobacter

باکتری برای تثبیت ۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار باید حدود هزار کیلوگرم ماده آلی را اکسید کند و به همین دلیل برای بهبود عملکرد باکتری‌های سبز در خاک باید مقداری کود آلی به خاک اضافه کرد (رحمانی، ۱۳۸۹).

طی چند دهه اخیر به علت افزایش جمعیت و تقاضای روزافزون برای مواد غذایی، مصرف کودهای شیمیایی به منظور افزایش مقدار تولید در واحد سطح به شدت افزایش یافته است، که علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، پیامدهای نامطلوبی در افزایش آلودگی منابع آب و خاک نیز به همراه داشته است. همچنین مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب عدم تعادل عناصر و مواد غذایی موجود در خاک، کاهش بازده محصولات کشاورزی و به خطر افتادن سلامت انسان‌ها و دیگر موجودات زنده خواهد شد. به همین علت امروزه استفاده از کودهای زیستی با منشاء باکتری، قارچ، جلبک و یا دیگر موجودات خاکزی مورد توجه قرار گرفته است که مکانیسم عمل آنها قابلیت جذب عناصر غذایی گیاه در خاک را افزایش می‌دهد. کودهای زیستی نه تنها از مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی برخوردارند، بلکه علاوه بر ایجاد و حفظ پایداری منابع موجود در خاک، توان تولید در بلندمدت را افزایش داده و آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهند. کودهای زیستی منشأ طبیعی دارند و معمولاً از خاک تهیه می‌شوند. بنابراین سبب بهبود ساختمان خاک، افزایش محصول، کاهش آلودگی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه کاهش بیماری‌ها خواهند شد. تولید محصولات غذایی با کیفیت که محصول کودهای زیستی است نه تنها سبب رضایت خاطر مصرف‌کنندگان خواهد شد، بلکه سلامت آنها را نیز تضمین خواهد کرد. با توجه به آنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت مصرف این دسته از کودها نه تنها نیازهای گیاه را به خوبی تأمین خواهد کرد، بلکه سبب بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و در نتیجه سلامت مصرف‌کنندگان خواهد شد (رحمانی، ۱۳۸۹).

تاریخچه

حدود ۸۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح انسان برای تأمین غذای خود از طریق کشت غلات به صورت سازمان یافته‌ای اقدام به کشاورزی نمود. به زودی انسان آموخت که در همان زمین نمی‌تواند به طور پایان ناپذیری گیاهان مختلف را کشت کند و این موضوع او را به فکر راه‌ها و روش‌هایی برای بهبود حاصلخیزی خاک واداشت. شواهد اولیه حاکی از آن است که رومی‌ها و آریایی‌ها کتاب‌های دست‌نویس فراوانی در رابطه با بهبود کشت گیاهان برای کشاورزان داشته‌اند. برای مثال رساله کولوملا تحت عنوان (کشاورزی) که حدود ۶۰ سال بعد از میلاد مسیح نوشته شده است، شامل تشریح عملیات مختلف کشاورزی است که در امپراطوری روم برای نسل‌های متمادی از آنها استفاده شده بود. تثبیت شیمیایی نیتروژن فقط چندین سال پس از درک انسان از مفهوم تثبیت زیستی نیتروژن شناخته شد. در اوایل سال‌های جنگ جهانی اول فرتیز هابر^۱، شیمیدان آلمانی با موفقیت نیتروژن و هیدروژن را با هم ترکیب کرده و آمونیاک تولید نمود. در حقیقت روش سنتز آمونیاک هابر - بوش نیاز به درجه حرارت ۸۰۰ درجه فارنهایت، یک کاتالیز و فشارهای بیش از فشار اتمسفری دارد و تا امروز به عنوان روشی انحصاری در تولید کودهای شیمیایی در جهان باقی مانده است. این نوع ترکیب نیتروژن و هیدروژن، می‌تواند توسط میگرورگانسیم‌های تثبیت کننده نیتروژن در خاک و در داخل بافت‌های موجود در گره‌های ریشه برخی از گیاهان تحت فشار و درجه حرارت طبیعی و با کمک آنزیمی موسوم به نیتروژناز انجام شود. در قرن حاضر به دلیل عدم دسترسی انسان به زمین‌های حاصلخیز زراعی برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تهیه غذای کافی برای همگان، استفاده از این کودها توسعه پیدا کرده است. چرا که برای تأمین غذا یا باید رشد جمعیت را متوقف نمود و یا به کود بیشتری جهت تأمین نیازهای رو به افزایش برای پروتئین دست پیدا کرد.

کودهای شیمیایی توانایی زمین زراعی را برای تولید محصول بهتر بالا می‌برند و در بعضی مواقع سودهای کلانی را از لحاظ اقتصادی نصیب کشورها می‌کنند. در شرکت‌هایی که کود تولید می‌کنند نیتروژن به صورت صنعتی تولید می‌شود که این تولید در اکثر کشورها به سرعت رو به افزایش است. استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی از قدرت بسیار زیادی برخوردار است، در گذشته نه چندان دور تمام مواد غذایی مورد مصرف انسان با استفاده از چنین منابع ارزشمندی تولید می‌شده است؛ اما بهره‌برداری علمی از این گونه منابع سابقه چندانی ندارد. اگرچه مصرف کودهای زیستی به علل مختلف در طی چند دهه گذشته کاهش یافته است ولی امروزه با توجه به مشکلاتی که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به وجود آورده است، استفاده از آنها در کشاورزی مجدداً مطرح شده است. بدون تردید کاربرد کودهای بیولوژیک علاوه بر اثرات مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز مثر ثمر واقع شده و می‌تواند جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی باشد.

در حال حاضر نگرش‌های جدیدی که در ارتباط با کشاورزی تحت عنوان کشاورزی پایدار، ارگانیک و بیولوژیک مطرح می‌باشد به بهره‌برداری از چنین منابعی استوار است. کودهای بیولوژیک منحصراً به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، بقایای 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. امروزه با افزایش تولید محصولات کشاورزی به جهت رفع نیازمندی‌های رو به رشد جمعیت در حال گسترش، نگرانی در مورد آینده تأمین غذا برای مردم مطرح گردیده است.

کشاورزی ارگانیک

کشاورزی ارگانیک یکی از نظام‌های کشاورزی پایدار است که بر مبنای حداقل استفاده از نهاده‌های خارجی گران قیمت و هزینه‌بر از قبیل کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها شکل گرفته است.

در این نظام کشاورزی از نهاده‌های سنتز شده مانند کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، داروهای دامپزشکی، گیاهان اصلاح شده ژنتیکی، مواد نگه‌دارنده، مواد افزودنی و تابش اشعه استفاده نمی‌شود. در واقع کشاورزی ارگانیک یک نظام تولید کشاورزی یک‌پارچه، نظام یافته و انسانی است که با بهره‌گیری از منابع موجود در مزرعه باعث تقویت و توسعه سلامت اکوسیستم‌های زیستی، فعالیت بیولوژیک خاک و چرخه‌های زیستی می‌شود.

بسیاری از فعالیت‌های انجام شده در کشاورزی ارگانیک مانند حداقل شخم، استفاده از گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، بازگرداندن ضایعات کشاورزی به خاک و استفاده از گیاهان پوششی باعث افزایش بازگشت کربن به خاک و ذخیره‌سازی کربن می‌گردد. سیستم‌های کشاورزی ارگانیک عمدتاً به تناوب کشت، بقایای محصول، کودهای دامی، کودهای سبز، ضایعات آلی مزرعه، کشت مکانیکی، سنگ‌های دربردارنده مواد معدنی و ابعاد کنترل زیستی برای حفظ بهره‌وری خاک، تأمین مواد مغذی گیاهان و کنترل حشرات، پاتوژن‌ها و علف‌های هرز بستگی دارد (رانا، ۲۰۱۴).

کشاورزی ارگانیک پایدارترین سیستم تولید غذا است که پتانسیل زیادی در انطباق با شرایط آب و هوایی دارد. دلیل اصلی برای انتشار کمتر این سیستم اجتناب از نهاده‌های پراثری مانند کودهای شیمیایی است (سینق و همکاران، ۲۰۱۲). در دراز مدت ثابت شده است که مصرف کودهای شیمیایی بسیاری از عوارض نامطلوب را موجب گردیده است. هر چند استفاده از کودهای شیمیایی ظاهراً سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک به شمار می‌رود؛ اما هزینه‌های زیاد مصرف این گونه کودها آلودگی و تخریب محیط زیست و خاک که در اثر استفاده از آنها حاصل می‌شود نگران‌کننده است.

کشاورزی ارگانیک بر حفظ تعادل اکولوژیکی و تقویت فرایندهای بیولوژیکی تأثیر دارد که سبب پایداری و توانایی اکوسیستم‌های زراعی می‌شود. کوک‌رژا و مردیت (۲۰۱۱)، معتقدند که از لحاظ پایداری و حفاظت از منابع طبیعی، کشاورزی ارگانیک در حال حاضر امنیت غذایی

طولانی مدت بهتری را ارائه می‌کند. کشاورزی ارگانیک با کاهش اثرات زیست محیطی کشاورزی معمولی، پتانسیل قابل ملاحظه‌ای در عرضه مواد غذایی در جهان دارد.

کشاورزی زیستی در ایران

کشاورزان ایرانی در طول هزاران سال با استفاده از تجربه‌های خود، نظام‌های کشاورزی را که بر پایداری تولید در درازمدت متکی بوده است، استقرار بخشیده‌اند. این نظام‌ها بر مبنای اصول زیر طراحی شده‌اند (کوچکی، ۲۰۰۴):

دیدگاه‌های جامع در مدیریت منابع پایه کشاورزی

- بهره‌برداری بهینه از منابع بومی و حداقل استفاده از نهاده‌های خارجی
- تنوع ژنتیکی و فیزیکی
- حفاظت از آب و خاک
- به حداقل رساندن مخاطرات
- استفاده از فناوری‌های خاص برای حمل

اصول و اهداف کشاورزی ارگانیک

- ۱- حفظ حاصلخیزی خاک در دراز مدت از طریق به کارگیری راهکارهای زیست محورانه
 - ۲- بازیافت بقایای گیاهی و جانوری به منظور برگرداندن عناصر شیمیایی معدنی به خاک و در نتیجه کاهش کاربرد نهاده‌های برون مزرعه‌ای و حفظ چرخه طبیعی عناصر غذایی
 - ۳- منع کاربرد نهاده‌های شیمیایی مصنوعی مانند آفت کش‌ها، کودها، افزودنی‌های شیمیایی
 - ۴- اتکا به نهاده‌ها و منابع تجدیدپذیر برای حفظ منابع تولید
- پایبندی سامانه کشاورزی به اصول مذکور، به تولید محصولاتی با کیفیت مطلوب می‌انجامد که امروزه در کشاورزی ارگانیک، زیستی یا زیست محورانه نامیده می‌شود. اساس معیارها یا

استانداردهای تولید و فرآوری ارگانیک، بر مبنای آنچه که فدراسیون بین المللی جنبش ارگانیک^۱ بیان کرده است و در واقع شکل بسط یافته اصول یاد شده هستند عبارتند از:

- ۱- تولید غذا با کیفیت مطلوب
- ۲- برهم کنش و کاربرد رهیافت‌ها و چرخه‌های زیستی
- ۳- توجه به آثار اجتماعی، اقتصادی و بوم‌شناختی سامانه تولید و فرآوری محصولات کشاورزی
- ۴- تقویت چرخه‌های زیستی درون کشت بوم که چرخه‌های زیستی ریز موجودات، پوشش‌های گیاهی و جانوری خاک، گیاهان و حیوانات را شامل می‌شود
- ۵- ایجاد بوم‌سازگان‌های آبی پایدار و باثبات
- ۶- حفظ و بهبود حاصلخیزی خاک در درازمدت
- ۷- حفظ تنوع ژنتیکی سامانه تولید و بوم‌سازگان‌های پیرامون آن که حفظ زیستگاه طبیعی و حیات وحش را نیز شامل می‌شود
- ۸- کاربرد مناسب آب، منابع آبی و موجودات زنده آن به‌طوری که سلامت آن بوم‌سازگان حفظ شود
- ۹- حداکثر کاربرد منابع تجدیدپذیر محلی در کشت بوم‌ها
- ۱۰- ایجاد توازن پایدار بین تولید زراعی و پرورش دام
- ۱۱- پرورش دام با رعایت نیازهای اولیه و کنش‌های رفتاری طبیعی آنها
- ۱۲- کاهش انواع آلودگی‌های ناشی از سامانه کشاورزی
- ۱۳- فرآورده محصولات ارگانیک با بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر
- ۱۴- تولید محصولات آلی که کاملاً تجدیدپذیر باشند

- ۱۵- تولید پوشاکی با طول عمر زیاد و کیفیت مناسب
- ۱۶- تأمین کیفیت مطلوب زندگی برای کلیه افرادی که در چرخه تولید محصولات ارگانیک فعالیت می‌کنند به طوری که نیازهای اولیه آنها تأمین شود، درآمد کافی، رضایت شغلی و محیط کار ایمن و سالمی داشته باشند
- ۱۷- حرکت به سمت چرخه کامل تولید، فرآوری و بازاریابی فرآورده‌های مربوط، به نحوی که عدالت اجتماعی و سلامت بوم شناختی در آنها مورد توجه باشد (محمودی و همکاران، ۱۳۸۷).
- بررسی منابع نشان می‌دهد که کشاورزی ارگانیک تعاریف متعدد و زیادی از سوی مجامع، سازمان‌ها و کارشناسان ارائه شده است که در جدول (۷) به تعدادی از آنها اشاره شده است.

جدول ۷- تعاریف مختلف کشاورزی ارگانیک از دیدگاه کارشناسان، مجامع و سایر سازمان‌ها

تعریف	سازمان /موسسه / کارشناسان
کشاورزی ارگانیک نوعی سیستم کشاورزی است که اساساً بر منابع موجود محلی متکی است و فعالیت آن بر حفظ تعادل اکولوژیکی و توسعه مطلوب فرآیند بیولوژیک استوار است.	اتحادیه بین‌المللی جنبش کشاورزی ارگانیک (IFOAM, 2006)
نظامی جامع‌نگر در مدیریت تولید که سلامت کشت بوم کشاورزی شامل تنوع زیستی، چرخه‌های بیولوژیکی و فعل و انفعالات زیستی خاک را تقویت می‌کند و آن را ارتقا می‌بخشد، ضمن توجه به این اصل که باید در هر منطقه، نظام متناسب و سازگار با شرایط محلی آن منطقه توسعه یابد (نادعلی و همکاران، ۱۳۸۹).	سازمان بین‌المللی کدکس آلیمانتاریوس (حیدری و فتحی، ۱۳۸۷)
کشاورزی ارگانیک عبارت است از نظام مدیریت تولید اکولوژیکی که به تقویت و گسترش تنوع زیستی و چرخه‌های زیستی و فعالیت‌های زیستی خاک می‌پردازد (پایگاه مجازی ایران ارگانیک)	انجمن استانداردهای ملی ارگانیک آمریکا (۱۹۹۶)
کشاورزی ارگانیک، نظام مدیریت تولید کل گرایانه‌ای است که سلامتی اکوسیستم‌های کشاورزی مشتمل بر تنوع ژنتیکی، چرخه‌های زیستی و همچنین	سازمان خوار و بار جهانی (فائو)

فعالیت‌های زیستی را در نظر می‌گیرد. نظام‌های تولید ارگانیک بر استانداردهای ویژه و دقیق تولید که هدفشان دستیابی به اکوسیستم‌های کشاورزی مطلوب و پایدار به لحاظ اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی است، وابسته‌اند (نوروزی و شهبازی، ۱۳۸۹).

کشاورزی ارگانیک نوعی از کشاورزی پایدار است که هدف آن ایجاد سیستم‌های تولید کشاورزی یکپارچه، نظام یافته و انسانی است که تضادی با منافع اکولوژیکی و اقتصادی ندارد. (۱۳۸۷) مهدوی دامغانی و همکاران

کشاورزی ارگانیک یعنی کشاورزی بدون کاربرد مواد شیمیایی (جوزف هکمن، کوچکی و همکاران (۱۳۷۶) (۲۰۰۷).

کشاورزی ارگانیک سیستم مدیریت تولید کل‌نگر است که سلامتی سیستم (مینگ-شی و سایرین، کشاورزی-اکولوژیکی را ارتقا می‌بخشد و از آن حمایت می‌کند. (۲۰۰۶)

مدیریت تلفیقی عناصر غذایی

به دلیل افزایش تقاضا برای غذا (به‌ویژه در کشورهای پرجمعیت) و به خاطر عدم پایداری سیستم‌های کشاورزی فعلی، بهترین روش برای کشاورزی استفاده از سیستم‌های صحیح مدیریت تلفیقی عناصر غذایی در برگیرنده و استفاده درست از کودهای شیمیایی و آلی می‌باشد که در چین و دیگر مناطق جهان استفاده می‌شود. مدیریت تلفیقی عناصر غذایی شامل استفاده از حاصلخیزکننده‌های زیستی و لگوم‌ها در تناوب می‌باشد.

مصطفی‌پور و همکاران (۱۳۹۷a) گزارش کردند که کودهای تلفیقی زیستی و دامی بر افزایش عملکرد و اجزای آن بر گیاه سیاه دانه مؤثر بود. در این ارتباط تلفیق کود زیستی با کود دامی نیز بر ویژگی‌های مورفولوژیک سیاه دانه از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، قطر بوته، تعداد بوته، وزن تر برگ و ساقه اثر مثبت داشت (مصطفی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷b).

کاربرد کودهای زیستی و آلی به جای مصرف کودهای شیمیایی از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه‌ای در مدیریت پایدار بوم نظام‌های کشاورزی می‌باشد. حسنلو و همکاران (۱۳۹۷a) با بررسی اثر کودهای زیستی، شیمیایی و آلی بر جذب عناصر در بادرشبو^۱ نشان دادند که تیمار تلفیقی ورمی کمپوست به همراه نیتروکسین باعث افزایش غلظت آهن (Fe)، مس (Cu) و روی (Zn) گردیده است. همچنین در آزمایشی دیگر اعلام کردند که کاربرد کودهای زیستی، عملکرد اندام‌های رویشی و درصد مهار رادیکال‌های آزاد را افزایش داد؛ به گونه‌ای که تیمار ورمی کمپوست به همراه نیتروکسین سبب افزایش درصد فنل و فلاوونوئید در این گیاه شد (حسنلو و همکاران، ۱۳۹۷b). اکثر گزارش‌ها نشان می‌دهند که این روش استفاده از نیتروژن همراه با دیگر عناصر غذایی منجر به بیشترین بازده مصرف عناصر غذایی می‌شود.

رضوی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی مدیریت تلفیقی کودهای شیمیایی، کمپوست و رژیم آبیاری بر برنج رقم هاشمی گزارش کردند که مناسب‌ترین مدیریت استفاده از کود شیمیایی نیتروژن به مقدار توصیه شده، آبیاری به اندازه یک برابر تشت تبخیر به همراه ۵ تن کمپوست آزولا علاوه بر کاهش مشکلات محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای فسفر و پتاسیم، ۱۸/۲۱ درصد صرفه جویی در مصرف آب را به همراه دارد. رضوی‌پور (۱۳۹۵) گزارش کرد که تأثیر تیمارهای مختلف کودهای شیمیایی و کمپوست آزولا و اثر متقابل آنها بر اکثر ویژگی‌های شیمیایی خاک اثرگذار بود و بیان کرد که اگر هدف اساسی در کشت برنج و ایجاد کشاورزی پایدار، حفظ محیط زیست و افزایش راندمان آبیاری باشد، مناسب‌ترین مدیریت کاربرد (۵ تن در هکتار کمپوست آزولا و آبیاری به اندازه یک برابر تشت تبخیر) است و چنانچه دستیابی به حداکثر تولید با افزایش ریسک منطقی و مناسب مدنظر باشد کاربرد تلفیقی کمپوست

1 . *Dracoecephalum moldivica* L.

و کود شیمیایی نیتروژن از اوره (۵ تن کمپوست به همراه ۶۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره در هکتار و رژیم آبیاری به اندازه یک برابر تبخیر از تشت تبخیر) مناسب‌ترین روش خواهد بود. تصمیم مشترک متخصصین محیط‌زیست، علوم خاک و کشاورزی به‌ویژه آنهایی که از کشورهای پیشرفته هستند، بهبود حاصلخیزی خاک، تولید محصولات مرغوب به منظور رسیدن به فناوری کشاورزی پایدار کم‌نهاد^۱ می‌باشد. بعضی از توصیه‌ها در این مورد شامل اعمال کشاورزی توأم با خاک پوششی، کشاورزی همراه با آیش، کشت نواری و فعالیت‌های مرتبط می‌باشد. نکته‌ای که غالباً به نظر می‌رسد این است که فناوری‌های کم‌نهاد به اطلاعات و مهارت‌های مدیریت زراعی زیادی نیاز دارد که اکثر کشاورزان نمی‌توانند چنین اطلاعاتی را داشته باشند. استفاده از مواد آلی به عنوان تنها منبع عناصر غذایی گیاه در مقیاس‌های بزرگ مشکلات زیادی به همراه دارد. اولین مسئله کمی، متغیر بودن و معمولاً غیر متعادل بودن عناصر غذایی می‌باشد. همچنین مشکل است که با مقادیر زیاد ماده آلی بتوان تعادل واقعی عناصر غذایی را برای تأمین نیازهای گیاهان ایجاد نمود.

مصرف کودهای حیوانی دارای مشکلات خاصی است که نیازهای مدیریتی تغذیه گیاه و کار در مزرعه را افزایش می‌دهد. مقادیر زیاد کودهای آلی را معمولاً قبل از کاشت و یا برداشت محصول فقط در طول چند هفته یا چند ماه در سال می‌توان مصرف نمود.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۷a) بیان کردند که تلفیق کود آلی و شیمیایی می‌تواند بر خصوصیات آنتی اکسیدانی آویشن دنايي^۲ مؤثر بوده به نحوی که بیشترین محتوای فنل، فلاوونوئید، DPPH^۳ و وزن خشک بوته در اثر کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی به همراه کود دامی حاصل گردید. علاوه بر آن گزارش کردند که خصوصیات کمی و کیفی آویشن دنايي تحت تأثیر سیستم

1 . LISA- Low Input Sustainable Agriculture

2 . Thymus Deanesis Celak

3 . DPPH- Diphenyl Picryl Hydrazyl Radical

تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و زیستی به همراه کود دامی تحت بیشترین تأثیر قرار گرفت (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۷b). کشاورزان زیادی در کشورهای پیشرفته با مشکلاتی در رابطه با مصرف مقادیر زیاد کودهای آلی، بذرکاری و دیگر عملیات مدیریتی در تولید محصول مواجه هستند. مصرف مقادیر زیاد کودهای دامی می‌تواند به مشکلات زیست‌محیطی مخصوصاً ورود نترات و فسفات به آب‌های زیرزمینی منجر شود. در نیویورک تراکم زیاد مخازن فاضلاب همراه با مصرف کودهای شیمیایی و دامی در اراضی کشاورزی احتمالاً در افزایش غلظت نیتروژن نیتراتی آب‌های زیرزمینی دخالت دارند. گزارشات نشان داد که فعالیت‌های لبنیات سازی و مشکلات مرتبط با مصرف کودهای آلی احتمالاً منبع اصلی نترات در آب چاه‌های واقع در جنوب شرقی پنسیلوانیا و مریلند شمالی می‌باشد.

غلظت‌های زیاد نترات در دلاوار^۱ و بخش‌هایی از شمال کالیفرنیا می‌تواند از تراکم زیاد حیوانات اهلی و طیور و مخازن فاضلاب حاصل شود. داده‌های مربوط به آبتجویی نترات از خاک بدون پوشش در ایستگاه تحقیقات روتامستد انگلیس که در آنها کوددهی آلی و غیرآلی انجام شده بود، گزارش شده است.

بسیاری از کشورهای اروپای غربی غلظت‌های زیاد فسفر محلول را در آب‌های سطحی و زیرزمینی به علت مصرف مداوم مقادیر زیاد کودهای دامی مشاهده کرده‌اند. اطلاعات موجود در کشورهای دیگر نیز نشان می‌دهند که سیستم‌های کشاورزی عمدتاً به مصرف زیاد کودهای دامی یا آلی وابسته هستند که می‌توانند از لحاظ مدیریتی مشکل ساز باشند. معمولاً تعداد معدودی از کشاورزان مهارت‌های مدیریتی جهت ایجاد یک سیستم کاری کاملاً مناسب را دارا بوده و اغلب کشاورزان چنین مهارتی را ندارند. همچنین مقدار کودهای قابل دسترس و قابل انتقال تا یک فاصله مناسب معمولاً برای جبران تمامی نیازهای اراضی تحت کشت کافی نمی‌باشد. در اقلیم‌های سردتر

تجزیه کودهای دامی ممکن است خیلی کند باشد و مشکلات زیست محیطی را به وجود آورد. در اقلیم های گرم تر و مرطوب معمولاً تجزیه خیلی سریع بوده و باعث افزایش مقدار ماده آلی خاک و بهبود وضعیت ذخیره عناصر غذایی شود. استفاده از کودهای شیمیایی همراه با کودهای آلی احتمالاً بهترین روش برای حفظ سطح تولید غذا به اندازه برابر یا حتی بیشتر از افزایش جمعیت می باشد. به عنوان مثال در تحقیقی در پرو اثرات بقایای آلی همراه با کرم های خاکی و بدون کرم های خاکی در عملکرد ذرت بررسی شد. تولید محصول بر اساس استانداردهای محلی در سطح ۰/۱ تا ۲/۴ تن در هکتار قابل قبول بود و استفاده از کرم های خاکی برتری قطعی را نشان داد. هرچند که کاهش شدید در تولید در سه سال بعد وجود داشت و این کاهش فقط با استفاده از کودهای شیمیایی کنترل شد. مصرف کودهای شیمیایی توأم با بقایای آلی محصولات به علاوه کرم های خاکی می تواند به عملکرد بالاتری منجر شود. این مثالی برای نشان دادن استفاده همزمان مخلوطی از منابع آلی و غیرآلی نیتروژن است که باعث بازدهی بیشتر مصرف آن نسبت به کاربرد هر یک از آن منابع به تنهایی می شود.

کشاورزی تلفیقی

تأمین عناصر غذایی گیاهان به سه روش کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و زیستی امکان پذیر است. در زمینه تغذیه گیاهی در صورتی که فقط از کودهای شیمیایی برای تهیه احتیاجات گیاه استفاده شود به آن سیستم تغذیه متداول گفته می شود و در صورت استفاده از کودهای آلی و زیستی تحت عنوان سیستم تغذیه ارگانیک شناخته می شود. در صورت کاربرد توأم دو روش بالا به آن سیستم تغذیه تلفیقی گفته می شود. به رغم سهولت کاربرد کودها و سموم شیمیایی امروزه استفاده از کشاورزی متداول سبب بروز مشکلات متعددی از قبیل آلوده شدن محیط زیست و آب های زیرزمینی، فرسایش خاک، ایجاد بیماری های گوناگون در انسان و کاهش کیفیت مواد غذایی گردیده است. از این رو حرکت به سمت کشاورزی ارگانیک که سبب حفظ محیط زیست،

منابع طبیعی، سلامت انسان و ارتقا کیفیت محصولات می‌گردد امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در کشاورزی ارگانیک برای دستیابی به حداکثر حاصلخیزی ممکن خاک، بیشتر بر کودهای زیستی، تناوب زراعی، بقایای گیاهی، کودهای دامی، گیاهان بقولات، کود سبز و بقایای آلی خارج از مزرعه تأکید می‌شود. از آنجایی که رسیدن به کشاورزی ارگانیک به مرور زمان قابل دسترس می‌باشد، در نتیجه در نظر گرفتن یک دوره گذرا از کشاورزی تلفیقی اجتناب ناپذیر است. به‌طور کلی کاربرد مدیریت تغذیه تلفیقی از روش‌های مؤثر برای بهبود تولید گیاهان زراعی از جنبه کیفی و کمی می‌باشد که باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی شده و موجبات امنیت و پایداری محیط‌زیست را فراهم می‌آورد. به عبارتی کشاورزی تلفیقی میزان عناصر مورد نیاز گیاهان را مانند کشاورزی متداول برای گیاه فراهم نموده و تولید را در حد بالاتری حفظ کرده و از طرفی سبب ارتقا کیفیت منابع می‌گردد (دادیچ و همکاران، ۲۰۱۱). فناوری‌های حفاظتی کشاورزی شامل طیف وسیعی از فعالیت‌هایی نظیر مدیریت تلفیقی آفات، شخم حفاظتی، کنترل بیولوژیکی و تغذیه تلفیقی خاک یکی از ارکان اساسی تحقق کشاورزی پایدار است.

استفاده بیش از حد و نامتعادل از کودهای شیمیایی در کشاورزی سبب افزایش هزینه‌های تولید و وابستگی به نهاده‌های بیرونی و منابع انرژی از یک سو و کاهش بهره‌وری خاک، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و متعاقباً اثرات منفی بر سلامت انسان‌ها و سایر موجودات از سوی دیگر گردیده است. در نتیجه تقاضا برای توسعه کشاورزی پایدار در پاسخ به اثرات محیط‌زیستی و اقتصادی کشاورزی رایج، رشد فزاینده‌ای داشته است. در زمینه کشاورزی، شخم حفاظتی، مدیریت تلفیقی آفات، آزمون مواد غذایی از فناوری‌هایی هستند که برای حفاظت از منابع طبیعی از طریق کاهش و فرسایش خاک و کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی و سموم، ابداع و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با مصرف کودهای آلی، شیمیایی و زیستی به‌صورت تلفیقی شرایط مناسب و ایده‌آل برای رشد گیاه فراهم می‌شود. کودهای آلی با تولید و افزایش هوموس در خاک عوارض

نامطلوب استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش داده و کارایی مصرف کود را افزایش می‌دهند و کودهای زیستی با افزایش فعالیت باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه، تأثیر کودهای آلی و شیمیایی را در تولیدات کشاورزی افزایش می‌دهند که از جنبه‌های کشاورزی پایدار مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی است. در این سیستم درصدی از نیاز کودی گیاه توسط کودهای شیمیایی و درصدی دیگر توسط کودهای آلی از جمله کود دامی تأمین می‌شود. در آزمایشات بلندمدت مشخص شده است که استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند یک سیستم تولید فشرده را پایدار سازد. محققان دلیل این امر را بهبود ویژگی‌های کیفی خاک و احتمالاً انطباق بیشتر بین آزادسازی نیتروژن با نیاز گیاه اعلام می‌کنند.

مدیریت تلفیقی خاک و تنوع زیستی خاک

در چند سال اخیر راهکار مدیریت تلفیقی خاک^۱ و مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه^۲ مورد توجه قرار گرفته است. این راهکار مدیریت دقیق اندوخته‌ها و جریان‌های غذایی را در راهی که به تولید پایدار ختم می‌شود، پشتیبانی می‌کند. مدیریت تلفیقی خاک بر مدیریت جریان‌های غذایی تأکید می‌کند؛ اما در عین حال دیگر جوانب مهم ترکیب خاک هم چون نگهداری محتوی ماده آلی خاک، ساختمان خاک و تنوع زیستی خاک را نیز نادیده نمی‌گیرد. تنوع زیستی خاک، ترکیب و جمعیت‌های موجودات زنده در خاک را بیان می‌کند که شامل هزاران میکروب نامرئی تا جانورانی همچون کرم خاکی و موریه‌ها می‌باشد. این موجودات زنده با یکدیگر ارتباط متقابل دارند و همراه با گیاهان و جانوران شبکه‌ای از فعالیت‌های زیستی را تشکیل می‌دهند. عوامل محیطی شامل درجه حرارت، رطوبت، اسیدیته خاک و ترکیب اجزای شیمیایی خاک، فعالیت زیستی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای یک کشاورزی پایدار مجموعه اثرات متقابل میان این فاکتورها

1 . ISM- Integrated Soil Management

2 . IPNM- Integrated Plant Nutrition Management

می‌بایست به اندازه‌ای شناخته شوند که بتوانند به‌عنوان یک سیستم تلفیقی مدیریت شود (سیادت و مرادی، ۱۳۹۰).

کودهای زیستی

مواد تلفیقی میکروبی که بر اساس پایه - ناقل‌ها آماده سازی شده‌اند حاوی میکروارگانیسم‌های مفیدی هستند که پس از استعمال آنها روی بذر در خاک قادر به ادامه حیات بوده و باعث بهبود حاصلخیزی خاک می‌شوند و با افزایش تعداد و فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌های دلخواه در محیط ریشه به رشد گیاه کمک می‌نمایند. مواد تلفیقی ریزوبیوم‌ها (به مواد تلفیقی نیز موسومند) برای اولین بار در اواسط دهه سی قرن بیستم در آزمایشگاه‌های آمریکا تهیه گردیدند و سپس به‌صورت صنعتی در آمده و در آمریکا، اروپا، استرالیا و هندوستان مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گرفتند. بعد از موفقیت مواد تلفیقی بقولات در سطح جهانی، در سال‌های اخیر مواد تلفیقی پایه - ناقل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم برای گیاهان غیر بقولات به‌طور روز افزونی در هندوستان مورد استقبال قرار گرفته است.

در هندوستان نیز آزمایشات مزرعه‌ای تلفیق ازتوباکتر گونه ازتوباکتر کروکوکوم^۱ بر روی گندم، برنج، پیاز، بادمجان، گوجه فرنگی و کلم انجام شده است. در استرالیا در تهیه و آماده سازی «بیوسوپر»^۲ از یک نوع باکتری تیوباسیلوس^۳ (باکتری تجزیه کننده گوگرد) همراه با مخلوط نمودن سنگ فسفات و گوگرد استفاده می‌گردد. کشف مجدد آزوسپیریلوم برازیلنس^۴ در برزیل باعث شد که در هندوستان آزمایشات مزرعه‌ای روی باکتری ایزوله شده آن در شرایط هند در مقیاس بزرگ انجام شود. آینده صنعت مواد تلفیقی در کشورهای در حال توسعه روشن است. در سراسر

1. *Azotobacter chroococcum*

2. BioSuper

3. *Thiobacillus*

4. *Azospirillum brasilense*

آفریقا، مناطق خیلی محدودی وجود دارد که کارخانه‌های کود یافت شود، بنابراین کشاورز به راحتی به کود دسترسی نداشته و به زحمت می‌تواند از کود نیتروژنه برای افزایش تولید محصول استفاده نماید. بنابراین به ندرت می‌توان انتظار داشت که متخصصین زراعت تمام نقاط جهان باید از طریق به کارگیری کودهای آلی، خصوصاً کودهای بیولوژیکی در جهت حاصلخیزی خاک اقدام کنند.

لازم به ذکر است که کودهای بیولوژیک منحصرأ 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. با این وصف وجود و حضور میکروارگانیسم‌ها در این فرآیند لازم و ضروری است. ولی وجود برخی از محدودکننده‌ها از قبیل تنش‌های محیطی بلند مدت (خشکی)، درجه حرارت کم و زیاد، یخبندان و غرقاب)، استفاده بی‌رویه از سموم شیمیایی و عدم حضور گیاه میزبان مناسب به مدت طولانی باعث کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌های مورد نظر در خاک‌های یک منطقه می‌شوند.

مرادزاده و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی و اوره بر کیفیت علوفه سیاه‌دانه اعلام کردند که کودهای زیستی نیتروژن (N_b)، فسفر (P_b) و پتاسیم (K_b) به همراه اوره باعث افزایش درصد پروتئین خام، درصد ماده خشک قابل هضم و درصد خاکستر شد.

کودهای زیستی، کودهای طبیعی هستند که شامل باکتری‌ها (آزوسپیریلوم و ازتوباکتر)، قارچ‌ها (میکوریزا)، جلبک‌ها (جلبک‌های سبز- آبی یا سیانوباکتری‌ها)^۱ و غیره می‌باشند که نقش مهمی را در تغذیه گیاه و سلامت خاک به عهده دارند. از جمله این کودهای زیستی، باکتری‌های آزوسپیریلوم می‌باشند که به دلیل پراکنش وسیع جغرافیایی، گستردگی دامنه گیاهان میزبان و به‌ویژه

توان برقراری ارتباط همیاری با گیاهان مهم زراعی مانند برنج و گندم توجه بیشتری را به خود جلب نموده است. نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که حضور باکتری در ریزوسفر و اندوریزوسفر گیاه میزبان، آثار معنی‌داری در بهبود شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه و در نتیجه ازدیاد محصول پدید می‌آورد، به گونه‌ای که می‌توان رابطه متقابل برنج با آزوَسپیریلوم را از جهت آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل قیاس با همزیستی لگوم و ریزوبیوم دانست (اگامبردیو و همکاران، ۲۰۰۴).

کاربرد کودهای زیستی نیتروژنه

تأمین نیتروژن برای محصول از طریق منابع آلی که به تدریج تجزیه می‌شوند و نیتروژن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند، دیدگاه آرمانی را ترسیم می‌کند که تلاش در این راستا، گام‌های اساسی به سوی تولید پایدار تلقی می‌شود. در صورتی که اگر تنها استفاده از کودهای زیستی بتواند ۱۰ درصد از مصرف کودهای نیتروژنی را کاهش دهد ارزش ریالی بسیار بالایی در سال خواهد داشت. بنابراین هرگونه سرمایه‌گذاری در تحقیقات مربوط به تثبیت بیولوژیک از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی توجیه‌پذیر خواهد بود. امروزه با توجه به ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی و بهداشتی که از مصرف کودهای شیمیایی حاصل می‌شود، تولید و مصرف کودهای زیستی به‌عنوان مهم‌ترین رویکرد در زمینه بیولوژی خاک به شمار رفته و مورد توجه سرمایه‌گذاران بخش کشاورزی در سطح جهان قرار گرفته است. تولید و کاربرد کودهای زیستی یکی از مؤلفه‌های اساسی در بیولوژی خاک و به تبع آن مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه محسوب می‌شود. به‌طور کلی، کود زیستی تراکم زیادی از یک یا چند نوع ارگانیزم مفید خاکزی و یا مواد متابولیکی این موجودات است که با یک ماده نگه‌دارنده همراه است و صرفاً به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، تولید می‌شود. این کودها به‌صورت مایه تلقیح میکروبی و به‌عنوان یک ترکیب حاصل سوش‌های میکروبی مؤثر و با راندمان بالا برای تأمین یک یا چند عنصر غذایی مورد نیاز گیاه

تعریف می‌شوند. این کودها میکروارگانیسم‌هایی هستند که قادرند عناصر غذایی را از شکل غیرقابل استفاده به شکل قابل استفاده تبدیل کنند که این امر در یک پروسه بیولوژیکی انجام می‌گیرد. هزینه تولید کودهای زیستی کم بوده و در اکوسیستم آلودگی به وجود نمی‌آورد.

مطالعات نشان دادند که باکتری‌های محرک رشد به‌طور مستقیم از طریق تثبیت بیولوژیک نیتروژن، تولید هورمون‌های رشد (توران و همکاران، ۲۰۰۶) و افزایش میزان جذب و دسترسی به مواد غذایی (پدرازا و همکاران، ۲۰۰۹) مؤثر می‌باشند. حتی به عنوان مکمل و جایگزین کودهای شیمیایی شناخته می‌شوند (نظارت و غلامی، ۱۳۸۸؛ دامغانی و همکاران، ۱۳۸۹). رضوی‌پور و همکاران (۱۳۹۷)، بیان کردند که نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی بوده و بعد از آب مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد است و بررسی‌ها نشان داد که به دلیل عدم رعایت مصرف بهینه کود و نیز عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی، تداوم مصرف نامتعادل کودها اثرات تخریبی برجای گذاشته که از جمله این اثرات سوء، تجمع نترات در آب‌های زیرزمینی و تجمع کادمیوم در خاک‌های شالیزار و دانه برنج می‌باشد و از طرف دیگر سمیت حاصله از ورود نترات به زنجیره غذایی مشکلات حاد ایجاد می‌کند. به‌طور کلی بایستی علاوه بر روش‌های مناسب اعمال کود و استفاده از تناوب زراعی مناسب به جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای آلی توجه ویژه کرد که می‌توان به مواردی از قبیل استفاده از کودهای زیستی، ورمی‌کمپوست، کمپوست آزولا و کودهای نیتروژنه کندرها اشاره کرد.

مزایای استفاده از کودهای زیستی

براساس گزارشات و مشاهدات موجود، کاربرد کود زیستی باعث کاهش مصرف کود شیمیایی حداقل تا مقدار ۳۰ درصد می‌گردد. همچنین کاربرد حجم کمتری از کود زیستی (تا ۳۰ درصد مقدار کودهای شیمیایی)، به تنهایی می‌تواند تأثیر به سزایی در کاهش هزینه‌های حمل و نقل، انبارداری و توزیع داشته باشد. علاوه بر صرفه جویی فوق، تولید و مصرف کودهای زیستی می‌تواند

حفظ و توسعه حاصلخیزی خاک، جلوگیری از ایجاد آلودگی خاک و منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی ناشی از ترکیبات باقی‌مانده کودهای شیمیایی و جلوگیری از توسعه بیماری‌های ناشی از مصرف آب و محصولات آلوده به ترکیبات نیتروژنه‌ای که در اثر کاربرد کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنه ایجاد می‌شوند را به دنبال داشته باشد. از دیگر مزایای این نوع کودها می‌توان به استفاده فوری پس از خرید اشاره کرد. این کودها حجم و وزن کمی دارند. لذا حمل و نقل آنها به آسانی صورت می‌گیرد. با وجود این، نگهداری و کاربرد آن‌ها نیازمند رعایت موارد خاصی می‌باشد.

محققان بیان نمودند که تلقیح بذور به وسیله سویه‌های مختلف باکتری آزوسپیریلوم همراه با مصرف کود نیتروژن، عملکرد دانه برنج را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴؛ پدرازا و همکاران، ۲۰۰۹؛ خورشیدی و همکاران، ۲۰۱۱). راجاسکاران و همکاران (۲۰۱۵)، با مطالعه اثرهای کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر رشد و جوانه‌زنی برنج اظهار نمودند که کاربرد تلفیقی باکتری‌های آزوسپیریلوم و باسیلوس در افزایش درصد جوانه‌زنی، رشد ریشه و ساقه برنج، مؤثرتر از مصرف هر یک از کودهای زیستی، شیمیایی و دامی به تنهایی بوده است. مداحی و همکاران (۲۰۱۹)، با آزمایش استفاده از کودهای شیمیایی، زیستی و ارگانیک در ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی (*Lallemantia Iberica Fisch*) بیان کردند که کودهای ارگانیک و زیستی، ویژگی آنتی‌اکسیدانی را در مقایسه با شاهد و کودهای شیمیایی افزایش داد. با توجه به کشاورزی ارگانیک کاربرد این دسته از کودها برای بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی توصیه می‌شود.

طبقه‌بندی کودهای زیستی

الف) با توجه به نوع میکروارگانیسم‌ها، کودهای زیستی را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی

کرد:

- ۱- کودهای زیستی باکتریایی (ریزوبیوم، ازتوباکتر، آزوسپیریلم و ...)
 - ۲- کودهای زیستی قارچی (میکوریزا و ...)
 - ۳- کودهای زیستی جلبکی (جلبک‌های سبز- آبی و آزولا)
 - ۴- کودهای زیستی (اکتینومیسیت‌ها، فرانکیا و ...)
- ب) با توجه به اعمالی که میکروارگانیسم‌ها انجام می‌دهند کودهای زیستی به شرح 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.

تثبیت کننده‌های نیتروژن مولکولی

گاز نیتروژن فراوان‌ترین عنصر جوّی است. نیتروژن عنصری مهم برای تغذیه اکثر موجودات زنده به شمار می‌رود و همچنین ماده غذایی مورد نیاز گیاهان بوده و بر رشد آنها تأثیرگذار است. نیتروژن جوّی نمی‌تواند مانند اکسیژن به راحتی مورد استفاده گیاهان واقع شود بلکه باید طی یک مجموعه فرآیندهای پیچیده تغییر شکل داده تا بتواند به راحتی از طریق ریشه گیاهان جذب شود. چهار نوع تغییر عمده و اساسی در شکل‌های مختلف نیتروژن به وجود می‌آید که به شرح ذیل می‌باشند:

- ۱- تبدیل نیتروژن مولکولی به فرم آلی (تثبیت نیتروژن)^۱

۲- تبدیل ترکیب‌های آلی به معدنی (معدنی شدن یا آمونیفیکاسیون)^۱

۳- تبدیل آمونیاک به نیتريت و نترات (نیتريفیکاسیون)^۲

۴- تبدیل نترات و نیتريت به آمونیاک (دنیتريفیکاسیون)^۳

با سابقه‌ترین و در حال حاضر رایج‌ترین انواع کودهای زیستی مربوط به تثبیت کننده‌های نیتروژن است که در سطح جهانی مجموع مقدار نیتروژنی که از این طریق به خاک اضافه می‌شود، حدود ۱۷۵ میلیون تن در سال برآورد شده است.

در چند دهه اخیر با توجه به افزایش جمعیت و تقاضای روز افزون جمعیت برای مواد غذایی از کودهای شیمیایی به عنوان ابزاری برای نیل به حداکثر تولید در واحد سطح استفاده بی‌رویه شده، که از جمله زیان‌ها و پیامدهای آن علاوه بر اتلاف سرمایه و خسارت مالی، شامل آلودگی منابع آبی و خاک، به هم خوردن تعادل عناصر غذایی خاک، کاهش بازدهی محصولات کشاورزی در اثر کمبود یا سمی بودن عناصر، تجمع مواد آلاینده (نظیر نترات) در اندام‌های مصرفی زراعی و به طور کلی به خطر افتادن حیات و سلامتی انسان‌ها و سایر موجودات زنده بوده است. بعد از فتوستنتز، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن مولکولی اتمسفر به دو مولکول آمونیاک، دومین فرآیند بیولوژیکی بسیار با اهمیت در سطح زمین محسوب می‌شود. اکوسیستم‌های طبیعی دریاب کودهای شیمیایی یا کودهای دامی، به تبدیل بیولوژیکی نیتروژن اتمسفری به اشکال قابل استفاده برای گیاه و رشد میکروبی متکی هستند که این کار توسط گستره وسیعی از میکروب‌های پروکاریوت^۴ صورت می‌گیرد.

1 . Amonification

2 . Nitrification

3 . Denitrification

۴ . در زیست‌شناسی به جاندارانی که یاخته‌های آن هسته واقعی و غشای هسته ندارد پروکاریوت با نام علمی

prokaryota یا پیش‌هسته‌ای گفته می‌شود.

موجوداتی که از نیتروژن اتمسفری به عنوان تنها منبع نیتروژن برای رشد استفاده می کنند، دی آزوتروف^۱ نامیده می شوند. باکتری های دی آزوتروف بخشی از جمعیت باکتریایی ریزوسفر و ریشه گیاهان هستند. اهمیت ویژه فعالیت این باکتری ها در تثبیت و تأمین نیتروژن، دانشمندان را بر آن داشت که از این باکتری ها به عنوان جایگزینی برای منبع نیتروژن مورد نیاز جهت رشد گیاهان استفاده شود. باکتری های دی آزوتروف روی سطح برگ و محدوده اطراف آن، که فیلوسفر^۲ نامیده می شود، یا در اطراف ریشه و ریزوسفر بسیاری از گونه های گیاهی یافت شده اند. این باکتری ها در فضای بین سلولی لایه سلول های خارجی ریشه و همین طور در لایه خارجی سلول های درحال مرگ و درعناصر آوندی بعضی از گیاهان مشاهده شده اند.

به هر حال این موضوع کاملاً پذیرفته شده است که باکتری های دی آزوتروف می توانند ریشه گیاهان را به طور فعال کلونیزه کنند. عوامل بسیار زیادی می توانند بر رشد و ماندگاری دی آزوتروف ها اثر بگذارند، بنابراین به طور مستقیم بر تثبیت نیتروژن تأثیر می گذارند. از بین این عوامل می توان به عرضه فسفر کافی، مواد غذایی غیرآلی به خصوص عناصر کم مصرف و میزان اسیدی یا قلیایی بودن محیط اشاره کرد (جهان و نصیری، ۱۳۹۱). موجودات زنده ای که نیتروژن اتمسفر را به صورت منبع نیتروژن قابل جذب برای گیاهان تبدیل می کنند جزء پروکاریوت ها بوده و به خانواده باکتری ها و آرکئوباکترها^۳ تعلق دارند.

۱. دی آزوتروف ها Diazotrophs باکتری هایی هستند که گاز نیتروژن اتمسفر را به شکل قابل استفاده تر مانند آمونیاک تبدیل می کنند. میکروارگانیسم هایی هستند که در محیط بدون نیتروژن قادر به رشد می باشند. نمونه هایی از ارگانیسم هایی که این کار را انجام می دهند، عبارتند از ریزوبیوم و فرانکیا (در شرایط همزیستی) و آزوسپیریوم. تمام دیازوتروف ها در واقع دارای سیستم های آهن-مولیبدن یا آهن-وانادیم هستند. دو نوع از این باکتری ها که بیش تر از همه مورد مطالعه قرار گرفتند می توان *Klebsiella pneumoniae* و *Azotobacter vinelandii* را نام برد.

۲. Philosopher

۳. این میکروب ها (آرکئوها؛ آرکون های تکاملی) پروکاریوت هایی هستند که هیچ هسته سلولی ندارند.

باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن

باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن که به صورت آزاد زندگی می‌کنند به سه گروه متفاوت زیر

تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف - باکتری‌های هوازی

این باکتری‌ها در زیستگاه‌های مختلف از جمله آب، خاک، بدن حیوانات و... یافت می‌شوند.

این باکتری‌های هوازی توانایی تثبیت نیتروژن در حضور اکسیژن را دارند و مقداری هیدروژن در طول واکنش متابولیسمی خود تولید می‌کنند. از جمله جنس‌های باکتری‌های هوازی می‌توان *آزوموناس*^۱، *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم*، *بیژرنکیا*^۲، *درکسیا*^۳ و *مایکوباکتریوم*^۴ را نام برد.

ب - باکتری‌های بی‌هوازی

مکانیسم تثبیت نیتروژن به وسیله چرخه آنزیمی به کمک آنزیم‌های نیتروژن‌دار کنترل می‌شود

که می‌توانند نیتروژن گازی موجود در اتمسفر را به آمونیاک احیا کنند. این آنزیم‌ها به وجود

اکسیژن در محیط حساس بوده و بنابراین این باکتری‌ها در تثبیت نیتروژن به صورت بی‌هوازی عمل

می‌کنند. مهم‌ترین آنها شامل جنس‌های *کلوستریدیوم*^۵، *کلروبیوم*^۶، *کروماتیوم*^۷، *دسولفو ویبریو*^۸

می‌باشند.

-
1. *Azomonas*
 2. *Beigerinckia*
 3. *Derexia*
 4. *Mycobacterium*
 5. *Clostridium*
 6. *Chlorobium*
 7. *Chromatium*
 8. *Desulfovibrio*

ج- باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری

باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری شامل جنس‌های باسیلوس، آنتروباکتر^۱، اشریشیا کلای^۲، کلبسیلا^۳، سودوموناس^۴ و رودوسپیریلوم^۵ می‌باشند (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). امروزه رایج‌ترین کودهای میکروبی عرضه شده در سطح وسیع تجاری مربوطه به باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و از مهم‌ترین آنها که بیشتر مورد توجه و استفاده علمی و کاربردی می‌باشند، می‌توان ریزوبیوم‌ها در همزیستی با لگومینوزها را نام برد.

ازتوباکتر

ازتوباکترها از جمله باکتری‌های هتروتروفیک، آزادزی، تثبیت کننده نیتروژن و هوازی متعلق به خانواده ازتوباکتریاسه^۶ می‌باشند. این باکتری‌ها نیتروژن خود را در طی تثبیت و تبدیل به شکل آمینواسیدها، یون آمونیوم و آمونیاک به دست می‌آورند. ازتوباکترها نسبتاً درشت، دارای حالت چند شکلی، میله‌ای، بیضوی و کروی با طول تقریباً ۷-۲/۵ میکرون و عرض ۵/۲-۱/۵ میکرون می‌باشند. این باکتری‌ها از نوع گرم منفی، متحرک به وسیله تاژک پیرامونی یا نامتحرک هستند و دانه‌های ریز پلی بتا هیدروکسی بوتیرات^۷ (PHB) در آن تجمع دارند. با ارگانسیم‌های مختلف دارای روابط هم‌افزایی^۸ و آنتاگونیستی^۹ است. از روابط هم‌افزایی ازتوباکتر می‌توان به ارتباط آن

-
1. *Enterobacter*
 2. *Escherichia Coli*
 3. *Klebsiella*
 4. *Pseudomonas*
 5. *Rhodospirillum*
 6. *Azotobacteriaceae*

۷. پلی بتا هیدروکسی بوتیرات (PHB- Poly Beta Hydroxy Butyrate) پلی استری است که توسط تعدادی از باکتری‌ها سنتز می‌شود و داخل سلول تجمع پیدا می‌کند و ماده مناسبی برای پلی استرهای قابل تجزیه جهت سازگاری با محیط زیست هستند.

8. Synergy
9. Antagonist

با ریزوبیوم روی گره ریشه بقولات و از روابط آنتاگونیستی می‌توان به کنترل رشد انواع قارچ‌ها اشاره کرد که به‌طور غیرمستقیم روی رشد گیاه تاثیر می‌گذارد.

جدول ۹- طبقه‌بندی ازتوباکتر (گاریتی و همکاران، ۲۰۰۵)

طبقه بندی			
قلمرو	Domain	باکتری‌ها	Bacteria
سلسله	Kingdom	باکتری‌ها	Bacteria
شاخه	Phylum	پروتئوباکترها	Proteobacteria
رده	Class	گاما- پروتئوباکترها	Gamma- Proteobacteria
راسته	Order	سودومونادال	Pseudomonadales
خانواده	Family	سودوموناداسه	Pseudomonadaceae
جنس	Genus	ازتوباکتر	<i>Azotobacter</i>
گونه	Species	۷ گونه	SPP

ازتوباکترها دارای ۷ گونه هستند:

۱. *A.chroococum* (خاکزی، تولید کننده کیست، رنگیزه قهوه‌ای تا سیاه)
۲. *A. agilis* (آبزی، فاقد کیست، رنگیزه فلورسنت سبز)
۳. *A.vinelandii* (خاکزی و آبزی، تولید کننده کیست، رنگیزه فلورسنت سبز)
۴. *A.beijerinkei* (خاکزی، تولید کننده کیست، زرد مایل به قهوه‌ای روشن)
۵. *A. macrocytogenes* (خاکزی، فاقد کیست، رنگیزه صورتی)
۶. *A.paspali* (خاکزی، تولید کننده کیست، رنگیزه فلورسنت سبز)
۷. *A.insignis* (آبزی، فاقد کیست، رنگیزه آبی متمایل به خاکستری)

مهم‌ترین گونه از توباکتر، گونه کروکوکوم است. این دو گونه از دو کلمه کروا^۱ به معنی رنگ و کوکوم^۲ یعنی دانه منشاء گرفته است. از ویژگی‌های بارز این گونه تولید رنگدانه قهوه‌ای تا سیاه نامحلول در آب است. توانایی سنتز و تراوش تیامین^۳، ریبوفلاوین^۴، پیرودوکسین^۵، سیانوکوبالامین^۶، نیکوتینیک^۷، پانتوتنیک اسید^۸، ایندول استیک اسید^۹ و جیبرلین^{۱۰} توسط گونه *A.chroococum* وجود دارد.

این گونه نوعی آنتی‌بیوتیک ضد قارچی را نیز تولید می‌کند که برای انواع قارچ‌های خاکزی محدود کننده است. در حقیقت این عمل دوگانه از توباکتر نقش مثبت باکتری‌ها را در جوانه‌زنی بذرها آشکار می‌سازد.

مزایای از توباکتر

- ۱- تولید مواد محرک رشد از قبیل ویتامین‌های گروه B، ایندول استیک اسید، جیبرلین و سیتوکنین^{۱۱}
- ۲- کنترل بیولوژیکی بیماری‌های گیاهی، از طریق ممانعت رشد قارچ‌های آسپرژیلوس^{۱۲} و فوزاریوم^{۱۳} و...
- ۳- توانایی تثبیت ۲۰-۴۰ کیلوگرم در هکتار در سال نیتروژن تثبیت شده

1 . Chroa
2 . Cocum
3 . Thiamine
4 . Riboflavin
5 . Pyridoxine
6 . Cyanocobalamin
7 . Niacin
8 . Pantothenic acid
9 . Indol-3-acetic acid
10 . Gibberellin
11 . Cytokinin
12 . *Aspergillus*
13 . *Fusarium*

۴- جلوگیری از رشد و فعالیت قارچ‌های بیماری‌زا، حفظ و سلامت گیاه با داشتن خاصیت

ضد باکتریایی

۵- مصرف ازتوباکتر برای محصولات زراعی از قبیل برنج، ارزن، پنبه، آفتابگردان، خردل،

سبزیجات و... توصیه شده است (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

نقش ازتوباکتر در کنترل عوامل بیماری‌زا گیاهی

استفاده از باکتری‌های ریزوسفری همانند ازتوباکتر برای از بین بردن عوامل بیماری‌زا گیاهی

اعم از قارچ‌ها یا باکتری‌ها که به‌عنوان کود زیستی از آن یاد شده، با استفاده از همین مکانیسم

بیماری‌های زیادی مانند پاخوره گندم، پوسیدگی سیاه در تنباکو، پژمردگی فوزاریومی در

گوجه‌فرنگی و لوبیا و پوسیدگی ریشه در نیشکر کنترل شده‌اند. در مبارزه بیولوژیک از طریق

مکانیسم‌های رقابتی مثل روابط انگلی، شکار و اشغال جایگاه‌های مناسب بر ریشه یا از طریق تولید

مواد بازدارنده رشد مثل باکتریوسین‌ها^۱ یا تولید آنزیم‌های کیتیناز^۲ و حل نمودن دیواره سلولی

قارچ‌ها و عوامل بیماری‌زا می‌توان خسارت وارد شده به گیاه میزبان را کاهش داد (ویزوانتان و

سامی‌یابان، ۲۰۰۲).

باکتری‌های مفید از جمله ازتوباکتر با تولید انواع هورمون‌های محرک رشد، اسیدهای آمینه،

ویتامین‌ها، سیدروفورها^۳ و افزایش حلالیت و جذب عناصر غذایی مانند آهن، فسفر و روی سبب

تقویت گیاه شده و از به‌وجود آمدن بیماری به عنوان یک عارضه ثانویه جلوگیری به عمل

می‌آورند.

1 . Bacteriocin

2 . Chitinase

3 . Siderophore

نقش ازتوباکتر در زیست پالایی عناصر سنگین

ازتوباکترها نقش مؤثری در خارج کردن عناصر سنگین از فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی دارند. این باکتری‌ها با تولید انواع پلی‌ساکاریدهای کپسول مانند و اگزوپلی‌ساکاریدها سبب خارج شدن میزان قابل توجهی از عناصر سنگین و مضر همانند سرب (Pb)، نیکل (Ni)، کادمیوم (Cd) و ... می‌گردند. جیوه (Hg) از عناصر مضر برای سلامت انسان و حیوانات به حساب می‌آید. برخی گونه‌های ازتوباکتر توانایی سنتز دو آنزیم مرکوریک رداکتاز^۱ و ارگانومرکوریال لیاز^۲ را دارند و قادرند ترکیبات آلی و معدنی جیوه را تجزیه نمایند. آنزیم مرکوریک ردوکتاز، Hg^{2+} ترکیبات معدنی جیوه را به $Hg_{(0)}$ تبدیل کرده که به علت فشار بخار زیاد به خارج از سیستم متصاعد می‌گردد. برای تجزیه ترکیبات آلی جیوه آنزیم ارگانومرکوریال لیاز وارد عمل شده ابتدا پیوندهای کربن-جیوه را به Hg^{2+} تبدیل و سپس آنزیم مرکوریک ردوکتاز وارد عمل شده و Hg^{2+} را به $Hg_{(0)}$ تبدیل می‌نماید (Ghosh et al., 1996).

آزوسپیریلوم

این باکتری با نام علمی *Spirillum lipoferum* (Azospirillum) اولین بار توسط بیجرنیک^۳ در سال ۱۹۲۵ به عنوان باکتری تثبیت کننده نیتروژن شناسایی شد. آزوسپیریلوم متعلق به خانواده Spirillaceae و دارای ۵ گونه به شرح زیر است:

A. brasilense, *A. halopraeferense/ scropedicae*, *A. lipoferum*, *A. amazonense*,
A. irakense

اسیدهای آلی، L-آرآیینوز، D-فروکتوز، D-گلوکز، ساکاروز، پکتین و D-گلوکونات منبع کربن و همچنین اسیدهای آمینه، آمونیوم و آمونیاک منبع نیتروژن مصرفی برای این باکتری هستند.

1 . Mercury reductase

2 . Organomercurial lyase

3 . Beijernick

آزوسپیریلوم‌ها به صورت هوازی و میکرو هوازی تنفس می‌کنند (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰؛ جهان و همکاران، ۱۳۹۵).

اهمیت آزوسپیریلوم

- ۱- قابلیت کاهش نیترات و تصفیه‌کنندگی را دارند.
- ۲- تولید هورمون‌های محرک رشد مانند اکسین را سبب می‌شود.
- ۳- جذب آب و مواد معدنی، گسترش ریشه و رشد رویشی را افزایش می‌دهد.
- ۴- تولید ۴۰-۱/۲۰ میلی گرم نیتروژن تثبیت شده در محیط کشت مالات بر گرم که معادل با ۴۰-۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است.
- ۵- باعث افزایش محصول به میزان ۳۰-۱۵ درصد می‌شود (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

ریزوبیوم

به طور طبیعی در خاک و در محیط ریشه گیاهان بقولات و همچنین غیربقولات قادر به ادامه حیات است. باکتری‌ها بر روی اضافات ریشه گیاهان به خوبی رشد می‌کنند؛ اگرچه هیچ یک از اجزا یا ترکیبات موجود در تراوش‌های ریشه به تنهایی هیچ گونه نقشه خاصی را در تحریک رشد آن ندارند. ریزوبیوم از خود، سلول‌های پلی ساکاریدی فراوان لعاب ماندی را تراوش می‌کنند که می‌توانند در چسباندن ذرات خاک به هم‌دیگر مؤثر باشد. ریزوبیوم در درجه حرارت‌های پائین قادر به زندگی می‌باشد. همچنین به سموم دفع آفات انباری، آنتی بیوتیک‌ها و سایر مواد شیمیایی کشاورزی حساس است. باکتری‌های تشکیل شده در گره ریشه که توسط هلریگال و ویلفرت در سال ۱۹۸۸ کشف شد. این باکتری‌ها برای اولین بار توسط شخصی به نام بیچرنیک در سال ۱۹۸۸ جداسازی و تحت عنوان *Bacillus radicola* نام گذاری شد که بعدها نام آن به ریزوبیوم تغییر پیدا کرد. ریزوبیوم از مهم‌ترین باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن به شمار می‌رود. گیاهان خانواده

بقولات (لگومینوز) از طریق رابطه همزیستی به تثبیت نیتروژن و حفظ حاصلخیزی خاک کمک می‌کنند (جهان و همکاران، ۱۳۹۵). ریزوبیوم‌ها به‌طور وسیعی در خانواده‌های زیر وجود دارند:

الف) ازتوباکتریاسه^۱ ب) مایکوباکتریاسه^۲ ج) میکروباکتریاسه^۳ د) سودوموناسه^۴

آن دسته از ریزوبیوم‌هایی که اسید تولید می‌کنند دارای رشد سریع و آن دسته از ریزوبیوم‌هایی که اسید تولید نمی‌کنند دارای رشد کُندی هستند.

۱- ریزوبیوم‌هایی که دارای رشد سریع هستند به شرح زیر می‌باشند:

R. leguminosarum biovar phaseoli (R. phaseoli)

R. leguminosarum biovar trifolii (R. trifolii)

R. leguminosarum biovar viciae (R. leguminosarum)

R. sinorhizobium meliloti (R. meliloti)

۲- ریزوبیوم‌هایی که دارای رشد کُندی هستند به شرح زیر می‌باشند (واحدی و بهشتی،

۱۳۸۵):

Bradyrhizobium japonicum (R. lupini)

ریزوبیوم‌ها تک‌سلولی، دارای اشکال کروی، میله‌ای، X، Y با اندازه‌های کوچک ۰/۳-۰/۵

میکرون متعلق به خانواده ریزوبیاسه^۵ هستند. تاژک‌دار، متحرک، بدون هسته، گرم منفی،

شیمیوهِتروتروف و همزیست با بقولات و دارای تنفس هوازی می‌باشند. ریزوبیوم‌ها به آنتی

بیوتیک‌هایی که به وسیله سایر میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند و همچنین به واکنش باکتری‌های

دیگر حساس هستند.

سه جنس مهم آنها عبارتند از (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰):

۱. *Azorhizobium* (برای تلقیح گیاهان علفی)

1. Azotobacteraceae

2. Mycobacteriaceae

3. Microbacteriaceae

4. Pseudomonadaceae

5. Rhizobiaceae

۲. *Bradyrhizobium* (برای تلقیح لوبیا چشم بلبلی، نخود، لوبیا قرمز، نخود سبز، بادام زمینی و ...)

۳. *Rhizobium* (برای تلقیح نخودفرنگی، عدس، لوبیا، یونجه، شبدرسفید)

برای ورود ریزوبیوم‌ها به داخل تارهای ریشه دو حالت پیشنهاد شده است:

اول: نفوذ باکتری‌های کوچک به صورت حرکت موجی از میان فواصل موجود در میکرو فیبریل‌های سلول.

دوم: احاطه مستقیم سریال ریشه‌های موئین. باکتری‌های ریزوبیومی شبیه سایر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق ریشه‌های موئین یا مستقیم از طریق ریشه‌های اصلی وارد گیاه می‌شوند (آستارائی و کوچکی، ۱۳۷۵). در مرحله اول هجوم باکتری به ناحیه استوانه مرکزی ریشه رسیده، سلول‌های این ناحیه تقسیم شده و بافت‌های جوان‌تری به وجود می‌آورند که لایه رویی و بافت درونی را به سمت بیرون هدایت و لایه کوچک در سطح ریشه به وجود می‌آورند. لایه بیرونی بافت ریشه منطقه باکتریایی را می‌سازد که به وسیله چندین لایه از سلول باز می‌شوند. از آنجا که فرایند تثبیت نیتروژن مرحله غیرهوازی است گره ریشه دارای مکانیسمی می‌باشد که می‌تواند اکسیژن را از باکترئید^۱ (محل تثبیت نیتروژن در گره‌ها) از بین ببرند. لگ هموگلوبین موجود در اطراف باکترئید که توسط غلاف‌های غشایی از جنس میزبان احاطه گردیده به این فرآیند کمک می‌کنند.

نقش لگ هموگلوبین

- ۱- به عنوان حامل‌کننده اکسیژن عمل می‌کنند .
- ۲- تهیه اکسیژن در بافت را تنظیم می‌کنند.
- ۳- مجموعه فعال جذب و کاهش نیتروژن را معرفی می‌کنند.

۵- به عنوان حمل کننده ویژه الکترون و تثبیت نیتروژن عمل می کنند (توحیدی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

استوباکتر

باکتری های استوباکتر^۱ گرم منفی بوده و به شکل سلول های میله ای بیضوی شکل دیده می شوند. این باکتری ها متعلق به خانواده استوباکتریاسه^۲ هستند. استوباکتر دارای یک گونه مهم به نام استوباکتر دی آزوترووفیکوس^۳ است. این باکتری ها توانایی رشد بر روی متانول، اتانول، استات، آمینواسید را داشته و تولید H_2S را دارند. استات و لاکتات را به دی اکسید کربن و آب اکسیده می کنند. از آنجایی که استوباکتر یک باکتری هوازی اجباری و تثبیت کننده نیتروژن است، باکتری استوباکتر دی آزوترووفیکوس برای تولید مقادیر بالای ATP به منظور عمل تثبیت نیتروژن به اکسیژن نیاز دارد. استوباکتر دی آزوترووفیکوس یک استوباکتر درون گیاه زی (اندوفیت) است. اندوفیت ها پروکاریوت هایی هستند که به کمک بافت های درونی شان با گیاهان در ارتباط هستند.

اهمیت استوباکتر

- ۱- باعث تسریع رشد گیاه در نتیجه هورمون های رشدی می شود.
- ۲- تثبیت مقادیر بالای ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در نیشکر را موجب شده و علاوه بر آن سبب افزایش عملکرد ۱۰-۸ درصد می شود (جهان و همکاران، ۱۳۹۵).

باکتری های حل کننده پتاسیم

میکروارگانیزم ها نقش مهمی در تغییر و تبدیل فرم غیر قابل دسترس پتاسیم به فرم قابل دسترس را برای گیاهان ایفا می کنند. به گونه ای که باعث افزایش مقدار مواد مغذی قابل دسترس در خاک

1 . *Acetobacter*

2 . *Acetobacteraceae*

3 . *A.diazotrophicus*

و نیز تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی می‌شوند. برخی از باکتری‌ها توانایی انحلال و آزاد سازی پتاسیم، سیلیس و آلومینیوم از کانی‌های نامحلول را دارند. فرآیند انحلال سیلیکات‌ها توسط باکتری‌های گرم منفی اروینیا هریکولا^۱، باکتریوم هریکولا^۲ و سویه‌هایی از سودوموناس گزارش شده است (داف و وبل، ۱۹۵۹). رسولی صدقیانی و همکاران (۱۳۹۵) با آزمایش اثر باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات بر آزاد سازی پتاسیم و رشد ذرت به این نتیجه رسیدند که باکتری سویه KSB₁₃ بیشترین قطر هاله انحلال و شاخص حلالیت را دارا بودند. بالاترین K آزاد شده از منبع بیوتیت توسط سویه KSB₁ (۳/۳۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود. علاوه بر آن تلقیح میکروبی وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه، مقدار K و وزن خشک اندام هوایی را به ترتیب ۳۰٪، ۲۵٪، ۳/۷۵٪ و ۱/۵۷٪ نسبت به شاهد افزایش داد. به نظر می‌رسد که تلقیح باکتریایی باعث آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاته و بهبود وضعیت رشد گیاه می‌شود.

پیشرفت مرحله‌ای تجزیه یا توالی میکروبی

با گذشت زمان بخش عمده ترکیبات موجود در بقایای گیاهی اضافه شده به خاک، توسط جمعیت میکروبی تجزیه می‌شوند. ترکیبات گیاهی از لحاظ سهولت تجزیه متفاوت می‌باشند. ابتدا ترکیبات ساده‌ای نظیر قندهای محلول در آب و اسیدهای آمینه متابولیزه می‌شوند. این ترکیبات برای محیط گسترده‌ای از میکروب‌های خاک که زمان تکثیر کوتاهی دارند و در غلظت‌های نسبتاً بالای عناصر غذایی بهتر رشد می‌کنند، به‌عنوان بهترین مواد رشد مطرح هستند. به این میکروب‌ها، میکروب‌های دارای استراتژی r یا کوپیوتروف^۳ گفته می‌شود. مراحل بعدی تجزیه شامل متابولیسم ترکیباتی است که از نظر تکاملی پیچیده‌ترند و تعداد ریزجاندارانی که قادر به تجزیه این مواد

1 . *Erwinia herbicola*

2 . *Bacterium herbicola*

3 . Copiotrophic

هستند نیز کمتر است. این دسته از ریزجانداران دارای استراتژی *k* یا الیگوتروف^۱ هستند. در طی فرآیند تجزیه، دی اکسید کربن آزاد و سلول‌های میکروبی جدید تشکیل می‌شوند. زیست‌توده میکروبی تولید شده متشکل از مواد دیگری هم می‌باشد که به‌طور کلی نسبتاً به آسانی تجزیه می‌شوند. زمانی که دو سوم از بقایای گیاهی به دی اکسید کربن تبدیل شده و یک سوم به صورت ترکیبات پیچیده کربن مقاوم و بافت‌های میکروبی در خاک باقی ماند، راندمان میکروبی کاهش می‌یابد (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

قارچ‌های میکوریزا

واژه میکوریزا^۲ به‌طور کلی به همزیستی بین ریشه گیاهان و میسلیوم‌های قارچی (به معنی قارچ ریشه) اطلاق می‌شود. کلمه *Mycorrhiza* از واژه یونانی *Mykes* به معنای بدون کلروفیل و *Rhiza* به معنای ریشه منشعب شده است.

میکوریزا نوعی ارتباط دو جانبه میان هیف‌های قارچی *Ascomycetes*, *Basidiomycetes*، *Zygomycetes* با ریشه‌ها یا ریزوم‌های گیاهان عالی، پتریدوفیت‌ها^۳، نهاندانگان و بازدانگان می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مباحثی که در علم اکولوژی مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد روابط متقابل بین موجودات می‌باشد. برخی از محققان در ارتباط با میکوریزا بر این باورند که قارچ یک پارازیت^۴ است و گیاه یا هیچ‌گونه سودی نمی‌برد یا سود اندکی از رابطه می‌برد. برخی از دانشمندان نیز معتقدند که هر دوی آنها یعنی هم گیاه و هم قارچ از این رابطه سود می‌برند. شواهد اخیر نشان می‌دهد که رابطه میکوریزا غالباً برای گیاهان سودمند بوده و به ندرت و تنها زمانی که موازنه به هم می‌خورد، قارچ به‌عنوان پارازیت عمل می‌کند.

1 . Oligotrophic

2 . Mycorrhiza

3 . Petridophytes

4 . Parasite

برخی از قارچ‌های میکوریزا همزیست اجباری هستند و بدون تشکیل رابطه همزیستی، اندام باروری تشکیل نمی‌دهند. بنابراین رابطه گیاه با میزبان سودبری دو جانبه، پارازیتی و یا خشی است که به شرایط و مقتضیات آن بستگی دارد ولی در حالت کلی در این رابطه سودبری دو جانبه غالبیت دارد. ثابت شده است که گیاهان میکوریزایی می‌توانند از طریق ریشه‌های قارچی با گیاهان مجاور خود ارتباط برقرار کنند و مواد فتوسنتزی و عناصر غذایی مورد نیاز خود را در یک ارتباط چندگانه مبادله کنند. این فرآیندها کارایی تولید را در اکوسیستم‌ها به‌ویژه اکوسیستم‌هایی که دارای مخلوط مناسبی از لگوم‌ها و گراس‌ها هستند به مقدار بسیار زیادی افزایش داده است.

میکوریزا سطح ریشه را برای جذب بهتر مواد غذایی از خاک افزایش داده و بوته‌ها را سالم و سریع‌الرشد نگه می‌دارد. اکثر گیاهان با ریشه‌های میکوریزا فقط فسفر را از خاک به ریشه منتقل می‌کنند و شاید ترکیبات نیتروژن را نیز از قارچ‌ها به خاک منتقل کنند. بررسی فسیل‌های گیاهان اولیه مشخص کرده است که میکوریزا به‌طور متناوب در گیاهان به وقوع می‌پیوندد. تفاوت‌های میان گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی نشان داده که در گیاهان غیرمیکوریزایی که با منبع فسفر شیمیایی تغذیه می‌شوند، انتقال نیتروژن در گیاه در طبیعت توسط همزیستی دوجانبه یا از طریق ریشه میکوریزا بین گیاهان فرستنده و گیرنده صورت می‌گیرد. بنابراین تثبیت نیتروژن و عدم تثبیت نیتروژن هر دو می‌توانند نمونه خوبی برای برابری انتقال نیتروژن میان گیاهان باشد، هرچند که میکوریزا در انتقال مستقیم نیتروژن انحصاری عمل می‌کند (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). گرچه تیپ‌های متفاوتی از این قارچ‌ها قابلیت برقراری رابطه همزیستی با ریشه گیاهان را دارند؛ اما در کشاورزی عمدتاً قارچ‌های میکوریزای وزیکولار-آربسکولار^۱ مطرح می‌باشند. این قارچ‌ها از نژاد گلومرومیکوتا^۲ هستند.

1 . Vesicular-Arbuscular mycorrhiza (VAM)

2 . Glomeromycota

مهم‌ترین نقش میکوریزاها در کشاورزی و به‌ویژه زراعت ارگانیک بهبود وضعیت تغذیه گیاه در رابطه با فسفر و کاهش قابل ملاحظه نیاز به مصرف کودهای شیمیایی فسفره می‌باشد. از این نظر قارچ‌های میکوریزا به عنوان نوعی کود زیستی قلمداد می‌شوند. این قارچ‌ها علاوه بر فسفر در جذب سایر عناصر غذایی ماکروالمنت و میکروالمنت نیز نقش داشته و همچنین باعث افزایش مقاومت گیاه میزبان به برخی تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی می‌شوند. علاوه بر آن به علت سنتز برخی ترکیبات خاص و بهبود وضعیت اکوفیزیولوژیک گیاه بعد از برقراری رابطه همزیستی، خسارات ناشی از آفات و امراض و عوامل پاتوژن کاهش می‌یابد. این قارچ‌ها سبب بهبود وضعیت ساختمان خاک شده و حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهند (تاج بخش و قیاسی، ۱۳۹۷). سیاوش مقدم و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که کاربرد قارچ میکوریزا *Glomus Intraradices* در گیاه شنبلیله تعداد دانه در غلاف (۱۴/۲۶٪) و وزن هزاردانه (۱۴/۰۲ گرم) را افزایش داد. استفاده از قارچ میکوریزا باعث کاهش اثرات منفی کم آبی بر عملکرد بیولوژیک و افزایش عملکرد دانه، افزایش عملکرد اسانس و درصد اسانس گردید. بیشترین محتوای نسبی آب برگ و محتوی کلروفیل کل از تیمار کاربرد قارچ میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) حاصل شد. استفاده از قارچ میکوریزا تأثیر منفی تأخیر در آبیاری بر میزان درصد کلونیزاسیون را کاهش داده است.

قارچ میکوریزا از طریق انتشار میسلیوم‌های خارجی خود در منافذ ریز خاک که امکان ورود ریشه‌های موئین برای جذب آب وجود ندارد، آب و عناصر غذایی را جذب و به گیاه منتقل می‌کند (مظلومی ممیندی و همکاران، ۱۳۹۵). تلقیح تلخه (*Acroptilon repens* L.) با قارچ میکوریزا آربوسکولار (AMF) و ریزوباکتر^۱ (PGPR) می‌تواند در احیای خاک آلوده به کادمیوم (Cd) مؤثر واقع شده و فرآیند گیاه پالایی را ارتقا دهد (رسولی صدقیانی و همکاران، ۲۰۱۸b).

1 . PGPR- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

امیرنیا و همکاران (۲۰۱۹)، گزارش کردند که اثر مثبت استفاده از کود زیستی میکوریزا به همراه ازتوباکتر بر گیاه عدس (*Lens Culinaris Medik*) سیستم فتوسنتزی، رشد گیاه و عملکرد دانه، به جذب بهتر آب و مواد مغذی در گیاه عدس مرتبط می‌شود. در اثر استفاده از این کود عملکرد بیوماس (۳۶/۹ درصد)، عملکرد دانه (۲۸/۴ درصد) و پروتئین دانه (۳۸/۳ درصد) افزایش یافت. حاجی بلند و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی اثر تلقیح برنج با دو گونه قارچ میکوریزا *Glomus intraradices mosseae* به این نتیجه رسیدند که رقم طارم هاشمی در اثر تلقیح، حساسیت بیشتری داشت و پاسخ مثبتی به تلقیح جذب فسفر و پتاسیم از خود نشان داد.

مزایای میکوریزا

۱. افزایش جذب فسفر، روی، گوگرد و آب در سطح ریشه
 ۲. افزایش رشد و عملکرد گیاهان
 ۳. رشد یکنواخت محصولات زراعی
 ۴. افزایش مقاومت ریشه در برابر بیماری‌های گیاهی
 ۵. کاهش توقف رشد در خاک‌های ضد عفونی شده
 ۶. کمک به گیاهان حساس به تنش خشکی
 ۷. مفید برای درختان جنگلی، لگوم‌ها، گراس‌های علوفه‌ای و غلات
 ۸. افزایش تحمل گیاهان در برابر خشکسالی، گرمای زمین و افزایش حالت اسیدیته خاک به وسیله سطوح بالای فلزات از قبیل منگنز، آلومینیوم و گوگرد (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).
- بر اساس نوع رابطه قارچ با گیاه میزبان و چگونگی ارتباط بین میسلیوم قارچ و ریشه، میکوریزا به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) میکوریزای خارجی یا اکتومیکوریزا^۱: هیف‌ها روی ریشه تشکیل غلاف می‌دهند.

هیف‌ها در بین سلول‌های پوست ریشه وارد می‌شوند؛ اما به درون سلول‌ها وارد نمی‌شوند.

ب) میکوریزای داخلی یا اندومیکوریزا^۲: غلافی تشکیل نمی‌دهند. هیف‌ها در بین و در درون سلول‌های پوست ریشه وارد می‌شوند.

ج) میکوریزای داخلی - خارجی یا اکتواندومیکوریزا^۳: تشکیل غلاف سطحی بر روی ریشه می‌دهند. هیف‌ها در بین سلول‌ها و در درون سلول‌های پوست ریشه وارد می‌شوند.

در گیاهان حاوی قارچ میکوریزا، سیستم ریشه‌ای از سطح فعال ریشه‌ای بیشتری جهت جذب بهتر مواد غذایی از خاک برخوردار است خصوصاً هنگامی که خاک‌ها فاقد فسفر کافی باشند.

اکتومیکوریزا

ویژگی مشخصه اکتومیکوریزا حضور هیف در بین سلول‌های پوست ریشه و ایجاد ساختاری شبکه مانند به نام شبکه هارتیگ^۴ است. اصطلاح شبکه هارتیگ به افتخار رابرت هارتیگ که پدر علم بیولوژی جنگل است بر روی این ساختار گذاشته شده است (جهان و نصیری، ۱۳۹۱). در این همزیستی، هیف‌های قارچ یا میسلیوم‌ها، پوششی را بر سطح ریشه تشکیل می‌دهند. رشد ریشه در بوته‌های آلوده متوقف و ریشه‌ها متورم شده و به دلیل انشعابات دوشاخه‌ای، مرجانی شکل می‌شوند.

قارچ‌هایی که به صورت همزیست در اکتومیکوریزا وجود دارند متعلق به *Ascomycetes* و *Basidiomycetes* هستند. البته تعداد معدودی از اعضای خانواده *Endogonaceae* نیز در آلوده کردن ریشه مؤثر هستند. این قارچ با گیاهان عالی نظیر خانواده‌های غان (توسکا)، کاج، بلوط، بید و ارغوان دارای همزیستی اکتومیکوریزایی هستند. همچنین جنس‌هایی از قبیل *اکالیتوس* نیز این گونه

1 . Ecto mycorrhiza

2 . Endo mycorrhiza

3 . Ectoendo mycorrhiza

4. Hartig Net

همزیستی را نشان داده‌اند (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). بسیاری از اکتومیکوریزاها دارای یک پوشش یا غلاف از بافت‌های قارچی هستند که ممکن است تمامی ریشه‌های جذب کننده (معمولاً ریشه‌های ریز تغذیه کننده گیاه) را به‌طور کامل بپوشانند. ضخامت، رنگ، بافت غلاف، بسته به نوع قارچ و گیاه شرکت کننده در رابطه همزیستی متغیر است (جهان و نصیری، ۱۳۹۱). در مورد اکتومیکوریزا قسمت انتهایی ریشه‌چه در یک غلاف و یا هیف ایجاد شده توسط قارچ به‌طور کامل پوشیده می‌شود و انشعابات هیفی به فضای بین سلولی پوسته ریشه نفوذ می‌کنند.

اندومیکوریزا

به تمام انواع میکوریزاهایی که در آنها قارچ در داخل سلول‌های پوست ریشه گیاه (کورتکس) نفوذ می‌کنند، اندومیکوریزا گفته می‌شود و در یک تقسیم بندی کلی به دو گروه تقسیم می‌شوند. اولی گروهی که میسلیوم آنها دارای دیواره عرضی است. دوم گروهی که میسلیوم در آنها فاقد دیواره عرضی است، مانند میکوریزایی که در خزها دیده می‌شود.

به‌طور کلی اندومیکوریزاها عمومی‌ترین نوع میکوریزا هستند و از نظر نحوه تولید اسپور، شکل ظاهری و مکانیسم برقراری همزیستی، سه تیپ مشخص در آنها دیده می‌شود:

الف) میکوریزای آربوسکولار^۱

ب) میکوریزای اریکاسئوس^۲

ج) میکوریزای ارکیداسئوس^۳ (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

1 . Arbuscular mycorrhiza

2 . Ericaceous mycorrhiza

3 . Orchidaceous mycorrhiza

اندومیکوریزا، در اغلب خانواده‌های نهان‌دانگان، در مخروطیان به غیر از پیناسه^۱ مانند کاج و نراد و در برخی از بریفیت‌ها^۲ یافت می‌شود. بریفیت‌ها در واقع نخستین گیاهانی هستند که اندام هوایی ویژه زیستن در خشکی در آنها ظاهر شده است. تغییر محیط‌زیست از آب به خشکی باعث تغییر در ساختار گیاه و پیدایش اندام‌های ویژه برای زندگی روی خاک شده است. طول اندام هوایی بریفیت‌ها بیش از چند سانتی‌متر نیست و بستگی کامل به میزان رطوبت محل رویش دارند. بریفیت‌ها فاقد ریشه و دستگاه آوندی بوده و از این رو یا به سطح خاک چسبیده‌اند و یا در محیط کاملاً مرطوب زندگی می‌کنند و برای لقاح به آب نیاز دارند. برخی از جنس‌های ثعلب برای رشد به این قارچ وابسته هستند و در هنگام جوانه زنی بذر قارچ در سیستم گیاهی وارد می‌شود. ثعلب‌های حاوی اندومیکوریزا، هیف قارچی خود را در فضای بین سلول‌های ریشه وارد کرده و اغلب تجزیه شده و بدین ترتیب نیازهای غذایی میزبان را تأمین می‌کنند. کلاس دیگر اندومیکوریزا به نام وزیکولار-آربسکولار میکوریزا^۳ (VAM) وجود دارد که دارای اندام‌های ویژه شاخه مانند حاوی کیسه می‌باشند. اندام‌های شاخه مانند مواد غذایی را از خاک به داخل سیستم ریشه‌ای هدایت می‌کنند. این قارچ‌ها بر اساس مورفولوژی هاگ تقسیم بندی می‌شوند. بسیاری از گیاهان بقولات و گرامینه به شکل توده‌ای میکوریزای VAM خیلی حساس هستند. قارچ‌های VAM به صورت همزیست دورن‌زی اختیاری بوده که در فضای بین سلولی زندگی می‌کنند و هنوز در کشت‌های خالص قابل حصول نیستند.

1 . Pinaceae

2 . Bryophytes

3 . VAM- Vesicular Arbuscular Mycorrhiza

گونه‌های معروف VAM شامل انواع زیر است:

1. *Glomus mosseae*
2. *Glomus fasciculatum*
3. *Giaspora nigra*
4. *Acaulospora scrobiculata*
5. *Sclerocyttis clavispora*
6. *Endogono increseta*

چگونگی حضور گسترش VAM

قارچ اندومیکوریزا (درون‌زی) VAM در اکثر آنژیوسپرم‌ها^۱، ژیمنوسپرم‌ها^۲، پتریدوفیت‌ها و بریوفیت‌ها موجود است. اما تیره پیناسه^۳ (کاج) و و راسته اریکالس^۴ (پامچال) فاقد آن هستند. برخی از گونه‌ها مثل *Eucalypts Leucaena* و غیره هر دو خصوصیت VAM و اکتومیکوریزا را دارا هستند. در اکثر گونه‌های بقولات و گرامینه آلودگی شدید به VAM امری عادی است. اکثر گیاهان که از نظر اقتصادی با اهمیت هستند مثل سورگوم، جو، برنج مناطق مرتفع، آناناس، پیازها، لوبیا چشم بلبلی، توت فرنگی، سیب، درخت لاستیک، قهوه، چای، پاپایا، نخل روغنی و غیره، حاوی قارچ‌های VAM هستند. VAM برای گیاهانی مفید هستند که با آن رشد می‌کنند. آنها املاح غذایی را برای گیاه می‌سازند، بافت خاک را توسعه می‌دهند، مقاومت در برابر بیماری را زیاد می‌کنند و به رشد بهتر گیاهان کمک می‌کنند. علاوه بر آن میکوریزا در کنترل بیولوژیکی رشد ریشه هم نقش مهمی دارند (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). قارچ‌های VAM به غیر از شرایط غرقابی، در تمام مناطق منجمد شمالی، سرد و گرم به‌طور گسترده‌ای یافت می‌شوند. آنها به خوبی در جنگل‌های پر باران، اراضی باز جنگلی، ساوانا، اراضی مرتعی، بوته‌زارها، شن‌زارها و

1 . Angiosperm
2 . Gymnosperm
3 . Pinaceae
4 . Ericales

مناطق نیمه خشک رشد می کنند. جمعیت قارچ های VAM در اکثر خاک های غنی نسبتاً کم است و استفاده از حشره کش ها تعداد قارچ های VAM را کاهش می دهد.

اکولوژی قارچ های VAM در خاک

اگر چه هر قارچ VAM می تواند هر گونه گیاه میزبان را تلقیح کند؛ اما برای هر گونه خاص قارچ VAM، خاک هایی یا گونه هایی از گیاهان وجود دارد که با توجه به pH، موقعیت حاصلخیزی خاک و حشره کش به کار برده شده، مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین آنچه به اصطلاح ویژگی بین دو همزیست نامیده می شوند که عملاً وجود خارجی ندارد.

آزمایشات زراعی با قارچ های VAM

آزمایشات زراعی انجام شده در نقاط مختلف دنیا اثرات سودمند ماده تلقیحی VAM بر روی غلات، سیب زمینی، شبدر، یونجه و لویا چشم بلبلی را نشان داده است. سموم دفع آفات نباتی، خصوصاً قارچ کش ها در رشد قارچ ها در خاک مؤثر هستند.

اثر متقابل بقولات گره دار با قارچ های VAM

هنگامی که در عمل تلقیح گونه ریزوبیوم و یک قارچ VAM به طور مشترک استفاده شده است، رشد بسیاری از گیاهان بقولات مانند شبدرها، بادام زمینی، سویا، لویا چشم بلبلی، نخود و غیره افزایش یافت. همچنین آزمایشات زراعی انجام شده بر روی نخود با استفاده از قارچ های VAM در خاک هایی با مقدار فسفر کم، اثرات به مراتب مفیدتر این قارچ ها را نشان داده است. تحقیقات زراعی انجام شده توسط محققان مختلف بر روی نقش مواد تلقیحی حاوی قارچ های VAM بر عملکرد مرکبات، هلو و سویا در خاک ضد عفونی شده در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۱۰- نتایج حاصل از نقش تلقیحی قارچ‌های VAM (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

نام گیاه تلقیح شده	گونه‌های قارچی	خلاصه نتایج بدست آمده	نام کشور و منبع محقق
مرکبات	<i>Glomus mosseae</i>	با توجه به ارقام مرکبات رشد تا ۱۵٪ افزایش داشت.	کالیفرنیا، آمریکا، هاتیگ و جردامن، ۱۹۷۵
مرکبات	<i>G. fasciculatus</i>	با توجه به ارقام مرکبات رشد گیاه ۷۰ تا ۳۰۰ درصد افزایش داشت.	کالیفرنیا، آمریکا ، کالیفرنسمیت و جردامن ، ۱۹۷۲
هلو	قارچ VAM	در اثر تلقیح، جوانه‌های خزانه دریافت های خودداری Zn بیشتری بودند.	کالیفرنیا، آمریکا ، لاریو و همکاران ، ۱۹۷۵
سویا	جنس <i>Endogone</i>	در ایزولین‌های سویا گره زایی ۵۳٪ افزایش داشت در حالی که در لین های مشابه فاقد گره زایی این چنین افزایش مشاهده نشده است.	فلوریدا ، آمریکا ، شینک و هینسون ، ۱۹۷۳

نقش قارچ میکوریزا VAM در تشکیل خاکدانه

به سه فرآیند کاملاً مرتبط با یکدیگر قابل طبقه‌بندی است:

۱- رشد هیف‌های خارجی VAM در داخل خاک و فراهم ساختن اسکلت ساختمانی که در

آن ذرات اولیه خاک توسط هیف‌ها نگهداری می‌شوند.

۲- نقش ریشه‌های هیف‌های خارجی در ایجاد شرایطی که سبب به‌وجود آمدن خاکدانه‌های

ریز می‌شود.

۳- احاطه شدن خاکدانه‌های کوچک توسط هیف‌های خارجی قارچ و ریشه‌ها و تشکیل

خاکدانه‌های بزرگ‌تر.

نقش میکوریزا در اصلاح خاک‌های تخریب شده و خاک‌های ضعیف:

۱- بهبود جذب عناصر ماکرو و میکرو

۲- نگهداری و حفظ عناصر غذایی در منطقه ریزوسفر

۳- حفاظت گیاهان در برابر عناصر سنگین

۴- بهبود تحمل به خشکی (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

فیتز و گاربایه (۱۹۹۴)، بیان کردند که برهم کنش قارچ‌های میکوریزا با دامنه وسیعی از ریزجانداران خاک در محیط ریزوسفر، ریشه و خاک می‌تواند حالات مختلفی از جمله ممانعت‌کنندگی، تحریک‌کنندگی، رقابت و حتی همزیستی را شامل شود. همچنین پیشنهاد کردند که قارچ‌های میکوریزا، روابط متقابل گیاهان با سایر ریزجانداران خاک از جمله عوامل بیماری‌زا، نماتدها و قارچ‌های ممانعت‌کننده از رشد ریشه، موجودات همزیست به‌ویژه باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برخی از آزمایشات حاکی از آن است که هرگاه رطوبت و دی‌اکسیدکربن تولید شده در نتیجه فعالیت‌های باکتری‌های تحریک‌کننده همراه باشد، جوانه‌زنی و رشد هیف‌ها را تحت تأثیر قرار داده و تشدید می‌کند. این باکتری‌ها توسط گاربایه (۱۹۹۴)، باکتری‌های کمک‌کننده میکوریزا نامیده شدند. در نتیجه اثر معنی‌دار میکوریزا بر جوامع باکتریایی، بعضی از باکتری‌های موجود در خاک از استقرار و همزیستی میکوریزایی ممانعت نموده و یا آن را تسهیل می‌کنند. همان‌گونه که قبلاً بیان شد، گروه اخیر باکتری‌های کمک‌کننده به میکوریزا نام گرفت. برخی از این باکتری‌ها با میکوریزا تلفیق شده و با گیاه میزبان ارتباط متقابل برقرار می‌کنند، به این صورت که باکتری در تماس با میسلیوم قارچ بوده و یا در پوسته بیرونی اکتومیکوریزا جای می‌گیرد. باکتری‌های کمک‌کننده میکوریزا در مراحل مختلف می‌توانند از راه‌های متفاوتی بر تشکیل میکوریزا تأثیر گذاشته که برخی از آنها عبارتند از:

۱- تأثیر بر رشد قارچ‌های ساپروفیت در خاک

- ۲- تأثیر بر پذیرش گیاه میزبان در آلودگی قارچی
 - ۳- دخالت در مکانیسم شناسایی ریشه‌های گیاهان میزبان توسط قارچ‌های همزیست
 - ۴- دفع برخی اسیدهای آلی (اسید سیتریک و اسید مالیک) توسط قارچ‌های جدا شده و متابولیز شده
 - ۵- شکستن برخی مولکول‌های سمی (ترکیبات فنلی) که برای میکوریزا مضر هستند
 - ۶- تولید برخی ترکیبات فرار که یا تحریک کننده رشد یا ممانعت کننده رشد میکوریزا هستند.
- بقولات و باکتری‌های ریزوبیوم یا برادی ریزوبیوم و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار رابطه همزیستی سه جانبه ایجاد می کنند. اثر متقابل مثبت بین قارچ VAM و باکتری‌های ریزوبیوم بر روی گیاه زراعی می تواند به دلایل زیر باشد:
- الف) بهبود جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف
- ب) افزایش تحمل به تنش‌های محیطی
- ج) تغییر در مواد تنظیم کننده گیاهی (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).
- البته در صورتی که در این رابطه میکوریزا وجود نداشته باشد ممکن است:
- الف) باکتری با کمبود انرژی مورد نیاز برای فعل و انفعالات متابولیسمی خود مواجه شود.
- ب) در صورت نبود سیستم میکوریزایی، فسفر آزاد شده از منابع غیرمحلول، منتقل نشده و مجدداً در خاک تثبیت شود.
- مطالعات نشان داده است که همزیستی قارچ، متابولیسم‌های گیاهی را از طریق کمیت و کیفیت مواد دفع شده از ریشه تغییر می دهد که این موضوع بر توانایی باکتری‌ها در تولید و آزادسازی تنظیم کننده‌های رشد گیاهی تأثیر می گذارد. از آنجا که قارچ و باکتری در درون سلول‌های پوست ریشه عمل می کنند امکان دارد که حضور یکی از آنها بر میزان سرایت دیگری تأثیر داشته باشد.

۱. اکتواندومیکوریزا

در ساختمان این قارچ هم میسلیوم درونی و هم میسلیوم بیرونی یا سطحی دیده می‌شود. اکتواندومیکوریزا یک ساختمان اکتومیکوریزایی مشخص تشکیل می‌دهد، به استثنای این که غلاف نازک بوده و یا وجود ندارد و هیف شبکه هارتیگ ممکن است به داخل سلول‌های پستی نفوذ کند. با بالغ شدن گیاهچه‌ها، اکتومیکوریزا جایگزین اکتواندومیکوریزا می‌شود. قارچ‌هایی که در این رابطه شرکت داشتند ابتدا تحت عنوان سویه E در نظر گرفته می‌شدند؛ اما بعداً معلوم شد که آنها آسکومیست^۱ هستند و لذا در جنس *Wilcoxina* قرار داده شدند (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

تأثیر کودهای شیمیایی و سموم بر فعالیت میکوریزا

الف) کودهای شیمیایی

مصرف بیش از حد به‌سازهای آلی به خصوص آنهایی که مثل کود مرغی فسفر زیادی دارند ممکن است بر میکوریزا اثر منفی داشته باشد. آهک یکی از ترکیباتی است که برای اصلاح pH خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر چند که آهک بر حاصلخیزی اثر مستقیم ندارد؛ اما می‌تواند دسترسی به برخی عناصر غذایی از جمله فسفر را تغییر دهد. با این وجود آهک‌دهی خاک‌های اسیدی موجب افزایش جمعیت میکوریزا می‌شود و ممکن است باعث تغییر در غالبیت گونه‌ای آن نیز شود. اگر میزان حاصلخیزی اولیه خاک بسیار کم باشد ممکن است کودهای شیمیایی دارای اثرات مثبت بر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار باشند (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

ب) سموم شیمیایی

از آنجا که قارچ‌های VAM در ارتباط با گیاه میزبان و جمعیت میکروبی خاک هستند، سموم شیمیایی می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق تأثیر بر گیاه میزبان و یا بر موجودات زنده

1 . Ascomycetes

خاک بر قارچ‌های VAM تأثیر داشته باشند. اعتقاد کلی بر این است که اکثریت قارچ‌کش‌ها بر فعالیت میکوریزا تأثیر منفی دارند. میزان تأثیر به عوامل بسیاری از جمله نوع قارچ‌کش‌ها، نوع قارچ‌های همزیست، مرحله زندگی گیاه و قارچ بستگی دارد. دو گروه از قارچ‌کش‌ها که برای میکوریزا آربوسکولار کشنده هستند شامل هیدروکربن‌های آروماتیک و بنزیمیدازول‌ها می‌باشند. در اقلیم‌های دارای شرایط آفتابی تابیدن نور خورشید بر خاک می‌تواند جایگزین ضد عفونی با مواد شیمیایی شود، زیرا تشعشع خورشید بر کاهش جمعیت پاتوژن‌های موجود در خاک مؤثر است؛ ولی بر قارچ‌های VAM تأثیری ندارد یا کم اثر است. نتایج اکثر گزارش‌ها مؤید این است که تأثیر علف‌کش‌ها بر فعالیت میکوریزا مشابه تأثیر قارچ‌کش‌ها نیست. در اغلب موارد علف‌کش‌ها تأثیر سویی بر فعالیت میکوریزا ندارند. مثلاً مصرف دایوران تراکم اسپورهای قارچ VAM را در خاک افزایش داده است.

مصرف متعادل علف‌کش‌های گروه کاربامات، تشکیل کلنی قارچ VAM را در یونجه یا گندم کاهش نداد. بیان شده است که علف‌کش‌ها قابلیت حیات اسپورها و رشد میسلیوم را کاهش می‌دهند و همچنین رشد علف‌های هرز را که ممکن است برای میکوریزا میزبان باشند را محدود می‌کنند. حشره‌کش‌ها و نماتدکش‌های فسفریک مانند دیازینون، مالاتیون و پاراتیون به‌طور کلی بر تشکیل کلنی میکوریزا اثر سوء کمی داشته و یا بی‌اثر هستند. البته مقدار مصرف سم عاملی مهم در واکنش میکوریزا به سم می‌باشد. به‌طور مثال کاربرد کربوفوران تشکیل کلنی میکوریزایی را در بادام زمینی کاهش داد؛ ولی مصرف نصف آن سبب افزایش تشکیل کلنی و تولید اسپور شد. نماتدکش DBCP نمونه‌ای از یک آفت‌کش است که تشکیل کلنی میکوریزا را افزایش می‌دهد. کاهش جمعیت پاتوژن‌های خاک در نتیجه مصرف نماتدکش، شاید عامل افزایش فعالیت میکوریزا باشد (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

فواید زیست محیطی استفاده از میکوریزا

- ۱- بهبود جذب عناصر غذایی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی
- ۲- مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها و در نتیجه کاهش مصرف آفت‌کش‌ها که منجر به کاهش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود.
- ۳- پالایش میکوریزایی (میکوریزا پالایی)^۱

پالایش میکوریزایی

روند آلودگی محیط زیست به وسیله عناصر سنگین در نتیجه استخراج از معادن، احداث کارخانجات و مصرف مواد شیمیایی و لجن فاضلاب در کشاورزی رو به افزایش است. برخی عناصر سنگین مثل سرب، کروم، آرسنیک، مس، کادمیوم و جیوه از طریق صنعت، کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی به خاک‌ها اضافه شده‌اند. عناصر سنگینی نظیر مس، سرب و کادمیوم با برخی مواد موجود در غشاهای سلولی نظیر هیدروکسیل، کربوکسیل و ترکیبات غیرنیتروزنی ترکیب شده و نیز به پیکره گروهی از قارچ‌های موجود در خاک وارد می‌شوند. هر گونه عاملی که باعث بهبود جذب عناصر سنگین توسط گیاهان پالاینده شود حائز اهمیت است. یکی از این عوامل قارچ‌های همزیست با ریشه گیاهان (میکوریزا) می‌باشد.

قارچ‌های میکوریزا با تولید متابولیت‌های مختلف و با مکانیسم‌های کلات‌کنندگی و برقراری پیوند با فلزات سنگین در درون و بیرون سلول و کاهش انتقال آنها به اندام‌های هوایی گیاهان زراعی^۲ و یا از طریق بهبود رشد^۳ و افزایش زیست‌توده گیاهان انباشت‌گر^۴ و انتقال فلزات به

1 . Mycorrhiza remediation

2 . Phytostabilization

3 . Accumulator

4 . Phytoextraction

اندام‌های هوایی و یا از طریق تجزیه و تخریب مواد آلی سمی^۱ نقش مهمی در اصلاح خاک‌های آلوده داشته و امکان بهره‌وری بیشتر از آنها را ایفا می‌کنند.

یکی از نقش‌های مهم قارچ‌های میکوریزا زیست‌پالایی این عناصر در خاک‌ها و آب‌های آلوده به عناصر سنگین می‌باشد. هیف‌های میکوریزا قادر به توسعه ریشه فراتر از ناحیه جذب شده هستند و می‌توانند عناصر غذایی و عناصر سنگین را به مقدار زیاد جذب و به ریشه گیاهان میزبان انتقال دهند. اکتومیکوریزای همزیست با درخت کاج، از طریق ترشح اسیدهای آلی نظیر مانند اسید اُگزالیک، اسید سیتریک و اسید مالیک و در نتیجه ترکیب آنها با عناصر سنگین (به‌عنوان مثال تشکیل اکسالات مس) سبب سمیت زدایی از این عناصر و یا کاهش سمیت آنها شود. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد در مواردی این قارچ‌ها، عناصر سنگین را با موادی نظیر گلومالین ترکیب کرده و از اثر سوء آن‌ها بر گیاه می‌کاهند.

افزون بر این قارچ‌های میکوریزا به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با سایر جوامع میکروبی و فون خاک مثل ریزوباکتری‌های تحریک کننده رشد گیاه، قارچ‌های ساپروفیت، کرم‌های خاکی دارای برهم‌کنش می‌باشند. در این راستا بهینه سازی روابط بین اجزا به منظور تناسب و سازگاری هر چه بیشتر آن‌ها در افزایش گیاه پالایی نقش مهم و تعیین کننده در نتیجه نهایی دارد و می‌تواند به احیا اکوسیستم‌های آلوده کمک کند (زارعی و همکاران، ۱۳۸۵).

میکروارگانسیم‌های حل کننده فسفات

خاک حاوی مواد آلی فراوانی شامل ترکیبات آلی فسفر است که اغلب از طریق تجزیه اندام‌های گیاهی به‌وجود می‌آیند. فسفر موجود در خاک به علت پائین بودن میزان حلالیت و تحرک به میزان کمی قابل استفاده می‌باشد (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). وارد ساختن مقادیر

کافی از حل کننده‌های فسفر در محیط ریشه گیاه و در خاک، میزان در دسترس بودن این عنصر را افزایش می‌دهد. فسفو باکترها موجب انحلال اشکال تثبیت شده فسفر در خاک شده و از این رو به عنوان کود زیستی از گیاه زراعی حمایت می‌کنند.

از میکروارگانیزم‌های حل کننده فسفات می‌توان برخی گونه‌های باکتری و قارچ‌های خاکری متعلق به جنس‌های باسیلوس، سودوموناس، آسپرژیلوس و پنی‌سیلیوم اشاره کرد که موجب انحلال فسفات نامحلول و تبدیل آن به شکل محلول می‌شوند (جهان و همکاران، ۱۳۹۵).

باکتری‌های جنس باسیلوس، گرم مثبت و میله‌ای شکل بوده در حالی که سودوموناس گرم منفی می‌باشد. گلوکز منبع اصلی کربن برای این دسته از باکتری‌ها است؛ اما این باکتری‌ها قادر هستند علاوه بر گلوکز از سایر منابع کربن‌دار هم استفاده کنند و به‌طور هوازی تنفس نمایند (واحدی و بهشتی، ۱۳۸۵).

باکتری‌های حل کننده فسفات، هورمون‌های رشد اکسینی^۱ ایندول استیک اسید (IAA)^۲ و جیبرلین^۳ را به‌طور متعادل تولید می‌کنند. این هورمون باعث رشد ریشه و توسعه آنها و در نهایت

1. Auxin

۲. ایندول-۳-استیک اسید همان هورمون اکسین به انگلیسی Indole-3-Acetic Acid با فرمول شیمیایی $C_{10}H_9NO_2$ یک ترکیب شیمیایی با جرم مولی آن ۱۷۵ g/mol می‌باشد. شکل ظاهری این ترکیب، جامد سفید است. اکسین اولین گروه هورمون گیاهی کشف شده می‌باشد که مورد استفاده قرار گرفته است. ماهیت هورمونی آن‌ها به‌طور روشن در آزمایشی که برای اولین بار توسط وانت در سال ۱۹۲۸ انجام گرفت در کلنوپتیل یولاف از گیاهان تیره غلات نشان داده شد و در غلظت کمتر از 10^{-10} مولار می‌توان به کار برد. طبیعی‌ترین ترکیبی که در گیاهان شناخته شده است اسید ایندول-۳-استیک (IAA) می‌باشد که احتمالاً در گیاهان از اسید آمینه تریپتوفان ساخته می‌شود. مراکز عمده ساخته شدن اکسین بافت‌های مریستمی انتهایی از قبیل جوانه‌های در حال باز شدن، برگ‌های جوان، نوک ریشه، گل‌ها یا گل‌آذین روی ساقه گلدار می‌باشد و نحوه انتقال اکسین در اندام‌های جوان از بالا به پائین و در اندام‌های پاراتشیمی در داخل آوندهای آبکشی انجام می‌گیرد و در ریشه هم از نوک ریشه به سمت بالای ریشه صورت می‌گیرد.

3. Gibberellin

رشد دانه با جذب سریع‌تر تغذیه از کودهای زیستی و شیمیایی توسط ریشه می‌شود. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات با ترشح اسیدهای آلی مانند اسید فرمیک، استیک، پروپیونیک، لاکتیک، فوماریک و سوکسینیک این توانایی را دارند که فسفات نامحلول را به اشکال محلول آن تبدیل کنند. این اسیدها pH خاک را کاهش می‌دهند و سبب تثبیت فسفات نامحلول به شکل محلول شده و از این رو قابل در دسترس شدن این عنصر را در خاک افزایش می‌دهند (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)^۱ از مهم‌ترین کودهای زیستی بوده و با محلول کردن و افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی به‌طور مستقیم با تثبیت نیتروژن و تولید هورمون‌های رشد و به‌طور غیر مستقیم با کاهش یا پیشگیری از اثرات زیان‌آور بیماری‌زایی دیگر ریز جانداران از طریق تولید انواع مواد آنتی‌بیوتیک و سیدروفورها سبب افزایش رشد گیاهان شده و عملکرد گیاهان زراعی را بهبود می‌بخشند (هان و لی، ۲۰۰۵؛ توران و همکاران، ۲۰۰۶). این باکتری‌ها از طریق تولید و ترشح، تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها باعث افزایش درصد جوانه‌زنی بذر، ریشه‌زایی و گسترش ریشه شده و از طریق فراهم نمودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن قادرند تا باعث افزایش رشد گیاه شوند (هادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ آستارائی و کوچکی، ۱۳۷۵).

آزولا

یکی از راه‌ها، برای تحقق خود کفایی نسبی، به کارگیری مجدد بقایای گیاهی و دامی از طریق روش‌های کمپوست کردن است. وجود شرایط مناسب اقلیمی، آب و نور خورشید که در مناطق گرمسیری به‌وفور یافت می‌شود، کشت سرخس‌های خیلی کوچک آبی‌زی آزولا^۲ در استخرهای

1 . PGPR- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

2 . Azolla

پرورشی را میسر ساخته است. سرخس آزولا حاوی قارچ سبز- آبی آنابنا آزولا^۱ در برگ‌های مرکب خود است که قادر به تثبیت نیتروژن می‌باشد و در مزارع غرقاب شده برنج به صورت یک گیاه شناور سریع‌اً رشد می‌کند.

آزولا یک گیاه آبی شگفت انگیز و منبع غنی از پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین A ، B₁₂، بتاکاروتن و مواد معدنی از جمله کلسیم، فسفر، آهن، مس، منیزیم، و غیره می‌باشد. در واحد وزن خشک، آزولا دارای ۳۵-۲۵ درصد پروتئین، ۱۵-۱۰ درصد مواد معدنی، ۱۰-۷ درصد انواع اسیدهای آمینه، عوامل بیولوژیکی و بیوپلیمرها می‌باشد. آزولا در سطح آب شناور بوده و قادر است نیتروژن موجود در اتمسفر را جذب نماید.

آزولا به عنوان یک منبع ارزان قیمت و تأمین کننده نیتروژن گیاه برای اولین بار در چین شناخته شده است. طبق گزارشات قبلی استفاده از آزولا به عنوان کود برای محصولات مختلف از قرن ۱۷ در چین و ویتنام شناخته شد و مورد استفاده قرار گرفت. مردم چین و ویتنام از آزولا به عنوان کارخانه تولید کود نیتروژن یاد می‌کنند. امروزه آزولا به صورت کود آلی برای محصولات مختلف در چین، ویتنام و ژاپن در سطح وسیعی (حدود ۴۰۰۰۰ هکتار) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آزولا به عنوان کود آلی

آزولا نوعی سرخس شناور در آب‌های شیرین بوده و به طور گسترده در همه جا دیده می‌شود. تولید مثل این سرخس در شرایط مطلوب به صورت تکثیر غیرجنسی بوده و رشد آن سریع است. تکثیر جنسی نیز به مقدار کم در این سرخس گزارش شده است. معمولاً سرخس پوشش سبز رنگی را روی آب ایجاد کرده که در برخی شرایط به دلیل تجمع رنگیزه آنتوسیانین در آنها به رنگ‌های دیگر از جمله قرمز نیز دیده می‌شود. گیاه دارای ساقه‌های منشعب شناور در آب است، برگ‌ها به صورت قرینه با بریدگی‌های عمیق هستند و دارای ریشه‌های حقیقی هستند که در داخل آب نفوذ

1 . *Anabaena azollae*

کرده‌اند. برگ‌ها به‌طور یک در میان به روی ساقه قرار دارند. سطوح بالایی و پایینی برگ‌ها برجسته و پَر مانند است. سطح بالایی برگ ضخیم، گوشتی، دارای کلروفیل و در تماس با هوای خارج می‌باشد که با جلبک آنابنا آزولانه در داخل شیارهای مرکزی خود به صورت همزیست است. سطح پائینی برگ نازک، تا حدودی در آب قرار گرفته و فاقد کلروفیل است. جلبک‌ها نیتروژن اتمسفر را تثبیت کرده و در تمام مراحل رشد و نمو سرخس حضور دارند. سلول‌های فراوان اپیدرمی تارمانندی در سطح خارجی شیارها وجود دارد که ممکن است در امر انتقال مواد غذایی بین دو همزیست نقش بسزایی داشته باشند.

دعائی و همکاران (۲۰۱۹)، گزارش کردند که استفاده از تیمارهای متفاوت آزولا در رژیم آبیاری بر برخی خصوصیات زراعی گیاه برنج تأثیر قابل توجهی نشان داد. علاوه بر آن تأثیر کمپوست آزولا بر pH، شوری، ماده آلی خاک، نیتروژن، فسفر، پتاسیم باقی‌مانده در خاک و پتاسیم جذب شده در دانه برنج مثبت اعلام شد. استفاده از این مدیریت به‌ویژه در شرایط کسری آب می‌تواند حاصلخیزی خاک و کارایی مصرف آب را به میزان ۱۹ درصد افزایش دهد. کاربرد کمپوست آزولا می‌تواند مواد آلی خاک را افزایش دهد و به دلیل داشتن برخی مواد مغذی مورد نیاز برای گیاه جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی در درازمدت باشد. نصرالله‌زاده ماسوله و همکاران (۱۳۸۸)، با بررسی تأثیر کمپوست آزولا، کود گاوی و کود شیمیایی روی گیاه برنج گزارش کردند که می‌توان از بقایای گیاهی و دامی به جای کودهای شیمیایی استفاده کرد. به‌طوری که تأثیری بر کاهش مقدار عملکرد نسبت به کود شیمیایی ندارد، استفاده از بقایای گیاهی و دامی از آلودگی محیط‌زیست جلوگیری کرده و در زمینه کشاورزی پایدار باعث حفظ حاصلخیزی خاک در طولانی‌مدت می‌گردد. چنگیزدلیوند و همکاران (۱۳۹۱b) بیان کردند که کود نیتروژن و کمپوست آزولا، عملکرد دانه، تعداد خوشه در مترمربع، شاخص برداشت، تعداد دانه در خوشه را تحت تأثیر قرار داد. ولد آبادی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی اثر کمپوست آزولا

بر عملکرد و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برنج به این نتیجه رسیدند که آزولا و آبیاری بر مقدار نیتروژن و فسفر موجود در گیاه اثر معنی دار مثبت دارد و بیشترین مقدار عملکرد دانه برنج در اثر استفاده از ۸ تن کمپوست آزولا در هکتار و سطح تشت ۶۰٪ تبخیر حاصل شد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که کاربرد کمپوست آزولا باعث افزایش عملکرد گردیده و استفاده از کودهای شیمیایی را هم کاهش می دهد. چنگیزدلیوند و همکاران (۱۳۹۱a) بیان کردند که عملکرد دانه، ارتفاع طول خوشه و تعداد دانه در برنج تحت تأثیر کمپوست آزولا قرار گرفت.

به طور کلی آزولا دارای ۷ گونه مهم می باشد که عبارتند از (تاج بخش و قیاسی، ۱۳۹۷):

Azolla pinnata, *A. microphylla*, *A. nilotica*, *A. filiculoides*, *A. caroliniana*, *A. Mexicanam*, *A. rubra*.

در هندوستان دو روش برای افزودن آزولا به خاک به عنوان کودآلی پیشنهاد شده است. یکی به عنوان کود سبز که قبل از نشای برنج با خاک مزرعه مخلوط می شود و روش دوم به صورت کشت همراه با برنج، به طوری که سرخس نیز برای مدتی به همراه برنج رشد می کند. در تمام این روش ها به کارگیری آزولا به همراه کود نیتروژنه به عنوان راهکاری مؤثر در بالا بردن عملکرد برنج، حائز اهمیت است.

نیاز تغذیه ای عامل مهمی در تولید برنج است. استفاده از کود نیتروژن بسیار زیاد باعث می شود تا غلظت نترات خاک بعد از برداشت محصول افزایش یابد. چنین وضعیتی باعث می شود که سطح آلودگی نترات در آب افزایش یابد زیرا نترات باقی مانده در خاک به آب زیرزمینی نشت و نفوذ می کند. رضوی پور و همکاران (۲۰۱۸) با آزمایش اثر کمپوست آزولا بر رشد و عملکرد برنج در دو سال، بیان کردند که کاربرد آزولا در ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد (w/w) وزن خشک خاک، تعداد پنجه را در سال اول به ترتیب ۱۶، ۳۷/۸ و ۳۸/۹ درصد و در سال دوم ۱۸/۵، ۲۷/۸ و ۳۰/۲ درصد و نیز وزن سنبله^۱ را در سال اول به ترتیب ۸/۶، ۲۰/۸ و ۲۱/۱ درصد و در سال دوم ۳۴/۷، ۵۰/۴ و

۵۲/۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. استفاده از ۵ درصد کمپوست آزولا در وزن خشک (w/w) بالاترین میزان عملکرد دانه را (به‌طور میانگین ۱۳/۸ درصد بیشتر از شاهد) در برداشت. افزایش عملکرد دانه ممکن است به علت جذب نیتروژن و سایر مواد مغذی با آزولا باشد که تولید آسمیلات‌ها و انتقال آنها از منبع به مخزن را سبب می‌شود. رضوی‌پور و همکاران (۲۰۱۱) همچنین گزارش کردند که کاربرد کمپوست آزولا با کاه برنج (ARS) در مقادیر ۵، ۷ و ۱۲ تن تفاوت معنی‌داری در افزایش عملکرد شلتوک در مقایسه با شاهد داشت. این محققان براساس نتایج تحقیقات متعدد خود اعلام کردند که در شرایط ایران استفاده از ۵ تن کمپوست به همراه ۱۲۰ کیلوگرم اوره باعث می‌شود که عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین کیفیت دانه برنج به‌طور بسیار قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد.

رضوی‌پور (۱۳۸۷) بیان کرد که استفاده از کمپوست در کشت برنج نه تنها باعث کاهش عملکرد نمی‌شود، بلکه استفاده توأم آن با کود شیمیایی اوره عملکرد را افزایش خواهد داد. با کاربرد این روش در شالیزار از مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه از آلودگی ناشی از مصرف آنها به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاسته شده و می‌توان گام بسیار مؤثری در حفظ محیط‌زیست و ایجاد کشاورزی پایدار و ارگانیک برداشت. چنگیز دلیوند و همکاران (۲۰۱۲) اعلام کردند که استفاده از کود نیتروژن و کمپوست آزولا بر عملکرد دانه، وزن هزاردانه، ارتفاع گیاه، تعداد پنجه و برخی ویژگی‌های دیگر برنج اثرگذار بود.

خصوصیات آزولا و جلبک آنابنا

از خصوصیات آزولا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- مثلی یا منشوری شکل است.
- ۲- هر برگ از دو بخش پستی و شکمی تشکیل شده است.
- ۳- اغلب به روش رویشی تولید مثل می‌کند.

- ۴- منبع کربن فتوستتری آن از نور خورشید است.
- ۵- نیتروژن مورد نیاز خود را از نیتروژن تثبیت شده توسط همزیستی به دست می آورد.
- ۶- زمان مضاعف شدن و تکثیر آن در شرایط مناسب برابر ۳-۱ روز و در شرایط مزرعه برابر ۷-۵ روز است.

از خصوصیات جلبک آنابنا آزولا (*Anabanea azollae*) می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- خمره ای شکل و بدون پوشش است.
- ۲- در فضای خالی بخش پستی برگ آزولا زندگی می کند.
- ۳- به روش تقسیم دوتایی تکثیر می شود.
- ۴- از ذخیره کربن آزولا استفاده می کند.
- ۵- خود تثبیت کننده نیتروژن اتمسفر است.
- ۶- زمان مضاعف شدن آن ۲۰ ساعت است (توحیدی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

فواید آزولا

- ۱- مخلوط کردن آزولا با خاک تأمین کننده ۴۰ تا ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و معادل ۱۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ کیلوگرم کود آلی در خاک می باشد.
- ۲- حدود ۷۰ درصد علف های هرز را کنترل می کند.
- ۳- مواد و عناصر غذایی خاک را بهبود می بخشد و کمبود آنها در خاک را برای مصرف گیاه تأمین می کند.
- ۴- هزینه مصرف کودهای شیمیایی را کاهش می دهد.
- ۵- عملکرد محصول را حدود ۲۰-۱۵ درصد و یا بیشتر افزایش می دهد.
- ۶- در یک شالیزار در صورتی که ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا را با خاک مخلوط نمایند، احتیاجی به دادن کود کمپوست برای تأمین مواد آلی نخواهد داشت.

۷- آزولا می‌تواند برای کشت انواع مختلف گیاهان زراعی و سبزیجات مورد استفاده قرار گیرد.

۸- در مناطقی که زمین‌ها دارای مقدار زیادی از آزولا می‌باشند، مردم منطقه می‌توانند نتایج بهتر و عملکرد بالاتری از کشت محصولات مختلف را انتظار داشته باشند.

جلبک سبز - آبی

جلبک‌های سبز - آبی به عنوان عامل ایجاد انواع مختلف رابطه همزیستی در Bryophytes، Pteridophytes، Angiosperms شناخته شده است. گونه *Nostoc Punctiforme* یک میکروارگانیسم اندوفیت موجود در غده‌ها یا گره‌های گونه *Gunnera* است. سیانوباکترها (سیانوفیتا یا باکتری‌های سبز-آبی)، پروکاریوت‌هایی با ساختار دیواره یاخته‌ای از نوع گرم منفی هستند که در طبیعت به شکل‌های تک یاخته‌ای، کلونی شکل و رشته‌ای دیده می‌شوند. داشتن کلروفیل a مهم‌ترین شناسه‌ای است که این جانداران را از دیگر باکتری‌ها جدا می‌سازد. دو رنگدانه فیکوسیانین و فیکواریترین که نام سبز-آبی این باکتری‌ها وابسته به آنها است، به سیانوباکترها رنگ‌های گوناگونی می‌دهند. سیانوباکترها دارای فیکوبیلی پروتئین‌ها^۱ هستند که در کمپلکس‌های چندمولکولی به نام فیکوبیلی‌زوم‌ها سازمان‌دهی شده‌اند و دارای هسته مرکزی از زیرواحدهای آلفوفیکوسیانین و زیر ساخت‌های میله‌ای شکل فیکواریترین و فیکوسیانین هستند.

بررسی گوناگونی زیستی و فراوانی سیانوباکتریایی در خاک‌های گوناگون شالیزاری هندوستان نشان داد که جنس‌های نوستوک و آنابنا بیشترین فراوانی را در همه جایگاه‌های بررسی شده دارند. این بررسی نشان داد که به‌کارگیری این جانداران در راستای ساخت کود زیستی ویژه هر منطقه

۱. اکثر رودوفیت‌ها، سیانوباکتری‌ها و گلوکوفیت‌ها پروتئین‌هایی دارند بنام فیکوبیلی پروتئین که تتراپیرول‌های زنجیره باز (بیلین‌ها) را به هم متصل می‌کنند. فیکوبیلی پروتئین‌ها، ساختارهای استوانه‌ای را تشکیل می‌دهند که می‌توانند در بادافشان‌ها یا گنبدها انباشته شده و انرژی نور را به بک نوع مرکز واکنش برسانند.

نیاز است تا سیانوباکترها بتوانند بهتر در آشیان اکولوژیکی خود زندگی کنند و بیشترین پیامد سودمند را برای گیاهان فراهم کنند (راسانا و نایاک، ۲۰۰۷). موضوع بیشتر پژوهش‌ها جنبه‌های کاربردی سیانوباکترها همانند کود زیستی و تثبیت نیتروژن است. از آنجایی که فرایند تثبیت نیتروژن در سیانوباکترهای هتروسیست‌دار در شرایط دور از اکسیژن بهتر انجام می‌شود، غرقابی بودن خاک‌های شالیزار و در پی آن کاهش اکسیژن سبب می‌شود تا آنزیم نیتروژناز بهتر فعال شود و فعالیت تثبیت نیتروژن در این زیستگاه‌ها به بیشترین مقدار خود برسد (ساترا، ۱۹۹۳).

در سیانوباکترها سه نوع سلول وجود دارد: دسته اول، سلول‌های رویشی که دارای تمام نیازمندی‌های فتوسنتز از جمله آب، رنگیزه‌ها و آنزیم‌های تثبیت دی‌اکسید کربن توسط چرخه کالوین می‌باشد. دسته دوم هتروسیست‌ها^۱ هستند که ممکن است در بین سلول‌های رویشی قرار گرفته و یا به صورت انتهایی وجود داشته باشند. هنگامی که غلظت نیتروژن در محیط کشت اطراف سیانوباکترها کاهش یابد، از تمایز سلول‌های رویشی، سلول‌های هتروسیست به وجود می‌آیند. هتروسیست‌ها فقط در سیانوباکترها وجود دارند. نوع سوم سلول‌ها، آکینت‌ها^۲ می‌باشند که در حقیقت یک نوع اسپور مقاوم بوده و در شرایط معمول، از سلول‌های رویشی حاصل می‌شوند. اگر آکینت در شرایط رویشی مناسب قرار بگیرد تبدیل به سلول رویشی می‌شود. بسیاری از سیانوباکترهای هتروسیست‌دار، تحت شرایط کمبود غذا یا محدودیت نوری، آکینت تولید می‌کنند (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

فرایند تثبیت نیتروژن در سیانوباکترها به وسیله انرژی حاصل از فتوسنتز انجام می‌گیرد و همچنین در صورت وجود نیتروژن آلی حل شده، تمایز به سمت تولید یاخته‌های هتروسیست متوقف می‌شود؛ اما در صورت وجود یاخته‌های هتروسیست جذب آب از نیتروژن متوقف می‌گردد (هنس و بکمن، ۲۰۰۶). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تثبیت نیتروژن سیانوباکترها پس از رشد و تجزیه

1 . Heterocyst
2 . Acinetobacter

یاخته در دسترس برنج قرار می‌گیرد و موجب افزایش محصول برنج می‌شود از این رو به سیانوباکترها کود زنده نیز گفته می‌شود (هاشم، ۱۹۹۸). سیانوباکتری‌ها قادر هستند که با تعداد زیادی از گیاهان و جلبک‌های دیگر و قارچ‌ها همزیستی داشته باشند. در هنگام همزیستی، تثبیت دی‌اکسید کربن آنها کاهش و تثبیت نیتروژن افزایش می‌یابد. از بین گیاهان، هپاتیک‌ها، سرخس‌ها و بریوفیت‌ها (خزه‌ای‌ها) و گاهی گیاهان گلدار نیز با سیانوباکترها همزیست می‌شوند.

مزایای جلبک سبز-آبی

- ۱- می‌توانند در هر هکتار مزارع برنج ۳۰-۲۰ کیلوگرم نیتروژن را تثبیت کنند.
- ۲- در تولید اکسین، جیبرلیک اسید، اسید استیک و ایندول استیک اسید نقش دارند.
- ۳- عملکرد محصول را بین ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش می‌دهند.
- ۴- به کاهش حالت قلیایی خاک کمک می‌کنند.
- ۵- هزینه مواد مصرفی برای تولید جلبک‌ها در مزرعه ناچیز است و این در حالی است که در صورت تلقیح جلبک، متوسط افزایش بذر به ۳۰۰ کیلوگرم در هر هکتار می‌رسد (توحیدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

ماده تلقیحی جلبک سبز - آبی (BGA)^۱

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

جلبک سبز - آبی در توازن نیتروژن خاک‌های شالیزاری مناطق گرمسیری مؤثر است. کشت جلبک تثبیت کننده نیتروژن را می‌توان در فضای آزاد انجام داد و سپس آن را در شالیزار برای بهبود شرایط کشت برنج استفاده کرد. میکروارگانیسم‌ها، فسفات‌های پیوند شده مانند سوپر فسفات و سنگ فسفات را به شکل‌هایی تبدیل می‌کنند که به راحتی توسط گیاهان قابل جذب باشد.

کمپوست

کمپوست کردن، تبدیل میکروبی بقایای آلی گیاهی و جانوری قابل تجزیه به هوموس پایدار است. عمل کمپوست مواد آلی معمولاً توسط فلور و میکروفلور بومی خاک، باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیسیت‌ها صورت می‌گیرد (رضوی‌پور، ۱۳۸۷؛ ساعی و همکاران، ۱۳۸۹؛ رضوی‌پور، ۱۳۹۵؛ چنگیزدلیوند و همکاران، ۱۳۹۷). هدف اصلی در کمپوست سازی تثبیت کردن مواد آلی فسادپذیر به منظور ذخیره مقدار زیادی عناصر غذایی و یکنواختی مناسب ماده خشک به عنوان یک کود است. در تولید کمپوست عواملی چون نسبت کربن به نیتروژن یا C/N ، مقدار آب، تهویه، واکنش خاک و دمای محیط، تعداد جمعیت میکروبی را مشخص می‌کنند. این موجودات را می‌توان به هوازی و غیرهوازی تقسیم بندی کرد. تجزیه غیرهوازی فقط به تجزیه جزئی و ناچیز ماده آلی منجر شده که توسط ارگانیسم‌های بی‌هوازی انجام می‌شود و معمولاً در اغلب مواقع با یک بوی نامطبوع همراه می‌باشد. در تجزیه هوازی تهویه کافی ضروری است. برای رسیدن به تجزیه هوازی بهینه مقدار آب موجود در توده ماده آلی بایستی بین ۵۰ تا ۶۰ درصد (بر اساس وزن تر) باشد.

در تولید کمپوست یک رابطه ذاتی بین تغییرات pH و دما با زمان وجود دارد. در مرحله اولیه مزوفیلیک، pH تا حدود ۵ کاهش می‌یابد و قارچ‌ها ارگانیسم‌های غالب در این مرحله هستند. درحالی که هنگامی که دمای توده کمپوست افزایش می‌یابد (مرحله ترموفیلیک) pH افزایش یافته و باکتری‌ها و اکتینومیسیت‌ها فعال‌ترین موجودات هستند. همزمان با نقطه اوج دما در خلال مرحله ترموفیلیک، pH تا حدود ۸ افزایش می‌یابد. پس از آن معمولاً pH در مقادیر بیشتر از ۷ ثابت

می‌شود. روش‌های معمول کمپوست سازی به یک دوره طولانی هشت هفته یا بیشتر برای تولید کمپوست خوب نیاز دارد.

تحقیقات اخیر نشان داده که تلقیح موادآلی با قارچ‌های سلولوتیک مزوفیلیک نظیر *Aspergillus niger* و *Penicillium sp.* می‌توانند به‌طور قابل ملاحظه‌ای فرآیند تولید کمپوست را تسریع کنند. بیش از ۲۵ تا ۵۰ درصد کرین و ۱۰ تا ۴۰ درصد نیتروژن موجود در ماده اولیه تلف شده و وارد اتمسفر می‌شود. اگر چه کمپوست را می‌توان در تولید محصولات زراعی به کار برد؛ اما استفاده از آنها در تولید محصولات باغبانی، تولید تجارتي گل و باغداری مناسب‌تر است. در سال‌های اخیر استفاده از کرم‌های خاکی در تهیه کمپوست مورد توجه زیادی قرار گرفته است. این عمل ورمی کمپوست^۱ نامیده می‌شود. کرم‌های مورد استفاده *Lumbricus rubellus* یا بعضی گونه‌های دیگر هستند. کرم‌های خاکی به‌طور تجاری در جعبه‌های چوبی با ارتفاع کم (۴۵ × ۶۰ × ۲۰ سانتی‌متر) که در آنها سوراخ‌هایی جهت زهکشی تعبیه شده است، پرورش داده و تکثیر می‌شوند. گودال‌هایی به ابعاد تقریبی ۱ × ۴ × ۳ متر با شیب‌های کناری از بازمانده‌های گیاهی نظیر کاه و گلش کود دامی، بقایای سبزی یا برگ پُر می‌گردند. کرم‌های خاکی از جعبه‌های چوبی بر روی گودال‌های کمپوست تخلیه می‌شوند که بلافاصله به داخل کمپوست وارد شده و به تجزیه بقایای آلی کمک می‌کنند. هنگامی که کمپوست مورد استفاده قرار می‌گیرد کرم‌ها را خارج نموده و در جعبه‌های چوبی برای پرورش بعدی نگهداری می‌شوند و یا به گودال‌های کمپوست دیگری انتقال می‌دهند.

تولید کود کمپوست

۱- روش صنعتی

تولید کود کمپوست به روش صنعتی توسط سازمان بازیافت انجام می‌شود. روش صنعتی مرحله‌ای دارد، بدین ترتیب که پس از تحویل زباله‌ها و مواد ضایع مراحل بعدی که شامل روش تغذیه، دسته‌بندی، خرد کردن، تخمیر و در نهایت خشک کردن و بسته‌بندی است، انجام می‌شود.

۲- روش سنتی

تولید کمپوست به روش سنتی ممکن است به روش حوضچه‌ای و یا روش توده‌ای سطحی انجام گیرد. روش سنتی معمولاً در حوضچه‌هایی در باغ و یا منزل انجام می‌شود. بدین صورت که حوضچه‌هایی به طول ۲ تا ۹ متر و به عرض ۱/۵ تا ۲/۵ متر و به عمق یک متر می‌سازند. سپس مواد اولیه کمپوست را داخل حوضچه ریخته و هر چند روز یک بار مواد را به هم زده تا هوا وارد آن شود. معمولاً طی ۳۵ تا ۴۵ روز این مواد آلی توسط موجودات ذره بینی تجزیه و به کود کمپوست قابل مصرف تبدیل می‌شوند. گاهی اوقات داخل حوضچه‌ها مقداری کود اوره اضافه می‌کنند تا کار پوسیده شدن راحت‌تر انجام گیرد یا اینکه کرم‌های خاکی را در حوضچه‌ها می‌ریزند تا کمپوست تولید شود که به آن اصطلاحاً ورمی کمپوست (Vermicompost) یا کمپوست تولید شده توسط کرم‌های خاکی گفته می‌شود.

معمولاً کمپوست را بر اساس درجه تجزیه شدگی مواد اولیه به سه قسمت تازه، خام و کامل تجزیه شده تقسیم‌بندی می‌کنند. همچنین از نظر اندازه نیز به انواع ریز، درشت و نرم تقسیم‌بندی می‌شوند.

کود کمپوست برای اکثر زراعت‌ها استفاده می‌شود زیرا از نظر حاصلخیزی و عناصر غذایی اثرات مفید و مؤثری دارد. کود کمپوست یک نوع کود آلی می‌باشد هر چند ممکن است بعضی از

آلودگی‌های میکروبی را نیز داشته باشد، چرا که زباله‌ای است که از منازل گردآوری شده است. نمک موجود در کود کمپوست و فلزات سنگین و عناصر سمی نیز ممکن است مشکل‌زا باشند. بنابراین مقدار شوری و عناصر موجود در کود کمپوست را باید هر ساله کنترل کرد. به عبارت دیگر کود کمپوست باید از نظر ترکیب شیمیایی کنترل شود چون کمپوست بسته به نوع ماده اولیه کود ممکن است دارای ترکیبات شیمیایی متفاوتی باشد.

بقایای گیاهان و جانوران، زباله‌های خانگی و شهری و یا لجن فاضلاب‌ها را که تحت شرایط پوسیدگی قرار گرفته‌اند، به طوری که فرم اولیه خود را از دست داده و پودر شده باشند کمپوست می‌نامند. مواد مناسب کمپوست را به ضخامت ۱۰-۷ سانتی‌متر روی زمین یا درون گودالی پخش کرده، به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم ۱۰۰۰-۷۰۰ گرم فسفات دی‌آمونیم و یا کود اوره بر روی آن می‌پاشند. پس از این مرحله آبیاری کرده و سپس لایه‌های بعدی را به همین صورت آماده می‌نمایند. ممکن است لایه‌ای از خاک نیز به طور متناوب بین لایه‌های کمپوست قرار داده شود. این مواد را همیشه مرطوب نگه داشته و هر ۴-۲ هفته یکبار آن را زیر و رو می‌کنند تا به خوبی تهویه شوند. وقتی مواد کاملاً پوسیده و پودر شوند کمپوست تولید می‌شود. این عمل ممکن است تقریباً یک سال طول بکشد (ویکی‌پدیا).

عمل میکروارگانیزم‌ها در تهیه کمپوست

بقایای گیاهی و فضولات حیوانی به عنوان منابع اولیه مواد آلی در خاک محسوب می‌شوند. برحسب ترتیب فراوانی مواد، مواد شیمیایی غیر محلول موجود در مواد آلی عبارتند از: سلولز و لیگنین، در حالی که مواد محلول شامل قندها، اسیدهای آمینه و اسیدهای آلی هستند. از سایر مواد می‌توان به چربی‌ها، روغن‌ها، مواد مومی، صمغ‌ها، پروتئین‌ها و مواد معدنی اشاره کرد.

میکروارگانیزم‌ها بر روی مواد آلی خاک به خوبی رشد کرده و از منابع محلول و تا حدودی نیز از فرم‌های غیر محلول تغذیه می‌کنند. کربن موجود در پروتوپلاسم میکروارگانیزم‌ها توسط

مرحله‌ای موسوم به جذب از مواد آلی تأمین می‌شود. به‌طور کلی تمام کربن موجود در مواد آلی جذب پروتوپلاسم میکروب‌ها نمی‌شوند؛ زیرا مقدار جذب به نوع میکروفلور و وضعیت اکسیژن بستگی دارد و مقداری از کربن بصورت دی اکسید کربن متصاعد می‌شود. به‌عنوان مثال قارچ‌ها مقدار کربن بیشتری را در بافت‌های خود نگه‌داری کرده و دی اکسید کربن کمتری را متصاعد می‌کنند. در حالی که در برخی از باکتری‌های هوازی، عکس این حالت صادق است. در شرایط غیر هوازی، به دلیل تجزیه ناقص مواد آلی، گازهای متان (CH_4) و هیدروژن (H_2) تولید می‌شود. در شرایط غرقابی و اشباع دائم خاک، علاوه بر تولید تعدادی از اسیدهای آلی واسطه‌ای، تصاعد گازهای متان، هیدروژن و گاز کربنیک به دلیل فعالیت میکروبی اتفاق می‌افتد. به دلیل تنوع بیوشیمیایی مواد آلی، در تعیین تجزیه مواد آلی از پارامترهای دیگری مانند جذب O_2 ، کاهش وزن و اندازه‌گیری‌های کمی در نتیجه ناپدید شدن یک ماده خاص افزوده شده به آن استفاده می‌شود. در طول مرحله جذب کربن، عناصر غذایی دیگر مثل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد نیز جذب بافت میکروب‌ها شده و به‌طور کلی تمام مرحله به فرآیند تثبیت^۱ یا ایمولیلزه^۲ شدن موسوم است. با انجام عمل تثبیت، عناصر غذایی قابل دسترس در خاک کاهش یافته و محدودیت در جذب آنها به وسیله گیاهان ایجاد می‌گردد. در منابع مربوط به مواد آلی از واژه‌هایی به نام مینرالیزاسیون^۳ یا معدنی شدن استفاده می‌شود که در حقیقت، مرحله تبدیل ترکیبات آلی پیچیده یک عنصر به حالت معدنی آن عنصر است. این مرحله در واقع برخلاف مرحله تثبیت به تجمع آمونیوم و نیترات کمک می‌کند. هنگامی که بقایای گیاهی تازه به خاک افزوده شود، عمل تثبیت سریع نیست؛ اما عمل کانی شدن به تدریج افزایش می‌یابد.

عمل تثبیت عناصر غذایی به عواملی مانند درجه حرارت، عناصر غذایی معدنی، وجود اکسیژن،

1 . Fixation

2 . Imobilization

3 . Mineralization

مقدار آب، غلظت یون هیدروژن، نسبت کربن به نیتروژن مواد آلی و نوع میکرو فلور بستگی دارد. بقایای حاصل از گیاهان بقولات که حاوی نیتروژن فراوانی هستند از طریق در اختیار گذاشتن نیتروژن قابل حصول، رشد سریع میکروارگانیسم‌ها را باعث شده و بنابراین تجزیه مواد آلی با سرعت انجام می‌گیرد. به همین نحو، افزودن کود آمونیومی یا نیتراتی به بقایای کاه و گلش گیاهان غلات که مقدار نیتروژن آنها بسیار کم است، همان نقش را در تسریع فعالیت میکروبی دارا بوده و از این رو تجزیه مواد آلی را تسریع می‌کند.

بقایای گیاهان جوان‌تر در مقایسه با بقایایی که حاوی بافت چوبی و لیگنین فراوان از درختان مسن‌تر هستند، به دلیل وجود عناصر غذایی محلول فراوان به راحتی در معرض تجزیه قرار می‌گیرند. به دلیل حساسیت سلولز در برابر تهاجم میکروبی، این ماده به راحتی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و مواد تشکیل دهنده آن تغییر کرده و آزاد می‌شوند.

در شرایط خاک‌های اسیدی، قارچ‌های تاژکدار عهده‌دار تجزیه سلولز هستند در حالی که در خاک‌هایی با PH خنثی تا قلیایی، انواع مختلفی از میکروارگانیسم در تجزیه سلولز سهم عمده‌ای دارند. از جمله این میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده سلولز می‌توان به تریکودرما^۱ که جزء قارچ‌ها است، کلسترییدیوم^۲ که یک نوع باکتری است و نوکاردیا^۳ که جزئی از اکتینومیست‌ها است، اشاره کرد.

ورمی کمپوست

ورمی کمپوست از یک کلمه لاتین Worm به معنی کرم است. ورمی کمپوست به کودی اطلاق می‌شود که از مدفوع گونه‌ای خاص از کرم‌های خاکی به دست می‌آید. در طبیعت بیش از ۲۵۰۰ گونه مختلف از کرم‌های خاکی زندگی می‌کنند. اقسام این کرم‌ها از نوع مستقر در سطح

1 . Trichoderma

2 . Clostridium

3 . Nocardia

زمین تا کرم‌های مستقر در سوراخ‌های عمیق خاک متفاوت است. بیولوژی، الگوهای رفتاری، عادات تغذیه‌ای و احتیاجات زیست‌محیطی این گونه‌ها بسیار متنوع می‌باشد. برای تهیه ورمی کمپوست از گونه‌ای خاص از کرم‌های قرمز رنگ مناطق گرم و مرطوب بنام ایزنیا فتوتیدا^۱ که به کرم ببری یا کرم کمپوستر نیز معروف می‌باشند، استفاده می‌شود (حیدری، ۱۳۹۴).

فرآیند تولید ورمی کمپوست عبارت است از عبور آرام و پیوسته مواد آلی 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 می‌شود. ورمی کمپوست ماده‌ای است که به خوبی تغییر فرم 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 (حیدری، ۱۳۹۴). از بین کودهای آلی کود ورمی کمپوست دارای بیشترین مواد و عناصر غذایی می‌باشد. هر ۱۰۰ کیلوگرم ورمی کمپوست دارای ۸۰۰ گرم نیتروژن (N)، ۱۱۱۰ گرم فسفر (P) و ۵۰۰ گرم پتاسیم (K) می‌باشد. به علاوه این کود می‌تواند کلسیم (Ca)، بر (B)، روی (Zn)، مولیبدن (Mo) و سایر عناصر مورد نیاز گیاهان را تأمین نماید. همچنین دارای مقادیر فراوانی از میکروارگانیزم‌ها نیز می‌باشد. اضافه کردن این کود به خاک باعث کاهش pH خاک می‌شود.

کرم‌هایی که معمولاً برای تولید ورمی کمپوست استفاده می‌شوند عبارتند از:

1-Eudrilus Eugaena (African noctrucal specie)

2-Eisenia Foetida (Tiger workd/ European worms)

3-Perronix Excavetus (Hook Worm)

فواید ورمی کمپوست

۱- ورمی کمپوست 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 آزاد کننده فسفر و تثبیت کننده نیتروژن فراهم کرده و بنابراین 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 به راحتی توسط گیاه جذب شوند.

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 خاک باعث کاهش شوری، قلیائیت و اسیدیته خاک می‌شود.

جدول ۱۲- ترکیبات موجود در ورمی‌کمپوست (حیدری، ۱۳۹۴)

مقدار	عنصر غذایی
۱/۹۴	نیتروژن (N) (%)
۰/۴۷	فسفر (P) (%)
۰/۷۰	پتاسیم (K) (%)
۴/۴۰	کلسیم (Ca) (%)
۰/۰۲	سدیم (Na) (%)
۰/۴۶	منیزیم (Mg) (%)
۷۵۶۳/۰۰	آهن (Fe) (mg/kg)
۲۷۸/۰۰	روی (Zn) (mg/kg)
۲۷/۰۰	مس (Cu) (mg/kg)
۴۷۵/۰۰	منگنز (Mn) (mg/kg)
۳۴/۰۰	بر (B) (mg/kg)

مشخصات کرم‌ها و انتخاب گونه مناسب

به‌طور کلی گونه‌های مختلفی از این کرم‌ها یافت می‌گردند که بسته به موضوع کار و هدف، گونه انتخابی متفاوتی خواهند بود. این اهداف می‌تواند شامل موارد ذیل باشد:

۱- افزایش حاصلخیزی و بهبود ساختمان و مدیریت خاک

۲- افزایش محصول

۳- تولید مکمل غذایی جهت دام و آبزیان

برای هر یک از این فعالیت‌ها یک گونه مناسب‌تر از سایر گونه‌ها خواهد بود. به‌طور مثال به منظور مدیریت و بهبود ساختمان خاک یک گونه از کرم‌ها به نام *Lampite mauritii* مورد استفاده قرار می‌گیرد. مناسب‌ترین گونه برای تولید ورمی کمپوست، گونه *Eisenia foetida* بوده که به رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز و کوچک‌تر از کرم‌های خاکی معمولی می‌باشد. این کرم دارای دو جنس نر و ماده بوده که کرم‌های ماده در محل حلقه جنسی وسط بدن خود، پس از جفت‌گیری، تخم یا کوکون را تشکیل می‌دهند. کوکون‌ها به رنگ زرد کهربایی بوده و در داخل آن حدود ۳ تا ۷ نوزاد لارو وجود دارد. بنابراین افزایش تعداد کرم‌ها در هر نسل به‌صورت تصاعد نسبتاً هندسی خواهد بود. وزن هر کرم ۰/۳ تا ۰/۷ گرم و در هر کیلوگرم حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ تخم کرم وجود دارد. یک نسل این کرم (از تخم تا تخم) در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد حدود سه ماه بوده و عمر کرم‌ها بین ۱ تا ۲ سال متغیر می‌باشد.

ترکیب بستر و میزان تغذیه کرم‌ها

بستر تغذیه کرم‌ها شامل مواد نیمه پوسیده مانند کود گاوی نیمه پوسیده، کود اسبی، کاه و گلش غلات و برخی ضایعات و بقایای گیاهی می‌باشند. در داخل این بستر می‌توان مقداری مواد تازه از جمله ضایعات سبزیجات و میوه‌جات، جزء آلی و قابل تجزیه زباله‌های خانگی، پسماندهای برخی کارخانجات صنایع غذایی و غیره مانند کارخانجات تولید آب میوه، کمپوست، رب و غیره

و حتی لجن فاضلاب به جز فاضلاب صنعتی را اضافه نمود. البته باید این نکته را در نظر گرفت که حدود ۸۵ درصد این مواد بستری را کود دامی نیمه پوسیده تشکیل خواهد داد. رطوبت مطلوب بستر تغذیه کرم‌ها حدود ۷۰ درصد وزنی بوده و هوادهی و تغذیه و جلوگیری از سفت شدن بستر و نگهداری مهم می‌باشد. به‌طور کلی باید عنوان نمود که بقایای آلی غنی از نیتروژن به جز کود مرغی که برای کرم سمی می‌باشد، برای بستر لازم و ضروری است. هر کرم تقریباً به اندازه وزن بدن خود در روز تغذیه می‌کند. بنابراین مدت زمان لازم برای تولید ورمی کمپوست در بستر بستگی به زیست‌توده و وزن کرم موجود در پشته‌های بستر تغذیه‌ای کرم‌ها دارد.

نگهداری کرم درون پشته‌ها به دو منظور صورت می‌پذیرد:

- ۱- افزایش جمعیت کرم‌ها
- ۲- تولید کود آلی (ورمی کمپوست)

بیوچار^۱

بیوچار یک محصول کربنی است که از تجزیه زیست توده گیاهی مانند بقایای محصولات کشاورزی مانند کاه و گُلش گندم، ذرت، سبوس برنج، تفاله نیشکر و فضولات دامی در حرارت زیاد و در شرایط عدم حضور اکسیژن یا با مقادیر خیلی جزئی اکسیژن به‌دست می‌آید (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹). اغلب مواد آلی و پسماندهایی مثل فاضلاب زراعی، فاضلاب کارخانه‌های کشاورزی، فاضلاب شهری، کود دامی، جلبک‌های آبی، گیاهان آبی و غیره می‌توانند به‌صورت بالقوه، جزء مواد خام مورد نیاز به‌منظور تولید بیوچار مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از بیوچار در علوم کشاورزی به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، پیشینه زیادی داشته و مفهومی جدید به حساب نمی‌آید. برای مثال کاربرد هدفمند جمعیت سرخ‌پوست در حوزه آمازون از ذغال و بقایای سوزانده شده در زمین‌های تحت استفاده آنها، طی قرن‌های گذشته باعث پدیدار شدن زمین‌های حاصلخیزی

تحت عنوان زمین‌های سیاه^۱ گردیده است، میانگین حضور کربن از بیوچار مدفون شده در خاک این منطقه، به احتمال فراوان حداقل به ۱۰۰۰ سال یا حتی زمان بیشتری می‌رسد (سوهی و همکاران، ۲۰۱۰).

کاربرد بیوچار در خاک به عنوان یک روش جهت جلوگیری از تغییرات آب و هوا از طریق ترسیب بلند مدت کربن در خاک پیشنهاد شده است (وولف و همکاران، ۲۰۱۰). بیوچار دارای پتانسیل بازیافت مواد مغذی، تهویه خاک، صرفه اقتصادی، مدیریت سیستم پسماند و عاملی بلند مدت برای ترسیب اقتصادی و مطمئن کربن می‌باشد. تجزیه زیست‌توده در اثر حرارت را پیرولیز^۲ می‌گویند.

فرآیند پیرولیز بر اساس محدوده دما به سه کلاس تقسیم می‌شوند:

۱. پیرولیز آهسته (۹۵۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)

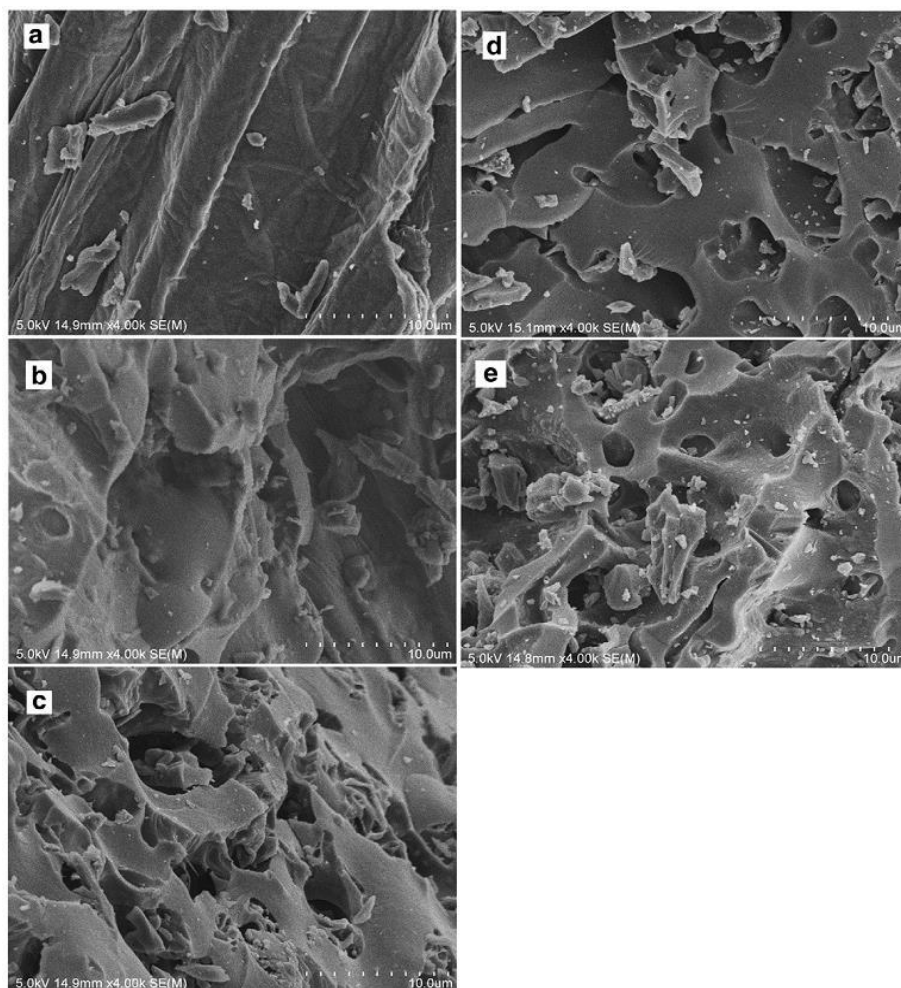
۲. پیرولیز سریع (۱۲۵۰-۸۵۰ درجه سانتی‌گراد)

۳. پیرولیز خیلی سریع (۱۳۰۰-۱۰۵۰ درجه سانتی‌گراد)

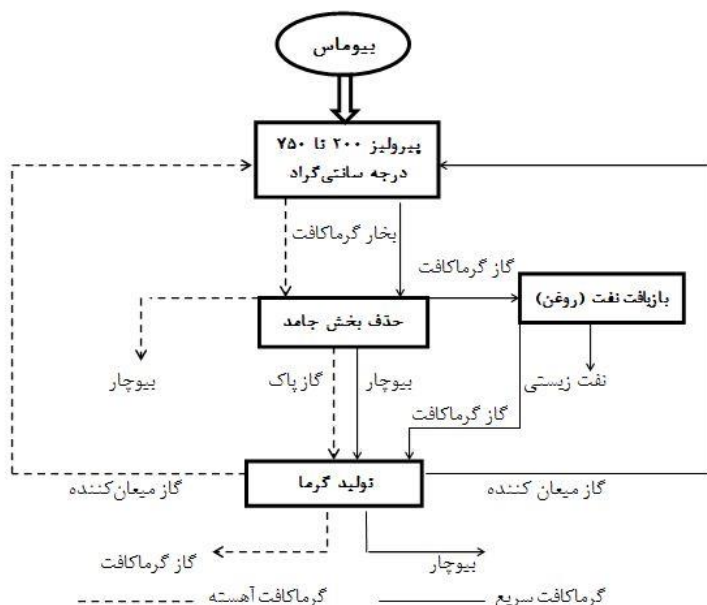
با توجه به دمای پیرولیز در تولید بیوچارهای گوناگون، می‌توان آنها را نسبت به درجه کربنی شدن، سطح ظاهری، میزان حلقوی بودن و مکانیسم جذب و دفع مواد از سطح خود بر اساس اجزای کربنی و غیرکربنی طبقه‌بندی کرد (آتکینسون و همکاران، ۲۰۱۰).

1 Terra preta

۲. Pyrolysis تجزیه حرارتی مواد در دمای بالا در یک محیط بی‌هوازی است.



شکل ۷- مقایسه سطح مخصوص ظاهری چوب ذرت و بیوچارهای تولیدی از آن در دماهای پیرولیز متفاوت (a, b, c, d, e) به ترتیب در دمای ۰، ۳۵۰، ۴۵۰، ۵۵۰ و ۶۵۰ درجه سانتی گراد به کمک میکروسکوپ الکترونی (Hao et al., 2013)



شکل ۸- محصولات حاصل از گرماکافت زیست توده (خادم و همکاران، ۱۳۹۶)

تغییرات در فرایند پیرولیز تأثیر زیادی بر کیفیت بیوجار و پتانسیل کارایی آن در کشاورزی و یا ترسیب کربن دارد. در فرآیند پیرولیز پارامترهای میزان دما و مدت زمان گرمادهی به ترتیب مهم تر از بقیه عوامل تولید بیوجار است. اگرچه خصوصیات نهایی بیوجار تولید شده به ماهیت مواد خام استفاده شده نیز بستگی دارد (سوهی و همکاران، ۲۰۱۰). اصلاح کننده های خاک از طریق سازوکارهای جذب سطحی، واکنش های اسید و باز، رسوب، اکسایش و احیا، کمپلکس شدن، تبادل کاتیونی و هوموسی شدن باعث غیر پویا شدن و تثبیت فلزات سنگین در خاک می شوند. اصلاح کننده مناسب، تحرک و در دسترس بودن آلاینده را به سرعت کاهش داده و از آبشویی و جذب به وسیله گیاهان و جانداران خاک می کاهد.

سنویراتن و همکاران (۲۰۱۷)، بیان نمودند که استفاده از بیوجار به عنوان یک تکنیک جدید اصلاح بیولوژیکی می باشد که اغلب به تثبیت فلزات سنگین در خاک منجر شده است. بیوجار در

سالیان اخیر به دلیل موضوع جهانی تغییرات آب و هوایی و مدیریت خاک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر اصلاح کننده‌های آلی یک انتخاب قابل قبول در جهت زیست پایایی خاک به شمار می‌روند. کربوکسیل، هیدروکسیل فنلی و دیگر گروه‌های عاملی که شامل اکسیژن‌های سطحی‌اند، بیوچار را قادر می‌سازند تا آلاینده‌گی حاصل از آلاینده‌های آلی را کاهش دهد. بیوچار بر روی سطوح خود دارای گروه‌های عاملی است و بار منفی گروه‌های عاملی در طول زمان و در طی اکسایش در خاک افزایش می‌یابد (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ یو و همکاران، ۲۰۰۹).

بیوچار در اثر تجزیه حرارتی زیست‌توده، از قبیل چوب، برگ گیاهان، باقی مانده‌های کشاورزی و کود دامی حاصل می‌شود که تحت حرارت زیاد و در شرایط فاقد اکسیژن یا دارای اکسیژن محدود، تولید می‌شود (لو و همکاران، ۲۰۱۶؛ ویتاناژ و همکاران، ۲۰۱۶؛ جین و همکاران، ۲۰۱۷). فرآیند تولید بیوچار متفاوت از سوختن واقعی زیست‌توده می‌باشد؛ زیرا در شرایط سوختن واقعی، در تبدیل زیست‌توده به CO_2 مقدار زیادی از اکسیژن برای اکسیداسیون کامل کربن، در دسترس است، بنابراین قسمت عمده کربن زیست‌توده به دی‌اکسید کربن (CO_2) تبدیل می‌شود و تنها خاکستر و مقدار کمی از کربن باقی می‌ماند. در حالی که در طی فرآیند تولید بیوچار که اساس آن محدود کردن دسترسی به اکسیژن می‌باشد، تثبیت بیشتر کربن در زیست‌توده را سبب می‌شود (فتحی گردلیدانی و میرسید حسینی، ۱۳۹۴).

مواد زائدی که برای تولید بیوچار استفاده می‌شوند، اغلب دارای ارزش اقتصادی کم و یا بدون ارزش اقتصادی می‌باشند، از این رو تبدیل این مواد زائد به بیوچار که دارای ارزش اقتصادی قابل توجهی می‌باشد، به بهبود محیط زیست کمک می‌کند (بهشتی و علیخانی، ۱۳۹۵). ماندگاری بیوچار در خاک بسته به شرایط تولید، صدها و حتی هزاران سال برآورد شده است. این امر از خروج دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای از خاک جلوگیری کرده و از افزایش روند

تجمعی غلظت این گازها در اتمسفر که خطرات گرم شدن کره زمین را در پی دارد، جلوگیری می‌کند (باوریانی و همکاران، ۱۳۹۵). از اثرات قابل توجه بیوچار در خاک می‌توان به افزایش سطح ویژه، افزایش تخلخل، افزایش فعالیت میکروبی، کاهش نیاز کودی و همچنین کاهش آبخشویی و ایجاد فضایی برای حفظ عناصر غذایی، کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش pH، افزایش کربن آلی و کاتیون‌های تبادل، کاهش مقاومت کششی خاک و همین‌طور افزایش مقاومت خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش اشاره کرد (لهمان و همکاران، ۲۰۰۶؛ چان و همکاران، ۲۰۰۷؛ استینر و همکاران، ۲۰۰۸؛ سوهی و همکاران، ۲۰۱۰؛ موخرجی و همکاران، ۲۰۱۳).

ساختار بیوچار این گونه است که از یک حلقه آروماتیک کربنی که به صورت فشرده می‌باشد، تشکیل شده است که با توجه به سطح ویژه و چگالی زیادی که دارد، باعث می‌شود در مقایسه با مواد آلی، ظرفیت بالاتری در جذب کاتیون‌ها داشته باشد. بیوچار ماده‌ای ریزدانه، متخلخل و غنی از کربن است (مسا و همکاران، ۲۰۱۱). بسیاری از پژوهشگران معتقدند ارتباط مستقیمی بین میزان کربن آلی و مقاومت مکانیکی خاک وجود دارد؛ اما تأثیر آن با توجه به مواد اولیه و شرایط مختلف موجود برای تهیه بیوچار متفاوت است. تأثیر ماده آلی بر مقاومت مکانیکی خاک به بافت خاک و مقدار رطوبت خاک نیز وابسته است. با زیاد شدن نیروی لازم جهت نفوذ ریشه به داخل خاک، مورفولوژی ریشه تغییر کرده و رشد آن کاهش می‌یابد و تغییرات مهمی در ساختار اندام هوایی گیاه به وجود می‌آید (بهنام و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده از بیوچار کاهش شاخص انبساط و انقباض پذیری خاک را به دنبال دارد که می‌تواند به دلیل تغییر در خصوصیات انقباض و انبساط پذیری کانی‌های رسی باشد که این امر موجب جلوگیری از ترک خوردگی در خاک می‌گردد (گائو و همکاران، ۲۰۱۴).

تجزیه زیست‌توده در اثر حرارت را پیرولیز گویند. هنگامی که این فرآیند در شرایط بدون اکسیژن یا با مقادیر خیلی جزئی اکسیژن رخ دهد، بیوچار تولید می‌شود (بهشتی و همکاران، ۱۳۹۵). خصوصیات نهایی بیوچاری که تولید می‌شود به ویژگی‌های مواد خام استفاده شده بستگی دارد (لوو و همکاران، ۲۰۱۵). به‌طور کلی کیفیت مواد اولیه خام و شرایط پیرولیز، مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کننده خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و ساختاری بیوچار تولیدی هستند. در فرایند پیرولیز، میزان دما و مدت زمان گرمادهی به ترتیب مهم‌تر از سایر عوامل مؤثر در تولید بیوچار هستند (بهشتی و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعات نشان داده است که در دماهای بالاتر در تولید بیوچار، محصولی حاصله عملکرد بهتری دارد که دلیل آن ایجاد منافذ ریزتر و سطح مخصوص ظاهری بیشتر است (شعبان و همکاران، ۲۰۱۴؛ هائو و همکاران، ۲۰۱۳).

سطح ذرات خاک، پارامتر فیزیکی مهمی است که نگهداری آب در خاک، ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، تهویه و فعالیت میکروبی خاک را کنترل می‌کند. منافذ بسیار ریز و سطح مقطع بیشتر که در اکثر بیوچارها مشاهده می‌شود، علاوه بر اینکه نقش مهمی در ساختمان خاک ایفا می‌کنند، فضای مناسب برای تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پیوند آنها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده و نهایتاً ظرفیت حفظ مواد غذایی خاک را بهبود می‌بخشند (برانتلی و همکاران، ۲۰۱۵).

در دهه اخیر استفاده از بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، مورد توجه پژوهشگران جهان قرار گرفته است. بیوچار به‌عنوان یک ماده افزودنی مؤثر در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گزارش شده است. بیوچار مقاومت بالایی در برابر تجزیه داشته و توانایی بسیار بالایی در جذب سطحی یون‌ها در مقایسه با سایر اشکال مواد آلی خاک دارا می‌باشد. تحقیقات نشان داده که افزودن مواد آلی به خاک، فواید زیادی در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک ایجاد می‌کنند که بسته به خصوصیات انواع این مواد که آنها را از هم بسیار متفاوت می‌کنند،

منجر به بهبود نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تعامل با چرخه مواد غذایی در خاک، پتانسیل بازیافت مواد مغذی، تهویه خاک، اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و عامل بلندمدت برای ترسیب اقتصادی و مطمئن کربن می‌شود (بهنام و همکاران، ۱۳۹۵؛ لی و همکاران، ۲۰۱۴). اضافه کردن مواد آلی به خاک، پایداری خاکدانه را افزایش می‌دهد (گرابر و همکاران، ۲۰۱۲). خاکدانه‌ها دارای اثرات بسیار مهمی در ساختمان خاک هستند، آنها نقش مهمی در گسترش سیستم ریشه‌ای، چرخه کربن، آب و نیز مقاومت خاک در برابر فرسایش دارند (دیانت مهارلویی و موسوی، ۱۳۹۵). از پایداری خاکدانه‌ها به عنوان شاخص ارزیابی کیفیت ساختمان خاک استفاده می‌شود (نعمتی و همکاران، ۱۳۹۱). ساختمان خاک یک فاکتور کلیدی در عملکرد آن و تعدیل‌کننده کیفیت محیط با تأکید ویژه بر تجزیه کربن آلی خاک می‌باشد. از طرفی بیوجار می‌تواند به عنوان ماده الحاقی به خاک، توانایی تحریک میکروارگانیسم‌های مفید خاک را به دلیل چگالی سطحی بالا، کاهش هدر رفت نیتروژن (دنتریفیکاسیون) و جذب بیشتر نیتروژن، سبب شده و نیز در القای مکانیسم‌های دفاعی به وسیله افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها برای مبارزه با بیماری‌های گیاهی مفید واقع شود (الستی و قرخلو، ۱۳۹۴).

میزان آبشویی نترات، تحت تأثیر واکنش و میزان توانایی در نگهداری آنها توسط اجزای خاک و مواد آلی آن می‌باشد. توانایی بیوجارها در جذب آلاینده‌ها و مواد شیمیایی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به نوع بیوجار کاربردی و نوع کاربرد آن تغییرات در خصوصیات خاک، می‌تواند بر روی نرخ، بازدهی و سرنوشت نهاده‌های شیمیایی در خاک و مدیریت، تأثیرگذار باشد. بیوجار با جذب سیالات و نیز مواد ریز، آب عبور کرده از خود را تصفیه نموده و باعث کاهش آبشویی و در نتیجه افزایش راندمان استفاده از نهاده‌های شیمیایی به کاربرده شده در خاک می‌شود (الستی و قرخلو، ۱۳۹۴).

بیوجار مقاومت بالایی در جذب یون‌ها در مقایسه با دیگر اشکال مواد آلی خاک دارا می‌باشد. سطح ویژه بالای بیوجار فضای لازم برای شکل‌گیری تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و همین‌طور پیوند آنها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده و ظرفیت حفظ مواد غذایی خاک را بهبود می‌بخشد (قربانی، ۱۳۹۴؛ لهما و همکاران، ۲۰۰۷). از طرفی با توجه به مصرف کود در تولید نهال‌ها و خطرات مربوط به آلودگی‌های زیست‌محیطی حاصل از آن و با توجه به اینکه سلامت خاک تأثیر بسیار زیادی بر رشد و عملکرد تولید نهال‌ها دارد، لذا پژوهش‌هایی برای بررسی اثر بیوجار و زئولیت بر میزان آبهویی نیترات، خصوصیات خاک و همچنین خصوصیات مورفولوژیک نهال‌ها ضروری خواهد بود.

عوامل مؤثر در تولید بیوجار

بهشتی و علیخانی (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات کیفیت بیوجار تولید شده از کاه و گلش گندم در طی فرآیند پیرولیز آهسته در دماهای مختلف (در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران) پرداختند و نتایج خود را این‌گونه بیان نمودند که حداکثر مقدار تبدیل کربن آلی ماده خام به کربن آلی پایدار در بیوجار در ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رخ داد. مقدار گروه‌های عاملی با افزایش دمای پیرولیز در بیوجار کاه و گلش گندم کاهش یافت، با این وجود، اسیدته کل گروه‌های عاملی با افزایش دمای پیرولیز بیوجار کاه و گلش افزایش یافت. بهشتی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی دیگر نیز به بررسی تغییرات کیفیت بیوجار تولید شده از کود گاوی در طی فرایند پیرولیز آهسته در دماهای مختلف (در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران) پرداختند و بیان نمودند که دمای فرآیند پیرولیز یک فاکتور کلیدی در تعیین عملکرد، کیفیت، ساختار و خصوصیات فیزیکی شیمیایی بیوجار تولید شده از کود گاوی در طی فرآیند پیرولیز آهسته می‌باشد و همچنین بیان نمودند که بیوجار کود گاوی دارای مشخصات و پتانسیل خوبی برای بهبود حاصلخیزی و اصلاح خاک‌های کشاورزی است. بیوجار تولید شده در دمای بالاتر از ۴۰۰ درجه

سانتی گراد pH بالایی داشته و می تواند برای اصلاح خاک های اسیدی استفاده شود. عملکرد، محتوای نیتروژن کل و محتوای کربن آلی با افزایش دمای پیرولیز در دمای بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد کاهش، درحالی که پایداری کربن آلی، pH و محتوای خاکستر افزایش می یابد.

باوریانی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی گراد) بر ویژگی های شیمیایی خاک آهکی (در دانشگاه شیراز) پرداختند و بیان نمودند که بیوچارهای تهیه شده در دمای بالاتر تأثیر بیشتری بر حفظ و نگهداری کربن در خاک داشته است. گاسکین و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی های خود (در ایالت جورجیا^۱ واقع در امریکا) نشان دادند که با تولید بیوچار در دماهای پایین تر تعداد بیشتری از گروه های عامل اکسیژن دار وجود دارد که سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می شود. یوآن و همکاران (۲۰۱۱)، با بررسی اثر دماهای مختلف پیرولیز بر ویژگی های بیوچار به دست آمده از بقایای کلزا، ذرت، سویا و بادام زمینی (در نزدیکی مزرعه نانجینگ^۲ چین) دریافتند که با افزایش دما، مقدار pH بیوچارها افزایش می یابد.

حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تأثیر بیوچار بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کارخانه های کاغذ توسط آفتابگردان (در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل) پرداختند و بیان نمودند که کاربرد لجن فاضلاب کارخانه های کاغذ موجب افزایش معنی دار غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان شد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد بیوچار موجب کاهش معنی دار (در سطح احتمال ۱ درصد) غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان گردید. سنویراتن و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی کاهش اثرات سوء گیاه ماش تحت شرایط تنش فلزات سنگین با حضور بیوچار و باکتری های تثبیت کننده نیتروژن (در منطقه واسگاموای^۳ سریلانکا)

1. Georgia

2. Nanjing

3. Wasgamuwa

پرداختند و بیان نمودند که بیوچار در حضور باکتری تثبیت کننده نیتروژن منجر به افزایش رشد گیاه در شرایط تنش فلزات سنگین شده است. نتایج آنها نشان داد با وجود اینکه بیوچار منجر به افزایش رشد گیاه شده است؛ اما این افزایش در سطح ۵ درصد عملکرد منفی را داشته است. با افزایش درصد بیوچار، نیتروژن و فسفر خاک افزایش یافته است؛ اما در سطح ۵ درصد کاهش زیست توده میکروبی کربن مشاهده شده است. بر اساس نتایج این تحقیق سطح ۲/۵ درصد بهترین سطح برای رشد گیاه و وضعیت تغذیه‌ای آن بوده است.

قربانی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تأثیر بیوچار (زغال زیستی) پوسته شلتوک برنج در دو اندازه (طبیعی و کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر) و در دو سطح (۱ و ۳ درصد) به تنهایی و همراه با کمپوست (در سطح ۱ درصد) بر آبشویی نترات در یک خاک رسی (در مزرعه پژوهشی شالیزار دانشگاه گیلان) پرداختند و بیان نمودند که بیشترین و کمترین میزان آبشویی نترات در تمام مدت آزمایش به ترتیب مربوط به تیمار حاوی کمپوست و بدون بیوچار و تیمار حاوی بیوچار و بدون حضور کمپوست بود.

افزودن بیوچار به خاک در هر دو سطح و هر دو اندازه موجب کاهش معنی‌دار آبشویی نترات نسبت به شاهد در تمام ماه‌ها شد. به‌طور کلی میزان آبشویی نترات در تیمارهای حاوی کمپوست بیشتر از تیمارهای بدون کمپوست بود. اندازه بیوچار تأثیری بر کارکرد آن در جلوگیری از آبشویی نترات نداشت؛ اما افزایش مصرف آن به طور معنی‌داری موجب کاهش بیشتر آبشویی شد.

الف- اثر بیوچار بر رشد گیاهان

کنترل علف‌های هرز در خاک‌های اصلاح شده با بیوچار، می‌تواند با سختی صورت پذیرد، زیرا احتمال می‌رود تأثیر علف‌کش‌های مصرفی، به دلیل جذب توسط بیوچار کاهش یابد؛ اما این موضوع با توجه به کاهش در نفوذ و آلودگی شیمیایی منابع زیرزمینی می‌تواند نقشی تعدیل کننده داشته باشد. در فرآیند پیرولیز گازهایی از قبیل متان و اتان تولید می‌گردند که استفاده از انرژی

به دست آمده از این گازها، مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش داده و نیمی از کربن تثبیت شده طی فتوسنتز را نگه می‌دارد (مهتاب و همکاران، ۲۰۱۴). شولز و گلاس (۲۰۱۲)، به بررسی اثر بیوچار در مقایسه با کودهای آلی و معدنی بر رشد گیاه و خصوصیات خاک در یک آزمایش گلخانه‌ای (در ویتنبرگ^۱ آلمان) پرداختند و بیان نمودند که بیوچار منجر به رشد بیشتر گیاه و افزایش پتاسیم در دسترس می‌شود. ترکیب بیوچار و کمپوست رشد بهتر را در گیاه نشان داد؛ اما بر میزان نیتروژن و فسفر تأثیری نداشت. در کل می‌توان این گونه نتیجه‌گیری نمود که افزودن بیوچار به خاک منجر به افزایش ماده آلی خاک می‌شود که منجر به عملکرد و رشد بیشتر می‌شود. اینال و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیق خود با عنوان اثرات اعمال بیوچار تولید شده از کود مرغی به یک خاک آهکی بر میزان رشد لویا و ذرت (در دانشگاه آنکارای^۲ ترکیه) بیان نمودند که اثرات افزودن ۲/۵-۵-۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم بیوچار تولید شده از کود مرغی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک آهکی و رشد گیاهان لویا و ذرت سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک و افزایش رشد لویا و ذرت شده است.

ب- اثر بیوچار بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک

از اثرات سودمند کاربرد بیوچار در خاک‌های کشاورزی به افزایش ماده آلی، بهبود نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تعامل با چرخه مواد غذایی خاک از طریق تعدیل pH خاک و کاهش شستشوی عناصر غذایی می‌توان اشاره کرد. افزایش آب قابل دسترس در اثر افزودن بیوچار به دلیل تغییراتی است که بیوچار ایجاد می‌کند. بیوچار با سطح ویژه بالایی دارد که در توزیع اندازه ذرات و تخلخل خاک تغییراتی را ایجاد کرده و آب و عناصر غذایی را در سطح خود جذب می‌کند و سپس به تدریج در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهد (سان و همکاران، ۲۰۱۴).

افزودن این ماده به خاک سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی نیز می‌شود. از آنجایی که بیوجار ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارد این ویژگی بیوجار برخاسته از سطح ویژه زیاد آن در سطوح باردار و همچنین وفور گروه‌های کربوکسیل‌دار در آن است (لایرد و همکاران، ۲۰۱۰). همان و همکاران (۲۰۰۳)، در نتایج بررسی‌های خود اظهار داشتند که بیوجار می‌تواند منبع مستقیم تأمین کننده برخی عناصر غذایی گیاه مانند پتاسیم، کلسیم، فسفر، روی و مس باشد.

فراهمی عناصر غذایی بر اثر اضافه کردن بیوجار به خاک، می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر pH خاک و یا افزوده شدن مستقیم عنصر از بیوجار به خاک افزایش یابد. وقتی بیوجار به تنهایی به خاک افزوده می‌شود به دلیل نسبت C/N بالا یعنی بیشتر از ۴۰۰ (گوندال و دلوسا، ۲۰۰۷) ممکن است باعث غیرمتحرک شدن نیتروژن در خاک شده و کمبود نیتروژن در گیاهان را موجب شود. احتمالاً یکی از دلایل گزارش شده کاهش عملکرد گیاه پس از مصرف بیوجار در خاک همان زیاد بودن نسبت C/N در خاک باشد، چون باعث می‌شود که کربن و نیتروژن قابل جذب میکروب‌ها در بیوجار محدود شود. حتی ممکن است بیوجار، مولکول‌های آلی با C/N بالا را از محلول خاک جذب کرده و معدنی شدن را افزایش دهد. فراهمی و جذب فسفر در خاک به pH خاک وابسته است و بیشترین فراهمی فسفر در pH بین ۴ تا ۸/۵ می‌باشد. بیوجار ممکن است با افزایش pH خاک اسیدی، فراهمی برخی از عناصر برای گیاه مانند آلومینیوم، مس و منگنز را کاهش دهد و در عوض فراهمی برخی از عناصر مانند فسفر، نیتروژن، کلسیم، منیزیم و مولیبدن را افزایش دهد (آتکینسون و همکاران، ۲۰۱۰).

استفاده از بیوجار در خاک‌های کشاورزی این پتانسیل را دارد که تا حد زیادی شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را بهبود بخشد. بیوجار با افزایش ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از یک طرف می‌تواند آب و از طرف دیگر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را فراهم کند و در نتیجه سبب افزایش بهره‌وری از خاک‌ها گردد (فتحی گردیدانی و میر سید حسینی،

۱۳۹۴). به دلیل ارزش غذایی بالا، بیوچار تولید شده از کود گاوی حاوی مقادیر بالایی از عناصر غذایی ضروری گیاه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در مقایسه با بیوچارهای تولید شده از مواد گیاهی می‌باشد (سینق و همکاران، ۲۰۱۰). بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده خاک در خاک‌های مناطق مختلف از جمله مناطق گرمسیری و معتدل استفاده شده و به‌طور کلی اثرات آن بر کیفیت خاک مثبت ارزیابی شده است. بیوچار می‌تواند باعث افزایش راندمان کودی و آبیاری، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش آبشویی عناصر غذایی و بهبود اسیدیته خاک شده و با تأمین بخشی از عناصر مورد نیاز یک گیاه موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گردد (مداحی و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱۳ - دامنه و میانگین pH و مقدار برخی از عناصر موجود در بیوچار (چان و زو، ۲۰۰۹)

دامنه	pH	C	N	P	K	C/N
(g kg ⁻¹)						
حداقل	۶/۲	۱۷۲	۱/۷	۰/۲	۱	۷
حداکثر	۹/۶	۹۰۵	۷۸/۲	۷۳	۵۸	۵۰۰
میانگین	۸/۱	۵۴۳	۲۲/۳	۲۳/۷	۲۴/۳	۶۱

استفاده از کمپوست قارچ مصرفی در خاک لوم بهترین اثر را در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی داشت، درحالی‌که بیوچار در خاک لوم رسی مؤثرتر از سایر بافت‌ها عمل کرد. کاربرد بیوچار در خاک لوم شنی احتمالاً به دلیل غلظت بالای فسفر قابل دسترس خاک، تأثیر معنی‌داری بر فعالیت فسفاتاز قلیایی در مقایسه با شاهد نداشت. بهنام و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تأثیر بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک (در محل گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز) پرداختند و بیان نمودند که کاربرد بیوچار و کمپوست

باگاس نیشکر به عنوان اصلاح کننده‌هایی مناسب برای ارتقاء کیفیت مکانیکی خاک قابل استفاده می‌باشد. این پژوهش در مقیاس کوچک و در مدت زمان کوتاهی انجام شد بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعه‌ای تکمیلی در مقیاس مزرعه و برای مدت زمان طولانی‌تر انجام شود.

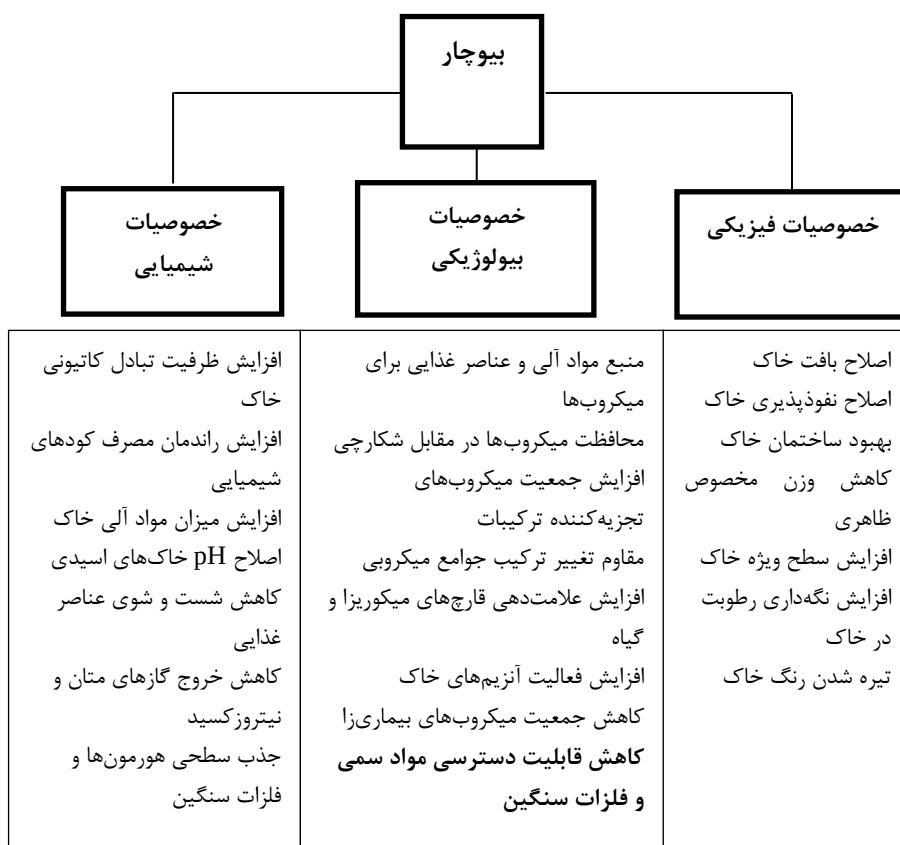
فتحی گردلیدانی و همکاران (۱۳۹۵) مطالعه‌ای با عنوان تأثیر کمپوست قارچ مصرفی و بیوجار باگاس نیشکر بر قابلیت استفاده و جزءبندی فسفر معدنی در یک خاک آهکی (در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران) انجام دادند و بیان نمودند که کاربرد کمپوست قارچ مصرفی و بیوجار در خاک آهکی مورد استفاده در این آزمایش سبب افزایش قابل توجه در فسفر قابل جذب و فسفر محلول در آب گردید.

لهمان و همکاران (۲۰۰۶)، در مطالعات خود (در ایالت جورجیا^۱ واقع در امریکا) بیان داشتند که استفاده از بیوجار در خاک به عنوان عاملی برای نگه‌داری دی‌اکسید کربن اتمسفر می‌باشد. گیاهان برای فتوسنتز نیاز به دی‌اکسید کربن دارند که این دی‌اکسید کربن در گیاه به شکل کربن آلی در می‌آید. زیست‌توده گیاهان پس از تجزیه شدن به سرعت کربنی را که در گیاه نگه داشته می‌شود را به شکل دی‌اکسید کربن آزاد می‌کنند. اگر این زیست‌توده به بیوجار تبدیل شود، فرآیند تجزیه آن بسیار آهسته اتفاق می‌افتد که همین عامل باعث حفظ کربن و عدم تشکیل دی‌اکسید کربن خواهد شد. در واقع کربن از یک چرخه بیولوژیکی سریع به یک چرخه بیولوژیکی آهسته وارد می‌شود و از طرفی بیوجار با ثبات‌تر از زیست‌توده‌ای است که از آن تشکیل شده است.

اُزوما و همکاران (۲۰۱۱)، در مطالعه خود با عنوان اثر بیوجار کود گاوی بر عملکرد گیاه ذرت تحت شرایط خاک شنی، نشان دادند کاربرد ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار بیوجار تولید شده از کود گاوی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به خاک شنی (در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تریگو ژاپن)

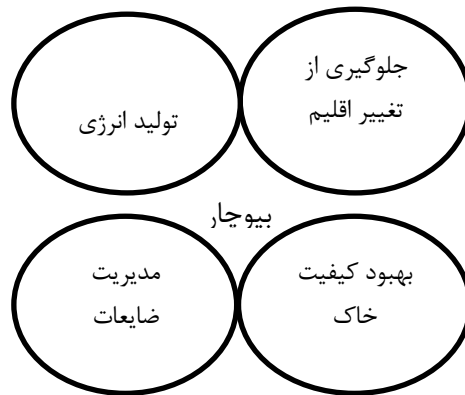
1. Georgia

سبب افزایش معنی دار رشد و عملکرد ذرت شده است. بورل و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی اثرات طولانی مدت استفاده از بیوچار بر خواص فیزیکی خاک (در منطقه وینا^۱ واقع در استرالیا) پرداختند و بیان نمودند که بیوچار چپس چوب منجر به کاهش چگالی ظاهری خاک شده است و بیوچار خاک از به بیشترین تأثیر را بر پایداری خاکدانه داشت و همچنین منجر به افزایش ۳۸ درصدی میزان آب در دسترس گیاه نسبت به شاهد شد



شکل ۹- تأثیر بیوچار بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (Lehman et al., 2011)

با بهبود زهکشی و هواگیری، بیوچار می‌تواند باعث اُفت خطرهای حاصل از غرقاب، مثل اسیدی شدن خاک شود (کاسوزی و همکاران، ۲۰۱۰). جذب آلاینده‌های حلقوی به بیوچار به وسیله برهم کنش الکترون دهنده‌ها و گیرنده‌های الکترون مکانیسم پر شدن خلل و فرج و نیز فعل و انفعالات آب‌گریزی صورت می‌پذیرد (سوهی و همکاران، ۲۰۱۰؛ وانگ و زینگ، ۲۰۰۷).



شکل ۱۰- اهداف کلی تولید و مصرف بیوچار (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹)

بیوچار چگونه ساخته می‌شود؟

بیوچار از سوختن زیست توده در حضور اکسیژن کم یا بدون اکسیژن ساخته می‌شود. این فرایند متفاوت از سوختن واقعی زیست توده می‌باشد. زیرا در یک سوختن باز مقدار زیادی از اکسیژن برای اکسیداسیون کامل کربن در زیست توده به CO_2 در دسترس است. بنابراین عملاً تمام کربن زیست توده به CO_2 تبدیل می‌شود و تنها خاکستر و مقدار کمی از کربن باقی می‌ماند. محدود کردن دسترسی به اکسیژن منجر به تثبیت بیشتر کربن در زیست توده می‌شود. با این حال راندمان فرآیند از نظر کربن معمولاً ۵۰ درصد یا کمتر می‌باشد (لهمان، ۲۰۰۷). یعنی تنها نصف کربن زیست توده یا کم‌تر در بیوچار باقی می‌ماند، زیرا تنها بیوچار نتیجه فرآیند گرماکافت نیست. گازهای قابل احتراق و ترکیبات فرار نیز از زیست توده در حین گرماکافت آزاد می‌شوند. زمانی که

زیست توده از درجه حرارت محیط گرم تر شود، شروع به خشک شدن می کند. در ابتدا رطوبت در زیست توده باید رانده شود و از آنجا که ظرفیت گرمایی آب بالا است، زیست توده نیاز به تأمین انرژی دارد. مقادیر زیادی از انرژی برای تبخیر آب نیز مورد نیاز است، بنابراین مواد اولیه باید قبل از قرار گرفتن در معرض گرماکافت، منفعلانه (به عنوان مثال در زیر آفتاب) قرار داده شوند تا رطوبت آنها به ۱۵-۱۰ درصد برسد خشک گردند. پس از خشک کردن زیست توده، روند برشته سازی آغاز می شود. در طی برشته سازی، تغییرات شیمیایی ایجاد و زیست توده برشته و تیره رنگ تر شده و برخی از گازها و ترکیبات فرار از آن خارج می شوند. همچنان که زیست توده بیشتر گرم می شود و دما به حدود ۳۰۰ درجه سانتی گراد می رسد گرماکافت واقعی آغاز و فرایند گرمازا می شود.

تولید انرژی از مواد تجدید پذیر و محصولات زیستی از مواد غیر مغذی زیست توده یک راهبرد پایدار برای رسیدن به انرژی و چالش های تغییرات آب و هوایی در سراسر جهان است. استفاده از ذغال زیستی (بیوجار) و کربن فعال، یک راهبرد مهم برای افزایش مواد آلی خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در کشاورزی محسوب می شود (لهمان، ۲۰۰۷)، زیرا این فرآیند محصولات با کیفیت تری را نسبت به هر فرآیند حرارتی دیگر تولید می کند. هر چند این فرآیند هنوز در مرحله توسعه می باشد؛ اما می تواند برای تبدیل مستقیم زیست توده به ترکیبات جامد، مایع و گازی تحت تجزیه بر اثر حرارت در محیط عاری از اکسیژن مورد استفاده قرار گیرد.

خصوصیات بیوجار

مشخصه اصلی بیوجار پایداری آن در خاک به علت تغییرات شیمیایی در ساختار آن، عمدتاً با تشکیل ساختار آروماتیک و هتروسیکلیک کربنی می باشد (لهمان، ۲۰۰۷). پایداری نه تنها به نوع مواد اولیه بلکه به شرایط فرآوری مانند درجه حرارت، نرخ حرارت دادن، فشار، مدت زمان واکنش، ظرف واکنش اندازه ذرات بستگی دارد. گرچه تمام این پارامترها در ساختار نهایی بیوجار

مشارکت دارند انتظار می‌رود که درجه حرارت پیرولیز از مهم‌ترین عوامل باشد (لهمان و همکاران، ۲۰۰۹).

تأثیر بیوچار بر کیفیت خاک

افزایش شهرنشینی و استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی مدرن، آلودگی خاک و آب به فلزات سنگین مانند Cr، Cu، Zn، Cd، Pb و As را منجر شده است. اثرات مضر این عناصر بر سلامت انسان به یک نگرانی جهانی تبدیل شده و توجه بسیاری از محققان، دانشمندان و علاقه‌مندان به محیط زیست را برای تحقیق و بررسی در راستای احیای آب‌ها و خاک‌های آلوده را به خود جلب کرده است. براساس مطالعات و بررسی‌های انجام گرفته امروزه چندین استراتژی در طول این سال‌ها پیشنهاد شده است تا با استفاده از تکنیک‌هایی مانند انزوا، بی‌تحرك کردن، کاهش سمیت و یا کاهش تحرك فلزات سنگین راهکارهای علمی و عملی مناسب زیست‌محیطی خود را ارائه دهند. به‌طوری که بیوچار کردن بقایای جامدات زیست‌توده با تبدیل کردن آن به روش پیرولیز یکی دیگر از راهکارهایی است که توجه زیادی از محققان را به خود جلب کرده است.

غلظت نیتروژن بعد از کاربرد بیوچار

استفاده از بیوچار می‌تواند تحرك یا مهار فعالیت میکروبی را که منجر به افزایش و یا کاهش نیتریفیکاسیون می‌شود تحت تأثیر قرار دهد. این امر بیشتر به علت تثبیت نیتروژن به وسیله باکتری‌های تثبیت‌کننده و افزایش میزان فراهمی این عنصر، افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس برای گیاه (کلوق و کاندرون، ۲۰۱۰) را میسر می‌کند. مطالعات مختلف نشان داد که کاربرد بیوچار سبب بهبود کارایی کود نیتروژنی در خاک‌های مختلف و در نهایت جذب بیشتر نیتروژن در گیاه می‌شود (دینگ و همکاران، ۲۰۱۰). ژانگ و همکاران (۲۰۱۱). بیان کردند که برهم‌کنش بیوچار و کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد اسفناج و افزایش راندمان استفاده از کود نیتروژن

شده است. راژکوویچ و همکاران (۲۰۱۲)، اثر چند نوع بیوچار مختلف (بیوچار حاصل از بازمانده‌های ذرت، فندق، بلوط، کاج و زباله غذایی) را بر غلظت نیتروژن ذرت مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که کاربرد بیوچار سبب افزایش غلظت نیتروژن در گیاه ذرت شد.

غلظت فسفر بعد از کاربرد بیوچار

سوجانا و همکاران (۲۰۱۴)، با کاربرد بیوچار کود مرغی، بیوچار پوسته برنج، کود مرغی و پوسته برنج در سطوح مختلف گزارش کردند که فسفر قابل جذب افزایش معنی‌داری پیدا کرد. از جمله دلایل متناقض بودن نتایج محققان در زمینه تأثیر بیوچار بر فراهمی فسفر می‌توان به متفاوت بودن نوع ماده اولیه برای تولید بیوچار، درجه حرارت در زمان تولید، مدت زمان حرارت دادن، میزان دما و نوع خاکی که بیوچار در آن استفاده می‌شود اشاره کرد که در تجزیه‌پذیری بیوچار نقش مهمی دارند. مورالس و همکاران (۲۰۱۳)، در نتایج بررسی اثر بیوچار، کمپوست و ترکیب آنها بر بهبود فراهمی فسفر و اندازه‌گیری فسفر در سه زمان مختلف اظهار داشتند که اصلاح کننده‌های آلی در همه زمان‌ها فسفر قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد و علت افزایش فسفر قابل جذب را با معدنی شدن میکروبی فسفر آلی مرتبط دانستند.

غلظت پتاسیم بعد از کاربرد بیوچار

بیدرمن و هارپول (۲۰۱۳)، بیان کردند که کاربرد بیوچار می‌تواند غلظت پتاسیم در بافت گیاهی را افزایش دهد. هاولین و همکاران (۱۹۹۹)، بیان کردند که افزایش فسفر می‌تواند ناسازگاری‌هایی را با برخی عناصر از جمله پتاسیم داشته باشد. بنابراین غلظت پتاسیم اندام هوایی ممکن است به دلیل برهم‌کنشی که با فسفر به‌کاربرده شده داشته، کاهش یافته باشد.

جذب مواد شیمیایی توسط بیوچار

توانایی بیوچارها در جذب ترکیبات شیمیایی یکی از موارد کاربردی آنها می‌باشد که علاوه بر قابلیت‌های دیگر آنها، در مطالعات جدید مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یکی از موارد مهم در سلامت محیط زیست بقایای این مواد شیمیایی و آبخویی آنها به منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشند. علف‌کش‌ها که به‌منظور حصول عملکرد پتانسیل محصولات زراعی استفاده می‌شوند، می‌توانند با آبخویی به سطوح پائین‌تر، موجبات آلودگی محیط‌زیست را فراهم سازند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که کاربرد بیوچار در خاک‌های زراعی باعث افزایش جذب و نیز کاهش آبخویی علف‌کش‌ها شده‌اند. با توجه به جدید بودن کاربرد این ماده آلی در خاک‌ها، می‌توان از مزایای آن در سطح ایران و توسعه پایداری در کشاورزی کشور بهره جست. درک بهتر مزایای کاربرد بیوچار نیازمند بررسی‌های درازمدت و مستمر در مباحث زراعی و زیست‌محیطی می‌باشد. لذا مطالعه بر روی توانایی ماندگاری در بحث مواد شیمیایی کشاورزی و علی‌الخصوص علف‌کش‌ها اجتناب ناپذیر است.

گیاه پالایی توسط بیوچار

برای حذف آلاینده‌ها از آب و فاضلاب و خاک ارائه روشی مطمئن که بتواند ضمن کاهش آلودگی کم هزینه بوده و نسبتاً سریع باشد و همچنین آثار جنبی نامطلوب برای سلامت محیط زیست نداشته باشد، بسیار مهم و ضروری است. یکی از روش‌های مناسب، استفاده از مواد آلی است که دارای خصوصیات بازی و قابلیت جذب کنندگی خوبی باشند. در میان این مواد، بیوچار ماده‌ای با تخلخل بالا است، که گروه‌های عاملی فراوانی داشته و همچنین نتایج تحقیقات نشان داده است که در جذب سطحی فلزات سنگین به‌ویژه در محیط‌های آبی بسیار مؤثرند (سوهی و همکاران، ۲۰۰۹).

پژوهشگران متعددی گزارش کرده‌اند که کاربرد بیوچار با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه بالای آن و دارا بودن گروه‌های کربوکسیل، فنولیک، هیدروکسیل و دیگر گروه‌های عاملی که شامل اکسیژن‌های جذب سطحی شده هستند، قادرند آلاینده‌گی حاصل از آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین را کاهش داده و موجب تثبیت فلزات سنگین و در نتیجه بهبود وضعیت گیاه و خاک از لحاظ آلودگی به این آلاینده‌ها شوند (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹؛ یو و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهشی که در سال ۲۰۱۴ انجام شد نتیجه گرفتند که کاربرد بیوچار موجب بهبود رشد گیاه آفتابگردان در خاک‌های آلوده به کادمیوم و بهبود وضعیت خاک از نظر آلودگی شده است (جلالی‌پور، ۲۰۱۴).

کاربرد بیوچار باگاس نیشکر در خاک آلوده به کادمیوم و سرب، موجب کاهش جذب و ضریب انتقال عناصر کادمیوم و سرب شده و در نتیجه موجب افزایش رشد گیاه گردید. احتمالاً بیوچار باگاس نیشکر از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک از جمله تخلخل، تهویه و حفظ ذخیره رطوبتی خاک و نیز بهبود نسبی ظرفیت تبادل کاتیونی، سبب کاهش غلظت کادمیوم و سرب در اندام‌های گیاه شد و در نتیجه بهبود مقدار کلروفیل، سطح برگ و ارتفاع گیاه و نهایتاً زیست‌توده گیاه را سبب گردید. تجمع کادمیوم و سرب در ریشه و کاهش انتقال آنها به اندام هوایی و همچنین کاهش تجمع زیستی نیز می‌تواند سهمی در بهبود زیست‌توده گیاهی داشته باشد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوچار باگاس نیشکر در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌تواند به‌عنوان یک راهکار اصلاحی مناسب جهت بهبود رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرد (بی‌ریا و همکاران، ۱۳۹۶).

تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های میکروبی خاک

جامعه زیستی خاک تجمع پیچیده‌ای از باکتری‌ها، قارچ‌ها، آرکئها، جلبک‌ها، پروتوزواها، نماتدها، بندپایان و بی‌مهرگان و سایر ارگانیسم‌ها است. بیوچار برهم‌کنش‌های میان اعضای این

جمعیت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار داده و حاصلخیزی و نقش کلی آنها را در اکوسیستم تعیین خواهد کرد (لهمان و همکاران، ۲۰۱۱). ساختار متخلخل بیوچار، سطوح ویژه بالا و توانایی آن برای جذب مواد آلی محلول، گازها و مواد معدنی محل مناسبی را برای سکونت میکروب‌ها، رشد و تکثیر آنها مخصوصاً باکتری‌ها، آکتنومیسیت‌ها و قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار فراهم می‌آورد.

بیوچار pH مختلفی داشته و بنابراین جمعیت میکروبی که در اطراف و روی ذرات بیوچار مستقر می‌شوند، متغیر خواهند بود. در شرایط pH اسیدی، قارچ‌ها جمعیت غالب هستند در حالی که باکتری‌ها pH خنثی را ترجیح می‌دهند. افزودن بیوچار به خاک چه اسیدی و چه قلیایی ممکن است باعث تغییر معنی‌دار نسبت باکتری به قارچ (بامینگر و همکاران، ۲۰۱۴) و جمعیت میکروبی غالب خاک شده و همچنین با اثر بر فعالیت آنزیمی و فعالیت میکروبی موجب تغییر عملکرد و نقش خاک گردد (واتزینگر و همکاران، ۲۰۱۴؛ وارنوک و همکاران، ۲۰۱۰).

خلل و فرج زیاد بیوچار قابلیت نگهداری مقدار زیادی آب را دارد و بنابراین سبب می‌شود ظرفیت نگهداری رطوبت خاک افزایش یابد (رول و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه بر آب انواعی از گازها از جمله دی‌اکسید کربن و اکسیژن موجود در آب در خلل و فرج بیوچار حل شده، فضای داخل خلل و فرج پر شده از هوا را اشغال می‌کنند یا به سطح بیوچار جذب سطحی می‌شوند (شینگوئی و کانری، ۲۰۰۳). بسته به میزان خلل و فرج پر شده از هوا، غلظت نسبی گازها، سرعت انتشار و میزان جذب سطحی آنها، شرایط هوازی و غیرهوازی در خلل و فرج بیوچار به وجود می‌آید و این شرایط به نوبه خود بر میکروب‌های موجود در خلل و فرج اثر خواهد گذاشت (شینگوئی و کانری، ۲۰۰۳؛ تیز و ریلیگ، ۲۰۰۹).

وارنوک و همکاران (۲۰۰۷)، درباره اثر بیوچار روی فراوانی قارچ میکوریزا آربوسکولار (AMF)، قارچ اکتومیکوریزا (ECF) و همچنین اریکوئید (ERM) و برهم‌کنش آنها با گیاهان

بررسی‌هایی را انجام داده و اثرات معمولاً مثبتی را پیدا کرد. این محقق ۴ مکانیسمی را پیشنهاد کرد که از طریق آنها بیوچار می‌تواند به تعاملات گیاه میکوریزا و فراوانی قارچ کمک کند:

اول- مربوط به بهبودی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بهبود قابلیت دسترسی به مواد مغذی است. قابلیت دسترسی بهتر به مواد مغذی که رشد قارچ را محدود می‌کند می‌تواند برای قارچ میکوریزا مفید باشد. برهم کنش‌های گیاه-میکوریزا نیز می‌تواند با تغییرات معین و خاصی در نسبت مواد مغذی قابل دسترس سودمند واقع گردد. به عنوان مثال نسبت نیتروژن به فسفر قابل دسترس.

دوم- بیوچار می‌تواند فعالیت میکروب‌های دیگر را که دارای یک تأثیر روی قارچ‌ها هستند تغییر دهد. به عنوان مثال باکتری‌های کمکی میکوریزایی شدن^۱ و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، می‌توانند روی ذرات بیوچار پناه بگیرند و به نوبه خود عملکردهای میکوریزی را ترغیب کنند.

سوم- بیوچار می‌تواند علامت‌دهی^۲ بین گیاهان میزبان و میکوریزا را تغییر دهد یا از مسمومیت ناشی از آللوکیمیکال‌ها^۳ ممانعت کند. تغییرات در فراوانی این ترکیبات می‌تواند اثرات مهمی بر روی رشد قارچ میکوریزی و توسعه همزیستی گیاه-میکروب داشته باشد.

چهارم- بیوچار می‌تواند هر دو ترکیبات آللوپاتیک و علامت‌دهنده را جذب و آزاد کند؛ اما با توجه به اینکه که هم می‌تواند مفید و یا مضر باشد، پیش‌بینی اثر خالص در هر وضعیت دشوار است. به عنوان مثال در مواردی که آللوکیمیکال‌ها سم‌زدایی شوند می‌تواند مفید باشد و اگر ترکیبات علامت‌دهنده (سیگنالینگ) تحریک‌کننده آلودگی توسط قارچ‌ها را متوقف کند می‌تواند

1 . Mycorrhization

2 . Signalling

۳ . Allelochemical یک ماده شیمیایی است که توسط یک موجود زنده تولید می‌شود و زمانی که به محیط زیست منتقل می‌شود اثر فیزیولوژیکی مضر بر افراد دیگر گونه دارد.

مضر باشد. در نهایت بیوچار می‌تواند به عنوان یک پناهگاه برای قارچ به کار رود (وارنوک و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۱۱- هیف AMF در حال رشد از جوانه‌زنی یک اسپور و رفتن به خلل و فرج بیوچار (اوگاوا، ۱۹۹۴)

بیوچار از طریق مکانیسم‌های مختلف از جمله بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مانند بهبود در زیست فراهمی عناصر غذایی)، تغییر ترکیبات علامت دهنده بین قارچ و گیاه و کاهش مسمومیت ترکیبات سمی، می‌تواند سبب افزایش کلونیزاسیون ریشه گیاهان با قارچ‌های میکوریزی و در نتیجه افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان شود. علاوه بر این بیوچار یک زیستگاه یا آشیانه اکولوژیک برای قارچ‌ها و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن آزادزی می‌باشد و آنها را از شکارچیان حفظ می‌کند (فتیحی گردلیدانی و میرسید حسینی، ۱۳۹۴).

اثر دما بر تولید بیوچار

افزایش دما در طول فرآیند تولید بیوچار، سبب انتقال کاتیون‌های (Ca, Mg, K, Na) به داخل اکسی هیدروکسیدها و کربنات‌ها و چسبیدن به بیوچار می‌شود (یوآن و همکاران، ۲۰۱۱). کلتوستون و همکاران (۲۰۱۴)، با بررسی بیوچار شلتوک برنج گزارش کردند که مقدار نیتروژن کل با افزایش دمای پیرولیز کاهش و مقدار عنصر K, Na, Ca, P و Mg افزایش یافت؛ اما این تغییرات هیچ الگوی مشخصی را نشان نداد (بهشتی و علیخانی، ۱۳۹۵). سانگ و گئو (۲۰۱۲)،

افزایش pH بیوچار در کود مرغی با افزایش دمای فرآیند پیرولیز از ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد را گزارش کردند، آنان عنوان کردند که علت افزایش pH در بیوچار، افزایش غلظت و مقدار Ca^{2+} ، K^{+} ، Mg^{2+} و Na^{+} در بیوچار کود مرغی می باشد. کلثوستون و همکاران (۲۰۱۴)، افزایش pH را در بیوچار شلتوک برنج با افزایش دمای فرآیند گرماکافت گزارش کردند. این حالت به علت جدا شدن مواد معدنی از بخش آلی در زمانی تشکیل بود که بیوچار در دمای بالاتر از ۳۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته بود (تای و همکاران، ۲۰۱۲).

تأثیر دمای پیرولیز بر میزان ماندگاری علف کش ها در بیوچار

با توجه به دمای پیرولیز در تولید بیوچارهای گوناگون، می توان آنها را نسبت به درجه کربنی شدن، سطح ظاهری، میزان حلقوی بودن عوامل موجود در آن و مکانیسم های جذب و دفع خود، بر اساس اجزای کربنی و غیرکربنی آن طبقه بندی نمود (آتکینسون و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج آزمایش ها نشان داده است که با توجه به دماهای بالاتر در تولید بیوچار، محصول تولیدی به دلیل دارا بودن منافذ ریزتر و سطح مخصوص ظاهری بالاتر، جذب علف کش ها در آنها بهتر صورت می پذیرد (هائو و همکاران، ۲۰۱۳). سطح مخصوص ظاهری^۱ (SSA) ساختار حلقوی و دارا بودن منافذ ریز، یکی از دلایل مهم در توانایی جذب بالای بیوچارها می باشند. میزان توانایی در جذب علف کش ها و آفت کش ها در خاک، با افزایش میزان حلقوی بودن مواد آلی خاک بهبود پیدا می کند. یانگ و همکاران (۲۰۱۰)، بیان کردند که تأثیر دما بر تولید بیوچار از مواد خام، بیوچار را به منظور افزایش کارایی با اهمیت تر معرفی کرده است.

1 . SSA- Specific Surface Area

زئوپونیکس^۱

یکی از انواع کودهای آلی که به تازگی مطرح گردیده است کود زئوپونیکس است که ترکیبی از کود مرغی و زئولیت می‌باشد. کود مرغی نسبت به سایر کودهای آلی دامی دارای درصد بالای نیتروژن می‌باشد. از طرفی به علت اینکه زمین‌های تحت مدیریت کشاورزی متداول دارای وضعیت زیستی ضعیفی هستند، سرعت تجزیه مواد آلی در آنها پائین است و از آنجا که کود مرغی در مقایسه با دیگر انواع کود آلی از قابلیت و سرعت تجزیه بالاتری برخوردار است، در نتیجه دوره انتقالی از کشاورزی متداول به کشاورزی ارگانیک با این کود کوتاه‌تر خواهد بود (فلاح، ۱۳۸۵). اخیراً زئولیت‌ها به‌عنوان موادی که به منظور جلوگیری از شست و شوی نیتروژن و افزایش کارایی کودها به کار می‌روند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. زئولیت‌ها به‌عنوان موادی کاملاً طبیعی با توجه به ویژگی منحصر به فردشان از قبیل قابلیت جذب کاتیونی بالا (حدود ۲۰۰-۳۰۰ و در برخی گونه‌ها تا ۵۰۰ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم) و نیز توانایی جذب انتخابی کاتیون‌های مفید مانند آمونیوم و آزادسازی کنترل شده آنها، می‌توانند اثرگذاری کودهای شیمیایی را افزایش دهند (غلام حسینی، ۱۳۸۷). زئولیت کانی‌های کریستالی متخلخلی می‌باشد که به دلیل دارا بودن منافذ و کانال‌های باز خاصیت جذب انتخابی داشته و برخی یون‌ها را جذب و برخی دیگر را از خود عبور می‌دهد. زئولیت‌ها به دلیل خصوصیتی هم‌چون ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، قدرت جذب آمونیوم و جذب رطوبت و نیز کمک به کاهش هدرروی و آبشویی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن از لایه‌های سطحی خاک و همچنین اثرات مثبتی که بر خواص فیزیکی خاک برجای می‌گذارند، می‌توانند به عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند.

۱. Zeoponix رشد گیاهان در خاک مصنوعی، به‌ویژه خاک‌های مصنوعی با زئولیت و همچنین یک شاخه جذاب در علم و مربوط به سیستم‌های جدید رشد گیاهان است.

زئولیت ماده‌ای معدنی است که قدرت بسیار بالایی در جذب آب، آمونیوم، اوره و ترکیبات یونی دارد و به همین دلیل به‌عنوان ماده بستر در مرغداری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از جذب فضولات پرندگان توسط این ماده، زئولیت به ترکیب بسیار مغذی تبدیل شده که اصطلاحاً زئوپونیکس نامیده می‌شود و علاوه بر دارا بودن خواص زئولیتی غنی از کود مرغی شده و می‌تواند برای حاصلخیزی خاک مورد استفاده قرار گیرد (دریایی و همکاران، ۲۰۱۰). شکل ساختاری و جذب رطوبت و آمونیاک توسط زئولیت این ماده را مناسب برای استفاده در بستر مرغداری‌ها نموده است. پس از پایان هر دوره پرورش مرغ به علت اشباع بودن زئوپونیکس از آمونیاک، کاتیون‌ها، کودهای مرغی برای استفاده به‌عنوان کود آلی مناسب بوده و از ارزش افزوده بالایی برخوردار است. کود مرغی به دلیل تغذیه طیور از دانه، از نظر عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و گوگرد از غنی‌ترین کودها بوده و می‌تواند به‌طور مؤثری در تأمین نیاز غذایی گیاهان به‌ویژه در زمین‌هایی با قابلیت تبادل کاتیونی پایین (خاک‌های با بافت شنی) مفید واقع شود. همچنین اضافه کردن زئولیت به خاک در اصلاح و بهبود ساختمان و ساختار خاک مؤثر و مفید می‌باشد (رامش و همکاران، ۲۰۱۱).

کودهای زیستی مایع

کودهای زیستی مایع دارای فرمولاسیون‌های مایع مخصوصی بوده که علاوه بر این که حاوی میکروارگانیسم‌های مورد نظر و مواد مغذی آنها است باعث حفاظت و نگهداری عناصر سلولی می‌شود. به عبارت دیگر موادی در خود دارند که موجب تشکیل اسپورهای زنده و کیست‌های غیرفعال با زمان ماندگاری بیشتر شده و تحمل به شرایط نامطلوب را سبب می‌شوند (جهان و همکاران، ۱۳۹۵). باهاتاچاریا و کومار (۲۰۰۰)، اظهار داشتند که کودهای زیستی تولید شده در هند عمدتاً بر پایه حامل هستند. در کودهای زیستی با مبنای پایه حامل (جامد) عمر مفید میکروارگانیسم‌ها تنها شش ماه است. آنها در برابر اشعه UV و درجه حرارت‌های بالاتر از ۳۰

درجه سانتی‌گراد مقاوم نیستند. تراکم جمعیت این دسته از میکروب‌ها تنها 10^1 CFU/ml در زمان تولید است. در ماه چهارم به 10^6 CFU/ml کاهش یافته و این تعداد روز به روز کاهش می‌یابد و در پایان ماه ششم به مقدار تقریباً صفر می‌رسد. به همین دلیل است که کودهای زیستی بر پایه حامل (جامد) مؤثر واقع نشده و در میان کشاورزان محبوب نیستند. البته امروزه این نواقص در مورد کودهای زیستی مایع اصلاح و تکمیل شده و عمر مفید میکروب‌ها در کودهای زیستی مایع به دو سال رسیده است. میکروارگانیزم‌ها در این کودها به درجه حرارت بیش از ۵۵ درجه سانتی‌گراد و اشعه فرابنفش UV مقاوم هستند. تراکم جمعیت میکروب‌ها در کود زیستی مایع بالای CFU/ml 10^9 است که این میزان تا دو سال ثابت نگه داشته می‌شود. بنابراین کاربرد یک میلی‌گرم کود زیستی مایع برابر با استفاده یک کیلوگرم کود زیستی حامل با عمر پنج ماه (۱۰۰۰ بار) است. از آن‌جا که فرمولاسیون این کودها مایع است کاربرد آن در مزارع بسیار ساده و آسان است. این کودها را می‌توان با سمپاش‌های دستی، سمپاش‌های قوی، مخازن کود آبیاری و به‌عنوان کود اصلی و پایه ترکیب شده همراه با کودهای آلی^۲ دیگر استفاده کرد. ولی از منظر بیولوژیست‌ها بهترین روش مصرف کودهای زیستی مایع یا جامد، آغشته نمودن کود یا تلقیح بذور با ریشه گیاهچه‌ها است که ضمن قرارگیری مؤثر میکروارگانیزم‌ها در مکان عمل، کارایی مصرف کودهای زیستی به شدت افزایش یابد.

برخی از محدودیت‌های مواد تلقیحی بر پایه حامل شامل:

- ۱- حساسیت به دما و نداشتن ویژگی‌های قابل تشخیص حساسیت به دما
- ۲- طول عمر مفید کوتاه (عمدتاً ۶ ماه)
- ۳- افزایش احتمال بروز آلودگی
- ۴- عدم ثبات کیفیت مواد حامل

1 . CFU- colony-forming unit

2 . FYM- FarmYard Manure

- ۵- دارا بودن ظرفیت ضعیف نگهداری رطوبت
- ۶- عدم در دسترس بودن حامل مناسب به صورت محلی
- ۷- تکثیر سلولی ضعیف
- ۸- نیاز زیاد به نیروی کار
- ۹- هزینه بالای انتقال
- ۱۰- نامنظم ساختن فعالیت آنزیمی مربوط به باکتری‌های سودمند در اثر وجود آلودگی در مقادیر کم.

لجن فاضلاب^۱

لجن فاضلاب مواد جامدی است که از روش‌های مختلف تصفیه به منظور حذف آلاینده‌های معلق و محلول از فاضلاب از طریق جداسازی مواد جامد از مایع، ترسیب شیمیایی و یا فعالیت‌های بیولوژیکی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به دست می‌آید و در حقیقت نوعی محصول فرعی مهم در فرایند تصفیه است.

امروزه مدیریت لجن با توسعه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اعم از احداث واحدهای تصفیه خانه جدید و یا بهبود تأسیسات موجود به یکی از بحرانی‌ترین موضوعات زیست محیطی تبدیل شده است. گزینه‌های مختلفی برای دفع نهایی لجن وجود دارد که مهم‌ترین آنها سوزاندن، دفع در محل‌های دفن بهداشتی و استفاده از آن در کشاورزی است. علاوه بر روش‌های یاد شده روش‌های جدیدی نیز در سال‌های اخیر گسترش پیدا کرده است که می‌توان به استفاده از لجن به عنوان ماده خام برای تولید آفت‌کش‌ها اشاره نمود (یان و همکاران، ۲۰۰۷). لجن حاصل از تصفیه خانه فاضلاب علاوه بر مواد مغذی مفید برای گیاه، دارای باکتری‌ها، ویروس‌ها و میکروارگانیسم‌های مولد بیماری و یا فلزات سنگین و ترکیبات آلی سمی نیز می‌باشد که می‌تواند استفاده از آن را برای

محصولات کشاورزی، انسان و حیوان خطرناک سازد. لجن فاضلاب نوعی از پسماندهای آلی است که سبب افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی برای رشد گیاه می‌شود. همچنین می‌تواند سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شود. قبل از کاربرد لجن فاضلاب ضروری است غلظت عناصر کم‌مصرف و عناصر سنگین موجود در لجن تعیین و مورد ارزیابی قرار گیرد. میزان کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی بستگی به غلظت عناصر سنگین خطرناک مانند کادمیوم و سرب موجود در لجن فاضلاب دارد. رضاپور و همکاران (۲۰۱۹)، با بررسی آبیاری گیاه گندم زمستانه با آب فاضلاب بیان کردند فاکتورهای تمرکز زیستی و انتقال در گیاه گندم حاکی از آن است که مقداری فلزات سنگین در ریشه‌ها تجمع یافته و مقدار ناچیزی از آن به دانه‌های گندم انتقال یافته است.

تأثیر لجن فاضلاب بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

- ۱- افزایش ماده آلی خاک: وجود مواد آلی در لجن فاضلاب، سبب بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری می‌گردد.
- ۲- بهبود و پایداری ساختمان خاک و تغییر توزیع اندازه منافذ خاک: باعث افزایش نفوذ آب به خاک و هدایت هیدرولیکی می‌گردد (لاگرووف و همکاران، ۱۹۹۷؛ آقایی فروشانی، ۱۳۸۴).
- ۳- تغییر pH: تغییر pH به خصوصیات خاک از جمله بافت و ظرفیت بافری آن دارد. بسیاری از محققان گزارش کردند که با افزودن لجن فاضلاب به خاک، pH خاک کاهش می‌یابد. آنها دلایل این کاهش را تجزیه مواد آلی موجود در لجن فاضلاب می‌دانند که منجر به تولید اسید کربونیک و اسیدهای آلی مثل اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید پروپونیک می‌شود. البته نیتریفیکاسیون، سولفوریفیکاسیون و اکسیداسیون مواد معدنی مهم در این کار مؤثرند. نتیجه کاهش pH خاک، افزایش میزان حلالیت برخی از عناصر کمیاب می‌باشد و این عناصر بیشتر در دسترس

گیاه قرار می‌گیرند (کلپ و همکاران، ۱۹۸۷). افزایش هدایت الکتریکی: لجن فاضلاب حاوی مقدار زیادی نمک است که باعث افزایش هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) می‌گردد.

۴- تأثیر بر عناصر غذایی: عناصر غذایی موجود در مواد آلی به تدریج بر اساس شرایط موجود در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. از طرف دیگر در اثر تجزیه مواد آلی در تولید اسیدهای آلی، برخی مواد غذایی نامحلول موجود در خاک، محلول گشته و زودتر جذب گیاه می‌شود و رشد بیشتر گیاه را در بر می‌گیرد (لوگان و هاریسون، ۱۹۹۵).

شدت آلودگی فاضلاب

فاضلاب از نظر منشاء ممکن است خانگی، صنعتی و کشاورزی یا به صورت ترکیبی باشد. از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بیولوژیکی و قدرت آلاینده‌گی دارای چهار حالت ضعیف، متوسط، قوی و خیلی قوی می‌باشد. به قدرت آلاینده‌گی فاضلاب یا غلظت آن، شدت آلودگی فاضلاب گفته می‌شود و هر چه مقدار مواد زائد موجود در فاضلاب بیشتر باشد شدت آلودگی قوی‌تر می‌باشد. معمولاً شدت و ضعف فاضلاب از نظر مواد آلی موجود در آن بر حسب شاخص‌های زیر سنجیده می‌شود:

الف) اکسیژن مورد نیاز زیست شیمیایی^۱

اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی یا زیستی، مقدار اکسیژن مورد نیاز باکتری‌ها برای تجزیه مواد آلی فاضلاب است. این معیار مهم‌ترین ابزار سنجش مواد آلی تجدیدپذیر زیست شیمیایی است که در مورد فاضلاب کاربرد متداول دارد. هرچه مقدار اکسیژن مورد نیاز بیشتر باشد، غلظت مواد آلی موجود در فاضلاب که توسط باکتری‌ها قابل اکسیداسیون است نیز بیشتر می‌باشد. امروزه در سطح جهانی مقدار این شاخص در طی پنج روز (BOD_5) را به عنوان استاندارد انتخاب نموده‌اند.

1 . BOD_5 - Biological Oxygen Demand

ب) اکسیژن مورد نیاز شیمیایی^۱

در این روش مقدار اکسیژن متناسب برای تجزیه و تثبیت شیمیایی مواد آلی را اکسیژن مورد نیاز شیمیایی گویند.

ج) کل مواد جامد معلق^۲

کل مواد جامد معلق عبارت است از موادی مانند ذرات آلی هم چون ریشه گیاهان، ذرات معدنی خاک و ذرات پلاستیک. مواد جامد معلق یکی دیگر از نشانه‌های کیفیت فاضلاب می‌باشد.

موارد استفاده از فاضلاب تصفیه شده

- ۱- مصارف شهری: آبیاری پارک‌های عمومی، شست و شوی حیاط مدارس، اطفاء حریق، مخازن آب توال
- ۲- مصارف تفریحی یا محیط زیستی: پر کردن آب حوضچه‌ها و دریاچه‌ها، آبیاری زمین‌های گلف و چمن
- ۳- تغذیه آب‌های زیرزمینی
- ۴- پرورش آبزیان و تأمین آب شرب حیوانات
- ۵- مصارف کشاورزی

مصرف فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی

کمبود آب، افزایش جمعیت و رقابت بین مصرف آب سالم به خصوص در دو بخش کشاورزی و شهری و دیگر موارد مطرح شده ضرورت استفاده از فاضلاب تصفیه شده را باعث می‌شود. از فاضلاب تصفیه شده به شکل‌های زیر استفاده می‌گردد:

1 . COD- Chemical Oxygen Demand

2 . TSS- Total Suspended Solids

- ۱- آبیاری محصولات غیر غذایی شامل محصولات فیبری و علوفه‌ای، نهالستان‌ها و مراتع
- ۲- آبیاری محصولاتی که قبل از مصرف در صنایع غذایی مراحل را طی می‌کنند
- ۳- آبیاری محصولات غذایی، در این حالت فاضلاب تصفیه شده با بالاترین کیفیت مورد استفاده قرار می‌گیرد مثل آبیاری سبزیجات. همچنین آبیاری محصولات با فاضلاب تصفیه شده به دلیل غنی بودن فاضلاب از نیتروژن، فسفر و پتاسیم منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌گردد.

روش‌های تصفیه فاضلاب

الف- رسوبگذاری و صاف کردن^۱

موجب ته‌نشینی مواد جامد و فلزات سنگین و برداشتن ذرات جامد معلق در فاضلاب می‌گردد. در این روش از مواد شیمیایی برای چسبیدن ذرات به یکدیگر جهت تسریع در رسوب گذاری و جداسازی آنها استفاده می‌شود.

ب- فیلتراسیون^۲

شامل برداشتن ذرات ریز و بیشتر ریزجانداران می‌باشد. به این منظور می‌توان از موادی مثل شن و ذغال سنگ برای فیلتراسیون استفاده نمود.

ج- تصفیه زیست شناسی^۳

شامل برداشتن مواد آلی و حذف مواد آلی از آب و فاضلاب بوده و اغلب توأم با جداسازی مواد جامد و مایع صورت می‌گیرد.

1 . Sedimentation and Clarification
2 . Filtration
3 . Biological Treatment

د- ضدعفونی کردن^۱

این فرایند شامل از بین بردن و حذف عوامل بیماری‌زا (باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها) است. در این فرایند باکتری کلی‌فرم به‌عنوان شاخص مورد استفاده قرار می‌گیرد (هر چه تعداد این باکتری کمتر، عمل ضدعفونی کردن بیشتر). در این روش کلر زدن و استفاده از دیگر مواد شیمیایی، اشعه فرابنفش (UV) و اُزن به کار برده می‌شوند. بر اساس یافته‌های قاسمی و همکاران (۲۰۱۸)، با توجه به کارایی اندک *A. Marina* در انتقال و جمع آوری فلزات سنگین در شاخه‌ها، می‌تواند به‌عنوان یک حذف‌کننده یا مانع برای فلزات سنگین در نظر گرفته شود و نیز در کاهش آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های حساس مفید واقع گردد.

لئوناردیت^۲

لیگنیت^۳ یک نوع سنگ قیمتی است که اغلب به عنوان ذغال سنگ قهوه‌ای نامیده می‌شود. یک سنگ قیمتی نرم، قهوه‌ای، قابل احتراق، رسوبی تشکیل شده از ذغال سنگ طبیعی است. این ماده به دلیل پائین بودن درجه حرارت آن به‌عنوان پائین‌ترین درجه ذغال سنگ محسوب می‌شود. مقدار کربن موجود در لیگنیت حدود ۶۰-۷۰ درصد است. لیگنیت از بسیاری از معادن در سراسر جهان استخراج می‌شود و تقریباً به‌طور انحصاری به‌عنوان سوخت برای تولید برق بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیگنیت به عنوان ذغال نیمه‌اکسید شده یکی از منابع بسیار مهم هومیک و فولیک اسید می‌باشد که به‌وفور در طبیعت یافت می‌شود. لئوناردیت ماده‌ای صد در صد ارگانیک است که دارای مقادیر بالایی از اسیدهای هیومیک و فولویک و عناصر غذایی ماکرو و میکرو می‌باشد. لئوناردیت طی میلیون‌ها سال در نتیجه انباشته شدن بقایای گیاهی و تحت تأثیر رطوبت، دما، فشار و اکسید شدن به وجود آمده است. کیفیت و درصد هیومیک و فولویک اسید لئوناردیت

1 . Disinfection

2 . Leonardite

3 . Lignite

از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. از آنجا که در ترکیب این ماده، مقادیر قابل توجهی اسید هیومیک موجود می‌باشد در نتیجه لئوناردیت دارای ارزش اقتصادی بالایی است. نام این ماده برگرفته از نام آرتور گری لئونارد^۱ است که برای اولین بار معادن لئوناردیت را در ایالت داکوتای آمریکای شمالی کشف کرد.

از مهم‌ترین و مرغوب‌ترین مکان‌هایی که کانی لئوناردیت یافت می‌شود می‌توان به آلبرتا^۲ در کانادا، باچوس مارش^۳ در استرالیا، ترکیه، آچلادا و زلی^۴ در یونان اشاره کرد.

لئوناردیت یک معدن طبیعی بوده و فواید زیادی برای خاک و گیاهان دارد. در ایران به علت ظرفیت پائین استفاده از روش‌های بازیافت، تنها روش دفع مواد زائد، دفن این مواد در داخل خاک است. در حالت طبیعی اجزای خاک جاذب آلایندها بوده و کانی‌های رسی نقش مهمی به‌عنوان اجزای سازنده فضاها، ایزوله دفن پسماند به مدت طولانی^۵ مهندسی-بهداشتی ایفا می‌کنند. دولتی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی تأثیر مواد هیومیکی در شکل‌های کادمیوم در خاک منطقه دفن زباله ارومیه بیان کردند که تراکم، نفوذ محلول و غلظت کادمیوم در لایه‌های میانی و تحتانی را کاهش داد؛ اما لئوناردیت غلظت کادمیوم (Cd) لایه بالایی را نسبت به شاهد ۱۰ برابر افزایش داد. علاوه بر آن تیمار لئوناردیت شکل‌های ژئوشیمیایی Cd (اکسیدهای آهن، منگنز، تبادل و کربناته) لایه سطحی را کاهش داد؛ اما باعث افزایش ۵۴ درصد کادمیوم پیوند شده به کربن آلی گردید. این محققان نتیجه گرفتند که کاربرد لئوناردیت در کنترل عناصر سنگین در خاک متراکم شده قابل توصیه نمی‌باشد.

۱. آرتور گری لئونارد (Arthur Gray Leonard) (۱۵ مارس ۱۸۶۵ - ۱۷ دسامبر ۱۹۳۲)، یک پژوهشگر و اولین زمین‌شناس داکوتای شمالی آمریکایی بود. او همچنین استاد زمین‌شناسی در دانشگاه داکوتای شمالی بود و در مطالعات مربوط به زغال سنگ و رابطه آن با زمین‌شناسی تحقیقات زیادی را انجام داده است.

2 . Alberta

3 . Bacchus Marsh

4 . Achlada and zeli

5 . Landfill

تأثیر لئوناردیت بر حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی

نیتрат و دیگر آلودگی‌های غیر فلزی مانند نیتريت، سیانید، ترکیبات آروماتیک چند حلقوی و ... از آلاینده‌هایی هستند که همواره به‌عنوان ترکیبات خطرناک و مضر برای سلامتی انسان و سایر جانداران مورد توجه بوده است. نیترات اصلی‌ترین ترکیب نیتروژن در آب‌های زیرزمینی است. نیتروژن محلول به‌صورت آمونیوم (NH_4^+)، آمونیاک (NH_3)، نیتريت (NO_2)، نیتروژن (N_2)، اکسید نیتروژن (N_2O)، و نیتروژن آلی هم وجود دارد. به منظور کاهش آلودگی‌های ناشی از نیترات در آب‌های جاری و زیرزمینی، فرآیندهای زیادی از قبیل جذب سطحی، رسوب دهی، تعویض یونی، الکترودیالیز، اُسمز برگشت‌پذیر، نیترات زدایی بیولوژیکی، نیترات زدایی شیمیایی و نیترات زدایی با احیای کاتالیکی به‌کار می‌رود. با این توصیف در سال‌های اخیر مشخص شده است که جذب سطحی روشی مناسب در حذف فلزات و نیترات از آب و فاضلاب‌ها می‌باشد. از این رو فرآیند جذب سطحی به‌طور گسترده در تمام سیستم‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی طبیعی در محیط‌های جامد متخلخل اتفاق می‌افتد. جامدهای متخلخل با ابعاد بسیار ریز با سطوح جذبی بسیار بالا از ویژگی‌های جاذب مناسب بوده و باعث افزایش ظرفیت جذب عناصر شده و سینتیک قابل قبولی دارند. دولتی و همکاران (۱۳۹۷)، با بررسی تأثیر لئوناردیت در حذف آلاینده‌هایی نظیر Cr^{6*} و Cr^{3*} از محیط‌های آبی گزارش کردند که حضور کروم در آب آشامیدنی و ورود پساب صنایع به منابع آب‌های زیرزمینی، سلامت بشر و محیط‌زیست را به خطر می‌اندازد و استفاده از لئوناردیت را در رابطه با رفع آلودگی‌های زیست‌محیطی حائز اهمیت دانستند؛ و تأکید کردند که زمان تماس، مقدار لئوناردیت و میزان pH محیط بیشترین تأثیر را در حذف کروم دارند به‌طوری که Cr^{3*} در فاصله زمانی کوتاه به مقدار زیاد توسط جاذب جذب و از محیط خارج شد. بنابراین لئوناردیت به‌عنوان یک جاذب زیست تخریب‌پذیر برای حذف کروم مناسب بوده و می‌توان از آن در حذف کروم از آب‌های آلوده استفاده نمود. در دهه گذشته برای

حذف آلاینده‌های محیط زیست، با به کارگیری جاذب‌های زیستی تحقیقات گسترده‌ای انجام یافته است. چرا که از مهم‌ترین مزایای جاذب‌های طبیعی نسبت به سایر جاذب‌ها مقرون به صرفه بودن، کارایی بیشتر، حداقل تولید پسماندهای شیمیایی یا بیولوژیکی، اصلاح پذیری مناسب، عدم نیاز به مواد شیمیایی و امکان بازیافت فلزات می‌باشد. بر این اساس محققان با استفاده از جاذب‌های مختلف روش‌های متفاوتی را برای حذف نیتрат از محیط‌های آبی به کار گرفتند.

تاثیر لئوناردیت بر آلاینده‌های آبی

یکی دیگر از موارد مصرف لئوناردیت استفاده آن در محیط‌های آبی جهت رفع آلودگی از سموم، آفت‌کش‌ها و نیترات آب است. طی تحقیقاتی دولتی و موسوی (۱۳۹۵) بیان کردند که لئوناردیت توان بسیار بالایی در حذف یون‌های آهن (III) در pH های مختلف دارد. همچنین نادری و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که جذب نیترات بر روی جاذب (لئوناردیت عامل دار شده) بصورت تک لایه‌ای بوده و از مدل لانگمویر تبعیت می‌کند و بیشترین ظرفیت جذبی نیترات توسط لئوناردیت عامل‌دار شده $1/25 \text{ mg g}^{-1}$ در pH بهینه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. همچنین با افزایش میزان جاذب، کارایی حذف نیترات بیشتر شد. افزایش شیب منحنی (تا ۰/۵ گرم) حاکی از شدت جذب نیترات بوده و این امر در غلظت‌های پایین جاذب رخ داد ولی افزایش جذب نیترات تا یک گرم جاذب قابل توجه بود. لذا می‌توان گفت لئوناردیت عامل‌دار شده به عنوان سوپرجاذب با پتانسیل بالا عمل نموده و می‌توان برای حذف آلاینده‌ها از محیط‌های آبی بدون ایجاد آلودگی ثانویه استفاده کرد.

اثر لئوناردیت بر حذف فلزات سنگین از محیط خاکی

اطلاع از شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین در کنترل آلودگی خاک، گیاه و آب‌های زیرزمینی اهمیت به سزایی دارد. از این رو استفاده از جاذب‌های طبیعی در کنترل و مقابله با آلودگی محیط

زیست ضروری بوده و بررسی تأثیر مواد هیومیکی از قبیل لینیت^۱ و لئوناردیت در تغییر شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین حائز اهمیت می‌باشد. علاوه بر آن زیست تخریب‌پذیر بودن و سازگاری آن با محیط زیست می‌تواند عامل مهمی در انتخاب ماده پالایش‌کننده فلزات سنگین باشد. دولتی (۱۳۹۴) با بررسی اثر لئوناردیت بر شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین در خاک‌های حاصله از مواد مادری مختلف (سینت، شیت، گابرو و کلسیت) به این نتیجه رسیدند که کانی خاک‌های مختلف به لحاظ کمی و کیفی متفاوت بوده‌اند و کاربرد لئوناردیت باعث کاهش pH خاک حاصل از سینت^۲ شد. لئوناردیت به ترتیب کاهش و افزایش یکنواخت فلزات سنگین در شکل‌های شیمیایی وابسته به اکسیدهای Fe و Mn و کربن آلی گردید. این در حالی است که لئوناردیت مقادیر شکل‌های شیمیایی باقی‌مانده منگنز را کاهش داد. همچنین گزارش کردند که رفتار لئوناردیت در خاک‌های مختلف متفاوت بوده و به نوع و مقدار کانی‌های رسی و خواص فیزیکوشیمیایی خاک‌ها وابسته می‌باشد. از این رو تغییر شکل‌های شیمیایی عناصر تحت تأثیر لئوناردیت نیز متفاوت بود (دولتی، ۲۰۱۰).

نتایج حاصله از کاربرد لئوناردیت در محل دفن پسماندها نشان داد که غلظت کادمیوم در لایه سطحی متراکم شده محل دفن به میزان ۱۰ برابر افزایش یافته است. افزایش غلظت کادمیوم در لایه سطحی محل دفن ناشی از تغییر شکل‌های شیمیایی آن تحت تأثیر لئوناردیت بود؛ به طوری که شکل‌های ژئوشیمیایی وابسته به اکسیدهای آهن- منگنز، تبادلی و کربناته را کاهش و کادمیوم پیوند شده به کربن آلی را ۵۴ درصد افزایش داد. این محققان تأکید داشتند که کاربرد لئوناردیت در راستای جذب و نگهداری عناصر سنگین در خاک متراکم شده قابل توصیه نمی‌باشد. این امر حاکی از آن است که علی‌رغم ایجاد تراکم در خاک، لئوناردیت شکل‌های قابل استفاده فلزات سنگین و حتی عناصر غذایی گیاه را بیشتر می‌کند (دولتی و همکاران ۱۳۹۶).

1 . Lignite

2 . Syenite

تأثیر لئوناردیت بر حاصلخیزی خاک

بهبود شرایط خاک و ایجاد تعادل در میان مواد مغذی گیاهی نیز برای بهره‌وری خاک و تولید محصولات مهم هستند. طی چندین مطالعه، بهبود مواد آلی خاک و به دنبال آن افزایش بازدهی تولید برخی محصولات در استفاده از مواد هیومیکی به اثبات رسیده است. دولتی ۱۳۹۷ اعلام داشت که لئوناردیت دارای گروه‌های عاملی مختلف بوده و رهاسازی منگنز از خاک را بهبود می‌بخشد و تأثیر معنی‌دار در افزایش میزان منگنز قابل استخراج با DTPA را داشت. این در حالی است که با افزایش بیش از حد کربنات کلسیم در خاک، کارایی لئوناردیت در افزایش منگنز قابل استفاده را کاهش داد (دولتی، ۱۳۹۶). همچنین لئوناردیت باعث افزایش میزان آهن قابل استفاده گیاه نیز می‌شود لازم به ذکر است مدت زمان تماس لئوناردیت در میزان رهاسازی آهن مؤثر بود (دولتی، ۱۳۹۵). بقایای گیاهی و جانوری در اعماق خاک، طی قرن‌ها و در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تبدیل به مواد و لایه‌هایی مثل نفت، ذغال سنگ و مواد هیومیکی می‌شوند. مواد هیومیکی قابل استفاده در کشاورزی را از لئوناردیت استخراج می‌کنند.

هیومیک اسید

تجزیه بافت‌های مرده گیاهی همیشه به‌طور کامل انجام نمی‌شود و در موارد خاص و در شرایط ویژه‌ای میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده پلیمرهای ویژه‌ای را می‌سازند که به تشکیل مواد هیومیکی^۱ منجر می‌شود. هیومیک اسید در اثر تجزیه مواد آلی به‌ویژه موادی با منشأ گیاهی به‌وجود می‌آید و در خاک، ذغال سنگ و پیت یافت می‌شود. با وزن مولکولی ۳۰۰۰۰۰-۳۰۰۰۰۰ دالتون سبب تشکیل کمپلکس‌های پایدار و نامحلول با عناصر میکرو می‌گردد (سماوات و ملکوتی، ۱۳۸۴). از اثرات هیومیک اسید، کلات کنندگی عناصر غذایی مختلف از قبیل سدیم، پتاسیم،

منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر، افزایش طول و وزن ریشه و ایجاد ریشه‌های جانبی را می‌توان نام برد (آیکن و همکاران، ۱۹۸۵). هیومیک اسید با افزایش نفوذپذیری سلول‌های ریشه به جذب بهتر مواد غذایی و توسعه بیشتر گیاه کمک می‌کند. همچنین هیومیک اسید با تولید اسیدهای نوکلئیک و اسیدهای آمینه تکثیر سلول را در کل گیاه و به‌ویژه در ریشه‌ها افزایش داده و عملکرد را بهبود می‌بخشد (البایرک و کاماز، ۲۰۰۵؛ ایزا-سالوا، ۲۰۱۱). خدامرادی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی اثر اسید هیومیک تحت شرایط تنش شوری بر گیاه توت فرنگی بیان کردند که استفاده از هیومیک اسید باعث بهبود رشد رویشی شد و میزان نشت یونی را کاهش داد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد تیمارهای هیومیک اسید می‌تواند برخی اثرات منفی ناشی از شوری را در توت فرنگی رقم ساب‌رینا تعدیل کند. رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) با آزمایش بر روی تأثیر هم‌زمان عناصر کم‌مصرف و هیومیک اسید بر چغندر قند رقم یونیورس نشان دادند که استفاده از این سیستم تلفیقی در کشاورزی پایدار می‌تواند باعث بهبود عملکرد به لحاظ کمی و کیفی ریشه چغندر قند شود. افزایش مقادیر مصرفی هیومیک اسید باعث افزایش ۲۹/۰۸ درصد عملکرد ریشه، ۳۲/۷۵ درصد عملکرد قند ناخالص ۲۹/۳۹ درصد شاخص قلیائیت نسبت به تیمار شاهد شد. علاوه بر آن محلول پاشی عناصر کم‌مصرف و افزایش مقادیر مصرفی هیومیک اسید سبب کاهش میزان قند ملاس و افزایش درصد پتاسیم ریشه چغندر قند شد. به‌طوری که استفاده از هیومیک اسید و محلول پاشی عناصر کم‌مصرف در راستای اهداف کشاورزی پایدار سبب جبران کمبود مواد غذایی، حفظ حاصلخیزی خاک و تولید پایدار گردید.

فولویک اسید

فولویک اسید طبیعی به رنگ طلایی ست و ریشه آن از کلمه فولوس^۱ می‌باشد که در زبان لاتین به معنای رنگ زرد است. فولویک اسید با وزن مولکولی کم‌تر از ۳۰۰۰۰ دالتون سبب ایجاد کمپلکس‌های محلول با عناصر میکرو می‌گردد (لیو و کوپر، ۲۰۰۰). فولویک اسید، کوفاکتور مرکزی برای واکنش انتقال کربن می‌باشد که در بسیاری از واکنش‌های سلولی از قبیل سنتز پورین‌ها، متابولیسم اسیدهای آمینه، تبدیل گلايسين به سرين، شکل‌گیری لیگنین، کولین و نیز در چرخه تبخیر و تعرق شرکت دارد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۵؛ جابرین و همکاران، ۲۰۰۵). از این ترکیب می‌توان به عنوان یک ترکیب آلی جدید و مقرون به صرفه به‌عنوان کود آلی برای افزایش بهره‌وری گیاهان و حفظ مواد غذایی آن استفاده نمود (پودینه و همکاران، ۲۰۱۵).

هوموس

یکی از محصولات پایداری است که در جریان تجزیه مواد کربنی حاصل می‌شود. نوعی ماده آلی خاک پوسیده شده است که به آن هوموس نیز گفته می‌شود. از آنجا که مواد آلی اثرات مطلوبی بر روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند، به‌عنوان یک جزء با ارزش شناخته شده‌اند. ماهیت بقایای آلی و تجزیه میکروبی آنها که منجر به تولید ماده آلی خاک می‌شود، کیفیت خاک را افزایش می‌دهد. توده‌ای از ذرات معدنی به تنهایی یک خاک واقعی را تشکیل نمی‌دهد. خاک‌های واقعی بوسیله ارگانیسم‌های زنده تحت تأثیر قرار گرفته، تغییر می‌کنند و موادی به آنها به عنوان تکمیل‌کننده^۲ افزوده می‌شوند. گیاهان و جانوران به توسعه و گسترش خاک‌ها از طریق ایجاد مواد آلی اضافی کمک می‌کنند. قارچ‌ها و باکتری‌ها این مواد آلی را به یک ترکیب شیمیایی نیمه محلول که هوموس نامیده می‌شود، تبدیل می‌کنند. ارگانیسم‌های

1 . Fulvus

2 . Supplemented

بزرگ‌تر موجود در خاک مانند کرم‌های خاکی، سوسک‌ها و موریانه‌ها، هوموس را با مواد معدنی موجود در خاک در هم می‌آمیزند.

هوموس به دو علت به راحتی تجزیه نمی‌شود چون اولاً هوموس با مواد معدنی خاک پیوند برقرار کرده و از این نظر می‌توان گفت به نوعی جزئی از ترکیب شیمیایی خاک محسوب می‌گردد و ثانیاً هوموس به لحاظ شیمیایی ترکیبی بسیار پیچیده داشته و از این نظر توسط موجودات مختلف قابل استفاده و تجزیه نمی‌باشد. هوموس ترکیب پیچیده خاصی دارد و از موادی تشکیل شده است که به طور کلی به آنها هومیک می‌گویند.

مواد هومیک از ترکیباتی مثل هیومیک اسید، فولویک اسید، همتوملانیک اسید^۱، هومین‌ها^۲ و غیره تشکیل شده‌اند (تاج‌بخش و قیاسی، ۱۳۹۷).

هوموس یک ماده بیوشیمیایی است که در لایه‌های بالایی خاک که تیره است، تشکیل می‌شود. خود هوموس به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه است. مطالعه هوموس به صورت مجزا بسیار مشکل است، چرا که هوموس با ذرات ریز مواد معدنی به خوبی مخلوط شده است. هوموس از اسیدها (هیومیک و فولویک)، 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 گلوئوسیدها بر روی آن تثبیت گشته و به این ترتیب از یک طرف مولکول‌های بزرگ آلی را تشکیل می‌دهد و از طرف دیگر به ذرات رس متصل می‌گردد. خاکدانه‌های رسی - هوموسی که به این ترتیب از ترکیب تنگاتنگ مواد آلی و معدنی پدید می‌آیند، ساختمانی نرم و قابل تهویه با ظرفیت بالای ذخیره آب و عناصر غذایی به خاک می‌بخشند.

مواد پروتئینی موجود در هوموس که از کالبد موجودات زنده حاصل می‌شود، توسط موجودات ذره‌بینی با منشاء گیاهی و جانوری تجزیه می‌یابند و به آهستگی معدنی شده و به طور

1 . Hymatomelanin Acids

2 . Humans

پیوسته غذای گیاهان را تأمین می‌نمایند. به بیان دیگر هوموس ماده غذایی بینابینی و ذخیره‌ای است که عامل اصلی حاصلخیزی خاک را تشکیل می‌دهد. 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 در یک حالت دینامیکی است و دارای اسیدهای آمینه، پیورین، پیریمیدن، مواد معطر با ترکیبات حلقوی، اسیدهای اورنیک، قندهای آمینه، الکل‌های قندی، قند میتل و اسیدهای حاوی ترکیبات خطی می‌باشد. 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 فرم محلول تبدیل کرد.

هوموس دارای سه جزء اصلی فولویک اسید، هیومین و هیومیک اسید است که هیومیک اسید به‌عنوان مقاوم‌ترین جزء دارای حداکثر طول عمر است. قارچ‌هایی مثل پنسیلیوم و آسپرژیلیوس و برخی از اکتینومیسیت‌ها، مواد هوموس مانندی به رنگ سیاه تولید می‌کنند که در تولید مواد هوموسی به‌عنوان اساس ساختمانی آن تلقی می‌شوند. در بیشتر خاک‌های معدنی تأثیر شیمیایی مهم مواد آلی این است که ۲۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت تبادل کاتیونی را تشکیل می‌دهند. بارهای الکتریکی از نوع بارهای الکتریکی وابسته به pH هستند. بنابراین وقتی pH زیاد می‌شود ظرفیت تبادل کاتیونی نیز افزایش می‌یابد. مواد آلی خاک از طریق تحریک خاکدانه سازی بر خصوصیات فیزیکی خاک تأثیر می‌گذارند. پلی‌ساکاریدهایی که به‌وسیله باکتری‌های خاک تشکیل می‌شوند خاکدانه سازی را افزایش می‌دهند. خاکی که در آن ذرات کوچک‌تر به هم متصل می‌شوند و خاکدانه‌هایی را ایجاد می‌کنند که در آب پایدار هستند بسیار مناسب‌اند؛ زیرا باعث افزایش سرعت نفوذ آب، کاهش روان‌آب و کاهش فرسایش می‌شوند. با وجود هوموس تبادلات گازی خاک با اتمسفر

بیشتر شده و تهویه خاک بهبود می‌یابد. علاوه بر آن به دلیل کاهش مقاومت خاک، کشت و کار و نفوذ ریشه گیاهان در آن آسان‌تر انجام می‌شود (جهان و نصیری، ۱۳۹۱).

فواید هوموس

- ۱- هوموس توانایی خاک را برای نگه‌داری و ذخیره رطوبت افزایش می‌دهد.
- ۲- باعث 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.
- ۵- هوموس دارای انواع گوناگونی است که بستگی به کیفیت مواد آلی و نوع سنگ مادر دارد.

انواع هوموس

هوموس در خاک بر اساس نوع، شکل و اجزای تشکیل‌دهنده دارای انواع مختلفی است. در محیط‌های خشکی سه نوع هوموس به نام‌های مول، مور و مورد وجود دارد.

الف) هوموس مول^۱: این نوع هوموس در خاک‌های چست نات^۲، رندزین^۳ و دیگر خاک‌ها و اراضی علفزاری تشکیل می‌گردد. pH این نوع هوموس خنثی و نسبت کربن به نیتروژن در آن نزدیک به ۱۰ می‌باشد که سبب تشکیل کمپلکس‌های پایدار با عناصر معدنی می‌شود. این نوع هوموس بیشتر در اراضی کشاورزی تشکیل می‌گردد. پیوند تنگاتنگ با ذرات معدنی دارد و غالباً در اقلیم معتدل و مرطوب بر روی خاک‌های قلیایی و رسی با خاک برگ فراوان و تجزیه پذیر تشکیل می‌شود.

1 . Mull

2 . Chestnut Soil

3 . Rendzina

ب) هوموس مور^۱: فشرده‌تر بوده، در اقلیم سردتر و بر روی خاک برگ‌هایی که به دشواری تجزیه می‌شوند (مانند برگ‌های سوزنی کاج و ...) و بر روی خاک‌های ماسه‌ای و اسیدی که عملاً فاقد کلئید رس می‌باشند و نیز در خاک‌های جنگل‌های مخروطیان تشکیل می‌شود. هوموس مور در شرایطی که فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک کُند باشد تشکیل می‌گردد. در این شرایط معدنی شدن مواد آلی کُند بوده و ساختمان اجزای گیاهی مشاهده می‌شود. در هوموس نوع مور نسبت کربن به نیتروژن بیش از ۲۰ و معمولاً ۴۰-۳۰ است. pH این نوع هوموس اسیدی می‌باشد.

ج) هوموس مودر^۲: نوع بینابینی دو قسم هوموس فوق می‌باشد. نمونه هوموس اسیدی در اطراف کوه‌های آلپ مشاهده می‌شود. نسبت کربن به نیتروژن ۲۵-۱۵ است. کمپلکس آن با مواد معدنی محلول می‌باشد. این نوع هوموس در خاک‌های پدزولیک و در خاک‌های لُسی علفزارهای کوهستانی تشکیل می‌گردد.

فعالیت‌های آلی در خاک‌ها فراوان است. یک سانتی‌متر مکعب از خاک حاوی بیش از یک میلیون (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 از طریق گوارش ناقص مواد آلی هستند.

تشکیل هوموس در خاک

چهار تئوری در تشکیل هوموس به تنهایی یا توأم با یکدیگر نقش دارند:

۱- تغییر بافت‌های گیاهی

۲- پلیمریزاسیون شیمیایی

1 . Mor

2 . Moder

۳- تجزیه بافت‌های میکروبی و گیاهی

۴- سنتز میکروبی

در تمامی چهار تئوری بالا ابتدا مواد فنلی که از لیگنین و یا میکروارگانیزم‌ها تولید می‌گردد، در اثر اکسیداسیون به کوئینون^۱ تبدیل شده و با پلیمریزاسیون این ماده هوموس تشکیل می‌شود (سماوات و همکاران، ۱۳۸۷).

۱. کوئینون‌ها (quinones) یک دسته از ترکیبات ارگانیک هستند که به‌طور رسمی از ترکیبات معطر مانند بنزن یا نفتالین گرفته می‌شوند.

فهرست منابع

- ابراهیمی، سهیلا، حسینیعلی بهرامی و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۴. نقش مواد آلی در اصلاح خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک و آب. انتشارات سنا، تهران. ایران.
- احمدزاده قویدل، راحله. ۱۳۹۱. نقش کودهای زیستی در تولید محصول سالم و حفظ کشاورزی پایدار. اولین کنفرانس ملی راهکارهایدستیابی توسعه پایدار. ۴ صفحه.
- آستارائی، علیرضا و عوض کوچکی،. ۱۳۷۵. کاربرد کودهای بیولوژیک در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۶۸ صفحه.
- اسدی رحمانی، هادی، احمد اصغرزاده، کاظم خاوازی، فرهاد رجالی و غلامرضا ثوابی. ۱۳۸۶. حاصل خیزی بیولوژیک خاک، کلیدی برای استفاده پایدار از اراضی کشاورزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه جهاد دانشگاهی تهران. ۳۱۲ صفحه.
- آقایای فروشانی، محدثه. ۱۳۸۴. اثر کاربرد لجن فاضلاب تصفیه شده روی خصوصیات خاک، جذب عناصر سنگین و عملکرد گیاه جو. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- بایبوردی محمد، محمدجعفر ملکوتی، هرمز امیرمکری و سعید نفیسی. ۱۳۷۹. تولید و مصرف بهینه کودهای شیمیایی در راستای اهداف کشاورزی پایدار. نشر آموزش کشاورزی. ۲۸۲ صفحه.

بهشتی، مهدی و حسینعلی علیخانی. ۱۳۹۵. تغییرات کیفیت بیوجار تولید شده از کاه و کلش گندم در طی فرآیند پیرولیز آهسته در دماهای مختلف، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۶(۲): ۱۸۹-۲۰۱.

بهشتی، مهدی، حسینعلی علیخانی، بابک متشرع زاده و لیلا محمدی. ۱۳۹۵. تغییرات کیفیت بیوجار تولید شده از کود گاوی در طی فرایند پیرولیز آهسته در دماهای مختلف. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۲): ۲۵۹-۲۶۷.

بهنام، هدیه، احمد فرخیان فیروزی و عبدالامیر معزی. ۱۳۹۵. تأثیر بیوجار و کمپوست باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۴): ۲۳۵-۲۵۰.

بی‌ریا، میلاد، عبدالامیر معزی و هادی عامری خواه. ۱۳۹۶. تأثیر بیوجار باگاس نیشکر بر رشد گیاه ذرت در خاک آلوده به کادمیوم و سرب. نشریه آب و خاک (علوم صنایع کشاورزی). تاج‌بخش، مهدی و مهدی قیاسی. ۱۳۹۷. زراعت ارگانیک. انتشارات جهددانشگاهی آذربایجان غربی. ۱۶۵ صفحه.

توحیدی نژاد، عنایت الله، حمید مدنی و مریم جنابی. ۱۳۹۰. کودهای آلی و تولید ورمی کمپوست گامی مفید در کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۵۲ صفحه. جهان، محسن و مهدی نصیری محلاتی. ۱۳۹۱. حاصلخیزی خاک و کودهای بیولوژیک، رهیافتی آگرواکولوژیک (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۵۰ صفحه.

جهان، محسن، جواد عظیم‌زاده و محبوبه عبدالهی. ۱۳۹۵. راهنمای جامع و کاربردی کودهای بیولوژیک و افت کش‌های میکروبی برای کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران. ۲۵۱ صفحه.

- چنگیزدلیوند، زهرا، مجید عاشوری و تیمور رضوی پور کومله. ۱۳۹۱a. کمپوست آزولا گامی در جهت کاهش کاربرد کودهای شیمیایی. اولین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم. همدان-دانشگاه آزاد اسلامی همدان. ۸ صفحه.
- چنگیزدلیوند، زهرا، مجید عاشوری و تیمور رضوی پور. ۱۳۹۷. کارایی مصرف کود نیتروژن در شالیزار و اثرات اقتصادی-زیست محیطی آن. اولین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست. ۱۰ صفحه.
- چنگیزدلیوند، زهرا، مجید عاشوری و تیمور رضوی پور کومله. ۱۳۹۱b. بررسی تأثیر آزو-کمپوست و نیتروژن بر اجزا عملکرد برنج. سومین همایش ملی علوم کشاورزی و صنایع غذایی فسا. دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا. ۵ صفحه
- حاجی بلند، رقیه، ناصر علی اصغرزاده و ربابه برزگر. ۱۳۸۶. تأثیر تلقیح برنج با دو گونه قارچ میکوریزا آربوسکولار بر رشد، جذب فسفر و پتاسیم و تغییر pH ریزوسفر. نشریه علوم خاک و آب. ۲۱(۱): ۱۱۱-۱۲۰.
- حجازی زاده، ابوالفضل، احمد غلامعلی زاده آهنگر و مریم قربانی. ۱۳۹۵. تأثیر بیوچار بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کارخانه های کاغذ توسط آفتابگردان (*Heliantus Annus L.*). دانش آب و خاک، ۲۶(۲): ۲۵۹-۲۷۱.
- حسنلو، مصطفی، سعید حیدرزاده، سینا سیاوش مقدم و امیر رحیمی. ۱۳۹۷a. مطالعه جذب عناصر میکرو در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracoocephalum moldivicav L.*) تحت سامانه های مختلف کودی. سومین همایش ملی کشت ارگانیک و ازیاد گیاهان دارویی، ارومیه.
- حسنلو، مصطفی، سعید حیدرزاده، سینا سیاوش مقدم و امیر رحیمی. ۱۳۹۷b. بررسی خصوصیات آنتی اکسیدانی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracoocephalum moldivica L.*) تحت تأثیر سیستم های مختلف کودی. سومین همایش ملی کشت ارگانیک و ازیاد گیاهان دارویی، ارومیه.

حیدری، حسین و هومن فتحی. ۱۳۸۷. مقدمه‌ای بر تولید و گواهی محصولات کشاورزی ارگانیک. نشر برگ زیتون.

حیدری، مژده. ۱۳۹۴. ورمی کمپوست و روش‌های تولید آن. مؤسسه تحقیقات پسته کشور. ۴۴ صفحه.

خادم، الهیار، فائز رئیسی و حسین بشارتی. ۱۳۹۶. مروری بر اثرات کاربرد بیوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی ۳۰-۱۳: (۱) ۵. خدامرادی، پیام، جعفر امیری و بهنام دولتی. ۱۳۹۶. تأثیر اسید هومیک بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی توت فرنگی رقم سابرینا تحت شرایط تنش شوری. ۱۳۵-۱۰۹: (۲) ۲. دولتی، بهنام و رقیه موسوی. ۱۳۹۵. بررسی حذف آهن (III) از آب‌های آلوده تحت تأثیر جاذب‌های طبیعی. اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی کشاورزی، محیط زیست و امنیت غذایی.

دولتی، بهنام. ۱۳۹۴. تأثیر لئوناردیت بر تغییر شکل‌های شیمیایی کادمیوم و سرب در خاک‌های حاصله از مواد مادری متفاوت. نشریه دانش آب و خاک. ۱۷۹-۱۶۵: (۱) ۲۵.

دولتی، بهنام. ۱۳۹۵. تأثیر کاربرد مواد هیومیکی بر قابل دسترس بودن آهن (Fe) در برخی از خاک‌های آذربایجان غربی. اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی کشاورزی، محیط زیست و امنیت غذایی.

دولتی، بهنام. ۱۳۹۶. تأثیر مواد هیومیکی بر قابل دسترس بودن منگنز (Mn) در برخی از خاک‌های زراعی ارومیه. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان. انجمن علوم خاک ایران- دانشگاه صنعتی اصفهان.

دولتی، بهنام. ۱۳۹۷. توزیع شکل‌های شیمیایی منگنز و ارتباط آن با قابلیت استفاده گیاهان تحت تاثیر لئوناردیت (Leonardite). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، چاپ جلد هشتم، شماره سوم.

دولتی، بهنام، محمد مهدی شیخ‌الاسلامی آل آقا، حسین پیرخراطی و خلیل فرهادی. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر مواد هیومیکی در شکل‌های شیمیایی کادمیوم در خاک منطقه دفن زباله ارومیه. محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰۸-۵۹۷: (۳) ۷۰.

دولتی، بهنام، نادری، ا، حسین پیرخراطی و خلیل فرهادی. ۱۳۹۷. حذف کروم سه و شش ظرفیتی از محیط‌های آبی با استفاده از لئوناردیت. مجله آب و فاضلاب (در انتظار چاپ). ۱۲ صفحه.

دیانت مهارلویی، زهرا و علی اکبر موسوی. ۱۳۹۵. تأثیر کمپوست و ضایعات میوه رسیده انجیر بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک سطحی. آب و خاک، ۳۰(۲): ۵۲۲-۵۳۱.

رحمانی، حمیدرضا. ۱۳۸۹. کودهای زیستی و نقش آن در کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم. اولین کنگره چالش‌های کود در ایران. ۷ صفحه.

رحیمی، امیر، بهنام دولتی و سعید حیدرزاده. ۱۳۹۷. بررسی اثر تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر خصوصیات آنتی اکسیدانی آویشن دنايي (*Thymus Deanensis celak*) در شرایط گلخانه.

رحیمی، امیر، بهنام دولتی و سعید حیدرزاده. ۱۳۹۷. مطالعه برخی خصوصیات کمی و کیفی آویشن دنايي (*Thymus Deanensis celak*) در شرایط گلخانه تحت تأثیر سیستم تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی.

- رحیمی، امیر، بهنام دولتی و سعید حیدرزاده. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر همزمان کاربرد عناصر کم‌مصرف و اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) رقم یونیورس. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی). ۹۷-۸۳: (۴) ۴۱.
- رسولی صدقیانی، میرحسن، سعید صادقی آزاد، محسن برین، ابراهیم سپهر و بهنام دولتی. ۱۳۹۵. تأثیر باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات بر آزاد سازی پتاسیم از کانی‌های میکایی و جذب آن توسط گیاه ذرت. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۰(۷۸): ۱۰۲-۸۹.
- رضوی‌پور، تیمور. ۱۳۸۷. اثر استفاده از آزو لای تازه و کمپوست شده بر عملکرد دانه و جذب عناصر در دانه و ساقه برنج. سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی. ۷ صفحه.
- رضوی‌پور، تیمور. ۱۳۹۵. تأثیر کمپوست و کودهای شیمیایی بر خصوصیات خاک و آبشویی نیتрат در رژیم‌های رطوبتی مختلف زیر کشت برنج. پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران.
- رضوی‌پور، تیمور، علیرضا آستارایی، امیر لکزیان، حجت امامی و مسعود کاوسی. ۱۳۹۶. بررسی مدیریت تلفیقی کودهای شیمیایی، کمپوست و رژیم آبیاری بر ویژگی‌های زراعی و عملکردی برنج رقم هاشمی. تحقیقات غلات گیلان. ۳۰۱-۳۱۳: (۱۲) ۳.
- زارعی، مهدی، ناهید صالح راستین و غلامرضا ثوابی. ۱۳۸۵. نقش قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و میکوریزوسفر در گیاه پالایی مناطق آلوده به فلزات سنگین و ترکیبات آلی. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار. ۳۳۵ صفحه.
- زلفی باوریانی، مختار، عبدالمجید رونقی، نجفعلی کریمیان، رضا قاسمی و جعفر یثربی. ۱۳۹۵. اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۰(۷۵): ۷۳-۸۶.

- ساعی، لاله، کاظم هاشمی مجد، تیمور رضوی پور و مجتبی رضایی. ۱۳۸۹. کاهش کاربرد نیتروژن در شالیزار با استفاده از کمپوست غنی سازی شده و بررسی اثرات آن بر عملکرد برنج. پنجمین همایش ملی ایده های نو در کشاورزی. خوراسگان- دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان. ۴ صفحه.
- الستی، امید و جاوید قرخلو. ۱۳۹۴. مروری بر تأثیر بیوچار در جذب و آبتیوی علف کش ها. مجله پژوهش علف های هرز، ۷(۱): ۱-۲۰.
- سماوات، سعید و محمدجعفر ملکوتی. ۱۳۸۴. ضرورت تولید و استفاده از اسیدهای آلی برای افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی. نشریه فنی شماره ۴۶۳. انتشارات سنا، تهران.
- سماوات، سعید، علیرضا پاژکی، علیرضا لادن مقدم و سمانه سماوات. ۱۳۸۷. اصول کاربردی مواد آلی در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی گرمسار. ۲۲۲ صفحه.
- سیادت، سید عطاالله و محمدرضا مرادی تلاونگ. ۱۳۹۰. جنبه های کاربردی کشاورزی ارگانیک. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران. ۲۳ صفحه.
- سیاوش مقدم، سینا، امیر رحیمی، سعید حیدرزاده، سمیرا مرادزاده و مصطفی حسنلو. ۱۳۹۶. اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) تحت تنش کم آبی. مجله زیست فناوری گیاهان دارویی. ۵۲-۴۰: ۳(۱).
- فتحی گردلیدانی، ارژنگ و حسین میرسید حسینی و محسن فرحبخش. ۱۳۹۵. تأثیر کمپوست قارچ مصرفی و بیوچار باگاس نیشکر بر قابلیت استفاده و جزءبندی فسفر معدنی در یک خاک آهکی. مهندسی زراعی، ۳۹(۱): ۱۲۷-۱۴۴.
- فتحی گردلیدانی، ارژنگ و حسین میرسید حسینی. ۱۳۹۴. جنبه های مختلف اثرات بیوچار در اصلاح و بهبود کیفیت خاک. همایش بین المللی پژوهش های کاربردی در کشاورزی. ۱-۱۳.

فتحی گردلیدانی، ارژنگ و حسین میرسیدحسینی. ۱۳۹۴. جنبه‌های مختلف اثرات بیوچار در اصلاح و بهبود کیفیت خاک. همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی. شرکت تعاونی علم گستران پشستاز ایرانیان. تهران- ملارد.

فتحی گردلیدانی، ارژنگ، و حسین میرسید حسینی و محسن فرحبخش. ۱۳۹۴. برخی آثار کمپوست قارچ مصرفی و بیوچار باگاس بر فعالیت فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در چند خاک آهکی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۶(۴): ۸۰۱-۸۱۲.

فرخ، علیرضا، مسعود کاوسی، تیمور رضوی‌پور و مجتبی رضایی، م. ۱۳۸۹. میزان تأثیرپذیری قابلیت تولید راتون برنج از کاربرد کود. پنجمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی. خوارسگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوارسگان ۴ صفحه.

فلاح، سیف‌الله. ۱۳۸۵. بررسی اثرات تلفیقی کود مرغی، شیمیایی و نحوه به کارگیری آنها بر خصوصیات خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای در منطقه لرستان. رساله دکتری زراعت. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۸۰ صفحه.

قربانی، محمد. ۱۳۹۴. تأثیر بیوچار (زغال زیستی) و کمپوست بر پایداری خاکدانه و آبشویی نیترات. رساله کارشناسی ارشد خاک شناسی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان. ۱۰۲ ص.

قربانی، محمد، حسین اسدی و سپیده ابریشم‌کش. ۱۳۹۵. تأثیر بیوچار (زغال زیستی) پوسته شلتوک برنج بر آبشویی نیترات در یک خاک رسی. پژوهش‌های خاک، ۲۹(۴): ۴۲۷-۴۳۴.

قربانی، هادی. ۱۳۸۶. مروری بر کودهای بیولوژیک و نقش آن‌ها در حفظ محیط‌زیست و سلامت جامعه. دومین همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران. ۱۵ صفحه.

کسرای، رحیم. ۱۳۶۴. چکیده‌ای درباره علم تغذیه گیاهی (ترجمه). انتشارات دانشگاه تبریز.

کسرایان، علی. ۱۳۹۲. کودها و استفاده از آنها (ترجمه). انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز. ۹۵ صفحه.

کوچکی، عوض. ۱۳۷۶. کشاورزی پایدار، بینش یا روش؟ مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۷۲-۵۳: ۲۰

کوچکی، عوض، علیرضا نخ فروش و حامد ظریف کتابی. ۱۳۷۶. کشاورزی ارگانیک (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۳۱ صفحه.

محمد قاسمی، ویدا، شایسته مداحی، سینا سیاوش مقدم و امیر رحیمی. ۱۳۹۷. کاربرد نانو در کشاورزی. سومین همایش ملی کشت ارگانیک و ازیاد گیاهان دارویی، ارومیه.

محمودی، حسین، عبدالمجید مهدوی دامغانی و هومان لیاقتی. ۱۳۸۷. درآمدی بر کشاورزی ارگانیک (زیستی). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

مداحی، شایسته، ویدا محمد قاسمی، امیر رحیمی و سینا سیاوش مقدم. ۱۳۹۷. اثرات بیوچار روی حفاظت خاک و رشد گیاه. سومین همایش ملی کشت ارگانیک و ازیاد گیاهان دارویی، ارومیه.

مرادزاده، سمیرا، سینا سیاوش مقدم و امیر رحیمی. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیک و اوره بر کیفیت علوفه‌ای گیاه دارویی سیاه دانه (*Nigella Sativa* L.). سومین همایش ملی کشت ارگانیک و ازیاد گیاهان دارویی، ارومیه.

مصطفی‌پور، شادی، امیر رحیمی و سینا سیاوش مقدم. ۱۳۹۷a. تأثیر کودهای زیستی و آلی بر عملکرد و اجزا عملکرد سیاهدانه در شرایط اکولوژیک ارومیه. سومین همایش ملی کشت ارگانیک و ازیاد گیاهان دارویی، ارومیه.

مصطفی‌پور، شادی، امیر رحیمی و سینا سیاوش مقدم. b1۳۹۷. تأثیر کودهای زیستی و آلی بر برخی صفات مورفولوژیک سیاهدانه در شرایط اکولوژیک ارومیه. سومین همایش ملی کشت ارگانیک و ازیاد گیاهان دارویی، ارومیه.

مظلومی ممیندی، محمود، علیرضا پیرزاد و جلال جلیلیان. ۱۳۹۵. برهمکنش همزیستی میکوریزایی و آبیاری تکمیلی بر عملکرد و کیفیت علوفه و دانه گندم دیم در شرایط متغیر بارش انتهای فصل. ۲۴۶-۲۰۳: ۵(۲).

مهدوی دامغانی، عبدالمجید، هومان لیاقتی، علیرضا کوچکی، سارا فرزانه، رضا قربانی و محسن جهان. ۱۳۸۷. کشاورزی زیستی ارگانیک: استانداردها، اصل صلاحیت و گواهی بازرسی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

میرزایی تالارپشتی، رضا، جعفر کامبوزیا، حسین صباحی و عبدالمجید مهدوی دامغانی. ۱۳۸۸. اثر کاربرد کودهای آلی بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک و تولید محصول و ماده خشک گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.). پژوهش‌های زراعی ایران. ۲۷۰-۲۵۹: ۷(۱).

میخی، سمیرا، بهنام دولتی و امیر رحیمی. b1۳۹۷. بررسی تأثیر عناصر کم‌مصرف و مواد هیومیکی بر روی خصوصیات آنتی اکسیدانی گیاه دارویی مرزنجوش (*Organum vulgare* spp. Hirtum (link) Ietswaart). سومین همایش ملی کشت ارگانیک و ازیاد گیاهان دارویی، ارومیه.

نادری، احسان، خلیل فرهادی، حسین پیرخرطی و بهنام دولتی. ۱۳۹۱. بررسی حذف نیترات از محلول‌های آبی با لئوناردیت عامل دار شده. سی و یکمین علوم زمین، تهران- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نادعلی، هاجر، رامین ایرانی‌پور و مهدی نادعلی. ۱۳۸۹. قوانین (*alimentarius codex*) در کشاورزی ارگانیک. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم.

نصرالله زاده ماسوله، آذین، پاشا بایرام اوغلو زمان اف، ابراهیم امیری، تیمور رضوی پور کومله، اصغر شریف فر و ماندانا طایفه. ۱۳۸۹. مقایسه تاثیر کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد و برخی خصوصیات تغذیه‌ای دانه برنج. مجله علوم زیستی واحد لاهیجان. ۹۵-۸۵: (۲)۴.

نصراله زاده ماسوله، آذین، ابراهیم امیری و تیمور رضوی پور کومله. ۱۳۸۸. تأثیر کمپوست آزولا، کود گاوی و کود شیمیایی روی گیاه برنج. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران- گرگان. ۳ صفحه.

نوروزی، عباس و اسماعیل شهبازی. ۱۳۸۹. نقش ترویج و توسعه کشاورزی ارگانیک (زیستی) در روستاهای کشور، وزارت جهاد کشاورزی. فصلنامه روستا و توسعه. ۲۲: (۲)۲.

هادی، حامد، جهانفر دانشیان، احمد اصغرزاده، آیدین حمیدی، علیرضا دانشمند و نادره کاری هفت چشمه. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر ازتوباکتر کروکوکوم و مایه تلقیح سویا بر ویژگی‌های رویشی سویا. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. گرگان. ۱۲-۱۰.

هاشمی، سید آرمین و مهناز ضرغام‌اینالو. ۱۳۹۴. بررسی جذب فلز کادمیوم در نهال‌های یکساله گونه درختی افرا پلت در محیط زیست. فصلنامه بهداشت در عرصه دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. ۳: (۳)۷-۱۲.

واحدی، حسنعلی و علی بهشتی آل آقا. ۱۳۸۵. روش‌های تولید عوامل کنترل بیولوژیک کودهای زیستی و ورمی کمپوست (ترجمه). انتشارات دانشگاه رازی. ۱۴۴ صفحه.

ولدآبادی، سید علیرضا، فاطمه، فرح دهر، ابراهیم امیری و تیمور رضوی پور. ۱۳۹۰. اثر کمپوست آزولا بر عملکرد و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برنج. فصلنامه علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳۷۸-۳۸۷: (۴)۳.

Aggelides, S. M. and Londra, P. A. 2000. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the Physical Properties of a Lomy and Clay soil. Bioresour. Technol. 71: 235-259.

Aiken, G. R., McKnight, D. M., Wershaw, R. L., and Mac Carthy, P. 1985. Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. New York. USA: Wiley InterScience.

Albayrak, S. and Camas, N. 2005. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield component of forage turpin. Journal of Agronomy 42: 130-133.

Al-Wabel, M. I., Usman, A. R., El-Naggar, A. H., Aly, A. A., Ibrahim, H. M., Elmaghraby, S. and Al-Omran, A. 2015. Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(4): 503-511.

Amirnia, R., Ghyasi, M., Siavash-moghaddam, S., Rahimi, A., Damalas, C. A. and Heydarzadeh, S. 2019. Nitrogen-fixing soil bacteria plus mycorrhizal fungi improve seed yield and quality traits of lenti (*Lens Culinaris Medik*). Journal of Soil Science and Plant Nutrition. Doi. Org/10.1007/S42729-019-0058-3.

Antoun. 1982. Organic material and soil productivity in the near east , FAO. Soil Bulletin. No: 45. 279 pp.

Atkinson, C., Fitzgerald, J. and Hipps, N. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. Plant. Soil. 337: 1-18.

Azeez, J. O., Van-Averbeke, W. and Okorogbona, A. O. 2010. Differential Responses in Yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun) to the application of three animal manures. Bioresource Technology. 101: 2499-2505.

Bamminger, C., Marschner, B. and Juschke, E. 2014. An incubation study on the stability and biological effects of pyrogenic and hydrothermal biochar in two soils. European Journal of Soil Science. 65:72–82.

Bhattacharyya, P. and Kumar, R. 2000. Liquid biofertilizer-current Knowledge and Future prospect. National seminar on development and use of biofertilizers, biopesticides and organic manures. Bidhan Krishi Viswavidyalaya, Kalyani, West Bengal, November 10- 12.

Biederman, L. A. and Harpole, W. S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. Global Change Biology Bioenergy, 5(2): 202-214.

Brantley, K. E., Brye, K. R., Savin, M. C. and Longer, D. E. 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. Open Journal of Soil Science, 5(1): 1-3.

- Burrell, L. D., Zehetner, F., Rampazzo, N., Wimmer, B. and Soja, G. 2016. Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, 282: 96-102.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45: 629-634.
- Changiz-Dalivand, Z., Ashouri, M. and Razavipour, T. 2012. Effect of azolla compost and nitrogen on yield and components yield rice (*Oryza Sativa*) in north of Iran. *Research Journal of Biological Science*. 7(6): 255-259.
- Claoston, N. A., Samsuri, M. H. and Husni, A. 2014. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Management & Research*, 32(4): 331-339.
- Clapp, C. E., Palazzo, A. J., Larson, W. E., Marten, G. C. and Lindem, D. R. 1987. Uptake of nutrients by plants irrigated with municipal wastewater effluent. In *State of Knowledge in Land Treatment of Wastewater*. Army Corps of Engineers, Hanover, NH, Germany. Pp: 395-404.
- Clough, T. J. and Condon, L. M. 2010. Biochar and the nitrogen cycle: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 39(4): 1218-1223.
- Dadhich, S. K. Somani, L. L. and Shilpkar, D. 2011. Effect of integrated use of fertilizer P, FYM and Biofertilizers on soil properties and productivity of soybean-wheat crop sequence. *Journal of Advances in Developmental Research*. 2(1): 42-46.
- Daryaei, F., Ghalavand, A., Chaichi, M. R., Sorooshzadeh, A. and Talebi, F. S. 2010. Soil biochemical response to different fertilizing systems by using green manure and zeononix. *Agro 2010, the X1 ESA Congress*, Montpellier, France.
- Dick, W. A. 1984. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 48: 569-574.
- Ding, Y., Liu, Y. X., Wu, W. X., Shi, D. Z., Yang, M. and Zhong, Z. K. 2010. Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. *Water Air and Soil Pollution* 213:47-55. DOI: 10.1007/s11270-010-0366-4.
- Doaei, S., Sivash-moghaddam, S., Razavipour-kumale, T. and Noorhosseini, S. A. 2019. Improvement of irrigation efficiency in Rice, field using composted Azolla under water deficit condition. *Applied Soil Research*. 6(4): 149-160.
- Doran, J. W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 44: 756-771.
- Dovlati, B. 2010. Effect of leonardite on of Pb and Zn sorption/desorption in soils with different parent materials. *International soil science congress on management of natural resources to sustain soil health and quality-Samsun Turkey*.

Duff, R. B. and Webley, D. M. 1959. 2-ketoglutaric acid and neutral chelator produced by soil bacteria. *Cherne Ind.* 31(44): 1376-1377.

Egamberdiyeva, D., Juraeva, D., Poberejskaya, S., Myachina, O., Teryuhova, P., Seydalieva, L. and Aliev, A. 2004. Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubilizing bacteria. *Proceedings of the 26th Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*. Raleigh, North Carolina, June 8-9, 2004. P. 58-66.

Eisa-Salwa, A. I. 2011. Effect of amendments, humic and amino acids on increases soils fertility, yields and seeds quality of peanut and sesame on sandy soils. *Research Journal of Agricultural and Biological Science*. 7(1):115-125.

Epstein, E., Tylor, J.M., and Chaney, R.L. 1976. Effect of sewage sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.* 5: 422-426.

Fitter, A. H. and Garbaye, J. 1994. Interaction between micorrhizal fungi and other soil organisms. *Plant and Soil*. 159: 123-132.

Fricke, K. and Vogtmann, H. 1994. Compost quality: Physical characteristics, Nutrient content. Heavy metals and Organic chemicals. *Tox. and Enviro. Chem.* 43: 95-114.

Gao-Lu, S., Fang, S. F., and Tong, Z. Y. 2014. Effect of rice husk biochar and charcoal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*, 114: 37-44.

Garbaye, J. 1994. Helperbacteria, a new dimension to the micorrhizal symbiosis. *New Phytologist*. 128: 197-210.

Gaskin, J. C., Steiner, C., Harris, K., Das, K. and Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 51: 2061-2069.

Ghasemi, S., Siavash-Moghaddam, S., Rahimi, A., Damalas, C. A. and Naji, A. 2018. Phytomanagement of trace metals in mangrove sediments of Hormozgan, Iran, using gray mangrove (*Avicennia Marina*). *Environmental Science and Pollution Research*. 25(28): 28195-28205.

Ghosh, S., Sadhukhan, P. C, and Ghosh, D. K. 1996. Studies on the effect of mercury and organomercurial on the growth and nitrogen fixation by mercuryresistant *Azotobacter* strains. *Journal of Applied Bacteriology*. 80: 319-326.

Graber, E., Tsechansky, L., Gerstl, Z. and Lew, B. 2012. High surface area biochar negatively impacts herbicide efficacy. *Plant Soil*, 353: 95-106.

- Gundale, M. J. and DeLuca, T. H. 2007. Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/douglas fir ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*. 43:303-311.
- Gupta, V. V. S. R. and Germida, J. J. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*. 20: 777-786.
- Han, H. S. and Lee, K. D. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. *Agriculture and Biological Sciences*. 1: 210-215.
- Hao, F., Zhao, X., Ouyang, W., Lin, C., Chen, S., Shan, Y. and Lai, X. 2013. Molecular structure of corn-cob-derived biochars and the mechanism of atrazine sorption. *Agron. J.* 105: 773-782.
- Hashem, M. A. 1998. *Ecophysiological Studies of Cyanobacteria in Paddy Soils of Bangladesh*. Kluwer Academic Publishers, printed in Great Britain. 39: 333-344.
- Havlin, J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L. and Nelson, W. L. 1999. *Soil fertility and fertilizers, an introduction to nutrient management*. Prentice – Hall, Inc.
- Hense, I. and Beckmann, A. 2006. Towards a model of cyanobacteria life cycle-effects of growing and resting stages on bloom formation of N₂-fixing species. *Ecological Modeling* 195: 205-218.
- Ibrahim, M. F. M., Abdel-Gawad, H. G. and Bondok, A. M. 2015. Physiological impacts of potassium citrate and folic acid on growth, yield and some viral diseases of potato plants. *Middle East Journal of Agriculture*. 4(3): 477-598.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M. B. and Kaya, E. C. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use Management*, 31: 106–113.
- Jabrin, S., Ravanel, S., Gambonnet, B., Douce, R. and Rebeille, F. 2003. One-carbon metabolism in plants. Regulation of Tetrahydrofolate synthesis during germination and seedling development. *Plant Physiology*. 131: 1431-1439.
- Jalalipour, J. 2014. *The Biochar Effect on Yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Cadmium Bioavailability in Soil*. Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the degree of Master of Science (M. Sc) in Soil Science. Graduate School Faculty of Water and Soil Department of Soil Science. University of Zabol.
- Jin, J., Wang, M., Cao, Y., Wu, S., Liang, P., Li, Y., Zhang, J., Zhang, J., Wong, M. H., Shan, S. and Christie, P. 2017. Cumulative effects of bamboo sawdust addition on pyrolysis of sewage sludge: Biochar properties and environmental risk from metals. *Bioresource technology*, 228: 218-226.

- Kammann, C. I., Schmidt, H.P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C., Koyro, H.W., Conte, P. and Joseph, S. 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Scientific reports*, 5: 1070-1080.
- Kasozi, G. N., Zimmerman, A. R., Nkedi-Kizza, P. and GAO, B. 2010. Catechol and humic acid sorption onto a range of laboratory-produced black carbons (biochars). *Environ. Sci. Technol.* 44: 6189-6195.
- Khanmohammadi, Z., Afyuni, M. and Mosaddeghi, M. R. 2015. Effect of pyrolysis temperature on chemical and physical properties of sewage sludge biochar. *Waste Management and Research*, 33(3): 275-283.
- Khorshidi, Y. R., Ardakani, M. R., Ramezanzpour, M. R., Khavazi, K. and Zargari, K. 2011. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) to pseudomonas fluorescence and azospirillum lipoferum under different nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 10(3): 387-395.
- Kloss, S., Zehetner, F., Oburger, E., Buecker, J., Kitzler, B., Wenzel, W.W. and Soja, G. 2014. Trace element concentrations in leachates and mustard plant tissue (*Sinapis alba* L.) after biochar application to temperate soils. *Science of the Total Environment*, 481: 498-508.
- Koocheki, A. 2004. Organic Agriculture; opportunities and challenges. *Acad. Sci.* 24(25): 55-95.
- Krull, E. S., Baldock, J. A., Skjemstad, J. O. and Smernik, R. J. 2009. Characteristics of biochar: Organochemical properties. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds). *Biochar for environmental management. Science and Technology.* Earthscan, London. Pp: 53–66.
- Kukreja, R. and Meredith, S. 2011. Resource Efficiency and Organic Farming. Facing Up to challenge.
- Lagerwerff, J. V., Milbeg, R. P. and Brower, D. L. 1997. Effect of incubation and liming on yield and heavy metal uptake by rye from sewage sludge treated soil. *Journal of Environment and Quality*, 6: 427-431.
- Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B. and Karlen, D. L. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern Agricultural Soil. *Geoderma*. 158: 443-449.
- Lastella, G., Testa, C., Cornacchia, G., Notornicola, M. and Voltasio, F. 2002. Vinod Komar Sharma., Anaerobic digestion of semi-solid organic waste. Biogas production and its purification, *Energy Conversion and Management*. 43: 63-75.
- Lehmann J. 2007. A handful of carbon. *Nature*. 447(7141): 143-144.

- Lehmann, J. 2007. Bioenergy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5: 381-387.
- Lehmann, J. and Joseph, S. 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London and Sterling. VA. Pp: 416.
- Lehmann, J., Czimnik, C., Laird, B. and Sohi, S. 2009. *Biochar for environmental management: science and technology*. London. Earthscan. Pp: 183-206.
- Lehmann, J., Gaunt, J. and Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 403-427.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota- a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 43:1812–1836.
- Li, H., Ye, X., Geng, Z., Zhou, H., Guo, X., Zhang, Y., Zhao, H. and Wang, G. 2016. The influence of biochar type on long-term stabilization for Cd and Cu in contaminated paddy soils. *Journal of Hazardous Materials*, 304: 40-48.
- Lie, J. H., Lv, G. H., Bai, W. B., Liu, Q., Zhang, Y. C. and Song, J. Q. 2014. Modification and use of biochar from wheat straw (*Triticum aestivum* L.) for nitrate and phosphate removal from water. *Desalination and Water Treatment*; DOI 10.1080/19443994.2014.994104.
- Litaor, M. I., Katz, L. and Shenker, M. 2017. The influence of compost and zeolite co addition on the nutrients status and plant growth in intensively cultivated Mediterranean soils. *Soil Use and Management*, 33 (1): 72-80.
- Liu, C., Cooper, R. J. and Bowman, D. C. 1998. Humic acid application affects photosynthesis, root development and nutrient content of creeping bentgrass. *American Society for Horticultural Science* 33(6): 1023-1025.
- Logan, T. J. and Harrison, B. J. 1995. Physical characteristics of alkaline stailized sewage sludge and their effect on soil physical properties. *Journal of Environment Quality*. 24: 153-164.
- Lu, G.Y., Ikeya, K. and Watanabe, A. 2016. Size distribution of carbon layer planes in biochar from different plant type of feedstock with different heating temperatures. *Chemosphere*, 163: 252-258.
- Lu, K., Yang, X., Gielen, G., Bolan, N., Ok, Y.S., Niazi, N.K., Xu, S., Yuan, G., Chen, X., Zhang, X. and Liu, D. 2017. Effect of bamboo and rice straw biochars on the mobility and redistribution of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in contaminated soil. *Journal of environmental management*, 186: 285-292.

Luo, L., Xu, C., Chen, Z. and Zhang, S. 2015. Properties of biomass-derived biochars: Combined effects of operating conditions and biomass types. *Bioresource Technology*, 192: 83-89.

Maddahi, Sh., Rahimi, A., Siavash-moghaddam, S., Pourakbar, L. and Ppooovic-Djordjevic, J. 2019. Evaluation of antioxidant activity of dragon head (*Lallemantia Iberica Fisch*) leaves under chemical, organic and biofertilizers. *Xxiv. Savetovanje o biotehnologiji*.

Mahtab, A., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S. and Ok, Y. S. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water- a review. *Chemosphere*. 99: 19–33.

Mesa, A. C. and Spokas, K.A. 2011. Impacts of biochar (black carbon) additions on the sorption and efficacy of herbicides. *Herbicides Environment*. 18: 315-340.

Ming-Shi, M. A. and Sauerborn, J. 2006. Review of History and Recent Development of Organic Farming Worldwide. *Agriculture Science in China*. 5(3): 169-178.

Mukherjee, A., Hamdan, R., Cooper, W.T. and Zimmerman, A.R.A. 2013. Chemical comparison of freshly-produced and field-aged biochars and biochar-amended soils. *Chemosphere. Solid Earth Discuss*, 6: 731-760.

Ogawa, M. 1994. Symbiosis of people and nature in the tropics. *Farming Japan* vol 28, pp. 10-34.

Pedraza, R.O., Bellone, C. H., Bellone, S. C. D., Sorte, P. M. F.B. and Teixeira, K. R. D. S. 2009. Azospirillum inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic bacteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. *European Journal of Soil Biology*. 36-43.

Poudineh, Z., Z.G. Moghadam, and S. Mirshekari. 2015. Effects of humic acid and folic acid on sunflower under drought stress. *Biological Forum – An International Journal*. 7(1): 451-454.

Prasanna, R. and Nayak, S. 2007. Influence of diverse rice soil ecologies on cyanobacterial diversity and abundance. *Wetlands Ecology and Management*. 15: 127–134.

Rajasekaran, S., Sundaramoorthy, P. and Sankar Ganesh, K. 2015. Effect of FYM, N, P fertilizers and biofertilizers on germination and growth of paddy (*Oryza sativa* L.). *International Letters of Natural Sciences*. 35: 59-65.

Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R. and Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3): 271-284.

- Ramesh, k., Reddy, D. D., Biswas, A. K. and Rao, A. S. 2011. Zeolites and their potential uses in agriculture. *Advances in Agronomy*. 113: 215-236.
- Rana, S. S. 2014. Organic farming. Teaching Manual Organic-Farming. SSR. Pdf
- Rasouli- Sedghiani, M. H., Barin, M., Siavash-moghaddam. S., Damalas, C. A. and Ghodrat, K. 2018a. Soil quality of an Iranian forest ecosystem after conversion to various types of land use. *Environmental Monitoring and Assessment*. 19(8):447.
- Rasouli-Sedghiani, M. H., Barin, M., Khodaverdiloo, H., Siavash-moghaddam, S., Damalas, C. A. and Kazemalilou, S. 2018b. Arbuscular mycorrhiza fungi and Rhizobacteria promote growth of Russian Knapweed (*Acroptilon repens* L.) in a cd-contiminaed soil. *Journal of Plant Growth Regulation*. 1-9.
- Razavipour, T., Rezaii, M., Amiri, E. and Ebrahimi-Rad, H. 2011. Effect of fresh and composted azolla on rice grain yield and quality. *Ecology. Environment. And Cons*. 17(2): 243-249.
- Razavipour, T., Siavash-Moghaddam, S., Doaei, S., Noorhosseini, S. A. and Damalas, Ch. 2018. Azolla (*Azolla filiculoides*) compost improves grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different irrigation regimes.
- Reddy, T. Y. and Reddi, G. H. 1995. Principles of Agronomy. 2nd edition, Kalyani Publishers. New Delhi, 1100020. Pp, 223.
- Rezapour, S., Atashpaz, B., Siavash-moghaddam, S. and Damalas, ch. 2019. Heavy metal bioavailability and accumulation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated with treated wase water, in calcareous soil. *Science of the Total Environment*. 656: 261-269.
- Santra, S. C. 1993. Biology of Rice Fields Blue-Green Algae, Daya Publishing House.Pp: 184.
- Schulz, H. and Glaser, B. 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3): 410-422.
- Seneviratne, M., Weerasundara, L., Ok, Y. S., Rinklebe, J. and Vithanage, M. 2017. Phytotoxicity attenuation in *Vigna radiata* under heavy metal stress at the presence of biochar and N fixing bacteria. *Journal of Environmental Management*, 186: 293-300.
- Serhat, Z. and Baran, B. 2003. Influences of composted hazelnut husk on some Physical Properties of Soils. *Bioresour. Technol*. 88: 241-244.
- Shaaban, A., Se, S. M., Dimin, M., Juoi, J. M., Husin, M. H. M. and Mitan, N. M. M. 2014. Influence of heating temperature and holding time on biochars derived from rubber wood sawdust via slow pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 107: 31-39.

Shingo, Y. and Kanri, Y. 2003. Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolytic products. *Bioresource Technology*. 90: 241–247.

Singh, B., Singh, B. P. and Cowie, A. L. 2010. Characterization and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Research*. 48(7): 516-525.

Singh, M., Lall-Maharjan, K. and Raj-Dangol, D. 2012. Food Security through Organic Agriculture. A global and national perspective. *Journal of International Development and Cooperation*. 18(4): 310.

Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E. and Bol, R.A. 2010. Review of biochar and its use and function in soil. In: D.L. Sparks (Ed.). *Advances in Agronomy*, 105: 47-82.

Sohi, S., Loez-Capel, E., Krull, E. and Bol, R. 2009. Biochar's roles in soil and climate change: a review of research needs. *CSIRO Land and Water Science Report* 05/ 09, 64p.

Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., Macedo, J. L.V., Blum, W. E. H. and Zech, W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil, *Plant and Soil*, 291: 275-290.

Sun, Z., Bruun, E. W., Arthur, E., De-Jonge, L. W., Moldrup, P., Hauggaard-Nielsen, H. and Elsgaard, L. 2014. Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils. *Biology and Fertility of Soils*. 50: 1087-1097.

Tejada, M. and Gonzalez, J. L. 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties. *Geoderma*. 145: 325-334.

Thies, J. E. and Rillig, M. C. 2009. Characteristics of biochar: biological properties. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds). *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London. pp. 85–106.

Tsai, W. T., Liu, S. L., Chen, H. R., Chang, Y. M. and Tsai, Y. L. 2012. Textural and chemical properties of swine-manure-derived biochar pertinent to its potential use as a soil amendment. *Chemosphere*, 89(2): 198-203.

Turan, M., Ataoglu, N. and Sahin, F. 2006. Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. *Journal of Sustainable Agriculture*. 28: 99-108.

Uzoma, K., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. and Nishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use Management*, 27: 205-212.

Viswanthan, R. and Samiyappan, R. 2002. Induced systemic resistance by pseudomonase fluorescence against Red rot disease of sugarcane by colletotrichum falcatum. Crop protection. 21: 1-10.

Vithanage, M., Herath, I., Joseph, S., Bundschuh, J., Bolan, N., Ok, Y.S., Kirkham, M. B. and Rinklebe, J. 2016. Interaction of arsenic with biochar in soil and water: A critical review. Carbon, 113: 219-230.

Wang, X. and Xing, B. 2007. Sorption of organic contaminants by biopolymer-derived chars. Environ. Sci. Technol. 41: 8342-8348.

Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W. and Rillig, M. C. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms’, Plant and Soil, vol 300, pp 9–20.

Warnock, D. D., Mummeya, D. L., McBride, B., Major, J., Lehmann, J. and Rillig, M. C. 2010. Influences of nonherbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth chamber and field experiments. Applied Soil Ecology. 46:450–456.

Watzinger, A., Feichtmair, S., Kitzler, B., Zehetner, F., Kloss, S., Wimmer, B., Boltensern, S. Z. and Soja, G. 2014. Soil microbial communities responded to biochar application in temperate soils and slowly metabolized ¹³C-labelled biochar as revealed by ¹³C PLFA analysis: results from a short term incubation and pot experiment. European Journal of Soil Science. 65: 40–51.

White, R. E. 1997. Principles and practice of soil science. Blach well science Ltd. Cowlton, Victoria. 3053. Australia.

Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J. and Joseph, S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature Communications. 1: 56. www. Organihum.org.

Xu, J., Ran, L. and Luo, X. 2002. Biological synthesis and application of bacteriocins. Biochimic. 31(3): 211-3.

Yan, S., Bala-Subramanian, S., Mohammedi, S., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y. and Lohani, B. N. 2007. Wastewater Sludge a s a raw material for Biopesticides Production- Impact of seasonal variations”. Proceedings of IWA special conference on Facing Sludge Diversities, Challenges, Risks and Opportunities, (IWA Antalya 2007), 28-31 March, Belek, Antalya, Turkey.

Yang, X., Ying, G., Peng, P., Wang, L., Zhao, J., Zhang, L., Yuan, P. and He, H. 2010. Influence of biochars on plant uptake and dissipation of two pesticides in an agricultural soil. J. Agric. Food Chem. 58: 7915-7921.

Yu, O. Y., Raichle, B., Sink, S. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4, 1-9.

Yu, X.Y., Ying, G. G. and Kookana, R. S. 2009. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil. *Chemosphere*, 76: 665–671.

Yuan, J. H., Xu, R. K. and Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource Technology*, 102(3): 3488-3497.

Zeytin, S. and Aran, A. 2003. Influence of composted Hazelnut hask on some physical properties of soils. *Bioresour. Technol.* 88: 241-245.

Zhang, C., Shan, B., Tang, W. and Zhu, Y. 2017. Comparison of cadmium and lead sorption by *Phyllostachys pubescens* biochar produced under a low-oxygen pyrolysis atmosphere. *Bioresource Technology*, 238: 352-360.

Zhang, W. J., Li, Z. F., Zhang, Q. Z., Du, Z. L., Ma, M. Y. and Wang, Y. D. 2011. Impacts of Biochar and Nitrogen Fertilizer on Spinach Yield and Tissue Nitrate Content from a Pot Experiment [in n Japanease with English abstract]. *Journal of Agro-Environment Science*, 10:1946-1952.