

تأثیر باکتری‌های تسریع کننده رشد گیاهی و کود شیمیایی روی ارقام سیب‌زمینی در دو سیستم هواکشت و مزرعه

علی نصیری^۱، مهرداد یارنیا^۲، داود حسن پناه^۳، فرهاد فرح‌وش^۴ و ابراهیم خلیلوند بهروزیار^۵

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲)

چکیده

در سیستم هواکشت، بهینه‌سازی مواد مغذی مهم‌ترین عامل برای تولید با کیفیت و عملکرد بالای بذر سیب‌زمینی سالم است. این پژوهش طی دو سال (۱۳۹۷-۱۳۹۸) در گلخانه و مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل با هدف تعیین بهینه‌سازی تغذیه سیب‌زمینی در سیستم هواکشت به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل گیاهچه‌های سه رقم سیب‌زمینی (آگریا، کایزر و بانبا)، فاکتور دوم در دو سطح شامل عدم مصرف و مصرف کود شیمیایی و فاکتور سوم در دو سطح شامل عدم کاربرد و کاربرد ترکیب سه نوع باکتری (*Azospirillum lipoferum* OF، *Pseudomonas putida* 169، *Azetobacter chroococcum* 5) بودند. در سال دوم، آزمایش در مزرعه به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با دو فاکتور انجام شد. فاکتور اول مینی‌تیوبرهای تولیدی از سیستم هواکشت در سه رقم آگریا، کایزر، بانبا و فاکتور دوم در چهار سطح عدم مصرف و مصرف باکتری‌های *Azospirillum lipoferum*، *Pseudomonas putida*، *Azetobacter chroococcum* بودند. نتایج آزمایش هواکشت نشان داد بیشترین تعداد و وزن مینی‌تیوبر در بوته در رقم بانبا و بیشترین تعداد استولون و تعداد روز تا غده‌زایی در رقم کایزر تحت تأثیر تغذیه با کود شیمیایی به دست آمدند. کاربرد ترکیب سه نوع باکتری، اثر معنی‌دار بر افزایش ارتفاع بوته نسبت به کاربرد کود شیمیایی داشت. در بررسی بین ارقام، بیشترین ارتفاع بوته در رقم کایزر و بیشترین تعداد استولون در رقم بانبا به دست آمد. بررسی نتایج آزمایش مزرعه نیز نشان داد کاربرد باکتری‌های *Azospirillum* در ارقام آگریا و بانبا و باکتری *Pseudomonas* در رقم بانبا تأثیر معنی‌داری در افزایش تعداد غده داشته‌اند. بیشترین وزن غده در ارقام آگریا و کایزر و همچنین بیشترین وزن خشک غده در رقم آگریا با کاربرد باکتری *Azospirillum* حاصل شد. در مقایسه بین ارقام، بیشترین تعداد ساقه در بوته متعلق به رقم کایزر بود. با توجه به نتایج این پژوهش، تغذیه با کود شیمیایی در سیستم هواکشت و استفاده از باکتری *Azospirillum lipoferum* در مزرعه می‌تواند سبب افزایش عملکرد سیب‌زمینی شود.

واژه‌های کلیدی: هواکشت، آزوسپیریلوم لیپوفروم، ازتوباکتر کروکوکوم، سودوموناس پوتیدا، بهینه‌سازی مواد مغذی، مینی‌تیوبر

۱، ۲، ۳ و ۵. به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، دانشیار و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۳. استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: yarnia@iaut.ac.ir

مقدمه

سیب‌زمینی، پس از برنج و گندم سومین محصول مهم غذایی در جهان است. بیش از یک میلیارد نفر در سراسر جهان سیب‌زمینی مصرف می‌کنند (۱۱). محصول سیب‌زمینی به وسیله غده تکثیر می‌شود و تولید بذر به صورت میکرو تیوبر و مینی تیوبر در تولید سیب‌زمینی نوعی انقلاب ایجاد کرده است که منجر به کوتاه شدن چرخه تولید و افزایش عملکرد مینی تیوبر شده است (۴۷). به منظور تولید بذر سیب‌زمینی در آزمایشگاه چندتکنیک مانند سیستم هیدروپونیک، تکنیک فیلم مواد مغذی در دهه‌های اخیر مورد آزمایش قرار گرفته‌اند ولی این روش‌ها مشکلی مانند عدم هوارسانی مناسب در ناحیه ریشه دارند (۶، ۳۸ و ۳۹). سیستم هواکشت به دلیل قابلیت منحصر به فرد برای تولید بذر اولیه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با خصوصیات عالی کیفی و کمی دارای اهمیت قرار گرفته است (۱۶ و ۳۱). بهینه‌سازی مواد مغذی در سیستم هواکشت مهم‌ترین عامل برای تولید با کیفیت و عملکرد بالای بذر سیب‌زمینی سالم است. هر محصول یک ترکیب ماده غذایی بهینه دارد و حتی ممکن است هر رقم سیب‌زمینی در یک واحد هواکشت به ترکیب غذایی خاصی نیاز داشته باشد (۴۳). به این دلیل در سیستم هواکشت تغییراتی در میزان عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم برای بهبود عملکرد گیاه سیب‌زمینی داده شده است (۲۳). برای مثال افزایش میزان پتاسیم و فسفر و تقلیل میزان نیتروژن در ۳۵ روز بعد از استقرار گیاهچه‌های سیب‌زمینی در سیستم هواکشت باعث افزایش عملکرد شده است (۳۵). علاوه بر افزایش عملکرد از دیگر مزایای ایجاد تغییر در ترکیب تغذیه سیب‌زمینی در سیستم هواکشت می‌توان به مواردی نظیر ایجاد پروسه فیزیولوژیکی و توسعه‌ای بیشتر در ناحیه ریشه برای مقابله با کاهش دسترسی به مواد مغذی که برای افزایش جذب مواد مغذی توسط گیاه صورت می‌گیرد (۴۰). همچنین به پیشگیری از تأخیر در غده‌زایی در گیاه سیب‌زمینی اشاره کرد چرا که در سیستم هواکشت رشد رویشی بیش از حد، به دلیل دسترسی زیاد گیاه سیب‌زمینی به نیتروژن باعث تأخیر در غده‌زایی می‌شود (۱۰). سیستم هواکشت

برای مطالعات در سیستم ریشه به خصوص میکروارگانیسم‌های محیط ریشه نیز مورد استفاده قرار گرفته است (۱۴). کاربرد سویه‌های مناسبی از میکروارگانیسم‌ها برای افزایش تأثیر کودهای زیستی بر رشد و عملکرد گیاهان ضروری است (۴۱). از این جهت کاربرد باکتری (*Azospirillum spp*) در شرایط آزمایشگاهی باعث افزایش معنی‌دار تعداد و وزن میکروکلون‌های سیب‌زمینی شده است (۴۵). همچنین مصرف باکتری (*Azetobacter chroococcum*) به همراه باکتری‌های حل‌کننده فسفات در زراعت سیب‌زمینی افزایش عملکرد را نشان داده است (۸). هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر باکتری‌های تسریع‌کننده رشد و کود شیمیایی بر رشد و عملکرد ارقام سیب‌زمینی در سیستم هواکشت و همچنین ارزیابی عملکرد مینی تیوبرهای تولید شده در سیستم هواکشت با تیمار باکتریایی در مزرعه است.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد بوده و دما در زمستان معمولاً زیر صفر و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۰ متر، طول و عرض جغرافیایی به ترتیب $48^{\circ}20'$ و $38^{\circ}15'$ است. متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه و حداکثر مطلق دما به ترتیب $1/98$ ، $15/8$ و $21/58$ درجه سلسیوس و متوسط بارندگی سالیانه برابر ۲۹۱ میلی‌متر گزارش شده است (۴۰).

آزمایش هواکشت

آزمایش در سیستم هواکشت به صورت فاکتوریل بر پایه طرح آماری کاملاً تصادفی در سه تکرار و سه فاکتور در گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. فاکتور اول شامل گیاهچه‌های سه رقم سیب‌زمینی (آگریا، کایزر و بانبا) که از شرکت دشت زرین اردبیل تهیه شده و در لوله کشت (culture tube) به گلخانه

جدول ۱. مشخصات ارقام سیب‌زمینی استفاده شده در آزمایش هواکشت

ارقام	شکل غده	رنگ پوست	رنگ گوشت	عمق چشم	مشخصات		
					بلوغ	میزان محصول	محتوای ماده خشک
اگریا	بیضی	کرم	زرد تند	کم عمق	دیررس	متوسط به بالا	
بانبا	بیضی	زرد	زرد روشن	کم عمق	متوسط زودرس	متوسط	
کایزر	بیضی	کرم	زرد روشن	خیلی کم عمق	متوسط رس	متوسط به بالا	

مرتبه و سم کلروتالونیل لومن. WPV۵٪ به میزان چهار در هزار یک مرتبه و آوانت به میزان سه در هزار یک بار استفاده شد. گیاهچه‌های تولید شده ۳۰ روزه پس از ریشه‌زایی در آزمایشگاه، به گلخانه تطابق‌پذیری منتقل شدند. تیمار تغذیه با کود شیمیایی در دو سطح مصرف و عدم مصرف از ابتدای استقرار ۲۰ میلی لیتر در لیتر در دو نوبت از زمان استقرار تا ۳۵ روز و بعد از ۳۵ روز ترکیب تغییر یافته تا پایان فصل رشد مورد استفاده قرار گرفت. در هنگام تغییر ترکیب غذایی مخزن شستشو داده می‌شد و در اعمال تیمار باکتریایی پس از تلقیح ریشه گیاهچه‌های ارقام با سوسپانسیون ترکیب سه نوع باکتری (*Azospirillum lipoferum* OF) به مقدار ۲۸۶ میلی لیتر در یک لیتر آب مقطر، *Pseudomonas putida* 169 به مقدار ۲۵۰ میلی لیتر در یک لیتر آب مقطر و *Azetobacter chroococcum* ۵ به مقدار ۱۰۰ گرم در یک لیتر آب مقطر و سریش) در محیط هواکشت روی جعبه کشت قرار داده شدند. زمانی که اندازه مینی تیوبرها به هشت گرم رسیدند، برداشت شروع و هر ۱۰ روز یک بار تا پایان فصل رشد تداوم داشت. بعد از هر برداشت، مینی تیوبرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۱٪ در صد و به دنبال آن یک یا دوبار با آب مقطر شسته شدند؛ این امر به خاطر جلوگیری از آلودگی باکتریایی انجام شد. مینی تیوبرها، ابتدا در داخل خاک ضدعفونی شده با رطوبت خیلی جزئی به مدت سه هفته در شرایط انبار با دمای ۱۵-۱۸ درجه سلسیوس نگهداری و سپس به سردخانه (۵-۴ درجه سلسیوس) منتقل شدند. به مدت هفت ماه در سردخانه بودند. در طی دوره رشد و بعد از برداشت، صفات زمان شروع غده‌زایی، تعداد استولون، ارتفاع بوته، تعداد

منتقل شدند قبل از انتقال گیاهچه‌ها کف و دیوارهای گلخانه و میزکشت با قارچ کش کاپیتان دو درصد استریل شدند (جدول ۱). فاکتور دوم در دو سطح عدم مصرف (شاهد) و مصرف کود شیمیایی در دو مرحله با دو ترکیب مورد استفاده قرار گرفت در مرحله اول (ترکیب کودی حاوی نیتروژن و فسفر و پتاسیم با نسبت برابر بدون دو عنصر گوگرد و منیزیم به همراه ریزمغذی‌ها) از روز استقرار گیاهچه‌ها تا ۳۵ روز و در مرحله دوم (میزان دو عنصر نیتروژن و فسفر تقلیل و میزان پتاسیم افزایش داده شد عناصر گوگرد و منیزیم به ترکیب اضافه شدند) تا اتمام دوره رشد مورد مصرف قرار گرفتند. روش تغذیه از منابع (۲۵، ۳۵ و ۴۳) اقتباس شده است (جدول ۲)؛ فاکتور سوم در دو سطح عدم مصرف (شاهد) و مصرف ترکیب سه نوع باکتری (*Azospirillum lipoferum* OF، *Pseudomonas putida* 169 و *Azetobacter chroococcum* ۵) که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران تهیه شده بود، به همراه ترکیب توصیه شده توسط لومن و استراک (۲۱) لحاظ شد. (جدول ۲).

در مخزن سیستم هواکشت pH محلول و آب تصفیه شده ۷ و EC آنها یک میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر لحاظ شد. درجه حرارت گلخانه بین ۱۸-۲۲ درجه سلسیوس بود. نور با استفاده از فراتاب‌های متال هالیدی حدود ۲۲-۲۰ هزار لوکس تأمین شد. اندازه هر واحد آزمایشی ۲۰ بوته و فاصله بین گیاهچه ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. محلول غذایی در هر ۱۰ دقیقه به مدت ۱۲ ثانیه به طور مرتب به صورت مه‌پاشی تا پایان فصل رشد در اختیار ریشه گیاهان قرار گرفت. در طی دوره رشد از قارچ‌کش کلرومس WP۳۵٪ به میزان سه در هزار، چهار

جدول ۲. ترکیبات عناصر غذایی استفاده شده در آزمایش هواکشت

عناصر غذایی	ترکیب مرحله اول		ترکیب مرحله دوم		شاهد (عدم مصرف)	مقدار	
	مقدار	واحد	مقدار	واحد		مقدار	واحد
نیترات NO ₃	۱۸۰	گرم	۱۰۱	گرم	تترا هیدرات نیترات کلسیم Ca(NO ₃) ₂ /4H ₂ O	۰/۸۹۰	گرم
آمونیم NH ₄	۹۸	گرم	۱۹	گرم	نیترات پتاسیم KNO ₃	۰/۴۴۶	گرم
فسفر P ₂ O ₅	۱۸۰	گرم	۱۲۰	گرم	مونوپتاسیم فسفات KH ₂ PO ₄	۰/۱۳۵	گرم
پتاسیم اکسید K ₂ O	۱۸۰	گرم	۳۶۰	گرم	سولفات پتاسیم K ₂ SO ₄	۰/۱۳۵	گرم
کلرید کلسیم CaCl	۲۶	گرم	۲۶	گرم	هپتاهیدرات سولفات منیزیم MgSO ₄ /7H ₂ O	۰/۴۷۲	گرم
اکسید منیزیم MgO	-	-	۱۰	گرم	اسید سولفوریک H ₂ SO ₄	۰/۰۳۴	گرم
تری اکسید گوگرد So ₃	-	-	۲۵	گرم	آهن Fe EDTA	۰/۰۳۵	گرم
بر B	۰/۵	گرم	۰/۵	گرم	منوهیدرات سولفات منگنز MnSO ₄ / H ₂ O	۲/۰	میلی گرم
مس Cu	۰/۲	گرم	۰/۲	گرم	اسید بوریک H ₃ BO ₃	۳/۰	میلی گرم
اهن Fe	۱/۴	گرم	۱/۴	گرم	هپتاهیدرات سولفات روی ZnSO ₄ /7 H ₂ O	۰/۵	میلی گرم
منگنز Mn	۰/۸	گرم	۰/۸	گرم	سدیم مولیبدات دی هایدرات Na ₂ MoO ₄ /2H ₂ O	۰/۱	میلی گرم
مولیبدن Mo	۰/۰۴	گرم	۰/۰۴	گرم	پنتا هیدرات سولفات مس CuSO ₄ /5H ₂ O	۰/۱	میلی گرم
روی Zn	۰/۵	گرم	۰/۵	گرم	(لومواستروایک، ۱۹۹۲)		

انجام شد. فاکتور اول شامل مینی تیوبرهای تولیدی از سیستم هواکشت از سه رقم آگریا، کایزر و بانبا و فاکتور دوم در چهار سطح عدم مصرف و مصرف باکتری‌های تسریع کننده رشد (*Pseudomonas putida 169 Azospirillum lipoferum OF* و *Azetobacter chroococcum ۵*) لحاظ شد. مینی تیوبرها برای تلقیح با باکتری‌ها به مدت ۲۰ دقیقه به صورت غرقابی در محلول

ساقه اصلی در بوت‌ه، تعداد و وزن مینی تیوبر در بوت‌ه یادداشت برداری شد.

آزمایش مزرعه‌ای

در سال دوم در شرایط مزرعه، آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با دو فاکتور

جدول ۳. نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش مزرعه‌ای

خصوصیات خاک										
منیزیم	کلسیم	فسفر	پتاسیم	SP	O.C	TNV	نیترژن کل	pH	EC	بافت
(ppm)				(درصد)					(دسی‌زیمنس بر متر)	
۶/۵۹	۶/۶۸	۱۷/۹	۴۳۳	۵۱	۱/۲	۸/۹۵	۰/۱۴	۷/۸۰	۱/۰۸۴	سیلتی کلی لوم

افزایش تعداد مینی تیوبر در بوته به ترتیب نسبت به شاهد و ترکیب سه باکتری داشته است. ارقام بانبا، آگریا، کایزر بیشترین تعداد مینی تیوبر را به ترتیب با میانگین‌های ۱۶۲، ۱۵۲، ۱۳۹ با کاربرد کود شیمیایی تولید کرده‌اند که بیشترین تعداد مینی تیوبر مربوط به رقم بانبا است در گروه شاهد میانگین‌های تولید مینی تیوبر ارقام آگریا، بانبا، کایزر به ترتیب ۸۹، ۸۹، ۱۰۸ است کمترین میانگین تعداد مینی تیوبر در ارقام آگریا، کایزر، بانبا به ترتیب ۸۳، ۸۷، ۶۷ با کاربرد ترکیب سه باکتری به دست آمده است (جدول ۵). نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد کود شیمیایی باعث افزایش تعداد مینی تیوبر در هر سه رقم شده است. در آزمایشی با استفاده از نیترژن به دو فرم آمونیوم و نیترات به میزان ۴۰ و ۱۸۵ میلی‌گرم و فسفر و پتاسیم بالاتر نسبت به سایر تیمارها بیشترین تعداد مینی تیوبر در سیستم هواکشت تولید شده است (۳۸). همچنین افزایش پتاسیم از ۲۰۰ به ۲۶۰ ppm و گوگرد از ۷۰ به ۹۲ ppm و کاهش نیترژن از ۱۹۰ به ۱۵۰ ppm بعد از ۳۵ روز اثر مثبت در افزایش تعداد مینی تیوبر داشته است (۲۷). تقطیع یا کاهش در مصرف نیترژن به واسطه کاهش صادرات سیتوکینین از ریشه به شاخساره، افزایش قدرت مقصد را ایجاد کرده و رشد اندام هوایی و ریشه را متأثر می‌کند این رویه باعث افزایش رشد استولون و تعداد غده می‌شود. کاهش سطوح جیبرلین و افزایش سطوح اسید آبسزیک از دستاوردهای دیگر ایجاد نوسان در تغذیه نیترژن است. دو هورمون جیبرلین و اسید آبسزیک نسبت به هم حالت آنتاگونیستی دارند به طوری که در دوره پیدایش غده‌ها در استولون میزان جیبرلین کاهش پیدا می‌کند (۲۲). در بعد دیگر نتایج مشهود است که کاربرد ترکیب سه

سوسپانسیون باکتری با توجه به تیمار مورد نظر قرار گرفتند. سپس به بستر کشت اصلی منتقل شدند. مصرف کودهای سولفات پتاسیم به میزان ۲۵ درصد در یک نوبت، فسفات آمونیوم به میزان ۱۵ درصد در دو نوبت و نیترات آمونیوم در سه نوبت به میزان ۳۰ درصد بر اساس آزمون خاک بود (جدول ۳). بدین ترتیب ۲۵ درصد کود نیترات آمونیوم، ۵۰ درصد کود فسفات آمونیوم و کل کود سولفات پتاسیم را با هم مخلوط و در کف شیار ایجاد شده قرار داده روی آن با ۵ سانتی‌متر خاک مزرعه پوشش داده شد، سپس مینی تیوبرها را روی بستر خاک قرار داده و تا حدود ۵ سانتی‌متر با خاک پوشانده شدند. تاریخ کشت بیستم فروردین بود. عملیات کشت و تهیه زمین بر اساس روش فارن و همکاران انجام شد (۱۰). صفات مورد مطالعه در مزرعه عبارت بودند از تعداد و وزن غده در بوته، وزن خشک غده، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته که در طی دوره رشد و بعد از برداشت به طور تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش‌های هواکشت و مزرعه با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسات میانگین بر اساس آزمون LSD با نرم‌افزار MSTATC انجام شد.

نتایج و بحث

آزمایش هواکشت

تعداد مینی تیوبر در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس برهم‌کنش بین رقم و ترکیب سه باکتری و کود شیمیایی در صفت تعداد مینی تیوبر در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها کاربرد کود شیمیایی اثر معنی‌داری بر

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در سیستم هواکشت

تعداد روز تا غده‌زایی	تعداد استولون	میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییر
		تعداد آرتفاع بوته	وزن مینی تیوبر در بوته	تعداد مینی تیوبر در بوته		
۲۴/۷/۸*	۵/۷۴۹*	۴۸۲/۱۱**	۴۹۰۷۲۵/۸۶**	۹۲۸۴/۱۱۱**	۲	رقم
۱۶۵۳/۷/۸**	۰۰/۱۱ ^{ns}	۶۵۰/۲۵**	۴۱۸۳۹۳/۳۶۱**	۴۵۳۳۲/۷۷۸**	۱	کود شیمیایی
۴۴/۱/۱۱**	۱/۹۷ ^{ns}	۲۴/۳۳ ^{ns}	۵۰۴۵۲/۳۶۱**	۱۱۸۹/۷۷۸**	۲	رقم × کود شیمیایی
۷۶۵/۴۴**	۴/۹۴۸ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۲۰۴۷۵۶/۲۵۰**	۲۶۶۹/۴۴**	۱	ترکیب سه باکتری
۱۲/۱/۱ ^{ns}	۲/۹۳۱ ^{ns}	۳۸/۱۱ ^{ns}	۸۱۱۱۸/۷۵۰**	۱۶۲۸/۴۴**	۲	رقم × ترکیب سه باکتری
۲۰۵/۴۴**	۱۸/۰۲۲**	۲۳۰/۰۲۸**	۲۹۲۹۸/۰۲۸ ^{ns}	۱۰۰ ^{ns}	۱	کود شیمیایی × ترکیب سه باکتری
۱۴/۷/۸ ^{ns}	۰/۹۳۲ ^{ns}	۱۹/۴۴ ^{ns}	۵۰۰۶۲/۳۶۱**	۸۱۷**	۲	رقم × کود شیمیایی × ترکیب سه باکتری
۲/۰/۸۳	۰/۴۳۲	۴/۹۷	۲۳۱۰/۲۲۲	۱۳/۶۱۱	۲۴	اشتباه آزمایش
۲/۳۶	۸/۱۶	۵/۹۸	۶/۶۵	۳/۵۳	-	ضریب تغییرات (درصد)

*، ** و *** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد هستند.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در ترکیب سه باکتری در کود شیمیایی برای صفات مورد مطالعه در سیستم هواکشت

ارقام	تیمار	تعداد مینی تیوبر در بوته	وزن مینی تیوبر در بوته (گرم)
	ترکیب سه باکتری	۸۷/۱۴ ^{fg}	۶۰۳/۷ ^d
اگریا	شاهد	۱۰۸/۱۱ ^e	۷۸۲/۷ ^c
	کود شیمیایی	۱۵۲/۱۰ ^b	۱۱۰/۱ ^a
	ترکیب سه باکتری	۸۳/۰۱ ^{jh}	۵۰۴/۲ ^{ef}
کایزر	شاهد	۸۹/۶۷ ^d	۸۶۵/۷ ^c
	کود شیمیایی	۱۳۹/۰۲ ^c	۹۹۴/۳ ^b
	ترکیب سه باکتری	۶۷/۶۷ ⁱ	۴۶۹/۳ ^f
بانبا	شاهد	۸۹/۶۰ ^f	۵۶۸/۱ ^{de}
	کود شیمیایی	۱۶۲/۵ ^a	۱۱۳۵ ^a

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD ندارند.

رقم حاصل شده است. با توجه به اینکه بیشترین تعداد و وزن مینی تیوبر تولید شده در ارقام بانبا، اگریا، کایزر بر اثر کود شیمیایی به دست آمده است فرض بر این است که علت عدم تأثیر تیمار باکتریایی به دلیل میزان اکسیژن بالا در محیط فعالیت باکتری در افزایش تعداد مینی تیوبر در رابطه با وزن مینی تیوبر نیز صادق است، برای اینکه در این رابطه گزارش شده میزان تولید مواد پرورده با تعداد غده در حال توسعه همبستگی دارد، در واقع مقدار فعالیت فتوسنتزی تحت کنترل اندازه مقصد است (۴۲). در این آزمایش ۳۵ روز پس از استقرار گیاهچه‌ها ترکیب کود شیمیایی تغییر پیدا کرد به نحوی که میزان نیتروژن و فسفر کاهش و پتاسیم افزایش داده شد سپس دو عنصر گوگرد و منیزیم نیز به ترکیب تغذیه اضافه شدند. در بررسی تأثیر سطوح مختلف محلول غذایی بر کیفیت و عملکرد مینی تیوبرهای سیب‌زمینی در سیستم هواکشت بهترین عملکرد از ایجاد تغییر در رویه تغذیه به صورت تغذیه کامل تا گلدهی و تقلیل عناصر ماکرو به نصف پس از گلدهی به دست آمده است (۴۳). روند جذب پتاسیم بعد از ۴۸ روز پس از سبز شدن تا انتهای فصل رشد سیب‌زمینی افزایشی گزارش شده است (۴۶). پتاسیم انتقال مواد پرورده به مقصد (غده‌ها) را تسهیل می‌کند که در نهایت می‌تواند ظرفیت حجمی شدن غده و در نتیجه زیست توده و عملکرد آن را افزایش

باکتری اثر معنی‌داری در افزایش تعداد مینی تیوبر ارقام اگریا، بانبا، کایزر را نشان نداده و کارایی مشابه با شاهد داشته است دلیل عدم کارایی می‌تواند میزان اکسیژن بالا در محیط ریشه در سیستم هواکشت باشد. گزارش شده میزان اکسیژن بالای محیط در فعالیت باکتری اختلال ایجاد می‌کند (۳۳).

وزن مینی تیوبر در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهم‌کنش بین رقم و ترکیب سه باکتری و کود شیمیایی در صفت وزن مینی تیوبر در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بررسی میانگین داده‌ها نشان داد که مصرف کود شیمیایی در مقایسه با شاهد و تیمار سه باکتری تأثیر معنی‌داری در افزایش وزن مینی تیوبر گذاشته است. به طوری که کاربرد کود شیمیایی بیشترین میانگین وزن مینی تیوبر در رقم بانبا ۱۱۳۵ گرم، اگریا ۱۱۰۱ گرم، رقم کایزر ۹۹۴ گرم در مقایسه با ارقام گروه شاهد بانبا ۸۶۵ گرم، اگریا ۷۸۲ گرم، رقم کایزر ۵۶۸ گرم و ارقام متأثر از ترکیب سه باکتری اگریا ۶۰۳ گرم، بانبا ۵۰۴ گرم، رقم کایزر ۴۶۹ گرم به ثمر آورده است (جدول ۵). با توجه به نتایج تیمار باکتریایی تأثیری در افزایش کارایی کود شیمیایی نداشته است و کمترین میزان وزن مینی تیوبر بر اثر این تیمار در هر سه

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ترکیب سه باکتری در کود شیمیایی و رقم در کود شیمیایی برای صفات مورد مطالعه در سیستم هواکشت

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی متر)	تعداد استولون در بوته	تعداد روز تا غده‌زایی	ارقام	تیمار	تعداد روز تا غده‌زایی
ترکیب سه باکتری	۸۱/۵۶ ^a	۸/۰۱ ^b	۶۱/۴۴ ^c	اگریا	شاهد	۵۴/۸۳ ^d
شاهد	۶۴/۱ ^b	۶/۸۸ ^c	۶۵/۷۸ ^b	بانبا	کود شیمیایی	۶۸/۳۳ ^b
کود شیمیایی	۶۰/۲ ^c	۱۳/۳ ^a	۷۰/۲۲ ^a	کایزر	شاهد	۵۳/۶۷ ^d
					کود شیمیایی	۶۴/۵ ^c
						۵۳/۸۳ ^d
						۷۱/۱۷ ^a

میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD ندارند.

می‌شوند (۲ و ۱۷). در شرایط مزرعه‌ای کاربرد باکتری (*Azospirillum lipoferum*) در گیاه ذرت (*Zea mays L.*) باعث افزایش ارتفاع بوته شده است (۱۵ و ۱۷). با توجه به نتایج مصرف کود شیمیایی به‌نوعی باعث تعدیل در افزایش ارتفاع بوته شده است در این رابطه گزارش شده که رشد اگر در اوایل فصل (به‌دلیل کمبود مواد مغذی، آب یا استرس) محدود شود، رشد غده را نسبت به رشد شاخ و برگ مساعد می‌کند دسترسی گیاه به نیتروژن و یا استفاده از آن می‌تواند تحت تأثیر اختلالات فیزیولوژیکی گیاهان یا سایر مواد مغذی قرار گیرد به‌عنوان مثال (نارسایی منیزیم). از آنجا که منیزیم در کنترل همزمان فرایندهای مسئول فتوسنتز، جذب و توزیع مواد پرورده در گیاهان نقش دارد، به‌نظر می‌رسد که یکی از عوامل اصلی در جذب و استفاده از نیتروژن باشد. همچنین گوگرد با نیتروژن هم‌افزایی دارد به‌گونه‌ای که عدم دسترسی به یکی باعث کاهش جذب دیگری می‌شود (۳۶). فرض بر این است فقدان منیزیم و گوگرد در دور اول رشد به‌نوعی متعادل‌کننده عملکرد نیتروژن بوده است. از آنجا که نیتروژن بیشترین تأثیر را روی افزایش شاخساره دارد در واقع این امر باعث ایجاد یک حالت ایدئال در گیاه به نسبت شاخساره به ریشه شده است.

تعداد استولون

تعداد استولون بین ارقام و اثر متقابل ترکیب سه باکتری در کود

دهد (۲۶ و ۲۸). از سوی دیگر اثر مثبت مقادیر بالای پتاسیم روی عملکرد وزنی سیب‌زمینی گزارش شده است (۱۷). در شرایط مواجهه با کمبود گوگرد، استفاده از گوگرد می‌تواند به‌طور معنی‌داری عملکرد غده و میزان نشاسته سیب‌زمینی را افزایش دهد، درحالی‌که منجر به کاهش غلظت نیتروژن غده به‌دلیل افزایش تولید ماده خشک می‌شود (۴۷).

ارتفاع بوته

با توجه به نتایج تجزیه واریانس بین ارقام و همچنین تیمارها در صفت ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۴). تفاوت بین ارقام در صفت ارتفاع بوته نشان داده که رقم کایزر با میانگین ۷۲/۵ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را نسبت به ارقام بانبا و اگریا به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۷/۲۵ و ۶۳/۵ داشته است. گزارش شده که میزانزیاد مواد مغذی به‌ویژه نیتروژن (۲۰). همچنین دمای بالا باعث تداوم رشد رویشی سیب‌زمینی در شرایط هواکشت می‌شود (۲۳). در بین تیمارها با توجه به (جدول ۶) کاربرد ترکیب سه باکتری با میانگین ۸۱/۵۶ سانتی‌متر تأثیر معنی‌داری در افزایش ارتفاع بوته نسبت به شاهد با میانگین ۶۴ سانتی‌متر و تیمار کود شیمیایی با میانگین ۶۰/۲ سانتی‌متر داشته است. میکروارگانیزم‌ها با افزایش میزان حلالیت فسفر و پتاسیم نامحلول خاک و جذب نیتروژن و سایر عناصر مانند گوگرد، منجر به افزایش رشد گیاه

نشان داده ولی در مقایسه با شاهد اثربخشی بیشتری داشته است فرض بر این است که افزایش تعداد استولون با استفاده از تیمار باکتریایی پایه هورمونی داشته باشد. باکتری‌های نظیر (*Azospirillum spp.*)، (*Azetobacter spp.*)، (*Pseudomonas spp.*) با تولید هورمون‌های اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و اتیلن که به‌عنوان چهار هورمون مورد نیاز فرایندهای بیوشیمیایی اصلی گیاهی شناخته می‌شوند باعث توسعه سیر فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه می‌شوند (۳۴). در این رابطه به نقش سیتوکینین در رشد و انشعاب استولون‌های سیب‌زمینی اشاره شده است (۳۶).

تعداد روز تا غده‌زایی

اثر متقابل بین کود شیمیایی و ترکیب سه باکتری و برهم‌کنش رقم و کود شیمیایی در صفت تعداد روز تا غده‌زایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل کود شیمیایی و ترکیب سه باکتری در صفت تعداد روز تا غده‌زایی نشان داد کاربرد کود شیمیایی با میانگین ۷۰/۲۲ روز نسبت به تیمار ترکیب سه باکتری و شاهد به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۱ و ۶۵ اثر معنی‌داری در تأخیر در شروع غده‌زایی داشته است (جدول ۶). مقدار بالا یا نرخ بسیار پایین نیتروژن از عوامل تأخیر یا حتی توقف غده‌زایی گزارش شده است (۱۹). نیتروژن نه تنها بر میزان، بلکه بر موازنه هورمون‌های گیاهی تأثیر دارد. در میان عناصر غذایی، نیتروژن مهم‌ترین اثر را بر میزان اسید جیبرلیک دارد پس از افزایش میزان نیتروژن، اسید جیبرلیک افزایش و اسید آبسزیک کاهش می‌یابد (۲۳). اسید جیبرلیک نقش مهمی در مهار تشکیل غده دارد (۲۲). با مقایسه دو عامل کود شیمیایی و ترکیب سه باکتری مشاهده می‌شود که بر اثر ترکیب سه باکتری تقریباً ۱۰ روز غده‌زایی زودتر اتفاق افتاده است. فرض بر این است که تسریع در ظهور مینی‌تیوبر به دلیل توانایی باکتری‌ها در تولید اکسین و سیتوکینین است چون میزان هر دو هورمون در دوره غده‌زایی در استولون‌ها افزایش پیدا می‌کند (۳۴ و ۳۷). همچنین بررسی میانگین اثر

شیمیایی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان داده است (جدول ۴). در بین ارقام رقم بانبا با میانگین ۹/۳۳ بیشترین تعداد استولون را نسبت به ارقام اگریا و کایزر به‌ترتیب با میانگین‌های ۷/۸۳۳ و ۷ تولید کرده بود. طول و تعداد استولون‌ها و میزان انشعاب ممکن است بر اساس ژنوتیپ یا محیط متفاوت باشد (۳۰). در سیستم هواکشت به دلیل شرایط عالی هوادهی ناحیه ریشه، رطوبت کافی و تأمین مداوم مواد مغذی، رشد ریشه‌ها و استولون‌ها تا حد زیادی تقویت می‌شوند (۳۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کود شیمیایی و ترکیب سه باکتری در تعداد استولون نشان می‌دهد (جدول ۶). که کاربرد کود شیمیایی با میانگین ۱۳ باعث افزایش تعداد استولون تولید شده نسبت به ترکیب سه باکتری با میانگین ۸ و شاهد با میانگین ۶/۸۸ شده است. تغییرات در روند تغذیه باعث ایجاد تغییرات هورمونی در گیاه می‌شود که عمده واکنش‌ها بر اساس تغییرات نیتروژن استوار است. در این آزمایش مصرف کود شیمیایی در دو مرحله صورت گرفت ترکیب اولیه حاوی ۱۸ درصد نیتروژن به فرم‌های نیترات و آمونیم در یک حالت برابر، در اختیار گیاهچه‌های سیب‌زمینی قرار گرفت و بعد از ۳۵ روز میزان نیتروژن به ۱۲ درصد تقلیل پیدا کرد که نسبت نیترات به آمونیم ۲:۹ بود. گزارش شده فرم نیتروژن به‌صورت نیترات و آمونیم و نسبت آنها بر رشد استولون و انشعاب آن تأثیرگذار است، آنها دامنه‌ای از تغییرات را بر اساس فرم نیترات در رشد و انشعاب استولون و فرم آمونیم را در تحریک تورم غده و نسبت برابر آنها در افزایش تولید استولون را گزارش کرده‌اند (۱۲ و ۱۴). همچنین فقدان دو عنصر گوگرد و منیزیم در ترکیب اولیه به مدت ۳۵ روز در افزایش تعداد استولون بی‌تأثیر نبوده زیرا که شواهد مبنی بر این است که کمبود عناصر باعث تغییر در نسبت شاخه/ریشه شده و تکثیر ریشه‌های جانبی را افزایش می‌دهد. برای مثال گیاه (*Arabidopsis thaliana* L.) که در حالت استفاده کم از گوگرد رشد کرده، تکثیر ریشه‌های جانبی را افزایش داده است (۲۰). با توجه به نتایج کاربرد ترکیب سه باکتری نسبت به کود شیمیایی تأثیر کمتری روی تولید استولون

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس برای آزمایش مزرعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		تعداد غده در مترمربع	وزن غده در بوته	وزن خشک غده
تکرار	۲	۰/۱۹۴ ^{ns}	۲۶۵۵/۱۸۸*	۱۱۲/۳۶۳**
باکتری	۳	۳/۲۴۱**	۱۷۳۰۲۷/۸۹۶**	۷۳۸۶/۷۸۳**
رقم	۲	۳/۱۱۱*	۲۳۷۰۶/۰۶۳**	۲۱۶۹/۱۴۵**
باکتری × رقم	۶	۴/۷۹۶**	۱۸۲۰۸/۶۴۶**	۷۴۷/۴۳۵**
اشتباه آزمایش	۲۴	۰/۲۸۵	۲۰۹/۵۵۱	۸/۶۸۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۸/۱۴	۲/۴۱	۲/۳۷
				۲۵/۱۸۸ ^{ns}
				۱۱/۷۶۶ ^{ns}
				۲۷/۷۷۱*
				۹/۳۶۳ ^{ns}
				۲/۴۹۱
				۱۸/۳۰

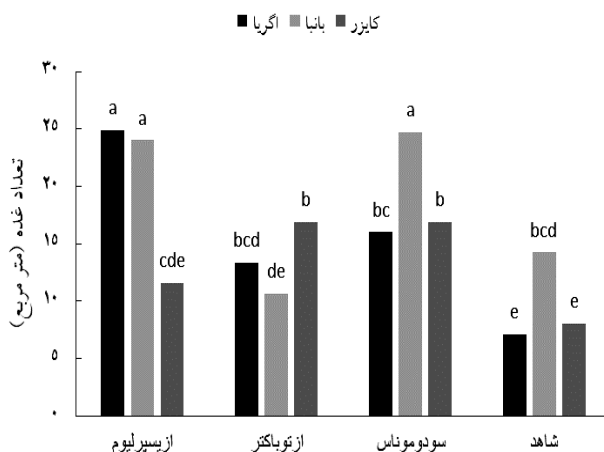
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد هستند.

میانگین‌های ۲۴/۸۹ و ۲۴ و رقم بانبا متأثر از باکتری نشان داد که مصرف کود شیمیایی اثر معنی‌داری در افزایش تعداد روز تا غده‌زایی در ارقام کایزر، اگریا، بانبا به ترتیب با میانگین‌های ۷۱، ۶۸، ۶۴ در مقایسه با ارقام شاهد اگریا و بانبا و کایزر به ترتیب با میانگین‌های ۵۴، ۵۳، ۵۳ داشته است (جدول ۶). تفاوت در ژنوتیپ‌ها و بالا بودن نسبت نیتروژن و اکسیژن در محلول تغذیه و افزایش تدریجی دما در طول دوره رشد می‌تواند از عوامل تأثیرگذار در دوره رشد ژنوتیپ باشند (۲۳ و ۲۴). همچنین رشد رویشی بیش از حد بر اثر دسترسی گیاه به نیتروژن بالا به‌عنوان یکی دیگر از دلایل تأخیر در غده‌زایی در سیستم هواکشت مطرح شده است (۱۰). در این آزمایش در مرحله اول تغذیه با کود شیمیایی نیتروژن به‌میزان بالا در اختیار گیاهچه‌ها قرار داشت.

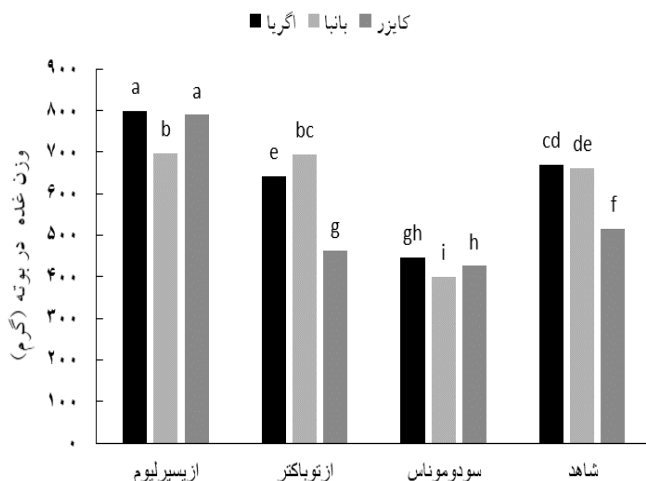
آزمایش مزرعه‌ای
تعداد غده در مترمربع

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رقم، باکتری در صفت تعداد غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). بر اساس مقایسه میانگین کاربرد باکتری‌های (*Pseudomonas putida*) و (*Azospirillum lipoferum*) تأثیر معنی‌داری در افزایش تعداد غده داشته‌اند. ارقام اگریا و بانبا در اثر مصرف باکتری (*Azospirillum lipoferum*) به ترتیب با

میانگین‌های ۲۴/۸۹ و ۲۴ و رقم بانبا متأثر از باکتری (*Pseudomonas putida*) با میانگین ۲۴/۷۰ بیشترین تعداد غده در واحد سطح را نسبت به ارقام تلقیح شده با باکتری (*Azotobacter chroococcum*) و شاهد تولید کرده‌اند (شکل ۱). هورمون اکسین تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها موجب تحریک جوانه‌زنی، تسریع رشد ریشه‌ها، تغییر ساختار سیستم ریشه‌ای و افزایش توسعه ریشه‌ها می‌شود (۳). کاربرد خارجی اکسین در غده‌زایی و افزایش سطح رونویسی ژن بیوسنتز اکسین در دوره توسعه غده سیب‌زمینی تأیید شده است (۳۷). گزارش شده تعداد غده سیب‌زمینی پس از تلقیح با باکتری (*Azospirillum spp*) تا ۴۵ درصد افزایش پیدا کرده است (۴۵). باکتری (*Pseudomonas spp*) به‌عنوان یکی از قوی‌ترین حل‌کننده‌های فسفات نامحلول خاک مطرح شده است (۲۸). از آنجا که فسفر تأثیر به‌سزایی در تنظیم تعداد غده‌های سیب‌زمینی به‌ویژه در حالت‌های اولیه رشد و در مرحله بلوغ غده دارد (۱۳). احتمالاً باکتری (*Pseudomonas putida*) بیشترین تأثیر را بر اساس تسریع در دسترسی گیاه به فسفر روی تعداد غده گذاشته است زیرا که در این آزمایش این تیمار فقط باعث افزایش تعداد غده شده ولی وزن غده‌ها را متأثر نکرده است. در آزمایشی کاربرد باکتری (*Pseudomonas putida*) باعث افزایش عملکرد سیب‌زمینی شده است (۴).



شکل ۱. برهم کنش رقم و باکتری در صفت تعداد غده در مترمربع آزمایش مزرعه (میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD ندارند).



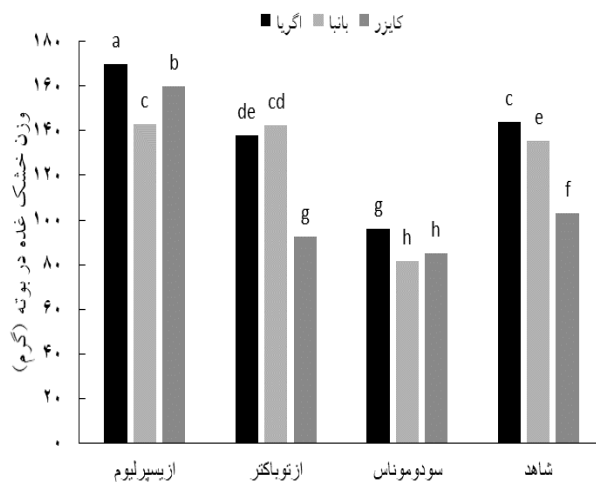
شکل ۲. برهم کنش رقم و باکتری در صفت وزن غده در بوته آزمایش مزرعه (میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD ندارند).

کرده‌اند (شکل ۲). دو ویژگی برای باکتری (*Azospirillum spp*)

تعریف شده یکی تثبیت نیتروژن و دیگری تولید فیتوهورمون‌ها است (۴۴). میزان نیتروژن بالا باعث رشد و تکامل و انتقال مواد تولید شده فتوسنتزی از منبع به مخزن و در نتیجه باعث افزایش عملکرد می‌شود (۹). تلقیح با (*Azospirillum spp*) بیشتر رشد ریشه‌ها و جذب آب و مواد معدنی را افزایش می‌دهد، تراوش مواد افزایش دهنده رشد گیاهان به ویژه اکسین مسئول این تأثیرات است اما علاوه بر این هورمون، هورمون‌های دیگری مانند سیتوکینین‌ها

وزن غده در بوته

برهم کنش رقم و باکتری در صفت وزن غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). بررسی میانگین مشخص کرد که مصرف باکتری (*Azospirillum lipoferum*) تأثیر معنی‌داری در افزایش وزن غده در بوته نسبت به کاربرد باکتری‌های (*Pseudomonas putida*) و (*Azetobacter chroococcum*) و شاهد داشته است. ارقام اگریا با ۸۰۰ گرم و کایزر با ۷۹۰ گرم. بیشترین وزن غده را با این تیمار کسب



شکل ۳. برهم کنش رقم و باکتری در صفت وزن خشک غده آزمایش مزرعه (میانگین‌های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD ندارند).

سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). مقایسه میانگین نشان داد. که کاربرد باکتری (*Azospirillum lipoferum*) تأثیر معنی‌داری در افزایش وزن خشک غده نسبت به باکتری‌های (*Pseudomonas putida*) و (*Azotobacter chroococcum*) و شاهد داشته است و بیشترین گرم وزن خشک غده در بوته با میانگین ۱۶۹/۹ در رقم آگریا با تیمار فوق به‌دست آمده است (شکل ۳). تولید اسید آبسزیک به‌عنوان یکی از توانایی‌های (*Azospirillum lipoferum*) ذکر شده است (۷). گزارش شده که هورمون اسید آبسزیک باعث افزایش حمل و نقل به مقصد می‌شود. سطوح اسید آبسزیک در مقصد در دوره‌های تجمع مواد به‌وسیله فتوسنتز افزایش پیدا می‌کند این احتمال داده شده که اسید آبسزیک و اکسین بر توانایی جذب نسبی مقصد با تنظیم جذب نسبی ساکاروز تأثیر بگذارند (۴۷). همچنین تقویت سنتز نشاسته و انباشت در مغز غده (pith)، و نیز نقص در این فرایندها در کورتکس، به‌دنبال تغییر در محتوای اسید آبسزیک رخ می‌دهد (۵). افزایش وزن خشک سیب‌زمینی با کاربرد جدایه‌هایی از (*Azospirillum spp*) در شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی گزارش شده است (۲۹ و ۴۵).

و جیبرلین‌ها نیز توسط باکتری‌های این جنس تراوش می‌شوند، همچنین ساخت و آزادسازی اکسید نیتریک توسط باکتری‌هایی از این جنس یکی از فاکتورهای مهم در افزایش ریشه‌های جانبی در گیاهان است (۳۴). در آزمایش مزرعه‌ای تلقیح سیب‌زمینی با باکتری (*Azospirillum spp*) باعث افزایش وزن غده تا ۳۰ درصد نسبت به شاهد گزارش شده است (۴۵).

تعداد ساقه در بوته

تعداد ساقه در بوته فقط بین ارقام معنی‌دار شده است (جدول ۷). با توجه به مقایسه میانگین بین ارقام؛ رقم کایزر با میانگین ۱۰/۱۶۷ عدد بیشترین ساقه در بوته را به‌ترتیب نسبت به ارقام بانبا و آگریا با میانگین‌های ۸/۵۸۳ و ۷/۱۲۵ تولید کرده است. اختلاف بین ارقام در تعداد ساقه سیب‌زمینی بیشتر تحت تأثیر تفاوت‌های ژنتیکی به‌وجود می‌آید (۱). علاوه بر این، درجه چیرگی رأسی تعداد ساقه‌های تولید شده در هر قطعه بذر را دیکته می‌کند که به‌نوبه خود بر مجموعه غده، تعداد غده در بوته و توزیع اندازه غده تأثیر می‌گذارد (۱۸).

وزن خشک غده

اثر متقابل رقم و باکتری در صفت وزن خشک غده در

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش کاربرد کود شیمیایی طی دو مرحله بهترین اثر را در افزایش تولید تعداد مینی تیوبر و وزن مینی تیوبر و تعداد استولون در سیستم هواکشت داشته است. تأثیر مثبت کاربرد ترکیب سه باکتری روی افزایش ارتفاع بوته بوده است. در آزمایش مزرعه‌ای بیشترین تعداد و وزن غده با کاربرد باکتری (*Azospirillum lipoferum* OF) در رقم آگریا به دست آمده است.

سپاسگزاری

این مقاله از پایان نامه مصوب دوره دکتری تخصصی زراعت با کد ۱۰۲۵۰۲۰۷۹۷۲۰۰۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز استخراج شده است نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر خود را از ریاست و کارکنان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل برای پشتیبانی علمی و فنی و همچنین از هیئت داوران پایان نامه که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند اعلام کنند.

منابع مورد استفاده

1. Abu-Zinada, I. A. and W. A. Mousa. 2015. Growth and productivity of different potato varieties under Gaza Strip conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 8: 433.
2. Adesemoye, A. O. and J. W. Kloepper . 2009. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85: 1-12.
3. Ali, B., A. N. Sabri and S. Hasnain. 2010. Rhizobacterial potential to alter Auxin content and growth of (*Vigna radiata* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 26: 1379-1384.
4. Bakker, P., J. Lamers, A. Bakker, J. Marugg, P. Weisbeek and B. Schippers. 1986. The role of Siderophores in potato tuber yield increase by *Pseudomonas putida* in a short rotation of potato. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 92: 249-256.
5. Borzenkova, R. and M. Borovkova . 2003. Developmental patterns of Phytohormone content in the cortex and pith of potato tubers as related to their growth and starch content. *Russian journal of plant physiology* 50: 119-124.
6. Chang, D. C., C. S. Park, S. Y. Kim and Y. B. Lee. 2012. Growth and tuberization of hydroponically grown potatoes. *American Journal of Potato Research* 55: 69-81.
7. Cohen, A. C., C. N. Travaglia, R. Bottini and P. N. Piccoli. 2009. Participation of Abscisic acid and Gibberellins produced by endophytic *Azospirillum* in the alleviation of drought effects in maize. *Canadian Journal of Botany* 87: 455-462.
8. Dash, S. and R. Jena. 2015. Biofertilizer options in nutrient management of potato. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)* 4: 1.
9. Etemad, B. and M. Sarajuoghi. 2012. Study of the effect of different levels and application timing of nitrogen fertilizer on yield and number of potato tuber of Agria in Ghorveh, Iran. *Annals of Biological Research* 3: 1385-1387.
10. Farran, I. and A. M. Mingo-Castel. 2006. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research* 83: 47-53.
11. FAO, I. 2014. WFP. Strengthening the enabling environment for food security and nutrition. Rome: FAO, 2014.
12. Gao, Y., L. Jia, B. Hu, A. Alva and M. Fan. 2014. Potato stolon and tuber growth influenced by nitrogen form. *Plant Production Science* 17: 138-143.
13. Hopkins, B. G., D. A. Horneck and A. E. MacGuidwin. 2014. Improving Phosphorus use efficiency through potato rhizosphere modification and extension. *American Journal of Potato Research* 91: 161-174.
14. Hung, L. -L. L. and D. M. Sylvania. 1988. Production of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal fungus inoculum in Aeroponic culture. *Applied and Environmental Microbiology* 54: 353-357.
15. Jhala, Y., H. Shelat and D. Panpatte. 2014. Endophytic bacteria as biofertilizers for maize (*Zea mays* L.). *The Bioscan* 9: 1191-1196.
16. Kang, J., S. Yang and S. Kim. 1996. Effects of nitrogen levels on the plant growth, tuberization and quality of potatoes grown in aeroponics. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science* 37: 24-27.
17. Karam, F., R. Massaad, S. Skaf, J. Breidy and Y. Roupael. 2011. Potato response to potassium application rates and timing under semi-arid conditions. *Advances in Horticultural Science*: 265-268.
18. Knowles, N. R. and L. O. Knowles. 2006. Manipulating stem number, tuber set, and yield relationships for northern- and southern-grown potato seed lots. *Crop Science Society of America* 46: 284-296.

19. Krauss, A. and H. Marschner. 1976. Influence of Nitrogen nutrition and application of growth regulators on tuber initiation in potato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 139: 143-155.
20. Kutz, A., A. Müller, P. Hennig, W. M. Kaiser, M. Piotrowski and E. W. Weiler. 2002. A role for nitrilase 3 in the regulation of root morphology in sulphur-starving (*Arabidopsis thaliana* L.). *Plant Journal for Cell and Molecular Biology* 30: 95-106.
21. Lommen, W. and P. Struik. 1992. Production of potato minitubers by repeated harvesting: Effects of crop husbandry on yield parameters. *American Journal of Potato Research* 35: 419-432.
22. Marschner, H. 2011. Marschner's Mineral nutrition of higher plants, Academic Press, America.
23. Mateus-Rodríguez, J., S. De Haan, I. Barker, C. Chuquillanqui and A. Rodríguez-Delfin. 2011. Response of three potato cultivars grown in a novel aeroponics system for mini-tuber seed production. *International Society for Horticultural Science* 947: 361-367.
24. Mbiyu, M. W., C. Lung'aho, S. A. Otieno, M. W. Nyongesa, M. N. Muchui and J. N. Ogemma. 2018. Performance of five potato varieties with regards to growth and production of mini-tubers under an aeroponic system in central highlands of Kenya. *African Journal of Agricultural Research* 13: 366-378.
25. Mohammadi, K. and Y. Sohrabi. 2012. Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: a review. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 7: 307-316.
26. Moinuddin, K. Singh and S. Bansal. 2005. Growth, yield, and economics of potato in relation to progressive application of potassium fertilizer. *Journal of Plant Nutrition* 28: 183-200.
27. Movahedi, Z., A. Moieni and A. Soroushzhadeh. 2012. Comparison of aeroponics and conventional soil systems for potato minitubers production and evaluation of their quality characters. *Journal of Plant Physiology & Breeding* 2: 13-21.
28. Muhibuddin, A., Z. Razak, S. Salam and J. Boling. 2018. Nutrients formulation for improving production and quality of potato minitubers using aeroponic system in Indonesia. *Advances in Environmental Biology* 12: 38-43.
29. Naqqash, T., S. Hameed, A. Imran, M. K. Hanif, A. Majeed and J. D. van Elsas. 2016. Differential response of potato toward inoculation with taxonomically diverse plant growth promoting Rhizobacteria. *Frontiers in Plant Science* 7: 144.
30. Navarre, R. and M. J. Pavek. 2014. The Potato: Botany, Production and Uses. CABI, United Kingdom.
31. Nichols, M. 2005. Aeroponics and Potatoes. International Society for Horticultural Science, Belgium.
32. Otazu, V. 2010. Manual on Quality Seed Potato Production using Aeroponics. International Potato Center, Peru.
33. Parker, C., and P. Scutt. 1960. The effect of oxygen on nitrogen fixation by *Azotobacter*. *Biochimica et Biophysica Acta* 38: 230-238.
34. Pereyra, C. M., N. A. Ramella, M. A. Pereyra, C. A. Barassi and C. M. Creus. 2010. Changes in cucumber hypocotyl cell wall dynamics caused by *Azospirillum brasilense* inoculation. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 62-69.
35. Rezaei, M., A. Moieni, H. Dehghani and Z. Movahedi. 2017. Effects of paclobutrazol and jasmonic acid on potato minituber production and some plant characteristics in aeroponics cultivation system. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding* 6: 9-19.
36. Rubio, G., J. Zhu and J. P. Lynch. 2003. A critical test of the two prevailing theories of plant response to nutrient availability. *American Journal of Botany* 90: 143-152.
37. Roumeliotis, E., B. Kloosterman, M. Oortwijn, W. Kohlen, H. J. Bouwmeester, R. G. Visser and C. W. Bachem. 2012. The effects of auxin and strigolactones on tuber initiation and stolon architecture in potato. *Journal of Experimental Botany* 63: 4539-4547.
38. Rolot, J. -L., H. Seutin and D. Michelante. 2002. Potato minituber production through Hydropony: assessment of a system combining the NFT and gravel culture techniques for two types of nutrient solutions. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 6: 155-161.
39. Schachtman, D. P. and R. Shin. 2007. Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 58: 47-69.
40. Shahgholi, G., M. Latifi, B. Imani and N. Farrokhi. 2020. Determination of the creep behavior of potato tubers during storage period by means of uniaxial and triaxial creep tests. *Food Science & Nutrition* 8: 1857-1863.
41. Tagore, G., S. Namdeo, S. Sharma and N. Kumar. 2013. Effect of rhizobium and phosphate solubilizing bacterial inoculants on symbiotic traits, nodule leghemoglobin, and yield of chickpea genotypes. *International Journal of Agronomy* 581627: 1-8.
42. Tao, G. -Q., D. S. Letham, J. W. Yong, K. Zhang, P. C. John, O. Schwartz and G. D. Farquhar. 2010. Promotion of shoot development and tuberisation in potato by expression of a chimaeric cytokinin synthesis gene at normal and elevated CO₂ levels. *Functional Plant Biology* 37: 43-54.
43. Tessema, L., A. Chindi, W. G. Gebremedhin, A. Solomon, E. Shunka and E. Seid. 2017. Determination of nutrient solutions for potato (*Solanum tuberosum* L.). Seed production under aeroponics production system. *Open*

Agriculture Journal 2: 155-159.

44. Tien, T., M. Gaskins and D. Hubbell. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Applied and Environmental Microbiology* 37: 1016-1024.
45. Tkachenko, O. V., N. V. Evseeva, N. V. Boikova, L. Y. Matora, G. L. Burygin, Y. V. Lobachev and S. Y. Shchyogolev. 2015. Improved potato microclonal reproduction with the plant growth-promoting rhizobacteria *Azospirillum*. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 1167-1174.
46. Walworth, J. L. and J. Muniz. 1993. A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes. *American Journal of Potato Research* 70: 579-597.
47. Wang, Z. H., S. X. Li and S. Malhi. 2008. Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 7-23.
48. Wróbel, S. 2014. Assessment of possibilities of microtuber and in vitro plantlet seed multiplication in field conditions. Part 1: PVY, PVM and PLRV spreading. *American Journal of Potato Research* 91: 554-565.
49. Wyse, R., J. Daie and R. Saftner. 1980. Hormonal control of sink activity in sugar beet. *Journal of Plant Physiology* 65: 120.

Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPRs) and Chemical Fertilizer Application on *Solanum tuberosum* L. Cultivars in Aeroponic Culture System and Field Conditions

A. Nasiri¹, M. Yarnia^{2*}, D. Hassanpanah³, F. Farahvash⁴ and E. Khalilvand Behrozyar⁵

(Received: September 5-2020; Accepted: January 31-2021)

Abstract

Optimization of mineral nutrition in aeroponic systems is one of the most significant factors in producing high-quality and high yields of healthy seed tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). The present study was conducted at the Research Farm and Greenhouse of Agricultural and Natural Resources Center of Ardabil during two successive years (2018-2019). For the aeroponic system an experiment was set up as factorial based on completely randomized design with three replicates. There were three experimental treatments viz: seedlings of three potato cultivars (Agria, Caesar, and Banba), chemical fertilizer (fertilizer application and no fertilizer application), and three bacterial combined inoculants (without inoculation as control, *Pseudomonas putida* 169, *Azospirillum lipoferum* OF, and *Azetobacter chroococcum* 5). In the second year, a trial was set up under field conditions as factorial based on RCBD (completely randomized block design) using two factors in three replications. These factors included mini-tubers of potato cultivars (Agria, Caesar and Banba) produced in aeroponic culture and PGPRs (without PGPRs and PGPRs inoculation including *Pseudomonas putida*, *Azospirillum lipoferum*, and *Azetobacter chroococcum*). Results of the aeroponic culture revealed that the largest and highest mini-tuber numbers was produced by cv. Banba and the greatest number of stolons and number of days to tuber set belonged to cv. Caesar due to nutrition by chemical fertilizer. Compared with fertilization treatment, combined bacterial inoculation increased the plant height. Among the cultivars tested, plants of Caesar was significantly taller. The highest number of stolon was produced in cv. Banba. Regarding the field experiment results, inoculation of cv. Agria and Banba with *A. lipoferum* caused a drastic increase in tuber numbers, and inoculation with *P. putida* resulted in significant increases in tuber numbers in cv. Banba. Agria and Caesar produced the largest tubers when were inoculated with *A. lipoferum* and the greatest tuber dry weight for Agria was obtained when was inoculated with *A. lipoferum*. Caesar had the highest mean number of branches among cultivars. Based on these findings, chemical fertilizers application in aeroponic cultivation and treating with *A. lipoferum* in the field-grown plants may improve potato yield.

Keywords: Aeroponic, Azospirillum, Pseudomonas, Azetobacter, Optimization of mineral nutrition, Minituber

1. 2, 4, 5. Ph.D. Student, Professor, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding Faculty of Agriculture, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
3. Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran.

*: Corresponding Author, Email: yarnia@iaut.ac.ir