علوم کاربردی سیب‌زمینی
سال پنجم شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱

ارزیابی کاربرد برخی مواد محرک رشد در کاهش مصرف کودهای فسفاته و بهبود عملکرد سیب‌زمینی

رحیم مطلبی‌فرد[۱]، علی شهنوازی[۲]، علیرضا توسلی[۳]

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات اقتصادی و اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

- نشانی پست الکترونیکی: motalebifard@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵
تاریخ انجام اصلاحات: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

چکیده

پروژه حاضر به‌منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی در جبران کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نقش آن‌ها در افزایش و حفظ عملکرد سیب‌زمینی در شهرستان سراب اجرا شد. برای اجرای این پروژه، مزرعه‌ای انتخاب شد که فسفر آن کم‌تر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک باشد (در بیش از نصف مزارع منطقه، فسفر این وضعیت را دارد). در این تحقیق، کاربرد کودهای شیمیایی به‌جز کود فسفاته و بذرمال بذور با سودوموناس حل‌کننده فسفات و باکتری‌های PGPR (ازتوباکتر، آزوسپریلوم و سودوموناس افزایش‌دهنده رشد) و مصرف ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک در مرحله قبل و بعد از گلدهی با مصرف معمول کشاورز مقایسه شد. نتایج نشان داد که مصرف کودهای زیستی به روش بذرمال و کودآبیاری اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد کل از ۲۹,۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۵۵,۰۰۰ کیلوگرم در تیمار کود زیستی (افزایش ۸۹/۷ درصدی عملکرد) شد. عملکرد قابل فروش هم با افزایش بیش از ۱۰۰ درصدی از ۲۴,۶۵۰ به ۵۴,۱۵۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. مصرف کودهای زیستی باعث افزایش ۱۸، ۱۲ و ۱۸ درصدی غلظت فسفر، آهن و روی در برگ سیب‌زمینی شد و تأثیری بر غلظت منگنز و مس در برگ سیب‌زمینی نداشت. کاربرد فناوری کودهای زیستی در مزارع سیب‌زمینی به‌طور خالص، بازده اقتصادی زراعت سیب‌زمینی را به میزان ۱,۸۰۶ میلیون ریال در هکتار افزایش داد و نسبت درآمد به هزینه کاربرد این روش نیز برابر ۶۳/۳ بود.

واژگان کلیدی: *اسید هیومیک، حل‌کننده فسفات، سیب‌زمینی، کودهای زیستی*

بیان مساله

سیب‌زمینی جزو مهم‌ترین محصولات زراعی دنیا بوده و بعد از ذرت، گندم و برنج چهارمین محصول از نظر تولید در دنیا می‌باشد (۷). در ایران هم سیب‌زمینی با ٤/٥ میلیون تن بعد از گندم، نیشکر، گوجه‌فرنگی و یونجه بیش‌ترین مقدار تولید را به خود اختصاص داده است. ضریب تبدیل انرژی در محصول سیب‌زمینی بسیار مطلوب بوده و با مصرف یک واحد آب، بیش‌ترین ماده خشک را در بین محصولات زراعی عمده کشور تولید می‌کند به‌طوری که با استفاده از ۱/۳ درصد سطح زیرکشت کل اراضی کشور و حدود ۲/۵ درصد اراضی آبی کشور، حدود ۷ درصد کل تولیدات زراعی به محصول سیب-زمینی اختصاص دارد (۱). متوسط عملکرد در واحد سطح سیب‌زمینی در کشور بسیار متغیر است و استان همدان با ٤۳ تن در هکتار، بیش‌ترین و استان گلستان با حدود ۱۷ تن در هکتار، کم‌ترین عملکرد کشور را دارا می‌باشند. استان آذربایجان‌شرقی با عملکرد ۳۳ تن در هکتار در میانه عملکرد در واحد سطح کشور و نزدیک به متوسط عملکرد کشور قرار دارد (۱) .

با توجه به گران شدن کودهای شیمیایی فسفاته بیم آن وجود دارد که مصرف کودهای فسفره در برنامه کوددهی، کاهش یافته و یا حتی حذف شود. در چنین شرایطی با توجه به کمبود شدید فسفر قابل جذب در خاک‌های کشور (بیش از ۷۰ درصد اراضی آبی) در محصولاتی با نیاز بالا به فسفر، کمبود این عنصر بروز کرده و عملکرد محصول دچار افت خواهد شد لذا باید با روش‌های ممکن از این مشکل جلوگیری کرد. استفاده از کودهای زیستی تا حدودی می‌تواند از تشدید این مشکل جلوگیری کند. از آنجا که در بیش‌تر خاک‌ها فسفر کل نسبت به فسفر قابل جذب دارای مقادیر بالاتری می‌باشد، لذا باکتری‌های حل‌کننده فسفر قادرند تا بخشی از این فسفر کل را حل کرده و به شکل قابل جذب در آورند. ریزجانداران محرک رشد نیز با تغییراتی که در ریزوسفر ریشه به‌وجود می‌آورند، به جذب بهتر فسفر کمک می‌کنند. تفاوت کودهای زیستی با کودهای آلی و شیمیایی در این است که آن‌ها به‌طور مستقیم هیچ عنصر غذایی را برای گیاه تأمین نمی‌کنند (۳).

فسفر پس از نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز برای تولید محصولات زراعی است. کمبود آن باعث کاهش قابل‌توجهی در پروسه‌های متابولیکی مرتبط با تقسیم سلولی، توسعه و گسترش سلول، ذخیره و انتقال انرژی، تنفس و فتوسنتز می‌شود. کمبود فسفر در گیاه سیب‌زمینی باعث تولید غده‌هایی با ماده خشک کم‌تر می‌شود (٦). در اندک تحقیقات انجام گرفته، همبستگی بسیار بالایی بین کاربرد فسفر و افزایش عملکرد و ویژگی‌های کیفی غده از جمله: درصد نشاسته و ماده خشک آن مشاهده شده است. کاربرد کود فسفر باعث افزایش نشاسته غده سیب‌زمینی می‌شود و تا حدی از تغییر رنگ غده بعد از پوست‌گیری جلوگیری می‌کند (٦). در تحقیقی، کوددهی فسفر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد غده سیب‌زمینی و عملکرد قابل فروش غده داشت و به‌ترتیب موجب افزایش ٦۲ و ۵۰ درصدی این شاخص‌ها نسبت به شاهد شد (۱۳).

فسفر مورد نیاز گیاه عموماً از طریق مصرف کودهای شیمیایی تأمین می‌شود. با این وجود مقدار زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک به شکل نامحلول درآمده و از دسترس گیاهان خارج می‌شود. چرا که خاک‌های مناطق تحت کشت سیب‌زمینی در کشور عمدتاً قلیایی بوده و دارای مقادیر بالایی آهک هستند و کودهای فسفره مصرف‌شده در اثر واکنش با آهک و کلسیم محلول خاک به شکل نامحلول درآمده یا جذب سطحی رس‌ها شده و از دسترس ریشه خارج می‌شوند. یکی از روش‌های افزایش قابلیت دسترسی و جذب فسفر مورد نیاز گیاهان، استفاده از کودهای زیستی می‌باشد. ریزجانداران موجود در این کودها به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم باعث بهبود رشد گیاهان می-شوند. نتایج تحقیقات انجام گرفته در این زمینه بیانگر تأثیر ساز و کارهای مختلف این ریزجانداران در بهبود رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد. از جمله این ساز و کارها می‌توان به ترشح هورمون‌های گیاهی، کاهش pH و در پی آن افزایش حلالیت فسفر، تولید سیدروفور (۱۱ و ١٤) و ایجاد خاصیت آنتاگونیستی با پاتوژن‌های بیماری‌زا اشاره کرد.

دخالت ریزجانداران در افزایش حلالیت فسفات‌های معدنی در دهه اول قرن بیستم شناخته شد و از آن زمان تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. ریزجانداران حل‌کننده فسفر شامل: باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جنس‌های

باسیلوس، سودوموناس و به‌خصوص تیوباسیلوس و هم‌چنین چند نوع قارچ از گونه‌های آسپرژیلوس، پنیسیلیوم، تالارومیسس و کلادوفیالوفورا می‌باشند (٤). بیش‌تر این ریزجانداران در انحلال فسفر از کمپلکس‌های فسفات کلسیم نقش دارند و تنها بخش کوچکی از آن‌ها فسفر را از ترکیبات فسفات آهن و فسفات آلومینیوم آزاد می‌سازند. از این رو ریزجانداران حل‌کننده فسفات نقش مؤثرتری در آزادسازی و افزایش قابلیت جذب فسفر توسط گیاه در خاک‌های آهکی که حاوی مقادیر فراوانی فسفات کلسیم می‌باشند، دارند. ریزجانداران حل‌کننده فسفات با تولید اسیدهای آلی موجب افزایش حلالیت فسفات‌های معدنی کم‌محلول نظیر: سنگ فسفات می‌شوند. هم‌چنین بسیاری از آن‌ها با تولید آنزیم‌های فسفاتاز، سبب آزاد شدن فسفر از ترکیبات آلی می‌شوند. معمولاً این ریزجانداران باعث تولید ترکیباتی مانند: جیبرلین، سیتوکینین و اکسین، تسهیل جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، نیتروژن و عناصر کم‌مصرف از خاک و کاهش یا جلوگیری از بیماری‌ها در گیاهان می‌شوند. برخی از این ریزجانداران شامل ریزوباکترهای محرک رشد گیاه مانند: آزوسپیریلوم، ازتوباکتر، سودوموناس فلورسنس و چندین گونه باسیل گرم مثبت هستند که اثرات مثبتی بر بهبود رشد گیاه دارند. ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در محیط ریزوسفر هستند که توانایی سنتز و استخراج بعضی مواد فعال زیستی را دارند که باعث رشد ریشه می‌شوند. گونه‌های مختلف باکتری سودوموناس در کنترل عوامل بیماریزای گیاهی نقش مؤثری بر عهده دارند و از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر: تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌های تنظیم‌کننده سطح اتیلن، رشد گیاه را تحریک می‌کنند (۱۰).

با توجه به تحقیقات صورت گرفته در مورد کودهای زیستی، مشخص شده است که با مصرف این کودها می‌توان میزان فسفر قابل جذب را برای گیاه افزایش داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان کودهای زیستی را به‌عنوان جایگزین یا مکمل کودهای شیمیایی استفاده کرد (۱۲). در پژوهشی در مورد تأثیر باکتری‌های ریزوسفری بر روی رشد دو رقم سیب‌زمینی، افزایش معنی‌داری در وزن خشک ساقه و ریشه در گیاهان تلقیح‌شده با باکتری گزارش شد. جذب عناصر غذایی پتاسیم و فسفر در گیاهان تلقیح‌شده با باکتری‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده نشان داد. این محققین اظهار داشتند که افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و آب و رشد ریشه منجر به افزایش میزان تولید سیدروفور می‌شود. تولید آنتی‌بیوتیک و رقابت ریشه در مصرف مواد غذایی در ریزوسفر، مانع رشد پاتوژن‌های بیماریزای گیاهی شده و باعث بهبود شرایط رشد گیاه تلقیح‌شده با باکتری‌ها نسبت به شاهد می‌شود (۹).

در حال حاضر مسئله اصلی، کاهش مصرف کودهای فسفاته در گیاهان به‌دلیل بالا رفتن قیمت کود است. با توجه به کمبود فسفر در بیش از ۵۰ درصد مزارع تحت کشت سیب‌زمینی استان آذربایجان‌شرقی و گرانی شدید کودهای شیمیایی، عملکرد محصولات پرنیازی مانند سیب‌زمینی به‌شدت تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. سؤال اساسی این است که آیا راهکارهای جایگزینی برای عدم مصرف کودهای شیمیایی مخصوصاً کودهای فسفره وجود دارد و آیا در این شرایط، امکان جبران نیاز فسفری گیاه با مصرف کودهای زیستی به‌تنهایی وجود دارد؟

معرفی راهکار

مواد محرک رشدی که در این پروژه استفاده شدند، شامل: ریزجانداران حل‌کننده فسفات، تثبیت‌کننده‌های نیتروژن، باکتری‌های محرک رشد و اسید هیومیک بودند. این گروه‌ها به روش‌های مختلف می‌توانند فسفر بومی خاک را حل کرده و در اختیار گیاه قرار دهند تا از بروز کمبود جلوگیری شود. هم‌چنین باکتری‌های محرک رشد از روش‌های مختلف می‌توانند به گیاه کمک کنند تا در شرایط تنش و کمبود عناصر غذایی، رشد کرده و عملکرد مناسبی را ایجاد کنند.

به‌منظور بررسی تأثیر برخی مواد محرک رشد در جبران کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نقش آن‌ها در افزایش و حفظ عملکرد سیب‌زمینی، پژوهش حاضر به مدت یک سال در اراضی اندراب شهرستان سراب اجرا شد. برای اجرای پروژه، مزرعه‌ای انتخاب شد که فسفر آن کم‌تر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم (جدول ۱) خاک بود (در بیش از نصف مزارع منطقه، فسفر این وضعیت را دارد).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

عمق خاک (سانتی‌متر)	گروه بافت	CCE (درصد)	OC (درصد)	pH (۱:۱)	EC (گل اشباع) (dS/m)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
۳۰-۰	لوم	۱۰/۵	۰/۸	۷/۶	۰/۷۷	۱۲/۷	۳۵۰

CCE: آهک؛ OC: کربن آلی؛ pH: اسیدیته EC: هدایت الکتریکی

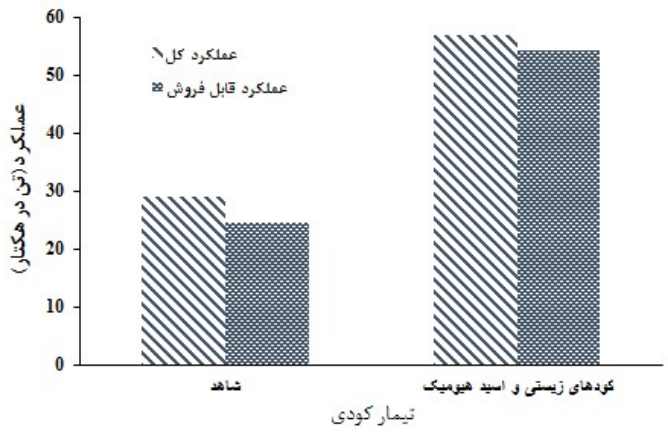
در این پژوهش، کاربرد کودهای شیمیایی (۴۰۰ کیلوگرم اوره در سه تقسیط: قبل از کاشت، پوشش کامل مزرعه و در حین گلدهی و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) به‌جز کود فسفاته و بذرمال بذور با سودوموناس حل‌کننده فسفات و باکتری‌های PGPR (ازتوباکتر، آزوسپریلوم و سودوموناس افزایش‌دهنده رشد) و مصرف ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک در مرحله قبل و بعد از گلدهی با شرایط زارع (۴۰۰ کیلوگرم اوره در سه تقسیط: قبل از کاشت، پوشش کامل مزرعه و در حین گلدهی، ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) مقایسه شد. ترکیبات بذرمال مورد استفاده در این پژوهش از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد که شکل تجاری آن‌ها هم در بازار موجود می‌باشد و در شکل ۱ نمونه‌ای از ترکیبات مورد استفاده ارائه شده است. برای انجام این راهکار، مصرف ۲ لیتر سودوموناس حل‌کننده فسفات، ۲ لیتر ازتوباکتر، ۲ لیتر آزوسپریلوم و ۲ لیتر سودوموناس افزایش‌دهنده رشد برای بذر مورد استفاده در یک هکتار کفایت می‌کند و لازم است این مواد در ۱۰۰ لیتر آب رقیق شود. بذرمال مطابق شکل ۲ انجام و بذور قبل از کاشت در محلول تهیه شده از این ترکیبات غوطه‌ور شده و بعد از چند ساعت کشت شدند. هم‌چنین لازم است که در مرحله قبل و بعد از گلدهی، مقدار ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک مطابق شکل ۳ مصرف شود.

شکل ۱- نمونه‌ای از بذرمال‌های استفاده شده در پژوهش

شکل ۲- روش بذرمال کردن غده‌های سیب‌زمینی

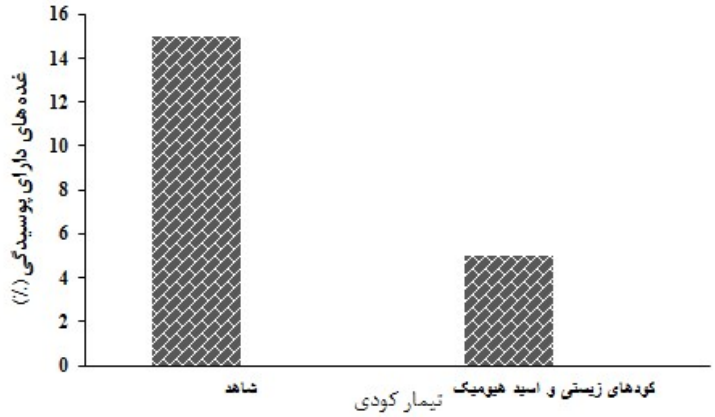
شکل ۳- استفاده از اسید هیومیک در سامانه آبیاری

نتایج نشان داد که مصرف کودهای زیستی به روش بذرمال و کودآبیاری اسید هیومیک در دو نوبت، باعث افزایش عملکرد کل شده است. عملکرد کل سیب‌زمینی از ۲۹,۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۵۵,۰۰۰ کیلوگرم در تیمار کود زیستی و مواد هیومیک افزایش یافت که بیانگر افزایش ۸۹/۷ درصدی عملکرد می‌باشد. عملکرد قابل فروش هم با افزایش بیش از ۱۰۰ درصدی از ۲٤,٦٥۰ به ٥٤,۱٥۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (شکل ٤). دلایل مختلفی وجود دارد که مصرف مواد محرک رشد باعث افزایش عملکرد سیب‌زمینی شده است. حل-کننده فسفات مورد استفاده در این پژوهش باعث افزایش جذب فسفر شده و باکتری‌های محرک رشد با روش‌های مختلفی از جمله: تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی مؤثر در رشد، افـزایش جذب فسفر توسط گیاه، و سنتز آنزیم‌هـای تنظیم‌کننده سطح اتیلن، رشد گیاه و افزایش عملکرد را تحریک می‌کنند (۸ و ۱۰). در بررسی تأثیر کودهای زیستی فسفره بر عملکرد و جذب فسفر سیب‌زمینی، نتایج نشان داد که مصرف کود زیستی فسفر باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و ارتفاع ساقه در مقایسه با شاهد شد و عملکرد از ۱۸,۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ٦٥,۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف بیوفسفات و تیوباسیلوس افزایش یافت (۵).



شکل ۴- تاثیر کودهای زیستی بر عملکرد کل و قابل فروش سیب‌زمینی

پوسیدگی خشک و نرم غده سیب‌زمینی جزو بیماری‌هایی هستند که باعث افزایش عملکرد غیر قابل فروش سیب‌زمینی می‌شوند. نتایج نشان داد که مصرف کودهای زیستی باعث کاهش پوسیدگی و عملکرد غیر قابل فروش شد و غده‌های غیر قابل فروش از ۱۵ درصد در تیمار شاهد به ۵ درصد در تیمار مصرف کودهای زیستی و اسید هیومیک کاهش یافت (شکل ۵). نتایج تحقیقات انجام گرفته در این زمنیه نیز بیانگر تأثیر ساز و کارهای مختلف مواد محرک رشد در بهبود رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد. از جمله این ساز و کارها می‌توان به ترشح هورمون‌های گیاهی و ایجاد خاصیت آنتاگونیستی با پاتوژن‌های بیماری‌زا اشاره کرد (۹).



شکل ۵- تاثیر کودهای زیستی بر درصد پوسیدگی غده‌های سیب‌زمینی

همان‌طور که از اطلاعات جدول ۲ مشخص است، استفاده از کودهای زیستی به‌طور قابل‌توجهی عملکرد در هکتار را افزایش داده و از ۲۹,۰۰۰ به ۵۵,۰۰۰ کیلوگرم در هکتار رسانده است. در مقابل، کاربرد این نوع کودها باعث افزایش هزینه به‌دلیل مصرف اسید هیومیک، کود محرک رشد، کودهای زیستی حل‌کننده فسفات، آزوسپریلوم و ازتوباکتر شده است. کاربرد این فناوری هم‌زمان هزینه کارگری به‌دلیل بذرمال کردن کودها و کودآبیاری (اسید هیومیک) را افزایش داده است. در مقابل، استفاده از کودهای زیستی باعث جایگزینی مصرف کود فسفاته و کاهش مصرف کود سوپر فسفات تریپل شده است. به‌منظور تحلیل اقتصادی اقدامات انجام‌یافته، اطلاعات هزینه‌ای و درآمدی در چهار گروه (افزایش درآمد، کاهش درآمد، افزایش هزینه و کاهش هزینه) به‌شرح جدول ۳ گروه‌بندی می‌شوند.

جدول ۲- تأثیرات اقتصادی استفاده از کودهای زیستی در زراعت سیب‌زمینی در هکتار

تیمارها / متغیرهای مورد بررسی	شاهد	کود زیستی + اسید هیومیک
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۲۹,۰۰۰	۵۵,۰۰۰
هزینه اسید هیومیک (۲۰ لیتر در هکتار) به ریال	۰	۵,۰۰۰,۰۰۰
هزینه کود محرک رشد (۲ لیتر در هکتار) به ریال	۰	۳,۰۰۰,۰۰۰
هزینه کود زیستی حل‌کننده فسفات (۲ لیتر در هکتار) به ریال	۰	۳,۰۰۰,۰۰۰
هزینه کود زیستی آزوسپریلوم (۲ لیتر در هکتار) به ریال	۰	۳,۰۰۰,۰۰۰
هزینه کود زیستی ازتوباکتر (۲ لیتر در هکتار) به ریال	۰	۲,۰۰۰,۰۰۰
هزینه بذرمال کودها (نفر- روز کار) به ریال	۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰
هزینه کودآبیاری اسید هیومیک به ریال	۰	۳,۰۰۰,۰۰۰
هزینه سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم) به ریال	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۰

جدول۳- تغییرات هزینه‌ای و درآمدی در زراعت سیب‌زمینی به‌دلیل کاربرد کودهای زیستی در هکتار

تغییرات	موضوع	کل (ریال)
افزاینده سود	*افزایش درآمد	۱,۸۲۰,۰۰۰,۰۰۰
	کاهش هزینه	۱۵,۰۰۰,۰۰۰
کاهنده سود	کاهش درآمد	۰
	افزایش هزینه	۲۹,۰۰۰,۰۰۰

* قیمت هر کیلوگرم سیب‌زمینی در سر مزرعه و در سال اجرای طرح، ۷۰,۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد.

همان‌طور که از نتایج جدول ۳ پیداست، کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش درآمد و کاهش هزینه به‌میزان ۱,۸۳۵ میلیون ریال شده و هزینه‌های زراعی را تنها به‌میزان ۲۹ میلیون ریال افزایش داده است. جایگذاری اطلاعات یادشده در رابطه بودجه‌بندی جزئی، بیانگر اقتصادی بودن کاربرد فناوری کودهای زیستی در مزارع سیب‌زمینی بوده و به‌طور خالص، بازده اقتصادی زراعت سیب‌زمینی را به‌میزان ۱,۸۰۶ میلیون ریال در هکتار افزایش می‌دهد. نسبت درآمد به هزینه کاربرد این روش نیز ۶۳/۳ است. به‌عبارت‌دیگر در طول فصل زراعی هر ریال افزایش هزینه به‌دلیل استفاده از کودهای زیستی، در فصل برداشت حدود ۶۳ ریال بر درآمد بهره‌برداران اضافه می‌کند.

استفاده از نتایج این پژوهش می‌تواند باعث افزایش درآمد کشاورزان سیب‌زمینی‌کار، بهبود سطح زندگی و افزایش نقدینگی برای بهبود وضعیت کشت و کار و معیشت آنان شود. هم‌چنین کاربرد کودهای زیستی، بهره‌وری زمین را نزدیک به دو برابر افزایش داده و کاربرد وسیع این کودها در مزارع کشور با شرایط مشابه، علاوه بر افزایش رقابت‌پذیری تولید این محصول می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در بهبود ضریب امنیت غذایی داشته باشد.

توصیه ترویجی

۱- بذرمال‌های سودوموناس حل کننده فسفات، ازتوباکتر، آزوسپریلوم و سودوموناس افزایش‌دهنده رشد هر کدام به مقدار ۲ لیتر برای بذر یک هکتار در نظر گرفته شود. شایان ذکر است که مواد محرک رشد از منابع و شرکت‌های معتبر که دارای شماره ثبت کودی از مؤسسه تحقیقات خاک و آب می‌باشند، تهیه شود.

۲- از آنجا که اعتبارسنجی محتویات مواد کودی بسیار حائز اهمیت است لذا باید در نظر داشت که شماره ثبت مواد کودی که روی بسته‌ها درج شده از سامانه جامع مواد کودی کشور به نشانی (https://kswri.ir) قابل استعلام می‌باشد.

۳- بذرمال‌های تهیه شده، در یک مخزن روباز مطابق شکل ۲ در ۱۰۰ لیتر آب رقیق شود.

٤- غده‌ها به‌مدت دو دقیقه در محلول تهیه‌شده، غوطه‌ور شوند و در سایه به‌مدت دو ساعت قرار گیرند و بهتر است در همان روز کشت شوند.

۵- غده‌های آماده‌شده با دستگاه بذرکار قابل کشت است.

٦- در مرحله قبل از گلدهی و بعد از آن، اسید هیومیک به مقدار ۱۰ لیتر در هکتار از منابع معتبر تهیه و به‌وسیله کودآبیاری مصرف شود.

۷- در صورت استفاده از این راهکار، میزان توصیه کودی فسفره تا ۵۰ درصد قابل کاهش است.

فهرست منابع

۱- احمدی، کریم؛ حشمت‌اله قلی‌زاده؛ حمیدرضا عبادزاده؛ فرشاد حاتمی؛ مصطفی فضلی‌استبرق؛ ربابه حسین‌پور؛ آرزو کاظمیان و مریم رفیعی. ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ کشور، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران. ۱۷٤ صفحه.

۲- زارع‌منش، حدیث؛ حمیدرضا عیسوند؛ ناصر اکبری؛ احمد اسماعیلی و محمد فیضیان. ۱٤۰۰. بررسی تأثیر اسید هیومیک بر تغییرات غلظت عناصر غذایی برگ، ریشه و ساقه مرزه خوزستانی در شرایط تنش شوری. فرایند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۰، شماره ٤۱ ، صفحه ۱ تا ۱٦.

۳- غفاری، مسعود؛ رضا تقی‌زاده و داود حسن‌پناه. ۱۳۹۸. تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک و کود NPK بر عملکرد و کیفیت ریز غده‌های دو رقم سیب‌زمینی در منطقه اردبیل. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۹، شماره ۳، صفحه ۲۰۹ تا ۲۲۲.

٤- فریدیان، لاله؛ علیرضا فلاح؛ حسین کاری دولت‌آباد و ژیلا بهارلوئی. ۱٤۰۰. جداسازی قارچ‌های حل کننده فسفات از خاک‌های ایران و بررسی خصوصیات محرک رشد گیاهی در آن‌ها. نشریه زیست‌شناسی خاک، مقاله پذیرفته‌شده آماده انتشار.

doi:10.22092/SBJ.2021.355140.220

۵- قبادی، مصطفی؛ شاهرخ جهان‌بین؛ حمیدرضا اولیایی؛ رحیم مطلبی‌فرد و خسرو پرویزی. ۱۳۹۲. تأثیر کودهای زیستی فسفر بر عملکرد و جذب فسفر در سیب‌زمینی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۲، صفحه ۱۲۵ تا ۱۳۸.

6- Ekelof, J. 2007. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. Master project in the Horticultural science programme 2: 20 p (30 ECTS).

7- FAO. 2017. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available in: http://faostat.fao.org/countryprofiles.

8- Farhangi-Abriz, S., Tavasole A., Ghassemi-Golezani A., Torabian S., Monirifar H. and Asadi Rahmani H. 2020. Growth-promoting bacteria and natural regulators mitigate salt toxicity and improve rapeseed plant performance. *Protoplasma*, 257:1035-1047.

9- Farzana, Y. and Radizah O. 2005. Influence of Rhizobacterial inoculation on growth of the sweet potato cultivar. *Online journal of biological sciences* 1 (3): 176-179.

10- Hameeda, B. Rupela OP., Reddy G. and Satyavani K. 2006. Application of plant growth-promoting bacteria associated with composts and macrofauna for growth promotion of pearl millet (*Pennisetum glaucumL.*). *Biol Fertil Soils*, 44: 260-266.

11- Mittal, V., Sigh O., Nayyar H., Kaur G. and Tewari R. 2008. Stimulatory effect of phosphate-solubilizng fungal starins (*Aspergillus Awarvori and Pencillum Citrinum*) on the yield of chickpea *Cicer Arictinum L.* Cv. Gpfz). *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 718-727.

12- Mohammady-Aria, M. Lakzzian A., Haghnia GH. and Berengi AR. 2010. Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. *Bioresource Technology,* 101: 551-554.

13- Rosen, C., Mcnearney M. and Bierman P. 2010. Evalution of specialty phosphorus fertilizer sources for potato. Northern Plains Potato Growers Association Reserch Reporting Meetin. Available in. http://www.nppga.org/crop_science/research_reports_17_2768967167.pdf. USA.

14- Tavasolee, A., Khavazi K., Asgharzadeh A., Monirifar H. and Ghassemi S. 2019. The effects of co-inoculation of PGPR bacteria and Sinorhizobium meliloti on nutrient contents, plant growth and yield of alfalfa. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 15 (5): 8-13.