



University of Tehran Press

Effects of Humic Acid and Amino Acids Foliar Application on Biochemical Traits, and Grain Weight of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) under Water Deficit Stress Conditions

Nadia Azimbakloo¹ | Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy² | Ali Heidarzadeh³

1. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email: n.azimbakloo@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email: modaresa@modares.ac.ir
3. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: November 18, 2025

Revised: January 15, 2026

Accepted: January 17, 2026

Keywords:

Drought stress,
leaf area,
mung beans,
number of seeds per plant,
plant height.

Extended Abstract

Introduction. Legumes, as a source of plant protein, are considered as one of the most valuable agricultural products, playing a significant role in meeting the food needs of developing countries. Green mung beans, being small grain legumes with a high protein content (22-25%), amino acids, minerals, and vitamins, are particularly valued. However, water scarcity stress, one of the most important factors limiting crop production, has hindered the cultivation of this crop in Iran. Drought stress leads to physiological, biochemical, metabolic disorders, and oxidative stress in plants, making it one of the most crucial non-living stresses. Various methods are employed to mitigate the adverse effects of drought stress and enhance plant tolerance, including the use of organic compounds such as amino acids and humic acid. These compounds can stimulate plant growth and development under optimal conditions and stress. Amino acids play direct and indirect roles in physiological metabolism, exchange, and structural activities, such as increasing the concentration of photosynthetic pigments, enhancing the rate of photosynthesis, and promoting protein synthesis under stress conditions. Humic acid, with its polymeric structure, enhances cell membrane permeability, stimulates root growth, and improves water and nutrient absorption by roots. Consequently, it increases the relative water content of leaves under stress conditions, mitigating the adverse effects of stress. Considering the importance of legumes in the diet and the challenges of water scarcity in arid and semi-arid regions of the country, this research aimed to study the effects of humic acid and amino acid foliar application on the yield and yield components of mung bean plants under water stress conditions.

Materials and Methods. To investigate the effects of humic acid and various levels of amino acid on mung bean yield and yield components under water stress conditions, a factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in a greenhouse with open vents. The experiment took place in Urmia city, West Azerbaijan province, during the 1401 growing season. The experimental factors included three irrigation regimes (optimal irrigation, mild stress, and severe stress), six levels of commercial amino acid foliar application (1. no foliar spraying, 2. foliar spraying with distilled water, 3-1 gram, 4-2 grams, 5-3 grams, and 6-4 grams of amino acids per liter of water), and two levels of humic acid application (1. application of 0.1 gram of humic acid and 2. no application of humic acid). Statistical analysis was performed using SAS 9.4, and mean comparisons were based on the LSD method at a 5% probability level.

Results and Discussion. The results revealed that the highest plant height (26.58 cm) was obtained from the application of humic acid with three grams of amino acids under optimal irrigation conditions. Additionally, the highest leaf area (51.7 cm²) was observed with the application of two grams of amino acids and humic acid under optimal irrigation conditions. The highest number of seeds per plant (26.2) was obtained from the application of humic acid under optimal irrigation conditions, leading to the highest grain weight (1883.3 mg plant⁻¹) with foliar spraying of two grams of amino acids under optimal conditions. The highest concentrations of photosynthetic pigments and anthocyanin were recorded in the leaves of mung bean with amino and humic acid treatments. Foliar application of amino acids significantly improved 1000-seed weight, number of seeds per plant, harvest index, and shoot dry weight compared to the control. Generally, morphological and yield components were negatively affected under severe stress conditions. However, the application of amino acids and humic acid appeared to enhance the adaptability of green mung beans to drought stress conditions.

Conclusion. The study concluded that drought stress negatively impacts morphological traits (plant height, leaf area, and dry weight of aerial organs) and yield components (grain weight, 1000-seed weight, number of seeds per plant, and harvest index). However, foliar application of amino acids and soil application of humic acid effectively mitigated these negative effects on mung bean traits. The highest plant height, leaf area, shoot dry weight, and grain weight were achieved with the simultaneous application of amino acids and humic acid. Therefore, based on the research findings, drought stress had negative effects on yield and morphological, therefore traits foliar application of three grams of amino acids along with soil application of humic acid is recommended to improve the vegetative and yield traits of mung bean plants.

Cite this article: 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*, 57(2), 103-124. DOI: 10.22059/ijfcs.2026.406081.655169.



© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: [10.22059/ijfcs.2026.406081.655169](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2026.406081.655169)



انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شماره الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

تأثیر هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر صفات بیوشیمیایی و وزن دانه ماش سبز (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش کم آبی

نادیا عظیم بکلو^۱ | سیدعلی محمد مدرس ثانوی^۲ | علی حیدرزاده^۳

۱. گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: n.azimbakloo@modares.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: modaresa@modares.ac.ir
۳. گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۷	به منظور بررسی اثر سطوح مختلف محلول پاشی اسیدهای آمینه و خاک پاش هیومیک اسید در شرایط تنش کم آبی بر ماش سبز، آزمایشی گلدانی در گلخانه ای با دریچه های باز در ارومیه (آذربایجان غربی) به صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. عوامل شامل سه رژیم آبیاری (مطلوب، تنش ملایم، تنش شدید)، محلول پاشی اسید آمینه تجاری (آمینوریچ) در شش سطح (عدم محلول پاشی، آب مقطر، ۱، ۲، ۳ و ۴ گرم در لیتر) و هیومیک اسید در دو سطح (۰/۱ گرم در گلدان و عدم کاربرد) بودند. بیشترین ارتفاع بوته (۲۶/۶ سانتی متر) از تیمار هیومیک اسید همراه با سه گرم اسید آمینه در آبیاری مطلوب حاصل شد که نسبت به شاهد ۴۷٪ افزایش داشت. بیشترین سطح برگ در بوته (۵۱/۷ سانتی متر مربع) در تیمار دو گرم اسید آمینه با هیومیک اسید و کمترین مقدار (۱۷/۱ سانتی متر مربع) در آب مقطر تحت تنش شدید ثبت شد. غلظت رنگدانه های فتوسنتزی و آنتوسیانین در برگ ها با کاربرد اسید آمینه و هیومیک اسید افزایش یافت. بیشترین تعداد دانه (۲۶/۲ عدد در بوته) از تیمار هیومیک اسید در آبیاری مطلوب حاصل شد (۴۰٪ بیشتر از شاهد). وزن دانه نیز با تیمار دو گرم اسید آمینه و هیومیک اسید در شرایط مطلوب به ۱۸۸۳ میلی گرم در بوته رسید. این ترکیب بهترین تیمار برای کاهش اثرات کم آبی بر ماش سبز بود.
کلیدواژه ها: ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته، تنش خشکی، حبوبات، سطح برگ.	

استناد: عظیم بکلو، ن.، مدرس ثانوی، س.ع.م.، و حیدرزاده، ع. (۱۴۰۵). تأثیر هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر صفات بیوشیمیایی و وزن دانه ماش سبز (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش کم آبی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۷(۲)، ۱۰۳-۱۲۴. DOI: 10.22059/ijfcs.2026.406081.655169



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت، تقاضا برای محصولات کشاورزی جهت مقابله با چالش‌های امنیت غذایی در حال افزایش است (Kumari *et al.*, 2022). حبوبات به عنوان منبع پروتئین گیاهی از باارزش‌ترین محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند و در تأمین نیاز غذایی کشورهای در حال توسعه نقش بسزایی دارند (Asadi *et al.*, 2022). ماش سبز (*Vigna radiata L.*) یکی از مهم‌ترین لگوم‌های دانه‌ریز است که به علت بالا بودن در صد پروتئین (۲۲ تا ۲۵ درصد)، وجود اسیدهای آمینه، مواد معدنی و ویتامین‌ها، از حبوبات باارزش به شمار می‌رود (Tantasawat *et al.*, 2010; Sehwat *et al.*, 2013). با این حال، تنش کم‌آبی به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات زراعی، کشت این محصول را در ایران با مشکل روبرو کرده است (Khalili *et al.*, 2020).

تنش خشکی موجب تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، اختلالات متابولیک و بروز تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود و از این رو یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده به شمار می‌رود (Kalantararmadi & Dezfouli, 2021). این نوع تنش از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش قابلیت هدایت روزنه‌ای، کاهش آبیگری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم و کاهش سنتر پروتئین و کلروفیل، باعث افت فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Keshavarz *et al.*, 2014).

اهمیت حبوبات در رژیم غذایی و نقش ویژه گیاه ماش سبز به‌واسطه در صد بالای پروتئین، در مطالعات مختلف مورد تأکید قرار گرفته است. با این حال، مشکل کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، به دلیل کاهش بارندگی و محدود بودن منابع آبی، تولید این محصول را با چالش روبه‌رو کرده است. یافتن راهکارهایی برای کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی و افزایش بهره‌وری آب در تولید ماش سبز، ضرورت دارد. با وجود انجام مطالعاتی در زمینه اثرات جداگانه آمینواسیدها و اسیدهیومیک بر گیاهان زراعی، اطلاعات موجود در باره اثرات توأم این ترکیبات تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، به‌ویژه در گیاه ماش سبز، محدود و نا کافی است (Kumari *et al.*, 2022; Salehi *et al.*, 2021). از این‌رو، بررسی هم‌زمان تأثیر آمینو اسید و اسیدهیومیک در شرایط سطوح مختلف آبیاری، می‌تواند به درک بهتر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و عملکردی ماش سبز تحت تنش کم‌آبی کمک کرده و راهکارهای عملی مناسبی برای افزایش بهره‌وری آب و پایداری تولید این محصول ارائه دهد (Khalili & Hamze, 2019; Wang *et al.*, 2019). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی اثر منفی قابل‌توجهی بر صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه ماش سبز دارد. در مطالعه Mahajan *et al.* (2023) مشخص شد که تنش آبی (به‌ویژه در مراحل تولیدمثل) باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در ماش سبز می‌شود. تحت شرایط کم‌آبی، عملکرد دانه به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت و این کاهش با شدت تنش و مرحله رشدی رابطه مستقیم داشت. به عنوان نمونه، Panda *et al.* (2013) و Khan *et al.* (2017) گزارش کردند که کم‌آبی موجب کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن اندام هوایی ماش سبز می‌شود. تنش آبی باعث کاهش قابل‌توجهی در رشد، فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ماش سبز می‌شود و این اثرات منفی در نهایت به کاهش عملکرد دانه منجر می‌شوند. حساسیت گیاه به تنش آبی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه بیشتر است (Lian *et al.*, 2023). همچنین Bhadoria *et al.* (2020) کاهش عملکرد دانه و Khanna *et al.* (2018) کاهش تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته و وزن هزار دانه را در گیاه ماش سبز تحت تأثیر تنش کم‌آبی گزارش کردند. از جمله روش‌های مؤثر و کم‌هزینه برای بهبود بازدهی مصرف آب و کاهش اثرات تنش خشکی، کاربرد ترکیبات آلی به‌ویژه اسیدهای آمینه و هیومیک/اسید است (Alshaal & El-Ramady, 2017; Doroodian *et al.*, 2016). تنش آبی موجب کاهش زیست‌توده در زین گیاه (*Dracocephalum kotschy*) (Heidarzadeh *et al.*, 2022)، پروتئین علوفه در شبدر ایرانی (Moradi-Ghahderijani *et al.*, 2024)، عملکرد روغن، میزان فتوسنتز و عملکرد دانه در کلزا (Fayaz *et al.*, 2025; 2024a; 2024b)، کارایی کوانتومی فتوسیستم II در گل‌گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis*) (Naghavi *et al.*, 2024) و عملکرد دانه در کام‌لینا (Abedi *et al.*, 2025) می‌شود. افزون بر این، تنش آبی موجب افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب و الیاف شوینده خنثی در زین گیاه شده است (Heidarzadeh *et al.*, 2021a).

اسیدهای آمینه از طریق تأثیر مثبت بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، موجب بهبود رشد، عملکرد، جذب عناصر غذایی و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزنده می‌شوند (Rouphael & Colla, 2018). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که غلظت اسیدهای آمینه مختلف در شرایط تنش محیطی افزایش می‌یابد که بیانگر نقش مستقیم یا غیرمستقیم آن‌ها در افزایش مقاومت گیاه است (Kumar et al., 2018). اثر مثبت محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی و نیز شرایط بدون تنش بر صفات رشد و عملکرد در گیاهان مختلفی از جمله نخود (Khalesi et al., 2023)، لوبیا چشم‌بلبلی (Wang et al., 2019)، بادام‌زمینی (Sadak et al., 2023) گزارش شده است. محلول‌پاشی اسیدهای آمینه با افزایش راندمان انرژی در گیاه و همچنین افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه کمک به گیاه سیر (*Allium sativum* L.) سبب افزایش عملکرد می‌شود (Heidarzadeh & Modarres-Sanavy, 2023). همچنین، در پژوهشی نشان داده شد کاربرد آسپارتیک‌اسید به صورت بذرمال و محلول‌پاشی عملکرد عدس (*Lens culinaris* Medik.) را افزایش داد (Heidarzadeh et al., 2021b; Heidarzadeh & Modarres-Sanavy, 2021).

در مورد هیومیک‌اسید نیز مطالعات مختلفی انجام شده است. این ترکیب با داشتن ساختار پلیمری، نفوذپذیری غشای سلولی و رشد ریشه را افزایش داده و از این طریق جذب آب و مواد غذایی را بهبود می‌بخشد و اثرات سوء تنش را تعدیل می‌کند (Mikkelsen, 2005). مطالعه Abeer et al. (2020) نشان داد که استفاده از هیومیک‌اسید می‌تواند موجب افزایش ارتفاع و زیست‌توده ماش سبز در شرایط کم‌آبی شود. همچنین Kaya et al. (2014) گزارش کردند که کاربرد هیومیک‌اسید باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا شد. در پژوهش Ahmed & Fakkar (2020) نیز اثر مثبت هیومیک‌اسید بر افزایش ارتفاع، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه باقلا مشاهده شد. Khan et al. (2012) نیز افزایش تعداد غلاف، تعداد دانه و وزن تر غلاف نخود را در نتیجه مصرف هیومیک‌اسید گزارش کردند. بر اساس نتایج مطالعات پیشین و اهمیت راهکارهای تغذیه‌ای در افزایش مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر هیومیک‌اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ماش سبز در شرایط تنش کم‌آبی انجام شد. با وجود مطالعات گسترده در زمینه تنش آبی، آزمایش‌های گلدانی به دلیل شرایط کنترل شده، امکان بررسی دقیق مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و تأثیر همزمان تیمارهای زیستی مانند آمینواسید و اسیدهیومیک را فراهم می‌کنند (Kumar et al., 2018; Khan et al., 2012). این مطالعه با هدف رفع خلأ موجود درباره اثرات توأم این تیمارها در سطوح مختلف آبیاری بر گیاه ماش سبز انجام شده است، چرا که اطلاعات کافی در این زمینه محدود است (Kumari et al., 2022; Salehi et al., 2021). نتایج می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات میدانی گسترده‌تر و کاربردی‌تر باشد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش به صورت گلدانی (گلدان‌های به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۹ سانتی‌متر بستر خاک لومی رسی، تعداد سه بوته در هر گلدان) در گلخانه با دریچه‌های باز در مزرعه روستای بوراشان واقع در شهرستان ارومیه استان آذربایجان غربی در سال زراعی ۱۴۰۱ انجام شد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۰۴ متر، طول و عرض جغرافیایی آن به ترتیب $45^{\circ}8'45''$ طول شرقی و $37^{\circ}34'27''$ عرض شمالی بود. اطلاعات آب و هوایی منطقه مورد مطالعه در طول دوره رشد در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین بارندگی، دمای بیشینه و کمینه در طول فصل رشد.

Table 1. Average rainfall, minimum temperature, maximum temperature during the growing season.

ماه	تیر	مرداد	شهریور	مهر
میانگین بارندگی (میلی‌متر)	4	0	0	0
دمای بیشینه (سانتی‌گراد)	32.12	34	30	25
دمای کمینه (سانتی‌گراد)	15	16.15	13.19	9.66

این تحقیق به صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل سه رژیم آبیاری، آبیاری مطلوب: قطع آبیاری تا زمانی که ۲۰٪ آب قابل استفاده گیاه در منطقه ریشه جذب یا تبخیر شود و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه، تنش کم‌آبی ملایم: قطع آبیاری تا زمانی که ۵۰٪ آب قابل استفاده گیاه در منطقه ریشه جذب یا تبخیر شود و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه و تنش کم‌آبی شدید: قطع آبیاری تا زمانی که ۸۰٪ آب قابل استفاده گیاه در منطقه ریشه جذب یا تبخیر شود و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه) و محلول پاشی با اسید آمینه تجاری در شش غلظت (عدم محلول پاشی، محلول پاشی با آب مقطر و یک، دو، سه و چهار گرم اسید آمینه در یک لیتر آب) و کاربرد خاکی هیومیک/اسید (هیومیک/اسید ۷۵٪ هیوفارم) در دو سطح (کاربرد ۰/۱ گرم در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب در گلدان هیومیک/اسید و عدم استفاده از هیومیک/اسید) بود. به این ترتیب این آزمایش شامل ۳۶ تیمار و ۱۰۸ واحد آزمایشی (گلدان با ارتفاع ۳۰ سانتی متر و قطر ۳۵ سانتی متر) بود. اسید آمینه تجاری مورد استفاده آمینوریج نام داشت و ترکیبات آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. ترکیبات موجود در اسید آمینه تجاری مورد استفاده.

Table 2. Compounds present in the commercial amino acid product used.

اسید آمینه کل	اسید آمینه آزاد	آهن	روی	منگنز	مس
۲۲٪	۱۷٪	۵٪	۳٪	۲٪	۰/۶٪

رژیم‌های مختلف آبیاری بعد از جوانه‌زنی و استقرار کامل گیاهچه (چهار برگ) در گلدان اعمال شد. برای اندازه‌گیری رطوبت موجود در محیط ریشه از حسگرهای رطوبت‌سنج TDR مدل PR2 از شرکت Delta-T Device استفاده شد. میزان آب مصرفی در آبیاری مطلوب، تنش کم‌آبی متوسط و شدید به ترتیب ۴۳/۵، ۳۴/۵ و ۲۸/۵ لیتر در طول دوره در هر گلدان بود. در این پژوهش محلول پاشی اسیدهای آمینه بر اندام‌های هوایی در دو مرحله: ۱۰ روز قبل از شروع گلدهی و ۱۰ روز بعد از شروع گلدهی و همچنین زمان اختلاط هیومیک/اسید با خاک گلدان: ۱۰ روز قبل از شروع گلدهی انجام شد. بذر مورد استفاده در این تحقیق رقم زربخش بود که از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. نیاز کودی گیاه در طی اجرای تحقیق با توجه به خصوصیات شیمیایی خاک گلدان (جدول ۳) تأمین شد.

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان.

Table 3. Physical and chemical properties of the potting soil.

اسیدیته	کربن آلی (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	رس (درصد)	بافت
۷/۹۰	۲/۳۷	۴۰	۲۲	۳۸	رسی-لومی
فسفر (میلی گرم/کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم/کیلوگرم)	روی (میلی گرم/کیلوگرم)	منگنز (میلی گرم/کیلوگرم)	آهن (میلی گرم/کیلوگرم)	نیترژن (درصد)
۲۲/۸۴	۹۲۶	۱۳/۳۶	۱۵/۳۵	۱/۱۸۸	۰/۲۹

۲-۱. اندازه‌گیری صفات

سطح برگ یک هفته بعد از آخرین تیمار با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل DELTA-T DEVICES ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد. قبل از رسیدگی فیزیولوژیک، صفات وزن خشک اندام هوایی و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، صفات ارتفاع، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام با کفبر کردن بوته‌های گلدان اندازه‌گیری شدند. وزن دانه و عملکرد بیولوژیک در زمان رسیدگی کامل با کفبر کردن بوته‌ها اندازه‌گیری شدند و از تقسیم وزن دانه بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به دست آمد. به منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه تعداد بذره‌های به دست آمده توزین و با تناسب تعداد بذر و وزن آن‌ها و ضرب در ۱۰۰۰، وزن هزار دانه محاسبه شد.

آنتوسیانین طبق روش Krizek *et al.* (1993) اندازه‌گیری شد. طبق این روش، مقدار ۰/۲ گرم برگ در سه میلی‌لیتر متانول اسیدی) شامل متانول و اسیدکلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده شد، سپس عصاره حاصل سانتریفیوژ شد و محلول رویی به مدت یک ساعت در تاریکی قرار گرفت. میزان جذب در طول موج ۵۵۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) خوانده شد.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل a و b، کل و کارتنوئید به روش Israelstam & Hiscox (1979) انجام شد. بدین منظور مقدار ۰/۵ گرم از ماده تر گیاهی را در ۱۰ میلی‌لیتر دی‌متیل‌سولفوکساید (DMSO) و به مدت نیم ساعت درون حمام بن‌ماری ۷۰ درجه سانتی‌گراد استخراج کرده به طوری که نمونه‌های برگ به صورت بی‌رنگ درآیند. مقداری از نمونه استخراج شده را در کووت اسپکتروفوتومتر ریخته و سپس به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ مقدار جذب توسط اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول زیر میزان کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ (mg g⁻¹ FW) به‌دست آمد (Lichtenthaler & Wellburn, 1983).

$$\begin{aligned}\text{Chlorophyll a} &= (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) \times V / 100W \\ \text{Chlorophyll b} &= (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) \times V / 100W \\ \text{Total Chlorophyll} &= \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b} \\ \text{Carotenoides} &= 100(A_{470} - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b}) / 227\end{aligned}$$

V = حجم محلول مورد استفاده، A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، W = وزن تر نمونه بر حسب گرم، (mg chl. a) و (mg chl. b) = مقادیر کلروفیل a و b به ترتیب هستند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و تحلیل شدند. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمالیتی شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) انجام شد و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) صورت گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهشی و بحث

۳-۱. ارتفاع بوته

جدول تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش سه گانه رژیم آبیاری، هیومیک‌اسید و اسیدآمینو تأثیر معنی‌داری روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار کاربرد هیومیک‌اسید با سه گرم اسیدآمینو در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین ارتفاع را (۲۶/۵۸ سانتی‌متر) داشت (شکل ۱). همچنین نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش از آبیاری مطلوب به تنش کم‌آبی متوسط و شدید، به ترتیب ۶/۳۹ و ۱۰/۸۰ درصد از ارتفاع بوته کاهش یافت. علاوه بر این، کاربرد سه و چهار گرم اسیدهای آمینه در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب باعث افزایش ۱۲/۳۹ و ۱۴/۰۲ درصدی ارتفاع شد (شکل ۱). کاهش ارتفاع بوته ماش سبز در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Salehi *et al.*, 2021). محققان این کاهش را در اثر تأثیر منفی تنش خشکی بر روابط آبی گیاه می‌دانند که در نهایت موجب کاهش طول و تقسیمی سلولی می‌شود و نتیجه این امر کاهش ارتفاع بوته می‌باشد (Harp *et al.*, 2000). گزارش شده است که کاربرد هیومیک‌اسید روی ارتفاع بوته گیاه ماش سبز اثر معنی‌داری داشت و باعث افزایش ارتفاع آن شد (Abeer *et al.*, 2020). این صفت همبستگی مثبتی با صفات وزن خشک اندام هوایی ($r = 0.62^{**}$)، زیست‌توده ($r = 0.60^{**}$)، سطح برگ ($r = 0.57^{**}$)، تعداد دانه در بوته ($r = 0.67^{**}$)، وزن هزار دانه ($r = 0.38^*$) و وزن دانه ($r = 0.67^{**}$) داشت (جدول ۷).

۳-۲. سطح برگ بوته

برهمکنش سه گانه رژیم آبیاری، هیومیک/اسید و اسیدهای آمینه تأثیر معنی داری روی سطح برگ در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۴). بالاترین سطح برگ بوته با اعمال تیمار دو گرم اسیدهای آمینه و استفاده از هیومیک/اسید در شرایط آبیاری مطلوب با ۵۱/۷ سانتی متر مربع حاصل شد (شکل ۲). مطالعات نشان داده است که تنش کم آبی می تواند به کاهش سطح برگ ها منجر شود و این تغییرات ممکن است به دلیل کاهش فعالیت سیستم گلوکزین ها و کاهش فتوسنتز در شرایط کم آبی باشد که منجر به کاهش رشد و سطح برگ ها می شود. اسیدهای آمینه به عنوان منبع تأمین نیتروژن، در تولید پروتئین گیاهی و سبزینه (کلروفیل) و در نتیجه افزایش سطح برگ و نورساخت گیاه مؤثرند (Ghazi Manas *et al.*, 2013). نتایج تحقیقی نشان داد که هیومیک/اسید با تأثیر مستقیم بر افزایش رشد ریشه و جذب عناصر باعث افزایش سطح برگ گیاه نخود در شرایط کم آبی می شود (Ehtesham *et al.*, 2018). این صفت به علت تأثیر مستقیم بر تولید مواد فتوسنتزی گیاه، بیشترین همبستگی مثبت را با وزن خشک اندام هوایی ($r = 0.76^{**}$) و وزن دانه ($r = 0.73^{**}$) داشت (جدول ۷).

جدول ۴. میانگین مربعات صفات مورفولوژیک ماش سبز تحت تأثیر رژیم های آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک/اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه.

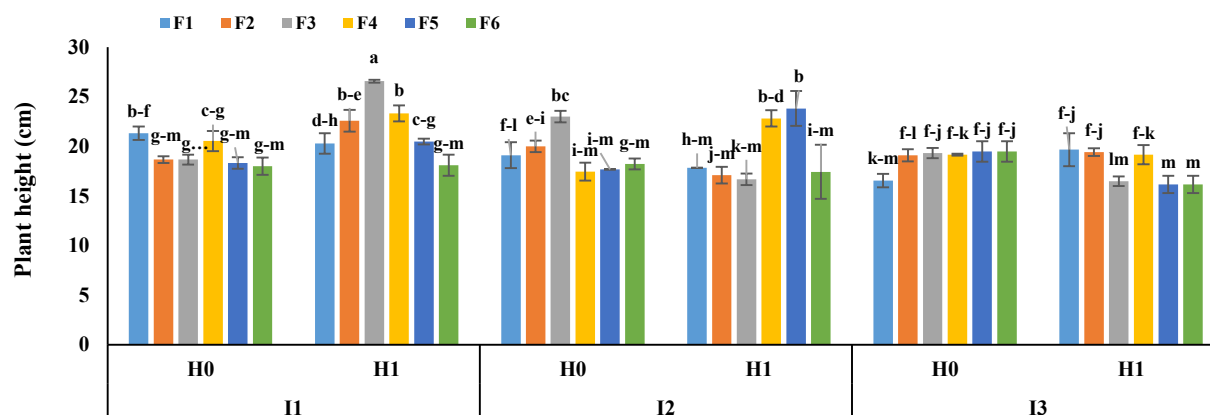
Table 4. Mean square of morphological traits of mung bean affected by irrigation regimes, soil application of humic acid and foliar application of amino acids.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک غلاف	وزن خشک کل
بلوک	2	3.92 ^{ns}	23.4 ^{ns}	9554 ^{ns}	5382.7 ^{ns}	26196.9 ^{ns}	117105.9 ^{ns}
آبیاری (I)	2	44.96 ^{**}	1370 ^{**}	583659.6 ^{**}	544431 ^{**}	86246.8 ^{**}	15993143 ^{**}
هیومیک/اسید (H)	1	8.46 ^{ns}	192.5 ^{**}	47586.1 [*]	45219 [*]	129701.9 ^{**}	55910.4 ^{ns}
اسید آمینه (F)	5	13.93 ^{**}	152.2 ^{**}	39093.3 ^{**}	68066 ^{**}	91605.2 ^{**}	1329503.9 ^{**}
F×I	8	31.8 ^{**}	332.4 ^{**}	51730.2 ^{**}	9499 ^{ns}	28771.7 ^{ns}	323697.6 ^{ns}
H×I	2	6.6 [*]	97.2 ^{**}	9547.7 ^{ns}	7126.7 ^{ns}	10981.6 ^{ns}	146815.8 ^{ns}
F×H	10	9.48 ^{**}	52.9 ^{**}	45895 ^{**}	6220.8 ^{ns}	50196 ^{**}	184365.4 ^{ns}
F×I×H	5	25.42 ^{**}	49.9 ^{**}	13304.9 ^{ns}	17534.3 ^{ns}	13263.3 ^{ns}	178574.9 ^{ns}
خطا	70	2.61	8.92	7056.6	10545.1	17518.9	145388.4
CV (%)	-	8.32	11.06	23.63	20.92	24.74	15.60

^{ns}: عدم اختلاف معنی دار؛ ^{**}: اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد؛ ^{*}: اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد.

۳-۳. وزن خشک اندام های هوایی (زیست توده)

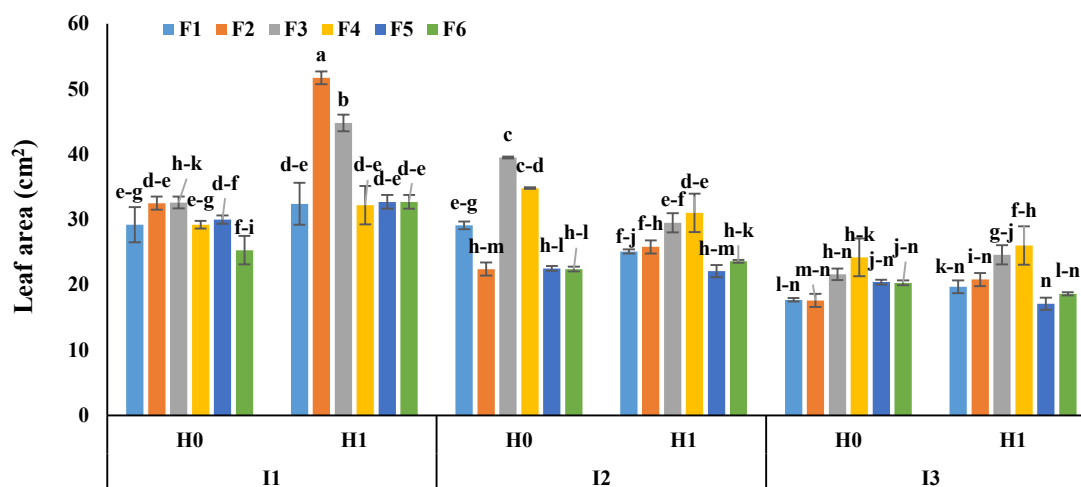
جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات رژیم های آبیاری و اسیدهای آمینه در سطح احتمال یک درصد و اثر هیومیک/اسید در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی داری بر وزن خشک ساقه داشت (جدول ۴). برهمکنش هیومیک/اسید و اسیدهای آمینه تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد و اثر رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک غلاف داشت. وزن خشک برگ تحت تأثیر برهمکنش دوگانه هیومیک/اسید و اسیدهای آمینه (در سطح احتمال یک درصد) و برهمکنش رژیم آبیاری و هیومیک/اسید (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفت. در رابطه با وزن خشک کل اندام هوایی اثر اصلی رژیم آبیاری و محلول پاشی اسیدهای آمینه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴). طبق نتایج مقایسه میانگین با افزایش شدت تنش کم آبی وزن خشک ساقه به طور معنی داری کاهش یافت و بیشترین مقدار آن در آبیاری مطلوب با ۶۲۹/۶ میلی گرم در بوته به دست آمد (شکل ۳). همچنین، عدم استفاده از هیومیک/اسید وزن خشک ساقه بیشتری نسبت به استفاده از هیومیک/اسید داشت (شکل ۳). بررسی سطوح مختلف اسیدهای آمینه نشان داد کاربرد چهار گرم اسیدهای آمینه و سه گرم اسیدهای آمینه نسبت به شاهد ۳۵/۱۴ و ۲۵/۷۶ درصد وزن خشک ساقه بیشتری تولید کرد و بیشتر از سایر سطوح محلول پاشی بودند (شکل ۳).



شکل ۱. برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر ارتفاع ماش سبز.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک در یک ستون، اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک اسید، H₁: کاربرد هیومیک اسید.

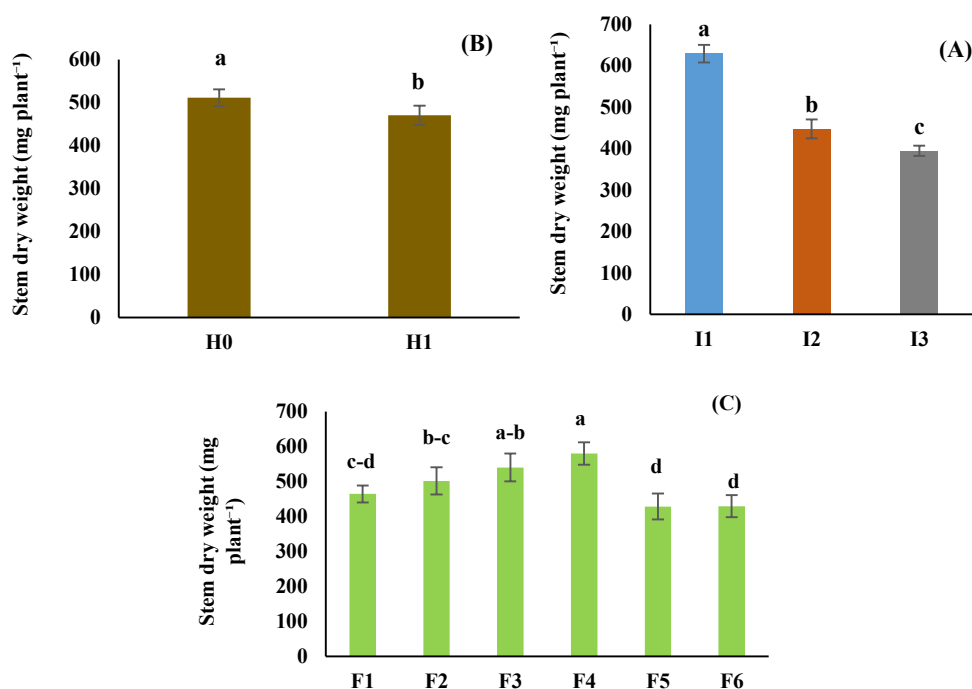
Figure 1. Interaction of irrigation regime, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids on mung bean height. Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter within a column are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.



شکل ۲. برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر سطح برگ پشته ماش سبز.

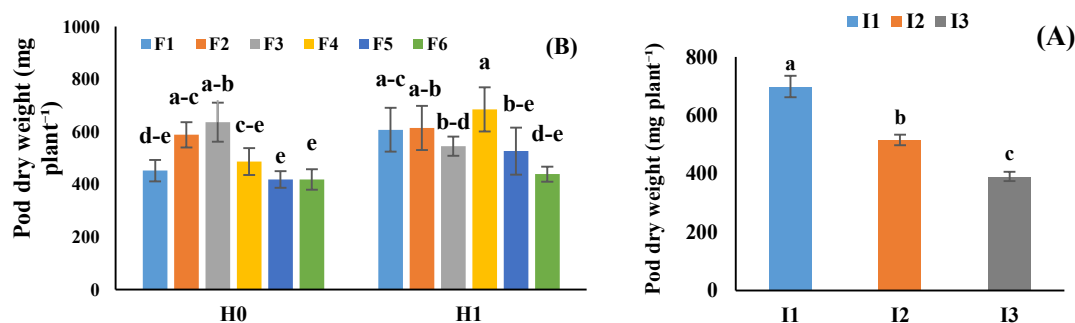
مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک اسید، H₁: کاربرد هیومیک اسید.

Figure 2. Interaction of irrigation regime, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids on leaf area of mung bean plants. Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.



شکل ۳. اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری (A)، هیومیک/اسید (B) و محلول پاشی اسیدهای آمینه (C) روی وزن خشک ساقه. مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₅: محلول پاشی با آب مقطر، F₆: بدون کاربرد هیومیک/اسید، H₀: بدون کاربرد هیومیک/اسید، H₁: کاربرد هیومیک/اسید.

Figure 3. Main effects of irrigation regimes (A), humic acid (B), and foliar application of amino acids (C) on stem dry weight. Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water; F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water; F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water; F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water; F₅: Foliar application of distilled water; F₆: No foliar application; H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.

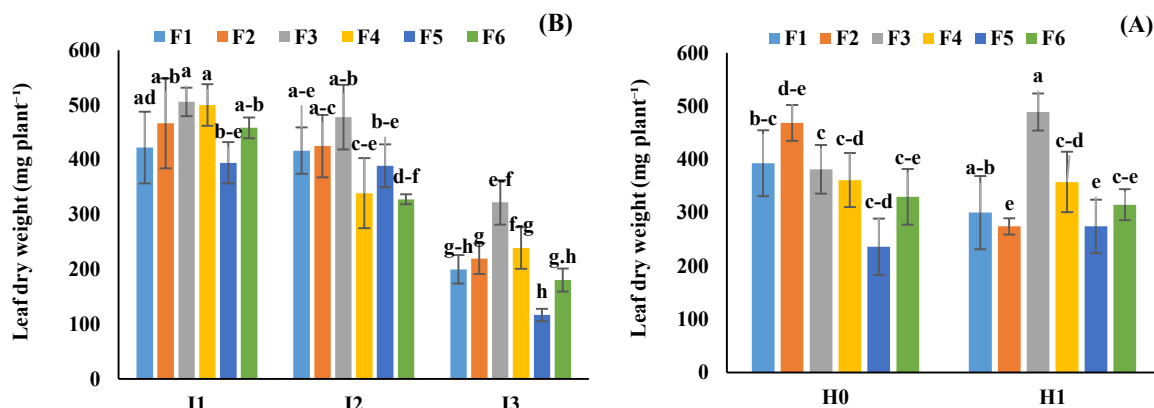


شکل ۴. اثر اصلی رژیم‌های آبیاری (A) و برهمکنش هیومیک/اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه (B) روی وزن خشک غلاف. مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک/اسید، H₁: کاربرد هیومیک/اسید.

Figure 4. Main effect of irrigation regimes (A) and the interaction between humic acid and foliar application of amino acids (B) on grain dry weight. Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.

برهمکنش هیومیک اسید و اسیدهای آمینه نشان داد بیشترین وزن خشک غلاف بدون دانه در تیمار کاربرد چهار گرم اسیدهای آمینه با کاربرد هیومیک اسید با ۶۸۵/۲ میلی گرم در بوته تولید شد (شکل ۴) که با تیمارهای کاربرد یک گرم اسیدهای آمینه + هیومیک اسید (۶۰۷/۴ میلی گرم در بوته)، دو گرم اسیدهای آمینه + هیومیک اسید (۶۱۴/۸ میلی گرم در بوته)، دو گرم اسیدهای آمینه + بدون هیومیک اسید (۵۸۸/۹ میلی گرم در بوته) و سه گرم اسیدهای آمینه + بدون هیومیک اسید (۶۳۷/۰ میلی گرم در بوته) اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۴). همچنین، در بررسی اثر اصلی رژیم های آبیاری مشاهده شد که بیشترین وزن خشک غلاف بدون دانه در شرایط آبیاری مطلوب یا ۶۹۸/۶ میلی گرم در بوته به دست آمد (شکل ۴).

نتایج حاصله نشان داد که بیشترین وزن خشک برگ از کاربرد چهار گرم اسیدهای آمینه و کاربرد هیومیک اسید و همچنین استفاده از دو گرم اسیدهای آمینه و در صورت عدم استفاده از هیومیک اسید به ترتیب یا ۴۸۸/۹ و ۴۶۸/۵ گرم در بوته تولید شد (شکل ۵). همچنین، برهمکنش رژیم های آبیاری و اسیدهای آمینه نشان داد که بیشترین وزن خشک برگ همه سطوح محلول پاشی بجز آب مقطر در شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد که با کاربرد یک، دو و سه گرم اسیدهای آمینه در شرایط تنش کم آبی متوسط در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵).

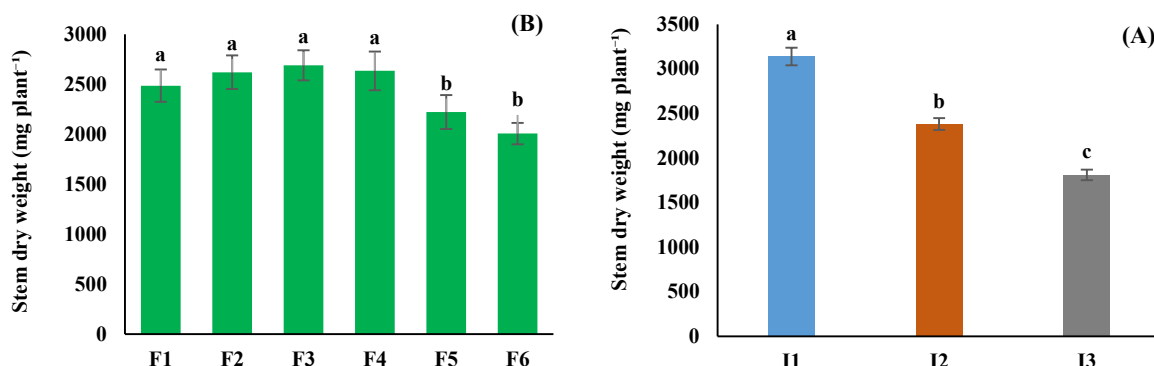


شکل ۵. برهمکنش هیومیک اسید و اسیدهای آمینه (الف) و برهمکنش رژیم های آبیاری و اسیدهای آمینه روی وزن خشک برگ.

مقایسه میانگین ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی داری (LSD) انجام شد. میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم آبی ملایم، I₃: تنش کم آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک اسید، H₁: کاربرد هیومیک اسید.

Figure 5. Interaction between humic acid and amino acids (A) and interaction between irrigation regimes and amino acids (B) on leaf dry weight. Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.

اثر رژیم آبیاری نشان داد که آبیاری مطلوب با ۳۱۳۹ میلی گرم در بوته نسبت به تنش کم آبی متوسط (۲۳۸۰ میلی گرم در بوته) و تنش کم آبی شدید (۱۸۱۰ میلی گرم در بوته) وزن خشک اندام هوایی بیشتری داشت (شکل ۶). همچنین، محلول پاشی اسیدهای آمینه نسبت به محلول پاشی آب مقطر و عدم محلول پاشی (شاهد) وزن خشک کل بیشتری داشتند (شکل ۶).



شکل ۶. اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسیدهای آمینه روی وزن خشک کل اندام هوایی.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₅: محلول پاشی با آب مقطر، F₆: بدون محلول پاشی.

Figure 6. Main effects of irrigation regimes and amino acids on total shoot dry weight.

Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water; F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water; F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water; F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water; F₅: Foliar application of distilled water; F₆: No foliar application.

طبق گزارش محققان وزن خشک اندام هوایی گیاه ماش سبز در طول تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد (Panda *et al.*, 2013; Khan *et al.*, 2017). به نظر می‌رسد علت کاهش خصوصیات رشدی در گیاه به این دلیل است که تنش کم‌آبی باعث کاهش صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه از جمله ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ می‌شود و در نهایت بر رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. نتایج پژوهشگران حاکی از بهبود صفات رویشی وزن خشک اندام هوایی گیاهان ماش، لوبیا و نخود در اثر کاربرد هیومیک و اسیدهای آمینه می‌باشد (Abeer *et al.*, 2020; Kaya *et al.*, 2014; Khalesi *et al.*, 2023). افزایش صفات رشدی گیاه در نتیجه استفاده از محرک‌های رشد نظیر اسیدهای آمینه و هیومیک/اسید را می‌توان به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، جذب مواد مغذی معدنی و تنظیم متابولیسم نیتروژن نسبت داد (EL-Aal, 2018; Neisi *et al.*, 2023). این صفات همبستگی مثبتی با صفات ارتفاع و عملکردی گیاه ماش داشتند که به دلیل نقش مستقیم زیست‌توده در ذخیره و انتقال مجدد ترکیبات به قسمت‌های زایشی گیاه این همبستگی مورد انتظار بود (جدول ۷).

۳-۴. وزن هزار دانه

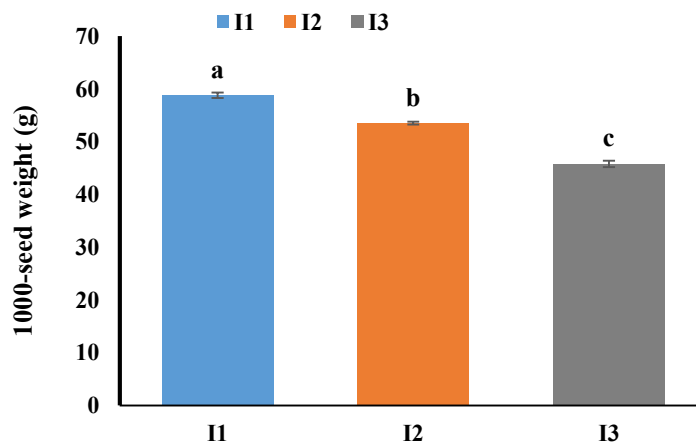
نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیرپذیری صفت وزن هزاردانه از تیمار رژیم‌های آبیاری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد (جدول ۵). بر این اساس وزن هزاردانه با اعمال تنش کم‌آبی روند کاهشی داشت؛ به نحوی که بالاترین وزن هزار دانه (۵۸/۸ گرم) و کمترین وزن هزاردانه (۴۵/۸ گرم) به ترتیب با آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی شدید ثبت شد (شکل ۷). در گزارشی کاهش توانایی گیاه برای تأمین آب باعث کاهش وزن هزار دانه شد (Munir *et al.*, 2021). دانائی‌راد و همکاران (Danaei Rad *et al.*, 2024) در پژوهش خود نشان دادند تنش شدید خشکی موجب کاهش وزن هزار دانه ماش به میزان ۲۳ درصد می‌شود. محققان کاهش وزن هزاردانه در طول کم‌آبیاری را کاهش فرآیند فتوسنتز و محدودیت در انتقال مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و همچنین، کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه ذکر کرده‌اند (Khalili & Hamze, 2019). این صفت با وزن خشک غلاف بدون دانه ($r = 0.80^{**}$)، وزن خشک اندام هوایی ($r = 0.87^{**}$)، تعداد دانه در بوته ($r = 0.77^{**}$) و وزن دانه ($r = 0.75^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۷).

جدول ۵. میانگین مربعات صفات وزن دانه و اجزای عملکرد ماش سبز تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک‌اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه.

Table 5. Mean squares of grain weight and yield components of mung bean as affected by irrigation regimes, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			شاخص برداشت
		وزن هزاردانه	تعداد دانه در بوته	وزن دانه	
بلوک	2	10.96 ^{ns}	20.4 ^{ns}	12235.2 ^{ns}	12.97 [*]
آبیاری (I)	2	1527.5 ^{**}	602.6 ^{**}	2723932.9 ^{**}	310 ^{**}
هیومیک‌اسید (H)	1	29.4 ^{ns}	22.6	85199.2 ^{ns}	5.9 ^{ns}
اسید آمینه (F)	5	19.3 ^{ns}	87 ^{**}	273343.9 ^{**}	39.45 ^{**}
F×I	8	6.3 ^{ns}	166.6 ^{**}	206909.6 ^{**}	7.54 ^{ns}
H×I	2	6.25 ^{ns}	19.3 ^{ns}	85992.4 [*]	5.3 ^{ns}
F×H	10	1.93 ^{ns}	5.85 ^{ns}	98073.96 [*]	0.91 ^{ns}
F×I×H	5	1.93 ^{ns}	11.6 ^{ns}	104861.3 ^{**}	1.2 ^{ns}
خطا	70	9.21	10.9	7056.6	3.86
CV (%)	-	5.77	16.90	23.63	4.60

^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار، ^{**}: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ^{*}: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.



شکل ۷. اثر اصلی رژیم آبیاری روی وزن هزار دانه.

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید.

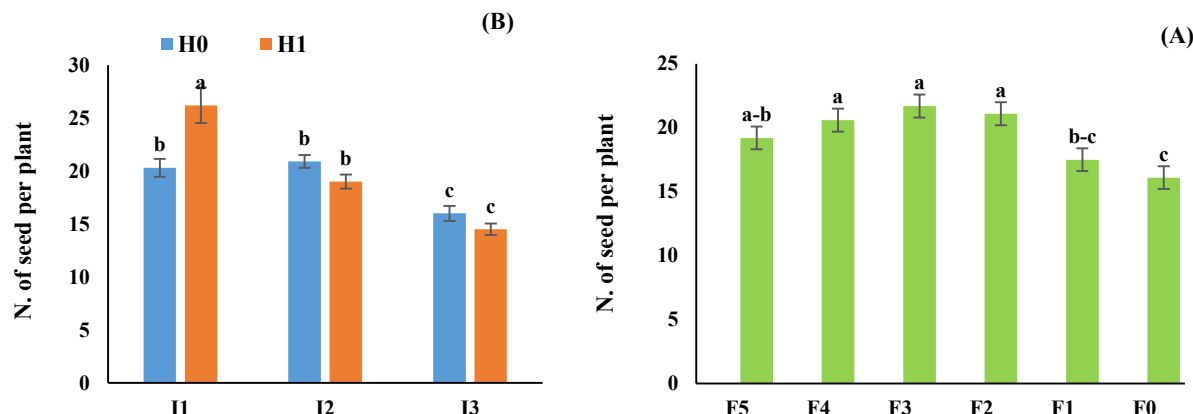
Figure 7. Main effect of irrigation regime on thousand-grain weight.

Means followed by the same letter are not significantly different. I1: Optimal irrigation; I2: Mild water stress; I3: Severe water stress.

۳-۵. تعداد دانه در بوته

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس این صفت از اثر اصلی محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و اثر متقابل آبیاری و کاربرد هیومیک‌اسید در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد بیشترین تعداد دانه در بوته از کاربرد هیومیک‌اسید در شرایط آبیاری مطلوب با ۲۶/۲ عدد به‌دست آمد (شکل ۸). همچنین، بررسی اثر اصلی اسیدهای آمینه نشان داد کاربرد اسیدهای آمینه نسبت به محلول‌پاشی با آب مقطر و عدم محلول‌پاشی تعداد دانه در بوته بیشتری تولید کرد (شکل ۸). در تحقیقات مختلف اعمال کم‌آبیاری موجب کاهش تعداد دانه در سطح تنش ملایم و شدید شده است (Danai Rad et al., 2024; Aghdasi et al., 2018). کاهش تعداد دانه در بوته به‌دلیل اختلال در فتوسنتز و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها و عقیم‌شدن دانه‌های گرده گزارش شده است.

(Raeisi et al., 2020). تعداد دانه در بوته با وزن خشک غلاف بدون دانه ($r = 0.84^{**}$)، وزن خشک اندام هوایی ($r = 0.90^{**}$) و وزن دانه ($r = 0.83^{**}$) همبستگی مثبت و معنی داری داشت (جدول ۷).



شکل ۸. اثرات اصلی اسیدهای آمینه (A) و برهمکنش آبیاری و هیومیک/اسید (B) بر تعداد دانه در بوته.

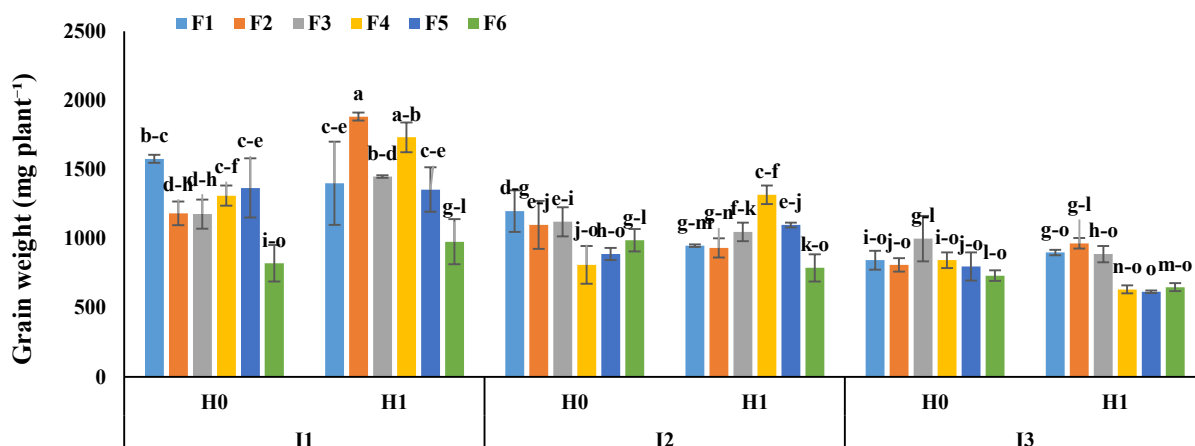
مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₅: محلول پاشی با آب مقطر، F₆: بدون محلول پاشی.

Figure 8. Main effect of amino acids (A) and the interaction between irrigation regimes and humic acid (B) on the number of seeds per plant.

Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water; F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water; F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water; F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water; F₅: Foliar application of 5 g amino acid L⁻¹ water; F₆: No foliar application.

۳-۶. وزن دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، هیومیک/اسید و اسیدهای آمینه بر وزن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین وزن دانه با محلول پاشی دو گرم اسیدهای آمینه، خاک پاش هیومیک/اسید در شرایط مطلوب با ۱۸۸۳/۳ میلی گرم در بوته تولید شد که با تیمار محلول پاشی چهار گرم اسیدهای آمینه، کاربرد هیومیک/اسید در شرایط مطلوب با ۱۷۳۳/۳ میلی گرم در بوته در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین، نتایج نشان داد در شرایط تنش کم‌آبی متوسط، کاربرد چهار گرم اسیدهای آمینه و هیومیک/اسید با ۱۳۱۶/۷ میلی گرم وزن دانه در بوته نسبت به سایر سطوح در این رژیم آبیاری بیشتر بود. به علاوه، در شرایط تنش کم‌آبی شدید، کاربرد سه گرم اسیدهای آمینه و بدون کاربرد هیومیک/اسید با ۱۰۰۰ میلی گرم وزن دانه در بوته و کاربرد دو گرم اسیدهای آمینه با کاربرد هیومیک/اسید با ۹۶۶/۸ میلی گرم دانه در بوته بیشتر از سایر سطوح در این رژیم آبیاری بود (شکل ۹). کمبود آب باعث تأثیر منفی بر انتقال مواد غذایی به دانه‌ها و در نتیجه کاهش تشکیل غلاف و اندازه دانه می‌شود و نتیجه آن کاهش وزن دانه می‌باشد (Medrano et al., 2002). اسیدهای آمینه به عنوان اجزای سازنده پروتئین‌ها در گیاهان عمل می‌کنند در نتیجه محلول پاشی اسیدهای آمینه می‌تواند تأمین مواد اولیه برای ساخت پروتئین‌ها را فراهم کند و به توسعه دانه‌ها کمک نماید (Paul & Panwar, 2016). این صفت بیشترین همبستگی مثبت را با وزن خشک اندام هوایی ($r = 0.93^{**}$)، تعداد دانه در بوته ($r = 0.83^{**}$)، وزن هزار دانه ($r = 0.75^{**}$) و شاخص برداشت ($r = 0.71^{**}$) داشت (جدول ۷).



شکل ۹. برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر وزن دانه ماش سبز.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I1: آبیاری مطلوب، I2: تنش کم‌آبی ملایم، I3: تنش کم‌آبی شدید، F1: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F2: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F3: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F4: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F5: محلول پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F6: بدون محلول پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H0: بدون کاربرد هیومیک اسید، H1: کاربرد هیومیک اسید.

Figure 9. Interaction of irrigation regime, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids on mung bean grain weight.

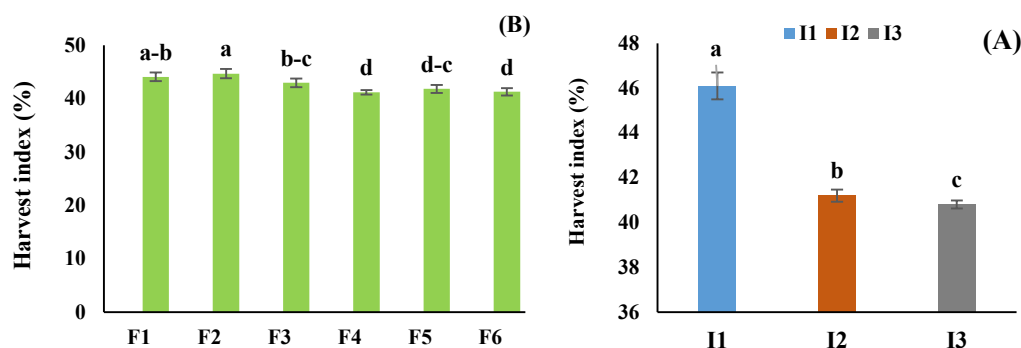
Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I1: Optimal irrigation; I2: Mild water stress; I3: Severe water stress; F1: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F2: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F3: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F4: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F5: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F6: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H0: Without humic acid application; H1: With humic acid application.

۷-۳. شاخص برداشت

شاخص برداشت تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد بیشترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری مطلوب با ۴۶/۱ درصد به دست آمد و با افزایش شدت تنش، میزان آن کاهش یافت؛ به طوری که در شرایط تنش کم‌آبی شدید، شاخص برداشت به ۴۰/۸ درصد رسید. همچنین، بررسی اثر اصلی محلول پاشی نشان داد که بالاترین شاخص برداشت در کاربرد دو گرم اسیدهای آمینه با ۴۴/۷ درصد مشاهده شد که با محلول پاشی یک گرم اسیدهای آمینه با ۴۴/۱ درصد در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۱۰). تنش کم‌آبی منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه و انرژی کمتر برای تولید گل‌ها و در نهایت دانه می‌شود؛ این تغییرات در نهایت باعث کاهش شاخص برداشت می‌شوند (Chaves *et al.*, 2003). بالاترین همبستگی بین این صفت و وزن هزار دانه ($r = 0.71^{**}$) و وزن دانه ($r = 0.71^{**}$) حاصل شد (جدول ۷).

۸-۳. رنگ‌های فتوسنتزی و آنتوسیانین

کلروفیل a، b و کل و آنتوسیانین تحت تأثیر برهمکنش سه گانه رژیم آبیاری، هیومیک اسید و آمینواسید در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت ولی اثر دوگانه هیومیک اسید و آمینواسید در سطح احتمال پنج درصد و اثر اصلی رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد روی کارتنوئید تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۶).



شکل ۱۰. اثرات اصلی رژیم آبیاری (A) و اسیدهای آمینه (B) روی شاخص برداشت.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب، F₅: محلول پاشی با آب مقطر، F₆: بدون محلول پاشی.

Figure 10. Main effects of irrigation regime (A) and amino acids (B) on harvest index.

Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water; F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water; F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water; F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water; F₅: Foliar application of distilled water; F₆: No foliar application.

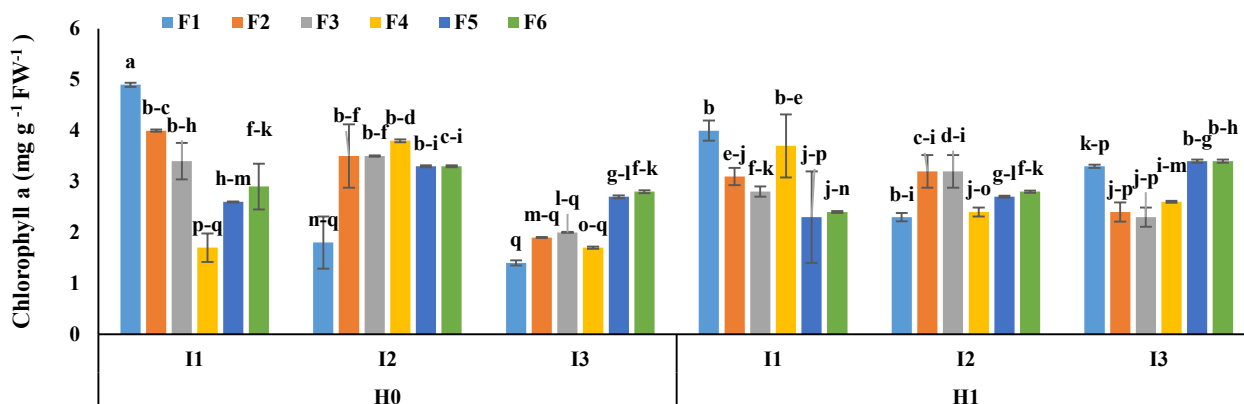
جدول ۶. میانگین مربعات صفات بیوشیمیایی ماش سبز تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه.

Table 6. Mean squares of biochemical traits of mung bean as affected by irrigation regimes, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids.

منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات				
		a کلروفیل	b کلروفیل	کلروفیل کل	کارتوتنوئید	آنتوسیانین
بلوک	2	0.42 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.0046 ^{ns}	64.46 ^{ns}
آبیاری (I)	2	4.33 ^{**}	0.93 ^{**}	8.72 ^{**}	0.1003 ^{**}	1464.78 ^{**}
هیومیک اسید (H)	1	0.09	0.39 ^{**}	0.87	0.0048	145.79
اسید آمینه (F)	5	0.31	0.31 ^{**}	0.60 [*]	0.0186 ^{**}	322.12 ^{**}
F×I	8	3.93 ^{**}	0.12 ^{**}	0.52 ^{**}	0.0012	2.27
H×I	2	2.98 ^{**}	0.02 [*]	2.97 ^{**}	0.0060	257.14 ^{**}
F×H	10	0.57 [*]	0.04 [*]	0.64 [*]	0.0127 [*]	229.27 [*]
F×I×H	5	1.21 ^{**}	0.10 ^{**}	1.77 ^{**}	0.0085	249.15 ^{**}
خطا	70	0.22	0.01	0.24	0.0047	85.94
CV (%)	-	16.18	16.65	13.53	23.69	19.23

^{ns}: عدم اختلاف معنی‌دار، ^{**}: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ^{*}: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

نتایج نشان داد تیمار محلول پاشی یک گرم اسید آمینه + بدون هیومیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب با ۴/۹ میلی گرم در گرم وزن تر برگ کلروفیل a بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل ۱۱)؛ درحالی که بیشترین مقدار کلروفیل b از کاربرد خاک پاش هیومیک اسید با محلول پاشی سه و چهار گرم اسید آمینه در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب با ۱/۲ و ۱/۳ میلی گرم در گرم وزن تر برگ مشاهده شد (شکل ۱۲). مقدار کلروفیل کل نیز همانند کلروفیل a، از تیمار کاربرد یک گرم آمینو اسید و بدون هیومیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد (شکل ۱۳). رنگدانه‌های فتوسنتزی بالاترین همبستگی را با صفات وزن خشک اندام هوایی و کارتوتنوئید داشتند و با توجه به نقش مستقیم رنگدانه و فتوسنتز در افزایش رشد گیاه این همبستگی قابل انتظار بود (جدول ۷).

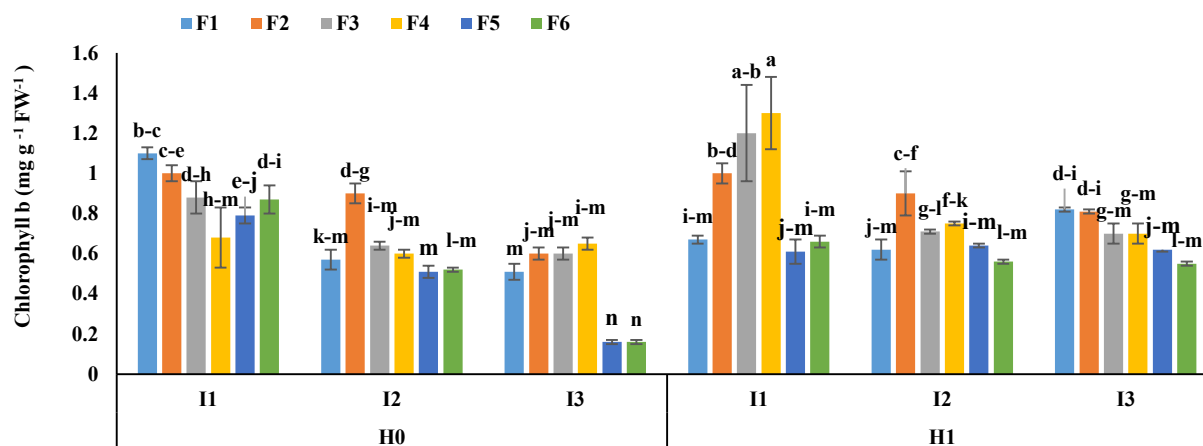


شکل ۱۱. برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر غلظت کلروفیل a ماش سبز.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک اسید، H₁: کاربرد هیومیک اسید.

Figure 11. Interaction of irrigation regime, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids on chlorophyll a concentration in mung bean.

Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.

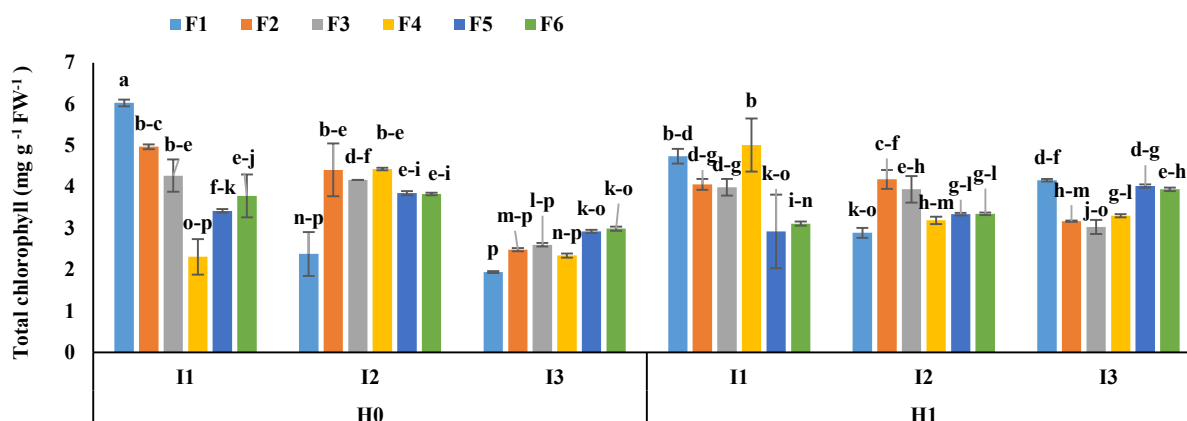


شکل ۱۲. برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر غلظت کلروفیل b ماش سبز.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک اسید، H₁: کاربرد هیومیک اسید.

Figure 12. Interaction of irrigation regime, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids on chlorophyll b concentration in mung bean.

Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.



شکل ۱۳. برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر غلظت کلروفیل کل ماش سبز.

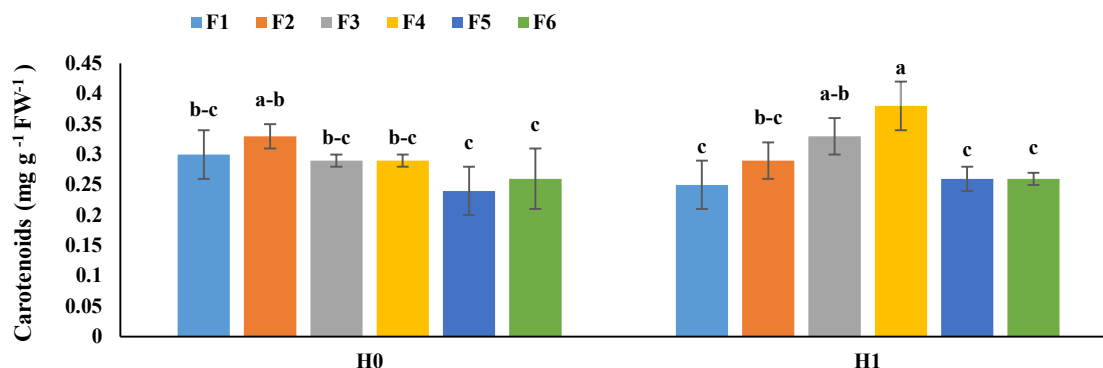
مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول پاشی با چهار گرم اسید آمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک اسید، H₁: کاربرد هیومیک اسید.

Figure 13. Interaction of irrigation regime, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids on total chlorophyll concentration in mung bean.

Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Soliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.

برهمکنش هیومیک اسید و آمینواسیدها نشان داد کارتنوئید با محلول پاشی چهار گرم آمینواسید و هیومیک اسید با ۰/۳۸ میلی گرم در گرم وزن تر برگ بیشترین بود و با کاربرد سه گرم آمینواسید و هیومیک اسید و همچنین، محلول پاشی دو گرم آمینواسید و بدون هیومیک اسید در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۱۴). همبستگی مثبت و معناداری بین کارتنوئید و صفات وزن خشک اندام هوایی ($r = ۰/۷۱^{**}$)، تعداد دانه در بوته ($r = ۰/۵۷^{**}$)، وزن هزار دانه ($r = ۰/۶۲^{**}$)، وزن دانه ($r = ۰/۶۰^{**}$) و شاخص برداشت ($r = ۰/۵۶^{**}$) ایجاد شد (جدول ۷).

اثر سه گانه رژیم‌های آبیاری، هیومیک اسید و آمینواسیدها نشان داد بیشترین مقدار آنتوسیانین در شرایط تنش کم‌آبی متوسط با کاربرد دو گرم آمینواسید و خاک پاش هیومیک اسید با ۷۲/۷ نانومول بر گرم وزن تر برگ تولید شد که با تیمارهای محلول پاشی دو گرم آمینواسید و خاک پاش هیومیک اسید (۶۲/۳ نانومول بر گرم وزن تر برگ) و بدون محلول پاشی و بدون هیومیک اسید (۶۴/۱ نانومول بر گرم وزن تر برگ) در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و تیمار محلول پاشی چهار گرم آمینواسید و بدون هیومیک اسید در شرایط تنش کم‌آبی شدید در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱۵). جدول همبستگی ضرایب نشان داد آنتوسیانین با وزن خشک غلاف ($r = -۰/۳۳^{*}$)، وزن خشک اندام هوایی ($r = -۰/۳۴^{*}$)، وزن دانه ($r = -۰/۳۹^{*}$) و شاخص برداشت ($r = -۰/۵۱^{**}$) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۷).

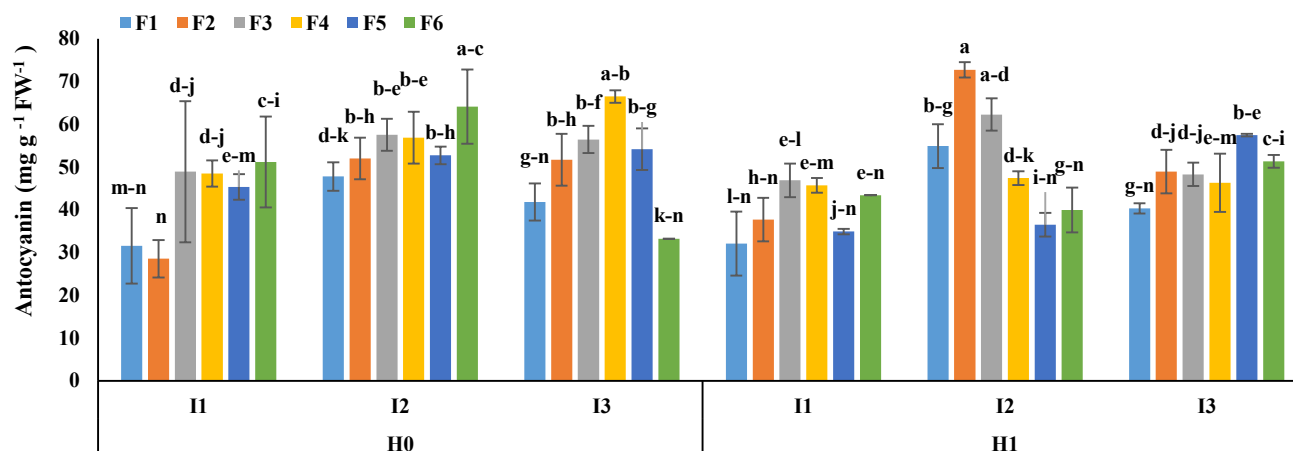


شکل ۱۴. برهمکنش هیومیک اسید و اسیدهای آمینه بر غلظت کارتنوئید ماش سبز.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول‌پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول‌پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک اسید، H₁: کاربرد هیومیک اسید.

Figure 14. Interaction between humic acid and amino acids on carotenoid concentration in mung bean.

Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.



شکل ۱۵. برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر غلظت آنتوسیانین کل ماش سبز.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) انجام شد. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنادار ندارند. I₁: آبیاری مطلوب، I₂: تنش کم‌آبی ملایم، I₃: تنش کم‌آبی شدید، F₁: محلول‌پاشی با یک گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار اول از چپ در هر ستون)، F₂: محلول‌پاشی با دو گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار دوم از چپ در هر ستون)، F₃: محلول‌پاشی با سه گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار سوم از چپ در هر ستون)، F₄: محلول‌پاشی با چهار گرم اسیدآمینه در لیتر آب (نمودار چهارم از چپ در هر ستون)، F₅: محلول‌پاشی با آب مقطر (نمودار پنجم از چپ در هر ستون)، F₆: بدون محلول‌پاشی (نمودار ششم از چپ در هر ستون)، H₀: بدون کاربرد هیومیک اسید، H₁: کاربرد هیومیک اسید.

Figure 15. Interaction of irrigation regime, soil application of humic acid, and foliar application of amino acids on total anthocyanin concentration in mung bean.

Means were compared using the least significant difference (LSD) test. Means followed by the same letter are not significantly different. I₁: Optimal irrigation; I₂: Mild water stress; I₃: Severe water stress; F₁: Foliar application of 1 g amino acid L⁻¹ water (first graph from the left in each column); F₂: Foliar application of 2 g amino acid L⁻¹ water (second graph from the left in each column); F₃: Foliar application of 3 g amino acid L⁻¹ water (third graph from the left in each column); F₄: Foliar application of 4 g amino acid L⁻¹ water (fourth graph from the left in each column); F₅: Foliar application of distilled water (fifth graph from the left in each column); F₆: No foliar application (sixth graph from the left in each column); H₀: Without humic acid application; H₁: With humic acid application.

کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تشدید فعالیت آنزیم‌های کلروفیل‌لاز و پراکسیداز، تولید ترکیبات فنلی، افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن و آسیب‌رساندن به غشاء کلروپلاست و اختلال در جذب نیتروژن از خاک به عنوان عوامل کاهنده غلظت کلروفیل در تنش‌های شدید شناخته شده است (Smirnoff, 1993). افزایش محتوای کلروفیل برگ ممکن است به دلیل تسریع جذب نیتروژن، متابولیسم بهتر نیتروژن و تولید پروتئین‌های محافظت‌کننده به دلیل استفاده از اسیدهیومیک باشد (Haghighi et al., 2012). در گزارشی، تولید بیشتر مقدار کلروفیل در لوبیا با استفاده از کاربرد هیومیک‌اسید مشاهده شده است (Ayas & Gulser, 2005).

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین صفات رشدی، عملکردی و خصوصیات فیزیولوژیکی ماش سبز.

Table 7. Correlation coefficients among growth traits, yield traits, and physiological characteristics of mung bean.

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱. ارتفاع	1														
۲. سطح برگ	0.57**	1													
۳. وزن خشک برگ	0.26	0.49**	1												
۴. وزن خشک ساقه	0.56**	0.79**	0.67**	1											
۵. وزن خشک غلاف	0.53**	0.66**	0.55**	0.73**	1										
۶. وزن خشک کل	0.62**	0.76**	0.73**	0.87**	0.89**	1									
۷. وزن هزار دانه	0.38*	0.70**	0.77**	0.74**	0.80**	0.87**	1								
۸. تعداد دانه در بوته	0.67**	0.72**	0.64**	0.77**	0.84**	0.90**	0.77**	1							
۹. وزن دانه	0.67**	0.73**	0.52**	0.72**	0.80**	0.93**	0.75**	0.83**	1						
۱۰. شاخص برداشت	0.32	0.53**	0.53**	0.68**	0.67**	0.75**	0.71**	0.54**	0.71**	1					
۱۱. کلروفیل a	0.02	0.22	0.37*	0.30	0.34*	0.33*	0.37*	0.20	0.24	0.37*	1				
۱۲. کلروفیل b	0.45**	0.50**	0.62**	0.67**	0.65**	0.74**	0.63**	0.62**	0.65**	0.61**	0.37*	1			
۱۳. کلروفیل کل	0.19	0.32	0.49**	0.40*	0.46**	0.48**	0.49**	0.33*	0.38*	0.48**	0.97**	0.58**	1		
۱۴. کارتنوئید	0.45**	0.48**	0.62**	0.69**	0.63**	0.71**	0.62**	0.57**	0.60**	0.56**	0.28	0.78**	0.45**	1	
۱۵. آنتوسیانین	-0.32	-0.21	-0.14	-0.22	-0.33**	-0.34**	-0.24	-0.22	-0.39*	-0.51**	-0.18	-0.12	-0.19	-0.17	1

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبیاری تأثیر منفی بر صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی)، رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد و اجزای عملکرد (وزن دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و شاخص برداشت) دارد. با این حال، کاربرد برگی اسیدهای آمینه و کاربرد خاکی اسیدهیومیک در تعدیل اثر منفی تنش بر صفات ماش سبز موثر بود. بر این اساس بیشترین ارتفاع بوته و سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن دانه با کاربرد همزمان اسیدآمینه و هیومیک‌اسید در شرایط آبیاری مطلوب حاصل شد. با تکیه بر نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر کاهش صفات مهم عملکردی و مورفولوژیک گیاه ماش بر اثر تنش کم‌آبی ملایم و شدید، محلول پاشی سه گرم اسیدآمینه به همراه کاربرد خاکی هیومیک‌اسید به منظور بهبود خصوصیات رویشی و عملکردی گیاه ماش سبز در شرایط آبیاری مطلوب و کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی توصیه می‌شود.

۵. منابع

- Abedi, A.M., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Heidarzadeh, A. (2025). Study of yield and yield components of camelina (*Camelina sativa L.*) under water deficit stress with the application of zeolite and wood vinegar. *Plant Productions*, 48(1), 21-38. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46482.2155>.
- Abeer, H.M., Abdel-Satar, A.M., & Hasan, H.S. (2020). Ameliorative effect of humic acid and/or proline on some bean plant varieties under drought stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(8), 2046-2052.

- Aghdasi, S., Modares Sanavy, S.A.M., Aghaalkhani, M., & Keshavarz, H. (2018). Effect of foliar application of iron and manganese on yield and yield components of mungbean under water deficit stress. *Water and Soil Science*, 28(3), 13-25.
- Ahmed, A.F., & Fakkar, A.A. (2020). Effect of humic acid and powders of some plants producing allelopathic compounds on soil properties and productivity of faba bean. *Asian Journal of Research and Review in Agriculture*, 52, 52-69.
- Alshaal, T., & El-Ramady, H. (2017). Foliar application: From plant nutrition to biofortification. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 1, 71-83. <https://doi.org/10.21608/JENVBS.2017.1089.1006>.
- Asadi, H., Ghotbi, V., Feyzbakhsh, M.T., & Sheikh, F. (2022). Economical comparison of planting of different forage legumes cultivars (faba bean, grass pea, vetch, green pea) in Golestan province. *Iranian Journal Pulses Research*, 13(2), 207-220. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2101-1000>.
- Ayas, H., & Gulser, F. (2005). The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*, 5(6), 801-804.
- Bhadoria, P.B.S., Prakash, R., & Varshney, S. (2020). Response of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes under water stress conditions. *Legume Research*, 43(1), 27-31.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., & Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239-264. <https://doi.org/10.1071/FP02076>.
- Danaei Rad, E., Zamani, G., & Fallahi, H. (2024). The effect of foliar application of cycocel on quantitative traits related to the yield of mung bean (*Vigna radiata*) genotypes under water deficit conditions. *Iranian Journal Pulses Research*, 14(2), 221-233. <https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.82200.1058>.
- Doroodian, M., Sharghi, Y., Alipour, A., & Zahedi, H. (2016). Yield and yield components of wheat as influenced by sowing date and humic acid. *International Journal of Natural Sciences*, 5(1), 8-14.
- Ehtesham, H.A., Mahmoud, A.H., & Gharib, H.S. (2018). Humic acid and salicylic acid mitigate the harmful effects of drought stress in chickpea plants. *South African Journal of Botany*, 115, 92-98.
- El-Aal, A. (2018). Effect of foliar spray with lithovit and amino acids on growth, bioconstituents, anatomical and yield features of soybean plant. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 56(4th ICBA), 187-202. <https://doi.org/10.21608/ASSJM.2018.65137>.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N.S.M.A., Fujita, D.B.S.M.A., & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*, 153-188.
- Fayaz, E., Sorooshzadeh, A., & Heidarzadeh, A. (2024a). Effect of foliar application of amino acids on some physiological processes of oil rapeseed (*Brassica napus* L.) under late-season drought stress conditions. *Plant Productions*, 47(1), 65-83. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.45873.2138>.
- Fayaz, E., Sorooshzadeh, A., & Heidarzadeh, A. (2025). Response of physiological and biochemical characteristics of oilseed rape Nima cultivar (*Brassica napus* L.) to foliar application of amino acids under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 18(2), 229-249. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2024.7036.2256>.
- Fayaz, E., Sorooshzadeh, A., & Heidarzadeh, A. (2024b). Effect of foliar application of amino acids under water deficit conditions during late-season on yield and yield components of oil rapeseed (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 139-149. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.368145.655044>.
- Ghazi Manas, M., Banj Shafiee, S., Haj Seyed Hadi, M.R., & Darzi, M.T. (2013). Effects of vermicompost and nitrogen on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 2, 269-280. (In Persian).
- Hafez, Y.M., Mourad, R.Y., Nasr, E.B., Attia, K.O.T.B., Abdelaal, K.A., Ghazy, A.I., & Mohammed, A.A. (2020). Biochemical and molecular characterization of non-host resistance keys in food crops. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(4), 1091-1099. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.12.041>.
- Haghighi, M., Kafi, M., & Fang, P. (2012). Photosynthetic activity and N metabolism of lettuce as affected by humic acid. *International Journal of Vegetable Science*, 18, 182-189.
- Harper, S.M., Kerven, G.L., Edwards, D.G., & Ostatek-Boczynski, Z. (2000). Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of *Eucalyptus camaldulensis* and from decomposed hay. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(10), 1331-1336. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00021-3).
- Heidarzadeh, A., & Modarres-Sanavy, S.A.M. (2023). Effect of amino acids combination on the quantitative and qualitative characteristics of garlic (*Allium sativum* L.). *Plant Productions*, 46(2), 237-249. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2023.42775.2071>.
- Heidarzadeh, A., Modares Sanavi, S.A.M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021a). Investigate different nutritional regimens on some forage quantitative and qualitative traits of *Dracocephalum kotschyi* Boiss under water deficit

- stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2), 15-27. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.292093.654654>.
- Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Ebrahimi-Esborezi, H. (2021b). Effect of priming and foliar application of different amino acids on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in late sowing. *Iranian Journal of Pulses Research*, 12, 88-99. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i1.83900>.
- Heidarzadeh, A., & Modarres-Sanavy, S.A.M. (2021). Effects of application and type of amino acids on the activity of antioxidant enzymes, proline content and seed yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Plant Products*, 44, 381-394. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.31327.1834>.
- Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2022). Changes in yield and essential oil compositions of *Dracocephalum kotschy* Boiss in response to azocompost, vermicompost, nitroxin, and urea under water deficit stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 896-913. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00700-z>.
- Hiscox, J.T., & Israelstam, G. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1332-1334.
- Kalantarahmadi, S., & Dezfouli, A.A.S. (2021). Effects of drought stress and foliar application of ascorbic acid, salicylic acid, methanol and post-harvest storage on seed yield and seed vigor of Hyola401 rapeseed cultivar. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(57), 109-130. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.299946.2372>.
- Kaya, M., Atak, M., Khawar, K., Ciftei, C.Y., & Ozcan, S. (2014). Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of cowpea. *International Journal of Agriculture & Biology*, 7(6), 875-878.
- Keshavarz, H., Modaress, A.M., & Zarinkamar, F. (2014). Differences in antioxidant responses of autumn and spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars affected by salicylic acid under the field condition. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(2), 288-298.
- Khalesi, A., Mousavi Mirkalaeia, S.A., Modares Sanavi, S.A.M., Eftekhari, A., & Nashaeai Moghadam, M. (2023). Effect of foliar application of some amino acids on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(1), 27-40. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2022.339351.654902>.
- Khalesi, A., Mousavi Mirkalaeia, S.A., Modarres Sanavy, S.A.M., Eftekhari, A., & Moghadam, M.N. (2023). Effect of foliar application of amino acids on grain yield and physiological traits of chickpea under drought stress. *Gesunde Pflanzen*, 75(5), 1705-1718. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2022.339351.654902>.
- Khalili, M., & Hamze, H. (2019). Effect of super-adsorbent and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(51), 395-412.
- Khalili, M., Naghavi, M.R., & Talebzade, S.J. (2020). Evaluation of changes in morphological, physiological and biochemical traits of some canola cultivars under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(2), 15-28. DOI: 10.22059/ijfcs.2019.250429.654438. (In Persian).
- Khan, A., Gurmani, A.R., Khan, M.Z., Hussain, F., Akhtar, M.E., & Khan, S. (2012). Effect of humic acid on growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment, and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 6, 56-63.
- Khan, N., Bano, A., Rahman, M.A., Rathore, R.S., & Khan, A. (2017). Drought-induced changes in growth, yield, biomass, carbon-isotope discrimination, $\delta^{18}\text{O}$, and $\delta^{13}\text{C}$ of mungbean at different growth stages. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(4), 254-267.
- Khanna, P., Gautam, R.D., & Thakur, M. (2018). Effect of different water regimes on growth and yield of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Environment and Ecology*, 36(1A), 222-226.
- Krizek, D.T., Kramer, G.F., Upadhyaya, A., & Mirecki, R.M. (1993). UV-B response of cucumber seedlings grown under metal halide and high-pressure sodium/deluxe lamps. *Physiologia Plantarum*, 88(2), 350-358.
- Kumar, M., Sirhindi, G., Bhardwaj, R., Kumar, S., Jain, G., & Sharma, D.K. (2018). Amino acids: Metabolism, functions, and signalling in plants. *Journal of Plant Biology*, 41(1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12374-017-0335-6>.
- Kumari, S., Kumar, V., Kothari, R., & Kumar, P. (2022). Effect of supplementing biochar obtained from different wastes on biochemical and yield response of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.): An experimental study. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 43, 102432. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102432>.
- Lian, X., Zhang, Y., Li, Y., Wang, Z., & Chen, J. (2023). Alleviation of adverse effects of drought stress on growth and nitrogen metabolism in mungbean (*Vigna radiata* L.). *Plants*, 12(17), 3082.
- Lichtenthaler, H.K., & Wellburn, A.R. (1983). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.

- Mahajan, G., Das, B., Sardana, V., Chauhan, B.S., & Gill, M.S. (2023). Mungbean growth and yield response in relation to water stress and elevated temperature conditions. *Agronomy*, 13(10), 2546.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulías, J., & Flexas, J. (2002). Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89(7), 895-905.
- Mikkelsen, R.L. (2005). Humic materials for agriculture. *Better Crops*, 89(3), 6-10.
- Momeni-Shijani, K., Modarres-Sanavy, S.A.M., Heidarzadeh, A., & Abedi, A.M. (2024). Study of photosynthetic pigments, seed yield and oil compositions of camelina (*Camelina sativa* L.) under the influence of urea foliar application and irrigation regimes in Tehran. *Plant Productions*, 47(3), 387-403. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46765.2161>.
- Moradi-Ghahderijani, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Heidarzadeh, A. (2024). Evaluation of physiological characteristics and forage quality of Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) under the different irrigation levels. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 17(2), 271-286. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2023.5740.2171>.
- Munir, M.A., Hussain, M., Farooq, M., & Jabran, K. (2021). Drought stress in plants: An overview. *Plant Stress Physiology*, 81-97.
- Naghavi, Z., Modarres-Sanavy, S.A.M., Heidarzadeh, A., & Abedi, A.M. (2024). Effect of different irrigation regimes and foliar application of iron chelate on physiological traits and chlorophyll fluorescence parameters in European borage (*Borago officinalis* L.). *Research in Horticultural Sciences*, 3(1), 147-168. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/rhsj.2025.367202.1106>.
- Neisi, H., Rafieiolhossaini, M., Tadayon, M.R., Ahmadpour, S.R., & Karimi, A. (2023). Evaluation of humic acid and fulvic acid with different sources of nitrogen fertilizer effects on agronomic characteristics of Anbarboo rice (*Oryza sativa* L.) under direct cultivation systems. *Journal of Crops Improvement*, 25(4), 987-1000. <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352306.2769>.
- Panda, D., Basak, J., Rahman, L., & Panigrahy, M. (2013). Effect of drought stress on morphological and yield parameters of green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 16(2), 99-103.
- Paul, P.J., & Panwar, A.S. (2016). Amino acids and their derivatives: A tool for plant adaptation to environmental constraints. In *Plant-Environment Interaction* (pp. 141-160). Springer.
- Raeisi, M., Shahbazi, E., & Shafeinia, A. (2020). Assessment of yield and yield components of doubled-haploid lines of rapeseed under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), 1077-1092. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2301.1592>.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655>.
- Sadak, M.S., Bakry, B.A., Abdel-Razik, T.M. & Hanafy, R.S. (2023). Amino acids foliar application for maximizing growth, productivity and quality of peanut grown under sandy soil. *Brazilian Journal of Biology*, 83, p.e256338. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256338>.
- Salehi, M., Faramarzi, A., Farboodi, M., Mohebalipour, N., & Ajalli, J. (2021). Symbiosis effects of mycorrhizal and *Pseudomonas* on morphophysiological traits of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) under moisture-stressed conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 12(1), 111-126. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i1.84409>.
- Sehrawat, N., Jaiwal, P.K., Yadav, M., Bhat, K.V., & Sairam, R.K. (2013). Salinity stress restraining mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) production: Gateway for genetic improvement. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(9), 505.
- Smirnoff, N. (1993). The role active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-28.
- Tantasawat, P., Trongchuen, J., Prajongjai, T., Thongpae, T., Petkhum, C., Seehalak, W., & Machikowa, T. (2010). Variety identification and genetic relationships of mungbean and blackgram in Thailand based on morphological characters and ISSR analysis. *African Journal of Biotechnology*, 9(27), 4452-4464.
- Wang, D., Deng, X., Wang, B., Zhang, N., Zhu, C., Jiao, Z., Li, R., & Shen, Q. (2019). Effects of foliar application of amino acid liquid fertilizers, with or without *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota. *Plos One*, 14(9), e0222048. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222048>.