

Effect of humic acid application on morphological traits, yield components, and seed yield of mung bean cultivars

Sajjad Rahimi¹, Khosrow Azizi^{*2}, Sajjad Rahimi Moghadam³

1- Master's student in Crop Ecology, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Lorestan University, Khorramabad, Iran

2- Professor, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Lorestan University, Khorramabad, Iran

3- Assistant Professor, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Corresponding: azizi.kh@lu.ac.ir

Orcid Azizi: 0000-0003-1075-6402

Orcid Rahimimoghadam: 0000-0002-2620-26

Introduction

Mung bean (*Vigna radiata* L.) is a valuable legume crop whose seeds contain approximately 22-25% protein, 51% carbohydrates, 10% moisture, 4% minerals (including magnesium, potassium, manganese, copper, and zinc), 3% vitamins (particularly B-complex vitamins) as well as dietary fiber and antioxidants. As a member of the Fabaceae (legume) family, mung bean serves as an important source of plant-based protein in the human diet. It is also one of the legume crops well adapted to the climatic conditions of Iran. Humic acid is recognized as an environmentally friendly organic fertilizer enhancing plant growth and improving soil fertility. Evaluating the quantitative and morphological traits of local mung bean populations facilitates the identification of genetically diverse cultivars with superior agronomic performance, thereby supporting crop improvement and sustainable agricultural production. Therefore, the current research was conducted to investigate the effects of foliar application of different concentrations of humic acid on the quantitative and morphological characteristics of mung bean cultivars.

Materials and Methods

The experiment was carried out at the research farm of Lorestan University, Khorramabad, Iran, using a factorial arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The experimental factors consisted of three mung bean cultivars: Arteshi (primary landrace; C₁), Malek (secondary landrace; C₂), and Omrani (breeding cultivar; C₃), as well as three levels of humic acid: 0 mg L⁻¹ (control, distilled water only; F₁), 50 mg L⁻¹; F₂), and 100 mg L⁻¹; F₃). Sowing was carried out during the summer growing season on July 11. All crop management practices, including weeding and other field operations, were performed manually. Humic acid treatments were applied as foliar sprays at two growth stages: branching and flowering. Leaf nitrogen content was determined using the Kjeldahl method. Statistical analyses were performed using SAS software (version 9.4), and treatment means

were compared using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% probability level. Furthermore, the relationships among the traits were evaluated using simple Pearson's correlation coefficients, and path analysis based on the correlation coefficients was performed to determine the direct and indirect effects of the traits associated with seed yield.

Results and Discussion

Data analysis revealed that cultivar had a significant effect ($p < 0.01$) on most of the traits evaluated, including the number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000-seed weight, pod length, plant height, first branch height from soil level, and biological yield. Furthermore, the interaction between cultivar and humic acid treatment was significant ($p < 0.01$) for some of the studied traits such as pod dry weight, biological yield, seed yield, and harvest index. The highest biological yield (3.2 t ha^{-1}) was recorded in the Malek cultivar (secondary landrace) treated with 50 mg L^{-1} humic acid. In contrast, the highest seed yield (2.4 t ha^{-1}) was obtained from the Omrani cultivar (breeding cultivar) treated with 100 mg L^{-1} humic acid. Analysis of the main effects also indicated that the Omrani cultivar outperformed the other cultivars in terms of yield components. In addition, foliar application of 100 mg L^{-1} humic acid increased leaf nitrogen content, 1000-seed weight, and the number of branches per plant. Overall, humic acid application exerted different effects on the evaluated mung bean cultivars, particularly with respect to the number of branches per plant, 1000-seed weight, and other traits probably through improving soil structure and its chelating properties, thereby enhancing nitrogen and phosphorus uptake.

Conclusions

The results demonstrated that genetic differences among mung bean cultivars significantly influenced growth, yield, and most of the measured traits. The response to humic acid was also cultivar-dependent, with significant improvements observed in several quantitative traits. Among the evaluated cultivars, the breeding cultivar (Omrani) showed superior performance in seed yield, 1000-seed weight, and plant height. Overall, the combined use of an appropriate cultivar and the optimum humic acid concentration enhanced plant growth and productivity. Therefore, foliar application of 100 mg L^{-1} humic acid is recommended for the Omrani cultivar to maximize yield, whereas 50 mg L^{-1} is more suitable for the local landraces.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to Lorestan University for its financial support and provision of laboratory facilities for conducting this research as part of the requirements for the completion of the Master's thesis.

Keywords: Landrace, Leaf nitrogen percentage, Organic fertilizers, Plant nutrition.

اثر کاربرد اسید هیومیک بر صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام ماش

سجاد رحیمی^۱، خسرو عزیزی^{۲*}، سجاد رحیمی مقدم^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکولوژی گیاهان زراعی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه لرستان، خرم آباد ایران

۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه لرستان، خرم آباد ایران

۳- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه لرستان، خرم آباد ایران

azizi.kh@lu.ac.ir

چکیده

ماش با ارزش غذایی بالا و توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن گیاه زراعی مهمی است. به نظر می‌رسد که ارقام مختلف ماش در پاسخ به سطوح متفاوت هیومیک اسید، واکنش متفاوتی نشان دهند. بر این اساس، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳ در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در شهرستان خرم آباد برای بررسی واکنش ارقام ماش به کاربرد هیومیک اسید انجام شد. تیمارها شامل ارقام مختلف ماش: توده بومی اولیه ارتشی (C₁)، توده بومی ثانویه ملک (C₂) و عمرانی (C₃) و سطوح هیومیک اسید شاهد صفر (آب خالص) (F₁)، ۵۰ (F₂) و ۱۰۰ (F₃) میلی گرم در لیتر بودند. مقادیر مصرف اسید هیومیک در دو مرحله شاخه دهی و گلدهی استفاده شدند. نتایج نشان داد که اثر متقابل ارقام و هیومیک اسید بر صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن خشک غلاف در سطح یک درصد معنی دار بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک معادل ۳/۲ تن در هکتار از توده بومی ثانویه ملک با ۵۰ میلی گرم در لیتر هیومیک اسید حاصل شد. ولی از نظر عملکرد دانه رقم عمرانی همراه با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر هیومیک اسید بیشترین عملکرد دانه ۲/۴ تن در هکتار را داشت. احتمالاً کاربرد اسید هیومیک با بهبود ساختار خاک و خاصیت کلات‌کنندگی، جذب نیتروژن و فسفر را توسط ریشه‌ها به حداکثر می‌رساند که باعث بهبود رشد و عملکرد ماش می‌شود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که رقم عمرانی از نظر رشد و عملکرد برتری داشت و کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر هیومیک اسید نیز موجب بهبود برخی صفات عملکردی آن شد. بنابراین، انتخاب رقم مناسب همراه با مصرف بهینه هیومیک اسید می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش عملکرد ماش باشد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، توده بومی، درصد نیتروژن برگ، کودهای آلی.

مقدمه

حبوبات از مهم‌ترین گروه‌های گیاهان زراعی هستند که به دلیل دارا بودن پروتئین، کربوهیدرات، مواد معدنی و فیبر غذایی، نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی انسان دارند. در میان حبوبات، ماش سبز (*Vigna radiata* L.) به دلیل دوره رشد نسبتاً کوتاه، سازگاری با شرایط اقلیمی گرم و خشک، قابلیت استفاده در تناوب‌های زراعی و ارزش تغذیه‌ای مطلوب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دانه ماش از نظر پروتئین غنی است و پروتئین آن عمدتاً از گلوبولین تشکیل شده است. از این رو، این گیاه می‌تواند یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی در رژیم

غذایی انسان باشد (Rezapourian Ghahfarkhi et al., 2020; Huang et al., 2024). مرورهای جدید نیز ظرفیت بالای پروتئین ماش را برای استفاده به عنوان جایگزین پروتئین حیوانی و توسعه محصولات غذایی پایدار تأیید کرده‌اند (Huang et al., 2024). از سوی دیگر، وجود تنوع ژنتیکی در توده‌ها و ارقام ماش می‌تواند زمینه مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر صفات زراعی و عملکردی فراهم کند. بنابراین، شناسایی و ارزیابی توده‌های محلی از نظر صفات کمی و کیفی، علاوه بر شناخت ظرفیت ژنتیکی موجود، می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای برنامه‌های اصلاحی و به‌زراعی ماش مؤثر باشد.

با وجود اهمیت تغذیه‌ای و زراعی ماش، دستیابی به عملکرد مطلوب این گیاه به تامین مناسب عناصر غذایی و فراهم بودن شرایط مناسب رشد وابسته است. در این زمینه، استفاده از منابع آلی و زیستی به عنوان بخشی از راهکارهای کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است. کودهای آلی می‌توانند با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش نگهداری آب و فراهمی عناصر غذایی، شرایط رشد گیاه را بهبود دهند. همچنین گزارش شده است که استفاده از کودهای آلی و زیستی می‌تواند عملکرد کمی و کیفی ماش را، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، افزایش دهد (Sadeghi Kochsafhani et al., 2024). از این رو، این نهاده‌ها می‌توانند علاوه بر تامین بخشی از نیاز غذایی گیاه، به عنوان مکمل کودهای شیمیایی در جهت افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها مورد استفاده قرار گیرند (Fatemi Devin et al., 2021).

در میان نهاده‌های آلی، اسید هیومیک به عنوان یکی از اجزای مهم مواد هیومیکی و یک محرک رشد گیاهی مورد توجه قرار گرفته است. اثر اسید هیومیک صرفاً به تامین عناصر غذایی محدود نمی‌شود، بلکه می‌تواند از طریق افزایش جذب و انتقال عناصر، تحریک فعالیت‌های متابولیکی، اثر بر رشد ریشه و بهبود برخی فرآیندهای فیزیولوژیک، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. گزارش شده است که اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری غشا و تسهیل جذب برخی عناصر غذایی از جمله پتاسیم، و نیز از طریق اثر بر فعالیت‌های سلولی و فتوسنتزی، می‌تواند رشد و توسعه گیاه را تحریک کند (Suhag, 2016). بنابراین، انتظار می‌رود اثر اسید هیومیک تابعی از مقدار مصرف، زمان و روش کاربرد، شرایط محیطی و ویژگی‌های ژنتیکی گیاه باشد، موضوعی که بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف را ضروری می‌سازد.

شواهد پژوهشی نیز از اثرگذاری اسید هیومیک بر صفات رشد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی ماش حمایت می‌کنند. گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک همراه با نانوکلات پتاسیم بر تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت، شاخص کلروفیل و درصد پروتئین دانه ماش اثر معنی‌دار داشت و اثر متقابل این دو نهاده نیز بر وزن ۱۰۰ دانه، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (Hosseini Nik et al., 2022). در لوبیا چشم‌بلبلی نیز افزایش مقدار اسید هیومیک موجب افزایش معنی‌دار وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین و میزان برخی عناصر غذایی از جمله پتاسیم و منگنز شد (Kahraman, 2017). همچنین گزارش شده است که کودهای آلی و زیستی می‌توانند به عنوان مکمل کودهای شیمیایی، رشد و فرآیندهای فیزیولوژیک ماش را بهبود دهند (Rezapourian Ghahfarkhi et al., 2020). افزایش کلروفیل a و وزن هزار دانه ماش را در اثر کاربرد اسید هیومیک، به‌ویژه در شرایط آبیاری کامل، گزارش شده است (Haghshenas et al., 2025). در مجموع، این مطالعات نشان می‌دهند که اسید هیومیک ظرفیت بهبود رشد و تولید ماش را دارد، اما مقدار پاسخ می‌تواند تحت تأثیر شرایط آزمایش و زمینه ژنتیکی گیاه قرار گیرد.

اهمیت تفاوت‌های ژنتیکی در پاسخ به اسید هیومیک در مطالعات جدید نیز مورد تأکید قرار گرفته است. در دو آزمایش مزرع‌ای روی پنج ژنوتیپ ماش در شرایط خاک‌های تازه احیاء شده مصر نشان داده شده که کاربرد برگی اسید هیومیک در سطوح ۰، ۱۰ و ۲۰ میلی‌لیتر در لیتر موجب بهبود صفات رشد، اجزای عملکرد و کیفیت غذایی شد و پاسخ ژنوتیپ‌ها به تیمارها یکسان نبود (Sabra et al., 2026). این یافته نشان می‌دهد که توصیه یک سطح ثابت از اسید هیومیک برای همه ژنوتیپ‌های ماش ممکن است بهینه نباشد و شناسایی پاسخ ژنوتیپ‌های بومی در شرایط هدف می‌تواند اهمیت کاربردی داشته باشد.

با وجود این شواهد، هنوز نمی‌توان نتایج حاصل از ژنوتیپ‌ها و شرایط محیطی متفاوت را مستقیماً به توده‌های بومی ماش در شرایط لرستان تعمیم داد. اطلاعات درباره واکنش توده‌های بومی مورد استفاده در این منطقه به سطوح مختلف اسید هیومیک، به‌ویژه از نظر برهم‌کنش ژنوتیپ و سطح مصرف، محدود است. این خلا از آن جهت اهمیت دارد که اگر توده‌ها پاسخ متفاوتی به اسید هیومیک نشان دهند،

تعیین یک سطح مصرف واحد بدون در نظر گرفتن زمینه ژنتیکی می‌تواند موجب مصرف غیرکارآمد نهاده شود. از این رو، بررسی هم‌زمان توده‌های مختلف ماش و سطوح متفاوت اسید هیومیک می‌تواند به شناسایی ترکیب مناسب ژنوتیپ و سطح مصرف و در نتیجه افزایش کارایی مصرف این نهاده کمک کند. افزون بر این، افزایش عملکرد زیست‌توده در اثر کاربرد اسید هیومیک به تحریک رشد گیاه، افزایش فعالیت آنزیم‌ها، بهبود جذب عناصر غذایی و تغییر در نفوذپذیری غشا و سنتز پروتئین‌ها نسبت داده شده است (Naeemi et al., 2025).

بنابراین، با توجه به اهمیت تغذیه‌ای و زراعی ماش، وجود تنوع ژنتیکی در توده‌های این گیاه و ضرورت استفاده کارآمد از نهاده‌های آلی، پژوهش حاضر با هدف بررسی واکنش سه توده ماش شامل توده بومی اولیه ارتشی، توده بومی ثانویه ملک و عمرانی به سطوح مختلف اسید هیومیک و تعیین اثرات اصلی و متقابل توده و اسید هیومیک بر صفات رشد، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و برخی صفات کیفی ماش در شرایط شهرستان خرم‌آباد انجام شد. فرض بر این بود که توده‌های مختلف ماش در پاسخ به سطوح متفاوت اسید هیومیک واکنش یکسانی نداشته باشند و کاربرد اسید هیومیک، متناسب با زمینه ژنتیکی توده، بتواند موجب بهبود صفات رشد، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ماش شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان سال ۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، واقع در شهرستان خرم‌آباد (کیلومتر ۱۲ جاده خرم‌آباد- اندیمشک خوزستان) با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا انجام شد. به منظور توصیف شرایط اقلیمی محل آزمایش، داده‌های هواشناسی شامل متوسط دمای کمینه و بیشینه، بارندگی تجمعی، تبخیر تجمعی، متوسط رطوبت نسبی و بیشینه سرعت باد طی دوره اجرای آزمایش از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل آزمایش استخراج و در جدول ۱ ارائه شد.

جدول ۱- مشخصات هواشناسی محل آزمایش طی دوره اجرای آزمایش

Table 1- Meteorological characteristics of the experimental site during the experimental period

ماه Month	بارش تجمعی (میلی‌متر) Cumulative rainfall (mm)	متوسط دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) Mean maximum temperature (°C)	متوسط دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) Mean minimum temperature (°C)	تبخیر تجمعی (میلی‌متر) Cumulative evaporation (mm)	متوسط رطوبت نسبی (درصد) Mean relative Humidity (%)	بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) Maximum wind speed (m. s ⁻¹)
تیر July	0	36.6	17.35	342.2	8	10
مرداد August	0	40.4	18.94	350.5	8	9
شهریور September	0	37.0	14.42	299.7	8	11
مهر October	2.6	31.0	10.25	190.6	12	10

با توجه به هدف پژوهش مبنی بر بررسی اثر مستقل توده ماش و سطوح هیومیک اسید و همچنین بررسی احتمال وجود برهم‌کنش بین این دو عامل، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل ارقام مختلف ماش: توده بومی اولیه ارتشی (C₁)، توده بومی ثانویه ملک (C₂) و رقم عمرانی (C₃) و سطوح مختلف هیومیک اسید شاهد صفر به صورت آب خالص (F₁)، ۵۰ (F₂) و ۱۰۰ (F₃) میلی گرم در لیتر بودند. مقادیر مصرف هیومیک اسید در دو مرحله شاخه دهی و گلدهی استفاده

شدند. سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک با توجه به دامنه غلظت‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین محلول‌پاشی اسید هیومیک و با هدف بررسی پاسخ وابسته به غلظت و ارقام انتخاب شدند (Daneshvar Hakimi Maibodi et al., 2015; Sabra et al., 2026). رقم عمرانی از مرکز تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و توده بومی ثانویه ملک و توده بومی اولیه ارتشی از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان خرم‌آباد تهیه گردیدند. پیش از کشت، قوه نامه و خلوص بذور مورد بررسی و از سلامت بذور اطمینان حاصل شد. تعداد کل کرت‌های آزمایش ۲۷ عدد بود. ابعاد هر کرت ۳×۴ متر شامل شش ردیف کاشت بود. کشت در تاریخ ۲۰ تیر ماه انجام شد. عملیات داشت به صورت دستی انجام گرفت. فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها روی ردیف کاشت ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و نیم و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. اسید هیومیک مورد استفاده با نام تجاری Magic Humic (مجیک) از شرکت سبز گل سبزواران تهیه شد. بر اساس آنالیز درج شده در مشخصات فنی محصول، این کود حاوی ۴۲ درصد اسید هیومیک، ۶ درصد اسید فولویک، ۱۲ درصد پتاسیم محلول در آب، ۵۰ درصد ماده آلی و ۳۶ درصد کربن آلی بود.

محلول‌پاشی در زمان شاخه‌دهی و گلدهی و با استفاده از سم‌پاش پستی انجام شد. به منظور جلوگیری از پاشش و انتقال محلول اسید هیومیک به کرت‌های مجاور و در نتیجه جلوگیری از تداخل تیمارها، در زمان محلول‌پاشی، خط‌های کاشت مجاور با استفاده از پوشش سفره یک‌بارمصرف پوشانده شدند. مراحل رشدی گیاه بر اساس مقیاس BBCH¹ مربوط به ماش تعیین و ثبت گردید. در هر مرحله، یک لیتر محلول نهایی برای هر کرت مصرف گردید. تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بر اساس مقدار کود تجاری Magic Humic در یک لیتر آب تهیه شدند؛ با توجه به دارا بودن ۴۲ درصد اسید هیومیک در این محصول، غلظت واقعی اسید هیومیک در محلول‌های مذکور به ترتیب ۲۱ و ۴۲ میلی گرم در لیتر بود. تیمار شاهد نیز با یک لیتر آب خالص در هر کرت اعمال شد.

در طی فصل رشد مواردی از آفات و بیماری مشاهده نشد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی در طی فصل رشد انجام شد. قبل از اجرای آزمایش، یک نمونه مرکب از چندین نقطه‌ی مرکز و چهار طرف زمین به طور تصادفی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متر خاک مزرعه نمونه برداری شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی تعیین گردید (جدول ۲). بر اساس جدول ۲ تجزیه شیمیایی خاک به عنوان کود پایه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود ازته (اوره) به عنوان کود پایه بکار برده شد.

جدول ۲- مشخصات خاک محل آزمایش

Table 2- Soil characteristics of experiment site

ظرفیت آب خاک در نقطه پژمردگی (درصد حجمی) PWP (%)	ظرفیت آب خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (درصد حجمی) FC (%)	آهک (درصد) CaO (%)	پتاسیم (قسمت در میلیون) K (ppm)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی (درصد) OC (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (ds. m ⁻¹)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	بافت خاک (سانتی متر) Soil texture	عمق خاک (سانتی متر) Soil depth
14.5	25.3	15	245	7	0.39	0.95	23	45	32	Silty clay	0-30

اندازه‌گیری درصد نیتروژن برگ با استفاده از روش کج‌لدال انجام شد. در این روش، نمونه ابتدا هضم شده و سپس نیتروژن آن به آمونیاک تبدیل می‌شود و در نهایت با تیتراسیون، مقدار نیتروژن اندازه گیری شد. به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ماش، پس از

¹ Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry

رسیدگی کامل محصول، برداشت از چهار ردیف میانی هر کرت با استفاده از کوادرات یک مترمربعی انجام شد. برای تعیین عملکرد بیولوژیک، نمونه‌ها پس از خشک شدن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت توزین و عملکرد ماده خشک محاسبه گردید. عملکرد دانه نیز پس از جداسازی غلاف‌ها و توزین دانه‌ها در رطوبت ۱۰ درصد بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک، وزن هزار دانه و سایر صفات اندازه‌گیری شدند. بدین منظور، ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت انتخاب و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. ارتفاع بوته و ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک، در مرحله رسیدگی کامل با استفاده از خط کش مدرج و بر حسب سانتی‌متر (میانگین ۱۰ بوته) اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. داده‌های به‌دست‌آمده ابتدا در نرم‌افزار اکسل ثبت شد و سپس برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS ۹/۴ استفاده گردید. به منظور ارزیابی فاکتورهای مختلف، تجزیه واریانس (ANOVA) انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل دامنه معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد استفاده شد. همچنین، روابط بین صفات با استفاده از ضریب همبستگی ساده پیرسون بررسی شد و به‌منظور تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مرتبط با عملکرد دانه، تحلیل مسیر (Path analysis) بر اساس ضرایب همبستگی انجام گرفت.

نتایج و بحث

تعداد شاخه جانبی در بوته

اثر ساده هیومیک اسید بر تعداد شاخه جانبی در بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. در حالی که اثر رقم و اثرات متقابل ارقام ماش و سطوح مختلف هیومیک اسید بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). در مقایسه میانگین تیمارها بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته معادل ۴/۱ در هیومیک اسید با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد. کمترین تعداد شاخه جانبی در بوته برابر ۳/۳ در هیومیک اسید با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۴). تعداد شاخه در بوته یکی از مهمترین صفات مؤثر بر تشکیل عملکرد و اجزای آن تحت سطوح مختلف مصرف اسید هیومیک دانست. افزایش کاربرد هیومیک اسید سبب افزایش تعداد شاخه فرعی گردید، این امر می‌تواند به دلیل اثرات هورمونی باشد که باعث بهبود جذب مواد غذایی و افزایش بیوماس ریشه و شاخساره می‌گردد به طوری که در یک مطالعه مشخص شد که بیشترین تعداد شاخه فرعی در کاربرد ۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک مشاهده گردید که افزایش ۳۴ درصدی صفت مذکور نسبت به شاهد (عدم کاربرد هیومیک اسید) را به همراه داشت (Haghshenas et al., 2025). اسید هیومیک حاوی ترکیباتی است که عملکردی شبیه به هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها دارند. این ترکیبات مستقیماً باعث تحریک سلول‌ها، فعال شدن جوانه‌های جانبی و تولید شاخه‌های جدید در گیاه می‌شوند. اسید هیومیک باعث گسترش حجم و طول ریشه‌ها می‌شود. ریشه قوی‌تر و وسیع‌تر، توانایی گیاه را برای جذب آب و مواد مغذی بالا می‌برد که این امر انرژی و مواد اولیه لازم برای تولید شاخه‌های جانبی را فراهم می‌کند. (Abdollahi et al., 2024). نتایج این مطالعه با پژوهش‌های الزبیدی و همکاران (Al-Zubaidi et al., 2023) که نشان دادند کاربرد اسید هیومیک، تعداد شاخه جانبی در بوته، عملکرد و کیفیت ماش را به طور قابل توجهی افزایش داد مطابقت دارد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در گیاه ماش

Table 3- Variance analysis of evaluated traits in mung bean plant

درصد نیتروژن برگ	شاخص برداشت	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	خشک	وزن	ارتفاع اولین شاخه فرعی	ارتفاع بوته	طول غلاف	وزن هزار دانه	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	تعداد شاخه جانبی در بوته	منابع تغییرات S.O.V
Leaf nitrogen percentage	HI	Seed yield	Biological yield	Pod dry weight	Pod length	Plant height	First branch height	Pod length	1000-seed weight	Number of seeds per pod	Number of pods per plant	Number of	df

		branches per plant				from soil level							
تکرار Replication	2	0.18 ^{ns}	0.22 ^{ns}	5.4 ^{ns}	74.4 ^{ns}	0.46 ^{ns}	13.5 ^{ns}	5.1 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.001 ^{ns}	7.09 ^{ns}	0.0008 ^{ns}
رقم Cultivar	2	1.09 ^{ns}	54 ^{**}	11.4 [*]	3141.2 ^{**}	6.9 [*]	187.9 [*]	36.4 ^{**}	0.005 ^{ns}	0.54 ^{**}	0.01 ^{ns}	45.2 ^{ns}	0.03 ^{ns}
اسید هیومیک Humic acid	2	1.93 [*]	1.8 ^{ns}	5.4 ^{ns}	145.6 [*]	0.42 ^{ns}	37.4 ^{ns}	29.1 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.5 ^{**}	0.07 ^{**}	2.1 ^{ns}	0.08 [*]
رقم × اسید هیومیک Cultivar × humic acid	4	0.67 ^{ns}	1.5 ^{ns}	3.1 ^{ns}	25.1 ^{ns}	3.2 ^{ns}	54.2 ^{ns}	11.6 ^{ns}	0.014 [*]	0.4 ^{**}	0.15 ^{**}	68.3 ^{**}	0.007 ^{ns}
خطا Error	16	0.38	1.28	1.2	33.8	1.6	32.8	8.2	0.003	0.05	0.007	12.9	0.012
ضریب تغییرات CV (%)		17.2	12.4	16.6	11	16.4	16.4	17.9	17.1	8.6	8.7	9.7	6.6

ns: غیر معنی دار و * و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی هیومیک اسید بر برخی از صفات زراعی گیاه ماش

هیومیک اسید Humic acid	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches per plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	درصد نیتروژن برگ Leaf nitrogen percentage
شاهد (محلول پاشی با آب خالص) Control (spraying with distilled water)	3.38 ^b	48.6 ^b	1.6 ^b
۵۰ میلی گرم بر لیتر 50 mg. L ⁻¹	4.1 ^a	53.2 ^{ab}	1.69 ^{ab}
۱۰۰ میلی گرم بر لیتر 100 mg. L ⁻¹	3.3 ^b	56.7 ^a	1.79 ^a

بر اساس آزمون LSD اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند اختلاف معنی دار ندارند.
Means with similar letters in each attribute do not differ significantly based on the LSD test.

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر ساده رقم بر تعداد غلاف در بوته در سطح پنج درصد معنی دار شد، در حالی که اثرات ساده تیمارهای هیومیک اسید و همچنین اثر متقابل رقم و هیومیک اسید بر این صفت معنی دار نشدند (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف در بوته معادل ۱۱/۷ در توده بومی اولیه ارتشی و کمترین تعداد غلاف در بوته معادل ۷ غلاف در بوته در توده بومی ثانویه ملک بدست آمد (جدول ۵). عدم معنی داری اثر اسید هیومیک بر تعداد غلاف در بوته، در حالی که این تیمار برخی صفات دیگر از جمله تعداد شاخه جانبی، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد نیتروژن برگ را تحت تاثیر قرار داد، نشان می دهد که پاسخ صفات مختلف گیاه به کاربرد اسید هیومیک یکسان نیست. به نظر می رسد در شرایط این آزمایش، تشکیل غلاف بیشتر تحت تاثیر تفاوت های ژنتیکی بین توده های مورد بررسی قرار گرفته و کاربرد اسید هیومیک نتوانسته است تغییر معنی داری در این جزء عملکرد ایجاد کند. از سوی دیگر، معنی دار شدن وزن هزار دانه و برخی صفات رشد (جدول ۴) نشان می دهد که پاسخ ماش به اسید هیومیک در این آزمایش بیشتر در صفات مرتبط با رشد رویشی و پر شدن دانه بروز کرده است تا در تعداد غلاف در بوته. بنابراین، نمی توان اثر اسید هیومیک بر افزایش عملکرد را صرفا به افزایش تعداد غلاف

نسبت داد و برای تفسیر تغییرات عملکرد دانه باید سهم سایر اجزای عملکرد، به‌ویژه تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه، نیز مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی رقم بر برخی از صفات زراعی گیاه ماش

Table 5- Mean comparison of the main effect of cultivar on some agronomic traits of mung bean plant

رقم Cultivar	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	طول غلاف (سانتی‌متر) Pod length (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک (سانتی‌متر) First branch height from soil level (cm)
۱ توده بومی اولیه ارتشی Primary Landrace Arteshi	11.7 ^a	7.6 ^b	32.7 ^c	6.8 ^b	31.1 ^b	14.07 ^b
توده بومی ثانویه ملک Secondary Landrace Malek	7 ^c	9.8 ^a	56.1 ^b	7.7 ^{ab}	33.4 ^b	15.7 ^{ab}
رقم عمرانی Cultivar Omrani	8.4 ^b	9.8 ^{ab}	69.7 ^a	8.5 ^a	39.9 ^a	18.07 ^a

بر اساس آزمون LSD اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters in each attribute do not differ significantly based on the LSD test.

وزن هزار دانه

اثرات ساده ارقام ماش و سطوح مختلف هیومیک اسید بر وزن هزار دانه به ترتیب در سطح یک درصد و پنج معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده این دو عامل بر وزن هزار دانه نشان داد که رقم عمرانی با وزن هزار دانه معادل ۶۹/۷ گرم نسبت به سایر توده‌های بومی مورد آزمایش برتری داشت (جدول ۵) و در بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف هیومیک اسید نشان داده شد که بیشترین وزن هزار دانه برابر ۵۶/۷ گرم مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ میلی گرم در لیتر حاصل شد (جدول ۴). احتمالاً کاربرد هیومیک اسید باعث افزایش محتوای کلروفیل برگ‌ها و به تعویق انداختن پیری آن‌ها شده و گیاه مدت زمان بیشتری فتوسنتز کرده و کربوهیدرات بیشتری را به سمت مخزن‌ها (غلاف و دانه‌ها) هدایت می‌کند. بنابراین افزایش تولید کربوهیدرات در برگ‌ها و سپس انتقال آن به مخزن موجب افزایش وزن دانه‌ها می‌شود (Abead et al., 2018). در مطالعه‌ای کاربرد هیومیک اسید در غلظت ۹ گرم در لیتر بالاترین میانگین وزن هزار دانه ۳۶/۲۰ گرم را در مقایسه با عدم کوددهی که برابر ۳۱/۷۴ گرم بود، افزایش ۱۴/۰۵ درصدی نشان داد (Al-Zubaidi et al., 2023). کاربرد برگی اسیدهای آمینه و کاربرد خاکی هیومیک اسید بر صفات کمی ماش سبز موثر بود. بر این اساس بیشترین ارتفاع بوته و سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن دانه با کاربرد همزمان اسید آمینه و هیومیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب حاصل شد (Azimbakloo et al., 2026). برای داشتن بیشترین وزن هزار دانه در ماش، مصرف اسید هیومیک در مراحل حساس رشد زایشی مانند قبل از گلدهی و زمان گلدهی بسیار موثر است و گیاه در بهترین شرایط فیزیولوژیکی برای انتقال مواد غذایی به دانه، قرار دارد (Haghshenas et al., 2025). در این تحقیق نیز هیومیک اسید در دو مرحله شاخه دهی و گلدهی استفاده شد که با نتایج حق شناس و همکاران مطابقت دارد.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده رقم، هیومیک اسید و اثرات متقابل این دو، فقط اثر اصلی رقم بر ارتفاع بوته در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۳). در بررسی مقایسه میانگین اثرات ساده رقم بر این صفت مشخص گردید که بیشترین ارتفاع برابر ۳۹/۹ سانتی‌متر به رقم عمرانی و کمترین آن معادل ۳۱/۱ سانتی‌متر به توده بومی اولیه ارتشی مربوط بود (جدول ۵). ارتفاع بیشتر رقم عمرانی احتمالاً ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی میان ارقام مورد بررسی و ویژگی‌های رشدی متفاوت آن‌ها است که با نتایج سایر مطالعات نیز

همخوانی دارد (Fazeli et al., 2022). با توجه به اینکه در پژوهش حاضر صفاتی مانند فتوسنتز، کلروفیل و جذب عناصر غذایی اندازه‌گیری نشدند، نمی‌توان افزایش ارتفاع بوته را به‌طور مستقیم به بهبود این فرایندهای فیزیولوژیک نسبت داد. با این حال، گزارش شده است که پاسخ صفات رشدی ماش می‌تواند تحت تأثیر تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام قرار گیرد (Fazeli et al., 2022).

طول غلاف

نتایج تجزیه واریانس پاسخ ارقام ماش به سطوح مختلف هیومیک اسید نشان داد که اثر ساده رقم بر طول غلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار شد ولی اثرات ساده هیومیک اسید و اثرات متقابل رقم و هیومیک اسید بر طول غلاف معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین طول غلاف برابر ۸/۵ سانتی‌متر در رقم عمرانی و کمترین آن معادل ۶/۸ سانتی‌متر در توده بومی اولیه ارتشی حاصل شد (جدول ۵). طول غلاف در حبوبات یک صفت با توارث‌پذیری بالا است. این یعنی پتانسیل حداکثری اندازه طول غلاف، پیش از هر چیز توسط ژنتیک گیاه تعیین می‌شود (Vavilapalli et al., 2013) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عدم تأثیر هیومیک اسید بر عملکرد گیاه بر طول غلاف می‌تواند متأثر از ژنتیکی بودن این صفت است. طول غلاف در رقم عمرانی که یک رقم اصلاح شده است بهتر از دو توده بومی دیگر بود که این بیانگر ژنتیکی بودن این صفت می‌باشد. تحقیقات نشان داد که طول غلاف دارای کمترین مقدار شاخص حساسیت در برابر عوامل محیطی و زراعی است (Skandamejad et al., 2017).

وزن خشک غلاف

تجزیه واریانس واکنش ارقام ماش به سطوح مختلف هیومیک اسید نشان داد که اثرات ساده رقم و اسید هیومیک بر وزن خشک غلاف معنی‌دار نشد در حالی که اثرات متقابل رقم و هیومیک اسید بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و هیومیک اسید بر وزن خشک غلاف نشان داد که بیشترین وزن خشک غلاف برابر ۰/۴۵ تن در هکتار در توده بومی ثانویه ملک و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید و کمترین آن معادل ۰/۲۵ تن در هکتار در توده بومی ارتشی و ۱۰۰ میلی‌لیتر هیومیک اسید حاصل شد (جدول ۶). این نتایج نشان می‌دهد که واکنش ارقام ماش به کاربرد هیومیک اسید به ویژگی‌های ژنتیکی هر رقم و میزان تعادل مواد غذایی موجود در محیط بستگی دارد. به‌طور خاص، توده بومی ثانویه ملک ممکن است به دلیل ویژگی‌های ژنتیکی برتر یا توانایی بهتر در جذب و استفاده از عناصر غذایی موجود در محیط، پاسخ مثبتی به سطوح پایین‌تر هیومیک اسید نشان داده باشد. از سوی دیگر، در توده بومی اولیه ارتشی، احتمالاً سطوح بالاتر هیومیک اسید باعث ایجاد تنش اسمزی یا اختلال در تعادل جذب عناصر غذایی شده است. به طور کلی، استفاده از هیومیک اسید می‌تواند به بهبود رشد گیاه و جذب مواد مغذی کمک کند، اما سطوح بهینه آن بسته به نوع گیاه و شرایط محیطی متفاوت است. مطالعات همراستا نشان می‌دهند که واکنش گیاهان به هیومیک اسید به ویژگی‌های رقم و شرایط محیطی وابسته است. به عنوان مثال، تحقیقات نشان داد که سطوح معتدل هیومیک اسید می‌تواند به بهبود جذب مواد غذایی و افزایش وزن خشک در حبوبات کمک کند، اما سطوح بالاتر ممکن است به دلیل تغییر در ساختار خاک و عدم تعادل در فراهمی عناصر غذایی، اثرات منفی داشته باشد (Huzien et al., 2022). همچنین، نتایج مشابهی در مورد لوبیا گزارش شده است که نشان‌دهنده واکنش مثبت ارقام بومی به سطوح پایین هیومیک اسید است (Aytaç et al., 2024).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش رقم و هیومیک اسید بر برخی از صفات زراعی گیاه ماش

Table 6- Mean Comparison of cultivar and humic interaction acid on some agronomic traits of mung bean plant

شخص برداشت (درصد) HI (%)	عملکرد دانه (تن در هکتار) Seed yield (t. ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) Biological yield (t. ha ⁻¹)	وزن خشک غلاف (تن در هکتار) Pod dry weight (t. ha ⁻¹)	هیومیک اسید Humic acid	رقم Cultivar
41.9 ^a	1.05 ^a	2.5 ^a	0.36 ^a	شاهد (محلول پاشی با آب خالص) Control (spraying with distilled water)	توده بومی اولیه ارتشی Primary Landrace Arteshi
40.4 ^a	1 ^a	2.49 ^a	0.3 ^{ab}	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50 mg.L ⁻¹	
34.3 ^b	0.7 ^b	2.04 ^b	0.25 ^b	۱۰۰ میلی گرم بر لیتر 100 mg.L ⁻¹	
38.3 ^{ab}	0.87 ^b	2.27 ^b	0.27 ^b	شاهد (محلول پاشی با آب خالص) Control (spraying with distilled water)	توده بومی ثانویه ملک Secondary Landrace Malek
36.2 ^{ab}	1.15 ^a	3.2 ^a	0.45 ^a	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50 mg.L ⁻¹	
36 ^{ab}	0.93 ^b	2.56 ^b	0.33 ^{ab}	۱۰۰ میلی گرم بر لیتر 100 mg.L ⁻¹	
28.6 ^b	0.69 ^b	2.42 ^b	0.3 ^a	شاهد (محلول پاشی با آب خالص) Control (spraying with distilled water)	رقم عمرانی Cultivar Omrani
35.3 ^{ab}	1.01 ^b	2.9 ^b	0.37 ^a	۵۰ میلی گرم بر لیتر 50 mg.L ⁻¹	
39.2 ^a	1.23 ^a	3.15 ^a	0.38 ^a	۱۰۰ میلی گرم بر لیتر 100 mg.L ⁻¹	

بر اساس آزمون LSD اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، اختلاف معنی دار ندارند.

Means with similar letters in each attribute do not differ significantly based on the LSD test.

ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک

در حالی که اثر ساده رقم بر ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک در سطح یک درصد معنی دار شد، اثر ساده هیومیک اسید و اثرات متقابل رقم و هیومیک اسید بر این صفت معنی دار نشد (جدول ۳). بیشترین ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک برابر ۴۰/۲ سانتی متر در رقم عمرانی بدست آمد و کمترین آن در توده بومی اولیه ارتشی مشاهده شد (جدول ۵). ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک تحت تأثیر نوع رقم ماش قرار دارد. اولین ارتفاع شاخه های فرعی از سطح خاک می تواند یک صفت مهم برای امکان برداشت مکانیزه ماش در نظر گرفته شود. غلاف هایی که روی شاخه های پایینی نزدیک سطح خاک تشکیل شوند، امکان برداشت مکانیزه را کاهش می دهند، این تفاوت می تواند به اصلاحات ژنتیکی و بهبود صفات رشد در ارقام اصلاح شده مرتبط باشد. ارقام اصلاح شده معمولاً به دلیل بهبود در کارایی فتوسنتز و توزیع بهتر مواد مغذی، رشد بهتری دارند (Dabalo, 2023). گرچه در برخی تحقیقات نشان داده شد که مدیریت تغذیه و محرک های رشد تأثیر معنی داری بر ارتفاع اولین شاخه فرعی و ارتفاع اولین غلاف دارند. به طوری که مصرف نیتروژن با افزایش ارتفاع گیاه باعث شد اولین شاخه فرعی در ارتفاع بالاتری تشکیل شود. ولی نهایتاً تأکید می گردد که این امر بستگی بالایی به خصوصیات ژنتیکی رقم مورد استفاده دارد (Amerian et al., 2021).

عملکرد بیولوژیک

تجزیه واریانس داده‌ها مشخص نمود که اثر متقابل تیمار رقم و هیومیک اسید بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک معادل ۳/۲ تن در هکتار در توده بومی ثانویه ملک و مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید حاصل شد. هر چند با رقم عمرانی و مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). این امر نشان می‌دهد که این توده بیشترین سازگاری را با این سطح از هیومیک اسید داشته و توانسته است از مزایای آن در افزایش زیست‌توده بهره‌مند شود. احتمالاً این سطح از هیومیک اسید باعث بهینه‌سازی شرایط رشد و افزایش کارایی فتوسنتزی در این رقم شده است. کمترین عملکرد بیولوژیکی برابر ۲/۰۴ تن در هکتار در توده بومی اولیه ارتشی و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید حاصل شد (جدول ۶). این تفاوت می‌تواند ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی این ارقام باشد. معمولاً توده‌های بومی ثانویه نسبت به توده‌های اولیه، سازگاری بیشتری به شرایط محیطی دارند و کارایی بهتری در استفاده از منابع خاک و آب نشان می‌دهند. تحقیقات نشان داد که محلول‌پاشی برگ‌ی هیومیک اسید به طور قابل توجهی ویژگی‌های رشد، اجزای عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده (شاهد) بهبود بخشید. اثرات متقابل بین رقم و مقادیر مصرف هیومیک اسید به طور قابل توجهی بر صفات عملکرد تأثیر داشت. محلول‌پاشی برگ‌ی هیومیک اسید ممکن است یک رویکرد زراعی امیدوارکننده برای بهبود بهره‌وری ماش و کیفیت تغذیه‌ای بذر در خاک باشد (Sabra et al., 2026).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل رقم و هیومیک اسید بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه برابر ۱/۲۳ تن در هکتار در رقم عمرانی و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید بدست آمد که با توده بومی ثانویه ملک و مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید نیز عملکرد دانه‌ای معادل ۱/۱۵ تن در هکتار در یک گروه قرار داشت. کمترین عملکرد دانه در رقم عمرانی و عدم کاربرد هیومیک اسید حاصل شد (جدول ۶). این نتایج بیانگر این مهم است که توده بومی ثانویه ملک نسبت به رقم عمرانی و توده بومی اولیه ارتشی دارای ویژگی‌های ژنتیکی مثبتی در صفاتی نظیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در واکنش به مصرف هیومیک اسید دارد. به نظر می‌رسد هیومیک اسید به عنوان یک اسید آلی طبیعی و سازگار با محیط زیست، اثر مثبتی بر جذب مواد غذایی توسط گیاهان زراعی دارد و برای انتقال و در دسترس بودن عناصر ریزمغذی در گیاه بسیار مهم است. در این راستا گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک با بهبود ساختار خاک و خاصیت کلات‌کنندگی، جذب نیتروژن و فسفر را توسط ریشه‌ها به حداکثر می‌رساند که ماده اصلی برای رشد و عملکرد گیاه است (Abdollahi et al., 2024).

مقایسه اجزای عملکرد نشان داد که افزایش عملکرد در رقم عمرانی عمدتاً با افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در غلاف همراه بود؛ به‌طوری‌که وزن هزار دانه در رقم عمرانی با میانگین ۶۹/۷ گرم به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو توده بومی بود (جدول ۵) و کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید نیز وزن هزار دانه را از ۴۸/۶ گرم در شاهد به ۵۶/۷ گرم افزایش داد (جدول ۴). همچنین، در رقم عمرانی، تعداد دانه در غلاف در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در مقابل، تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر سطوح هیومیک اسید قرار نگرفت (جدول ۳)، بنابراین افزایش عملکرد دانه را نمی‌توان به افزایش تعداد غلاف نسبت داد.

این الگو با نتایج همبستگی نیز تا حدودی پشتیبانی می‌شود؛ به‌طوری‌که وزن هزار دانه با تعداد غلاف در بوته ($r=61^*$) و تعداد دانه در غلاف ($r=41^*$) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت، در حالی‌که همبستگی عملکرد دانه با این اجزا در داده‌های حاضر معنی‌دار نبود (جدول ۷). بنابراین، اگرچه افزایش وزن هزار دانه و تغییر در تعداد دانه در غلاف در تیمارهای برتر مشاهده شد، بر اساس تحلیل همبستگی نمی‌توان رابطه علت و معلولی میان این صفات و عملکرد دانه را اثبات کرد. به نظر می‌رسد پاسخ عملکرد دانه به هیومیک اسید در ارقام مختلف ماش متفاوت بوده و احتمالاً برهم‌کنش ویژگی‌های ژنتیکی رقم با سطح مصرف هیومیک اسید در تعیین عملکرد نهایی نقش داشته است. نتایج حاضر همچنین نشان می‌دهد که اثر مثبت هیومیک اسید بر عملکرد دانه در رقم عمرانی در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشتر از آنکه ناشی از افزایش تعداد غلاف باشد، با تغییر در برخی اجزای مرتبط با تشکیل و پر شدن دانه همراه بوده است.

جدول ۷- همبستگی ساده بین صفات زراعی مورد بررسی در گیاه ماش

Table 7- Simple correlation among the agronomic traits evaluated in mung bean plant

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
Y1	1											
Y2	0.18	1										
Y3	0.05	-0.58*	1									
Y4	-0.35	0.61*	0.41*	1								
Y5	-0.02	-0.34	0.20	0.52*	1							
Y6	0.10	-0.22	0.22	0.52*	0.84*	1						
Y7	-0.65*	-0.36	-0.08	0.39*	0.33	0.23	1					
Y8	0.26	0.01	0.19	0.34	0.54*	0.59*	-0.09	1				
Y9	0.20	-0.23	0.33	0.50*	0.62*	0.66*	-0.05	0.75*	1			
Y10	0.38*	-0.10	0.29	0.26	0.63*	0.61*	-0.23	0.68*	0.76*	1		
Y11	0.33	0.12	0.06	-0.25	0.21	0.13	-0.27	0.14	-0.05	0.60*	1	
Y12	-0.32	-0.02	0.07	0.41*	0.12	0.17	-0.12	-0.03	0.18	0.09	-0.10	1

Y1: تعداد شاخه جانبی در بوته، Y2: تعداد غلاف در بوته، Y3: تعداد دانه در غلاف، Y4: وزن هزار دانه، Y5: طول غلاف، Y6: ارتفاع بوته، Y7: ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک، Y8: وزن

خشک غلاف، Y9: عملکرد بیولوژیک، Y10: عملکرد دانه، Y11: شاخص برداشت، Y12: درصد نیتروژن برگ. * نشان دهنده همبستگی معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است.

Y1: Number of branches per plant; Y2: Number of pods per plant; Y3: Number of seeds per pod; Y4: 1000-seed weight; Y5: Pod length; Y6: Plant height; Y7: First branch height from soil level; Y8: Pod dry weight; Y9: Biological yield; Y10: Seed yield; Y11: HI; Y12: Leaf nitrogen percentage. * indicates a significant correlation at 5% probability level.

شاخص برداشت

شاخص برداشت در واکنش به اثرات متقابل رقم و هیومیک اسید در سطح یک درصد معنی دار گردید (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت برابر ۴۱/۹ و ۴۰/۴ درصد به ترتیب در توده بومی اولیه ارثی و کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر و عدم کاربرد هیومیک اسید و کمترین آن معادل ۲۸/۶ درصد در رقم عمرانی و عدم کاربرد هیومیک اسید حاصل شد (جدول ۴). در مطالعه همراستایی نتایج نشان داده شد که ترکیب کودهای آلی، از جمله هیومیک اسید، تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های رشد و عملکرد داشت و شاخص برداشت را ۳۶ درصد افزایش داد (Kumari et al., 2023). البته همانطور که نتایج نشان می‌دهند بنظر می‌رسد واکنش شاخص برداشت در ارقام مختلف ماش به کاربرد و عدم کاربرد هیومیک اسید متفاوت می‌باشد. بنحوی که شاخص برداشت در توده بومی اولیه ارثی در تیمار عدم مصرف هیومیک اسید بیشترین بود در حالی که این صفت در رقم عمرانی و کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر هیومیک اسید نیز بالا (۳۹/۲ درصد) بود. محققین نشان دادند که همه اجزای عملکرد به جز شاخص برداشت به مصرف هیومیک اسید واکنش مثبت نشان دادند (Sabra et al., 2026).

درصد نیتروژن برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم بر درصد نیتروژن برگ معنی دار نبود، در حالی که اثر هیومیک اسید بر این صفت در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن برگ (۱/۷۹ درصد) در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر هیومیک اسید مشاهده شد که با تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتر (۱/۶۹ درصد) اختلاف معنی داری نداشت، اما نسبت به شاهد (۱/۶ درصد) افزایش

معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیز از نظر آماری با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. بنابراین، بر اساس نتایج این پژوهش، افزایش معنی‌دار درصد نیتروژن برگ در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد و نمی‌توان غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر را بر اساس این صفت به‌عنوان تیمار برتر توصیه کرد. افزایش درصد نیتروژن برگ در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند نشان‌دهنده بهبود وضعیت تغذیه نیتروژنه گیاه در اثر کاربرد هیومیک اسید باشد؛ با این حال، از آنجا که جذب واقعی نیتروژن یا کارایی مصرف نیتروژن در این آزمایش اندازه‌گیری نشده است، تفسیر این افزایش باید به همین صفت محدود شود.

تحلیل همبستگی و تحلیل مسیر اجزای عملکرد و عملکرد دانه

نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که بین برخی از اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارتباط قابل توجهی وجود داشت. عملکرد دانه با وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت ($r=0.50, P<0.05$)، در حالی که همبستگی آن با تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود (جدول ۷). همچنین، بین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ($r=-0.58$) و بین تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه ($r=-0.61$) همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده شد که می‌تواند بیانگر وجود نوعی رابطه جبرانی بین این اجزای عملکرد باشد. بر این اساس، همبستگی ساده به تنهایی نمی‌تواند بیانگر اثر مستقیم یا رابطه علت و معلولی بین صفات باشد؛ بنابراین، برای تعیین سهم مستقیم و غیرمستقیم اجزای اصلی عملکرد در تغییرات عملکرد دانه، تحلیل مسیر انجام شد.

به‌منظور تفکیک اثرات مستقیم و غیرمستقیم اجزای عملکرد بر عملکرد دانه، تحلیل مسیر انجام شد. نتایج نشان داد که وزن هزار دانه با ضریب مسیر مستقیم ۰/۷۱، بیشترین اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه داشت (جدول ۸). تعداد شاخه جانبی نیز دارای اثر مستقیم مثبت نسبتاً بالا (۰/۴) بود، اما اثر غیرمستقیم منفی آن از طریق وزن هزار دانه موجب شد همبستگی ساده آن با عملکرد دانه پایین و غیرمعنی‌دار باشد. تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف نیز به‌ترتیب دارای اثر مستقیم ۰/۰۲ و ۰/۱۳ بودند، اما اثرات غیرمستقیم آن‌ها، به‌ویژه از طریق وزن هزار دانه، موجب کاهش اثر نهایی آن‌ها بر عملکرد شد. در مجموع، مدل تحلیل مسیر حدود ۴۳/۴ درصد از تغییرات عملکرد دانه را از طریق چهار جزء عملکرد مورد بررسی تبیین کرد. بنابراین، در شرایط این آزمایش، وزن هزار دانه مهم‌ترین صفت برای تبیین عملکرد دانه و احتمالاً مناسب‌ترین معیار انتخاب در میان اجزای عملکرد مورد بررسی بود.

جدول ۸- ضرایب مسیر مستقیم و غیرمستقیم اجزای عملکرد بر عملکرد دانه ماش

Table 8- Direct and indirect path coefficients of yield components on seed yield of mung bean

صفت Trait	اثر مستقیم Direct effect	غیرمستقیم از Y1 Indirect via Y1	غیرمستقیم از Y2 Indirect via Y2	غیرمستقیم از Y3 Indirect via Y3	غیرمستقیم از Y4 Indirect via Y4	مجموع اثرات Total effect	همبستگی با عملکرد Correlation with seed yield
تعداد شاخه جانبی Number of branches per plant (Y1)	0.42	-	0.038	0.006	-0.245	0.201	0.201
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant (Y2)	0.204	0.075	-	-0.077	-0.434	-0.232	-0.232
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod (Y3)	0.132	0.020	-0.119	-	0.295	0.328	0.328
وزن هزار دانه 1000-seed weight (Y4)	0.710	-0.139	-0.124	0.055	-	0.502	0.502*

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که زمینه ژنتیکی، عامل مهم‌تری در تعیین ظرفیت رشد و عملکرد ماش در شرایط آزمایش بود و پاسخ به اسید هیومیک در همه صفات و ژنوتیپ‌ها یکسان نبود. بنابراین، افزایش عملکرد را نمی‌توان صرفاً به کاربرد اسید هیومیک نسبت داد و توصیه مصرف آن باید بر اساس پاسخ واقعی ژنوتیپ و شرایط محیطی صورت گیرد. در میان مواد ژنتیکی مورد بررسی، عمرانی از ظرفیت عملکردی مطلوب‌تری برخوردار بود و از این نظر می‌تواند در شرایط مشابه مورد توجه قرار گیرد. از جنبه کاربردی، یافته مهم پژوهش این است که انتخاب ژنوتیپ مناسب باید در اولویت راهکارهای افزایش عملکرد قرار گیرد و استفاده از اسید هیومیک به‌عنوان یک نهاده مکمل، بدون توجه به زمینه ژنتیکی گیاه، نمی‌تواند به‌عنوان راهکار عمومی افزایش عملکرد توصیه شود. این موضوع اهمیت بررسی هم‌زمان ژنوتیپ و مدیریت نهاده را در برنامه‌های به‌زراعی ماش نشان می‌دهد.

همچنین، بررسی روابط بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با برخی اجزای عملکرد و صفات مرتبط با تولید ماده خشک ارتباط دارد. استفاده از تحلیل مسیر در کنار همبستگی ساده امکان تفکیک روابط مستقیم و غیرمستقیم صفات با عملکرد دانه را فراهم کرد و از این نظر، چارچوب مناسب‌تری برای شناسایی صفات قابل استفاده در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب نسبت به اتکا به همبستگی ساده ارائه می‌دهد. در نهایت، با توجه به اینکه در این پژوهش صفاتی مانند فتوسنتز، جذب عناصر غذایی و سایر شاخص‌های فیزیولوژیک مستقیماً اندازه‌گیری نشدند، تغییرات مشاهده‌شده را نمی‌توان به‌طور قطعی به این سازوکارها نسبت داد. از این‌رو، مطالعات آینده باید با بررسی سطوح و روش‌های مختلف کاربرد اسید هیومیک، در کنار اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیک و تغذیه‌ای، مشخص کنند که آیا پاسخ مشاهده‌شده ناشی از تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیک و تغذیه‌ای گیاه است یا خیر.

سپاسگزاری: از دانشگاه لرستان به دلیل حمایت مالی و تامین امکانات آزمایشگاهی برای انجام این تحقیق در قالب رساله کارشناسی ارشد تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Abdollahi, A., Hamzehei, J., Alivardi, A., & Nemati, A. (2024). Effect of humic acid on crop production and land use efficiency in intercropping of wheat and lentils under rainfed conditions. *Crop Production*, 17 (3), 43-64. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2024.22269.2621>
- Abead, H. M., Hammadi, H. J., & Salama, M. A. (2018). Effect of humic acid foliar in the growth, yield and quality of several genotypes four of (*vicia faba* L.). *Anbar Journal of Agricultural Sciences*. 16, 52-61. <https://doi.org/10.32649/aagrs.2022.170520>
- Al-Zubaidi, N. A. J., & Al-Shammari, A. F. A. (2023). The effect of biofertilization and organic fertilization and the interaction between them on the yield characteristics and components of the mung bean plant (*Vigna radiata* L.). *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences* 11, 397-402. <https://doi.org/10.22194/JGIAS/11.1099>
- Amerian, M., Nakh Zari Moghaddam, A., Biabani, A., & Mollashahi, M. (2021). Investigation of morphological traits, yield and yield components of mung bean under nitrogen and megafol fertilizer. *Crop Production*, 14(1), 185-198. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/EJCP.2021.18776.2397>

- Aytaç, E., Ünlü, H., Erkan, İ. E., & Akçay, U. Ç. (2024). Humic acid mitigates drought stress in tomato. Bilge. *International Journal of Science and Technology Research*, 8(1), 27-37. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.1421304>
- Azimbakloo, N., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Heidarzadeh, A. (2026). Effects of humic acid and amino acid foliar application on biochemical traits, and grain weight of mung bean (*Vigna radiata* L.) under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2026.406081.655169>.
- Dabalo, B., Afeta, T., Shumi, D., & Neguse, R. (2024). Adaptability Study of Improved Mung Bean (*Vigna radiata*) Varieties in Moisture Stress Areas of Guji Zone, Southern Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 12(1), 16-20. <https://doi.org/10.11648/j.jps.20241201.13>
- Daneshvar Hakimi Maibodi, N., Kafi, M., Nikbakht, A., & Rejali, F. (2015). Effect of foliar applications of humic acid on growth, visual quality, nutrients content and root parameters of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 38(2), 224-236. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.939759>
- Skandarnejad, S., Gholipoor, M., & Makarian, M. (2017). Study of effect of different water shortage levels on biochemical traits and yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10 (2), 193-201. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.1396.576>
- Fatemi Devin, R., Hosseini, S., Hosain Moghadam, B., & Motesharezadeh, B. (2021). Effect of organic and bio-fertilizers and additive and replacement intercropping systems on corn (*Zea maize* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yields. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), 133-145. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.286433.654634>.
- Fazeli, S. B., Rahnama, A., Hassibi, P. (2022). Effect of waterlogging stress on yield and yield components and photosynthetic characteristics of two mung bean cultivars in Ahvaz conditions. *Plant Productions*, 45(1), 95-108. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.30538.1805>
- Haghshenas, A., Azizi, K., Bakhtiari, N., & Heidari, S. (2025). Evaluation of photosynthetic pigments, yield and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L) in response to humic acid application and irrigation interruption. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(1), 217-233. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/esrar.2023.379755.1310>.
- Hosseini Nik, M. H., Shokoehfar, A., & Payandeh, K. (2022). The effect of combining humic acid and potassium nanochelate fertilizer on yield, yield components and protein percentage of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(2), 50-61. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2202-1022>
- Huang, Z., Li, Y., Fan, M., Qian, H., & Wang, L. (2024). Recent advances in mung bean protein: From structure, function to application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 273(2), 133210. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133210>
- Huzien, G. A. M., Ibrahim, M. M., Khalifa, Y. A. M., & Mahdy, A. Y. (2022). Response of two soybean (*Glycine max* L.) cultivars to different levels of humic acid and mineral fertilization. *Archives of Agriculture Sciences Journal*, 5(3), 1-12. <https://doi.org/10.21608/aasj.2022.266402>.
- Kahraman, A. (2017). Effect of humic acid doses on yield and quality parameters of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cultivars. *Legume Research-An International Journal*, 40(1), 155-159. <https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.3763>.

- Kumari, S., Kumar, R., Chouhan, S., & Chaudhary, P. L. (2023). Influence of various organic amendments on growth and yield attributes of mung bean (*Vigna radiata* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(12), 124-130. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i122975>
- Naeemi, M., Avarseji, Z., & Ahangar, L. (2025). Investigating the effect of organic biostimulants and different levels of chemical fertilizers on the growth, yield components and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 215-226. (In Persian). <https://doi.org/22067/ijpr.2025.91464.1102>.
- Rezapourian Ghahfarkhi, F., Galeshi, S., Zeinali, E., & Torabi, B. (2020). The effect of inoculation with growth-promoting bacteria, mycorrhizae and phosphorus levels on yield and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 11(1), 134-151. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i1.73888>
- Sabra, D. M., Badr, E. A., Magda, H. M., & Amin, G. A. (2026). Foliar application of humic acid improves growth, yield, and nutritional quality of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under newly reclaimed soil conditions. *Scientific Reports*, 16(1), 12726. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-47151>
- Sadeghi Kochsafhani, P., Mirkalaei, S. A. M., Moballeghi, M., Samdeliri, M., & Akbarpour, M. (2024). The effect of biological and organic fertilizers on the quantitative and qualitative production of mung bean under water deficit stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(8), 1345-1358. (In Persian). <https://doi.org/0.22059/ijswr.2024.373798.669678>
- Suhag, M. (2016). Potential of biofertilizers to replace chemical fertilizers. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3(5), 163-167. <https://doi.org/10.17148/IARJSET.2016.3534>
- Vavilapalli, S., Celine, V. A., Duggi, S., Padakipatil, S., & Magadum, S. (2013). Genetic Variability and Heritability Studies in Bush Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Legume Genomics and Genetics*, 4(4), 27-31. <https://doi.org/10.5376/lgg.2013.04.0004>