تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۲ | اردیبهشت ۱۴۰۱ (ص ۳۱۵-۳۰۵)

DOI: https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.332752.669108

(مقاله علمی - پژوهشی)

The Effect of Manure and Water Stress on Nutrient Uptake and Some Biochemical Properties in Chicory (*Cichorium intybus* L.)

SAEID HEYDARZADEH [1], AMIR RAHIMI [2], ABDOLLAH HASSANZADEH GHORTEPEH [3], REZA AMIRNIA[2], ROGHAYEH VAHEDI[4*]

1. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Horticulture Crop Science Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran..
4. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

(Received: Oct. 22, 2021- Revised: Feb. 4, 2022- Accepted: Feb. 20, 2022)

ABSTRACT

Water stress is the most important non-living factor in reducing plant growth and production. In order to investigate the effect of different levels of irrigation and manure on biochemical properties and nutrient uptake of chicory, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments included moisture levels (50, 70 and 90% of field capacity moisture) and doses of rotten cow manure (zero, 10, 20 and 30 tons per hectare of manure). The results of analysis of variance showed that the content of phosphorus and potassium, soluble sugars, proline, glycine betaine, glutathione and ascorbic acid of chicory were affected by different levels of irrigation and fertilizer consumption at a probability level of 1 %. Interaction of experimental treatments (moisture levels× amounts of manure consumption) on the uptake of trace nutrients (zinc, copper and manganese) and relative moisture content at a probability level of 1%, catalase enzyme activity at a probability level of 5%, glutathione reductase and ascorbate peroxidase and forage yield of chicory were also significant at the level of 1% probability. The results showed that with increasing water stress, the content of phosphorus, potassium, glutathione and ascorbic acid significantly decreases. While the highest amount of total soluble sugars, proline and glycine betaine was obtained under conditions of severe water stress. Consumption of 30 tons per hectare of manure the amount of phosphorus, potassium, total soluble sugars, glutathione and ascorbic acid increased by 44, 42, 27, 26 and 41%, respectively, compared to the control. Increasing the consumption of livestock manure played an effective role in the absorption of micronutrients (zinc, copper and manganese with values of 2.57, 0.74 and 1.72 mg/kg, respectively) and improving the relative moisture content (83.54%) and yield of chicory biomass (250/83 kg/ha) at each irrigation level. Therefore, in different stress treatments, the use of manure by reducing the oxidative damage caused by dehydration improves the absorption of nutrients and some biochemical characteristics of chicory plant for sustainable agriculture.

Keywords: Ascorbic Acid, Antioxidant, Organic Fertilizer, Irrigation Deficiency.

* Corresponding Author E-mail: r.vahedi@urmia.ac.ir

تأثیر کود دامی و تنش کم‌آبی بر جذب عناصر غذایی و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.)

سعید حیدرزاده[۱]، امیر رحیمی[۲]، عبدالله حسن زاده قورت تپه[۳]، رضا امیرنیا[۲]، رقیه واحدی[۴*]

۱. گروه علوم زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۳۰- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱)

چکیده

تنش کم‌آبی مهم‌ترین عامل غیرزنده در کاهش رشد و تولید گیاهان محسوب می‌شود. به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود دامی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی گیاه دارویی کاسنی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح رطوبتی (۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای) و مقادیر مصرفی کود گاوی پوسیده (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی) بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای فسفر و پتاسیم دانه، قندهای محلول، پرولین، گلایسین بتائین، گلوتاتیون و اسید آسکوربات گیاه دارویی کاسنی در سطح احتمال یک درصد تحت‌تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مقادیر مصرفی کود دامی قرار گرفت. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی (سطوح رطوبتی × مقادیر مصرفی کود دامی) بر میزان جذب عناصر غذایی کم‌مصرف (روی، مس و منگنز) و محتوای رطوبت نسبی در سطح احتمال یک درصد، فعالیت آنزیمی کاتالاز در سطح احتمال ۵ درصد، گلوتاتیون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز و عملکرد علوفه گیاه دارویی کاسنی نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی محتوای فسفر، پتاسیم، گلوتاتیون و آسکوربیک اسید به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. درحالی‌که بیشترین میزان قندهای محلول کل، پرولین و گلایسین بتائین در شرایط تنش شدید آبی به دست آمد. مقادیر مصرفی ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با شاهد، میزان فسفر، پتاسیم، قندهای محلول کل، گلوتاتیون و اسید آسکوربات را به ترتیب ۴۴، ۴۲، ۲۷، ۲۶ و ۴۱ درصد افزایش داد. افزایش مقادیر مصرفی کود دامی نقش مؤثری در جذب عناصر ریزمغذی (روی، مس و منگنز به ترتیب با مقادیر ۲/۵۷، ۰/۷۴ و ۱/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بهبود محتوای رطوبت نسبی (۸۳/۵۴ درصد) و عملکرد بیوماس کاسنی (۲۵۰۶/۸۳ کیلوگرم در هکتار) در هر یک از سطوح آبیاری شد؛ لذا، در تیمارهای مختلف تنش، استفاده از کود دامی با کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از کم‌آبی سبب بهبود جذب عناصر غذایی و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه کاسنی در راستای کشاورزی پایدار می‌باشد.

واژه های کلیدی: اسید آسکوربات، آنتی‌اکسیدان، کود آلی، تنش رطوبتی.

مقدمه

کاسنی گیاهی از خانواده آستراسه است. برگ‌های این گیاه دارای گلیکوزید تلخی به نام سیکورین، مقداری موسیلاژ، پکتین و اسانس می‌باشد (Perović *et al.*, 2021). زراعت گیاهان دارویی در کشور می‌تواند نقش مهمی در تأمین سلامت جامعه، اشتغال‌زایی، جلوگیری از فرسایش ژنتیکی گونه‌های دارویی داشته باشد (Mosavi *et al.*, 2012). از طرفی، گرایش روزافزون به سمت طب گیاهی در درمان بیماری‌ها چه در سطح جهانی و چه در داخل کشور لزوم تولید این محصولات را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (Perović *et al.*, 2021). ترکیب اصلی مواد مؤثره گیاه کاسنی فالونوئید کامفرول می‌باشد (Basaran *et al.*, 2021). فالونوئیدها دارای خواص دارویی متفاوتی هستند و برای مقابله با ویروس‌ها و سلول‌های سرطانی به کار می‌روند. همچنین کاسنی یک گیاه اقتصادی مهم به‌عنوان منبع خام استخراج اینولین از ریشه‌هایش می‌باشد (Basaran *et al.*, 2021). خاک‌های لیمونی سبک دارای مقدار زیادی مواد آلی بهترین و مناسب‌ترین زمین

* نویسنده مسئول: r.vahedi@urmia.ac.ir

برای این گیاه می‌باشد (Bahlgerdy, 2017). کاسنی در درمان التهابات معده و پاک‌کردن مجاری ادراری مؤثر است. ریشه کاسنی در باز کردن و روان شدن اخلاط بسیار مؤثر است. مجاری گوارشی را پاک می‌کند و بهترین تصفیه‌کننده خون است (Gredelj *et al*., 2020).

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که مراحل مختلف رشد و نمو گیاه مانند مرحله جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و تولید محصول را در سرتاسر جهان تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Sarabi and Arjmand-Ghajur, 2021). لنگرودی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی اثر تنش خشکی بر کاسنی نشان داد که کمبود رطوبت گیاه را وادار به واکنش‌های مختلف مورفولوژیکی مانند کاهش سطح برگ، خزان زودرس، کاهش اندام هوایی، افزایش رشد ریشه، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش در سرعت رشد، تجمع آنتی‌اکسیدانت و مواد محلول و فعالیت ژن‌های خاص و غیره می‌کند. در سال‌های اخیر، به علت تغییرات شرایط آب و هوائی تنش خشکی بسیار شدیدتر شده است. براین‌اساس بررسی سازوکارهایی که گیاهان را قادر می‌سازد تا با تنش خشکی سازش پیدا کنند و رشدشان را تحت آن شرایط حفظ نمایند، در نهایت می‌تواند به تولید گیاهان مقاوم به تنش برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک نماید. یکی از کارهایی که گیاه دارویی کاسنی در مواجه با تنش خشکی انجام می‌دهند سنتز و تجمع ترکیبات محافظت‌کننده‌های اسمزی شامل قندهای محلول، اسیدهای آمینه، بتایین و غیره می‌باشد (Langeroodi *et al*., 2020). معمولاً اکثر گیاهان در مقابله با تنش‌ها از جمله تنش شوری، خشکی، دمای بالا و کمبود مواد غذایی، پرولین را افزایش می‌دهند. تجمع پرولین آزاد، پاسخی به تنش خشکی در گیاهان می‌باشد (Raesi *et al*., 2019). همچنین یکی دیگر از اثرات منفی تنش خشکی بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاهان می‌باشد و از این طریق باعث اختلال در رشد گیاهان می‌گردد که با تأمین عناصر موردنیاز از طریق خاک می‌توان وضعیت رشد را در این شرایط تا حدی بهبود بخشید (Heydarzadeh *et al*., 2021). نتایج آزمایش‌های درکاسنی نشان داده شد که تنش کم‌آبی موجب کاهش فتوسنتز و کاهش تولید مواد پرورده و عملکرد زیستی گیاه کاسنی نسبت به شرایط بدون تنش می‌شود (Gredelj *et al*., 2020). به‌طوری‌که تأمین آب و عناصر غذایی موردنیاز گیاه دارویی کاسنی، رشد رویشی مطلوب گیاه را به دنبال داشته و از این طریق سبب افزایش تولید ماده خشک می‌شود (Raesi *et al*., 2019).

امروزه استفاده از انواع کودهای آلی و دامی به‌خصوص در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای حفظ کیفیت خاک است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که کودهای آلی سبب بهبود خواص فیزیکی، شیمیائی و بیولوژیکی خاک شده و عملکرد محصول را افزایش داده‌اند (Rahimi *et al*., 2019). کود دامی یکی دیگر از منابع کود آلی است که استفاده از آن در سامانه‌های مدیریت پایدار خاک مرسوم می‌باشد. در مطالعه‌ای بر روی گیاه دارویی کاسنی گزارش کردند که کاربرد کود دامی، علاوه بر بهبود جمعیت میکروبی فعال‌تر و غنی‌تر خاک، سبب افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف توسط گیاه نسبت به خاک‌های که با کودهای غیرآلی تغذیه شده که همین امر سبب افزایش عملکرد زیستی گیاه کاسنی می‌شود (Bahlgerdy, 2017). کود دامی با افزایش مواد آلی خاک سبب افزایش درصد خلل‌وفرج خاک و در نهایت رشد و گسترش بیشتر ریشه گیاه کاسنی در خاک شده که باعث بهبود جذب آب توسط گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه کاسنی در شرایط تنش کم‌آبی می‌شوند (Vanitha and Kathiravan, 2016).

باتوجه‌به شرایط خشک و نیمه‌خشک منطقه ارومیه و ضرورت معرفی مناسب‌ترین روش‌هایی که بتوانند باعث بهبود عملکرد گیاه دارویی کاسنی در شرایط تنش کم‌آبی گردد، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر کود دامی در سطوح مختلف آبیاری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی گیاه دارویی کاسنی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. در این تحقیق اثر دو عامل، مقادیر مختلف کود دامی و سطوح رطوبتی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک کامل تصادفی در سه تکرار بررسی شد. فاکتورهای آزمایش شامل: تأمین رطوبت در سه سطح (۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای) و کود دامی در چهار سطح (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی) بودند. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک موردمطالعه، نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت و به روش استاندارد اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین برخی از پارامترهای کود گاوی پوسیده مورداستفاده اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

خاک موردمطالعه با بافت لوم رسی، غیر شور و اسیدیته نسبتاً زیاد بود. خاک مورداستفاده به لحاظ حاصلخیزی خاک از لحاظ عنصر پتاسیم مطلوب، ولی از لحاظ عناصر نیتروژن و فسفر با کمبود مواجه بود. کود دامی نیز با نسبت C/N (۱۴/۵۰) مناسب برای مصرف در مزرعه مورداستفاده قرار گرفت. روش اندازه‌گیری مقادیر کربن و نیتروژن طبق روش استاندارد اندازه‌گیری شده است (Macias-Corral *et al*., 2019). کود دامی مورداستفاده نیز به لحاظ مواد آلی و معدنی حاوی مقادیر مناسبی از مواد تغذیه‌ای

بود. به‌طوری‌که می‌توان گفت به‌عنوان کود کامل بخشی از نیاز تغذیه‌ای کاسنی را تأمین کرده است (جدول ۲).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک منطقهٔ موردمطالعه

بافت خاک	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	نیتروژن		پتاسیم	فسفر	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی
	(٪)		($mg\ kg^{-1}$)		($dS\ m^{-1}$)			
لوم رسی	۰/۹۸	۱۵/۸۵	۰/۱۴		۲۹۷	۹/۱	۷/۸۱	۰/۸۳

۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی پوسیده مورداستفاده در این مطالعه

کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم		آهن	روی	بر	منگنز	اسیدیته	هدایت الکتریکی
	(%)	($mg\ kg^{-1}$)		($dS\ m^{-1}$)						
۱۸/۶۰	۱/۲۸	۱/۱۴	۱/۱		۳۸۰/۲۳	۶۷/۸۴	۱/۸۷	۹۸/۷۶	۷/۵۷	۶/۳۰

پس از خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و دو بار دیسک عمود برهم بر اساس تیمارهای آزمایشی در کرت‌ها مصرف کود دامی در نیمه دوم مهرماه به‌صورت دستی در هر واحد آزمایشی اعمال شد. هر کرت آزمایشی دارای ۶ ردیف کاشت با فاصله ردیف ۵۰ سانتیمتر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتیمتر فاصله بین کرت‌ها از هم ۱۸۰ سانتی‌متر بود. بذر کاسنی از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. کاشت بذر با دست در عمق ۲-۱ سانتیمتری خاک و به‌صورت ردیفی در نیمه دوم اسفندماه انجام شد و بلافاصله آبیاری صورت گرفت و آبیاری‌های بعدی هر هفت روز یکبار به‌صورت نشتی تا استقرار گیاه انجام شد. برای سنجش میزان رطوبت خاک از دستگاه TDR مدل TRASE SYSTE با نشان TRASE، مدل ۶۰۵۰ X_1، ساخت شرکت Moisture Soil استفاده شد (Kamali and Mahdian, 2009). فرمول (۱) برای محاسبه مقدار آب موردنیاز هر کرت باتوجه‌به بیلان رطوبتی خاک استفاده شد.

رابطه (۱) $IRRI= Drz\ (FC-\Theta)/ Ei$

که در آن Θ = درصد حجمی رطوبت قبل از آبیاری، IRRI = مقدار آبی که در موقع آبیاری برحسب سانتیمتر به زمین داد شد، Ei = راندمان آبیاری، FC = درصد حجمی رطوبت در حد ظرفیت زراعی و Drz = عمق توسعه ریشه (سانتیمتر) می‌باشد.

در مجموع تعداد دفعات آبیاری و مقدار آب مورداستفاده به ترتیب در تیمارهای آبیاری ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، ۸ بار آبیاری (۱۳۰ مترمکعب در کل دوره رشد)، ۱۱ بار آبیاری (۱۵۵ مترمکعب در کل دوره رشد) و ۱۶ بار آبیاری (۲۰۰ مترمکعب در کل دوره رشد) بود. در مرحله گلدهی کامل (۱۲۰ روز پس از کاشت) از هر کرت آزمایشی، ۵ بوته به طور تصادفی نمونه‌برداری شده و برگ‌های بخش بالایی بوته‌ها در فویل آلومینیومی بسته‌بندی شد و درون نیتروژن مایع فریز شده و تا زمان اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیک در دمای ۸۰- درجه سلسیوس در فریزر نگهداری شد (Rahimi *et al.*, 2019).

برای سنجش فعالیت آنزیم، ۰/۲۵ گرم برگ تازه در ۴ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۵ مولار (pH =۷/۵) حاوی پلی وینیل پیرولیدین 1 (PVP) درصد و EDTE 2/0 میلی‌مولار، ساییده شد. تمام مراحل استخراج در یخ انجام شد. سپس عصاره‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور و در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند؛ و از محلول شفاف رویی برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد. فعالیت کاتالاز از روی تغییرات غلظت H2O2 در طول موج ۲۴۰ نانومتر ارزیابی شد (Maehly and Chance, 1959). برای اندازه‌گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز، اکسیداسیون آسکوربات توسط کاهش در میزان جذب در ۲۴۰ نانومتر تعیین شد (Chen and Asada, 1989). اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز بر اساس احیا گلوتاتیون اکسید شده (GSSG) توسط آنزیم گلوتاتیون ردوکتار با مصرف NADPH انجام شد (Sgherri et al., 1994).

برای سنجش محتوای آسکوربیک اسید برگ، جذب نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۵ نانومتر قرائت شد (Law et al., 1983). همچنین برای اندازه‌گیری گلوتاتیون، تغییرات جذب با اسپکتروفتومتر در ۴۱۲ نانومتر ثبت شد (Smith, 1985). برای اندازه‌گیری گلایسین بتائین، جذب نمونه‌ها در ۳۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Grieve and Grattan, 1983). اندازه‌گیری قندهای محلول برگ بر اساس روش فنل سولفوریک اسید تعیین شد. جذب محلول‌های توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت گردید (Dubois et al., 1956). پرولین برگ با روش معرف نین‌هیدرین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد (Bates et al., 1973).

برای تعیین محتوای نسبی آب برگ از روش Levitt (1980) استفاده شد. پس از اتمام دوره رشد گیاه و برداشت آن، میزان

عناصر غذایی پرمصرف (فسفر و پتاسیم) و کم‌مصرف (روی، مس و منگنز) دانه گیه دارویی کاسنی، به ترتیب با روش رنگ‌سنجی در طول موج ۴۱۰ نانومتر، دستگاه فلیم فتومتر به روش نشر شعله ای و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (Chapman and Pratt, 1961). برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه، پنج بوته از هر کرت از مساحت یک مترمربع در مرحله گلدهی کامل (نیمه دوم خردادماه) با رعایت اثرات حاشیه به‌صورت تصادفی انتخاب و عملکرد بوته بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین گردید.

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه میانگین‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای فسفر و پتاسیم دانه، قندهای محلول، پرولین، گلایسین بتائین، گلوتاتیون و اسید آسکوربات گیاه دارویی کاسنی در سطح احتمال یک درصد تحت‌تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مقادیر مصرفی کود دامی قرار گرفت. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی (سطوح رطوبتی × مقادیر مصرفی کود دامی) بر میزان جذب عناصر غذایی کم‌مصرف (روی، مس و منگنز) و محتوای رطوبت نسبی در سطح احتمال یک درصد، فعالیت آنزیمی (کاتالاز در سطح احتمال ۵ درصد، گلوتاتیون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد) و عملکرد علوفه گیاه دارویی کاسنی نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳ - تجزیه واریانس برخی صفات گیاه دارویی کاسنی تحت‌تأثیر سطوح رطوبتی و مقادیر مصرفی کود دامی

منابع تغییرات	درجه آزادی	روی	مس	منگنز	فسفر	پتاسیم	قندهای محلول کل	پرولین	محتوای رطوبت نسبی	گلایسین بتائین	گلوتاتیون	اسید آسکوربات	کاتالاز	گلوتاتیون ردوکتاز	آسکوربات پراکسیداز	عملکرد علوفه
تکرار	۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۱/۷۰	۳/۷۰	۲/۱۴	۳/۷۲	۲/۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۶۳۹/۵۵
سطوح رطوبتی	۲	۱/۱۱**	۰/۰۰۹**	۰/۰۱۲**	۰/۰۰۸**	۰/۵۱**	۱۳۴/۰۵**	۳۷۵/۸۶**	۱۴۶۴/۶۳**	۲۹۱/۷۸**	۲۳۵/۳۰**	۱۱/۲۸**	۱/۷۷**	۷/۴۸**	۰/۵۲**	۶۱۰۸۳۱/۹۵**
کود دامی	۳	۰/۵۸**	۰/۰۴**	۰/۰۱۷**	۰/۰۴**	۰/۱۱**	۴۰/۸۸**	۱۳۶/۲۱**	۱۴۰۹/۳۱**	۸۹/۰۷**	۱۰۳/۸۷**	۱۹/۵۲**	۱/۸۰**	۰/۳۶**	۰/۷۸**	۶۰۵۷۲۰/۴۵**
رطوبت × کود	۶	۰/۰۶**	۰/۰۰۵**	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۰۰۹ns	۰/۸۸ns	۹/۲۰ns	۱۰۵/۱۹**	۱/۹۲ns	۱۰/۸۲ns	۰/۰۰۰۲ns	۰/۰۷*	۰/۰۶**	۰/۰۷**	۳۳۴۴۰/۱۰**
اشتباه آزمایشی	۲۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۷	۱/۹۷	۳/۸۵	۱۸	۴/۲۹	۵/۱۹	۰/۵۷	۰/۰۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱	۷۴۸۵/۸۸
ضریب تغییرات (٪)		۱/۳۳		۱/۵۰	۳/۹۴	۷/۷۲	۵/۷۵	۹/۰۴	۸/۱۱	۹/۱۰	۸/۵۴	۱۲/۵۱	۳/۵۳	۱/۹۴	۳/۱۳	۴/۶۴

ns، *و ** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

عناصر غذایی پرمصرف

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی غلظت فسفر و پتاسیم دانه کاسنی به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). درحالی‌که مقادیر مصرفی کود دامی در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری در افزایش غلظت فسفر و پتاسیم دانه داشت (جدول ۵). به‌طوری‌که بیشترین غلظت فسفر و پتاسیم دانه به ترتیب ۰/۳۶ و ۱/۹۰ درصد در اثر مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد، درحالی‌که کمترین غلظت میزان فسفر و پتاسیم دانه به ترتیب ۰/۲۰ و ۱/۱۰ درصد در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۵). برای توجیه کاهش جذب عناصر غذایی تحت تنش کم‌آبی دلایل مختلفی ارائه شده است. کاهش دسترسی آب در خاک مقدار جذب آن را محدود می‌سازد. علاوه بر این با کاهش رطوبت خاک امکان حلالیت عناصر غذایی پرمصرف را نیز کاهش می‌یابد. همچنین کاهش جذب آب از نظر فیزیولوژیکی منجر به کاهش فتوسنتز و تعرق می‌گردد. در چنین شرایطی سیستم‌های انتقال فعال نیز به دلیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی زیستی با اختلال روبرو می‌شوند. مجموعه این شرایط منجر به کاهش معنی‌دار روی جذب‌کنندگی ریشه و در نتیجه کاهش جذب عناصر غذایی پرمصرف می‌گردد (Shabani *et al*., 2015; Chen *et al*., 2017). گزارش کردند که کاربرد کود دامی از طریق بهبود اسیدیته خاک، تهویه خاک، فراهم نمودن متعادل اکثر عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، جلوگیری از آبشویی و افزایش حلالیت عناصر غذایی باعث تسریع و بهبود جذب عناصر غذایی پرمصرف توسط ریشه‌ها می‌شود (Zamil *et al*., 2004).

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات کیفی گیاه دارویی کاسنی تحت‌تأثیر سطوح رطوبتی

سطوح رطوبتی	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	قندهای محلول ($\mu mol\ g^{-1}$ FW)	پرولین ($\mu mol\ g^{-1}$ FW)	گلایسین بتائین ($\mu mol\ g^{-1}$ FW)	گلوتاتیون ($mg\ g^{-1}$ FW)	اسید آسکوربات ($\mu mol\ g^{-1}$ FW)
۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۲۹ a	۱/۶۸ a	۱۱/۷۹ c	۱۹/۴۶ b	۱۷/۴۰ c	۳۱/۱۸ a	۷/۰۴ a
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۲۶ b	۱/۴۷ b	۱۶/۵۱ b	۲۸/۶۴ a	۲۴/۳۷ b	۲۶/۵۲ b	۶/۰۷ b
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۲۳ c	۱/۲۷ c	۱۸/۲۵ a	۲۹/۶۰ a	۲۶/۹۳ a	۲۲/۳۲ c	۵/۱۰ c

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات کیفی گیاه دارویی کاسنی تحت‌تأثیر مقادیر مصرفی کود دامی

مقادیر کود دامی	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	قندهای محلول (µmol g^{-1} FW)	پرولین (µmol g^{-1} FW)	گلایسین بتائین (µmol g^{-1} FW)	گلوتاتیون (mg g^{-1} FW)	اسید آسکوربات (µmol g^{-1} FW)
۰	۰/۲۰ c	۱/۱۰ d	۱۳/۰۶ d	۳۱/۰۹ a	۲۶/۴۷ a	۲۲/۴۰ c	۴/۴۲ c
۱۰	۰/۲۳ b	۱/۳۰ c	۱۴/۶۱ c	۲۰/۳۵ b	۲۴/۳۰ b	۲۵/۷۴ b	۵/۲۶ b
۲۰	۰/۲۴ b	۱/۵۹ b	۱۶/۴۷ b	۲۴/۱۶ c	۲۱/۵۶ c	۲۸/۲۹ a	۷/۰۴ a
۳۰	۰/۳۶ a	۱/۹۰ a	۱۷/۹۳ a	۲۲/۰۰ d	۱۹/۲۷ d	۳۰/۲۶ a	۷/۵۵ a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

عناصر غذایی کم‌مصرف

نتایج (جدول ۶) نشان دادند که کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف کود)، میزان جذب عناصر ریزمغذی را در هر سه سطح آبیاری افزایش داد. بیشترین غلظت روی، مس و منگنز به ترتیب ۲/۵۷، ۰/۷۴ و ۱/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در اثر کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی و شرایط آبیاری ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای بود. اما، کمترین غلظت روی، مس و منگنز به ترتیب ۱/۳۰، ۰/۳۷ و ۱/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط آبیاری ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و عدم مصرف کود حاصل شد. کاهش میزان جذب عناصر غذایی کم‌مصرف را می‌توان به محدودیت‌های زیادی آب، کاهش تأمین اکسیژن ریشه‌ها که به نوبه خود تنفس، جذب عناصر غذایی و سایر اعمال ریشه را کاهش می‌دهند، نسبت داد. همچنین با کاهش رطوبت خاک، سرعت انتشار مواد غذایی از محیط خاک به سطح جذب‌کننده ریشه کاهش می‌یابد (Vanitha and Kathiravan, 2016). کارآیی سیستم ریشه گیاه نیز ممکن است در نتیجه کمبود میزان رطوبت خاک کاهش یابد (Vanitha and Kathiravan, 2016). گزارش کردند که کاربرد کود دامی موجب افزایش فعالیت اسید فسفاتاز و الکالین فسفاتاز توسط میکروارگانیسم‌های خاکزی در اطراف ریشه گیاه داوریی کاسنی شده و سبب بهبود جذب عناصر ریزمغذی روی، مس و آهن نسبت به تیمار شاهد در شرایط تنش کم‌آبی شد (Bahlgerdy, 2017). به نظر می‌رسد که کاربرد کود دامی در تشکیل و ثبات خاکدانه‌های خاک نقش مهمی را داشته و در نتیجه هدایت هیدرولیکی خاک بهبودیافته و باعث توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی کم‌مصرف در گیاه دارویی کاسنی تحت تنش کم‌آبی شده است.

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات کمی و کیفی گیاه دارویی کاسنی تحت‌تأثیر اثر متقابل سطوح رطوبتی و مقادیر مصرفی کود دامی

سطوح رطوبتی	مقادیر کود دامی	روی (mg kg-1)	مس (mg kg-1)	منگنز (mg kg-1)	محتوای رطوبت نسبی (٪)	کاتالاز µmol g-1) (FW	گلوتاتیون ردوکتاز µmol g-) (1 FW	آسکوربات پراکسیداز µmol g-1) (FW	عملکرد علوفه (kg ha-1)
۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۰	g۱/۵۶	h۰/۴۵	de۱/۲۷	fgh۴۲/۸۸	fgh۴/۲۱	f۲/۴۴	e۳/۲۰	gh۱۶۰۴/۵۸
	۱۰	c۲/۱۰	c۰/۶۰	cd۱/۳۵	de۵۳/۹۱	de۴/۵۴	c۳/۳۰	cd۳/۴۲	de۱۹۱۰/۸۲
	۲۰	b۲/۲۰	b۰/۶۳	c۱/۳۸	b۷۲/۵۹	ab۵/۱۸	b۳/۳۷	b۳/۷۶	b۲۲۵۷/۸۹
	۳۰	a۲/۵۷	a۰/۷۴	a۱/۲۷	a۸۴/۵۳	a۵/۴۳	a ۳/۵۵	a۴/۱۹	a۲۵۰۶/۸۳
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	۰	gh۱/۵۲	i۰/۴۳	ef۱/۲۱	hi۳۷/۵۶	hi۳/۸۹	f۲/۴۴	f۲/۹۷	hi۱۵۵۰/۷۰
	۱۰	e۱/۸۳	f۰/۵۳	cd۱/۳۴	efg۴۷/۴۶	ef۴/۳۰	e۲/۷۷	de۳/۲۸	fg۱۷۲۳/۸۳
	۲۰	e۱/۸۷	e۰/۵۴	cd۱/۳۷	cd۵۷/۷۶	cd۴/۶۸	e۲/۷۷	c۳/۵۵	cd۱۹۸۵/۳۰
	۳۰	d۱/۹۸	d۰/۵۷	b۱/۵۱	c۶۴/۷۸	bc۴/۹۲	d۲/۸۳	bc۳/۵۸	bc۲۱۱۸/۵۴
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۰	i۱/۳۰	j۰/۳۷	g۱/۰۹	i۳۲/۱۹	i۳/۶۶	i۱/۵۷	f۲/۹۷	i۱۴۱۹/۵۵
	۱۰	h۱/۵۱	i۰/۴۳	fg۱/۱۶	ghi۳۹/۷۳	gh۳/۹۹	h۱/۷۰	de۳/۲۵	fgh۱۶۷۶/۰۱
	۲۰	h۱/۵۲	hi۰/۴۴	cd۱/۳۶	fgh۴۵/۱۶	fg۴/۲۱	h۱/۷۰	de۳/۳۰	ef۱۷۷۶/۶۱
	۳۰	f۱/۶۷	g۰/۴۸	cd۱/۳۷	ef۴۸/۱۵	ef۴/۳۴	g۱/۷۸	cd۳/۴۴	ef۱۷۹۸/۷۸

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

قندهای محلول

طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش تنش کم‌آبی میزان قندهای محلول به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول ۴). درحالی‌که افزایش مقادیر مصرفی کود دامی نقش مؤثری در کاهش میزان قندهای محلول کل نشان داد، مقادیر مصرفی ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با شاهد، میزان قندهای محلول

کل ۲۷ درصد افزایش داد (جدول ۵). علت زیادشدن قندهای محلـول در اثر تنش زیاد این است که گیاه از طریق بالابردن فشار اسمزی داخلـی خـود، سبب جذب مواد غذایی و آب از خاک می‌شود. تجمع قندهای محلول در پاســخ به تنش‌های کم‌آبی سبب تنظیم اســمزی و یا محافظت غشاهای ســلولی می‌شود. به‌طوری‌که، عمل فیزیولوژیک این قندها منجر به ممانعت از اتصال بین غشاهای مجاور هم در طول دوره تنش و پایداری پروتئین‌ها از طریق ایجاد پیوندهای هیدروژنی با دنباله‌های خطی پروتئین‌ها، تنظیم ژن و تنظیم اسمزی می‌شود (Langeroodi *et al*., 2020). گزارش شده است که کاربرد کود دامی بر محتوای قندهای محلول گیاه کاسنی در تحت شرایط تنش کم‌آبی معنی‌دار بود و بیشترین محتوای قندهای محلول از تیمار کاربرد کود دامی در مقایسه با شاهد به دست آمد (Bahlgerdy, 2017). افـزایش کـاربرد کود دامی به سبب رهاسـازی آسـان و سریع‌تر عناصـر غذایی موردنیاز در طول دوره رشد گیاه منجـر بـه شـکل‌گیـری کارآمـد مولکول‌های نیتروژن‌دار مسئول برای ساخت پروتئین‌هـا و آنـزیم‌هـا می‌شـود کـه در فتوسـنتز، انتقـال آسیمیلات‌ها از آونـد آبکشی بـه دیگـر قسمت‌های گیاه برای مصرف و ذخیره انرژی مصرفی به شکل ATP، سبب بهبود جذب مواد غذایی و آب بیشتری از خاک شده و در نتیجه گیـاه بـا اثرات سوء تنش کمتری مواجه می‌گردد (Sarabi and Arjmand-Ghajur, 2021).

محتوای پرولین

نتایج حاصل نشان داد که میزان پرولین با اختلاف معنی‌داری در شرایط آبیـاری ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای کمتر بود (جدول ۴). در مقادیر مصرفی کود دامی، بیشترین و کمترین میزان پرولین به ترتیب ۳۱/۰۹ و ۲۲ میکرو مول در گرم وزن تر در تیمار شاهد (عدم مصرف کود دامی) و تیمار کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی به دست آمد (جدول ۵). پـرولین از جمله اسـیدهای آمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم، نقش مؤثری در محافظـت از ساختمان ماکرومولکول‌هـای درون‌سلولی در طـی تـنش کم‌آبی دارد. پرولین از طریق تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و پاک‌کردن رادیکال‌های هیدروکسیل ناشی از کمبود آب، بردباری و تحمل گیاه را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد و حلالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌های مختلف را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و از تغییر ماهیت آنها جلوگیری می‌کند (Rezaienia *et al*., 2017). به‌طوری‌که اثر تنظیمی ABA بر فرآیندهای نوری در سوخت‌وساز پرولین و وجود ترکیبات پرانرژی حاصل از فتوسنتز سبب تحریک سنتز پرولین در گیاه می‌شود (Sarabi and Arjmand-Ghajur, 2021)، که احتمالاً میزان پرولین گیاه کاسنی به دلایل ذکر شده در شرایط محدودیت آبی افزایش داشته باشد. مصرف کود دامی شرایط مناسب و ایده‌آل (با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر) برای رشد گیاه فراهم می‌آورد، لذا قادرند از شرایط تنش کم‌آبی به طور موقت فرار کنند و کمتر دچار آسیب شوند و در نتیجه میزان پرولین نسبت به گیاهان بدون کاربرد کود (شاهد) افزایش کمتری نشان می‌دهد (Kalanaki *et al*., 2020).

محتوای رطوبت نسبی

بیشترین محتوای رطوبت نسبی (۸۴/۵۳ درصد) در کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به دست آمد. درحالی‌که کمترین محتوای رطوبت نسبی (۳۲/۱۹ درصد) در شرایط آبیاری ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و عدم مصرف کود دامی مشاهده شد (جدول ۶). طبق نتایج، محتوای رطوبت نسبی برگ افزایش ۴۹ درصدی در شرایط ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و ۴۲ درصدی در شرایط ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و ۳۴ درصدی در شرایط ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تیمار شده با مقادیر ۳۰ تن در هکتار کود دامی نسبت به تیمار شاهد داشت (جدول ۶). احتمالاً با کاهش فشار تورگر سلول‌های برگ، پتانسیل آب سلول‌های برگ نیز به مقدار زیادی کاهش یابد که با افزایش غلظت مواد محلول در بافت‌ها، پتانسیل آب بافت‌ها نیز کاهش می‌یابد. کاهش محتوای نسبی آب برگ و بسته‌شدن روزنه‌ها اولین اثر تنش کم‌آبی بوده که از طریق اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی و آسیمیلات، موجب کاهش میزان عملکرد گیاه می‌شود (Li *et al*., 2018). بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مقادیر مصرفی کود دامی از اثرات تنش کم‌آبی کاسته شده است، چرا که کاربرد کود دامی از طریق بهبود خواص فیزیکی خاک، ایجاد فضای بیشتر برای نفوذ آب با اصلاح و دانه‌بندی خاک و همچنین با برقراری پیوند با مولکول‌های آب برای ممانعت از تبخیر آب منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش کم‌آبی می‌شود (Khadem *et al*., 2010).

گلایسین بتایین

نتایج نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی میزان گلایسین بتایین به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). درحالی‌که افزایش مقادیر مصرفی کود دامی در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری در کاهش میزان گلایسین بتایین نشان داد.به‌طوری‌که مقادیر مصرفی ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با شاهد، ۲۷ درصد کاهش در میزان گلایسین بتایین نشان داد (جدول ۵). گلایسین بتایین به‌عنوان یک عامل موثر سازگار در محافظت از دستگاه فتوسنتزی و افزایش توان فتوسنتزی گیاه تحت شرایط تنش

کم‌آبی تجمع می‌یابد (Ali and Ashraf, 2011). گلایسین بتایین ممکن است به حفظ تورگر و آب پتانسیل سیتوپلاسمی در گیاهان تحت شرایط تنش کم‌آبی ایفای نقش کند (Ashraf and Foolad, 2007). باتوجه‌به نتایج حاصل، افزایش گلیسین بتائین تحت استفاده از مصرف کود دامی کاهش یافت. این نشان می‌دهد که مصرف کود دامی در تعدیل تنش کم‌آبی نسبت به تیمار بدون مصرف کود دامی (شاهد) نقش مؤثری داشته است. El Sabagh et al (2018) گزارش کردند که میزان گلایسین بتایین تحت مصرف کود آلی در گیاه سویا کاهش یافت.

محتوای گلوتاتیون و اسید آسکوربات

نتایج داده‌ها حاصل نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی میزان گلوتاتیون و اسید آسکوربات به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). به‌طوری‌که افزایش مقادیر مصرفی کود دامی سبب افزایش غلظت گلوتاتیون و اسید آسکوربات در برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد شد، همچنین کاربرد ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در میزان گلوتاتیون و اسید آسکوربات نشان ندادند. درحالی‌که کمترین میزان گلوتاتیون (۴/۴۲ میکرو مول بر گرم وزن تر) و اسید آسکوربات (۲۲/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان بدون کاربرد کودهای کود دامی (شاهد) مشاهده شد (جدول ۵). بیان بیش از حد گلوتاتیون ردوکتاز در کلروپلاست باعث افزایش غلظت گلوتاتیون در برگ‌ها شده و مقاومت به تنش اکسیداتیو را افزایش دهد. کاهش غلظت گلوتاتیون و اسید آسکوربات باعث افزایش پراکسیداسیون لیپید در تنش کم‌آبی می‌شود (Taïbi *et al.*, 2016). گزارش شده است که افزایش آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند گلوتاتیون و اسید آسکوربات در گیاهان عالی نقش کلیدی در اجتناب از تنش اکسیداتیو ناشی از کمبود آب بازی می‌کند (Taïbi *et al.*, 2016)؛ لذا افزایش مقادیر مصرفی کود دامی با بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، از طریق افزایش گلوتاتیون و اسید آسکوربات به‌عنوان ترکیبات حفاظتی برای مقابله با اثرات ناشی از کمبود آب باعث تحمل گیاه کاسنی در شرایط تنش خشکی شده باشد.

فعالیت آنزیم کاتالاز

طبق نتایج، بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۵/۴۳ میکرو مول بر گرم وزن تر) در تیمار مصرفی ۳۰ تن در هکتار کود دامی تحت شرایط آبیاری ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به دست آمد. به‌طوری‌که با افزایش تنش کم‌آبی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به طور معنی‌داری کاهش یافت، درحالی‌که کاربرد کود دامی در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری در افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در هر یک از سطوح آبیاری نشان داد. درحالی‌که کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۳/۶۶ میکرو مول بر گرم وزن تر) در تیمار عدم مصرف کود تحت شرایط آبیاری ۵۰ در صد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای مشاهده شد (جدول ۶). کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز به‌عنوان یک پاسخ کلی به کمبود آب ممکن است به‌عنوان نتیجه‌ای از مهار سنتز آنزیم و غیرفعال‌شدن نوری آنزیم یا تخریب ناشی از پروتئازهای پراکسی‌زومی القا شده باشد (Liu *et al.*, 2008; Heydarzadeh *et al.*, 2021). در شرایط تنش کمبود آب، افزایش متوسط فعالیت کاتالاز برگ با افزایش مقادیر مصرفی کود دامی نشان می‌دهد که کاربرد کود دامی قادر به افزایش فعالیت این آنزیم برای مقابله با خسارت اکسیداتیو ناشی از کمبود آب است؛ لذا، کاربرد کود دامی قادر به تنظیم واکنش‌های اکسیداتیو و دفاع آنتی‌اکسیدانتی می‌باشد (Jasim *et al.*, 2018).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با افزایش تنش کم‌آبی به طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری که بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با مقدار ۴/۱۹ میکرو مول بر گرم وزن تر در تیمار مصرفی ۳۰ تن در هکتار تحت شرایط آبیاری ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به دست آمد. اما، کمترین مقدار صفت مذکور با مقدار ۲/۹۷ میکرو مول بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و عدم مصرف کود مشاهده شد (جدول ۶). آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان یک آنزیم کلیدی در گروه مهار آنزیمی گونه‌ها اکسیژن فعال قادر است هیدروژن پراکسید تولید شده در کلروپلاست را تحت تنش اکسیداتیو ناشی از کمبود آب از بین ببرد (Miller *et al.*, 2010). باتوجه‌به کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاهان کاسنی تحت تنش کم‌آبی، گزارش شده است که در شرایط تنش شدید آب، سطوح بالای هیدروژن پراکسید می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را مهار یا کاهش دهد (Fouad *et al.*, 2014). به‌طوری که کاربرد کود دامی، تولیدات آنتی‌اکسیدانتی را افزایش داده که نتیجه این افزایش آنتی‌اکسیدانتی موجب کم‌کردن گونه‌ها اکسیژن فعال ناشی از کمبود آب و محافظت سلول‌ها در برابر خسارت تنش اکسیداتیو می‌شود (Jasim *et al.*, 2018).

فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز

نتایج حاصل نشان داد که کاربرد کود دامی در تمام سطوح آبیاری بیشترین تأثیر را در افزایش فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز نشان داد. بیشترین (۳/۵۵ میکرو مول بر گرم وزن تر) و کمترین (۱/۵۷ میکرو مول بر گرم وزن تر) میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز به ترتیب در اثر کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی و تیمار عدم

مصرف کود (شاهد) در شرایط آبیاری ۹۰ و ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به دست آمد (جدول ۵). تحقیق حاضر نشان داد که فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز تحت تنش اکسیداتیو ناشی از کمبود آب کاهش یافت. افزایش فعالیت آنزیمی در اثر افزایش مقادیر مصرفی کود دامی نشان داد که کاربرد کود دامی خسارت تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی را کاهش می‌دهند. گزارش شده است که مصرف کود دامی به گیاهان کمک می‌کند تا با تنش کم‌آبی از طریق حفظ فرآیندهایی فتوسنتزی در اثر افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانتی محافظت کند (Jasim *et al.*, 2018).

عملکرد زیست‌توده

با افزایش تنش خشکی مقدار عملکرد زیست‌توده کاهش یافت. بیشترین عملکرد زیست‌توده (۲۵۰۶/۸۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار مصرفی ۳۰ تن در هکتار کود دامی تحت شرایط آبیاری ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای حاصل شد. درحالی‌که تیمار شاهد در شرایط آبیاری ۵۰ در صد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای با مقدار ۱۴۱۹/۵۵ کیلوگرم در هکتار دارای کمترین مقدار عملکرد زیست‌توده بود (جدول ۵). طبق نتایج، عملکرد زیست‌توده افزایش ۳۶ درصدی در شرایط ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و ۲۷ درصدی در شرایط ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و ۲۱ درصدی در شرایط ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تیمار شده با مقادیر ۳۰ تن در هکتار کود دامی نسبت به تیمار شاهد داشت (جدول ۶). پژوهشگران گزارش کردند که کمبود آب باعث کاهش عملکرد دانه و همچنین، کاهش تعداد و قطر ساقه، طول میان‌گره و اندازه برگ در گیاه کاسنی می‌شود (Langeroodi et al., 2020). فراهم بودن آب و عناصر غذایی، رشد رویشی مطلوب گیاه را به دنبال داشته و شرط اساسی جهت تولید عملکرد بالا، تولید ماده خشک بیشتر می‌باشد. کاربرد کودهای آلی از طریق افزایش راندمان مصرف آب و بهبود جذب و دسترسی به عناصر غذایی موجب افزایش زیست‌توده ریحان شد (Sirousmehr et al., 2014). افزایش عملکرد گل در تیمار کود دامی در گیاه کاسنی در سطوح بالای تنش خشکی می‌تواند مربوط به تأثیر کود دامی در افزایش نگهداری آب در خاک باشد. در این شرایط، کاربرد کود آلی علاوه بر تأمین عناصر غذایی لازم برای گیاه باعث بهبود خلل‌وفرج خاک، تعادل نیتروژن و افزایش کارایی جذب فسفر در گیاه می‌شود. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که زیست‌توده گیاه کاسنی در شرایط کاربرد کودهای آلی افزایش یافت (Vanitha and Kathiravan, 2016). آن‌ها دلیل این امر را افزایش راندمان مصرف آب و بهبود جذب و دسترسی به عناصر غذایی برای گیاه تحت شرایط تیمار با کودهای آلی ذکر کردند (Vanitha and Kathiravan, 2016). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد کودهای آلی در طی دوره تنش کم‌آبی با افزایش پتانسیل آب برگ، افزایش سرعت مصرف دی‌اکسیدکربن و افزایش میزان تعرق و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزبان، قادر است اثرات تنش خشکی در گیاه را کاهش دهند (Mandal et al., 2007).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، افزایش پرولین، قندهای محلول و گلیسین بتائین در شرایط تنش محدودیت آب به‌عنوان ترکیبات محافظت‌کننده‌های اسمزی از گیاه کاسنی در برابر تنش کم‌آبی محافظت می‌کنند. با افزایش مقادیر مصرفی کود دامی خسارت ناشی از صفات مذکور کاهش یافت. تیمار مصرفی کود دامی در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری در افزایش محتوای گلوتاتیون و آسکوربیک اسید داشت. کاربرد کود دامی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف کود) نقش مؤثری در بهبود ویژگی‌های آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی و عملکرد زیست‌توده کاسنی در تمام سطوح رطوبتی داشت. طبق نتایج، مقادیر عناصر روی، مس، منگنز، محتوایی رطوبت نسبی و عملکرد زیست‌توده افزایش ۳۹، ۲۳، ۲۶، ۴۹ و ۳۶ درصدی در شرایط ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و ۲۳، ۲۴، ۲۰، ۴۲ و ۲۷ درصدی در شرایط ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و ۲۲، ۲۳، ۲۰، ۳۴ و ۲۱ درصدی در شرایط ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تیمار شده با مقادیر ۳۰ تن در هکتار کود دامی نسبت به تیمار شاهد داشتند؛ بنابراین، باتوجه‌به نیاز آبی گیاه کاسنی تحت شرایط تنش‌های کم‌آبی، کاربرد کود دامی با کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی و تنظیم سامانه‌های آنتی‌اکسیدان (آنزیمی و غیرآنزیمی)، به‌عنوان یک راهکار مؤثر در جهت اصلاح حاصلخیزی خاک و افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش محدودیت آب، باعث بهبود بسیاری از ویژگی‌های بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی گیاه دارویی کاسنی می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Ali, Q. and Ashraf, M. (2011). Exogenously applied glycinebetaine enhances seed and seed oil quality of maize (*Zea mays L.*) under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 71, 249-259.

Ashraf, M. and Foolad, M.R. (2007). Roles of glycine

betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206–216.

Bahlgerdy, H. (2017). Effects of different sources of fertilizer and plant density on quantitative and qualitative production of chicory (*Cichorium intybus* L.). Ph.D. Thesis. University of Zabol, Iran.

Basaran, U. Copur Dogrusoz, M. Yaman, C. Gulumser, E. and Mut, H. (2021). Nutritional value, bioactive compounds and antioxidant activities of wild chicory (*Cichorium intybus* L.) from Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 1-10.

Bates, L.S. Waldren, R.P. and Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.

Chapman, H.D. and Pratt, P.F. (1961). Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California. *Division of Agricultural Sciences*. 126 pp.

Chen, C. Smith, A. Ward, P. Fletcher, A. Lawes, R. and Norman, H. (2017). Modelling the comparative growth, water use and productivity of the perennial legumes, tedera (*Bituminaria bituminosa* var. *albomarginata*) and lucerne (*Medicago sativa*) in dryland mixed farming systems. *Crop and Pasture Science*, 68, 643-656.

Chen, G.X. and Asada, K. (1989). Ascorbate peroxidase in tea leaves: occurrence of two isozymes and the differences in their enzymatic and molecular properties. *Plant Cell Physiology*, 30, 987–998.

Dubois, M. Gilles, K.A. Hamilton, J.K. Rebers, P.T. and Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.

El Sabagh, A. Hossain, A. Islam, M.S. Barutçular, C.E.L.A.L.E.D.D.İ.N. Fahad, S. Ratnasekera, D. Kumar, N. Meena, R.S. Vera, P. and Saneoka, H. (2018). Role of osmoprotectants and soil amendments for sustainable soybean (*Glycine max* L.) production under drought condition: A review. *Journal of Experimental Biology and Agriculture Sciences*, 6(1), 32-41.

Fouad, M.O. Essahibi, A. Benhiba, A. and Qaddoury, A. (2014). Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in the protection of olive plants against oxidative stress induced by drought. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12, 763–771.

Gredelj, A. Nicoletto, C. Valsecchi, S. Ferrario, C. Polesello, S. Lava, R. Zanon, F. Barausse, A. Palmeri, L. Guidolin, L. and Bonato, M. (2020). Uptake and translocation of perfluoroalkyl acids (PFAA) in red chicory (*Cichorium intybus* L.) under various treatments with pre-contaminated soil and irrigation water. *Science of the Total Environment*, 708, 134766.

Grieve, C.M. and Grattan, S.R. (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil*, 70, 303-307.

Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A., Jamei, R. and Petrussa, E. 2021. Fodder value and physiological aspects of rainfed smooth vetch affected by biofertilizers and supplementary irrigation in an agri-silviculture system. *Agroforestry Systems*, 97, 1-12.

Jasim, A.H. Merhij, E.I. Atab, H.A. and Abdalwahed, S.H. (2018). Effect of chemical and organic fertilizers and interactions with high potash and silicon spraying on *Vicia faba* L. antioxidants in salinity soil. *Indian Journal of Ecology*, 45, 802-805.

Kalanaki, M. Ritzema, H. Bamshad, R. Jones, E. and Fazilatnia, M. (2020). Application of bio-desalinization for reclamation of salt-affected soil under composted cow manure and deficit irrigation with saline water. *Paddy and Water Environment*, 18(2), 469–479.

Kamali, K. and Mahdian, M.H. (2009). Investigating the manufacture of TDR burials waveguides and evaluation of their application in soil moisture estimation. Journal of Watershed Engineering and Management, 1(2), 111-118. (In Persian).

Khadem, S.A. Galavi, M. Ramrodi, M. Mousavi, S.R. Rousta, M.J. and Rezvani-Moghadam, P. (2010). Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. *Australian journal of crop science*, 4, 642-651.

Langeroodi, A.R.S. Osipitan, O.A. Radicetti, E. and Mancinelli, R. (2020). To what extent arbuscular mycorrhiza can protect chicory (*Cichorium intybus* L.) against drought stress. *Scientia Horticulturae*, 263, 109109.

Law, M.Y. Charles, S.A. and Halliwell, B. (1983). Glutathione and ascorbic acid in spinach (*Spinacia oleracea*) chloroplasts. *Biochemical Journal*, 210, 899–903.

Levitt, J. (1980). Response of Plants to Environmental Stresses, Water, Radiation, Salt and Other Stresses, Academic Press, New York, p.650.

Li, R. Shang, H. Wu, H. Wang, M. Duan, M. and Yang, J. (2018). Thermal inactivation kinetics and effects of drying methods on the phenolic profile and antioxidant activities of chicory (*Cichorium intybus* L.) leaves. *Scientific Reports*, 8, 1-9.

Liu, J. Xie, X. Du, J. Sun, J. and Bai, X. (2008). Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. *Horticultural Science*, 115, 190–195.

Macias-Corral, M.A., Cueto-Wong, J.A., Morán-Martínez, J. and Reynoso-Cuevas, L. (2019). Effect of different initial C/N ratio of cow manure and straw on microbial quality of compost. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 357-365.Maehly, A.C. and Chance, B. (1959). The assay of catalase and peroxidase. In: Glick, D. (Eds.), Methods of biochemical analysis, Interscience Publishers, New York, pp. 357–425.

Mandal, A. Patra, A.K. Singh, D. Swarup, A. and Ebhin Masto, R. (2007). Effect of long-term application

of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. *Bioresource Technology*, 98, 3585-3592.

Miller, G. Suzuki, N. and Ciftci-Yilmaz, S. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense. *Climate*, 33, 453-467.

Mosavi, S.G.R. Segatoleslami, M.J. and Pooyan, M. (2012). Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27, 681-699.

Perović, J. Šaponjac, V.T. Kojić, J. Krulj, J. Moreno, D.A. García-Viguera, C. Bodroža-Solarov, M. and Ilić, N. (2021). Chicory (*Cichorium intybus* L.) as a food ingredient–nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. *Food chemistry*, *336*, 127676.

Raesi, R. Fakheri, B. and Mahdinezhad, N. (2019). Evaluation of the effect of *glomus fascollaria* on some morphological characteristics, photosynthetic pigments and antioxidant activity of chicory (*Cichorium intybus* L.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 262, 104010.

Rahimi, A. Siavash Moghaddam, S. Ghiyasi, M. Heydarzadeh, S. Ghazizadeh, K. and 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, 122-135.

Rezaienia, N. Ramroudi, M., Galavi, M. and Fofouzandeh, M. (2017). Effects of bio-fertilizers on physiological traits and absorption of some nutrients of chicory (*Cichorium intybus* L.) in response to drought stress. *Journal of Field Crops Research*, 15, 925-938.

Sarabi, V. and Arjmand-Ghajur, E. (2021). Exogenous plant growth regulators/plant growth promoting bacteria roles in mitigating water-deficit stress on chicory (*Cichorium pumilum* Jacq.) at a physiological level. *Agricultural Water Management*, *245*, 106439.

Sgherri, C.L.M. Liggini, B. Puliga, S. and Navari Izzo, F. (1994). Antioxidant system in *Sporoblus stapfianus*. Changes in response to desiccation and rehydration. *Phytochemistry*, 35, 561–565.

Shabani, G. Ardakani, M.R. Chaichi, M.R. Friedel, J.K. and Khavazi, K. (2015). Effect of different fertilizing treatments on nutrient uptake in annual medic (*Medicago scutellata cv. Robinson*) under irrigated and dry farming systems. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 299-310.

Sirousmehr, A. Arbabi, J. and Asgharipour, M.R. (2014). Effect of drought stress levels and organic manures on yield, essential oil content and some morphological characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Advances in Environmental Biology*, 8, 880-885.

Smith, I.K. (1985). Stimulation of glutathione synthesis in photorespiring plants by catalase inhibitors. *Plant Physiolgy*, 79, 1044–1047.

Taïbi, K. Taïbi, F. Abderrahim, L.A. Ennajah, A. Belkhodja, M. and Mulet, J.M. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, 105, 306-312.

Vanitha, C. and Kathiravan, M. (2016). Evaluation of nutrient management techniques to increase the seed and root yield in chicory (*Cichorium intybus* L.) for tropical zone. *Journal of Medicinal Plants*, 4, 287-291.

Zamil, S.S. Quadir, Q.F. Chowdhury, M.A.H. and Vahid, A.A. (2004). Effects of different animal manure on yield quality and nutrient uptake by mustard (CV. Agrani). *Brac University Journal*, 1, 59-66.