مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر تنش شوری و کاربرد فسفر در مراحل مختلف رشد گندم بر زیست‌توده و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی آن

مسعود تدین‌نژاد[۱*]، محسن دهقانی[۲] و فرزاد پارسادوست[۳]

[۱و۲] استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان

[۳] محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰)

چکیده

فسفر گرچه در بین عناصر پرنیاز کمترین مقدار را در گیاه دارد ولی به‌دلیل نقش مهمی که در فرایندهای حیاتی گیاه دارد تأمین آن در طول دوره رشد گندم ضروری است. این پژوهش به‌منظور بررسی پاسخ گندم به کاربرد فسفر در مراحل مختلف رشد آن و در شرایط متفاوت شوری آب به‌صورت گلدانی و در بستر کشت بدون خاک انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل کیفیت آب آبیاری (۲ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر)، غلظت فسفر (۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) و پنج مرحله‌ای از رشد گندم که فسفر دریافت نمود (مرحله گیاهچه‌ای، پنجه‌زنی، طویل‌شدن ساقه، گلدهی و پرشدن دانه) و سه تکرار انجام شد. گیاهان در پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی برداشت شدند. وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، غلظت فسفر شاخساره، کلروفیل و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز اندازه‌گیری شد. تنش شوری باعث کاهش ۴۸ درصد غلظت فسفر شاخساره، ۴۰ درصد وزن خشک ریشه و شاخساره و به‌ترتیب ۱۰۰ و ۵۰ درصد افزایش کاتالاز و پراکسیداز شد. افزایش غلظت فسفر از ۳۰ به ۴۵ میلی‌گرم در لیتر باعث ۱۰ و ۳۶ درصد به‌ترتیب افزایش وزن خشک ریشه و شاخساره شد. بیشترین مقدار کلروفیل، وزن خشک ریشه و شاخساره در اثر استفاده از فسفر در مرحله طویل‌شدن ساقه و کمترین مقادیر آن‌ها مربوط به کاربرد فسفر در مرحله گیاهچه‌ای مشاهده شد. براساس این پژوهش به‌نظر می‌رسد که کوددهی در طول دوره رشد گندم به‌ویژه در مرحله طویل‌شدن ساقه و گلدهی لازم است.

واژه‌های کلیدی: شوری، فسفر، گندم، مراحل رشد

مقدمه

فسفر از عناصر غذایی ضروری برای محصولات کشاورزی است و کاربرد آن برای دستیابی به تولید مطلوب در این محصولات بسیار مهم است (Marschner, 1995). این عنصر، تشکیل‌دهنده مولکول‌های حیاتی DNA، RNA و ATP است. همچنین فسفر در فتوسنتز، تنفس و توسعه رشد ریشه نقش بسزایی دارد (Havlin *et al*., 2005; Uchida, 2000; Vance *et al*., 2003).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m.tadayonnejad@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

بیشتر خاک‌های ایران، آهکی است (Roozitalab *et al.*, 2018) و در این خاک‌ها قابلیت جذب فسفر با افزایش pH کاهش می‌یابد بنابراین کمبود فسفر یکی از مشکلات تغذیه‌ای رایج در خاک‌های آهکی است (Tunesi *et al.*, 1999). براساس گزارش‌های علمی، کمتر از ۰/۰۱ درصد از فسفر کل خاک قابل استفاده برای گیاه است (Gallaher, 2007; Mengel and Kirkby, 2001). شکل قابل جذب این عنصر در بیشتر خاک‌های ایران کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (Roozitalab *et al.*, 2018).

از آنجا که فسفر به‌شدت در معرض واکنش با ترکیبات خاک است و در خاک غیرمتحرک است تنها از مسیر انتشار و برخورد مستقیم ریشه جذب گیاه می‌شود. به همین علت ریشه گیاه باید برای جذب فسفر موردنیاز خود در میان خاک رشد کند. فسفر به‌سرعت از سطح ریشه جذب می‌شود و به همین علت منطقه‌ای به شعاع ۰/۲ تا یک میلی‌متر اطراف ریشه فاقد فسفر است بنابراین استفاده از کودهای فسفری در ریزوسفر گیاه در طول دوره رشد به‌شدت توصیه می‌شود (Mikkelsen, 2013).

گیاه در مراحل اولیه رشد به‌سرعت از فسفر قابل جذب خاک استفاده می‌کند اما در مراحل بعدی رشد باید از فسفر خاک که به‌تدریج به شکل قابل جذب تبدیل می‌شود بهره ببرد (Mosali *et al.*, 2006)؛ بنابراین تعیین مقدار فسفر موردنیاز برای تغذیه کافی و افزایش عملکرد محصول در طول دوره رشد به‌علت شرایط پیچیده خاک، سخت است. معمولاً مرسوم است که کل فسفر موردنیاز را در شروع کشت در اختیار گیاه قرار می‌دهند که در این حالت در ارقام پرمحصول در طول دوره رشد کمبود فسفر دیده شده است (Gray, 1977). توقف رشد، کاهش پنجه‌های بارور و کاهش عملکرد ممکن است به‌علت کمبود فسفر در طول دوره رشد گندم باشد (Latif *et al.*, 1997).

محلول‌پاشی فسفر در مراحل پایانی رشد باعث افزایش میزان محصول در گندم زمستانه می‌شود (Mosali *et al.*, 2006). Waraich و همکاران (۲۰۱۵) در آزمایش گلخانه‌ای بر روی گندم کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود فسفری را در مقادیر مختلف بررسی کردند آن‌ها دریافتند که مصرف فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و محلول‌پاشی ۶ کیلوگرم در هکتار در طول دوره رشد باعث افزایش طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی شد. همچنین مقادیر کلروفیل با انجام محلول‌پاشی افزایش یافت.

گذشته از وضعیت تغذیه‌ای خاک، شوری خاک یکی از مهم‌ترین عواملی است که توزیع جغرافیایی گیاهان را محدود می‌کند و بر تولید و کیفیت محصول در سراسر جهان تأثیر منفی می‌گذارد. حدود ۳۰٪ از زمین‌های آبیاری‌شده جهان تحت تأثیر شوری قرار دارد و این اراضی شور سالانه ۲- ۱ درصد افزایش می‌یابند (FAO, 2014). ایران بعد از هند و پاکستان با بیش از ۶/۸ میلیون هکتار اراضی شور سومین کشور جهان است که در معرض خطر شوری قرار دارد و بیشتر اراضی گندم‌کاری ایران در معرض تنش شوری بالای خاک هستند (مؤمنی، ۱۳۸۹). محققان زیادی اثر مخرب تنش شوری، به‌دلیل کاهش پتانسیل اسمزی در محیط ریشه و تأثیر بر تعادل آبی گیاه و کاهش فشار آماس، در مراحل مختلف رشدی گندم نان را گزارش کرده‌اند (Tester and Davenport, 2003; Munns *et al.*, 2006).

تنش شوری بسته به‌شدت و مدت زمان تنش شامل تغییر در روندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی است و درنهایت تولید محصول را مهار می‌کند (James *et al.*, 2011). در پاسخ به تنش شوری، تولید ROS مانند اکسیژن فعال، سوپراکسید، رادیکال هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن افزایش می‌یابد (Ahmad and Umar, 2011). تشکیل ROS ناشی از شوری می‌تواند منجر به آسیب اکسیداتیو در اجزای مختلف سلولی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA شود و عملکردهای سلولی حیاتی گیاهان را قطع کند (Munns and Tester, 2008). اثر مثبت حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاهان به کمک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، سوپراکسیداز دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز در گونه‌های مختلف زراعی مشاهده شده است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

Ashraf and Ali, 2008; Gondim *et al*., 2010; Rao *et al*., 2013).

برخی از پژوهشگران نشان دادند سطح توصیه کود فسفر در شرایط شور کمی بالاتر از شرایط غیرشور است، آنها چنین نتیجه‌گیری نمودند که به‌علت کاهش قابلیت جذب فسفر در خاک‌های شور از یک طرف و کاهش رشد ریشه از طرف دیگر، برای رسیدن تولید بالاتر در شرایط شور، باید مقداری بیش از شرایط غیرشور، کود فسفری مصرف نمود (Allen and Pechenik, 2010؛ مهاجر میلانی و همکاران، ۱۳۷۸).

قلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی ۴۱ ژنوتیپ گندم در دو کیفیت آب آبیاری ۱۰ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند که محتوای کلروفیل رقم بکراس روشن در اثر تنش شوری کاهش یافت با توجه به نتایج مقایسه میانگین این پژوهش، ژنوتیپ‌های شهریار، روشن و بومی یزد دارای بیشترین عملکرد دانه و نیز بیشترین محتوای کلروفیل برگ در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش شوری بودند و می‌توان آن‌ها را ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش شوری در این تحقیق معرفی کرد. به‌نظر می‌رسد تحمل زیاد این ژنوتیپ‌ها به‌دلیل تجمع ژن‌های تحمل به تنش شوری در این ژنوتیپ‌ها باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش شوری ژنوتیپ‌های متحمل و دارای عملکرد زیاد از محتوای کلروفیل برگ زیادی برخوردارند و به‌نظر می‌رسد گیاهان متحمل به شوری، می‌توانند کاهش محتوای کلروفیل را تعدیل و عملکرد خود را حفظ کنند.

پیرامون کاربرد کودهای شیمیایی فسفر در طول دوره رشد گندم در شرایط شور پژوهشی در دسترس نیست. اما کاربرد کودهای زیستی و یا قارچ‌ها و باکتری‌های حل‌کننده فسفر که به‌تدریج فسفر را در اختیار گیاه قرار می‌دهند نشان داد تأمین فسفر در طول دوره رشد گیاه نسبت به مصرف ابتدای فصل کشت در شرایط شور باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، افزایش میزان کلروفیل و افزایش ماده خشک شده است (نادری، ۱۳۹۹؛ نیازی اردکان و همکاران، ۱۳۹۹).

با توجه به مطالب گفته‌شده بیشتر اراضی گندم‌کاری ایران در عرصه‌های شور و آهکی است و به‌نظر می‌رسد مصرف فسفر در خاک‌های آهکی نباید منحصر به کاربرد خاکی آن قبل از کشت باشد و از طرف دیگر مطالعه فسفر در شرایط پیچیده خاک دشوار است بنابراین جهت مطالعه عکس‌العمل مراحل مختلف رشد گندم به کاربرد فسفر این پژوهش در شرایط کشت بدون خاک و شوری متفاوت محیط ریشه انجام شد. به بیان دیگر مطالعه حاضر در شرایط کنترل‌شده کشت بدون خاک و در محیط گلخانه ودر شرایط متفاوت شوری (شوری طبیعی آب آبیاری) موضوعی جدید و لازم الاجرا است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان با موقعیت جغرافیایی "۵۲ '۳۶ °۳۲ شمالی و "۴۷ '۳۶ °۵۱ شرقی و ارتفاع ۱۶۱۶ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل کیفیت آب آبیاری (شوری آب)، غلظت فسفر و مراحل رشد گیاه با سه تکرار انجام شد. عامل کیفیت آب آبیاری شامل دو کیفیت ۸ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر، عامل غلظت فسفر شامل دو غلظت ۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم در لیتر و عامل مراحل رشد شامل پنج مرحله رشد گندم که مقادیر فسفر ۳۰ یا ۴۵ میلی‌گرم در لیتر را دریافت نمود که شامل: گیاهچه‌ای (۱۰ تا ۲۰ زایداکس)، پنجه‌زنی (۲۱ تا ۲۹ زایداکس)، طویل‌شدن ساقه (۳۰ تا ۵۹ زایداکس)، گلدهی (۶۰ تا ۶۹ زایداکس) و پرشدن دانه (۷۱ تا ۸۹ زایداکس) بود (Zadoks, 1974). آزمایش به‌صورت گلدانی و در بستر پرلیت با دانه‌بندی ۲ تا ۴ میلی‌متر انجام شد.

بذرهای گندم رقم بک‌کراس روشن با محلول ۵ درصد هیپوکلریت سدیم به‌مدت ۵ دقیقه ضدعفونی گردید و پس از جوانه‌دار شدن در محیط مرطوب به تعداد ۸ عدد در هر گلدان کاشته شدند که یک هفته پس از رشد، با انتخاب بهترین گیاهچه‌ها تعداد آن‌ها به چهار عدد در گلدان کاهش یافت.

به‌منظور تهیه دو کیفیت ۸ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری از آب شور طبیعی چاه ایستگاه تحقیقات کشاورزی رودشت در ۷۰ کیلومتری شرق اصفهان استفاده شد. آب شور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده

مؤلفه	واحد	آب شور طبیعی	تیمار EC=8	تیمار EC=2
EC	dS/m	۱۶/۱	۷/۹	۲/۱
pH	–	۷/۴	۷/۸	۷/۸
HCO_3^-	meq/l	۴/۸	۳/۴	۲/۵
Cl^-	meq/l	۱۱۴	۴۰/۱	۱۲/۳
SO_4^{2-}	meq/l	۹۸/۲	۴۹/۵	۱۳/۲
$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	meq/l	۷۸	۲۶	۹/۸
Na^+	meq/l	۱۴۰	۶۵/۶	۱۸/۲
K^+	meq/l	۰/۲	۰/۲	۰/۰
$H_2PO_4^-$	mg/l	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰
NH_4^+	mg/l	۰/۰	۰/۰	۰/۰
NO_3^-	mg/l	۲/۵	۰/۹	۰/۰
Mn^{2+}	mg/l	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰
Cu^{2+}	mg/l	۰/۰۲	۰/۰	۰/۰
Zn^{2+}	mg/l	۰/۰	۰/۰	۰/۰
Fe^{2+}	mg/l	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰
HBO_3^-	mg/l	۳/۳	۱/۵	۰/۰

موردنظر با شوری ۱۶/۱ دسی‌زیمنس بر متر به محل گلخانه منتقل شد و به کمک آب با کیفیت ۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر کیفیت‌های ۸ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر ساخته شد. هر سه آب تجزیه شیمیایی شدند و براساس مقادیر برخی از عناصر غذایی آن‌ها محلول غذایی تنظیم گردید (جدول ۱).

مقدار نمک‌های مورد استفاده در محلول غذایی هوگلند براساس عناصر غذایی موجود در آب آبیاری اصلاح شد به‌گونه‌ای که پس از ترکیب نمک‌های موردنظر با آب آبیاری غلظت عناصر غذایی بر طبق همان غلظت فرمول هوگلند بود (جدول ۲). فسفر به‌صورت محلول استوک مجزا با غلظت ۱۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نمک پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات ساخته شد که براساس میزان موردنیاز برای ساخت تیمار فسفر موردنظر در داخل مخازن محلول غذایی تیمارها استفاده گردید. آبیاری روزانه ابتدا براساس ۸۵ درصد ظرفیت زراعی انجام شد به‌گونه‌ای که در ابتدای آزمایش ۱۲ نوبت در روز آبیاری انجام شد و با توسعه و رشد ریشه‌ها تعداد و مدت زمان آبیاری با توجه به تبخیر و تعرق گیاه و حجم شوری زه‌آب خارج‌شده از گلدان‌ها تغییر داده شد. این تعداد به مرور تا پایان آزمایش به‌ترتیب به ۹، ۶ و ۳ بار در روز کاهش یافت. دمای روزانه گلخانه بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای شب حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. از زمان مرحله گیاهچه‌ای اعمال تیمارهای فسفر آغاز شد و در طول هر مرحله مقادیر فسفر موردنظر برای گلدان‌های مورد تیمار اعمال گردید.

در پایان مرحله پرشدن دانه کلروفیل برگ پرچم به کمک دستگاه کلروفیل‌متر SPAD-502 خوانده شد. در هر برگ سه قرائت از ابتدا، وسط و انتهای برگ انجام و میانگین آن یادداشت گردید. برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ از غلظت‌های مختلف گایاکول استفاده شد. میزان جذب نوری آنزیم پراکسیداز در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Spectronic 20D برحسب جذب در دقیقه گرم ماده تر اندازه‌گیری شد (van Doorn and Ketsa, 2014).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

جدول ۲- غلظت عناصر غذایی در محلول هوگلند

عنصر غذایی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	آهن	روی	مس	منگنز	بور	مولیبدن
غلظت (mg/l)	۲۱۰	۳۱	۲۳۵	۲۰۰	۴۸	۲/۹	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۵	۰/۰۵

همچنین فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و میزان جذب در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر یادداشت و نهایتاً برحسب میکرومول H_2O_2 تولیدشده در دقیقه محاسبه شد (Aebi, 1974). پس از پایان رشد و رسیدگی فیزیولوژیکی (۸۹ زایداکس)، آبیاری قطع و ریشه و شاخساره هر گلدان از محل طوقه جدا گردید و در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد. فسفر شاخساره به روش هضم و روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵).

تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها و سایر محاسبات داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزارهای SAS، MSTAT-C و EXCEL تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی و متقابل تیمارهای مراحل رشد تغذیه‌شده با فسفر (که به اختصار مراحل رشد گفته می‌شود)، کیفیت آب آبیاری و غلظت فسفر در محلول غذایی بر غلظت فسفر شاخساره، وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه، کلروفیل، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در جدول ۳ آمده است.

غلظت فسفر شاخساره: اثرات اصلی و اثرات متقابل تیمارهای مراحل رشد، فسفر و کیفیت آب بر غلظت فسفر شاخساره بر غلظت فسفر شاخساره در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). افزایش فسفر محلول غذایی از ۳۰ به ۴۵ میلی‌گرم در لیتر باعث ۸۸ درصد افزایش در غلظت فسفر شاخساره شده است (جدول ۴). پژوهش‌های Cadot و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که با افزایش غلظت فسفر در محیط ریشه غلظت فسفر شاخساره نیز افزایش می‌یابد. این موضوع در پژوهش‌های سایر محققین نیز گزارش شده است (Liao, 2008; Sharma, 2012). افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر باعث ۴۸ درصد کاهش غلظت فسفر شاخساره شده است (جدول ۴). تدین و سلطانیان (۱۳۹۵) بر روی گیاه برزک مشاهده کردند که تنش خشکی باعث کاهش جذب فسفر به میزان ۳۴ درصد شد. بویراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نتایج مشابهی را ارائه نمودند براساس یافته آن‌ها افزایش شوری از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، ۵۲ درصد فسفر شاخساره گندم کاهش داد. افزایش فسفر در مرحله گلدهی و مرحله پرکردن دانه بیشترین تأثیر را در افزایش غلظت فسفر شاخساره داشته است (جدول ۴) که شاید نمونه‌گیری در پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی که نزدیک اعمال تیمار این دو مرحله بود بر روی آن بی‌تأثیر نباشد. ناصری و همکاران (۱۳۹۷) از مقایسه مصرف کود فسفری قبل از کاشت با مصرف تدریجی فسفر توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا مشاهده کردند که مصرف کود فسفری قبل از کاشت ۵۶ درصد کمتر غلظت فسفر برگ را افزایش داد.

اثر متقابل تیمار کیفیت آب ۸ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر در مرحله گیاهچه‌ای باعث کم‌ترین غلظت فسفر در شاخساره شده است. بیشترین غلظت فسفر شاخساره مربوط به اثر متقابل تیمار کیفیت آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر فسفر در مرحله گلدهی بود که البته با مقادیر فسفر شاخساره در سایر تیمارهای مراحل رشد تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۵).

همبستگی بین غلظت فسفر در شاخساره با وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره و کلروفیل مثبت و با آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز منفی و معنی‌دار ($P < ۱٪$) شد. اما همبستگی غلظت فسفر در شاخساره با نسبت وزن خشک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن ماده خشک و ویژگی‌های فیزیولوژیکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		فسفر شاخساره	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن خشک شاخساره/ ریشه	کلروفیل	کاتالاز	پراکسیداز
مراحل رشد (A)	۴	۰/۰۲۱**	۱۲/۰۶*	۸۰۵۱**	۸/۶۲**	۱۹/۷۰*	۰/۰۲۰**	۱۳/۴۶**
فسفر (B)	۱	۰/۶۵۱**	۴۰/۶۷**	۲۵۶۸۹**	۲۳/۹۴**	۱۵۳**	۰/۰۸۲**	۱۰۶/۳**
A × B	۴	۰/۰۰۷**	۲/۹۲ns	۲۴۲۶**	۴/۱۷*	۱۴/۵۰*	۰/۰۳۵**	۷/۸۸*
کیفیت آب (C)	۱	۰/۶۳۹**	۱۴۲۹**	۷۸۶۸۵**	۲/۸۶**	۱۰۵۱**	۰/۶۶۷**	۹۱۶/۷**
A × C	۴	۰/۰۰۵**	۱۶/۶۰**	۲۷۲۰**	۲/۴۱**	۱۰/۰۱*	۰/۰۳۹**	۵/۳*
B × C	۱	۰/۰۱۱**	۱۲/۷۲ns	۲۶۴۸**	۰/۰۰۲*	۳/۲۴ns	۰/۰۱۲*	۵/۳۷*
A × B × C	۴	۰/۰۱۲**	۴/۵۸ns	۴۳۷*	۰/۲۳۴*	۹/۵۴*	۰/۰۰۷*	۲/۷*
خطای کل	۲۰	۰/۰۰۱	۴/۹۷	۲۱۴/۰	۰/۴۰	۴/۰۴	۰/۰۰۳	۴/۱۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۹۹	۱۰/۲۸	۱۰/۷	۱۰/۲۴	۱۰/۰۵	۱۰/۳۲	۱۰/۲۴

*: معنی‌دار در سطح ۵٪، **: معنی‌دار در سطح ۱٪، ns: عدم معنی‌داری

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی بر وزن ماده خشک و ویژگی‌های فیزیولوژیکی

تیمار	فسفر شاخساره	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن خشک شاخساره/ ریشه	کلروفیل	کاتالاز	پراکسیداز
	%	gr/pot	gr/pot				
گیاهچه‌ای	۰/۲۹c	۲۰/۶۱b	۱۱۳/۰c	۵/۵b	۴۷/۲۳a	۰/۵۸۷a	۲۰/۹۵a
پنجه‌زنی	۰/۳۴b	۲۱/۹۵ab	۱۵۳/۰b	۷/۰a	۴۸/۰۳a	۰/۵۵۰ab	۲۰/۳۲ab
طویل‌شدن ساقه	۰/۳۳b	۲۳/۲۶a	۱۷۴/۲a	۷/۲a	۵۰/۲۷a	۰/۵۱۹bc	۱۸/۸۲bc
گلدهی	۰/۳۹a	۲۱/۳۹b	۱۲۱/۱c	۵/۶b	۴۹/۹۲a	۰/۵۸۲a	۲۰/۵۶a
پرشدن دانه	۰/۳۸a	۲۱/۱۹b	۱۲۲/۵c	۵/۷b	۴۸/۵۰a	۰/۴۹۲e	۱۸/۶۳c
LSD (<0.05 %)	۰/۰۲۶۰۹	۱/۸۴	۱۲/۰۷	۰/۵۲۴۴	۴/۰۴۶	۰/۰۴۵۱۹	۱/۶۷۷
۳۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر	۰/۲۴	۲۰/۶۲	۱۱۶/۱	۵/۶	۴۷/۱۹	۰/۵۸۳	۲۱/۲
۴۵ میلی‌گرم در لیتر فسفر	۰/۴۵	۲۲/۷۴	۱۵۷/۵	۶/۹	۵۰/۳۹	۰/۵۰۹	۱۸/۵
EC = 8 dS/m	۰/۲۴	۱۶/۸۰	۱۰۰/۶	۶/۰	۴۴/۶۱	۰/۶۵۱	۲۳/۸
EC = 2 dS/m	۰/۴۶	۲۶/۵۶	۱۷۳/۰	۶/۴	۵۲/۹۸	۰/۴۴۰	۱۵/۹

در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

شاخساره به ریشه معنی‌دار نگردید (جدول ۶). افزایش کاربرد فسفر در طول دوره رشد گندم باعث افزایش کلروفیل و به‌دنبال آن افزایش فتوسنتز و ماده خشک در گندم شده است.

وزن خشک گیاه: اثر اصلی تیمارهای مراحل رشد بر وزن خشک ریشه در سطح پنج درصد و بر وزن خشک شاخساره و نسبت این دو در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات اصلی تیمارهای فسفر و کیفیت آب بر وزن خشک ریشه، شاخساره و نسبت این دو در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر وزن ماده خشک و ویژگی‌های فیزیولوژیکی

تیمار			فسفر شاخساره	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن خشک شاخساره/ ریشه	کلروفیل	کاتالاز	پراکسیداز
شوری آب	فسفر	مرحله تغذیه با فسفر							
(dS/m)	(mg/l)		%	gr/pot	gr/pot	–			
۸	۳۰	گیاهچه‌ای	۰/۰۹^{h}	۱۴/۹۱^{e}	۸۰/۲۴^{h}	۵/۳۷^{ef}	۴۱/۶۵^{e}	۰/۶۱۲^{cd}	۲۶/۵^{a}
		پنجه‌زنی	۰/۱۲^{gh}	۱۵/۱۳^{de}	۸۶/۲۱^{h}	۵/۷۰^{e}	۴۳/۱۶^{e}	۰/۷۹۳^{a}	۲۴/۱^{abc}
		طویل‌شدن ساقه	۰/۲۱^{ef}	۱۷/۲۴^{de}	۹۳/۲۵^{h}	۵/۴۰^{ef}	۴۳/۱۸^{e}	۰/۶۴۷^{bc}	۲۵/۳^{ab}
		گلدهی	۰/۱۷^{fg}	۱۵/۸۱^{de}	۸۹/۵۸^{h}	۵/۶۷^{ef}	۴۳/۹۹^{e}	۰/۷۰۷^{ab}	۲۳/۶d^{abcd}
		پرشدن دانه	۰/۱۶^{fg}	۱۷/۹۱^{de}	۸۳/۲۵^{h}	۴/۶۳^{f}	۴۴/۲۱^{e}	۰/۶۱۲^{cd}	۲۴/۵^{abc}
	۴۵	گیاهچه‌ای	۰/۲۱^{ef}	۱۷/۲۶^{de}	۹۸/۹۶^{h}	۵/۷۳^{e}	۴۵/۱۰^{de}	۰/۵۸۵^{cde}	۲۳/۸^{abcd}
		پنجه‌زنی	۰/۳۵^{c}	۱۶/۳۲^{de}	۱۴۵/۲۰^{ef}	۸/۹۰^{ab}	۴۵/۶۵^{cde}	۰/۵۵۴^{def}	۲۴/۶^{abc}
		طویل‌شدن ساقه	۰/۲۳^{e}	۱۷/۳۲^{de}	۱۳۳/۲۰^{ef}	۷/۷۰^{c}	۴۹/۲۳^{abcde}	۰/۶۲۷^{bcd}	۲۰/۷^{def}
		گلدهی	۰/۴۵^{b}	۱۸/۶۴^{d}	۱۰۲/۴۰^{gh}	۵/۴۷^{ef}	۴۸/۶۵^{abcde}	۰/۶۷۳^{bc}	۲۳/۰^{bcd}
		پرشدن دانه	۰/۴۱^{b}	۱۷/۴۵^{de}	۹۳/۲۵^{h}	۵/۳۳^{ef}	۴۱/۲۳^{e}	۰/۷۰۴^{ab}	۲۱/۵^{cde}
۲	۳۰	گیاهچه‌ای	۰/۲۹^{d}	۲۳/۴۶^{c}	۱۲۳/۸۰^{fg}	۵/۲۷^{ef}	۴۸/۲۱^{bcde}	۰/۵۹۸^{cd}	۱۷/۲^{gh}
		پنجه‌زنی	۰/۳۴^{cd}	۲۶/۸۲^{bc}	۱۴۸/۱۰^{e}	۵/۵۳^{ef}	۴۸/۹۹^{abcde}	۰/۵۵۳^{def}	۱۷/۴^{fgh}
		طویل‌شدن ساقه	۰/۳۱^{cd}	۲۶/۳۱^{bc}	۱۸۲/۱۰^{c}	۶/۹۰^{cd}	۵۲/۳۲^{abcd}	۰/۵۰۰^{efg}	۱۷/۴^{fgh}
		گلدهی	۰/۳۵^{c}	۲۴/۶۵^{c}	۱۳۶/۰۰^{ef}	۵/۵۳^{ef}	۵۲/۹۵^{abcd}	۰/۴۶۰^{g}	۱۹/۶^{efg}
		پرشدن دانه	۰/۳۵^{c}	۲۳/۹۶^{c}	۱۳۸/۲۰^{ef}	۵/۷۷^{e}	۵۳/۲۶^{abc}	۰/۳۴۸^{h}	۱۶/۲^{h}
	۴۵	گیاهچه‌ای	۰/۵۵^{a}	۲۶/۸۲^{bc}	۱۴۸/۹۰^{e}	۵/۵۷^{ef}	۵۳/۹۶^{ab}	۰/۵۵۱^{def}	۱۶/۳^{gh}
		پنجه‌زنی	۰/۵۴^{a}	۲۹/۵۴^{ab}	۲۳۲/۶۰^{b}	۷/۹۰^{bc}	۵۴/۳۲^{ab}	۰/۳۰۰^{h}	۱۵/۱^{hi}
		طویل‌شدن ساقه	۰/۵۶^{a}	۳۲/۱۵^{a}	۲۸۸/۳۰^{a}	۹/۰۰^{a}	۵۶/۳۵^{a}	۰/۳۰۳^{h}	۱۱/۹^{i}
		گلدهی	۰/۵۹^{a}	۲۶/۴۵^{bc}	۱۵۶/۶۰^{de}	۵/۹۰^{de}	۵۴/۱۰^{ab}	۰/۴۸۸^{fg}	۱۶/۰^{h}
		پرشدن دانه	۰/۵۸^{a}	۲۵/۴۴^{c}	۱۷۵/۲۰^{cd}	۶/۹۰^{cd}	۵۵/۳۲^{ab}	۰/۳۰۳^{h}	۱۲/۳^{i}
LSD (<0.05 %)			۰/۰۵۲	۳/۶۸۰	۲۴/۱۴	۱/۰۴۹	۸/۰۹۲	۰/۰۹۰۴	۳/۳۵۴

در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

گرچه اثر متقابل فسفر و مراحل رشد بر وزن خشک ریشه معنی دار نگردید اما این اثر بر وزن خشک شاخساره در سطح یک درصد و بر نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. علاوه بر این اثر متقابل تیمارهای کیفیت آب و مراحل رشد بر وزن خشک ریشه، شاخساره و نسبت این دو در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل تیمارهای فسفر و کیفیت آب بر فقط بر وزن خشک شاخساره در سطح یک درصد و نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل هر سه تیمار آزمایشی فقط بر وزن خشک شاخساره و نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه در سطح چنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳).

افزایش غلظت فسفر از ۳۰ به ۴۵ میلی‌گرم در لیتر باعث ۱۰ و ۳۶ درصد به‌ترتیب افزایش وزن خشک ریشه و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

جدول ۶- همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری‌شده

	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن خشک شاخساره/ ریشه	کلروفیل	کاتالاز	پراکسیداز	فسفر شاخساره
وزن خشک ریشه	۱						
وزن خشک شاخساره	۰/۷۴۴**	۱					
وزن خشک شاخساره به ریشه	۰/۱۱۸ns	۰/۵۶۳**	۱				
محتوی کلروفیل	۰/۷۹۹**	۰/۶۶۳**	۰/۱۹۰ns	۱			
کاتالاز	-۰/۸۰۲**	-۰/۵۵۸**	-۰/۰۸۸ns	-۰/۷۵۰**	۱		
پراکسیداز	-۰/۷۶۶**	-۰/۶۵۰**	-۰/۱۶۹ns	-۰/۷۳۵**	۰/۷۴۶**	۱	
فسفر شاخساره	۰/۵۸۹**	۰/۵۰۶**	۰/۱۵۵ns	۰/۶۱۹**	-۰/۶۸۸**	-۰/۶۴۳**	۱

**: معنی‌دار در سطح ۱٪، ns: عدم معنی‌داری

شاخساره شد (جدول ۴). پژوهشگران معتقدند که کمبود فسفر با تأثیر منفی بر زایش ریشه‌ها باعث کاهش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و کاهش ترکیبات وابسته به آن نظیر ATP و نهایتاً کاهش میزان فتوسنتز و کاهش وزن خشک شاخساره می‌شود (Achatz *et al*., 2010; Jones *et al*., 1992). اثر فسفر بر افزایش وزن ماده خشک و طول ریشه در مطالعه‌ای بر روی ۲۰ ژنوتیپ برنج در برزیل بررسی شد. در این بررسی سطوح فسفر بین ۲ تا ۵/۶۸ و متوسط ۳/۴۱ گرم به‌ازای هر گیاه باعث افزایش وزن خشک ریشه از ۲/۴۳ تا ۸/۵۵ و متوسط ۴/۰۱ گرم به‌ازای هر گیاه شد همچنین طول ریشه‌ها ۱۰ درصد افزایش معنی‌دار داشت (Fageria *et al*., 2011). شورشدن آب آبیاری از ۲ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر باعث ۳۷ و ۴۲ درصد به‌ترتیب کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره شد (جدول ۴). بویراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) نیز مشاهده کردند که افزایش شوری از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، ۸۶ و ۶۸ درصد به‌ترتیب وزن خشک ریشه و شاخساره را کاهش داد. پژوهش‌های Yan و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که تنش شوری باعث کاهش انتقال هورمون آبسیزیک اسید (ABA) از ریشه به برگ شده و باعث کاهش وزن خشک گیاه می‌شود. کاهش جذب فسفر در اثر افزایش شوری بر روی انتقال مواد فتوسنتزی به محل‌های رشد گیاه و نهایتاً کاهش عمومی رشد منجر می‌شود. بالابودن قدرت یونی در آب شور تیز می‌تواند باعث کاهش جذب فسفر گردد (Awad *et al*., 1990). همچنین رقابت بین آنیون $H_2PO_4^-$ و مقادیر زیاد آنیون Cl^- در آب شور (جدول ۱) برای جذب توسط ریشه می‌تواند باعث کاهش جذب فسفر در شرایط شور گردد (Papadopoulos and Rendig, 1983).

بیشترین وزن خشک ریشه و شاخساره در اثر استفاده از فسفر در مرحله طویل‌شدن ساقه بود و کمترین مقادیر وزن خشک ریشه و شاخساره مربوط به کاربرد فسفر در مرحله گیاهچه‌ای به‌دست آمد گرچه تفاوت معنی‌داری با وزن خشک تیمارهای مراحل گلدهی و پرشدن دانه نداشت (جدول ۴). افزایش طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی گندم در اثر کاربرد فسفر به‌صورت محلول‌پاشی توسط سایر محققین هم گزارش گردیده است (Mosali *et al*., 2006; Waraich *et al*., 2015). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک ریشه نشان داد که اثر متقابل تیمار کیفیت آب ۲ دسی‌زیمنس‌بر متر و کاربرد ۴۵ میلی‌گرم در لیتر فسفر در مرحله طویل‌شدن ساقه باعث بیشترین وزن خشک ریشه و شاخساره به‌ترتیب ۳۲/۱۵ و ۲۸۸/۳۰ گرم در گلدان شده است (جدول ۵). اثر متقابل تیمار کیفیت آب ۸ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر در مرحله گیاهچه‌ای باعث کم‌ترین وزن خشک ریشه و شاخساره به‌ترتیب ۱۴/۹۱ و ۸۰/۲۴ گرم در گلدان شده است گرچه وزن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

خشک شاخساره در این کیفیت آب و این مقدار فسفر در همه مراحل رشد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بیشترین و کمترین نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه به‌ترتیب برابر ۹/۰۰ و ۴/۶۳ مربوط به اثر متقابل تیمار کیفیت آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر فسفر در مرحله طویل‌شدن ساقه و نیز اثر متقابل تیمار کیفیت آب ۸ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله پرشدن دانه است (جدول ۵). براساس این یافته افزایش کود فسفری در مرحله طویل‌شدن ساقه در افزایش رشد گندم مؤثر است.

کلروفیل: اثرات اصلی و متقابل تیمارهای آزمایش بر محتوی کلروفیل برگ به‌جز اثر متقابل فسفر و کیفیت آب آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۳). افزایش کاربرد فسفر از ۳۰ به ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث ۷ درصد افزایش در مقدار کلروفیل گردید. جهان‌بین و همکاران (۱۳۹۴) دریافتند که محلول‌پاشی ۱۲ کیلوگرم پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات باعث ۱۷ درصد افزایش در مقدار کلروفیل می‌شود. افزایش کلروفیل در اثر محلول‌پاشی فسفر توسط Waraich و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. همچنین افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۸ دسی‌زیمنس باعث ۱۶ درصد کاهش در کلروفیل برگ شد. اثر افزایش شوری محیط ریشه و تنش شوری بر میزان کلروفیل برگ متناقض اعلام شده است اما کاهش و افزایش میزان کلروفیل به میزان تحمل ارقام مختلف گیاهی نسبت به تنش شوری بستگی دارد. در ارقام متحمل به شوری، تنش شوری باعث افزایش کلروفیل و در ارقام حساس به شوری، تنش شوری باعث کاهش کلروفیل می‌شود (Ashraf and McNeilly, 1988; Li *et al.*, 2010). قلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی ۴۱ ژنوتیپ گندم در دو کیفیت آب آبیاری ۱۰ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند که محتوای کلروفیلی رقم بکراس روشن در اثر تنش شوری کاهش یافت. همچنین افزایش شوری باعث کاهش کلروفیل در سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و گندم شده است (Parida and Das, 2005). کاربرد فسفر در مرحله طویل‌شدن ساقه بیشترین مقدار کلروفیل برگ را ایجاد نمود و کمترین مقدار کلروفیل در کاربرد فسفر در مرحله گیاهچه‌ای مشاهده شد (جدول ۴). ناصری و همکاران (۱۳۹۷) بیان کردند که جذب تدریجی فسفر در طول دوره رشد به کمک باکتری‌های حل‌کننده فسفات کلروفیل برگ را ۱۱۸ درصد افزایش داد. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر کلروفیل برگ نشان داد که کیفیت آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر فسفر در مرحله طویل‌شدن ساقه بیشترین کلروفیل برگ و کیفیت آب ۸ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفر در مرحله گیاهچه‌ای کمترین مقدار کلروفیل برگ را نشان داد گرچه کلیه تیمارهای مراحل رشد در این کیفیت آب و این مقدار فسفر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵).

کاتالاز: اثرات اصلی و متقابل تیمارهای آزمایش بر آنزیم کاتالاز برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد به استثنای اثر متقابل فسفر و کیفیت آب و نیز اثر متقابل هر سه تیمار آزمایشی که در سطح پنج دصد معنی‌دار شد (جدول ۳). کاهش مقدار فسفر از ۴۵ به ۳۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش میزان کاتالاز به میزان ۱۴ درصد گردید. پژوهشگران نشان دادند که استفاده از قارچ‌های همزیست باعث افزایش فسفر گیاه شده و در اثر این افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش یافته است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۷؛ توفیقی و همکاران، ۱۳۹۵). پژوهش Polesskaya و همکاران (۲۰۰۴) بر روی گندم نشان داد که کمبود ازت باعث افزایش آنزیم کاتالاز برگ نسبت به گیاه فاقد تنش شده است. همچنین افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش کاتالاز به میزان ۱۰۰ درصد شد. تحمل به شوری با افزایش آنزیم کاتالاز ارتباط مستقیم دارد (Caverzan *et al.*, 2016). گیاهان در شرایط تنش شوری تلاش می‌کنند تا با بالابردن فعالیت آنزیم کاتالاز در سلول از آسیب‌پذیری ROS آزادشده بکاهند (Gupta and Huang, 2014; Parida and Das, 2005). کاربرد فسفر در مرحله گیاهچه‌ای و گلدهی بیشترین و در مرحله پرشدن دانه کمترین میزان فعالیت کاتالاز را نشان داد (جدول ۴). کیفیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر فسفر در مرحله پنجه‌زنی کمترین فعالیت کاتالاز برگ را نشان داد. همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر کاتالاز برگ نشان داد که کیفیت آب ۸ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفر در مرحله پنجه‌زنی بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را به‌همراه داشت (جدول ۵).

پراکسیداز: اثرات اصلی تیمارهای آزمایش بر آنزیم پراکسیداز برگ در سطح یک درصد و اثرات متقابل در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). کاهش مقدار فسفر از ۴۵ به ۳۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش میزان پراکسیداز به‌میزان ۱۵ درصد گردید. همچنین افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش فعالیت پراکسیداز به‌میزان ۵۰ درصد شد. گندم مانند بسیاری از گیاهان زراعی دیگر جهت کاهش مضرات اکسیداتیو ایجادشده در اثر تنش شوری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خود نظیر پراکسیداز را افزایش می‌دهد (Caverzan *et al.*, 2016). گیاهان زراعی به‌ویژه گندم به‌منظور کاهش آسیب اکسیداتیو ایجادشده تحت تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی خود را تقویت می‌کنند. کاربرد فسفر در مرحله گیاهچه‌ای بیشترین و در مرحله طویل‌شدن ساقه کمترین میزان فعالیت پراکسیداز را نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر کلروفیل برگ نشان داد که کیفیت آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر فسفر در مرحله طویل‌شدن ساقه و پرشدن دانه کمترین فعالیت پراکسیداز را نشان داد. کیفیت آب ۸ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفر در مرحله گیاهچه‌ای بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را به‌همراه داشت (جدول ۵). همبستگی بین آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز با کلیه پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در گندم منفی و معنی‌دار (P <٪۱) شد. افزایش این دو آنزیم در گندم به کاهش ترکیبات اکسیداتیو ناشی از تنش کمک کرده و باعث افزایش این پارامترها شدند.

نتیجه‌گیری

تنش شوری باعث کاهش جذب فسفر و ماده خشک در گندم شد. همچنین در شرایط شوری افزایش ماده خشک در این گیاه در اثر افزایش فسفر در محلول غذایی اتفاق افتاد. براساس نتایج این پژوهش به‌نظر می‌رسد که برخلاف آنچه مرسوم است مصرف کود فسفری در ابتدای مرحله رشد گندم نسبت به نیاز آن در مراحل بعدی رشد، کافی نیست و بهتر است که کوددهی در طول دوره رشد گندم به‌ویژه در مرحله طویل‌شدن ساقه و گلدهی به‌صورت محلول‌پاشی و کودآبیاری با کودهایی نظیر منوپتاسیم فسفات یا اسید فسفریک انجام شود.

منابع

امامی، ع. (۱۳۷۵) روش‌های تجزیه گیاه، جلد اول، انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب. تهران، ایران.

بویراحمدی، م.، رئیسی، ف. و محمدی، ج. (۱۳۹۰) اثر سطوح مختلف شوری بر شاخص‌های رشد و جذب عناصر غذایی در شبدر ایرانی و گندم رقم چمران. پژوهش‌های تولید گیاهی ۱۸: ۴۴-۲۵.

تدین، ع. و سلطانیان، م. (۱۳۹۵) اثر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر رشد، کلونیزاسیون ریشه و جذب فسفر بزرک تحت سطوح مختلف کم آبی. فرایند و کارکرد گیاهی ۵: ۱۵۷-۱۴۷.

توفیقی، ک.، خاوری‌نژاد، ر.، نجفی، ف.، رضوی، خ. و رجالی، ف. (۱۳۹۵) بررسی اثر برهم‌کنش قارچ میکوریزا آربوسکولار و تنظیم‌کننده رشد گیاهی براسینولید بر افزایش تحمّل گندم به تنش شوری. فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز ۳۰: ۱۹-۵.

قلی‌زاده، ا.، دهقانی، ح. و دوراک، ج. (۱۳۹۳) ارتباط بین محتوای کلروفیل برگ و عملکرد دانه تحت شرایط تنش شوری در گندم نان. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۴۵: ۶۳۸-۶۲۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

مؤمنی، ع .(۱۳۸۹) پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. پژوهش‌های خاک ۲۴: ۲۱۵-۲۰۳.

مهاجر میلانی، پ.، سعادت، س. و وکیل، ر. (۱۳۷۸) تغذیه گندم در شرایط شور استان قم. علوم خاک و آب ۱۲: ۱۹۶-۱۸۷.

نادری، د. (۱۳۹۹) تأثیر کاربرد کودزیستی فسفاته بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی چمن فستوکای بلند در شرایط شوری. فرایند و کارکردهای گیاهی ۹: ۳۷۴-۳۶۱.

ناصری، ر.، براری، م.، زارع، ج.، خاوازی، ک.، طهماسبی، ز. و یاقوتی‌پور، آ. (۱۳۹۷) اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های فنولوژیک و فیزیولوژیک گندم در شرایط دیم. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۱۲: ۲۳۶-۲۱۱.

نیازی اردکان، م.، براتی، و. و بیژن‌زاده، ا. (۱۳۹۹) اثرات کودزیستی و بقایای گیاهی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه جو در شرایط تنش آبی. فرایند و کارکردهای گیاهی ۹: ۲۹۸-۲۷۹.

Aebi, H. (1974) Catalase. In Methods of Enzymatic Analysis. Academic Press.

Achatz, B., von Ruden, S., Andrade, D., Neumann, E., Pons-Kuhnemann, J., Kogel, K. H. and Waller, F. (2010) Root colonization by *Piriformospora indica* enhances grain yield in barley under diverse nutrient regimes by accelerating plant development. Plant and Soil 333: 59-70.

Ahmad, P. and Umar, S. (2011) Oxidative Stress: Role of Antioxidants in Plants. Stadium Press, New Delhi.

Allen, J. D. and Pechenik, J. A. (2010) Understanding the effects of low salinity on fertilization success and early development in the sand dollar *Echinarachnius parma*. The Biological Bulletin 218: 189-199.

Ashraf, M. and McNeilly, T. (1988) Variability in salt tolerance of nine spring wheat cultivars. Journal of Agronomy and Crop Scienc 160: 14-21.

Ashraf, M. and Ali, Q. (2008) Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany 63: 266-273.

Awad, A. S., Edward, D. G. and Campbell, L. C. (1990) Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. Crop Scienc 30: 123-128.

Cadot, S., Belanger, G., Ziadi, N., Morel, C. and Sinaj, S. (2018) Critical plant and soil phosphorus for wheat, maize, and rapeseed after 44 years of P fertilization. Nutrient Cycling in Agroecosystems 112: 417-433.

Caverzan, A., Casassola, A. and Brammer, S. P. (2016) Antioxidant responses of wheat plants under stress. Genetics and Molecular Biology 39: 1-6.

Fageria, N. K., Moreira, A. and Coelho, A. M. (2011) Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. Journal of Plant Nutrition 34: 361-370.

Food and Agriculture Organization (2014) The state of food and agriculture: Innovation in family farming. Available online at: http://www.fao.org/3/a-i4040e.pdf

Gallaher, C. M. (2007) Phosphorus Availability in Annual and Perennial Cropping Systems. Michigan State University, Department of Crop and Soil Sciences.

Gondim, F. A., Gomes-Filho, E., Lacerda, C. F., Prisco, J. T., Azevedo Neto, A. D. and Marques, E. C. (2010) Pretreatment with H_2O_2 in maize seeds: Effects on germination and seedling acclimation to salt stress. Brazilian Journal of Plant Physiology 22: 103-112.

Gray, R. C. (1977) Foliar fertilisation with primary nutrients during the reproductive stage of plant growth. Proceedings of the Fertilizer Society 164: 23.

Gupta, B. and Huang, B. (2014) Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. International Journal of Genomics 2014.

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. and Nelson, W. L. (2005) Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice Hall.

James, R. A., Blake, C., Byrt, C. S. and Munns, R. (2011) Major genes for Na^+ exclusion, Nax1 and Nax2 (wheat HKT1; 4 and HKT1; 5), decrease Na^+ accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. Journal of Experimental Botany 62: 2939-2947.

Jones, G. P. D., Jessop, R. S. and Blair, G. J. (1992) Alternative methods for the selection of phosphorus efficiency in wheat. Field Crops Research 30: 29-40.

Latif, A., Alam, S. M., Hamid, A. and Iqbal, Z. (1997) Relative efficiency of phosphorus applied through broadcast incorporation, top dressing and fertigation to crops. Pakistan Journal of Soil Science 13: 15-18.

Li, G., Wan, S., Zhou, J., Yang, Z. and Qin, P. (2010) Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. Industrial Crops and Products 31: 13-19.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

Liao, M., Hocking, P. J., Dong, B., Delhaize, E., Richardson, A. E. and Ryan, P. R. (2008) Variation in early phosphorus-uptake efficiency among wheat genotypes grown on two contrasting Australian soils. Australian Journal of Agricultural Research 59: 157-166.

Marschner, M. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plant, 2nd Ed. Academic Press, London.

Mengel, K. and Kirkby, E. A. (2001) Principles of Plant Nutrition, 5th Ed. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.

Mikkelsen, R. L. (2013) A closer look at phosphorus uptake by plants. International Plant Nutrition Institute (IPNI) 13049, Notrh America.

Mosali, J., Desta, K., Teal, R. K., Freeman, K. W., Martin, K. L., Lawles, J. W. and Raun, W. R. (2006) Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. Journal of Plant Nutrition 29: 2147-2163.

Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Munns, R., James, R. A. and Lauchli, A. (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany 57: 1025-1043.

Papadopoulos, L. and Rendig, V. V. (1983) Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. Plant and Soil 73: 47-57.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

Polesskaya, O. G., Kashirina, E. I. and Alekhina, N. D. (2004) Changes in the activity of antioxidant enzymes in wheat leaves and roots as a function of nitrogen source and supply. Russian Journal of Plant Physiology 51: 615-620.

Rao, A., Ahmad, S. D., Sabir, S. M., Awan, S. I., Shah, A. H., Abbas, S. R., Shafique, S., Khan, F. and Chaudhary, A. (2013) Potential antioxidant activities improve salt tolerance in ten varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.). American Journal of Plant Science 4: 69-76

Roozitalab, M. H., Siadat, H. and Farshad, A. (2018) The Soils of Iran. Springer International Publishing, Switzerland.

Sharma, N. K., Singh, R. J. and Kumar, K. (2012) Dry matter accumulation and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) under poplar (*Populus deltoides*) based agroforestry system. ISRN Agronomy 2012.

Tester, M. and Davenport, R. (2003) Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annals of Botany 91: 503-527.

Tunesi, S., Poggi, V. and Gessa, C. (1999) Phosphate adsorption and precipitation in calcareous soils: The role of calcium ions in solution and carbonate minerals. Nutrient Cycling in Agroecosystems 53: 219-227.

Uchida, R. (2000) Essential nutrients for plant growth: Nutrient functions and deficiency symptoms. Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils 31-55.

Vance, C. P., Uhde-Stone, C. and Allan, D. L. (2003) Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytologist 157: 423-447.

van Doorn, W. G. and Ketsa, S. (2014) Cross reactivity between ascorbate peroxidase and phenol (guaiacol) peroxidase. Postharvest Biology and Technology 95: 64-69.

Waraich, E. A., Ahmad, Z., Ahmad, R., Saifullah, and Ashraf, M. Y. (2015) Foliar applied phosphorous enhanced growth, chlorophyll contents, gas exchange attributes and PUE in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Nutrition 38: 1929-1943.

Yan, K., Bian, T., He, W., Han, G., Lv, M., Guo, M. and Lu, M. (2018) Root abscisic acid contributes to defending photoinibition in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) under salt stress. International Journal of Molecular Sciences 19: 3934.

Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-421.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]

Effect of salinity stress and phosphorus application in different stages of wheat growth on biomass and some of its physiological characteristics

Masoud Tadayonnejad[1*], Mohsen Dehqani[1] and Farzad Parsadoust[2]

[1, 2] Assistant professor, Soil and water Research Department; Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran
[3] Researcher in the Department of Soil Conservation and Watershed Management, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran
(Received: 11/12/2020, Accepted: 28/02/2021)

Abstract

Although phosphorus possesses the lowest amount between essential elements in the plant, but due to its important role in the vital processes of the plant, its supply during the growing period of wheat is essential. This study was conducted to investigate the response of wheat to the use of phosphorus in different stages of its growth and in different conditions of water salinity in pots and in soilless culture system. This experiment was performed in the factorial experiment in a completely randomized design with three factors of irrigation water quality (2 and 8 dS / m), phosphorus concentration (30 and 45 mg/l) and the stage of growth of wheat that receives phosphorus (seedling stage, tillering stage, elongation stage of Stem, flowering and seed filling) with three replications. Plants were harvested at the end of the physiological maturation phase. Roots and shoots dry weight, shoot phosphorus concentration, chlorophyll and catalase and peroxidase enzymes were measured. Increased salinity decreased 48% phosphorus concentration of shoots, 40% dry weight of roots and shoots and 100 and 50% increase of catalase and peroxidase, respectively. Increasing the concentration of phosphorus from 30 to 45 mg/l caused 10 and 36% increase in dry weight of roots and shoots, respectively. The highest amount of chlorophyll, roots and shoots dry weight due to the use of phosphorus was observed in the stem elongation stage and the lowest values were related to the application of phosphorus in the seedling stage. Based on this research, it seems that fertilization is necessary during the wheat growth period, especially in the stage of elongation of the stem and flowering.

Keywords: Salinity, Phosphorus, Wheat, Growth stages

Corresponding author, Email: m.tadayonnejad@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.15.1]