نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال دوازدهم، شماره ۴۸، زمستان ۱۳۹۶ / صفحات: ۵۱-۳۵

غلظت، تجمع و تخصیص فسفر در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی در تعدادی از گونه‌های زراعی و هرز خانواده گندمیان

آرزو عبیدی[۱]، ابراهیم زینلی[۱]*، افشین سلطانی[۱]، عبدالرضا قرنجیکی[۲]

[۱]گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

[۲]موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۳

چکیده

اطلاعات مربوط به تغییرات غلظت، تجمع و تخصیص فسفر در گونه‌های مختلف گیاهی در راستای بهبود کارآیی جذب و استفاده از عناصر غذایی به‌ویژه در خاک‌های فقیر حائز اهمیت است. از این‌رو، به منظور بررسی تغییرات غلظت، تجمع و تخصیص فسفر در تعدادی از گونه‌های زراعی و هرز خانواده گندمیان، در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ آزمایشی گلدانی در شرایط هوای آزاد در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در خاکی با مقدار فسفر قابل استفاده کم (٤/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل هفت گونه زراعی و هرز از خانواده گندمیان (گندم نان، گندم دوروم، جو معمولی، جو لخت، چاودم، یولاف وحشی و علف‌خونی) و دو شرایط عدم مصرف و مصرف کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه به مقدار توصیه شده بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی با مصرف کود، غلظت و تجمع فسفر در تمام بخش‌های گیاه، به‌استثنای غلظت فسفر ریشه در مرحله ساقه‌رفتن، به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. میانگین غلظت فسفر بخش هوایی بوته در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی در شرایط عدم کوددهی به‌ترتیب ۳/۹ و ۱/۹ گرم در کیلوگرم بود که در نتیجه مصرف کود به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و به‌ترتیب به ٤/۵ و ۲/۱ گرم در کیلوگرم رسید. همچنین، در نتیجه کوددهی میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در بخش هوایی بوته در ساقه رفتن از ۰/۹۲ به ۳/۲ و در گرده‌افشانی از ۲/٤۵ به ۹/۲ میلی‌گرم در بوته رسید. در گرده‌افشانی، تأثیر گونه گیاهی بر غلظت فسفر در تمام اندام‌های گیاه اما در ساقه‌رفتن فقط بر غلظت فسفردر ساقه و بخش هوایی بوته معنی‌دار بود. با این حال، در هر دو مرحله، تجمع فسفر در تمام بخش‌های گیاه و کل بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر گونه گیاهی و اثرات متقابل گونه و کوددهی قرار گرفت. میانگین غلظت فسفر بخش هوایی بوته در گونه‌های مورد مطالعه در ساقه رفتن از ۲/۹ تا ٤/۷ و در گرده‌افشانی از ۱/٤ تا ۲/۷ گرم در کیلوگرم متغیر بود. نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که در مرحله ساقه‌رفتن، در شرایط عدم کوددهی هیچ اختلاف معنی‌داری بین گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در بخش‌های مختلف بوته وجود نداشت. در مرحله گرده‌افشانی نیز اختلاف‌های بین گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در شاهد عدم کوددهی به‌مراتب کمتر از شرایط کوددهی بود.

واژه‌های کلیدی: اندام‌های گیاه، توزیع فسفر، کوددهی، گیاهان زراعی، علف‌های هرز

*نویسنده مسئول: e.zeinali@gau.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

شرایط محیطی در زمان تشکیل اجزای عملکرد دانه نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد دانه گیاهان دارد. تشکیل سنبلچه‌ها و آغازش گلچه‌ها در مرحله طویل شدن ساقه و تعیین تعداد دانه در مرحله گرده‌افشانی این دو مرحله را به حساس‌ترین مراحل نمو گندمیان تبدیل کرده است به‌طوری‌که هرگونه تنش محیطی از جمله تنش کمبود عناصر غذایی در این مراحل می‌تواند از طریق کاهش اجزای یاد شده و در نهایت تعداد دانه در واحد سطح تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دانه داشته باشد (Modhaj and Fathi, 2003; Emam and Seghat eslami, 2005; Siadat et al., 2013). از سوی دیگر، اطلاعات مربوط به غلظت، تجمع و چگونگی تخصیص عناصر غذایی به اندام‌های گیاه در گونه‌های مختلف گیاهی، ضمن نشان دادن تنوع ژنتیکی موجود در رابطه با این صفات و امکان استفاده از این تنوع در به‌نژادی می‌تواند به برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای بهینه‌سازی تغذیه معدنی گیاهان زراعی کمک کند. علاوه بر آن، این اطلاعات در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی نیز مورد نیاز می‌باشد (Arduini et al., 2006; Dordas and Sioulas, 2009).

فسفر یکی از عناصر معدنی ضروری برای رشد گیاهان و یکی از عوامل تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی است (Stewart et al., 2005). با این حال، مقدار فسفر قابل استفاده تقریباً در تمام خاک‌ها برای تأمین نیازهای گیاهان زراعی به این عنصر ناکافی است. بنابراین، رسانیدن مقدار فسفر خاک به حد کفایت از طریق کاربرد منابع فسفر غیر آلی و آلی برای پایداری درازمدت نظام‌های زراعی ضروری می‌باشد (Richardson, 1994).

در شرایط مطلوب تغذیه معدنی، فسفر حدود ۰/۲ تا ۰/۸ درصد از ماده خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد (Sharma et al., 2013). مقدار کل فسفر تجمع یافته در گیاه با گذشت زمان و افزایش تجمع ماده خشک افزایش اما غلظت فسفر در گیاه به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. علت کاهش غلظت فسفر و رقیق‌شدن آن در ماده خشک گیاهی، کاهش سهم اندام‌های فعال به‌لحاظ متابولیک از کل مادهٔ خشک گیاهی و پیر شدن این بافت‌ها با پیشرفت نمو گیاه است (Ziadi et al., 2008). مطالعه گیاهان مختلف، به‌وضوح نشان‌دهنده میزان متفاوت تجمع فسفر در گیاهان زراعی در مراحل مختلف رشد و نمو می‌باشد. برای مثال، Fageria و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی الگوی جذب فسفر در گیاهان زراعی مختلف (شامل ذرت، برنج آپلند، لوبیا و سویا) نشان دادند که سرعت جذب فسفر در اوایل دوره رشد اندک است، اما با افزایش سن گیاه، تا زمانی‌که ساقه‌ها طویل می‌شوند (تا مرحله گرده‌افشانی در گندمیان)، سرعت جذب فسفر به‌سرعت افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. همچنین، یافته‌های آن‌ها نشان داد که با افزایش سن گیاهان علی‌رغم افزایش تجمع فسفر، غلظت فسفر در بوته کمتر می‌شود. نتایج مطالعه یادشده با نتایج Zahedifar و همکاران (۱۳۹۰) در مورد گندم مطابقت دارد. در مطالعه Fageria و همکاران (۲۰۱۳)، در ابتدای فصل رشد، برعکس زمان برداشت، غلظت فسفر در غلات بیشتر از لگوم‌ها بود. از طرف دیگر، غلظت فسفر در دانه سویا و لوبیا بیشتر از ذرت و برنج بود که حاکی از تقاضای بیشتر دانه برای فسفر در لگوم‌ها نسبت به غلات است. یافته‌های مطالعه یادشده تغییر تقاضای گیاه برای دریافت عناصر از خاک در مراحل مختلف رشد و تغییر الگوی جذب مواد غذایی توسط گیاهان را نشان می‌دهد.

با توجه به کم بودن مقدار فسفر قابل جذب در بیشتر خاک‌های زراعی، به‌طور معمول گیاهان در بیشتر مزارع به مقدار مصرف فسفر کودی واکنش

Archive of SID

www.SID.ir

نشان می‌دهند. در مطالعه Taiz و همکاران (۲۰۱۵) افزایش مقدار مصرف فسفر کودی به تجمع بیشتر فسفر در برگ‌های دو گونه لگوم مورد مطالعه منتهی گردید. همچنین، در هر دو گونه افزایش غلظت فسفر برگ تا یک حد معین با افزایش تجمع ماده خشک همراه بود اما پس از آن تأثیری بر ماده خشک نداشت و در مواردی نیز حتی موجب کاهش ماده خشک شد. در مطالعه‌ای دیگر، مصرف کم کود فسفره به کاهش معنی‌دار غلظت فسفر بخش هوایی (تا ۵۰ درصد) در گونه‌ها منتهی شد. در این شرایط، گونه‌های هر دو گونه گندم دوروم و نان تغییرات قابل ملاحظه‌ای را از نظر غلظت فسفر بخش هوایی نشان دادند. در مقدار مصرف کافی فسفر، غلظت‌های فسفر بخش هوایی در گونه‌ها در دامنه کفایت (۲ تا ٤ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) قرار داشتند (Reuter and Robinson ,1997).

Khosravian و همکاران (2016) نیز با مطالعه‌ای دو گیاه گندم و جو گزارش کردند که با افزایش مقدار مصرف فسفر کودی در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی، غلظت و تجمع فسفر در بخش‌های مختلف گیاه به‌صورت خطی افزایش یافت. نتایج آن‌ها حاکی از ثبات بیشتر ضریب تخصیص فسفر به بخش‌های گیاه در مقایسه با غلظت و تجمع فسفر بود. همچنین، یافته‌های مطالعه یاد شده نشان‌دهنده همبستگی قوی بین مقدار فسفر جذب شده در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی با عملکرد دانه بود. Dordas (۲۰۰۹) نیز افزایش معنی‌دار غلظت فسفر دانه و بخش رویشی گیاه در مرحله رسیدگی را تحت تأثیر مصرف کود فسفره و کود فسفره همراه با کود نیتروژنه گزارش کرد. با این‌حال در مرحله گرده‌افشانی، تنها تأثیر مصرف کود فسفره بر غلظت فسفر ساقه و برگ معنی‌دار بود و مصرف کود نیتروژنه به‌تنهایی یا حتی کود فسفره + کود نیتروژنه موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در گیاه نشد. در مقابل، Bélanger و همکاران (۲۰۱۵) با انجام آزمایش‌هایی در ۸ سال- محل، عدم تأثیر معنی‌دار مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر ماده خشک گیاهی در مراحل مختلف نمو گندم در تمام سال- محل‌های اجرای آزمایش را گزارش و دلیل آن را زیاد بودن مقدار فسفر قابل‌استفاده در خاک ذکر کردند.

به‌طور کلی، گیاهان برای حفظ رشد در شرایط کمبود فسفر به‌طور عمده دو سازوکار را توسعه می‌دهند: ۱) افزایش جذب فسفر (مکانیسم‌های مورفولوژی ریشه، ترشحات ریشه و جذب فسفر) و ۲) استفاده کارآمدتر از فسفر جذب شده (مکانیسم‌های داخلی همبسته با استفاده بهتر از فسفر جذب‌شده در سطح سلولی) (Marschner, 2012 Rengel, 1999; Bates and Lynch, 2001; Vance et al., 2003). مطالعه Korkmaz و همکاران (۲۰۰۹) به‌وضوح نشان داد که در هر گروه از گونه‌های گندم تنوع زیادی از نظر کارآیی در جذب مقادیر کم فسفر موجود در خاک به علاوه چگونگی واکنش به کود فسفره اضافه شده به خاک وجود دارد. چنین تنوعی توسط پژوهشگران دیگر برای گندم (Horst et al., 1993; Ozturk et al., 2005) و ذرت (Alves et al., 2001) نیز گزارش شده است. این تنوع طبیعی انعکاسی از توانایی ذاتی گونه‌ها برای سازگاری با شرایط رشد بدون مصرف کودهای فسفر است. مصرف کودهای شیمیایی تا حد زیادی این اختلافات ژنتیکی را از میان می‌برد. Wang و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در شرایط فراهمی فسفر اختلاف معنی‌داری در جذب فسفر بین گونه‌ها وجود نداشت، اما در شرایط فسفر کم، جذب فسفر توسط گونه فسفرکارآمد به‌طور معنی‌داری بیشتر از گونه ناکارآمد بود. Korkmaz و همکاران (۲۰۰۹) نیز اختلاف‌های گسترده‌ای بین گونه‌ها از نظر غلظت و مقدار جذب فسفر مشاهده کردند و اظهار داشتند که اختلاف

Archive of SID

www.SID.ir

گونه‌ها از نظر میزان جذب فسفر بسیار بیشتر از غلظت فسفر بود.

با توجه به مطالب ذکر شده، مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی تغییرات غلظت، تجمع و تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف بوته در هفت گونه زراعی و هرز خانواده گندمیان در خاکی با مقدار فسفر قابل استفاده بسیار کم در دو شرایط مصرف و عدم مصرف کود در مراحل نمو کلیدی ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار در پردیس جدید دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال زراعی ۹۵-۹۴ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل هفت گونه زراعی و هرز از خانواده گندمیان شامل یولاف وحشی (*Avena fatua* L.)، علف‌خونی (*Phalaris minor Retz*)، گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، گندم دوروم (*Triticum durum* L.)، جو معمولی (*Hordeum vulgare* L.)، جو لخت (*Hordeum vulgare* L. var. Nudum) و چاودم (X *Triticosecale*) و دو شرایط عدم مصرف و مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم کودی به‌ترتیب به میزان ۷۶/۹۲، ۳۳/۲۵ و ۴۶/۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک برابر با ۱۸۰، ۸۰ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم خالص در هکتار بود. برای تأمین عناصر غذایی اصلی از کود سوپرفسفات تریپل (حاوی ۲۲/۷ درصد فسفر)، کود اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) و کود سولفات پتاسیم (حاوی ۵۰ درصد پتاسیم) استفاده شد. با توجه به اهداف آزمایش، خاکی با محتوای فسفر قابل استفاده بسیار کم (۴/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به روش اولسون) تهیه شد. خاک مورد استفاده دارای ۲۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده و ۱۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن معدنی، هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر ، اسیدیته ۷/۱۴ و ۱/۵۸ درصد کربن آلی بود. بافت خاک لوم رسی و درصد رس، شن و سیلت خاک به‌ترتیب ۲۸، ۳۰ و۴۲ درصد بود. قطر گلدان‌های مورد استفاده ۲۵ و ارتفاع آن ۱۸ سانتی‌متر بود و بذور با تراکم نهایی ۱۰ بوته در گلدان (۲۰۰ بوته در متر مربع) کشت شدند. گلدان‌ها در شرایط هوای آزاد قرار داده شدند و فقط در شرایط بارندگی سنگین با کشیدن پلاستیک شفاف محل آزمایش مسقف می‌گردید. در طول فصل رشد، آبیاری، کنترل آفات و گیاهان هرز و سایر عملیات لازم برای فراهم کردن شرایط مطلوب برای گیاهان مورد آزمایش انجام شد. نمونه برداری از گیاهان در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی (بر مبنای روش زادوکس) با سه تکرار متشکل از هفت بوته انجام شد. نمونه‌های گیاهی پس از انتقال به آزمایشگاه و جدا کردن اندام‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و در نهایت اندام‌ها به تفکیک توزین و آسیاب شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی به روش رنگ‌سنجی (با استفاده از معرف نیترو- وانادو- مولیبدات)، نمونه‌های خشک شده به تفکیک اندام (ریشه، ساقه، برگ)، به‌وسیله آسیاب آزمایشگاهی پودر شدند. غلظت فسفر نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل شیمادزو- یو وی- ۱۸۰۰ قرائت و سپس مقدار فسفر موجود در ماده خشک گیاهی (براساس میلی‌گرم فسفر در گرم ماده خشک) محاسبه شد (Ali Ehyayi, M. 1997; Ghazanshahi, J. 2006). در هر مرحله از نمونه‌برداری مقدار فسفر تجمع یافته در هر اندام، با ضرب وزن خشک در غلظت فسفر در آن اندام به‌دست آمد. از حاصل‌جمع عنصر تجمع یافته در اندام‌ها مقدار کل فسفر تجمع یافته در بوته محاسبه شد. ضریب تخصیص فسفر به

Archive of SID

www.SID.ir

هر یک از اندام‌های گیاه در هر یک از دو مرحله نیز از تقسیم مقدار عنصر تجمع یافته در آن اندام به کل فسفر تجمع یافته در بوته محاسبه شد. توضیح این‌که ماده خشک بوته‌ها و به‌تبع آن عناصر غذایی در مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی گندمیان بین برگ‌ها (پهنک برگ‌ها)، ساقه و ریشه توزیع می‌شود. همچنین، در مرحله ساقه‌رفتن، ساقه هنوز رشد سریع خود را آغاز نکرده و درنتیجه سهم چندانی از کل ماده خشک ندارد و آنچه به‌نام ساقه در نظر گرفته می‌شود به‌طور عمده غلاف برگ‌ها می‌باشد. در ضمن، در مرحله گرده‌افشانی سنبله (فاقد دانه) نیز به‌عنوان بخشی از ساقه در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار SAS (Soltani, 2007) و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

غلظت فسفر در ماده خشک گیاهی: نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار کوددهی بر غلظت فسفر برگ، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در مراحل ساقه‌رفتن (بجز ریشه) و گرده‌افشانی بود. در مرحله ساقه‌رفتن، اثر گونه بر غلظت فسفر ساقه و بخش هوایی معنی‌دار (p=0.01) و در گرده‌افشانی اثر گونه بر غلظت فسفر در تمام بخش‌های گیاه و کل بوته معنی‌دار (p=0.01) بود. همچنین، اثر متقابل بین دو فاکتور به‌جز در مورد غلظت فسفر ریشه در گرده‌افشانی معنی‌دار نبود (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کوددهی (F)، نوع گیاه (Gen) و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر برگ ($[P]_{Lf}$)، ساقه ($[P]_{St}$)، ریشه ($[P]_{Rt}$)، و اندام هوایی ($[P]_{Sh}$) و کل بوته ($[P]_{Tot}$) در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی.

مرحله رشد	منابع تغییر	df	$[P]_{Lf}$	$[P]_{St}$	$[P]_{Rt}$	$[P]_{Sh}$	$[P]_{Tot}$
ساقه‌رفتن	F	۱	۳/۵۵۳**	۱/۶۲۵^{ns}	۰/۳۹۱^{ns}	۲/۴۷۱*	۲/۹۶۲**
	Gen	٦	۰/۸۷۸^{ns}	٦/۵۹۰**	۰/۳۴۲^{ns}	۱/٦۴۷*	۰/۵۵٦^{ns}
	F*Gen	٦	۰/۹۰۵^{ns}	۰/۲۸۲^{ns}	۰/۲۴٦^{ns}	۰/۳۵۴^{ns}	۰/۱۲۸^{ns}
	Error	۱۴	۰/۳۲۱	۰/۹۵۰	۰/۱۹۱	۰/۳۹۷	۰/۲٦۸
	C.V.		۱۴/۴٦	۲۰/۹۱	۲٦/۳۷	۱۴/۹۸	۱٦/۵۰
گرده‌افشانی	F	۱	۵/۰۹**	۰/۰۱۴^{ns}	۲/۱۱۴**	۰/۴۸*	۰/۷۰۴*
	Gen	٦	۵/۲۳۵**	۲/۰۲۱**	۲/۳۲۸**	۱/۵۹۷**	۰/۸۴**
	F*Gen	٦	۰/۱۵۱^{ns}	۰/۱۱۴^{ns}	۰/۴۹۴*	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۸٦^{ns}
	Error	۱۴	۰/۲٦۸	۰/۱۳۴	۰/۱۷۰	۰/۰۹۸	۰/۰۸۳
	C.V.		۲۵/۲٦۴	۱۸/۵۱۷	۲٦/۰۲	۱۵/۸۲	۱۵/۳۵

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ ns: معنی‌دار نبودن تأثیر؛ C.V.: ضریب تغییرات.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مرحله ساقه‌رفتن دامنه تغییرات غلظت فسفر بین ۲/۸۸ (گندم مروارید) و ٦/۴۳ (یولاف) گرم در کیلوگرم قرار داشت و غلظت فسفر ساقه در دو گونه‌ی علف‌هرز مورد مطالعه (یولاف وحشی و علف‌خونی) به‌طور معنی‌داری بیشتر از گونه‌های زراعی بود. همچنین، در این مرحله، غلظت فسفر بخش هوایی (به‌طور عمده متشکل از غلاف و پهنک برگ) از ۲/۹۲ (گندم

Archive of SID

www.SID.ir

مروارید) تا ٤/٧٢ گرم در کیلوگرم (علف‌خونی) متغیر بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بین گونه‌های مورد بررسی، به‌استثنای گندم مروارید، از نظر غلظت فسفر بخش هوایی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و فقط غلظت فسفر بخش هوایی گندم مروارید به طور معنی‌داری کمتر از سایر گونه‌ها بود.

در مرحله گرده‌افشانی، غلظت فسفر کل بوته در گونه‌های مورد مطالعه بین ١/٤٦ (جو صحرا) تا ٢/٥٢ (گندم دوروم)، غلظت فسفر بخش هوایی بین ١/٣٥ (علف‌خونی) تا ٢/٦٧ (گندم مروارید)، غلظت فسفر ساقه بین ١/١٢ (جوصحرا) تا ٢/٨٨ (گندم دوروم) و غلظت فسفر برگ بین ١/٠٠ (علف‌های هرز) تا ٣/٨٢ (جو صحرا) گرم در کیلوگرم متغیر بود. غلظت فسفر کل بوته، بخش‌هوایی بوته و ساقه در سه گیاه گندم دوروم، گندم مروارید و جو لخت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌های مورد مطالعه بود و بین چهار گیاه جو معمولی، تریتیکاله، علف‌خونی و یولاف وحشی از نظر غلظت فسفر در اندام‌های یاد شده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (بجز غلظت فسفر ساقه جو صحرا و تریتیکاله که از لحاظ آماری متفاوت بودند). همچنین، غلظت فسفر برگ در سه گیاه جو معمولی، جو لخت و گندم مروارید به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود اما بین سایر گونه‌ها تفاوتی مشاهده نشد (جدول ٢).

جدول ٢: مقایسه میانگین[#] اثر گونه گیاهی بر غلظت فسفر برگ ([P]Lf)، ساقه ([P]St) ، دانه ([P]Gn)، بخش هوایی ([P]Sh) و کل بوته ([P]Tot)، مقدار فسفر ساقه ($P_{St}Cont$) و کل بوته ($P_{Tot}Cont$) در مرحله ساقه‌رفتن (SE) و گرده‌افشانی (An).

تیمار	$[P]_{St}SE$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Sh}SE$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Lf}An$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{St}An$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Sh}An$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Tot}An$ ($g.kg^{-1}$)	$P_{St}ContSE$ ($mg\ P.plant^{-1}$)	$P_{Tot}ContAn$ ($mg\ P.plant^{-1}$)
WMOR	٢/٨٨٤^{e}	٢/٩١٥^{b}	٢/٥٤٤^{b}	٢/٦٩٦^{a}	٢/٦٧٣^{a}	٢/٤١٣^{a}	٠/٩٠٤^{ab}	٨/٩٤٢^{a}
WDRM	٣/٣٦٩^{de}	٣/٩٢٧^{a}	١/٥١٣^{c}	٢/٨٧٦^{a}	٢/٦١٨^{a}	٢/٥١٦^{a}	٠/٧٩٨^{abc}	٨/٠٩٥^{ab}
BSAH	٥/٤٢٩^{abc}	٤/٧١١^{a}	٣/٨١٧^{a}	١/١٢٢^{c}	١/٥٧٩^{b}	١/٤٥٥^{b}	١/٢١٧^{a}	٥/٩٥٢^{c}
BNKD	٤/٠٦٩^{cde}	٤/١٣٦^{a}	٣/٢١٦^{ab}	٢/٥٣٤^{a}	٢/٦٥٩^{a}	٢/١٢٧^{a}	٠/٧٦٦^{abc}	٨/٥٨١^{a}
TTkL	٤/٨٠٢^{bcd}	٤/٥٤٤^{a}	١/٢٦٤^{c}	١/٧٢٠^{b}	١/٦٤٥^{b}	١/٥١٤^{b}	١/٣٤٠^{a}	٥/٢٤٥^{c}
AVEN	٦/٤٢٩^{a}	٤/٥٠٠^{a}	٠/٩٩٥^{c}	١/٥٠٥^{bc}	١/٣٦٣^{b}	١/٦١٩^{b}	٠/٣٧٩^{bc}	٦/٥٦١^{bc}
PHLRS	٥/٦٤٨^{ab}	٤/٧٢٠^{a}	٠/٩٩٧^{c}	١/٣٦٤^{bc}	١/٣٥٣^{b}	١/٥٢١^{b}	٠/٢٩٧^{c}	٤/٩٠١^{c}
LSD	١/٤٧٨	٠/٩٥٦	٠/٧٨٥	٠/٥٥٤	٠/٤٧٦	٠/٤٣٨	٠/٥٩٠	٢/٠١١

WMOR گندم رقم مروارید؛ WDRM گندم دوروم؛BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL تریتیکاله؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS علف خونی. LSD : کمترین اختلاف معنی‌دار.

در این مطالعه مصرف کودهای شیمیایی موجب افزایش غلظت فسفر در گیاه شد. بدین ترتیب که غلظت فسفر برگ، بخش هوایی و کل بوته در مرحله ساقه‌رفتن را به‌ترتیب از ٣/٥٦، ٣/٩١ و ٢/٨١ به ٤/٢٧، ٤/٥١ و ٣/٤٦ گرم در کیلوگرم و در مرحله گرده‌افشانی به‌ترتیب از ١/٦٢، ١/٨٥ و ١/٧٢ به ٢/٤٨، ٢/١٢ و ٢/٠٤ افزایش داد (جدول ٣). در مرحله گرده‌افشانی، غلظت فسفر ریشه گونه‌های مورد مطالعه در شرایط عدم مصرف کود بین ٠/٧٧ (جو صحرا) و ٢/٣٧ (علف‌خونی) و در شرایط کوددهی بین ٠/٩٠ (جو لخت) و ٢/٩٦ (گندم دوروم) گرم در کیلوگرم قرار داشت. در هر دو شرایط عدم کوددهی و کوددهی غلظت فسفر ریشه دو گونه علف هرز (علف‌خونی و یولاف وحشی) به‌طور معنی‌دار بیشتر از گونه‌های زراعی بود (جدول ٤).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر کوددهی بر غلظت فسفر برگ ($[P]_{Lf}$)، بخش هوایی ($[P]_{Sh}$) و کل بوته ($[P]_{Tot}$)، مقدار فسفر ساقه ($P_{St}Cont$) و کل بوته ($P_{Tot}Cont$) و و ضریب تخصیص فسفر برگ ($P_{Lf}PC$) در مرحله ساقه‌رفتن (SE) و گرده‌افشانی (An).

تیمار	$[P]_{Lf}SE$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Sh}SE$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Tot}SE$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Lf}An$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Sh}An$ ($g.kg^{-1}$)	$[P]_{Tot}An$ ($g.kg^{-1}$)	$P_{St}ContSE$ (mg $P.plant^{-1}$)	$P_{Tot}ContAn$ (mg $P.plant^{-1}$)	$P_{Lf}PCAn$
F_1	٤/٢٦٩^{a}	٤/٥٠٥^{a}	٣/٤٦٢^{a}	٢/٤٧٦^{a}	٢/١١٥^{a}	٢/٠٣٩^{a}	١/٠٣١^{a}	١٠/٧٢٣^{a}	٠/١٩٢^{a}
F_0	٣/٥٥٨^{b}	٣/٩١١^{b}	٢/٨١١^{b}	١/٦٢٣^{b}	١/٨٥٣^{b}	١/٧٢٢^{b}	٠/٣٩٤^{b}	٣/٠٧١^{b}	٠/٠٩٧^{b}
LSD	٠/٥٠٧	٠/٥١١	٠/٤٢٠	٠/٤٢٠	٠/٢٥٥	٠/٢٣٤	٠/١٥٠	١/٠٧٥	٠/٠٢٥

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار، #در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری در سطح ۵ درصد و بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. F_0 : عدم مصرف کودهای شیمیایی و F_1: مصرف کودهای شیمیایی.

مطابق انتظار نتایج به‌دست آمده حاکی از کاهش قابل توجه میانگین غلظت فسفر در بخش‌های مختلف و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی نسبت به مرحله ساقه‌رفتن می‌باشد. در شرایط عدم مصرف کود، میانگین غلظت فسفر در برگ، بخش هوایی و کل بوته گونه‌های مورد مطالعه در مرحله ساقه‌رفتن به‌ترتیب ۳/٦، ۳/۹ و ۲/۸ گرم در کیلوگرم بود و در مرحله گرده‌افشانی به‌ترتیب به ۱/٦، ۱/۹ و ۱/۷ گرم در کیلوگرم تقلیل یافت. همچنین، در شرایط مصرف کود، میانگین غلظت فسفر بخش‌های یاد شده در مرحله ساقه‌رفتن به‌ترتیب ٤/۳، ٤/۵ و ۳/۵ گرم در کیلوگرم و در مرحله گرده‌افشانی به‌ترتیب به ۲/۵، ۲/۱ و ۲/۰ گرم در کیلوگرم بود که حاکی از کاهش محسوس غلظت فسفر در بخش‌های یاد شده در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن می‌باشد

تجمع فسفر در ماده خشک گیاهی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی، کوددهی و گونه گیاهی تأثیر معنی‌داری (p=0.01) بر تجمع فسفر در تمام بخش‌های گیاه (برگ، ساقه، ریشه، بخش هوایی) و کل بوته گیاهان مورد مطالعه داشت. اثر متقابل بین دو فاکتور نیز بر تجمع فسفر در تمام بخش‌های یاد شده بجز ساقه در مرحله ساقه‌رفتن و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

جدول ٤: مقایسه میانگین اثرات متقابل کوددهی و گونه گیاهی بر غلظت فسفر ریشه ($[P]_{Rt}$) و ضریب تخصیص ریشه ($P_{Rt}PCAn$) در مرحله گرده‌افشانی.

تیمار	گونه	$[P]_{Rt}$ ($g.kg^{-1}$)	$P_{Rt}PCAn$
F_1	WMOR	١/٣١٧^{b}	٠/١٦٨^{c}
	WDRM	٢/٩٦٣^{a}	٠/١٩٥^{c}
	BSAH	٠/٩١٣^{b}	٠/١١٣^{d}
	BNKD	٠/٩٠٢^{b}	٠/٠٧٥^{d}
	TTkL	١/٢٧٧^{b}	٠/٣٣٤^{b}
	AVEN	٢/٨٧٧^{a}	٠/٣٥٤^{ab}
	PHLRS	٢/٧٦٦^{a}	٠/٣٩٦^{a}
F_0	WMOR	١/٢٨٧^{b}	٠/٠٩٠^{cd}
	WDRM	٠/٨٩٨^{b}	٠/٠٦٢^{d}
	BSAH	٠/٧٧٠^{b}	٠/٠٤٥^{d}

Archive of SID

www.SID.ir

BNKD	۰/۷۹۶^{b}	۰/۰۹۶^{cd}
TTkL	۰/۸۱٤^{b}	۰/۱۲۳^{c}
AVEN	۲/۲۳۱^{a}	۰/۲۸۵^{b}
PHLRS	۲/۳۷۱^{a}	۰/۲۳۰^{a}

*WMOR گندم رقم مروارید؛ WDRM گندم دوروم؛ BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL تریتیکاله؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS علف خونی. F_0: عدم مصرف کودهای شیمیایی و F_1: مصرف کودهای شیمیایی.

میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در برگ، ریشه و بخش هوایی گونه‌های مورد مطالعه در مرحله ساقه‌رفتن در شرایط عدم مصرف کود به‌ترتیب ۰/٤۸، ۰/۳۰ و ۰/۹۲ میلی‌گرم در بوته بود و در شرایط مصرف کود به‌ترتیب ۱/۸۳، ۰/۷۳ و ۳/۲ میلی‌گرم در بوته که به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی ۲۸۱، ۱٤۳ و ۲٤۸ درصد افزایش در تجمع فسفر در نتیجه مصرف کود در بخش‌های یاد شده می‌باشد. میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در کل بوته در این مرحله نیز در شاهد عدم مصرف کود ۱/۲۰ و در شرایط مصرف کود ۳/۹۰ میلی‌گرم در بوته بود که افزایشی معادل ۲۲۵ درصد در مقدار تجمع فسفر در کل بوته در نتیجه مصرف کود را نشان می‌دهد. به بیانی دیگر، میانگین مقدار جذب فسفر گونه‌های مورد بررسی در شرایط مصرف کود در مرحله ساقه‌رفتن ۳/۲۵ برابر شرایط عدم مصرف کود بود. این مقادیر برابر با جذب ۲/٤۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط عدم مصرف کود و ۷/۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط مصرف کود می‌باشد (جدول ۵).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، در مرحله ساقه‌رفتن در شرایط عدم مصرف کود تفاوت معنی‌داری در مقدار فسفر تجمع یافته در برگ، ریشه، بخش هوایی و کل بوته گیاهان مورد بررسی مشاهده نشد. دامنه مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌های یاد شده به‌ترتیب از ۰/۳۲ (جو لخت)، ۰/۱۷، ۰/٦۱ و ۰/۷۸ (علف‌خونی) میلی‌گرم در بوته تا ۰/٦۲ (تریتیکاله)، ۰/٤۵ (یولاف وحشی)، ۱/۱٦ (جو معمولی) و ۱/۵۳ (تریتیکاله) میلی‌گرم در بوته متغیر بود (جدول ۵).

در شرایط مصرف کود در مرحله ساقه‌رفتن نیز کمترین و بیشترین مقدار فسفر تجمع یافته به‌ترتیب در برگ ۰/۸۷ (علف‌خونی) و ۲/٦۵ (تریتیکاله) میلی‌گرم در بوته، در ریشه ۰/۳ (علف‌خونی) و ۱/۰۲ (جو معمولی) میلی‌گرم در بوته، در بخش هوایی ۱/۳۱ (علف‌خونی) و ۵/٦۹ (تریتیکاله) میلی‌گرم در بوته و در کل بوته ۱/٦۱ (علف‌خونی) و ٦/٦۰ (تریتیکاله) میلی‌گرم در بوته بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده مقدار فسفر تجمع یافته در برگ سه گونه زراعی جو معمولی، جو لخت و تریتیکاله بیشتر از گندم دوروم، گندم مروارید و دو گونه علف‌هرز، و در همه گونه‌های زراعی بیشتر از علف‌خونی بود. همچنین، مقدار فسفر در ریشه و بخش هوایی گونه‌های زراعی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو گونه علف‌هرز بود. جو صحرا و جو لخت نیز پس از تریتیکاله بیشترین تجمع فسفر در کل بوته را داشتند (جدول ۵).

جدول ۵: مقایسه میانگین اثرات متقابل کوددهی و گونه گیاهی بر مقدار فسفر برگ (P_{LfCont})، ریشه (P_{RtCont})، بخش هوایی (P_{ShCont}) و کل بوته ($P_{TotCont}$) در مراحل ساقه‌رفتن (SE) و گرده‌افشانی (An).

تیمار	گونه	P_{LfCont} (mg P.plant^{-1})	P_{RtCont} (mg P.plant^{-1})	P_{ShCont} (mg P.plant^{-1})	$P_{TotCont}$ (mg P.plant^{-1})	P_{StCont} (mg P.plant^{-1})	P_{RtCont} (mg P.plant^{-1})	P_{ShCont} (mg P.plant^{-1})
		SE				An		
F_1	WMOR	۱/٤۸۸^{b}	۰/۹۲۹^{ab}	۲/۷٤۱^{cd}	۳/٦۷۰^{c}	۲/٤۱۲^{b}	۷/۷۷۸^{b}	۰/۹٦٤^{d}	۹/۹٦۲^{b}

Archive of SID

www.SID.ir

	WDRM	۱/٤۹۷^{b}	۰/۸۹۲^{ab}	۲/۸۷۳^{c}	۳/۷٦٥^{c}	۱/۳۷٤^{cd}	۸/۰۳۸^{b}	۲/٤۹۹^{b}	۱۰/٤۱۳^{b}
	BSAH	۲/۳۷٥^{a}	۱/۰۱۷^{a}	٤/۱٤۳^{b}	٥/۱٦۰^{b}	۳/۷۰۹^{a}	٤/٥۳۰^{c}	۱/۰٤۹^{d}	۸/۲۳۹^{bc}
	BNKD	۲/٤٥٦^{a}	۰/۷۸٥^{ab}	۳/٦۹۰^{b}	٤/٤۷٥^{bc}	۲/۸۱٥^{b}	۹/۸۱۰^{a}	۱/۳۸٥^{cd}	۱۲/٦۲٦^{a}
	TTkL	۲/٦٤۹^{a}	۰/۷۱٤^{bc}	٥/٦۸٥^{a}	٦/٥۹۸^{a}	۱/۱۱۷^{d}	۹/٦۱۳^{a}	۱/۷۹۱^{c}	۱۰/۸۸۳^{ab}
	AVEN	۱/٤۹۳^{b}	۰/٤٥۳^{cd}	۲/۰٤۷^{d}	۲/۰٤٦^{d}	۱/۷٥٤^{c}	٦/٥٤۰^{b}	۲/۸۹۰^{ab}	٦/٥۰٥^{c}
	PHLRS	۰/۸٦٦^{c}	۰/۳۰۱^{d}	۱/۳۱۲^{d}	۱/٦۱۳^{d}	۱/۲۰٦^{cd}	۳/٤۹۷^{c}	۳/۳۸۱^{a}	٥/٤٥٥^{c}
F_0	WMOR	۰/٥۱۱^{a}	۰/۲۲۲^{a}	۱/۰٦٥^{a}	۱/۲۸۷^{a}	۰/٤٥٥^{b}	۲/٥٦۲^{ab}	۰/٤۹٦^{ab}	٤/۰۱۷^{a}
	WDRM	۰/٥۲۸^{a}	۰/۳۲۰^{a}	۰/۷٤۸^{a}	۱/۰٦۸^{a}	۰/۲٤٥^{b}	۲/۸۳۹^{a}	۰/۱۹٥^{b}	۳/۰۸۳^{ab}
	BSAH	۰/٤۹۲^{a}	۰/۳۱۰^{a}	۱/۱٥۹^{a}	۱/٤٦۹^{a}	۱/۳۹۹^{a}	۰/۷٦۸^{c}	۰/۲۷۲^{b}	۱/٥۱٦^{b}
	BNKD	۰/۳۲۱^{a}	۰/۲٥۲^{a}	۱/۰۸۱^{a}	۱/۳۷۲^{a}	۰/٦۸۳^{ab}	۲/۳۲۳^{ab}	۰/٤۳۰^{b}	۲/۹٥٦^{ab}
	TTkL	۰/٦۱٦^{a}	۰/٤۰۷^{a}	۱/۱۲۳^{a}	۱/٥۲۹^{a}	۰/۲۰۷^{b}	۱/۸٤۹^{abc}	۰/۲۹۰^{b}	۲/۰٥٦^{ab}
	AVEN	۰/٤۳۱^{a}	۰/٤٥۳^{a}	۰/٦۷۳^{a}	۰/۸۷۸^{a}	۰/۲۹۹^{b}	۱/٥۹٤^{bc}	۰/۸۹۸^{a}	۱/۸٤۳^{b}
	PHLRS	۰/٤٦٤^{a}	۰/۱٦۸^{a}	۰/٦۱۲^{a}	۰/۷۸۰^{a}	۰/۲٤۱^{b}	۱/٤٥۳^{bc}	۰/٦۳۸^{ab}	۱/٦۹٤^{b}

*WMOR گندم رقم مروارید؛ WDRM گندم دوروم؛BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL تریتیکاله؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS علف خونی.

در مرحله ساقه‌رفتن، میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در ساقه گونه‌های مورد مطالعه ۰/۸۲ میلی‌گرم در بوته و دامنه مقادیر آن‌ها از ۰/۳۰ در علف‌خونی تا ۱/۳٤ میلی‌گرم در بوته در تریتیکاله متغیر بود (جدول ۲). همچنین، میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در ساقه گونه‌های مورد مطالعه در شرایط عدم مصرف کود ۰/۳۹ میلی‌گرم در بوته بود که در نتیجه مصرف کود با افزایشی برابر با ١٦٤ درصد به ۱/۰۳ میلی‌گرم در بوته رسید (جدول ۳).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، در مرحله ساقه‌رفتن میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در دو شرایط کوددهی و عدم کوددهی در برگ، ساقه و ریشه گونه‌های مورد آزمایش به‌ترتیب ۱/۱۵۵، ۰/۸۱۵ و ۰/۵۱٦ میلی گرم در بوته بود که نشان‌دهندهٔ تجمع بیشتر فسفر در برگ (پهنک برگ‌ها) نسبت به ساقه (به‌طور عمده متشکل از غلاف برگ‌ها) به میزان ٤۲ درصد و در ساقه نسبت به ریشه به میزان ۵۸ درصد می‌باشد. این نتیجه در حالی به‌دست آمد که در این مرحله از نمو میانگین غلظت فسفر برگ گونه‌ها (۳/۹۱ گرم در کیلوگرم) به مقدار قابل اعتنایی از غلظت فسفر ساقه (٤/٦٦ گرم در کیلوگرم) کمتر بود. بنابراین، بدون تردید تجمع بیشتر فسفر در برگ‌ها نسبت به ساقه را می‌توان به مقدار و سهم بیشتر این اندام از کل ماده خشک بوته نسبت داد که با چگونگی تخصیص ماده خشک گندمیان به اندام‌های مختلف بوته در مرحله ساقه‌رفتن مطابقت دارد (Khosravian et al., 2016). در این مرحله از نمو گندمیان، با توجه به این‌که هنوز میانگره‌ها و در نتیجه ساقه گیاه هنوز طویل نشده است، بخش عمده ماده خشک به برگ‌ها اختصاص می‌یابد. داده‌ها نشان می‌دهند که در این مرحله، از کل ماده خشک بوته ٤٦ درصد به برگ، ۳۳ درصد به ساقه و ۲۱ درصد به ریشه اختصاص یافته بود که به‌روشنی اختلافات سه اندام از نظر مقدار فسفر تجمع‌یافته را توجیه می‌کند. البته لازم است اضافه شود که در مطالعات توزیع ماده خشک، غلاف برگ‌ها نیز به‌عنوان بخشی از ساقه در نظر گرفته می‌شود و آنچه به‌عنوان وزن خشک برگ اندازه‌گیری می‌شود فقط شامل وزن خشک پهنک برگ است. از این‌رو، چنان‌چه غلاف برگ‌ها نیز به‌عنوان بخشی از برگ در نظر گرفته شود، بدون تردید ضریب تخصیص ماده خشک به برگ در این مرحله بسیار بزرگ‌تر از ضریب فعلی خواهد شد.

در مرحله گرده‌افشانی، میانگین فسفر تجمع یافته در برگ گونه‌های مورد مطالعه در شرایط عدم مصرف

Archive of SID

www.SID.ir

کود ۰/۵۰ و در شرایط مصرف کود ۱/۹۱ میلی‌گرم در بوته بود که نشان می‌دهد تجمع فسفر در شرایط مصرف کود ۳/۸ برابر شرایط عدم مصرف کود بوده است (جدول ۵). در هر دو شرایط مقدار فسفر تجمع یافته به میزان غیر قابل اعتنایی نسبت به مرحله ساقه‌رفتن افزایش یافته است ولی میزان افزایش وزن خشک برگ نسبتاً قابل توجه بوده است. کاهش چشمگیر میانگین غلظت فسفر برگ در مرحله گرده‌افشانی (۲/۰۵ گرم در کیلوگرم) نسبت به مرحله ساقه‌رفتن (۳/۹۱ گرم در کیلوگرم)، عدم افزایش تجمع فسفر در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن علی‌رغم افزایش وزن خشک برگ را به‌خوبی توجیه می‌کند.

بر اساس نتیجه مقایسه میانگین‌ها، در مرحله گرده‌افشانی در شرایط عدم مصرف کود فقط مقدار فسفر تجمع یافته در برگ جو صحرا (۱/٤۰ میلی‌گرم در بوته) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود و بین سایر گونه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط مصرف کودهای شیمیایی بیشترین میزان تجمع فسفر برگ در جو صحرا (۳/۷۱ میلی‌گرم در بوته) و کمترین آن در تریتیکاله (۱/۱۲ میلی‌گرم در بوته) مشاهده شد. مقدار فسفر برگ در جو معمولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از جو لخت و گندم نان و در این دو گونه بیشتر از سایر گونه‌ها بود ولی بین سایر گونه‌ها به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). نکته جالب این‌که علی‌رغم تغییرات بیشتر تجمع فسفر برگ در گونه‌های مورد بررسی در شرایط کوددهی، ترتیب آن‌ها از کمترین به بیشترین مقدار تجمع فسفر در هر دو شرایط مشابه بود.

بر خلاف مرحله ساقه‌رفتن، که ساقه حقیقی کسر کوچکی از کل وزن خشک بوته را تشکیل می‌دهد، وزن خشک ساقه در نتیجه طویل شدن سریع میان‌گره‌ها در فاصله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی به حداکثر مقدار خود رسیده و در گرده‌افشانی کسر قابل توجهی از وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهد. در نتیجه، علی‌رغم کاهش شدید غلظت فسفر ساقه در این مرحله (۱/۹۷ میلی‌گرم در بوته) نسبت به مرحله ساقه‌رفتن (٤/٦٦ میلی‌گرم در بوته)، میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در ساقه در مرحله گرده‌افشانی ۵/۵ برابر شده و از ۰/۸۲ در مرحله ساقه‌رفتن، در گرده‌افشانی به ٤/۵۱ میلی‌گرم در بوته رسید. میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در ساقه گونه‌های مورد بررسی در این مرحله در شاهد عدم مصرف کود ۱/۹۱ میلی گرم در بوته بود که در نتیجه مصرف کود ۳/۷ برابر شده و به ۷/۱۱ میلی گرم در بوته رسید. در شرایط عدم کوددهی بیشترین تجمع فسفر ساقه (۲/۸٤ میلی گرم در بوته) مربوط به گندم دوروم بود که اختلاف معنی‌داری با دو علف‌هرز مورد آزمایش و جو معمولی داشت. در این شرایط بین سایر گونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط مصرف کود دامنه تغییرات مقدار فسفر ساقه در گونه‌های مختلف بسیار متفاوت (از ۳/۵۰ در علف‌خونی تا ۹/۸۱ میلی گرم در بوته در جو لخت) بود (جدول ۵).

در مرحله گرده‌افشانی، میانگین مقدار فسفر ریشه در شاهد عدم مصرف کود، ۰/٤٦ میلی‌گرم در بوته بود که در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی ٤/۳ برابر شده و به ۱/۹۹ میلی‌گرم در بوته رسید (جدول ۵). این نتایج حاکی از افزایش قابل ملاحظه تجمع فسفر در ریشه در هر دو شرایط عدم کوددهی (۱/۵ برابر) و کوددهی (۲/۷ برابر) در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن می‌باشد. این افزایش را تا حد زیادی می‌توان به افزایش وزن خشک ریشه در هر دو شرایط در فاصلهٔ ساقه‌رفتن تا گرده‌افشانی نسبت داد که بر اساس داده‌های موجود به‌طور متوسط ۲/٦ برابر شده است. افزایش قابل توجه مقدار فسفر ریشه در گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن در حالی اتفاق افتاد

Archive of SID

www.SID.ir

که افزایش مقدار فسفر برگ چندان قابل توجه نبود. در شاهد عدم کوددهی فقط اختلاف مقدار فسفر ریشه یولاف وحشی با سایر گونه‌ها به‌جز علف‌خونی و گندم مروارید معنی‌دار بود و بین ٦ گونه دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. یکنواختی نسبی مقدار فسفر بخش‌های مختلف بوته در گونه‌های مورد بررسی در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی، به‌عنوان دو مرحله بسیار مهم از زندگی گیاهان خانوادهٔ گندمیان، دلالت برعدم تنوع ژنتیکی این گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در شرایط کمبود فسفر خاک دارد. جالب این‌که در مورد ریشه نیز تغییرات مقدار فسفر در گونه‌های مختلف در شرایط کوددهی بسیار بیشتر از شاهد بود. در مرحله گرده‌افشانی، مقدار فسفر ریشه گونه‌ها در شرایط کوددهی از ۰/۹٦ در گندم مروارید تا ۳/۳۸ میلی گرم در بوته در علف‌خونی متغیر بود. بین مقدار فسفر ریشه دو علف‌هرز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما مقدار فسفر ریشه گونه‌های زراعی (به‌جز گندم دوروم) به‌طور معنی‌داری کمتر از علف‌های هرز بود (جدول ۵).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، میانگین مقدار فسفر بخش هوایی گونه‌های مختلف در مرحله گرده‌افشانی، در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی ۳/۷ برابر شد و از ۲/٤۵ (در شاهد) به ۹/۱۵ میلی گرم در بوته (در شرایط کوددهی) رسید (جدول ۵). داده‌های ماده خشک و غلظت فسفر بخش هوایی گونه‌ها در دو شرایط کوددهی و عدم کوددهی تأیید می‌کند که دلیل اصلی افزایش مقدار فسفر بخش هوایی در نتیجه کوددهی افزایش ۳/۱۸ برابری میانگین مقدار ماده خشک گونه‌ها بوده است و نقش افزایش غلظت فسفر (۱٦ درصد) قابل اعتنا نبوده است. همچنین، در فاصله ساقه‌رفتن تا گرده‌افشانی میانگین مقدار فسفر بخش هوایی در تیمار عدم کوددهی از ۰/۹۲ به ۲/٤۵ میلی گرم در بوته و در تیمار کوددهی از ۳/۲۱ به ۹/۱٦ میلی گرم در بوته افزایش پیدا کرد. این افزایش در حالی رخ داد که غلظت فسفر بخش هوایی در شاهد از ۳/۹۱ به ۱/۸۵ و در تیمار مصرف کود از ٤/۵۱ به ۲/۱۲ گرم فسفر در کیلوگرم ماده خشک کاهش پیدا کرد که بسیار قابل توجه است. علت افزایش مقدار فسفر بخش هوایی بوته در مرحله گرده‌افشانی نسبت به مرحله ساقه‌رفتن در هر دو شرایط شاهد و کوددهی، افزایش چشمگیر ماده خشک بود؛ میانگین ماده خشک بخش هوایی بوته در مرحله ساقه‌رفتن در شاهد ۰/۲٤ و در تیمار کوددهی ۰/٦٦ گرم در بوته بود که در مرحله گرده‌افشانی به‌ترتیب به ۱/۳۵ و ٤/۲۹ گرم در بوته رسید که نشان‌دهنده افزایش ٦/۳ برابر در هر دو شرایط کوددهی و عدم کوددهی می‌باشد. در مرحله گرده‌افشانی مقدار کل فسفر بخش هوایی در شاهد عدم مصرف کود ٤/۹ کیلوگرم در هکتار و در تیمار کوددهی ۱۸/۳ کیلوگرم در هکتار بود که تأثیر مصرف کود در میزان جذب را به‌وضوح نشان می‌دهد.

در مرحله گرده‌افشانی، مقدار فسفر بخش هوایی بوته در شرایط عدم کوددهی، بین ۱/۵۲ (جومعمولی) و ٤/۰۲ میلی‌گرم در بوته (گندم نان) متغیر بود. مقدار فسفر بخش هوایی گندم نان به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو علف‌هرز و جو معمولی بود و بین ٦ گونه دیگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در تیمار مصرف کود، مقادیر تجمع فسفر در دامنه ۵/٤٦ (علف‌خونی) و ۱۲/٦۳ (جو لخت) نوسان داشت. بین علف‌های هرز با یکدیگر و با جو معمولی اختلاف معنی‌داری دیده نشد (جدول ۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقدار فسفر بخش هوایی گونه‌ها در مرحله گرده‌افشانی در شاهد بین ۳/۰ در جو معمولی و ۸/۰ کیلوگرم در هکتار در گندم نان و در شرایط کوددهی بین ۱۰/۹ در علف‌خونی و ۲۵/۳ کیلوگرم در هکتار در جو لخت متغیر بود.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار فسفر کل بوته در این مرحله در شاهد عدم کوددهی ۳/۰۷ میلی‌گرم در بوته بود که در نتیجه مصرف کود به‌طور معنی‌دار افزایش پیدا کرد و به ۱۰/۷۲ میلی‌گرم در بوته رسید. بخش کوچکی از این افزایش ناشی از افزایش غلظت فسفر بود که از ۱/۷۲ به ۲/۰٤ گرم در کیلوگرم افزایش یافت اما بخش عمدهٔ آن ناشی از افزایش وزن خشک بوته بود. به بیان دیگر، در نتیجه کوددهی ضمن افزایش سرعت رشد بوته غلظت فسفر نیز نه تنها کاهش نیافت بلکه تا حدی افزایش پیدا کرد. همچنین، مقدار فسفر کل بوته در گونه‌های مورد مطالعه از ٤/۹۰ میلی‌گرم در بوته در علف‌خونی تا ۸/۹٤ میلی‌گرم در بوته در گندم نان متغیر بود. این مقادیر به‌ترتیب برابر با ۹/۸ و ۱۷/۸۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بر اساس نتیجه مقایسه میانگین‌ها، مقدار فسفر کل بوته در سه گیاه گندم نان، جو لخت و گندم دو روم به‌طور معنی‌داری بیشتر از یولاف‌وحشی، علف‌خونی، تریتیکاله و جو صحرا بود (جدول ۲).

ضریب تخصیص فسفر: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، در مرحله ساقه‌رفتن تنها اثر نوع گیاه بر ضریب تخصیص فسفر به برگ و ساقه معنی‌دار بود و اثر دو فاکتور و اثرات متقابل بین آن‌ها بر ضرایب تخصیص فسفر به سایر اندام‌ها معنی‌دار نبود. در مرحله گرده‌افشانی ضرایب تخصیص فسفر بیشتر از مرحله ساقه‌رفتن تحت تأثیر فاکتورها قرار گرفتند. در این مرحله، اثر کوددهی فقط بر ضریب تخصیص فسفر به برگ و ریشه اما اثر گونه بر ضریب تخصیص فسفر به تمام بخش‌های بوته معنی‌دار بود. اثر متقابل بین فاکتورها نیز فقط بر ضریب تخصیص فسفر به ریشه معنی‌دار بود (جدول ٦).

در مرحله ساقه‌رفتن، علف‌خونی، یولاف وحشی و جو لخت به‌ترتیب ۵۷، ٥٤ و ۵۱ درصد از کل فسفر بوته خود را به برگ اختصاص دادند. ضریب تخصیص فسفر به برگ در این سه گونه به‌طور معنی‌داری بیشتر از چهار گونه دیگر بود اما بین چهار گونه دیگر مورد مطالعه از این نظر اختلافی به لحاظ آماری وجود نداشت. در مقابل، مطابق انتظار سه گونه جو صحرا، تریتیکاله و گندم دوروم که کمترین ضریب تخصیص فسفر به برگ را داشتند، دارای بیشترین ضریب تخصیص فسفر به ساقه (به‌ترتیب ٤۰، ۳۹ و ۳۸ درصد) بودند (جدول ۷). هم‌چنان که انتظار می‌رفت در مرحله گرده‌افشانی با افزایش سهم ساقه از کل ماده خشک بوته در نتیجه طویل شدن ساقه، ضریب تخصیص فسفر به ساقه به‌طور قابل توجهی در مقایسه با مرحله ساقه‌رفتن افزایش پیدا کرد و در مقابل کاهش قابل ملاحظه‌ای در سهم برگ از کل فسفر تجمع یافته در گیاه مشاهده شد. میانگین فسفر تخصیص یافته به برگ در گونه‌های مورد

جدول ٦: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کوددهی (F) و نوع گیاه زراعی (Gen) بر ضریب تخصیص فسفر به برگ (P_{LfPC})، ساقه (P_{StPC})، ریشه (P_{RtPC})، و اندام هوایی (P_{ShPC}) در مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی.

مرحله نمونه برداری	منابع تغییر	df	P_{LfPC}	P_{StPC}	P_{RtPC}	P_{ShPC}
ساقه‌رفتن	F	۱	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}
	Gen	٦	۰/۰۲**	۰/۰۱۸*	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}
	P* Gen	٦	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}	۰/۰۲۲^{ns}	۰/۰۰٤^{ns}
	Error	١٤	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
	C.V.		۱۲/٦٤	۲۲/۰۵	۲۳/۸٤	٦/٤۷
گرده‌افشانی	F	۱	۰/۰٤٤**	۰/۰۵^{ns}	۰/۰٤۹**	۰/۰۰۰۹^{ns}
	Gen	٦	۰/۰۱٦**	۰/۰۵**	۰/۰۳۲**	۰/۰۳۵*
	P* Gen	٦	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰٤^{ns}	۰/۰۰٤**	۰/۰۰۷^{ns}

Archive of SID

www.SID.ir

Error	١٤	٠/٠٠٠٧	٠/٠١١	٠/٠٠٠٣	٠/٠١٠
C.V.		١٦/٦٢	١٦/٢٦	٩/٨٦	١٢/٠٤

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ١ و ٥ درصد؛ ns؛ معنی‌دار نبودن تأثیر؛ C.V. ضریب تغییرات.

مطالعه در مرحله ساقه‌رفتن ٤٧ درصد و در مرحله گرده‌افشانی ١٦/٤ درصد بود. همچنین، در گونه‌های مورد مطالعه در مرحله ساقه‌رفتن ٣٢ درصد از کل فسفر جذب شده توسط گیاه به ساقه تخصیص یافته بود در حالی که در مرحله گرده‌افشانی سهم ساقه از کل فسفر ٦٥ درصد بود که تقریبا دو برابر مرحله ساقه‌رفتن می‌باشد. در مرحله گرده‌افشانی بیشترین ضریب تخصیص فسفر به ساقه مربوط به گندم مروارید (٧٨ درصد)، گندم دوروم (٧٥ درصد) و تریتیکاله (٧٣ درصد) بود که به‌طور معنی‌دار بیشتر از سایر گونه‌های مورد مطالعه بودند. در مقابل، دو علف‌هرز و جو صحرا کمترین ضریب تخصیص فسفر به ساقه را میان گونه‌ها داشتند. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که در مرحله گرده‌افشانی حدود ٨٢ درصد از کل فسفر جذب شده به بخش هوایی و کمتر از ١٨ درصد آن به ریشه اختصاص یافته است. در مجموع ضریب تخصیص فسفر به بخش هوایی در گونه‌های زراعی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو علف هرز یولاف وحشی (٦٦ درصد) و علف‌خونی (٧٢ درصد) بود ولی بین گونه‌های زراعی اختلاف معنی‌داری دیده نشد (جدول ٧).

جدول ٧: مقایسه میانگین اثر گونه گیاهی بر ضریب تخصیص فسفر برگ ($P_{Lf}PC$) و ساقه ($P_{St}PC$) و اندام هوایی ($P_{Sh}PC$) در مرحله ساقه‌رفتن (SE) و گرده‌افشانی (An).

تیمار	$P_{Lf}PCSE$	$P_{St}PCSE$	$P_{Lf}PCAn$	$P_{St}PCAn$	$P_{Sh}PCAn$
WMOR	٠/٤٠٢^{c}	٠/٣٨١^{ab}	٠/١٤^{bc}	٠/٧٨٠^{a}	٠/٨٨٨^{a}
WDRM	٠/٤٦٠^{bc}	٠/٢٧١^{c}	٠/٠٩^{d}	٠/٧٤٧^{a}	٠/٨٧٢^{ab}
BSAH	٠/٣٩٨^{c}	٠/٣٩٧^{a}	٠/٣٦^{a}	٠/٥٣٦^{bc}	٠/٨٩٦^{a}
BNKD	٠/٥١١^{ab}	٠/٢٨٢^{bc}	٠/١٩^{b}	٠/٦٩٣^{ab}	٠/٨٨٤^{a}
TTkL	٠/٤٠٥^{c}	٠/٣٨٧^{ab}	٠/١^{cd}	٠/٧٣١^{a}	٠/٨٣٥^{ab}
AVEN	٠/٥٤١^{ab}	٠/٢٧١^{c}	٠/١٣^{cd}	٠/٥٣٥^{bc}	٠/٦٦١^{c}
PHLRS	٠/٥٦٧^{a}	٠/٢٣٥^{c}	٠/١٣^{cd}	٠/٥٣٠^{c}	٠/٧٢٢^{bc}
LSD	٠/٠٩٠	٠/١٠٦	٠/٠٥٤	٠/١٦٠	٠/١٥٠

*WMOR گندم رقم مروارید؛ WDRM گندم دوروم؛ BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL تریتیکاله؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS علف خونی. LSD : کمترین اختلاف معنی‌دار.

نتایج حاکی از افزایش قابل توجه مقدار فسفر تخصیص یافته به ریشه در شرایط مصرف کود (٢٣/٤ درصد) و عدم مصرف کود (١٣/٤ درصد) در گونه‌های مورد مطالعه در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن می‌باشد. در هر دو شرایط مصرف و عدم مصرف کودهای شیمیایی مقدار فسفر تخصیص یافته به ریشه در مرحله گرده‌افشانی در دو علف‌هرز مورد مطالعه به‌طور قابل توجهی بیشتر از گونه‌های زراعی بود. در این مرحله، در شرایط عدم مصرف کود مقدار فسفر تخصیص یافته به ریشه در دو علف‌هرز به‌طور متوسط ٢٦ درصد و در گونه‌های زراعی ٨/٣ درصد بود. همچنین، در شرایط مصرف کود، مقدار فسفر تخصیص یافته به ریشه در دو علف‌هرز به‌طور متوسط ٣٧/٥ درصد و در گونه‌های زراعی ١٧/٧

Archive of SID

www.SID.ir

درصد بود. در میان گونه‌های زراعی نیز در هر دو شرایط مصرف و عدم مصرف کود، بیشترین ضریب تخصیص فسفر به ریشه در تریتیکاله مشاهده شد (جدول ٤).

بحث

هم‌چنان‌که اشاره شد نتایج این مطالعه حاکی از تأثیر معنی‌دار ژنوتیپ بر غلظت فسفر در تمام بخش‌ها و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی بود در حالی‌که در مرحله ساقه رفتن تأثیر ژنوتیپ فقط بر غلظت فسفر ساقه و بخش هوایی بوته معنی‌دار بود. در ضمن، در دو مرحله یاد شده بین ژنوتیپ و مصرف کود برای غلظت فسفر در هیچ‌یک از بخش‌های بوته اثر متقابل معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱) که می‌تواند نشان‌دهندهٔ واکنش مشابه غلظت فسفر به مصرف کود در ژنوتیپ‌های مورد بررسی باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اگرچه غلظت فسفر در مرحله گرده‌افشانی به‌طور محسوسی کمتر از مرحله ساقه‌رفتن بود ولی تغییرات غلظت فسفر در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن بیشتر بود؛ برای مثال، در مرحله ساقه‌رفتن دامنهٔ تغییرات غلظت فسفر بخش هوایی ژنوتیپ‌ها از ۳/۹ تا ٤/۷ گرم در کیلوگرم بود و به استثنای گندم رقم مروارید اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود نداشت در حالی که غلظت فسفر بخش هوایی ژنوتیپ‌ها در مرحله گرده‌افشانی بین ۱/٤ و ۲/۷ گرم در کیلوگرم متغیر بود و اختلاف‌های بیشتری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. به بیان دیگر، با پیشرفت نمو و افزایش مقدار فسفر مورد نیاز گیاه و همچنین بیشتر شدن فرصت گیاه برای جذب عناصر معدنی، اختلاف بین ژنوتیپ‌ها آشکارتر شد. این نتیجه بر این نیز دلالت دارد که غربال ژنوتیپ‌ها برای صفات مرتبط با جذب و استفاده از فسفر در مراحل پیشرفته‌تر در مقایسه با مراحل اولیه نمو به نتایج دقیق‌تر و مطمئن‌تری منتهی خواهد شد.

Korkmaz و همکاران (۲۰۰۹) نیز اختلاف‌های گسترده‌ای را بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر غلظت و مقدار جذب فسفر مشاهده کردند و مطابق با یافته‌های ما اظهار داشتند که اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر میزان جذب فسفر بسیار بیشتر از غلظت فسفر بود. ایشان به‌وضوح نشان دادند که در هر گروه از گونه‌های گندم تنوع زیادی از نظر کارآیی در جذب مقادیر کم فسفر موجود در خاک به علاوه چگونگی واکنش به کود فسفره وجود دارد. چنین تنوعی توسط پژوهشگران دیگر برای گندم (Horst, et al., 1993; Ozturk, et al., 2005) و ذرت (Alves et al., 2001) نیز گزارش شده است. در ضمن، کاهش غلظت فسفر گیاه در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن را می‌توان به پدیدهٔ رقیق شدن فسفر در گیاه در نتیجهٔ افزایش سهم اندام‌های کم‌فسفر و پیر شدن برگ‌ها نسبت داد (Ziadi et al., 2009; Fageria et al., 2013; Bélanger et al., 2015). مطابق با این نتایج، نتایج Khosravian و همکاران (۲۰۱٦) نیز نشان‌دهنده کاهش محسوس غلظت فسفر در اندام‌های مختلف گندم و جو با گذشت زمان و پیشرفت نمو گیاه بود. یافته‌های مشابهی توسط Gunes و همکاران (۲۰۰٦) و Fageria و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است.

تأثیر مصرف کود بر غلظت فسفر و سایر عناصر معدنی به عواملی همچون ژنوتیپ، مرحلهٔ نمو، حاصل‌خیزی خاک، زمان کوددهی و اندام گیاهی بستگی دارد. به‌طور معمول، مصرف کودها در شرایط کمبود عناصر غذایی با افزایش رشد و غلظت عناصر در بافت‌های گیاهی همراه است اما تا رسیدن به غلظت بحرانی تأثیر آن بر رشد گیاه بیشتر از غلظت عنصر در بافت گیاه است. پس از آن‌که سرعت رشد به حداکثر رسید، مصرف بیشتر کود تأثیری بر سرعت رشد گیاه نداشته و فقط موجب افزایش غلظت عنصر در گیاه می‌شود (Taiz et al., 2015; Fageria et al.,

Archive of SID

www.SID.ir

2013). در این مطالعه مصرف کود موجب افزایش غلظت فسفر در گیاه شد. بدین ترتیب که در نتیجه کوددهی غلظت فسفر برگ، بخش هوایی و کل بوته در مرحله ساقه‌رفتن به‌ترتیب ۱۹/۹، ۱۵/۳ و ۲۳/۱ درصد و در مرحله گرده‌افشانی به‌ترتیب۵۳/۱، ۱٤/٦ و ۱۸/٦ درصد افزایش یافت (جدول ۳). مطابق با این یافته‌ها، Fist و همکاران (۱۹۸۷) نیز افزایش غلظت فسفر بافت‌های ریشه و بخش هوایی در پنج لگوم دانه‌ای گرمسیری را با افزایش مقدار فسفر خاک گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مقادیر بیش‌از حد کفایت فسفر، شیب افزایش غلظت فسفر در بافت‌های گیاه رو به کاهش می‌گذارد. غلظت فسفر برگ در دو گونه لگوم دانه‌ای مورد مطالعه آن‌ها مطابق با این نتایج در برگ‌های جوان بیشتر از برگ‌های مسن بود. افزایش غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی در نتیجهٔ افزایش مقدار مصرف فسفر کودی در تعداد زیادی از مطالعات دیگر از جمله Gunes و همکاران (۲۰۰٦)، Fageria و همکاران (۲۰۱۳)، Khosravian و همکاران (۲۰۱٦) اثبات شده است. با این حال، در مطالعهٔ Bélanger و همکاران (۲۰۱۵) مصرف کود شیمیایی تأثیری بر غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی نداشت که دلیل آن زیاد بودن مقدار فسفر قابل استفاده در خاک اعلام شده است.

نگاهی به نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تجمع فسفر در گیاه بیشتر از غلظت فسفر و غلظت فسفر بیشتر از ضرایب تخصیص فسفر تحت تأثیر فاکتورهای آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها تغییر یافته است به‌طوری که اثر فاکتورهای آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها بر تجمع فسفر در تمام بخش‌های گیاه و کل بوته در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی معنی‌دار (اغلب در سطح احتمال یک درصد) بود. تغییرات بیشتر تجمع فسفر در واکنش به فاکتورهای آزمایش در مقایسه با غلظت و ضریب تخصیص فسفر را می‌توان به این دلیل دانست که میزان تغییر تجمع فسفر به‌وسیلهٔ تغییرات دو جزء تشکیل دهندهٔ آن یعنی"غلظت فسفر" و "مقدار مادهٔ خشک" تعیین می‌شود که هر دو تحت تأثیر گونهٔ گیاهی و کوددهی تغییر کرده‌اند، اگرچه تغییرات مقدار مادهٔ خشک و در نتیجه سهم آن در تغییرات تجمع فسفر بیشتر از غلظت فسفر بوده است. نگاهی به نتایج مقایسات میانگین‌ها (جدول ۵) این نکته مهم را به‌وضوح نشان می‌دهد که در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی تغییرات (تنوع) مقدار فسفر تجمع‌یافته در بخش‌های مختلف بوته در گونه‌های مورد بررسی در شرایط عدم مصرف کود (کمبود فسفر) کمتر از شرایط مصرف کود بود. در مرحله ساقه‌رفتن، هیچ مورد اختلاف معنی‌داری بین گونه‌های مورد مطالعه از نظر مقدار فسفر تجمع یافته در برگ، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در شرایط عدم مصرف کود مشاهده نشد در حالی که در شرایط مصرف کود تفاوت‌های زیادی بین گونه‌ها از نظر مقدار فسفر تجمع‌یافته در بخش‌های مختلف بوته وجود داشت. برای مثال، مقدار فسفر تجمع یافته در کل بوته در گونه‌های مورد بررسی در شرایط کمبود فسفر از ۰/٦ تا ۱/۵ میلی‌گرم در بوته متغیر بود در حالی که دامنهٔ این تغییرات در شرایط مصرف کود از ۱/٦ تا ٦/٦ میلی‌گرم در بوته بود. هم‌چنان که در مورد غلظت اشاره شد در مورد تجمع فسفر نیز با پیشرفت نمو و گذشت زمان اختلاف‌های بین گونه‌ها آشکارتر شد. در نتیجه، اختلاف‌های بین گونه‌ها در مرحلهٔ گرده‌افشانی در مقایسه با ساقه‌رفتن به‌ویژه در شرایط عدم کوددهی بیشتر بود. با این حال، همانند مرحله ساقه‌رفتن، در مرحلهٔ گرده‌افشانی نیز تغییرات تجمع فسفر در بخش‌های مختلف بوته در گونه‌های مورد مطالعه در شرایط عدم کوددهی کمتر از شرایط مصرف کود بود. عدم اختلاف معنی‌دار گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در

Archive of SID

www.SID.ir

اندام‌های مختلف و کل بوته در مرحله ساقه‌رفتن در شرایط عدم مصرف کود را می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از کارآیی نسبتاً مشابه این گونه‌ها در جذب فسفر از خاک در شرایط کمبود فسفر قابل استفاده خاک در اوایل فصل رشد، و عدم وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در گونه‌های مورد مطالعه از نظر قدرت جذب فسفر از خاک در این شرایط تلقی نمود. همچنین، تغییرات بیشتر مقدار فسفر تجمع یافته در گونه‌های مورد آزمایش در شرایط مصرف کود را می‌توان به‌عنوان شاخصی از پاسخگویی متفاوت این گونه‌ها به مصرف کودهای شیمیایی قلمداد نمود. این نتایج اگرچه با نتایج بعضی از مطالعات انجام شده در این زمینه از جمله مطالعه Ozturk و همکاران (۲۰۰۵)، Gunes و همکاران (۲۰۰۶)، Korkmaz و همکاران (۲۰۰۹) و Wang و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر اختلافات بیشتر گونه‌ها در شرایط کم‌فسفر و کاهش اختلافات بین آن‌ها در شرایط کفایت فسفر مغایرت دارد، می‌تواند نشانه‌ای از تشابه و یکنواختی گونه‌های مورد مطالعه از نظر تحمل کمبود فسفر و از سوی دیگر پاسخگویی متفاوت آن‌ها به مصرف کود فسفره است.

نتایج به‌دست آمده نشان‌دهندهٔ ثبات بیشتر ضریب تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف بوته در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی در مقایسه با غلظت و تجمع فسفر بود ضمن این‌که مطابق انتظار به دلیل طویل شدن میان‌گره‌های ساقه در فاصله دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی، میزان تخصیص فسفر به ساقه در مرحله گرده افشانی بسیار بیشتر از مرحله ساقه‌رفتن و در مقابل میزان تخصیص فسفر به برگ کمتر از مرحله ساقه‌رفتن بود. این نتایج با یافته‌های مطالعه Khosravian و همکاران (۲۰۱۶) در دو گیاه گندم و جو مطابقت دارد. آن‌ها نیز ثبات بسیار زیاد ضرایب تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف بوته در گندم و جو در واکنش به افزایش مقدار مصرف فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس حل‌کنندهٔ فسفات گزارش کردند. ضمن این‌که، ثبات نسبی ضرایب تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف گیاه را می‌توان به وجود روابط آلومتریک نسبتا ثابت بین اندام‌های مختلف گیاه در دامنهٔ وسیعی از شرایط محیطی نسبت داد.

نتیجه‌گیری نهایی

یافته‌های این مطالعه حاکی از تغییرات بسیار زیاد مقدار فسفر تجمع یافته در تمام بخش‌های گیاه و کل بوته تحت تأثیر گونهٔ گیاهی و کوددهی و اثرات متقابل این دو عامل در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی بود. نتایج مقایسهٔ میانگین‌های مقدار تجمع فسفر در اندام‌ها و بخش‌های مختلف گیاه در این دو مرحله بازگو کنندهٔ تنوع بسیار کم گونه‌ها به لحاظ تجمع فسفر در شرایط عدم کوددهی (شرایط محیطی فقیر از نظر فسفر قابل استفاده خاک) در مقایسه با شرایط کوددهی (شرایط محیطی مطلوب از نظر قابل استفاده خاک) می‌باشد به‌طوری‌که هیچ اختلاف معنی‌داری بین گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در اندام‌ها و بخش‌های مختلف بوته در شرایط عدم مصرف کود مشاهده نشد، در حالی که در شرایط کوددهی اختلافات نسبتا زیادی بین گونه‌ها از این نظر مشاهده گردید.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، دو گونه علف‌هرز یولاف وحشی و علف‌خونی به‌عنوان مهم‌ترین گونه‌های هرز گرامینهٔ زمین‌های زیر کشت غلات سرمادوست از نظر تجمع فسفر در شرایط عدم کوددهی اختلاف معنی‌داری با گونه‌های زراعی نداشتند، اما در شرایط مصرف کود به مقدار توصیه شده همواره یا کمترین مقدار فسفر تجمع یافته را داشتند یا این‌که در شمار گونه‌های دارای کمترین مقدار فسفر تجمع یافته بودند

Archive of SID

www.SID.ir

که بر عدم برتری آن‌ها بر گونه‌های زراعی از نظر قدرت جذب فسفر از خاک دلالت دارد. یافته‌های این مطالعه همچنین بر بزرگ‌تر بودن نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی در شرایط عدم مصرف کودهای شیمیایی در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی دلالت دارد که به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های اصلی سازگاری گیاهان به کمبود فسفر شناخته شده است. این واکنش می‌تواند در نهایت به بزرگ‌تر شدن ضریب تخصیص فسفر به ریشه در شرایط کمبود فسفر منتهی شود. بر این اساس، گیاهانی که بتوانند در محیط‌های کم‌فسفر سیستم ریشه خود را بیشتر و سریع‌تر توسعه دهند با این محیط‌ها سازگارتر خواهند بود. در مقابل، در شرایط عدم کمبود ضرورتی برای تخصیص بیشتر ماده خشک به ریشه‌ها وجود ندارد و تخصیص بیشتر ماده خشک به ریشه نه تنها مزیت به شمار نمی‌رود، بلکه از دیدگاه اقتصاد کربن گیاه نوعی زیان محسوب می‌شود.

سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. از این‌رو، نویسندگان مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشگاه ابراز می‌نمایند.

Refrences

Ali Ehyayi, M. (1997). Description of Methods of Soil Chemical Analysis. Vol. 2, Publication No. 1024. Tehran Soil and Water Research Institute. (In Persian)

Modhaj, A. and Fathi, GH. (2003). Wheat Physiology. Islamic Azad Uneversity of Shooshtar. Pp: 317. (In Persian)

Alves, V.M.C., Parentoni, S.N., Vasconcellos, C.A., Bahia Filho, A.F.C., Pitta, G.V.E. and Schaffert, R.E. (2001). Mechanisms of phosphorus efficiency in maize. In: Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agroecosystems, eds.W.J. Horst, M.K. Schenk, A. Burkert, N. Claassen, H. Flessa, W.B. Frommer, H. Goldbach, H.W. Olfs, V. Romheld, B. Sattelmacher, U. Schmidhalter, S. Schubert, N.V. Wiren, and L. Wittenmayer, pp. 566–567. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L. and Mariotti, M. (2006). Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. European Journal of Agronomy. 25: 309–318.

Bates, T.R. and Lynch, J.P. (2001). Root hairs confer a competitive advantage under low phosphorus availability. Plant Soil. 236:243–250.

Bélanger, G., Ziadi, N., Pageau, D., Grant, C., Högnäsbacka, M., Virkajärvi, P., Hu, Z., Lu, J., Lafond, J. and Nyiraneza, J. (2015). A Model of Critical Phosphorus Concentration in the Shoot Biomass of Wheat. Agronomy Journal. 107: 963–970.

Dordas, C. (2009). Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source–sink relations. European Journal of Agronomy. 30(2): 129-139.

Dordas, C.A. and Sioulas, C. (2009). Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilizationField Crops Research. 110: 35-43.

Emam, Y. and Seghat eslami, M.J. (2005). Physiology and Yield Trend in Crop Plants. Shiraz University Press. Pp: 593. (In Persian)

Fageria, N.K., Moreira, A. and Dos santos, A.B. (2013). Phosphorus uptake and use efficiency in field crops. Journal of Plant Nutrition. 36: 13.

Fist, A.J., Smith, F.W. and Edwards, D.G. (1987). External phosphorus requirements of five tropical grain legumes grown in flowing-solution culture. In Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. Springer Netherlands. P: 299-308.

Ghazanshahi, J. (2006). Plant and Soil Analysis. Aiizh Publication. Pp: 272. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M. and Cakmak, I. **(2006).** Genotypic variation in phosphorus efficiency between wheat cultivars grown under greenhouse and field conditions. Soil Science and Plant Nutrition. 52(4): 470-478.

Horst, W.J., Abdou, M. and Wiesler, F. (1993). Genotypic differences in P efficiency of wheat. Plant Soil. 156: 293-296.

Khosravian, T., Zeinali, E., Siahmarguee, A., GhorbaniNasrAbadi, R., and Aalimagham, S.M. **(2016).** Phosphorus and dry matter accumulation and partitioning coefficients as affected by fertilizer phosphorus rate and inoculation by Streptomyces bacteria in wheat and barley. Electronic Journal of Crop Production. (In Persian)

Korkmaz, K., Ibrikci, H., Karnez, E., Buyuk, G., Ryan, J., Ulger, A. C. and Oguz, H. **(2009).** Phosphorus Use Efficiency of Wheat Genotypes Grown in Calcareous Soils. Journal of Plant Nutrition. 32:12-18.

Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Edition. Elsevier, USA.

Ozturk, L., Eker, S., Torun, B. and Cakmak, I. **(2005).** Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. Plant Soil. 269:69–80.

Rengel, Z. (1999). Physiological mechanisms underlying differential nutrient efficiency of crop genotypes. In Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implications. Ed. Z Rengel, pp. 227–265, Haworth Press, New York.

Richardson, A.E. **(1994).** Soil microorganisms and phosphorus availability. Soil Biota. 17: 50–62.

Reuter, D.J. and Robinson, J.B. **(1997).** Plant Analysis: An Interpretation Manual, 2nd ed., CSIRO Publishing, Australia.

Raghothama K.G. (1999). Phosphate acquisition. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 50:665–693.

Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M.T. and Gobi, T.A. **(2013).** Phosphate solubilizing microbes: Sustainable Approach for Managing Phosphorus Deficiency in Agricultural Soils. Springer Plus. 2(1): 587.

Stewart, W.M., Dibb, D.W., Johnston, A.E. and Smyth, T.J. **(2005).** The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agronomy Journal. 97: 1–6.

Siadat, S. A. Modhaj, A. and Esfahani, M. **(2013).** Cereal Crops. Jihad Daneshgahi Mashhad Press. Pp: 352. (In Persian)

Soltani, A. (2006). Application of SAS in Statistical Analysis. Jihad Daneshgahi of Mashhad. Pp: 182. (In Persian)

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A. **(2015).** Plant physiology and development. Sinauer Associates, Incorporated.

Vance, C.P., Uhde, S.C. and Allan, D.L. **(2003).** Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytology. 157:423–447.

Wang, L., Chen, F., Zhang, F. and Guohua, M. **(2010).** Two strategies for achieving higher yield under phosphorus deficiency in winter wheat grown in field conditions. Field Crops Research. 118: 36–42.

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.

Zahedifar, M. Karimian, N. Ronaghi, A. Yasrebi, J. and Emam, Y. (2011). Phosphorus and Zinc partitioning coefficients in different organs and development stages of wheat as influenced by environmental factors. Journal of Water and Soil. 25(3): 435-436. (In Persian)

Ziadi, N., Belanger, G., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C. and Claessense, A. (2008). Relationship between phosphorus and nitrogen concentration in spring wheat. Agronomy Journal. 100(1): 80-86.

Archive of SID

www.SID.ir