Research Article

Iranian Journal of Seed Research, 2025, 11(2): 143-161

Response of germination traits of two bean species (*Pachyrhizus erosus* and *Phaseolus vulgaris*) to fertilizer treatments under drought stress

Marzieh Hasani [1], Mahmoud Reza Tadayon [2,*], Majid Olia [3]

Extended abstract

Introduction: Germination and seedling emergence are among the most critical developmental stages in crop plants, significantly influencing subsequent growth stages in the field. These traits are directly linked to seed vigor and potential. The application of organic and biofertilizers can enhance seed and seedling vigor, enabling them to withstand environmental stresses such as drought and aridity. To investigate this, the effects of drought stress and fertilizer treatments on germination indices of two plant species (red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Yam (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) were examined.

Materials and methods: The seeds of Yam and red bean (Goli variety) were subjected to four levels of drought stress (0, -6, -9, and -12 bar) and four fertilizer treatments: control (no fertilizer), optimal biological fertilizer (EM), optimal organic vinasse fertilizer, and a combination of biological and organic fertilizers (at optimal levels). A factorial experiment was conducted based in a completely randomized design with three replications at the University of Shahrekord during the 2022-2023 growing season.

Results: The results revealed that the triple interaction of plant species, fertilizer treatments, and drought stress had a significant effect ($p < 0.01$) on germination percentage, germination rate, seed vigor index, shoot and radicle length, as well as fresh and dry weights of shoots and radicles. Under non-stressed conditions, the Yam species treated with combined fertilizers exhibited the highest mean values for germination percentage (100%), germination rate (42.5 seeds/day), seed vigor index (8.55), shoot length (5.66 cm), shoot fresh weight (0.69 g), shoot dry weight (0.12 g), radicle fresh weight (0.77 g), and radicle dry weight (0.11 g). Under moderate drought stress (−9 bar), the mean radicle length of Yam treated with combined fertilizers was 6.33 cm.

Conclusion: In this study, the application of fertilizer treatments enhanced greater tolerance to water stress conditions and reduced water potential, while drought stress treatments led to a decline in the examined traits in both bean species. However, the Yam species demonstrated superior drought stress tolerance compared to the red bean, making it a more suitable option for cultivation under drought stress conditions.

Keywords: Integrated fertilizer, Mexican bean, Resistance, Seed germination index, Vinas

***Highlights*:**

1. The novelty of Yam in Iran and the lack of information on the germination and growth characteristics of this plant.
2. Due to the presence of rotenone in Yam seeds, there was no information about interaction of fertilizer with seed germination traits.
3. Since Yam is a multipurpose plant with both seed and tuber uses, there was no available data on how its germination traits compare to those of a similar plant, such as beans.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[1]PhD student, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[2]Professor, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[3]Associate Professor, Department of Plant Protection, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

*Corresponding author, E-mail: mrtadayon@yahoo.com

Received: 21.8.2024; Revised: 26.2.2025;
Accepted: 17.3.2025; Online Published: 21.3.2025

http://dx.doi.org/10.61882/yujs.11.2.143

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

مقاله پژوهشی

پژوهش‌های بذر ایران/ سال یازدهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۳/ صفحات: ۱۶۱-۱۴۳

واکنش صفات جوانه‌زنی دو گونه لوبیا (*Pachyrhizus erosus* و *Phaseolus vulgaris*) به تیمارهای کودی تحت تنش خشکی

مرضیه حسنی[۱]، محمودرضا تدین*[۲]، مجید اولیاء[۳]

چکیده مبسوط

مقدمه: جوانه‌زنی و سبزشدن از مهم‌ترین مراحل رشدی گیاهان زراعی محسوب می‌شوند و نقش قابل‌توجهی بر مراحل بعدی رشد گیاه در مزرعه نیز خواهند داشت که این ویژگی، در ارتباط مستقیم با اندازه توان و پتانسیل بذر است. کاربرد کودهای آلی و زیستی برای افزایش بنیه بذر و گیاهچه می‌تواند آن‌ها را در شرایط تنش‌های محیطی ازجمله تنش کم‌آبی و خشکی متحمل یا قوی سازد. بدین منظور به بررسی اثر تنش خشکی و تیمارهای کودی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر دو گونه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) و لوبیا یام (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: بذرهای لوبیا یام و لوبیا قرمز رقم گلی، در چهار سطح تنش خشکی شامل: صفر، ۶- ، ۹- و ۱۲- بار و چهار سطح کودی شامل: تیمارهای شاهد (عدم مصرف کود)، کود زیستی (EM در حد مطلوب)، کود آلی ویناس (در حد مطلوب) و ترکیب کودهای زیستی و آلی (در حد مطلوب) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار در دانشگاه شهرکرد در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که برهمکنش سه‌گانه گونه گیاهی، تیمارهای کودی و تنش خشکی، بر صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه بذر در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. گونه لوبیا یام با کاربرد تیمار کودهای ترکیبی در شرایط بدون تنش خشکی، بیشترین میانگین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ ٪)، سرعت جوانه‌زنی (۴۲/۵ بذر/ روز)، شاخص بنیه بذر (۸/۵۵)، طول ساقه‌چه (۵/۶۶ سانتی‌متر)، وزن تر ساقه‌چه (۰/۶۹ گرم)، وزن خشک ساقه‌چه (۰/۱۲ گرم)، وزن تر ریشه‌چه (۰/۷۷ گرم)، و وزن خشک ریشه‌چه (۰/۱۱ گرم) را نشان داد. در شرایط تنش متوسط خشکی (سطح تنش ۹- بار)، میانگین طول ریشه‌چه در گونه لوبیا یام تحت تأثیر کودهای ترکیبی ۶/۳۳ سانتی‌متر بود.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه کاربرد تیمارهای کودی، سبب ایجاد تحمل بیشتر نسبت به شرایط تنش آبی و کاهش پتانسیل آب شدند، همچنین تیمارهای تنش خشکی سبب کاهش صفات مورد بررسی، در هر دو گونه لوبیا شدند اما گونه لوبیا یام نسبت به لوبیا قرمز در برابر تنش خشکی، تحمل بیشتری نشان داد. از این‌رو می‌تواند گزینه‌ای مناسب‌تر برای کشت در شرایط تنش خشکی باشد.

کلیدواژه: شاخص بنیه بذر، کود تلفیقی، لوبیا مکزیکی، مقاومت، ویناس

جنبه‌های نوآوری:

۱- جدید بودن لوبیا یام در ایران و کمبود اطلاع از ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشدی این گیاه.

۲- به‌دلیل وجود روتنون در بذر لوبیا یام، اطلاعی از وجود برهمکنش کودی با ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر آن وجود نداشته است.

۳- به‌دلیل اینکه لوبیا یام گیاهی چندمنظوره دانه‌ای غده‌ای است اطلاعی از واکنش صفات جوانه‌زنی آن در مقایسه با گیاهی مشابه مانند لوبیا قرمز وجود نداشته است.

[۱] دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

[۲*] استاد، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

[۳] دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: mrtadayon@yahoo.com

http://dx.doi.org/10.61882/yujs.11.2.143

شاپا: ۱۴۸۰-۲۳۸۳ (برخط)؛ ۱۲۵۱-۲۳۸۳ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۳۱؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

مقدمه

تقریباً حدود نیمی از سطح زیر کشت حبوبات جهان به لوبیا اختصاص پیدا کرده است. لوبیا به‌واسطه وجود پروتئین، فیبر و ویتامین در دانه یکی از منابع مهم غذایی در سراسر دنیاست و از جمله گیاهانی است که می‌توان آن را به‌صورت مستقیم و بدون نیاز به صنایع تبدیلی مورد استفاده خوراکی قرار داد (مک کلین [1] و همکاران، ۲۰۰۴). لوبیا یام [2] با نام علمی *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban، گونه‌ای از خانواده بقولات [3] می‌باشد که دارای مقدار زیادی روغن (حدود ۲۰ تا ۲۸٪ وزن بذر) و پروتئین (حدود ۲۳ تا ۳۴٪ وزن بذر) هستند. این‌گونه بومی مکزیک و آمریکای مرکزی است و دلیل انتخاب کشت لوبیا یام، سازگاری نسبتاً خوب در شرایط تنش خشکی، امکان رشد در زمین‌های حاشیه‌ای با خاک‌هایی با حاصلخیزی ضعیف است (سورنسن [4]، ۱۹۹۶). لوبیا قرمز با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. گیاهی یکساله و گرمادوست، بومی آمریکای جنوبی و از گونه‌های مختلف خانواده بقولات [5] است (بروجردنیا [6] و همکاران، ۲۰۱۶). لوبیا قرمز رقم گلی، با بذر قرمز رنگ و کلاس تجاری Red Mexican معروف است. این رقم، نسبت به شرایط اقلیمی کشور از سازگاری مناسبی برخوردار و دارای تیپ رشد نامحدود و رونده است (نجارزاده [7]، ۲۰۱۴). معمولا لوبیا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع غذایی سرشار از پروتئین و به‌عنوان دومین منبع تأمین نیاز غذایی انسان در بین گیاهان زراعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (زمانی [8] و ۲۰۱۶). لوبیا علاوه بر ارزش غذایی و تثبیت نیتروژن، نقش مهمی در پایداری سامانه‌های کشاورزی به‌دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک ایفا می‌کنند. از این‌رو، از حبوبات، به‌عنوان گیاهانی برای تنوع-بخشی به نظام‌های کشت مبتنی بر غلات استفاده می‌شود. در ایران، انجام پژوهش و تولید حبوبات (از جمله انواع لوبیا) به تناسب افزایش سطح زیر کشت و تولید این گیاهان و اهمیت آن‌ها در حفظ پایداری تولید غلات و همچنین سبد غذایی خانواده‌ها، از توجه و امتیاز ویژه‌ای برخوردار است (احمدی [9] و همکاران، ۲۰۱۷).

بذرهای گیاهان از لحاظ ساختار و فیزیولوژی دارای موادی هستند که رشد گیاهچه را از زمان جوانه‌زنی تا زمان خودکفایی حمایت می‌کنند. جوانه‌زنی پدیده‌ای پیچیده و دینامیک بوده و شامل تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است که سبب فعال‌شدن جنین می‌شود. در تولید گیاهان زراعی موفق، مدت زمان کاشت بذر، تا زمانی که گیاهچه استقرار کامل پیدا کند از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا که تأثیرات زیادی بر رشد گیاه و عملکرد نهایی و کیفیت بذرها پس از برداشت خواهد داشت. از سویی، در مواردی محیط خاک ممکن است برای جوانه‌زنی بذر و رشد سریع گیاهچه مناسب نباشد. تنش‌های زیستی و غیرزیستی مانند دماهای بالا و پایین، خشکی، غرقابی بودن، شوری، عوامل بیماری‌زا و حشرات، سرعت و درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را کاهش می‌دهند یا به‌گونه کامل، از جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه جلوگیری می‌کنند (پیری [10] و همکاران، ۲۰۲۱؛ افروز [11] و همکاران، ۲۰۲۳).

خشکی پدیده‌ای بحرانی و اجتناب‌ناپذیر است که همه ساله در بخش‌هایی از دنیا در زمان‌های مختلف، با دامنه و شدت متفاوت به تولید موفقیت‌آمیز گیاهان زراعی آسیب می‌رساند (لوکیک [12] و همکاران، ۲۰۲۰؛ تدین [13]، ۲۰۱۰). کودهای زیستی، حاوی ریزسازواره‌های مفید در تغذیه گیاه هستند که می‌توانند مشتمل بر گروه‌های مختلف از قبیل قارچ‌ها، باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و مانند آن باشند. امروزه استفاده از این کودها در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و استفاده از اثرات مفید آن‌ها رو به افزایش است (مرادی و پیری [14]، ۲۰۱۸).

کود زیستی ای ام [15]، ترکیبی ویژه از ۱۲۰ گونه مختلف ریزجاندار هوازی و بی‌هوازی است که همه این ریزموجودات دو به دو با یکدیگر سازگارند و می‌توانند

[1] Mc Clean
[2] Jicama
[3] Fabaceae
[4] Sorensen
[5] Fabaceae
[6] Boroujerdnia
[7] Najarzadeh
[8] Zamani
[9] Ahmadi
[10] Piri
[11] Afrouz
[12] Lukić
[13] Tadayon
[14] Moradi and Piri
[15] EM (Effective Microorganism)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

به‌صورت همزیست در کشت مایع وجود داشته باشند (شکوهیان[1] و همکاران، ۲۰۱۹). از این‌رو، برای افزایش تولید و کیفیت گیاهان زراعی باید شرایط لازم جهت رشد گیاه را با توجه به عناصر مورد نیاز آن و با مصرف اصولی عناصر غذایی تأمین نمود (یاسین و ملحی[2]، ۲۰۰۹).

ملاس یکی از فراورده‌های جانبی نیشکر است که از آن اتانول تولید می‌شود. ویناس، ماده خام و پساب حاصل از تولید الکل است و معمولا در ازای تولید هر لیتر الکل، ۱۲ لیتر ویناس تولید می‌شود که به علت داشتن مواد آلی فراوان و غلظت بالای نیتروژن و پتاسیم، کلسیم، منیزیم و مقادیری فسفر، منبع مهمی از عناصر غذایی به‌ویژه برای کشاورزی ارگانیک به حساب می‌آید (جمیلی[3]، ۲۰۱۲).

مامدی[4] و همکاران (۲۰۱۷b) بیان داشتند که تنش خشکی تأثیر به‌سزایی در مراحل اولیه رشد و استقرار گیاه دارد و باعث ایجاد اختلال در جوانه‌زنی و استقرار گیاه می‌شود. صدوق[5] و همکاران (۲۰۱۲) کاهش درصد جوانه-جوانه‌زنی بذرها را با کاهش پتانسیل اسمزی که توسط پلی‌اتیلن گلیکول ایجاد شده گزارش کرده است. باقری و حسن بیگی[6] (۲۰۱۸) به کاهش رشد ساقه‌چه با افزایش تنش خشکی اشاره کرده است. کاربرد کودهای زیستی در افزایش بنیه بذر و گیاهچه ممکن است بذرها و در نهایت گیاهچه‌ها و بوته‌های ایجاد شده را در تحمل نسبت به تنش‌های محیطی ازجمله تنش کم‌آبی و خشکی قوی سازد به همین دلیل به‌عنوان یک تیمار قبل از بذرکاری پیشنهاد می‌شود (آزام و موک[7]، ۲۰۱۱). نتایج پژوهش تبریزی و کوچکی[8] (۲۰۱۴) روی گیاه همیشه بهار نشان داد که کاربرد تلفیقی کود آلی و زیستی، درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و شاخص بنیه بذر را به گونه معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد و سبب بهبود صفات مورد بررسی نسبت به عدم کاربرد کود شد. از آنجا که نتایج پژوهش‌های اندکی مبنی بر مقایسه دو گونه لوبیا یام و قرمز گلی تحت تأثیر تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کمتر وجود دارد، لذا هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثرات تنش خشکی و همچنین نقش کودهای زیستی و آلی در کاهش اثرات تنش روی قدرت و جوانه‌زنی بذر در شرایط ایران با آب و هوایی نیمه‌خشک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در آزمایشگاه ویژگی‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذرهای لوبیا یام و لوبیا قرمز رقم گلی به‌صورت مقایسه‌ای تحت تنش خشکی و تیمار کودی بررسی شد. بذرهای لوبیا یام و لوبیا قرمز رقم گلی، به ترتیب از انگلستان و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی- استان مرکزی تهیه شدند. بذرهای لوبیا یام و لوبیا قرمز رقم گلی در چهار سطح تنش خشکی شامل: صفر، ۶-، ۹- و ۱۲- بار و چهار سطح کودی شامل: تیمارهای شاهد (عدم مصرف کود)، کود زیستی (EM در حد مطلوب)، کود آلی ویناس (در حد مطلوب) و ترکیب زیستی و آلی (در حد مطلوب) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار در آزمایشگاه زراعت دانشگاه شهرکرد مورد ارزیابی قرار گرفتند. حد مطلوب کودی برای جوانه‌زنی بذرها در شرایط پتری، توسط شرکت‌های سازنده کود مشخص شده که نسبت ۱ به ۱۰ مخلوط با آب است. کود زیستی EM استفاده شده در این پژوهش، از شرکت امکان‌پذیر پارس نماینده انحصاری EMRO ژاپن و کود آلی ویناس، از شرکت الکل خرمشهر و به سفارش شرکت تجهیز صنعت باران تهیه شد. برای این منظور بذرهای لوبیا یام و لوبیا به طور جداگانه برای هر پتری، در سه تکرار استفاده شد و در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سیلیسیوس و در شرایط تاریکی قرار گرفتند. تنش خشکی با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ اعمال شد. به این منظور ۲۵ عدد بذر سالم و خالص از هر گیاه شمارش و درون پتری سترون قرار داده شد و به هر پتری ۵ میلی‌لیتر محلول‌های مربوطه اضافه شد. نخستین شمارش بذرهای جوانه‌زده ، ۲۴ ساعت پس از انتقال آن‌ها به ژرمیناتور صورت گرفت. بر طبق استاندارد ایستا، معیار جوانه‌زنی بذر، خروج ریشه‌چه به میزان حداقل ۲ میلی‌متر است. صفات جوانه‌زنی در انتهای آزمایش (روز دهم برای لوبیا و چهاردهم برای لوبیا یام) طول ریشه‌چه، طول

[1] Shekohian
[2] Yaseen and Malhi
[3] Jamili
[4] Mamdi
[5] Sadouq
[6] Bagheri and Hasan Beigi
[7] Azam and Mauk
[8] Tabrizi and Koocheki

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

ساقه‌چه، وزن‌تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص طولی بنیه بذر اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری طول ساقه-چه و ریشه‌چه و به‌منظور مقایسه آن‌ها با تیمار شاهد، از هر تیمار به طور تصادفی ۵ بذر جوانه زده انتخاب شده و به وسیله خط‌کش و با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. در این پژوهش برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ و جهت تعیین سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ و شاخص بنیه از رابطه ۳ استفاده شد (احمدپور[1] و همکاران، ۲۰۱۵).

رابطه ۱: $GP^{2}= n/N \times 100$

100

که در آن GP درصد جوانه‌زنی، n تعداد بذرهای جوانه زده و N تعداد کل بذرها است.

رابطه ۲: $GR^{3}= \sum ni/ti$

که در آن GR سرعت جوانه‌زنی، ni تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز و ti تعداد روز تا شماره n ام است.

رابطه ۳: $VI^{4}= (Ls\times Gp)/100$

(Ls×Gp)/100

که در آن VI شاخص بنیه، Ls میانگین طول گیاهچه‌ها (مجموع میانگین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) و Gp درصد جوانه‌زنی بذرها است.

گیاهچه و ریشه‌چه با قرار گرفتن در دستگاه آون (دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت) خشک شدند و وزن‌تر و خشک آن‌ها با ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تعیین شد.

داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه 9.2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD با استفاده از نرم افزار MSTAT-C در سطح احتمال ۵ ٪ انجام شد. رسم نمودارها و جداول آماری نیز به ترتیب با استفاده از نرم افزارWord و Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده گونه، تنش خشکی و کود و برهمکنش دوگانه گونه × تنش خشکی، کود × تنش خشکی، همچنین برهمکنش سه‌گانه گونه × تنش خشکی × کود در سطح احتمال ۱٪ بر صفت درصد جوانه‌زنی بذرهای لوبیا یام و لوبیا قرمز مؤثر بودند و برهمکنش دوگانه گونه × کود، عدم معنی‌داری را برای این صفت نشان داد (جدول ۱). بیشترین درصد جوانه‌زنی در برهمکنش سه‌گانه تیمارها مربوط به گونه لوبیا یام تحت تیمارهای کودی ترکیبی، آلی، زیستی و شرایط بدون تنش خشکی (تیمار شاهد خشکی) به ترتیب با ۱۰۰، ۹۹/۷ و ۹۹/۷٪، و همچنین تمامی تیمارهای کودی در شرایط بدون تنش خشکی (تیمار شاهد خشکی) در گونه لوبیا قرمز بود و کمترین درصد جوانه‌زنی را گونه لوبیا قرمز، در شرایط عدم کاربرد کود (شاهد) و در تنش شدید خشکی (سطح خشکی ۱۲- بار) با ۲/۳۳ درصد نشان داد (شکل ۱). در این آزمایش، احتمالاً به‌دلیل داشتن سازوکارهای تحمل به خشکی بیشتر گونه لوبیا یام نسبت به لوبیا، میزان جذب آب آن، در شرایط تنش بیشتر و در نتیجه درصد جوانه‌زنی آن بیشتر بوده است؛ اما در مجموع، می‌توان، علت کاهش درصد جوانه‌زنی در هر دو گونه را تحت تیمارهای تنش، به کاهش سرعت جذب اولیه آب نسبت داد. تنش خشکی، سبب محدودیت جذب آب توسط بذر، تأثیر بر حرکت انتقال ذخایر بذر و با تأثیر مستقیم بر ساختمان جنین، جوانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش درصد جوانه‌زنی در بذرها می‌شود (دشتکی[5] و همکاران، ۲۰۲۰). احتشامی[6] و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند که تیمارهای کودی و تیمارهای افزاینده رشد، با بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، سبب بهبود جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه و کمک به گیاه برای رشد در شرایط تنش-های محیطی می‌شوند از سویی، توانایی ظهور گیاهچه، بسیار وابسته به کیفیت بذر است و بستگی به جوانه‌زنی بالای آن دارد. آنها مشاهده کردند که تلقیح بذر لوبیا با کودهای زیستی، سبب افزایش درصد جوانه‌زنی شد که نشان‌دهنده اثرات مثبت کاربرد این کودها بر فعال‌شدن عوامل درونی بذر است که در جوانه‌زنی نقش مهمی دارند. کاهش جوانه‌زنی تحت تأثیر تنش شدید خشکی به کاهش

[1] Ahmadpour
[2] Germination Percentage
[3] Germination Rate
[4] Vigor Index
[5] Dashtaki
[6] Ehteshami

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

رطوبت یاخته و تأثیر آن بر ساخت پروتئین‌ها و ترشح هورمون‌ها نسبت داده می‌شود.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات جوانه‌زنی بذر لوبیا یام و لوبیا قرمز

Table 1. Results of analysis of variance of seed germination traits of Yam been and red bean.

Sources of variation	منبع تغییرات	درجه آزادی DF	درصد جوانه‌زنی germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	طول ساقه‌چه Hypocotyl length	وزن تر ساقه چه Hypocotyl FW
Species	گونه	1	5828.166**	421.011**	110.124**	33.606**	0.166**
Drought-stress	تنش خشکی	3	30508.694**	4409.357**	192.807**	55.620**	0.348**
Fertilizer treatment	تیمار کودی	3	356.194**	148.869**	7.115**	3.071**	0.041**
Species × drought-stress	گونه×تنش خشکی	3	715.361**	28.710**	15.209**	2.646**	0.018**
Species × fertilizer treatment	گونه× تیمار کودی	3	4.083^{ns}	2.079^{ns}	0.862**	0.038*	0.0031^{ns}
Drought-Stress × fertilizer treatment	تنش خشکی × تیمار کودی	9	24.203**	8.325**	0.402**	0.140**	0.0057*
Species × drought-stress × fertilizer treatment	گونه × تنش خشکی × تیمار کودی	9	18.092*	3.110**	0.102**	0.0401**	0.0079**
Error	خطا	64	8.531	1.212	0.032	0.012	0.0028
Coefficient of variation (%)	ضریب تغییرات (درصد)	-	5.35	5.35	4.77	3.61	11.36

ns عدم معنی‌داری، * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: non-significant, *, **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول۱.

Continued Table 1.

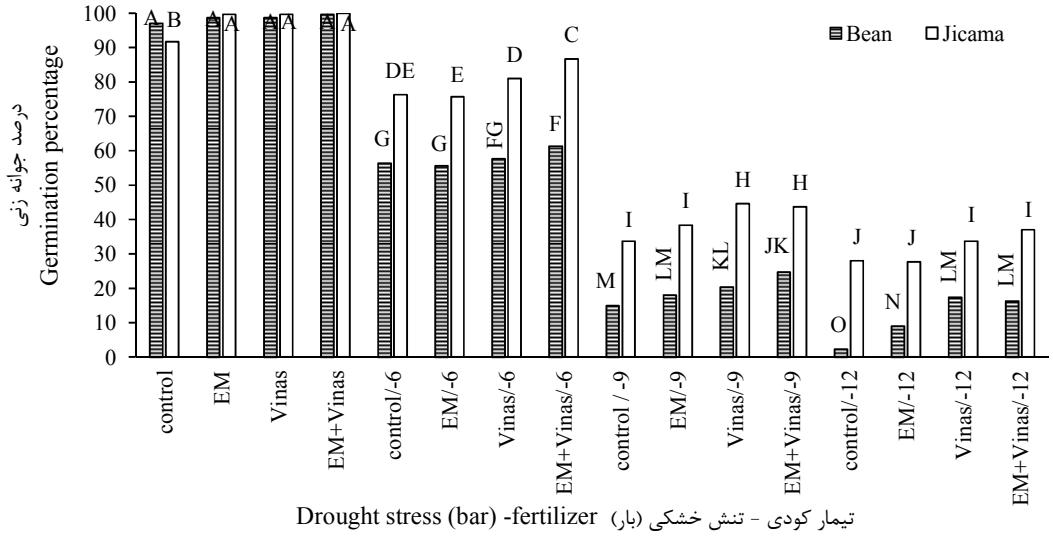
Sources of variation	منبع تغییرات	درجه آزادی DF	وزن خشک ساقه چه Pedicel DW	طول ریشه‌چه Radicle length	وزن تر ریشه‌چه Radicle FW	وزن خشک ریشه‌چه Radicle DW
Species	گونه	1	0.024**	37.375**	0.137**	0.027**
Drought-stress	تنش خشکی	3	0.012**	78.833**	0.342**	0.014**
Fertilizer treatment	تیمار کودی	3	0.0013**	1.720**	0.039**	0.00097**
Species × drought-stress	گونه×تنش خشکی	3	0.0014**	5.090**	0.0108*	0.00094**
Species × fertilizer treatment	گونه× تیمار کودی	3	0.000046^{ns}	0.065*	0.0038^{ns}	0.00012^{ns}
Drought-Stress × fertilizer treatment	تنش خشکی × تیمار کودی	9	0.0001*	0.075**	0.0061**	0.00011^{ns}
Species × drought-stress × fertilizer treatment	گونه × تنش خشکی × تیمار کودی	9	0.00018*	0.073**	0.0066**	0.0002*
Error	خطا	64	0.000078	0.025	0.0016	0.00009
Coefficient of variation (%)	ضریب تغییرات (درصد)	-	11.54	5.36	7.41	15.55

ns عدم معنی‌داری، * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: non-significant, *, **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]



شکل ۱. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × کود × تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی بذر لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند)

Figure 1. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait germination percentage of Yam been and red bean seeds (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.)

از این رو تنش خشکی با محدودکردن جذب آب توسط بذر، موجب کاهش حرکت و انتقال ذخایر بذر می‌شود (مامدی[1] و همکاران، ۲۰۱۷a). نتایج این مطالعه، همسو با نتایج سایر پژوهشگران نشان داد که تنش خشکی، سبب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد.

سرعت جوانه‌زنی

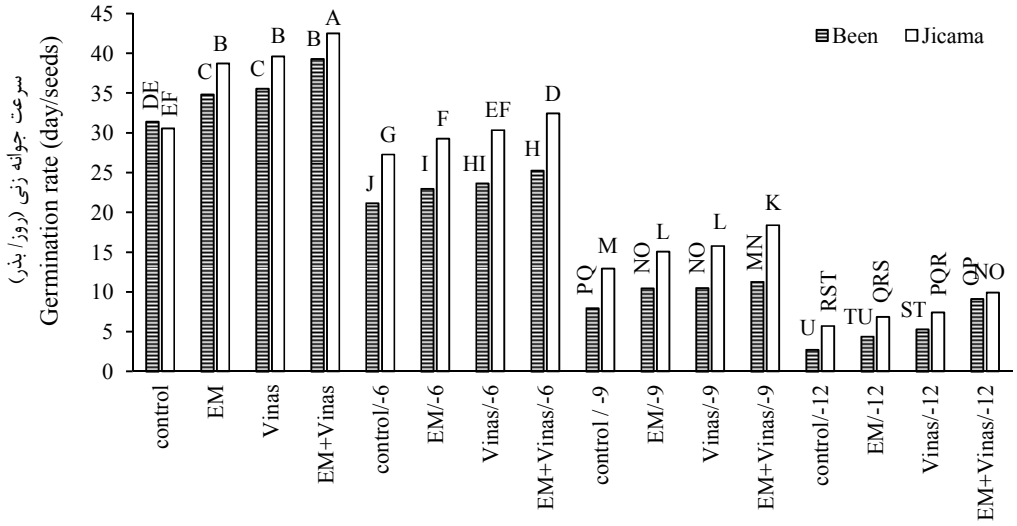
نتایج نشان داد اثرات اصلی تیمارها و همچنین برهمکنش دوگانه (بجز گونه × کود) و برهمکنش سه‌گانه گونه × تنش خشکی × کود در سطح احتمال ۱ ٪ بر صفت سرعت جوانه‌زنی بذرهای لوبیا یام و لوبیا قرمز مؤثر بودند (جدول ۱). همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود برهمکنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی در لوبیا یام تحت تیمار کودی ترکیبی و شرایط بدون تنش خشکی (تیمار شاهد خشکی) با ۴۲/۴۸ بذر/ روز و کمترین آن مربوط به لوبیا قرمز در تیمار بدون کاربرد کود و تحت تنش شدید خشکی (سطح خشکی ۱۲- بار) با ۲/۷۳ بذر/ روز بوده است. سرعت جوانه‌زنی، یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تحمل به تنش خشکی در جوانه‌زنی است. زیرا هر چه سرعت جوانه‌زنی بیشتر باشد، شانس سبز شدن تحت شرایط تنش خشکی بیشتر خواهد بود. احتمالا کاهش جوانه‌زنی بذر، به‌دلیل محدودیت آب، راهکاری تکاملی در گیاهان مناطق خشک است تا در شرایط محدودیت رطوبت، با تاخیر در جوانه‌زنی یا تعداد بذرهای جوانه‌زده کمتر، بتواند از آب موجود، بیشترین استفاده را برده و امکان ادامه بقای آن‌ها میسر شود. در پژوهشی روی ژنوتیپ‌های عدس گزارش شده است که شاخص‌های جوانه‌زنی از قبیل سرعت و درصد جوانه‌زنی، تحت تنش خشکی کاهش یافت. این روند کاهشی جوانه‌زنی در سطوح بالای تنش خشکی را می‌توان، نوعی سازگاری با کاهش پتانسیل اسمزی محیط و در نتیجه کاهش سرعت و مقدار جذب آب و عناصر غذایی دانست. بذرها برای آغاز فعالیت خود و شروع جوانه‌زنی نیاز به آب کافی دارند. اگر بذر نتواند به اندازه کافی آب جذب کند یا جذب آب به‌کندی صورت گیرد، فعالیت‌های درونی بذر نیز کند شده و مدت‌زمان لازم برای خروج ریشه‌چه نیز افزایش و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (اویسی[2] و همکاران، ۲۰۲۴).

[1] Mamedi

[2] Oveisi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]



شکل ۲. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × کود × تنش خشکی بر سرعت جوانه‌زنی بذر لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 2. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait Germination rate of Yam been and red bean seeds (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.)

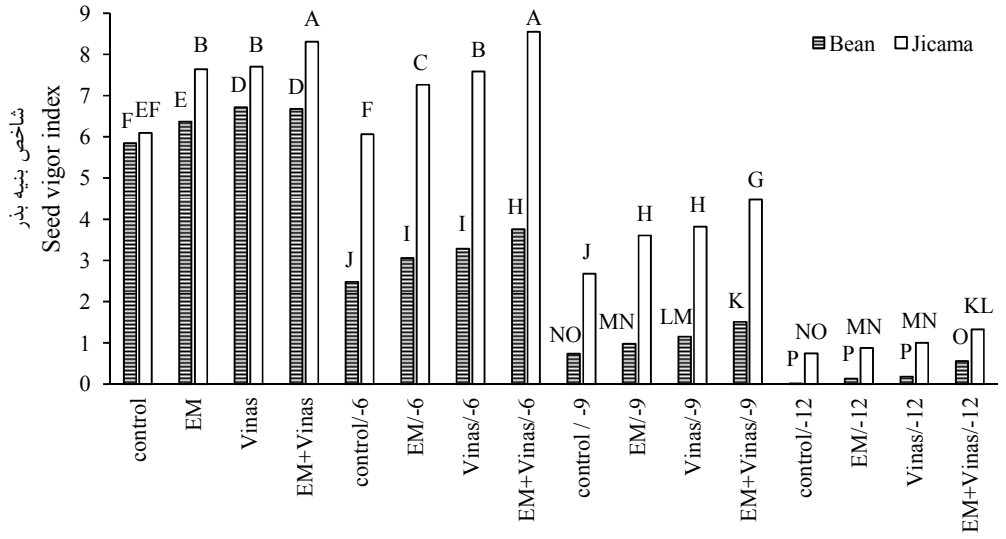
همچنین نتایج پژوهش گالسر[1] و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که کاربرد کود آلی، باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی در سویا شده است. کودهای آلی با موادمغذی قابل دسترس مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم که برای رشد و جوانه‌زنی بذر بسیار مهم هستند سبب ارتقای توسعه سامانه ریشه و سبب بهبود سرعت جوانه‌زنی بذر گیاهان می‌شوند. کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی بذرها را می‌توان با کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز مرتبط دانست. به‌عبارتی کاهش جذب آب و در پی آن، کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرایندهای بیوشیمیایی جوانه‌زنی، علت اصلی کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (رهبریان[2] و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج این پژوهش با گزارش‌های ارائه شده بالا همخوانی داشت.

شاخص بنیه

با توجه به یافته‌ها مشاهده می‌شود که اثرات ساده تیمارهای گونه، تنش خشکی، کود از سویی برهمکنش دوگانه و برهمکنش سه‌گانه این تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر شاخص بنیه بذر لوبیا یام و لوبیا قرمز معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین شاخص بنیه بذر با ۸/۳۱ و ۸/۵۵ در گونه لوبیا یام تحت تیمار کودی ترکیبی و شرایط بدون تنش خشکی و همچنین تنش خفیف خشکی (سطح خشکی ۶- بار) به‌دست آمد و میزان شاخص بنیه بذر لوبیا قرمز در تمامی تیمار کودی (به جز ترکیبی) تحت تنش شدید خشکی (سطح خشکی ۱۲- بار) کمترین تأثیر را نشان داد (شکل ۳). از آنجا که قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر، ارتباط مستقیم با طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی دارند، بنابراین، کاهش شاخص بنیه بذر و قدرت جوانه‌زنی در سطوح تنش خشکی را نسبت به سطح بدون تنش، می‌توان به کاهش معنی‌دار سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول ریشه‌چه در این سطوح نسبت داد (احمدپور و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از تیمارهای مناسب در شرایط تنش خشکی، که موجب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه می‌شوند، در نهایت، سبب افزایش قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر شده، که

[1] Gulser
[2] Rahbarian

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]



شکل ۳. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × کود × تنش خشکی بر شاخص بنیه بذر لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 3. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait Seed vigor index of Yam been and red bean seeds (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.)

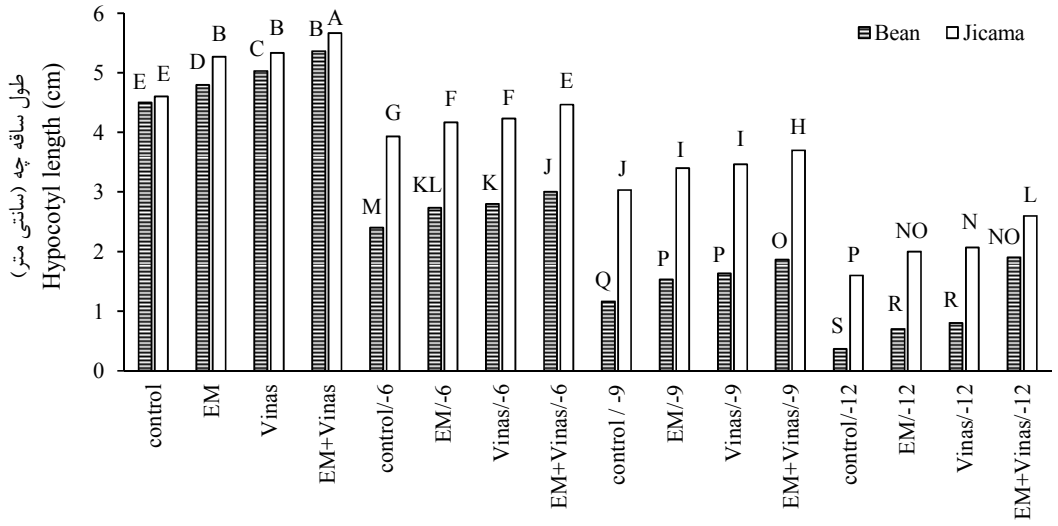
می‌تواند نقش مهمی در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش داشته باشد. کودهای آلی و زیستی، به‌دلیل داشتن برخی ترکیبات هورمونی، مانند اکسین و جیبرلین در تحریک رشد گیاهچه (ساقه‌چه + ریشه‌چه) نقش مهمی دارند. در پژوهشی روی لوبیا و نخود تحت تنش خشکی، مشاهده شد که استفاده از عصاره کود آلی سبب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و بهبود اثرات منفی تنش شد (احمدپور[1] و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج مطالعه حاضر، همسو با نتایج سایر پژوهشگران نشان داد که، با افزایش شدت تنش خشکی، پارامترهای جوانه‌زنی مورد بررسی، شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد.

طول ساقه‌چه

بر اساس جدول ۱ اثرات ساده گونه، تنش خشکی، کود، برهمکنش دوگانه گونه × تنش خشکی، کود × تنش خشکی و برهمکنش سه‌گانه گونه × تنش خشکی × کود بر صفت طول ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش دوگانه گونه × کود در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. طول ساقه‌چه در برهمکنش سه‌گانه تیمارها در گونه لوبیا یام تحت تیمار کودی ترکیبی و بدون تنش خشکی (تیمار شاهد خشکی) با ۵/۶۷ سانتی‌متر نسبت به لوبیا قرمز بدون تیمار کودی (تیمار شاهد کودی) تحت تنش شدید خشکی (سطح خشکی ۱۲- بار) با ۰/۳۷ سانتی‌متر افزایش نشان داد (شکل ۴). در شرایط تنش خشکی، میزان تجمع ماده خشک در بافت ساقه‌چه افزایش می‌یابد و ارقامی که بتوانند در شرایط تنش رطوبتی، طول ساقه‌چه خود را بیشتر افزایش دهند یا میزان کاهش طول ساقه‌چه در آن‌ها با افزایش تنش خشکی کم باشد، در مرحله گیاهچه‌ای در برابر تنش خشکی مقاوم به شمار می‌آیند (رحیمی[1] و همکاران، ۲۰۱۹). احتمالاً کودها با دارابودن عناصر ضروری، موجب بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرها، از جمله افزایش طول ساقه‌چه شده‌اند.

[1] Rahimi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]



شکل ۴. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × کود × تنش خشکی بر طول ساقه‌چه لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 4. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait Hypocotyl length of Yam been and red bean (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.)

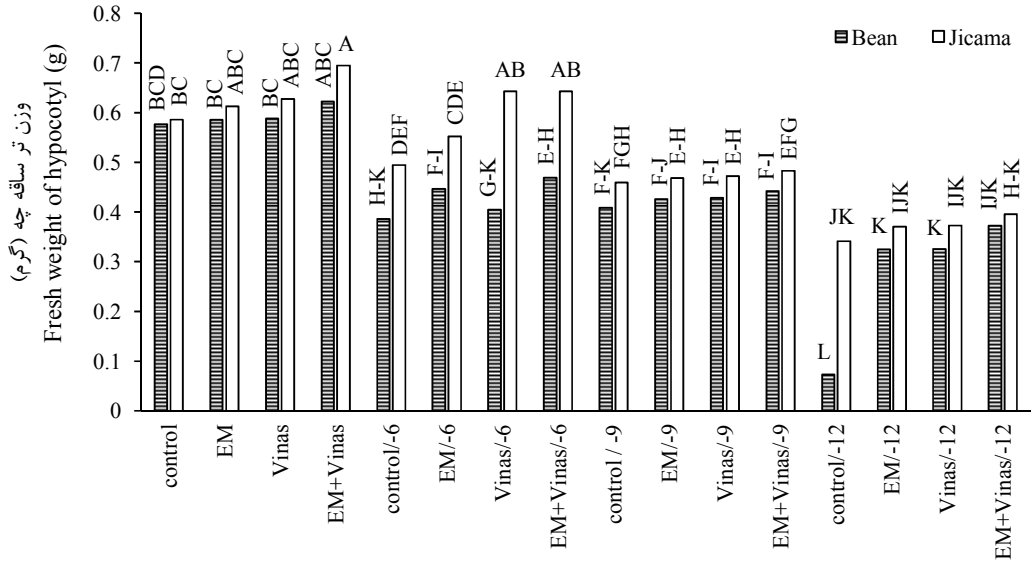
نتایج بررسی سبک‌دست[1] و همکاران (۲۰۱۸) روی عدس نشان داد که کاهش رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه، در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش، در ارتباط با کاهش سرعت فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی هستند. تغییرات فشار آماس در سلول‌های ساقه‌چه و ریشه‌چه در توقف رشد طولی آن‌ها نقش به‌سزایی دارد، به‌گونه‌ای که با کمبود آب، پیوندهای موجود در دیواره سلول‌های ساقه‌چه و ریشه‌چه سخت‌تر شده و در نتیجه توسعه‌پذیری، رشد طولی و تجمع ماده خشک ریشه‌چه محدود می‌شود. مطالعات آزام و موک (۲۰۱۱) نشان دادند که کاربرد کود آلی رشد بیشتر ساقه و ریشه را در گندم سبب می‌شود و با این حال رشد ریشه بیشتر از رشد ساقه تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

وزن تر ساقه‌چه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن تر ساقه‌چه در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر اثرات ساده گونه، تنش خشکی، کود، برهمکنش دوگانه گونه × تنش خشکی و برهمکنش سه‌گانه گونه × تنش خشکی × کود قرار گرفت و اثر دوگانه کود × تنش خشکی در سطح احتمال ۵٪ تأثیر داشت همچنین برهمکنش گونه × کود عدم معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱). همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود برهمکنش سه‌گانه تیمارها در گونه لوبیا یام تحت تیمار کودی ترکیبی و بدون تنش خشکی (تیمار شاهد کودی) با ۰/۶۹ گرم و لوبیا قرمز بدون تیمار کودی (تیمار شاهد کودی) تحت تنش شدید خشکی (سطح تنش خشکی ۱۲- بار) با ۰/۰۷۳ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن تر ساقه‌چه را نشان دادند. در گیاهانی که دارای تحمل و رشد بیشتر ریشه‌چه و ساقه‌چه در این مرحله باشند در مرحله گیاهچه و مراحل دیگر نیز مقاومت بیشتری به خشکی از خود نشان خواهند داد.

[1] Sabokdast

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]



شکل ۵. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × تنش خشکی × کود بر وزن تر ساقه‌چه لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 5. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait Fresh weight of hypocotyl of Yam been and red bean (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.)

پژوهشگران گزارش کردند کودهای زیستی به گونه معنی‌داری، باعث افزایش وزن تر گیاهچه می‌شود. به نظر می‌رسد احتمالاً باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های گیاهی، باعث افزایش تعداد سلول و طویل شدن سلول‌ها شده، نتیجه این عمل، سبب افزایش جذب آب، بهبود رشد و افزایش وزن تر گیاهچه می‌شود (حسینی مقدم[1] و همکاران، ۲۰۲۴). سبزواری[2] و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند که کودهای آلی تأثیر مثبتی بر افزایش وزن تر گیاهچه گندم داشته است و با افزایش شدت تنش خشکی، میزان آب موجود در ساقه‌های اولیه گیاهان دچار افت شدند.

وزن خشک ساقه‌چه

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود اثرات ساده گونه، تنش خشکی، کود، برهمکنش دوگانه گونه × تنش خشکی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد و برهمکنش سه‌گانه کود × تنش خشکی و گونه × تنش خشکی × کود در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد همچنین برهمکنش دوگانه گونه × کود و عدم معنی‌داری را نشان دادند. نتایج نشان داد که در برهمکنش سه‌گانه تیمارها صفت وزن خشک ساقه‌چه در گونه لوبیا یام تحت تأثیر تیمار کودی ترکیبی و بدون تنش خشکی (تیمار شاهد تنش خشکی) با ۰/۱۲۵ گرم بیشترین وزن را نسبت به لوبیا بدون تیمار کودی (تیمار شاهد کودی) تحت تنش شدید خشکی (سطح تنش خشکی ۱۲- بار) با ۰/۰۱۴ گرم داشته است (شکل ۶). اعمال تنش خشکی، وزن خشک ساقه‌چه بذرها را به‌میزان قابل‌توجهی کاهش داد. از مهم‌ترین دلایل کاهش وزن خشک ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی، پویایی کم موادغذایی و انتقال کمتر آن‌ها از لپه به محور جنینی گزارش شده است (رهبریان و همکاران، ۲۰۱۲). آرمند[3] و همکاران (۲۰۱۵) در طی آزمایش‌های خود دریافتند که، بذرهای تیمار شده با تیمار کود آلی ۳۸٪ افزایش در وزن خشک ساقه را نشان دادند. حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که رابطه مستقیمی بین میزان تجمع ماده خشک و رشد طولی

[1] Hosseini-Moghaddam
[2] Sabzevari
[3] Armand

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

ساقه‌چه گیاهان مقاوم به تنش خشکی وجود دارد بنابراین، کاهش وزن خشک ساقه‌چه بذرهای نخود در سطوح تنش بالا را می‌توان به کاهش طول ساقه‌چه در این سطوح نسبت داد. در مطالعه‌ای که روی ژنوتیپ‌های مختلف نخود صورت گرفت مشخص شد طول و وزن خشک ساقه‌چه با افزایش شدت تنش خشکی کاهش می‌یابد. دیلم[1] و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که با افزایش سطوح تنش خشکی وزن خشک ساقه‌چه کاهش می‌یابد. تنش کم‌آبی می‌تواند از طویل‌شدن ساقه‌چه، به دلیل کندی جذب آب و کاهش آماس سلولی جلوگیری کند از سویی، کاهش وزن در سطح بالای خشکی احتمالاً به‌علت کاهش انتقال مواد غذایی و انتقال آن از لپه‌ها به محور جنین است.

استفاده از تیمارهای مناسب در شرایط تنش خشکی، که موجب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه شوند در نهایت سبب افزایش قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر شده، که می‌توانند نقش مهمی در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش داشته باشند. کودهای آلی و زیستی، به‌دلیل داشتن برخی ترکیبات هورمونی، مانند اکسین و جیبرلین در تحریک رشد گیاهچه (ساقه‌چه+ریشه‌چه) نقش مهمی دارند. در مطالعه‌ای روی لوبیا و نخود، تحت تنش خشکی مشاهده شد که استفاده از عصاره کودهای آلی، سبب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و بهبود اثرات منفی تنش شد (احمدپور و همکاران، ۲۰۱۵).

طول ریشه‌چه

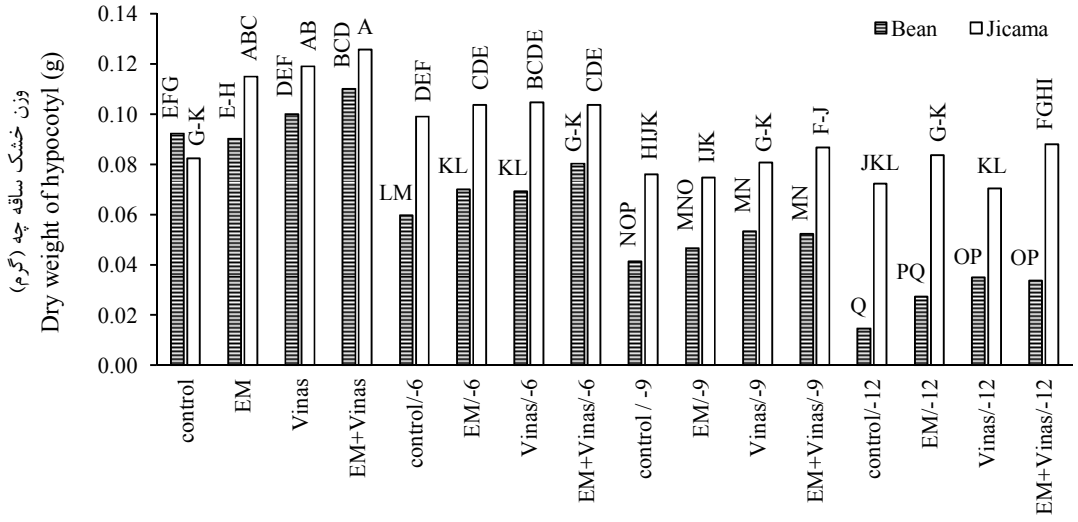
طول ریشه‌چه در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر اثرات ساده گونه، تنش خشکی، کود، برهمکنش دوگانه گونه × تنش خشکی، کود × تنش خشکی و برهمکنش سه‌گانه گونه × تنش خشکی × کود قرار گرفت و برهمکنش دوگانه گونه × کود در سطح احتمال ۵٪ مؤثر بود (جدول ۱). براساس شکل ۷ برهمکنش سه‌گانه تیمارها مشاهده می‌شود که گونه لوبیا یام تحت تأثیر تیمار کودی ترکیبی و تنش متوسط خشکی (سطح تنش خشکی ۹- بار) با ۶/۳۳ سانتی‌متر بیشترین طول ریشه‌چه و لوبیا قرمز بدون تیمار کودی تحت تنش شدید خشکی (سطح تنش خشکی ۱۲- بار) با ۰/۵۳ سانتی‌متر کمترین طول ریشه‌چه را داشت. در واقع در هر دو گونه لوبیا، تحت سطوح بدون تنش خشکی تا تنش خشکی متوسط (سطح تنش خشکی ۹- بار) طول ریشه‌چه افزایش یافت و در تنش خشکی شدید (سطح تنش خشکی ۱۲- بار) طول ریشه‌چه کاهش نشان داد. این رخداد، واکنش‌های سازگاری گیاهان را به دامنه تنش‌های خشکی کم تا متوسط را برجسته می‌کند. در شرایط تنش خشکی متوسط، افزایش طول ریشه‌چه در گونه‌های لوبیا مشاهده شد. افزایش طول ریشه‌چه در شرایط تنش خشکی، احتمالا مکانیزم سازگاری گیاهی و سرمایه‌گذاری بیشتر گیاه در نسبت ریشه به اندام هوایی بوده، که برای دسترسی گیاهچه به رطوبت بیشتر در محیط رشد مهم است. از سویی، گیاه تحت تنش خشکی شدید، تاب‌آوری نداشته است که سبب کاهش قابل توجه طول ریشه‌چه شده است. کاهش طول ریشه‌چه تحت تنش خشکی شدید سبب اختلال در عملکردهای فیزیولوژیک و کاهش تولید زیست توده گونه‌ها شده است؛ از سویی افزایش طول ریشه‌چه در شرایط تنش خشکی متوسط، نوعی راهبرد تطبیقی مفید به شرایط را نشان می‌دهد. کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه در شرایط تنش شدید خشکی اتفاق افتاده است که نشان می‌دهد فراتر از حد تحمل گیاه بوده و قابلیت‌های فیزیولوژیکی گیاه از بین می‌رود و می‌تواند سبب مرگ گیاه شود. بر پایه این واکنش دوگانه گونه‌ها به درجات مختلف تنش خشکی، درک سازوکارهای تحمل به خشکی برای بهبود انعطاف‌پذیری گیاهان زراعی اهمیت دارد (تاینلی و دورجی[2]، ۲۰۲۱). استفاده از تیمارهای مناسب که تا حدی تعدیل‌کننده اثر تنش خشکی باشند می‌توانند سبب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه شوند که در نهایت، سبب افزایش قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر می‌شوند. گزارش شده است کودهای آلی و زیستی، به‌دلیل داشتن برخی ترکیبات هورمونی مانند اکسین و جیبرلین در تحریک رشد گیاهچه (ساقه‌چه+ریشه‌چه) نقش مهمی دارند. در مطالعه‌ای روی لوبیا و نخود، تحت تنش خشکی مشاهده شد که استفاده از عصاره کودهای آلی، سبب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و بهبود اثرات منفی تنش خشکی شد (احمدپور و همکاران، ۲۰۱۹).

[1] Dilam

[2] Dorji and Thinley

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]



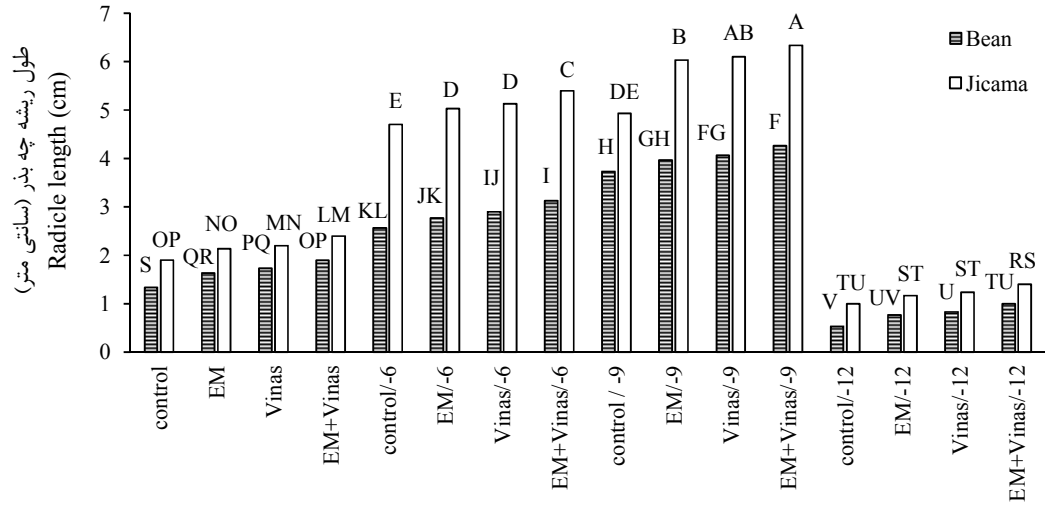
شکل ۶. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × تنش خشکی × کود بر صفت وزن خشک ساقه‌چه لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 6. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait Dry weight of hypocotyl of Yam been and red bean (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability leve.)

نتایج پژوهش گوپال[1] و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در سطوح پایین تنش خشکی با کاهش انتقال مواد غذایی و در سطوح بالای تنش با عدم انتقال مواد موردنیاز برای رشد مرتبط است علاوه بر آن کمبود آب قابل‌دسترس برای بذر موجب کاهش ترشح هورمون‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه کاهش رشد طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود. تقوایی و علی اولاد[2] (۲۰۱۵) نیز نشان دادند تنش خشکی به گونه معنی‌داری طول ساقه‌چه، ریشه‌چه، وزن خشک ساقه، ریشه و گیاه، شاخص بنیه گیاهچه و بذر را کاهش داد. در پژوهش دیگری مشخص شد که باکتری‌های محرک رشد، باعث افزایش شاخص قدرت گیاهچه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه در برنج می‌شوند. به نظر می‌رسد علت کاهش طول ریشه‌چه در سطوح مختلف تیماری نسبت به سطح شاهد را می‌توان به عوامل متعددی چون کاهش تقسیمات میتوزی در مریستم ریشه، کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالیزکننده فرآیندهای جوانه‌زنی گیاه و اختلال در جذب آب در سطوح بالای تنش خشکی نسبت داد. دلیل وقوع این رخداد را می‌توان، نتیجه افزایش غلظت محلول پلی‌اتیلن گلیکول دانست که سبب افزایش فشار و پتانسیل اسمزی محیط کشت شده است. کاهش پتانسیل اسمزی سبب کاهش جذب آب توسط بذرها شده و از سویی، مانع از ادامه فعالیت‌های طبیعی گیاهچه می‌شود در این شرایط با افزایش سطوح تنش خشکی، احتمالا ریشه‌چه نسبت به تیمار شاهد، جهت دسترسی به آب و مواد غذایی بیشتر، سهم بیشتری از مواد را به ریشه‌چه اختصاص داده است تا طول ریشه‌چه افزایش یابد که در بسیاری از گیاهان دیده می‌شود از سویی، کمبود آب قابل دسترس برای بذر، همزمان می‌تواند موجب کاهش سطح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم-های موثر در رشد شده که کاهش رشد طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را به‌همراه دارد (لیگا[3] و همکاران، ۲۰۰۳). شده است کاربرد تیمارهای مواد آلی سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط تنش شد. این صفات در استقرار گیاه و جذب آب و تولید ماده خشک و افزایش عملکرد مؤثر هستند.

[1] Gopal
[2] Taghvaei and Aliolad
[3] Liga

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]



شکل ۷. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × تنش خشکی × کود بر طول ریشه‌چه لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 7. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait Radicle length of Yam been and red bean (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level)

افزایش معنی‌دار در رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه‌ها از طریق افزایش جذب آب و مواد غذایی است. کاربرد این تیمارها باعث افزایش طول ریشه‌چه شد و کمترین طول ریشه‌چه در تیمار شاهد مشاهده شد (آزام و موک، ۲۰۱۱). در این پژوهش، در میان صفات مورد اندازه‌گیری، طول ریشه‌چه بهترین شاخص برای ارزیابی پاسخ ارقام به تنش خشکی بود، که دلیل وقوع این رخداد را می‌توان نتیجه افزایش غلظت محلول پلی اتیلن گلیکول و از سویی افزایش فشار و پتانسیل اسمزی محیط کشت دانست که سبب کاهش جذب آب توسط بذرها شده و همچنین مانع از ادامه فعالیت‌های طبیعی گیاهچه می‌شود. در گیاه عدس با کاهش پتانسیل آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت (آرمند و همکاران، ۲۰۱۵).

وزن تر ریشه‌چه

بر اساس جدول ۱ اثرات ساده گونه، تنش خشکی، کود، و نیز برهمکنش دوگانه گونه × تنش خشکی، کود × تنش خشکی و برهمکنش سه‌گانه گونه × تنش خشکی × کود در سطح احتمال ۱٪ بر صفت وزن تر ریشه‌چه معنی‌دار شد. برهمکنش دوگانه گونه × کود در این صفت عدم معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱). برطبق شکل ۸ در برهمکنش سه‌گانه تیمارها، بیشترین وزن تر ریشه‌چه در گونه لوبیا یام تحت تأثیر تیمارهای کود ترکیبی و شرایط بدون تنش خشکی (تیمار شاهد خشکی) با ۰/۷۷ گرم مشاهده شد وکمترین وزن تر ریشه‌چه لوبیا قرمز در شرایط عدم کاربرد کود (تیمار شاهد کودی) و تحت تنش شدید خشکی (سطح تنش خشکی ۱۲- بار) با ۰/۱۵۰ گرم به‌دست آمد. ریشه‌چه قبل از اندام‌های دیگر از بذر خارج شده و در نتیجه قبل از اندام‌های دیگر در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند، بنابراین صفات ریخت‌شناسی ریشه نظیر طول، سطح، حجم، قطر و وزن خشک ریشه‌چه معیارهای مناسبی در جهت گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی هستند. نتایج این پژوهش، همسو با مطالعات فوق نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار ویژگی‌های مرتبط با ریشه‌چه شد. یکی از راهبردهای مقاومت به تنش خشکی در جوانه‌های حاصل از بذر، اختصاص بیشتر مواد غذایی ذخیره‌ای به ریشه‌چه است تا رشد آن محدود نشود. افزایش شاخص‌های مورفولوژی ریشه‌چه از قبیل طول، سطح، قطر و حجم ریشه‌چه با توجه به اینکه می‌توانند در آینده به بهره‌برداری گیاه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در خاک کمک

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

کنند، بنابراین نقش به‌سزایی در بهبود شرایط تنش و استقرار مناسب در خاک دارد (احمدپور و همکاران، ۲۰۱۹). همانگونه که در بخش‌های پیشین نیز اشاره شد، از مهم‌ترین مزایای تیمارهای کودهای زیستی و آلی به‌کار برده شده در این آزمایش، مقادیر بالای عناصر مغذی، پروتئین، هورمون‌های گیاهی و ریزجانداران مؤثر است که در تغذیه مستقیم بذرهای گیاهان نقش دارند و از طریق بهبود طول، سطح و حجم ریشه‌چه در شرایط تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه‌چه می‌شود. نتایج این پژوهش با گزارش‌های ارائه شده همخوانی داشت.

وزن خشک ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک ریشه‌چه در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر اثرات ساده گونه، تنش خشکی، کود و برهمکنش دوگانه گونه × تنش خشکی قرار گرفت همچنین برهمکنش سه‌گانه گونه × تنش خشکی × کود در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. برهمکنش دوگانه کود × تنش خشکی و گونه × کود عدم معنی‌داری را بر این صفت نشان دادند (جدول ۱). بیشترین وزن خشک ریشه‌چه در برهمکنش سه‌گانه تیمارها مربوط به گونه لوبیا یام تحت تأثیر تیمار ترکیبی کودها و کود آلی در شرایط بدون تنش خشکی (تیمار شاهد تنش خشکی) بود و کمترین تأثیر را لوبیا قرمز در شرایط عدم کاربرد کود (تیمار شاهد کودی) و تنش شدید خشکی با روند کاهشی ۹۷/۵۵ و ۹۷/۵۶ ٪ نشان دادند (شکل ۹).

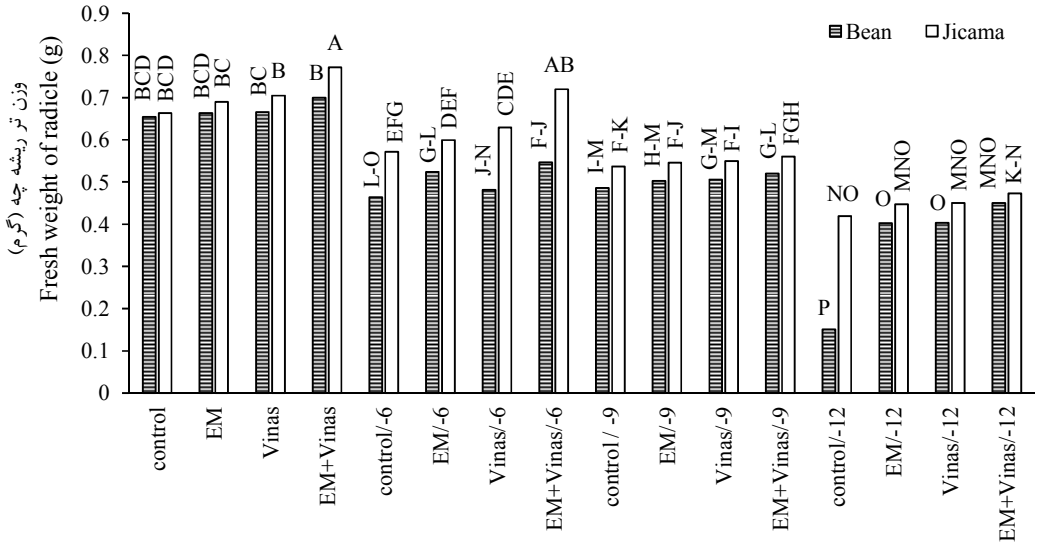
کاهش وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، یکی از رخدادهای رایجی است که در اکثر گیاهان، در شرایط تنش خشکی اتفاق می‌افتد، ولی شدت این کاهش، بسته به ژنوتیپ و میزان تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی متفاوت است. در مطالعات متعددی، کاهش وزن خشک بخش ساقه‌ای و ریشه‌ای، در سطوح بالای تنش خشکی مشاهده شده است. در مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های نخود مقاوم و حساس به تنش خشکی، گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، یکی از دلایل کاهش رشد بخش ریشه‌ای، در ژنوتیپ‌های حساس تأخیر در انتقال پروتئین از لپه‌ها به ریشه‌چه است. از سویی، در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، انتقال سریع‌تر پروتئین به ریشه‌چه، سبب رشد بهتر سامانه ریشه‌ای آنها شده است (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد که سطوح تنش خشکی در مقایسه با تیمار بدون تنش، سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه‌چه شدند. پلی اتیلن گلیکول با از دسترس خارج نمودن آب مورد نیاز بذر و ایجاد تنش خشکی سبب کاهش فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک جوانه‌زنی شده که این رویداد در نهایت با کاهش رشد ریشه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و سطح ریشه‌چه همراه است (احمدپور و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج این پژوهش همسو با مطالعات فوق نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار ویژگی‌های مرتبط با ریشه‌چه شد.

نتیجه‌گیری

تیمارهای کودی مورد استفاده در این آزمایش، سبب افزایش معنی‌داری در صفات درصد جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و سایر صفات مورد بررسی در مقایسه با سطوح عدم کاربرد تیمارهای کودی در بین دو گونه لوبیا شدند. نتایج نشان دادند که دو گونه لوبیا یام و لوبیا قرمز، از قدرت و سرعت جوانه‌زنی بالایی برخوردار بودند. واکنش دو گونه، در برابر تنش خشکی متفاوت بوده و گونه لوبیا یام برتری بیشتری نسبت به گونه لوبیا قرمز در برابر تنش خشکی نشان داد و سبب افزایش درصد جوانه‌زنی در این‌گونه، در شرایط تحت تنش شد. بنابراین با توجه به توسعه کاشت لوبیا و نیز توجه به توسعه گونه‌های جدید حبوبات در ایران، کاربرد تیمارهای کود زیستی EM و کود آلی ویناس در خاک، می‌تواند در بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، صفات رشدی و استقرار مناسب گیاهچه نقش مهمی ایفا کند و باعث افزایش عملکرد این گیاهان شوند.

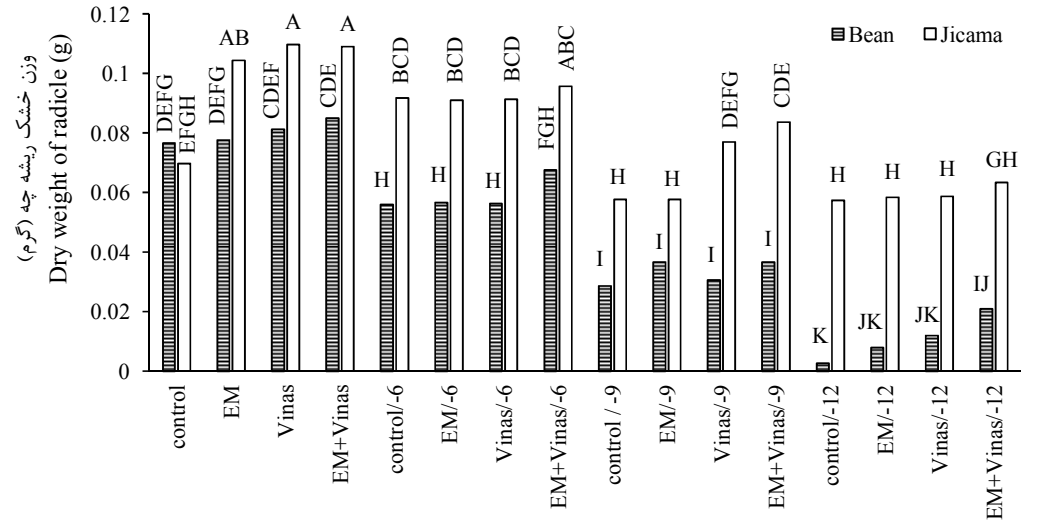
[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]



شکل ۸. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × تنش خشکی × کود بر وزن تر ریشه‌چه لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 8. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait Fresh weight of radicle of Yam been and red bean (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.)



شکل ۹. مقایسه میانگین برهمکنش گونه × کود × تنش خشکی بر وزن خشک ریشه‌چه لوبیا یام و لوبیا قرمز (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ ٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند)

Figure 9. Comparison of the mean of the species × fertilizer × drought-stress interaction on the trait Dry weight of radicle of Yam been and red bean (Columns with the same letters are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.)

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله بدین وسیله از حمایت‌های دانشگاه شهرکرد، همچنین شرکت امکان‌پذیر پارس و شرکت تجهیز صنعت باران که در انجام این پژوهش یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

منابع

Afrouz, M., Sayyed, R.Z., Fazeli-Nasab, B., Piri, R., Almalki, W. H. and Fitriatin, B. N. 2023. Seed bio-priming with beneficial Trichoderma harzianum alleviates cold stress in maize. PeerJ, 11: e15644. http://doi.org/10.7717/peerj.15644

Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H.R., Hosseinpoor, R., Abdeshah, H., Kazemian, A. and Rafiei, M. 2017. Agricultural Statistics during 7-2016. Ministry of Jihade Keshavarzi. Vol. 1: Crops Retrieved Sept. [In Persian]

Ahmadpour, R., and Hosseinzadeh, S.R. 2019. nfluence of compost tea on seedling growth and germination indices of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in order to moderated negative effects caused by drought stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(3): 511-523. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1398.32.3.3.0

Ahmadpour, R., Armand, N., Hosseinzadeh, S.R., and Chashiani, S. 2016 . Selection drought tolerant cultivars of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by measuring germination parameters. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 3(3): 75-87. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763780.1395.3.3.7.5

Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., Armand, N., and Fani, E. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under drought stress. Iranian Journal of Seed Research, 2(1): 83-96. [In Persian] https://doi.org/10.29252/yujs.2.1.83

Armand, N., Amiri, H. and Ismaili, A. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry) under drought stress condition. Iranian Journal Pulses Research, 6(1): 42-53. [In Persian] https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i1.43942

Azam, F. and Mauk, K.A. 2011. Effect of humic acid soaking on seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different conditions. Pakistan Journal of Botany, 15: 31-38.

Bagheri, A.R. and Hasanbeygi, M. 2018. Effect of salt stress levels on germination and accumulation of Na+ and K+ in common bean seeds. Journal of Environmental Stresses in Plant Sciences, 1(2): 137-147. [In Persian]

Boroujerdnia, M., Bihamta, M., AlamiSaid, K. and Abdossi, V. 2016. Effect of drought tension on proline content, soluble carbohydrates, electrolytes leakage and relative water content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Crop Physiology Journal, 8(29): 23-41. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1395.8.29.2.2

Dashtaki, M., Bihamta, M.R., Majidi, E. and Azizinezhad, R. 2020. Study of seed germination indices in bread wheat genotypes (*Tritium aestivum* L.) under drought stress simulated with polyethylene glycol. Environmental Stresses in Crop Sciences, 13(1): 197-210. [In Persian] https://doi.org/10.22077/escs.2019.1828.1430

Deilam, A., Rohani, H., Sabouri, H. and Gholam Ali Pooralmadari, E. 2019. Effect of drought stress and salinity on germination, soluble carbohydrates and proline of *Atriplex halimus*. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 6(2): 245-255. [In Persian] https://doi.org/10.22124/jms.2019.3603

Ehteshami, S.M.R., Pourebrahimi Fumani, M., and Ramezani, H. 2014. Effect of pseudomonas different strains on germination and growth index of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedling in different levels of salinity. Research in Field Crop Journal, 1(2): 22-33. [In Persian]

Gopal, M., Gupta, A., Palaniswami, C., Dhanapal, R. and Thomas, G. 2010. Coconut leaf vermiwash: a bio-liquid from coconut leaf vermicompost for improving the crop production capacities of soil. Current Science, 98(9): 1202-1210.

Gulser, F., Sonmez, F. and Boysan, S. 2010. Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. Journal of Environmental Biology, 31(5): 873-876.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

Hosseini-Moghaddam, M., Moradi, A., Piri, R., Glick, B.R., Fazeli-Nasab, B. and Sayyed, R.Z. 2024. Seed coating with minerals and plant growth-promoting bacteria enhances drought tolerance in fennel (*Foeniculum vulgare* L.). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 58: 1-12. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103202

Jamili, T. 2012. Preparation of environmentally friendly mulch from sugarcane waste to stabilize the flowing sands of Ahvaz. Master's thesis. Ramin University of Agriculture and Natural Resources. 119 p. [In Persian]

Liga, M.V., Eraso I. and Sturte, G.W. 2003. Effect of ethanol on the growth and development. Seed Science and Technology, 21: 427-435.

Lukić, N., Kukavica, B., Davidović-Plavsic, B., Hasanagic, D. and Walter, J. 2020. Plant stress memory is linked to high levels of anti-oxidative enzymes over several weeks. Environmental and Experimental Botany, 10: 41-66. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104166

Mamedi, A., Tavakkol Afshari, R. and Oveisi, M. 2017a. Cardinal temperatures for seed germination of three Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. Iranian Journal of Field Crop Science, 48: 89-100. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.206204.654106

Mamedi, A., Tavakkol Afshari, R. and Sepahvand, N.A. 2017b. Quantifying seed germination response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under temperature and drought stress regimes. Iranian Journal of Field Crop Science, 48(3): 615-623. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.128439.653907

Mc Clean, P., Kami, J. and Gepts, P. 2004. Genomic and genetic diversity in common bean. In Wilson RF Stalker HT Brummer EC eds., Legume Crop Genomics. AOCS press. Champaign. Pp 60-82. https://doi.org/10.1201/9781439822265.ch4

Moradi, A. and Piri, R. 2018. Enhancement of salinity stress tolerance in Cumin (*Cuminum cyminum* L.) as affected by plant growth promoting rhizobactria during germination stage. Journal of Plant Process and Function, 6(22): 47-54.

Najarzadeh, M. 2014. Investigating the application of zeolite in drought stress on red bean plant. Master's thesis in agriculture. School of Agriculture. Azadshahr Quds University. Iran. [In Persian].

Oveisi, M., Alizadeh, H., Lorestani, S.A., Esmaili, A., Sadeghnejad, N., Piri, R., Gonzalez-Andujar, J.L. and Müller-Schärer, H. 2024. Triangle area model (TAM) for predicting germination: An approach to enhance hydrothermal time model applications. Current Plant Biology, 39: 1-15. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100356

Piri, R., Moradi, A., Salehi, A. and Balouchi, H. R. 2021. Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 9(4): 11-26. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/ijsst.2019.109182.1054

Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R. and Najafi, F. 2012. Drought stress effect on germination and seedling for drought tolerance in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under control condition. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(3): 522-531. [In Persian] https://doi.org/10.22067/gsc.v10i3.17800

Rahimi, A., Madhaj, A. and Mojdam, M. 2019. Study of seed germination and seedling growth of alfalfa genotypes (*Medicago sativa* L.) under drought tension conditions. Crop Physiology Journal, 10(40): 129-144. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1397.10.40.8.4

Sabokdast nodehi, M., Salehi, F. and Rezaizadeh, A. 2018. Effect of drought-induced stress by PEG6000 on physiological and morphological traits of Lentil (*Lens culinaris*.) seed germination in order to selection of drought tolerant genotypes. Iranian Journal of Field Crop Science, 49(3): 39-47. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.227940.654287

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]

Sabzevari, S., Khazaei, H. and Kafi, M. 2009. Study on the effects of humic acid on germination of four wheat cultivars (*Triticun aestivum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 8(3): 473-480. [In Persian] https://doi.org/10.22067/gsc.v8i3.7765

Sadoogh, F.S., Shariatmadari, H., Khoshgoftarmanesh, A.H. and Mossadeghi, M.R. 2014. Adjusted nutrition of tomato with potassium and zinc in drought stress conditions induced by polyethylene glycol 6000 in hydroponic culture. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 5(2): 67-81. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1393.5.2.6.0

Shekohian, A.A., Ainizadeh, Sh., Nazari. H. and Quydel, A. 2019. The effect of application of EM Bio fertilizer and urea on strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Paros) for sustainable agriculture. Journal of Water and Soil Conservation, 26(2): 263-268. [In Persian] https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.14138.2886

Sorensen, M. 1996. Yam bean (Pachyrhizus DC.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 2. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome.

Tabrizi, L. and Koocheki A.R. 2014. Evaluation of medicinal plant seed quality calendula (*Calendula officinalis* L.) by application organic inputs. 17th National Congress and 3rd International Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. [In Persian]

Tadayon, M.R. 2010. Physiological reactions of plants to environmental stresses. Shahrekord University Press. 214 p. [In Persian]

Taghvaei, M. and Aliolad, N. 2015. Effect of drought stress on early vigor in primary trittipyrum lines. Iranian Journal of Seed Research, 1(2): 61-74. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23831251.1393.1.2.8.5

Thinley, J. and Dorji, C. 2021. Screening of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought tolerance. BioRxiv. (preprint) https://doi.org/10.1101/2021.01.14.426641

Yaseen, M., and Malhi, S.S. 2009. Differential growth response of wheat genotypes to ammonium phosphate and rock phosphate phosphorus sources. Journal of Plant Nutrition, 32(3): 410-432. https://doi.org/10.1080/01904160802660735

Zamani, F., Hosseini, N.M., Oveisi, M., Arvin, K., Rabieyan, E., Torkaman, Z. and Rodriguez, D. 2024. Rhizobacteria and phytohormonal interactions increase drought tolerance in Phaseolus vulgaris through enhanced physiological and biochemical efficiency. Scientific Reports, 14(1): 1-17. https://doi.org/10.1038/s41598-024-79422-y

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-09-28]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.143]