فصلنامه (علمی)

زیست شناسی تکوینی

سال پانزدهم، شماره ۲، بهار ۱۴۰۲ ص. ۴۶-۳۵

مقاله پژوهشی

بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی زیره سبز با استفاده از آب مغناطیسی و سوپرجاذب تحت شرایط تنش آبی

علی آشوری[۱]، منوچهر قلی پور[*۲]، احمد غلامی[۳]، حمید عباس دخت[۴]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات،دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
[۲] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
[۳] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
[۴] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

[*] (نویسنده مسئول مکاتبات): manouchehr.gholipoor@gmail.com

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۱

DOI: 10.30495/JDB.2022.1959313.1311 https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008692.1402.15.2.4.4

چکیده

به منظور بررسی آب مغناطیسی و سوپرجاذب بر برخی صفات فیزیولوژیکی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L) تحت تنش آبی، آزمایشی در دو منطقه راهنجان و گرمن از توابع شهرستان شاهرود به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه گانه نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب برای صفات مورد ارزیابی معنی‌دار بود..همچنین نتایج تجزیه واریانس اثر سه گانه نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب برای آنزیم‌های پراکسیداز و گاتالاز و صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و آنتوسیانین معنی‌دار بود. تحت شرایط تنش متوسط، با استفاده از آب معمولی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای شاهد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب مشاهده نشد. اغلب صفات در منطقه راهنجان دارای مقادیر بیشتری نسبت به منطقه گرمن بودند. به‌طورکلی استفاده از آب مغناطیسی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب در شرایط تنش خشکی متوسط (۷۵ درصد نیاز آبی) موجب افزایش صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه زیره سبز گردید.

کلیدواژه‌ها: آنتوسیانین، کاروتنوئید، کلروفیل، مکان، کربوهیدرات محلول.

مقدمه

گیاهان در طول دوره رشد و نمو در معرض انواع تنش‌های زنده (آفات و بیماری‌ها) و تنش‌های غیر زنده (خشکی، شوری و گرما) قرار می‌گیرند که گیاه را وادار به انجام واکنش‌های فیزیولوژیک می‌نماید [۱]. تنش آبی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و تولید گیاهان مختلف از جمله گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۲]. با در نظر گرفتن وضعیت اقلیمی ایران از نظر پایین بودن میزان نزولات جوی و همچنین میزان تبخیر و تعرق شدید سالانه که بالغ بر ۳ برابر متوسط جهانی است، مدیریت آب آبیاری در مناطق کم‌آب از جمله

ایران، یک امر بسیار ضروری می‌باشد [۳]. زیره سبز یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی کشت شده در آسیا می‌باشد [۴]. زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* گیاهی یک‌ساله، علفی و دولپه از خانواده Apiaceae بوده [۵] و بعنوان یکی از مهمترین گیاه دارویی اهلی در کشور ما شناخته شده و در منابع طب سنتی در درمان بیماری‌های مختلف از جمله اسپاسم معده، تقویت سیستم گوارش مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶]. اسانس زیره سبز دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد باکتریایی بوده که در صنایع غذایی، بهداشتی و آرایشی کاربرد دارد [۷]. هیدروژل‌های سوپر جاذب، پلیمرهای آبدوستی هستند که ظرفیت جذب حجم زیادی از مایعات آبی در مدت زمان کوتاهی را دارند و آب جذب شده را تحت شرایط تنش دفع می‌کنند. این پلیمرها به‌دلیل وجود اتصالات عرضی در حلال حل نمی‌شوند و توانایی جذب مقادیر بالایی از آب (یا محلول‌های آبی) را در ساختار خود دارا می‌باشند [۸]. بهره‌گیری از تکنولوژی مغناطیسی در پالایش آب آبیاری به عنوان یکی از جدیدترین روش‌ها در زمینه بهینه‌سازی آب‌های مصرفی بوده که در این نوع آب آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب تغییر می‌کند [۹]. قرارگیری آب در معرض میدان مغناطیسی با ایجاد تغییر قابل ملاحظه‌ای در pH، مواد جامد محلول، شوری، تعداد کل باکتری‌ها، مواد آلی و معدنی، دمای تبخیر، اکسیژن حل شده، قابلیت هدایت الکتریکی و سختی، موجب بهبود کیفیت آب می‌شود[۱۰]. تغییرات در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مغناطیسی باعث تحت تأثیر قرارگیری خصوصیات بیولوژیکی (از جمله میزان تنفس) ارگانیسم‌های مصرف کننده آب مغناطیسی و به تبع آن تحت تأثیر قرارگیری کل سیستم متابولیکی می‌گردد [۱۱]. در مطالعات صورت گرفته در طی سال‌های اخیر مشخص شده، کاربرد سوپرجاذب و کم‌آبیاری روی خصوصیات فیزیولوژیکی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تاثیرگذار بوده، لذا هدف از این پژوهش تاثیر سوپرجاذب و استفاده از آب مغناطیسی در شرایط کم‌آبیاری خصوصیات فیزیولوژیکی و فعالیت آنتی اکسیدانی زیره سبز تحت شرایط کم‌آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیک و فعالیت آنتی اکسیدانی زیره سبز با استفاده از آب مغناطیسی و سوپرجاذب تحت شرایط تنش در دو منطقه راهنجان و گرمن از توابع شهرستان شاهرود در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و بصورت فاکتوریل در سه تکرار انجام شد (جدول ۱). سوپرجاذب کشاورزی ASP از شرکت بلور اب تهیه شد. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در دو منطقه انجام آزمایش قبل و بعد از مغناطیس‌شدن اندازه‌گیری شد (جدول ۲). بذر زیره واریته سبزواری از شرکت ماهان مهر داریس خریداری گردید. خصوصیات خاک مناطق مورد مطالعه در آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات و اموزش کشاورزی شاهرود اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

صفات مورد ارزیابی

میزان آنتوسیانین

میزان آنتوسیانین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل یونیک و مقدار آنتوسیانین با استفاده از معادله ۸ و روش [۱۲] محاسبه شد:

معادله ۸ : $A = (A530 - 1/3\ A657)$

A: غلظت آنتوسیانین و A530 و A657 به‌ترتیب جذب خوانده شده در طول موج‌های مربوطه است.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری ظرفیت تخریب رادیکال‌های فعال از روش ابی و همکاران [۱۳] استفاده شد. بدین‌منظور، ۱۰۰ میلی‌گرم ماده برگی تازه توزین و عصاره‌گیری با متانول ۹۹ درصد انجام شد. به‌منظور جداسازی مواد جامد نامحلول، عمل سانتریفیوژ به‌مدت ۵ دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه انجام شد. مقدار مناسبی از محلول شفاف بالایی را با ۸۰۰ میکرولیتر از محلول نیم میلی‌مولار DPPH مخلوط کرده و میزان جذب نور پس از نگهداری نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه تحت شرایط تاریکی، در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. نهایتاً ظرفیت تخریب رادیکال‌های فعال با استفاده از معادله ۹ محاسبه شد.

معادله ۹: ۱۰۰ × (جذب نمونه شاهد/جذب نمونه مورد ارزیابی - جذب نمونه شاهد) = درصد تخریب رادیکال‌های فعال

سنجش آنزیم‌ها

جهت اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، میزان ۰/۵ گرم از نمونه برگی تازه با استفاده از نیتروژن مایع درون هاونی که با

دسته‌اش قبلاً در یخچال سرد شده کاملاً پودرگردید. جهت استخراج عصاره برگی میزان ۱ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) حاوی حاوی ۲ میلی‌مولار EDTA و پلی وینیل پیرولیدین (PVP) ۲ درصد (وزنی به حجمی) سرد شده روی یخ استفاده شد. ومخلوط هموژن شده به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانترفیوژشد. بخش شناور فوقانی جدا و جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، گایاکول پراکسیداز و کاتالاز (CAT) مورد استفاده قرارگرفت. تمام مراحل استخراج در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز(SOD)

فعالیت این آنزیم در برگ‌ها با استفاده از مشاهده‌ی کاهش در جذب نیتروبلوتترازولیوم (NBT) توسط آنزیم، مطابق با روش جیانپواتیس و رییز [۱۴] ارزیابی گردید. برای این منظور، ابتدا محلول بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با PH=7.5 تهیه و سپس برای تهیه محلول واکنش، ترکیبات EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم ۷۵ میکرومولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار و ریبوفلاوین ۴ میکرومولار به‌ترتیب اضافه و محلول حاصل در تاریکی نگه داشته شد. از هر نمونه عصاره ۱۰۰ میکرولیتر در هر لوله آزمایش ریخته و ۳ میلی‌لیتر از محلول فوق به آن اضافه شد و با قرار دادن آن‌ها تحت روشنایی لامپ فلورسنت (۴۰ W) بلافاصله واکنش آغاز شد. وپس از ۸ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ قرائت شد.

فعالیت SOD به‌صورت واحدهای SOD در گرم وزن تازه ($unit\ g\ FW^{-1}$) بیان شد.

آنزیم کاتالاز

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، تجزیه پراکسید هیدروژن به‌صورت کاهش در جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر و در اسپکتروفتومتر UV/Vis دنبال گردید. به این منظور دو میلی‌لیتر عصاره برگ (که با استفاده از بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار، با pH=7، ۲۰۰ بار رقیق شد) آماده شد. باتوجه به اینکه به محض افزودن پراکسید هیدروژن واکنش آغاز می‌گردد، پس از قراردهی نمونه در دستگاه اسپکتروفتومتر یک میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار اضافه گردید و جذب نمونه‌ها به‌مدت یک دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر دنبال شد. ضریب شکست پراکسید هیدروژن در طول موج مذکور است که جهت محاسبه فعالیت آنزیم استفاده شد [۱۵].

آنزیم گایاکول پراکسیداز

فعالیت این آنزیم با استفاده از روش ژانگ و همکاران [۱۵] و با استفاده از پیش ماده گایاکول اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش حاوی بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار، pH =7 و ۱۰۰ میکرولیتر گایاکول ۲ درصد می‌باشد که با ۲۰ میکرولیتر عصاره گیاهی و ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن مخلوط شد و میزان جذب نور در طول موج ۴۷۰ نانومتر در مدت ۶۰ ثانیه، ثبت شد. در این واکنش گایاکول تبدیل به تتراگایاکول می‌شود. ضریب خاموشی در این واکنش mM.cm-15/25 در نظر گرفته شد.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی و مشخصات اقلیمی مناطق مورد مطالعه

متوسط دمای سالانه(درجه سانتی گراد)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	منطقه
۱۵/۲	۱۱۲۵	۵۴٫۴۶٫۱۷	۳۶٫۱۵٫۴۱	راهنجان
۱۳/۱	۱۴۳۴	۵۵٫۳٫۳۸	۳۶٫۳۷٫۱۱	گرمن

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب در حالت قبل و بعد از عبور از میدان مغناطیسی در دو منطقه انجام آزمایش

منطقه کشت	تیمار	Ec	pH	Na^+	$Mg^+ + Ca^+$	مجموع کاتیون‌ها	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{-2}	مجموع آنیون‌ها
		(dS/m)		mEq/L						
راهنجان	معمولی	۰./۹۹	۸/۱۵	۶/۹۵	۴/۸	۲۰/۹۸	۳/۷۶	۲/۸۵	./۲۸	۶/۸۹
	مغناطیسی‌شده	۰/۹۹	۷/۸	۶/۳۶	۴/۹۶	۱۹/۴۵	۲/۹۷	۲/۳۳	./۲۷	۵/۵۷
گرمن	معمولی	۳/۳۸	۸/۳۲	۲۴/۳۳	۱۱/۲۸	۴۷/۳۱	۲۴/۶۸	۳/۴۷	۰/۳۸	۲۸/۵۳
	مغناطیسی‌شده	۳/۲۱	۷/۹۹	۲۲/۲۷	۱۱/۶۵	۴۳/۵	۱۹/۴۹	۲/۲۰	./۳۶	۲۲/۰۵

جدول ۳. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در دو منطقه

منطقه کاشت	عمق خاک (cm)	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	pH -	EC)dS/m(	O.C (%)	T.N.V (%)	P(Av.) (p.p.m)	K(Av.) (p.p.m)
راهنجان	۰-۳۰	۲۰	۱۸	۶۲	۷/۶۱	۳/۶۲	/۵۴	۱۶/۲۱	۵/۰۳	۳۷۹
گرمن	۰-۳۰	۲۸	۱۹	۵۳	۷/۸۳	۲/۲۱	/۸۱	۳۰/۲۲	۳/۳۶	۴۸۳

نتایج

کلروفیل a

جدول تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل a تحت‌تأثیر مکان، نیاز آبی و برهمکنش‌های نیاز آبی × آب مغناطیسی، مکان × نیاز آبی، مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی، نیاز آبی × سوپر جاذب، مکان × نیاز آبی × سوپر جاذب، آب مغناطیسی × سوپر جاذب، مکان × آب مغناطیسی × سوپر جاذب و نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد و از نظر برهمکنش مکان × سوپر جاذب و مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در منطقه راهنجان، میزان کلروفیل a در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۱۰/۸۵ درصد کاهش، ۵/۴۹ درصد کاهش، ۱۴/۸۷ درصد افزایش، ۹/۲۰ درصد افزایش، ۲۲/۶۷ درصد کاهش، ۱۴/۲۰ درصد کاهش، ۳/۲۲ درصد کاهش، ۲۱/۱۹ درصد افزایش، ۵/۹۷ درصد افزایش، ۱۶/۴۱ درصد افزایش، ۴/۶۰ درصد افزایش و ۱۳/۸۱ درصد کاهش از خود نشان داد. در منطقه گرمن، میزان کلروفیل a در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۵/۷۱ درصد افزایش، ۱/۲۸ درصد افزایش، ۱۲/۰۲ درصد افزایش، ۱۱/۷۵ درصد افزایش، ۱۲/۷۰ درصد کاهش، ۸/۰۴ درصد کاهش، ۹/۷۱ درصد افزایش، ۲۵/۰۳ درصد افزایش، ۲/۸۷ درصد افزایش، ۷/۶۶ درصد افزایش، ۶/۰۳ درصد کاهش و ۹/۸۵ درصد کاهش از خود نشان داد (جدول ۵).

کلروفیل b

جدول تجزیه واریانس(جدول ۴) نشان داد که کلروفیل b تحت‌تأثیر مکان، نیاز آبی، سوپر جاذب و برهمکنش‌های نیاز آبی × آب مغناطیسی، مکان × نیاز آبی، مکان × سوپر جاذب، نیاز آبی × سوپر جاذب، آب مغناطیسی × سوپر جاذب، مکان × آب مغناطیسی × سوپر جاذب، نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب و مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد و از نظر آب مغناطیسی و برهمکنش مکان × نیاز آبی × سوپر جاذب، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در منطقه راهنجان، میزان کلروفیل b در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۰۰/۰۰ درصد، ۴/۶۶ درصد کاهش، ۶۱/۰۳ درصد افزایش، ۴۴/۱۵ درصد افزایش، ۲۰/۰۰ درصد کاهش، ۶/۳۸ درصد کاهش، ۷۰/۵۰ درصد افزایش، ۱۰۰/۷۱ درصد افزایش، ۹/۰۹ درصد کاهش، ۶/۵۴ درصد کاهش، ۶/۴۰ درصد کاهش و ۱۴/۰۰ درصد افزایش از خود نشان داد. در منطقه گرمن، میزان کلروفیل b در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۲۴/۳۵ درصد افزایش، ۸/۸۰ درصد افزایش، ۱۴/۶۳ درصد کاهش، ۲۳/۴۱ درصد کاهش، ۲۱/۳۸ درصد افزایش، ۲۰/۸۰ درصد افزایش، ۲۸/۸۱ درصد افزایش، ۹/۶۰ درصد افزایش، ۱۷/۱۴ درصد کاهش، ۲۹/۷۹ درصد کاهش، ۳/۳۱ درصد کاهش و ۸/۵۳ درصد افزایش از خود نشان داد (جدول ۵).

کلروفیل کل

جدول تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل کل تحت‌تأثیر مکان، نیاز آبی، سوپر جاذب و برهمکنش‌های نیاز آبی × آب مغناطیسی، مکان × نیاز آبی، نیاز آبی × سوپر جاذب، مکان × نیاز آبی × سوپر جاذب، آب مغناطیسی × سوپر جاذب، مکان × آب مغناطیسی × سوپر جاذب، نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب و مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد و از نظر آب مغناطیسی و برهمکنش مکان × نیاز آبی × سوپر جاذب و مکان × سوپر جاذب، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول۴). در منطقه راهنجان، میزان کلروفیل کل در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۸/۰۹ درصد کاهش، ۵/۲۹ درصد کاهش، ۲۳/۶۹ درصد افزایش، ۱۶/۰۰ درصد افزایش، ۲۱/۹۹ درصد کاهش، ۱۲/۳۹ درصد کاهش، ۹/۶۰ درصد افزایش، ۳۵/۰۱ درصد افزایش، ۱/۵۸ درصد افزایش، ۹/۷۳ درصد افزایش، ۱/۸۳ درصد افزایش و ۷/۱۶ درصد کاهش از خود نشان داد. در منطقه گرمن، میزان کلروفیل کل در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۹/۷۴ درصد افزایش، ۲/۹۱ درصد افزایش، ۶/۲۳ درصد افزایش، ۴/۱۲ درصد افزایش، ۶/۸۸ درصد کاهش، ۳/۲۰ درصد کاهش، ۱۳/۸۷ درصد افزایش، ۲۱/۸۹ درصد افزایش، ۲/۱۴ درصد کاهش، ۱/۷۴ درصد کاهش، ۴/۰۰ درصد کاهش و ۶/۰۶ درصد کاهش از خود نشان داد (جدول ۵).

کاروتنوئید

جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاروتنوئید تحت‌تأثیر نیاز آبی، آب مغناطیسی، سوپر جاذب و برهمکنش‌های نیاز آبی × آب مغناطیسی، نیاز آبی × سوپر جاذب، آب مغناطیسی × سوپر جاذب، نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب و مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد و از نظر برهمکنش مکان × آب مغناطیسی، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در منطقه راهنجان، میزان کاروتنوئید در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۵۲/۳۸ درصد افزایش، ۰۰/۰۰ درصد، ۳۱/۰۳ درصد کاهش، ۱۰/۳۴ درصد کاهش، ۱۰۰/۰۰ درصد افزایش، ۸۴/۶۱ درصد افزایش، ۳/۴۴ درصد کاهش، ۳۷/۹۳ درصد کاهش، ۲۲/۲۲ درصد کاهش، ۲۲/۲۲ درصد، ۱۰/۰۰ درصد افزایش و ۳۵/۰۰ درصد افزایش از خود نشان داد. در منطقه گرمن، میزان کاروتنوئید در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۲۲/۷۲ درصد افزایش، ۴/۵۴ درصد کاهش، ۶/۸۹ درصد کاهش، ۳/۴۴ درصد افزایش، ۱۶۳/۶۳ درصد افزایش، ۱۰۹/۰۹ درصد افزایش، ۲۳/۵۲ درصد کاهش، ۴۷/۰۵ درصد کاهش، ۱۵/۳۸ درصد کاهش، ۱۹/۲۳ درصد کاهش، ۱۳/۰۴ درصد کاهش و ۱۷/۳۹ درصد افزایش از خود نشان داد (جدول ۵).

آنتوسیانین

جدول تجزیه واریانس نشان داد که آنتوسیانین تحت‌تأثیر مکان، نیاز آبی، آب مغناطیسی، سوپر جاذب و برهمکنش‌های نیاز آبی × آب مغناطیسی، مکان × نیاز آبی، نیاز آبی × سوپر جاذب، مکان × نیاز آبی × سوپر جاذب، آب مغناطیسی × سوپر جاذب، نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب و مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۸). در منطقه راهنجان، میزان آنتوسیانین در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت

شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۸/۸۲ درصد افزایش، ۲/۹۴ درصد افزایش، صفر درصد، ۲/۱۷ درصد افزایش، ۵۱/۶۱ درصد افزایش، ۱۹/۳۵ درصد افزایش، ۲۱/۲۷ درصد کاهش، ۳۸/۲۹ درصد کاهش، ۶/۵۲ درصد کاهش، ۱۰/۸۷ درصد کاهش، ۹/۷۵ درصد افزایش و ۲/۴۳ درصد کاهش از خود نشان داد. در منطقه گرمن، میزان آنتوسیانین در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۲۱/۲۱ درصد افزایش، ۶/۰۶ درصد افزایش، ۸/۸۸ درصد کاهش، ۲/۲۲ درصد کاهش، ۶۴/۲۸ درصد افزایش، ۳۹/۲۸ درصد افزایش، ۲/۶۳ درصد کاهش، ۲۳/۶۸ درصد کاهش، ۱۳/۹۵ درصد کاهش، ۲۰/۹۳ درصد کاهش، ۱۱/۴۲ درصد افزایش و ۸/۵۷ درصد افزایش از خود نشان داد (جدول ۵).

فعالیت‌های آنتی اکسیدانی

سوپر اکسید دیسموتاز

جدول تجزیه واریانس نشان داد که فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز تحت‌تأثیر هیچ‌یک از اثرات اصلی و برهمکنش‌ها واقع نشد (جدول ۴).

پراکسیداز

جدول تجزیه واریانس نشان داد که پراکسیداز تحت‌تأثیر مکان، نیاز آبی، آب مغناطیسی، سوپرجاذب و برهمکنش‌های نیاز آبی × آب مغناطیسی، مکان × آب مغناطیسی، نیاز آبی × سوپر جاذب، آب مغناطیسی × سوپر جاذب، نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب و مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد و از نظر برهمکنش‌های نیاز آبی × آب مغناطیسی، مکان × نیاز آبی، مکان × نیاز آبی × سوپر جاذب، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در منطقه راهنجان، میزان پراکسیداز در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۲۲/۶۱ درصد افزایش، ۴/۷۶ درصد افزایش، ۱۲/۰۸ درصد کاهش، ۲/۱۹ درصد افزایش، ۸۹/۶۵ درصد افزایش، ۳۹/۶۵ درصد افزایش، ۲۵/۹۲ درصد کاهش، ۶۲/۹۶ درصد کاهش، ۶/۳۸ درصد کاهش، ۱۰/۶۳ درصد کاهش، ۱۵/۵۱ درصد افزایش و ۴۸/۲۷ درصد افزایش از خود نشان داد. در منطقه گرمن، میزان پراکسیداز در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۲۰/۵۴ درصد افزایش، ۹/۵۸ درصد کاهش، ۲/۷۰ درصد کاهش، ۸/۱۰ درصد کاهش، ۱۰۲/۰۴ درصد افزایش، ۲۸/۵۷ درصد افزایش، ۲۸/۰۹ درصد کاهش، ۳۱/۴۶ درصد کاهش، ۲/۷۳ درصد افزایش، ۱۳/۰۴ درصد کاهش و ۷/۲۴ درصد افزایش از خود نشان داد (جدول ۵).

کاتالاز

جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاتالاز تحت‌تأثیر مکان، نیاز آبی، آب مغناطیسی، سوپر جاذب و برهمکنش‌های نیاز آبی × آب مغناطیسی، مکان × آب مغناطیسی، مکان × نیاز آبی × سوپر جاذب، آب مغناطیسی × سوپر جاذب، مکان × آب مغناطیسی × سوپر جاذب، نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب و مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپر جاذب در سطح احتمال یک درصد و از نظر مکان و برهمکنش مکان × سوپر جاذب، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).در منطقه راهنجان، میزان کاتالاز در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۲۷/۹۴ درصد کاهش، ۲۶/۴۷ درصد کاهش، ۱۰/۹۰ درصد

افزایش، ۵۴/۵۴ درصد کاهش، ۱۳۱/۸۱ درصد افزایش، ۱۰۰/۰۰ درصد افزایش، ۳۲/۹۱ درصد افزایش، ۱۸/۹۸ درصد کاهش، ۵۸/۴۰ درصد کاهش، ۵۹/۲۰ درصد کاهش، ۶۷/۴۰ درصد کاهش و ۴۰/۷۴ درصد افزایش از خود نشان داد. در منطقه گرمن، میزان کاتالاز در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، به‌ترتیب تحت شرایط بدون تنش (شاهد) و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی، تحت شرایط تنش متوسط و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی و تحت شرایط تنش شدید و با استفاده از آب معمولی و مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد، ۷/۰۴ درصد کاهش، ۲۵/۳۵ درصد کاهش، ۱۲/۱۶ درصد افزایش، ۲/۷۰ درصد کاهش، ۸۳/۳۳ درصد افزایش، ۷۹/۱۶ درصد افزایش، ۱۶/۸۸ درصد افزایش، ۲۳/۳۷ درصد کاهش، ۲۹/۸۹ درصد کاهش، ۳۴/۰۲ درصد کاهش، ۴۰/۸۰ درصد کاهش و ۸/۰۰ درصد افزایش از خود نشان داد (جدول ۵).

جدول ۴. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیک و فعالیت آنتی اکسیدانی زیره سبز تحت تأثیر نیاز آبی، آب مغناطیسی و سوپرجاذب در دو مکان

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	آنتوسیانین	سوپر اکسید دیسموتاز	پراکسیداز	کاتالاز
مکان	۱	۵/۸۵**	۲/۲۳**	۰/۸۵**	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۵*
خطای مکان	۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
نیاز آبی	۲	۰/۵۱**	۰/۹۳**	۲/۶۰**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۱**
آب مغناطیسی	۱	۰/۱۲^{ns}	۰/۱۴*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۱**	۰/۰۳**
نیاز آبی × آب مغناطیسی	۲	۲/۶۴**	۰/۳۳**	۱/۷۳**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۰۸**
مکان × نیاز آبی	۲	۰/۳۵**	۰/۱۸**	۱/۰۲**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۹^{ns}
مکان × آب مغناطیسی	۱	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۱**
مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی	۲	۰/۵۹**	۰/۰۴^{ns}	۰/۳۷*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
خطای اصلی	۲۰	۰/۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۸
سوپرجاذب	۲	۰/۴۹**	۰/۲۴**	۰/۹۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۷**	۰/۰۰۱**
مکان × سوپرجاذب	۲	۰/۲۰*	۰/۳۹**	۰/۳۸*	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۲*
نیاز آبی × سوپرجاذب	۴	۱/۳۷**	۰/۳۸**	۱/۸۷**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۷**
مکان × نیاز آبی × سوپرجاذب	۴	۰/۳۹**	۰/۰۷*	۰/۴۶**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۱**
آب مغناطیسی × سوپرجاذب	۲	۱/۵۴**	۰/۶۰**	۳/۷۷**	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰۵**
مکان × آب مغناطیسی × سوپرجاذب	۲	۰/۳۵**	۰/۶۰**	۱/۲۴**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپرجاذب	۴	۳/۴۱**	۰/۱۷**	۳/۴۳**	۰/۰۳**	۰/۰۰۰۲**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۵**
مکان × نیاز آبی × آب مغناطیسی × سوپرجاذب	۴	۰/۲۰*	۰/۳۳**	۰/۸۰**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۰۱**
خطای باقی مانده	۴۸	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۳۵	۶/۸۲	۲/۸۶	۹/۹۸	۰/۰۰۰۳	۴۷/۹۹	۹/۸۷	۱۱/۷۷

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش مکان × کم آبیاری × آب مغناطیسی × سوپرجاذب در برخی صفات (برش‌دهی در سطح مکان، کم آبیاری و آب مغناطیسی)

مکان	کم آبیاری	آب مغناطیسی	سوپر جاذب	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	آنتوسیانین	پراکسیداز	کاتالاز
راهنجان	شاهد(۱۰۰ درصد نیاز آبی)	معمولی	شاهد	۷/۲۸±۰/۰۸^{a}	۲/۳۶±۰/۲۱^{a}	۹/۶۴±۰/۲۶^{a}	۰/۲۱±۰/۰۰^{b}	۰/۰۳۴±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۸۴±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۶۸±۰/۰۰۱^{a}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۶/۴۹±۰/۱۰^{b}	۲/۳۶±۰/۱۱^{a}	۸/۸۶±۰/۱۴^{a}	۰/۳۲±۰/۰۱^{a}	۰/۰۳۷±۰/۰۰۱^{a}	۰/۱۰۳±۰/۰۰۷^{a}	۰/۰۴۹±۰/۰۰۰^{b}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۶/۸۸±۰/۲۱^{ab}	۲/۲۵±۰/۰۴^{a}	۹/۱۳±۰/۲۵^{a}	۰/۲۱±۰/۰۱^{b}	۰/۰۳۵±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۸۸±۰/۰۰۲^{ab}	۰/۰۵۰±۰/۰۰۲^{b}
			LSD	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۷۹	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶
		مغناطیسی	شاهد	۶/۵۲±۰/۰۷^{b}	۱/۵۴±۰/۱۰^{b}	۸/۰۶±۰/۱۴^{c}	۰/۲۹±۰/۰۲^{a}	۰/۰۴۶±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۹۱±۰/۰۰۸^{a}	۰/۱۰۱±۰/۰۰۹^{a}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۴۹±۰/۱۷^{a}	۲/۴۸±۰/۱۶^{a}	۹/۹۷±۰/۰۴^{a}	۰/۲۰±۰/۰۰^{b}	۰/۰۴۶±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۸۰±۰/۰۰۳^{a}	۰/۱۲۲±۰/۰۰۵^{a}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۱۲±۰/۱۵^{a}	۲/۲۲±۰/۰۲^{a}	۹/۳۵±۰/۱۷^{b}	۰/۲۶±۰/۰۲^{ab}	۰/۰۴۷±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۹۳±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۵۰±۰/۰۰۰^{b}
			LSD	۰/۴۸	۰/۳۸	۰/۴۵	۰/۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱
	تنش متوسط(۷۵ درصد نیاز آبی)	معمولی	شاهد	۸/۳۸±۰/۲۵^{a}	۲/۳۵±۰/۰۵^{a}	۱۰/۷۳±۰/۳۱^{a}	۰/۱۳±۰/۰۱^{b}	۰/۰۳۱±۰/۰۰۰^{c}	۰/۰۵۸±۰/۰۰۳^{c}	۰/۰۲۲±۰/۰۰۰^{c}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۶/۴۸±۰/۰۸^{c}	۱/۸۸±۰/۰۲^{b}	۸/۳۷±۰/۰۹^{c}	۰/۲۶±۰/۰۱^{a}	۰/۰۴۷±۰/۰۰۲^{a}	۰/۱۱۰±۰/۰۰۹^{a}	۰/۰۵۱±۰/۰۰۲^{a}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۱۹±۰/۱۲^{b}	۲/۲۰±۰/۰۶^{a}	۹/۴۰±۰/۱۸^{b}	۰/۲۴±۰/۰۱^{a}	۰/۰۳۷±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۸۱±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۴۴±۰/۰۰۱^{b}
			LSD	۰/۵۸	۰/۱۷	۰/۷۴	۰/۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۶
	تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی)	معمولی	شاهد	۶/۵۱±۰/۱۴^{b}	۱/۳۹±۰/۰۳^{c}	۷/۹۱±۰/۱۷^{c}	۰/۲۹±۰/۰۱^{a}	۰/۰۴۷±۰/۰۰۱^{a}	۰/۱۰۸±۰/۰۱۱^{a}	۰/۰۷۹±۰/۰۰۱^{ab}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۶/۳۰±۰/۱۳^{b}	۲/۳۷±۰/۰۴^{b}	۸/۶۷±۰/۰۸^{b}	۰/۲۸±۰/۰۱^{a}	۰/۰۳۷±۰/۰۰۲^{b}	۰/۰۸۰±۰/۰۰۷^{a}	۰/۱۰۵±۰/۰۱۸^{a}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۸۹±۰/۰۵^{a}	۲/۷۹±۰/۰۶^{a}	۱۰/۶۸±۰/۰۸^{a}	۰/۱۸±۰/۰۱^{b}	۰/۰۲۹±۰/۰۰۰^{c}	۰/۰۴۰±۰/۰۰۲^{b}	۰/۰۶۴±۰/۰۰۲^{b}
			LSD	۰/۴۰	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۶
	شاهد(۱۰۰ درصد نیاز آبی)	معمولی	شاهد	۶/۷۰±۰/۱۷^{b}	۲/۷۵±۰/۰۶^{a}	۹/۴۵±۰/۱۹^{b}	۰/۲۷±۰/۰۱^{a}	۰/۰۴۶±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۹۴±۰/۰۰۱^{a}	۰/۱۲۵±۰/۰۰۱^{a}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۱۰±۰/۱۶^{b}	۲/۵۰±۰/۰۱^{b}	۹/۶۰±۰/۱۴^{b}	۰/۲۱±۰/۰۱^{b}	۰/۰۴۳±۰/۰۰۰^{ab}	۰/۰۸۸±۰/۰۰۲^{ab}	۰/۱۰۵۲±۰/۰۰۳^{b}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۸۰±۰/۰۶^{a}	۲/۵۷±۰/۰۸^{ab}	۱۰/۳۷±۰/۰۶^{a}	۰/۲۱±۰/۰۱^{b}	۰/۰۴۱±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۸۴±۰/۰۰۲^{b}	۰/۱۰۵۱±۰/۰۰۳^{b}
			LSD	۰/۴۹	۰/۲۱	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱۰
	تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی)	مغناطیسی	شاهد	۷/۸۲±۰/۱۳^{a}	۲/۵۰±۰/۰۷^{b}	۱۰/۳۳±۰/۰۷^{a}	۰/۲۰±۰/۰۰^{b}	۰/۰۴۱±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۵۸±۰/۰۰۳^{c}	۰/۱۳۵±۰/۰۰۸^{b}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۸/۱۸±۰/۱۰^{a}	۲/۳۴±۰/۰۹^{b}	۱۰/۵۲±۰/۰۷^{a}	۰/۲۲±۰/۰۰^{b}	۰/۰۴۵±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۶۷±۰/۰۰۲^{b}	۰/۰۴۴±۰/۰۰۲^{c}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۶/۷۴±۰/۱۲^{b}	۲/۸۵±۰/۰۴^{a}	۹/۵۹±۰/۱۳^{b}	۰/۲۷±۰/۱۳^{a}	۰/۰۴۰±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۸۶±۰/۰۰۰^{a}	۰/۱۹۰±۰/۰۱۸^{a}
			LSD	۰/۴۲	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۴۱
گرمن	شاهد(۱۰۰ درصد نیاز آبی)	معمولی	شاهد	۷/۰۰±۰/۱۱^{a}	۱/۹۳±۰/۰۶^{b}	۸/۹۳±۰/۱۶^{b}	۰/۲۲±۰/۰۰^{ab}	۰/۰۳۳±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۷۳±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۷۱±۰/۰۰۱^{a}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۴۰±۰/۰۵^{a}	۲/۴۰±۰/۰۶^{a}	۹/۸۰±۰/۱۱^{a}	۰/۲۷±۰/۰۲^{a}	۰/۰۴۰±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۸۸±۰/۰۰۴^{a}	۰/۰۶۶±۰/۰۰۲^{a}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۰۹±۰/۲۰^{a}	۲/۱۰±۰/۰۹^{b}	۹/۱۹±۰/۲۸^{ab}	۰/۲۱±۰/۰۰^{b}	۰/۰۳۵±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۶۶±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۵۳±۰/۰۰۱^{b}
			LSD	۰/۴۷	۰/۲۵	۰/۶۹	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶
	تنش متوسط(۷۵ درصد نیاز آبی)	معمولی	شاهد	۷/۴۰±۰/۱۱^{b}	۲/۰۵±۰/۰۸^{a}	۹/۴۶±۰/۱۹^{b}	۰/۲۹±۰/۰۲^{a}	۰/۰۴۵±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۷۴±۰/۰۰۶^{a}	۰/۰۷۴±۰/۰۰۱^{b}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۸/۲۹±۰/۰۸^{a}	۱/۷۵±۰/۰۳^{b}	۱۰/۰۵±۰/۱۰^{a}	۰/۲۷±۰/۰۱^{a}	۰/۰۴۱±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۷۲±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۸۳±۰/۰۰۴^{a}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۸/۲۷±۰/۰۵^{a}	۱/۵۷±۰/۰۴^{b}	۹/۸۵±۰/۰۶^{ab}	۰/۳۰±۰/۰۲^{a}	۰/۰۴۴±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۶۸±۰/۰۰۳^{a}	۰/۰۷۲±۰/۰۰۱^{b}
			LSD	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۴۶	۰/۰۷	۴۴/۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹
	تنش متوسط(۷۵ درصد نیاز آبی)	معمولی	شاهد	۸/۵۸±۰/۰۲^{a}	۱/۷۳±۰/۰۴^{b}	۱۰/۳۱±۰/۰۴^{a}	۰/۱۱±۰/۰۰^{c}	۰/۰۲۸±۰/۰۰۰^{c}	۰/۰۴۹±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۲۴±۰/۰۰۲^{b}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۴۹±۰/۲۲^{b}	۲/۱۰±۰/۰۳^{a}	۹/۶۰±۰/۱۹^{b}	۰/۲۹±۰/۰۰^{a}	۰/۰۴۶±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۹۹±۰/۰۰۶^{a}	۰/۰۴۴±۰/۰۰۱^{a}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۸۹±۰/۲۳^{b}	۲/۰۹±۰/۰۵^{a}	۹/۹۸±۰/۲۶^{ab}	۰/۲۳±۰/۰۰^{b}	۰/۰۳۹±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۶۳±۰/۰۰۲^{b}	۰/۰۴۳±۰/۰۰۲^{a}
			LSD	۰/۶۵	۰/۱۶	۰/۶۶	۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷
	تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی)	مغناطیسی	شاهد	۶/۵۹±۰/۱۰^{c}	۱/۷۷±۰/۰۱^{c}	۸/۳۶±۰/۱۱^{c}	۰/۳۴±۰/۰۰^{a}	۰/۰۳۸±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۸۹±۰/۰۰۳^{a}	۰/۰۷۷±۰/۰۰۱^{b}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۲۳±۰/۱۶^{b}	۲/۲۸±۰/۰۱^{a}	۹/۵۲±۰/۱۷^{b}	۰/۲۶±۰/۰۱^{b}	۰/۰۳۷±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۶۴±۰/۰۰۹^{b}	۰/۰۹۰±۰/۰۰۱^{a}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۸/۲۴±۰/۰۴^{a}	۱/۹۴±۰/۰۷^{b}	۱۰/۱۹±۰/۰۸^{a}	۰/۱۸±۰/۰۰^{c}	۰/۰۲۹±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۶۱±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۵۹±۰/۰۰۱^{c}
			LSD	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۴۵	۰/۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹	۰/۰۰۵
		معمولی	شاهد	۷/۳۱±۰/۱۷^{a}	۲/۴۵±۰/۰۴^{a}	۹/۷۷±۰/۲۰^{a}	۰/۲۶±۰/۰۰^{a}	۰/۰۴۳±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۷۳±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۹۷±۰/۰۰۱^{a}
			۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۵۲±۰/۰۱^{a}	۲/۰۳±۰/۰۹^{b}	۹/۵۶±۰/۱۱^{a}	۰/۲۲±۰/۰۱^{b}	۰/۰۳۷±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۷۳±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۶۸±۰/۰۰۱^{b}

مکان	کم آبیاری	آب مغناطیسی	سوپر جاذب	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	آنتوسیانین	پراکسیداز	کاتالاز
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۸۷±۰/۳۱^{a}	۱/۷۲±۰/۱۱^{c}	۹/۶۰±۰/۲۰^{a}	۰/۲۱±۰/۰۰^{b}	۰/۰۳٤±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۷۵±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰٦٤±۰/۰۰۰^{b}
			LSD	۰/۷۱	۰/۳۰	۰/٦۲	۰/۰۲	۰/۰۰٤	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
			شاهد	۸/۱۲±۰/۰٦^{a}	۲/۱۱±۰/۰۱^{b}	۱۰/۲۳±۰/۰۷^{a}	۰/۲۳±۰/۰۰^{b}	۰/۰۳۵±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰٦۹±۰/۰۰۱^{b}	۰/۱۲۵±۰/۰۰۵^{a}
		مغناطیسی	۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/٦۳±۰/۱۲^{b}	۲/۱۸±۰/۰۵^{ab}	۹/۸۲±۰/۰۷^{b}	۰/۲۰±۰/۰۰^{b}	۰/۰۳۹±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰٦۰±۰/۰۰۰^{c}	۰/۰۷٤±۰/۰۰۲^{b}
			۲۰۰ کیلوگرم در هکتار	۷/۳۲±۰/۰٦^{c}	۲/۲۹±۰/۰۱^{a}	۹/٦۱±۰/۰٦^{b}	۰/۲۷±۰/۰۱^{a}	۰/۰۳۸±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۷٤±۰/۰۰۰^{a}	۰/۱۳۵±۰/۰۰۳^{a}
			LSD	۰/۳۰	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۱٤

حروف مشترک در هر ستون برش داده شده نشان دهنده عدم معنی‌داری است. (میانگین±خطای استاندارد). **LSD**: حداقل اختلاف معنی‌دار.

بحث

تنش خشکی منجر به جابجایی پروتیین‌های غشایی گردد که این عمل باعث از بین رفتن یکپارچگی و خاصیت انتخابی غشا، اخلال در وظایف سلولی و همچنین قطع فعالیت آنزیم‌های مستقر در غشا سلولی شود. علاوه بر آسیب‌دیدگی غشا، فعالیت پروتیین‌های سیتوسولی و ارگانلی نیز ممکن است در اثر پسابیدگی کاهش یافته یا به‌طور کامل ماهیت آن‌ها دچار تغییر شود [۱۷]. در مطالعه روی گیاه نعناع ژاپنی گزارش شد که تنش آبی باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل می‌شود[۱۸]. گزارش شده که کاهش رطوبت خاک باعث کاهش مقادیر کلروفیل کل، a و b در گیاه خردل می‌گردد [۱۹]. مصرف سوپر جاذب به دلیل کاهش تلفات آب و مواد غذایی و افزایش کارآیی مصرف آن ها در طی فصل رشد، باعث افزایش دوام سطح برگ و طول دوره فتوسنتز شده و سرعت رشد محصول و محتوای کلروفیل گیاه افزایش می یابد. در مدت زمان تنش کمبود آب، وضعیت آب درون سلولی در گیاهان یک نقش کلیدی را در فعال کردن این مکانیسم‌های دفاعی بازی می‌کند. میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به تنش کمبود آب در گونه‌های مختلف، در بعضی موارد افزایش و در بعضی موارد کاهش یافت [۲۰]. شرایط خیلی شدید خشکی، به‌علت کاهش فعالیت روبیسکو منجر به محدود شدن فتوسنتز می‌گردد. ارتباط تنگاتنگی بین فعالیت زنجیره الکترون فتوسنتزی و فراهمی CO_2 در گیاه وجود دارد و فعالیت فتوسیستم II اغلب به‌طور همسو تحت شرایط خشکی کاهش می‌یابد. در وضعیتی که کمبود آب خیلی شدید یا طولانی شود، گیاهان پژمرده شده و سلول‌ها چروکیده (منقبض) می‌شوند که این امر ممکن است منجر به محدودیت مکانیکی در غشاهای سلولی شود. آسیب رساندن به غشا یکی از اثرات خشکی شدید می‌باشد که با فیزیولوژی گیاهان در ارتباط است. صدمه دیدن غشا، ایفای نقش یون‌ها و ناقل‌ها را دچار اختلال کرده و به آنزیم‌های مرتبط با غشا آسیب می‌رساند [۲۱]. با کاربرد سوپر جاذب ها نوسانات رطوبتی کاهش، فواصل آبیاری افزایش و دوام و رشد گیاه و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی نیز افزایش می‌یابد. میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان تحت شرایط تنش افزایش یافت ولی تغییرات آن‌ها بسته به زمان مواجهه با تنش متفاوت گزارش شده است [۲۲]. تحقیقات نشان داده است که یک ارتباط قوی بین میزان تحمل به تنش اکسیداتیو که به واسطه تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد [۲۳]. آنزیم آنتی اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز (SOD) با دیسموته کردن آنیون های سوپراکسید به اکسیژن و هیدروژن پراکسید آسیب را به حداقل می‌رساند. افزایش SOD منجر به بالا رفتن H_2O_2 و در ادامه OH می‌شود. جاروب کردن و سم‌زدایی H_2O_2 تولید شده توسط SOD می‌تواند با آنتی اکسیدان‌های تولید شده توسط آنزیم کاتالاز و انواع پرواکسیدازها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی نظیر ترکیبات فنلی (فلاونوئید، آنتوسیانین، فنل و...) کامل شود [۲۴]. نتایج مطالعات، اثر میدان‌های مغناطیسی را بر تغییر فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدان در سطح آنزیمی و غیرآنزیمی نشان داده است که در سطح آنزیمی مشخص شده که میدان مغناطیسی منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز می‌شود [۲۵]. در تحقیق دیگری نشان داده شده که کاربرد میدان مغناطیسی، سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از جمله کاتالاز (CAT)، سوپر اکسیداز دیسموناز (SOD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) در برگ‌های گیاه موسیر می‌شود [۲۶]. میدان مغناطیسی با افزایش درجه آزادی پیوندهای هیدروژنی سبب کاهش کشش سطحی آب شده و در نتیجه، میزان حلالیّت آب افزایش یافته و با افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و نیز افزایش میزان آنتوسیانین‌ها در گیاهان

تیمار شده با آب مغناطیده، نسبت به گروه شاهد معنی‌دار بود. افزایش فعالیت این دو آنزیم و افزایش آنتوسیانین همراه با تغییر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز که خود سبب تولید هیدروژن پراکسید می‌کند، سبب ممانعت از آسیب رسیدن به غشا و کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می‌شود. عدم افزایش آنزیم پراکسیداز نیز با حفظ انعطاف‌پذیری دیواره‌ها سبب حفظ توان رشد در سلول‌های گیاهان تیمار شده با آب مغناطیده شد [۲۷]. گیاهان هنگامی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند به شرایط تنش خشکی پاسخ می‌دهند و با القای پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی به این شرایط سازگاری می‌یابند. همچنین خشکی باعث می‌شود دستگاه فتوسنتز گیاه صدمه ببیند در نتیجه موجب کاهش کلروفیل در گیاه نسبت به شرایط عدم تنش می‌شود [۲۸]. لنبانی و ارزانی [۲۹] کاهش محتوای کلروفیل را در برخی از ژنوتیپ‌های گندم و تریتیکاله در اثر تنش خشکی گزارش کردند.در مطالعه دیگری کاهش محتوای کلروفیل را در اثر تنش خشکی در گندم گزارش کرده‌اند [۳۰]. با اعمال تنش خشکی ملایم بطور معنی‌داری کلروفیل a، کلروفیلb، کلروفیل کل و محتوای پرولین افزایش نشان داد و اثر معنی‌داری در محتوای کارتنوئید و نسبت کلروفیل a/b مشاهده نگردید[۳۱]. در بررسی دیگری در آزمایش برروی تورفوگراس مشاهده کردند که در مراحل اولیه تنش آبی محتوای کلروفیل افزایش می‌یابد ولی تنش‌های طولانی مدّت باعث کاهش محتوای کلروفیل می‌شود.گیاه در مراحل ابتدایی تنش سعی در تکمیل چرخه حیاتی خود دارد، بدین‌ترتیب با افزایش مقدار کلروفیل سعی در تولید ماده فتوسنتزی بیشتر و تسریع در دوران پرشدن دانه دارد. بنابراین قبل از ورود گیاه به مرحله زایشی تنش ملایم خشکی باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود. تفاوت بین لاین‌ها از نظر افزایش یا کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی ممکن است به علّت تفاوت در مرحله رشدی و یا تنوع در تاثیرپذیری از شدت تنش در ژنوتیپ‌ها باشد. در این آزمایش نیز به نظر می‌رسد کاهش محتوای کلروفیل به دلیل اندازه‌گیری کلروفیل در مراحل زایشی و پس از اعمال چندین مرتبه تنش خشکی باشد ضمن اینکه کاهش کلروفیل تحت تنش خشکی احتمالاً به واسطه اثر کلروفیلاز و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌باشد. در واقع این چنین به نظر می‌رسد که کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش بواسطه‌ی اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد. در شرایط تنش کمبود آب گیاه به منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و یا به عبارت دیگر تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد. در چنین شرایطی فعالیت‌های سیتوپلاسمی و اندامک‌ها، تقریباً در شرایط طبیعی صورت می‌گیرد [۳۲]. اثر تنظیم اسمزی در افزایش تحمل گیاهان تحت شرایط خشکی به طور یکسان نمی‌باشد اگرچه ارتباط مثبتی میان عملکرد و تنظیم اسمزی در شرایط تنش شدید خشکی گزارش شده است [۳۳]. میدان‌های مغناطیسی در ابعاد وسیعی بر گیاهان تأثیر می‌گذارد و تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی به عنوان راهکاری جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد محصولات زراعی مورد توجّه است [۳۴]. یکی از فرضیه‌های مؤثّر در بیان اثر احتمالی میدان‌های مغناطیسی تولید رادیکال‌های آزاد هنگام قرارگرفتن در معرض میدان مغناطیسی است. این رادیکال‌ها می‌توانند نقش دوگانه‌ای داشته باشد. به طوری که از یک طرف باعث تخریب در سلول شده و از طرف دیگر خود به عنوان مولکول علامت، باعث به راه افتادن مکانیسم‌های دفاعی در سلول شود [۳۵]. از مکانیسم‌های اصلی مقابله با رادیکال‌های آزاد جاروب شدن آن‌ها توسط آنزیم‌های آنتی اکسیدان می‌باشد. مهم‌ترین آنزیم‌های مؤثّر دراین فرایند عبارتند از، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، آنزیم کاتالاز (CAT) و آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) است [۳۶]. افزایش فعالیت آنزیم SOD با کاتالیز و دیسموته کردن آنیون‌های سوپر اکسید (O_2^-) به اکسیژن و هیدروژن پراکسید H_2O_2، آسیب را به حداقل می‌رساند. اما از سوی دیگر، افزایش فعالیت SOD منجر به افزایش عملکرد گیاه نیز می‌شود[۳۷]. سوپر اکسید (O_2^-) اولین منبع گونه‌های فعال اکسیژن است و سوپر اکسید دیسموتاز یکی از آنزیم‌هایی است که اثرات آنرا از طریق تسریع در تبدیل سوپر اکسید به H_2O_2 خنثی می‌کند [۳۸]. جاروب کردن و سم‌زدایی H_2O_2 تولید شده توسط SOD می‌تواند با آنتی اکسیدان‌های تولید شده توسط آنزیمی دیگر نظیر کاتالاز و انواع پرواکسیدازها و ترکیبات آنتی اکسیدان غیر آنزیمی نظیر ترکیبات فنلی(فلاونوئید، آنتوسیانین، فنل و)... کامل شود [۳۹]. در بررسی اثر تنش غیرزنده در گیاه دارویی استویا افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسیداز دیسموتاز، کاتالاز و گایاکول پراکسیداز و کاهش پروتئین کل در گیاه گزارش شد [۴۰].

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می توان دریافت که مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی و صفات فیزیولوژیکی و همچنین آنزیم‌های آنتی اکسیدانی تحت تاثیر میزان تنش آبی و نوع آبیاری از نظر

معمولی و مغناطیسی و استفاده از سوپرجاذب و مکان مورد آزمایش قرار گرفت. بنابراین می‌توان دریافت که اغلب صفات در منطقه راهنجان دارای مقادیر بیشتری نسبت به منطقه گرمن بودند. به‌طورکلی استفاده از آب مغناطیسی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب در شرایط تنش خشکی متوسط (۷۵ درصد نیاز آبی) موجب افزایش فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه زیره سبز گردیده است.از این رو، استفاده از سوپر جاذب به‌جهت نگهداری آب تحت شرایط تنش خشکی و استفاده از آب مغناطیسی به‌منظور بهره‌وری غذایی گیاه به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب و مغناطیسی کردن آب توصیه می‌گردد.

References

[1] Tas S. and Tas B. 2007. "Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye" World J. Agric. Sci. 3:178-183.

[2] Amini Dehghani M. and MollFilabi A. 2011. "Evaluation of some drought resistance criteria in cumin (Cuminum Cyminum L.) landraces" Adv. Environ. Biol. 5:237-242.

[3] Alizadeh-Choobari O. and Najafi M.S.2018. "Extreme weather events in Iran under a changing climate" Climate dynamics. 50(1-2): 249-260.

[4] Dubey P.N., Saxena S.N., Mishra B.K., Solanki R.K., Vishal M.K., Singh B., Sharma L.K., John S., Agarwal D. and Yogi, A. 2017 "Preponderance of cumin (Cuminum cyminum L.) essential oil constituents across cumin growing Agro-Ecological Sub Regions" India. Industrial Crops and Products. 95: 50-59.

[5] Mandal M. and Mandal S. 2016 "Cumin (Cuminum cyminum L.) oils" In Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety" Academic Press. 377-383. pp.

[6] Pandey S., Patel M.K., Mishra, A. and Jha, B. 2015. "Physio-biochemical composition and untargeted metabolomics of cumin (Cuminum cyminum L.) make it promising functional food and help in mitigating salinity stress" PLoS One. 10(12).

[7] Rathore S.S., Saxena S.N. and Singh B. (2013) "Potential health benefits of major seed spices" Int J Seed Spices. 3(2): 1-12.

[8] Vundavalli R., Vundavalli S., Nakka M. and Rao D.S. 2015 "Biodegradable nano hydrogels in agricultural farming alternative source for water resources" Procedia Materials Science. 10: 548-554.

[9] Ghasemi, B., Najimi, M., Beyzaie, H., Mirzai, M., Majidiani, H., & Nasiri, M. 2016. Evaluation of antibacterial effects of silver nanoparticles with thiazole, imidazole and tetrahydropyridine derivatives against hospital gram negative bacterial pathogens. *Iranian Journal of Medical Microbiology*, *10*(4), 34-42.

[10] Ebrahim S.A. and Azab A.E. 2017 "Biological effects of magnetic water on human and animals" Biomedical Sciences. 3(4), p.78.

[11] Hassan S.M. and Rahman R.A. 2016. "Effects of exposure to magnetic field on water properties and hatchability of Artemia salina" ARPN Journal of Agricultural and Biological Sciences. 11(11): 416-423.

[12] . P. Adamse, 1998. Mutants as an Aid to the Study of Higher Plant Photomorphogenesis, PhD Thesis, Agriculture University, Wageningen, The Netherlands,

[13] Abe, N., Murata, T., and Hirota, A. 1998. Novel 1, 1-diphenyl-2-picryhy- drazyl radical scavengers, bisorbicillin and dimethyl trichodimerol, from a fungus. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 62: 661-662.

[14] Giannopolitis, C. and Ries, S. 1997. Superoxid desmutase. I. Occurence in higher plant. Plant Physiology, 59:309-314.

[15] Elavarthi, S. and Bjorn, M. 2010. Spectrophotometric Assays for Antioxidant Enzymes in Plants, p 273-280. In: Plant Stress Tolerance, Methods in Molecular Biology. Sunkar, R. (Ed.), Humana Press, Springer, 386 p.

[16] Zhang P.P., Feng B.L., Wang P.K. and Dai, H.P. 2012 "Leaf senescence and activities of antioxidant enzymes in different broomcorn millet (Panicum miliaceum L.) cultivars under simulated drought condition" Journal of Food Agriculture and Environmen 10: 438-444.

[17] Wang, W. Vinocur, B. and Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta. 218: 1-14.

[18] Misra, A. and Srivastava, N. K. 2000. Influence of water stress on Japanese mint. Journal of Herbs, Spices and Midicinal Plants. 7 (1): 51-58.

[19] Begum, F. A. and Paul, N. K. 1993. Influence of soil moisture on growth, water use and yield of mustard (Brassica juncea L.). J. Agron. & Crop. Sci. 170: 136–141.

[20] Navari-lzzo, F. Milone M. T. A. Quartacci M. F. and Pinzino C. 1993. Metabolic changes in wheat plants subjected to a water deficit stress programme. Plant Sci. 92:151-157.

[21] Mahajan, S. and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139-158.

[22] Zhang P.P., Feng B.L., Wang P.K. and Dai, H.P. 2012. "Leaf senescence and activities of antioxidant enzymes in different broomcorn millet (Panicum miliaceum L.) cultivars under simulated drought condition" Journal of Food Agriculture and Environmen 10: 438-444.

[23] Sayar R., Khemira H., Kameli A. and Mosbahi M. 2008 "Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (Triticum durum Desf.)" Agron. Res. 6: 79-90.

[24] Banu M.N.A., Hoque A., Watanabe- Sugimoto M., Matsuoka K., Nakamura Y., ShimoishiY. and Murata Y. 2009. "Proline and glycinebetaine induce antioxidant defense gene ex p ression and suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress" J Plant Physiol. 166: 146-156.

[25] Pandey, R. K., J. W. Maranville and A. Admou. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a sahelian environment. I Grain yield, yield components and water use efficiency. Eur. J. Agron. 15: 93–105.

[26] Turgay C., Zeynep E., Cakmak R.D. and Turgay T. (2012) "Analysis of apoplastic and symplastic antioxidant system in shallot leaves: Impacts of weak static electric and magnetic field" J Plant Physiol. 1066– 1073.

[27] Soleimani M., Ghanati F., Mohammadalikhani S. 2017. Improvement of Antioxidant Enzymes Activity of Zea mays L. After Treatment with Magnetized Water. Quarterly Journal of Developmental Biology. Volume 9, Number 2 - Consecutive Issue 34.Pp. 27-39.

[28] Fu J. and Huang B. 2001. "Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress" Environ Exp Bot. 45:105– 114.

[29] Lonbani M. and A. Arzani. 2011. "Morpho-physiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat" Agron. Res. 9: 315–329.

[30] Sayar R., Khemira H., Kameli A. and Mosbahi M. 2008. "Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (Triticum durum Desf.)" Agron. Res. 6: 79-90.

[31] Ebrahimiyan M., Majidi M.M., Mirlohi A. and Noroozi A. 2013. "Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue" Euphytica. 190: 401- 414.

[32] Farooq M.A., Wahid N., Kobayashi D., Fujita D. and Basra M.A. (2009) "Plant drought stress: effects, mechanisms and management" Agron. Sustain. Dev. 29: 185-212.

[33] Seraj R. and Sinclair T.R. 2002. "Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?" Plant Cell Environ. 25:333–341.

[34] Allahghadri T., Rasooli I., Owlia P., JalaliNadooshan M.R., Ghazanfari T., Taghizadeh M. and AlipoorAstaneh Sh. 2010. "Antimicrobial Property, Antioxidant Capacity, and Cytotoxicity of Essential Oil from Cumin Produced in Iran" Journal of Food Science. Vol. 75, No. 2, pp. H54-H61.

[35] Ghanati F., Abdolmaleki P., Vaezzadeh M., Rajabbeigi, E., Yazdani M. .2007. "Application of magnetic field and iron in order to change medicinal products of Ocimumbasilicum" Environmentalist, 27: 429–434.

[36] Sinha S. and Saxena R. .2006. "Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and nonenzymatic antioxidants and bacoside-A content in medicinal plant Bacopamonnieri L" Chemosphere, 62:1340–1350.

[37] Banu M.N.A., Hoque A., Watanabe- Sugimoto M., Matsuoka K., Nakamura Y., ShimoishiY. and Murata Y. (2009) "Proline and glycinebetaine induce antioxidant defense gene ex p ression and suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress" J Plant Physiol. 166: 146-156.

[38] Lopez-Cruz J., Oscar C.S., Emma F.C., Pilar G.A. and Carmen G.B. 2017. "Absence of Cu–Zn superoxide dismutase BCSOD1 reduces Botrytis cinerea virulence in Arabidopsis and tomato plants, revealing interplay among reactive oxygen species, callose and signalling pathways" Molecular plant pathology. 18:16-31.

[39] Khalvandi M, American M.R, baradaran M, Gholami A. 2017. "Piriformospora indica symbiotic effect on the quantity and quality of essential oils and some physiological parameters of peppermint (Mentha piperita) under salt stress" J Plant Proc Func. 6(21): 169-184.

Journal of Developmental Biology
Vol. 15, No.2, Spring 2023

Investigation of physiological properties and antioxidant activity of cumin by using of magnetic water and superabsorbent under water stress conditions

Ashori A.[1], Gholipour M.[2*], Gholami A.[3], Abbasdokht H.[4]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
[2] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
[4] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

* (Corresponding author): manouchehr.gholipoor@gmail.com

DOI: 10.30495/JDB.2022.1959313.1311 https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008692.1402.15.2.4.4

Received: June 2022 Accepted: November 2022

Abstract

In order to investigate magnetic and superabsorbent water on some physiological traits and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L) under water stress, an experiment in two areas of Rahanjan and German of Shahroud city in factorial form in a randomized complete block design with Three replications were performed in the 1400-1399 crop year. The results of analysis of variance showed that the triple interaction effect of water requirement × magnetic water × superabsorbent was significant for the evaluated traits. The traits of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids and anthocyanins were significant. Under moderate stress conditions, using normal water, no significant difference was observed between control and 200 kg / ha superabsorbent treatments. Most traits in Rahnjan region had higher values than German region. In general, the use of magnetic water and 200 kg / ha of superabsorbent in conditions of moderate drought stress (75% water requirement) caused physiological and biochemical increase of cumin.

Keywords: Anthocyanins, Carotenoids, Chlorophyll, Locations, Soluble Carbohydrates.