

(OPEN ACCESS)

**Alleviation of water deficit effects in forage pea (*Pisum arvense* L.)
by organic fertilizers application and supplementary irrigation**

Vahideh Ghorbani Ghoshchi¹, Jalal Jalilian^{*2}, Razieh Khlilzadeh³

1. M.Sc. Graduate of Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: vahideh.ghorbani1362@gmail.com

2. Corresponding Author, Professor of the Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: j.jalilian@urmia.ac.ir

3. Assistant Prof. of the Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: khalilzadeh.r@lu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Legumes are plants that are strong in protein and fix nitrogen biologically, which makes them an important source of both quantity and quality sustenance for human populations. Water deficit is one of the most important parameters limiting the growth and production of plants. Many physiological processes in plants, including enzyme activity, membrane stability, photosynthesis, respiration, ion absorption, carbohydrate and nutrient metabolism, and finally growth, are disrupted due to water deficit. Supplementary irrigation and the use of organic fertilizers are one of the important methods for mitigating the negative effects of water deficit and preventing harm caused by the indiscriminate application of chemical fertilizers. The purpose of this research was to reduce the consumption of chemical fertilizers and use of organic fertilizers, as well as to understand the effect of supplementary irrigation in rainy conditions on the characteristics of forage pea.
Article history: Received: 05.27.2024 Revised: 12.20.2024 Accepted: 01.27.2025	
Keywords: Cow manure, Photosynthetic pigments, Proline, Rate grain filling, Vermicompost	
	Materials and Methods: In this research the effect of organic fertilizers (application of 10 t ha ⁻¹ of vermicompost, 20 t ha ⁻¹ of cow manure and without organic fertilizer (control)) and supplementary irrigation (once irrigation at the 50% flowering stage, twice irrigations at the 50% flowering and 50% podding stages and no-irrigation (control)) were investigated on morphophysiological characteristics and grain filling components of forage pea. The factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted in farming at the agricultural service center of Kora Sani in Salmas city in West Azarbaijan province in 2022.
	Results: Water deficit stress compared to once and twice supplementary irrigation increased the leaves proline content by 42.2 and 48.7% respectively, and decreased total chlorophyll content by 40.3 and 50.3%, carotenoid content by 46.7 and 58.9%, the amount of soluble sugars by 32.3 and 36.7%, rate grain filling by 16.6 and 31.3% and grain yield by 28.1 and 57.5%, respectively. On the other hand, the use of cow manure and vermicompost improved proline content by 20.5 and 40.6%, soluble sugars by 43.6 and 49.1%, total chlorophyll content by 28.7 and 37.3%, carotenoid content by 86.2 and 85.2%, rate grain filling by 44.6 and 49.2% and grain yield by 39.8 and 81.8%, respectively, in comparison

without fertilizer (control). The positive effect of vermicompost and cow manure on grain yield both under stress conditions (without irrigation) and supplementary irrigation conditions can be attributed to the high rate grain filling and the improvement of other morphological and physiological traits.

Conclusion: Cow manure and vermicompost appear to partially mitigate the negative effects of drought stress by lowering oxidative stress induced damage to photosynthetic pigments and enhancing the production of suitable osmolytes like as proline and soluble sugars, so it is possible to use these fertilizers in conjunction with once or twice supplementary irrigations to improve forage pea yield and yield components under rainfed conditions.

Cite this article: Ghorbani Ghoshchi, Vahideh, Jalilian, Jalal, Khlilzadeh, Razieh. 2025. Alleviation of water deficit effects in forage pea (*Pisum arvense* L.) by organic fertilizers application and supplementary irrigation. *Journal of Plant Production Research*, 32 (2), 81-101.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2025.22473.3147

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تعدیل اثرات ناشی از کم آبی در گیاه نخود علوفه‌ای (*Pisum arvense* L.) با کاربرد کودهای آلی و آبیاری تکمیلی

وحیده قربانی قوشچی^۱، جلال جلیلیان^{۲*}، راضیه خلیل‌زاده^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: vahideh.ghorbani1362@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استاد دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: j.jalilian@urmia.ac.ir

۳. استادیار دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: khalilzadeh.r@lu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: گیاهان خانواده بقولات به دلیل محتوای پروتئین بالا و تثبیت زیستی نیتروژن نقش به‌سزایی در تأمین نیازهای غذایی جوامع بشری از لحاظ کمی و کیفی را دارا هستند. تنش کم‌آبی از مهم‌ترین پارامترهای محدودکننده رشد و تولید گیاهان محسوب می‌شود. بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان از جمله فعالیت آنزیم‌ها، ثبات غشاء، فتوسنتز، تنفس، جذب یون، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و مواد مغذی و در نهایت رشد در اثر تنش خشکی مختل می‌شوند. انجام آبیاری تکمیلی و استفاده از کودهای آلی یکی از روش‌های مهم در راستای کاهش اثرات سوء ناشی از تنش خشکی و جلوگیری از صدمات ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌باشد. هدف از اجرای این پژوهش، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و بهره‌گیری از کودهای آلی و هم‌چنین درک نحوه تأثیر آبیاری تکمیلی در شرایط دیم بر خصوصیات نخود علوفه‌ای بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۸	مواد و روش‌ها: در این پژوهش تأثیر کودهای آلی (کاربرد ورمی‌کمپوست به مقدار ده تن در هکتار، کاربرد کود گاوی به مقدار بیست تن در هکتار و عدم کاربرد کود آلی (شاهد)) و آبیاری تکمیلی (یک بار آبیاری در مرحله پنجاه درصد گلدهی، دو بار آبیاری در مراحل پنجاه درصد گلدهی و پنجاه درصد غلاف‌دهی و بدون آبیاری (شاهد)) بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و مؤلفه‌های پر شدن دانه گیاه نخود علوفه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز خدمات کشاورزی کره‌سنی شهرستان سلماس در استان آذربایجان غربی در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید.
واژه‌های کلیدی: پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، سرعت پر شدن دانه، کود گاوی، ورمی‌کمپوست	یافته‌ها: تنش کم‌آبی در مقایسه با شرایط یک بار و دو بار آبیاری تکمیلی میزان پرولین برگ‌ها را به‌ترتیب ۴۲/۲ و ۴۸/۷ درصد افزایش و محتوای کلروفیل کل را به‌ترتیب ۴۰/۳، ۵۰/۳ درصد،

محتوای کاروتنوئید را ۶۷/۴ و ۸۹/۵ درصد، میزان قندهای محلول را ۳۲/۳ و ۳۶/۷ درصد، سرعت پر شدن دانه را ۱۶/۶ و ۳۱/۳ درصد و نیز عملکرد دانه را ۲۸/۱ و ۵۷/۵ درصد کاهش داد. از طرفی کاربرد کودهای گاوی و ورمی کمپوست نسبت به عدم کاربرد کود (شاهد) محتوای پروتئین را به ترتیب ۲۰/۵ و ۴۰/۶ درصد، میزان قندهای محلول را ۴۳/۶ و ۴۹/۱ درصد، کلروفیل کل را ۲۸/۷ و ۳۷/۳ درصد، میزان کاروتنوئید را ۸۶/۲ و ۸۵/۲ درصد، سرعت پر شدن دانه را ۴۴/۶ و ۴۹/۲ درصد و هم چنین عملکرد دانه را ۳۹/۸ و ۸۱/۸ درصد بهبود بخشید. تأثیر مثبت ورمی کمپوست و کود گاوی بر عملکرد دانه را هم در شرایط تنش (بدون آبیاری) و هم در شرایط آبیاری تکمیلی می توان به بالا بودن سرعت پر شدن دانه و نیز بهبود سایر صفات ریخت شناسی و فیزیولوژیکی نسبت داد.

نتیجه گیری: به نظر می رسد کاربرد کودهای گاوی و ورمی کمپوست می توانند تا حدودی اثرات زیان بار ناشی از تنش خشکی را از طریق کاهش آسیب به رنگیزه های فتوسنتزی در اثر تنش اکسیداتیو و نیز افزایش سنتز اسمولیت های سازگار مانند پروتئین و قندهای محلول تعدیل نمایند و بنابراین می توان کاربرد این کودها و نیز اعمال یک بار و دو بار آبیاری تکمیلی را در جهت بهبود عملکرد و اجزای عملکرد نخود علوفه ای تحت شرایط دیم توصیه کرد.

استناد: قربانی قوشچی، وحیده، جلیلیان، جلال، خلیل زاده، راضیه (۱۴۰۴). تعدیل اثرات ناشی از کم آبی در گیاه نخود علوفه ای (*Pisum arvense* L.) با کاربرد کودهای آلی و آبیاری تکمیلی. نشریه پژوهش های تولید گیاهی، ۳۲ (۲)، ۱۰۱-۸۱.

DOI: 10.22069/jopp.2025.22473.3147



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

گیاهان خانواده بقولات مانند ماشک، خلر، عدس و نخود به دلیل سازگاری بالا به آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و محیط‌های نامطلوب به‌طور وسیعی در مناطق دیم مورد کشت قرار می‌گیرند (۱). نخود علوفه‌ای یک گیاه یک ساله متعلق به خانواده لگومینوز و زیرخانواده *Papilionaceae* است که با دارا بودن عملکرد بالا و نیز تجزیه آسان در خاک می‌توان از آن به عنوان علوفه سبز، علوفه خشک، کود سبز و نیز دانه آن استفاده کرد. از طرفی به دلیل تحمل به کم‌آبی و سرما می‌توان آن را در مناطق دیم و در فصل زمستان کشت کرد (۲). در سال‌های اخیر با توجه به افزایش هزینه تهیه کودهای شیمیایی و همچنین آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، توجه زیادی به کشت گیاه نخود علوفه‌ای شده است (۳).

کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی است. تنش آبی از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف مانند فتوسنتز، تنفس، انتقال مواد، جذب یون، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و مواد مغذی، اثرات زیان‌باری بر رشد و نمو و استقرار گیاهان دارد (۴). هم‌چنین تنش کم‌آبی سبب افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود و از این طریق سلول‌های گیاهی را دچار تنش اکسیداتیو می‌کند. این گونه‌های فعال اکسیژن اثرات مضر سیتولوژیکی مانند آسیب به رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک اسیدها را در پی خواهند داشت (۵). پرولین و قندهای محلول از جمله مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر این گونه‌های فعال اکسیژن هستند. به‌طوری‌که افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول در سویا برای تعدیل تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی گزارش گردیده است (۶). کاشیواگی و

همکاران (۲۰۰۶) بیان نمودند که تنش خشکی از طریق پیری برگ‌ها و ریزش غلاف‌ها سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد نخود می‌گردد (۷). گزارش‌های ارائه شده در مورد گیاهان زراعی مختلف از جمله نخود (۸) و کلزا (۹) بیانگر تأثیر معنی‌دار تنش خشکی بر کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ‌های این گیاهان و به تبع آن کاهش فتوسنتز است.

آبیاری تکمیلی یکی از روش‌های مطلوب در جهت جبران کمبود رطوبت خاک، افزایش کارایی مصرف آب، جلوگیری از افت عملکرد و دستیابی به تولید پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. آبیاری تکمیلی شامل آبیاری گیاهان با مقدار محدودی آب در زمان عدم وجود نزولات آسمانی می‌باشد تا از این طریق آب کافی برای رشد گیاه به‌منظور بهبود رشد و تولید عملکرد تأمین گردد (۱۰). از اثرات قابل‌توجه آبیاری تکمیلی می‌توان به بهبود عملکرد، پایداری تولید در شرایط مختلف، تأمین رطوبت مناسب برای گیاه در شرایط کم‌آبی و افزایش کارایی استفاده از کودهای شیمیایی و علف‌کش‌های مورد استفاده اشاره کرد (۱۰). قاسمی‌گل‌عذانی و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که دوره پر شدن دانه، وزن دانه، عملکرد دانه، اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت باقلا تحت تأثیر آبیاری تکمیلی افزایش پیدا کرد (۱۱). مومنی و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند که آبیاری تکمیلی موجب افزایش محتوای کلروفیل b و کل گیاه نخود در مقایسه با شرایط دیم گردید (۱۲).

استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی در درازمدت سبب تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، آلودگی آب، کاهش عملکرد و اثرات زیان‌بار بر محیط زیست و سلامت انسان می‌شود. یکی از راه‌کارهای مناسب برای رهایی از این

مشکلات، استفاده از کودهای آلی برای تغذیه گیاه می‌باشد (۱۳). ورمی‌کمپوست به عنوان یک جایگزین برای کاهش استفاده از کودهای شیمیایی مطرح می‌باشد. ورمی‌کمپوست نوعی کود تولید شده به کمک کرم‌های خاکی می‌باشد که در نتیجه تغییر، تبدیل و هضم ضایعات آلی (کود دامی، بقایای گیاهی) در ضمن عبور از دستگاه گوارش این جانوران به وجود می‌آید (۱۴). این کود آلی سرشار از عناصر غذایی به شکل قابل جذب برای گیاه و انواع ویتامین‌ها است و در کشاورزی پایدار در راستای افزایش تقویت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک، افزایش میزان کربن آلی خاک، تأمین عناصر کم‌مصرف و پرمصرف گیاهان، بهبود رشد و عملکرد استفاده می‌شود (۱۴). کودهای دامی یکی دیگر از انواع کودهای آلی مورد استفاده در کشاورزی هستند. کاربرد کود دامی ضمن تأمین و در دسترس قراردادن مجموعه‌ای از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، باعث بهبود ساختمان خاک، ایجاد بستر مناسب برای رشد ریشه و بهبود کیفیت و افزایش عملکرد (۱۵)، افزایش بهره‌وری زراعی، کاهش خطرات زیست‌محیطی و کاهش اثرات ناشی از تنش‌ها (۱۶) می‌شود. افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین و قندهای محلول در گیاه پنبه با کاربرد کود ورمی‌کمپوست گزارش شده است (۱۷). در طی پژوهشی مشخص گردید که کاربرد کودهای دامی به همراه کودهای شیمیایی سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b، کل و کاروتنوئید) گیاه ذرت گردید (۱۸). با توجه به گستردگی مناطق خشک و

نیمه‌خشک کشور و اهمیت گیاهان بقولات به دلیل نقش مهم آن‌ها در تثبیت نیتروژن و تأمین علوفه مورد نیاز و از طرفی به دلیل نقش کودهای آلی در کاهش یا تعدیل بخشی از اثرات خشکی و نیز کاهش مصرف کودهای شیمیایی، موجب گردید تا تأثیر این عوامل بر عملکرد و برخی صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی نخود علوفه‌ای تحت شرایط بدون آبیاری و اعمال آبیاری تکمیلی در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در استان آذربایجان غربی و در مزرعه مرکز خدمات کشاورزی کره‌سنی در شهرستان سلماس (۴۴ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا) در سال ۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد کودهای آلی ورمی‌کمپوست به مقدار ده تن در هکتار، کود گاوی به مقدار بیست تن در هکتار و عدم کاربرد کود آلی (شاهد کود) و آبیاری تکمیلی شامل یک بار آبیاری، معادل ۳۰۰ مترمکعب در هکتار در مرحله پنجاه درصد گلدهی، دو بار آبیاری، معادل ۶۰۰ مترمکعب در هکتار در مراحل پنجاه درصد گلدهی و پنجاه درصد غلاف‌دهی و بدون آبیاری (شاهد آبیاری) بود. مشخصات خاک مزرعه و ورمی‌کمپوست مورد استفاده در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه.

Table 1. Farm soil physicochemical properties.

pH	EC (dS/m)	عصاره اشباع Saturated extract	رسی Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی O.C.	نیترژن N	پتاسیم K	فسفر P	آهن Fe	کلسیم Ca	منیزیم Mg	مس Cu	بافت Texture
					درصد			ppm			(mg kg ⁻¹)			
7.9	1.24	44	22	42	36	1.3	0.03	135	5.4	0.97	28.1	31.4	0.29	لومی Loam

جدول ۲- خصوصیات ورمی کمپوست.

Table 2. Vermicompost properties.

نیترژن (%) N	فسفر (%) P	پتاسیم (%) K	آهن (mg kg ⁻¹) Fe	EC (dS/m)	pH	کربن آلی (%) O.C. (%)	C/N
1.27	1.25	2.06	1114.6	2.68	8.01	20.38	16.04

و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر صورت گرفت. محتوای پرولین برگ نیز با استفاده از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (۲۰).

تعیین دوره و سرعت پر شدن دانه: به منظور بررسی تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر سرعت پر شدن دانه، نمونه برداری ۴ روز بعد از دانه بندی در فواصل زمانی هر دو روز یک بار انجام شد. در هر بار نمونه برداری دو غلاف از هر کرت انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه دانه ها از غلاف جدا شده و به مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه دار در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد گردید (۲۱). به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دوتکه ای) مطابق رابطه ۱ استفاده گردید.

در اوایل پاییز زمین موردنظر شخم زده شد و سپس اقدام به دیسک زنی، تسطیح زمین و ایجاد جوی پشته گردید. ۲۷ کرت آزمایشی به ابعاد ۶×۱/۵ مترمربع آماده گردید و کودهای آلی همزمان با آماده سازی و قبل از کاشت با خاک مزرعه در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری مخلوط گردیدند. فاصله بین ردیف های کاشت ۳۰ سانتی متر، فاصله بین بوته ها در روی ردیف ها ۱۰ سانتی متر و عمق کاشت ۴ سانتی متر بود. کاشت به صورت دستی در ۲۴ اسفند به صورت خشکه کاری انجام گرفت. در طول فصل رشد براساس نیاز وجین علف های هرز به صورت دستی انجام گرفت. زمان برداشت ۱۶ تیر (مرحله رسیدگی) بود.

اندازه گیری صفات ریخت شناسی: در پایان فصل رشد پس از حذف بوته های حاشیه، از هر کرت یک مترمربع برداشت شد و صفات تعداد غلاف در بوته، وزن خشک غلاف، تعداد دانه در غلاف و عملکرد کل دانه اندازه گیری شد.

سنجش محتوای پرولین و قندهای محلول: اندازه گیری قندهای محلول برگ به روش فنول سولفوریک (۱۹)

$$GW = \begin{cases} a + bt & t < t_0 \\ a + bt & t \gg t_0 \end{cases} \quad (1)$$

مدل بر همه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم t_0 و b برآورد می‌شود. t_0 یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه ۱ قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه گردید. ضریب تبیین بالا و توضیح مناسب نقاط مشاهده شده در هر یک از نمودارها شرط انتخاب هر یک از معادلات بود. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه ۲ استفاده شد (۲۲).

$$EFP = MGW / GFR$$

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی: از روش آرنون (۱۹۴۹) برای سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی استفاده گردید (۲۳). مقدار کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید با استفاده از روابط ۳ تا ۶ محاسبه گردید.

$$a \text{ کلروفیل} = (19/3 \times A_{663} - 0/86 \times A_{645}) V / 100 \text{ W} \quad (3)$$

$$b \text{ کلروفیل} = (19/3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663}) V / 100 \text{ W} \quad (4)$$

$$\text{کلروفیل کل} = a \text{ کلروفیل} + b \text{ کلروفیل} \quad (5)$$

$$\text{کارتنوئید} = (1000 A_{470} - 1/82 C_a - 85/02 C_b) / 198 \quad (6)$$

سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. از طرفی اثر متقابل بین کود و آبیاری بر صفات وزن خشک غلاف، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). آبیاری تکمیلی و استفاده از کودهای آلی باعث افزایش وزن خشک غلاف و تعداد غلاف در بوته گردید. بر این اساس بالاترین وزن خشک غلاف (۱۶/۴۴ گرم) و تعداد غلاف در بوته (۱۵/۶۶ عدد) از ترکیب تیماری کاربرد ورمی‌کمپوست تحت شرایط دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل ۵۰ درصد گل‌دهی و ۵۰ درصد غلاف‌دهی

که در آن GW وزن دانه، t زمان، b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقدار خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد. با برازش این

در این رابطه، EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است.

در این روابط، V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است.

برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

خصوصیات غلاف و عملکرد: نتایج مربوط به تجزیه واریانس بیانگر این است که اثر اصلی آبیاری و کود بر تمام صفات مربوط به غلاف و عملکرد دانه در

به‌دست آمد. کم‌ترین میزان وزن خشک غلاف مربوط به ترکیبات تیماری عدم آبیاری تکمیلی و عدم کاربرد کود (۵/۵۱ گرم) می‌باشد که با ترکیبات تیماری بدون آبیاری و کاربرد ورمی‌کمپوست و عدم کاربرد کود تحت شرایط یک بار آبیاری تکمیلی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارد (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و کود بر خصوصیات مربوط به غلاف و عملکرد دانه نخود علوفه‌ای.

Table 3. Analysis of variance of irrigation and fertilizer on characteristics related to pod and grain yield of forage pea.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	وزن خشک غلاف Pod dry weight	تعداد دانه در غلاف Number of grain per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	عملکرد دانه Grain yield
بلوک (Block)	2	0.42 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.59 ^{ns}	6403.05 ^{ns}
آبیاری (Irrigation)	2	106.26 ^{**}	2.62 ^{**}	33.81 ^{**}	324208.72 ^{**}
کود (Fertilizer)	2	46.25 ^{**}	2.21 ^{**}	39.48 ^{**}	141055.57 ^{**}
آبیاری × کود (Irrigation * Fertilizer)	4	8.17 ^{**}	0.04 ^{ns}	6.03 ^{**}	23072.21 [*]
اشتباه آزمایشی (Error)	16	0.41	0.08	0.69	4971.6
ضریب تغییرات (C.V. (%))	-	6.5	6.68	7.42	16.39

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

کم‌ترین تعداد غلاف در بوته را نیز ترکیب تیماری عدم استفاده از کود تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی (۷/۶۶ عدد) به خود اختصاص داد که با تیمار مصرف کود دامی در شرایط بدون آبیاری از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن است که کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با عدم کاربرد کود تحت شرایط بدون آبیاری وزن خشک غلاف را به ترتیب ۶۳/۵ و ۱۸/۸ درصد و تعداد غلاف در بوته را به ترتیب ۱/۸ و ۵۷/۴ درصد افزایش داد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و کود بر خصوصیات مرتبط با غلاف و عملکرد دانه نخود علوفه‌ای.

Table 4. Mean comparison the effects of irrigation × fertilizer on characteristics related to pod and grain yield of forage pea.

ترکیبات تیماری Combination of treatments	وزن خشک غلاف (گرم) Pod dry weight (g)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)
بدون کود (No-fertilizer)	5.51 ^c	7.66 ^b	161.1 ^b
کود دامی (Manure)	9.01 ^a	7.80 ^b	333.3 ^a
ورمی‌کمپوست (Vermicompost)	6.55 ^b	12.1 ^a	320.6 ^a
بدون کود (No-fertilizer)	5.24 ^b	9.7 ^b	278.1 ^c
کود دامی (Manure)	10.67 ^a	12.63 ^a	384.7 ^b
ورمی‌کمپوست (Vermicompost)	11.05 ^a	12.26 ^a	471.47 ^a
بدون کود (No-fertilizer)	11.13 ^c	9.93 ^c	478.63 ^b
کود دامی (Manure)	13.56 ^b	13.46 ^b	656.87 ^b
ورمی‌کمپوست (Vermicompost)	16.44 ^a	15.66 ^a	876.83 ^a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Means with similar letters in each column show non-significant difference

اثرات اصلی آبیاری و تیمارهای کودی تأثیر معنی‌داری را بر تعداد دانه در غلاف داشتند، در صورتی که این صفت تحت تأثیر اثر متقابل این تیمارها قرار نگرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها برای اثر اصلی آبیاری نشان داد که بالاترین تعداد دانه در غلاف (۵/۱ عدد) در حالت دو بار آبیاری تکمیلی و کم‌ترین آن در حالت عدم آبیاری (۴/۰۹ عدد) مشاهده گردید که با تیمار یک بار آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری را نداشت. انجام یک بار آبیاری تکمیلی تعداد دانه در غلاف را ۳/۹ درصد و انجام دوبار آبیاری این شاخص را ۲۴/۶ درصد نسبت به عدم آبیاری بهبود بخشید. همچنین اثر اصلی تیمار کودی مشخص کرد که بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف (۴/۷۷ عدد) در شرایط مصرف کودهای دامی و ورمی‌کمپوست مشاهده گردید که نسبت به شاهد خود (عدم کاربرد کود) ۲۲ درصد افزایش داشت (جدول ۵).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست افزایش یافت. بر این اساس بالاترین عملکرد دانه (۸۷۶/۸۳ کیلوگرم در هکتار) تحت شرایط دو بار آبیاری تکمیلی و کاربرد ورمی‌کمپوست و پایین‌ترین آن (۱۶۱/۱ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون کاربرد کود و عدم اعمال آبیاری تکمیلی حاصل گردید (جدول ۴). بر اساس نتایج مشاهده گردید که کاربرد کود دامی در شرایط بدون آبیاری، یک بار آبیاری و دو بار آبیاری عملکرد دانه را به ترتیب ۱۰۶/۸، ۳۷/۱ و ۳۷/۲ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود افزایش داد. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست نیز تحت تیمار بدون آبیاری، یک بار آبیاری و دو بار آبیاری عملکرد دانه را به ترتیب ۶۹/۵ و ۸۳/۲ درصد در مقایسه با حالت بدون استفاده از کود بهبود بخشید (جدول ۴).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری و کود بر تعداد دانه در غلاف، کلروفیل b و حداکثر وزن دانه.

Table 5. Mean comparison the effects of irrigation and fertilizer on number of grain per pod, Chlorophyll b and maximum grain weight.

حداکثر وزن دانه Maximum grain weight	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/g FW)	تعداد دانه در غلاف Number of grain per pod	تیمار Treatment
0.0065 ^c	4.8 ^b	4.09 ^b	بدون آبیاری (No-irrigation)
0.0092 ^b	7.3 ^a	4.25 ^b	یک بار آبیاری (Once irrigation)
0.104 ^a	7.53 ^a	5.1 ^a	دو بار آبیاری (Twice irrigation)
0.069 ^b	5.34 ^b	3.91 ^b	بدون کود (No-fertilizer)
0.096 ^a	7.02 ^a	4.77 ^a	کود دامی (Manure)
0.097 ^a	7.26 ^a	4.77 ^a	ورمی‌کمپوست (Vermicompost)

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters in each column show non-significant difference

را تولید می‌کند. ولی در شرایط تنش محدودیت بیش‌تر منبع و مخزن باعث کاهش تعداد غلاف می‌شود. در این راستا کاهش طول غلاف، تعداد غلاف

در شرایط آبیاری کامل، گیاه با بهره‌گیری از همه شرایط محیطی و توسعه کافی اندام‌های رویشی و تولید مناسب مواد فتوسنتزی، بیش‌ترین تعداد غلاف

تعداد غلاف‌ها را افزایش می‌دهد (۲۸). گزارش گردیده است که ورمی‌کمپوست از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف برای گیاه و نیز بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی گیاه نخود می‌شود (۲۹).

صفات فیزیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آبیاری و کودهای آلی بر محتوای کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید، پرولین و قندهای محلول برگ تأثیر معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد داشت. هم‌چنین اثر متقابل آبیاری در کود بر صفات کلروفیل a، کل، کاروتنوئید، پرولین و قندهای محلول معنی‌دار گردید، در صورتی که بر محتوای کلروفیل b تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۶).

در بوته و تعداد دانه در غلاف گیاه نخود در اثر تنش خشکی گزارش گردیده است (۲۴). در پژوهشی مشخص گردید که ماده خشک، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته نخود تحت‌تأثیر آبیاری تکمیلی افزایش یافت (۲۵). گزارش شده است که عملکرد دانه نخود در شرایط آبیاری تکمیلی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از تیمارهای بدون آبیاری تکمیلی می‌باشد (۲۶). موهانتی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق بهبود فعالیت‌های زیستی در محیط رشد و به تبع آن افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش بیوماس کل و در نتیجه افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف بادام‌زمینی شد (۲۷). هم‌چنین عنوان شده است که کود دامی از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک ظرفیت منبع را جهت تولید آسیمیلات‌ها افزایش داده و از این طریق

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و کود بر برخی صفات فیزیولوژیک نخود علوفه‌ای.

Table 6. Analysis of variance of irrigation and fertilizer on some physiological traits of forage pea.

منابع تغییرات Source of variations	df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین برگ Leaf proline	قندهای محلول برگ Leaf soluble sugars
بلوک (Block)	2	0.4 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.47 ^{ns}	1.35 ^{ns}	11.94 ^{ns}	6.75 ^{ns}
آبیاری (Irrigation)	2	93.74 ^{**}	20.67 ^{**}	196.36 ^{**}	137.86 ^{**}	1005.1 ^{**}	378.68 ^{**}
کود (Fertilizer)	2	13.74 ^{**}	9.81 ^{**}	46.34 ^{**}	81.82 ^{**}	548.12 ^{**}	302.94 ^{**}
آبیاری × کود (Irrigation * Fertilizer)	4	1.6 ^{**}	0.21 ^{ns}	1.46 [*]	18.35 ^{**}	108.57 ^{**}	37.88 ^{**}
اشتباه آزمایشی (Error)	16	0.22	0.28	0.39	0.44	8.29	4.22
ضریب تغییرات (C.V. (%))	-	6.31	8.14	4.42	6.93	6.22	7.28

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** non-significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively

محتوای کلروفیل a (۱۱/۴۹ و ۱۱/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱۹/۵۱ و ۱۹/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌ترتیب از ترکیبات تیماری

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت شرایط آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای آلی بهبود یافت. اثر متقابل دوگانه آبیاری و کود نشان داد که بالاترین

میلی گرم در گرم وزن تر) و بدون کاربرد کود تحت شرایط یک بار آبیاری (۳/۴۵ میلی گرم در گرم وزن تر) حاصل شد (جدول ۷).

اثر اصلی آبیاری نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل b تحت شرایط دو بار آبیاری (۷/۵۳ میلی گرم در گرم وزن تر) و نیز یک بار آبیاری (۷/۳ میلی گرم در گرم وزن تر) و کمترین میزان آن (۴/۸ میلی گرم در گرم وزن تر) در تیمار عدم آبیاری مشاهده گردید. از طرفی کاربرد ورمی کمپوست و کود گاوی بالاترین میزان کلروفیل b (به ترتیب ۷/۲۶ و ۷/۰۲ میلی گرم در گرم وزن تر) و عدم استفاده از کود پایینترین مقدار این شاخص (۵/۳۴ میلی گرم در گرم وزن تر) را دارا بودند (جدول ۵).

(دو بار آبیاری و کاربرد ورمی کمپوست) و (دو بار آبیاری و کاربرد کود دامی) به دست آمد (جدول ۷). ترکیب تیماری عدم آبیاری تکمیلی و عدم کاربرد کود نیز کمترین محتوای کلروفیل a (۳/۵۶ میلی گرم در گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۷/۰۷ میلی گرم در گرم وزن تر) را نشان داد. حداکثر محتوای کاروتنوئید (۱۴/۰۹ میلی گرم در گرم وزن تر) از ترکیب تیماری دو بار آبیاری در مراحل ۵۰ درصد گل دهی و ۵۰ درصد غلاف دهی و کاربرد کود دامی به دست آمد که اختلاف معنی داری را با کاربرد ورمی کمپوست در این سطح آبیاری و نیز کاربرد ورمی کمپوست و کود دامی در تیمار یک بار آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گل دهی را نشان نداد. حداقل مقدار این شاخص نیز از ترکیبات تیماری عدم آبیاری و عدم کاربرد کود (۳/۰۴)

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در کود بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول و پرولین برگ نخود علوفه‌ای.

Table 7. Mean comparison the effects of irrigation × fertilizer on photosynthetic pigments, soluble sugars and leaf proline content of forage pea.

پرولین برگ (میلی گرم در گرم وزن تر) Leaf proline (mg/g FW)	قندهای محلول (میلی گرم در گرم وزن تر) Soluble sugars (mg/g FW)	کاروتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تر) Carotenoid (mg/g FW)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر) Total chlorophyll (mg/g FW)	کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/g FW)	ترکیبات تیماری Combination of treatments
45.52 ^b	16.03 ^b	3.04 ^b	7.07 ^b	3.56 ^b	بدون کود (No-fertilizer)
63.53 ^a	22.87 ^a	6.15 ^a	9.5 ^a	4.43 ^a	کود دامی (Manure)
66.14 ^a	23.57 ^a	7 ^a	10.53 ^a	4.72 ^a	ورمی کمپوست (Vermicompost)
32.8 ^b	19.5 ^b	3.45 ^b	12.01 ^c	6.02 ^c	بدون کود (No-fertilizer)
43.27 ^a	35.58 ^a	13.78 ^a	15.75 ^b	7.79 ^b	کود دامی (Manure)
47.09 ^a	37.47 ^a	13.2 ^a	17.69 ^a	9.73 ^a	ورمی کمپوست (Vermicompost)
36.91 ^b	29.12 ^b	11.77 ^b	15.65 ^b	9.1 ^b	بدون کود (No-fertilizer)
32.07 ^b	34.41 ^a	14.09 ^a	19.47 ^a	11.43 ^a	کود دامی (Manure)
48.82 ^a	35.37 ^a	13.63 ^a	19.51 ^a	11.49 ^a	ورمی کمپوست (Vermicompost)

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با یکدیگر ندارند

Means with similar letters in each column show non-significant difference

منجر به افزایش سنتز و غلظت کلروفیل برگ می‌گردد (۳۷).

تیمارهای آبیاری و کودی مورد مطالعه و اثر متقابل بین آن‌ها از نظر محتوای پرولین و قندهای محلول تفاوت معنی‌داری نشان دادند (جدول ۶). بدین‌صورت که آبیاری تکمیلی سبب کاهش محتوای پرولین و افزایش محتوای قندهای محلول گردید. از طرفی کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها میزان پرولین و قندهای محلول را بهبود بخشیدند. مقایسه میانگین‌ها برای اثرات دوگانه آبیاری و کود نشان داد که بالاترین محتوای پرولین تحت شرایط بدون آبیاری و کاربرد ورمی‌کمپوست (۶۶/۱۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کود دامی (۶۳/۵۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به دست آمد. کم‌ترین میزان پرولین نیز از ترکیب تیماری یک بار آبیاری و بدون کاربرد کود (۳۲/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری را با کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست در شرایط دو بار آبیاری نشان نداد (جدول ۷). براساس مقایسه میانگین‌ها مشخص گردید که کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود) در شرایط بدون آبیاری محتوای پرولین را به ترتیب ۳۹/۵ و ۴۵/۲ درصد افزایش داد (جدول ۷). کم‌ترین محتوای قندهای محلول (۱۶/۰۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) متعلق به ترکیب تیماری شاهد (بدون آبیاری و بدون کود) بود. بیش‌ترین میزان قندهای محلول نیز مربوط به کاربرد کود ورمی‌کمپوست در شرایط یک‌بار آبیاری (۳۷/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود که از لحاظ آماری با تیمارهای کاربرد کود دامی در شرایط یک بار آبیاری و کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست تحت شرایط دو بار آبیاری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. نتایج حاصل نشان داد که در تیمار بدون آبیاری، کاربرد کود دامی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با عدم کاربرد،

رنگدانه اصلی فتوسنتز در گیاهان کلروفیل می‌باشد که یکی از معیارهای اساسی در راستای برآورد واکنش‌های گیاهان به تنش‌های محیطی می‌باشد، بدین‌صورت که گیاهانی که در شرایط تنش‌های محیطی دارای پایداری کلروفیل بالایی هستند، توانایی مقاومت آن‌ها به تنش نیز زیاد می‌باشد (۳۰). گزارش گردیده است که تنش خشکی در لوبیا و ذرت سبب کاهش محتوای کلروفیل می‌گردد (۳۱). افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز و تغییر در مسیر متابولیسم نیتروژن جهت تولید ترکیباتی مانند پرولین یکی از دلایل کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش می‌باشد (۳۲). از طرفی پیش‌ماده مشترک بین سنتز کلروفیل و پرولین، گلوتامین می‌باشد که در شرایط تنش بیش‌تر در راستای سنتز پرولین مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه سنتز کلروفیل کاهش می‌یابد (۳۳). کاروتنوئیدها جزء سیستم‌های دفاعی غیرآنزیمی گیاهان می‌باشند که غشاهای کلروپلاستی گیاهان را در برابر آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کنند. سنتز این ترکیبات در مراحل اولیه تنش به دلیل نقش آن‌ها در محافظت از ساختار و کارکرد کلروفیل‌ها در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش می‌یابد ولی با گذشت زمان و در تطابق گیاه با تنش میزان آن‌ها کاهش پیدا می‌کند (۳۴). کاهش میزان کاروتنوئیدها تحت شرایط تنش‌های محیطی در مطالعات گوناگون به اثبات رسیده است و اکسیداسیون این ترکیبات و از بین رفتن ساختار آن‌ها توسط گونه‌های فعال اکسیژن دلیل کاهش آن‌ها عنوان شده است (۳۵). گزارش شده است که استفاده از ورمی‌کمپوست با افزایش فراهمی نیتروژن برای گیاهان سبب افزایش کلروفیل می‌شود (۳۶). کودهای دامی با کاهش آشفته‌ی نیتروژن در خاک و تأمین بیش‌تر آن، افزایش دسترسی و کارایی بالاتر عناصر غذایی و هم‌چنین افزایش جمعیت میکروبی خاک

محتوای قندهای محلول را به ترتیب ۴۲/۶ و ۴۷ درصد بهبود بخشید (جدول ۷).

در پاسخ به تنش خشکی گیاهان مکانیسم‌های گوناگونی را برای مقابله با اثرات ناشی از تنش‌ها اتخاذ کرده‌اند که این مکانیسم‌ها شامل تغییراتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌باشد. تجمع اسمولیت‌های سازگار یکی از این فرآیندها می‌باشد (۳۸). یکی از این اسمولیت‌های سازگار پرولین می‌باشد که تجمع آن در شرایط تنش‌های گوناگون از جمله خشکی و شوری گزارش شده است (۳۹). پرولین به عنوان محافظت‌کننده پروتئین‌ها، غشاها، آنزیم‌ها، رنگیزه‌های فتوسنتزی و مهار رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش عمل می‌کند (۴۰). گزارش گردیده است که تنش خشکی سبب افزایش محتوای پرولین در نخود (۴۱) شده است. افزایش محتوای پرولین با کاربرد کود ورمی‌کمپوست در پنبه نشان داده شده است (۱۷). قندهای محلول یکی دیگر از اسمولیت‌های سازگار هستند که سبب حفظ تورژسانس سلول‌ها، محافظت از غشاها و پروتئین‌ها، مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن و افزایش پایداری غشاها در شرایط تنش می‌شوند (۴۲). تجمع قندهای محلول در سلول در تنظیم اسمزی نقش مهمی دارد و به کاهش پتانسیل آب سلول کمک می‌کند و در نتیجه آب بیشتری برای حفظ فشار تورژسانس در تنش کم‌آبی در داخل سلول باقی می‌ماند (۴۳). تجزیه نشاسته تحت شرایط تنش خشکی در اثر افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز، کم کردن انتقال ساکارز توسط گیاه و سنتز قندهای جدید از دلایل افزایش غلظت قندهای محلول تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد (۴۴). از طرفی در برخی منابع تنش خشکی سبب کاهش قندهای محلول گردیده است. به طوری که گزارش

گردیده است که تنش خشکی سبب کاهش محتوای قندهای محلول در ارقام مختلف برنج گردید (۴۵) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

مؤلفه‌های پر شدن دانه: بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس مشخص گردید که اثر آبیاری، کود و اثر متقابل این تیمارها بر سرعت پر شدن دانه، دوره پر شدن دانه و هم‌چنین دوره مؤثر پر شدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی آبیاری و کودهای آلی بر حداکثر وزن دانه تأثیر معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۸).

الگوی پر شدن دانه در تمام تیمارهای مورد بررسی تقریباً روند مشابهی را دارد. بدین صورت که روند تغییرات وزن دانه در تیمارهای اعمال شده ابتدا به صورت خطی افزایش یافت و در محدوده ۱۶ تا ۱۸ روز پس از دانه‌بندی به حداکثر میزان خود رسید و پس از آن وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به صورت خط افقی در آمد (شکل ۱- الف تا ۱- ج). بررسی‌های بیش‌تر نشان داد که انجام آبیاری‌های تکمیلی در مقایسه با شرایط بدون آبیاری تکمیلی موجب بهبود وزن دانه گردید (شکل ۱- ب و ۱- ج). از طرفی کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست هم در شرایط بدون آبیاری (شکل ۱- الف) و هم در شرایط یک بار (شکل ۱- ب) و دو بار آبیاری (شکل ۱- ج) وزن دانه و سرعت پر شدن دانه را افزایش دادند. مقایس میانگین نشان می‌دهد که تیمارهای مورد بررسی از نظر سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه تفاوت‌هایی را با یکدیگر دارا هستند.

جدول ۸- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و کود بر مؤلفه‌های پر شدن دانه نخود علوفه‌ای.

Table 8. Analysis of variance of irrigation and fertilizer on grain filling components of forage pea.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	سرعت پر شدن دانه Rate grain filling	دوره پر شدن دانه Grain filling period	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight
بلوک (Block)	2	0.000026 **	68.84 **	38.33 **	0.0027**
آبیاری (Irrigation)	2	0.000023 **	3.14 **	2.63 **	0.0035**
کود (Fertilizer)	2	0.000028 **	2.69 **	2.01 **	0.0022**
آبیاری × کود (Irrigation * Fertilizer)	4	0.000002 **	8.57 **	7.09 **	0.00003 ^{ns}
اشتباه آزمایشی (Error)	16	0.0000001	0.07	0.06	0.00002
ضریب تغییرات (C.V. (%))	-	5.08	2	2.42	5.10

^{ns}, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
^{ns}, * and ** non-significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively

به طوری‌که عدم آبیاری تکمیلی سبب کاهش سرعت پر شدن دانه و کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست هم در شرایط عدم آبیاری و هم در شرایط اعمال آبیاری تکمیلی سبب افزایش سرعت پر شدن دانه گردید. بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه از ترکیبات تیماری دو بار آبیاری و کاربرد کودهای دامی (۰/۰۱۱۶ گرم در روز) و ورمی‌کمپوست (۰/۰۱۱ گرم در روز) به دست آمد. کم‌ترین سرعت پر شدن دانه نیز متعلق به ترکیب تیماری عدم کاربرد کود و در شرایط بدون آبیاری (۰/۰۰۴ گرم در روز) بود (جدول ۹).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در کود بر مؤلفه‌های پر شدن دانه نخود علوفه‌ای و ضرایب معادلات برازش‌شده برای شکل ۱.

Table 9. Mean comparison the effects of irrigation × fertilizer on grain filling components of forage pea and the coefficients of the fitted equations for Figure 1.

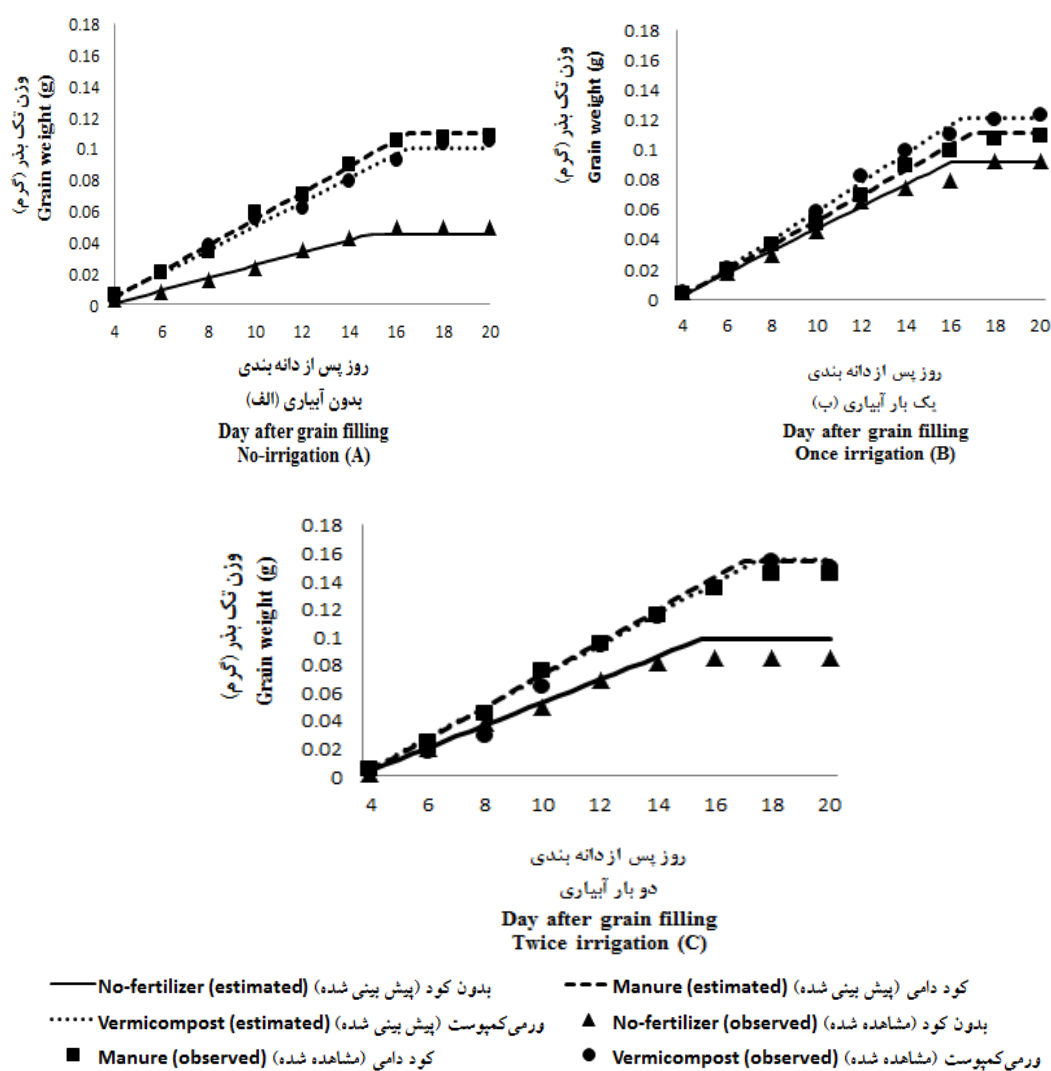
ترکیبات تیماری Combination of treatments	سرعت پر شدن دانه (گرم در روز) Rate grain filling (g/day)	دوره پر شدن دانه (روز) Grain filling period (day)	دوره مؤثر پر شدن دانه (روز) Effective grain filling period (day)	معادله برازش شده Estimated Equation
بدون کود (No-fertilizer)	0.0040 ^b	16.03 ^a	12.28 ^a	$Y = -0.0153 + 0.0040x$ $R^2 = 0.94$
بدون آبیاری No-irrigation	0.0084 ^a	12.31 ^b	8.87 ^b	$Y = -0.0296 + 0.0084x$ $R^2 = 0.82$
کود دامی (Manure)	0.0076 ^a	11.69 ^b	8.37 ^b	$Y = -0.0258 + 0.0076x$ $R^2 = 0.84$
ورمی‌کمپوست (Vermicompost)	0.0074 ^c	13.47 ^c	10 ^c	$Y = -0.0270 + 0.0074x$ $R^2 = 0.85$
بدون کود (No-fertilizer)	0.0084 ^b	15.45 ^a	11.78 ^a	$Y = -0.0315 + 0.0084x$ $R^2 = 0.93$
یک بار آبیاری Once irrigation	0.0096 ^a	14.54 ^b	10.93 ^b	$Y = -0.0372 + 0.0096x$ $R^2 = 0.90$
کود دامی (Manure)	0.0082 ^b	13.81 ^a	10.24 ^b	$Y = -0.0298 + 0.0082x$ $R^2 = 0.89$
بدون کود (No-fertilizer)	0.0116 ^a	13.26 ^b	9.91 ^c	$Y = -0.0432 + 0.0116x$ $R^2 = 0.89$
دو بار آبیاری Twice irrigation	0.0111 ^a	13.9 ^a	10.45 ^a	$Y = -0.039 + 0.0111x$ $R^2 = 0.88$
کود دامی (Manure)				
ورمی‌کمپوست (Vermicompost)				

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Means with similar letters in each column show non-significant difference

آبیاری و بدون مصرف کود و کم‌ترین طول دوره (۱۱/۶۹ روز) و دوره مؤثر پر شدن دانه (۸/۳۷ روز) در ترکیب تیماری بدون آبیاری و استفاده از ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۹). بررسی‌های بیش‌تر نشان داد که انجام آبیاری در مقایسه با شرایط بدون آبیاری موجب بهبود وزن دانه گردید (جدول ۵). از طرفی کاربرد ورمی‌کمپوست و کود گاوی بیش‌ترین تأثیر را در افزایش وزن دانه داشت (جدول ۵).

نتایج مشخص کرد که در شرایط بدون آبیاری کاربرد کودهای آلی دوره پر شدن و نیز دوره مؤثر پر شدن دانه را کاهش دادند. با این وجود در شرایط یک بار آبیاری این شاخص‌ها در واکنش به استفاده از کودها بهبود یافتند. هم‌چنین کاربرد کود دامی در تیمار دوبار آبیاری دوره پر شدن و دوره مؤثر پر شدن دانه را کاهش داد، ولی استفاده از ورمی‌کمپوست سبب افزایش این شاخص‌ها گردید (جدول ۹). بیش‌ترین طول دوره (۱۶/۰۳ روز) و دوره مؤثر پر شدن دانه (۱۲/۲۸ روز) در ترکیب تیماری حاصل از بدون



شکل ۱- روند پر شدن دانه گیاه نخود علوفه‌ای تحت شرایط آبیاری تکمیلی و کاربرد تیمارهای کودی.

Fig. 1. Grain filling process of forage pea under supplementary irrigation conditions and application of fertilizer treatments.

دانه، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه گیاه گلرنگ با کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون گزارش شده است (۵۱).

نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد، صفات مرتبط با غلاف، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b، کل و کاروتنوئید) و محتوای قندهای محلول در گیاه نخود علوفه‌ای گردید. در صورتی که میزان پرولین را در برگ‌ها افزایش داد. از طرفی کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها موجب بهبود صفات مورد بررسی شد. آبیاری‌های تکمیلی و مصرف کودهای دامی و ورمی‌کمپوست سبب بهبود وزن دانه و سرعت پر شدن دانه شدند. در شرایط بدون آبیاری کاربرد کودهای آلی دوره پر شدن و نیز دوره مؤثر پر شدن دانه را کاهش دادند. با این وجود در شرایط یک بار آبیاری این شاخص‌ها در واکنش به استفاده از کودها بهبود یافتند. هم‌چنین کاربرد کود دامی در تیمار دوبار آبیاری دوره پر شدن و دوره مؤثر پر شدن دانه را کاهش داد، ولی استفاده از ورمی‌کمپوست سبب افزایش این شاخص‌ها گردید. در این پژوهش کاربرد کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست را می‌توان در راستای سودمندی تولید گیاه نخود علوفه‌ای تحت شرایط دیم مورد توصیه قرار داد و در بین ترکیبات تیماری مورد بررسی کاربرد ورمی‌کمپوست و اعمال دو بار آبیاری تکمیلی به عنوان مطلوب‌ترین تیمار جهت استفاده پیشنهاد می‌گردد.

اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه که نتیجه تجمع املاح مضر در گیاه و هم‌چنین بر هم خوردن تعادل یونی می‌باشد، ممکن است مهم‌ترین دلیل کاهش وزن دانه در شرایط تنش باشد. هم‌چنین وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پر شدن دانه است، بنابراین تنش‌های محیطی که موجب کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه شد به‌طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهند (۴۶). روند پر شدن دانه از یک منحنی سیگموئیدی که شامل سه مرحله رشد بطنی، رشد خطی و رسیدگی فیزیولوژیک است پیروی می‌کند. ۵ درصد از وزن دانه در در مرحله رشد بطنی تشکیل می‌شود و نقش مهمی را در وزن نهایی دانه ایفا می‌کند. تنش‌های محیطی با کوتاه‌تر کردن این دوره سبب کاهش وزن دانه می‌شوند (۴۷). خیری‌زاده آروق و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که تنش خشکی سبب کاهش سرعت پر شدن دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه تریپتیکاله گردید (۴۶). در پژوهشی مشخص گردید که کاهش میزان آب در اواخر دوره رشد سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه نخود گردید (۴۸). در این پژوهش به نظر می‌رسد بالا بودن سرعت پر شدن دانه در شرایط آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای دامی و ورمی‌کمپوست می‌تواند بخشی از افزایش وزن دانه و عملکرد دانه تحت چنین شرایطی را توجیه کند. بررسی‌های نریمانی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که آبیاری تکمیلی سرعت پر شدن دانه گندم را افزایش داد (۴۹). چقازردی و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند که کاربرد کود دامی سبب افزایش سرعت پر شدن دانه و کاهش طول دوره پر شدن دانه ذرت گردید (۵۰). افزایش سرعت پر شدن

منابع

- Thomson, B. D., & Siddique, K. H. M. (1997). Grain legume species in low rainfall Mediterranean-type environments II. Canopy development, radiation interception, and dry-matter production. *Field Crops Research*, 54(2-3), 189-199.
- Kadioğlu, S., & Tan, M. (2018). Determination of seed yield and some characteristics of some forage pea lines and varieties in Erzurum conditions. *Ziraat Fakültesi Dergisi, Atatürk Üniversitesi*, 49(2), 143-149.
- Tekeli, S., & Ates, E. (2003). Yield and its components in field pea (*Pisum arvense* L.) lines. *Journal of Central European Agriculture*, 4, 313-317.
- Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M., & Panneerselvam, R. (2008). Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes Rendus Biologies*, 331(1), 42-47.
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50.
- Nguyen, T. T. Q., Trinh, L. T. H., Pham, H. B. V., Le, T. V., Phung, T. K. H., Lee, S. H., & Cheong, J. J. (2020). Evaluation of proline, soluble sugar and ABA content in soybean (*Glycine max* L.) under drought stress memory. *AIMS Bioengineering*, 7(3).
- Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Crouch, J. H., & Serraj, R. (2006). Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. *Field Crops Research*, 95(2-3), 171-181.
- Talebi, R., Ensafi, M. H., Baghebani, N., Karami, E., & Mohammadi, K. (2013). Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress. *Environmental and Experimental Biology*, 11(1), 9-15.
- Khodabin, G., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Rad, A. H. S., & Modarres-Sanavy, S. A. M. (2020). Effect of drought stress on certain morphological and physiological characteristics of a resistant and a sensitive canola cultivar. *Chemistry & Biodiversity*, 17(2), e1900399.
- Tavakkoli, A. R., & Oweis, T. Y. (2004). The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural Water Management*, 65(3), 225-236.
- Ghassemi-Golezani, K., Hosseinzadeh-Mahootchi, A., & Nasrullahzadeh, S. (2011). Influence of rate and duration of grain filling on yield of faba bean cultivars under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 19(1), 209-220. [In Persian]
- Moemeni, F., Ghobadi, M., Jalali-Honarmand, S., & Shekaari, P. (2015). The response of physiological characteristics of chickpea to K and Zn fertilizers under dryland farming and supplementary irrigation conditions. *Plant Process and Function*, 3(9), 71-84. [In Persian]
- Toor, R. K., Savage, G. P., & Heeb, A. (2006). Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(1), 20-27.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93, 145-153.
- Araji, A. A., Abdo, Z. O., & Joyce, P. (2001). Efficient use of animal manure on cropland-economic analysis. *Bioresource Technology*, 79(2), 179-191.
- Kızılkaya, R. (2008). Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering*, 33(2), 150-156.

17. Alharbi, K., Hafez, E. M., Omara, A. E. D., & Osman, H. S. (2023). Mitigating osmotic stress and enhancing developmental productivity processes in cotton through integrative use of vermicompost and cyanobacteria. *Plants*, 12(9), 1872.
18. Alahresani, M., & Ramazani, S. H. R. (2021). Effects of biological, chemical and animal fertilizers on photosynthetic pigments, yield and yield components of corn 500 single cross. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 125-143. [In Persian]
19. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356.
20. Bates, L. S., Waldren, R. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
21. Rondanini, D., Savin, R., & Hall, A. J. (2003). Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. *Field Crops Research*, 83(1), 79-90.
22. Ellis, R. H., & Pieta Filho, C. (1992). The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, 2(1), 9-15.
23. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
24. Arafa, S. A., Attia, K. A., Niedbala, G., Piekutowska, M., Alamery, S., Abdelaal, K., Alateeq, T. K., AM Ali, M., Elkelish, A., & Attallah, S. Y. (2021). Seed priming boost adaptation in pea plants under drought stress. *Plants*, 10(10), 2201.
25. Pacucci, G., Troccoli, C., & Leoni, B. (2006). Effect of supplementary irrigation on yield of chickpea genotypes in a Mediterranean climate. *Agricultural Engineering International: CIGR*, 3, 1-9.
26. Maleki, A., Pournajaf, M., Naseri, R., Rashnavadi, R., & Heydari, M. (2014). The effect of supplemental irrigation, nitrogen levels and inoculation with rhizobium bacteria on seed quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(6), 902-909.
27. Mohanty, S., Paikaray, N. K., & Rajan, A. R. (2006). Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.) - corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. *Geoderma*, 133(3-4), 225-230.
28. Gliessman, R. S. (2006). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, Second Edition. CRC Press: Boca Raton, FL. USA.
29. Jat, R. S., & Ahlawat, I. P. S. (2004). Effect of vermicompost, biofertilizer and phosphorus on growth, yield and nutrient uptake by gram (*Cicer arietinum*) and their residual effect on fodder maize (*Zea mays*). *Indian Journal of Agricultural Science*, 74(7), 359-361.
30. Afzal, A., Gulzar, I., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2014). Water deficit-induced regulation of growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, inorganic nutrient accumulation and antioxidative defense mechanism in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 87, 147-156.
31. Nayyar, H., & Gupta, D. (2006). Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58(1-3), 106-113.
32. Latef, A. A. H., Srivastava, A. K., Saber, H., Alwaleed, E. A., & Tran, L. S. P. (2017). Sargassum muticum and Jania rubens regulate amino acid metabolism to improve growth and alleviate salinity in chickpea. *Scientific Reports*, 7(1), 1-12.

33. Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444(2), 139-158.
34. Groppa, M. D., & Benavides, M. P. (2008). Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids*, 34, 35-45.
35. Wang, L. J., Fan, L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G. J., Cheng, J. S., Luo, H. B., & Li, S. H. (2010). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *BMC Plant Biology*, 10(1), 34.
36. Mondal, T., Datta, J. K., & Mondal, N. K. (2017). Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and bio-chemical traits of mustard crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 135-144.
37. Rahimi, A., Siavash Moghaddam, S., Ghiyasi, M., Heydarzadeh, S., Ghazizadeh, K., & Popović-Djordjević, J. (2019). The influence of chemical, organic and biological fertilizers on agrobiological and antioxidant properties of Syrian *Cephalaria* (*Cephalaria syriaca* L.). *Agriculture*, 9(6), 122.
38. Hirt, H., & Shinozaki, K. (2004). Plant responses to abiotic stress. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. Pp 320.
39. Ghaffari, H., Tadayon, M. R., Nadeem, M., Cheema, M., & Razmjoo, J. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, 1-13.
40. Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., & Becker, D. F. (2013). Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants and Redox Signaling*, 19(9), 998-1011.
41. Mafakheri, A., Siosemardeh, A. F., Bahramnejad, B., Struik, P. C., & Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4(8), 580-585.
42. Xu, S. M., Liu, L. X., Woo, K. C., & Wang, D. L. (2007). Changes in photosynthesis, xanthophyll cycle, and sugar accumulation in two North Australia tropical species differing in leaf angles. *Photosynthetica*, 45, 348-354.
43. Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Uragami, A., & Tokuda, S. (2004). Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. *Scientia Horticulturae*, 101(4), 349-357.
44. De Souza, C. R., Maroco, J. P., dos Santos, T. P., Rodrigues, M. L., Lopes, C. M., Pereira, J. S., & Chaves, M. M. (2005). Impact of deficit irrigation on water use efficiency and carbon isotope composition ($\delta^{13}\text{C}$) of field-grown grapevines under Mediterranean climate. *Journal of Experimental Botany*, 56(418), 2163-2172.
45. Dien, D. C., Mochizuki, T., & Yamakawa, T. (2019). Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Plant Production Science*, 22(4), 530-545.
46. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2017). Effects of stabilizer water deficit (biofertilizers and nano zinc oxide) on effective traits at accumulative assimilate of grain of triticale under water withholding. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(28), 31-47. [In Persian]
47. Quarrie, S. A., & Jones, H. G. (1979). Genotypic variation in leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. *Annals of Botany*, 44(3), 323-332.
48. Khamssi, N. N., Golezani, K. G., Najaphy, A., & Zehtab, S. (2011). Evaluation of grain filling rate, effective grain filling period and resistance indices under acclimation to gradual water deficit stress in chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 5(8), 1044-1049.

49. Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2018). Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Journal of Plant Biological Sciences*, 10(3), 21-40. [In Persian]
50. Chaghazardi, H., Mohammadi, G., & Beheshti Ale-Agha, A. (2013). Effects of different amounts of sulfur and manure on soil acidity and plant traits of corn hybrid KSC 704. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(1), 162-170. [In Persian]
51. Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R., & Khalilzadeh, R. (2023). Effects of irrigation withholding at reproductive stages and vermicompost and nano silicon application on quantitative and qualitative yield and grain filling period of safflower. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(1), 141-156. [In Persian]

