

Improving the Water Use Efficiency of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) by Vermicompost and Phytoprotectants

Jalal Arjeh¹, Alireza Pirzad^{2*}, Mehdi Tajbakhsh², Sevil Mohammadzadeh³

Received: March 24, 2021 Accepted: May 22, 2021

1-PhD. Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.

2-Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.

3-Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.

*Corresponding Author Email: a.pirzad@urmia.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The aim of the present study was to investigate the interaction effects of vermicompost and phytoprotectants on the physiological responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different levels of irrigation.

Materials and Methods: Two-year research was conducted as a split-plot factorial experiment. Treatments were irrigation levels [irrigation at 90% field capacity (extra-watered), 70% field capacity (well-watered), 50% field capacity (moderate stress) and 30% field capacity (severe stress)], vermicompost [0 and 7 t.ha⁻¹] and phytoprotectants [distilled water (control), zinc, silicon, glycine betaine, ascorbic acid].

Results: The results showed that root yield in irrigated plants at 70% of field capacity was higher than other treatments. Also, the yield and dry weight of the roots were significantly increased by the application of phytoprotectants. Phytoprotectants and vermicompost had no effect on water use efficiency of root yield at 70 and 90% of field capacity, but, water use efficiency with glycine betaine at 50% field capacity and with silicon and glycine betaine at 30% field capacity with vermicompost application increased significantly. The effectiveness of glycine betaine for transpiration efficiency and sugar yield was higher than other treatments, regardless of irrigation. The highest root yield was obtained in the treatment of 70% field capacity and was significantly increased by the use of phytoprotectants and vermicompost.

Conclusion: Our findings show that the use of vermicompost and phytoprotectants (especially glycine betaine and ascorbic acid) could be effective in modulating water stress to sugar beet and help to have sustainable agriculture.

Keywords: Biomass; Irrigation; Stress, Transpiration; Water Use Efficiency

بهبود کارایی مصرف آب چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) با کاربرد ورمی کمپوست و محافظ‌های گیاهی

جلال آرژ^۱، علیرضا پیرزاد^{۲*}، مهدی تاجبخش^۲، سویل محمدزاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱

۱-دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲-استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳-فارغ‌التحصیل دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

مسئول مکاتبه: Email: a.pirzad@urmia.ac.ir

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات متقابل ورمی کمپوست و محافظ‌های گیاهی روی پاسخ‌های فیزیولوژیکی چغندر قند در سطوح مختلف آبیاری انجام گردید.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در دو سال زراعی انجام گرفت. کرت‌های اصلی شامل آبیاری در ۳۰ (کم‌آبی شدید)، ۵۰ (کم‌آبی متوسط)، ۷۰ (آبیاری نرمال) و ۹۰ درصد (آبیاری اضافی) ظرفیت زراعی بودند. کرت‌های فرعی شامل ورمی کمپوست (صفر و ۷ تن در هکتار) و محافظ‌های گیاهی شامل آب مقطر (شاهد)، روی (۵ میکرومول)، سیلیکون (۴ میلی‌مول)، گلايسين بتائين (۴ میلی‌مول) و اسیداسکوربیک (۰/۵ میلی‌مول) بود.

یافته‌ها: عملکرد ریشه در گیاهان آبیاری شده در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بیشتر از سایر تیمارها بود که منتج به افزایش کارایی مصرف آب، کارایی استفاده از آبیاری و کارایی تعرق برای عملکرد ریشه شد. همچنین، عملکرد و وزن خشک ریشه‌ها بوسیله کاربرد محافظ‌های گیاهی افزایش یافت. محافظ‌های گیاهی و ورمی کمپوست تأثیری بر کارایی مصرف آب عملکرد ریشه در ۷۰ و ۹۰٪ ظرفیت زراعی نداشتند، اما کارایی مصرف آب بوسیله گلايسين بتائين در ۵۰٪ ظرفیت زراعی، و سیلیکون و گلايسين بتائين در ۳۰٪ ظرفیت زراعی به همراه کاربرد ورمی کمپوست افزایش یافت. اثرگذاری گلايسين بتائين برای کارایی مصرف تعرق و عملکرد قند بیشتر از سایر تیمارها بود. بیشترین عملکرد ریشه در تیمار ۷۰٪ ظرفیت زراعی بدست آمد و کاربرد محافظ‌های گیاهی و ورمی کمپوست عملکرد ریشه را نسبت به شاهد افزایش دادند.

نتیجه‌گیری: استفاده از ورمی کمپوست و محافظ‌های گیاهی (بویژه گلايسين بتائين و اسیداسکوربیک) در تعدیل تنش‌های آبی برای تولید پایدار چغندر قند موثر بودند. کاراترین محافظ گیاهی برای تحمل تنش و پایداری عملکرد گلايسين بتائين بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، بیوماس، تعرق، تنش، کارایی مصرف آب

مقدمه

بود (فائو ۲۰۱۸). چغندر قند به دلیل دوره رشد طولانی یکی از گیاهان با مصرف آب بالا (۳۵۰-۱۱۵۰ میلی متر) است (دریکات ۲۰۰۶). در مناطق خشک و نیمه خشک با بارندگی ناکافی، خشکسالی مهمترین عامل محدودکننده در تولید چغندر قند به دلیل تأثیر بر

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)، از تیره‌ی Chenopodiaceae گیاهی دو ساله است که اغلب به شکل بهاره کشت می‌شود (هاروسون ۲۰۱۵). میزان تولید جهانی چغندر قند در سال (۲۰۱۸) ۲۷۵ میلیون تن

آسیب اکسیداتیو، بر رشد و نمو گیاه تحت شرایط تنش تأثیر می‌گذارد (نوکتور و همکاران ۲۰۱۲). اثرات محافظتی اسید آسکوربیک، از جمله کنترل روند چرخه سلولی (پوترس و همکاران ۲۰۰۲) و رشد و نمو ریشه (لیسو و همکاران ۲۰۰۴) اغلب با تحمل تنش در ارتباط است (حسنوزمان و همکاران ۲۰۱۲).

استفاده از روی به عنوان عنصر ریزمغذی باعث بهبود عملکرد گیاهان چغندر قند با بهبود صفات کیفی و صرفه جویی در نیاز گیاهان به کودهای پرمصرف و ریز مغذی می‌شود (عباس و همکاران ۲۰۲۰؛ زویل و همکاران ۲۰۲۰).

از آنجا که اثرات محافظ‌های گیاهی در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد چغندر قند و کارایی استفاده از آب در مطالعات قبلی بررسی نشده است، مطالعه حاضر جهت بررسی اهداف زیر به منظور ارائه یک برنامه آبیاری مناسب به کشاورزان می‌باشد:

- تعیین اثر کاربرد منابع خارجی محافظ‌های گیاهی مختلف و ورمی کمپوست بر عملکرد چغندر قند (ریشه، قند، قند سفید و زیست توده) و کارایی مصرف (آب، آبیاری و تعرق) چغندر قند

- مطالعه‌ی بر هم‌کنش کاربرد محافظ‌های گیاهی و ورمی کمپوست بر روی چغندر قند در شرایط آبیاری کامل، کم آبیاری و آب اضافی

- مطالعه‌ی میزان تاثیرگذاری کاربرد منابع خارجی محافظ‌های گیاهی و ورمی کمپوست بر روی توان تولیدی چغندر قند در شرایط کم آبیاری و آب اضافی

مواد و روش‌ها

محل آزمایش و خصوصیات خاک

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه ارومیه (با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه طول شمالی و ۴۵ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شرقی و با ارتفاع ۱۴۶۷ متر از سطح دریا) طی دو سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ انجام شد. این منطقه دارای آب و هوای نیمه خشک است (شکل ۱). در جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش نشان داده شده است.

فیزیولوژی گیاهان و عملکرد زراعی است (اوبر و همکاران ۲۰۰۵). در مطالعات پیشین، ۱/۱ کیلوگرم ماده خشک به ازای هر یک متر مکعب آب برای چغندر قند در شرایط کم آبیاری گزارش شده است (وظیفه دوست و همکاران ۲۰۰۸).

مواد آلی (مانند کمپوست) در کوتاه مدت، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود (مونتوررو ۲۰۱۰؛ لاولند و دیاکونو ۲۰۰۳؛ لنتز و لرش ۲۰۰۳؛ ادمیدس ۲۰۰۳).

مشخص شده است که محافظ‌های اسمز، آنتی‌اکسیدان‌ها، مولکول‌های سیگنال دهنده و عناصر کمیاب در کاهش آسیب ناشی از تنش در گیاهان موثر هستند (حسنوزمان و همکاران ۲۰۱۵). از محافظ‌های گیاهی خارجی می‌توان به عنوان یک روش امیدوار کننده دیگر در تحمل تنش استفاده کرد (فاروق و همکاران ۲۰۰۸). روی می‌تواند با بهبود سیستم‌های دفاعی (حسنوزمان و همکاران ۲۰۱۵)، پارامترهای رشد و اجزای عملکرد، آسیب ناشی از تنش را به طور موثر کاهش دهد (تالوت و همکاران ۲۰۰۶). کمبود روی، کارایی مصرف آب و تولید زیست توده را کاهش می‌دهد (خان و همکاران ۲۰۰۴). سیلیکون میل زیادی برای ترکیب با اکسیژن دارد که به عنوان سیلیس یا سیلیکات غیر قابل دسترس می‌شود. استفاده خارجی از سیلیکون، به عنوان عنصری غیر ضروری، باعث رشد گیاه می‌شود. رسوب سیلیکون در کوتیکول‌ها یا سلول‌های اندودرمال می‌تواند روی کاهش آب در بافت گیاه تأثیر گذاشته و منجر به کاهش اتلاف آب شود (سنگستر و همکاران ۲۰۰۱). سیلیکون با بهبود جذب مواد مغذی و انتقال مواد غذایی، اثرات خشکسالی را نیز کاهش می‌دهد (آنه ۲۰۱۸؛ آرتیزاک و همکاران ۲۰۲۱).

گلاسیسین بتائین، یک مولکول آلی محلول در آب، به عنوان یک ماده محافظ گیاهی، از طریق تنظیم اسمز، تثبیت پروتئین، محافظت از دستگاه فتوسنتز و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن از سلول‌های گیاه محافظت می‌کند (اشرف و فولاد ۲۰۰۷؛ حسنوزمان و همکاران ۲۰۱۵). اسید اسکوربیک، به عنوان یک بافر ردوکس در سلول‌های گیاهی، با محافظت از غشای پلازما در برابر

طراحی آزمایش

این مطالعه به صورت آزمایش اسپلیت- پلات فاکتوریل بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. کرت‌های اصلی شامل آبیاری در ۳۰، ۵۰، ۷۰ (آبیاری نرمال) و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود که پس از آخرین بارندگی در دو سال زراعی اعمال شد. کرت‌های فرعی شامل دو سطح از ورمی‌کمپوست (صفر و ۷ تن در هکتار) و محافظ‌های گیاهی (آب مقطر به عنوان شاهد، روی (۵ میکرومول)، سیلیکون (۴ میلی مول)، گلیسین بتائین (۴ میلی مول) و اسید اسکوربیک (۰/۵ میلی مول) بود. از محافظ‌های گیاهی به صورت

محلول پاشی در دو مرحله استفاده شد. اولین کاربرد در مرحله ۱۶ برگی و نوبت دوم ۲ هفته پس از تیمار تنش خشکی (مرحله ۲۴ برگی) بود. بذور چغندر قند (رقم ایزابلا تولید شرکت KWS آلمان) در هفتم فروردین ماه با فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر و ۱۸ سانتی‌متر (به ترتیب بین ردیف و روی ردیف) به عمق ۲/۵ سانتی‌متر کاشت شدند. هر کرت شامل ۲۰ ردیف به طول ۶ متر بود. ورمی‌کمپوست قبل از کاشت بذور روی سطح خاک پخش شد و توسط کولتیواتور با خاک اختلاط یافت. برای جلوگیری از هرگونه رقابت، کرت‌ها با فاصله ۳ متر از هم قرار گرفتند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش و نتایج تجزیه کود ورمی‌کمپوست

عمق خاک	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (g.cm ⁻³)	نقطه پژمردگی (Wt%)	ظرفیت زراعی (Wt%)	درصد اشباع	اسیدیته	آهک (%)	کربن آلی (%)	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	نیترژن کل (%)
۰ - ۳۰	لوم رسی سیلتی	۱/۳۰	۹/۹۵	۲۴/۵۸	۵۲	۷/۵	۴	۱/۲۲	۰/۶۲	۰/۱۲
۶۰ - ۳۰	لوم رسی سیلتی	۱/۳۴	۱۰/۴۲	۲۴/۵۹	۵۱	۷/۵	۴/۲	۱/۱۸	۰/۶۳	۰/۱۲
۹۰ - ۶۰	لوم رسی سیلتی	۱/۳۸	۹/۹۸	۲۴/۳۱	۵۲	۷/۴	۴/۵	۱/۱۵	۰/۶۵	۰/۱۳
-	-	-	-	-	-	۷/۸	-	۱۶/۸	۲/۶۵	۱/۳۷

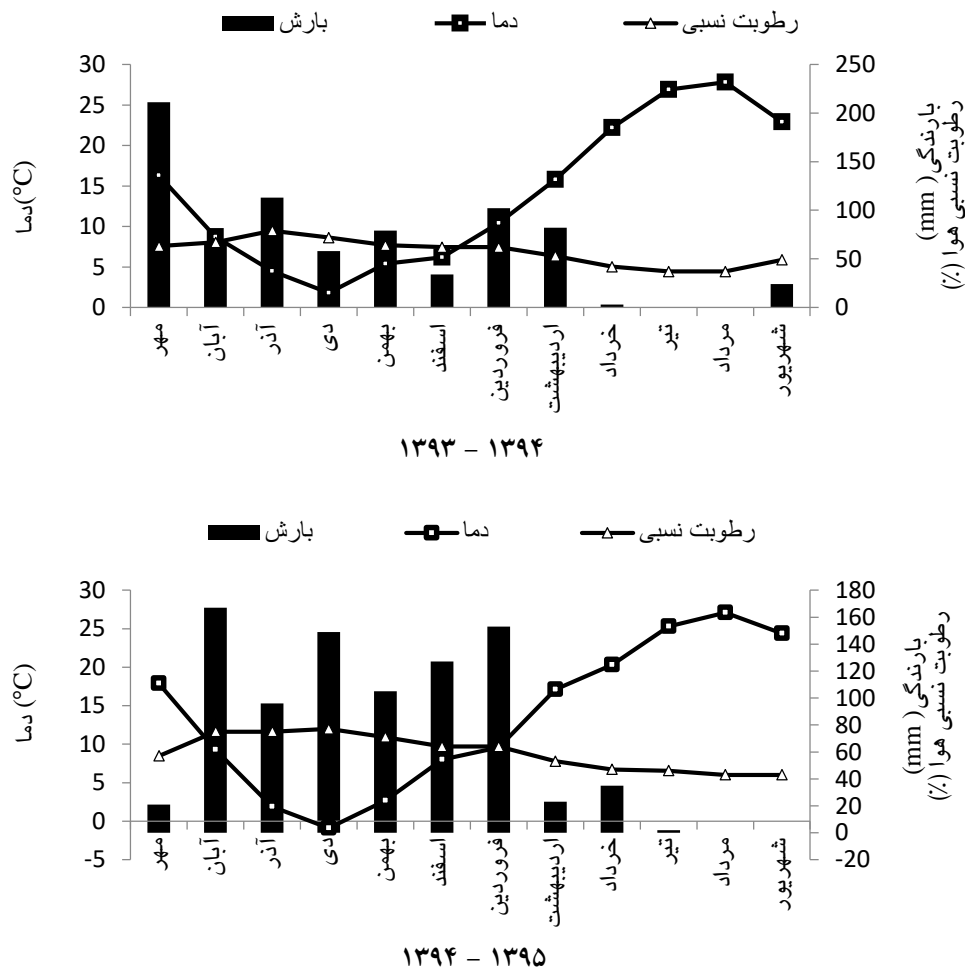
ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه عناصر خاک محل آزمایش و کود ورمی‌کمپوست

فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس	منیزیم
۱۸/۳	۳۱۰	۱۰/۵۰	۸/۳۷	۱/۸۲	۱/۶۲	-
۱۷/۱	۳۰۲	۸/۳۵	۵/۴۲	۱/۷۹	۱/۴۵	-
۱۵/۲	۲۹۷	۶/۱۱	۵/۰۸	۱/۵۲	۱/۳۲	-
۷۹۰۰	۱۲۲۰۰	۳۴۰۰	۳۹۴	۱۶۰	۱۴/۵	۶۳۰۰

(mg.kg⁻¹)

خاک

ورمی‌کمپوست



شکل ۱- بارندگی، میانگین دما و رطوبت نسبی هوای ماهانه طی دو سال زراعی در منطقه محل آزمایش

$$VN = [(FC-WP) \times BD \times D \times (1-ASM) \times A] / (100)$$

VN آب آبیاری مورد نیاز قبل از آبیاری بر اساس مترمکعب است. FC ظرفیت زراعی (%), WP نقطه پژمردگی (%), BD جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3), D عمق توسعه ریشه (m), ASM رطوبت خاک موجود قبل از آبیاری و A مساحت مزرعه (متر مربع) است.

جبران آب آبیاری (I_{rc}) برای مصرف آب گیاهان (ET) (%) بر اساس مقادیر آب آبیاری (IW) محاسبه شد. (هاول و همکاران، ۱۹۹۰). I_{rc} برای ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ درصد ظرفیت زراعی ۰/۷۸، ۰/۶۷، ۰/۶۶/۸۵ و

محاسبه آب آبیاری

آب مورد نیاز برای آبیاری، مقدار آب برای جبران کمبود رطوبت خاک ۸۲۵۰، ۶۱۷۱، ۴۶۸۰ و ۲۶۲۰ متر مکعب در هکتار (در سال اول) و ۸۶۲۵، ۶۷۳۲، ۵۶۱۶ و ۳۹۳۰ متر مکعب در هکتار (در سال دوم) به ترتیب برای آبیاری در ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی استفاده شد (بنامی و آفن ۱۹۸۴).

آبیاری با استفاده از آبیاری بارانی و براساس نمونه‌های خاک گرفته شده از اعماق خاک در ارتفاع ۳۰ و ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری در هر کرت در مرحله قبل از آبیاری انجام شد.

آب آبیاری مورد نیاز قبل از آبیاری با استفاده از روش بنامی و آفن (۱۹۸۴) به طریق زیر محاسبه گردید:

کیلوگرم، A_{ML} مساحت میکروولایسیمتر و P بارندگی بر حسب میلی متر است.

تفاوت بین تبخیر و تبخیر و تعرق به عنوان تعرق در نظر گرفته شد (فلامیگنان و همکاران ۲۰۱۲).

کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب (WUE)^۱، کارایی مصرف آبیاری (IUE)^۲ و کارایی مصرف تعرق (TUE)^۲ با تقسیم عملکرد بر مقدار آب مورد استفاده در طول فصل رشد (آب آبیاری + بارندگی فصل رشد)، آب آبیاری اعمال شده و آب تعرق یافته، به ترتیب و از طریق معادلات زیر بدست آمد:

۰.۳/۵۳٪ (برای سال اول) و ۰.۱۲/۸۰٪، ۰.۸۷/۷۵٪، ۰.۴۰/۷۲٪ و ۰.۷۴/۶۴٪ (برای سال دوم) بود.

$$I_{rc} = I_w / ET \times 100$$

محاسبه تبخیر و تعرق

تبخیر و تعرق (ET) بر اساس تغییرات رطوبت خاک در سه پروفایل (۰ تا ۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متر عمق) اندازه گیری شد. تبخیر میکروولایسیمتر (EML) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$E_{ML} = (DM_{ML} / A_{ML}) + P$$

E_{ML} تبخیر خاک با میکروولایسیمتر بر حسب میلی

متر، DM_{ML} تفاوت جرم میکروولایسیمتر بر حسب

جدول ۲- معادلات کارایی مصرف آب

WUE	IUE	TUE
$WUE_{RY} = \frac{RY}{W}$	$IUE_{RY} = \frac{RY}{IW}$	$TUE_{RY} = \frac{RY}{T}$
$WUE_{SY} = \frac{SY}{W}$	$IUE_{SY} = \frac{SY}{IW}$	$TUE_{SY} = \frac{SY}{T}$
$WUE_{WSY} = \frac{WSY}{W}$	$IUE_{WSY} = \frac{WSY}{IW}$	$TUE_{WSY} = \frac{WSY}{T}$
$WUE_{Bio} = \frac{Bio}{W}$	$IUE_{Bio} = \frac{Bio}{IW}$	$TUE_{Bio} = \frac{Bio}{T}$

کیلوگرم در هکتار) با ضرب عملکرد ریشه (کیلوگرم در هکتار) و محتوای ساکارز محاسبه شد (رینفیلد و همکاران ۱۹۷۴). عملکرد ماده خشک [بیوماس بر حسب کیلوگرم در هکتار] شامل وزن خشک برگ و ریشه بود.

محتوای نسبی آب (RWC)^۴

محتوای نسبی آب برگ از وزن تر (FW)، وزن آماس (TW) و وزن خشک (DW) از ۶ دیسک برگ تعیین شد. برگها به طور تصادفی از هر کرت انتخاب شدند و بلافاصله وزن شدند و سپس در آب مقطر غوطه ور شدند. پس از ۲۴ ساعت برگها وزن شدند و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند (لویت ۱۹۸۰).

$$RWC (\%) = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

RY عملکرد ریشه (کیلوگرم در هکتار)، W آب مورد استفاده در طول فصل رشد (آب آبیاری + بارندگی فصل رشد) (مترمکعب در هکتار)، SY عملکرد قند (کیلوگرم در هکتار)، WSY عملکرد قند سفید (کیلوگرم در هکتار)، Bio بیوماس (کیلوگرم در هکتار)، IW آب آبیاری بکار رفته (مترمکعب در هکتار) و T تعرق (مترمکعب در هکتار) است.

تعیین عملکرد

گیاهان چغندر قند در سوم آبان هر دو سال از ۸ متر مربع به طور کامل برداشت و برگ و ریشه جدا شدند. آن‌ها در مزرعه (ریشه و برگ) توزین شده و سپس در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. نمونه‌ها در دمای ۱۸ درجه سانتی گراد زیر صفر نگهداری شدند تا زمانی که میزان ساکارز اندازه گیری شد. عملکرد قند (SY)،

³ Transpiration use efficiency

⁴ Relative water content

¹ Water use efficiency

² Irrigation use efficiency

تحلیل آماری

تجزیه واریانس مرکب (هر دو سال) برای داده‌های دو ساله با استفاده از روش GLM انجام شد (SAS 9.1.3, USA, NC, Cary, SAS Institute Inc). مقایسات میانگین با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار انجام شد.

نتیجه و بحث

تجزیه واریانس اثرات معنی‌دار آبیاری، ورمی کمپوست و محافظ‌های گیاهی را روی وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام‌های هوایی نشان داد. در این مطالعه اثرات معنی‌دار ورمی کمپوست روی عملکرد قند سفید و عملکرد قند را نیز مشاهده شد. اثرات متقابل آبیاری × ورمی کمپوست روی کارایی مصرف آب (عملکرد قند، عملکرد قند سفید) و کارایی مصرف تعرق عملکرد قند، کارایی مصرف تعرق (بیوماس، عملکرد قند سفید)، کارایی مصرف آبیاری بیوماس و کارایی مصرف آب بیوماس و همچنین آبیاری × محافظ‌های گیاهی روی عملکرد قند سفید، عملکرد قند، کارایی مصرف آب (عملکرد قند و عملکرد قند سفید)، کارایی مصرف تعرق (عملکرد قند، بیوماس و عملکرد قند سفید)، کارایی مصرف آبیاری بیوماس و کارایی مصرف آب بیوماس معنی‌دار بود و آبیاری × ورمی کمپوست × محافظ‌های گیاهی روی محتوای نسبی آب، کارایی مصرف آبیاری (عملکرد ریشه و عملکرد قند)، کارایی مصرف آب عملکرد ریشه، کارایی مصرف آبیاری عملکرد قند سفید و کارایی مصرف تعرق عملکرد ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴).

عملکرد ریشه و قند

عملکرد ریشه در گیاهان آبیاری شده در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی از سایر سطوح آبیاری بالاتر بود (جدول ۳). وزن خشک ریشه در گیاهان بوسیله تنش آب کاهش یافت. در مقایسه با شرایط خشکی، وزن خشک اندام‌های هوایی تا ۲۸٪ تحت شرایط آبیاری نرمال افزایش یافت. وزن خشک اندام‌های هوایی در شرایط محلول‌پاشی محافظ‌های گیاهی آلی (گلیسین بتائین و اسید آسکوربیک) در بالاترین مقدار خود قرار داشت و کم‌ترین مقادیر برای گیاهان شاهد مشاهده شد. گیاهان

محلول‌پاشی شده با محافظ‌های گیاهی معدنی (روی و سیلیکون) در حد بینابین قرار داشتند که تفاوت آماری بین دو محافظ معدنی وجود نداشت. عملکرد و وزن خشک ریشه‌ها بوسیله کاربرد محافظ‌های گیاهی افزایش یافت. همچنین، ما مشاهده کردیم که ورمی کمپوست بر روی عملکرد ریشه، عملکرد قند، عملکرد قند سفید، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام‌های هوایی اثر مثبت داشت (جدول ۴). توپاک و همکاران (۲۰۱۱) و حقوردی و همکاران (۲۰۱۷) نیز نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند. بالاترین عملکرد قند ۱۵۵۹۹/۹ کیلوگرم در هکتار در ۷۰٪ ظرفیت زراعی و اثر متقابلش با گلیسین بتائین بدست آمد که تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها در این آبیاری وجود نداشت. طبق نتایج، می‌توان دریافت که برای حصول حداکثر عملکرد نیاز به شرایط بدون تنش است. عملکرد قند در گیاهان محلول‌پاشی شده از گیاهان شاهد در همه تیمارها بالاتر بود که این تفاوت در شرایط تنش آب واضح‌تر بود (جدول ۶).

ارتباط مستقیم عملکرد قند سفید با عملکرد ریشه، منجر به کاهش عملکرد قند سفید با افزایش شدت تنش گردید. عملکرد قند سفید بوسیله محافظ‌های گیاهی آلی و معدنی در هر چهار سطح آبیاری به طور مثبت تحت تاثیر قرار گرفت که در گیاهان محلول‌پاشی شده با محافظ‌های گیاهی نسبت به شاهد برتری وجود داشت (جدول ۶).

محتوای نسبی آب (RWC)

کاهش در محتوای نسبی آب با افزایش تنش مشاهده شد. بالاترین محتوای نسبی آب در ۹۰٪ ظرفیت زراعی (۸۴/۱۳ درصد) مشاهده شد که به دنبال آن تیمارهای آبیاری شده در ۷۰٪ (۸۰/۱۷ درصد) و ۵۰٪ (۶۹/۹۰ درصد) و در نهایت ۳۰٪ (۴۳/۷۰ درصد) قرار داشتند. هر دو محافظ‌های گیاهی آلی و معدنی منجر به افزایش محتوای نسبی آب گردیدند (با برتری محافظ‌های گیاهی آلی). اثر سودمندی تیمارها روی محتوای نسبی آب در شرایط تنش مشهودتر بود. کاربرد ورمی کمپوست اثر معنی‌دار روی محتوای نسبی آب نداشت (با صرف نظر از سطح آبیاری و محافظ‌های گیاهی) (جدول ۵). در این مطالعه تنش خشکی باعث کاهش RWC شد، اما

کارایی مصرف آب (عملکرد قند، عملکرد قند سفید و بیوماس) در ۷۰ و ۹۰٪ ظرفیت زراعی غیرمعنی‌دار بود. تفاوت معنی‌دار بین گیاهان تحت ورمی‌کمپوست و شاهد در شرایط تنش افزایش یافت (۳۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) (جدول ۷).

علی‌رغم عدم وجود اثر در ۹۰٪ ظرفیت زراعی، محافظ‌های گیاهی بویژه گلیسین بتائین کارایی مصرف آب بیوماس در گیاهان آبیاری شده در ۷۰ و ۳۰٪ ظرفیت زراعی را افزایش داد. صرف نظر از محافظ‌های گیاهی، گیاهان وقتی در معرض آب اضافی و کمبود آب قرار گرفتند کارایی مصرف آب بیوماس را کاهش دادند. به طوری که حداقل کارایی مصرف آب بیوماس (۱/۹۴) کیلوگرم در مترمکعب) در گیاهان تیمار نشده در ۳۰٪ ظرفیت زراعی بدست آمد و مصرف محافظ‌های گیاهی موجب افزایش معنی‌داری در آن شد (جدول ۶). افزایش کارایی مصرف آب با کاهش در دسترس بودن آب در چغندر قند گزارش شده است (السید و همکاران ۲۰۱۸؛ راینالدی و وونلا ۲۰۰۶؛ تامارا و همکاران ۲۰۱۷؛ توپاک و همکاران ۲۰۱۶). روندی مشابه نتایج به دست آمده توسط توپاک و همکاران (۲۰۱۶) مورد توجه قرار گرفت که آنها اظهار داشتند که WUE با کاهش مقدار آب قابل استفاده در آبیاری افزایش یافته است. کاهش رطوبت موجود در خاک منجر به کاهش هدایت روزنه‌ها می‌شود. با این حال، مشخص نیست که آیا این نتیجه مکانیسم محافظت از گیاه بوده است یا یک استراتژی حفاظت از آب گیاه (اوبر و همکاران ۲۰۰۵). جذب فتوسنتزی خالص به دنبال همان الگوی هدایت روزنه کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که بهبود WUE در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها است (تامارا و همکاران ۲۰۱۷). با این حال، تنش شدید اغلب منجر به کاهش در کارایی مصرف آب می‌شود (سونگ و همکاران ۲۰۱۰). انتظار می‌رود که بسته شدن روزنه‌ها ناشی از تنش خشکی، تعرق گیاه را کاهش داده و از این رو کارایی مصرف آب را افزایش دهد. با این وجود، محدودیت روزنه در انتشار CO₂ به کلروپلاست‌های گیاهان تحت تنش ممکن است تنش اکسیداتیو را در دستگاه فتوسنتزی ایجاد کند و در نتیجه منجر به کاهش وزن خشک گیاه شود (فاینی و همکاران

محلول‌پاشی سیلیکون توانست تنش آب را از طریق افزایش کارایی مصرف آب کاهش دهد و همچنین استفاده از سیلیکون در گیاهان تحت تنش، می‌تواند باعث کاهش نشت الکترولیت در بافت‌های گیاهی شود. این نشان می‌دهد که سیلیکون ممکن است پایداری غشاها در گیاهان تحت تنش خشکی را پشتیبانی کند (حسن‌زامن و همکاران ۲۰۱۵).

کارایی مصرف آب (WUE)

کارایی مصرف آب برای عملکرد ریشه در ۷۰٪ ظرفیت زراعی با صرف نظر از سایر تیمارها در بالاترین حد خود قرار داشت. هردوی آب اضافی و کم‌آبی منجر به کاهش کارایی مصرف آب عملکرد ریشه گردیدند. محافظ‌های گیاهی و ورمی‌کمپوست اثری روی کارایی مصرف آب عملکرد ریشه در ۷۰ و ۹۰٪ ظرفیت زراعی نداشتند. اما کارایی مصرف آب عملکرد ریشه بوسیله گلیسین بتائین در ۵۰٪ ظرفیت زراعی و بوسیله سیلیکون و گلیسین بتائین در ۳۰٪ ظرفیت زراعی به همراه کاربرد ورمی‌کمپوست به طور مثبت تحت تاثیر قرار گرفت. اثرپذیری همه محافظ‌های گیاهی در شرایط تنش مشهودتر بود (جدول ۵).

بین گیاهان محلول‌پاشی شده با محافظ‌های گیاهی و شاهد در کارایی مصرف آب عملکرد قند در ۹۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی برابری مشاهده شد، در حالی که برتری معنی‌دار کارایی مصرف آب عملکرد قند در گیاهان محلول‌پاشی شده با محافظ‌های گیاهی در ۷۰ و ۳۰٪ ظرفیت زراعی وجود داشت. حداکثر کارایی مصرف آب عملکرد قند در شرایط کاربرد محافظ‌های گیاهی در ۷۰٪ ظرفیت زراعی بدست آمد (به دلیل عملکرد قند بالاتر در این شرایط) (جدول ۶).

کارایی مصرف آب برای عملکرد قند سفید همانند کارایی مصرف آب برای عملکرد قند، بهترین کارایی را با ۱/۵۹ کیلوگرم در مترمکعب در شرایط آبیاری نرمال با استفاده از اسید آسکوربیک نشان داد. کاربرد همزمان محافظ‌های گیاهی با آب اضافی، تاثیر مثبتی روی این صفت نداشت و این سطح از آبیاری پایین‌ترین حد از داده‌ها را شامل شد (جدول ۶). تاثیر ورمی‌کمپوست روی

علی‌رغم تاثیر غیرمعنی‌دار محافظ‌های گیاهی در ۹۰٪ ظرفیت زراعی، کارایی مصرف آبیاری برای بیوماس در گیاهان محلول‌پاشی شده با محافظ‌های گیاهی در ۷۰٪ ظرفیت زراعی در بالاترین مقدار خود قرار داشت (به دلیل بیوماس بالاتر در شرایط آبیاری مطلوب). همچنین، این پاسخ مثبت به محافظ‌های گیاهی در ۵۰٪ ظرفیت زراعی با برتری روی و گلیسین بتائین و همچنین در ۳۰٪ ظرفیت زراعی با برتری گلیسین بتائین بود (جدول ۶). کارایی مصرف آبیاری بیوماس در هر دو شرایط کاربرد ورمی کمپوست و عدم کاربرد آن، در پاسخ به افزایش کمبود آب کاهش یافت (و همچنین در شرایط آب اضافی). در ۹۰٪ ظرفیت زراعی کاهش کارایی مصرف آبیاری بیوماس از شرایط تنش شدید (۳۰٪ ظرفیت زراعی) بیشتر بود. ورمی کمپوست منجر به بهبود کارایی مصرف آبیاری بیوماس تحت شرایط کمبود آب شد (جدول ۷).

کارایی مصرف تعرق (TUE)

کارایی مصرف تعرق برای عملکرد ریشه، عملکرد قند، عملکرد قند سفید و بیوماس با افزایش کمبود آب و همچنین آب اضافی کاهش یافت. سودمندی محافظ‌های گیاهی برای سیلیکون در ۷۰٪ ظرفیت زراعی، گلیسین بتائین در ۵۰٪ ظرفیت زراعی و همچنین سیلیکون، گلیسین بتائین و اسید آسکوربیک در ۳۰٪ ظرفیت زراعی معنی‌دار بود. اما محافظ‌های گیاهی روی کارایی مصرف تعرق عملکرد ریشه در ۷۰٪ ظرفیت زراعی موثر نبودند. این افزایش‌های معنی‌دار در حضور کمپوست بیشتر بهبود یافت (جدول ۵). آب اضافی (۹۰٪ ظرفیت زراعی) کارایی مصرف تعرق برای عملکرد قند، عملکرد قند سفید و بیوماس را تا ۴۰، ۳۸ و ۳۰٪ در گیاهان شاهد (محلول پاشی با آب مقطر) در مقایسه با آبیاری نرمال کاهش داد. رتبه بندی سطوح آبیاری برای کاهش کارایی مصرف تعرق به ترتیب زیر بود: ۷۰٪، ۵۰٪، ۳۰٪ و ۹۰٪ ظرفیت زراعی. اثرگذاری گلیسین بتائین برای کارایی مصرف تعرق عملکرد قند و عملکرد قند سفید با صرف نظر از آبیاری بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۶).

بنابراین، می‌توان استنباط کرد که نوعی اختلال غیر روزنه‌ای دستگاه فتوسنتزی همزمان با بسته شدن روزنه، احتمالاً منجر به کارایی مصرف آب کمتر در گیاهان تنش خشکی در آزمایش حاضر شده است.

کارایی مصرف آبیاری (IUE)

در هر دو شرایط کمبود آب و آب اضافی کارایی مصرف آبیاری (عملکرد قند، عملکرد ریشه و عملکرد قند سفید) در مقایسه با آبیاری نرمال پایین بود. همچنین گیاهان آبیاری شده در ۹۰٪ ظرفیت زراعی پایین‌ترین کارایی‌ها را نشان دادند (عملکرد قند، عملکرد ریشه و عملکرد قند سفید). کارایی مصرف آبیاری برای عملکرد ریشه، عملکرد قند و عملکرد قند سفید بوسیله انواع محافظ‌های گیاهی و همچنین ورمی کمپوست در ۹۰٪ ظرفیت زراعی تحت تاثیر قرار نگرفت. بالاترین داده‌ها در شرایط آبیاری در ۷۰٪ ظرفیت زراعی در گیاهان محلول‌پاشی شده با سیلیکون و اسید آسکوربیک به همراه ورمی کمپوست بدست آمد (جدول ۵).

کارایی مصرف آبیاری عملکرد قند از یک حداقلی با ۱/۲۴ کیلوگرم در مترمکعب در گیاهان شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) در شرایط کاربرد ورمی کمپوست در ۹۰٪ ظرفیت زراعی تا یک حداکثری با ۲/۶۱ کیلوگرم در مترمکعب در گیاهان تحت تیمار ورمی کمپوست و تیمار شده با گلیسین بتائین در ۳۰٪ ظرفیت زراعی قرار داشت (با برابری آبیاری در ۳۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی). ورمی کمپوست بر روی کارایی مصرف آبیاری در ۹۰٪ ظرفیت زراعی سودمندی نداشت (عملکرد ریشه، عملکرد قند و عملکرد قند سفید) در حالی که در شرایط تنش با استفاده از گلیسین بتائین در ۵۰٪ ظرفیت زراعی و با استفاده از سیلیکون و گلیسین بتائین در ۳۰٪ ظرفیت زراعی به حداکثر رسید (جدول ۵). روند مشابهی در کارایی مصرف آبیاری عملکرد ریشه، عملکرد قند و عملکرد قند سفید بدست آمد که دلیل آن مرتبط بودن این صفات با هم‌دیگر است. کاربرد گلیسین بتائین برای هر سه کارایی در ترکیب با ورمی کمپوست موثرتر بود (جدول ۵).

باعث کاهش عملکرد، در مقایسه با آبیاری کامل می‌شود (حقوقی و همکاران ۲۰۱۷).

محلول‌پاشی گلیسین بتائین باعث کاهش آهسته پتانسیل آب برگ در هنگام تنش خشکی شد و علائم پژمردگی بسیار دیرتر از گیاهان تیمار نشده ظاهر شدند که یک ویژگی بسیار مهم برای رشد گیاهان در شرایط کمبود آب است. علاوه بر این، تیمار گلیسین بتائین اثرات منفی کمبود آب بر جذب CO_2 و فلورسانس کلروفیل را کاهش داد در حالی که تأثیر کمی روی بیوماس داشت (اشرف و فولاد ۲۰۰۷). این اثرات ممکن است به دلیل شرایط آزمایشی یا اختلاف واقعی بین گونه‌های گیاهی و ژنوتیپ‌ها در پاسخ آنها به کاربرد گلیسین بتائین متفاوت باشد. در هر دو صورت، تحقیقات بیشتری برای بررسی اثرات گلیسین بتائین در گونه‌های گیاهی و در شرایط مختلف محیطی پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، در حال حاضر مکانیسمی که بتواند اثرات گلیسین بتائین را در سطح سلولی و مولکولی بررسی کند، کاملاً درک نشده است. مطالعات اخیر حاکی از آن است که محلول‌پاشی گلیسین بتائین در تنفس از طریق اثرات رقابتی با گلیسین در مرحله میتوکندریایی مسیر گلیکولات موثر است (سولپیس و همکاران ۲۰۰۲). افزایش محتوای گلیسین بتائین ممکن است اثرات محافظتی بیشتری در مراکز واکنش PSII در کلروپلاست‌ها داشته باشد که در نهایت ممکن است فعالیت فتوشیمیایی بالاتر PSII را حفظ کند (لی و همکاران ۲۰۱۳).

کاربرد سیلیکون باعث افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان شد. گیاهان محلول‌پاشی شده با سیلیکون در شرایط تولید ROS با بهبود فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز، تحمل بیشتری در برابر تنش‌های خشکی نشان دادند. علاوه بر این محتوای اسمولیتی و آنتی‌اکسیدانت‌های غیر آنزیمی را افزایش و فعالیت MDA را کاهش می‌دهد (یاهایا و همکاران ۲۰۱۸).

در پاسخ به محافظ‌های گیاهی افزایش ۶۲ درصدی کارایی مصرف تعرق بیوماس در گیاهان تیمار شده مشاهده شد زمانی که حداکثر (آبیاری شده در ۷۰٪ ظرفیت زراعی با استفاده از روی) و حداقل کارایی (آبیاری شده در ۳۰٪ ظرفیت زراعی با استفاده از آب مقطر) محافظ‌های گیاهی را مقایسه کردیم (جدول ۶). در تیمارهای آبیاری، حداکثر مقدار برای کارایی مصرف تعرق (عملکرد قند، عملکرد قند سفید و بیوماس) تحت آبیاری نرمال (٪ ظرفیت زراعی) بدست آمد در حالی که کمبود آب و آب اضافی کارایی را در گیاهان کاهش دادند (جدول ۶).

تحت شرایط خشکی، کارایی مصرف تعرق (عملکرد قند، عملکرد قند سفید و بیوماس) که بوسیله ورمی‌کمپوست بهبود یافت مقدار پایین‌تری از آبیاری نرمال داشت. اما کم‌ترین مقدار کارایی متعلق به گیاهان آبیاری شده در ۹۰٪ ظرفیت زراعی بود (جدول ۷). ترتیب کارایی مصرف به شرح زیر بود: $TUE > IUE > WUE$ ، زیرا مقدار کل آب مصرفی در طول فصل رشد بیشتر از میزان آب آبیاری بود و آب آبیاری بیشتر از آب تعرق یافته بود. تحقیقات مشابه نشان داد که بیشترین مقادیر مربوط به WUE و IUE در تیمارهای دارای بیشترین عملکرد، وابسته به سطح آب آبیاری است (کیامز و ارتک ۲۰۱۵؛ اوجان و گنج اولان ۲۰۰۴).

تنش کم آبی و آب اضافی باعث کاهش کارایی مصرف آبیاری (IUE_{SY} ، IUE_{RSY} و IUE_{WSY}) و کارایی مصرف تعرق برای عملکرد ریشه، عملکرد قند، عملکرد قند سفید و بیوماس در مقایسه با آبیاری ۷۰٪ ظرفیت زراعی شدند. بنابراین، گیاهان آبیاری شده در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی کمترین میزان کارایی آبیاری را در عملکرد قند نشان دادند. تعرق برگ باعث جذب محلول خاک حاوی مواد مغذی ضروری از طریق ریشه می‌شود (کلر ۲۰۰۵). قبلاً نیز نشان داده شده است که تنش کم آبی

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و کارایی مصرف آب چغندر قند

میانگین مربعات										درجه آزادی	منابع تغییر
WUE بیوماس	WUE عملکرد قدسین	WUE عملکرد قند	WUE عملکرد ریشه	محتوای نسبی آب	وزن خشک اندام‌های هوایی	وزن خشک ریشه	عملکرد قند سفید	عملکرد قند	عملکرد ریشه		
۱۱/۳۵**	۳/۳۰**	۴/۱۷**	۹۹/۳۲**	۱۳/۷۸**	۶۴۹۷۵۵۳**	۹۰۷۷۷۴۶۳**	۵۴۱۹۴۴۶*	۶۶۱۹۷۶۷۹**	۱۲۱۰/۵*	۱	سال (Y)
۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۷	۲/۴۹	۲۶/۷۵	۷۷۲۶۸	۸۰۲۳۹۴۸	۲۸۷۷۴۹۱	۳۷۶۵۷۹۲	۱۳۹/۱۹	۴	بلوک (R)
۱۳/۵۷**	۴/۴۲**	۵/۲۹**	۱۷۶/۸**	۱۷۴۸/۶**	۷۹۳۶۱۹۹۳**	۱۷۲۱۰۷۹۳۴۲**	۵۷۵۷۷۹۳۹۷**	۷۱۲۲۱۸۶۷۸**	۲۹۶۱۰/۴**	۳	آبیاری (I)
۱/۵۷**	۰/۲۸**	۰/۳۹**	۱۷/۰۷**	۳/۳۲ ^{NS}	۳۷۸۵۷۴*	۲۹۷۲۷۶۴۶**	۳۲۲۷۴۰۱ ^{NS}	۵۲۴۵۲۱۲*	۵۳۱/۷۱**	۳	Y×I
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۶۷	۲/۳۴	۳۴۷۰۱۳	۲۲۸۴۳۴۲	۱۲۳۵۳۳۰	۱۴۵۴۳۴	۳۹/۱۶	۱۲	بلوک (Y×I)
۰/۵۳**	۰/۱۳**	۰/۱۷**	۴/۰۱**	۴۳/۴۴**	۲۸۰۲۹۹۰**	۱۰۱۹۶۵۵۰۸**	۵۶۵۶۹۱۴**	۷۵۱۴۷۱۳**	۱۷۵/۱۰**	۱	ورمی کمپوست (V)
۰/۲۵**	۰/۱۷**	۰/۲۰**	۲/۳۱*	۴۴/۴۳**	۱۰۴۲۰۳۶**	۷۰۲۰۶۰۹**	۱۰۱۶۴۶۲۳**	۱۱۶۵۷۴۰۳**	۱۲۱/۵۱**	۴	محافظ (P)
۰/۰۰۶ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۶ ^{NS}	۳/۳۲**	۲۱۳۲۴۶ ^{NS}	۷۰۹۲۷ ^{NS}	۹۷۸۸۳ ^{NS}	۱۱۲۶۸۳ ^{NS}	۱/۲۱ ^{NS}	۴	V×P
۰/۰۰۷**	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۲*	۰/۶۶*	۲/۹۲*	۱۸۵۱۵۳ ^{NS}	۱۲۵۴۳۹۱ ^{NS}	۷۰۷۹۴۵ ^{NS}	۸۵۲۷۴۸ ^{NS}	۲۱/۵۵ ^{NS}	۳	I×V
۰/۰۰۴**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۲**	۰/۵۱**	۴/۲۱**	۱۱۳۳۰۴ ^{NS}	۹۶۱۰۶۹ ^{NS}	۵۸۳۴۸۵*	۷۲۵۰۳۹*	۱۶/۵۱ ^{NS}	۱۲	I×P
۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۴۲*	۲/۴۳**	۱۲۰۵۸۴ ^{NS}	۹۰۸۶۹ ^{NS}	۳۷۸۱۴۸ ^{NS}	۵۰۶۲۸۵ ^{NS}	۱۵/۵۴ ^{NS}	۱۲	I×V×P
۰/۱۲**	۰/۰۰۷ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۵۲ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۱۲۹۹۹۵۲**	۹۲۹۵۷۰ ^{NS}	۱۳۲۰۰۵ ^{NS}	۲۵۱۹۶۸ ^{NS}	۱۵/۵۰ ^{NS}	۱	Y×V
۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۵۳*	۰/۱۱ ^{NS}	۶۹۲۴۵ ^{NS}	۲۰۹۸۵۱۶**	۱۱۶۷۳۲۸**	۱۴۳۸۵۲۰**	۳۶/۷۴**	۴	Y×P
۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}	۰/۱۱ ^{NS}	۱/۱۲ ^{NS}	۱۳۶۷۳ ^{NS}	۸۴۰۸۹ ^{NS}	۸۹۸۹۱ ^{NS}	۱۰۳۴۸ ^{NS}	۱/۴۰ ^{NS}	۳	Y×I×V
۰/۰۰۹ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}	۰/۲۳ ^{NS}	۰/۰۰ ^{NS}	۱۰۶۸۰۷ ^{NS}	۸۷۱۱۵۱ ^{NS}	۲۸۰۴۴۷ ^{NS}	۳۳۹۵۴۳ ^{NS}	۱۴/۹۶ ^{NS}	۱۲	Y×I×P
۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۶ ^{NS}	۰/۰۰۸ ^{NS}	۰/۲۳ ^{NS}	۱/۱ ^{NS}	۱۴۴۰۰۳ ^{NS}	۴۰۹۸۷۳ ^{NS}	۱۸۵۶۰۹ ^{NS}	۲۵۸۹۶۰ ^{NS}	۷/۰۵ ^{NS}	۴	Y×V×P
۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۱*	۰/۴۳*	۱/۲۲ ^{NS}	۱۴۳۶۵۳ ^{NS}	۸۳۴۷۴۴ ^{NS}	۴۶۶۰۷۳ ^{NS}	۵۸۳۹۰۰ ^{NS}	۱۴/۲۷ ^{NS}	۱۲	Y×I×V×P
۰/۰۱۴۴	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۸	۰/۲۱۲	۰/۷۸۹	۱۳۸۴۱۱	۵۹۳۳۲۴	۳۲۲۱۳۳	۳۹۶۹۸۴	۱۰/۱۸	۱۴۴	خطا

NS، * و ** به ترتیب غیرمعنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس کارایی مصرف آبیاری و تعرق چغندر قند

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییر
TUE بیوماس	TUE عملکرد قند سفید	TUE عملکرد قند	TUE عملکرد ریشه	IUE بیوماس	IUE عملکرد قند سفید	IUE عملکرد قند	IUE عملکرد ریشه		
۴۳/۹۷**	۱۲/۷۸**	۱۶/۱۵**	۳۸۴/۵۲**	۵۹/۲۳**	۱۵/۹۶**	۲۰/۳۹**	۵۲۲/۴۴**	۱	سال (Y)
۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۲۹	۹/۶۶	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۱۸	۵/۴۷	۴	بلوک (R)
۵۲/۵۵**	۱۷/۱۲**	۲۰/۴۹**	۶۸۴/۶۰**	۲۵/۷۵**	۹/۵۹**	۱۱/۷۸**	۲۷۱/۰۳**	۳	آبیاری (I)
۶/۱۱**	۱/۰۹**	۱/۵۲**	۶۶/۰۹**	۱۰/۴۱**	۲/۳۳**	۳/۱۰**	۹۷/۴۹**	۳	Y×I
۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۱	۲/۶۰	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷	۱/۶۳	۱۲	بلوک (Y×I)
۲/۰۸**	۰/۵۰**	۰/۶۶**	۱۵/۵۳**	۱/۳۹**	۰/۳۳**	۰/۴۳**	۱۰/۱۶**	۱	ورمی کمپوست (V)
۰/۹۸**	۰/۶۸**	۰/۷۸**	۸/۹۴**	۰/۵۸**	۰/۳۸**	۰/۴۴**	۵/۲۷**	۴	محافظ (P)
۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۲۳ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۳۳ ^{NS}	۴	V×P
۰/۳۰**	۰/۰۰۹*	۰/۱۱*	۲/۵۵**	۰/۲۸**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۹**	۲/۰۴*	۳	I×V
۰/۱۷**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۸**	۱/۹۷**	۰/۱۳**	۰/۰۴**	۰/۰۰۶**	۱/۵۰**	۱۲	I×P
۰/۰۰۹ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}	۱/۶۳*	۰/۰۰۷ ^{NS}	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۴*	۱/۲۹*	۱۲	I×V×P
۰/۵۰**	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	۲/۰۰۲ ^{NS}	۰/۴۱**	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}	۱/۸۱ ^{NS}	۱	Y×V
۰/۱۱ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۷ ^{NS}	۲/۰۰۵*	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۸۲ ^{NS}	۴	Y×P
۰/۱۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۴۳ ^{NS}	۰/۱۳*	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۵۴ ^{NS}	۳	Y×I×V
۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۹۱ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۵۰ ^{NS}	۱۲	Y×I×P
۰/۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۸۹ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۸۲ ^{NS}	۴	Y×V×P
۰/۱۰ ^{NS}	۰/۰۰۵*	۰/۰۰۶*	۱/۶۹*	۰/۰۰۷*	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۵**	۱/۳۹**	۱۲	Y×I×V×P
۰/۰۰۵۶۰	۰/۰۰۲۵۲	۰/۰۰۳۲۰	۰/۸۲۴۳	۰/۰۰۳۹۷	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲۲	۰/۵۸۰	۱۴۴	خطا

NS، * و ** به ترتیب غیرمعنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات آبیاری، ورمی کمپوست و محافظ‌های گیاهی روی عملکرد و کارایی مصرف آب چغندر قند

تیمارها	عملکرد ریشه	عملکرد قند	عملکرد قند سفید	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام‌های هوایی	محتوای نسبی آب (%)	WUE عملکرد ریشه	WUE عملکرد قند	WUE عملکرد قند سفید	WUE بیوماس
	(kg.m ⁻³)						(kg.ha ⁻¹)			
آبیاری										
۹۰٪ ظرفیت زراعی	۶۱۸۱۰ b	۱۱۳۵۰/۵ b	۹۸۸۲/۳ b	۱۷۳۱۰/۷ b	۵۷۵۰/۱ b	۸۴/۴۷ a	۶/۷۳ c	۱/۰۶ d	۰/۹۲ d	۲/۱۶ c
۷۰٪ ظرفیت زراعی	۸۶۲۸۰ a	۱۵۰۲۸/۹ a	۱۳۳۶۷/۴ a	۲۰۷۸۸/۰ a	۶۱۵۸/۰ a	۸۲/۰۵ b	۹/۹۳ a	۱/۷۳ a	۱/۵۴ a	۳/۱۰ a
۵۰٪ ظرفیت زراعی	۶۳۳۰۰ c	۱۱۰۸۲/۱ b	۹۷۰۵/۶ b	۱۵۲۵۷/۱ c	۵۳۴۳/۸ c	۷۲/۳۹ c	۸/۶۲ b	۱/۵۱ b	۱/۳۲ b	۲/۸۰ b
۳۰٪ ظرفیت زراعی	۳۳۵۸۰ d	۶۶۱۲/۵ c	۵۷۸۷/۷ c	۸۰۹۶/۱ d	۳۵۴۸/۶ d	۴۷/۱۳ d	۶/۲۲ d	۱/۲۲ c	۱/۰۷ c	۲/۱۵ c
LSD(0.05)	۲۴۸۹	۴۷۹/۷۶	۴۴۲/۱۵	۶۰/۱۲۳	۲۳۴/۳۳	۰/۶۰۸۷	۰/۳۲۶۱	۰/۰۶۹۷	۰/۰۶۴۵	۰/۰۷۵۸
ورمی کمپوست										
شاهد	۶۲۸۹۰ b	۱۰۸۴۱/۵۵ b	۹۵۳۲/۴۵ b	۱۵۱۵۷/۰۹ b	۵۰۹۲/۰ b	۷۱/۰۹ b	۷/۷۵ b	۱/۳۵ b	۱/۱۹ b	۲/۵۱ b
۷ تن در هکتار	۶۴۶۰۰ a	۱۱۱۹۵/۴۵ a	۹۸۳۹/۵۰ a	۱۵۵۶۹/۳۳ a	۵۲۰۸/۲ a	۷۱/۹۴ a	۸/۰۱ a	۱/۴۰ a	۱/۲۳ a	۲/۶۰ a
LSD(0.05)	۸۱۴	۱۶۰/۷۸	۱۴۴/۸۲	۱۹۶/۵۵	۹۴/۹۳	۰/۲۲۶۸	۰/۱۱۷۷	۰/۰۲۳۲	۰/۰۲۰۶	۰/۰۳۰۷
محافظ‌های گیاهی										
آب مقطر	۶۱۰۴۰ b	۱۰۲۷۵/۷ d	۹۰۰۱/۱ d	۱۴۷۱۳/۱ b	۴۹۷۷/۰ c	۶۹/۹۸ c	۷/۵۱ c	۱/۲۸ d	۱/۱۲ c	۲/۴۳ c
روی	۶۴۴۷۰ a	۱۱۰۲۲/۶ c	۹۶۹۲/۵ c	۱۵۵۳۹/۳ a	۵۱۹۹/۴ b	۷۱/۴۶ b	۷/۹۷ ab	۱/۳۸ bc	۱/۲۱ bc	۲/۵۷ b
سیلیکون	۶۳۹۳۰ a	۱۰۹۰۶/۸ c	۹۵۶۹/۷ c	۱۵۴۰۹/۸ a	۵۱۷۳/۲ b	۷۱/۴۵ b	۷/۹۰ b	۱/۳۶ c	۱/۲۰ c	۲/۵۵ b
گلابسین بتائین	۶۵۲۰۰ a	۱۱۵۹۴/۶ a	۱۰۲۳۹/۲ a	۱۵۷۱۴/۴ a	۵۳۷۵/۰ a	۷۲/۳۸ a	۸/۱۰ a	۱/۴۶ a	۱/۲۹ a	۲/۶۳ a
اسید آسکوربیک	۶۴۰۶۰ a	۱۱۲۹۲/۹ b	۹۹۲۷/۵ b	۱۵۴۳۹/۵ a	۵۲۷۵/۸ ab	۷۲/۲۹ a	۷/۹۰ b	۱/۴۱ b	۱/۲۴ b	۲/۵۷ b
LSD(0.05)	۱۲۸۷	۲۵۴/۲۱	۲۲۸/۹۹	۳۱۰/۷۸	۱۵۰/۱	۰/۳۵۸۶	۰/۱۸۶۲	۰/۰۳۶۷	۰/۰۳۲۶	۰/۰۴۸۵

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات آبیاری، ورمی کمپوست و محافظ‌های گیاهی روی کارایی مصرف آبیاری و تعرق چغندر قند (کیلوگرم در مترمکعب)

تیمارها	عملکرد ریشه	عملکرد قند	عملکرد قند سفید	عملکرد بیوماس	عملکرد ریشه	عملکرد قند	عملکرد قند سفید	عملکرد بیوماس
	TUE			IUE				
آبیاری								
۹۰٪ ظرفیت زراعی	۸/۵۲ d	۱/۳۴ c	۱/۱۷ c	۲/۷۳ d	۱۳/۲۵ c	۲/۰۹ d	۱/۸۲ d	۴/۲۵ c
۷۰٪ ظرفیت زراعی	۱۲/۳۸ a	۲/۳۳ a	۲/۰۷ a	۴/۱۸ a	۱۹/۵۵ a	۳/۴۰ a	۳/۰۳ a	۶/۱۰ a
۵۰٪ ظرفیت زراعی	۱۲/۴۵ b	۲/۱۸ b	۱/۱۹ b	۴/۰۵ b	۱۶/۹۷ b	۲/۹۷ b	۲/۶۰ b	۵/۵۲ b
۳۰٪ ظرفیت زراعی	۱۰/۷۸ c	۲/۱۳ b	۱/۸۷ b	۳/۷۶ c	۱۲/۲۴ d	۲/۴۰ c	۲/۱۰ c	۴/۲۴ c
LSD(0.05)	۰/۵۰۸	۰/۱۱۲۱	۰/۱۰۴۱	۰/۱۱۵	۰/۶۴۱۷	۰/۱۳۷۱	۰/۱۲۶۹	۰/۱۴۹۱
ورمی کمپوست								
شاهد	۱۱/۱۰ b	۱/۹۵ b	۱/۷۲ b	۳/۶۰ b	۱۵/۲۵ b	۲/۶۶ b	۲/۳۴ b	۴/۹۳ b
۷ تن در هکتار	۱۱/۵۱ a	۲/۰۴ a	۱/۷۹ a	۳/۷۶ a	۱۵/۷۶ a	۲/۷۷ a	۲/۴۳ a	۵/۱۲ a
LSD(0.05)	۰/۱۹۴۵	۰/۰۳۸۲	۰/۰۳۳۷	۰/۰۵۰۸	۰/۲۳۱۷	۰/۰۴۵۷	۰/۰۴۰۶	۰/۰۶۰۴
محافظ‌های گیاهی								
آب مقطر	۱۰/۷۷ c	۱/۸۵ d	۱/۶۲ d	۳/۵۰ c	۱۴/۷۹ c	۲/۵۳ d	۲/۲۱ d	۴/۸۰ c
روی	۱۱/۴۳ ab	۱/۹۹ bc	۱/۷۵ bc	۳/۷۱ b	۱۵/۶۸ ab	۲/۷۱ bc	۲/۳۹ bc	۵/۰۷ b
سیلیکون	۱۱/۳۴ b	۱/۹۸ c	۱/۷۳ c	۳/۶۸ b	۱۵/۵۴ b	۲/۶۹ c	۲/۳۶ c	۵/۰۳ b
گلابسین بتائین	۱۱/۶۷ a	۲/۱۲ a	۱/۸۷ a	۳/۸۱ a	۱۵/۹۵ a	۲/۸۷ a	۲/۵۴ a	۵/۱۹ a
اسید آسکوربیک	۱۱/۳۳ b	۲/۰۴ b	۱/۷۹ b	۳/۷۰ b	۱۵/۵۵ b	۲/۷۸ b	۲/۴۴ b	۵/۰۶ b
LSD(0.05)	۰/۳۰۷۵	۰/۰۶۰۴	۰/۰۵۳۳	۰/۰۸۰۴	۰/۳۶۶۳	۰/۰۷۲۳	۰/۰۶۴۲	۰/۰۹۵۵

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی خصوصیات فیزیولوژیکی تحت تاثیر آبیاری × محافظ‌های گیاهی

آبیاری	محافظ	ورمی - کمپوست (t.ha ⁻¹)	محتوای نسبی آب (%)	WUE عملکرد ریشه	IUE عملکرد ریشه	IUE عملکرد قند	IUE عملکرد قند سفید	TUE عملکرد ریشه	
٪۹۰ ظرفیت زراعی	آب مقطر	۰	۸۴/۱۳ bc	۶/۴۵ j-m	۸/۱۷ o	۱/۲۴ m	۱/۰۷ n	۱۲/۷۰ j-m	
	روی	۰	۸۴/۰۶ bcd	۶/۷۹ j	۸/۶۰ no	۱/۳۳ lm	۱/۱۶ mn	۱۳/۳۸ j	
	سیلیکون	۷	۸۳/۱۹ c-f	۶/۷۰ jkl	۸/۴۸ o	۱/۳۱ lm	۱/۱۴ mn	۱۳/۱۹ jkl	
	گلايسين بتائين	۰	۸۴/۳۴ b	۶/۸۳ ij	۸/۶۵ no	۱/۳۴ lm	۱/۱۶ mn	۱۳/۴۴ ij	
	اسید آسکوربیک	۷	۸۳/۴۴ b-e	۶/۸۱ j	۸/۶۳ no	۱/۳۳ lm	۱/۱۶ mn	۱۲/۴۱ j	
		۰	۸۴/۲۸ b	۶/۸۰ j	۸/۶۰ no	۱/۴۱ lm	۱/۲۴ m	۱۲/۳۸ j	
		۷	۸۶/۳۳ a	۶/۷۲ jkl	۸/۵۱ o	۱/۳۹ lm	۱/۲۲ mn	۱۳/۲۲ jkl	
		۰	۸۴/۱۵ bc	۶/۷۵ jk	۸/۵۴ o	۱/۳۸ lm	۱/۲۰ mn	۱۳/۲۸ jk	
		۷	۸۶/۵۷ a	۶/۸۷ ij	۸/۷۰ no	۱/۴۲ l	۱/۲۳ m	۱۳/۵۳ ij	
	٪۷۰ ظرفیت زراعی	آب مقطر	۰	۸۰/۱۷ h	۹/۴۰ cd	۱۲/۶۷ c-h	۲/۱۳ ghi	۱/۸۹ hij	۱۸/۵۱ cd
		روی	۰	۸۱/۰۴ h	۹/۷۳ bc	۱۳/۱۱ a-f	۲/۲۲ d-i	۱/۹۷ c-j	۱۹/۱۵ bc
		سیلیکون	۷	۸۲/۰۷ g	۹/۹۰ abc	۱۳/۳۳ a-d	۲/۳۳ b-e	۲/۰۸ b-e	۱۹/۴۸ abc
گلايسين بتائين		۰	۸۲/۲۸ fg	۱۰/۲۸ a	۱۳/۸۵ a	۲/۳۸ bcd	۲/۱۱ bcd	۲۰/۲۴ a	
اسید آسکوربیک		۷	۸۲/۱۹ fg	۹/۹۴ ab	۱۳/۳۹ abc	۲/۳۰ b-g	۲/۰۴ b-h	۱۹/۵۶ ab	
		۰	۸۲/۵۱ efg	۹/۸۶ abc	۱۳/۲۸ a-e	۲/۳۲ b-f	۲/۰۷ b-f	۱۹/۴۰ abc	
		۷	۸۲/۴۸ efg	۱۰/۰۲ ab	۱۳/۵۱ abc	۲/۴۰ bc	۲/۱۴ ab	۱۹/۷۵ ab	
		۰	۸۳/۰۶ d-g	۹/۹۷ ab	۱۳/۴۳ abc	۲/۳۸ bcd	۲/۱۲ bc	۱۹/۶۳ ab	
		۷	۸۲/۲۸ fg	۱۰/۰۰ ab	۱۳/۴۶ abc	۲/۳۹ bcd	۲/۱۲ bc	۱۹/۶۷ ab	
		۰	۸۲/۴۲ fg	۱۰/۲۱ ab	۱۳/۷۷ ab	۲/۴۵ ab	۲/۱۸ ab	۲۰/۱۰ ab	
٪۵۰ ظرفیت زراعی		آب مقطر	۰	۶۹/۹۰ m	۸/۲۵ gh	۱۲/۰۹ hi	۲/۰۹ hij	۱/۸۲ jk	۱۶/۴۴ gh
		روی	۰	۷۲/۲۶ kl	۸/۶۱ e-h	۱۲/۴۳ e-i	۲/۱۵ f-i	۱/۸۹ hij	۱۶/۹۵ e-h
	سیلیکون	۷	۷۳/۰۳ jk	۸/۹۸ def	۱۲/۹۶ b-g	۲/۲۴ c-i	۱/۹۶ d-j	۱۷/۶۷ def	
	گلايسين بتائين	۰	۷۲/۲۵ kl	۸/۵۶ fgh	۱۲/۳۶ f-i	۲/۱۱ hi	۱/۸۳ ijk	۱۶/۸۴ fgh	
	اسید آسکوربیک	۷	۷۲/۷۹ jkl	۸/۶۳ e-h	۱۲/۴۷ d-i	۲/۱۵ f-i	۱/۸۸ ij	۱۶/۹۸ e-h	
		۰	۷۱/۹۷ l	۸/۴۵ gh	۱۲/۲۰ ghi	۲/۱۸ e-i	۱/۹۲ f-j	۱۶/۶۴ fgh	
		۷	۷۴/۳۷ i	۹/۱۱ de	۱۳/۱۵ a-f	۲/۳۶ bcd	۲/۰۸ b-e	۱۷/۹۴ de	
		۰	۷۲/۹۸ jkl	۸/۱۷ h	۱۱/۷۹ ij	۲/۰۸ ij	۱/۸۳ ijk	۱۶/۰۸ h	
		۷	۷۳/۵۴ ij	۸/۸۱ efg	۱۲/۷۳ c-h	۲/۲۶ c-h	۱/۹۸ c-i	۱۷/۳۴ efg	
	٪۳۰ ظرفیت زراعی	آب مقطر	۰	۴۳/۷۰ s	۵/۳۷ p	۹/۴۵ mn	۱/۸۲ k	۱/۵۹ l	۱۰/۵۸ o
		روی	۰	۴۵/۸۸ r	۵/۶۷ op	۹/۹۶ lm	۱/۹۳ jk	۱/۶۹ kl	۱۱/۱۷ no
		سیلیکون	۷	۴۶/۹۸ pq	۶/۲۰ lmn	۱۰/۸۷ k	۲/۰۸ ij	۱/۸۲ jk	۱۲/۲۰ lmn
گلايسين بتائين		۰	۴۷/۸۲ op	۶/۲۶ klm	۱۰/۹۴ jk	۲/۱۰ hij	۱/۸۴ ijk	۱۲/۳۲ klm	
اسید آسکوربیک		۷	۴۶/۱۴ qr	۵/۶۹ nop	۹/۸۶ lm	۱/۹۰ k	۱/۶۶ l	۱۱/۱۹ no	
		۰	۴۷/۹۱ nop	۶/۸۷ ij	۱۲/۰۸ hi	۲/۳۵ b-e	۲/۰۵ b-g	۱۳/۵۳ ij	
		۷	۴۷/۶۷ op	۶/۴۱ j-m	۱۱/۱۳ jk	۲/۲۲ d-i	۱/۹۵ e-j	۱۲/۶۱ j-m	
		۰	۴۸/۸۹ n	۷/۳۵ i	۱۲/۸۴ c-h	۲/۶۱ a	۲/۲۹ a	۱۴/۴۶ i	
		۷	۴۷/۷۳ op	۶/۲۴ klm	۱۰/۹۴ jk	۲/۱۸ e-i	۱/۹۱ g-j	۱۲/۲۹ klm	
		۰	۴۸/۶۲ no	۶/۱۴ mno	۱۰/۶۸ kl	۲/۱۵ f-i	۱/۸۸ ij	۱۲/۰۹ mn	

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی خصوصیات فیزیولوژیکی تحت تاثیر آبیاری × محافظ‌های گیاهی

آبیاری	محافظ	عملکرد قند	عملکرد قند سفید	عملکرد قند سفید	WUE	WUE	WUE	WUE	WUE	WUE	
		عملکرد قند	عملکرد قند سفید	بیوماس	بیوماس	عملکرد قند	عملکرد قند	عملکرد قند	عملکرد قند	بیوماس	
		(kg.m ⁻³)					(kg.ha ⁻¹)				
۹۰٪	آب مقطر	۱۰۶۰۶/۹ h	۹۱۷۶/۸۲ i	۰/۹۹ i	۰/۸۶ i	۲/۰۹ f	۲/۶۵ h	۱/۹۵ i	۱/۶۹ i	۴/۸۲ f	
	روی	۱۱۲۰۲/۱ efg	۹۷۵۱/۲۰ fgh	۱/۰۵ hi	۰/۹۱ hi	۲/۱۶ f	۲/۷۳ h	۲/۰۶ hi	۱/۷۹ hi	۴/۲۵ f	
ظرفیت زراعی	سیلیکون	۱۱۲۷۷/۹ ef	۹۸۰۳/۳۹ fgh	۱/۰۵ hi	۰/۹۱ hi	۲/۱۸ f	۲/۷۶ h	۲/۰۸ hi	۱/۸۰ hi	۴/۲۹ f	
	گلاسیسین بتائین	۱۱۸۵۲/۶ d	۱۰۳۸۹/۵۰ d	۱/۱۱ h	۰/۹۷ h	۲/۱۸ f	۲/۷۶ h	۲/۱۸ h	۱/۹۱ h	۴/۲۹ f	
۷۰٪	آب مقطر	۱۴۰۳۴/۲ c	۱۲۴۳۳/۴۴ c	۱/۶۱ c	۱/۴۳ c	۳/۰۰ b	۴/۰۴ bcd	۲/۱۸ c	۲/۸۲ c	۵/۹۰ b	
	روی	۱۵۱۸۲/۹ ab	۱۳۵۱۶/۷۴ ab	۱/۷۴ ab	۱/۵۵ ab	۳/۱۵ a	۴/۲۴ a	۲/۴۴ ab	۳/۰۶ ab	۶/۲۰ a	
ظرفیت زراعی	سیلیکون	۱۴۹۰۴/۵ b	۱۳۲۶۳/۳۱ b	۱/۷۱ b	۱/۵۲ b	۳/۰۸ ab	۴/۱۶ abc	۲/۳۷ b	۲/۰۰ b	۶/۰۷ ab	
	گلاسیسین بتائین	۱۵۴۲۳/۰ a	۱۳۷۵۹/۸۰ a	۱/۷۷ ab	۱/۵۸ ab	۳/۱۵ a	۴/۲۰ ab	۲/۴۹ ab	۲/۱۴ a	۶/۱۴ a	
۵۰٪	آب مقطر	۱۰۷۰۶/۹ gh	۹۳۶۱/۲۴ hi	۱/۴۶ e	۱/۲۷ ef	۲/۷۱ d	۳/۹۲ de	۲/۸۸ e	۲/۵۱ ef	۵/۳۳ d	
	روی	۱۱۲۲۶/۶ ef	۹۸۴۴/۱۸ efg	۱/۵۲ de	۱/۳۳ de	۲/۸۵ c	۴/۱۱ abc	۳/۰۰ de	۲/۶۳ de	۵/۶۰ c	
ظرفیت زراعی	سیلیکون	۱۰۸۵۹/۲ fgh	۹۴۵۴/۲۷ ghi	۱/۴۷ e	۱/۲۸ e	۲/۸۱ c	۴/۰۶ bcd	۲/۹۱ e	۲/۵۳ e	۵/۵۳ c	
	گلاسیسین بتائین	۱۱۵۸۳/۴ de	۱۰۱۹۸/۷۰ def	۱/۵۷ cd	۱/۳۸ cd	۲/۸۷ c	۴/۱۵ abc	۳/۱۰ cd	۲/۷۳ cd	۵/۶۵ c	
۳۰٪	آب مقطر	۵۷۵۴/۷ k	۵۰۲۲/۷۳ l	۱/۰۶ hi	۰/۹۳ hi	۱/۹۴ g	۲/۹۰ g	۲/۱۰ h	۱/۸۴ h	۲/۸۲ g	
	روی	۶۴۷۸/۵ j	۵۶۵۷/۶۶ k	۱/۱۹ g	۱/۰۴ gf	۲/۱۴ f	۲/۷۴ f	۲/۳۶ g	۲/۰۶ g	۴/۲۲ f	
ظرفیت زراعی	سیلیکون	۶۵۸۵/۵ j	۵۷۵۷/۶۵ k	۱/۲۱ g	۱/۰۶ g	۲/۱۵ f	۲/۷۵ f	۲/۳۹ g	۲/۰۹ g	۴/۲۲ f	
	گلاسیسین بتائین	۷۵۱۹/۵ i	۶۶۰۸/۶۷ j	۱/۳۸ f	۱/۲۱ f	۲/۳۷ e	۴/۱۳ abc	۲/۷۲ f	۲/۴۰ f	۴/۶۶ e	
۲۰٪	آب مقطر	۶۷۲۴/۰۲ j	۵۸۸۱/۵۵ k	۱/۲۴ g	۱/۰۸ g	۲/۱۶ f	۳/۷۷ ef	۲/۴۴ g	۲/۱۴ g	۴/۲۵ f	
	روی	۶۷۲۴/۰۲ j	۵۸۸۱/۵۵ k	۱/۲۴ g	۱/۰۸ g	۲/۱۶ f	۳/۷۷ ef	۲/۴۴ g	۲/۱۴ g	۴/۲۵ f	

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی خصوصیات فیزیولوژیکی تحت تاثیر آبیاری × ورمی کمپوست

آبیاری	ورمی کمپوست	WUE	WUE	WUE	IUE	TUE	TUE	TUE	
	ورمی کمپوست	عملکرد قند	عملکرد قند سفید	بیوماس	بیوماس	عملکرد قند	عملکرد قند سفید	بیوماس	
		(kg.m ⁻³)					(t.ha ⁻¹)		
۹۰٪ ظرفیت زراعی	۰	۱/۰۶ f	۰/۹۲ f	۲/۱۵ e	۲/۷۲ d	۲/۰۸ f	۱/۸۲ f	۴/۲۳ e	
	۷	۱/۰۶ f	۰/۹۲ f	۲/۱۷ e	۲/۷۵ d	۲/۰۹ f	۱/۸۲ f	۴/۲۸ e	
۷۰٪ ظرفیت زراعی	۰	۱/۷۱ a	۱/۵۲ a	۳/۰۷ a	۴/۱۴ a	۳/۳۷ a	۳/۰۰ a	۶/۰۵ a	
	۷	۱/۷۴ a	۱/۵۵ a	۳/۱۲ a	۴/۲۱ a	۳/۴۳ a	۳/۰۵ a	۶/۱۵ a	
۵۰٪ ظرفیت زراعی	۰	۱/۴۷ c	۱/۲۹ c	۲/۷۴ c	۳/۹۷ b	۲/۹۰ c	۲/۵۳ c	۵/۴۱ c	
	۷	۱/۵۴ b	۱/۳۵ b	۲/۸۶ b	۴/۱۳ a	۳/۰۴ b	۲/۶۶ b	۵/۶۳ b	
۳۰٪ ظرفیت زراعی	۰	۱/۱۷ e	۱/۰۲ e	۲/۰۶ f	۳/۵۹ c	۲/۳۰ e	۲/۰۱ e	۴/۰۵ f	
	۷	۱/۲۷ d	۱/۱۱ d	۲/۲۴ d	۳/۹۳ b	۲/۵۱ d	۲/۱۹ d	۴/۴۲ d	

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

نتیجه گیری کلی

کمپوست و محافظ‌های گیاهی تحت تنش کم آبی نیز می تواند نتیجه مطلوبی باشد. با استفاده از منابع خارجی محافظ‌های گیاهی و ورمی کمپوست می توان تا حدودی اثرات مخرب تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی را تعدیل نموده و پایداری عملکرد چغندر قند را در شرایط آب و هوایی مختلف تضمین نمود. از سوی دیگر با توجه به این که ورمی کمپوست جزو کودهای آلی به شمار می رود، می توان از طریق کاربرد آن اثرات

چغندر قند به عنوان گیاهی با نیاز آبی بالا شناخته می شود، و در مناطق مختلفی کشت می شود که هر منطقه دارای خصوصیات آب و هوایی خاصی می باشد. هر دو سال آزمایش بیشترین عملکرد ریشه، عملکرد قند و بیوماس زمانی بدست آمد که محصول در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری شد که باعث افزایش WUE، IUE و TUE شد. اما استفاده همزمان از ورمی

می‌باشد و ضریب فراوانی آب کم‌تر از واحد است. لذا یکی از راه‌کارهای اساسی بهینه‌سازی مصرف آب در اراضی زراعی کشور استفاده از روش کم‌آبیاری است. مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی به عنوان یکی از مهمترین عوامل محیطی موثر بر رشد و نمو گیاهان به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک در شرایط آب و هوایی شمال غرب ایران از اهمیت خاصی برخوردار است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمامی حمایت‌ها و مساعدت‌های دانشگاه ارومیه جهت فراهم نمودن امکانات موردنیاز برای اجرای این پژوهش، و از آقای دکتر ادريس آرژه به جهت بازخوانی و تنظیم مقاله تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

زیست محیطی فراوانی را از طریق کاهش مصرف کودهای شیمیایی متصور بود. این عوامل می‌تواند گام موثری در راستای تامین اهداف کشاورزی پایدار محسوب گردد. تنش شدید در مقایسه با بیوماس و عملکرد قند بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد ریشه داشت. ترکیب ورمی کمپوست با محافظ‌های گیاهی (به ویژه گلیسین بتائین) در ۳۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی موثرترین تیمار بود. و از بین محافظ‌های گیاهی برای تحمل تنش و پایداری عملکرد کاراترین آنها گلیسین بتائین بود. همچنین با توجه به اینکه این تیمارها در حضور عوامل تنش‌زای محیطی مانند کمبود آب به‌صورت موثری رشد و عملکرد گیاهان زراعی را بهبود می‌بخشند، می‌توان به تولید اقتصادی محصول چغندر قند با مصرف آب کم‌تر در مناطق دارای تنش خشکی امیدوار بود و توان رقابتی و سازگاری بیشتری را با محیط داشت. از آنجا که مصرف آب در اراضی آبی کشور بی‌رویه و بیشتر از نیاز آبی گیاهان

منابع مورد استفاده

- Aane HM. 2018. The effects of foliar sprays with different silicon compounds. *Plants*, 7(45): 1-22.
- Abbas MS, El-Hassanin AD, Dewdar MDH and Abd Elaleem HAE. 2020. Impact of nano-micronutrients as foliar fertilization on yield and quality of sugar beet roots. *Pakistan Journal of Biological Science*, 23: 1416-1423.
- Anjum NA, Ahmad I, Mohmood I, Pacheco M, Duarte AC, Pereira E, Umar S, Ahmad A, Khan NA, Iqbal M and Prasad MNV. 2012. Modulation of glutathione and its related enzymes in plants' responses to toxic metals and metalloids – a review. *Environmental and Experimental Botany*, 75:307-324.
- Artyszak A, Gozdowski D, and Siuda A. 2021. Effect of the application date of fertilizer containing silicon and potassium on the yield and technological quality of sugar beet roots. *Plants*, 10(370): 1-12.
- Ashraf M and Foolad MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59:206-216.
- Benami A and Ofen A. 1984. *Irrigation Engineering-sprinkler, Trickle and Surface Irrigation: Principles, Design and Agricultural Practices*. Publisher: Irrigation Engineering Scientific Publications.
- Diacono M and Montemurro F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30:401-422.
- Draycott AP. 2006. *Sugar Beet*. Blackwell Publishing, 474p.
- Edmeades DC. 2003. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 66:165-180.
- El-Sayed AM, Mahmoud AH, Taha IB and Eman IRE. 2018. Tolerance of some sugar beet varieties to water stress. *Agricultural Water Management*, 201:144-151.

- FAO. 2018. Food and Agriculture Organization Annual Statistical Report.
- Farooq M, Basra SMA, Wahid A, Cheema ZA, Cheema MA and Khaliq A. 2008. Physiological role of exogenously applied glycinebetaine to improve drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agronomy and Crop Science, 194:325-333.
- Fini A, Bellasio C, Pollastri S, Tattini M and Ferrini F. 2013. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. Journal of Arid Environments, 89:21–29.
- Flumignan DL, Faria RT and De Lena BP. 2012. Test of a microlysimeter for measurement of soil evaporation. Engenharia Agrícola, 32(1):80–90.
- Haghverdi A, Yonts D, Reichert DL and Irmak S. 2017. Impact of irrigation, surface residue cover and plant population on sugar beet growth and yield, irrigation water use efficiency and soil water dynamics. Agricultural Water Management, 180:1-12.
- Harveson RM. 2015. History of Sugar beets. University of Nebraska-Lincoln. [http://unlcms.unl.edu/ianr/extension/crop_watch/history-sugar beets](http://unlcms.unl.edu/ianr/extension/crop_watch/history-sugar-beets).
- Hasanuzzaman M, Nahar K, Alam MM and Fujita M. 2012. Exogenous nitric oxide alleviates high temperature induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings by modulating the antioxidant defense and glyoxalase system. Australian Journal of Crop Science, 6:1314-1323.
- Hasanuzzaman M, Nahar K, Alam MM, Ahmad S and Fujita M. 2015. Exogenous application of phytoprotectants in legumes against environmental stress. In: Azooz MM, Ahmad P. (Eds.), Legumes under Environmental Stress. John Wiley & Sons, Ltd., p. 161-197.
- Howell TA, Cuenca RH and Solomon KH. 1990. In: Hoffman, et al. (Eds.), Crop yield response. Management of farm irrigation systems. ASAE, p. 312.
- ICUMSA. 2007. Methods Book, Verlag Dr. Albert Bartens, Berlin.
- Keller M. 2005. Deficit irrigation and vine mineral nutrition. American Journal of Enology and Viticulture, 56(3):267-283.
- Khan HR, McDonald GK and Rengel Z. 2004. Zinc fertilization and water stress affects plant water relations, stomatal conductance and osmotic adjustment in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant and Soil, 267:271-284.
- Kirda C. 2002. Deficit Irrigation Scheduling Based on Plant Growth Stages Showing Water Stress Tolerance, Deficit Irrigation Practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 3-10.
- Kiyamaz S and Ertek A. 2015. Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kırşehir, Turkey. Agricultural Water Management, 158:156-165.
- Kramer PJ. 1988. Changing concepts regarding plant water relations. Plant, Cell and Environment, 11:565-568.
- Lehrsch GA, Brown B, Lentz RD, Johnson-Maynard JL and Leytem AB. 2015. Sugar beet yield and quality when substituting compost or manure for conventional nitrogen fertilizer. Agronomy Journal, 107(1):221-231.
- Lentz RD and Lehrsch GA. 2014. Manure and fertilizer effects on carbon balance and organic and inorganic carbon losses for an irrigated corn field. Soil Science Society of American Journal, 78:987-1002.
- Levitt J. 1980. Responses of Plant to Environmental Stress: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. Academic Press, New York.
- Li GL, Wu HX, Sun YQ and Zhang SY. 2013. Response of chlorophyll fluorescence parameters to drought stress in sugar beet seedlings. Russian Journal of Plant Physiology, 60:337–342.
- Liso R, De Tullio MC, Ciraci S, Balestrini R, La Rocca N, Bruno L, Chippetta A, Bitonti MB, Bonfante P and Arrigoni O. 2004. Localisation of ascorbic acid, ascorbic acid oxidase, and glutathione in roots of *Cucurbita maxima* L. Journal of Experimental Botany, 55:2589-2597.

- Loveland P and Webb J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: A review. *Soil and Tillage Research*, 70:1-18.
- Nahar K, Hasanuzzaman M, Ahamed KU, Hakeem KR, Ozturk M and Fujita M. 2015 Plant Responses and Tolerance to High Temperature Stress: Role of Exogenous Phytoprotectants. In: Hakeem K. (eds.) *Crop Production and Global Environmental Issues*. Springer, Cham. P. 385-435.
- Noctor G, Mhamdi A, Chaouch S, Han Y, Neukermans J, Marquez-Garcia B, Queval G and Foyer CH. 2012. Glutathione in plants: an integrated overview. *Plant, Cell and Environment*, 35:454-484.
- Ober ES, Bloa ML, Clark CJA, Royal A, Jaggard KW and Pidgeon JD. 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. *Field Crops Research*, 91:231-249.
- Potters G, De Gara L, Asard H and Horemans N. 2002. Ascorbate and glutathione: guardians of the cell cycle, partners in crime? *Plant Physiology and Biochemistry*, 40:537-548.
- Reinefeld E, Emmerich A, Baumgarten G, Winner C and Bei U. 1974. Zur Voraussage des Melassezuckers aus Rübenanalysen. *Zucker*. 27:2-15.
- Rinaldi M and Vonella AV. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in Southern Italy: water and radiation use efficiency. *Field Crops Research*, 95:103-114.
- Sangster AG, Hodson MJ and Tubb HJ. 2001. Silicon deposition in higher plants. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH. (Eds.), *Silicon in Agriculture*. Elsevier, Amsterdam, p. 85-113.
- SAS Institute Inc. 2006. *Base SAS 9.1.3 Procedures Guide*, vols. 1-4., Second Edn. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Song CJ, Ma KM, Qu LY, Liu Y, Xu XL, Fu BJ and Zhong JF. 2010. Interactive effects of water, nitrogen and phosphorus on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Bauhinia faberi* seedlings. *Journal of Arid Environments*, 74:1003-1012.
- Sulpice R, Gibon Y, Cornic G and Larher FR. 2002. Interaction between exogenous glycine betaine and the photorespiratory pathway in canola leaf discs. *Physiologia Plantarum*, 116: 460-467.
- Sun XP, Yan HL, Kang XY and Ma FW. 2013. Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. *Photosynthetica*, 51(3):404-410.
- Tamara FJF, Jennifer SB, Sacha JM and Debbie LS. 2017. Assessing water uptake in sugar beet (*Beta vulgaris*) under different watering regimes. *Agricultural Water Management*, 144:61-67.
- Thalooth AT, Tawfik MM and Mohamed HM. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mung bean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2:37-46.
- Topak R, Acar B, Uyanöz R and Ceyhan E. 2016. Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management*, 176:180-190.
- Ucan K and Gencoglan C. 2004. The effect of water deficit on yield and yield components of sugar beet. *Turk. Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28:163-172.
- Vazifedoust M, Vandam JC, Feddes RA and Feizi M. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management*, 95:89-102.
- Yahya A, Alpaslan K, Hesham FA, Sebnem K and Mostafa MR. 2018. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154:187-196.
- Zewail RM, El-Gmal IS, Khatov B, and El-Desouky HS. 2020. Micronutrients through foliar application enhance growth, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 43: 2275-2285.

Zhang C, Dai J, Zhou B, Chen X, Li J, Zhang J and Zhang C. 2013. Effects of vermicompost at different proportions on the growth of Zea mays and soil fertility. *Journal of South China Agricultural University*, 34(2):137–143.