وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم باغبانی
پژوهشکده پسته

ماده آلی و نقش آن در کشاورزی پایدار

نگارندگان:

ماریه نادی

نجمه پاکدامن

اعضای هیأت علمی پژوهشکده پسته

۱۳۹۷

نشریه شماره ۹۸

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم باغبانی
پژوهشکده پسته

ماده آلی و نقش آن در کشاورزی پایدار

نگارندگان:
محمد عبدالهی‌عزت‌آبادی
سید جواد حسینی فرد
(اعضای هیات علمی پژوهشکده پسته)

۱۳۹۷

نام نشریه: ماده‌آلی و نقش آن در کشاورزی پایدار

نویسنده: ماریه نادی، نجمه پاکدامن

ناشر: کارگروه انتشارات پژوهشکده پسته

ویراستاران علمی: بهمن پناهی، سیدجواد حسینی فرد

ویراستار ادبی: احمد شاکر اردکانی

چاپ اول: ۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

امور فنی: فاطمه کاظمی

مسئولیت صحت مطالب با نویسنده است.

شماره ثبت در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ٥٤٩٣٢ مورخ ۹۷/۱۱/۹ می باشد.

نشانی: رفسنجان، میدان شهید حسینی، پژوهشکده پسته

صندوق پستی: ٤٣٥-٧٧١٧٥

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
ماده آلی چیست؟	۳
اشکال ماده آلی	۴
نقش مواد آلی در خاک	۶
تأثیر موادآلی بر خواص شیمیایی	۶
تأثیر موادآلی بر خواص فیزیکی	۸
تأثیر موادآلی بر خواص بیولوژیکی	۹
فرایند پوسیدگی مواد آلی	۱۰
انواع مواد آلی	۱۲
کودهای دامی	۱۲
کودهای دامی بر اساس نوع دام	۱۵
کود بستر دام	۱۶
مدیریت کود بستر دام	۱۶
روش‌های فراوری کود دامی	۱۷
روش سرد	۱۷
روش گرم	۱۸
روش کمپوست‌سازی	۱۸
آلودگی حاصل از کودهای دامی	۱۸
مهمترین شاخص‌های پوسیدگی ماده آلی	۱۹
استفاده از ماده آلی در کشاورزی پایدار	۲۰
نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۲۱
منابع	۲۲

ماده آلی چیست؟

ماده‌آلی ترکیبی از بقایای حیوانی و بازمانده‌های گیاهی است و شامل ترکیباتی است که معمولاً در مراحل مختلف تجزیه یعنی از مواد تازه اضافه شده تا هوموس کاملاً تجزیه شده هستند. این مواد از ابتدای ورود به خاک تحت تأثیر مستقیم موجودات زنده و مجموعه گروه‌های میکروبی موجود در خاک قرار می‌گیرند و تغییرات زیادی می‌یابند. بخش اعظم موادآلی خاک از بافت‌های گیاهی و حیوانی بوجود می‌آید که بافت‌های حیوانی نیز از فراورده های گیاهی حاصل شده‌اند. ۶۰ تا ۹۰ درصد بقایای گیاهی رطوبت و بقیه مواد خشک است. بیشتر وزن ماده خشک از کربن و اکسیژن (حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از هرکدام) و کمتر از ۱۰ درصد هیدروژن و عناصر معدنی (خاکستر) تشکیل شده است. بنابراین کربن، هیدروژن و اکسیژن، عناصر غالب در ماده آلی خاک می‌باشند. سایر عناصر اگر چه به مقدار کمتر در این مواد هستند ولی از نظر مدیریت حاصلخیزی خاک حائز اهمیت می‌باشند. موادآلی خاک منبع اصلی عناصرغذایی بومی در خاک می‌باشند و حتی گاهی دارای هورمون‌های رشد مانند اکسین‌ها هستند که در رشد و نمو گیاه کارایی دارند. در برخی موارد فیتوتوکسین‌های گوناگون مانند فتولیک اسیدها است که بازدارنده رشد گیاه می‌باشند نیز در این مواد یافت می‌شوند. بسته به منبع ، درجه پوسیدگی و شرایط پوسیدگی موادآلی، کیفیت و مواد آن‌ها متفاوت است.

با ورود موادآلی به خاک، ترکیبات آلی مختلف آن تجزیه می‌گردد. قند، نشاسته و ترکیبات پروتئینی به سرعت تجزیه می‌شوند در حالیکه ترکیبات سلولزی، چربی، موم به کندی تجزیه گشته و تجزیه لیگنین بسیار کند انجام می‌پذیرد. فراورده‌های حاصل از تجزیه موادآلی عبارتند از:

۱- دی‌اکسید کربن: اندازه‌گیری سرعت تولید این گاز به عنوان معیاری جهت بررسی سرعت تجزیه ماده‌آلی ارزیابی می‌گردد.

۲- گرما یا انرژی: انرژی آزاد شده به وسیله میکرواورگانیسم‌های خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارزش گرمایی بافت گیاهی تقریبا ۴ تا ۵ کالری در هر گرم از ماده هوا خشک است.

۳- آب: آب به عنوان فراورده تعدادی اکسایش‌های آنزیمی از ترکیبات کربن‌دار آلی آزاد می‌گردد.

۴- عناصر غذایی: آزاد شدن عناصری مانند نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و غیره یکی از اهداف اصلی استفاده از ماده‌آلی در خاک است. برخی از عناصر آزاد شده ممکن است مجدداً توسط میکروب‌ها یا واکنش‌های شیمیایی تثبیت یا غیرمتحرک شوند و به مرور در خاک آزاد گشته یا به مصرف بخش بیولوژی خاک برسند.

۵- هوموس: هوموس ترکیبی از بقایای اضافه شده موادآلی و مواد حاصل از سنتز دوباره میکروبی بوده و در مقابل تجزیه میکروبی مقاوم است. این ماده جزء مهمی از خاک بوده و نقش اساس در تعیین خواص فیزیکی و فیزیکوشیمیایی خاک دارد.

اشکال گوناگون مواد آلی

مواد آلی با اشکال مختلف، نقش متفاوتی در خاک ایفا می‌نمایند. این مواد را ممکن است بتوان به ۳ دسته تقسیم کرد:

- بقایای تازه و نیمه تجزیه شده گیاهی و حیوانی یا به عبارتی ماده آلی فعال.
- ترکیبات حاصل از تجزیه کامل بقایای آلی و ترکیباتی که توسط میکروارگانیسم‌ها مجددا ساخته می‌شوند (موادی شبیه پروتئین‌ها، اسیدهای آلی، کربوهیدرات‌ها، صمغ‌ها، موم‌ها، چربی‌ها، تانن‌ها لیگنین‌ها و غیره).
- مواد هوموسی با وزن مولکولی بالا که شامل سه جزء اسیدهای فولویک، اسیدهای هیومیک و هیومین می‌باشند.

هیومین نسبت به تجزیه بسیار مقاوم بوده و نقش چندانی در تغذیه گیاهان ندارد. سنگین‌ترین ملکول‌ها از نظر وزن مولکولی، با ثبات‌ترین ترکیبات بوده و از این‌رو نقش کمتری ایفا می‌کنند.

ماده آلی فعال شامل مقادیر قابل توجهی از مواد گیاهی بوده که در حال تجزیه و تبدیل شدن به هوموس و مواد میکروبی می‌باشند. بنابراین جهت اطمینان از تداوم فعالیت‌های بیولوژیکی خاک، لازم است مواد آلی جدید بصورت مرتب در فواصل زمانی منظم به خاک اضافه شوند.

خصوصیات هوموس بطور مشخص از بافت‌های گیاهی اولیه آن متفاوت است و به عنوان یک توده طبیعی خاص در میان انواع ترکیبات مختلف و ناهمگون مشخص می‌شود. بعضی از خصوصیات ذکر

شده برای هوموس خاک بخوبی شناخته شده هستند و از نظر مدیریت حاصلخیزی خاک دارای اهمیت زیادی هستند. این خواص عبارتند از:

- ذرات هوموس با سطح رس یا دیگر سیلیکات‌ها پیوند برقرار کرده و منتج به تشکیل کمپلکس هوموس–رس می‌گردد.
- هوموس نیتروژن خاک را ذخیره و آزاد می‌سازد.
- هوموس ظرفیت بافری خاک را افزایش می‌دهد.
- هوموس ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی را افزایش می‌دهد.
- هوموس آفت‌کش‌ها و دیگر ترکیبات شیمیایی در کشاورزی را در سطح خود جذب می‌نماید.

ماده اصلی در هوموس لیگنین است که در واحدهای اصلی حلقه بنزنی ۶ کربنی با ۳ زنجیره کربن در اطراف آن که به آن متصل می‌باشد تشکیل شده است. ساختمان ماکرومولکولی هوموس بسیار پیچیده و متفاوت است. در واقع علت افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی[1] و همچنین آنیونی[2] مواد آلی خاک با افزایش pH خاک همین ساختمان پیچیده و دایمرهای موجود در آن است که علاوه بر تبادل کاتیونی، گروه‌های کربوکسیل (COOH) و هیدروکسیل (OH) همراه، باعث کلاته شدن یون‌های فلزات سنگین می‌شوند. بطور مشابه مولکول‌های آلی، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها به این رادیکال‌ها متصل می‌شوند.

نقش مواد آلی درخاک

به جز بافت خاک، همه خواص شیمیایی، فیزیکی و بیولوژی خاک از مواد آلی تأثیر می‌پذیرند.

- تأثیر ماده آلی بر خواص شیمیایی خاک

- تأثیر بر ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی
- افزایش توان بافری خاک
- تأثیر بر کاهش اثرات شوری و قلیائیت خاک
- اثر بر تعادلات شیمیایی

[1] Cation Exchange Capacity (CEC)
[2] Anion Exchange Capacity (AEC)

- رهاسازی کند عناصر پرمصرف و کم‌مصرف
- کلاته کردن فلزات آهن، مس، روی، منگنز
- کاهش آلودگی فلزات سنگین.

یکی از خواص بسیار مهم خاک به‌ویژه در بحث حاصلخیزی ظرفیت تبادل کاتیونی یا CEC می‌باشد و عبارت است از حداکثر مقدار کاتیونی که وزن معینی از خاک، قادر است جذب سطحی یا نگهداری نماید. رس‌ها و مواد آلی خاک به علت دارا بودن سطح ویژه زیاد و باردار بودن نقش مهمی در ظرفیت تبادل کاتیونی دارند و با افزایش مقدار رس و مواد آلی خاک مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی آن افزایش می‌یابد. pH خاک نیز در خاک‌های دارای بار وابسته به pH با تأثیر بر گروه‌های عامل در مقدار CEC مؤثر می‌باشد. محدوده تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌ها از کمتر از یک سانتی‌مول بر کیلوگرم برای خاک‌های شنی با موادآلی کم تا بیش از ۲۵ سانتی‌مول بر کیلوگرم برای خاک‌های رسی با مواد آلی زیاد متغیر می‌باشد. این شاخص توانایی خاک برای تأمین سه ماده غذایی مهم (کلسیم، منیزیم، پتاسیم) را نشان می‌دهد. در واقع این شاخص توانایی خاک برای حفظ کاتیون‌ها از طریق جذب الکتریکی می‌باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی در جذب و رهاسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و برآورد پتانسیل خطر فلزات سنگین و برخی آلاینده‌های آلی کاتیونی نقش مؤثری دارد. این ویژگی شاخص خوبی برای تعیین کیفیت و بهره‌آوری خاک[3] بوده و مقدار آن بسته به میزان مواد آلی، مقدار و نوع رس و شرایط خاک متغیر است. ظرفیت تبادل کاتیونی عموماً بر اساس بافت و مواد آلی خاک بر آورد می‌شود. pH خاک نیز در خاک‌های دارای بار وابسته به pH با تأثیر برگروه‌های عامل، در مقدارCEC مؤثر می‌باشد. از طرفی CEC با تأثیر بر جذب و واجذب یون‌های OH و H تأثیر به‌سزایی بر ظرفیت بافری خاک دارد. افزایش جذب و نگهداری یون‌های سدیم در خاک‌های قلیا و یون‌های شورکننده مانند کلسیم، منیزیم، پتاسیم، بی‌کربنات‌ها و غیره در خاک‌های شور که منجر به افزایش فشار اسمزی محلول خاک، ایجاد سمیت یون‌ها، بر هم خوردن تعادل عناصر و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود. در

[3] Soil quality and productivity

خاک‌های با مواد آلی زیاد بواسطه سطح ویژه زیاد و ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی بالا این یون‌ها جذب سطوح مواد آلی گشته و دسترسی گیاه به این عناصر کاهش می‌یابد.
یون‌های فلزی از جمله آهن، مس، روی و غیره با جایگزینی بر روی سطوح باردار مواد آلی، ایجاد پیوند هیدروژنی یا محبوس شدن در ساختار حلقوی آنها کلاته شده و در طی مراحل مختلف پوسیدگی مواد آلی به آهستگی آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. همچنین موادآلی با جذب و نگهداری یون‌های آلوده کننده فلزات سنگین نقش بسزایی در کاهش آلودگی خاک دارند.

- **تأثیر ماده آلی بر خواص فیزیکی خاک**

- ایجاد ساختمان در خاک
- افزایش خلل و فرج در خاک
- کاهش وزن مخصوص ظاهری
- افزایش نفوذپذیری خاک
- افزایش تهویه خاک
- افزایش جذب و نگهداری آب
- استحکام و پایداری
- مقاومت در برابر فرسایش
- تأثیر بر رنگ خاک
- ایجاد تعادل دمایی در خاک

ساختمان خاک بیان کننده شکل و نوع قرارگیری ذرات و اجزاء متشکله خاک است که منجر به تشکیل توده‌های خاکی به هم پیوسته ریز و درشت (خاکدانه‌ها) می‌گردد. ساختمان خاک به اتصال ذرات اصلی خاک و تشکیل ذرات ثانوی اشاره دارد. اگر ذرات ریز رس و سیلت به هم متصل شوند، خاکدانه یا ساختمان ثانوی را تشکیل می‌دهند، چنین خاکی دارای ساختمان مناسبی خواهد بود. ساختمان خاک اثرات بافت (شامل ذرات تشکیل دهنده خاک، شن، سیلت و رس) را در رابطه با آب و هوای خاک اصلاح می‌کند. اندازه بزرگ خاکدانه‌ها باعث پیدایش فضای خالی در بین آن‌ها

می‌گردد که به مراتب بزرگتر از خلل و فرجی است که در فواصل ذرات شن، سیلت و رس موجود در درون خاکدانه‌ها می‌باشد و در حقیقت همین تأثیر ساختمان خاک بر روی خلل و فرج خاک است که آن را در زمره یکی از خصوصیات مهم قرار می‌دهد. وزن مخصوص ظاهری خاک که جرم یک گرم خاک در واحد حجم را نشان می‌دهد و یکی از فاکتورهای فیزیکی کیفیت خاک است با افزایش ماده آلی و ایجاد خاکدانه در خاک کاهش می‌یابد. افزایش و بزرگ شدن خلل و فرج خاک بواسطه تشکیل ساختمان منجر به بهبود شرایط تهویه، نفوذپذیری، استحکام و پایداری در برابر شخم و مقاومت در برابر فرسایش می‌شود. مواد آلی بواسطه تشکیل پیوند با ذرات معدنی خاک و همچنین وجود ساختمان‌های پیچیده درشت و احاطه کننده ذرات ریز موجود در خاک کمک بسزایی در تشکیل خاکدانه و ایجاد ساختمان در خاک می‌نمایند. نفوذ آب در خاک با ساختمان خوب که دارای خلل و فرج مناسب است به راحتی انجام گرفته و به دلیل کاهش فشار اسمزی این آب به راحتی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، از طرفی موادآلی موجود در خاک با ایجاد پیوندهای هیدروژنی با آب، آن را جذب و نگهداری کرده و در شرایط افزایش فشار اسمزی آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. موادآلی بطور متوسط تا ۲۰ برابر وزن خود آب جذب می‌کنند. بنابراین یکی از راه‌های فراهمی آب برای گیاه در مناطق خشک، افزایش مواد آلی به خاک است.

- **تأثیر ماده آلی بر خواص بیولوژیکی خاک**

تغییراتی که در خاک‌ها انجام می‌پذیرد بوسیله موجودات زنده در خاک انجام می‌گیرد. قبل از همه ریشه گیاهان، باکتری‌ها، قارچ‌ها، کرم‌ها و غیره در این تغییرات شرکت دارند. ماده آلی بر افزایش فراوانی و کارکرد جانداران و ریزجانداران سودمند خاک تأثیر به‌سزایی دارد. کارکرد سودمند جانورانی مانند کرم‌های خاکی، تثبیت‌کنندگان ازت آزادزی و هتروتروف، حل‌کننده‌های فسفر، سازندگان سیدروفور و مانند آن‌ها همه وابسته به ماده‌آلی است که به بهبود توان بارآوری خاک و تغذیه بهتر گیاه می‌انجامد. ماده آلی انرژی لازم برای افزایش فعالیت‌های بیولوژیک خاک را فراهم می‌کنند.از مهمترین اثرات ماده‌آلی در خاک عبارتند از:

- منبع کربن و انرژی برای موجودات خاک
- افزایش کنش و کارکرد زیستی خاک

- افزایش زیتوده و فراوانی خاکزیان
- افزایش تنوع زیستی در خاک.

فرایند پوسیدگی مواد آلی

هنگامی که فرایند پوسیدن موادآلی شروع می‌شود، کربن آلی موجود در بقایای گیاهی، جانوری ریزجانداران تحت واکنش‌های بیوشیمیایی به اشکال مختلف در می‌آید. بخشی به‌صورت دی‌اکسیدکربن به هوا بر می‌گردد، بخشی به شکل کربن میکروبی در بدن میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده قرار می‌گیرد و بخش سوم به اندوخته کربنی هوموسی خاک افزوده می‌شود. این‌گونه مواد، با مواد معدنی خاک (رس‌ها و نمک‌ها) به هم آمیخته و به پیدایش خاکدانه‌های پایدارتر کمک می‌نمایند. شکل هوموسی ماده‌آلی هم با گذشت زمان به آهستگی تجزیه شده و وارد بخش معدنی خاک می‌گردد.

در طی فرایند پوسیدگی که توسط میکروارگانیسم‌ها انجام می‌پذیرد، مواد غیرهیومیکی که دارای ساختار ساده شیمیایی با زنجیره‌های کوتاه کربنی مانند پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه، نشاسته، قندهای ساده و غیره به‌راحتی و بسیار سریع تجزیه شده و بعنوان منبع کربن و انرژی در اختیار میکروب‌ها قرار می‌گیرند. در مرحله بعد ساختارهای پیچیده‌تر متشکل از زنجیره‌های طولانی با شاخه‌های جانبی مانند سلولز، موم، چربی، رزین و غیره به کندی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌گردند. تجزیه موادی مانند لیگنین که دارای حلقه‌های بسیار زیاد کربنی و ساختار آمورف است، زمان‌بر بوده و بسیار کند انجام می‌گیرد. تجزیه موادآلی منجر به شکستن زنجیره‌های کربنی و آزادسازی کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، فسفر و گوگرد که پایه اصلی قندهای ساده، آمینواسیدها و ترکیبات پیچیده‌تر متشکل از زنجیره‌های طولانی و یا حلقوی کربنی هستند، می‌گردد. بیشترین عنصر موجود در ماده‌آلی کربن است (حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد) اما نسبت کربن به نیتروژن در موادآلی اولیه کم است و دلیل این امر عدم دسترسی به کربن به دلیل پیوندهای موجود در زنجیره‌ها و حلقه‌های موجود است. از طرفی حدود ۵ درصد ماده آلی را نیتروژن تشکیل می‌دهد، شایان ذکر است که بیشتر نیتروژن خاک به شکل آلی است. این نیتروژن یا ازت آلی بسیار ارزشمند است چرا که قابلیت شستشوی آن پایین بوده

و برای زمان‌های طولانی می‌تواند در خاک باقی بماند و به آرامی در خاک آزاد شود. در طی فرایند پوسیدگی ماده‌آلی کربن آزاد می‌گردد و نسبت کربن به نیتروژن کاهش می‌یابد. میکرواورگانیسم‌ها بخشی از ترکیبات آزاد شده را به صورت آلی و معدنی به مصرف رسانده و بقیه بصورت ترکیبات معدنی به خاک بر می‌گردند که به این عمل اصطلاحاً یا معدنی شدن[4] گویند. از آنجا که میزان نیتروژن موجود در ترکیبات آلی بسیار کمتر از کربن است و موجودات خاک جهت تجزیه موادآلی به این عنصر نیاز دارند بنابراین افزودن نیتروژن به موادآلی اولیه کمک به‌سزایی در افزایش سرعت پوسیدگی و فراهمی نیتروژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌های موجود می‌کند. چنانچه نیتروژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها کافی نباشد، آن‌ها از نیتروژن موجود در موادآلی استفاده کرده و آن را به فرم آلی در بدن خود ذخیره کرده و از دسترس گیاه خارج می‌نمایند، که اصطلاحا به این عمل بی حرکت شدن[5] گویند. ماده آلی گذشته از عناصر ساختمانی کربن، نیتروژن، فسفر و گوگرد دارای عناصر فلزی مانند کلسیم، پتاسیم، آهن، منگنز، روی، مس و عناصر دیگر است که با کانی شدن مایه آزادسازی بسیاری از عناصر کم مصرف هم می‌شود.

انواع موادآلی

کودهای سبز، کودهای دامی شامل کودهای اسبی، گاوی، گوسفندی و مرغی، انواع کمپوست‌های گیاهی و شهری، لجن فاضلاب و خلاصه هرآنچه که مربوط به بقایای گیاهان و جانوران و یا مواد دفعی آنهاست می‌تواند به عنوان موادآلی محسوب گردد. به دلیل اهمیت کودهای دامی و استفاده فراوان آن‌ها در کشاورزی، توضیحاتی در مورد این کودها داده خواهد شد.

کودهای دامی

نقش دام در یک سیستم ارگانیگ را می‌توان بسیار اثرگذار دانست. برگشت عناصر غذایی به سیستم از طریق کودهای دامی با سهولت صورت می‌گیرد. پتانسیل برگشت عناصر غذایی به سیستم از طریق کاربرد کودهای آلی بالاست. عناصر غذایی چه در اثر چرا از یک سطح وسیع و چه از طریق تغذیه علوفه ذخیره‌ای یا خریداری شده توسط دام دریافت شده باشند در نهایت در فضولات دامی تمرکز

[4] Mineralization
[5] Immobilization

یافته و برای پخش مجدد در سطح زمین قابل استفاده خواهند بود. دام‌ها تنها۰ تا ۵۰ درصد ازت موجود در علوفه مصرفی را در خود نگه می‌دارند و ۷۰ درصد ازت باقی مانده را از طریق ادرار و ۳۰ درصد دیگر را از طریق مدفوع دفع می‌نمایند. گاوهای شیری می‌توانند روزانه تا ۲۵۰ گرم ازت دفع کنند. کود بستر دام و مدفوع آبکی، تنها با مدیریت دقیق می‌توانند ذخیره عناصر غذایی خود را مجدداً به خاک باز گردانند. تلفات عناصر غذایی از طریق تبخیر، رواناب، نشت کردن از محل‌های ذخیره مدفوع آبکی و آبشویی صورت می‌پذیرد. تلفات ازت در هوای گرم به همراه باد می‌تواند تا ۴۴ درصد افزایش یابد در حالی‌که در هوای سرد و خنک این تلفات در حدود ۹ درصد می‌باشد. ادرار دام سبب سوختگی و از بین رفتن گیاه می‌شود و از این طریق سبب تلفات ازت معدنی می‌گردد. در ابتدا تمامی ازت موجود در فضولات قابل جذب گیاه و برداشت به صورت علوفه خشک نمی‌باشد. این ازت ممکن است در بخش‌های زیرزمینی علوفه (ریشه‌ها) نگهداری شود یا طی فرایند آلی شدن توسط میکروارگانیسم‌های خاک به فرم آلی درآید یا از طریق آبشویی و دنیتریفیکاسیون به هدر رود. مدیریت صحیح کودهای دامی، نقش مهمی در سیستم‌های ارگانیک به عهده دارد. این مواد منابع با ارزشی هستند که چرخه عناصر غذایی را کامل می‌کنند. به‌علاوه بیشتر ازت تثبیت شده توسط بقولات علوفه‌ای از طریق این مواد دوباره به خاک باز می‌گردند. کودهای دامی از مهمترین منابع انرژی و مواد غذایی اکوسیستم خاک محسوب می‌شوند و هدف از کاربرد آن‌ها بهبود خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک است. معمولاً انواع مختلفی از فضولات دامی در مزارع یافت می‌شود که می‌توان آن‌ها را به چند دسته اصلی تقسیم نمود:

- کود بستر دام (بصورت تازه یا انبار شده)که مخلوطی از مدفوع، ادرار و مواد تشکیل دهنده بستر دام است.
- مدفوع آبکی دام‌ها
- ادرار که جداگانه جمع‌آوری شده است.

میزان عناصر این کودها در جدول ۱ و ۲ مقایسه گردیده است. باید توجه داشت که کلیه عناصر غذایی موجود در این کودها هنگام مصرف در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد و بخشی از آن‌ها در طی

ذخیره‌سازی در اثر آبشویی و تبخیر تلف می‌شوند. میزان تلفات ناشی از آبشویی برای ازت، فسفات و پتاس از کود بستر دام به ترتیب ۲۰٪، ۷٪ و ۳۵٪ است.

جدول ۱: ترکیب کود بستر دام و مدفوع آبکی تازه و رقیق نشده (براساس وزن تازه).

نوع کود	درصد تقریبی ماده خشک	درصد ازت N	درصد فسفات P_2O_5	درصد پتاس K_2O
کود بستر گاو	۲۵	۰/۶	۰/۳	۰/۷
کود بستر مرغ تخمگذار	۷۰	۱/۷	۱/۸	۱/۳
کود بستر جوجه	۷۰	۲/۴	۲/۲	۱/۴
کود خشک شده در داخل سالن	۷۰	۴/۲	۲/۸	۱/۹
مدفوع آبکی گاو	۱۰	۰/۵	۰/۲	۰/۵
مدفوع آبکی طیور	۲۵	۱/۴	۱/۱	۰/۶

هر چه کودهای جمع‌آوری شده در مساحت کمتری بر روی هم انباشته شوند و سطح تماس کمتری با خارج داشته باشند، میزان تلفات آن‌ها کمتر خواهد بود. پوشاندن کود با پلاستیک از تلفات ناشی از آبشویی جلوگیری می‌کند و سود حاصل از این عمل هزینه اضافی پوشش پلاستیکی را توجیه می‌نماید. میزان تلفات ازت از کود بستر دام به صورت آمونیاک یا گاز نیتروژن زمانی که کود فشرده شود حدود ۱۰ درصد و چنانچه فقط بر روی هم انبار شده و زیر و رو شود تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. در حالیکه میزان تلفات به صورت گاز از مدفوع آبکی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد است. پخش کردن کود در سطح وسیع نیز باعث تلفات از طریق آبشویی و تبخیر می‌گردد. کارایی کاربرد در بهار به دلیل آبشویی کمتر ازت در این فصل بیشتر از پاییزه و زمستان است.

جدول ۲: نسبتی از عناصر غذایی قابل دسترس در فصل کاربرد کود (a).

نوع کود	ازت	فسفر	پتاس
کود بستر گاو	۲۵	۶۰	۶۰
کود بستر انواع طیور	۶۰	۶۰	۷۵
مدفوع آبکی گاو	۳۰ (b)	۵۰	۹۰
مدفوع آبکی طیور	۶۵	۵۰	۹۰

(a) مقادیر قابل دسترس در بهار، این مقادیر در پاییز و زمستان برای ازت کمتر است.

(b) چنانچه کود با خاک مخلوط گردد، مقدار فوق ۵۰٪ خواهد بود.

کودهای دامی بر اساس نوع دام

- کود اسبی

این کود نسبتاً خشک است ، از ازت غنی بوده ، به سرعت تخمیر شده و حرارت زیاد تولید می‌کند و به آن کود گرم نیز می‌گویند. در اراضی سرد و مرطوب مصرف کود اسبی بر سایر کودها ترجیح دارد، این کود برای گیاهان گلدار، صیفی، گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای و برای سبزی‌هایی که رشد سریع و عمر کوتاه دارند و همچنین برای گیاهان اسید دوست، توصیه می‌شود. قابلیت استفاده عناصر غذایی آن متوسط می‌باشد.

اسب مقدار زیادی علف هرز می‌خورد و غذای خود را نرم و پودر نمی‌کند و در نتیجه تعدادی از بذور علف هرز سالم از دستگاه گوارش آن عبور می‌کنند و به همین علت کود اسبی بذر علف هرز زیادی دارد.

- کود گاوی

میزان آب کود دامی بیشتر از کود اسبی است (کود تازه تولید شده در گاوداری‌ها، دارای رطوبتی ۸۰ درصد است) و به خاطر بستری که از کاه دارد به کندی تجزیه می شود و حرارت آن به سرعت بالا نمی رود. گاو مقدار زیادی علف می‌خورد که آن‌ها را خوب جویده و خرد می‌کند، سیستم

گوارش گاو کارایی بیشتری در هضم غذا دارد و در نتیجه کود گاوی بذر علف هرز کمتری دارد. آزاد سازی عناصر غذایی از کود گاوی تا میزان ۵۰ درصد ممکن است بیش از ۱۸ هفته طول بکشد.

- کود گوسفندی

بسیار خشک است و به جهت نداشتن بستر، کود آن نسبتاً زود تجزیه شده و مورد استفاده قرار می گیرد و از نظر حرارت تولیدی نسبتاً گرم است.

- کود پرندگان

از نظر مواد غذایی بسیار غنی است و مقدار مصرف آن بایستی به مقدار کم و با احتیاط صورت گیرد، بهتر است برای جلوگیری از سوختگی گیاه آن را با سایر کودها مخلوط کرد. به خاطر بستر خاک اره که دارند نسبت کربن در این کودها بالاست.

- کود ماهی

میزان فسفر و ازت در کود ماهی بالاتر از بقیه کودهای حیوانی می‌باشد، در برخی منابع شوری این کود کمتر از سایر کودهای دامی گزارش شده است، به دلیل عدم وجود بستر با منشاء کربن زیاد، سرعت تجزیه کود ماهی بالا بوده و سریع در اختیار گیاه قرار می گیرد.

کود بستر دام

این نوع کود، شامل مدفوع و مواد بستر دام (کاه و کلش) است که متناوبا بر روی هم انباشته شده و در حال تجزیه هستند. گاهی این مواد بر روی هم انباشته نگردیده و هر روز از بستر دام تخلیه می‌شوند. در بیشتر مرغداری‌ها معمولا از تراشه چوب برای تهیه بستر استفاده می‌شود که به سختی تجزیه می گردد (مانند بستر جوجه گوشتی). یکی از انواع مهم کودهای مرغی جامد، کودهای مرغی خانگی است. این کودها، معمولا فاقد لاشبرگ و بقایای دیگر هستند که بر روی تخته‌های نازک یا گودال‌های زیر قفس‌ها جمع آوری می گردند و در معرض هوا به آرامی خشک می‌شوند.

مدیریت کود بستر دام

به دلیل دسترسی سریع و آسان به عناصرغذایی موجود درکود بستر دام، مدیریت مناسب و توجه به شرایط آب و هوایی و زمان مصرفی کود بسیار حائز اهمیت است. بطور کلی مدیریت این نوع کود، به دو طریق انجام می‌شود:

- پخش لایه نازکی از کود تازه در سطح خاک (۱۰ تن در هکتار)

در این روش فعالیت‌های میکروبی و بیولوژیکی و فرایند تجزیه عمدتاً در داخل خاک انجام می‌شود و این امر باعث آزاد شدن بیشتر عناصر غذایی از موادآلی موجود در خاک می‌گردد. به‌علاوه در این روش کود به عنوان مالچ عمل می‌کند و همچنین باعث افزایش پتانسیل مقاومت به بیماری‌ها در خاک می‌گردد.

- استفاده از کود انبار شده

در این حالت مدت ذخیره کود نباید بیش از شش ماه باشد. انبار کردن کود باعث ایجاد تغییرات شیمیایی مهمی در آن می‌گردد که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تبدیل اوره به ترکیبات آمونیوم.
- تخمیر کربوهیدرات‌های موجود در مواد بستر و در نتیجه تولید گرما، گازهای مختلف (مانند دی‌اکسید کربن، متان و هیدروژن) و همچنین توده پوسیده‌ای از مواد آلی که تیره‌تر از مواد اولیه بوده و غنی از ازت می‌باشد.
- تجزیه پروتئین‌های موجود در فضولات و مواد بستر به ترکیبات ساده ازت‌دار، مانند آمونیاک.
- تثبیت ازت به صورت پروتئین در باکتری‌ها.

کودها می‌توانند با توجه به میزان اکسیژن تحت شرایط مختلفی انبار شوند. انبار کردن کود در شرایط مناسب باعث تلفات ناشی از آبشویی و تولید مواد سمی و همچنین بوی نامطبوع می‌گردد.

روش‌های فراوری کود دامی

روش سرد

یک روش سنتی برای انبار کردن کود بستر دام است. در این روش کود به دقت انباشته و فشرده می‌شود. به‌طوری که هوای داخل توده کود کاملاً تخلیه شده و شرایط بی‌هوازی ایجاد می‌گردد. در این حالت، حرارت توده کود در حدود ۳۰ درجه سانتیگراد باقی خواهد ماند. از مزایای این روش کاهش تلفات آمونیاک در اثر تبخیر است. تحت چنین شرایطی (بی‌هوازی)، بذر بسیاری از علف‌های هرز و همچنین بیماری‌ها به علت عدم وجود اکسیژن قادر به فعالیت نبوده و از بین می‌روند.

روش گرم

در این روش لایه‌های مختلف کود به فاصله زمانی ۲ تا ۴ روز یک بار بر روی هم انبار می‌شوند. قبل از افزودن هر لایه، ابتدا تجزیه هوازی انجام می‌شود و دما به ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. به تدریج که لایه‌ها بر روی هم انباشته می‌شوند، تجزیه در لایه‌های زیرین به صورت بی‌هوازی انجام می‌گردد و دما به ۳۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد. در این حالت، کود پس از ۳ ماه قابل استفاده بوده و محتوای کربن آن بیشتر از کمپوست است. در این روش کود فشرده نمی‌شود و ایجاد شرایط بی‌هوازی و فشردگی لایه‌های زیرین ناشی از فشار لایه‌های بالایی است.

روش کمپوست سازی

در فرایند تهیه کمپوست، تجزیه کود دامی معمولاً در شرایط هوازی انجام می‌شود. با افزایش فعالیت میکروبی و بیولوژیکی دمای داخل توده کمپوست به بیش از ۶۰ درجه سانتیگراد می‌رسد و بعد از چند هفته باز هم افزایش می‌یابد. پایداری بیشتر و کاهش حجم تا حدود ۵۰ درصد هوموس حاصل از این فرایند باعث حفظ مواد آلی خاک برای مدت طولانی‌تر و سهولت پخش آن در مزرعه می‌شود. در این حالت سرعت معدنی شدن کاهش می‌یابد و عناصر غذایی با سرعت کمتری رها شده و به تدریج در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. علت این امر کاهش منابع انرژی مورد نیاز برای فعالیت موجودات زنده خاک است که با افزودن برخی عناصر غذایی کم محلول مثل فسفات معدنی و پودر سنگ به کمپوست مرتفع می‌گردد. بالا بودن درجه حرارت در توده کمپوست و وجود برخی آنتی‌بیوتیک‌ها و حشرات باعث از بین رفتن بذور علف‌های هرز، عوامل بیماری‌زا و آفات می‌شوند.

آلودگی حاصل از کودهای آلی

ورود اضافات کشاورزی به ذخایر آب، باعث آلودگی آب می‌شود. آزاد شد گازهای متان و آمونیاک از توده کود یا کمپوست باعث ایجاد اثر گلخانه‌ای و بارش باران‌های اسیدی می‌گردد. خروج روناب از توده کمپوست در اثر بارندگی و در نتیجه آبشویی عناصر غذایی به درون خاک نیز مساله آلودگی را تشدید می‌کند. بنابراین توده کود باید پوشش مناسبی داشته و بستر آن غیر قابل نفوذ باشد و همچنین روناب آن به طرف مخازن مخصوصی هدایت شده و جمع‌آوری گردد.

آزمایشات مختلف حاکی از این است که شرایط بی‌هوازی خاک در زیر توده کود باعث دنیتریفیکاسیون نیترات حاصل از آبشویی و در نتیجه آزاد شدن ازت به اتمسفر می‌گردد. نفوذ نیترات به لایه‌های پایین خاک بسیار کم است به‌طوری‌که در خاک‌های شنی در یک منطقه محدود حدود ۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. همچنین وجود مقادیر زیاد موادآلی از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باعث جذب برخی عناصر غذایی مانند پتاس توسط کمپلکس رس–هوموس می‌شود، ولی اینطور گزارش شده که ۶۰ درصد از پتاس موجود در توده کود تلف می‌شود. وجود برخی مواد جاذب آب مانند کاه و کلش نقش به‌سزایی در کاهش آبشویی عناصرغذایی از توده کود دارد. در مقایسه با سایر کودها میزان آبشویی نیترات از کمپوست کمتر است. مسئله مهم در استفاده از کمپوست، زمان پخش کود است که باید طوری انتخاب شود که میزان آبشویی و آلودگی در حداقل مقدار خود باشد. همچنین پخش کود به دفعات و به صورت لایه نازک مؤثرتر از پخش آن در یک نوبت است.

مهمترین شاخص‌های پوسیدگی کودهای آلی

- نسبت کربن به نیتروژن (C/N)

نسبت کربن به نیتروژن بیانگر تعادل بین مواد غذایی و انرژی موجود در کود است و در حالت مطلوب باید بین ۱:۲۰ تا ۱:۳۵ بسته به کودآلی مورد استفاده باشد. در صورت پایین بودن بیش از حد این نسبت، کربن کافی برای میکرواورگانیسم‌ها وجود ندارد و بنابراین نیتروژن موجود طی فرایند تصعید تلف می‌گردد. چنانچه میزان این نسبت زیادتر از حد تعادل گفته شده باشد این امر باعث

کاهش مواد غذایی به ویژه ازت قابل دسترس برای ادامه فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌شود. جدول ۳ به نسبت کربن به نیتروژن برخی مواد آلی اشاره می‌نماید.

جدول ۳: ترکیب تقریبی مواد مناسب برای تهیه کودآلی

مواد آلی اولیه	ازت (N) (درصد وزن خشک)	نسبت C/N (x:1)
ادرار	۱۵–۱۹	۰/۸
خون خشک شده	۱۰–۱۴	۳
سم و شاخ	۱۲	–
مدفوع انسان و فاضلاب شهری	۵/۵–۶/۵	۸
استخوان	۴	۸
علف‌های چمنی	۴	۲۰
پس مانده‌های صنایع تخمیری مالت	۳–۵	۱۵
کود بستر دام	۲/۲	۱۴
ساقه ارزن و نخود	۰/۷	۷۰
کاه گندم، جو و برنج	۰/۴–۰/۶	۸۰–۱۰۰
اضافات فیبر نارگیل	۰/۵	۳۰۰
برگ‌های خزان یافته	۰/۴	۴۵
بقایای نیشکر	۰/۳	۱۵۰
خاک اره پوسیده	۰/۲	۲۰۰
خاک اره تازه	۰/۱	۵۰۰
کاغذ	۰	بی نهایت

- رنگ

رنگ کودآلی تهیه شده از رنگ موادآلی اولیه تیره می‌باشد و این امر به دلیل تبدیل ترکیبات آلی اولیه به ترکیبات هوموسی با رنگ تیره‌تر، درجه پلیمریزاسیون بیشتر، وزن مولکولی بیشتر، میزان اکسیژن کمتر، میزان کربن بیشتر، میزان اسیدیته قابل تبادل کمتر و درجه حلالیت کمتر می‌باشد. ترکیبات ساده موجود در مواد اولیه به راحتی در طی فرایند پوسیدگی شکسته شده و به مصرف میکروارگانیسم‌های خاک می‌رسند.

- بو

ترکیب کود نهایی بعد از فرایند پوسیدگی، بوهای نامطبوع ترکیبات اولیه و ترکیبات میانه دوره پوسیدگی را ندارد، زیرا در طول فرایند بر اثر واکنش‌های بیوشیمیایی، ترکیبات فرار گازی از موادآلی خارج شده و ترکیبات نهایی از ثبات بیشتری برخوردارند. بنابراین از میزان بوی ترکیبات کاسته خواهد شد.

- چگالی

همانطور که در بالا اشاره شد بخشی از ترکیبات ساده آلی در طی فرایند پوسیدگی به گازهای فرار تبدیل شده و از ماده خارج می‌شوند و بخشی بصورت ترکیبات پیچیده‌تر با درجه پلیمریزاسیون بالاتر و وزن مولکولی بیشترتبدیل می‌گردند و در نهایت چگالی یا جرم حجمی موادآلی نهایی بیشتر از (حدود دو برابر) مواد اولیه خواهد بود.

استفاده از ماده آلی در کشاورزی پایدار

با توجه به مشکلات عدیده‌ای که برای اکوسیستم خاک در مناطق مختلف، بویژه خاک‌های کشاورزی بوجود آمده، استفاده از موادآلی در کشاورزی و نیل به کشاورزی پایدار امری ضروری است. در واقع کشاورزی پایدار رویکرد به سمت طبیعت و استفاده از پتانسیل‌های طبیعی خاک است و مواد آلی به عنوان رکن اصلی کشاورزی پایدار به حساب می‌آیند. استفاده ناصحیح از خاک و کودهای شیمیایی منجر به تخریب هرچه بیشتر طبیعت و خاک گشته و خسارت‌های هنگفتی از نظر

زیست محیطی، کشاورزی و به دنبال آن اقتصادی و اجتماعی را در پی داشته است. استفاده از موادآلی در کشاورزی پایدار به طرق مختلف اثرگذار است از جمله موارد مهم:

- کاهش فرسایش‌پذیری خاک
- افزایش حاصلخیزی خاک
- کاهش تراکم‌پذیری خاک
- اصلاح فاکتور کربن به نیتروژن در خاک
- افزایش فعالیت‌های جانداران خاک
- افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک
- افزایش ظرفیت نگهداری خاک
- کاهش تبخیر و تعرق
- بهبود قابلیت نفوذ آب در خاک
- افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به مطالب فوق و اثرات مطلوب غیرقابل انکار افزایش موادآلی به خاک، استفاده مرتب و کارشناسی از منابع مختلف کودهای‌آلی می‌تواند نقش به‌سزایی در بهبود کیفی خاک و فراهمی عناصر غذایی، کاهش مشکلات زیست محیطی، بهبود و رشد کشاورزی و نیل به سوی کشاورزی پایدار خواهد داشت. استفاده از کودهای آلی به دلیل اثرات مثبت طولانی مدت نیز می‌تواند تضمینی برای حفظ منابع کشاورزی برای آیندگان باشد. از طرفی به دلیل برگشت دادن منابع کربن به خاک کمک شایانی به چرخه کربن در طبیعت و کاهش آلودگی ناشی از گازهای گلخانه‌ای خواهد نمود. بنابراین پیشنهاد می‌شود سالانه بر اساس نیاز گیاه مورد کشت و آزمایشات مدون خاکشناسی زیر نظر کارشناسان مجرب میزان مناسبی از موادآلی در دسترس، مورد استفاده قرار گیرد. برای تعیین مقدار کود حیوانی به فاکتورهایی نظیر ماده آلی خاک، نوع گیاه مورد کشت، بافت خاک، میزان باران باید توجه داشت. مثلاً برای خاک‌هایی که از لحاظ ماده‌آلی فقیر باشند باید میزان بیشتری کودآلی

مصرف نمود، همچنین در خاک‌هایی که دارای بافت سبک هستند نسبت به خاک‌های سنگین مصرف کودآلی بیشتر خواهد بود و یا در مناطقی که میزان بارندگی زیاد باشد مصرف کود زیادتر خواهد شد. همچنین نیاز گیاهان مختلف به کود آلی متفاوت می‌باشد.

منابع

۱- ن. لامپکین. ترجمه. ع.کوچکی، ع. نخ‌فروش، ح. ظریف کتابی. ۱۳۷۶. کشاورزی ارگانیک، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- ع. الف. صفری سنجانی. تالیف. ۱۳۹۴. موادآلی خاک، انتشارات دانشگاه بوعلی‌سینا.

۳- ر. پراساد، ج. پاور. ترجمه. م. معزاردلان، غ. ثواقبی فیروزآبادی. ۱۳۸۱. مدیریت حاصلخیزی خاک برای کشاورزی پایدار، انتشارات دانشگاه تهران.

۴- و. تسیشمن. ترجمه. پ. عزیزی، ع. جعفری صیادی. ۱۳۸۴. مواد هوموسی، انتشارات دانشگاه گیلان.

۵- م. نادی. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر سطوح مختلف چند نوع ورمی‌کمپوست بر رشد و ترکیب شیمیایی نهال پسته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه زنجان.