تغییرات بیولوژیکی بستر و نسبت فسفر ریشه به ساقه تحت غلظت‌های مختلف فسفر و باکتری *Bacillus subtilis* در کشت هیدروپونیک کاهو لولوروسا

ادریس شعبانی*[۱]

[۱] استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: edris.shabani@scu.ac.ir

چکیده

میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات مانند باکتری‌ها یکی از مهم‌ترین ابزارهای پژوهشگران در کاهش مصرف کودهای شیمیایی در کشاورزی می‌باشد. با توجه به اهمیت مصرف کودهای فسفره، یافته‌های کمی در زمینه نقش کودهای زیستی باکتریایی بر کاهش مصرف این کودها در کشت هیدروپونیک وجود دارد. در این راستا آزمایشی به منظور ارزیابی اثر باکتری *Bacillus subtilis* UTB96 و غلظت‌های مختلف فسفر محلول غذایی (۱۲،۵، ۲۵، ۳۷،۵، ۵۰ و ۶۲،۵ میلی گرم بر لیتر) بر جمعیت باکتری بستر و نسبت غلظت فسفر ریشه به ساقه کاهو لولوروسا در ۳ تکرار انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از باکتری در بسترهای کشت به تنهایی سبب افزایش ۲۵،۵٪ نسبت فسفر ریشه به ساقه کاهو لولوروسا گردید. همچنین استفاده مجزای تیمارهای فسفره نشان داد که تیمار استاندارد فسفر (۵۰ میلی گرم بر لیتر) در مقایسه با پایین ترین سطح فسفر (۱۲،۵ میلی گرم بر لیتر) سبب افزایش ۵۷،۶۴٪ نسبت فسفر ریشه به ساقه و ۹۷،۲٪ جمعیت باکتری بستر گردید. یافته‌های این پژوهش به‌وضوح نشان داد که همانند تیمار ۵۰ میلی گرم بر لیتر، کاهش ۵۰ (۲۵ میلی گرم بر لیتر) و ۲۵ درصدی مصرف فسفر (غلظت ۳۷،۵ میلی گرم بر لیتر) نیز در تیمارهای با تلقیح باکتریایی به ترتیب سبب بروز بالاترین مقادیر غلظت فسفر بافت‌های گیاهی و جمعیت باکتری بستر گردید. بنابراین استفاده از کود زیستی *Bacillus subtilis* UTB96جهت بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش رشد گیاهان گلخانه ای و کاهش مصرف کودهای فسفری توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی : جمعیت باکتری، کاهو لولوروسا، کشت هیدروپونیک، کود زیستی، نسبت فسفر ریشه به ساقه.

مقدمه

فسفر بعد از نیتروژن دومین عنصر محدودکننده عملکرد گیاهان می باشد. این عنصر بین ۰،۸-۰،۲ درصد وزن خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد. فسفر در ساخت نشاسته و انتقال کربوهیدرات‌ها نقش دارد. خروج مواد تولید شده از کلروپلاست توسط ناقلین فسفات صورت گرفته و با فسفات معدنی تحریک می‌شود (ملائی و همکاران، ۱۳۹۹). فسفر در هر جنبه ای از رشد و نمو گیاهان از سطح ملکولی تا فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند کیفیت محصول، فتوسنتز، تشکیل گل و بذر، بلوغ محصول، رشد و توسعه ریشه، واکنش‌های تولید، ذخیره و انتقال انرژی، مقاومت به بیمارهای گیاهی و انتقال صفات ژنتیکی نقش بسزایی را ایفا می‌کند (Kalayu, 2019). سنگ فسفات یک منبع تجدیدناپذیر است، یافته‌های قبلی نشان داد که نیازهای برای کودهای فسفری تا سال ۲۰۵۰ به مقدار ۱۰۰-۵۰ درصد افزایش می‌یابد. منابع فسفری بسیار کم و عموماً در کشورهایی مانند چین، مراکش و آمریکا متمرکز شده است (Cordell *et al.*, 2009). بنابراین به نظر می رسد که انجام پژوهش‌های علمی به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی به ویژه فسفری امری ضروری است.

میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، گروهی از میکروارگانیسم‌های مفید هستند که می‌توانند ترکیبات فسفر آلی و معدنی را از ترکیبات نامحلول هیدرولیز کنند. در میان میکرواگانیسم‌های حل کننده فسفات، سویه‌های جنس باکتریایی (باسیلوس، سودوموناس و ریزوبیوم) ، جنس‌های قارچ (پنیسیلیوم و آسپرژیلوس) ، اکتینومایست ها و میکوریز آربوسکولار (AM) قابل‌توجه هستند (Kalayu, 2019). باکتری ها سبب افزایش ظهور ریشه چه، کلونیزه شدن ریشه و تحریک رشد گیاهان می‌شوند. در دهه اخیر تاثیر ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (PGPR) بر بهبود رشد گیاه مورد پذیرش پژوهشگران قرار گرفته است (Idriss *et al.*, 2002).

نحوه عملکرد PGPR به وضوح متنوع است و همه باکتری‌ها دارای مکانیسم‌های یکسانی نیستند. این مکانیسم‌ها از تغییر در محتوای هورمونی تا تولید ترکیبات فرار، افزایش دسترسی مواد غذایی یا افزایش تحمل تنش غیرزیستی متنوع می باشد. سایر

مکانیسم های پیشنهادی شامل سرکوب بیماری های ناشی از عوامل بیماری زای گیاهی، رقابت با میکروارگانیسم‌های بیماری زا از طریق کلونیزه کردن ریشه، تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاه مانند ایندول۳-استیک اسید، کاهش سطح اتیلن در سلوهای ریشه، افزایش دسترسی به عناصر مغذی محدود گیاه مانند نیتروژن، فسفر، ویتامین های B و اسیدهای آمینه در ریزوسفر ناشی از باکتری‌های حل کننده فسفات و دیازوتروفیک (باکتری های تثبیت کننده نیتروژن هوا) می باشد (Idriss *et al*., 2002). بهبود رشد گیاه با استفاده از کلونیزه کردن ریشه گیاهان توسط *Bacillus subtilis* کاملاً شناخته شده است. این باکتری با تاثیر بر تولید و ترشح اسیدهای آلی از ریشه گیاهان کلونیزه شده سبب حلالیت بیشتر فسفات‌های معدنی می‌گردند. برخی از این اسیدها شامل مالیک اسید، ستریک اسید، آلزالیک اسید، سوکسنیک اسید و ۲-کتوگلوکونیک اسید می‌باشد. این اسیدها با آزادسازی H^+ سبب کاهش اسیدیته محلول و افزایش انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول می شود. همچنین این باکتری با تولید آنزیم فسفاتاز بستر مناسبی را برای رهاسازی فسفر از ترکیب‌های فسفر دار آلی فراهم می‌کند (خاصه سیرجانی، ۱۳۹۰).

امروزه استفاده از کاهوی رنگی قرمز مانند 'Lollo Rosso'، نه تنها به دلیل شکل ویژه آن‌ها جهت بهبود ظاهر سالادها، بلکه از نظر تغذیه ای به دلیل دارا بودن غلظت بالایی از آنتوسیانین و سایر ترکیبات فنلی با خواص آنتی اکسیدانی و مهار رادیکال‌های آزاد، مورد توجه قرار گرفته است (Allende *et al*., 2004). مطابق آمارهای فائو، تولید انواع مختلف کاهو طی دو دهه اخیر در دنیا از رشد ۱۱۸ درصدی برخوردار بوده است. در سال‌های گذشته، کشت ارقام مختلف کاهو لولوروسا در ایران به دلیل ظاهر زیبا و متفاوت آن و همچنین ارزش تغذیه ای بالا مورد توجه تولیدکنندگان قرار گرفته است. پرورش آسان، مدت زمان کوتاه کاشت تا برداشت و قیمت بالای این ارقام سبب شده تا گلخانه‌های با کشت بدون خاک، کشت شناور و کشت خاکی در فواصل بین کشت‌های گوجه‌فرنگی و خیار و یا به عنوان کشت مستقل اقدام به تولید این محصول در سراسر کشور نمایند. تولید این محصول در استان های جنوبی ایران به ویژه در فصول پاییز و زمستان به دلیل تامین شدت نور کافی و برخورداری از دمای مناسب با اقبال ویژه‌ای روبرو بوده است، اما متاسفانه روند افزایشی و غیرقابل انتظار قیمت کودهای فسفره سبب بروز مشکلات مختلف در تولید این محصول خاص گردیده است. بنابراین به نظر می رسد انجام پژوهش های متکی بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای فسفره امری اجتناب ناپذیر است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی در زمستان ۱۳۹۹ در گلخانه آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد. گیاهان در طول این آزمایش تحت دمای ^{o}C ۱۸-۲۲ روز و ^{o}C ۹-۱۳ شب، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰٪ و نور طبیعی خورشید رشد یافتند. نشاهای کاهو لولوروسا در شرایط گلخانه تولید و در مرحله ۳ برگ حقیقی به گلدان های پلاستیکی با نسبت ۷۵:۲۵ کوکوپیت به پرلیت منتقل گردید. به منظور ارزیابی دقیق اثر باکتری مورد نظر، تمام بسترهای مورد استفاده در این آزمایش جهت حذف تمام میکروارگانیسم ها در دمای ^{o}C ۱۲۱ و فشار یک اتمسفر استریل گردیدند. تیمارهای آزمایشی شامل غلظت های مختلف فسفر (۱۲/۵، ۲۵، ۳۷/۵، ۵۰ و ۶۲/۵ میلی گرم بر لیتر) و وجود و عدم وجود کود زیستی باکتریایی (فاقد باکتری (B_0) و دارای باکتری (B_1)) بود. کود زیستی باکتری باسیلوس سوبتیلیس (*Bacillus subtilis*) از فرمولاسیون پروبیو ۹۶® شرکت بایوران© تامین گردید. مطابق پیشنهاد شرکت ۳۰ میلی لیتر از محلول باکتریایی پروبیو ۹۶ در یک لیتر آب مقطر حل گردید. قبل از انتقال نشا، گیاهان مرتبط با تیمار کودهای زیستی در محلول حاوی باکتری *Bacillus subtilis* سویه UTB96 به مدت ۵ دقیقه غوطه ور شدند ($CFU=5\times10^8$ mL^{-1}, EC (1:10) = 4.4 dS m^{-1} and pH (1:10) = 6.2). در ۲۰ روز پس از انتقال نشا نیز هر یک از گیاهان مجدداً ۲۵ میلی لیتر از محلول فوق را دریافت نمودند. تمام گلدان‌ها در طول فصل رشد با محلول غذایی هاوارد رش (N=180، K=210، Ca=180، Mg=40، Fe=3، B=0.5، Mn=0.5، Zn=0.1، Cu=0.1 و Mo=0.05 میلی‌گرم بر لیتر) (Resh, 2012) و بر اساس غلظت فسفر مختص هر تیمار تغذیه گردیدند و اثر ۵ غلظت فسفر از کود منوپتاسیم فسفات (KH_2PO_4) (۱۲/۵، ۲۵، ۳۷/۵، ۵۰ و ۶۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) در شرایط وجود و عدم وجود کود زیستی باکتریایی

مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور اعمال تیمارهای حاوی فسفر هر گلدان در دو هفته اول ۲۰۰ میلی لیتر، در دو هفته میانی ۳۰۰ میلی لیتر و در دو هفته پایانی ۴۰۰ میلی لیتر از محلول غذایی خاص خود دریافت نمود.

فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی و در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-1201, Shimadzu, Japan) اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از محلول‌های استاندارد، منحنی کالیبراسیون استاندارد رسم گردید و غلظت فسفر در بافت گیاهی برحسب میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاهی گزارش گردید. برای اندازه‌گیری واحد تشکیل کلونی (Colony-forming unit=CFU) ابتدا از هر گلدان ۳-۲ عدد ریشه یک سانتی متری همراه با بسترهایی که اطراف تارهای کشنده بود جدا و در داخل ۲ میلی لیتر آب مقطر قرار گرفت (آب مقطر و لوله فالکون از قبل اتوکلاو گردید). سپس نمونه ها به مدت ۵ دقیقه روی شیکر قرار گرفت. در مرحله بعد نمونه ها روی محیط کشت نوترینت آگار کشت شدند. محاسبه تعداد کلونی هر تیمار مطابق روش Osdaghi *et al.* (2017) با کمی تغییر محاسبه گردید. در پایان آزمایش داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون چند دامنه ی دانکن انجام گردید. نمودار نیز به کمک نرم افزار Excell رسم گردید.

نتایج و بحث

نتایج مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که استفاده از باکتری *B. subtilis* سبب افزایش معنی‌دار CFU و نسبت فسفر ریشه به ساقه به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد گردید (جدول ۱).

نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش غلظت فسفر محلول غذایی سبب افزایش CFU و نسبت فسفر ریشه به ساقه کاهو لولوروسا رقم کنکورد گردید (جدول ۱). بر اساس داده‌های جدول مقایسات میانگین، بیشترین مقادیر CFU و نسبت فسفر ریشه به ساقه در تیمار استاندارد رش (۵۰ میلی گرم بر لیتر) مشاهده گردید (جدول ۱). مطابق انتظار با افزایش غلظت فسفر در محلول غذایی نسبت فسفر ریشه به ساقه افزایش یافت و در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار گردید (جدول ۱).

داده‌های اثر متقابل *B. subtilis* UTB96 و غلظت‌های مختلف فسفر محلول غذایی در بسترهای کشت کاهو لولوروسا نشان داد که CFU و نسبت فسفر ریشه به ساقه به طرز چشمگیری تحت تاثیر تلقیح باکتری و استفاده فسفر قرار گرفت (جدول ۲). در تمام سطوح فسفر، تلقیح گیاهان با باکتری *B. subtilis* در قیاس با تیمارهای بدون باکتری سبب افزایش معنی‌دار این صفات گردید (جدول ۲). یافته‌های این پژوهش به‌وضوح نشان داد که همانند تیمار ۵۰ میلی گرم بر لیتر، کاهش ۵۰ (۲۵ میلی گرم بر لیتر) و ۲۵ درصدی مصرف فسفر (غلظت ۳۷,۵ میلی گرم بر لیتر) نیز در تیمارهای با تلقیح باکتریایی به ترتیب سبب بروز بالاترین مقادیر غلظت فسفر بافت‌های گیاهی و جمعیت باکتری بستر در ترکیب‌های تیماری BS_1P_3 و BS_1P_4 گردید (جدول ۲). بالاترین جمعیت باکتری در تیمارهای با غلظت بالای فسفر مشاهده گردید و اختلاف معنی‌داری را با سطوح پایین فسفر نشان داد (جدول ۲).

جدول ۱- اثرات اصلی باکتری *Bacillus subtilis* (B) **و فسفر** (P) **بر جمعیت باکتری (CFU) و نسبت فسفر ریشه به ساقه کاهو لولوروسا.**

تیمارها	CFU	نسبت فسفر ریشه به ساقه ($mg\ g^{-1}$)
B		
B_0	۰,۰۰ ^{b}	۱,۰۲ ^{b}
B_1	۴,۶۴×۱۰^{۴} ^{a}	۱,۲۸ ^{a}
معنی داری	**	**
P		
P_1	۱,۴۳×۱۰^{۴} ^{b}	۰,۸۵ ^{c}
P_2	۱,۷۵×۱۰^{۴} ^{ab}	۱,۱۸ ^{b}
P_3	۲,۸۱×۱۰^{۴} ^{a}	۱,۲۱ ^{b}
P_4	۲,۸۲×۱۰^{۴} ^{a}	۱,۳۴ ^{a}
P_5	۲,۸۰×۱۰^{۴} ^{a}	۱,۱۶ ^{b}
معنی داری	*	**

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

امروزه *B. subtilis* به عنوان یکی از مهم‌ترین باکتری‌های حل‌کننده فسفات شناخته شده است که می‌تواند سبب افزایش جذب فسفر در گیاهان گردد (Garcia-Lopez *et al*., 2016). نتایج Sharma (2002) نشان داد که مصرف کودهای زیستی سبب افزایش ماده خشک و زیست توده گیاهان می شود که می تواند متاثر از تثبیت بیولوژیک عناصر مورد نیاز گیاه از جمله فسفر و نیتروژن باشد. یافته‌های پژوهشگران مختلف نشان می‌دهد که تامین مقادیر کافی فسفر سبب بهبود گسترش ریشه و رشد گیاهان می‌شود، با افزایش رشد ریشه گیاهان قادر هستند تا حجم بیشتری از بسترهای کشت (مانند کوکوپیت، پرلیت، پومیس و غیره) را به منظور جذب رطوبت و عناصر غذایی استفاده کنند که نهایتاً منجر به افزایش کارایی جذب و استفاده عناصر غذایی می‌گردد (ملائی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین یافته‌های Shabani *et al*. (2018) در گیاه ریحان نشان داد که دسترسی ارتوفسفات می‌تواند در تیمارهای فسفری از طریق اسیدی کردن ریزوسفر توسط جریان H^{+} و ترشح اسیدهای آلی افزایش یابد. بنابراین به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر افزایش جذب فسفر تاثیر بسزایی را در افزایش کارایی فتوسنتزی و عملکرد کاهو لولوروسا داشته است. اثر متقابل تلقیح باکتریایی و غلظت‌های مختلف فسفر محلول غذایی نشان داد که اگرچه افزایش غلظت فسفر سبب افزایش خطی فسفر جذب شده توسط ریشه و ساقه و جمعیت باکتری می‌گردد ولی تلقیح باکتری *B. subtilis* UTB96 مقادیر بالاتری از جذب فسفر و جمعیت باکتری را به نمایش گذاشت. جمعیت باکتری مطابق انتظار در تیمارهای باکتریایی با افزایش غلظت فسفر افزایش یافت که می‌تواند یکی از دلایل افزایش جذب فسفر و نسبت فسفر ریشه به ساقه در گیاه کاهو لولوروسا باشد.

جدول ۱- اثرات متقابل باکتری *Bacillus subtilis* (B) و فسفر (P) بر جمعیت باکتری (CFU) و نسبت فسفر ریشه به ساقه کاهو لولوروسا.

تیمارها	CFU	نسبت فسفر ریشه به ساقه ($mg\ g^{-1}$)
BP		
B_0P_1	۰,۰۰ c	۰,۹۴ d
B_0P_2	۰,۰۰ c	۰,۸۹ d
B_0P_3	۰,۰۰ c	۰,۹۵ d
B_0P_4	۰,۰۰ c	۱,۲۷ b
B_0P_5	۰,۰۰ c	۱,۰۵ c
B_1P_1	۵,۷۹×۱۰^{۴} b	۰,۷۶ e
B_1P_2	۶,۹۵×۱۰^{۴} b	۱,۴۷ a
B_1P_3	۸,۳۰×۱۰^{۴} a	۱,۴۷ a
B_1P_4	۱۰,۰۸×۱۰^{۴} a	۱,۴۱ a
B_1P_5	۸,۳۰×۱۰^{۴} a	۱,۲۷ b
معنی داری	*	**

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

منابع

خاصه سیرجانی، ع. ۱۳۹۰. ارزیابی کود بیولوژیک حاوی باکتری‌های حل کننده فسفر و کودهای آلی غنی شده در زراعت گندم. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۵ (۳): ۲۲۴-۲۱۷.

ملائی، ن.، طباطبایی، س.ج. و شرفی، ی. ۱۳۹۹. تاثیر محلول‌پاشی و محلول‌دهی فسفر بر رشد، عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی در کشت هیدروپونیک. ۳ (۲): ۱۱۶-۱۰۷.

Allende, A., Aguayo, E., Artés, F. 2004. Microbial and sensory quality of commercial fresh processed red lettuce throughout the production chain and shelf life. International Journal of Food Microbiology, 91(2): 109-117.

Cordell, D., Drangert, J.O., White, S. 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. Global environmental change, 19(2): 292-305.

Garcia-Lopez, A.M., Delgado, A. 2016. Effect of Bacillus subtilis on phosphorus uptake by cucumber as affected by iron oxide and the solubility of the phosphorus source. Agricultural and food science, 25: 216-224.

Idriss, E.E., Makarewicz, O., Farouk, A., Rosner, K., Greiner, R., Bochow, H., Richter, T., Borriss, R. 2002. Extracellular phytase activity of Bacillus amyloliquefaciens FZB45 contributes to its plant-growth-promoting effectaaThe GenBank accession numbers for the sequences determined in this work are AY055219 to AY055226. Microbiology, 148 (7): 2097-2109.

Kalayu, G. 2019. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. International Journal of Agronomy, 1-7.

Osdaghi, E., Taghavi, S.M., Hamzehzarghani, H., Fazliarab, A., Harveson, R.M., Tegli, S., Lamichhane, J.R. 2018. Epiphytic Curtobacterium flaccumfaciens strains isolated from symptomless solanaceous vegetables are pathogenic on leguminous but not on solanaceous plants. Plant Pathology, 67(2): 388-398.

Resh, H.A. 2012. Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. CRC Press.

Shabani. E., Bolandnazar, S., Tabatabaei, S.J., Najafi, N., Alizadeh-Salteh, S., Rouphael, Y. 2018. Stimulation in the movement and uptake of phosphorus in response to magnetic P solution and arbuscular mycorrhizal fungi in Ocimum basilicum. Journal of plant nutrition, 41 (13): 1662-1673.

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios. India. 407 p.

Substrate Biological Changes and Root to Shoot Phosphorus Ratio Under Different Concentrations of Phosphorus and *Bacillus subtilis* in Hydroponic Cultivation of 'Lollo Rosso' Lettuce

Edris Shabani[1*]

[1] Assistant Professor of Horticulture science, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

[*]*Corresponding Author: edris.shabani@scu.ac.ir*

Abstract

Phosphate-solubilizing microorganisms such as bacteria are one of the most important tools of researchers in reducing of chemical fertilizers consumption in agriculture. Due to the importance of phosphorus fertilizers, there are few findings on the role of bacterial biofertilizers in reducing consumption of these fertilizers in hydroponic cultivation. In this regard, an experiment was performed to evaluate the effect of *Bacillus subtilis* UTB96 and different concentrations of nutrient phosphorus (12.5, 25, 37.5, 50 and 62.5 mg L^{-1}) on the bacterial population and root-to-shoot phosphorus ratio of 'Lollo Rosso' lettuce in 3 replications. The results of this study showed that the use of bacteria in culture media alone increased root-to-shoot phosphorus ratio by 25.5%. Also, separate use of phosphorus treatments showed that the standard treatment of phosphorus (50 mg L^{-1}) compared to the lowest level of phosphorus (12.5 mg L^{-1}) increased 57.64% of root-to-shoot phosphorus ratio and 97.2% of the bacterial population. The findings of this study clearly showed that as in the treatment of 50 mg L^{-1}, a reduction of 50% (25 mg L^{-1}) and 25% of phosphorus consumption (concentration of 37.5 mg L^{-1}) in treatments with bacterial inoculation caused the highest values of phosphorus concentration in plant tissues and bacterial accumulation in the substrate, respectively. Therefore, the use of *Bacillus subtilis* UTB96 biofertilizer is recommended to improve nutrient uptake, increase the growth of greenhouse plants and reduce the consumption of phosphorus fertilizers.

***Keywords*:** Bacterial accumulation, Biological fertilizer, Hydroponic cultivation, 'Lollo Rosso' lettuce, Root-to-shoot phosphorus ratio.