نشریه علمی مدیریت اراضی/ جلد ۱۰ / شماره ۲ / ۱۴۰۱
DOI: 10.22092/LMJ.2022.127395

اثر کاربرد کودهای دامی بر جذب عناصر غذایی دو رقم برنج و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از برداشت

عباس شهدی کومله[1]، سیدرضاسیدی و مریم فروغی

استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
Shahdiabbas8@gmail.com
کارشناس مرکز بین‌المللی برنج آسیای مرکزی و غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.**sr.seyedi63@yahoo.com**
کارشناس مرکز بین‌المللی برنج آسیای مرکزی و غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.**mforoughi75@gmail.com**

دریافت: دی ۱۴۰۰ و پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

چکیده

کودهای دامی به‌عنوان جایگزین مناسب کودهای شیمیایی ضمن تأمین عناصر غذایی گیاه به پایداری اکوسیستم‌های زراعی کمک می‌نمایند. هدف این مطالعه بررسی تأثیر کاربرد منابع و سطوح مختلف کودهای آلی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شالیزار بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کودهای مرغی (۲/۵، ۵ و ۱۰ تن در هکتار)، گاوی (۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و گوسفندی (۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) در نظر گرفته شد. طبق نتایج، مصرف ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی موجب افزایش هدایت الکتریکی به‌میزان ۰/۴۱ دسی‌زیمنس بر متر، نیتروژن کل و کربن آلی به‌ترتیب به‌میزان ۰/۱۴ و ۳ درصد و مصرف ۲۰ تن در هکتار کود گاوی موجب افزایش فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک به‌ترتیب به‌میزان ۸/۶ و ۱۷۳/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، بیشترین میزان جذب نیتروژن (۴۸/۶ کیلوگرم در هکتار) و فسفر دانه (۳۳/۱ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم کاه (۷۸ کیلوگرم در هکتار) رقم گیلانه و بیشترین میزان جذب نیتروژن (۴۴/۹ کیلوگرم در هکتار) و فسفر دانه (۲۹/۶ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم کاه (۷۵/۹ کیلوگرم در هکتار) رقم هاشمی از مصرف ۲۰ تن در هکتار کود گاوی حاصل شد. طبق نتایج حاصله، مصرف ۲۰ تن در هکتار کود گاوی به‌دلیل بهبود حاصلخیزی خاک، نسبت جبران ۸۰ درصدی عملکرد شلتوک نسبت به تیمار مصرف کودهای شیمیایی در کشت ارقام هاشمی و گیلانه و تولید محصول سالم توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، نیتروژن، فسفر، کود گاوی، کود مرغی

[1]- آدرس نویسنده مسئول: مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

مقدمه

کیفیت خاک در هر سیستم کشاورزی به‌شدت تحت تأثیر منابع تغذیه‌ای، ویژگی خاک، نوع محصول و روش‌های مدیریت مزرعه است (ماهاجان و همکاران، ۲۰۲۱). در دهه پنجاه میلادی با پایه‌ریزی و شروع انقلاب سبز، نظام کشاورزی سنتی به سمت نظام کشاورزی فعلی حرکت کرد. اهداف مورد انتظار انقلاب سبز، تولید زیاد محصولات کشاورزی در واحد سطح و تأمین غذا برای جمعیت در حال رشد کره زمین بود. با گذشت زمان نسبتاً طولانی از وقوع این پدیده و پیامدهای منفی ناشی از آن، بسیاری از روش‌های کشاورزی متداول با اتکا بیش از حد به نهاده‌های شیمیایی به‌دنبال حصول حداکثر عملکرد محصول در واحد سطح بدون توجه به کیفیت بهداشتی محصولات کشاورزی و حفظ منابع زیست محیطی هستند (پاپ‌زن و شیری، ۱۳۹۱). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی رایج به‌دلیل اثرات منفی بر سلامتی انسان و محیط زیست و کیفیت زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک مورد انتقادات فراوانی قرار داشته و می‌تواند با کاهش تدریجی قابلیت تولید برنج به‌عنوان تهدیدی جدی برای توسعه پایدار کشت محصول برنج و حصول امنیت غذایی به‌شمار رود (اقبال و همکاران، ۲۰۲۰؛ کاکار و همکاران، ۲۰۲۰؛ ایروان و آنتریاندارتی، ۲۰۲۱؛ هاک و همکاران، ۲۰۲۱). از این رو، یکی از مهم‌ترین نظام‌های کشاورزی جایگزین برای تولید مواد غذایی، کشاورزی اکولوژیک است که علاوه بر افزایش بازده محصول در واحد سطح، اکوسیستم را به‌عنوان یک رکن زنده مدنظر قرار داده و از آثار سوء و تبعات منفی روش‌های برگرفته از انقلاب سبز جلوگیری می‌کند. در این سیستم کشاورزی سعی بر این است که از نهاده‌های شیمیایی به‌میزان کمتر و در حد غیرخطرناک استفاده شده و به منابع سنتی- طبیعی نظیر کودهای دامی در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان توجه بیشتری شود. استفاده از کودهای دامی در تولید محصولات کشاورزی از جمله برنج از قدیم رایج بوده است و یکی از جنبه‌های مهم در چرخش عناصر غذایی محسوب می‌شود (شهدی‌کومله، ۱۳۹۸؛ شهدی‌کومله و همکاران، ۱۳۹۹). کودهای آلی از جمله کودهای حیوانی قادر به افزایش قدرت نگهداری آب، کاهش تنش‌ها از جمله تنش خشکی، افزایش تنوع میکروبی، بهبود ساختمان و جلوگیری از فرسایش خاک می‌باشند (برتولا و همکاران، ۲۰۲۱؛ سیت و همکاران، ۲۰۲۱). این کودها علاوه بر تأمین بخشی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه، رشد و عملکرد محصول را بهبود بخشیده و کیفیت و سلامت محصول را افزایش داده و می‌توانند به‌عنوان راهکاری مناسب برای کاهش و تعدیل مصرف نهاده‌های شیمیایی به‌کار گرفته شوند (اقبال و همکاران، ۲۰۲۰). در کشور ما به‌دلیل پرورش دام و طیور در کنار زراعت برنج، همواره در سالیان دور از فضولات حیوانی به‌عنوان کود در شالیزارهای مناطق شمالی استفاده می‌شد به‌طوری‌که با رهاسازی دام و طیور پس از برداشت برنج و یا جمع‌آوری فضولات دامی و پخش آن‌ها در قطعات زمین طی ماه‌های منتهی به بهار، بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برنج تأمین می‌شد (شهدی‌کومله، ۱۳۹۸). نتایج یکی از مطالعات در این زمینه نشان می‌دهد که کودهای آلی دارای اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بسیاری بر بهبود شاخص‌های کیفی خاک و تغذیه گیاه برنج هستند (مالی و همکاران، ۲۰۰۶؛ نیشیکاوا و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج بررسی دیگر نشان می‌دهد که کاربرد کود حیوانی و کمپوست علاوه بر بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک موجب افزایش معنادار عملکرد و اجزای عملکرد برنج در مقایسه با شاهد می‌شود (بجباروا و همکاران، ۲۰۱۳). یافته‌های زین و همکاران (۲۰۱۷) نشان می‌دهد که مدیریت مناسب کودهای آلی به‌منظور حل مشکل کمبود فسفر در خاک‌های اسیدی که محدودیت عمده‌ای در تولید برنج به‌شمار می‌رود می‌تواند به فراهمی بیشتر این عنصر در ریزوسفر گیاه برنج کمک نماید. همچنین، طبق بررسی برخی محققان مشخص شده است که میزان تأثیر کود دامی در خاک به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کود دامی و عوامل مدیریتی و محیطی مختلف از جمله میزان و زمان استفاده، نوع خاک و شرایط آب و هوایی بستگی دارد (راین

و اولا، ۲۰۲۰). از این رو، به‌نظر می‌رسد که پژوهش حاضر تحت عنوان " اثر کاربرد کودهای دامی بر جذب عناصر غذایی دو رقم برنج و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از برداشت" با هدف کاهش و تعدیل مصرف کودهای شیمیایی، تعیین حد بهینه مصرف کودهای دامی و بررسی اثرات این منابع سنتی- طبیعی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شالیزار گام مؤثری برای ترویج روش‌های کم‌نهاده و بدون نهاده در تولید محصولات کشاورزی بوده و ضمن حفظ منابع تجدیدناپذیر از انواع آلودگی به پایداری در اکوسیستم های تولید برنج سالم- ارگانیک کمک قابل‌توجهی خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی (سامانه سیستم کشت بر پایه برنج) مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت به‌مدت دو سال (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل منابع کود آلی شامل کود مرغی فرآوری شده، کود گاوی و کود گوسفندی کاملاً پوسیده هر یک در سه سطح: کود مرغی (۲/۵، ۵ و ۱۰ تن در هکتار)، کود گاوی (۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و کود گوسفندی (۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و دو رقم برنج هاشمی و گیلانه در نظر گرفته شدند. انتخاب نوع و سطوح کودهای دامی طبق بررسی مروری جامع کاربرد انواع کودهای دامی در کشت برنج بر اساس مقادیر حداقل، بهینه و حداکثر (شهدی‌کومله، ۱۳۹۸) و در نظر داشتن قیمت، قابلیت دسترسی و سابقه مصرف این کودها در اراضی شالیزاری صورت گرفت. به‌منظور بررسی اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان رشد، عملکرد، میزان جذب عناصر غذایی و همچنین، خصوصیات شیمیایی خاک شالیزار از دو رقم برنج مختلف بومی (هاشمی) و اصلاح شده (گیلانه) استفاده شد. ارقام اصلاح شده برنج نسبت به ارقام بومی دارای سیستم ریشه گسترده‌تر و افشان‌تر و نسبت ریشه به اندام هوایی بالاتری هستند لذا به‌نظر می‌رسد که این ارقام علاوه بر صفات رشدی و عملکرد شلتوک بالاتر از کارآیی جذب عناصر غذایی بالاتری نسبت به ارقام بومی- محلی در اثر کاربرد منابع و سطوح مختلف کودهای دامی برخوردار باشند (شهدی‌کومله‌a و همکاران، ۱۴۰۰).

علاوه بر تیمارهای فوق‌الذکر، یک تیمار مصرف کودهای شیمیایی (بر اساس نتایج آزمایش تجزیه خاک مزرعه آزمایشی و توصیه‌های فنی مؤسسه تحقیقات برنج) و تیماری نیز بدون مصرف کودهای آلی و شیمیایی (شاهد بدون مصرف کود) در نظر گرفته شد. مصرف کود در تیمار شاهد کود شیمیایی بر اساس نتایج تجزیه خاک مزرعه آزمایشی و توصیه‌های فنی مؤسسه تحقیقات برنج کشور برای ارقام برنج هاشمی و گیلانه انجام شد، به‌طوری‌که ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره برای رقم هاشمی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای رقم گیلانه (دو سوم در مرحله پایه و یک سوم در مرحله حداکثر پنجه‌زنی)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل (در پایان مرحله آماده‌سازی زمین) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کلرور پتاسیم (در پایان مرحله آماده‌سازی زمین) به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌های آزمایشی پخش شد.

معیار انتخاب زمین: قطعه زمینی که به‌منظور اجرای این پروژه تحقیقاتی در نظر گرفته شد به مساحت تقریبی ۳۷۰۰ مترمربع (به طول ۹۰ متر و عرض ۴۱ متر) بود. از نظر موقعیت جغرافیایی این مزرعه پژوهشی در ۳۱ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ و ارتفاع هفت متر پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد واقع شده است. خاک مزرعه پژوهشی از نوع ورتی‌سول و آلفی‌سول، بافت آن سیلتی- رسی و شیب، زیر یک درصد بود. مزرعه پژوهشی مورد نظر طی چندین سال آیش‌گذاری شده و هیچ‌گونه کشت و زرعی در آن انجام نشده بود، به‌عبارتی بکر بودن مزرعه جزو شرایط اصلی اجرای این پروژه در نظر گرفته شد. با توجه به اثرات بلندمدت کودهای دامی بر خاک و احتمال اثرگذاری بقایای برجای مانده مصرف آن‌ها بر نتایج سال بعد، سال دوم آزمایش در بخش دیگری از همان قطعه زمین

انجام شد. قبل از انجام هر گونه عملیات خاک‌ورزی در هر سال، یک نمونه خاک مرکب طبق الگوی زیگزاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک تهیه شد و ویژگی‌های شیمیایی آن (قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، پ‌هاش، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده) در آزمایشگاه شیمی خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه قبل از کشت

سال	پ‌هاش	کلاس بافت خاک	درصد اجزاء تشکیل دهنده خاک (%)			قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل دسترس (mg/ kg)	پتاسیم قابل دسترس (mg/ kg)
			رس	سیلت	شن					
۱۳۹۷	۷/۰۳	سیلتی- رسی	۵۰	۴۳	۷	۰/۸۳	۱/۳۴	۰/۱۳	۵/۳	۱۹۲
روش اندازه‌گیری	pH متر	هیدرومتر				هدایت‌سنج الکتریکی	اکسایش تر	کجدال	اولسن	استات آمونیوم
منبع	علی‌احیائی و بهبهانی، ۱۳۷۲						پیچ و همکاران، ۱۹۸۲	برمنر و موینی، ۱۹۸۲	اولسن و سامرز، ۱۹۸۲	کلوت، ۱۹۸۶

پراکنش نزولات جوی محل آزمایش: بررسی الگوی تغییرات جوی طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۹ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کشاورزی- رشت که نزدیک‌ترین ایستگاه به محل اجرای آزمایش بود نشان داد که میانگین درازمدت شاخص‌های اقلیمی نظیر بارندگی و دما محل اجرای آزمایش به‌ترتیب برابر ۱۲۸۷/۲ میلی‌متر و ۱۶/۷ درجه سلسیوس بود. همچنین، بررسی پراکنش بارندگی و نوسانات دما طی سال‌های زراعی ۹۸ -۱۳۹۷ و ۹۹ -۱۳۹۸ نشان داد که فروردین ماه سال ۱۳۹۷ با میانگین دمای حداقل ۸/۷ درجه سلسیوس و تیر ماه سال ۱۳۹۷ با میانگین دمای حداکثر ۳۲/۸ درجه سلسیوس به‌ترتیب سردترین و گرم‌ترین ماه‌های دوره رشد بودند. همچنین، نتایج نشان داد که مجموع میزان بارندگی طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌ترتیب برابر با ۱۹۸/۹ و ۳۷۳/۵ میلی‌متر بوده است.

فرآوری تیمارهای آزمایشی: برای پوساندن کودهای دامی، توده کود بر روی هم انبار شد و به‌اندازه یک‌چهارم حجم آن، کاه و کلش برنج اضافه شد. وجود کاه و کلش موجب تسریع فرآیند تخمیر کود و تأمین سلولز مورد نیاز میکروارگانسیم‌ها می‌شود. مخلوط حاصل به‌طور یکنواخت زیر و رو شد و روی آن با پلاستیک ضخیم کاملاً پوشانده شد. عملیات زیر و رو کردن مجدد کود و آب‌پاشی (در صورت نیاز) به‌صورت ماهانه طی مدت شش ماه انجام شد تا فرآیند پوسیدگی کودهای دامی کامل شود. پوسیدگی کامل کود سبب می‌شود که از میزان آلودگی آن به بذر علف‌های هرز و تخم آفات و عوامل بیماری‌زا تا حد بسیار زیادی کاسته شود.

انتخاب و توزین تیمارهای آزمایشی: کودهای دامی حاوی بیشتر عناصر مورد نیاز گیاه برای رشد است و میزان این عناصر در این قبیل نهاده‌ها بسته به نوع، سن حیوان و منابع غذایی متفاوت است. به این منظور و برای اثربخشی بهتر کودهای دامی، ویژگی‌های شیمیایی هر یک از انواع این کودها تعیین شد، به‌طوری‌که یک نمونه مرکب از هر یک از انواع کودهای دامی تهیه شد و برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی به آزمایشگاه شیمی بخش خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور ارسال شد (جدول ۲).

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی هر یک از انواع کودهای دامی مورد مطالعه

نوع کود	قابلیت هدایت الکتریکی یک به پنج (dS/m)	پ‌هاش یک به پنج	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر کل (%)	پتاسیم کل (%)
کود مرغی فرآوری شده	۱۱/۳	۷/۵	۳۸/۱	۰/۸	۰/۷	۲/۲
کود گاوی کاملاً پوسیده	۱۰/۱	۸/۲	۲۳/۳	۰/۵	۰/۶	۲/۶
کود گوسفندی کاملاً پوسیده	۱۳/۸	۸/۱	۱۷	۰/۳	۰/۲	۱/۲

پیاده‌سازی طرح و اجرای آزمایش: عملیات شخم اولیه به‌وسیله ادوات کشاورزی مناسب (روتیواتور) انجام شد و پس از آن عملیات مربوط به نخ‌کشی، کرت‌بندی، مرزبندی و حفر ورودی و خروجی‌های آب انجام شد. ابعاد هر کرت ۴×۳ (۱۲ مترمربع) در نظر گرفته شد. قبل از آغاز عملیات آماده‌سازی نهایی زمین، تیمارهای آزمایشی شامل کودهای مرغی فرآوری شده، کود گاوی و کود گوسفندی کاملاً پوسیده به‌دقت توزین شده و به‌طور یکنواخت توسط نیروی کارگری در کلیه کرت‌ها پخش شدند. تقریباً یک هفته قبل از نشاکاری، آماده‌سازی نهایی زمین از جمله گل‌خرابی[2] و تسطیح به‌وسیله ماله انجام شد. به‌منظور جلوگیری از اختلاط و نفوذ آب و گل از کرتی به کرت دیگر، عملیات نهایی آماده‌سازی زمین به‌صورت دستی (با بیل) و به‌کمک نیروی کارگری انجام شد. همچنین، حداقل فاصله پنجاه سانتی‌متر مابین کرت‌ها در نظر گرفته شد و کلیه مرزها با پلاستیک ضخیم غیرقابل نفوذ پوشانده شدند. کشت نشاهای برنج ارقام هاشمی و گیلانه به‌فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در اواخر فروردین ماه هر سال انجام شد. نشاهای مورد استفاده برای کشت برنج در مرحله سه تا پنج برگی از خزانه مورد نظر پروژه تهیه شدند. در طول دوره کشت و زرع ارقام برنج از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد. برای کنترل کرم ساقه‌خوار برنج از نصب و جایگذاری تریکوکارت‌های زنبور تریکوگراما (۱۰۰ عدد به‌ازای هر هکتار) به فاصله ده متر استفاده شد و کنترل جمعیت علف‌های هرز از طریق بازدیدهای مرتب روزانه و هفتگی با مبارزه مکانیکی انجام شد. برای تأمین آب مزرعه از آب چاه استفاده شد به‌طوری‌که پس از هدایت آب در داخل جوی و باز کردن ورودی هر کرت، عملیات آبیاری به‌صورت جداگانه انجام شد. ارتفاع آب در کلیه مراحل رشد و نموی گیاه پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از آبیاری مزرعه، تجزیه شیمیایی آب چاه (نیتروژن، فسفر و پتاسیم و بقایای سموم کشاورزی) انجام شد (جدول ۳). طول دوره رشد ارقام هاشمی و گیلانه از زمان بذرپاشی در خزانه تا مرحله رسیدن کامل به‌ترتیب ۱۲۳ و ۱۲۱ روز بود. برداشت در مرحله رسیدگی برنج در اواخر مرداد ماه هر سال زراعی و پس از حذف حاشیه از مساحتی به‌اندازه چهار مترمربع در هر کرت انجام شد و پس از جداسازی دانه و کاه، عملکرد شلتوک (PY[3]) با احتساب رطوبت ۱۴ درصد تعیین شد.

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی آب چاه مورد استفاده در این مطالعه

قابلیت هدایت الکتریکی	pH	نیتروژن کل	نیترات	کربنات	بی‌کربنات	کلر	سولفات	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	نسبت جذب سدیم	کلاس آب آبیاری
(dS/m)	–	(%)	(mg/L)	(meq/L)									–
۰/۸	۷/۲	۰/۰۰۳	۰/۱	۲/۴	۶	۴	۱	۶/۴	۴/۸	۲/۴	۰/۰۴	۱	C_3-S_1

2. -Puddling

3. -Paddy yield

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های شیمیایی خاک

شالیزار: نمونه‌برداری از کلیه کرت‌های آزمایشی پس از برداشت برنج از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری صورت گرفت و اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک (قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، پ‌هاش، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده) در آزمایشگاه شیمی خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. برای تعیین قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، پس از تهیه گل اشباع، عصاره‌گیری به‌وسیله قیف دکانتور، پمپ خلأ و کاغذ صافی انجام شد و مجموع آنیون و کاتیون‌های موجود در عصاره به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری و نسبت به دمای مبنای ۲۵ درجه سلسیوس تصحیح شد. پ‌هاش (pH) خاک به‌وسیله pH متر (علی‌احیائی و بهبهانی، ۱۳۷۲)، کربن آلی به روش اکسایش تر (پیج و همکاران، ۱۹۸۲)، نیتروژن کل به روش کجدال (برمنر و موویني، ۱۹۸۲)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و سامرز، ۱۹۸۲) و پتاسیم قابل جذب با روش استات آمونیوم (کلوت، ۱۹۸۶) تعیین شدند.

تعیین مقدار عناصر غذایی دانه و کاه برنج: برای تعیین دقیق میزان جذب عناصر غذایی، نمونه‌برداری دانه و کاه از کلیه کرت‌های آزمایشی انجام شد و پس از شستشو، پاک‌گذاری و اختصاص کد به هر تیمار، ابتدا به روش هضم تر آماده و میزان جذب عناصر غذایی دانه و کاه ارقام برنج شامل نیتروژن به روش کجدال (ایزک و جانسون، ۱۹۷۶)، فسفر به روش مولیبدات- وانادات (کیو، ۱۹۹۶) و پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر در آزمایشگاه شیمی بخش خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور تعیین شد (امامی، ۱۳۷۵؛ اوستروفسکا و همکاران، ۱۹۹۱). میزان جذب عناصر غذایی دانه و کاه ارقام برنج از حاصل‌ضرب غلظت عناصر غذایی دانه در عملکرد شلتوک و غلظت عناصر غذایی کاه در عملکرد کاه بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد (مسنی و وسلی، ۲۰۱۹).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ (سس، ۲۰۱۱) و همچنین، مقایسه میانگین تیمارها با آزمون توکی در سطوح احتمال پنج و یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اجزای عملکرد و عملکرد شلتوک برنج

طبق نتایج به‌دست آمده اثر سال و کاربرد منابع و سطوح مختلف کودهای دامی بر عملکرد شلتوک به‌ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود. ارقام هاشمی و گیلانه در کلیه تیمارهای کود دامی دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بودند. رقم گیلانه در اکثر تیمارها دارای اجزای عملکرد و عملکرد شلتوک بالاتری نسبت به رقم هاشمی بود به‌طوری‌که طبق نتایج حاصله در بین تیمارهای مصرف کود دامی، بیشترین تعداد پنجه کل (۱۷/۸ عدد) و بارور (۱۷/۳ عدد) در هر کپه، تعداد دانه پر در خوشه (۱۳۰/۳ عدد)، تعداد خوشه در مترمربع (۲۵۲/۷) و عملکرد شلتوک (۴۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد ۲۰ تن کود گاوی کاملاً پوسیده در هکتار در کشت رقم گیلانه حاصل شد. عملکرد شلتوک تابعی از اجزای عملکرد نظیر تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، درصد دانه‌های پر و وزن هزار دانه است (شهدی‌کومله و همکاران، ۱۳۹۹) لذا تغییرات این صفت متناسب با افزایش برخی از اجزای مهم عملکرد کاملاً منطقی و توجیه‌پذیر به‌نظر می‌رسد. همچنین، طبق نتایج مقایسه میانگین، سال دوم آزمایش با میانگین عملکرد شلتوک ۴۰۰۸ کیلوگرم در هکتار دارای میانگین عملکرد شلتوک بالاتری نسبت به سال اول با میانگین ۳۶۵۷ کیلوگرم در هکتار بود (شهدی‌کومله[b] و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج آزمون خاک نشان داد که مصرف کود دامی با افزایش درصد کربن آلی و نیتروژن کل در سال دوم آزمایش موجب بهبود شرایط رشدی در ریزوسفر گیاه و افزایش عملکرد شلتوک ارقام برنج شد (جدول ۱۲). گزارش شده است که افزایش درصد کربن آلی در سال دوم آزمایش با افزایش تنوع و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید

خاک و تولید هورمون‌های محرک رشد، سیدروفورها، ویتامین‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها توسط آن‌ها می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه برنج شود (شهدی‌کومله و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین، این احتمال وجود دارد که افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک در سال دوم آزمایش از طریق افزایش ترشح اسیدهای آلی موجب کاهش اسیدیته خاک (جدول ۱۲) و افزایش حلالیت و جذب برخی از عناصر غذایی شده و به بهبود خصوصیات رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد شلتوک برنج کمک کرده باشد. از طرف دیگر به‌نظر می‌رسد که بهبود شرایط آب و هوایی در سال دوم آزمایش با کاهش سرعت تجزیه کربن، ایجاد شرایط مناسب برای توسعه بیشتر و بهتر ریشه افشان برنج و افزایش جمعیت میکروبی خاک موجب افزایش درصد کربن آلی خاک و تأمین به‌موقع و به‌اندازه عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) طی مراحل حساس پر شدن دانه شده و از طریق کاهش تعداد دانه پوک در خوشه (هفت عدد) در سال دوم نسبت به سال اول آزمایش (۷/۳ عدد) موجب افزایش عملکرد شلتوک ارقام برنج در سال دوم آزمایش شده باشد (شهدی‌کومله[b] و همکاران، ۱۴۰۰). لذا می‌توان گفت که علاوه بر بهبود فرآیند تأمین عناصر غذایی طی مراحل رشد و نمو برنج، اثر متقابل و چندگانه گیاه- میکروب- خاک و عوامل محیطی نیز دارای نقش مهم و به‌سزایی در بهبود صفات رشدی گیاه و حصول عملکرد مطلوب در واحد سطح برای ارقام بومی و اصلاح شده برنج است.

میزان جذب عناصر غذایی دانه و کاه برنج

نیتروژن دانه (N)

طبق نتایج برگرفته از این آزمایش و تجزیه میزان جذب عناصر غذایی دانه ارقام برنج هاشمی و گیلانه، اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان جذب نیتروژن دانه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴). همچنین، در بین تیمارهای مصرف کود دامی بیشترین میزان جذب نیتروژن دانه (۴۸/۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار مصرف ۲۰ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده در کشت برنج رقم گیلانه و کمترین میزان جذب نیتروژن دانه (۱۱/۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت رقم هاشمی بدون مصرف کود حاصل شد (جداول ۵ و ۶).

جدول ۴- نتایج تجزیه مرکب میزان جذب عناصر غذایی دانه و کاه ارقام برنج طی سال‌های زراعی ۹۹ -۱۳۹۷

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		دانه			کاه		
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
		(kg/ha)			(kg/ha)		
سال	۱	۲۵/۲۸^{ns}	۳/۰۶^{ns}	۸/۲۴^{ns}	۴/۹^{ns}	۱۳/۹۵^{ns}	۰/۰۵^{ns}
خطای تکرار× سال	۴	۳۲/۰۹	۷/۸۸	۱/۳۲	۲۱/۲۳	۵/۲۴	۷۹/۲۶
تیمار	۲۱	۵۴۰/۰۹**	۲۳۱/۹۲**	۱۱/۶^{ns}	۸۵/۰۱^{ns}	۲۳/۳۱^{ns}	۹۸۲/۱۵**
هاشمی VS گیلانه	۱	۸۳/۴۹*	۱۹۱/۱۷**	۵۵/۴**	۳۳/۷۸^{ns}	۱/۸۲^{ns}	۱۶۲/۹۴^{ns}
سال× تیمار	۲۱	۲۱/۸۳^{ns}	۶/۸۸^{ns}	۱۱/۷^{ns}	۴۹/۰۲^{ns}	۲۴/۲۵^{ns}	۲۲/۸۲^{ns}
خطا	۸۴	۱۸/۸۴	۶/۶۵	۷/۲۶	۵۴/۱۲	۱۴/۵۶	۴۵/۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۹	۱۰/۸	۱۱/۱	۱۰/۳	۱۱/۴	۱۰/۲

* و ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌داری را نشان می‌دهد

شرستا و همکاران (۲۰۲۰) طی بررسی خود عنوان داشتند که کاربرد کودهای دامی، فعالیت میکروبی خاک را تسریع کرده و می‌تواند کارآیی جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش دهد. در نتایجی مشابه گزارش شد که استفاده از کود دامی موجب جذب بیشتر عناصر غذایی برنج می‌شود به‌طوری‌که این افزایش در سیستم

کشت غرقاب بیشتر از شرایط کشت بدون غرقاب بود (راتیلا و اسکاسینز، ۲۰۲۰). نتایج سایر بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد که در صورت کاربرد تلفیقی کودهای دامی و شیمیایی، میزان جذب نیتروژن و ویژگی‌های خاک (کربن آلی، نیتروژن کل و چگالی ظاهری) نسبت به تیمار کاربرد کود شیمیایی افزایش می‌یابد (اقبال و همکاران، ۲۰۲۰). یافته‌های مصلحی و همکاران (۱۳۹۵) نشان می‌دهد که فراهمی نیتروژن در مرحله زایشی و انتقال آن از برگ و ساقه به‌سمت دانه‌های در حال نمو دلیل اصلی افزایش میزان نیتروژن دانه است. از دلایل محتمل دیگر در توجیه نتایج به‌دست آمده می‌توان به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی حاوی نیتروژن از اندام‌های ذخیره‌ای نظیر برگ و ساقه به دانه‌های در حال نمو و افزایش محتوی عناصر غذایی دانه اشاره نمود. از این رو به‌نظر می‌رسد که با توجه به افزایش محتوی نیتروژن خاک و افزایش فراهمی این عنصر در اثر کاربرد تیمارهای آزمایشی و همچنین، احتمال انتقال مجدد آن به سمت دانه‌های در حال پر شدن حصول چنین نتایجی دور از انتظار نبوده باشد.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان جذب نیتروژن و فسفر دانه رقم هاشمی برنج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

تیمار		نیتروژن	فسفر	پتاسیم
منابع و سطوح کودهای آلی (t/ha)			(kg/ha)	
مرغی فرآوری شده	۲/۵	۳۲^{c}	۱۶/۸^{gh}	۲۲/۱^{a}
	۵	۳۴/۸^{bc}	۱۸^{fg}	۲۲/۲^{a}
	۱۰	۴۲/۶^{ab}	۲۲/۹^{defg}	۲۴/۳^{a}
گاوی کاملاً پوسیده	۵	۴۱/۳^{abc}	۲۱/۴^{efg}	۲۲/۶^{a}
	۱۰	۴۳/۴^{ab}	۲۳/۳^{bcdef}	۲۴/۶^{a}
	۲۰	۴۴/۹^{ab}	۲۹/۶^{ab}	۲۵/۴^{a}
گوسفندی کاملاً پوسیده	۱۰	۴۱/۵^{abc}	۲۲^{efg}	۲۳/۷^{a}
	۲۰	۴۲/۹^{ab}	۲۳^{defg}	۲۴/۸^{a}
	۴۰	۴۴/۲^{ab}	۲۹/۴^{abc}	۲۵^{a}
شاهد	کود شیمیایی (kg/ha)	۴۵/۱^{ab}	۲۹/۶^{a}	۲۵/۶^{a}
	بدون مصرف کود	۱۱/۳^{d}	۹/۵^{i}	۲۱/۲^{a}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معناداری بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد هستند

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان جذب نیتروژن و فسفر دانه رقم گیلانه برنج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و۱۳۹۸

تیمار		نیتروژن	فسفر	پتاسیم
منابع و سطوح کودهای آلی (t/ha)			(kg/ha)	
مرغی فرآوری شده	۲/۵	۳۵/۶^{bc}	۲۱/۱^{efg}	۲۲/۴^{a}
	۵	۴۰^{abc}	۲۱/۷^{efg}	۲۳/۷^{a}
	۱۰	۴۳/۱^{ab}	۲۳/۳^{cdef}	۲۴/۶^{a}
گاوی کاملاً پوسیده	۵	۴۱/۸^{abc}	۲۲/۲^{efg}	۲۳/۷^{a}
	۱۰	۴۳/۵^{ab}	۲۸/۵^{abcd}	۲۴/۷^{a}
	۲۰	۴۸/۶^{a}	۳۳/۱^{a}	۲۵/۹^{a}
گوسفندی کاملاً پوسیده	۱۰	۴۲^{abc}	۲۲/۳^{defg}	۲۴^{a}
	۲۰	۴۳/۵^{ab}	۲۷^{abcde}	۲۴/۸^{a}
	۴۰	۴۵/۲^{ab}	۳۱/۲^{a}	۲۵/۶^{a}
شاهد	کود شیمیایی (kg/ha)	۴۷/۴^{a}	۳۲/۴^{a}	۲۵/۶^{a}
	بدون مصرف کود	۱۴/۳^{d}	۱۱/۶^{hi}	۲۱/۹^{a}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معناداری بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد هستند

فسفر دانه (P)

طبق نتایج این آزمایش اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان جذب فسفر دانه ارقام برنج هاشمی و گیلانه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین تیمارهای مصرف کود آلی، بیشترین میزان جذب فسفر دانه (۳۳/۱ کیلوگرم در هکتار) از تیمار مصرف ۲۰ تن کود گاوی در هر هکتار در کشت برنج رقم گیلانه و کمترین میزان جذب فسفر دانه (۹/۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت رقم هاشمی بدون مصرف کود حاصل شد (جداول ۵ و ۶). فسفر یکی از عناصر پرمصرف برای رشد و نمو گیاه است که در بسیاری از فرآیندهای حیاتی که منجر به پویایی بهتر و عملکرد مطلوب گیاه می‌شود، شرکت می‌کند (باتا و همکاران، ۲۰۲۱؛ دنگ و همکاران، ۲۰۲۱). طبق بررسی‌های صورت گرفته از آن‌جایی‌که جذب برخی عناصر غذایی نظیر فسفر از طریق تماس سطحی ریشه با ذرات خاک صورت می‌پذیرد، لذا این احتمال وجود دارد که ارقام اصلاح‌شده با توسعه حجمی و وزنی بیشتر ریشه نسبت به ارقام بومی- محلی در آزادسازی و افزایش حلالیت فسفر بین لایه‌ای رس موفق‌تر عمل کرده و دارای کارآیی جذب فسفر بالاتر و بهتری باشند (شهدی‌کومله[a] و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین، نتایج تحقیقات نشان داده که کمپوست‌های آلی از لحاظ عناصر غذایی به‌خصوص فسفر، غنی هستند، از این رو موجب افزایش فراهمی فسفر خاک و جذب این عنصر توسط گیاه می‌شوند. نتایج بررسی دیگر نشان داد که کود گاوی منبع خوبی از فسفر است و کاربرد آن میزان جذب فسفر گیاه برنج را معادل مصرف کود شیمیایی فسفره افزایش می‌دهد (نگوین و همکاران، ۲۰۲۱). در نتایجی مشابه گزارش شده است که علیرغم محتوای نسبتاً کم فسفر خاک، کود دامی دارای تأثیری معادل کودهای معدنی بر جذب فسفر بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای مصرف این قبیل نهاده‌ها باشد (آسای و همکاران، ۲۰۲۱). در نتایجی مشابه جیانگ و همکاران (۲۰۲۱) طی یک بررسی گزارش کردند که جذب فسفر کل دانه و کاه برنج در اثر مصرف کود حیوانی افزایش یافت. محققان طی یک بررسی علت فراهمی و جذب فسفر را بهبود وضعیت شیمیایی خاک و عرضه بهتر عناصر غذایی تحت تأثیر کاربرد کمپوست عنوان داشته‌اند (ژو و همکاران، ۲۰۱۳). در بررسی دیگر نشان داده شد که در اختیار گذاشتن تدریجی و مداوم عناصر غذایی در اثر کاربرد کودهای آلی به‌ویژه در دوره پرشدن دانه موجب افزایش حجم ریشه و جذب بیشتر مواد غذایی می‌شود (باریسون، ۲۰۰۳). به‌نظر می‌رسد مصرف ۲۰ تن در هکتار کود گاوی با توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه، افزایش تولید و سرعت انتقال و ذخیره مواد فتوسنتزی (افزایش ظرفیت مخزن) و همچنین افزایش میزان انتقال مجدد این مواد به دانه‌های در حال رشد موجب تولید دانه‌های پر بیشتر نسبت به سایر تیمارهای کود آلی شده باشد. همچنین، گزارش شده است که کاربرد کود گاوی از طریق افزایش تعداد و تنوع ریزجانداران و افزایش تولید اسید کربنیک و تولید اسیدهای آلی، موجب آزادسازی فسفر تثبیت شده بین‌لایه‌ای خاک (افزایش حلالیت فسفر) و بهبود جذب فسفر توسط گیاه می‌شود (صنعتی و همکاران، ۲۰۱۱؛ اپریانی و همکاران، ۲۰۲۱). در نتایجی مشابه گزارش شد که کاربرد کود گاوی به‌میزان ۲۰ گرم به‌ازای هر کیلوگرم خاک، با افزایش فراهمی فسفر تثبیت شده خاک، جذب این عنصر را در شرایط کمبود فسفر و بی‌هوازی افزایش می‌دهد. (رکوتوسون و سوجیموتو، ۲۰۲۰).

نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که جذب فسفر خوشه برنج در مرحله برداشت در اثر کاربرد ترکیبی کود گاوی (۱۰ تن در هکتار) به‌همراه کودهای شیمیایی NPK نسبت به مراحل پنجه‌زنی، آغاز تشکیل خوشه و خوشه‌دهی بیشتر بود (نگوین، ۲۰۲۱). به‌طور کلی در غلات طی دوره‌ای، تجمع ماده خشک در گیاه بیشتر از میزان مصرف آن برای رشد است. در این حالت این مواد مازاد اغلب در ساقه انباشته شده و در مراحل بعدی رشد که معمولاً از دو تا سه هفته پس از گلدهی شروع می‌شود، به دانه انتقال می‌یابد. گیاه طی این مراحل با صرف انرژی به‌دنبال استفاده حداکثر از منابع محیطی برای تولید بیشتر و بهتر دانه است (وهاب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). فسفر به‌عنوان یک عنصر مهم در پر شدن دانه دارای میزان بازجذب بالایی طی مراحل پس از گلدهی است (شهدی‌کومله و همکاران، ۱۳۹۷؛ شهدی‌کومله و همکاران، ۱۳۹۹). به‌نظر می‌رسد که افزایش فراهمی فسفر در ریزوسفر گیاه برنج در اثر کاربرد کودهای آلی

با افزایش جذب و انباشت این عنصر در اندام‌های ذخیره‌ای گیاه (نظیر برگ و ساقه) طی مراحل قبل از گلدهی و بهبود انتقال مجدد این عنصر به سمت دانه‌های در حال رشد طی مراحل زایشی موجب افزایش میزان جذب فسفر دانه شده و حصول چنین نتایجی را کاملاً منطقی و توجیه‌پذیر می‌نماید.

پتاسیم کاه (K)

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان جذب پتاسیم کاه ارقام برنج هاشمی و گیلانه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴). طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان جذب پتاسیم کاه (۷۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار مصرف ۲۰ تن کود گاوی در هر هکتار در کشت برنج رقم گیلانه و کمترین میزان پتاسیم دانه (۳۰/۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت رقم هاشمی بدون مصرف کود حاصل شد (جداول ۷ و ۸).

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان جذب پتاسیم کاه رقم هاشمی برنج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

تیمار		نیتروژن	فسفر	پتاسیم
	منابع و سطوح کودهای آلی (t/ha)		(kg/ha)	
مرغی فرآوری شده	۲/۵	۶۵/۴^{a}	۳۱^{a}	۵۸/۷^{e}
	۵	۶۵/۸^{a}	۳۱/۴^{a}	۵۹/۹^{cde}
	۱۰	۷۰/۵^{a}	۳۲/۱^{a}	۶۳/۵^{abcde}
گاوی کاملاً پوسیده	۵	۶۵/۸^{a}	۳۱/۶^{a}	۶۰/۲^{cde}
	۱۰	۴۳/۴^{a}	۳۳/۷^{a}	۷۳/۲^{abcde}
	۲۰	۷۴/۴^{a}	۳۵/۲^{a}	۷۵/۹^{abc}
گوسفندی کاملاً پوسیده	۱۰	۷۰/۷^{a}	۳۲^{a}	۶۵/۴^{abcde}
	۲۰	۷۲/۷^{a}	۳۳/۶^{a}	۷۲/۱^{abcde}
	۴۰	۷۴/۲^{a}	۳۴/۸^{a}	۷۵/۷^{abcd}
شاهد	کود شیمیایی (kg/ha)	۷۴/۷^{a}	۳۵/۹^{a}	۷۷/۴^{ab}
	بدون مصرف کود	۶۵/۲^{a}	۳۰/۴^{a}	۳۰/۵^{f}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معناداری بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد هستند

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان جذب پتاسیم کاه رقم گیلانه برنج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

تیمار		نیتروژن	فسفر	پتاسیم
	منابع و سطوح کودهای آلی (t/ha)		(kg/ha)	
مرغی فرآوری شده	۲/۵	۶۵/۵^{a}	۳۱/۳^{a}	۵۹/۴^{de}
	۵	۶۷/۷^{a}	۳۱/۹^{a}	۶۱^{bcde}
	۱۰	۷۲/۴^{a}	۳۳/۵^{a}	۷۱/۳^{abcde}
گاوی کاملاً پوسیده	۵	۷۱^{a}	۳۲/۶^{a}	۶۵/۸^{abcde}
	۱۰	۷۳/۸^{a}	۳۴/۵^{a}	۷۴/۴^{abcde}
	۲۰	۷۴/۹^{a}	۳۶/۶^{a}	۷۸^{a}
گوسفندی کاملاً پوسیده	۱۰	۷۲^{a}	۳۲/۳^{a}	۶۵/۹^{abcde}
	۲۰	۷۳/۴^{a}	۳۴/۴^{a}	۷۳/۴^{abcde}
	۴۰	۷۴/۸^{a}	۳۶/۲^{a}	۷۷/۵^{ab}
شاهد	کود شیمیایی (kg/ha)	۷۴/۸^{a}	۳۶/۴^{a}	۷۷/۶^{a}
	بدون مصرف کود	۶۵/۴^{a}	۳۰/۷^{a}	۳۴/۳^{f}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معناداری بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد هستند

پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر پرمصرف، اهمیت بسیار زیادی در رشد و نمو گیاه داشته و اگرچه خود جزئی از ساختمان گیاه نیست، ولی در انجام واکنش‌های داخلی گیاه نقش کلیدی دارد. ارقامی از برنج که عملکرد بیشتری دارند، نیازمند تأمین پتاسیم بیشتری می‌باشند (قاسمی‌لمراسکی و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج بررسی محققان نشان می‌دهد که افزایش جذب پتاسیم رابطه مستقیمی با افزایش رشد سبزینه‌ای گیاه و جذب سایر عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر دارد (مالی و همکاران، ۲۰۰۶؛ چودری و خنیف، ۲۰۱۱). از این رو به‌نظر می‌رسد، بهبود فراهمی و جذب نیتروژن و فسفر در اثر کاربرد کود دامی موجب بهبود جذب، انتقال و ذخیره پتاسیم در بخش‌های مختلف گیاه شده باشد. نتایج یک بررسی نشان داد که افزایش فعالیت‌های میکروبی، وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و افزایش جذب عناصر غذایی نظیر پتاسیم از دلایل عمده افزایش غلظت این عنصر در شاخساره گیاه در اثر کاربرد کمپوست به‌شمار می‌رود (ایلکایی و همکاران، ۱۳۹۷). محققان طی مطالعه‌ای گزارش کردند که بیشترین میزان جذب پتاسیم اندام هوایی برنج به‌ترتیب از تیمارهای کود مرغی، کود گاوی، پوسته برنج و تیمار شاهد حاصل شد (روی و همکاران، ۲۰۱۸). توانایی زیاد برنج (به‌ویژه ارقام اصلاح‌شده) در جذب پتاسیم و استخراج آن از منبع غیرقابل استفاده خاک (شهدی‌کومله، ۱۳۹۹) و از طرفی فراهمی این عنصر در ریزوسفر گیاه برنج در اثر کاربرد کودهای دامی از علل محتمل دیگر افزایش میزان جذب و ذخیره این عنصر در بقایای کاه و کلش ارقام برنج هاشمی و گیلانه به‌شمار می‌رود.

قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع خاک

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر فاکتورهای آزمایشی در کشت برنج بر میزان قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین کاربرد منابع و سطوح مختلف مصرف کودهای آلی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک نشان داد که تیمار مصرف ۴۰ تن کود گوسفندی در کشت برنج رقم گیلانه (۱/۲۳ دسی‌زیمنس بر متر) و کشت برنج رقم هاشمی بدون مصرف کود (۰/۸۱ دسی‌زیمنس بر متر) به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک بودند (جداول ۱۰ و ۱۱). به‌نظر می‌رسد کاربرد مقدار زیاد کود گوسفندی (۴۰ تن در هکتار) با آزادسازی بیشتر املاح و مواد معدنی موجود در کود نسبت به سایر منابع و سطوح مختلف تیمارهای کود آلی موجب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک شده باشد. نتایج بررسی راین و اولا (۲۰۲۰) نشان داد که تأثیر کود دامی بر قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به میزان و نوع کود بستگی دارد و با افزایش مصرف بعضی از این نهاده‌ها، مقدار آن افزایش یافت. در نتایجی مشابه گزارش شد که قابلیت هدایت الکتریکی بالا در یک کمپوست می‌تواند نتیجه غلظت زیاد Na^{+} یا سایر یون‌ها نظیر Ca^{2+}، K^{+}، Mg^{2+} و Cl^{-} باشد (گوندک و همکاران، ۲۰۲۰) که در صورت مصرف کنترل نشده موجب تجمع املاح و مواد معدنی در خاک و افزایش قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک می‌شود. عرفانی و همکاران (۱۳۹۸) طی بررسی خود عنوان داشتند، از آن‌جا که کود دامی سرشار از عناصر کاتیونی و املاح است لذا کاربرد مقادیر زیاد آن می‌تواند موجب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک شود. از طرفی با توجه نتایج حاصله انتظار بر این بود که میانگین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در اثر کاربرد منابع و سطوح مختلف کودهای دامی دارای افزایش چشمگیر بیشتری نسبت به تیمارهای شاهد بدون مصرف کود و کود شیمیایی باشد. از دلایل محتمل در توجیه نتایج حاصله می‌توان اظهار داشت که به‌نظر می‌رسد که کودهای دامی با دارا بودن نسبت فراوانی از مواد آلی و توانایی بالای جذب و نگهداری رطوبت، بخش زیادی از املاح و مواد معدنی موجود در کود را در خود نگهداری کرده و احتمالاً با خاصیت آمفوتری مانع افزایش یکباره هدایت الکتریکی خاک در کوتاه‌مدت می‌شوند این در حالی است که کودهای شیمیایی برخلاف کودهای دامی سریع و یک‌باره مقادیر املاح و مواد معدنی محلول خاک را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، آبشویی و شرایط غرقاب کشت برنج نیز یکی از علل احتمالی مؤثر بر

کاهش اثرات ناشی از شوری در اثر کاربرد مقادیر زیاد کودهای دامی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک است به‌طوری‌که در نتایجی مشابه فورنس و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که آبشویی سه کمپوست مختلف با قابلیت هدایت الکتریکی یک به پنج ۸/۳، ۴/۸۲ و ۷/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر موجب شد که شوری ناشی از املاح و کاتیون و آنیون‌های موجود در آن به‌ترتیب به ۰/۳۵، ۰/۳۵ و ۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یابد. همچنین، رضایی (۱۳۹۲) طی یک بررسی مروری جامع عنوان داشت که استفاده از کودهای دامی به‌دلیل ایجاد شرایط فیزیکی بهتر سبب افزایش کارآیی آبشویی در خاک‌های شور می‌شود. وقوع بارندگی‌های موسمی غیرقابل انتظار به‌ویژه در سال دوم آزمایش از علل محتمل دیگر کاهش میانگین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک طی دو سال آزمایش در اثر کاربرد منابع و سطوح کاربرد تیمارهای آزمایشی است. همچنین، گزارش شده است افزایش آزادسازی و تولید شیرابه از تیمارهای کود دامی (به‌ویژه در کودهای با قابلیت هدایت الکتریکی زیاد) موجب کاهش میزان شوری کود می‌شود (شیم و همکاران، ۲۰۱۵)، لذا به‌نظر می‌رسد که افزایش آزادسازی شیرابه در شرایط غرقاب کشت برنج، شستشو و نفوذ عمقی آن به لایه‌های پایین‌تر خاک از عواملی است که حصول چنین نتایجی را کاملاً توجیه‌پذیر می‌نماید.

جدول ۹- نتایج تجزیه مرکب ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از برداشت برنج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	پ‌هاش	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل استفاده (mg/ kg)	پتاسیم قابل استفاده (mg/ kg)
سال	۱	۰/۰۳^{ns}	۰/۱۲*	۳/۶۹**	۰/۰۴**	۴/۴۵^{ns}	۲۴۸۴/۷۳^{ns}
خطای سال× تکرار	۴	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۳	۰/۰۰۰۷	۲/۳۱	۱۴۱۱/۳۱
تیمار	۲۱	۰/۰۷**	۰/۱^{ns}	۵/۷**	۰/۰۱**	۳۶/۳۷**	۱۶۳۸۱/۱۸**
هاشمی VS گیلانه	۱	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}
سال× تیمار	۲۱	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۱^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۹۴^{ns}	۶۸۰/۷۵^{ns}
خطا	۸۴	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۱	۰/۰۰۳	۱	۵۹۸/۰۷
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۹	۳/۵	۹/۷	۸/۷	۹/۷	۱۲/۳

* و ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌داری را نشان می‌دهد

جدول ۱۰- نتایج مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای آزمایشی در کشت برنج رقم هاشمی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

منابع و سطوح کودی (t/ha)		قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل استفاده (mg/kg)	پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)
مرغی فرآوری شده	۲/۵	۰/۸۵^{b}	۳/۵۶^{a}	۰/۱۷^{de}	۸/۳۶^{d}	۱۲۵/۰۸^{cd}
	۵	۰/۹^{b}	۳/۶۵^{a}	۰/۱۹^{cd}	۱۰/۰۶^{bcd}	۱۷۵/۳۸^{bc}
	۱۰	۰/۹۱^{b}	۳/۸۴^{a}	۰/۲۵^{ab}	۱۲/۷۶^{a}	۲۰۷/۷۲^{b}
گاوی کاملاً پوسیده	۵	۰/۸۶^{b}	۳/۶^{a}	۰/۱۹^{cd}	۹/۸۳^{cd}	۱۸۱/۰۳^{bc}
	۱۰	۰/۹^{b}	۳/۸^{a}	۰/۱۹^{cd}	۱۲/۲۳^{abc}	۲۰۷/۹۲^{b}
	۲۰	۰/۹۲^{b}	۳/۹۱^{a}	۰/۲۷^{a}	۱۳/۳۶^{a}	۲۸۷/۱۲^{a}
گوسفندی کاملاً پوسیده	۱۰	۰/۹۲^{b}	۳/۶۳^{a}	۰/۱۹^{cd}	۹/۶۳^{d}	۱۹۴/۸۸^{b}
	۲۰	۰/۹۳^{b}	۳/۸۳^{a}	۰/۲۲^{bc}	۱۰/۲^{bcd}	۲۱۹/۲۳^{b}
	۴۰	۱/۲۳^{a}	۳/۹۵^{a}	۰/۲۸^{a}	۱۳^{a}	۲۸۳/۶۳^{a}
شاهد	کود شیمیایی (kg/ha)	۱/۰۸^{ab}	۱/۸۱^{b}	۰/۱۹^{cd}	۹/۵۵^{d}	۱۹۹/۵۷^{b}
	بدون مصرف کود	۰/۸۱^{b}	۰/۹۴^{c}	۰/۱۳^{e}	۴/۵۸^{e}	۱۱۴/۴۵^{d}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معناداری بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد هستند

جدول ۱۱- نتایج مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای آزمایشی در کشت برنج رقم گیلانه بر ویژگی‌های شیمیایی خاک طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

منابع و سطوح کودی (t/ha)		قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل استفاده (mg/kg)	پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)
مرغی فرآوری شده	۲/۵	۰/۸۵^{b}	۳/۵۴^{a}	۰/۱۷^{de}	۸/۳^{d}	۱۲۵/۶۷^{cd}
	۵	۰/۹^{b}	۳/۶۵^{a}	۰/۱۹^{cd}	۱۰/۰۵^{bcd}	۱۷۴/۱۵^{bc}
	۱۰	۰/۹۱^{b}	۳/۸۳^{a}	۰/۲۵^{ab}	۱۲/۷۳^{a}	۲۰۷/۵۳^{b}
گاوی کاملاً پوسیده	۵	۰/۸۷^{b}	۳/۵۸^{a}	۰/۱۹^{cd}	۹/۸۱^{cd}	۱۸۰/۲۳^{bc}
	۱۰	۰/۹۱^{b}	۳/۷۹^{a}	۰/۱۹^{cd}	۱۲/۳۱^{ab}	۲۰۷/۶۸^{b}
	۲۰	۰/۹۲^{b}	۳/۸۵^{a}	۰/۲۷^{a}	۱۳/۱۱^{a}	۲۸۵/۷۸^{a}
گوسفندی کاملاً پوسیده	۱۰	۰/۹۲^{b}	۳/۶۳^{a}	۰/۱۹^{cd}	۹/۶۱^{d}	۱۹۱/۷۵^{b}
	۲۰	۰/۹۴^{b}	۳/۸۲^{a}	۰/۲۱^{bcd}	۱۰/۲۱^{bcd}	۲۱۵/۶۵^{b}
	۴۰	۱/۲۵^{a}	۳/۸۹^{a}	۰/۲۷^{a}	۱۲/۸۳^{a}	۲۷۹/۱۸^{a}
شاهد	کود شیمیایی (kg/ha)	۱/۰۳^{ab}	۱/۷۶^{b}	۰/۱۹^{cd}	۹/۴۶^{d}	۱۹۷/۰۵^{b}
	بدون مصرف کود	۰/۸۵^{b}	۰/۸۵^{c}	۰/۱۳^{e}	۴/۵۳^{e}	۱۱۲/۱۵^{d}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معناداری بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد هستند

pH خاک

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر کشت برنج بر پ‌هاش خاک در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود (جدول ۹)، به‌طوری‌که کشت برنج موجب کاهش پ‌هاش خاک از سال اول (۷/۱) به سال دوم (۷/۰۳) آزمایش شد (جدول ۱۲). واکنش خاک (pH خاک) شاخصی از فرآیندهای شیمیایی خاک است که در اثر مدیریت‌های مختلف زراعی تغییر می‌کند (هیزلتون و همکاران، ۲۰۱۰). این در حالی است که در بیشتر مواقع، تغییرات پ‌هاش در اراضی شالیزاری ناچیز و بطئی است. با توجه به نتایج حاصله، این احتمال وجود دارد که عوامل محیطی در سال دوم آزمایش با ایجاد شرایط مناسب برای رشد و نمو بهتر ریشه گیاه موجب تجمع و فعالیت بیشتر باکتری‌ها شده و با افزایش ترشحات ریشه‌ای و آزادسازی بیشتر اسیدهای آلی در ریزوسفر برنج موجب کاهش پ‌هاش محیط شده باشد. همچنین، احتمال دارد که افزایش تجمع و فعالیت ریزجانداران در ریزوسفر گیاه برنج موجب افزایش تولید دی اکسید کربن بر اثر تنفس آن‌ها شده و از این طریق موجب اسیدی‌تر شدن خاک در سال دوم آزمایش شده باشد. عرفانی و همکاران (۱۳۹۸) طی بررسی خود دریافتند که سامانه‌های مختلف زراعی بر ویژگی‌های کیفی خاک تأثیر معناداری داشتند و پ‌هاش خاک در کشت برنج ارگانیک با کاهش ۲/۵ درصدی از ۷/۳ در سال اول به ۷/۲ در سال دوم رسید. همچنین، شهدی‌کومله (۱۳۹۹) در نتایجی مشابه گزارش کرد که افزایش فعالیت ریزجانداران خاک با افزایش تولید و انباشتگی اسیدهای آلی موجب اسیدی شدن ریزوسفر گیاه برنج می‌شود.

جدول ۱۲- نتایج مقایسه میانگین دو ساله اثر سال بر ویژگی‌های شیمیایی خاک طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

سال/صفات	پ‌هاش	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل استفاده (mg/kg)	پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)
سال اول	۷/۱^{a}	۳/۱۴^{b}	۰/۱۹^{b}	۱۰/۱^{a}	۱۹۴/۴^{a}
سال دوم	۷/۰۳^{b}	۳/۴۷^{a}	۰/۲۲^{a}	۱۰/۴^{a}	۲۰۳/۱^{a}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معناداری بر اساس آزمون توکی در سطوح احتمال پنج و یک درصد هستند

کربن آلی (OC) خاک

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر سال و فاکتورهای آزمایشی در کشت برنج بر مقدار کربن آلی خاک در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که سال دوم آزمایش با میانگین ۳/۴۷ درصد دارای درصد کربن آلی بیشتری نسبت به سال اول آزمایش (۳/۱۴ درصد) بود (جدول ۱۲). به‌نظر می‌رسد که وقوع نزولات جوی موسمی و بی‌سابقه در سال دوم آزمایش (سال زراعی ۱۳۹۸) با کاهش سرعت تجزیه مواد آلی و افزایش رشد و توسعه اندام زیرزمینی گیاه و افزایش بیوماس میکروبی خاک (برهم‌کنش عوامل محیطی، ریزجانداران خاک، گیاه) موجب افزایش درصد ماده آلی خاک در سال دوم آزمایش شده باشد. میرزاشاهی و بازرگان (۱۳۹۴) عنوان داشتند که دما بر روی شدت تجزیه ماده آلی اثر داشته و افزایش آن موجب تشدید فرآیند تجزیه می‌شود. از طرفی با توجه به آیش‌گذاری و بکر بودن مزرعه آزمایشی طی چندین سال این احتمال وجود دارد که کشت مزرعه در سال اول بر روی جمعیت کل میکروبی خاک مزرعه اثر مثبت داشته و از این طریق اثرات قابل توجه بیشتری را در سال دوم آزمایش بر جای گذاشته باشد. همچنین، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار مصرف ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی در کشت برنج رقم هاشمی با میانگین کربن آلی ۳/۹۵ درصد و تیمار کشت رقم گیلانه بدون مصرف کود با میانگین ۰/۸۵ درصد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد کربن آلی خاک بودند (جداول ۱۰ و ۱۱). گزارش شده است که کاربرد کود گاوی کاملاً پوسیده به‌میزان ۱۶ و ۳۲ تن در هکتار موجب افزایش درصد کربن آلی خاک نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود و همچنین، تیمار مصرف کود شیمیایی می‌شود (میرلوحی و همکاران، ۱۳۸۸). محققان طی بررسی دیگر با محاسبه نرخ خالص ورودی و خروجی کربن اکوسیستم شالیزار (NECB)[۴] گزارش کردند که این شاخص در اثر کاربرد کودهای آلی نظیر کود گاوی، مرغی و ورمی‌کمپوست در شالیزار افزایش‌یافته و دارای تغییرات مثبت (۵۲ تا ۶۴ کیلوگرم در هکتار) بود در حالی‌که این تغییر تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی (۷- تا ۸- کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد بدون مصرف کود (۱۵۱- تا ۱۵۲- کیلوگرم در هکتار) منفی بود (هاک و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج بررسی دیگر نشان داد که کاربرد کود گاوی در یک خاک سیلتی- رسی از نوع اسپتی‌سول موجب افزایش بیشتر کربن آلی خاک نسبت به تیمارهای کود سبز و کمپوست کاه و کلش برنج شد (باندیوپادیای و همکاران، ۲۰۱۰). در نتایجی مشابه گزارش شد که کاربرد ترکیبی کودهای گاوی به‌میزان ۵ تن در هکتار به‌همراه هشت تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب در یک خاک لومی- سیلتی موجب افزایش معنی‌دار درصد کربن خاک نسبت به تیمار شاهد شد (هاک و همکاران، ۲۰۲۱). گراس و گلیزر (۲۰۲۱) با متاآنالیز تغییرات میزان کربن آلی خاک بر اساس ویژگی‌های محل، روش آزمایش، ویژگی‌های خاک و کود در ۱۰۱ نقطه گزارش کردند که استفاده از کودهای دامی نظیر گاوی پوسیده در اراضی کشاورزی، ذخایر کربن خاک را ۳۵/۴ درصد افزایش داد. این محققان طی بررسی خود دریافتند که میزان افزایش درصد کربن آلی در خاک‌های تحت شرایط آب و هوایی غیراستوایی بیشتر از خاک‌های تحت آب و هوای نیمه‌گرمسیری بود. نتایج بررسی دیگر نشان داد که افزودن کود گاوی پوسیده در ترکیب با کود شیمیایی علاوه بر حفظ رطوبت مناسب خاک با افزایش کربن آلی و محتوی عناصر غذایی در ریزوسفر گیاه برنج موجب حصول حداکثر عملکرد دانه می‌شود (داتا، ۲۰۲۱). افزایش درصد کربن آلی خاک در اثر کاربرد کودهای مرغی فرآوری شده و گاوی پوسیده توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (روی و همکاران، ۲۰۱۸؛ اقبال و همکاران، ۲۰۲۰؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۱).

4.- Net ecosystem carbon budget

نیتروژن (N) کل در خاک

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر سال و فاکتورهای آزمایشی بر میزان نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در سال دوم، میانگین نیتروژن کل خاک پس از کشت برنج (۰/۲۲ درصد) بیش از سال اول آزمایش (۰/۱۹ درصد) بود (جدول ۱۲). نتایج بررسی مو و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که استفاده از کود آلی به‌طور مؤثری میزان نیتروژن قابل دسترس را در سال دوم افزایش داد. رضایی (۱۳۹۲) طی یک بررسی مروری جامع بیان داشت که افزایش کربن آلی خاک در اثر کاربرد کود دامی نه‌تنها باعث افزایش زیست‌توده میکروبی می‌شود، بلکه با تخریب مواد آلی و معدنی کردن نیتروژن آلی و فسفر موجود در مواد آلی و تبدیل آن‌ها به شکل قابل استفاده گیاه، نقش کلیدی در چرخه عناصرغذایی ایفا می‌نماید. همچنین، نتایج حاصله از مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نشان داد که مصرف ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی کاملاً پوسیده در کشت برنج رقم هاشمی با میانگین ۰/۲۸ درصد و تیمار کشت رقم گیلانه بدون مصرف کود با میانگین ۰/۱۳ درصد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن خاک بودند (جداول ۱۰ و ۱۱) که با توجه به نسبت عناصر غذایی هر یک از انواع کودهای دامی حصول چنین نتایجی دور از انتظار نبود. محققان طی یک بررسی عنوان داشتند که درصد عناصر غذایی (نیتروژن و فسفر) بقایای آلی نقش مهمی بر روند تجزیه و معدنی شدن عناصر غذایی دارد. مواد آلی که دارای درصد بالایی از عناصر غذایی هستند از سرعت تجزیه بیشتری برخوردارند (شیرانی و همکاران، ۱۳۹۰). محققان طی یک بررسی دیگر عنوان داشتند که آزادسازی نیتروژن و یا سایر عناصر از کود آلی به سرعت معدنی شدن آن عنصر بستگی دارد. آن‌ها همچنین، بیان داشتند که به‌طور کلی میزان معدنی شدن یک عنصر تابع ویژگی‌های کود، عوامل محیطی، ویژگی‌های خاک و فعالیت میکروبی است (اقبال و همکاران، ۲۰۰۲). از طرفی به‌نظر می‌رسد که کاربرد مقادیر زیاد کودهای دامی با افزایش تجمع و فعالیت ریزجانداران خاک در لایه سطحی موجب تسریع و تشدید فرآیند معدنی شدن و تبدیل شکل آلی نیتروژن به شکل‌های قابل جذب (نیترات و آمونیوم) گیاه شده باشد، به‌طوری‌که بخشی از این نیتروژن به‌طور تدریجی طی مراحل رشد و نمو در اختیار گیاه قرار گرفته و بخشی از آن می‌تواند طی پدیده انباشت مواد غذایی در خاک تجمع یابد و با جلوگیری از آبشویی آن‌ها، درصد عناصر غذایی مهم خاک را افزایش دهد. گزارش شده است که کودهای آلی مانند یک کود نیتروژن‌دار کند رها عمل می‌کنند و متناسب با تقاضای برنج نیتروژن را آزاد کرده و موجب بهبود عملکرد محصول و افزایش ذخیره عناصر غذایی خاک می‌شوند (رسولی و مفتون، ۱۳۸۷؛ شاجی و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربرد کودهای دامی در ترکیب با کودهای معدنی نقش زیادی در جلوگیری از هدررفت عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن از طریق آبشویی دارد به‌طوری‌که گزارش شده است که کاربرد ترکیبی کودهای دامی و شیمیایی (۳۰ درصد کود آلی) برای تأمین ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در یک خاک رسی به‌ترتیب موجب کاهش ۱۳/۲ و ۳۸ درصدی هدررفت نیتروژن از طریق رواناب سطحی شد (کویی و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج بررسی دیگر نشان داد که کاربرد کودهای دامی کاملاً پوسیده می‌تواند از طریق آزادسازی شیرابه موجب افزایش ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک (CEC)[5] و جلوگیری از هدررفت عناصر غذایی شود. افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیزه‌کننده نیتروژن نظیر نیترات ردوکتاز، گلوتامین سنتتاز و گلوتامات اکسوگلوتارات آمینوترانسفر در اثر کاربردهای دامی از علل احتمالی دیگری است (اقبال و همکاران، ۲۰۲۰) که می‌تواند از طریق تأثیر بر سازوکارهای تبدیل نیتروژن از شکل‌های غیرقابل جذب به شکل قابل جذب موجب افزایش نیتروژن کل خاک و قابلیت جذب این عنصر شود. از این رو طبق بررسی‌های به‌عمل آمده می‌توان چنین استنباط نمود که کاربرد کودهای دامی با قابلیت تبادل یونی بالا، حفظ و آزادسازی تدریجی رطوبت و عناصر غذایی، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید و تشدید احتمالی فعالیت آنزیمی خاک، دارای نقش قابل‌توجهی در جلوگیری از آبشویی، هدررفت و همچنین، بازیافت عناصر غذایی نظیر نیتروژن در خاک است (اقبال و همکاران، ۲۰۲۰).

5.- Cation exchange capacity

فسفر (P) قابل استفاده در خاک

طبق نتایج به‌دست آمده، اثر فاکتورهای آزمایشی در کشت برنج بر میزان فسفر خاک در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۹). مقایسه میانگین تیمارهای مصرف کود آلی نشان داد که مصرف ۲۰ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده در کشت برنج رقم هاشمی با میانگین ۱۳/۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و تیمار کشت رقم گیلانه بدون مصرف کود با میانگین ۴/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم دارای بیشترین و کمترین میزان فسفر قابل استفاده خاک بودند (جداول ۱۰ و ۱۱). از دلایل محتمل افزایش حلالیت فسفر در نتیجه افزودن کودهای دامی می‌توان به وجود مقادیر زیاد فسفر در این نهاده‌ها و ایجاد پیوندهای فسفوهیومیک با ذرات خاک و کند شدن روند تثبیت فسفر اشاره نمود. نتایج یک بررسی نشان می‌دهد که افزودن مواد آلی به خاک با افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی خاک منجر به افزایش فسفر قابل جذب خاک می‌شود (نجفی و توفیقی، ۱۳۹۱). از این رو به‌نظر می‌رسد مصرف کودهای دامی در مقادیر زیاد با افزایش تعداد و تنوع و میزان اسیدهای آلی مترشحه توسط ریزجانداران موجب افزایش فراهمی و قابلیت جذب فسفر سهل‌الوصول (منابع کودی) و فسفر نامحلول خاک و کند شدن روند تثبیت بین‌لایه‌ای این عنصر شده باشد. نتایج یک بررسی نشان داد که اثر افزایش تعداد و تنوع ریزجانداران و اثرات متقابل جوامع میکروبی موجب افزایش تعداد و تنوع اسیدهای آلی مؤثر در فرآیند انحلال فسفات‌های نامحلول می‌شود (شارما، ۲۰۰۲). همچنین، می‌توان چنین استدلال نمود که این احتمال وجود دارد که کاربرد منابع و سطوح مختلف کودهای دامی از طریق افزایش تعداد و تنوع میکروب‌های خاک موجب افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و آلکالین فسفاتاز در خاک و افزایش فسفر قابل استفاده خاک شده باشد. تجادا و همکاران (۲۰۰۶) تأثیرات مواد آلی و افزایش فعالیت فسفاتازی خاک‌ها را بهبود رشد گیاه، افزایش میزان ترشحات ریشه‌ای و از طرف دیگر افزایش جمعیت و فعالیت بیوماس میکروبی در نتیجه افزایش دسترسی کربن و مواد مغذی و افزایش ظرفیت جذب خاک عنوان نمودند. نگوین و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کود گاوی به‌همراه کودهای شیمیایی NPK با ایجاد تعادل مثبت بین ورودی و خروجی فسفر خاک (۴۰ کیلوگرم فسفر در هر هکتار) موجب ایجاد شرایط مناسب برای رشد و عملکرد مطلوب برنج می‌شود. در نتایجی مشابه گزارش شد که مصرف کود گاوی به‌میزان ۲۰ تن در هکتار به‌همراه NPK طی چهار سال، میزان فسفر موجود را از ۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم به ۲۹۰/۲ افزایش داد (اپریانی و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج پژوهش محققان دیگر در این زمینه حاکی از آن است که کاربرد کودهای آلی موجب افزایش قابلیت دسترسی، جذب و افزایش کارآیی مصرف فسفر قابل استفاده خاک می‌شود (لو و همکاران، ۲۰۲۱).

پتاسیم (K) قابل استفاده در خاک

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای آزمایشی بر میزان پتاسیم خاک در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار مصرف ۲۰ تن کود گاوی کاملاً پوسیده در کشت برنج رقم هاشمی با میانگین ۲۸۷/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و تیمار کشت رقم گیلانه بدون مصرف کود با میانگین ۱۱۲/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان پتاسیم خاک بودند (جداول ۱۰ و ۱۱). میرلوحی و همکاران (۱۳۸۸) عنوان داشتند که کودهای دامی حاوی مقادیر قابل‌توجهی پتاسیم می‌باشند، از این رو انتظار می‌رود که با افزودن این نوع کودها به خاک ذخایر قابل جذب پتاسیم خاک افزایش یابد. نتایج بررسی اقبال و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که کاربرد ترکیبی کودهای دامی و شیمیایی دارای اثرات قابل‌توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند چگالی ظاهری، پ‌هاش، کربن آلی، نیتروژن کل و قابل دسترس و فراهمی پتاسیم خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری است. از این رو به‌نظر می‌رسد مصرف کودهای دامی با نسبت‌های مختلف از عناصر غذایی نظیر

پتاسیم به تجمع این عنصر در لایه سطحی خاک کمک نموده و در رشد و نمو گیاه برنج مؤثر واقع شود.

نتیجه‌گیری

بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک طی دو دوره کشت برنج نشان داد که بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (۱/۳ دسی‌زیمنس بر متر)، درصد کربن آلی (چهار درصد) و نیتروژن کل (۰/۲۸ درصد) از تیمار مصرف ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی در کشت برنج رقم گیلانه و بیشترین میزان فسفر (۱۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پتاسیم (۲۸۷/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) قابل استفاده خاک از تیمار مصرف ۲۰ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده در کشت برنج رقم هاشمی حاصل شد. این در حالی است که کاربرد کودهای آلی از طریق افزایش فعالیت ریزجانداران خاک و افزودن عناصر غذایی موجب افزایش فراهمی و قابلیت جذب برخی عناصر مورد نیاز رشد گیاه برنج شد. با توجه به نتایج این پژوهش، بالاترین متوسط عملکرد شلتوک ارقام هاشمی (۳۶۴۳ کیلوگرم در هکتار) و گیلانه (۴۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) در اثر کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده حاصل شد که موجب جبران ۸۶/۳ و ۸۸/۵ درصدی عملکرد شلتوک نسبت به تیمار مصرف کودهای شیمیایی به‌ترتیب در کشت ارقام هاشمی (۴۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) و گیلانه (۵۳۷۸ کیلوگرم در هکتار) شد. همچنین، طبق نتایج حاصله، میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه و کاه برنج ارقام هاشمی و گیلانه تحت تأثیر مصرف مقادیر زیاد کود گاوی افزایش یافت به‌طوری‌که مصرف ۲۰ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده موجب افزایش قابل توجه میزان جذب نیتروژن (۴۸/۶ کیلوگرم در هکتار)، فسفر دانه (۳۳/۱ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم کاه (۷۸ کیلوگرم در هکتار) رقم گیلانه و نیتروژن (۴۴/۹ کیلوگرم در هکتار) و فسفر دانه (۲۹/۶ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم کاه (۷۵/۹ کیلوگرم در هکتار) رقم هاشمی شد. با توجه به نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد که کاربرد مقادیر زیاد کود گوسفندی نسبت به سایر منابع و سطوح کودی به‌دلیل افزایش تجمع املاح و افزایش پتانسیل اسمزی و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک مناسب نیست. از طرفی، کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده از طریق افزایش فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک دارای نقش قابل‌توجهی در حفظ و ارتقای حاصلخیزی خاک شالیزار و افزایش غلظت و میزان جذب این عناصر در بخش‌های هوایی گیاه بود. لذا نتایج آزمایش نشان داد که مصرف مناسب کودهای آلی به‌عنوان یک منبع طبیعی در چرخه زراعت و دامپروری، ضمن تأمین و فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و کاهش مصرف کودهای شیمیایی موجب کاهش معضلات ناشی از کاربرد این قبیل نهاده‌ها بر سلامت بوم‌نظام‌های کشاورزی و چرخه غذایی انسان و دام شده و به توسعه پایدار کشت و تولید محصول برنج سالم-ارگانیک کمک خواهد نمود.

فهرست منابع

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲. ایلکایی، م. ن.، مهری، ش.، اسپیدکار، ز. و م. ح. انصاری. ۱۳۹۷. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج تحت سطوح مختلف ورمی‌کمپوست. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۰(۳۸): ۹۵-۱۱۰.

۳. پاپ‌زن، ع. و ن. شیری. ۱۳۹۱. بررسی موانع و مشکلات توسعه کشاورزی ارگانیک. فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی، ۱(۱): ۱۱۳-۱۲۶.

۴. رسولی، ف. و م. مفتون. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد خاکی دو ماده آلی توأم با نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷۱۹ -۷۰۵ :(۴۶)۱۲.

۵. رضایی، ح. ۱۳۹۲. مروری بر تحقیقات کاربرد کودهای دامی دراراضی کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی، ۱(۱): ۵۵-۶۸.

۶. شهدی‌کومله، ع. ۱۳۹۸. مروری بر کاربرد کودهای آلی رایج در کشت و تولید برنج سالم و ارگانیک. نشریه مدیریت اراضی، ۷(۲): ۱۴۳-۱۶۵.

۷. شهدی‌کومله، ع. ۱۳۹۹. اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در سیستم کشت شبدر برنج. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۹(۴): ۸۹-۱۰۵.

۸. شهدی‌کومله، ع.، بشارتی‌کلایه، ح.، شکری واحد، ح.، فرحمندبندری، ع.، حبیبی، ف.، سیدی، س. ر.، پستاره، ب.، ایرانپرست چوبری، ح. و پوربهرامی، ف. ۱۳۹۹. بررسی تأثیر منابع و سطوح مختلف کودهای آلی بر صفات زراعی، عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ارقام هاشمی و گیلانه برنج، شماره فروست ۵۹۵۵۲، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۹. شهدی‌کومله[a]، ع.، ترنگ، ع.، کرم‌نیا، س.، حقیقی‌حسنعلیده، ع. و س. ر. سیدی. ۱۴۰۰. بررسی خصوصیات ریشه و کاربرد کودهای آلی- زیستی بر توانایی جذب فسفر خاک و عملکرد برخی ارقام برنج آسیای مرکزی و غربی، شماره مصوب ۰۰۰۲۴۵ -۰۰۷ -۰۴ -۰۴ -۲، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۱۰. شهدی‌کومله[b]، ع.، سیدی، س. ر.، حقیقی‌حسنعلیده، ع. و س. کرم‌نیا. ۱۴۰۰. اثر منبع و میزان مصرف کودهای آلی بر عملکرد دانه و کیفیت ارقام بومی و اصلاح شده برنج. مجله علوم زراعی ایران، ۲۳(۳): ۲۷۸- ۲۸۹.

۱۱. شهدی‌کومله، ع.، ربیعی، م.، محمود سلطانی، ش.، سیدی، س. ر.، فروغی، م.، پیکان، م.، کشتکار، ف.، عطار، ا و پستاره، ب. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر چند سویه باکتری همزیست و غیرهمزیست بر عملکرد شبدر و برنج (رقم هاشمی) در سیستم کشت بر پایه برنج، گزارش نهایی، شماره مصوب ۵۵۳۱۶، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۱۲. شیرانی، ح.، ابوالحسنی‌زراعتکار، م.، لکزیان، ا. و ع. اخگر. ۱۳۹۰. سرعت تجزیه مواد آلی کمپوست زباله شهری، ورمی‌کمپوست، کود دامی و کمپوست پسته در بافت و شوری‌های متفاوت خاک در شرایط آزمایشگاهی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۱): ۸۴-۹۳.

۱۳. عرفانی، ر.، پیردشتی، ه.، عباسی، ر. و م. ز. نوری. ۱۳۹۸. مقایسه سامانه‌های زراعی برنج از نظر عملکرد شلتوک و ویژگی‌های خاک در سه منطقه استان مازندران. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۳۲(۱): ۱۰۱-۱۲۵.

۱۴. علی‌احیائی، م و ع. ا. بهبهانی‌زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۱۵. قاسمی‌لمراسکی، م.، نورمحمدی، ق.، مدنی، ح.، حیدری‌شریف‌آباد، ح. و ح. ر. مبصر. ۱۳۹۳. تأثیر محلول‌پاشی سیلیس و پتاسیم و کاربرد نیتروژن بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام برنج ایرانی طارم هاشمی و طارم محلی (*Oryza sativa* L.). نشریه یافته‌های نوین کشاورزی، ۹(۱): ۴۷-۶۶.

۱۶. مصلحی، ن.، نیک‌نژاد، ی.، فلاح‌آملی، ه. و ن. خیری. ۱۳۹۵. اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر برخی صفات مرفوفیزیولوژیکی برنج (*Oryza sativa* L.) رقم طارم هاشمی. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۸(۳۰): ۸۷-۱۰۳.

۱۷. میرزاشاهی، ک. و ک. بازرگان. ۱۳۹۴. مدیریت ماده آلی خاک. نشریه فنی شماره ۵۳۵، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۱۸. میرلوحی، آ.، محمدی، ر.، رضوی، س. ج.، مجیدی، م. م. و ف. نوربخش. ۱۳۸۸. تأثیر مصرف کود آلی و تقسیط نیتروژن بر عملکرد و اجزای آن در برنج. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، ۱۶(۱): ۲۹-۴۳.

۱۹. نجفی، ن. و ح. توفیقی. ۱۳۹۱. اثر رایزوسفر گیاه برنج بر شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های شالیزاری شمال ایران: پس ار کاربرد فسفر. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۳(۳): ۲۳۱-۲۴۲.

۲۰. وهاب‌زاده، م.، اصفهانی، م.، فلاح شمسی، س. ا.، همتی، س. و ع. اعلمی. ۱۳۹۳. ارزیابی اثر سطوح کود فسفر بر انتقال مجدد ماده خشک، فتوسنتز جاری و اجزای عملکرد دو رقم برنج. اولین کنگره بین‌المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر، انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، ایران.

21. Apriyani, S., Wahyuni, S., Harsanti, E. S., Zu'amah, H., Kartikawati, R., and Sutriadi, M. T. 2021. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure to available P, growth and rice yield in rainfed lowland Central Java. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 648 (1): 012190

22. Asai, H., Rabenarivo, M., Andriamananjara, A., Tsujimoto, Y., Nishigaki, T., Takai, T., and Razafimbelo, T. 2021. Farmyard manure application increases spikelet fertility and grain yield of lowland rice on phosphorus-deficient and cool-climate conditions in Madagascar highlands. Plant Production Science, 1-9.

23. Bandyopadhyay, P. K., Saha, S., Mani, P. K., and Mandal, B. 2010. Effect of organic inputs on aggregate associated organic carbon concentration under long-term rice–wheat cropping system. Geoderma. 154(3-4): 379-386.

24. Barison, J. 2003. Nutrient use efficiency and nutrient use uptake in conventional and inteive (SRI) rice cultivation system in Madagascar. M.Sc. thesis. Department of crop and Soil Science. Cornell University, Ithaca, New York, USA, pp 88.

25. Bejbaruah, R., Sharma, R. C., and Banik, P. 2013. Split application of vermicompost to rice (*Oryza sativa* L.): its effect on productivity, yield components, and N dynamics. Organic Agriculture. 3(2):123- 128.

26. Bertola, M., Ferrarini, A., and Visioli, G. 2021. Improvement of soil microbial diversity through sustainable agricultural practices and its evaluation by-omics approaches: A perspective for the environment, food quality and human safety. Microorganisms, 9(7): 1400.

27. Bhatta, B. B., Panda, R. K., Anandan, A., Pradhan, N. S. N., Mahender, A., Rout, K. K., and Ali, J. 2021. Improvement of phosphorus use efficiency in rice by adopting image-based phenotyping and tolerant indices. Frontiers in plant science, 12.

28. Bremner, J. M., and Mulvany, C. S. 1982. " Nitrogen-total", In: Page, A. L., Miller, R. M. and Keeney, D. R., (eds.), Methods of soil analysis, part 2, soil science society of America, Madison, WI, 595-624 pp.

29. Choudhury, M. A., and Khanif, Y. M. 2011. Effects of nitrogen, copper and magnesium fertilization on nutrition of some macro and micro nutrients of rice crop. Bangladesh Research Publications Journal. 5 (3): 201- 206

30. Cui, N., Cai, M., Zhang, X., Abdelhafez, A. A., Zhou, L., Sun, H., Chen, G., Zou, G., and Zhou, S. 2020. Runoff loss of nitrogen and phosphorus from a rice paddy field in the east of China: Effects of long-term chemical N fertilizer and organic manure applications. Global Ecology and Conservation, 22, e01011.

31. Datta, M. G. 2021. Blended amendments: A sustainable approach for managing nutrient deficiency in rice. Fields. Environment and Natural Resources Journal, 19(6): 494-502.

32. Deng, Y., Qiao, S., Wang, W., Zhang, W., Gu, J., Liu, L., and Yang, J. 2021. Tolerance to low phosphorus was enhanced by an alternate wetting and drying regime in rice. Food and Energy Security, e294.

33. Eghball, B., Wienhold, B. J., Gilley, J. E., and Eigenberg, R. A. 2002. Mineralization of manure nutrients. Journal of Soil and Water Conservation. 57(6): 470-473.
34. Fornes, F., Carrion, C., Garcia-de-la-Fuente, R., Puchades, R., and Abad, M. 2010. Leaching composted lignocellulosic wastes to prepare container media: Feasibility and environmental concerns. Journal of Environmental Management, 91(8): 1747-1755.
35. Gondek, M., Weindorf, D. C., Thiel, C., and Kleinheinz, G. 2020. Soluble salts in compost and their effects on soil and plants: A review. Compost Science and Utilization, 28(2): 59-75.
36. Gross, A., and Glaser, B. 2021. Meta-analysis on how manure application changes soil organic carbon storage. Scientific reports, 11(1): 1-13.
37. Haque, M. M., Biswas, J. C., Maniruzaman, M., Akhter, S., and Kabir, M. S. 2020. Carbon sequestration in paddy soil as influenced by organic and inorganic amendments. Carbon Management, 11(3): 231-239.
38. Haque, M. M., Datta, J., Ahmed, T., Ehsanullah, M., Karim, M. N., Akter, M., and El Sabagh, A. 2021. Organic amendments boost soil fertility and rice productivity and reduce methane emissions from paddy fields under sub-tropical conditions. Sustainability, 13(6): 3103.
39. Hazelton, P., Murphy, B., Neyshabouri, M. R., and Reyhanitabar, A. 2010. Interpreting soil test results. Tabriz University Press. p. 91.
40. Iqbal, A., He, L., Ali, I., Ullah, S., Khan, A., Akhtar, K., and Jiang, L. 2021. Co-incorporation of manure and inorganic fertilizer improves leaf physiological traits, rice production and soil functionality in a paddy field. Scientific Reports, 11(1): 1-16.
41. Iqbal, A., He, L., Ali, I., Ullah, S., Khan, A., Khan, A., and Jiang, L. 2020. Manure combined with chemical fertilizer increases rice productivity by improving soil health, post-anthesis biomass yield, and nitrogen metabolism. Plos one, 15(10): e0238934.
42. Irawan, S., and Antriyandarti, E. 2021. Physical deterioration of soil and rice productivity in rural Java. In Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 1825(1): 012103.
43. Isaac, R. A., and Johnson, W. C. 1976. Determination of total nitrogen in plant tissue, using a block digestor. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 59(1): 98-100.
44. Jiang, B., Jianlin, S. H. E. N., Minghong, S. U. N., Yajun, H. U., Jiang, W., Juan, W. A. N. G., and Jinshui, W. U. 2021. Soil phosphorus availability and rice phosphorus uptake in paddy fields under various agronomic practices. Pedosphere, 31(1): 103-115.
45. Kakar, K., Xuan, T. D., Noori, Z., Aryan, S., and Gulab, G. 2020. Effects of organic and inorganic fertilizer application on growth, yield, and grain quality of rice. Agriculture, 10(11), 544.
46. Klut, A. 1986. Method of soil analysis: Physical, chemical and mineralogical methods. Soil sci. soc. qm. Madison, WI, USA, 432-449 pp.
47. Ksheem, A. M., Bennett, J. M., Antille, D. L., and Raine, S. R. 2015. Towards a method for optimized extraction of soluble nutrients from fresh and composted chicken manures. Waste Management, 45: 76-90.
48. Kuo, S. 1996. Phosphorus. P. 869-920. In: Sparks, D. L. *et al*., (ed) methods of soil analysis part III, 3rd ed. Am. Soc. Agron., Madison. W I.
49. Lu, Y., Gao, Y., Nie, J., Liao, Y., and Zhu, Q. 2021. Substituting chemical P fertilizer with organic manure: effects on double-rice yield, phosphorus use efficiency and balance in subtropical China. Scientific Reports, 11(1): 1-13.
50. Mahajan, G. R., Manjunath, B. L., Morajkar, S., Desai, A., Das, B., and Paramesh, V. 2021. Long-Term effect of various organic and inorganic nutrient sources on rice yield and soil quality in west coast india using suitable indexing techniques. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1-15.
51. Malhi, S. S. Lemke, R., Wang, Z. H., and Chhabra, B. S. 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. Soil and Tillage Research. 90(1-2): 171- 183.
52. Masni, Z., and Wasli, M. E. 2019. Yield performance and nutrient uptake of red rice variety (MRM 16) at different NPK fertilizer rates. International Journal of Agronomy.

53. Moe, K., Htwe, A. Z., Thu, T. T. P., Kajihara, Y., and Yamakawa, T. 2019. Effects on NPK status, growth, dry matter and yield of rice (*Oryza sativa*) by organic fertilizers applied in field condition. Agriculture. 9(5): 109.
54. Nguyen, T. T., Sasaki, Y., Katahira, M., and Singh, D. 2021. Cow manure application cuts chemical phosphorus fertilizer need in silage rice in Japan. Agronomy, 11(8): 1483.
55. Nishikawa, T., Li, K., and Inamura, T. 2014. Nitrogen uptake by the rice plant and changes in the soil chemical properties in the paddy rice field during yearly application of anaerobically-digested manure for seven years. Plant Production Science.17(3): 237-244.
56. Olsen, S. R., and Sommers, L. E. 1982. Phosphorus. Chemical and microbiological properties p. 403- 430. In: A. L. Page *et al*., (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI.
57. Ostrowska, A., Gawlinski, S., and Szczubiałka, Z. 1991. Methods for analysis and evaluation of soil and plant properties. IOS Warszawa, 334.
58. Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. 1982. Methods of soil analaysis Part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Sci. Am. Madison, Wisconsin, USA.
59. Rakotoson, T., and Tsujimoto, Y. 2020. Pronounced effect of farmyard manure application on P availability to rice for paddy soils with low total C and low pH in the central highlands of Madagascar. Plant Production Science, 23(3): 314-321.
60. Ratilla, M. D., and Escasinas, A. B. Yield and nutrient uptake of lowland rice as affected by application of chicken manure under different water management systems. 7th International Conference on Agriculture, August 2020, Bangkok, Thailand.
61. Rayne, N., and Aula, L. 2020. Livestock manure and the impacts on soil health: A Review. Soil Systems. 4(4): 64.
62. Roy, S., Kashem, M. A., and Osman, K. T. 2018. The uptake of phosphorous and potassium of rice as affected by different water and organic manure management. Journal of Plant Sciences, 6(2), 31-40.
63. Sanati, B. E., Daneshiyan, J., Amiri, E., and Azarpour, E. 2011. Study of organic fertilizers displacement in rice sustainable agriculture. International Journal of Academic Research. 3(2): 134-142.
64. SAS Institute. 2011. SAS/IML 9.1 user's guide. SAS Institute.
65. Shaji, H., Chandran, V., and Mathew, L. 2021. Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. In Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture, Academic Press, pp 231-245.
66. Sharma, A. K. 2002. Bifertilizers for sustainable agriculture. Agrobios Indian Publications. pp. 456.
67. Shrestha, J., Shah, K. K., and Timsina, K. P. 2020. Effects of different fertilizers on growth and productivity of rice (*Oryza sativa* L.): A review. International Journal of Global Science Research, *7*(1): 1291-1301.
68. Siedt, M., Schaffer, A., Smith, K. E., Nabel, M., Rob-Nickoll, M., and van Dongen, J. T. 2021. Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. Science of the Total Environment, 751, 141607
69. Tejada, M. Garcia, C. Gonzalez, J. L., and Hernandez, M. T. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biology and Biochemistry. 38:1413-1421.
70. Wang, R. J., Song, J. S., Feng, Y. T., Zhou, J. X., Xie, J. Y., Asif, K. H. A. N., and Yang, X. Y. 2021. Changes in soil organic carbon pools following long- term fertilization under a rain-fed cropping system in the Loess Plateau, China. Journal of Integrative Agriculture, 20(9): 2512-2525.
71. Zhu X., Silva C. R. S., Doane T. A., Wu N., and Horwath R. H. 2013. Quantifying the effects of green waste compost application, water content and nitrogen fertilization on nitrous oxide emissions in 10 agricultural soils. Journal of Environmental Quality. 42(3): 912–918.

72. Zin, K. P., Hoon, L. L., Sarath Bandara, J. M. R., and Mallikarjunaiah, T. H. 2017. Phosphorus dynamics and rice yield response to different fertilization in acid soils. American Journal of Environmental Science and Engineering. 1(3): 90- 102.

Effects of Manure Application on Nutrient Uptake in Two Rice Varieties and Some Post-harvest Soil Chemical Properties

A. Shahdi Kumleh[1], S. R. Seyedi, and M. Foroughi

Assistant professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. **Shahdiabbas8@gmail.com**

Senior Researcher, Central and West Asian Rice Center (CWARice), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. **sr.seyedi63@yahoo.com**

Senior Researcher, Central and West Asian Rice Center (CWARice), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. **mforoughi75@gmail.com**

Received: January 2022 and Accepted: August 2022

Abstract

Organic manures, as suitable alternatives to chemical fertilizers, supply plant nutrients and contribute to the sustainability of agricultural ecosystems. It is the objective of this study to investigate the effects of applying organic fertilizers of different sources and levels on paddy soil chemical properties. The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications at the research farm of Rice Research Institute of Iran at Rasht during the two farming years of 2018 and 2019. The experimental variables included poultry (2.5, 5, and 10 t/ha), cow (5, 10, and 20 t/ha), and sheep (10, 20 and 40 t/ha) manures. The results obtained revealed that, compared to the control treatment, application of 40 t/ha of sheep manure led to an increase of 0.41 dS/m in EC and enhancements of 0.14% and 3% in N and OC, respectively, while application of 20 t/ha of cow manure increased available P and K in soil by 8.6 and 173.2 mg/kg, respectively. Also, application of 20 t/ha of cow manure led to the highest grain nitrogen of 48.6 kg/ha, phosphorus uptake of 33.1 kg/ha, and straw potassium uptake of 78 kg/ha in the Gilaneh variety while the Hashemi variety exhibited its highest grain nitrogen of 44.9 kg/ha, phosphorus uptake of 29.6 kg/ha), and straw potassium of 75.9 kg/ha under the same treatment. Thus, application of 20 t/ha of cow manure may be recommended as a superior treatment for it showed soil fertility improvement and paddy yield compensation of 80% in the Hashemi and Gilaneh rice varieties when compared with the treatment using chemical fertilizers.

Keywords: Potassium, Nitrogen, Phosphorus, Cow manure, Poultry manure

1 - Corresponding author: Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.