بررسی تأثیر ترکیب کود نایتروجن و کود ارگانیک بر رشد و حاصل کچالو (*Solanum tuberosum* L.)

محمد شفیق فایق[۱]، ایازخان ناصری[۲]
[۱]دیپارتمنت آگرانومی، پوهنحی زراعت، پوهنتون کابل
[۲]دیپارتمنت اقتصاد و توسعه زراعتی، پوهنځی زراعت، پوهنتون کابل
نویسنده مسئول: m.shafiqfaieq@ku.edu.af

چکیده
کچالو (*Solanum tuberosum* L.) یکی از اصلی‌ترین محصولات تیوبری است که نقش مهمی در امنیت غذایی جهانی ایفا می‌کند. تولید این محصول بیشتر به استفاده از کودها بستگی دارد، ولی خراب شدن خاک هنوز یکی از مشکلات اصلی در افزایش تولید آن است.کودهای عضوی و معدنی به‌ویژه کود نایتروجن، از ورودی‌های اساسی در بهبود رشد و حاصل نبات کچالو محسوب می‌شوند. با این‌حال، تحقیقات موجود در مورد تأثیر ترکیبی کودهای ارگانیک و نایتروجن بر این محصول محدود می‌باشد. هدف این مقاله مروری روایتی، بررسی خلأهای موجود در استفاده از کودهای ارگانیک و نایتروجن و تأثیر آن‌ها بر رشد و حاصل کچالو است تا راهکارهای بهینه برای افزایش بهره‌وری و کیفیت این محصول ارائه شود. در این تحقیق، از منابع علمی معتبر جهانی و گزارش‌های رسمی وزارتخانه‌ها و سازمان‌ها برای گردآوری و تحلیل ارقام استفاده‌شده است. کودهای عضوی به دلیل محتوای هیومس و توانایی بهبود ساختار خاک و حفظ رطوبت، در کنار کودهای نایتروجنی که مواد مغذی سریع‌تری را فراهم می‌کنند، تأثیرات چشمگیری بر رشد و کیفیت کچالو دارند. همچنین، استفاده ترکیبی از این دو نوع کود نه‌تنها حاصل نبات را افزایش می‌دهد، بلکه به حفظ پایداری خاک و کاهش اثرات منفی محیط‌زیست کمک می‌کند. با وجود چالش‌هایی، نظیر نیاز به مقادیر زیاد کود ارگانیک و مشکلات تأمین آن، استفاده هم‌زمان از کودهای عضوی و معدنی می‌تواند به افزایش بهره‌وری و حفظ پایداری محیط‌زیست کمک نماید.
کلمات کلیدی:تأثیرات کود، رشد و حاصل، کچالو، کود غیرعضوی، کود ارگانیک

Investigating the Combined Effect of Nitrogen and Organic Fertilizers on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Growth and Yield

Mohammad Shafiq Faieq[1], Ayaz Khan Naseri[2]
[1]Department of Agronomy, Agricuture Faculty, Kabul University
[2]Department of Agricultural Economics and Extension, Agricuture Faculty, Kabul University

Abstract
Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the main tuber crops and plays an important role in global food security. The production of potatoes is mainly influenced by the use of fertilizers, but soil degradation remains a major challenge for its productivity. Organic and mineral fertilizers, especially nitrogen fertilizers, are essential for improving the growth and yield of potatoes. However, research on the combined effects of organic and nitrogen fertilizers on potatoes is limited. The aim of this review is to explore the gaps in the use of organic and nitrogen fertilizers and their effects on potato growth and yield, in order to provide strategies to improve productivity and quality. This study uses reliable global scientific sources and official reports from ministries and organizations to gather and analyze data. Organic fertilizers, because of their humus content and ability to improve soil structure and retain moisture, along with nitrogen fertilizers, which provide faster nutrients, have a significant impact on potato growth and quality. Additionally, the combined use of both fertilizers can not only improve crop performance but also help maintain soil sustainability and reduce negative environmental impacts. Despite challenges such as the need for large amounts of organic fertilizers and difficulties in obtaining them, using both organic and mineral fertilizers together can help increase productivity and maintain environmental sustainability.
Keywords: Growth and yield, Impact of fertilizer, Inorganic fertilizer, Organic fertilizer, Potato

مقدمه

کچالو (*Solanum tuberosum* L.) یکی از محصولات غذایی مهم در جهان است که پس از برنج و گندم، سومین محصول پرمصرف به‌شمار می‌رود. این محصول در بیش از ۱۵۸ کشور کشت شده و سطح جهانی کشت آن بیش از ۱۹ میلیون هکتار است. تولید سالانه کچالو تقریباً ۳۶۴ میلیون تن برآورد می‌شود (۲۲، ۲۷ ، ۲۹، ۵۰).

کچالو به‌دلیل محتوای تغذیه‌ای بالا (کاربوهایدریت‌ها، پروتئین‌ها، فایبرهای غذایی، ویتامین‌ها، مواد معدنی و امینو اسیدها) و هضم آسان، به محبوب‌ترین سبزی جهان تبدیل‌شده است (۲۳). در سال ۲۰۲۱، تولید جهانی کچالو به ۳۷۶ میلیون تن رسید که چین با ۹۴ میلیون تن و هند با ۵۴ میلیون تن، بزرگ‌ترین تولیدکنندگان این محصول بودند (۴۲).

کچالو به‌عنوان یک منبع غذایی حیاتی، بخش بزرگی از رژیم غذایی بیش از یک میلیارد نفر در سراسر دنیا را تأمین می‌کند. این محصول به دلیل قابلیت تولید با کیفیت بالا و در مدت‌زمان کوتاه، به‌ویژه در مقایسه با محصولات غلات، به‌عنوان گزینه‌ای مهم برای تأمین امنیت غذایی شناخته می‌شود (۳۹).

کچالو در افغانستان نقش اساسی در امنیت غذایی، اشتغال‌زایی و رشد اقتصادی دارد. این محصول در بسیاری از مناطق کشور کشت شده و به‌عنوان یکی از منابع غذایی اصلی مردم افغانستان شناخته می‌شود. بیشترین تولید کچالو در ولایت بامیان صورت می‌گیرد و شرایط اقلیمی این منطقه برای کشت آن کاملاً مناسب است، در افغانستان، هر سال حدود ۵۴ هزار هکتار زمین به کشت کچالو اختصاص می‌یابد و حدود ۹۰۰ هزار تن کچالو تولید می‌شود. در دنیا به طور متوسط، هر فرد سالانه ۳۳ کیلوگرام کچالو مصرف می‌کند، اما در افغانستان این مقدار برای هر فرد ۲۵ کیلوگرام است (۱).

برای تولید مؤثر کچالو، استفاده از کودهای عضوی و نایتروجن‌دار ضروری است (۶۷). نایتروجن یکی از عناصر معدنی مهم برای رشد گیاهان است که به‌ویژه در کچال تأثیر زیادی دارد. نایتروجن به‌عنوان یک عنصر اصلی در ساخت پروتئین‌ها و امینو اسیدها، که برای رشد و تشکیل تیوبرهای کچالو ضروری هستند، شناخته می‌شود (۵۳). با این‌حال، استفاده بیش از حد از کود نایتروجن‌دار ممکن است موجب کاهش محتوای ماده خشک و نشایسته در تیوبرها شود (۳۸). نایتروجن عامل اصلی محدودکننده در رشد کچالو است و تأثیر زیادی بر میزان تولید آن دارد. با این‌حال، استفاده طولانی‌مدت از کودهای کیمیاوی می‌تواند منجر به مشکلاتی همچون عدم تعادل مواد مغذی در خاک شود. لذا استفاده از ترکیب کودهای کیمیاوی و ارگانیک اهمیت زیادی دارد (۱۰).

محققان انواع مختلفی از کودهای طبیعی را شناسایی کرده‌اند که شامل فضولات حیوانی مانند کود گاو، بز وغیره، کمپوست تهیه‌شده از بقایای گیاهی و مواد غذایی، و سایر منابع طبیعی می‌باشند. این کودها به‌طور مؤثری به بهبود رشد و حاصل گیاهان کمک می‌کنند (۳۰، ۳۵، ۳۶، ۶۴). کودهای ارگانیک از منابع نباتی یا حیوانی تهیه می‌شوند و عناصری را دارا هستند که به بهبود حاصلخیزی خاک کمک می‌کنند. کود حیوانی به‌عنوان یک محصول فرعی از فضولات حاصل از پرورش حیوانات به‌دست می‌آید، درحالی‌که کمپوست ماده ارگانیکی است که از پروسه تجزیه طبیعی به‌دست می‌آید. در بسیاری از نقاط جهان، دهاقین که کچالو کشت میکنند تمایل دارند از کود مرغی به‌عنوان کود برای تقویت خاک استفاده کنند. کچالو در خاک‌هایی که غنی از کلسیم هستند، به‌خوبی رشد می‌کند و این امر باعث تولید محصول بیشتر می‌شود. همچنین، پوتاشیم نقش بسیار مهمی در افزایش تولید کچالو دارد، زیرا در پروسه فتوسنتز، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها (stomata) و حفظ انرژی گیاه برای انتقال مواد مغذی و جذب آب در گیاهان مؤثر است (۶۴).

با این‌که کچالو در هر نوع خاکی می‌تواند رشد کند، این محصول در خاک‌های غنی از مواد ارگانیک حاصل بهتری دارد (۱۹). مدیریت تلفیقی مواد مغذی نیز یک استراتیژی کلیدی برای تولید کچالو است و مطالعات انجام‌شده بر روی کاربرد ترکیبی کودهای ارگانیک و معدنی افزایش چشمگیر حاصل کچالو را گزارش کرده‌اند. کچالو به‌عنوان یک نبات نیازمند مواد مغذی

فراوان است و نیاز به مقادیر زیادی از نایتروجن، فاسفورس و پوتاشیم دارد که کودهای کیمیاوی منابع اصلی تأمین این مواد برای کشت کچالو هستند (۳۱). بااین‌حال، وابستگی مداوم به کودهای کیمیاوی باعث برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای و اثرات منفی بر خصوصیات فیزیکی -کیمیاوی و بیولوژیکی خاک می‌شود. به دلیل استفاده از کودهای امونیمی و شستشوی کتایون‌ها از ناحیه ریشه، بسیاری از خاک‌ها که برای تولید کچالو استفاده می‌شوند، طی زمان تیزابی شده‌اند. در مرحله رشد تیوبر (که همان بخش رشد غده‌ها است)، کچالو به‌طور متوسط نیاز به ٦ کیلوگرام نایتروجن در هر هکتار دارد تا به خوبی رشد کند. این مقدار نایتروجن برای رشد بهتر و تولید تیوبرهای بیشتر ضروری است (۴۴). استفاده زیاد از کودها، به‌ویژه کودهای معدنی، می‌تواند باعث کاهش رشد تیوبرهای کچالو شود. همچنین، این کار باعث می‌شود نسج تیوبرها آبدارتر شده و کیفیت پخت آن‌ها کاهش یابد (۵۱). همچنین، نباتاتی‌که نایتروجن زیادی دریافت می‌کنند، برگ‌های متراکمی ایجاد می‌کنند که حساس به امراض قارچی هستند و شروع و پختگی تیوبرها را به تأخیر می‌اندازند. نایتروجن اضافی منجر به رشد ضعیف ریشه‌ها و برگ‌های پیچ‌خورده و تغییر شکل یافته می‌شود. استراتیژی نامناسب در مدیریت مواد مغذی می‌تواند منجر به کاهش حاصل کچالو و کیفیت ضعیف تیوبرها شود (43). کمبود مواد مغذی ناشی از استفاده گسترده از روش‌های زراعت استخراجی، مانند پاک‌سازی بقایای کشت، استفاده کم یا عدم استفاده از کودهای ارگانیک و معدنی و چرای بی‌رویه است. مدیریت تلفیقی مواد مغذی رویکرد بهتری برای تأمین مواد مغذی به محصول است که در آن منابع ارگانیک و معدنی به‌طور هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند(۵۲). بنابراین، استفاده تلفیقی از تمامی منابع مواد مغذی نباتی (کود کیمیاوی، کودهای ارگانیک، بیوکودها) نه‌تنها برای افزایش بهره‌وری محصول بلکه برای بهبود سلامت خاک ضروری است تا بهره‌وری محصول در بلندمدت پایدار بماند (۱۵). از سوی دیگر، ترکیب دقیق منابع ارگانیک و معدنی مواد مغذی می‌تواند به دست آوردن بازده اقتصادی خوب با حفظ سلامت خاک کمک کند (۲۱).

برای بسیاری از محصولات زراعتی، از جمله کچالو، تحقیقاتی جامع در مورد نوع، مقدار، زمان و روش‌های کاربرد کودها صورت نگرفته است. از این‌رو، هدف این مقاله مروری، شناسایی خلأهای موجود در استفاده از کودهای ارگانیک و نایتروجن و تأثیر آن‌ها بر رشد و حاصل کچالو است تا راهکارهای مناسب برای افزایش تولید و کیفیت کچالو ارائه شود.

مواد و روش ها

مطالعه حاضر به‌عنوان یک تحقیق مروری روایتی (Narrative Review) براساس بررسی جامع منابع علمی مرتبط با رشد و توسعهٔ نبات کچالو و تأثیر کود دهی بر این نبات طراحی‌شده است. در این تحقیق، اطلاعات از مقالات و منابع مختلف از جمله پایگاه‌های معتبر جهانی مانند Google Scholar، Web of Science، گزارش‌های رسمی از وزارت زراعت و مالداری و سازمان غذا و زراعت (FAO) گردآوری و مطالعه شده است. در پروسه تدوین این مقاله مروری، کلیدواژه‌های مختلفی مانند نقش کود نایتروجن در افزایش حاصل کچالو، ویژگی‌های کودهای عضوی و غیرعضوی، انواع کودهای عضوی، مقایسهٔ کودهای عضوی و غیرعضوی ، تأثیرات ترکیبی کودهای عضوی و غیرعضوی و محدودیت‌های کودهای ارگانیک و کیمیاوی به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. این رویکرد به‌منظور گردآوری دیدگاه‌ها و نتایج مختلف در زمینهٔ تأثیرات کود دهی بر حاصل کچالو در سطوح مختلف اجرا شده است.

نقش کود نایتروجن در حاصل دهی نبات کچالو

نایتروجن یکی از مهم‌ترین مواد مغذی برای رشد کچالو است که در تولید پروتئین‌ها و افزایش رشد نبات نقش دارد. تأمین نایتروجن کافی باعث بهبود رشد نبات، افزایش اندازه تیوبرها و مقاومت به امراض می‌شود. بااین‌حال، مصرف بیش‌از حد نایتروجن می‌تواند به کاهش حاصل تیوبرها منجر شود و کمبود آن نیز باعث کاهش فوتوسنتز و آسیب به نبات می‌گردد (۲۸).

ویژگی‌های کود ارگانیک و کود نایتروجن غیر ارگانیک

کود ارگانیک از منابع طبیعی مانند فضولات حیوانی، کمپوست سبزی‌ها و بقایایی نباتی به دست می‌آید (۳۳). این کودها با تجزیه در خاک، حاصلخیزی آن را افزایش می‌دهند و مفهوم تغذیه خاک برای تغذیه نبات را دنبال می‌کنند (۵۶). استفاده از کودهای حیوانی در زراعت رو به افزایش است، زیرا به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و کیمیاوی خاک و به حفظ حاصلخیزی آن کمک می‌کنند (۳۴). این کودها همچنین به تسهیل رشد نبات و تأمین مواد مغذی برای رشد مناسب کمک می‌نماید، هرچند برای تأمین نایتروجن کافی برای کچالو به‌تنهایی کافی نیستند (۳). از دیگر مزایای این کودها فعال‌سازی مواد مغذی خاک و افزایش جذب آن‌ها توسط نبات است (۱۸). بر اساس چندین تحقیق، ترکیبات عضوی یا کودها معمولاً چهار ویژگی دارند که به شرح زیر است: همهٔ آن‌ها حاوی کاربن هستند، بیشتر آن‌ها قابل‌احتراق‌اند، همهٔ آن‌ها در حلال‌های غیرقطبی حل می‌شوند و بیشتر این ترکیبات(نه همه)، مالیکول‌هایی هستند که به‌طور کووالانسی به یکدیگر متصل اند (۴۰).

امونیم ($NH4^{+}$)، نایتریت (NO^{3-})، نایتروجن مالیکولی (N2)، نایترایت (NO^{2-})، نایتروس اکساید (N_2O) و نیتریک اکساید (NO) نمونه‌هایی از نایتروجن غیر ارگانیک هستند که ۲ تا ۵ درصد نایتروجن خاک را تشکیل می‌دهند و از طریق دی‌نایتریفیکشن (Denitrification) کاهش نمی‌یابند (61). مایکرو ارگانیزم‌ها این شکل‌ها را به یکدیگر تغییر می‌دهدو نباتات آن‌ها را جذب و به پروتئین تبدیل می‌کنند (۵۴). استفاده از کودهای نایتروجن دار غیر ارگانیک، به خصوص در زراعت و جنگلداری، معمول است. این کودها باعث رشد جلبک‌های سمی می‌شوند (۵۵).

زراعت ارگانیک با بهبود ویژگی‌های خاک، حاصلخیزی آن را افزایش می‌دهد و به‌عنوان روشی برای تولید غذایی پایدار و کاهش آسیب به محیط‌زیست پیشنهاد می‌شود (۶۳). این نوع زراعت پتانسیل ذخیره کاربن در خاک و کاهش گازهای گلخانه‌ای را دارد (۵۷). همچنین، استفاده از کودهای ارگانیک به افزایش امنیت غذایی و حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند (۶۵). زراعت ارگانیک با کاهش استفاده از مواد کیمیاوی و کاهش فرسایش خاک، آسیب به آب‌های زیرزمینی را نیز به حداقل می‌رساند (۴۷).

انواع کود ارگانیک

دهاقین برای داشتن محصول بهتر و پایدارتر، تمایل دارند از کودهای ارگانیک طبیعی استفاده کنند. این کودها به بهبود خاک و افزایش تولید در درازمدت کمک می‌کنند (۴۱). یکی از این کودها کود سبز است که شامل وارد کردن نباتات سبز به خاک می‌شود. این نباتات به افزایش میزان کاربن عضوی در خاک کمک می‌کنند که موجب بهبود ساختار خاک، افزایش فعالیت میکروبی و بهبود ظرفیت نگهداری آب می‌شود (۴۸). این نوع کود می‌تواند به افزایش حاصل کچالو، کاهش فرسایش خاک و همچنین بهبود امنیت غذایی دهاقین کمک کند (۲۵).

یکی دیگر از کودهای ارگانیک، کود حیوانی است که به دلیل داشتن ویژگی‌های متنوع، برای بهبود سریع‌تر خاک و افزایش حاصل‌خیزی توصیه می‌شود (۶۸). کود حیوانی (FYM) معمولاً شامل ضایعات حیوانی مانند مدفوع و ادرار است که منبع غنی از کاربن عضوی بوده و رشد فلورا و فاونا (flora and fauna) خاک را تحریک می‌کند. این کود همچنین حاوی نایتروجن، فاسفورس و پوتاشیم است که برای رشد گیاهان ضروری هستند. در مقایسه با کودهای کیمیاوی، کود حیوانی قادر است حاصل‌خیزی خاک را برای مدت طولانی‌تری حفظ کند و کچالو معمولاً با این کود تغذیه می‌شود (۴، ۵۹).

ورمیکمپوست (Vermicompost)که حاصل تجزیه مواد عضوی توسط کرم‌ها است، به بهبود فیزیکی، کیمیاوی و بیولوژیکی خاک کمک می‌کند. این کود ویژگی‌هایی مانند بهبود تهویه خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تقویت فعالیت میکروبی خاک را به دنبال دارد (۳۷، ۶۰). علاوه بر این، کمپوست مناسب برای کچالو باید دارای بافت باز(open-textured) ،

غنی از مواد عضوی و pH خنثی باشد. این ویژگی‌ها موجب می‌شود که کمپوست به‌عنوان مکمل خاک یا برای گیاهان، به ویژه کچالو، مفید باشد (۱۳، ۱۶).

مقایسه کود ارگانیک با کود کیمیاوی

کودهای ارگانیک با بهبود ساختار فیزیکی خاک، باعث افزایش تهویه، جلوگیری از فشردگی خاک و تسهیل رشد ریشه‌ها می‌شوند. همچنین، این کودها به دلیل محتوای بالای مواد عضوی، قادرند آب را بهتر در خاک ذخیره کرده و از تبخیر آن جلوگیری کنند، که به گیاهان در شرایط خشکی کمک می‌کند. علاوه بر این، کودهای ارگانیک با تقویت فعالیت میکروبی در خاک، موجب تجزیه مواد عضوی و آزادسازی تدریجی مواد مغذی برای گیاهان می‌شوند. در نتیجه، استفاده از این کودها نه تنها سلامت خاک را بهبود می‌بخشد، بلکه گیاهان را مقاوم‌تر و سالم‌تر می‌کند (۳۲). برخلاف کودهای کیمیاوی که مواد مغذی را به‌طور سریع به گیاهان ارائه می‌دهند و ممکن است باعث تخلیه منابع طبیعی خاک شوند، کودهای ارگانیک با آزادسازی تدریجی مواد مغذی، خاک را به‌طور پایدار تقویت می‌کنند. این کودها علاوه بر تأمین مواد مورد نیاز گیاهان به‌طور مداوم، با افزودن هوموس به خاک، ظرفیت خاک برای حفظ آب و مواد مغذی را افزایش می‌دهند و از تخلیه سریع این منابع جلوگیری می‌کنند، در نتیجه موجب حفظ سلامت و حاصل‌خیزی بلندمدت خاک می‌شوند (۱۴). کودهای ارگانیک با افزودن هوموس به خاک، ساختار آن را بهبود می‌دهند و به حفظ حاصلخیزی بلندمدت خاک کمک می‌کنند. هوموس، با ایجاد فضای متخلخل در خاک، باعث بهبود تهویه و جذب آب می‌شود و خاک را در برابر خشکی مقاوم‌تر می‌کند. همچنین، این ماده با تقویت فعالیت میکروبی خاک، تجزیه مواد عضوی را تسریع کرده و مواد مغذی بیشتری را برای گیاهان آزاد می‌کند. بنابراین، استفاده از کودهای ارگانیک که حاوی هوموس هستند، به حفظ کیفیت و پایداری خاک در زراعت پایدار کمک می‌کند (۵۸).

اثر ترکیب استفاده از کود عضوی و کود نایتروجن دار غیرعضوی بر رشد، محصول و کیفیت کچالو

ترکیب کودهای عضوی و نایتروجن دار غیرعضوی یکی از استراتیژی‌های مؤثر برای افزایش حاصل و کیفیت کچالو به شمار می‌رود. این رویکرد به‌ویژه در شرایطی که نیاز به بهبود کیفیت خاک و بهینه‌سازی رشد گیاه وجود دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کودهای نایتروجن‌دار غیرعضوی به‌طور عمده با تقویت پروسه‌های رشدی گیاه، ازجمله تقسیم سلولی و جذب مواد مغذی، موجب افزایش حاصل و کیفیت محصول می‌شوند (۲۴، ۴۹). نایتروجن یکی از عناصر کلیدی برای رشد گیاهان است که با افزایش سرعت رشد گیاه و تقویت پروسه فوتوسنتز، به‌طور مستقیم بر حجم و کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد.

در مقابل، کودهای عضوی شامل مواد مغذی مختلفی مانند فاسفورس، پوتاشیم و عناصر کم‌مصرف هستند که به تأمین نیازهای گیاه کمک کرده و درعین‌حال به بهبود ساختار خاک و افزایش حاصلخیزی آن می‌پردازند. کودهای عضوی معمولاً حاوی مواد ارگانیک هستند که به تقویت فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب کمک می‌کنند. این کودها همچنین با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، کیمیاوی و بیولوژیکی خاک، موجب حفظ سلامت خاک در بلندمدت می‌شوند (۲۶).

استفاده ترکیبی از کودهای عضوی و نایتروجن‌دار می‌تواند تأثیر چشمگیری بر رشد و کیفیت کچالو داشته باشد. تحقیقات نشان داده‌اند که این ترکیب می‌تواند حاصل نبات را تا ۸۲% افزایش دهد (۱۱). این ترکیب نه‌تنها موجب افزایش حجم و کیفیت تیوبرهای کچالو می‌شود، بلکه به دلیل تأثیر مثبت آن بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، موجب بهبود توانایی خاک در حفظ رطوبت و مواد مغذی نیز می‌شود. علاوه بر این، استفاده ترکیبی از این دو نوع کود باعث افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌شود که نقش مهمی در تجزیه مواد عضوی و آزادسازی مواد مغذی ایفا می‌کند.

مطالعات مختلف در کشورهایی مانند ایران، هند و اتیوپی نشان داده‌اند که استفاده از ترکیب کودهای عضوی و نایتروجن‌دار غیرعضوی به‌طور مؤثری باعث افزایش حاصل کچالو، بهبود کیفیت محصول و بهبود فعالیت میکروبی خاک می‌شود (۷، ۸، ۱۲). این ترکیب همچنین موجب بهبود ویژگی‌های محیط زیستی می‌شود، به‌ویژه ازآن‌جهت که به حفظ پایداری خاک و بهبود نسبت کاربن به نایتروجن (C:N) کمک می‌کند. بهبود این نسبت در خاک به کاهش فرسایش خاک و حفظ کیفیت آن در بلندمدت کمک می‌کند. همچنین، ترکیب این کودها به بهبود نگهداری آب در خاک کمک کرده و درنتیجه می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود پایداری زراعت در مناطق خشک و نیمه‌خشک شود.

درنهایت، استفاده از ترکیب کودهای عضوی و نایتروجن‌دار غیرعضوی نه‌تنها به افزایش تولید کچالو کمک می‌کند، بلکه تأثیرات مثبت زیادی بر بهبود سلامت خاک، حفظ منابع طبیعی و پایداری محیط‌زیست دارد. بنابراین، این روش می‌تواند به‌عنوان یک استراتیژی مؤثر در زراعت پایدار در مناطق مختلف جهان به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه مورد توجه قرار گیرد.

محدودیت‌های کودهای ارگانیک و کیمیاوی

یکی از مشکلات عمده در استفاده از کودهای ارگانیک، عدم توانایی آن‌ها در تأمین مقادیر کافی از مواد مغذی اساسی مانند نایتروجن، فاسفورس و پوتاشیم (NPK) است. هرچند که برخی از کودهای ارگانیک مانند کود حیوانی، این مواد مغذی را در خود دارند، اما ممکن است نتوانند به‌طور کامل نیازهای گیاهان را برآورده کنند (۱۷). علاوه بر این، برخی از کودهای ارگانیک مانند فضولات حیوانی، جلبک دریایی و روغن ماهی بوی شدیدی دارند و زمان زیادی می‌برند تا به مواد مغذی قابل‌استفاده برای گیاه تبدیل شوند، بنابراین استفاده از آن‌ها برای گیاهان داخلی توصیه نمی‌شود (۹).

از طرف دیگر، استفاده بیش از حد از کودهای کیمیاوی می‌تواند منجر به تیزابی شدن خاک، تشکیل پوسته‌های سخت و کاهش مقدار مواد عضوی، هوموس و موجودات مفید خاک شود. این عوامل درنهایت بر رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارند و موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند (۴۵). علاوه بر این، کودهای کیمیاوی می‌توانند جذب آب توسط گیاهان را مختل کرده و باعث سوختگی ریشه یا سوختگی ناشی از کود شوند (۲۰). محتوای بالای نایتروجن در کودهای کیمیاوی همچنین می‌تواند باعث کم‌آبی و استرس گیاه شود زمانی که این نایتروجن به‌سرعت توسط خاک جذب شود (٦). استفاده طولانی‌مدت از این کودها ممکن است باعث تغییر در تعادل pH خاک و تجمع مضر مواد مغذی گردد (۲). تأثیرات محیطی کودهای کیمیاوی بسیار گسترده است و موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط‌زیست می‌شود (٦۲). علاوه بر این، استفاده بیش از حد از این کودها منجر به تخریب شدید خاک، شستشوی نایتروجن، فشردگی خاک و از دست دادن کاربن و مواد عضوی خاک می‌شود (٦٦).

نتیجه‌گیری

این تحقیق به‌صورت یک بررسی مروری روایتی (Narrative Review) به تحلیل جامع منابع علمی مرتبط با رشد و توسعه گیاه کچالو و تأثیر کوددهی بر آن پرداخته است. در این تحقیق، داده‌ها از مقالات و منابع مختلف، از جمله پایگاه‌های معتبر جهانی همچون Google Scholar ، Web of Science، گزارش‌های رسمی وزارت زراعت و مالداری و سازمان غذا و زراعت (FAO)جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گرفته است. در پروسه تدوین این مقاله، موضوعاتی چون نقش کود نایتروژن در افزایش محصول کچالو، ویژگی‌های کودهای عضی و غیرعضوی، انواع کودهای عضوی، مقایسه این دو نوع کود، تأثیرات ترکیبی کودهای عضوی و غیرعضوی، و محدودیت‌های هرکدام به‌طور مفصل بررسی شده‌اند. این رویکرد برای گردآوری دیدگاه‌ها و نتایج مختلف در رابطه با اثرات کوددهی بر محصول و کیفیت کچالو در سطوح مختلف انجام شده است.

استفاده ترکیبی از کودهای عضوی و نایتروجنی می‌تواند تأثیر چشمگیری بر رشد و کیفیت کچالو داشته باشد. تحقیقات نشان داده‌اند که این ترکیب می‌تواند حاصل محصول را تا ۸۲٪ افزایش دهد. کودهای عضوی و معدنی (نایتروجن) از منابع مهم و ضروری مواد مغذی برای دهاقین کوچک‌مقیاس در سرتاسر دنیا به شمار می‌روند. کودهای عضوی به‌ویژه به دلیل محتوای هوموس خود که به بهبود ساختار خاک و حفظ رطوبت آن کمک می‌کند، بسیار محبوب هستند. این کودها حاوی مقادیر نسبی از نایتروجن، فاسفورس و پتاشیم هستند، اما این مقادیر نسبت به کودهای معدنی به‌طور معمول کمتر است. دهاقین کوچک‌مقیاس به‌طور گسترده از انواع مختلف کودهای عضوی مانند کود حیوانی، ضایعات حیوانی، بقایای گیاهی، کود سبز، کمپوست و ورمی‌کمپوست استفاده می‌کنند. این کودها نه‌تنها به تقویت رشد گیاهان کمک می‌کنند، بلکه به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، کیمیاوی و بیولوژیکی خاک نیز می‌انجامند. در مقابل، کودهای معدنی، به‌ویژه کودهای نایتروجنی، بیشترین سهم را در مصرف جهانی کودها دارند و در بسیاری از مناطق دنیا به‌طور گسترده‌ای برای افزایش بهره‌وری استفاده می‌شوند.

هر دو نوع کود عضوی و معدنی تأثیرات چشمگیری بر رشد، حاصل و کیفیت محصولات زراعتی به‌ویژه کچالو دارند. کودهای عضوی به‌ویژه در بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش توانایی خاک در نگهداری آب و مواد مغذی مؤثر هستند، درحالی‌که کودهای معدنی به‌طور مستقیم و سریع‌تری مواد مغذی موردنیاز گیاه را تأمین می‌کنند. بااین‌حال، از منظر حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار، کودهای عضوی به دلیل تأثیرات کمتر زیست‌محیطی و توانایی حفظ تنوع بیولوژی خاک نسبت به کودهای معدنی اهمیت بیشتری دارند. کودهای عضوی می‌توانند به‌طور مؤثری به حفظ سلامت خاک کمک کرده و اثرات منفی بر محیط‌زیست ازجمله آلودگی آب‌های زیرزمینی را کاهش دهند.

بااین‌وجود، در حال حاضر استفاده یکپارچه از کودهای عضوی و معدنی در بسیاری از نقاط جهان به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه رایج است، اما این روش در برخی مناطق به دلایل مختلف هنوز به‌طور گسترده‌ای پیاده‌سازی نمی‌شود. یکی از چالش‌های اصلی در استفاده از این روش، نیاز به مقادیر زیاد کود عضوی در هر هکتار است. به‌ویژه برای تولیدکنندگان کچالو که باید حجم زیادی از کود عضوی را برای هر هکتار تهیه و استفاده کنند، این مسئله به‌عنوان یک مانع عمده در اجرای این تکنیک‌ها در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، تولید و تأمین کود عضوی برای دهاقین به دلیل کمبود تکنولوژی‌های مناسب تولید کود عضوی یک چالش دیگر به شمار می‌رود.

درنهایت، برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری در تولید کچالو و حفظ سلامت محیط‌زیست، هیچ گزینه‌ای به‌جز استفاده هم‌زمان از کودهای عضوی و معدنی در یک روش تلفیقی وجود ندارد. این رویکرد می‌تواند نه‌تنها حاصل محصول را افزایش دهد بلکه به حفظ پایداری محیط‌زیست و منابع طبیعی نیز کمک کند.

کار آینده

تحقیقات آینده باید به‌طور ویژه بر روی بهبود و ارتقای کارایی کودهای عضوی متمرکز شوند. یکی از اهداف اصلی می‌تواند افزایش محتوای نایتروجن در این کودها باشد تا نیازهای تغذیه‌ای گیاهان به‌ویژه کچالو به‌طور بهینه‌تری تأمین گردد. افزایش مقدار نایتروجن در کودهای عضوی موجب فراهم شدن منابع نایتروجن قابل‌دسترس و مناسب برای گیاهان می‌شود، که این امر می‌تواند به رشد بهتر و حاصل بالاتر در محصولات زراعتی منجر شود. به همین ترتیب، استفاده از این نوع کودها به‌عنوان منبعی پایدار و سازگاربامحیط‌زیست برای تغذیه گیاهان، به توسعه زراعت سبز و پایدار کمک خواهد کرد.

مأخذ

1. Abd-Elrahman SH, Saudy HS, El-Fattah DAA, Hashem FAE. Effect of irrigation water and organic fertilizer on reducing nitrate accumulation and boosting lettuce productivity. J Soil Sci Plant Nutr. 2022;22(2):2144-2155. doi:10.1007/s42729-022-00799-8
2. Agbede TM, Oyewumi A. Effects of Biochar, Poultry Manure and Their Mixture on Essential Nutrients of Sweet Potato Leaves and Storage Roots in Degraded Tropical Alfisols of Southwest Nigeria. Commun Soil Sci Plant Anal. 2022;53(15):1903-1916. doi:10.1080/00103624.2022.2069799
3. Akhtar S, Shoaib A, Javiad I, Qaiser U, Tasadduq R. Farmyard manure regulated the defense signaling network in mash bean by countering stress responses of inglorious couple of charcoal rot fungus and copper. Agronomy J. 2012; 1-7.
4. Allam M, Radicetti E, Quintarelli V, Petroselli V, Marinari S, Mancinelli R. Influence of organic and mineral fertilizers on soil organic carbon and crop productivity under different tillage systems: A Meta-Analysis. Agriculture, 2022;12(4):464. doi:10.3390/agriculture12040464
5. Ammar EE, Aioub AA, Elesawy AE, Karkour AM, Mouhamed MS, Amer AA, El-Shershaby NA. Algae as Bio-fertilizers: Between current situation and future prospective. Saudi J Biol Sci. 2022;29(5):3083-3096. doi:10.1016/j.sjbs.2022.03.020
6. Asfaw F. Effect of integrated soil amendment practices on growth and seed tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) at Jimma Arjo, Western Ethiopia. J Nat Sci Res. 2016;6(15):38-63. Available from: https://core.ac.uk/download/pdf/234656534.pdf
7. Asghari MT, Mir R, Fard A. The effect of farm yard manure and nitrogen fertilizer on some characteristics of potato (*Solanum tuberosum* var. Agria). Biharean Biologist, 2015;9(2):81-84. Available from: http://biozoojournals.ro/bihbiol/index.html
8. Awogbemi O, Kallon DVV, Owoputi AO. Biofuel generation from potato peel waste: Current state and prospects. Recycling, 2022;7(2):23. doi:10.3390/recycling7020023
9. Baishya MK, Ghosh EK, Gupta DC, Dubey VK, Anup SK, Patel DP. Productivity and soil health of potato (*Solanum-tuberosum*) field as influenced by organic manures, inorganic fertilizers and bio fertilizers under high altitude of eastern Himalayas. J Agric Sci. 2012;4(5):223-234.
10. Baniuniene A, Zekaite V. The effect of mineral and organic fertilizers on potato tuber yield and quality. Latv J Agronomy, 2008;11(11):202-206. Available from: https://llufb.llu.lv/conference /agrvestis/ content/n11/ AgrVestis-Nr11-202-206.pdf
11. Bashir U, Qureshi F. Effect of nitrogen and farmyard manure on yield, nutrient content and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). Int J Biol Life Sci. 2014;2(3):786-791.
12. Brown SL, Chaney RL, Hettiarachchi GM. Lead in urban soils: A real or perceived concern for urban agriculture? J Environ Qual. 2016;45(1):26-36. doi:10.2134/jeq2015.07.0376
13. Brust GE. Management strategies for organic vegetable fertility, Safety and practice for organic food. Elsevier, 2019:193-212.
14. Chen J-H. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. Int Workshop Sustained Manag Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production Fertilizer Use. 2006;1-11.
15. Cheyne I. Taming the precautionary principle in EC Law: Lessons from waste and GMO regulation. J Eur Environ Plann Law, 2007;4(6):468-483. doi:10.1163/187601007X00064
16. De Corato U. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. Sci Total Environ. 2020;738:139840. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139840
17. Deena SR, Vickram S, Manikandan S, Subbaiya R, Karmegam N, Ravindran B, et al. Enhanced biogas production from food waste and activated sludge using advanced techniques–a review. Bioresour Technol. 2022;355:127234. doi:10.1016/j.biortech.2022.127234
18. Edwards CA, Arancon NQ. The Use of Earthworms in Organic Waste Management and Vermiculture, Biology and Ecology of Earthworms. Springer. 2022.
19. Fageria N, Filho MB, Moreira A, Guimarães C. Foliar fertilization of crop plants. J Plant Nutr. 2009;32(6):1044-1064. doi:10.1080/01904160902872826
20. Fahad S, Chavan SB, Chichaghare AR, Uthappa AR, Kumar M, Kakade V, et al. Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance. Sustainability, 2022;14(22):14877. https://doi.org/10.3390/su142214877
21. FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Data of Statistics). Food and Agriculture Organization Data of statistics. One hundred fifty eight countries data base. 2014. Available from: http://faostat.fao.org/site/567/

22. Fernández-López J, Botella-Martínez C, de Vera CN, Sayas-Barberá ME, Viuda-Martos M, Sánchez-Zapata E, et al. Vegetable soups and creams: Raw materials, processing, health benefits, and innovation trends. Plants, 2020;9(12):1769. https://doi.org/10.3390/plants9121769
23. Getahun BB, Kassie MM, Visser RG, van der Linden CG. Genetic diversity of potato cultivars for nitrogen use efficiency under contrasting nitrogen regimes. Potato Research, 2020;63(2):267–290. https://doi.org/10.1007/s11540-019-09439-8
24. Gitari HI, Gachene CK, Karanja NN, Kamau S, Nyawade S, Schulte-Geldermann E. Potato-legume intercropping on a sloping terrain and its effects on soil physico-chemical properties. Plant Soil. 2019;438(1–2):447–460. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04036-7
25. Gorfie BN, Tuhar AW, Shiberu Keraga A, Woldeyohannes AB. Effect of brewery wastewater irrigation on soil characteristics and lettuce (*Lactuca sativa*) crop in Ethiopia. Agricultural Water Management, 2022;269:107633. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107633
26. Hancock RD, Morris WL, Ducreux LJ, Morris JA, Usman M, Verrall SR, et al. Physiological effects of potato breeding. Journal of Potato Research, 2014; 12-24.
27. Hassanpanah D, Hosienzadeh AA, Dahdar B, Allahyari N, Imanparast L. Effects of different rates of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and yield components of Savalan potato cultivar mini-tubers. Journal of Food, Agriculture & Environment; 2009;7(2):415-418.
28. Hielke DJ, Joseph B, Sieczka J, Walter DJ. The complete book of potatoes: What every grower and gardener needs to know. Ppwpress, 2011; pp-259.
29. Khan I, Zada S, Rafiq M, Sajjad W, Zaman S, Hasan F. Phosphate solubilizing epilithic and endolithic bacteria isolated from clastic sedimentary rocks, Murree lower Himalaya, Pakistan. Archives of Microbiology, 2022;204(6):332. https://doi.org/10.1007/s00203-022-02946-2
30. Koch M, Naumann M, Pawelzik E, Gransee A, Thiel H. The importance of nutrient management for potato production Part I: Plant nutrition and yield. Potato Research, 2020;63(1):97–119. https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2
31. Kocsis T, Ringer M, Biró B. Characteristics and applications of biochar in soil–plant systems: A short review of benefits and potential drawbacks. Applied Sciences, 2022;12(8):4051. https://doi.org/10.3390/app12084051
32. Koul B, Yakoob M, Shah MP. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. Environmental Research. 2022;206:112285. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112285
33. Kumar S, Sindhu SS, Kumar R, Kumar R. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. Current Research in Microbial Sciences, 2022;3:100094. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094
34. Le Pera A, Sellaro M, Bencivenni E. Composting food waste or digestate? Characteristics, statistical and life cycle assessment study based on an Italian composting plant. Journal of Cleaner Production. 2022;350:131552. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131552
35. Madhu P, Sasireka M, Samikannu R, Vinoth K, Kumar AU, Patil PP,et al. Production and characterization of maximum liquid oil products through individual and co-pyrolysis of pressed neem oil cake and waste thermocol mixture. Advances in Polymer Technology, 2022;2022:1–11. https://doi.org/10.1155/2022/5258130
36. Mago M, Gupta R, Yadav A, Garg VK. Sustainable treatment and nutrient recovery from leafy waste through vermicomposting. Bioresource Technology, 2022;347:126390. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126390
37. Margus K, Eremeev V, Loit E, Runno-Paurson E, Mäeorg E, Luik A,et al. Impact of farming system on potato yield and tuber quality in Northern Baltic Sea climate conditions. Agriculture, 2022;12(4):568. https://doi.org/10.3390/agriculture12040568
38. Mondal MAA. Improvement of potato (*Solanum tuberosum* L.) through hybridization and in vitro culture technique. PhD dissertation, Rajshahi University, Rajshahi, Bangladesh, 2003. p. 270.
39. Mota GF, de Sousa IG, de Oliveira ALB, Cavalcante ALG, da Silva Moreira K, Cavalcante FTT, et al. Biodiesel production from microalgae using lipase-based catalysts: Current challenges and prospects. Algal Research, 2022;62:102616. https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102616
40. Muluneh MW, Talema GA, Abebe KB, Tsegaw BD, Kassaw MA, Mebrat AT. Determinants of organic fertilizers utilization among smallholder farmers in South Gondar zone, Ethiopia. Environ Health Insights, 2022;16:11786302221075448. doi: 10.1177/11786302221075448.
41. Munnaf MA, Haesaert G, Mouazen A. Map-based site-specific seeding of seed potato production by fusion of proximal and remote sensing data. Soil Tillage Res. 2021;206:104801. doi: 10.1016/j.still.2020.104801.
42. Munyaneza JE, Bizimungu B. Management of potato pests and diseases in Africa. In: Insect Pests of Potato, 2022; p. 407–426. doi: 10.1016/B978-0-12-821237-0.00016-0.

43. Muthoni J. Soil fertility situation in potato producing Kenyan highlands Case of KALRO-Tigoni. Int J Hortic. 2016;6. doi: 10.5376/ijh.2016.06.0025.
44. Pahalvi HN, Rafiya L, Rashid S, Nisar B, Kamili AN. Chemical fertilizers and their impact on soil health. Microbiota and Biofertilizers, 2021;2:1–20. doi: 10.1007/978-3-030-61010-4_1.
45. Pervez MA, Ayyub CM, Shaheen MR, Noor MA. Determination of physiomorphological characteristics of potato crop regulated by potassium management. Pak J Agric Sci. 2013;50(4). Availablefrom:https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA360573366&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=05529034&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon~39c12c9b&aty=open+web+entry.
46. Pimentel D, Burgess M. An environmental, energetic and economic comparison of organic and conventional farming systems. In: Integrated Pest Management: Pesticide Problems, 2014. p. 141–166. doi: 10.1007/978-94-007-7796-5_6.
47. Rani TS, Umareddy R, Ramulu C, Kumar TS. Green Manures and Green Leaf Manures for Soil Fertility Improvement: A Review. J Pharmacogn Phytochem, 2021;10(5):190–196. Available from: https://www.phytojournal.com/archives/2021.v10.i5.14196/green-manurs-and-grean-leaf-manures-for-soil-fertility-improvement-a-review.
48. Richardson AE, Barea JM, McNeill AM, Prigent-Combaret C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. Springer; 2009; pp-34.
49. Rykaczewska K. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. Am J Plant Sci. 2013;4:2386–2393.
50. Sandhu AS, Sandhu AS. Energy budgeting and economics of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation under different sowing methods in north-western India. Energy, 2023;269:126755. doi: 10.1016/j.energy.2023.126755.
51. Selim MM. Introduction to the integrated nutrient management strategies and their contribution to yield and soil properties. Int J Agron. 2020;2020:1–14. doi: 10.1155/2020/2821678.
52. Selim S, Akhtar N, El Azab E, Warrad M, Alhassan HH, Abdel-Mawgoud M, et al. Innovating the synergistic assets of β-amino butyric acid (BABA) and selenium nanoparticles (SeNps) in improving the growth, nitrogen metabolism, biological activities, and nutritive value of Medicago interexta sprouts. Plants. 2022;11(3):306. doi: 10.3390/plants11030306.
53. Shahi Khalaf Ansar B, Kavusi E, Dehghanian Z, Pandey J, Asgari Lajayer B, Price GW,et al. Removal of organic and inorganic contaminants from the air, soil, and water by algae. Environ Sci Pollut Res. 2022:1–29. doi: 10.1007/s11356-022-21283-x.
54. Shi X, Luo X, Jiao JJ, Zuo J. Dominance of evaporation on lacustrine groundwater discharge to regulate lake nutrient state and algal blooms. Water Res. 2022;219:118620. doi: 10.1016/j.watres.2022.118620.
55. Smith D, Macrae M, Kleinman P, Jarvie H, King K, Bryant R. The latitudes, attitudes, and platitudes of watershed phosphorus management in North America. J Environ Qual. 2019;48(5):1176–1190. doi: 10.2134/jeq2019.03.0136.
56. Smith LG, Kirk GJ, Jones PJ, Williams AG. The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. Nat Commun. 2019;10(1):4641. doi: 10.1038/s41467-019-12622-7.
57. Stewart ZP, Pierzynski GM, Middendorf BJ, Prasad PV, Dhankher O. Approaches to improve soil fertility in sub-Saharan Africa. J Exp Bot. 2020;71(2):632–641. doi: 10.1093/jxb/erz446.
58. Suryawanshi P, Pagar V. Organic Nutrient, Resources and Its Fortification. Adv Agric Hortic Sci. 2022;171. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Tejpal-Dahiya/publication/358899022_Biofloc___Technology_An_emerging_and_innovative_approach_for_sustainable_aquaculture_productivity/links/6253ec66ef0134206669a186/Biofloc-Technology-An-emerging-and-innovative-approach-for-sustainable-aquaculture-productivity.pdf#page=180.
59. Tammam AA, Rabei Abdel Moez Shehata M, Pessarakli M, El-Aggan WH. Vermicompost and its role in alleviation of salt stress in plants–I. Impact of vermicompost on growth and nutrient uptake of salt-stressed plants. J Plant Nutr. 2023;46(7):1446–1457. doi: 10.1080/01904167.2022.2072741.
60. Tan X, Xie G-J, Nie W-B, Xing D-F, Liu B-F, Ding J, Ren N-Q. Fe (III)-mediated anaerobic ammonium oxidation: A novel microbial nitrogen cycle pathway and potential applications. Crit Rev Environ Sci Technol. 2022;52(16):2962–2994. doi: 10.1080/10643389.2021.1903788.
61. Tyagi J, Ahmad S, Malik M. Nitrogenous fertilizers: Impact on environment sustainability, mitigation strategies, and challenges. Int J Environ Sci Technol. 2022;19(11):11649–11672. doi: 10.1007/s13762-022-04027-9.
62. Van Grinsven HJ, Erisman JW, De Vries W, Westhoek H. Potential of extensification of European agriculture for a more sustainable food system, focusing on nitrogen. Environ Res Lett. 2015;10(2):025002. doi: 10.1088/1748-9326/10/2/025002.
63. Wakawa LD, Musa I, Abdulhamid AS, Amininim A. Comparative evaluation of animal manures and levels of applications on the growth performance of Diospyros mespiliformis Hochst ex A. Rich seedlings. Int J Recycling Organic Waste Agric. 2022. doi: 10.30486/ijrowa.2022.1964869.1520.

64. Wang X, Xu M, Lin B, Bodirsky BL, Xuan J, Dietrich JP, et al. Reforming China’s fertilizer policies: Implications for nitrogen pollution reduction and food security. Sustain Sci. 2023;18(1):407–420. doi: 10.1007/s11625-022-01189-w.
65. Weifeng S, Aiping S, Jiai L, Wenchong S, Mingcong L, Zhang W, Zuzhang L, et al. Effects of long-term fertilization with different substitution ratios of organic fertilizer on paddy soil. Pedosphere, 2022;32(4):637–648. doi: 10.1016/S1002-0160(21)60047-4.
66. Xu X, He P, Qiu S, Zhao S, Ding W, Zhou W. Nutrient management increases potato productivity and reduces environmental risk: Evidence from China. J Clean Prod. 2022;369:133357. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133357.
67. Yao Z, Zhang D, Liu N, Yao P, Zhao N, Li Y, et al. Dynamics and sequestration potential of soil organic carbon and total nitrogen stocks of leguminous green manure-based cropping systems on the Loess Plateau of China. Soil Tillage Res. 2019;191:108–116. doi: 10.1016/j.still.2019.03.022.