



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اثر مواد محرک رشد آلی و زیستی بر عملکرد برنج و کارایی کودهای شیمیایی در شالیزار

علی چراتی آرائی^۱ و ساره رجبی اگره^۱

۱ - مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله: acherati@yahoo.com

چکیده

برنج (*Oryza sativa* L.) از مهم‌ترین محصولات زراعی جهان و ایران است که تولید پایدار آن با چالش کارایی پایین مصرف کودهای شیمیایی مواجه است. این پژوهش به منظور بررسی اثر محرک‌های رشد آلی شامل اسیدهای هیومیک و فولویک، اسیدهای آمینه، عصاره جلبک دریایی و باکتری ازتوباکتر بر کارایی مصرف کودهای شیمیایی در برنج طی دو سال زراعی در شرایط مزرعه‌ای اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای مختلف مصرف و محلول‌پاشی محرک‌ها در دو سطح ۱۰۰ و ۷۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده انجام گرفت. نتایج نشان داد که تیمارهای حاوی اسید هیومیک (مصرف خاکی و محلول‌پاشی) و ازتوباکتر بیشترین افزایش عملکرد دانه را نسبت به شاهد ایجاد کردند. کاهش مصرف کود شیمیایی به ۷۵ درصد همراه با این محرک‌ها نه تنها موجب افت عملکرد نشد، بلکه در برخی موارد عملکرد بالاتری نسبت به ۱۰۰ درصد کود شیمیایی حاصل گردید. همچنین کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در این تیمارها به‌طور محسوسی افزایش یافت که بیانگر استفاده بهینه‌تر گیاه از منابع غذایی بود. تحلیل اقتصادی نیز نشان داد که تیمارهای اسید هیومیک و ازتوباکتر بالاترین نسبت فایده به هزینه را داشتند و از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر از مصرف کامل کود شیمیایی بودند. به‌طور کلی، یافته‌ها تأکید می‌کند که مصرف ۷۵ درصد کود شیمیایی همراه با محرک‌های رشد به‌ویژه اسید هیومیک و ازتوباکتر، می‌تواند به‌عنوان رویکردی پایدار برای افزایش کارایی مصرف کود و تولید اقتصادی برنج توصیه شود.

کلمات کلیدی: برنج، عملکرد، کارایی، مواد محرک رشد.

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین غلات جهان است که حدود یک‌پنجم جمعیت کره زمین را تغذیه می‌کند و نقش حیاتی در امنیت غذایی دارد (FAO, 2021). در دهه‌های اخیر، مصرف کودهای شیمیایی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است تا نیاز روزافزون به تولید برنج برآورده شود. با این حال، استفاده بیش از حد و نامتعادل از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم نه تنها کارایی مصرف آن‌ها را کاهش داده، بلکه باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی و تخریب خاک شده است (Liu et al., 2022). کارایی مصرف کود (Fertilizer Use Efficiency)، که نسبت عناصر غذایی جذب‌شده یا استفاده‌شده توسط گیاه به مقدار کل کود مصرف‌شده را نشان می‌دهد، شاخصی کلیدی برای ارزیابی پایداری و بهره‌وری سیستم‌های کشاورزی است. گزارش‌ها نشان می‌دهند که کارایی مصرف نیتروژن در مزارع برنج کمتر از ۵۰٪ و کارایی مصرف فسفر تنها ۱۵-۲۰٪ است، به‌گونه‌ای که بخش قابل‌توجهی از این عناصر از دسترس گیاه خارج شده و منابع ارزشمند خاک هدر می‌روند (Yu et al., 2022).

استفاده از ترکیبات آلی و محرک‌های رشد به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش بهره‌وری نهاده‌ها ایفا کند. اسیدهای هیومیک و فولویک با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش فعالیت میکروبی، ارتقای ظرفیت نگهداری آب و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی، رشد و عملکرد گیاه را ارتقا می‌دهند (Bera et al., 2024). عصاره جلبک‌های دریایی به دلیل دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال، مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها را افزایش داده و کیفیت دانه را بهبود

می‌بخشد (Xie et al., 2025). کاربرد اسیدهای آمینه برون نیز مورفولوژی ریشه را بهینه کرده و کارایی جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد (Gong et al., 2011). در مطالعه‌ای در شمال ایران، مصرف این کودها موجب افزایش غلظت عناصر ریزمغذی مانند آهن، کلسیم و روی در دانه برنج شد (Mirtaleb et al., 2021). بنابراین، ادغام نهادهای آلی و زیستی با مصرف متعادل کودهای شیمیایی، راهکاری مؤثر برای ارتقای کارایی مصرف کود، افزایش عملکرد و کیفیت برنج و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی است (Fan et al., 2023; Xie et al., 2025). پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات ترکیبات آلی شامل اسیدهای هیومیک و فولویک، اسیدهای آمینه، عصاره جلبک دریایی و باکتری ازتوباکتر بر کارایی کودهای شیمیایی در گیاه برنج طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر مواد محرک رشد آلی و زیستی پژوهشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار روی برنج رقم طارم محلی در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران - ایستگاه تحقیقات قراخیل (با مختصات $36^{\circ}29'N$, $52^{\circ}46'E$) در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. عامل اصلی شامل دو سطح کاربرد کودهای شیمیایی (بر اساس توصیه آزمون خاک و ۷۵ درصد توصیه آزمون خاک) و هشت عامل فرعی شامل تیمارهای شاهد (بدون استفاده از محرک‌های رشد و باکتری ازتوباکتر)، محلول‌پاشی با مایع تلقیح ازتوباکتر، محلول‌پاشی اسیدهای آمینه، محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی، مصرف خاکی اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید فولویک و محلول‌پاشی ترکیبی از اسیدهای آمینه، اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی بود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت شامل بافت، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل دسترس، کربنات کلسیم، اسیدیته، شوری و نیتروژن کل اندازه‌گیری شد (جدول ۱) (بهبهانی و احیایی، ۱۳۷۲). نشاکاری با گیاهچه ۳۰ روزه در کرت‌های 4×3 متر و فاصله 25×25 سانتی‌متر انجام شد. کودهای شیمیایی شامل ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم فسفر، ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم و ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار مصرف شد (در تیمار ۷۵٪ متناسب کاهش یافت). مصرف خاکی اسید هیومیک (۵ کیلوگرم در هکتار) در دو مرحله و محلول‌پاشی محرک‌های رشد و باکتری ازتوباکتر با غلظت ۵ در هزار در خزانه و مرحله پنجه‌زنی انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک برداشت از سطح ۵ مترمربع هر کرت انجام و عملکرد دانه و کاه اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف کود از نسبت افزایش عملکرد به مقدار کود مصرفی محاسبه و داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و آزمون دانکن در سطح ۵٪ آنالیز شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک مزارع قبل از کاشت

عمق (سانتی متر)	قابلیت هدایت الکتریکی		واکنش خاک	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل دسترس	پتاسیم قابل دسترس	بافت
	دسی‌زیمنس بر متر							
۰-۳۰	۰/۵۶		۷/۴۰	۳/۱۴	۰/۲۱	۸/۰	۱۱۵	لوم رسی

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی عملکرد دانه برنج نشان داد که کاهش مصرف کود شیمیایی از ۱۰۰ درصد توصیه‌شده به ۷۵ درصد، اثر یکسانی بر تمامی تیمارها نداشت و واکنش گیاه به شدت وابسته به نوع محرک رشد بود. در سال اول، بسیاری از تیمارها توانستند با وجود کاهش ۲۵ درصدی کود، عملکردی هم‌تراز یا حتی بالاتر از سطح کامل کود تولید کنند. به عنوان نمونه، محلول‌پاشی اسید هیومیک در سطح ۷۵ درصد عملکردی معادل ۵۹۰۱ کیلوگرم در هکتار داشت که بالاتر از سطح ۱۰۰ درصد (۵۴۳۸ کیلوگرم) بود. همچنین اسید فولویک و اسید آمینه نیز در سطح ۷۵ درصد عملکرد مشابه یا کمی بالاتر از سطح ۱۰۰ درصد نشان دادند. این یافته‌ها بیانگر آن است که برخی محرک‌های برگ‌ی قادرند کاهش مصرف کود شیمیایی را جبران کرده و حتی کارایی آن را افزایش دهند. در سال دوم نیز الگوی مشابهی مشاهده شد، به طوری که تیمار جلبک دریایی در سطح ۷۵ درصد (۵۶۰۰ کیلوگرم) عملکردی بالاتر از سطح ۱۰۰ درصد (۴۸۹۵ کیلوگرم) داشت. در حالی که شاهد در سطح ۷۵ درصد با ۳۹۴۹ کیلوگرم کمترین عملکرد را نشان داد و اختلاف معنی‌داری با تیمارهای دارای محرک رشد داشت. از سوی دیگر، محلول‌پاشی ازتوباکتر در سطح ۱۰۰ درصد (۵۵۲۴ کیلوگرم) و جلبک دریایی در سطح ۷۵ درصد (۵۶۰۰ کیلوگرم)

بالاترین مقادیر عملکرد سال دوم را به خود اختصاص دادند که اهمیت این نهادهای زیستی در بهبود بهره‌وری و افزایش تولید را آشکار می‌سازد (جدول ۲).

مقایسه کلی تیمارها نشان داد که در سال اول، تیمارهای حاوی اسید هیومیک - چه به صورت مصرف خاکی (۵۹۵۰ کیلوگرم) و چه محلول‌پاشی - مهم‌ترین نقش را در افزایش عملکرد ایفا کردند. در سال دوم، علاوه بر هیومیک اسید، کاربرد ازتوباکتر و جلبک دریایی نیز به عنوان محرک‌های مؤثر شناخته شدند و توانستند در شرایط کاهش مصرف کود شیمیایی عملکردی بالا ایجاد کنند. این تفاوت میان سال‌ها را می‌توان ناشی از شرایط اقلیمی و پایداری متفاوت اثر محرک‌ها دانست (جدول ۲). به طور کلی، نتایج تأکید می‌کند که کاهش مصرف کود شیمیایی به ۷۵ درصد توصیه شده، در صورتی که همراه با محرک‌های رشد مناسب باشد، نه تنها منجر به افت عملکرد نمی‌شود، بلکه در برخی موارد افزایش معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف کود را به دنبال دارد. تیمارهای اسید هیومیک (به‌ویژه مصرف خاکی و محلول‌پاشی) و همچنین ازتوباکتر و جلبک دریایی به عنوان گزینه‌های برتر معرفی شدند که علاوه بر افزایش عملکرد، به بهبود کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز کمک می‌کنند (Osman et al., 2013). این یافته‌ها اهمیت مدیریت تلفیقی کودهای شیمیایی با ترکیبات آلی و زیستی را برای دستیابی به کشاورزی پایدار و تولید اقتصادی برنج به‌خوبی نشان می‌دهد. نتایج حاضر با یافته‌های Fan و همکاران (2023) همخوانی دارد که گزارش کردند کاهش مصرف کود شیمیایی در صورت همراهی با نهادهای آلی و زیستی، منجر به افت معنی‌دار عملکرد نمی‌شود.

جدول ۲- اثر متقابل مقدار مصرف کودهای شیمیایی و محرک‌های رشد روی عملکرد دانه برنج

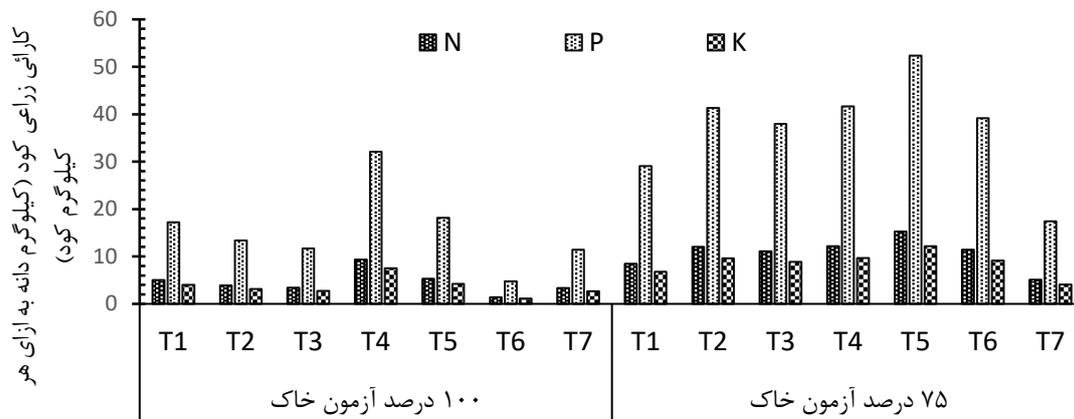
تیمار	سال اول		سال دوم	
	آزمون خاک	۷۵ درصد آزمون خاک	آزمون خاک	۷۵ درصد آزمون خاک
شاهد	۴۸۸۸ ^{a-e}	۴۹۹۵ ^{a-e}	۳۹۴۹ ^e	۴۶۵۵ ^{c-e}
محلول‌پاشی ازتوباکتر	۴۸۰۹ ^{b-e}	۴۴۳۳ ^{d-e}	۵۳۸۳ ^{a-d}	۵۵۲۴ ^{a-d}
محلول‌پاشی اسید آمینه	۴۸۵۹ ^{a-e}	۵۵۳۷ ^{a-d}	۴۶۴۸ ^{c-e}	۵۲۲۲ ^{a-d}
محلول‌پاشی جلبک دریایی	۵۱۱۸ ^{a-d}	۴۴۸۵ ^{c-e}	۵۶۰۰ ^{a-c}	۴۸۹۵ ^{a-e}
مصرف خاکی اسید هیومیک	۵۹۵۰ ^a	۵۲۵۸ ^{a-d}	۴۹۳۷ ^{a-e}	۴۸۸۲ ^{a-e}
محلول‌پاشی اسید هیومیک	۵۴۳۸ ^{a-d}	۵۹۰۱ ^{ab}	۴۶۱۵ ^{c-e}	۴۸۳۳ ^{b-e}
محلول‌پاشی اسید فولویک	۵۲۰۴ ^{a-d}	۵۲۲۱ ^{a-d}	۴۹۰۰ ^{a-e}	۴۵۳۱ ^{c-e}
محلول‌پاشی اسید آمینه+هیومیک+جلبک	۴۵۲۶ ^{c-f}	۴۶۶۸ ^{c-e}	۴۸۰۰ ^{b-e}	۵۴۷۶ ^{a-d}

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد با همدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

یافته‌های این مطالعه نشان داد که کاهش مصرف کود شیمیایی از ۱۰۰ به ۷۵ درصد توصیه آزمون خاک، در ترکیب با محرک‌های رشد آلی و زیستی، منجر به بهبود کارایی کود شد. این افزایش به ویژه در تیمار اسید هیومیک (T5) قابل توجه بود، به طوری که بیشترین کارایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱۵/۲۴، ۵۲/۳۳ و ۱۲/۱۹ گزارش شد. تیمارهای حاوی ازتوباکتر و عصاره جلبک دریایی نیز تأثیر مثبت چشمگیری بر کارایی کود داشتند، در حالی که تیمار شاهد (T1) و تیمار ترکیبی (T7) کمترین اثر را نشان دادند. این نتایج نشان می‌دهد که کاهش کنترل‌شده مصرف کود شیمیایی، در صورت همراهی با محرک‌های رشد آلی و زیستی، می‌تواند کارایی عناصر غذایی را افزایش دهد بدون اینکه عملکرد کلی کاهش یابد (شکل ۱).

تیمار اسید هیومیک احتمالاً با تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش فعالیت ریشه‌ها باعث افزایش کارایی کود شد. افزون بر این، تیمارهای حاوی ازتوباکتر با تثبیت نیتروژن و کمک به جذب فسفر و پتاسیم، افزایش کارایی نیتروژن را تسهیل کردند. مطالعات مشابه نیز از اثر مثبت ترکیب کاهش مصرف کود و استفاده از محرک‌های رشد آلی و زیستی گزارش کرده‌اند. Fan و همکاران (2023) نشان دادند که بهره‌وری مصرف عناصر غذایی با چنین ترکیبی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و از هدررفت کود جلوگیری می‌کند. همچنین استفاده از عصاره جلبک

دریابی در تیمار T4 موجب بهبود جذب فسفر و پتاسیم شد که با یافته‌های پژوهش‌های قبلی در مورد نقش محرک‌های رشد طبیعی مطابقت دارد (Xie et al., 2025).



شکل ۱- اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کارایی مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برنج
ایستگاه تحقیقات کشاورزی قراخیل

T1: محلول‌پاشی با مایع تلقیح ازتوباکتر، T2: محلول‌پاشی با مواد محرک رشد حاوی اسیدهای آمینه (AA)، T3: محلول‌پاشی با مواد محرک رشد حاوی عصاره جلبک دریایی (SW)، T4: مصرف خاکی مواد محرک رشد حاوی اسیدهیومیک (HA)، T5: محلول‌پاشی با مواد محرک رشد حاوی اسیدهیومیک (HA)، T6: محلول‌پاشی با مواد محرک رشد حاوی اسیدفولویک (FA)، T7: محلول‌پاشی با مواد محرک رشد حاوی اسیدهای آمینه (AA) + اسیدهیومیک (HA) + عصاره جلبک دریایی (SW)

نتایج جدول ۳ نشان داد که مصرف محرک‌های رشد همراه با کودهای شیمیایی علاوه بر افزایش عملکرد، از نظر اقتصادی نیز سودآور است. در سطح ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک بیشترین افزایش عملکرد را ایجاد کرد و با نسبت فایده به هزینه بیش از ۱۳، اقتصادی‌ترین تیمار در این سطح بود. پس از آن، محلول‌پاشی اسید هیومیک نیز نتایج مطلوبی به همراه داشت، در حالی که تیمار اسید فولویک به دلیل هزینه بالا و اثر کمتر بر عملکرد، صرفه اقتصادی پایین‌تری نشان داد. در سطح ۷۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده نتایج روشن‌تر بود؛ زیرا کاهش کود همراه با محرک‌های رشد توانست جایگزینی مؤثر باشد. در این سطح، مصرف اسید هیومیک و ازتوباکتر بیشترین مزیت اقتصادی را داشتند. تیمار ازتوباکتر با نسبت فایده به هزینه نزدیک به ۴۰ نشان داد که می‌تواند جایگزینی کم‌هزینه و در عین حال بسیار کارآمد باشد. برتری اقتصادی ازتوباکتر ناشی از دو ویژگی کلیدی توانایی این باکتری در تثبیت بیولوژیک نیتروژن و تأمین بخشی از نیاز گیاه به این عنصر پرمصرف؛ و تولید هورمون‌های محرک رشد (مانند اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها) و کمک به توسعه ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی است (Xie et al., 2025). به همین دلیل، حتی با کاهش یک‌چهارم مصرف کود شیمیایی، تیمار ازتوباکتر توانست عملکرد مطلوب و سودآوری بالا را تضمین کند. سایر تیمارها مانند جلبک دریایی و اسید فولویک نیز در هر دو سطح مصرف کود اثر مثبتی بر عملکرد داشتند، اما به دلیل هزینه بالاتر نهاده‌ها، نسبت به تیمارهای کم‌هزینه‌ای همچون اسید هیومیک و ازتوباکتر از نظر اقتصادی در رتبه پایین‌تری قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری

در مجموع، این نتایج تأکید می‌کند که مصرف ۷۵ درصد کود شیمیایی همراه با محرک‌هایی نظیر اسید هیومیک و باکتری ازتوباکتر، علاوه بر بهبود کارایی مصرف کود و افزایش عملکرد، از نظر اقتصادی نیز موجب صرفه‌جویی در نهاده‌ها می‌شود، و بهره‌وری مصرف عناصر غذایی و سلامت خاک را نیز افزایش می‌دهد. این رویکرد می‌تواند به عنوان یک استراتژی پایدار در مدیریت تغذیه گیاهان در سیستم‌های زراعی مختلف توصیه شود.

جدول ۳- بررسی اقتصادی کاربرد کود در تیمار کودی توصیه شده در مقایسه با شاهد در طی دو سال آزمایش

نسبت فایده به هزینه	درآمد حاصل از افزایش عملکرد (میلیون ریال)	هزینه مواد محرک رشد (میلیون ریال)	هزینه کود شیمیایی (میلیون ریال)	افزایش عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه شاهد (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه تیمار کودی (کیلوگرم در هکتار)	مواد محرک رشد	کود شیمیایی
۳۱/۷۴	۳۱/۷۴۰	۱	۷/۰۵	۳۴۵	۴۷۷۱/۵	۵۱۶۶/۵	محلول پاشی ازتوباکتر	۱۰۰ درصد آزمون خاک
۱۰/۳۱	۲۴/۷۴۸	۲/۴	۷/۰۵	۲۶۹	۴۷۷۱/۵	۵۰۴۰/۵	محلول پاشی اسیدآمینه	
۱۰/۸۱	۲۱/۶۲۰	۲	۷/۰۵	۲۳۵	۴۷۷۱/۵	۵۰۰۶/۵	محلول پاشی جلبک دریایی	
۱۳/۱۸	۵۹/۲۹۴	۴/۵	۷/۰۵	۶۴۴	۴۷۷۱/۵	۵۴۱۶	مصرف خاکی اسیدهیومیک	
۱۸/۶۰	۳۳/۴۸۸	۱/۸	۷/۰۵	۳۶۴	۴۷۷۱/۵	۵۱۳۵/۵	محلول پاشی اسیدهیومیک	
۴/۴۲	۸/۸۳۲	۲	۷/۰۵	۹۶	۴۷۷۱/۵	۴۸۶۷/۵	محلول پاشی اسیدفولویک	
۳/۴۱	۲۱/۱۱۴	۶/۲	۷/۰۵	۲۲۹	۴۷۷۱/۵	۵۰۰۱	محلول پاشی اسیدآمینه+هیومیک+جلبک	
۴۰/۱۱	۴۰/۱۱۲	۱	۵/۲۸	۴۳۶	۴۴۷۲	۴۹۰۸	محلول پاشی ازتوباکتر	۷۵ درصد آزمون خاک
۲۳/۷۹	۵۷/۰۸۶	۲/۴	۵/۲۸	۶۲۰	۴۴۷۲	۵۰۹۲/۵	محلول پاشی اسیدآمینه	
۲۶/۲۴	۵۲/۴۸۶	۲	۵/۲۸	۵۷۰	۴۴۷۲	۵۰۴۲/۵	محلول پاشی جلبک دریایی	
۱۲/۷۹	۵۷/۵۴۶	۴/۵	۵/۲۸	۶۲۵	۴۴۷۲	۵۰۹۷/۵	مصرف خاکی اسیدهیومیک	
۴۰/۱۷	۷۲/۳۱۲	۱/۸	۵/۲۸	۷۸۶	۴۴۷۲	۵۲۵۸	محلول پاشی اسیدهیومیک	
۲۷/۰۷	۵۴/۱۴۲	۲	۵/۲۸	۵۸۸	۴۴۷۲	۵۰۶۰/۵	محلول پاشی اسیدفولویک	
۳/۸۹	۲۴/۱۰۴	۶/۲	۵/۲۸	۲۶۲	۴۴۷۲	۴۷۳۴	محلول پاشی اسیدآمینه+هیومیک+جلبک	

* میانگین قیمت هر کیلوگرم شلتوک در طی سال های ۹۸-۹۹-۹۲ هزار ریال، هر کیسه ۵۰ کیلوگرمی به ترتیب کود اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم ۴۳۰۰۰۰، ۵۵۰۰۰۰ و ۷۵۰۰۰۰ ریال و قیمت هر کیسه ۲۵ کیلوگرمی سولفات روی ۲۲۰۰۰۰۰ ریال، هر لیتر ازتوباکتر ۲۵۰۰۰۰ ریال، هر لیتر اسید آمینه ۶۰۰۰۰۰ ریال، هر کیلو اسیدهیومیک ۴۵۰۰۰۰ ریال و هر لیتر اسیدفولویک ۵۰۰۰۰۰ ریال و هر لیتر جلبک دریایی ۱۰۰۰۰۰۰ ریال در سال ۹۷-۹۸، مبنای محاسبه بود.

منابع

- ۱- احيائي، م.، بهبهانی‌زاده، ع. (۱۳۷۲). شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه شماره ۸۹۳، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۳-۷۳.
2. Bera, B., Bokado, K., Barkha, & Arambam, S. (2024). Effect of humic acid on growth, yield and soil properties in rice: A review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(2), 54–65.
3. FAO. (2021). *FAOSTAT statistical database*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
4. Fan, Q., Xu, C., Zhang, L., Xie, J., Zhou, G., Liu, J., Wang, Y., Chen, H., & Cao, W. (2023). Application of milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) with reduced chemical fertilizer improves rice yield and nitrogen, phosphorus, and potassium use efficiency in southern China. *European Journal of Agronomy*, 144, 126762.
5. Gong, B., Sun, S., Yan, Y., Guo, S., Li, X., Zhang, H., & Wang, L. (2011). Exogenous application of amino acids improves nitrogen assimilation and stress tolerance of rice. *Plant Growth Regulation*, 65(2), 285–295.
6. Liu, X., Zhang, Y., Han, W., Tang, A., Shen, J., Cui, Z., ... & Zhang, F. (2022). Enhanced nitrogen deposition over China. *Nature*, 494(7438), 459–462.
7. Mirtaleb, A., Ghasemi, M., & Hosseini, M. (2021). Effect of amino acid fertilizer on micronutrient enrichment in rice. *Iranian Journal of Crop Science*, 23(2), 101–113.
8. Osman, E. A. M., El-Masry, A. A., & Khatab, K. A. (2013). Effect of nitrogen fertilizer sources and foliar spray of humic and/or fulvic acids on yield and quality of rice plants. *Advances in Applied Science Research*, 4(4), 174–183.
9. Xie, T., Li, J., Lin, S., Ju, X., & Li, T. (2025). Integrating organic amendments and enhanced efficiency fertilizers for sustainable rice production – A case study in a tropic paddy system. *Journal of Cleaner Production*, 516, 145765.
10. Yu, S., Zhang, H., Li, J., & Wang, R. (2022). Low phosphorus use efficiency in agriculture: Reasons, current status, and future directions. *Journal of Environmental Management*, 315, 115137.

Effects of Organic and Biological Growth Stimulators on Rice Yield and Chemical Fertilizer Use Efficiency in Paddy Fields

Ali Cherati Araei¹, Sareh Rajabi Agareh¹

¹Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Sari, Iran

Corresponding Author: Ali Cherati Araei, Email: acherati@yahoo.com

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important staple crops in Iran and worldwide, yet its sustainable production is constrained by the low efficiency of chemical fertilizer use. This study was conducted to evaluate the effects of organic growth stimulants, including humic acid, fulvic acid, amino acids, seaweed extract, and the bacterium *Azotobacter*, on improving fertilizer use efficiency in rice under field conditions over two growing seasons. The experiment was arranged in a randomized complete block design with treatments consisting of soil application and foliar spraying of stimulants at two fertilizer levels: 100% and 75% of the recommended chemical fertilizer rate. The results showed that treatments containing humic acid (soil and foliar application) and *Azotobacter* achieved the highest grain yield compared with the control. Reducing chemical fertilizer use to 75% in combination with these stimulants not only prevented yield reduction but, in some cases, resulted in higher yields than the full fertilizer rate. Moreover, nutrient use efficiency (NUE) for **N**, **P**, and **K** was markedly improved, indicating more effective utilization of nutrients by the plants. Economic analysis further revealed that humic acid and *Azotobacter* treatments had the highest benefit-to-cost ratios and were more cost-effective than the full chemical fertilizer application. Overall, the findings highlight that applying 75% of the recommended chemical fertilizer combined with growth stimulants, particularly humic acid and *Azotobacter*, can serve as a sustainable strategy to enhance fertilizer efficiency and economic rice production.

Keywords: Rice, grain yield, efficiency, growth stimulants.