نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد سیزدهم، شماره ۳(۵۱)، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۴۴۶-۴۳۱

صفات مرتبط با تبادلات گازی برگ، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تاثیر تراکم کاشت

رضا حسینی‌پور[۱]، سیدعلیرضا ولدآبادی[۱*]، محمدرضا مهرور[۲] و سعید سیف‌زاده[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۹

چکیده

از جمله عوامل بسیار مهمی که می‌تواند رشد و عملکرد محصولات زراعی را بهبود ببخشد، استفاده از تراکم مناسب کاشت، به‌ویژه در شرایط خاکورزی حفاظتی، می‌باشد که کشت محصول در داخل بقایای محصول قبلی انجام می‌گیرد. به‌منظور بررسی اثر تراکم‌های مختلف کاشت و رقم بر تبادلات گازی برگ ارقام گندم، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا گردید. در این آزمایش، عامل تراکم کاشت در سه سطح شامل ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ بذر در متر مربع در کرت‌های اصلی و عامل رقم در ۵ سطح شامل ارقام سیوند، سیروان، پیشتاز، پیشگام و پارسی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کاشت محصول در تاریخ ۱۲ ابان فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳ بر روی پشته‌هایی به عرض ۶۰ سانتی‌متر که پوشیده از بقایای ذرت مربوط به کشت قبل بود، انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم کاشت بر میزان تعرق و عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد و بر صفات هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز خالص، عملکرد کوانتومی، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر رقم بر صفات میزان تعرق، غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز خالص، عملکرد کوانتومی، کارآیی مصرف آب لحظه‌ای، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل تراکم کاشت×رقم بر صفات دمای برگ و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد و غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش تراکم بوته از ۴۰۰ به ۶۰۰ بوته در متر مربع سبب کاهش معنی‌دار میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز خالص و عملکرد کوانتومی گردید. همچنین، افزایش تراکم سبب کاهش تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت گردید. رقم پیشگام در مقایسه با سایر ارقام مورد مطالعه، بیشترین میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای، رقم پارسی به نوبه خود بیشترین فتوسنتز خالص، عملکرد کوانتومی و کارآیی مصرف آب لحظه‌ای و همچنین رقم سیروان بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند.

واژگان کلیدی: هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز خالص، عملکرد کوانتومی، دمای برگ، عملکرد دانه.

۱- گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۲- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
نگارنده‌ی مسئول Dr.valadabady@yahoo.com

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از گیاهان زراعی بسیار با اهمیت در سطح جهان می‌باشد که نقش حیاتی در امنیت غذایی داشته و حدود ۳۰ درصد غذای اصلی مردم جهان را تأمین می‌کند (Zhan *et al.*, 2017). به همین دلیل، تحقیقات به‌زراعی و به‌نژادی زیادی بر روی این محصول در راستای افزایش عملکرد آن صورت گرفته است. یکی از مهم‌ترین عواملی که در دست‌یابی به عملکرد بالای محصولات تأثیرگذار است، تعیین تراکم مناسب کاشت می‌باشد که با کاهش رقابت درون بوته‌ای و بین بوته‌ای سبب استفاده حداکثری گیاه زراعی از عوامل محیطی می‌شود (Momtazi and Emam, 2006). اهمیت این مساله به‌ویژه در شرایطی که کشت محصول در داخل بقایای محصول قبلی انجام می‌گیرد، بسیار زیاد است چرا که وجود بقایای گیاهی در سطح خاک می‌تواند بر استقرار گیاهچه، خصوصیات رشدی گیاه و عملکرد آن تاثیرگذار باشد (Wuest *et al.*, 2000; Honsdorf *et al.*, 2018). به‌طورکلی، زمانی که تراکم گیاه کمتر از حد بهینه باشد، رشد و عملکرد تک بوته به‌دلیل دسترسی بیشتر به منابع مورد نیاز معمولاً به حداکثر میزان خود می‌رسد اما به‌دلیل تعداد بوته کمتر در واحد سطح، عملکرد محصول در واحد سطح به مقدار بیشینه نمی‌رسد. همچنین، زمانی که تراکم بوته بیش از حد بهینه باشد، رقابت بین‌گونه‌ای به اندازه‌ای خواهد بود که مانع از رسیدن عملکرد در واحد سطح به مقدار بیشینه می‌شود (Ngouajio, 2011). تأثیر تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم توسط برخی از محققین بررسی شده است (Whaley *et al.*, 2000; Stephen *et al.*, 2005; Zahed *et al.*, 2011; Chegeni, 2014). یکی از مهم‌ترین عواملی که با تغییر تراکم بوته در واحد سطح می‌تواند بر عملکرد و اجزای عملکرد محصول تاثیرگذار باشد، تبادلات گازی برگ و فرآیند فتوسنتز گیاه است. تحقیقات انجام گرفته نشان داده است که تغییر در تراکم گیاهی میزان فتوسنتز و سایر شاخص‌های مرتبط با آن نظیر میزان تعرق گیاه، هدایت روزنه‌ای، دمای سایه‌انداز گیاهی، کارآیی مصرف آب و در نهایت عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wells, 1991; Li *et al.*, 2014; Ren *et al.*, 2017; Shah *et al.*, 2017).

با توجه به اینکه تحقیقات اندکی در زمینه تاثیر تراکم کاشت بر شاخص‌های فتوسنتزی گیاه گندم انجام گرفته است، لذا آزمایش حاضر به منظور بررسی برخی از صفات فیزیولوژیکی ارقام گندم در تراکم‌های گیاهی متفاوت تحت شرایط کشاورزی حفاظتی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تراکم کاشت و رقم بر تبادلات گازی ارقام رایج گندم، آزمایشی به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اجرا گردید. در این آزمایش، عامل تراکم کاشت در سه سطح شامل ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ بذر در مترمربع در کرت‌های اصلی و عامل رقم در ۵ سطح شامل ارقام سیوند، سیروان، پیشتاز، پیشگام و پارسی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. بافت خاک محل اجرای آزمایش لومی شنی بود. اندازه واحدهای آزمایشی ۲/۵ در ۱۳ متر طراحی گردید که شامل ۶ ردیف کاشت بر روی پشته‌های دایمی به عرض ۶۰ سانتی‌متر بودند. کاشت محصول در تاریخ ۱۲ آبان فصل زراعی ۹۴ – ۱۳۹۳ بر روی پشته های

دایمی صورت گرفت که پوشیده از بقایای ذرت مربوط به کشت قبلی بودند. مدیریت علف‌های هرز به‌صورت دستی و کنترل آفات و بیماری‌ها به روش شیمیایی صورت گرفت. کود مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و توصیه متداول کودی برای مزرعه آزمایشی و به شکل شیمیایی استفاده شد. اندازه‌گیری صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد به شرح زیر صورت گرفت:

عملکرد دانه و بیولوژیک محصول: جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه و بیولوژیک، سه نمونه یک متر مربعی به‌صورت تصادفی از هر پلات برداشت شد. پس از جداسازی، دانه‌های به‌دست آمده توزین و عملکرد در واحد سطح محاسبه شد.

تعداد سنبله در متر مربع: در زمان برداشت محصول با استفاده از قاب چوبی ۱×۱ مترمربع، سنبله موجود در آن کرت در سه نمونه تصادفی شمارش گردید و میانگین آنها به‌عنوان تعداد سنبله در متر مربع در نظر گرفته شد.

تعداد دانه در سنبله: قبل از برداشت محصول، ۱۰ نمونه سنبله از هر قاب چوبی که از سه نقطه در هر کرت برداشت شده بود، به‌طور تصادفی انتخاب و شمارش گردید و میانگین آنها به‌عنوان تعداد دانه در سنبله منظور گردید.

وزن هزار دانه: برای این منظور از گندم‌های برداشت شده در هر کرت تعداد دانه‌ها با دستگاه بذرشمار و با ترازوی دقیق شمارش و توزین، سپس وزن هزار دانه در هر کرت محاسبه گردید.

شاخص برداشت: این شاخص از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید.

صفات مرتبط با تبادلات گازی گیاه شامل میزان فتوسنتز برگ، هدایت روزنه‌ای، غلظت دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای، میزان تعرق و دمای برگ توسط دستگاه فتوسنتزمتر (مدل لایکور ۶۴۰۰) اندازه‌گیری شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در مرحله گرده‌افشانی گیاه در ساعت ۱۰ الی ۱۴ صبح و در شدت نور ۱۳۰۰-۱۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد. در هر کرت صفات مورد نظر با قرار دادن قسمت میانی برگ پرچم ساقه اصلی (در ۴ بوته) در داخل محفظه شیشه‌ای دستگاه به مدت ۴۵ ثانیه ثبت شد. برای محاسبه کارآیی مصرف آب لحظه‌ای و عملکرد کوانتومی به‌ترتیب از نسبت‌های فتوسنتز خالص به میزان تعرق و نسبت فتوسنتز خالص به شدت جریان فوتون فتوسنتزی (PPFD) استفاده گردید.

برای تجزیه واریانس و مقایسات میانگین از نرم‌افزار SAS. 9.4 استفاده گردید. مقایسه میانگین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

دمای برگ: نتایج به‌دست آمده نشان داد که دمای برگ به‌طور معنی‌داری (سطح احتمال ۱ درصد) تحت تاثیر اثر متقابل تراکم کاشت و رقم قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که رقم پیشگام در تراکم بوته ۴۰۰ و ۶۰۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب بیشترین و کمترین دمای برگ را دارا بود (شکل ۱). دمای برگ می‌تواند تحت تاثیر عوامل محیطی نظیر شدت تابش، سرعت باد، رطوبت و دمای هوا، میزان رطوبت و دمای خاک، عوامل ژنتیکی نظیر زاویه برگ‌ها، وجود کرک و مومی بودن سطح برگ‌ها، اندازه برگ‌ها، و عوامل مدیریتی نظیر تغذیه گیاه، تراکم گیاهی و غیره قرار گیرد (Cook *et al.*, 1964; Wiegand and Namken, 1966; Pallas *et al.*, 1967; Nelson and Bugbee, 2015). یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2014) اثر تراکم گیاهی را بر اقلیم پوشش گیاهی پنبه مورد مطالعه

قرار دادند. آنها گزارش کردند که تراکم‌های بالا و پایین در زمان افزایش دمای محیط در مقایسه با تراکم متوسط دارای دمای برگ بیشتر و در زمان کاهش دمای محیط دارای دمای برگ کمتر از تراکم متوسط می‌باشند.

تعرق: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم کاشت در سطح احتمال ۵ درصد و اثر رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان تعرق برگ‌ها معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه ارقام مورد مطالعه از نظر میزان تعرق نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام وجود دارد. رقم پیشگام با مقدار ۵ میلی‌مول در متر مربع در ثانیه بیشترین و رقم پارسی با میزان ۴/۰۹ میلی‌مول در متر مربع در ثانیه کمترین میزان تعرق را نشان دادند (شکل ۲). مقایسه میانگین مربوط به تراکم کاشت نیز نشان داد که با افزایش تراکم بوته از ۴۰۰ بوته به ۶۰۰ بوته در متر مربع، میزان تعرق گیاه در واحد سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). به‌طورکلی، خروج آب از برگ توسط هدایت روزنه‌ای و هدایت لایه مرزی کنترل می‌شود (Martin *et al.*, 1999) و هدایت لایه مرزی خود تحت تاثیر اندازه و مورفولوژی برگ و سرعت باد دارد (Jones and Rotenberg, 2011). بنابراین، هرگونه تفاوت در ارقام یک گونه از نظر اندازه برگ‌ها، کرک‌دار بودن سطح برگ‌ها، فرورفتگی روزنه‌ها، تراکم روزنه‌ای و غیره می‌تواند توجیهی برای شدت‌های مختلف تعرق در آنها باشد. عبدلی و همکاران (Abdoli *et al.*, 2016) تفاوت بین ارقام گندم از نظر سرعت تعرق را معنی‌دار گزارش کردند. مطالعه انجام گرفته بر روی گیاه ذرت نشان داده است که افزایش تراکم بوته در واحد سطح سبب کاهش میزان تعرق برگ‌ها می‌شود (Wang *et al.*, 2018). دلیل این موضوع را می‌توان به گرمای محسوس اطراف گیاه نسبت داد که در شاخص‌های سطح برگ پایین‌تر سبب افزایش بیشتر تعرق برگ‌ها می‌شود (Koocheki *et al.*, 2011).

دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای: غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای تحت تاثیر رقم (سطح احتمال ۱ درصد) و اثر متقابل تراکم کاشت×رقم (سطح احتمال ۵ درصد) قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل تیمارها نشان داد که رقم سیروان در تراکم ۶۰۰ بوته در متر مربع با مقدار ۳۳۶ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع بیشترین و رقم پیشگام در تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع با مقدار ۲۸۴ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع کمترین غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه در گیاهان زراعی می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند عناصر غذایی خاک (Shah *et al.*, 2017)، رطوبت خاک (Parthasarathi *et al.*, 2012)، نوع گونه و رقم گیاهی (Abdoli *et al.*, 2016)، تراکم کاشت (Ren *et al.*, 2017; Shah *et al.*, 2017)، مرحله نموی گیاه (Ren *et al.*, 2017; Shah *et al.*, 2017) و غیره قرار بگیرد. عبدلی و همکاران (Abdoli *et al.*, 2016) گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین ارقام گندم از نظر غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای وجود دارد. پارتاساراتی و همکاران (Parthasarathi *et al.*, 2012) گزارش کردند که غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای در ذرت در تراکم بالا و آبیاری معمول کمتر از تراکم نرمال و کم‌آبیاری بود. نتایج به دست آمده توسط رِن و همکاران (Ren *et al.*, 2017) نیز نشان داد که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح و همچنین با افزایش سن گیاه، غلظت

دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای کاهش پیدا می‌کند. پایین بودن غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای در تراکم‌های بالای گیاه را می‌توان به مقاومت‌های موجود بر سر راه انتشار دی‌اکسیدکربن به فضای داخل برگ از جمله مقاومت روزنه‌ای و مقاومت لایه مرزی نسبت داد (Liu *et al.*, 2011).

هدایت روزنه‌ای: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تراکم کاشت و رقم به‌طور معنی‌داری (سطح احتمال ۱ درصد) هدایت روزنه‌ای برگ‌ها را تحت تاثیر قرار دادند (جدول ۱). مقایسه ارقام نشان داد که رقم پیشگام با ۰/۲۵۵ مول در متر مربع در ثانیه بیشترین هدایت روزنه‌ای و رقم سیوند با ۰/۱۹۴ مول در متر مربع در ثانیه کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشتند (شکل ۵). مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف کاشت نیز نشان داد که با افزایش تراکم از ۴۰۰ به ۶۰۰ بوته در متر مربع، میزان هدایت روزنه‌ای از ۰/۲۵۰ به ۰/۱۹۲ مول در متر مربع در ثانیه رسید (شکل ۶). روزنه‌ها نقش بسیار حیاتی در توازن اتلاف آب از گیاهان و فرآیند فتوسنتز و نیز سازگاری آنها به محیط اطراف ایفا می‌کنند. علاوه بر اینکه توسعه و تکامل روزنه در گیاهان تحت کنترل ژنتیکی است (Casson and Gray, 2008)، عوامل محیطی مختلفی نظیر نور، رطوبت نسبی هوا، دما و غلظت دی‌اکسیدکربن هوا (Bunce, 2000) میزان هدایت روزنه‌ای را در گیاهان تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، هرگونه عملیات زراعی که سبب تغییر در میزان این عوامل در تاج پوشش گیاهی و سطح برگ گردد، بر میزان هدایت روزنه‌ای تاثیرگذار خواهد بود. مطالعات انجام گرفته توسط لی و همکاران (Li *et al.*, 2014) بر روی گیاه سورگوم نشان داد که میزان هدایت روزنه‌ای در تراکم بالا کمتر از تراکم کشت پایین است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، تراکم روزنه‌های سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند. تفاوت بین ارقام گندم از نظر هدایت روزنه‌ای نیز توسط زو و همکاران (Xue *et al.*, 2002) و عبدلی و همکاران (Abdoli *et al.*, 2016) گزارش شده است. همانگونه که پیشتر بحث شد، افزایش تراکم بوته، میزان تعرق و غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای را کاهش داد که این موضوع ارتباط مستقیمی با کاهش هدایت روزنه‌ای دارد که نتیجه آن کاهش تبادل آب و دی‌اکسیدکربن از طریق روزنه‌ها می‌باشد.

فتوسنتز خالص: اثر رقم و تراکم کاشت در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان فتوسنتز خالص برگ‌ها معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه تراکم‌های مختلف کاشت نشان داد که افزایش تراکم سبب کاهش فتوسنتز خالص برگ‌ها گردید و مقدار آن از ۱۹/۵ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه در تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع به ۱۶/۴ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه در تراکم ۶۰۰ بوته رسید (شکل ۷). مقایسه ارقام نشان داد که رقم پارسی با ۱۹/۱ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه بیشترین و رقم سیوند با ۱۶/۸ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه کمترین میزان فتوسنتز خالص را دارند (شکل ۸). لی و همکاران (Li *et al.*, 2014) گزارش کردند که افزایش تراکم بوته در هکتار سورگوم سبب کاهش فتوسنتز خالص در برگ این گیاه می‌شود که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. همچنین، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از نظر فتوسنتز خالص در گونه‌های زراعی مختلفی مانند گندم (Xue *et al.*, 2002) و ذرت (Ren *et al.*, 2017) گزارش شده است.

کاهش میزان فتوسنتز خالص در تراکم‌های بالا می‌تواند به دلایلی نظیر کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه محدودیت در تبادل دی‌اکسیدکربن، کاهش پروتئین تقویت کننده آزادسازی اکسیژن[۱]، کاهش بیان ATP-سینتاز و فردوکسین-NADP ردوکتار، کاهش سرعت انتقال الکترون در زنجیره و در نهایت کاهش قدرت تثبیت دی‌اکسیدکربن اتفاق بیافتد (Li *et al*., 2014).

عملکرد کوانتومی: عملکرد کوانتومی به طور معنی‌داری (سطح احتمال ۱ درصد) تحت تاثیر تراکم کاشت و رقم قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در بین ارقام مورد مطالعه، رقم پارسی بیشترین (۱۵/۳ میکرو مول CO_2 بر میکرو مول فوتون) و رقم سیوند کمترین (۱۳/۴ میکرو مول CO_2 بر میکرو مول فوتون) عملکرد کوانتومی را داشتند (شکل ۹). با افزایش تراکم کاشت نیز عملکرد کوانتومی روند کاهشی نشان داد و از حدود ۱۵/۶ میکرو مول CO_2 بر میکرومول فوتون در تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع به ۱۳/۲ میکرو مول CO_2 بر میکرومول فوتون در تراکم ۶۰۰ بوته در متر مربع رسید. عملکرد کوانتومی حاصل نسبت فتوسنتز خالص به شدت جریان فوتون فتوسنتزی است و بنابراین مقدار آن در رقم و تراکمی که فتوسنتز خالص در آنها بیشتر بود، بالاتر به دست آمد (شکل ۱۰).

کارآیی مصرف آب لحظه‌ای: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم بر کارآیی مصرف آب لحظه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه ارقام مورد مطالعه نشان داد که کارآیی مصرف آب لحظه‌ای رقم پارسی با مقدار ۴/۶ میکرومول CO_2 بر میلی‌مول H_2O به طور معنی‌داری بیشتر از سایر ارقام که تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود نداشت، بود (شکل ۱۱). مطالعه انجام گرفته بر روی پنبه (Shah *et al*., 2017) نشان داد که تا ۴۰ روز پس از کاشت، تراکم بوته بر کارآیی مصرف آب لحظه‌ای اثر معنی‌داری نداشت اما از ۴۰ تا ۱۰۰ روز پس از کاشت، افزایش تراکم بوته سبب افزایش کارآیی مصرف آب لحظه‌ای گردید.

تعداد دانه در سنبله: همانطور که در جدول ۲ ارایه شده است، اثر تراکم کاشت و رقم بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین ارقام نشان داد که با افزایش تراکم از تعداد دانه در سنبله کاسته شد و از ۴۵/۲ در تراکم ۴۰۰ به ۳۹/۵ در تراکم ۶۰۰ رسید (شکل ۱۲). مقایسه ارقام از نظر تعداد دانه در سنبله تفاوت معنی‌دار بین آنها را نشان داد. بیشترین تعداد دانه در سنبله در رقم سیروان (۴۵/۲) و کمترین آن در رقم پیشتاز (۳۹/۵) مشاهده شد (شکل ۱۳). کاهش تعداد دانه در سنبله گندم توسط سایر محققین گزارش شده است (Zahed *et al*., 2011; Omidi Nasab *et al*., 2016). با افزایش تراکم رقابت بین بوته‌ای و درون بوته‌ای بیشتر شده و چون سهم هر بوته از عناصر غذایی خاک و نور کاهش می‌یابد، امکان تولید ماده خشک گیاهی و همچنین تشکیل دانه کمتری در هر سنبله وجود خواهد داشت و در نتیجه تعداد دانه تشکیل شده در هرسنبله کاهش می‌یابد (Chegeni, 2014).

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری (سطح احتمال ۱ درصد) تحت تاثیر تراکم کاشت و رقم قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که افزایش تراکم منجر به کاهش وزن

۱ - oxygen-evolving enhancer protein

هزاردانه از ۳۹/۹ در تراکم کاشت ۴۰۰ به ۳۶/۴ در تراکم ۶۰۰ گردید (شکل ۱۴). مقایسه ارقام مورد مطالعه نشان داد که وزن هزار دانه رقم پارسی به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر ارقام بود (شکل ۱۵). وزن هزار دانه صفتی ژنتیکی بوده (Guarda *et al.*, 2004) و در تحقیقات مختلف، تفاوت بین ارقام از نظر این صفت بسیار معنی‌دار گزارش شده است (Zahed *et al.*, 2011; Chegeni, 2014). همچنین، کاهش وزن هزار دانه در نتیجه افزایش تراکم در سایر تحقیقات گزارش شده است (Said *et al.*, 2012). اساساً وزن هزار دانه صفتی است که نسبت به سایر اجزای عملکرد کمتر تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد اما با افزایش تراکم کاشت به‌دلیل افزایش رقابت درون بوته‌ای، مواد فتوسنتزی کمتری به پرکردن دانه‌ها اختصاص یافته و در نهایت وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Chegeni, 2014; Omidi Nasab *et al.*, 2016).

عملکرد دانه: نتایج به دست آمده نشان داد که اثر تراکم کاشت در سطح احتمال ۵ درصد و اثر رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد دانه با افزایش تراکم کاشت از ۴۰۰ بذر به ۵۰۰ بذر در متر مربع، افزایش معنی‌داری پیدا کرد اما با افزایش تراکم از ۵۰۰ به ۶۰۰ بذر در هکتار، میزان عملکرد دانه اندکی کاهش پیدا کرد که از از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۱۶). این موضوع نشان می‌دهد که واکنش عملکرد دانه به افزایش تراکم کاشت از قانون بازده نزولی تبعیت می‌کند. مقایسه ارقام نشان داد که رقم سیروان با ۷۰۵۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و رقم پیشتاز با ۵۶۴۶ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را به خود اختصاص دادند (شکل ۱۷). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد در صورتی‌که تراکم گیاه کمتر از حد مطلوب باشد، از منابع موجود شامل آب، عناصر غذایی، نور و غیره به صورت بهینه استفاده نمی‌شود و چنانچه بیشتر از حد مطلوب باشد به علّت رقابت بین گیاهان در جذب آب، مواد غذایی، دی‌اکسیدکربن و نور، عملکرد محصول دچار افت می‌شود (Omidi Nasab *et al.*, 2016). این اتفاق می‌تواند در نتیجه کاهش وزن هزار دانه، کاهش تعداد دانه در سنبله و یا هر دو آنها صورت بگیرد. مطالعه صورت گرفته توسط چگینی (Chegeni, 2014) بر روی ارقام گندم نشان داد که با افزایش تراکم بذر از ۲۲۵ به ۵۲۵ بذر در متر مربع، عملکرد دانه افزایش نشان یافت اما بین تراکم ۴۵۰ و ۵۲۵ بذر در هکتار تفاوت معنی‌دار نبود. زاهد و همکاران (Zahed *et al.*, 2011) نیز با بررسی اثر تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام جدید و قدیم گندم گزارش کردند که اثر رقم و تراکم بر عملکرد گندم معنی‌دار بود و با افزایش تراکم بوته از ۱۵۰ به ۲۶۲ و ۳۷۵ بوته در مترمربع، عملکرد دانه به ترتیب ۱۰۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت.

عملکرد بیولوژیک: عملکرد بیولوژیک به طور معنی‌داری (سطح احتمال ۱ درصد) تحت تاثیر تراکم کاشت، رقم و اثر متقابل تراکم‌کاشت و رقم قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل تراکم‌کاشت و رقم (شکل ۱۸) نشان داد که رقم سیوند در تراکم کاشت ۶۰۰ دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۷۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) و رقم پیشتاز در تراکم کاشت ۴۰۰ دارای کمترین عملکرد بیولوژیک (۱۲۳۲۴ کیلوگرم در هکتار) بود. افزایش عملکرد بیولوژیک گندم با افزایش تراکم کاشت در مطالعات زیادی

گزارش شده است (Stephen *et al.*, 2005; Zahed *et al.*, 2011; Chegeni, 2014). افزایش عملکرد بیولوژیک در نتیجه افزایش تراکم کاشت را می‌توان به افزایش تعداد ساقه و برگ در واحد سطح و به خاطر افزایش تعداد بوته در واحد سطح نسبت داد (Omidi Nasab *et al.*, 2016).

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم کاشت و رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه سطوح مختلف تراکم کاشت نشان داد که افزایش تراکم از ۴۰۰ به ۵۰۰ اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت اما با افزایش تراکم کاشت به ۶۰۰ شاخص برداشت به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱۹ و ۲۰). مقایسه میانگین ارقام نیز تفاوت معنی‌دار بین آنها را نشان داد. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم پیشگام با مقدار ۴۸/۵ درصد بیشترین و رقم سیوند با ۴۰/۶ درصد کمترین مقدار شاخص برداشت را به خود اختصاص داد. در رابطه با اثر تراکم کاشت بر شاخص برداشت گندم گزارش‌های مختلفی وجود دارد. چگینی (Chegeni, 2014) گزارش داد که با افزایش تراکم کاشت گندم از ۲۲۵ تا ۴۵۰ بوته در متر مربع، شاخص برداشت افزایش معنی‌داری پیدا کرد اما با افزایش تراکم از ۴۵۰ بوته در متر مربع به ۵۲۵ بوته در مترمربع افزایش معنی‌داری مشاهده نشد. وی، همچنین تفاوت معنی‌دار بین ارقام بهار و پیشتاز با چمران را گزارش کرد. ویلی و همکاران (Whaley *et al.*, 2000) با بررسی واکنش فیزیولوژیک گندم به تغییر تراکم کاشت گزارش کردند که شاخص برداشت گندم تا تراکم ۳۰ الی ۵۹ بوته در متر مربع افزایش و پس از آن روند نزولی نشان می‌دهد که با نتایج تحقیق حاضر همخوای دارد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج آزمایش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه و تراکم کاشت در واحد سطح از نظر تبادلات گازی برگ وجود دارد. همچنین، عملکرد و اجزای عملکرد گندم به طور معنی‌داری تحت تأثیر رقم و تراکم کاشت قرار گرفت. افزایش تراکم بوته از ۴۰۰ به ۶۰۰ بذر در متر مربع، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز خالص و عملکرد کوانتومی را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم پیشگام بیشترین میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای و رقم پارسی بیشترین فتوسنتز خالص، عملکرد کوانتومی و کارآیی مصرف آب لحظه‌ای را به خود اختصاص داد. بیشترین عملکرد دانه در تراکم ۵۰۰ بذر در متر مربع و بیشترین عملکرد از رقم سیروان به‌دست آمد. در مقایسه با تراکم ۵۰۰ بذر در مترمربع، پایین بودن عملکرد دانه در تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع را می‌توان به عدم استفاده حداکثری از منابع موجود و در تراکم ۶۰۰ بذر در متر مربع به رقابت بین‌بوته‌ای نسبت داد.

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به اثر رقم و تراکم کاشت بر تبادلات گازی برگ گندم

Table 1 – Analysis of variance for effect of variety and planting density on wheat leaf gas exchanges

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		کارایی مصرف آب Water Use Efficiency	عملکرد کوانتومی Quantum Yield	فتوسنتز خالص Net Photosynthesis	هدایت روزنه‌ای Stomatal Conductance	دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای Intercellular CO2 Concentration	تعرق Transpiration Rate	دمای برگ Leaf Temperature
بلوک Block	2	0.041^{ns}	0.16^{ns}	0.25^{ns}	0.0002^{ns}	5.2^{ns}	0.019^{ns}	132*
تراکم کاشت Planting Density	2	0.16^{ns}	22**	34.4**	0.012**	4.8^{ns}	1.2*	5.6^{ns}
خطای اصلی Error 1	4	0.065	0.53	0.84	0.0007	24.7	0.12	3.9
رقم Variety	4	1.7**	4.4**	6.9**	0.0054**	1689**	1.15**	0.63^{ns}
تراکم کاشت×رقم Planting density*variety	8	0.1^{ns}	0.47^{ns}	0.68^{ns}	0.0004^{ns}	375*	0.07^{ns}	7.4**
خطای فرعی Error 2	24	0.07	0.77	1.2	0.00024	115	0.067	1.6
ضریب تغییرات (%) C.V.	-	6.8	6.1	6.1	7	3.4	5.6	3.6

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد را نشان می‌دهند.

*and**: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

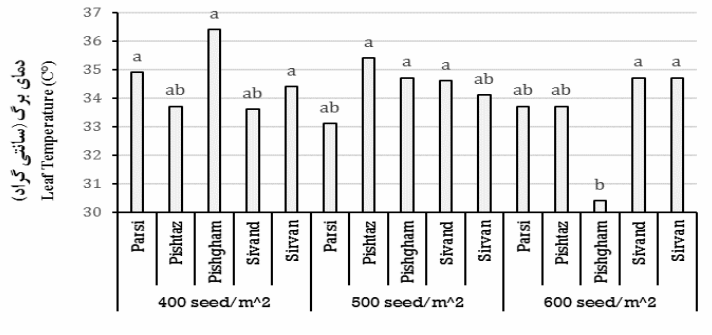
جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به اثر رقم و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 2 – Analysis of variance for effect of variety and planting density on wheat yield and yield componenets

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		شاخص برداشت harvest index	عملکرد بیولوژیک biological yield	عملکرد دانه grain yield	وزن هزار دانه 1000 grain weight	تعداد دانه در سنبله grain per ear
بلوک Block	2	0.37^{ns}	309174^{ns}	50182^{ns}	0.43^{ns}	2^{ns}
تراکم کاشت Planting Density	2	131**	17534957**	1228108*	45.8**	131.7**
خطای اصلی Error 1	4	7.2	118210	129972	0.88	2.27
رقم Variety	4	84**	20581813**	2351333**	11.7**	39**
تراکم کاشت×رقم Planting density*variety	8	4.9^{ns}	1285660**	144288^{ns}	1.88^{ns}	2.45^{ns}
خطای فرعی Error 2	24	3.1	202602	84273	1.12	2.09
ضریب تغییرات (%) C.V.	-	4	3.1	4.6	2.8	3.4

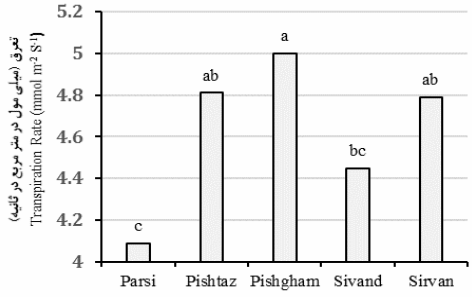
** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد را نشان می‌دهند.

*and**: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



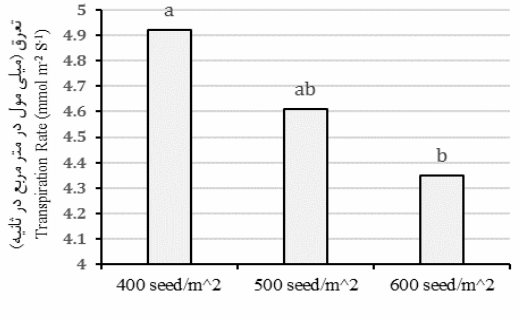
شکل ۱- اثر متقابل تراکم کاشت×رقم بر دمای برگ

Figure 1 – Interaction effect of planting density×variety on leaf temperature



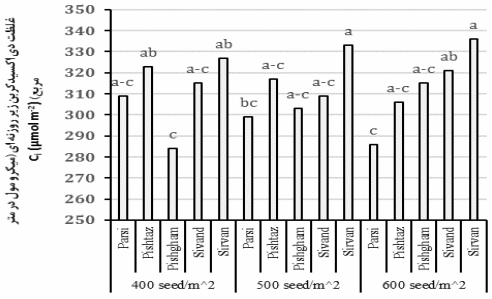
شکل ۲- اثر رقم گندم بر میزان تعرق

Figure 2- Effect of variety on wheat transpiration rate



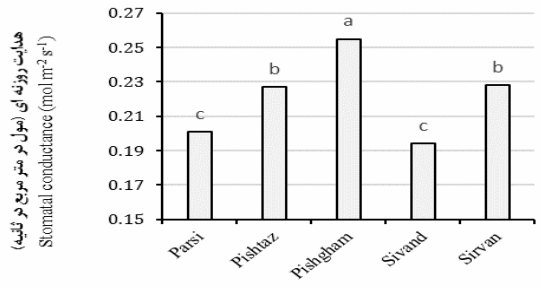
شکل ۳- اثر تراکم کاشت گندم بر میزان تعرق

Figure 3- Effect of planting density on wheat transpiration rate



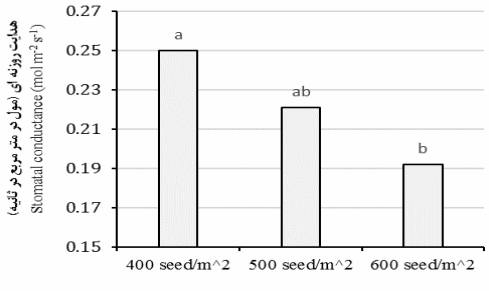
شکل ۴- اثر متقابل تراکم کاشت×رقم بر غلظت دی اکسیدکربن زیر روزنه‌ای

Figure 4 – Interaction effect of Planting density×variety on C_i



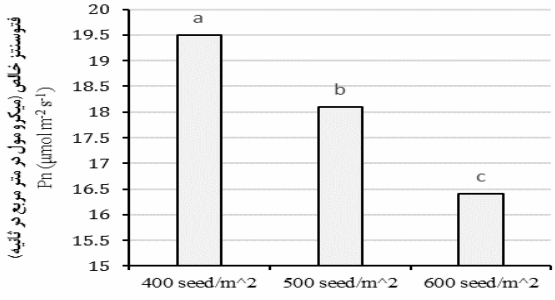
شکل ۵- اثر رقم بر میزان هدایت روزنه‌ای در گندم

Figure 5- Effect of variety on wheat stomatal conductance



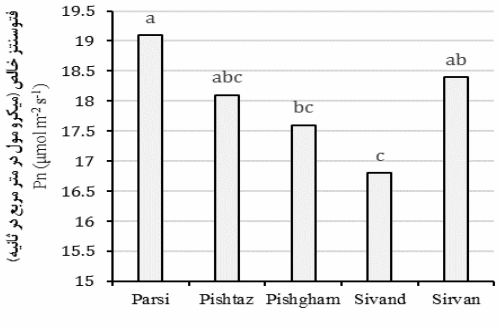
شکل ۶- اثر تراکم کاشت بر هدایت روزنه‌ای در گندم

Figure 6- Effect of planting density on wheat stomatal conductance



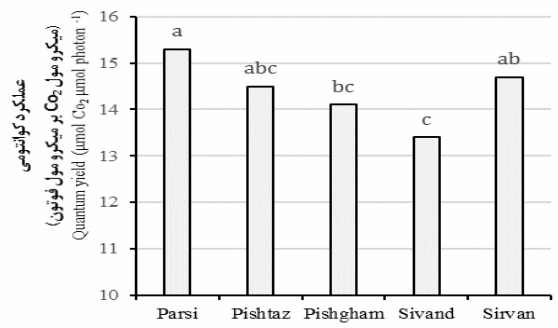
شکل۷- اثر تراکم کاشت بر فتوسنتز خالص گندم

Figure 7- Effect of planting density on wheat net photosynthetic rate



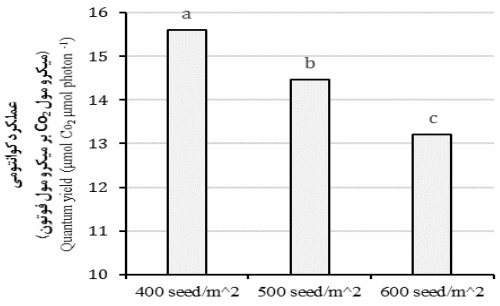
شکل ۸- اثر رقم بر فتوسنتز خالص گندم

Figure 8- Effect of variety on wheat net photosynthetic rate



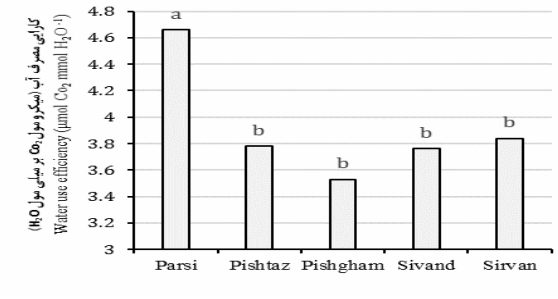
شکل ۹- اثر رقم بر عملکرد کوانتومی در گندم

Figure 9- Effect of variety on wheat quantum yield



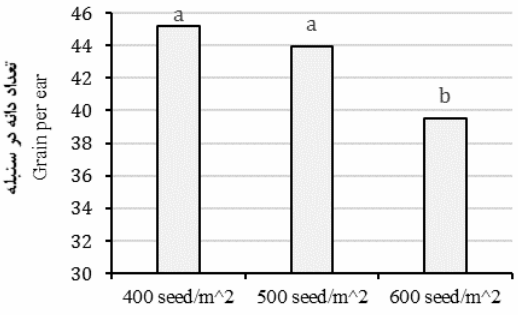
شکل ۱۰- اثر تراکم کاشت بر عملکرد کوانتومی در گندم

Figure 10- Effect of planting density on wheat quantum yield



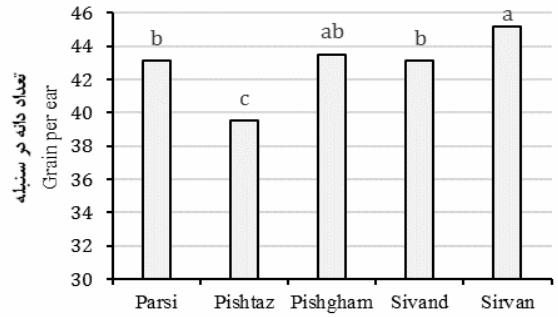
شکل ۱۱- مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر کارایی مصرف آب لحظه‌ای

Figure 11- Effect of variety on wheat quantum yield



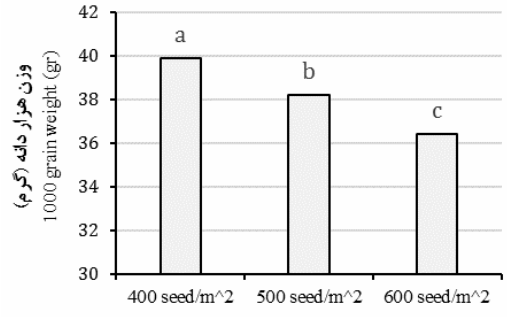
شکل ۱۲- اثر تراکم کاشت بر تعداد دانه در سنبله

Figure 12- Effect of planting density on number of grain per ear



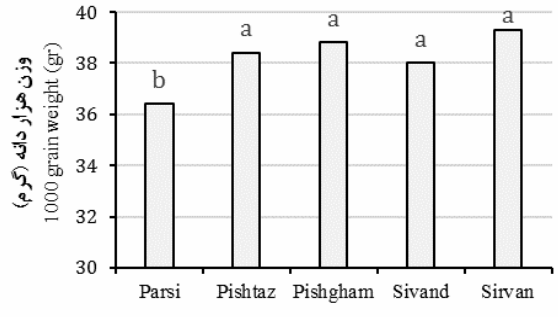
شکل ۱۳- مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر تعداد دانه در سنبله

Figure 13- Effect of variety on number of grain per ear



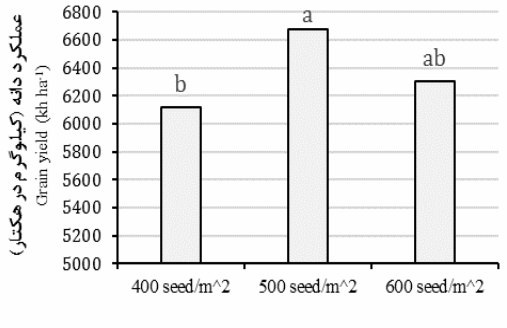
شکل ۱۴- اثر تراکم کاشت بر وزن هزار دانه گندم

Figure 14- Effect of planting density on wheat 1000 grain weight



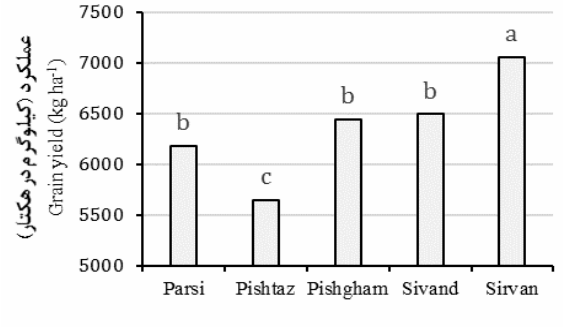
شکل ۱۵- مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر وزن هزار دانه

Figure 15- Effect of variety on wheat 1000 grain weight



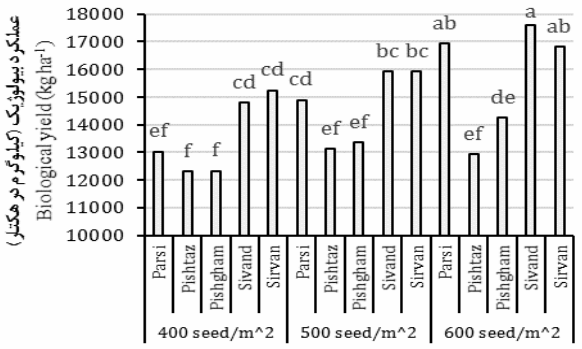
شکل ۱۶- اثر تراکم کاشت بر عملکرد دانه گندم

Figure 16- Effect of planting density on wheat grain yield



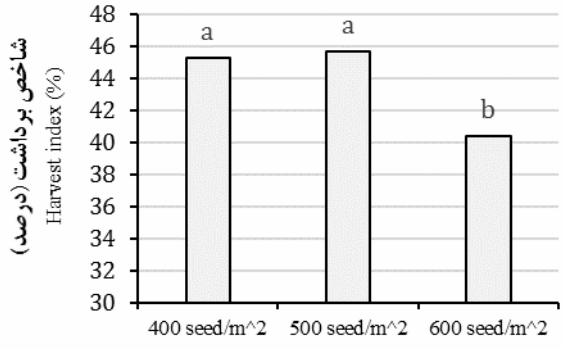
شکل ۱۷- مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر عملکرد دانه

Figure 17- Effect of variety on wheat grain yield



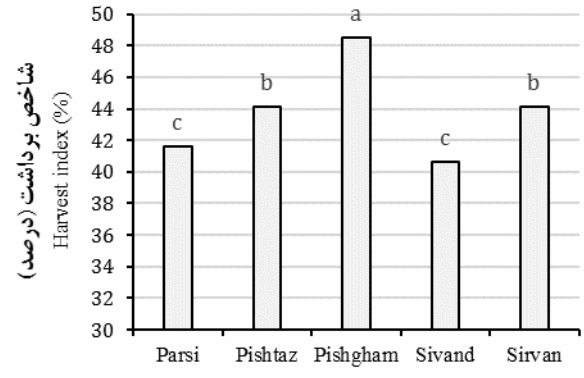
شکل ۱۸- اثر متقابل تراکم کاشت×رقم بر عملکرد بیولوژیک گندم

Figure 18 – Interaction effect of Planting density×variety on biological yield



شکل ۱۹- اثر تراکم کاشت بر شاخص برداشت گندم

Figure 19- Effect of planting density on wheat harvest index



شکل ۲۰- مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر شاخص برداشت

Figure 20- Effect of variety on wheat harvest index

References منابع مورد استفاده

- Abdoli, M., M. Saeidi, S. Jalali-Honarmand, S. Mansourifar, and M.E. Ghobad. 2016. Effects of photosynthetic source limitation and post-anthesis water deficiency on grain filling rate, photosynthesis and gas exchange in bread wheat cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 8: 131-147.
- Bunce, J.A. 2000. Responses of stomatal conductance to light, humidity and temperature in winter wheat and barley grown at three concentrations of carbon dioxide in the field. *Global Change Biology*. 6: 371-382.
- Casson, S., and J.E. Gray. 2008. Influence of environmental factors on stomatal development. *New phytologist*. 178: 9-23.
- Chegeni, H. 2014. Effect of plant density on yield and yield components of wheat cultivars. *Applied Field Crops Research.* 27: 9-21.
- Cook, G., J. Dixon, and A. Leopold. 1964. Transpiration: its effects on plant leaf temperature. *Science*. 144: 546-547.
- Guarda, G., S. Padovan, and G. Delogu. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*. 21: 181-192.
- Honsdorf, N., M.J. Mulvaney, R.P. Singh, K. Ammar, J. Burgueño, B. Govaerts, and N. Verhulst. 2018. Genotype by tillage interaction and performance progress for bread and durum wheat genotypes on irrigated raised beds. *Field Crops Research.* 216: 42-52.
- Jones, H.G., and E. Rotenberg. 2011. Energy, radiation and temperature regulation in plants. eLS. 1-9.
- Koocheki, A., M. Nasiri Mahallati, F., Mondani, and S. Khorramdel. 2011. Ecophysiology of field crops: a new perspective. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- Li, T., L.N. Liu, C.D. Jiang, Y.J. Liu, and L. Shi. 2014. Effects of mutual shading on the regulation of photosynthesis in field-grown sorghum. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology.* 137: 31-38.
- Liu, T., F. Song, S. Liu, and X. Zhu. 2011. Canopy structure, light interception, and photosynthetic characteristics under different narrow-wide planting patterns in maize at silking stage. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 9:1249-1261.
- Martin, T.A., T.M. Hinckley, F.C. Meinzer, and D.G. Sprugel. 1999. Boundary layer conductance, leaf temperature and transpiration of Abies amabilis branches. *Tree Physiology*. 19: 435-443.
- Momtazi, F., and Y. Emam. 2006. Effect of sowing date and seeding rate on yield and yield components in winter wheat CV. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 37: 1-11. (In Persian).
- Nelson, J.A., and B. Bugbee. 2015. Analysis of environmental effects on leaf temperature under sunlight, high pressure sodium and light emitting diodes. *Plos One*. 10: e0138930. 1-13.

- Ngouajio, M. 2011. Using the right planting density is critical for optimum yield and revenue for vegetable crops. Michigan State University Extension, Michigan.
- Omidi Nasab, D., M. Gharineh, A. Bakhshande, M. Sharafizade, A. Shafeinia, and A. Saghali. 2016. The effect of seeding rates and nitrogen fertilizer on yield and yield components of wheat cultivars in corn residue (no tillage). *Iranian Journal of Field Crops Research.* 13: 598-610. (In Persian).
- Pallas, J.E., B.E. Michel, and D.G. Harris. 1967. Photosynthesis, transpiration, leaf temperature, and stomatal activity of cotton plants under varying water potentials. *Plant Physiology*. 42: 76-88.
- Parthasarathi, T., K. Vanitha, and G. Velu. 2012. Physiological impacts of soil moisture stress and plant population on leaf gas exchange and radiation use of maize. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. 5: 377-385.
- Ren, B., W. Liu, J. Zhang, S. Dong, P. Liu, and B. Zhao. 2017. Effects of plant density on the photosynthetic and chloroplast characteristics of maize under high-yielding conditions. *The Science of Nature*. 104: 1-12.
- Said, A., H. Gul, B. Saeed, B. Haleema, N.L. Badshah, and L. Parveen. 2012. Response of wheat to different planting dates and seeding rates for yield and yield components. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 7: 138-140.
- Shah, A.N., G. Yang, M. Tanveer, and J. Iqbal. 2017. Leaf gas exchange, source–sink relationship, and growth response of cotton to the interactive effects of nitrogen rate and planting density. *Acta Physiologiae Plantarum.* 39(119): 1-10.
- Stephen, R., D. Saville, and E. Drewitt. 2005. Effects of wheat seed rate and fertiliser nitrogen application practices on populations, grain yield components and grain yields of wheat (*Triticum aestivum*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 33: 125-138.
- Wang, X.L., R.R. Qin, R.H. Sun, X.G. Hou, L. Qi, and J. Shi. 2018. Effects of plant population density and root-induced cytokinin on the corn compensatory growth during post-drought rewatering. *Plos One*. 1-13.
- Wells, R. 1991. Soybean growth response to plant density: Relationships among canopy photosynthesis, leaf area, and light interception. *Crop Science*. 31:755-761.
- Whaley, J., D. Sparkes, M. Foulkes, J. Spink, T. Semere, and R. Scott. 2000. The physiological response of winter wheat to reductions in plant density. *Annals of Applied Biology*. 137: 165-177.
- Wiegand, C., and L. Namken. 1966. Influences of plant moisture stress, solar radiation, and air temperature on cotton leaf temperature 1. *Agronomy Journal.* 58: 582-586.
- Wuest, S.B., S.L. Albrecht, and K.W. Skirvin. 2000. Crop residue position and interference with wheat seedling development. *Soil and Tillage Research.* 55:175-182.
- Xue, Q., M. Soundararajan, A. Weiss, T.J. Arkebauer, and P.S. Baenziger. 2002. Genotypic variation of gas exchange parameters and carbon isotope discrimination in winter wheat. *Journal of Plant Physiology.* 159: 891-898.

- Yang, G.Z., X.J. Luo, Y. Nie, and X. Zhang. 2014. Effects of plant density on yield and canopy micro environment in hybrid cotton. *Journal of Integrative Agriculture*. 13: 2154-2163.
- Zahed, M., S. Galeshi, N. Latifi, A. Soltani, and M. Calate. 2011. The effect of plant density on seed yield and yield components in modern and old wheat cultivars. Eelectronic Journal of Crop Production. 4: 201-215.
- Zhan, H., H. Yue, X. Zhao, M. Wang, W. Song, and X. Nie. 2017. Genome-wide identification and analysis of MAPK and MAPKK gene families in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genes*. 8(284): 1-11.

Leaf Gas Exchange, Yield and Yield Components of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars as Affected by Plant Density

Reza Hosseinipour[1], Seyyed Alireza Valadabady[1]*, Mohammad Reza Mehrvar[2], and Saeed Sayfzadeh[1]

Received: May 2018 , Revised: 28 April 2019, Accepted: 9 June 2019

Abstract

Determination of optimal plant density is one of the main factors that may affect crop growth and seed yield when planting is performed in the plant residues especially in conservation tillage systems. To investigate the effect of plant density on leaf gas exchange of wheat cultivars, a field split plot experiment based on randomized complete blocks design with three replications was carried out at Karaj Research Farm of Seed and Plant Improvement Institute in Iran. In this study, the main factor was three levels at plant densities (400, 500 and 600 seed per m^2) assigned to main plots and five wheat cultivars (Sivand, Sirvan, Pishtaz, Pishgam and Parsi) to sub-plots. Results of analysis of variance showed that transpiration rate (E) ($p<0.05$), stomatal conductance (Gs) ($p<0.01$), net photosynthetic rate (Pn) ($p<0.01$) and Quantum yield (Qy) ($p<0.01$), number of grain per spike (GPS), seed weight (SW), seed yield (SY), biological yield (BY) and harvest index (HI) were affected by plant density and cultivar significantly. In addition, interaction effect of plant density×cultivar was significant on leaf temperature (LT) ($p<0.01$), intercellular CO_2 concentration (Ci) ($p<0.05$) and biological yield (BY) ($p<0.01$). The results also indicated that increment of plant densities of 400 to 600 seed per m^2 decreased E, Gs, Pn and Qy. Increasing plant density decreased GPS and HI. The Pishgam cultivar had the highest E and Gs, while higher values of Pn, Qy and water use efficiency belonged to Parsi cultivar. The highest value of SY was obtained from Sirvan cultivar.

Key words: Stomatal conductance, Net photosynthetic rate, Quantum yield, Leaf temperature, Grain yield.

1- Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
2- Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
**Corresponding Author: Dr.valadabady@yahoo.com*