doi: 10.22124/CR.2022.22374.1726

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره یازدهم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۴۰۰ (۳۷۳-۳۵۹)

اثر مصرف کودهای زیستی و پوترسین بر مولفه‌های پرشدن دانه و انتقال مجدد ماده خشک تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) در شرایط محدودیت آبی

حامد نریمانی[1*]، رئوف سیدشریفی[2] و محمد صدقی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر مصرف کودهای زیستی و پوترسین بر مولفه‌های پر شدن دانه، انتقال مجدد ماده خشک و عملکرد دانه تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد و قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل آبستنی و سنبله‌دهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی)، مصرف کودهای زیستی در چهار سطح (عدم مصرف به‌عنوان شاهد، مصرف ورمی‌کمپوست، میکوریزا، مصرف توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی پوترسین (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار) بودند. نتایج نشان داد که مصرف توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا به‌همراه محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل، موجب کاهش انتقال مجدد ماده خشک از ساقه (۳۴/۵۹ درصد) و اندام هوایی (۲۸/۷۶ درصد) و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه (به‌ترتیب ۹۴/۱۴ و ۸۵/۷۴ درصد) نسبت به شرایط عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد. همچنین مصرف توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا به‌همراه محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در تیمار آبیاری کامل، وزن ریشه (۶۲/۱۱ درصد)، حجم ریشه (۶۳/۱۷ درصد)، فتوسنتز جاری (۸۵/۵۳ درصد) و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (۲۸/۶۵ درصد)، طول دوره پر شدن دانه (۲۰/۳۷ درصد) و عملکرد دانه (۳۹/۶ درصد) را نسبت به عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی افزایش داد. بر اساس نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد مصرف کودهای زیستی و پوترسین با بهبود فتوسنتز جاری و مولفه‌های پر شدن دانه، می‌توانند عملکرد دانه تریتیکاله را در شرایط محدودیت آبی افزایش دهند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سرعت پر شدن دانه، فتوسنتز جاری، وزن ریشه

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* نویسنده مسئول: hamed.narimani@gmail.com

مقدمه

تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) نخستین غله دانه‌ریز است که توسط انسان از تلاقی گندم به‌عنوان والد مادری و چاودار به‌عنوان والد پدری به‌وجود آمده است تا کیفیت دانه و ویژگی‌های عملکردی گندم و مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی چاودار، در یک گیاه ظهور پیدا کند (Bezabih *et al.*, 2019).

محدودیت آبی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی در حال گسترش است. هر گونه افزایش در وقوع و شدت این تنش، موجب کاهش شدید عملکرد گیاهان و امنیت غذایی در سطح جهانی می‌شود. اگرچه محدودیت آبی در تمامی مراحل رشد گیاه موجب کاهش عملکرد می‌شود، ولی میزان خسارت آن در مرحله رشد زایشی، به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه، حیاتی است و با ایجاد اختلال در پر شدن دانه‌ها، با کاهش اندازه و تعداد دانه به‌طور قابل توجهی بر عملکرد دانه تأثیرگذار است. فرایند پر شدن دانه تحت تأثیر فرآیندهای متابولیک مختلفی از جمله تولید و جابجایی مواد پرورده فتوسنتزی، واردات پیش‌سازها برای بیوسنتز ذخایر دانه، مواد معدنی و سایر اجزای عملکردی که در برگ‌ها رخ می‌دهند، قرار می‌گیرد و به‌دلیل دخالت مجموعه‌ای از آنزیم‌ها و ناقلان مختلف در برگ‌ها و دانه‌ها، نسبت به تنش خشکی بسیار حساس است (Nayyar *et al.*, 2018).

در محصولات دانه‌ای، فتوسنتز جاری و انتقال مواد فتوسنتزی به‌صورت مستقیم به دانه (فعالیت‌های فتوسنتزی برگ‌ها، و اندام‌های غیر از برگ همانند ریشک، میانگره و غلاف برگ) و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده در بخش‌های رویشی، در عملکرد دانه سهیم می‌باشد. مواد ذخیره شده در بخش‌های رویشی قبل از گلدهی (با ایفای نقش بافری و کاهش اثر نامطلوب محیطی در طول پر شدن دانه) در شرایط نامساعد محیطی از جمله محدودیت آبی، می‌تواند در طول دوره پر شدن دانه و عملکرد نهایی دانه موثر واقع شود (Ma *et al.*, 2015). تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، موجب تسریع رسیدگی دانه و کاهش طول مدت انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه‌ها شده که این امر منجر به لاغر شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه گندم می‌شود (Ghodsi *et al.*, 2004). بحرانی و همکاران (Bahrani *et al.*, 2011) گزارش کردند که محدودیت آبی با تسریع پیری و کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه، موجب افزایش انتقال مجدد ماده از اندام هوایی به دانه گندم شد.

قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار (*Arbuscular Mycorrhizal* Fungi)، یکی از عوامل زیستی خاک‌ها هستند که در اثر همزیستی با ریشه گیاه، آثار سوء ناشی از فقر عناصر غذایی و تنش‌های خشکی و شوری را کاهش، و رشد گیاه، جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر، برگشت‌پذیری پس از تنش و تحمل گیاه را افزایش می‌دهند (Begum *et al.*, 2019). مصرف قارچ میکوریزا تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود وضعیت آبی و افزایش فتوسنتز جاری و سهم آن در عملکرد دانه، موجب کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه و اندام هوایی به دانه در جو شد (Ebadi *et al.*, 2020). نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2021) نیز اظهار داشتند که وقوع تنش خشکی در مراحل حساس رشدی، موجب افزایش انتقال مجدد ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه تریتیکاله شد، در حالی‌که مصرف کودهای زیستی از جمله قارچ‌های میکوریزا می‌تواند با تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و نیز بهبود ساختار ریشه و فتوسنتز جاری، میزان انتقال مجدد از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه را کاهش دهد.

ورمی‌کمپوست یکی دیگر از کودهایی است که دارای عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، منگنز، روی، مس و بور است که تاثیر مثبت بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021)، و با آزادسازی برخی از اسیدهای آلی مانند اسید اگزالیک، منجر به حلالیت عناصر به‌ویژه پتاسیم و فسفر می‌شود (Adak *et al.*, 2014). محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021) بیان کردند که ورمی‌کمپوست به‌دلیل دارا بودن مقادیر بالای نیتروژن و دیگر عناصر ریزمغذی مانند آهن و منیزیوم که از عناصر ضروری در سنتز کلروفیل محسوب می‌شوند، با بهبود محتوای کلروفیل و میزان فتوسنتز، موجب افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت عملکرد دانه تریتیکاله تحت شرایط تنش شوری شد. نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2021) نیز گزارش کردند مصرف توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا در شرایط محدودیت آبی از طریق بهبود ساختار ریشه و فتوسنتز جاری، موجب کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد.

پلی‌آمین‌ها، یکی از قدیمی‌ترین گروه ترکیبات طبیعی است که در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک مانند رشد و نمو سلول و پاسخ به تنش‌های محیطی، تنظیم بسیاری از فرایندهای اصلی سلولی از جمله رونویسی، تکثیر DNA، بهبود فعالیت آنزیم‌ها، تکثیر سلولی و پایداری غشاء نقش دارند و می‌توانند به‌عنوان سیگنال‌های سلولی مرتبط با مسیرهای هورمونی مانند تنظیم آبسیزیک اسید در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی نقش داشته باشند (Mustafavi *et al.*, 2018). مصرف پوترسین به‌عنوان یک روش مناسب برای کاهش خسارات ناشی از تنش در نظر گرفته شده است. این ماده در شرایط تنش آبی موجب بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه، ساختار غشاء و هدایت روزنه‌ای و افزایش انتقال الکترون، فعالیت آنزیم روبیسکو و پایداری کلروفیل و در نهایت افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود (Skowron and Trojak, 2021). عمادی و همکاران (Emadi *et al.*, 2013) بیان کردند که محلول‌پاشی پوترسین به‌دلیل افزایش دوم سطح برگ، ضمن کاهش سهم انتقال مجدد و بهبود دوره موثر و سرعت پر شدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد. در آزمایش محسنی محمدجانلو و همکاران (Mohseni Mohammadjanlou *et al.*, 2021) نیز محلول‌پاشی پوترسین در شرایط محدودیت آبی، ضمن کمک به افزایش وزن و حجم ریشه، موجب افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت عملکرد دانه گندم شد.

در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بخشی از مراحل رشد زایشی تریتیکاله با محدودیت آبی روبه‌رو است. از این‌رو استفاده از راه‌کارهایی که موجب کاهش یا تعدیل آثار ناشی از محدودیت آبی شود، ضروری است. در این راستا، اهمیت کودهای زیستی و پوترسین در تعدیل بخشی از آثار ناشی از تنش و نیز مطالعات محدود انجام شده در مورد برهم‌کنش بین این عوامل، موجب شد تا نقش کودهای زیستی و پوترسین بر مولفه‌های پر شدن دانه، انتقال ماده خشک و عملکرد تریتیکاله تحت شرایط محدودیت آبی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و شرایط اقلیمی منطقه در طول دوره رشدی تریتیکاله در جدول ۲ ارایه شده است.

هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول دو متر و با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بود. رقم تریتیکاله مورد استفاده رقم سناباد بود که از شرکت تعاونی روستایی جمیل نیشابور تهیه و با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع، که تراکم مطلوب و توصیه‌شده این رقم است (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021) کشت شد. تیمارهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح، کودهای زیستی در چهار سطح و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح بود. آبیاری شامل آبیاری کامل طی دوره رشد (شاهد) و قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل چکمه‌ای شدن (آبستنی) و سنبله‌دهی (کدهای ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH)، به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی، کودهای زیستی شامل عدم مصرف (شاهد)، مصرف ورمی‌کمپوست، میکوریزا و مصرف توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا، و پوترسین شامل محلول‌پاشی با آب (شاهد) و محلول‌پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین بود. محلول‌پاشی پوترسین توسط سمپاش دستی ۸ لیتری در ساعت ۸ الی ۱۱ صبح در مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی (به‌ترتیب کدهای ۲۱ و ۳۰ مقیاس BBCH) انجام شد. کاشت در ۱۶ آبان ۱۳۹۸ و برداشت در ۵ مرداد ۱۳۹۹ بود. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی، نیاز گیاه زراعی و سطوح تیمار کم‌آبیاری انجام شد. قارچ میکوریزا استفاده شده از گونه *Glomus intraradices* بود که از شرکت زیست فناوران توران تهیه و بر اساس توصیه این شرکت به‌میزان ۲۰ گرم در هر متر مربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) سه تا چهار روز قبل از کاشت با بخش سطحی خاک به‌روش استاندارد و توصیه شده جیانینازی (Gianinazzi *et al.*, 2001) مخلوط شد. تعداد اسپور زنده در هر گرم قارچ مورد استفاده حدود ۱۰۰ اسپور بود. ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این آزمایش نیز از شرکت گیلدا خریداری شد و مقدار مصرف آن ۶ تن در هکتار بود که سه تا چهار روز قبل از کاشت با بخش سطحی خاک مخلوط شد. مشخصات ورمی‌کمپوست مورد استفاده در جدول ۳ ارایه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Physical and chemical characteristics of the experimental farm soil

Character	Zn	K	P	N	Organic carbon	Sand	Silt	Clay	Lime	SP	Texture	pH
	$mg.kg^{-1}$			Percent								
Value	1.8	212	8.29	0.06	0.62	35	42	23	14.4	49	Loam	7.8

جدول ۲- ویژگی‌های اقلیمی طی دوره رشد تریتیکاله (ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

Table2. Meteorological parameters during the growth period of triticale (Source: Ardabil Meteorological Office)

Parameter	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
Rainfall (mm)	53.3	13.9	3.5	23.6	27.4	14.8
Temperature mean (°C)	15.4	7.3	4.1	1.7	-1.2	6.3
Sunny hours	240.6	151.9	131.1	134.9	168.5	171.7
Relative humidity mean (%)	66	75	73	71	72	68
Parameter	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Rainfall (mm)	26.8	56.5	6.6	3.7	4.7	12.9
Temperature mean (°C)	6.7	13.1	18.9	18.9	18.4	16.8
Sunny hours	156.1	211.3	314.3	298.5	248.2	267.9
Relative humidity mean (%)	73	70	60	66	74	71

جدول ۳- ویژگی‌های ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این آزمایش تهیه شده از شرکت گلیدا

Table 3. Characteristics of vermicompost obtained from Gilda company

Characteristic	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	N	P	K	Ca	Mg	OC	OM	EC	pH
	$(mg.kg^{-1})$						(%)							$(dS.m^{-1})$	
	5000	275	20	110	19	1	1.55	0.4	0.4	2.73	0.95	32.9	56.8	1.12	7.64

به‌منظور تعیین مولفه‌های پر شدن دانه، پس از پایان دوره گلدهی و شروع دوره پر شدن دانه (۱۲ روز پس از سنبله‌دهی)، از بین بوته‌های مشابه و یکسان (که از نظر ظاهری از مراحل رشدی یکسانی برخوردار بوده و قبل از نمونه‌برداری با نخ رنگی علامت‌گذاری شده بودند)، در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار، سه بوته نمونه‌برداری و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شدند و سپس به‌مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس خشک شدند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini *et al.*, 2004). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه، از یک مدل رگرسیون خطی دو تکه‌ای (رابطه ۱) بر اساس دستورالعمل DUD رویه Proc NLIN نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد:

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t<t_0 \\ a + bt & t>t_0 \end{cases} \quad (۱)$$

در این رابطه، GW وزن دانه، t زمان، b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدا است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند. مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها، ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمد. سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW یا وزن دانه محاسبه شد. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه نیز از رابطه (۲) استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992):

$$EFP = MGW/b \quad (۲)$$

که در آن، EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

برای برآورد میزان انتقال مجدد مواد از اندام‌های رویشی گیاه به دانه، از زمان پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یک‌بار و در هر مرحله با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۰۲ متر مربع (به‌طول ۱۰ سانتی‌متر و با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری شد. بوته‌های برداشت شده به ساقه، برگ و

دانه تفکیک و پس از خشک شدن در آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت، اندام‌های مختلف توزین و سپس میزان انتقال ماده خشک، سهم فرایند انتقال مجدد از بخش رویشی به دانه، میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه، میزان فتوسنتز جاری و سهم نسبی فتوسنتز جاری در عملکرد دانه با استفاده از روابط (۳) الی (۸) محاسبه شدند (Barnett and Pearce, 1983). در این روابط کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده و فرض شده است که تنفس برای شرایط محیطی این آزمایش یکسان بوده است. اهدایی و وینز (Ehdaie and Waines, 1993) نیز در مطالعه تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم، چنین فرضی را در نظر گرفتند.

$$DMT = DMA - DMM \quad (۳)$$

$$CDMAG = \left(\frac{DMT}{GY}\right) \times 100 \quad (۴)$$

$$SDMT = SDMM - SDMA \quad (۵)$$

$$CSAG = \left(\frac{SDMT}{GY}\right) \times 100 \quad (۶)$$

$$CP = GY - DMT \quad (۷)$$

$$CCPG = \left(\frac{CP}{GY}\right) \times 100 \quad (۸)$$

در این روابط، DMT میزان انتقال ماده خشک کل بر حسب گرم در مترمربع، DMA حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM میزان ماده خشک اندام هوایی (به‌جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، CDMAG سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک کل در دانه بر حسب درصد، GY عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در مترمربع، SDMM وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، SDMA حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، CSAG سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه بر حسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در مترمربع و CCPG سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه بر حسب درصد است.

قبل از کاشت در ردیف‌های اصلی هر کرت در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک و هم سطح با دیگر قسمت‌ها، تعدادی کیسه پلاستیکی به‌قطر ۴۰ سانتی‌متر قرار داده شد. تراکم کاشت در این کیسه‌ها مشابه تراکم دیگر قسمت‌های کاشته شده در مزرعه در نظر گرفته شد. بعد از برداشت بوته‌ها، برای اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، نسبت به خارج‌سازی ریشه‌ها از این کیسه‌ها اقدام شد. ریشه‌ها برای خشک شدن به‌مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه قرار داده شدند و سپس وزن خشک ریشه با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه از سطحی معادل ۰/۲ متر مربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۱) و Excel (نسخه ۲۰۱۳) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که مصرف کودهای زیستی، محلول‌پاشی پوترسین، محدودیت آبی و برهم‌کنش این عوامل بر وزن و حجم ریشه، حداکثر وزن دانه، سرعت پر شدن دانه، طول دوره پر شدن دانه و نیز فتوسنتز جاری، سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه، انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول‌های ۴ و ۷). همچنین، نتایج نشان دهنده برهم‌کنش معنی‌دار مصرف کودهای زیستی، محلول‌پاشی پوترسین و محدودیت آبی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۷). دوره موثر پر شدن دانه نیز به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر برهم‌کنش محدودیت آبی در کودهای زیستی و محدودیت آبی در محلول‌پاشی پوترسین قرار گرفت (جدول ۴).

وزن و حجم ریشه: مقایسه میاتگین‌ها نشان داد که مصرف توام ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۶۲/۱۱ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شرایط عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۵). همچنین ترکیب تیماری مصرف توام ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۴ میلی‌مولار پوترسین در تیمار آبیاری کامل از بیش‌ترین حجم ریشه (۸۵۱/۱ سانتی‌متر مکعب در مترمربع) برخوردار بود (جدول ۵). احتمالا افزایش محدودیت آبی موجب محدود شدن ترکیباتی مانند سیتوکنین‌ها و افزایش تولید ترکیباتی مانند آبسیزیک اسید می‌شود که موجب توقف تقسیم سلولی و رشد ریشه می‌شود. گزارش شده است که محدودیت آبی با کاهش

فتوسنتز برگ، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و تقسیم سلولی و همچنین افزایش احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاه، موجب توقف رشد ریشه و در نهایت کاهش وزن خشک ریشه می‌شود (Sharifani *et al.*, 2021). بخشی از بهبود وزن و حجم ریشه در چنین شرایطی را می‌توان به افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن (جدول ۳) و بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۸) به‌واسطه مصرف کودهای زیستی از جمله ورمی‌کمپوست و میکوریزا نسبت داد. نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2021) نیز اظهار داشتند که مصرف توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا در شرایط محدودیت آبی با افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود فتوسنتز جاری، موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه شده و در نهایت موجب افزایش وزن و حجم ریشه می‌شود. قارچ میکوریزا موجب تحریک ترشح هورمون‌های رشدی (اکسین، جیبرلین و سیتوکنین) و افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود. از این‌رو افزایش وزن ریشه با مصرف میکوریزا با توجه به نقش اکسین در افزایش ریشه‌های نابجا و نقش فسفر در بهبود ریشه‌زایی گیاهان (Druege, 2007) قابل توجیه است. آقایی و همکاران (Aghaei *et al.*, 2020) بیان کردند که میکوریزا از طریق بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش وزن و حجم ریشه گندم می‌شود. بخش دیگر افزایش وزن خشک و حجم ریشه (جدول ۵) را می‌توان به بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۸) نسبت داد. اسلام و همکاران (Islam *et al.*, 2022) بیان کردند مصرف پوترسین تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود سرعت فتوسنتز، موجب افزایش محتوای کروهیدرات شده و ضمن افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه، موجب افزایش وزن ریشه می‌شود.

حداکثر وزن دانه و سرعت پر شدن دانه: بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که ابتدا وزن دانه به‌صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی). پس از این مرحله، وزن دانه تغییر چندانی نکرد و به‌صورت یک خط افقی در آمد. حداکثر وزن دانه (۰/۰۶۲۱ گرم) در ترکیب تیماری مصرف توام ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین مقدار آن (۰/۰۴۲۱ گرم) در تیمار عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه (۱/۸۶ میلی‌گرم در روز) در تیمار مصرف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد که از افزایش ۱۰/۰۵ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد دلیل اصلی کاهش وزن دانه می‌تواند کاهش طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه باشد، زیرا وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پر شدن دانه است و هر عاملی که موجب کوتاه شدن طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه شود، وزن دانه را کاهش می‌دهد (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021). به‌نظر می‌رسد مصرف میکوریزا و ورمی‌کمپوست می‌تواند با بهبود ساختار ریشه (وزن و حجم ریشه) (جدول ۵) و فتوسنتز جاری (جدول ۸) و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، موجب بهبود سرعت پر شدن دانه و در نهایت افزایش وزن دانه شود. آقایی و همکاران (Aghaei *et al.*, 2020) بیان کردند که تلقیح بذر با قارچ میکوریزا با بهبود ساختار ریشه (وزن و حجم ریشه) و سرعت پر شدن دانه، موجب افزایش انتقال مواد به دانه و در نهایت افزایش وزن دانه گندم شد. بخشی از بهبود سرعت و حداکثر وزن دانه می‌تواند ناشی از مصرف ورمی‌کمپوست در افزایش جذب آب و دسترسی به عناصر غذایی باشد که با طولانی کردن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، موجب افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Jahangiri Nia *et al.*, 2017). پوترسین احتمالاً از طریق جلوگیری از پیری زودرس برگ‌ها، محافظت از سلول‌ها و نیز توسعه برگ‌ها، موجب افزایش دستیابی به عناصر مورد نیاز برای فتوسنتز و در نهایت بهبود سرعت و طول دوره پر شدن دانه شده است (Emadi *et al.*, 2014). محسنی محمدجانلو و همکاران (Mohseni Mohammadjanlou *et al.*, 2021) گزارش کردند که محلول‌پاشی پوترسین در شرایط محدودیت آبی با افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه، موجب افزایش وزن دانه گندم شد. به‌نظر می‌رسد که در این آزمایش نیز مصرف توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا و محلول‌پاشی پوترسین با بهبود فتوسنتزی جاری (جدول ۸)، افزایش سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (جدول ۵ و ۶)، موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و در نهایت افزایش وزن دانه شده باشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیر کودهای زیستی و پوترسین بر وزن و حجم ریشه و مولفه‌های پر شدن دانه تریتیکاله در سطوح مختلف آبیاری

Table 4. Analysis of variance of the effect of bio-fertilizers and putrescine on root weight and volume and grain filling components of triticale under different irrigation levels

Source of variation	df	Mean squares					
		Root dry weight	Root volume	Maximum grain weight	Grain filling rate	Grain filling period	Effective grain filling period
Replication	2	28616.4**	393275.1**	0.004**	4.65**	2316.9**	1242.6**
Irrigation levels (I)	2	76958.5**	213182.5**	0.00075**	0.034**	88.5**	155.1**
Bio fertilizers (B)	3	46691.1**	144479.6**	0.0045**	0.021**	50.9**	91.2**
Putrescine (P)	2	30757**	96960.2**	0.0003**	0.016**	32.2**	60.3**
I×B	6	568.6**	3517.1**	0.0001**	0.0053**	22**	20**
I×P	4	488.7**	2042**	0.0002**	0.0018*	61**	7.1*
B×P	6	1033**	3217.9**	0.00005**	0.003**	0.25^{ns}	0.47^{ns}
I×B×P	12	455**	2818.3**	0.00002*	0.0016*	36**	0.42^{ns}
Error	70	14.5	112.5	0.0000091	0.006	3.41	2.42
CV (%)	-	4.66	7.47	5.67	4.27	4.57	5.26

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی و پوترسین بر وزن و حجم ریشه و مولفه‌های پر شدن دانه تریتیکاله در سطوح مختلف آبیاری

Table 5. Comparison of means of the effect of bio-fertilizers and putrescine on root weight and volume and grain filling components of triticale under different irrigation levels

Treatments	Root dry weight ($g.m^2$)	Root volume ($cm^3.m^2$)	maximum of grain weight (g)	Grain filling rate (mg.day)	Grain filling period (day)	Estimated equation
$I_1\times B_1\times P_1$	384.9^{pq}	623.1^{opq}	0.0518^{jk}	1.79^{ef}	40.13^{j}	Y=0.00179x-0.0201
$I_1\times B_2\times P_1$	390.2^{op}	646.5^{no}	0.0538^{hi}	1.81^{cd}	40.45^{ghij}	Y=0.00181x-0.0197
$I_1\times B_3\times P_1$	426.6^{jk}	760^{gh}	0.056^{fg}	1.84^{b}	40.94^{g}	Y=0.00184x-0.0194
$I_1\times B_4\times P_1$	483.9^{cd}	833.1^{abc}	0.0592^{bcd}	1.84^{b}	42.08^{cdef}	Y=0.00184x-0.0185
$I_1\times B_1\times P_2$	407.2^{mn}	718.1^{ijk}	0.0521^{ij}	1.79^{ef}	40.14^{ij}	Y=0.00179x-0.0198
$I_1\times B_2\times P_2$	463.6^{efg}	796.5^{de}	0.0564^{efg}	1.82^{c}	40.94^{g}	Y=0.00182x-0.0185
$I_1\times B_3\times P_2$	476.2^{de}	804^{cde}	0.0586^{d}	1.84^{b}	41.9^{def}	Y=0.00184x-0.0184
$I_1\times B_4\times P_2$	501.1^{ab}	851.1^{a}	0.0611^{ab}	1.85^{ab}	42.52^{bcd}	Y=0.00185x-0.0182
$I_1\times B_1\times P_3$	454.9^{gh}	793.3^{def}	0.0581^{de}	1.86^{a}	41.82^{ef}	Y=0.00186x-0.0197
$I_1\times B_2\times P_3$	493.1^{bc}	818.8^{bcd}	0.0607^{ab}	1.86^{a}	42.44^{bcde}	Y=0.00186x-0.0188
$I_1\times B_3\times P_3$	499^{ab}	842.8^{ab}	0.061^{ab}	1.84^{b}	42.8^{b}	Y=0.00184x-0.0196
$I_1\times B_4\times P_3$	508.^{4a}	844.1^{ab}	0.0621^{a}	1.78^{fg}	44.07^{a}	Y=0.00178x-0.0165
$I_2\times B_1\times P_1$	321.7^{wx}	524.8^{wx}	0.0444^{opq}	1.74^{jk}	37.23^{no}	Y=0.00174x-0.0204
$I_2\times B_2\times P_1$	338.1^{uv}	610.1^{pqrs}	0.0475^{mn}	1.75^{ij}	38.38^{l}	Y=0.00175x-0.0199
$I_2\times B_3\times P_1$	374.9^{qr}	627.1^{op}	0.0501^{kl}	1.76^{hi}	39.44^{k}	Y=0.00176x-0.0195
$I_2\times B_4\times P_1$	439.8^{ij}	746.6^{hi}	0.0557^{fgh}	1.85^{ab}	40.96^{g}	Y=0.00185x-0.0199
$I_2\times B_1\times P_2$	328^{vwx}	562.1^{tuv}	0.0467^{n}	1.76^{hi}	38.09^{lm}	Y=0.00176x-0.0206
$I_2\times B_2\times P_2$	378.1^{pqr}	683.8^{lm}	0.0527^{ij}	1.79^{ef}	40.17^{hij}	Y=0.00179x-0.0194
$I_2\times B_3\times P_2$	502.5^{no}	690.8^{klm}	0.0533^{ij}	1.8^{de}	40.32^{ghij}	Y=0.00180x-0.0196
$I_2\times B_4\times P_2$	461^{fgh}	763.5^{fgh}	0.0587^{cd}	1.85^{ab}	42.04^{cdef}	Y=0.00185x-0.0191
$I_2\times B_1\times P_3$	369.7^{rs}	620.9^{opqr}	0.0496^{d}	1.76^{hi}	39.4^{k}	Y=0.00176x-0.0201
$I_2\times B_2\times P_3$	421.2^{klm}	726.6^{ij}	0.0554^{gh}	1.85^{ab}	40.78^{ghi}	Y=0.00185x-0.0202
$I_2\times B_3\times P_3$	447.2^{hi}	796.8^{de}	0.0581^{de}	1.84^{b}	41.86^{ef}	Y=0.00184x-0.0191
$I_2\times B_4\times P_3$	470.1^{def}	811.3^{cd}	0.0606^{abc}	1.85^{ab}	42.55^{bc}	Y=0.00185x-0.0188
$I_3\times B_1\times P_1$	313.6^{x}	521.6^{x}	0.0421^{r}	1.69^{l}	36.61^{o}	Y=0.00169x-0.0200
$I_3\times B_2\times P_1$	326.4^{vwx}	552.8^{vw}	0.0425^{qr}	1.7^{l}	36.62^{o}	Y=0.00170x-0.0199
$I_3\times B_3\times P_1$	353^{tu}	592^{rst}	0.0468^{n}	1.76^{hi}	38.21^{l}	Y=0.00176x-0.0207
$I_3\times B_4\times P_1$	385.7^{pq}	677^{lm}	0.0519^{ijk}	1.78^{fg}	40.18^{hij}	Y=0.00178x-0.0198
$I_3\times B_1\times P_2$	316.4^{x}	544.1^{vwx}	0.0441^{pq}	1.73^{k}	37.19^{no}	Y=0.00173x-0.0203
$I_3\times B_2\times P_2$	349.4^{tu}	583.1^{stu}	0.0445^{op}	1.74^{jk}	37.01^{no}	Y=0.00174x-0.0199
$I_3\times B_3\times P_2$	358.5st	596.5^{qrs}	0.0473^{mn}	1.75^{ij}	38.07^{lm}	Y=0.00175x-0.0196
$I_3\times B_4\times P_2$	423.2^{kl}	735.5^{hi}	0.0555^{gh}	1.85^{ab}	40.79^{gh}	Y=0.00185x-0.0200
$I_3\times B_1\times P_3$	334.5^{vw}	555.8^{uv}	0.0462^{no}	1.77^{gh}	37.47^{mn}	Y=0.00177x-0.0202
$I_3\times B_2\times P_3$	382.3^{pqr}	667^{mn}	0.0488^{lm}	1.76^{hi}	38.51^{l}	Y=0.00176x-0.0192
$I_3\times B_3\times P_3$	409.2^{lmn}	702.1^{jkl}	0.0534^{ij}	1.81^{cd}	40.28^{hij}	Y=0.00181x-0.0196
$I_3\times B_4\times P_3$	450.1^{ghi}	780.8^{efg}	0.0576^{def}	1.84^{b}	41.66^{f}	Y=0.00174x-0.0192
LSD	14.894	30.286	0.0019	0.0157	0.648	-

I_1, I_2 and I_3 are normal irrigation, moderate irrigation withholding of heading stage and booting stage respectively. B_1, B_2, B_3 and B_4 are no application of bio fertilizers, application of vermicompost, application of Mycorrhiza, both application of application of and Mycorrhiza. P_1, P_2 and P_3 are no foliar application, foliar application 0.4 and 0.8 mM of putrescine. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه: نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف توام ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل از افزایش ۲۰/۳۷ درصدی طول دوره پر شدن دانه نسبت به تیمار عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۵). بیش‌ترین طول دوره موثر پر شدن دانه در ترکیب‌های تیماری محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین تحت شرایط آبیاری کامل (۳۲/۹۷ روز)، و مصرف توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا تحت شرایط آبیاری کامل (۳۳/۳۶ روز) به‌دست آمد که به‌ترتیب از افزایش ۲۴/۸۳ و ۳۰/۸۲ درصدی نسبت به شرایط عدم مصرف پوترسین و کودهای زیستی در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد که محدودیت آبی از طریق تسریع پیری، موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Bahrani *et al.*, 2011). از طرفی به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی پوترسین به‌دلیل جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تاخیر در پیری برگ‌ها به ویژه برگ پرچم (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری)، میزان فتوسنتز برگ را افزایش می‌دهد. در چنین شرایطی میزان تثبیت کربن بالا بوده و گیاه فرصت بیش‌تری برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در اختیار دارد و در نتیجه موجب افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Emadi *et al.*, 2013). در این راستا، محسنی محمدجانلو و همکاران (Mohseni Mohammadjanlou *et al.*, 2021) با انجام آزمایشی گزارش کردند که محلول‌پاشی پوترسین تحت شرایط محدودیت آبی از طریق افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، موجب بهبود طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه در گندم شد.

بخشی از افزایش سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه به‌واسطه مصرف ورمی‌کمپوست را می‌توان به بالا بودن غلظت آهن، روی و نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست مورد استفاده (جدول ۳) که از عناصر ضروری در سنتز کلروفیل محسوب می‌شوند، نسبت داد. در نتیجه با بهبود میزان فتوسنتز جاری (جدول ۸)، موجب افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت حداکثر وزن دانه تریتیکاله تحت شرایط تنش شد (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021). برخی از محققان بیان کردند که ورمی‌کمپوست حاوی عناصر غذایی بوده و از طریق همزیستی با میکوریزا و تحریک رشد ریشه، قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و توان نگهداری آب در خاک و افزایش جذب آن توسط گیاه، با تغذیه مستقیم و بهبود فتوسنتز موجب بهبود شرایط رشد و طولانی شدن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و در نهایت افزایش سرعت، طول دوره پر شدن دانه و حداکثر وزن دانه تحت شرایط محدودیت آبی شد (Jahangiri Naseri *et al.*, 2017). ناصری و همکاران (Nia *et al.*, 2017) نیز اظهار داشتند که قارچ میکوریزا با افزایش سیستم ریشه‌دهی و ایجاد یک شبکه سیستم ریشه‌ای قوی در گندم، موجب استفاده از حجم بیش‌تر خاک و در نتیجه بهبود جذب عناصر غذایی طی مرحله پر شدن دانه می‌شود و به تبع آن با بهبود فتوسنتز جاری، سرعت و طول دوره پر شدن دانه در گندم را افزایش می‌دهد.

جدول ۶- مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی و پوترسین بر دوره موثر پر شدن دانه تریتیکاله در سطوح مختلف آبیاری

Table 6. Comparison of means of the effects of bio-fertilizers and putrescine on effective grain filling period of triticale under different irrigation levels

Treatments†	B_1	B_2	B_3	B_4	P_1	P_2	P_3
Normal irrigation	29.76^{de}	31.11^{bc}	31.81^{b}	33.36^{a}	30.31^{bc}	31.24^{b}	32.97^{a}
No irrigation from heading stage	26.74^{gh}	28.84^{ef}	29.88^{de}	31.53^{b}	28.8^{ef}	29.32^{cd}	30.61^{bc}
No irrigation from booting stage	25.5^{i}	26.1^{hi}	27.7^{fg}	30.15^{cd}	26.41^{f}	27.02^{f}	28.65^{de}
$LSD_{5\%}$	1.185				1.455		

Means with similar letters in each column are not significantly different LSD test at 5% probability level.

†: B_1, no application of bio-fertilizers; B_2, application of vermicompost; B_3, application of Mycorrhiza; B_4, both application of vermicompost and Mycorrhiza; P_1, no application of putrescine; P_2 and P_3, foliar application of 0.4 and 0.8 mM putrescine, respectively.

جدول ۷- تجزیه واریانس تاثیر کودهای زیستی و پوترسین بر انتقال ماده خشک و عملکرد دانه تریتیکاله در سطوح مختلف آبیاری

Table 7. Analysis of variance of the effect of bio-fertilizers and putrescine on dry matter remobilization and grain yield of triticale under different irrigation levels

		Mean squares						
Source of variation†	df	DMR	CRGY	DMRS	CSRGY	CP	CCPGY	GY
Replication	2	37654.4**	1196.5**	25501.4**	813.1**	242687.9**	7294.5**	48446.3**
Irrigation levels (I)	2	3002.8**	590**	2981.4**	468.4**	127703.3**	590**	61274.9**
Bio fertilizers (B)	3	1940.5**	382.7**	1665.5**	286.2**	75931.9**	382.7**	37178.3**
Putrescine (P)	2	901.6**	215.7**	1386.4**	203.4**	47455**	215.7**	23827.8**
I×B	6	146**	7.6*	376**	72**	10849**	76**	5118**
I×P	4	2.6^{ns}	0.75^{ns}	6.3^{ns}	0.89^{ns}	130.9^{ns}	0.75^{ns}	38.3^{ns}
B×P	6	288**	59**	243**	43**	9291**	59**	5605**
I×B×P	12	140**	31**	295**	31**	9985**	31**	1861*
Error	70	43.1	2.4	35.7	2.6	634.9	8.5	796
CV (%)	-	4.05	5.35	4.48	6.86	6.1	4.1	5.19

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

†: The trait abbreviations are including: DMR, dry matter remobilization; CRGY, contribution of remobilization in grain yield; DMRS, dry matter remobilization from stem; CSRGY, contribution of stem reserve in grain yield; CP, current photosynthesis; CCPGY, contribution of current photosynthesis in grain yield; GY, grain yield.

انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه: نتایج نشان داد که مصرف توام ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در تیمار آبیاری کامل از کم‌ترین میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی (۱۱۲/۳۸ و ۱۴۱/۴ گرم در متر مربع) برخوردار بوده و از کاهش ۹۴/۱۴ و ۸۵/۷۴ درصدی سهم این فرآیندها در عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۸). به‌نظر می‌رسد در شرایط مطلوب و دسترسی به منابع کافی، بالا بودن فتوسنتز جاری موجب می‌شود تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع بتواند در مخزن مورد استفاده قرار گیرد، اما در شرایط محدودیت آبی، عدم دسترسی به عناصر غذایی ممکن است تعادل منبع و مخزن را به‌هم بزند و در چنین شرایطی قدرت مخزن بیش‌تر از منبع بوده و به‌دلیل روابط فیزیولوژیک موجود بین منبع و مخزن، منبع میزان انتقال ماده خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را تامین کند (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2015). همچنین گزارش شده است که در مرحله زایشی بروز تنش کمبود آب به‌دلیل کاهش شاخص سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز جاری در گیاه، موجب افزایش مشارکت بخش‌های رویشی در انتقال مجدد ماده خشک ذخیره‌ای به دانه شد (Nazari *et al.*, 2021). در این راستا بحرانی و همکاران (Bahrani *et al.*, 2011) گزارش کردند که محدودیت آبی با تسریع پیری و کاهش طول دوره پر شدن دانه، موجب افزایش انتقال مجدد از اندام هوایی به دانه گندم شد. در چنین شرایطی قارچ میکوریزا با گسترش ریشه و افزایش سطح جذب آن، جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده که این امر موجب افزایش رشد برگ و ذخیره مواد فتوسنتزی می‌شود. با افزایش عناصر قابل دسترس، منبع به‌دلیل گسترش سطح برگ و افزایش شاخص سطح برگ، مواد فتوسنتزی بیش‌تری را برای مخازن ساخته و به‌تبع آن انتقال مجدد ماده خشک کاهش می‌یابد (Seyed Sharifi and Nazarly, 2013). در این رابطه نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2021) بیان کردند که قارچ میکوریزا با افزایش شاخص سطح برگ و متعاقب آن فتوسنتز و مواد اندوخته‌ای در گیاه را بالا می‌رود، در چنین شرایطی منبع قادر به تامین ظرفیت مخزن بوده و توانایی منبع در تامین نیاز مخزن موجب می‌شود که انتقال مجدد ماده خشک کاهش یابد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت.

نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2021) بیان کردند که مصرف توام میکوریزا و ورمی‌کمپوست با بهبود وزن و حجم ریشه به‌دلیل تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم و افزایش فتوسنتز جاری، موجب انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و افزایش سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه و کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی به دانه‌های تریتیکاله تحت شرایط محدودیت آبی شد. بخشی از کاهش انتقال ماده خشک از

ساقه و اندام‌هوایی به‌واسطه محلول‌پاشی پوترسین را می‌توان به جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تاخیر در پیری برگ‌ها (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری) و افزایش میزان فتوسنتز برگ نسبت داد. در چنین شرایطی میزان تثبیت کربن بالا بوده و گیاه فرصت بیش‌تری برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را دارد، که موجب افزایش طول دوره پر شدن دانه و کاهش انتقال ماده خشک می‌شود (Emadi *et al.*, 2013). در این آزمایش نیز احتمالاً مصرف توام ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی پوترسین با بهبود فتوسنتز جاری و افزایش سهم آن در عملکرد دانه (جدول ۸)، میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه را کاهش داد (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی و پوترسین بر انتقال ماده خشک و عملکرد دانه تریتیکاله در سطوح مختلف آبیاری

Table 8. Comparison of means of the effects of bio-fertilizers and putrescine on dry matter remobilization and grain yield of triticale under different irrigation levels

Treatment†	DMR (g.m^{-2})	CRGY (%)	DMRS (g.m^{-2})	CSRGY (%)	CP (g.m^{-2})	CCPGY (%)	GY (g.m^{-2})
$I_1\times B_1\times P_1$	167.3^{gh}	30.9^{ghi}	139^{efg}	25.67^{ghi}	374.01^{nop}	69.09^{klm}	518.42^{pqrs}
$I_1\times B_2\times P_1$	160.04^{jkl}	28.15^{jk}	132.8^{ij}	23.361^{jkl}	408.41^{klm}	71.84^{ij}	539.31^{lmno}
$I_1\times B_3\times P_1$	151.92^{opq}	24.92^{mn}	128.94^{kl}	21.15^{nop}	457.53^{ghi}	75.07^{fg}	566.58^{ghij}
$I_1\times B_4\times P_1$	145.5^{s}	22.13^{qrs}	117.64^{op}	17.89^{stuv}	511.71^{bcd}	77.86^{abc}	610.78^{bc}
$I_1\times B_1\times P_2$	163.63^{hij}	29.36^{ijk}	133.5^{hi}	23.96^{jk}	393.52^{lmn}	70.63^{ijk}	529.21^{nopq}
$I_1\times B_2\times P_2$	155.6^{no}	24.75^{mno}	124.37^{mn}	19.78^{pqr}	472.93^{fgh}	75.24^{efg}	578.9^{5efgh}
$I_1\times B_3\times P_2$	147.44^{rs}	22.79^{pqr}	117.8^{op}	18.2^{stu}	499.46^{de}	77.2^{bcd}	597.25^{cde}
$I_1\times B_4\times P_2$	141.65^{t}	21.08^{s}	115.25^{pq}	17.15^{uv}	530.15^{ab}	78.91^{a}	619.49^{ab}
$I_1\times B_1\times P_3$	151.74^{pq}	23.7^{9nopq}	121.44^{no}	19.04^{rst}	485.96^{ef}	76.2^{cdef}	586.56^{defg}
$I_1\times B_2\times P_3$	147.06^{rs}	22.15^{qrs}	117.02^{p}	17.62^{tuv}	516.83^{abcd}	77.84^{abc}	612.88^{abc}
$I_1\times B_3\times P_3$	145.13st	21.68^{rs}	116.8^{p}	17.45^{uv}	524.21^{abc}	78.31^{ab}	620.11^{ab}
$I_1\times B_4\times P_3$	141.4^{t}	20.62^{s}	112.38^{q}	16.39^{v}	544.02^{a}	79.37^{a}	632.59^{a}
$I_2\times B_1\times P_1$	178.43^{ab}	36.47^{bc}	151.05^{ab}	30.88^{abc}	310.69^{uvx}	63.52^{qr}	466.28^{xyz}
$I_2\times B_2\times P_1$	172.66^{cdef}	34.24^{de}	145.6^{cd}	28.88^{de}	331.46^{stuv}	65.75^{op}	469.65^{wxyz}
$I_2\times B_3\times P_1$	169.12^{fg}	31.54^{fg}	136.74^{gh}	25.5^{hi}	367.05^{opq}	68.45^{mn}	512.73^{qr}
$I_2\times B_4\times P_1$	156.5^{lmn}	26.28^{lm}	129.18^{jkl}	21.69^{mno}	438.81^{ij}	73.71^{gh}	555.94^{ijkl}
$I_2\times B_1\times P_2$	176^{bc}	35.49^{cd}	148.45^{abc}	29.93^{bcd}	319.88^{uvw}	64.5^{pq}	483.14^{uvwx}
$I_2\times B_2\times P_2$	164.72^{hi}	31.2^{gh}	141.86^{def}	26.87^{fgh}	363.08^{opqr}	68.79^{lm}	507.8^{7rst}
$I_2\times B_3\times P_2$	164.21^{hi}	29.36^{ijk}	133.17^{hi}	23.81^{jkl}	395^{lmn}	70.63^{ijk}	533.36^{mnop}
$I_2\times B_4\times P_2$	152.15^{opq}	23.99^{nop}	122.6^{n}	19.33^{qrs}	482.04^{efg}	76^{def}	589.2^{def}
$I_2\times B_1\times P_3$	169.8^{efg}	33.2^{ef}	138.36^{fg}	27.05^{fg}	341.54^{rstu}	66.79^{no}	492.43^{tuv}
$I_2\times B_2\times P_3$	162.75^{ijk}	27.7^{2kl}	131.33^{ijk}	22.36^{lmn}	424.36^{jk}	72.27^{hi}	549.77^{jklm}
$I_2\times B_3\times P_3$	155.92^{n}	25.49^{mn}	126.84^{lm}	20.73^{opq}	455.73^{hi}	74.5^{fg}	565.24^{hijk}
$I_2\times B_4\times P_3$	150.33^{qr}	23.1^{opqr}	118.11^{op}	18.15^{stu}	500.21^{cde}	76.89^{bcde}	603.5^{bcd}
$I_3\times B_1\times P_1$	182.08^{a}	38.3^{a}	151.26^{a}	31.82^{a}	293.22^{x}	61.69^{s}	453.13^{z}
$I_3\times B_2\times P_1$	176.35^{bc}	36.46^{bc}	148.13^{abc}	30.62^{abc}	307.3^{vwx}	63.53^{qr}	458.43^{yz}
$I_3\times B_3\times P_1$	175.1^{bcd}	34.97^{cd}	147.33^{bc}	29.42^{cd}	325.53^{tuv}	65.02^{pq}	477.81^{vwxy}
$I_3\times B_4\times P_1$	163.22^{ijk}	29.73^{hij}	141.52^{ef}	25.78^{ghi}	385.68^{mno}	70.26^{jkl}	523.91^{opqr}
$I_3\times B_1\times P_2$	181.8^{a}	37.85^{ab}	150.74^{ab}	31.39^{ab}	298.41^{wx}	62.14^{rs}	460.73^{yz}
$I_3\times B_2\times P_2$	172.05^{def}	33.16^{ef}	142.5^{de}	27.46^{ef}	346.76^{qrst}	66.83^{no}	499.01^{stu}
$I_3\times B_3\times P_2$	169.47^{efg}	32.54^{efg}	142.23^{de}	27.31^{f}	351.23^{pqrs}	67.45^{mno}	500.59^{stu}
$I_3\times B_4\times P_2$	156.14^{mn}	26.41^{lm}	128.66^{kl}	21.76^{mno}	434.99^{ij}	73.58^{gh}	554.68^{ijkl}
$I_3\times B_1\times P_3$	172.91^{cde}	33.89^{de}	147.8^{abc}	28.97^{de}	337.21^{stu}	66.1^{op}	489.24^{tuvw}
$I_3\times B_2\times P_3$	167.08^{gh}	31.21^{gh}	132.03^{ijk}	24.66^{ij}	368.24^{opq}	68.78^{lm}	515.03^{pqrs}
$I_3\times B_3\times P_3$	159.77^{klm}	27.72^{kl}	131.82^{ijk}	22.87^{klm}	416.55^{jkl}	72.27^{hi}	545.36^{klmn}
$I_3\times B_4\times P_3$	154.46^{nop}	24.92^{mn}	126.5^{lm}	20.41^{opqr}	465.3^{fgh}	75.07^{fg}	571.86^{fghi}
LSD	3.768	1.706	3.825	1.528	24.475	1.706	20.025

Means with similar letters in each column are not significantly different LSD test at 5% probability level.

†: I_1, normal irrigation; I_2 and I_3, stopping irrigation from heading and booting stages, respectively; B_1, no application of bio-fertilizers; B_2, application of vermicompost; B_3, application of Mycorrhiza; B_4, both application of vermicompost and Mycorrhiza; P_1, no application of putrescine; P_2 and P_3, foliar application of 0.4 and 0.8 mM putrescine, respectively; DMR, dry matter remobilization; CRGY, contribution of remobilization in grain yield; DMRS, dry matter remobilization from stem; CSRGY, contribution of stem reserve in grain yield; CP, current photosynthesis; CCPGY, contribution of current photosynthesis in grain yield; GY, grain yield.

فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف توام ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل با افزایش ۲۸/۶۵ درصدی سهم این فرآیند در عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۸). عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2020) بیان داشتند در شرایط بهینه، فتوسنتز جاری بیش‌ترین سهم را در وزن دانه‌ی ژنوتیپ‌های گندم دارد، ولی در شرایط محدودیت آبی سهم توزیع مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها افزایش می‌یابد و جبران اثر منفی تنش خشکی بر میزان تولید جاری مواد فتوسنتزی، از طریق افزایش سهم توزیع مجدد مواد ذخیره شده در مراحل قبل از گرده‌افشانی تا حدودی امکان پذیر می‌گردد. حیدرزاده و همکاران (Heydarzadeh *et al.*, 2020) اظهار داشتند قارچ میکوریزا از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، موجب افزایش فتوسنتز جاری و کاهش انتقال ماده خشک می‌شود. نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2021) بیان کردند که مصرف توام قارچ میکوریزا و ورمی‌کمپوست با بهبود ساختار ریشه (وزن و حجم ریشه) به‌دلیل تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم ضمن افزایش فتوسنتز جاری و سهم این فرایند در عملکرد دانه، منجر به کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی به دانه‌های تریتیکاله تحت شرایط محدودیت آبی شد.

به‌نظر می‌رسد بخش دیگری از بهبود فتوسنتز جاری می‌تواند ناشی از مقادیر بالای عناصری مانند نیتروژن و فسفر، آهن و منگنز در ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش باشد (جدول ۳) که با کمک به بهبود محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو می‌تواند منجر به افزایش فتوسنتز در گیاهان شود (Aggelides and Londra, 2000). نتایج مشابهی نیز توسط محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021) مبنی بر اینکه مصرف ورمی‌کمپوست به‌دلیل افزایش فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه از جمله آهن، روی و نیتروژن که از عناصر ضروری در سنتز کلروفیل محسوب می‌شوند، می‌تواند موجب افزایش محتوای کلروفیل و میزان فتوسنتز شود گزارش شده است. برخی محققان تاثیر پوترسین در شرایط محدودیت آبی بر افزایش سرعت فتوسنتز را به بهبود محتوای آب گیاه، افزایش محتوای کلروفیل، افزایش انتقال الکترون و بهبود فعالیت آنزیم روبیسکو نسبت دادند (Skowron and Trojak, 2021). عمادی و همکاران (Emadi *et al.*, 2013) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تاخیر در پیری برگ‌ها (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری) موجب افزایش میزان فتوسنتز برگ و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شد.

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۳۲/۵۹ گرم در مترمربع) در مصرف توام ورمی-کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی پوترسین در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۸)، که این ترکیب تیماری از افزایش ۳۹/۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۸).

کمبود آب در گیاه موجب تغییر در ساختار ریشه (کاهش وزن خشک و حجم ریشه) می‌شود که در ادامه با کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مواد به دانه‌ها، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Nazari *et al.*, 2021). گزارش شده است که تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، به‌دلیل کاهش میزان فتوسنتز موجب کاهش مقدار مواد فتوسنتزی می‌شود که در نهایت با پر نشدن تعدادی از دانه‌ها و یا کوچک ماندن آن‌ها موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود. از طرفی مصرف کودهای حاوی عناصر غذایی ضروری از جمله نیتروژن و دسترسی آن‌ها برای انجام عمل فتوسنتز و تولید آسیمیلات لازم برای پرکردن دانه‌ها، موجب بهبود شرایط تغذیه‌ای و تسریع فرآیندهای متابولیکی گیاه شده و در نتیجه فرصت بیشتری برای ساخت و تولید مواد آسیمیله فراهم شده و افزایش بقاء دانه‌ها و افزایش انتقال مواد آسمیله شده به سنبله و افزایش سایز دانه و عملکرد می‌شود (Eskandari Torbaghan and Fazeli Kakhki, 2021). در این راستا بخشی از افزایش عملکرد دانه به‌واسطه مصرف ورمی‌کمپوست و میکوریزا را می‌توان به افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۵)، بالا بودن غلظت آهن، روی و نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست مورد استفاده (جدول ۳) و دریافت بهتر و بیشتر این عناصر غذایی توسط ریسه‌های قارچ میکویزا نسبت داد که با بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۸)، موجب افزایش عملکرد دانه شده است.

نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2021) اظهار داشتند که مصرف کودهای زیستی (میکوریزا و ورمی‌کمپوست) تحت شرایط محدودیت آبی به‌دلیل تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم و بهبود ساختار ریشه (وزن و حجم ریشه) ضمن افزایش فتوسنتز جاری، موجب انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد.

به‌نظر می‌رسد که بخش دیگری از بهبود عملکرد دانه در این آزمایش می‌تواند ناشی از افزایش سرعت پر شدن دانه و افزایش طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (جدول‌های ۵ و ۶) به‌واسطه تیمارهای مورد استفاده باشد. در این رابطه جهانگیری‌نیا و همکاران (Jahangiri Nia *et al.*, 2017) اظهار داشتند که کود زیستی ورمی‌کمپوست حاوی عناصر غذایی فراوانی است که از طریق همزیستی با میکوریزا و تحریک رشد ریشه، قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و توان نگهداری آب در خاک و جذب آن توسط گیاه را افزایش می‌دهد و با تغذیه مستقیم و بهبود فتوسنتز، موجب بهبود شرایط رشد و طولانی شدن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه، و در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه سویا تحت شرایط محدودیت آبی شد. ناصری و همکاران (Naseri *et al.*, 2017) نیز اظهار داشتند که مصرف میکوریزا به‌دلیل افزایش سیستم ریشه‌دهی (وزن، طول و حجم ریشه)، بهره‌برداری از حجم بیش‌تر خاک را توسط گیاه ممکن می‌سازد که این سیستم ریشه‌دهی منجر به جذب بیش‌تر عناصر غذایی نظیر فسفر، پتاسیم و نیتروژن و انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی می‌شود و با توجه به نقش این عناصر غذایی در افزایش محتوای کلروفیل و سطح برگ گیاه، موجب بهبود سیستم فتوسنتزی و در نهایت افزایش فتوسنتز جاری می‌شود. در این آزمایش نیز افزایش سهم فتوسنتز در عملکرد دانه (جدول ۸) و بهبود سرعت و طول دوره پر شدن دانه (جدول‌های ۵ و ۶) را احتمالاً می‌توان به این موضوع نسبت داد که در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه شده است. در این راستا محسنی محمدجانلو و همکاران (Mohseni Mohammadjanlou *et al.*, 2021) اظهار داشتند که محلول‌پاشی پوترسین تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود سرعت و طول دوره پر شدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد.

نتیجه‌گیری کلی

بیش‌ترین میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه در ترکیب تیماری عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی (محدودیت شدی آبی) مشاهده شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف توام ورمی‌کمپوست با میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل، با افزایش ۶۲/۱۱، ۶۳/۱۷ و ۸۵/۵۳ درصدی به‌ترتیب وزن و حجم ریشه و فتوسنتز جاری، موجب افزایش حداکثر وزن دانه (۴۷/۵ درصد) و طول دوره پر شدن دانه (۲۰/۳۷ درصد) نسبت به شرایط عدم مصرف کودهای زیستی و پوترسین در تیمار قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد. همچنین مصرف توام ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل، از بیش‌ترین میزان عملکرد دانه برخوردار بود. به‌نظر می‌رسد مصرف کودهای زیستی و پوترسین در شرایط محدودیت آبی می‌تواند با بهبود فتوسنتز جاری و مولفه‌های پر شدن دانه، عملکرد دانه تریتیکاله را افزایش دهد.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Adak, T., Singha, A., Kumar, K., Shukla, S. K., Singh, A. and Kumar Singh, V. 2014. Soil organic carbon, dehydrogenase activity, nutrient availability and leaf nutrient content as affected by organic and inorganic source of nutrient in mango orchard soil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 14 (2): 394-406.

Aggelides, S. M. and Londra, P. A. 2000. Effects of compost produced from town wasted and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. **Bioresource Technology** 71: 253-259.

Aghaei, F., Seyed Sharifi, R. and Narimani, H. 2020. Evaluation of yield, chlorophyll content, and grain filling components of wheat under salinity soil conditions and application of uniconazole and biofertilizers. **Journal of Crops Improvement** 22 (2): 269-282. (In Persian with English Abstract).

Bahrani, A., Heidari Sharif Abad, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Moafpourian, Gh. and Ayneh Band, A. 2011. Remobilization of dry matter in wheat: effects of nitrogen application and post-anthesis water deficit during grain filling. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science** 39 (4): 279-293.

Barnett, K. H. and Pearce, P. B. 1983. Source-sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. **Crop Science** 23 (2): 101-109.

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N. and Zhang, L. 2019. Role of *Arbuscular mycorrhizal* fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. **Frontiers in Plant Science** 10: 1-15.

Bezabih, A., Girmay, G. and Lakewu, A. 2019. Performance of triticale varieties for the marginal highlands of Wag-Lasta, Ethiopia. **Cogent Food and Agriculture** 5: 1-11.

Druege, U., Baltruschat, H. and Franken, P. 2007. *Piriformospora indica* promotes adventitious root formation in cuttings. **Scientia Horticulturae** 112: 422-426.

Ebadi, N., Seyed Sharifi, R. and Narimani, H. 2020. Effects of supplementary irrigation and biofertilizers on grain yield, dry matter remobilization and some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) under rainfed conditions. **Journal of Crop Production and Processing** 10 (2): 123-135. (In Persian with English Abstract).

Ehdaie, B. and Waines, J. G. 1993. Variation in water use efficiency and its components in wheat. **Crop Science** 31: 1282-1288.

Ellis, R. H. and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. **Seed Science Research** 2: 19-25.

Emadi, M. S., Hassibi, P. and Azimi, A. 2013. Effect of foliar application of putrescine and nutrient elements on grain yield and quality of two bread wheat cultivars. **Iranian Journal of Crop Sciences** 15 (3): 247-261. (In Persian with English Abstract).

Emadi, M. S., Hassibi, P. and Azimi, A. P. 2014. Effect of putresine and nutrients foliar application on some physiological characters of two wheat (*Triticum aestivum* L.) bread cultivars in Ahvaz. **Journal of Plant Productions** 37 (4): 107-118. (In Persian with English Abstract).

Eskandari Torbaghan, M. and Fazeli Kakhki, S. F. 2021. An investigation of the effect of fertilizer enhancers on some yield components of wheat yield in the last irrigation cut in the field conditions. **Journal of Plant Process and Function** 10 (45): 89-106. (In Persian with English Abstract).

Ghodsi, M., Jalal Kamali, M. R., Chaichi, M. R. and Mazaheri, D. 2004. Dry matter accumulation and remobilization in bread wheat cultivars under water stress during pre- and postanthesis stages in field conditions. **Iranian Journal of Field and Crops Research** 1: 205-216. (In Persian with English Abstract).

Gianinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J. M. and Haselwandter, K. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: From genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 3764364858. Also in: **Mycorrhiza 13: 53-54.** Lovato, P. Book review.

Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A. and Jamei, R. 2020. Changes in partitioning and remobilization of assimilate in Maragheh vetch (*Vicia sativa*) cultivar under the influence of biological fertilizers and supplementary irrigation in the integrated tree, and crop system. **Iranian Journal of Pulses Research** 11 (2): 36-49. (In Persian with English Abstract).

Islam, M. J., Uddin, M. J., Hossain, M. A., Henry, R., Begum, M. K., Sohel, M. A. T., Mou, M. A., Ahn, J., Cheong, E. J. and Lim, Y. S. 2022. Exogenous putrescine attenuates the negative impact of drought stress by modulating physiobiochemical traits and gene expression in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **PLoS ONE** 17 (1): e0262099.

Jahangiri Nia, E., Syyadat, A., Koochakzadeh, A., Sayyahfar, M. and Moradi Talavat, M. R. 2017. The effect of vermicompost and mycorrhizal inoculation on grain yield and some physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress condition. **Journal of Agroecology** 8 (4): 583-597. (In Persian with English Abstract).

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M. 2015. Effects of biofertilizers and nano zinc oxide on remobilization and some growth indices of triticale under water limitation conditions. **Crop Physiology Journal** 7 (26): 37-56. (In Persian with English Abstract).

Ma, S. C., Duan, A. W., Wang, R., Guan, Z. M., Yang, S. J., Ma, S. T. and Shao, Y. 2015. Root sourced signal and photosynthetic traits, dry matter accumulation and remobilization, and yield stability in winter wheat as affected by regulated deficit irrigation. **Agricultural Water Management** 148: 123-129.

Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Narimani, H. and Khalilzadeh, R. 2021. Effects of Salinity, vermicompost, humic acid and seed inoculation with flavobacterim on grain filling of triticale. **Journal of Agricultural Science and Sustainable Production** 31 (2): 250-269. (In Persian with English Abstract).

Mohseni Mohammadjanlou, A., Seyed Sharifi, R. and Khomari, S. 2021. Effects of holding irrigation at reproductive stages and putrescine and bio fertilizers application on grain filling period, chlorophyll content and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Iranian Journal of Field Crops Research** 19 (2): 153-167. (In Persian with English Abstract).

Mustafavi, S. H., Naghdi Badi, H., Sekara, A., Mehrafarin, A., Janda, T., Ghorbanpour, M. and Rafiee, H. 2018. Polyamines and their possible mechanisms involved in plant physiological processes and elicitation of secondary metabolites. **Acta Physiologiae Plantarum** 40: 102.

Naseri, R., Baray, M., Zarea, M. J., Khavazi, K. and Tahmasebi, Z. 2017. Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. **Journal of Soil Biology** 5 (1): 49-66. (In Persian with English Abstract).

Nayyar, H., Sehgal, A., Sharma, K. S., Siddique, K. H., Kumar, R., Bhogireddy. S., Varshney. R. K., Hanumantharao. B., Madhavan-nair. R. and Prasad, P. 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields and nutritional quality. **Frontiers in Plant Science** 9: 1705.

Nazari, Z., Seyed Sharifi, R. and Narimani, H. 2021. Effect of Mycorrhiza, vermicompost and nanosilicon on current photosynthesis, dry matter remobilization and their contribution in grain yield of triticale under water limitation conditions. **Crop Physiology Journal** 13 (51): 5-24. (In Persian with English Abstract).

Ronanini, D., Savin, R. and Hal, A. J. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. **Field Crops Research** 83: 79-90.

Seyed Sharifi, R. and Nazarly, H. 2013. Effects of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield, fertilizer use efficiency and dry matter remobilization of sunflower (*Helianthus annus* L.) with various levels of nitrogen fertilizer. **Journal of Agricultural Science and Sustainable Production** 23 (3): 27-45. (In Persian with English Abstract).

Sharifani, M. M., Farhadi, H., Alizade, M., Hokmabadi, H. and Aliniaeifard, S. 2021. Evaluation of chlorophyll fluorescence changes, the amount of biomass of the rootstocks and interspecific hybrids of the genus pistachios (*P. vera* × *P. integerrima*) in order to achieve drought tolerant rootstocks. **Pomology Research Scientific Journal** 5 (2): 155-171. (In Persian with English Abstract).

Skowron, E. and Trojak, M. 2021. Effect of exogenously-applied abscisic acid, putrescine and hydrogen peroxide on drought tolerance of barley. **Biologia** 76: 453-468.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

doi: 10.22124/CR.2022.22374.1726

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 11, No. 4, Winter 2022 (359-373)

Effect of biofertilizer and putrescine application on grain filling components and dry matter remobilization of triticale (*Triticosecale* Wittmack) under water limitation conditions

Hamed Narimani[1*], Raouf Seyed Sharifi[2] and Mohammad Sedghi[2]

Received: November 24, 2021 Accepted: February 14, 2022

Abstract

To study the effect of biofertilizer and putrescine application on grain filling components and dry matter remobilization of triticale (*Triticosecale* Wittmack) in water limitation conditions, an experiment was conducted as factorial in randomized complete block design with three replications at the research farm of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, in 2020. The experimental treatments were included irrigation in three levels (full irrigation as control, irrigation withholding at 50% of heading and booting stages as moderate and severe water limitation, respectively), application of biofertilizers in four levels (no application as control, application of vermicompost, application of *Mycorrhiza,* both application vermicompost and *Mycorrhiza*), and application of putrescine (water sprying as control, and foliar application of 0.4 and 0.8 mM putrescine). The results showed that co-application of vermicompost and mycorrhiza along with foliar application of 0.8 mM putrescine under full irrigation conditions decreased dry matter remobilization from stem (34.59%) and shoot (28.76%) and their contribution in grain yield (94.14 and 85.74%, respectively) compared to no application of biofertilizers and putrescine under irrigation withholding conditions at booting stage. Furthermore, co-application of vermicompost and mycorrhiza along with foliar application of 0.8 mM putrescine under full irrigation conditions increased root weight (62.11%), root volume (63.17%), current photosynthesis (85.53%) as well as contribution of current photosynthesis in grain yield (28.65%), grain filling period (20.37%) and grain yield (39.6%) compared to no application of biofertilizers and putrescine under irrigation withholding conditions at booting stage. Based on the results of this experiment, it seems that the application of biofertilizers and foliar application of putrescine can increase the grain yield of triticale under water limitation conditions by improving current photosynthesis and grain filling components.

Keywords: Current photosynthesis, Drought stress, Grain filling rate, Root weight

1. Ph. D student, Crop Physiology, Department of Plant production and genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Prof. Department of Plant production and genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[*] Corresponding author: hamed.narimani@gmail.com