Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 53, No 4, Winter 2023 (219-228)
DOI: 10.22059/ijfcs.2022.336292.654886

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱ (ص ۲۱۹-۲۲۸)

The effect of nitrogen-fixing bacteria, humic acid and foliar application of micronutrients on yield and morpho-phenological traits of soybean

Mohammad Mirazami[1], Hosein Ajamnorouzi [2*], Abolfazl Faraji[3,4], Mohammadreza Dadashi[5]
1,2,3,5. Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran, 4. Horticulture and Agronomy Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Gorgan, Iran.
(Received: January 10, 2022- Accepted: April 5, 2022)

ABSTRACT

Plant nutrition is one of the most important environmental factors affecting the yield and yield components of crops such as soybean. This study was conducted to investigate the effect of nitrogen-fixing bacteria, humic acid and foliar application of micronutrients on yield and morpho-phenological traits of soybean (cv. Saman) in a factorial randomized complete block design with three replications at Gorgan agricultural research station in two cropping seasons (2019-2020). Experimental factors include foliar application of humic acid at two levels including fulvic and humic acid; Bacterial seed at three levels including bacterial seed, bacterial seed+Azospirillium, and control; and nutrient spraying was applied at four levels including cobalt, cobalt+molybdenum, cobalt+molybdenum+boron, and control. Based on the results, the simple effects was significant on the studied traits. The bacterial Rhizobium+Azospirillum and cobalt+molybdenum+boron treatments significantly increased the traits than control. The highest grain yield was observed under the humic acid (2750 kg/ha), bacterial seed+Azospirillum (2238 kg/ha) and cobalt+molybdenum+boron (2388 kg/ha). In general, the results of this study indicate the efficiency of nitrogen-fixing bacteria as well as foliar application of micronutrients in increasing soybean yield.
Keywords: Azospirillum, boron, cobalt, molybdenum, soybean.

بررسی تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و محلول‌پاشی هیومیک‌اسید و عناصر ریزمغذی بر عملکرد و صفات مورفو-فنولوژیک سویا

محمد میراعظمی[۱]، حسین عجم نوروزی[۲*]، ابوالفضل فرجی[۳و۴]، محمدرضا داداشی[۵]
۱و۲و۳و۵- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استاد و استادیار گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، ٤- استاد بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، گرگان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۰/۲۰- تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۱/۱٦)

چکیده

تغذیه گیاهی از عوامل محیطی موثر بر عملکرد محصولات زراعی است. این پژوهش به بررسی تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و محلول‌پاشی هیومیک‌اسید و عناصر ریزمغذی بر عملکرد و صفات مورفو-فنولوژیک سویا (رقم سامان) پرداخته‌است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل محلول‌پاشی اسیدهیومیک در دو سطح شامل اسید هیومیک فولویک‌دار و شاهد؛ بذر مال باکتری در سه سطح شامل بذرمال باکتری، بذرمال باکتری+ازوسپریلیوم و شاهد؛ و محلول‌پاشی عناصر غذایی در چهار سطح شامل کبالت، کبالت+مولیبدن، کبالت+مولیبدن+بور و شاهد اعمال شدند. براساس نتایج، تاثیر اثرات ساده بر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود، تیمارهای بذرمال باکتری رایزوبیوم+ازوسپریلیوم و کبالت+مولیبدن+بور افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد در اکثر صفات اندازه‌گیری‌شده نشان دادند. بالاترین عملکرد دانه در تیمارهای اسیدهیومیک به میزان ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار، بذرمال باکتری+ازوسپریلیوم به میزان ۲۲۳۸ کیلوگرم در هکتار و کبالت+مولیبدن+بور به میزان ۲۳۸۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان‌دهنده کارایی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و نیز محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در افزایش عملکرد دانه سویا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ازوسپریلیوم، بور، سویا، کبالت، مولیبدن.

*Corresponding author E-mail: hossein.ajamnorouzi@iau.ac.ir

مقدمه

حبوبات پس از غلات، مهمترین منبع غذایی بوده که در این میان سویا (*Glycine max*) از اهمیت خاصی برخوردار است (Thudi *et al.*, 2020). دانه سویا با داشتن تقریبا ۲۰ درصد روغن و ۴۰ درصد پروتئین، مهم‌ترین منبع تولید روغن و پروتئین گیاهی محسوب می‌شود (Sinclair, 2017). این گیاه نیاز نسبتا زیادی به عناصری همچون فسفر، گوگرد و روی دارد (Roriz *et al.*, 2020). با توجه به مصرف سالانه بیش از ۸۵۰۰۰ تن کود شیمیایی در اراضی تحت کشت گیاهان تیره لگوم در ایران، ضرورت دارد تا با یک برنامه‌ریزی صحیح، مایه‌های تلقیح کارآمد و موثری برای هر یک از لگوم‌های زراعی از جمله سویا تولید شده و در اختیار زارعین قرار گیرد (Mehrpouyan *et al.*, 2010).

کاربرد کودهای زیستی برای حفظ توازن و حاصلخیزی خاک به‌منظور به‌حداکثررساندن روابط بیولوژیک مطلوب و به‌حداقل‌رساندن استفاده از مواد و عملیاتی که این روابط را برهم می‌زنند، به‌ویژه مصرف کودهای شیمیایی، بسیار مهم است (Alahresani & Ramazani, 2021). کاربرد کودهای زیستی خصوصا باکتری‌های محرک رشد گیاه، مهمترین راهبرد در مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی در سامانه کشاورزی پایدار است (Yousefipor *et al.*, 2019). از اسیدهیومیک به عنوان کود آلی دوست‌دار طبیعت نام بـرده می‌شود که به‌دلیل وجود ترکیبات هورمونی، حتی مقادیر بسیار کم آن نیز اثرات مفیدی در افزایش و بهبـود تولیـد محصولات کشاورزی دارد (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021). اسید-هیومیک از منابع مختلف نظیر خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسیدشده، زغال سـنگ و ... اسـتخراج مـی‌شـود (Nasiri Dehsorkhi *et al.*, 2018).

در کشورهای پیشرفته، کودهای مصرفی حاوی حدود دو تا چهار درصد عناصر ریزمغذی هستند. بور یک عنصر غذایی کم‌مصرف مهم می‌باشد که کمبود آن کاهش شدیدی در عملکرد گیاهان زراعی ایجاد می‌کند (Pereira *et al.*, 2021). بور در مصرف کلسیم، تقسیم سلولی، گلدهی، میوه‌دهی، سوخت و ساز هیدرات‌های کربن و نیتروژن، مقاومت به بیماری‌ها، روابط آبی و به‌عنوان یک کاتالیزور در بسیاری از واکنش‌ها نقش دارد (Onuh & Miwa, 2021). در کشور ما عموماً به‌منظور تولید سویا از کودهای نیتروژنه استفاده می‌شود؛ درحالی‌که گیاه سویا می‌تواند در صورت وجود جمعیت مناسبی از باکتری ریزوبیوم عمده نیاز خود را به کود نیتروژن برطرف کند. Dabaghian *et al.* (2015) با بررسی تأثیر کودهای زیستی ازتوباکتر، آزوسپیریلیوم و گوگرد آلی بر گره‌زایی و عملکرد سویا بیان کردند که افزودن گوگرد باعث افزایش تعداد گره، وزن خشک ریشه و ارتفاع گیاه می‌شود. همچنین عملکرد این گیاه در اثر کاربرد باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم اختلاف بسیار معنی‌داری داشت. هدف این پژوهش بررسی تاثیر رایزوبیوم، آزوسپریلیوم، هیومیک‌اسید، مولیبدن، کبالت و بور بر عملکرد و صفات مورفو-فنولوژیک سویا بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش روی رقم کتول سامان انجام شد. این رقم پابلند (ارتفاع حدود ۱۱۰ سانتی متر)، دیررس (گروه رسیدگی ۵) و با تیپ رشد نامحدود محسوب می‌شود و باتوجه‌به تجمع غلاف‌ها در گره‌های انتهایی، برای برداشت مکانیزه مناسب است. از خصوصیات ویژه این رقم، تولید گل‌های جدید و کاهش خسارت ناشی از عارضه اختلال در غلاف‌بندی است.

میانگین عملکرد دانه رقم سامان حدود ۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار است. برای کشت این رقم میزان بذر ۶۰ کیلوگرم در هکتار با فاصله کشت ۵۰ سانتی‌متر برای تراکم ۲۰۰ هزار بوته در هکتار توصیه می‌شود

(Hezar Jaribi *et al*., 2014). آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی عراقی محله گرگان (وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان) واقع در ۶ کیلومتری شمال شهر گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۵ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالانه ۴۵۰ میلی‌متر در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل محلول‌پاشی اسیدهیومیک در دو سطح شامل اسیدهیومیک فولویک‌دار و شاهد؛ بذرمال باکتری در سه سطح شامل بذرمال باکتری، بذرمال باکتری+ازوسپریلیوم و شاهد؛ و محلول‌پاشی عناصر غذایی در چهار سطح شامل کبالت، کبالت+مولیبدن، کبالت+مولیبدن+بور و شاهد بود. محلول‌پاشی عناصر کبالت و مولیبدن در دو مرحله V3, V5 و محلول‌پاشی بور در دو مرحله R1 و R3 انجام شد. محلول‌پاشی برای کود مایع حاوی بور قبل از گل‌دهی و رسیدن میوه بر اساس یک لیتر در هکتار و مولیبدن بر اساس ۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار انجام شد (شرکت کشاورزی و خدمات بین‌المللی کیمیاکاران هامون، ۲۰۰۸). جهت اعمال تیمارهای بذرمال با باکتری از مایع تلقیح نیم‌لیتری برای تلقیح۶۰ کیلوگرم بذر استفاده شد که بعد از مرطوب‌سازی بذرها کود زیستی را روی آن ریخته و با استفاده از دستکش نایلونی یا لاتکس به خوبی با بذر آغشته شد. سپس ۱۰ دقیقه بذرهای آغشته‌شده به کود زیستی را در سایه و روی کاغذ ریخته تا در شرایط محیطی خشک شود و بلافاصله بعد از خشک‌شدن بذرها اقدام به کشت آن‌ها شد (شرکت فن‌آوری زیستی طبیعت‌گرا، ۲۰۰۲). کاشت آزمایش در سال اول و دوم در اول تیرماه انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل ۶ خط کاشت به طول ۵ متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک ردیف نکاشت و فاصله بین دو تکرار ۲/۵ متر بود. آبیاری بر-اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A و مصرف کودهای پایه طبق نتایج آزمون خاک انجام‌شده در آزمایشگاه بخش خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان (جدول ۱) انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اعماق مختلف.

Table 1. Physicochemical properties of soil at different soil depths.

Soil characteristics	**0-15**	**15-30**	**30-60**	**60-90**
pH	7.2	7.3	7.3	7.3
EC (dS m^{-1})	1.35	1.27	1.42	1.41
Organic carbon (%)	15	1.1	0.6	0.4
Total nitrogen (%)	0.15	0.11	0.06	0.03
Available phosphor (ppm)	8.6	4.8	2	1.01
Available potassium (ppm)	333	220	108	70
Bulk density (g cm^{-3})	1.44	1.41	1.4	1.4
Clay (%)	28	30	34	33
Silt (%)	54	52	52	52
Sand (%)	18	18	14	15
Soil texture	Loam-Silty	Loam-Silty	Silty-Clam-loam	Silty-Clam-loam
Saturation point (%) (θm)	49.9	52.2	51.9	60
Field capacity (%) (θm)	27.7	27	27.6	27.7
Permanent wilting point (%) (θm)	13.1	3.12	8.9	8.9

عملکرد و خصوصیات مورفو-فنولوژیک مستقیماً با استفاده از ترازو (AS.3500 Radwage, Poland) و خط‌کش و شمارش مستقیم نمونه‌ها به‌دست آمد. صفات فنولوژیکی شامل روز تا سبزشدن (VE[1])، روز تا هفتمین برگ سه‌برگچه‌ای (V7)، روز تا گل‌دهی (R1)، روز تا شروع غلاف‌دهی (R3)، روز تا شروع پر-شدن دانه (R5) و روز تا رسیدگی (R7) و صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، ارتفاع تا اولین غلاف، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی و سطح برگ در مرحله شروع گل‌دهی بود.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک و پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ انجام شد.

نتایج و بحث

صفات فنولوژیک

نتایج تجزیه واریانس صفات فنولوژیک نشان داد که اثر ساده سال و اسیدهیومیک بر تمامی صفات فنولوژیک بجز صفت روز تا سبزشدن (VE) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر بذرمال و ریزمغذی تاثیر معنی‌داری ($p<0.01$) بر تمامی صفات فنولوژیک نشان داد (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۳) برای صفات فنولوژیک معنی‌دار نشان داد که صفات فنولوژیک در سال دوم (۱۳۹۸) مقادیر بالاتری نسبت به سال اول (۱۳۹۷) داشتند. همچنین هیومیک‌اسید باعث افزایش صفات مذکور نسبت به تیمار شاهد شد. بجز صفت VE و V_7، در بقیه صفات فنولوژیک اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای بذرمال باکتری و بذرمال+ازوسپریلیوم وجود نداشت؛ اما افزایش معنی-داری نسبت به تیمار شاهد داشتند که تاثیر مثبت بذرمال باکتری و ازوسپریلیوم را نشان می‌دهد. علاوه بر این، صفات مورفولوژیک بجز VE تحت تاثیر تیمار کاربرد همزمان سه عنصر ریزمغذی کبالت+مولیبدن+بور مقادیر بالاتری را نسبت به کاربرد تنها یکی از این عناصر و نیز در مقایسه با شاهد نشان دادند. این امر بیانگر کاربرد همزمان عناصر ریزمغذی است. در این رابطه، Soleimani Fard *et al.* (2013) با اثر کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت، اختلاف معنی‌دار هیبریدها از نظر تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، وزن خشک تک-بوته، طول بلال، قطر ساقه، تعداد دانه در بلال، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، تحت تاثیر باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپیریلوم را گزارش کردند. نتایج حاصل از آزمایش Dadnia & Khodabandeh (2001) نشان دادند که تلقیح بذر سویا با باکتری *Rhizobium japonicum* باعث افزایش رشد گیاه می-شود به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری بین رشد تیمارهایی که با باکتری تلقیح شده بودند و تیمارهایی که بذر آن‌ها با باکتری تلقیح نشده بود مشاهده شد. Jahangirinia *et al.* (2016) نتیجه گرفتند که استفاده از میکوریزا، از طریق بهبود شرایط فیزیولوژیک گیاه می‌تواند موجب بهبود شرایط رشد گیاه سویا و حصول عملکرد بالاتر شود.

عملکرد و صفات مورفولوژیک

تجزیه واریانس عملکرد و صفات مورفولوژیک نشان می‌دهد که سال، اسیدهیومیک و عناصر ریزمغذی تأثیر معنی‌داری روی عملکرد و صفات مورفولوژیک رقم رشد نامحدود و دیررس سامان دارند. همچنین،

[1] VE: Emergence, VC: Unrolled unifoliolate leaves, V1: First trifoliolate, V2: Second trifoliolate, V4: Fourth trifoliolate, R1: Beginning flowering, R2: Full flowering, R3: Beginning pod, R4: Full pod, R5: Beginning seed, R6: Full seed, R7: Beginning maturity, R8: Full maturity

اثر تیمار بذرمال نیز روی تمام صفات مذکور بجز تعداد شاخه فرعی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

جدول ۲- میانگین مربعات صفات فنولوژیک سویا تحت تیمارهای مختلف در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

Table 2. Mean comparisons of phonologic traits of soybean under different treatments in 2018 and 2019.

S.O.V.	df	VE	V7	R1	R3	R5	R7
Year (Y)	1	1058.4^{ns}	879.62**	1058.42**	932.28**	1058.42**	823.69**
Rep*Y	4	5.4	1.29	5.37	6.53	5.37	4.77
Humic(a)	1	41.6^{ns}	3.64**	41.60**	67.24**	41.60**	142.80**
Bacteria(b)	2	62.1**	12.05**	62.12**	72.91**	62.12**	99.61**
Micronutrient(c)	3	72.3**	41.44**	72.28**	82.91**	72.28**	118.19**
a*b	2	21.5**	7.60**	21.49**	26.81**	21.49**	30.14**
a*c	3	3.9**	0.84*	3.94^{ns}	4.98^{ns}	3.94^{ns}	2.12^{ns}
b*c	6	17.7*	8.97**	17.72**	14.77**	17.72**	18.73**
a*b*c	6	19.1^{ns}	7.97**	19.07**	18.84**	19.07**	27.29**
Y*a	1	6.4^{ns}	0.12^{ns}	6.42^{ns}	10.78*	6.42^{ns}	49.47**
Y*b	2	6.4^{ns}	0.12^{ns}	6.42^{ns}	5.64^{ns}	6.42^{ns}	14.44*
Y*c	3	1.5^{ns}	0.01^{ns}	1.51^{ns}	2.72^{ns}	1.51^{ns}	7.46^{ns}
Y*a*b	2	6.4^{ns}	0.12^{ns}	6.42^{ns}	3.77^{ns}	6.42^{ns}	4.43^{ns}
Y*a*c	3	1.5^{ns}	0.01^{ns}	1.51^{ns}	1.28^{ns}	1.51^{ns}	0.40^{ns}
Y*b*c	6	1.5^{ns}	0.01^{ns}	1.51^{ns}	1.85^{ns}	1.51^{ns}	3.81^{ns}
Y*a*b*c	6	1.5^{ns}	0.01^{ns}	1.51^{ns}	2.73^{ns}	1.51^{ns}	2.68^{ns}
Error	92	0.51	0.28	2.11	2.26	2.1	3.98
CV (%)		8.66	1.42	2.24	2.03	1.51	1.90

^{ns}, * and ** means non-significant, significant at 5 % and 1 %level of probability, respectively.

VE: Emergence, VC: Unrolled unifoliolate leaves, V1: First trifoliolate, V2: Second trifoliolate, V4: Fourth trifoliolate, R1: Beginning flowering, R2: Full flowering, R3: Beginning pod, R4: Full pod, R5: Beginning seed, R6: Full seed, R7: Beginning maturity, R8: Full maturity.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات فنولوژیک سویا تحت تاثیر تیمارهای مختلف آزمایشی.

Table 3. Mean comparisons of phenological traits of soybean under different treatments.

Treatments	R7	R5	R3	R1	V7	VE
Year effects						
1397	8.36^{a}	34.73^{b}	62.12^{b}	71.37^{b}	93.12^{b}	102.84^{b}
1398	8.14^{a}	39.68^{a}	67.54^{a}	76.45^{a}	98.54^{a}	107.62^{a}
Humic acid treatments						
Humic acid	8.17^{a}	37.36^{a}	65.36^{a}	74.59^{a}	96.36^{a}	106.22^{a}
Control	8.32^{a}	37.04^{b}	64.29^{b}	73.23^{b}	95.29^{b}	104.23^{b}
Bacteria treatments						
Bacterial seed	8.26^{ab}	37.29^{b}	65.29^{a}	74.58^{a}	96.29^{a}	106.17^{a}
Bacterial seed+azospirillum	8.00^{b}	37.65^{a}	65.65^{a}	74.66^{a}	96.65^{a}	105.94^{a}
Control	8.48^{a}	36.66^{c}	63.53^{b}	72.48^{b}	94.53^{b}	103.57^{b}
Micronutrient treatments						
Cobalt	8.39^{a}	36.94^{c}	64.94^{b}	73.99^{b}	95.94^{b}	105.52^{b}
Cobalt+ Molybdenum	8.05^{b}	37.31^{b}	65.04^{b}	74.05^{b}	96.04^{b}	105.53^{b}
Cobalt + Molybdenum + Boron	8.02^{b}	38.58^{a}	66.38^{a}	75.65^{a}	97.38^{a}	107.10^{a}
Control	8.52^{a}	35.99^{d}	62.94^{c}	71.94^{c}	93.94^{c}	102.75^{c}

In each column of each treatment, the means with different letters are significantly different at $p<0.05$ by LSD test.

مقایسه میانگین اثرات ساده صفات مورفولوژیک نشان داد که تمام صفات، به‌استثنای تعداد شاخه فرعی، دارای مقادیر بالاتری در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۷ بودند که احتمالا به‌دلیل شرایط رشدی بهتر در

سال دوم می‌باشد. همچنین کاربرد هیومیک‌اسید در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری در تمامی صفات نشان داد؛ به‌طوری‌که میزان افزایش در ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ و عملکرد دانه به‌ترتیب ۶، ۷، ۲۵، ۴۰، ۶۶ و ۶۵ درصدی نسبت به شاهد به‌دست آمد. همچنین تیمار بذرمال باکتری+ازوسپریلیوم موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته (۹ درصد)، ارتفاع اولین غلاف (۳ درصد)، قطر ساقه (۱۱ درصد)، سطح برگ (۸۶ درصد) و عملکرد دانه (۱۰ درصد) شد. عدم افزایش در تعداد شاخه فرعی احتمالاً به این علت است که این صفت بیشتر تحت کنترل ژنتیک است (Farshadfar *et al*., 2012). عناصر ریزمغذی نیز موجب افزایش معنی‌دار صفات و عملکرد در مقایسه با شاهد شدند که در اکثر صفات از جمله عملکرد، این افزایش در تیمار کبالت+مولیبدن+بور بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۵).

در همین رابطه، Kazemi *et al*. (2006) گزارش کردند که تلقیح سویا با باکتری سبب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد نهایی بجز تعداد دانه در غلاف می‌شود. Kazemi Moghadam *et al*. (2013) گزارش کردند که مصرف باکتری منجر به دست‌یابی بیشترین میزان عملکرد دانه سویا به میزان ۱۶۳۶ کیلوگرم در هکتار شد؛ درحالی‌که در تیمار عدم مصرف باکتری کمترین میزان عملکرد دانه به میزان ۱۴۴۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد.

در این راستا، Ross *et al*. (2006) با محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف بور در دو مرحله V3 (ظهور اولین برگ سه‌برگچه‌ای) و R2 (انتهای گلدهی و شروع دانه‌بندی) نتایج جالبی را به‌دست آوردند؛ بدین‌ترتیب که کاربرد ۱ تا ۲ کیلوگرم بور در هکتار بیشترین میزان غلظت بور در بذرها (۲۷-۲۱ میلی‌گرم بور بر کیلوگرم بذر) را تولید کرد و کاربرد بور در مرحله R2 باعث افزایش بیشترین میزان بور نسبت به V3 در بذر شد. زمان کاربرد بور بر میزان جوانه‌زنی و وزن بذرها تأثیر معنی‌داری داشت به‌نحوی‌که در حالت عدم مصرف بور، کمترین میزان جوانه‌زنی بذر به میزان ۶۰ درصد و در حالت مصرف بور، بیشترین میزان جوانه‌زنی بذر ۹۶ درصد (مصرف در مرحله V3) و ۹۴ درصد (مصرف در مرحله R2) حاصل شد. مصرف بور در مرحله V3 وزن بذرها را از ۱۲/۲ به ۱۲/۸ گرم و مصرف در مرحله R2 وزن بذرها را از ۱۳/۷ به ۱۴/۸ گرم افزایش داد. همچنین آنها بیان کردند که غلظت بور شاخص مناسبی برای تعیین کمبود بور در تشخیص‌های پس از برداشت است. منطبق با نتایج تحقیق حاضر، گزارش شده است که محلول‌پاشی مولیبدن در مراحل R3 و R5 سویا منجر به بهبود صفات شد (Cardoso *et al*., 2021) و کاربرد توام مولیبدن و بور افزایش تعداد غلاف و عملکرد دانه سویا را به دنبال داشت (Moro *et al*., 2021).

سال‌هاست که استفاده از مایه تلقیح ریزوبیومی در جهت افزایش عملکرد و کاهش مصرف کودهای نیتروژنی در کشت انواع لگوم به‌کار گرفته می‌شود. مصرف این کودهای بیولوژیکی می‌تواند در حفظ محیط زیست و بهبود عملکرد گیاه موثر باشد (Mehdipoor *et al*., 2010). در پژوهشی، Puente *et al*. (2019) کیفیت تغذیه دانه سویا را با تلقیح *Azospirillum brasilense* Az39 بهبود بخشیدند. این آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای و مزرعه‌ای انجام شد. بیوماس بیشتر تحت تلقیح شاخساره با *A. brasilense* Az39 در مرحله V6 و R2 در مقایسه با استفاده هنگام کاشت مشاهده شد. علاوه‌براین، افزایش زیست‌توده ریشه خشک و تعداد گره بالاتر و وزن نسبی گره در هر بوته در V6 مشاهده شد. در هر دو مرحله (V6 و R2) سطح لگموگلوبین در گره‌ها به-

طور قابل توجهی بیشتر از گیاهانی است که روی بذر تلقیح شده‌اند. گیاهانی که تلقیح آن‌ها با *A. brasilense* Az39 در مرحله تولید شاخساره انجام شده بود میزان نشاسته برگ، محتوای نیتروژن و پروتئین بالاتری نسبت به گیاهانی که در هنگام کشت تلقیح شده بودند داشتند.

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد و صفات مورفولوژیک سویا تحت تیمارهای مختلف در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

Table 4. Analysis of variation for yield and morphological traits of soybean under different treatments in 2018 and 2019.

S.O.V.	df	Plant height	First pod height	Stem diameter	Number of branches	Leaf area	Seed yield
Year (Y)	1	2847.11**	8.65**	93.83**	6.25**	8.50**	6990031**
Rep*Y	4	97.67	5.97	147.22	9.06	0.08	112739
Humic(a)	1	1125.04*	61.75**	276.22**	87.42**	36.89**	42733023**
Bacteria(b)	2	1262.49**	7.43**	31.26**	0.35^{ns}	19.04**	1065707**
Micronutrient(c)	3	1747.21**	12.64**	23.51**	30.51**	2.55**	2116901**
a*b	2	917.45**	5.19**	31.07**	2.85**	0.45**	415703**
a*c	3	274.42^{ns}	1.11*	11.75^{ns}	9.39**	1.53**	652068**
b*c	6	752.73**	0.67*	18.37**	2.40**	1.81**	131958**
a*b*c	6	795.93**	0.70*	5.61^{ns}	0.36^{ns}	0.99**	143614**
Y*a	1	1.30**	7.25**	123.88**	0.32^{ns}	0.01^{ns}	4886826**
Y*b	2	374.36^{ns}	0.60^{ns}	10.44^{ns}	1.55^{ns}	0.02^{ns}	214881**
Y*c	3	431.92**	2.55**	32.56**	0.50^{ns}	0.00^{ns}	266211**
Y*a*b	2	383.41**	1.48**	12.55^{ns}	1.49^{ns}	0.06^{ns}	306261**
Y*a*c	3	179.96^{ns}	0.98*	1.76^{ns}	0.86^{ns}	0.01^{ns}	326470**
Y*b*c	6	143.88^{ns}	0.52*	5.61^{ns}	0.46^{ns}	0.01^{ns}	76583**
Y*a*b*c	6	95.08^{ns}	0.28^{ns}	1.76^{ns}	0.58^{ns}	0.01^{ns}	90052**
Error	92	177.88	0.286	5.318	0.505	0.0264	4911
CV (%)		12.95	2.93	18.38	15.15	7.949	3.2

^{ns}, * and ** means non-significant, significant at 5٪ and 1٪ level of probability, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و صفات مورفولوژیک سویا تحت تاثیر تیمارهای مختلف آزمایشی.

Table 5. Mean comparisons of yield and morphological traits of soybean under different treatments.

Treatments	Plant height (cm)	First pod height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of branches	Leaf area (cm^2)	Seed yield (kg/ha)
Year effects						
1397	98.54^{b}	18.05^{b}	11.74^{b}	4.90^{a}	1.80^{b}	1985.33^{b}
1398	107.43^{a}	18.54^{a}	13.35^{a}	4.48^{b}	2.29^{a}	2425.97^{a}
Humic acid treatments						
Humic acid	105.78^{a}	18.95^{a}	13.93^{a}	5.47^{a}	2.55^{a}	2750.40^{a}
Control	100.19^{b}	17.64^{b}	11.16^{b}	3.91^{b}	1.54^{b}	1660.90^{b}
Bacteria treatments						
Bacterial seed	106.13^{a}	18.59^{a}	13.07^{a}	4.78^{a}	2.34^{b}	2335.54^{a}
Bacterial seed+azospirillum	105.76^{a}	18.45^{a}	12.95^{a}	4.62^{a}	2.46^{a}	2238.42^{a}
Control	97.07^{b}	17.85^{b}	11.62^{b}	4.66^{a}	1.32^{c}	2042.99^{b}
Micronutrient treatments						
Cobalt	101.42^{b}	18.34^{b}	12.78^{a}	4.69^{b}	1.89^{b}	2224.67^{b}
Cobalt+ Molybdenum	111.88^{a}	18.56^{ab}	13.32^{a}	5.05^{b}	2.28^{a}	2352.76^{ab}
Cobalt+Molybdenum+Boron	103.64^{b}	18.83^{a}	12.66^{ab}	5.59^{a}	2.26^{a}	2387.73^{a}
Control	95.01^{c}	17.46^{c}	11.41^{b}	3.42^{c}	1.75^{c}	1857.44^{c}

In each column of each treatment, the means with different letters are significantly different at $p<0.05$ by LSD test.

Shariatinia *et al.* (2012) تأثیر کود هیومیک‌اسید بر صفات مختلف دو رقم سویا از جمله وزن غلاف، تعداد دانه در ساقه اصلی، تعداد دانه در شاخه فرعی و عملکرد را بررسی و گزارش کردند که اثر رقم بر وزن غلاف در گیاه، تعداد دانه در ساقه اصلی، تعداد دانه در

شاخه فرعی، وزن غلاف و وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود. هیومیک‌اسید تاثیر معنی‌داری روی تمام صفات اندازه‌گیری‌شده داشت و اثر متقابل کود در رقم نشان داد که با افزایش مقدار مصرف هیومیک‌اسید، رقم Williams نسبت به Zane وزن غلاف در گیاه و تعداد دانه در ساقه اصلی بیشتری تولید می‌کند. Ross *et al.* (2006) در مطالعه خود با کاربرد نسبت‌های مختلفی از بور در سویا نتیجه گرفتند که کاربرد بور در سه منطقه از چهار منطقه مورد مطالعه سبب افزایش عملکرد بذر شد. همچنین کاربرد بور، میزان غلظت بور در برگ‌های سه‌برگچه‌ای و بذر سویا را افزایش داد. Bellaloui *et al.* (2010) بیان کردند که کاربرد برگی بور سبب افزایش فعالیت آنزیم نیتروژناز و نیترات‌ریداکتاز در برگ‌ها می‌شود که بیانگر نقش مهم و معنی‌دار بور در سوخت و ساز نیتروژن می‌باشد. اگر غلظت بور در برگ‌ها پایین باشد امکان انتقال بور از بافت‌های رسیده و بالغ به بافت‌های جوان و بذرها وجود ندارد.

Bellaloui *et al.* (2013) تاثیر محلول‌پاشی بور (بوریک‌اسید) را روی ترکیبات بذر سویا شامل پروتئین، روغن، اسیدهای چرب و ترکیبات قندی تحت تنش خشکی مطالعه کردند. آن‌ها در دو مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه محلول‌پاشی را انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که محلول‌پاشی بور موجب افزایش عنصر بور در برگ‌ها و بذر و تغییر ترکیبات بذر شده است. Amarilla *et al.* (2019) تاثیر محلول‌پاشی مولیبدن، کبالت و بور را بر خصوصیات گیاه سویا مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که استفاده از مواد ریزمغذی مانند کبالت، مولیبدن و بور باعث افزایش عملکرد سویا می‌شود. همچنین، Shaabani *et al.* (2017) بیان کردند که نیتروژن موجب سرعت رشد، سهولت تنفس، شادابی رنگ بوته‌ها، افزایش رشد ریشه‌ها و افزایش ارتفاع می‌شود. همچنین اضافه‌کردن نیتروژن به خاک باعث افزایش سطح برگ و در نهایت افزایش عملکرد و بالابردن شاخص برداشت می‌شود. از طرفی میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی علاوه‌بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل‌کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین سبب بهبود رشد و نمو سویا می‌شوند.

نتیجه‌گیری کلی

در این بررسی باتوجه‌به اهمیت تاثیر باکتری‌های همزیست و همچنین تغذیه گیاهی بر راندمان گیاه سویا، تیمارهای باکتری و تغذیه‌ای اعمال شد که نتایج حاکی از تاثیر معنی‌دار آن‌ها روی عملکرد و همچنین صفات فنولوژیک و مورفولوژیک اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش بود. در مجموع مشخص شد که تیمار بذرمال باکتری+ازوسپریلیوم و کبالت+مولیبدن+بور افزایش عملکرد بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشتند؛ بنابراین، این ترکیب تیماری به عنوان ترکیب برتر در مقایسه با سایر تیمارهای بررسی‌شده پیشنهاد می‌شود. در واقع این نتایج اهمیت کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و نیز عناصر ریزمغذی را در بهبود صفات و به‌تبع آن عملکرد دانه در گیاه سویا رقم سامان نشان می‌دهند که می‌تواند به افزایش عملی تولید سویا در واحد سطح کمک کند.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان به دلیل همکاری در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Alahresani, M., & Ramazani, S. H. R. (2021). Effects of biological, chemical and animal fertilizers on photosynthetic pigments, yield and yield components of corn 500 single cross. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(1), 125-143. (In Persian)
2. Amarilla, D., Zaracho, A., Maidana, E., & Melgarejo, M. (2019). Behavior of soy cultivation (*Glycine max* L.) with foliar application of molybdenum, cobalt and boron. *International Journal of Biosciences*, 14(1), 437-443.
3. Bellaloui, N., Hu, Y., Mengistu, A., Kassem, M. A., & Abel, C. A. (2013). Effects of foliar boron application on seed composition, cell wall boron, and seed δ15N and δ13C isotopes in water-stressed soybean plants. *Frontiers in Plant Science*, *4*, 270.
4. Bellaloui, N., Reddy, K. N., Gillen, A. M., & Abel, C. A. (2010). Nitrogen metabolism and seed composition as influenced by foliar boron application in soybean. *Plant and Soil*, *336*(1), 143-155.
5. Cardoso, B.M., Lazarini, E., Moreira, A., Moraes, L.A., Santos, F.L.D. & Dameto, L.S. (2021). Effect of foliar molybdenum application on seed quality of soybean cultivars. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(6), pp.666-672.
6. Dabaghian, Z., Pirdashti, H., Abasian, A., & Bahari, S. S. (2015). The effect of biofertilizers, thiobacillus, azotobacter, azospirillum and organic sulfur on nodulation process and yield of soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Applied Field Crops Research*, 28(107), 17-25. (In Persian)
7. Dadnia, M., & Khodabandeh, N. (2001). Evaluation of yield increase by optimizing nitrogen fertilizer application and inoculation of seeds with bacteria in sustainable agricultural systems in soybean (*Glycine max* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 2 (4), 33-41. (In Persian)
8. Farshadfar, A., Karuni, M., Pourdad, S., Zarei, L., & Jamshid Moghaddam, M. (2012). Genetic analysis of a number of physiological, phenological and morphological traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using diallel method. *Iranian Journal of Crop Sciences* (*Iranian Agricultural Sciences*), 42 (3), 627-647. (In Persian)
9. Hamoon company. (2008). With registration number 17682, https://haamoonn.ir/.
10. Hezar Jaribi, A., Babaei, H., & Raisi, S. (2014). Introducing the new cultivar of soybean - Saman. Karaj: Seed and Plant Breeding Research Institute. (In Persian)
11. Jahangirinia, A., Siadat, S., Kuchakzadeh, A., & Siyah Far, M. (2016). Effect of application of vermicompost and mycorrhiza fertilizers on grain growth traits and grain yield of soybean (*Glycine max* L.) under dehydration conditions. *National Electronic Conference on Passive Defense in Agriculture*. (In Persian)
12. Kazemi Moghadam, M., Hassanpour Darvishi, H., & Javaheri, M. (2013). Investigation of the effects of bacterial and Roman compost on phenology and growth of soybean (*Glycine max* L.) in sustainable agriculture, *National Conference on Agricultural Science and Technology*, Malayer. (In Persian)
13. Kazemi, Sh., Galshi, S., Ghanbari, A., & Kianoosh, Gh. (2006). Investigation of the effects of planting date and seed inoculation with bacteria on yield and yield components of two soybean cultivars (*Glycine max* L). *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12 (4). (In Persian)
14. Mehdipoor, A., Rezaei, M. A., Asgharzadeh, A., & Cherati, A. (2010). Effect of different strains of *bradyrhizobium japonicum* on micronutrients uptake in shoots and yield of seeds in soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 4(4 (16)), 33-40. (In Persian)
15. Mehrpouyan, M., Noormohammadi, G., Mirhadi, M. J., Heidari, S. H., & Shirani, R. A. (2010). Effect of some inoculants containing *Rhizobium legominosarum* bv. Phaseoli on nutrients elements uptake in three cultivars of common bean. *Iranian Journal Pulses Research*, 1(2): 1-10. (In Persian)
16. Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Sedghei, M., Narimani, H., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of salinity, vermicompost, humic acid and seed inoculation with flavobacterim on grain filling of triticale. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 251-269. (In Persian)
17. Moro, L., Franz, M.F., Ecco, M., Melgarejo Arrúa, M.A., & Ribas, M.A. (2021). Response of soybean crop with different combinations of seed treatment and application of nitrogen, cobalt, and molybdenum topdressing. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(3), pp.9667-9674.
18. Nasiri Dehsorkhi, A., Makarian, H., Varnaseri Ghandali, V., & Salari, N. (2018). Investigate effect of humic acid and vermicompost application on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Applied Field Crops Research*, *31*(1), 93-113. (In Persian)
19. Nature biotechnology company (2002). With registration number 17682 and national ID 10102036521. https://biorun.ir/en

20. Onuh, A. F., & Miwa, K. (2021). Regulation, diversity and evolution of boron transporters in plants. *Plant and Cell Physiology*, 62(4), 590-599.
21. Pereira, G. L., Siqueira, J. A., Batista-Silva, W., Cardoso, F. B., Nunes-Nesi, A., & Araújo, W. L. (2021). Boron: more than an essential element for land plants? *Frontiers in Plant Science*, *11*, 2234.
22. Puente, M. L., Zawoznik, M., de Sabando, M. L., Perez, G., Gualpa, J. L., Carletti, S. M., & Cassán, F. D. (2019). Improvement of soybean grain nutritional quality under foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* strain Az39. *Symbiosis*, *77*(1), 41-47.
23. Roriz, M., Carvalho, S. M., Castro, P. M., & Vasconcelos, M. W. (2020). Legume biofortification and the role of plant growth-promoting bacteria in a sustainable agricultural era. *Agronomy*, *10*(3), 435.
24. Ross, J. R., Slaton, N. A., Brye, K. R., & DeLong, R. E. (2006). Boron fertilization influences on soybean yield and leaf and seed boron concentrations. *Agronomy Journal*, *98*(1), 198-205.
25. Shaabani, S., & Movahhedi Dehnavi, M. (2017). Effect of different levels of nitrogen, bio-fertilizers and nano-nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of soybean in Darab region (Fars). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(3), 709-720. (In Persian)
26. Shariatinia, F., Karimi Goghari, A., Soltaninejad, N., & Shamsuddin Saeid, M. (2012). The effect of humic acid and salinity on vegetative growth and some physiological characteristics of cotton (Varamin Cv.). *The Second National Conference on New Achievements in oilseeds production*, Bojnourd. (In Persian)
27. Sinclair, T. R. (2017). Water-conservation traits to increase crop yields in water-deficit environments. *Switzerland: Springer Briefs in Environmental Sciences*, *1007*, 978-3.
28. Soleimani Fard, A., Naseri Rad, H., Naseri, R., & Piri, E. (2013). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on phenological traits, grain yield and yield components of three maize (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science)*, 1 (25), 71-89. (In Persian)
29. Thudi, M., Palakurthi, R., Schnable, J. C., Chitikineni, A., Dreisigacker, S., Mace, E., & Varshney, R. K. (2021). Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture. *Journal of Plant Physiology*, *257*, 153351.
30. Yousefipor, M., Lack, S., & Payandeh, K. (2019). Evaluation of the combined effect of biological and chemical phosphorous fertilizers and micronutrient on seed and protein yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 13(49(1)), 103-120. (In Persian)