دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

اثر تنش کمبود آب انتهای فصل بر روابط بین صفات فیزیولوژیکی و زراعی گندم

علی اکبر اسدی[۱]، مصطفی ولی‌زاده[۲]، سید ابوالقاسم محمدی[۲] و منوچهر خدارحمی[۳]

۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، (نویسنده مسوول: asadipm@gmail.com)
۲- استاد گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳- استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۸
صفحه: ۳۷ تا ۴۶

چکیده

به‌منظور بررسی روابط بین صفات زراعی و مورفولوژیکی موثر بر عملکرد گندم، دو ژنوتیپ گندم والدی Gasspard و لاین DN_{11} به همراه نسل‌های حاصل از تلاقی این دو والد (F_1، F_2، خانواده‌های F_3، BC_1 و BC_2) در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو شرایط نرمال و تنش کمبود آب انتهای فصل و دو سال زراعی متوالی در مزرعه پژوهشی پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه رگرسیون گام به گام نشان داد که صفت عملکرد کاه اولین صفتی بود که وارد مدل شد و به تنهایی به ترتیب ٤٦ و ٦٥ درصد از تغییرات عملکرد دانه تک بوته را در شرایط نرمال و تنش کمبود آب توجیه نمود، پس از این صفت در شرایط نرمال صفات تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد پنجه و تعداد سنبله بیشترین تأثیر را در عملکرد دانه داشت و در مجموع حدود ۷۸٪ از کل تغییرات عملکرد دانه تک بوته را توجیه نمودند. در شرایط تنش نیز صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ۹۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه تک بوته را توجیه کردند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که در شرایط نرمال صفات وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد پنجه، عملکرد کاه و تعداد سنبله و در شرایط تنش کمبود آب انتهای فصل صفات تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد کاه به ترتیب بیشترین اثر مستقیم را بر روی عملکرد دانه تک بوته داشتند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت، تنش کمبود آب، گندم، همبستگی

مقدمه

در برنامه‌های اصلاحی مهم‌ترین شاخصی که برای مقاومت به خشکی استفاده می‌شود، ارزیابی عملکرد دانه است، ولی عملکرد دانه معیار مناسبی برای انتخاب نمی‌باشد زیرا عملکرد یک خصوصیت بسیار پیچیده است و به‌وسیله چندین فرایند متابولیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی تعیین می‌شود که ژنتیک و ارتباط آن‌ها با یکدیگر بسیار پیچیده است (۲۷). بدین منظور شناسایی صفات مرتبط با تحمل به خشکی و نحوه کنترل ژنتیکی این صفات می‌تواند در گزینش ژنوتیپ‌های سازگار به کار گرفته شود. با استفاده از اطلاعات حاصل از مطالعه همبستگی‌های بین صفات می‌توان بر مبنای بعضی از صفات به‌عنوان شاخص انتخاب، نسبت به گزینش برای صفات دیگر اقدام نمود (۱۶). انتخاب ارقام مطلوب بر مبنای اجزاء عملکرد از دیرباز موردتوجه و استفاده به نژادگران بوده است. اجزاء عملکرد خصوصیاتی هستند که برخی از آن ها همبستگی بالایی با عملکرد داشته، وراثت‌پذیری بالایی دارند و اندازه‌گیری آن‌ها تا حدودی ساده و دقیق می‌باشد. انتخاب بر مبنای اجزاء عملکرد نوعی انتخاب بر مبنای شاخص است که عمدتاً مبتنی بر ضرایب همبستگی بین صفات مورفولوژیک با یکدیگر و با عملکرد دانه است (۳۸).

دژان و همکاران (۱۳) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات روز تا رسیدگی، طول سنبله، قطر ساقه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات روز تا گلدهی، ارتفاع گیاه، طول پدانکل، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و اجزاء عملکرد با عملکرد گندم تحت شرایط تنش گزارش کردند. لی و همکاران (۳۱) در شرایط نرمال افزایش وزن دانه را به علت افزایش دوره پر شدن دانه دانستند ولی همچنین نتیجه گرفتند که ارتفاع گیاه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری را با عملکرد در شرایط تنش آبی داشتند. ناشیت و همکاران (۳۵) در آزمایشی که روی ۲۱۰ لاین اصلاح شده گندم دوروم در شرایط تنش خشکی انجام دادند دریافتند که تحت شرایط تنش، عملکرد دانه همبستگی بالائی با زودرسی، مکانیزم لوله شدن برگ، تعداد پنجه‌های بارور، طول پدانکل و تعداد بذر در سنبله دارد. داواری و لوترا (۱۲) در بررسی خود روی ارقام گندم نان نشان دادند که در شرایط تنش خشکی صفات شاخص برداشت، تعداد سنبله در هر گیاه و طول سنبله اجزای مهم عملکرد بوده و انتخاب بر اساس آن‌ها می‌تواند برای بهبود عملکرد مؤثر باشد. ایکرم و تاناچ (۲۴) در مطالعه عملکرد و برخی از صفات زراعی گندم دوروم همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته و طول سنبله و ارتفاع بوته و طول آخرین میانگره گزارش کردند. از طرف دیگر همبستگی بالایی بین عملکرد دانه با صفات تعداد سنبلچه در سنبله، طول سنبله، تعداد سنبله در بوته، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، وزن دانه در سنبله و تعداد دانه در سنبله گزارش کردند. ریچاردز (۴۳) و کوری و همکاران (۴۱) اعلام کردند که اصلاح برای عملکرد بیولوژیک کارایی استفاده گیاه از آب قابل‌دسترس را افزایش می‌دهد. در این زمینه صفات زیادی مثل وزن هزار دانه و ارتفاع بوته (۱۷)، وزن سنبله، تعداد دانه

در سنبله و دوره پر شدن دانه (۳۷)، سرعت پر شدن دانه (۴۱)، تاریخ گلدهی، شاخص برداشت گیاه و طول سنبله (۲۲) معرفی شده‌اند که همبستگی بالا (منفی یا مثبت) با عملکرد دانه دارند. آرائوس و همکاران (۴) در مورد بررسی کنترل ژنتیکی صفات تخصیص مواد فتوسنتزی به برگ، ساقه و سنبله به‌خصوص در شرایط تنش خشکی بین وزن ماده خشک موجود در ساقه و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری را گزارش کردند.

کنترل بهتر اثرات محیطی در برنامه‌های اصلاحی به‌منظور بهبود عملکرد می‌تواند از طریق انتخاب غیرمستقیم برای صفاتی که همبستگی خوبی با عملکرد دانه داشته و کمتر به تغییرات محیطی حساس باشند صورت گیرد (۱۲). صفات مورفولوژیک به‌دقت و با سادگی زیادی قابل اندازه‌گیری هستند هم‌چنین وراثت پذیری نسبتاً بالایی دارند، بنابراین گزینش بر اساس این صفات ممکن است راه مطمئن و سریعی برای غربال کردن جوامع گیاهی و بهبود عملکرد دانه باشد (۵۲).

تعیین همبستگی بین صفات مختلف، به‌ویژه عملکرد دانه و اجزای عملکرد و تعیین روابط علت و معلولی آن‌ها، این فرصت را فراهم می‌کند که مناسب‌ترین ترکیب از اجزایی که منتهی به عملکرد بیشتر می‌شود انتخاب گردد. در این‌گونه مطالعات، انتخاب بر اساس همبستگی‌های ساده به‌تنهایی نمی‌تواند نتایج مطلوبی داشته باشد. زیرا هر چند بین عملکرد و تعدادی از اجزای آن رابطه مثبتی وجود دارد، اما گاهی وجود همبستگی‌های منفی بین بعضی از اجزای عملکرد باعث می‌شود که توجه به همه اجزا به‌طور هم‌زمان به‌عنوان عاملی در افزایش عملکرد غلات سودمند نباشد. بنابراین ضروری است که به‌طور همزمان اثر اجزای عملکرد بر عملکرد دانه مورد توجه واقع شود که در این راستا تجزیه علیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۵). تجزیه علیت توسط به‌نژادگران گیاهی متعددی جهت شناسایی صفاتی که به‌عنوان معیار گزینش مفید هستند و موجب بهبود عملکرد می‌شوند، مورد استفاده قرار گرفته است (۲۸،۱۹).

این تحقیق در جهت بررسی همبستگی‌های ساده فنوتیپی بین صفات زراعی، تجزیه رگرسیون وزنی گام‌به‌گام جهت تشخیص صفات مهم تاثیر گذار بر عملکرد تک بوته گندم نان و تجزیه علیت به منظور تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مهم وارد شده در مدل رگرسیونی به‌عنوان متغیر وابسته در دو شرایط نرمال و تنش کمبود آب انتهای فصل صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دو ژنوتیپ گندم والدی Gasspard، رقم پاییزه پر محصول ولی حساس به خشکی و لاین بهاره DN_{11}، با عملکرد بالاتر نسبت به Gasspard ولی متحمل به خشکی جهت انجام تلاقی استفاده شد و نسل‌های F_1، F_2، خانواده‌های F_3، BC_1 و BC_2 در گلخانه پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج و مزرعه تحقیقاتی موسسه اصلاح و نهال بذر کرج تولید شدند. ارزیابی در مزرعه پژوهشی پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج (۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمال و ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقه شرق با ارتفاع ۱۲۷۵ متر از سطح دریا) در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ انجام گرفت. هفت نسل مورد استفاده در دو آزمایش مجزا در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در پاییز کشت شدند. نسل‌های کشت شده در بهار تحت دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کمبود آب آخر فصل مقایسه شدند. آخرین آبیاری در شرایط کمبود آب درست قبل از مرحله شروع گرده‌افشانی انجام شد؛ اما برای شرایط با آبیاری نرمال دو نوبت آبیاری بیشتر در مراحل دانه‌بندی و پر شدن دانه نیز انجام گرفت. در این آزمایش هرکدام از والدین در چهار خط، F_1 ها در سه خط، F_2 ها همراه با نسل‌های بک کراس هرکدام در چهار خط و در آخر نسل F_3 به‌صورت ۱۵۰ خط در کنار هم کشت شدند (۱۵۰ خانواده F_3). در هر خط به طول ۱۵۰ سانتی‌متر بذور با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی خط کشت شدند. لازم به ذکر است که برای اندازه‌گیری صفات مربوط به تعداد روز تا به سنبله رفتن، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول مدت پرشدن دانه از ۱۵۰ خط ولی برای صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و زراعی از ۵۰ خط استفاده شد. برای اندازه‌گیری صفات زراعی در هر تکرار، از هرکدام از نسل‌های بدون تفرق (والدین و F_1) هرکدام ۱۰ بوته، نسل F_2 ۴۰ بوته، هرکدام از نسل‌های بک کراس ۲۵-۳۰ بوته و درنهایت از هرکدام از خانواده‌های F_3، ۴ تا ۵ بوته (درمجموع ۲۰۰ الی ۲۵۰ بوته) به تصادف انتخاب شد. برای صفات تعداد روز تا به سنبله رفتن، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول مدت پرشدن دانه اطلاعات مربوط به ۱۵۰ خانواده و برای باقی صفات اطلاعات مربوط به ۵۰ خانواده F_3 جمع‌آوری شد. میانگین بارندگی در سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ به ترتیب ۱۷۴/۸ و ۱۶۲/۷ میلی‌متر بود. جهت دقت در کار همه بوته‌های انتخابی پس از رسیدگی کامل برداشت شده و بعد از انتقال به بیرون از مزرعه صفات مختلف زراعی اندازه‌گیری شدند.

صفات مورد اندازه‌گیری شامل مساحت سطح برگ پرچم، محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، تعداد روز تا به سنبله رفتن، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول مدت پر شدن دانه، تعداد کل پنجه، ارتفاع بوته (از سطح زمین تا انتهای سنبله)، تعداد سنبلچه در سنبله اصلی، طول سنبله، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله اصلی، عملکرد دانه تک بوته، وزن صد دانه، عملکرد کاه (تفاضل عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تک بوته)، قطر دانه، وزن حجمی، تعداد پنجه و شاخص برداشت بودند. مساحت برگ پرچم به روش پیشنهادی مولر ۲۰ روز پس از گرده‌افشانی (۳۴) از طریق رابطه زیر محاسبه شد. مساحت برگ پرچم = طول برگ پرچم × عرض برگ پرچم × ۰/۷۴ صفت شاخص کلروفیل برگ (میزان محتوای کلروفیل) که برآورد غیر تخریبی از مقدار نسبی کلروفیل کل برگ می‌باشد، در برگ پرچم پنجه اصلی به کمک دستگاه کلروفیل‌سنج همراه (SPAD) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ پرچم ۱۵ روز پس از گرده‌افشانی به روش ترنر (۵۱) اندازه‌گیری شد. برای این منظور برگ‌ها قطع‌شده و وزن شدند تا وزن تر (FW) برگ پرچم تعیین شود، سپس برگ‌ها در آب

مقطر و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و وزن برگ پس از تورژسانس (TW) نیز اندازه گرفته شد. در ادامه، برگ‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک‌شده و وزن خشک (DW) آن‌ها توزین شد. RWC با رابطه زیر محاسبه شد:

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

در انتها پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها تجزیه همبستگی و به منظور تفسیر بهتر نتایج و تفکیک ضرایب همبستگی به آثار مستقیم و غیرمستقیم صفات از طریق صفات دیگر، از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت استفاده شد. لازم به ذکر است که در تجزیه‌های رگرسیون و علیت شاخص برداشت به عنوان یک متغیر مستقل در مدل دارد نشد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 22 و SAS 9.3 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه همبستگی

همبستگی فنوتیپی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. تجزیه همبستگی به تفکیک دو محیط در جدول ۱ آورده شده است. البته باید توجه داشت که به دلیل تعداد زیاد خانواده‌های F_3 و نسل‌های مختلف همبستگی‌های پایین نیز معنی‌دار شده است. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد تک بوته با صفات وزن ۱۰۰ دانه، ارتفاع بوته، تعداد سنبله، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد کاه (تفاضل عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تک بوته)، مساحت برگ پرچم، وزن حجمی، تعداد پنجه کل و قطر دانه در هر دو شرایط محیطی همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. از طرفی عملکرد با تعداد روز تا به سنبله رفتن در هر دو شرایط محیطی همبستگی منفی و معنی‌دار نشان می‌دهد. داندا و ستی (۱۴) نیز در گندم نان همبستگی منفی بین عملکرد دانه تحت شرایط تنش و تاریخ گلدهی گزارش کرده‌اند.

عملکرد تک بوته بیشترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار را در هر دو شرایط محیطی با عملکرد کاه نشان داد. در شرایط تنش عملکرد تک بوته با صفت تعداد سنبله دارای همبستگی بالایی (۰/۶۶) بود ولی در شرایط نرمال این همبستگی کم‌تر (۰/۳۸) شد. رودریگز و همکاران (۴۵) بین عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری گزارش کردند و بیان کردند که در دهه‌های اخیر نقش عملکرد بیولوژیکی به‌مراتب بیشتر از شاخص برداشت در افزایش عملکرد بوده است؛ بنابراین گزینش بر اساس این صفت در افزایش غیرمستقیم عملکرد دانه نقش بیشتری خواهد داشت. اوکویاما و همکاران (۳۹) نشان دادند که عملکرد دانه گندم با عملکرد بیولوژیکی همبستگی مثبت داشت، همچنین بر اساس گزارش این محققان، تعداد دانه در سنبله آثار مستقیم و مثبتی روی عملکرد دانه داشته است. عبدالصبور و همکاران (۱) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه در بوته با طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن ۱۰۰ دانه مشاهده کردند. طبق نظر آنها صفاتی که بیشترین اثر را بر انطباق گیاه با محیط برای حداکثر کردن تولید دارند صفات مربوط به دوره‌های فنولوژیکی گیاه می‌باشند. جوشی و همکاران (۲۶) و آیسیسک و ایلدریم (۵) بین عملکرد دانه با ارتفاع گیاه، طول سنبله، تعداد پنجه، تعداد سنبلچه در سنبله و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده نمودند. این محققین گزارش کردند این صفات اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی عملکرد دانه در گندم دارند.

شاخص برداشت با تعداد دانه در سنبله در هر دو شرایط محیطی همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد، از طرفی دیگر با وزن ۱۰۰ دانه، تعداد سنبله، عملکرد دانه تک بوته و قطر دانه در شرایط نرمال همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد ولی در شرایط تنش این همبستگی معنی‌دار نبود. افزایش شاخص برداشت در صورت کافی بودن اندام‌های فتوسنتز کننده در محیط‌های مساعد منجر به افزایش عملکرد دانه می‌گردد، زیرا در پایان دوره رشد، گیاه مقدار قابل‌توجهی از مواد فتوسنتزی ساخته شده در طول دوره رشد را به دانه‌ها انتقال می‌دهد (۲۱). شارما و همکاران (۴۷) در مطالعه شاخص برداشت گندم تأکید نمودند که همبستگی‌های بالا بین شاخص برداشت و دیگر صفات زراعی حاکی از آن است که انتخاب برای شاخص برداشت می‌تواند تغییرات مثبتی را در صفات عملکرد دانه، زودرسی و کوتاهی گیاه ایجاد نماید. ابهری و همکاران (۳) برای صفات شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه سنبله با عملکرد دانه گیاه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری را گزارش کردند. همانطور که گفته شد در شرایط نرمال بین وزن ۱۰۰ دانه با شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. یعنی با افزایش وزن دانه، شاخص برداشت نیز افزایش می‌یابد (۲۹). ریچاردز و همکاران (۴۴) در همین ارتباط گزارش کردند به دلیل این که شاخص برداشت نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی در تولید عملکرد اقتصادی است، ازاین‌رو مقادیر بالای آن در شرایط عادی در یک رقم می‌تواند عملکرد بالا در شرایط تنش را نیز موجب گردد. در همین ارتباط رینولدز و همکاران (۴۲) بیان کردند ارقامی از گندم که دارای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بالایی هستند به‌احتمال‌زیاد دارای عملکرد دانه بالایی در شرایط نرمال و تنش هستند.

تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در هر دو شرایط محیطی دارای همبستگی منفی با وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع گیاه بود از طرفی در شرایط نرمال همبستگی مثبت و در شرایط تنش همبستگی منفی با عملکرد دانه تک بوته و محتوای نسبی آب نشان داد.

در هر دو شرایط نرمال و تنش بین وزن ۱۰۰ دانه با تعداد دانه در سنبله همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. مورال و همکاران (۳۳) همبستگی منفی و معنی‌دار بین این صفات را گزارش کردند و اظهار داشتند این مسئله مربوط به اثر جبرانی اجزای عملکرد بر روی یکدیگر است، که با افزایش تعداد دانه، گیاه نمی‌تواند همه آن‌ها را پر کند پس باعث چروکیده شدن و کاهش وزن دانه‌ها می‌شود و در شرایط تنش این پدیده

شدیدتر است. بین مساحت برگ پرچم با عملکرد دانه تک بوته، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله در هر دو شرایط محیطی همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. پسی‌تی و همکاران (۴۰) در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی تغییرات برگ پرچم و رابطه آن با عملکرد و تحمل به خشکی بر روی ۹۰ رقم بومی گندم دوروم انجام دادند، هیچ‌گونه رابطه‌ای بین تغییرات سطح برگ پرچم با تحمل به خشکی و عملکرد مشاهده نکردند. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته و عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی (در شرایط تنش این همبستگی بیشتر است) می‌تواند به دلیل ذخایر بیشتر ساقه و انتقال آن به دانه‌ها در طول دوره پر شدن دانه‌ها باشد. ارتفاع بوته در زمان رسیدگی گیاه به عنوان یک عامل در واکنش گیاه نسبت به تنش رطوبتی در نظر گرفته می‌شود (۲۵). بخشی خانکی و همکاران (۷) در آزمایشی مشاهده نمودند که در شرایط تنش رطوبتی آخر فصل ژنوتیپ‌های پابلند، عملکرد دانه بیشتری از ژنوتیپ‌های پاکوتاه داشتند، آن‌ها این امر را به قابلیت بیشتر ژنوتیپ‌های پابلند برای استخراج آب از خاک نسبت دادند. وجود ذخایر بیشتر آسیمیلات‌ها در ساقه ژنوتیپ‌های پابلند و مصرف آن‌ها در دوران پر شدن دانه در شرایط خشکی انتهایی مؤثر می‌باشد. نقدی پور و همکاران (۳۶) و لیلا و الخطیب (۳۰) در بررسی روابط بین صفات در گندم بین عملکرد دانه با ارتفاع و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری تحت شرایط تنش خشکی گزارش نمودند که با نتایج این تحقیق هماهنگ بود. صفت تعداد دانه در سنبله با طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، عملکرد دانه تک بوته و شاخص برداشت در هر دو شرایط محیطی همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. گونزالس و همکاران (۲۳)، رودریگز و همکاران (۴۵) و داگوستو (۱۱) نیز بر وجود همبستگی مثبت و بالا بین تعداد دانه در سنبله و عملکرد اتفاق نظر دارند. تعداد دانه در سنبله در شرایط نرمال با عملکرد کاه همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد ولی در شرایط تنش همبستگی معنی‌داری با عملکرد کاه مشاهده نشد. بین تعداد پنجه با تعداد سنبله، عملکرد دانه و عملکرد کاه همبستگی مثبت و معنی‌داری در هر دو محیط و با شاخص برداشت در شرایط نرمال مشاهده شد. با افزایش تعداد پنجه‌ها، مقدار ماده خشک افزایش می‌یابد که در نهایت این عامل می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه شود. این نتیجه مطابق نتایج چودهری (۱۰)، سینگ و دیویودی (۴۸) و سلیم و همکاران (۴۶) بود.

در هر دو شرایط محیطی محتوای نسبی آب با وزن ۱۰۰ دانه، وزن حجمی و قطر دانه همبستگی منفی و معنی‌داری را نشان داد. همچنین با تعداد روز تا به سنبله رفتن و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌داری را در هر دو شرایط محیطی نشان داد. محمدی و فرشادفر (۳۲) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد با میزان آب نسبی برگ را در شرایط دیم گزارش نمودند. علی محمدی و همکاران (۲) همبستگی بین محتوای نسبی آب و عملکرد را بالا گزارش کردند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که توان حفظ آب در بافت‌های خود را داشته باشند، یعنی دارای محتوی آب نسبی بالاتری باشند، تحمل به خشکی بیشتر و عملکرد بیشتری دارند که این موضوع مغایر با نتایج حاصل از این تحقیق بود. گان و همکاران (۱۸) در مطالعه گیاه گندم اعلام داشتند که هرچه گیاه بتواند در شرایط تنش، آب بیشتری در بافت‌های خود حفظ کند، قدرت پروتوپلاسم در تحمل صدمات ناشی از خشکی بیشتر خواهد شد. تحقیق حاضر نشان داد که در شرایط تنش پس از گرده‌افشانی، میزان کاهش محتوای آب نسبی ژنوتیپ متحمل به خشکی N_{11} بیشتر از ژنوتیپ حساس Gasspard بوده است. البته باید دقت کرد که مکانیسم مواجه به خشکی ژنوتیپ DN_{11} زودرسی است و این ژنوتیپ از خشکی فرار می‌کند ولی Gasspard محتوای نسبی آب بیشتری را در مواجه با تنش در خود حفظ می‌کند. دلیل بالا بودن محتوای آب نسبی برگ در ژنوتیپ متحمل به خشکی، ممکن است به علت وجود سازوکارهای کاهش‌دهنده تلفات آب از روزنه‌ها (بسته‌تر شدن روزنه‌ها)، افزایش غلظت شیره سلولی (۲۰) یا به دلیل جذب بیشتر آب از طریق توسعه ریشه باشد که توسط برخی از پژوهشگران گزارش‌شده است. شاخص کلروفیل در هر دو شرایط همبستگی مثبت و معنی‌داری را با مساحت برگ پرچم نشان داد (در سطح ۱۰ درصد). همچنین این صفت در شرایط تنش، همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول دوره پر شدن دانه و قطر دانه و همبستگی منفی و معنی‌دار با شاخص برداشت و وزن حجمی نشان داد. کاستریلو و ترجیلو (۹) نیز همبستگی مثبتی را بین محتوای آب نسبی برگ و غلظت کلروفیل مشاهده کردند.

جدول ۱- همبستگی بین صفات زراعی و فیزیولوژیک تحت شرایط نرمال و تنش کمبود آب

Table 1. Correlation between agronomic and physiological traits under normal and water deficit conditions

صفات	شرایط	وزن صد دانه	ارتفاع بوته	تعداد سنبله	طول سنبله	تعداد سنبلچه در سنبله	عملکرد دانه تک بوته	تعداد دانه در سنبله	عملکرد کاه	شاخص برداشت	مساحت برگ پرچم	محتوای نسبی آب	تعداد روز تا به سنبله رفتن	تعداد روز رسیدگی فیزیولوژیک	طول مدت پر شدن دانه	وزن حجمی	تعداد پنجه	قطر دانه
ارتفاع بوته	NC	۰/۴۱**	ـــــ															
	WDC	۰/۵۷**	ـــــ															
تعداد سنبله	NC	۰/۰۲	۰/۰۲	ـــــ														
	WDC	۰/۰۵	۰/۲۲**	ـــــ														
طول سنبله	NC	۰/۰۲	۰/۳۵**	۰/۰۶۶	ـــــ													
	WDC	۰/۲۴	۰/۴**	۰/۰۸	ـــــ													
تعداد سنبلچه	NC	۰/۱۳	۰/۱۷**	۰/۰۶	۰/۵۴**	ـــــ												
در سنبله	WDC	۰/۳۲*	۰/۲۹**	-۰/۰۳	۰/۵**	ـــــ												
عملکرد دانه	NC	۰/۴۷**	۰/۲۷*	۰/۳۸**	۰/۳۴*	۰/۴۳**	ـــــ											
تک بوته	WDC	۰/۵۵**	۰/۴۷**	۰/۶۶**	۰/۴۶**	۰/۳۶**	ـــــ											
تعداد دانه در	NC	-۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۵۱**	۰/۶۶**	۰/۴۴**	ـــــ										
سنبله	WDC	-۰/۰۱	-۰/۰۴۶	-۰/۱۶	۰/۴۵**	۰/۵۱**	۰/۳۲*	۰/۲۷**	ـــــ									
عملکرد کاه	NC	۰/۲۵*	۰/۳۹**	۰/۲۹*	۰/۳۷**	۰/۲۶*	۰/۶۵**	۰/۰۷	ـــــ									
	WDC	۰/۴۲**	۰/۴۷**	۰/۶۹**	۰/۳۱*	۰/۲۳*	۰/۸*	۰/۴۱**	۰/۱۲	ـــــ								
شاخص	NC	۰/۴۲**	-۰/۱۳	۰/۳۸**	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۶۴**	۰/۳۴*	-۰/۳*	۰/۲۲۶**	ـــــ							
برداشت	WDC	۰/۱۵	۰/۰۰۴	-۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲	۰/۴۵**	۰/۳۹**	۰/۰۶۸	۰/۲۵*	ـــــ						
مساحت برگ	NC	۰/۲۱	-۰/۰۳	-۰/۰۶	۰/۴۳**	۰/۴۴**	۰/۳۶**	۰/۵۶**	۰/۲۱	-۰/۲۴	-۰/۲۶*	-۰/۴۵**	ـــــ					
پرچم	WDC	۰/۱۵	-۰/۰۱۶	-۰/۰۷	۰/۳۵**	۰/۴۱**	۰/۳*	۰/۲۳	-۰/۱۷	-۰/۱۶	-۰/۳۱*	-۰/۵۶**	۰/۴۴**	ـــــ				
محتوای نسبی	NC	-۰/۳۳*	-۰/۱۵۷	-۰/۰۲	-۰/۲۷*	-۰/۱۲	-۰/۳۲*	-۰/۰۸	-۰/۱۷	-۰/۲۴	-۰/۰۹	۰/۴۲**	-۰/۴۶**	۰/۴۴**	ـــــ			
آب	WDC	-۰/۵۲**	-۰/۲۵	۰/۰۴	-۰/۱۸	-۰/۰۶	-۰/۱۴	۰/۰۳	-۰/۱۷	-۰/۱۶	-۰/۲۵	۰/۴۵**	-۰/۵۳**	-۰/۴۴**	۰/۰۸۲	ـــــ		
تعداد روز تا به	NC	-۰/۴۳**	-۰/۳۸**	۰/۱۷	-۰/۲۷*	۰/۰۶	-۰/۳۶**	-۰/۰۷	-۰/۱۶	-۰/۲۵	-۰/۳*	۰/۵۶**	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۲	ـــــ		
سنبله رفتن	WDC	-۰/۶۶**	-۰/۵۷**	-۰/۰۷	-۰/۲۴	-۰/۱۸	-۰/۴۶**	۰/۰۵	-۰/۲۵*	-۰/۱۸	-۰/۰۷	۰/۴۲**	-۰/۰۷	-۰/۱۴	-۰/۹	۰/۰۷۱	ـــــ	
تعداد روز تا	NC	-۰/۴۶**	-۰/۴۶**	۰/۲	-۰/۲۹*	-۰/۲	۰/۳۲*	۰	-۰/۱۳	-۰/۱۸	-۰/۰۹	۰/۴۲**	۰/۴۴**	ـــــ				
رسیدگی فیزیولوژیک	WDC	-۰/۵۵**	-۰/۵۷**	-۰/۱۴	-۰/۲	-۰/۳*	-۰/۳۶**	۰/۱۹	-۰/۱۸	-۰/۲۵	۰/۰۵	-۰/۴۳**	۰/۴۴***	ـــــ				
طول مدت پر	NC	-۰/۰۷	-۰/۱۴	۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۲۸*	۰/۰۰۴	-۰/۳۲**	۰/۴۴**	ـــــ			
شدن دانه	WDC	۰/۱۱	-۰/۰۷	-۰/۰۸	۰/۰۹۳	-۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۲*	۰/۱۹	-۰/۰۲	۰/۲۲	-۰/۱۱	-۰/۶۶**	-۰/۱۱	ـــــ			
وزن حجمی	NC	۰/۴۲**	۰/۲۸*	۰/۰۸	۰/۲۵*	۰	۰/۲۸*	۰/۰۵	۰/۲۲*	۰/۱۹	۰/۲۵	-۰/۳۵**	-۰/۵۳**	-۰/۴۴**	۰/۰۸۲	ـــــ		
	WDC	۰/۵۸**	۰/۵۴**	۰/۱۹	۰/۳۸*	۰/۲۸*	۰/۳۸**	-۰/۰۹	۰/۲۴*	۰/۲۸*	۰/۱۸	-۰/۵۳**	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۲	ـــــ		
تعداد پنجه	NC	-۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۲۹*	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۴۹**	۰/۱۴	۰/۳۸**	۰/۳*	۰/۱۹	۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۱۴	-۰/۹	۰/۰۷۱	ـــــ	
	WDC	-۰/۰۶	-۰/۱۱	۰/۴۵**	۰/۱۱	۰	۰/۲۷*	-۰/۰۱	۰/۳۵**	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۴	-۰/۴۱**	۰/۱۴	۰/۳۳*	-۰/۰۶	ـــــ	
قطر دانه	NC	۰/۶۲**	۰/۲۷*	-۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۰۸	۰/۳۸**	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۳۷**	۰/۲۱	-۰/۲۸*	-۰/۳۳*	-۰/۴۳**	-۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۰۶	
	WDC	۰/۷۸**	۰/۴۴**	-۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۴۵**	۰/۰۸	۰/۲۹*	۰/۲۳	۰/۰۳	-۰/۲۹*	۰/۴۸**	۰/۴۹**	-۰/۳۷**	۰/۲۸*	-۰/۱۲	ـــــ
شاخص	NC	۰/۰۴	۰/۰۸	-۰/۲۲*	-۰/۱۴	۰/۱۶	-۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۷	۰	۰/۲۸*	۰/۰۷	-۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۱۳	۰	۰	۰/۱۱
کلروفیل	WDC	-۰/۱	-۰/۲۳	۰/۲۲	۰	-۰/۲	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۲۷*	-۰/۲۸*	۰/۲۵*	۰/۱۵	-۰/۰۱	۰/۳۷**	۰/۳۴**	-۰/۲۵**	۰/۱۲	۰/۷۲**

** و *: معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب. ns: شرایط نرمال، wdc : تنش کمبود آب

تجزیه‌های رگرسیونی

با توجه به روابط پیچیده صفات با همدیگر، قضاوت نهایی در مورد صفات مهم تاثیرگذار بر عملکرد دانه تک بوته نمی‌تواند فقط بر مبنای ضرایب همبستگی ساده انجام گیرد و لازم است از روش‌های آماری چند متغیره جهت درک عمیق‌تر روابط بین صفات بهره برد (۸). از رگرسیون چندگانه گام‌به‌گام به‌منظور تعیین متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد دانه استفاده گردید. نتایج رگرسیون چندگانه برای عملکرد دانه در مقابل صفات زراعی و مورفولوژیک در دو شرایط تنش و نرمال در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است. نتایج نشان داد که در شرایط نرمال صفات عملکرد کاه، تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد پنجه، تعداد سنبله و تعداد روز تا به سنبله رفتن بیشترین تأثیر را در عملکرد دانه داشته و در حدود ۷۸ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه تک بوته را توجیه می‌نمایند؛ البته با توجه به میزان ضریب تبیین به نظر می‌رسد که صفت تعداد روز تا به سنبله رفتن تاثیر چندانی در مدل نداشته باشد. در مقابل در شرایط تنش کمبود آب صفات عملکرد کاه، تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول مدت پر شدن دانه ۹۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه تک بوته را توجیه نمودند البته در این شرایط نیز صفت طول مدت پر شدن دانه کمترین تاثیر را در مدل نشان داد. بررسی ضرایب رگرسیونی نشان‌دهنده اثر مثبت صفات وارد شده در مدل بر روی عملکرد دانه بود که افزایش این صفات می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه تک بوته شوند. سینگ و همکاران (۵۰) از بین صفات مرتبط با عملکرد گیاه، ارتباط نزدیکی را بین ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول سنبله با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. عزیزی نیا و همکاران (۶) با استفاده از تجزیه رگرسیونی نشان دادند که در شرایط تنش صفات وزن سنبله، تعداد روز تا گلدهی، طول سنبله و تعداد سنبلچه بارور و در شرایط آبیاری طبیعی، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و وزن سنبله بیشترین درصد از تغییرات میانگین عملکرد دانه در بوته را به خود اختصاص می‌دهند.

جدول ۲- تجزیه رگرسیون به روش گام‌به‌گام برای عملکرد دانه در شرایط نرمال

Table 2. Stepwise regression analysis for grain yield in normal condition

	درجه آزادی	میانگین مربعات	R^2
مدل رگرسیونی	۶	۰/۱۶۹**	۰/۷۹
خطا	۴۹	۰/۰۰۵۶	

صفات وارد شده به مدل	(β) پارامتر ورودی	مرحله ورود به مدل	R^2
Intercept	−۱۲/۹۲		
وزن صد دانه	۶/۱۵	۳	۰/۶۳۸
تعداد سنبله	۰/۳۴۶	۵	۰/۷۶۹
تعداد دانه در سنبله	۰/۲۲۸	۲	۰/۵۴۲
عملکرد کاه	۰/۲۶۹	۱	۰/۴۵۶
تعداد روز تا به سنبله رفتن	−۰/۳۹۶	۶	۰/۷۸۸
تعداد پنجه	۰/۵۰۵	۴	۰/۷۳۸

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد

جدول ۳- تجزیه رگرسیون به روش گام‌به‌گام برای عملکرد دانه در شرایط تنش کمبود آب

Table 3. Stepwise regression analysis for grain yield in water deficit condition

	درجه آزادی	میانگین مربعات	R^2
مدل رگرسیونی	۶	۰/۲۶۸**	۰/۹۲
خطا	۴۹	۰/۰۰۲۷	

صفات وارد شده به مدل	(β) پارامتر ورودی	مرحله ورود به مدل	R^2
Intercept	−۱/۷۱		
وزن صد دانه	۴/۷۵	۵	۰/۹۱۳
تعدادسنبله	۰/۹۴	۴	۰/۸۶۱
تعداد دانه در سنبله	۰/۲۵۴	۲	۰/۷۳۴
عملکرد کاه	۰/۱۴۹	۱	۰/۶۵
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	−۰/۴۵	۳	۰/۸۰۸
تعداد روز تا پر شدن دانه	۰/۳۸۹	۶	۰/۹۲۳

** و *: معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد

تجزیه علیت

نتایج حاصل از تجزیه علیت در شرایط نرمال (جدول ۴) نشان داد که صفات وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه به ترتیب بیشترین تأثیر مستقیم را بر روی عملکرد دانه تک بوته داشتند و پس از آنها عملکرد کاه و تعداد سنبله قرار داشتند. عملکرد کاه توانست به‌صورت غیرمستقیم از طریق صفت‌های وزن ۱۰۰ دانه (۰/۰۹۶) و تعداد دانه در سنبله (۰/۰۸۷) و تعداد پنجه (۰/۱۱۸) اثر مثبت بر روی عملکرد دانه تک بوته داشته باشد. صفت تعداد دانه در سنبله بعد از صفت وزن ۱۰۰ دانه بیشترین اثر مستقیم (۰/۳۲۳) را به روی عملکرد دانه داشت، این صفت به‌صورت غیرمستقیم از طریق صفت عملکرد کاه تاثیر غیرمستقیم

زیادی روی عملکرد داشت و به‌صورت غیرمستقیم عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار داد. در مرحله بعد صفت تعداد پنجه با اثر مستقیم (۰/۳۱) قرار داشت و به صورت غیرمستقیم از طریق عملکردکاه بیشترین تاثیر را روی عملکرد دانه تک بوته نشان داد.

نتایج تجزیه علیت در شرایط تنش (جدول ۵) نشان داد که صفات تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد کاه به ترتیب بیشترین اثر مستقیم را بر روی عملکرد دانه تک بوته دارند. صفت تعداد سنبله بیشترین اثر مستقیم (۰/۵۴۸) را در بین صفات مورد مطالعه نشان داد و این صفت از طریق عملکرد کاه تاثیر غیر مستقیم زیادی را بر روی عملکرد دانه تک بوته داشت. در مرحله بعد صفت تعداد دانه در سنبله با اثر مستقیم برابر ۰/۳۹۵ و اثر غیر مستقیم از طریق تعداد سنبله قرار داشت. همچنین عملکرد کاه از طریق تعداد سنبله و وزن ۱۰۰ دانه، وزن ۱۰۰ دانه از طریق تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول مدت پر شدن دانه از طریق تعداد دانه در سنبله بیشترین اثر غیر مستقیم را بر روی عملکرد دانه تک بوته نشان دادند. نکته مهم اینکه اکثر اثرات مستقیم و غیرمستقیم مؤثر دارای علامت مثبت و بیشترین اثر غیرمستقیم از طریق عملکرد کاه اعمال می‌شود که نشان از اهمیت بالای این صفت دارد. با توجه به اثر مستقیم بالای صفت تعداد سنبله مشخص می‌شود که گزینش از طریق این صفت منجر به گزینش صفات دیگر مؤثر در عملکرد نیز خواهد بود.

سیدل و همکاران (۴۹) در مطالعه خود بر روی ارقام زمستانه گندم نان، همبستگی‌های ژنوتیپی و فنوتیپی مثبت و معنی‌داری را بین صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه مشاهده نمودند. همچنین همبستگی منفی بین وزن هزار دانه و تعداد سنبله و نیز بین وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله مشاهده کردند. با کاهش تعداد دانه در سنبله گندم، امکان افزایش وزن دانه وجود دارد. از طرفی، تعداد دانه و وزن دانه هر یک اثر مستقیمی بر عملکرد دانه خواهند داشت که از طریق ضرایب همبستگی قابل بررسی است. علاوه بر این تعداد دانه از طریق وزن دانه و وزن دانه از طریق تعداد دانه اثرات غیرمستقیمی را بر عملکرد اعمال می‌نمایند (۴۸). نورمند موید و همکاران (۳۷) با استفاده از تجزیه همبستگی، رگرسیون گام‌به‌گام و علیت نشان دادند که در شرایط تنش صفات تعداد دانه در گیاه، عملکرد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه و در شرایط آبیاری طبیعی صفات عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سنبله می‌توانند به‌عنوان معیارهایی در جهت بهبود عملکرد مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۴- تجزیه علیت برای صفات زراعی در شرایط نرمال

Table 4. Path analysis for agronomic traits in normal condition

	وزن صد دانه	تعداد سنبله	تعداد دانه در سنبله	عملکرد کاه	تعداد روز تا به سنبله رفتن	تعداد پنجه	همبستگی
وزن صد دانه	(۰/۳۸۳)	۰/۰۰۵۲	−۰/۰۲۷	۰/۰۶۶	۰/۰۶	−۰/۰۱۷	۰/۴۷
تعداد سنبله	۰/۰۰۸۸	(۰/۲۲۴)	۰/۰۳۶	۰/۰۷۷	−۰/۰۲۵	۰/۰۹۱	۰/۴۱
تعداد دانه در سنبله	−۰/۰۳۲	۰/۰۲۵	(۰/۳۲۳)	۰/۰۷۲	−۰/۰۰۹۸	۰/۰۴۴	۰/۴۲
عملکرد کاه	۰/۰۹۶	۰/۰۶۵	۰/۰۸۷	(۰/۲۶۵)	۰/۰۲۲	۰/۱۱۸	۰/۶۵
تعداد روز تا به سنبله رفتن	−۰/۱۶۴	۰/۰۳۹	−۰/۰۲۳	−۰/۰۴۲	(−۰/۱۴)	−۰/۰۲۱	−۰/۳۵
تعداد پنجه	−۰/۰۲۱	۰/۰۶۵	۰/۰۴۶	۰/۱	۰/۰۰۹	(۰/۳۱)	۰/۵۱

*: اعداد داخل پرانتز اثرات مستقیم می‌باشند

جدول ۵- تجزیه علیت برای صفات زراعی در شرایط تنش کمبود آب

Table 5. Path analysis for agronomic traits in water deficit condition

	وزن صد دانه	تعداد سنبله	تعداد دانه در سنبله	عملکرد کاه	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	تعداد روز تا پر شدن دانه	همبستگی
وزن صد دانه	(۰/۳۱۱)	۰/۰۲۵	−۰/۰۰۵	۰/۰۸۶	۰/۱۱۳	۰/۰۱۴	۰/۵۵
تعداد سنبله	۰/۰۱۴	(۰/۵۴۸)	−۰/۰۶۵	۰/۱۴۱	۰/۰۲۹	۰/۰۱	۰/۶۶
تعداد دانه در سنبله	−۰/۰۰۴	−۰/۰۸۹	(۰/۳۹۵)	۰/۰۱۴۳	۰/۰۳۹	۰/۰۴	۰/۳۱۸
عملکرد کاه	۰/۱۳۱	۰/۳۷۶	۰/۰۲۸	(۰/۲۰۵)	۰/۰۳۷	۰/۰۲۵	۰/۸
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	−۰/۱۷	−۰/۰۷۷	۰/۰۷۵	۰/۰۳۷	(−۰/۲۰۵)	−۰/۰۱۴	−۰/۳۵۷
تعداد روز تا پر شدن دانه	۰/۰۳۳	−۰/۰۴۲	۰/۱۲	۰/۰۳۹	۰/۰۲۲	(۰/۱۳)	۰/۱۹۱

*: اعداد داخل پرانتز اثرات مستقیم می‌باشد

با مقایسه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت بین دو محیط نرمال و تنش ملاحظه شد در هر دو محیط صفات یکسانی، در مدل نهایی مشارکت دارند و بیشترین اثرات مستقیم و غیرمستقیم را بر روی عملکرد تک بوته دارند. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان استفاده از صفات عملکرد کاه، تعداد سنبله، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد دانه در سنبله را برای شرایط نرمال و تنش کمبود آب انتهای فصل پیشنهاد نمود تا در گزینش ژنوتیپ های مطلوب مدنظر قرار گیرند. همچنین در شرایط نرمال و تنش وجود همبستگی بالا و معنی‌دار این صفات با عملکرد دانه و امکان استفاده از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی در مطالعات بسیاری مورد تأکید قرارگرفته است. این نتیجه می‌تواند نشان دهد که تنش کمبود آب تاثیر چندانی

بین رابطه صفات بررسی‌شده با عملکرد تک بوته در این ژنوتیپ‌ها نداشته و از طرفی اهمیت این صفات را در شرایطی که گیاه با تنش رطوبتی آخر فصل مواجه است، نشان می‌دهد. لذا صفات مذکور در برنامه‌های اصلاحی برای گزینش جهت شرایط نرمال و شرایطی که تنش در مرحله پرشدن دانه به وقوع می‌پیوندد می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از پژوهشگران ارجمند آقایان بهنام ناصریان و علی براتی که در اجرای آزمایش‌ها رهنمودهای ارزنده‌ای ارائه نمودند قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Abdel-Sabour, M.S., A.M. Hassan, A.A. Abdeltraits, H.S. Shafi and A.A. Hamada. 1996. Genetic analysis of diallel crosses in bread wheat under different environmental conditions in Egypt. Indian Genetic, 56(1): 49-61.
2. Ali Mohammadi, M., A.M. Rezaei and S.A.M. Mir Mohammadi Meybody. 2009. Evaluation of some physiological traits and grain yield of ten Iranian bread wheat cultivars under two Irrigation conditions, Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 13(48): 107-120.
3. Abhari, A., S. galeshi, N. Latifi and M. kelateh Arabi, 2006. The effect of terminal drought stress on yield, yield components and amino acid of Proline genotypes of wheat (*Triticum aestivum* L.), Journal of Agricultural Science and Technology, 20: 57-67 (In Persian).
4. Araus, J.L., T. Amaro, J. Voltas, H. Nakkoul and M.M. Nachit. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Field Crops Research, 55: 209-223.
5. Aycicek, M. and T. Yildirim. 2006. Path coefficient analysis of yield and yield components in bread wheat genotypes. Pakistan Journal of Botany, 38(2): 417-424.
6. Azizi Nia, S., M.R. Gannadha, B. Yazdi Samadi, A. Zali and A. Ahmadi. 2004. Study on the genetic diversity of the quantitative traits related to yield of synthetic wheat genotypes under irrigation and rain fed conditions. Crop Science Journal of Iran, 26(2): 281-292 (In Persian).
7. Bakhshi Khaniki, G., F. Fattahi and S. Yazdchi. 2007. Drought effects of morphological traits of 10 barley varieties in Osko area, Eastern Azarbaijan province. Pajouhesh and Sazandegi, 74: 108-114 (In Persian).
8. Bramel P.J., P.N. Hinnz, D.E. Green and R.M. Shibles. 1984. Use of principal factor analysis in the study of three stems termination types of soybean. Euphytica, 33: 387-400.
9. Castrillo, M. and A.M. Calcargo. 1989. Effects of water stress and re-watering on rebulose-1, 5-bisphosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. Journal of Horticultural Science, 64(6): 717-724.
10. Chowdhry, M.A., M. Ali, G.M. Subhani and I. Khaliq. 2000. Path coefficient analysis for water use efficiency, evapo-transpiration efficiency and some yield related traits in wheat. Pakistan Journal of Biological Science, 3: 313-317.
11. Dagustu, N. 2008. Genetic analysis of grain yield per spike and some agronomic traits in diallel crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Turkish Journal of Agriculture, 32: 249-258.
12. Dawari N.H. and O.P. Luthra. 1991. Character association studies under high and low environments in wheat. Indian Journal of Agricultural Research, 25: 515-518.
13. Dejan, D., S. Quarrie and S. Stankovic. 2002. Characterizing wheat genetic resources for responses to drought stress. Euphytica, 307-318.
14. Dhanda, S.S. and G.S. Sethi. 1996. Genetics and interrelationships of grain yield and its related traits in bread wheat under irrigated and rainfed conditions. Wheat Information Service, 83: 19-27.
15. Ehdaie, B. and J.G. Waines. 1994. Genetic analysis of carbon isotype discrimination and agronomic characters in a bread wheat cross. Theoretical Applied Genetics, 88: 1023-1028.
16. Falconer, D.S. 1980. Introduction to quantitative genetics. 2 nd. Ed. Longman, London.
17. Fisher, R.A. 1979. Growth and water limitation to dryland wheat yield in Australia: a physiological framework. Journal of Australian Institute of Agricultural Science, 45: 83-94.
18. Gan, S. and R.M. Amasino. 1997. Making sense of senescence: molecular genetics regulation and manipulation of leaf senescence. Plant Physiology, 113: 313-319.
19. Garcia, L.F., Y. Del Moral, D. Rharrabti and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: An oncogenic approach. Agronomy Journal, 95: 266-274.
20. Ghorbani Javid, M., F. Moradi, G.A. Akbari and I. Allahdadi. 2006. The role of some metabolites on the osmotic adjustment mechanism in annual cut leaf medic (*Medicago laciniata* (L.) Mill) under drought stress. Iranian Journal of Crop Science, 8(2): 90-105 (In Persian).
21. Golabadi, M., A. Arzani and S.M. Maibody. 2008. Genetic analysis of some morphological traits in durum wheat by generation mean analysis under normal and drought stress conditions. Seed and Plant Improvment Journal, 24(1): 99-116 (In Persian)
22. Golparvar, A.R., I. Majidi-Harvan, F. Darvish, A. Rezaie and A. Ghasemi-Priblation, 2004. Genetic assessment of some morpho-physiology traits in bread wheat under drought stress conditions. Iranian of pajouhesh and sazandegi, 62: 90-95 (In Persian).
23. Gonzalez, F.G., G.A. Slafer and D.J. Miralles. 2003. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheat's. Field Crops Researches, 81: 17-27.

24. Ikram, U.H. and L. Tanach. 1991. Diallel analysis of grain yield and other agronomic traits in durum wheat. Rachis, 10: 8-13.
25. Innes, P., J. Hoogendoorn and R.D. Blackwell. 1985. Effects of differences in date of ear emergence and height on yield of winter wheat. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 105: 543-549.
26. Joshi, B.K. 2003. Correlation and path coefficient analysis of yield and yield components in F1 hybrids rice and their parents. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 28(4): 533-540.
27. Kamalizadeh, M., A.H. Hosseinzadeh and H. Zeinali Khaneghah. 2013. Evaluation of inheritance for some quantitative traits in bread wheat using generation means analysis under water deficit condition. Iranian Journal of Crop Sciences, 44(2): 317-326 (In Persian).
28. Khaliq, I.N., M. Parveen and A. Chowdhry. 2004. Correlation and path coefficient analysis in bread wheat. International Journal of Agriculture and Biology, 4: 633-635.
29. Kouchaki, A.R., A. Yazdan Sepas and H.R. Nikkhah. 2006. Effect of terminal drought on grain yield and some morphological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences, 8(29): 14-29 (In Persian).
30. Leilah, A.A. and A.A. Al-Khateeb. 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. Journal of Arid Environments, 61: 483-496.
31. Li, G.A., Y. Sheng Hou, G.W. Wall, A. Trent, B.A. Kimball and P.J. Pinter. 2000. Free–air CO_2 enrichment and drought stress effects on grain filling rate and duration in spring wheat. Crop Science, 40: 1263-70.
32. Mohammadi, R. and E. Farshadfar. 2000. Determination of chromosomes controlling physiological traits associated to drought tolerance in rye. Iranian Journal of Crop sciences, 5(2): 117-132.
33. Moral, G.L.F., Y. Rharrabti, D. Villegas and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. Agronomy Journal, 95: 266-274.
34. Muller, J. 1991. Determining leaf surface area by means of linear measurements in wheat and triticale (brief report). Archiv Fuchtungsforsch, 21: 121-123.
35. Nachit, M., M. Ketata and E. Avecedo. 1991. Selection of morpho-physiological traits for multiple abiotic stresses resistance in durum wheat. Physiology breeding of winter cereal for stressed Mediterranean environments. 3-6 July 1992, Montpelieer, France, 392-400 pp.
36. Naghdipor, A., A. Khodarahmi, A. Porshahbazi and M. Eesmailzade. 2011. Factor analysis for grain yield and other traits in durum wheat. Journal of Agronomy and Plant Breeding, 7: 84-96 (In Persian).
37. Nourmand, F., M.A. Rostami, and M.R. Ghannadha. 1997. Evaluation of drought tolerance indices in bread wheat. Iranian Journal of agriculture sciences, 32: 795-805 (In Persian).
38. Nourmand, F., M.A. Rostami and M.R. Ghannadha, 2001. A study of morpho-physiological traits of bread wheat, relationship with grain yield under normal and drought stress conditions. Iranian Journal of Agricultural Science, 32: 785-794 (In Persian).
39. Okuyama, L.A., L.C. Ferizzi and J.F.B. Neto. 2004. Correlation and path analysis of yield and its components and plant traits in wheat. Ciencica Rural, Santa Maria, 34(6): 1701-1708.
40. Pecetti, L., P. Annicchiarico and G. Kashour. 1993. Flag leaf variation in Mediterranean durum wheat landraces and its relationship to frost and drought tolerance and yield response in moderately favorable conditions. Plant Genetic Resources, 93: 25-28.
41. Quarrie, S.A., J. Stojanovic and S. Pekic. 1999. Improving drought resistance in small-grained cereals: A case study, progress and prospects. Plant Growth Regulation, 29: 1-21.
42. Reynolds, M., M.J. Foulkes, G.A. Slafer, P. Berry, M.A.J. Parry, J.W. Snape and W.J. Angus. 2009. Raising yield potential in wheat. Journal of Experimental Botany, 60: 1899-1918.
43. Richards, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant Growth Regulation, 20: 157-166.
44. Richards, R.A., G.J. Rebetzke, A.G. Condon and Van A.F. Herwaarden. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science, 42: 111-131.
45. Rodrigus, O., J.B. Hambyi, A.D. Didoneti and J. Abramo. 2007. Fifty years of wheat breeding in southern Brazil: yield improvement and associated changes. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 42: 157-168.
46. Saleem, U., I. Khaliq, T. Mahmood and M. Rafique. 2006. Phenotypic and genotypic correlation coefficients between yield and yield components in wheat. Journal of Agricultural Researches, 44: 1-6.
47. Sharma, B.D., B.C. Sood and V.V. Halotra. 1991. Studies on variability, heritability and genetic advance in chickpea research, Indian Journal of Pulses Research, 3: 1-6.
48. Singh, S.P. and V.K. Diwivedi. 2002. Character association and path analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.) Agricultural Science Digest. 22(4): 255-257.
49. Sidell, K.J., E.L. Smith and R.W. McNew. 1979. Inheritance and interrelationship of grain yield and selected yield-related traits in a hard red winter wheat cross. Crop Science, 16: 520-52.
50. Singh, G., G. Nanda and V. Shou. 1998. Gene effects for grains per spike, grain weight and grains per spikelet in a set of nineteen crosses of wheat. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, 58: 83-89.
51. Turner, N.C. 1986. Adaptation to water deficits: a changing perspective. Australian Journal of Plant Physiology, 13: 175-190.
52. Yin, X., S.D. Chasalow, P.M. Stam, J. Kropff, C.J. Dourleijn, I. Bos and P.S. Bindraban. 2002. Use of component analysis in QTL mapping of complex crop traits: a case study on yield in barley. Plant Breeding. 121(4): 314-319.
53. Zeinali, H., A. Nasrabadi, H. Hoseinzadeh, R. Chogan and M. Sabokdast. 2005. Factor analysis on spatial corn varieties. Crop Science Journal of Iran, 36(4): 895-902 (In Persian).

Effect of End-Season Water Deficit on Relatives of Among Physiological and Agronomical Traits in Wheat

Ali Akbar Asadi[1], Mostafa Valizadeh[2], Seyed Abolghasem Mohammadi[2] and Manochehr Khodarahmi[3]

1- Assistant Professor, of Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Zanjan, Iran, (Corresponding author: asadipm@gmail.com)
2- Professor of Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
Received: October 3, 2018 Accepted: March 3, 2019

Abstract

In order to investigate the relationship between agronomic and morphological traits affecting wheat yield, two genotypes of wheat (Gasspard cultivar and DN11 line), along with generations of crosses (F_1, F_2, F_3, BC_1 and BC_2), were examined in a randomized complete block design with three replications in normal and water deficit conditions in two consecutive years in the field of Research Institute of Nuclear Agriculture of Karaj. Stepwise regression analysis showed that straw yield was the first trait that entered the model and alone explained 46% and 65% of grain yield per plant in normal and water deficit conditions, respectively. Following this trait, under normal conditions, number of grain per spike, 100 grain weight, number of tiller per plant and number of spikes per plant had the high effect on grain yield per plant, explained about 78% of the total variation. In water deficit condition, the number of grain per spike, number of spikes per plant, 100 grain weight and days to maturity justified 92% of the grain yield per plant. The results of path analysis showed that in normal conditions, 100 grain weight, grain number per spike, tiller number per plant, straw yield and number of spike per plant and in water deficit condition, number of spike per plant, number of grain per spike, 100 grain weight and straw yield had the most direct effect on grain yield per plant.

Keyword: Correlation, Path Analysis, Regression Analysis, Water Deficit Condition, Wheat