"مجله علوم زراعی ایران"
جلد چهاردهم، شماره ۲ تابستان ۱۳۹۱

روابط عملکرد دانه با صفات گیاهی مرتبط با عملکرد در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش خشکی

Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes under drought stress conditions

سیده مطهره سروری[۱] و سید علی رضا بهشتی[۲]

چکیده

سروری، س. م. و س. ع. ر. بهشتی. ۱۳۹۱. ارزیابی روابط عملکرد دانه با صفات گیاهی مرتبط با عملکرد در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش خشکی. **مجله علوم زراعی ایران. ۱٤(۲):۲۰۱-۱۸۳.**

در این آزمایش روابط عملکرد و خصوصیات مرتبط با عملکرد در ۱۳ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در سه محیط آزمایشی مجزا (شرایط بدون تنش، تنش خشکی در دو مرحله رویشی و زایشی) مورد ارزیابی قرار گرفت. در محیط بدون تنش آبیاری با استفاده از لوله‌های هیدروفیکس و نصب دریچه خروجی برای هر ردیف صورت گرفته و در دو محیط واجد تنش، اعمال تنش در مرحله رویشی (از مرحله چهار برگی تا آغاز آبستنی و در مرحلهٔ زایشی (از آغاز گلدهی تا مرحله خمیری سخت)، آبیاری فقط در خارج از مراحل تنش به روال معمول انجام شد.تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها برای خصوصیات مورفولوژیک مرتبط با عملکرد در هر سه شرایط محیطی نشان داد. همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در شرایط بدون تنش نشان داد که عملکرد دانه با صفات شاخص برداشت و تعداد دانه در خوشه، در شرایط تنش در مرحله رویشی با صفات شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در خوشه، ارتفاع برگ پرچم از زمین و ارتفاع بوته و در شرایط تنش در مرحله زایشی با صفات شاخص برداشت و روز تا گلدهی همبستگی مثبت و معنی داری داشت. نتایج تجزیه رگرسیون چندگانه خطی به روش گام به گام مشخص نمود که در شرایط بدون تنش صفات تعداد دانه در خوشه، مساحت برگ پرچم، وزن هزار دانه، وزن خشک ساقه، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، در شرایط تنش در مرحله رویشی صفات تعداد دانه در خوشه و ارتفاع برگ پرچم از زمین و در شرایط تنش در مرحله زایشی مساحت برگ پرچم و طول خوشه اجزاء و صفات مستقل موثر و معنی دار در عملکرد دانه به عنوان صفت وابسته مدل بودند. صفات مورد آزمایش در شرایط بدون تنش، تنش در مرحله رویشی و تنش در مرحله زایشی به ترتیب با ضرایب همبستگی r=۰/۸٦، r=۰/۷۵ و r =۰/٥٦ تغییرات عملکرد را توجیه کردند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که وزن بذور در خوشه، تعداد دانه در خوشه و وزن خشک ساقه به ترتیب در شرایط بدون تنش، تنش در مرحله رویشی و تنش در مرحله زایشی بیشترین اثر مستقیم را در ایجاد تغییرات عملکرد دانه داشتند و بیشترین اثر غیر مستقیم مثبت و منفی آنها به ترتیب از طریق تعداد دانه در خوشه، وزن بذور در خوشه، قطر ساقه، مساحت برگ پرچم و ارتفاع بوته بر عملکرد دانه اعمال نمودند.

واژه‌های کلیدی : تجزیه علیت، رگرسیون چند متغیره، مرحله رویشی و مرحله زایشی.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۴

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده)
(پست الکترونیک: arbeheshti81@yahoo.com)

www.SID.ir
Archive of SID

مقدمه

اصلاح ارقام متحمل به خشکی یکی از مهم‌ترین راه حل‌ها برای مبارزه با مشکل خشکی است (Rebetzke *et al*., 2006). تحمل به خشکی یک صفت کمّی است و روش اندازه‌گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد. این موضوع باعث مشکل شدن شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌شود (Takeda and Matsuoka, 2008). یکی از راه‌های مقابله با تنش خشکی، شناسایی و اصلاح ارقام متحمل و زودرس است. شناخت این موضوع که هر یک از گیاهان یا ژنوتیپ‌ها چگونه با تنش مقابله می‌کنند، حائز اهمیت می‌باشد. تنش خشکی متناوب در مراحل بحرانی رشد غلات، باعث کاهش عملکرد آنها می‌شود (Abdulai *et al*., 2008). سورگوم از جمله گیاهان زراعی تابستانه مهم در اقلیم‌های نیمه خشک است که در مقایسه با گیاهان زراعی دیگر، تنش خشکی را بهتر تحمل می‌کند. بین ژنوتیپ‌های سورگوم از نظر قابلیت تحمل دوره‌های تنش خشکی و واکنش به این دوره‌ها تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای وجود دارد (Craufurda and Peacock, 1993; Beheshti and Behbodfard, 2010). هدف از تولید ارقام متحمل به خشکی معرفی ارقامی بوده که به طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط یکسان افت عملکرد کمتری داشته باشند (Srivastava *et al*., 1987). در برنامه‌های اصلاح نباتات، انتخاب بر اساس تعداد زیادی صفت زراعی صورت می‌گیرد که ممکن است بین آنها همبستگی مثبت و منفی وجود داشته باشد، بنابراین روش‌های تجزیه و تحلیلی که بدون از دست دادن مقدار زیادی از اطلاعات مفید، تعداد صفات موثر در عملکرد را کاهش دهند، برای پژوهشگران با ارزش محسوب می‌شوند. در این خصوص بررسی روابط همبستگی میان صفات متداول است (Acquah *et al*., 1992). عملکرد دانه، صفت مرکب و پیچیده‌ای است که نتیجه مشارکت اجزای عملکرد می‌باشد. اگر چه وراثت پذیری صفاتی همچون عملکرد در محیط‌های خشک پایین است، اما شناخت صفات فیزیولوژیک موثر در عملکرد و سازگاری این صفات در شرایط خشکی عامل موثری در به نژادی و پایداری ارقام می‌باشد (Blum, 1996; Smith and Fredriksen, 2000). ضرایب همبستگی در تعیین میزان و تبیین روابط بین صفات، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (Adams and Weaver, 1998; Amarantath *et al*., 1990 and Kumar *et al*., 2002)، ولی گاهی ممکن است گمراه کننده نیز باشند، به طوری که همبستگی بالای بین دو صفت ممکن است نتیجه اثرات غیر مستقیم صفات دیگر باشد و استفاده از تجزیه همبستگی ساده، قادر به توجیه روابط بین صفات نباشد. در حالی که در روش‌های متکی به رگرسیون از جمله روش رگرسیون گام به گام، روابط غیر مستقیم بین صفات نیز در تعیین روابط بین دو صفت مد نظر قرار داده می‌شود (Ali *et al*., 2003). در راستای تشخیص مهم‌ترین صفات گیاهی موثر در روند تشکیل دانه و محاسبه میزان تاثیر آنها مطالعات گسترده‌ای با بهره‌گیری از این روش انجام شده است (Beheshti and Behbodifard, 2010).

برهمکنش ساختار ژنتیکی و محیط تحت تاثیر مرحله فنولوژیک که گیاه با تنش مواجه می‌شود، قرار دارد (Beheshti and Behbodi, 2010; Beheshti and Baroyi, 2011). بنابراین شناخت صفاتی که در هر یک از این مراحل عملکرد را تحت تاثیر قرار داده و تغییرات عملکرد را تبیین و توصیف کند، ارزشمند بوده و ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس این صفات از جنبه های مهم اصلاحی به شمار می‌آید.

در شرایطی که غلات تحت تنش خشکی شدید پس از گرده افشانی قرار می‌گیرند، رشد دانه به میزان زیادی به منبع رویشی وابسته می‌شود (Royo and Blanco, 1999; Beheshti and Behbodi, 2010). در صورت انجام کامل فتوسنتز، محدودیت مخزن غالب

www.SID.ir

می‌شود (Araus *et al.*, 2002). شناخت صفاتی که بیشترین تاثیر را بر محدودیت منبع یا مخزن در طی مراحل فنولوژیک دارند، حائز اهمیت است. بهسازی شرایط برای پر شدن دانه بوسیله اندوخته ساقه، یک هدف مهم اصلاحی در غلاتی که در معرض تنش‌های محیطی و زنده در طی پر شدن دانه قرار می‌گیرند، می‌باشد (Blum, 1996). محدودیت رطوبتی در زمان پر شدن دانه‌ها باعث افزایش وابستگی به ذخایر قبل از گرده افشانی در سورگوم و ذرت می‌شود (Kiniry and Tischler, 1992; Beheshti and Baroyi, 2011). افزون بر این، مواد ذخیره شده در دوره پیش از گلدهی نیز در عملکرد دانه مشارکت می‌کنند. این موضوع بویژه هنگامی که فتوسنتز جاری تا حدی بر اثر هوای نامساعد یا خسارت آفات و بیماری‌ها و یا تنش‌های غیر زنده محیطی مانند خشکی نتواند پاسخگوی نیاز دانه‌های در حال رشد باشد، اهمیت دارد. آگاهی از ظرفیت ارقام سورگوم از نظر میزان تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط مطلوب (بدون تنش) و مقایسه آن با شرایط تنش رطوبتی به انتخاب ارقام جدید برای چنین مناطقی کمک خواهد نمود (Gambin and Borrasl., 2007; Beheshti and Behbodifard, 2010). ارزیابی ژنوتیپ‌های سورگوم از نظر قابلیت تحمل تنش خشکی در مراحل مختلف رشد و شدت‌های مختلف تنش و واکنش آنها به این دوره‌ها در برنامه‌های اصلاحی این محصول حائز اهمیت است. هدف از این آزمایش ارزیابی صفات مورفوفیزیولوژیک رشد، ۱۳ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در شرایط مختلف تنش نسبت به شرایط بدون تنش و نیز شناسایی و ارزیابی عوامل موثر در تغییرات عملکرد و توصیف و تبیین تغییرات عملکرد تحت تاثیر شرایط خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقاتی طرق مشهد واقع در بخش جنوبی مشهد در سال زراعی ۸۴-۸۳ روی سه لاین امید بخش M_8, M_5 و M_2 استحصالی از آزمایشات اصلاحی در مشهد و سه رقم سورگوم دانه‌ای داخلی کیمیا، سپیده و پیام به همراه ۷ رقم B۱۴۸، B۱۴۷، B۱۴۹، B۳۴، B۱۴۳، B۱۴۴ و B۲۶ دریافتی از مرکز تحقیقات بین‌المللی ایکریسات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در ۳ تکرار اجرا شد. ارقام و لاین‌های مورد بررسی در دو محیط دارای تنش و یک محیط بدون تنش مورد ارزیابی قرار گرفتند. در محیط بدون تنش آبیاری با استفاده از لوله های هیدروفیکس و نصب دریچه خروجی برای هر ردیف صورت گرفته و در دو محیط واجد تنش، اعمال تنش در مرحله رویشی (از مرحله چهار برگی تا آغاز آبستنی (Booting) و در مرحلهٔ زایشی (از آغاز گلدهی تا مرحله خمیری سخت)، آبیاری فقط در خارج از مراحل تنش به روال معمول انجام شد. زمین انتخابی در سال قبل از کاشت آیش بود. کاشت به صورت خشکه کاری و آبیاری بصورت نشتی در هر دو محیط واجد تنش نیز صورت گرفت. بمنظور مقایسه میزان آب مصرفی محیط فاقد تنش با هر یک از دو محیط واجد تنش در هر مرحله آبیاری میزان آب مصرفی اندازه‌گیری و محاسبه شد. آبیاری به میزان $۴/۸ \times ۱۰^{-۳}$ لیتر در ثانیه به مدت ۷ ساعت با دور آبیاری ۷ تا ۹ روز از کاشت تا سبز شدن و پس از سبز شدن تا شروع مرحله رویشی (ظهور خوشه) و از آغاز تا انتهای مرحله گلدهی با دور آبیاری ۷ روز و پس از آن به روال قبل تا انتهای رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت. در هر دو محیط واجد تنش، آبیاری در مراحل تنش صورت نگرفت و در بقیه مراحل آبیاری به روال محیط فاقد تنش انجام شد. تعداد خطوط کاشت در هر واحد آزمایشی ۴ خط به فاصله ۶۰ سانتی متر و بطول ۶ متر بود. فاصله بوته ها روی ردیف ۸ سانتی متر پس از مرحله چهار برگی تنظیم شد. قبل از کاشت مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (P_2O_5) از منبع فسفات آمونیوم و ۱۰۰کیلوگرم در هکتار پتاس (K_2O) از منبع سولفات

www.SID.ir

پتاسیم بر اساس نتایج آزمون مرکب خاک به طور یکنواخت در سطح قطعه آزمایشی پخش و با خاک مخلوط شد.کود نیتروژن از منبع اوره در مراحل پس از تنک و قبل از آغاز مرحله زایشی (آبستنی) به فاصله ۵ سانتی متر از پای بوته‌ها و زیر خاک جمعاً به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. یادداشت برداری‌های لازم شامل ثبت مراحل فنولوژیک، ارتفاع بوته، طول خوشه، قطر ساقه، تعداد برگ‌ها، تعداد پنجه‌ها، تعداد دانه در خوشه، عملکرد بیولوژیک، مساحت برگ پرچم، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت انجام و یا محاسبه شدند. به منظور تعیین روابط صفات و شناسایی عوامل موثر در عملکرد دانه از طریق ضرایب همبستگی ساده به روش پیرسون و مدل‌های رگرسیون چند گانه خطی به روش گام به گام و تجزیه علیت، از نرم افزارهای آماری SPSS و EXELE استفاده شد. عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به جز شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک، به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. شاخص برداشت به عنوان متغیر وابسته و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بعنوان صفات مستقل بصورت جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری در هرسه شرایط محیطی (بدون تنش، تنش رطوبتی در مرحله رویشی و تنش رطوبتی در مرحله زایشی) بین ژنوتیپ‌ها در اکثر صفات مورد بررسی نشان داد (جدول‌های ۱، ۲ و ۳). این موضوع نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌ها ی سورگوم دانه‌ای برای صفات مورد مطالعه می‌باشد.

ضرایب همبستگی صفات بررسی شده در شرایط بدون تنش، تنش در مرحله رویشی و زایشی در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش تحت تاثیر طول دوره رشد (کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک) است. در این آزمایش نیز با افزایش طول دوره رشد عملکرد بیولوژیک افزایش مثبت و معنی داری داشت (جدول ۶). نتایج آزمایش هامر و برود (Hammer and Broad, 2003) نیز نشان داد که اثرات محیط و ژنوتیپ بر نوسانات تولید و شاخص برداشت در طی پر شدن دانه در سورگوم معنی‌دار بود. با مقایسه نتایج شرایط بدون تنش و تنش مشاهده شد که وزن هزار دانه، قطر ساقه و مساحت برگ پرچم همبستگی منفی و معنی داری با عملکرد دانه داشتند. وزن دانه وابسته به مقدار انتقال مواد فتوسنتزی به دانه است و افزایش تعداد پنجه‌های بارور موجب افزایش حجم مخزن برای مواد فتوسنتزی شده و در صورت بروز هر گونه تنش که موجب کاهش منبع شود، کاهش وزن دانه و در نتیجه کاهش عملکرد در هر خوشه را در پی خواهد داشت. در این شرایط با افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه کاهش یافته موجب کاهش عملکرد شد.کاهش در ظرفیت فتوسنتزی به عنوان یک اصل در محدود شدن عملکرد است، بنابراین ظرفیت فتوسنتزی کمتر پوشش گیاهی منجر به کاهش عملکرد از طریق کاهش دوره پر شدن دانه می‌شود (Royo and Blanco 1999 and Kumudini *et al*., 2002). بالا بودن ضریب همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک نشانگر آن است که با افزایش کل زیست توده، عملکرد دانه افزایش داشته و گیاهانی با ارتفاع و عملکرد بیولوژیکی بیشتر باعث افزایش عملکرد می‌شوند. در این آزمایش همبستگی مثبت و معنی دار عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته فقط در شرایط تنش در مرحله رویشی بدست آمد که حاکی از اهمیت تولید زیست توده نهایی در این مرحله از رشد است. به نظرمی‌رسد که عملکرد دانه وابسته به ذخایر قبل از مرحله زایشی است که از طریق انتقال مجدد به دانه‌ها منتقل می‌شوند. گامبین و بوراس (Gambin and Borras, 2007) گزارش کردند که آگاهی از محدودیت‌های منبع یا مخزن در

www.SID.ir

عملکرد سورگوم در جهت برنامه ریزی فعالیت‌های کشاورزی و طراحی راهبردهای هدایتی اصلاحی حیاتی است و محدودیت عملکرد به علت ظرفیت منبع یا مخزن در طی چرخه رشد گیاه متفاوت است. توانایی یک مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی بستگی به ظرفیت مخزن دارد و ظرفیت مخزن شامل وزن دانه، تعداد دانه‌ها و اندازه دانه می‌باشد. در این آزمایش به نظر می‌رسد که انتقال مجدد مواد فتوسنتزی قبل از گرده افشانی و توزیع آنها به دانه‌ها در اثر تنش آبی افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که علیرغم اعمال تنش رطوبتی و با وجود کاهش عملکرد، انتقال مجدد در سورگوم نقش بسیار بارز و چشمگیری در تامین وزن نهایی دانه دارد (Beheshti and Behbodifard, 2010). کینیری و تیشلر (Kiniry and Tischler, 1992) و بیدینگر و همکاران (Bidinger *et al*., 1977) و بهشتی و بارویی (Beheshti and Baroyi, 2011) گزارش کردند که محدودیت رطوبتی در زمان پر شدن دانه‌ها باعث افزایش وابستگی گیاه به ذخایر ساقه قبل از گرده افشانی می‌شود، به طوریکه واریته‌هایی که مقدار بیشتری مواد فتوسنتزی برای انتقال داشتند، در شرایط خشکی از ذخایر ساقه بیشتر استفاده کرده و عملکرد دانه پایدارتری داشتند (Davidson and Chevalier, 1992).

به منظور شناسایی مهم‌ترین صفات زراعی موثر در روند تشکیل دانه و تبیین میزان تاثیر آنها در عملکرد دانه از رگرسیون گام به گام در شرایط بدون تنش، تنش در مراحل رویشی و زایشی استفاده شد (جدول ۷). با توجه به صفات تاثیر گذار بر عملکرد دانه، ضریب همبستگی چند گانه این صفات در شرایط بدون تنش ۸۶ درصد (R=۰/۸۶)، در شرایط تنش در مرحله رویشی ۷۵ درصد (R=۰/۷۵) و در شرایط تنش در مرحله زایشی ۵۶ درصد (R=۰/۵۶) از تغیرات عملکرد را توجیه کردند. با بررسی نتایج بدست آمده از تجزیه گام به گام و ستون‌های B و Beta در هر سه شرایط محیطی (بدون تنش، تنش در مرحله رویشی و زایشی) به ترتیب وزن خشک ساقه، تعداد دانه در خوشه و مساحت برگ پرچم بیشترین سهم صفات وارد شده در مدل را دارا بوده و نسبت به سایر صفات از اهمیت نسبی بیشتری برخوردار بودند. در نتیجه یک واحد انحراف معیار در صفات مذکور به ترتیب می‌تواند باعث ۱/۰۸۲-، ۰/۵۵ و ۰/۴۸۴- انحراف معیار در y شود. برگ پرچم نقش مهمی در پر شدن دانه‌ها دارد، زیرا نزدیک‌ترین منبع به مقصد بوده و مواد فتوسنتزی را به خوشه ارسال می‌کند.

جهت تفسیر بهتر نتایج بدست آمده از همبستگی‌های ساده و رگرسیون مرحله‌ای، اقدام به تجزیه علیت برای عملکرد دانه در سه شرایط بدون تنش، تنش در مرحله رویشی و تنش در مرحله زایشی در ۱۶ صفت مورد مطالعه با حذف شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک گردید. به دلیل تاثیر گذاری شاخص برداشت بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد، شاخص برداشت بعنوان صفت وابسته تلقی شد و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بعنوان صفات مستقل در نظر گرفته شدند (جدول۸). بیشترین اثر مستقیم تحت شرایط بدون تنش (۰/۹)، تنش در مرحله رویشی (۱/۰۸۷) و زایشی (۰/۷۹۴) توسط عملکرد دانه بر شاخص برداشت اعمال می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز با شاخص برداشت داشتند (جدول‌های ۶، ۷ و ۸).

با توجه به تاثیر صفات مختلف بر عملکرد دانه، بار دیگر تجزیه علیت با عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته در برابر سایر صفات بعنوان متغیر مستقل در محیط‌های بدون تنش، تنش در مرحله رویشی و تنش در مرحله زایشی صورت گرفت که نتایج آن به ترتیب در جدول‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

با بررسی اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات بر عملکرد دانه، بالاترین اثر مستقیم مثبت در شرایط بدون تنش، تنش در مرحله رویشی و زایشی به ترتیب مربوط

www.SID.ir

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات گیاهی ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط بدون تنش

Table 1. Analysis of variance for plant characteristic of grain sorghum genotypes in normal condition

منابع تغیر S.O.V	درجه آزادی d.f	پنجه زنی Tillering	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گلدهی Days to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	ارتفاع برگ پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Paniele weight	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه N. kernel/ panicle	وزن بذور در خوشه Grain weight r panicle^{-1}	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.02	15.47	7.95	3387	0.001**	2052.6*	0.001**	131.02	1.33	6.9	70.75	32.4	7.54	59931.2	200	13831	39846	3628800
ژنوتیپ genotype	12	0.09**	28.08*	2634.9**	155249**	222.00**	4313.1**	351.231**	2671.3**	4.80**	60.1*	4944.67**	2516.2**	81.21**	1918466.3**	26785**	156748**	149251**	18825279**
خطا Error	24	0.006	11.63	30.10	2994	0.001	406.6	0.001	42.62	1.19	5.04	27.88	61.09	5.09	147306.5	2071	7085	18446	2191822

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات گیاهی ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش در مرحله رویشی

Table 2. Analysis of variance for plant characteristic of grain sorghum genotypes in drought stress at vegetative growth stage

منابع تغیر S.O.V	درجه آزادی d.f	پنجه زنی Tillering	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گلدهی Days to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	ارتفاع برگ پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Paniele weight	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه N. kernel/ panicle	وزن بذور در خوشه Grain weight panicle^{-1}	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.14	11.5	71.08	564	0.001**	3712	0.001**	36.4	3.18*	1.39	23.7	12.2	15.60	104879.3	512	10407	17981	374195
ژنوتیپ genotype	12	0.02	26.2**	1570.1**	379285**	432.7**	5882	129.31**	1647.7**	1.42	31.5**	5993.6**	2646.3**	75.14**	4091457.6**	52636**	567815**	110670**	5651453**
خطا Error	24	0.09	7.9	33.18	1951	0.001	5084	0.001	55.7	0.71	6.34	112.2	22.6	5.93	51177.6	354	10252	6571	2617506

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات گیاهی ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش در مرحله زایشی

Table 3. Analysis of variance for grain plant characteristic of sorghum genotypes in drought stress at reproductive growth stage

منابع تغیر S.O.V	درجه آزادی d.f	پنجه زنی Tillering	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گلدهی Days to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	ارتفاع پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Panicle weight	وزن ۱۰۰۰دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه N. kernel/ panicle	وزن بذور در خوشه Grain weight panicle^{-1}	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.007	24.05*	75.25*	1580	0.001**	9054**	0.001**	43.28*	0.08	0.21	27.45	25.9	38.57**	187198	1603	25225	24341**	3368656*
ژنوتیپ genotype	12	0.04**	51.15**	3206.54**	486984**	243.58**	8817**	128.77**	3349.18**	2.86*	28.72*	8305.81**	2708.6**	65.08**	2742588**	70803**	551719**	50555**	6886455**
خطا Error	24	0.01	6.73	17.68	2256	0.001	1501	0.001	11.07	1.24	2.1	71.49	61.5	5.05	56730	668	7723	4279	822701

ns: Not significant

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

ns: غیر معنی دار

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده بین صفات گیاهی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط بدون تنش

Table 4. Simple correlation coefficients plant characteristic of grain sorghum genotype in normal condition

Traits صفات	درصد پنجه زنی Tillering (%)	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گل‌دهی Day to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Panicle weight	وزن هزار دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه No .kernel panicel^{-1}	وزن بذور در خوشه Grain weight panicel^{-1}	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
طول خوشه Panicle length	0.0																
ارتفاع بوته Plant height	0.23	-0.16															
وزن خشک ساقه Stem dry weight	-0.00	-0.27	0.72**														
روز تا گل‌دهی Day to flowering	-0.21	0.19	0.16	0.39*													
وزن خشک برگ Leaf dry weight	-0.20	0.09	-0.02	0.24	0.45**												
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiologic maturity	-0.27	-0.19	0.07	0.4	0.46**	0.44**											
فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	0.30	-0.26	0.94**	0.74**	0.16	-0.04	0.15										
تعداد برگ Leaf number	0.09	0.29	-0.2	-0.03	0.09	0.56**	0.14	-0.25									
قطر ساقه Stem diameter	0.02	0.16	-0.27	0.07	0.21	0.65**	0.27	-0.25	0.46								
مساحت برگ پرچم Flag leaf area	0.17	-0.13	-0.04	-0.38*	-0.57**	-0.37*	-0.41*	-0.07	-0.31	-0.25							
وزن خوشه Panicle weight	-0.14	0.01	-0.38*	-0.29	-0.12	-0.15	-0.08	-0.29	-0.30	-0.07	0.04						
وزن هزار دانه 1000 kernel weight	-0.09	0.33*	-0.43**	-0.13	0.10	0.32*	0.31	-0.44**	0.47**	0.57**	-0.47**	0.13					
تعداد دانه در خوشه No.kernel.panicel^{-1}	0.09	-0.21	-0.19	-0.19	0.18	0.14	-0.00	-0.13	-0.06	-0.07	0.22	-0.06	-0.52				
وزن بذور در خوشه Grain weight per panicle	0.05	0.06	-0.57**	-0.3	0.29	0.46**	0.30	-0.5**	0.35*	0.43**	-0.24	0.1	0.32*	0.63**			
عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.04	-0.22	0.40*	0.85**	0.56**	0.58**	0.58**	0. 46*	0.18	0.35*	-0.53**	-0.14	0.09	0.11	0.23		
شاخص برداشت Harvest index	-0.17	0.16	-0.07	-0.53**	-0.11	-0.17	-0.27	-0.12	-0.15	-0.34*	0.07	-0.05	-0.32*	0.21	-0.03	-0.56**	
عملکرد دانه Grain yield	-0.18	0.04	0.17	-0.12	0.21	0.16	0.05	0.15	-0.08	-0.21	-0.24	0.16	-0.36*	0.36*	0.14	-0.05	0.85**

ns: Not significant

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

ns: غیر معنی دار

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین صفات گیاهی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط در مرحله رویشی

Table 5. Simple correlation coefficients between plant characteristic of grain sorghum genotype in drought stress vegetative growth stage

Traits صفات	درصد پنجه زنی Tillering (%)	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گل‌دهی Day to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Panicle weight	وزن هزار دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه No. kernel.panicel^{-1}	وزن بذور در خوشه Grain weight panicel^{-1}	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
طول خوشه Panicle length	-0.17																
ارتفاع بوته Plant height	0.09	0.06															
وزن خشک ساقه Stem dry weight	0.10	-0.11	0.65**														
روز تا گل‌دهی Day to flowering	0.17	-0.14	0.39*	0.36*													
وزن خشک برگ Leaf dry weight	-0.14	0.07	0.34*	0.36*	0.14												
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiologic maturity	0.08	0.01	-0.14	0.09	0.66**	0.10											
فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	0.03	-0.13	0.85**	0.70**	0.24	0.26	-0.16										
تعداد برگ Leaf number	0.16	-0.01	0.12	0.45**	0.03	0.09	0.09	0.24									
قطر ساقه Stem diameter	0.17	0.12	-0.31	-0.03	0.18	0.14	0.55**	-0.38*	0.31								
مساحت برگ پرچم Flag leaf area	0.09	0.27	-0.35*	-0.48**	-0.46**	-0.33	-0.46**	-0.52**	-0.25	-0.11							
وزن خوشه Panicle weight	0.14	-0.30	0.14	0.59**	0.05	0.13	-0.11	0.14	0.43**	0.1	-0.15						
وزن هزار دانه 1000 kernel weight	0.01	0.30	-0.47**	-0.24	0.03	0.04	0.52**	-0.44**	-0.06	0.44**	-0.07	-0.32					
تعداد دانه در خوشه No. kernel.panicel^{-1}	-0.02	0.18	0.35*	0.34*	-0.08	-0.07	-0.36*	0.38*	0.04	-0.39*	0.35*	-0.12	-0.33				
وزن بذور در خوشه Grain weight per panicle	0.02	0.32*	0.14	0.18	-0.17	-0.12	-0.28	0.16	-0.04	-0.030	0.44**	-0.27	-0.01	0.93**			
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.07	0.01	0.63**	0.96**	0.27	0.43**	-0.01	0.66**	0.40*	-0.09	-0.32*	0.48**	-0.21	0.54**	0.40*		
شاخص برداشت Harvest index	-0.06	-0.30	-0.18	-0.40*	0.09	-0.51**	-0.09	-0.02	-0.24	-0.36*	0.06	-0.26	-0.16	-0.01	-0.03	-0.43**	
عملکرد دانه Grain yield	0.02	-0.22	0.40*	0.51**	0.24	-0.06	-0.14	0.57**	0.08	-0.38*	-0.12	0.18	-0.32*	0.6**	0.47**	0.56**	0.48**

ns: Not significant

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

ns: غیر معنی‌دار

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۶- ضرایب همبستگی ساده بین صفات گیاهی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط در مرحله زایشی

Table 6. Simple correlation coefficients between plant characteristic of grain sorghum genotype in drought stress reproductive growth stage

Traits صفات	درصد پنجه زنی Tillering (%)	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گل‌دهی Day to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiologic maturity	فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Panicle weight	وزن هزار دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه No. kernel .panicel^{-1}	وزن بذور در خوشه Grain weight panicel^{-1}	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
طول خوشه Panicle length	0.43**																
ارتفاع بوته Plant height	-0.21	-0.42**															
وزن خشک ساقه Stem dry weight	-0.11	-0.31	0.94**														
روز تا گل‌دهی Day to flowering	0.01	0.32*	0.17	0.25													
وزن خشک برگ Leaf dry weight	0.07	0.32*	0.14	0.20	0.67**												
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiologic maturity	-0.22	0.28	0.01	0.04	0.62**	0.45**											
فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	-0.22	-0.50**	0.96**	0.92**	0.18	0.13	0.07										
تعداد برگ Leaf number	-0.06	0.19	-0.15	-0.14	0.33*	0.26	0.41**	-0.18									
قطر ساقه Stem diameter	0.23	0.43**	-0.43**	-0.45**	0.02	0.43**	0.43**	-0.40*	0.34*								
مساحت برگ پرچم Flag leaf area	0.32*	0.21	-0.56**	0.48**	-0.41**	-0.47**	-0.18	-0.46**	-0.04	0.27							
وزن خوشه Panicle weight	0.38*	0.17	0.25	0.45**	0.25	0.15	-0.21	0.31	-0.04	-0.23	0.15						
وزن هزار دانه 1000 kernel weight	-0.23	0.01	-0.31	-0.32	-0.03	0.28	0.25	-0.23	0.18	0.25	0.04	-0.24					
تعداد دانه در خوشه No. kernel.panicel^{-1}	0.25	0.30	-0.33*	-0.18	0.30	0.17	-0.10	-0.35*	0.13	0.18	0.09	0.47**	-0.12				
وزن بذور در خوشه Grain weight per panicle	0.10	0.28	-0.41**	-0.28	0.29	0.34*	0.07	-0.39*	0.20	0.33*	0.06	0.30	0.40*	0.85**			
عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.03	-0.12	0.77**	0.99**	0.45**	0.47**	0.12	0.76**	-0.02	-0.28	-0.48**	0.62**	-0.12	0.20	0.17		
شاخص برداشت Harvest index	0.14	0.30	-0.49**	-0.55**	-0.10	-0.03	0.04	-0.50**	0.09	0.22	0.04	-0.41**	0.20	-0.26	-0.15	-0.60**	
عملکرد دانه Grain yield	0.16	0.29	-0.01	0.02	0.31	0.40*	0.19	-0.03	0.13	0.07	-0.42**	-0.05	0.15	-0.08	0.02	0.08	0.74**

ns: Not significant

ns: غیر معنی دار

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

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷- رگرسیون گام به گام عملکرد با سایرصفات در ۱۳ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مراحل رویشی و زایشی

Table 7. Stepwise regression between yield and other traits in 13 grain sorghum genotypes in normal condition and drought stress at vegetative and reproductive growth stages

تیمارهای آزمایشی Treatments	صفات وارد شده در مدل Variables entered in model	R	R^2	B	t	Beta
بدون تنش Normal	تعداد دانه در خوشه No.kernel.panicel^{-1}	0.362	0.131	0.733	2.90**	0.224
	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	0.485	0.235	-54.99	-6.629**	-0.798
	وزن هزار دانه 1000 kernel weight	0.608	0.370	-397367.2	-6.408**	-0.784
	وزن خشک ساقه Stem dry weight	0.732	0.536	-13.127	-6.589**	-1.082
	ارتفاع بوته Plant height	0.784	0.614	53.102	3.708^{*v}	0.565
	وزن خشک برگ Leaf dry weight	0.837	0.701	17.885	2.580*	0.271
	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to maturity	0.859	0.738	79.156	2.127*	0.242
عرض از مبداء Constant				22257.736		
رویشی Vegetative	تعداد دانه در خوشه No.kernel.panicel^{-1}	0.680	0.46	0.855	4.645**	0.554
	ارتفاع برگ پرچم از زمین Flag leaf height	0.748	0.56	25.335	2.817**	0.336
عرض از مبداء Constant				-376.296		
زایشی Reproductive	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	0.399	0.16	-16.376	-3.425**	-0.484
	طول خوشه Panicle length	0.560	0.314	150.860	2.843**	0.401
عرض از مبداء Constant				5016.612		

به صفات وزن بذور در خوشه (۱/۲۱)، تعداد دانه در خوشه (۰/۹۱) و وزن خشک ساقه (۰/۶۲) بود. این صفات بیشترین تاثیر خود را به صورت مثبت به ترتیب از طریق اثر غیر مستقیم تعداد دانه در خوشه، وزن بذور در خوشه و ارتفاع بوته بر عملکرد دانه اعمال کرده و سبب افزایش آن شدند. اثر غیر مستقیم منفی برخی صفات مانند ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش و مساحت برگ پرچم در شرایط تنش در مرحله زایشی باعث شد همبستگی وزن بذور در خوشه و وزن خشک ساقه با عملکرد دانه غیر معنی‌دار گردد. بالا بودن اثر غیر مستقیم وزن بذور در خوشه از طریق تعداد دانه در خوشه بر عملکرد دانه که در شرایط بدون تنش در این آزمایش حاصل شد، در تحقیقات زیادی تایید شده است. سولانکی و بخشی (Solanki and Bakhshi, 1973)، گارسیادیل مورال و همکاران (Garci Del Moral *et al.*, 1991) و آقایی و همکاران (Aghai *et al.*, 1996) نیز اثر غیر مستقیم وزن دانه در سنبله گندم را از طریق تعداد دانه در سنبله روی عملکرد دانه با اهمیت گزارش کردند. فتحی و رضایی مقدم (Fathi and Rezaei Moghaddam, 2000) بالا بودن اثر مستقیم تعداد

www.SID.ir

جدول ۸- تجزیه همبستگی برای تعیین اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات t_1 (عملکرد بیولوژیک) و t_2 (عملکرد دانه) شاخص برداشت در ۱۳ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مراحل رویشی و زایشی

Table 8. Partitioning of correlation to direct and indirect effects t_1(Biological yield) and t_2 (Grain yield) for harvest index in 13 grain sorghum genotype in normal condition and drought stress at vegetative and reproductive growth stages

تیمارهای آزمایشی Treatment	صفات Trait	ضریب همبستگی با شاخص برداشت Correlation coefficient with harvest index	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم کل Total indirect effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via	
					عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
بدون تنش	t_1	-0.553**	0.59	-0.037		-0.037
Normal	t_2	0.848**	0.84	-0.008	-0.008	
اثر باقیمانده Residual effect			-0.069			
رویشی	t_1	-0.431**	-1.007	0.576		0.576
Vegetative	t_2	0.475**	1.034	-0.559	-0.559	
اثر باقیمانده Residual effect			0.273			
زایشی	t_1	-0.599**	-0.66	0.061		0.061
Reproductive	t_2	0.735**	0.79	-0.055	-0.055	
اثر باقیمانده Residual effect Residue effect			0.159			

ns: Not significant

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

ns: غیر معنی‌دار

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۹- تجزیه همبستگی برای تعیین اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات گیاهی بر عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط بدون تنش

Table 9. Partitioning of correlation to direct and indirect effects for plant characteristic of grain sorghum genotypes yield in normal condition

Traits صفات	ضریب همبستگی با عملکرد دانه Correlation coefficient with grain yield	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم کل Total indirect effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via														
				درصد پنجه زنی Tillering (%)	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گلدهی Days to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day to physiologic maturity	فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Panicle weight	وزن هزار دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه No. kernel .panicel^{-1}	وزن بذور در خوشه Grain weight panicel^{-1}
درصد پنجه‌زنی Tillering(%)	-0.1760	-0.3384	0.1624	—	-0.0497	-0.0778	0.0014	0.0721	0.0684	0.0920	-0.1022	-0.0288	-0.0064	-0.0558	0.0453	0.0305	-0.0308	-0.0152
طول خوشه Panicle length	0.0350	-0.1164	0.1513	-0.0055	—	0.0185	0.0313	-0.0221	-0.0102	0.0220	0.0297	-0.0341	-0.0185	0.0152	-0.0008	-0.0383	0.0242	-0.0067
ارتفاع بوته Plant height	0.1650	0.5905	-0.4255	0.1358	-0.0939	—	0.4228	0.0951	-0.0094	0.0378	0.5539	-0.1151	-0.1565	-0.0218	-0.2262	-0.2521	-0.1092	-0.3360
وزن خشک ساقه Stem dry weight	-0.1150	-1.1455	1.0305	0.0046	0.4009	-0.8202	—	-0.4399	-0.2680	-0.4570	-0.8408	0.0367	-0.0790	0.4376	0.3265	0.1432	0.2154	0.3436
روز تا گلدهی Days to flowering	0.2110	-0.0994	0.3104	0.0212	-0.0557	-0.0160	-0.0382	—	-0.0445	-0.0454	-0.0160	-0.0092	-0.0210	0.0569	0.0120	-0.0102	-0.0175	-0.0291
وزن خشک برگ Leaf dry weight	0.1560	0.1870	-0.0310	-0.0378	0.0185	-0.0030	0.0438	0.0838	—	0.0819	-0.0067	0.1047	0.1118	-0.0688	-0.0281	0.0602	0.0267	0.0864
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiologic maturity	0.0460	0.0441	0.0020	-0.0120	-0.0083	0.0028	0.0176	0.0202	0.0193	—	0.0064	0.0060	0.0120	-0.0178	-0.0036	0.0135	0.0000	0.0133
فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	0.1520	0.2370	-0.0850	0.0716	-0.0604	0.2223	0.1740	0.0382	-0.0085	0.0344	—	-0.0590	-0.0578	-0.0159	-0.0673	-0.1038	-0.0296	-0.1185
تعداد برگ Leaf number	-0.0840	-0.1164	0.0324	-0.0099	-0.0341	0.0227	0.0037	-0.0108	-0.0652	-0.0158	0.0290	—	-0.0496	0.0356	0.0354	-0.0547	0.0073	-0.0408
قطر ساقه Stem diameter	-0.2030	0.0980	-0.3010	0.0019	0.0156	-0.0260	0.0068	0.0207	0.0586	0.0265	-0.0239	0.0417	—	-0.0250	-0.0068	0.0554	-0.0066	0.0421
مساحت برگ پرچم Flag leaf area	-0.2360	-0.7318	0.4958	-0.1207	0.0951	0.0271	0.2795	0.4186	0.2693	0.2949	0.0490	0.2239	0.1866	—	-0.0300	0.3417	-0.1588	0.1720
وزن خوشه Panicle weight	-0.1560	-0.2111	0.0551	0.0283	-0.0317	0.0809	0.0602	0.0255	0.0317	0.0171	0.0600	0.0642	0.0146	-0.0087	—	-0.0262	0.0118	-0.0209
وزن هزار دانه 1000 kernel weight	-0.3550*	-1.4629	1.1081	0.1302	-0.4813	0.6247	0.1829	-0.1507	-0.4711	-0.4491	0.6408	-0.6876	-0.8265	0.6832	-0.1814	—	0.7622	-0.4637
تعداد دانه در خوشه No.kernel.panicel^{-1}	0.3620*	-1.0909	1.4529	-0.0993	0.3654	0.2018	0.2051	-0.1920	-0.1560	0.0001	0.1364	0.0687	0.0731	-0.2367	0.0611	0.5683	—	-0.6883
وزن بذور در خوشه Grain weight per panicle	0.1390	1.2009	-1.0619	0.0540	0.0709	-0.6833	-0.3603	0.3519	0.5548	0.3627	-0.6004	0.4203	0.5164	-0.2822	0.1189	0.3807	0.7577	—

اثر باقیمانده: Residual: 0.4269

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰- تجزیه همبستگی برای تعیین اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات گیاهی بر عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش در مرحله رویشی

Table 10. Partitioning of correlation to direct and indirect effects for plant characteristic of grain sorghum genotypes yield in drought stress at vegetative growth stage

Traits صفات	ضریب همبستگی با عملکرد دانه Correlation coefficient with grain yield	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم کل Total indirect effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via: درصد پنجه زنی Tillering (%)	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گلدهی Days to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day to physiologic maturity	فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Panicle weight	وزن هزار دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه No. kernel .panicel^{-1}	وزن بذور در خوشه Grain weight panicel^{-1}
درصد پنجه‌زنی Tillering(%)	0.0210	-0.0586	0.0796	—	0.0098	-0.0051	-0.0060	-0.0096	0.0079	-0.0047	-0.0020	-0.0092	-0.0101	-0.0051	-0.0083	-0.0058	0.0013	-0.0009
طول خوشه Panicle length	-0.2140	-0.0999	-0.1141	0.0167	—	-0.0055	0.0105	0.0139	-0.0066	-0.0009	0.0132	0.0012	-0.0115	-0.0271	0.0295	-0.0296	-0.0178	-0.0318
ارتفاع بوته Plant height	0.4030*	-0.4096	0.8126	-0.0356	-0.0225	—	-0.2650	-0.1581	-0.1401	0.0577	-0.3457	-0.0475	0.1261	0.1417	-0.0569	0.1933	-0.1450	-0.0573
وزن خشک ساقه Stem dry weight	0.5130**	-0.3132	0.8262	-0.0320	0.0329	-0.2027	—	-0.1128	-0.1137	-0.0282	-0.2177	-0.1419	0.0100	0.1491	-0.1845	0.0736	-0.1071	-0.0545
روز تا گلدهی Days to flowering	0.2400	0.4057	-0.1657	0.0665	-0.0564	0.1566	0.1461	—	0.0576	0.2666	0.0966	0.0101	0.0714	-0.1879	0.0215	0.0110	-0.0308	-0.0690
وزن خشک برگ Leaf dry weight	-0.0590	-0.0731	0.0141	0.0099	-0.0048	-0.0250	-0.0265	-0.0104	—	-0.0075	-0.0188	-0.0063	-0.0103	0.0241	-0.0091	-0.0031	0.0051	0.0085
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiologic maturity	-0.1400	-0.1125	-0.0275	-0.0091	-0.0010	0.0159	-0.0101	-0.0739	-0.0116	—	0.0180	-0.0096	-0.0620	0.0518	0.0124	-0.0578	0.0399	0.0313
فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	0.5670**	0.7484	-0.1814	0.0254	-0.0988	0.6316	0.5201	0.1781	0.1923	-0.1197	—	0.1804	-0.2814	-0.3906	0.1070	-0.3225	0.2814	0.1227
تعداد برگ Leaf number	0.0830	-0.1084	0.1914	-0.0170	0.0013	-0.0126	-0.0491	-0.0027	-0.0093	-0.0092	-0.0261	—	-0.0336	0.0268	-0.0465	0.0060	-0.0038	0.0038
قطر ساقه Stem diameter	-0.3760*	-0.0625	-0.3135	-0.0108	-0.0072	0.0193	0.0020	-0.0110	-0.0088	-0.0344	0.0235	-0.0194	—	0.0068	-0.0063	-0.0275	0.0241	0.0189
مساحت برگ پرچم Flag leaf area	-0.1170	-0.0503	-0.0667	-0.0044	-0.0136	0.0174	0.0239	0.0233	0.0166	0.0231	0.0263	0.0124	0.0054	—	0.0077	0.0032	-0.0178	-0.0220
وزن خوشه Panicle weight	0.1790	0.4613	-0.2823	0.0655	-0.1361	0.0641	0.2717	0.0245	0.0577	-0.0507	0.0660	0.1979	0.0461	-0.0706	—	-0.1467	-0.0567	-0.1236
وزن هزار دانه 1000 kernel weight	-0.3210*	0.2865	-0.6075	0.0284	0.0848	-0.1352	-0.0673	0.0077	0.0120	0.1473	-0.1235	-0.0158	0.1261	-0.0183	-0.0911	—	-0.0954	-0.0020
تعداد دانه در خوشه No.kernel.panicel^{-1}	0.5970**	0.9099	-0.3106	-0.0209	0.1620	0.3221	0.3112	-0.0691	-0.0637	-0.3230	0.3421	0.0318	-0.3512	0.3212	-0.1119	-0.3030	—	0.8453
وزن بذور در خوشه Grain weight per panicle	0.4670**	-0.2025	0.6695	-0.0030	-0.0644	-0.0283	-0.0352	0.0344	0.0237	0.0563	-0.0332	0.0071	0.0613	-0.0885	0.0543	0.0014	-0.1881	—

اثر باقیمانده: Residual: 0.4269

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۱- تجزیه همبستگی برای تعیین اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات گیاهی بر عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش در مرحله زایشی

Table 11. Partitioning of correlation to direct and indirect effects for plant characteristic of grain sorghum genotypes yield in drought stress at reproductive growth stage

Traits صفات	ضریب همبستگی با عملکرد دانه Correlation coefficient with grain yield	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم کل Total indirect effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via														
				درصد پنجه زنی Till ering (%)	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	روز تا گلدهی Days to flowering	وزن خشک برگ Leaf dry weight	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day to physiologic maturity	فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	تعداد برگ No. of leaf	قطر ساقه Stem diameter	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	وزن خوشه Panicle weight	وزن هزار دانه 1000 kernel weight	تعداد دانه در خوشه No. kernel .panicel^{-1}	وزن بذور در خوشه Grain weight panicel^{-1}
درصد پنجه‌زنی Tillering(%)	0.1580	0.1767	-0.0187	—	0.0751	-0.0368	-0.0186	0.0021	0.0118	-0.0380	-0.0387	-0.0097	0.0412	0.0564	0.0672	-0.0405	0.0431	0.0175
طول خوشه Panicle length	0.2860	0.2115	0.0746	0.0899	—	-0.0878	-0.0645	0.0679	0.0672	0.0598	-0.0954	0.0391	0.0916	0.0444	0.0355	0.0011	0.0626	0.0592
ارتفاع بوته Plant height	-0.0040	-1.2312	1.2272	0.2561	0.5110	—	-1.1610	-0.2032	-0.1687	-0.0098	-1.1820	0.1896	0.5257	0.6858	-0.3053	0.3792	0.4100	0.5036
وزن خشک ساقه Stem dry weight	0.0170	0.6159	-0.5989	-0.0647	-0.1878	0.5808	—	0.1503	0.1250	0.0246	0.5679	-0.0850	-0.2747	-0.2938	0.2772	-0.1940	-0.1115	-0.1737
روز تا گلدهی Days to flowering	0.3090	0.2942	0.0148	0.0035	0.0944	0.0485	0.0718	—	0.1962	0.1827	0.0527	0.0962	0.0056	-0.1215	0.0732	-0.0100	0.0885	0.0853
وزن خشک برگ Leaf dry weight	0.3920	-0.1666	0.5586	-0.0112	-0.0530	-0.0228	-0.0338	-0.1111	—	-0.0753	-0.0215	-0.0430	-0.0361	0.0773	-0.0241	-0.0458	-0.0290	-0.0566
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiologic maturity	0.1850	-0.2920	0.4770	0.0628	-0.0826	-0.0023	-0.0117	-0.1813	-0.1320	—	-0.0196	-0.1188	-0.1247	0.0514	0.0607	-0.0712	0.0295	-0.0196
فاصله برگ پرچم از زمین Flag leaf height	-0.0290	0.1739	-0.2029	-0.0381	-0.0784	0.1670	0.1603	0.0311	0.0224	0.0117	—	-0.0313	-0.0690	-0.0802	0.0530	-0.0395	-0.0614	-0.0673
تعداد برگ Leaf number	0.1320	0.0372	0.0948	-0.0020	0.0069	-0.0057	-0.0051	0.0122	0.0096	0.0151	-0.0067	—	0.0125	-0.0015	-0.0015	0.0067	0.0048	0.0075
قطر ساقه Stem diameter	0.0650	0.2405	-0.1755	0.0560	0.1042	-0.1027	-0.1073	0.0046	0.0522	0.1027	-0.0955	0.0811	—	0.0659	-0.0563	0.0611	0.0423	0.0799
مساحت برگ پرچم Flag leaf area	-0.4170	-0.8777	0.4607	-0.2800	-0.1843	0.4889	0.4187	0.3625	0.4073	0.1545	0.4046	0.0360	-0.2405	—	-0.1317	-0.0377	-0.0816	-0.0509
وزن خوشه Panicle weight	-0.0520	0.1874	-0.2394	0.0712	0.0315	0.0465	0.0843	0.0467	0.0272	-0.0390	0.0572	-0.0075	-0.0439	0.0281	—	-0.0444	0.0879	0.0568
وزن هزار دانه 1000 kernel weight	0.1460	0.0624	0.0836	-0.0143	0.0003	-0.0192	-0.0197	-0.0021	0.0172	0.0152	-0.0142	0.0113	0.0159	0.0027	-0.0148	—	-0.0073	0.0250
تعداد دانه در خوشه No.kernel.panicel^{-1}	-0.0810	-0.6498	0.5688	-0.1585	-0.1923	0.2164	0.1176	-0.1956	-0.1131	0.0656	0.2294	-0.0845	-0.1144	-0.0604	-0.3047	0.0760	—	-0.5549
وزن بذور در خوشه Grain weight per panicle	0.0180	0.1063	-0.0882	0.0105	0.0298	-0.0435	-0.0300	0.0308	0.0361	0.0071	-0.0411	0.0214	0.0353	0.0062	0.0322	0.0426	0.0907	—

اثر باقیمانده: Residual: 0.6994

Archive of SID

www.SID.ir

دانه در سنبله را در جو گزارش کردند. همچنین مبصر و همکاران (Mobser *et al.*, 1798) نیز اثر مستقیم تعداد دانه در سنبله را مهم‌ترین جزء موثر بر عملکرد دانه جو تشخیص دادند. در میان صفات مورد مطالعه در شرایط بدون تنش، وزن هزار دانه و در شرایط تنش در مرحله رویشی و زایشی، ارتفاع بوته دارای بیشترین اثر مستقیم منفی بر عملکرد دانه بودند که بیشترین تاثیر منفی خود را بر عملکرد دانه از طریق قطر ساقه و فاصله برگ پرچم از زمین اعمال کردند. در عین حال با توجه به مثبت بودن اثرات غیر مستقیم کل نتیجه گرفته می‌شود که این صفات از طریق سایر صفات سبب افزایش عملکرد دانه و معنی دار شدن همبستگی آنها در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله زایشی با عملکرد دانه می‌شوند.

بر اساس نتایج بدست آمده از این آزمایش و در یک جمعبندی کلی بنظر می‌رسد که در صورت مواجهه با شرایط محدودیت رطوبتی در طول دوره رشد سورگوم (یکی از مراحل فنولوژیک) که با توجه به شرایط خشک ونیمه خشک اقلیمی در کشور در سال‌های مکرر حادث شده و دور از انتظار نیست، ارزیابی تنوع موجود و وجود اختلافات ژنتیکی در صفات مورفوفیزیولوژیک موثر و مرتبط با عملکرد در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای و شناخت واکنش این صفات در شرایط تنش رطوبتی، گامی موثر در برنامه‌های بهبود ژنتیکی عملکرد و اصلاح این گیاه می‌تواند باشد. نتایج آزمایش حاضر حاکی از تنوع و وجود اختلافات ژنتیکی در این صفات و گروه بندی متفاوت ارقام و ژنوتیپ‌های سورگوم در واکنش به تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژیکی بود. با بررسی نتایج بدست آمده از تجزیه رگرسیون گام به گام در هر سه شرایط محیطی (بدون تنش، تنش در مرحله رویشی و زایشی) به ترتیب وزن خشک ساقه، تعداد دانه در خوشه و مساحت برگ پرچم بیشترین سهم صفات وارد شده در مدل را دارا بوده و نسبت به دیگر صفات از اهمیت نسبی بیشتری برخوردار بودند و یک واحد انحراف معیار در صفات مذکور به ترتیب می‌تواند باعث ۱/۰۸۲-، ۰/۵۵ و ۰/۴۸۴- انحراف معیار در y شود. صفاتی مانند تعداد دانه در خوشه، وزن خشک برگ، وزن بذور در خوشه، ارتفاع بوته و فاصله برگ پرچم از زمین با تاثیر غیر مستقیم بر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله رویشی و زایشی در افزایش آن موثر بودند. آگاهی از ظرفیت ارقام سورگوم از نظر میزان تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط مطلوب (بدون تنش) و مقایسه آن با شرایط تنش رطوبتی به انتخاب ارقام جدید برای چنین مناطقی به عنوان یک صفت موثر در افزایش شاخص برداشت در ارقام سورگوم دانه‌ای کمک خواهد نمود.

منابع مورد استفاده

References

Abdulai, A. L., F. Asch and N. Vande Giesen. 2008. Physiological and morphological responses of *Sorghum bicolor* to static and dynamic drought conditions. Rural poverty reduction through research for development. Deutcher Trepentag, Berlin.

Adams, P. D. and D. B. Weaver. 1998. Brachytic stem traits, row spacing and plant population effects on soybean yield. Crop Sci. 38: 750-755.

Acquah, G. M., W. Adamas and J. D. Kelly. 1992. A factor analysis of plant variables associated with architectur and seed size in dry bean. Euphytica, 60: 171-177.

Aghai, M., M. Moghadam, M. Valizadeh, H. Kazami ARbat and A. Banaiy KHasrai. 1996. Stability

www.SID.ir

analysis and path analysis of grain yield in some of spring barely cultivars. J. Sci. Agric. 19 (1 and 2): 82-59. (In Persian with English abstract).

Ali, N., F. Javadifar, J. Yazdi Elmira and M. Y. Mirza. 2003. Relationship among yield components and selection caritеria for yield improvement in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Pakistan J. Bot. 35(2): 167-174.

Amarantath, K. C., S. R. Viswantaha and B. C. Chemnna Keshabera. 1990. Phenotypic and genotypic correlation coefficient analysis for some quantitative characters in soybean. Mysor J. Agric. Sci. 24(3): 445-449.

Araus, J. L., G. A. Slafer, M. P. Reynold, and C. Royo. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? Annal. Bot. 89: 925-940.

Beheshti., A. R. and Z. Baroyi. 2010. Yield associations with morpho-physiological traits on drought stress in grain sorghum genotypes. Iran. J. Field Crops Res. 8(3). 559-568.

Beheshti, A. R. and B. Behboodi Fard. 2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* l. Moench) under drought stress. Austr. J. Crop Sci. 4(3): 185- 189.

Bidinger, F. R., R. B. Musgrave and R. A. Fisher. 1977. Contribution of stored pre-anthesis to grain yield in wheat and barely. Nature, 270: 431-433.

Blum, A. 1996. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve utilization. Euphytica, 100: 77-83.

Craufurda P. Q. and J. M. Peacock. 1993. Effect of heat and drought stress on sorghum (*Sorghum bicolor*). II. Grain yield. Exp. Agric. 29: 77-86. http://journals.cambridge.org.

Davidson, D. J. and R. M. Chevalier. 1992. Storage and remobilization of water-soluble carbohydrates in stem of spring wheat. Crop Sci. 32: 186-190.

Debaeke, P. and A. Abdellah. 2004. Adaptation of crop management to water limited environments. Eur. J. Agron. 21: 433-446.

Fathi, H., K. Rezaei Moghaddam. 2000. Path analysis of grain yield and yield components for some barley cultivars in Ahvaz region. J. Agric. Sci Thchnol.. 14 (1): 38-48. (In Persian with English abstract).

Gambin, B. L. and L. Borras. 2007. Plasticity of sorghum kernel weight to increased assimilate availability. Field Crops Res. 100: 272-284.

Garcia Del Moral, L. F., J. M. Ramos, M. B. Garcia Del Moral and M. P. Jimenez- Tejada. 1991. Ontogentic approach to grain production analysis. Crop Sci. 31: 1179-1185.

Hammer, G. L, and I. J. Broad. 2003. Genotype and environment effects on dynamics of harvest index during grain filling in sorghum . Agronomy Journal. 95(1): 199-206.

Houerou, L. 1996. Climate change, drought and desertification. J. Arid. Environ. 34: 133-185.

Kiniry, J. R. and C. R. Tischler. 1992. Nonstructural carbohydrate utilization by sorghum and maize shaded during grain growth. Crop Sci. 32: 131-137.

Archive of SID

www.SID.ir

Kumar, J., H. Singh, T. Singh, D. S. Tonk and R. Lal. 2002. Correlation and path coefficient analysis of yield and its component in summer moon (*Vigna radiate* L. Wilczek). Crop Res. 24: 374-377.

Kumudini, S., D. J. Hume and G. Chu. 2002. Genetic improvement in short-season soybeans: II. Nitrogen accumulation, remobilization, and partitioning. Crop Sci. 42: 141-145.

Mobser, S., H. Normohamadi, A. Kashani and M. Moghaddam. 1997. Study of correlation between yield and some on morphological characters of barely by path coefficient analysis. 4th Iranian Crop Science Congress. Industrial University of Isfahan. 279. 25-28 Aug. (In Persian).

Rebetzke, G. J., R. A. Richards, A. G. Condonl and G. D. Farquhar. 2006. Inheritance of carbon isotope discrimination in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica, 14: 324-341.

Royo, C. and R. Blanco. 1999. Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticale. Field Crops Res. 59: 201-212.

Smith, C. W. and R. A. Fredriksen. 2000. Sorghum: Origin, History, Technology and Production. John Wiley & Sons Inc.

Solanki, K. B. and J. S. Bakhshi. 1973. Correlation and path-coefficient analysis in barley (*H. vulgare* L.) Indian. J. Genet. 3: 201-203.

Srivastava, J. P., E. A. Cevedo and S. Varma. 1987. Drought Tolerance in Winter Cereal. John Wiley Pub., USA.

Takeda, S. and M. Matsuoka. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population change. Nature, 9: 444-457.

Archive of SID

www.SID.ir

Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes under drought stress conditions

Sarvari, S. M. and S. A. Beheshti

ABSTRACT

Sarvari, S. M. and S. A. Beheshti. 2012. Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes in the normal and drought stress conditions. **Iranian Journal of Crop Sciences. 14(2):183-201. (In Persian).**

This experiment was conducted with 13 grain sorghum genotypes in three different moisture conditions including: non-stress and two water deficit conditions (in vegetative and reproductive stages) using randomized complete block design with three replications. In the non-stress experiment, irrigation applied according to the plant requirement, and for two experiments: (1) drought stress imposed in vegetative stage (since four leaves up to flowering stage) and (2) drought stress imposed in reproductive stage (since flowering up to maturity). Analysis of variance showed significant differences among genotypes in all traits in three conditions. Positive and significant correlations of grain yield with harvest index and grain.panicle^{-1} were obtained in non-stress conditions. There were positive and significant correlation of grain yield with flag leaf height, plant height, harvest index and biological yield in drought stress in the vegetative stage as well as with harvest index and days to flowering in drought stress in the reproductive stage. Results of multiple linear regression analysis (MLRA) revealed that in non-stress conditions grain.panicle^{-1}, flag leaf area, 1000 kernel weight, stem dry weight, plant height, leaf dry weight and days to maturity, in drought stress in vegetative stage conditions, grain.panicle^{-1} and flag leaf height, and in drought stress in reproductive stage conditions, flag leaf area and panicle height were determined as independent variables that explained variations in grain yield as dependent variable in the models. Plant characteristics in non-stress conditions, vegetative and reproductive drought stress conditions explained grain yield variation with r= 0.86, r= 0.75 and r= 0.56 coefficient of determination, respectively. Also path analysis for grain yield indicted that grain weight.panicle^{-1}, grain.panicle^{-1} and stem dry weight had the highest direct effect in non-stress conditions, vegetative and reproductive drought stress conditions, respectively. These characteristics had the highest indirect effect through grain.panicle^{-1}, grain weight.panicle^{-1}, stem diameter, flag leaf area and plant height on increasing yield.

Key words: Multiple linear regression, Path analysis, Reproductive growth stage and Vegetative growth stage

Received: January, 2011 Accepted: October, 2011

1- M.Sc. Graduated student, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Assistance Prof., Agricultural and Ntaural Rseasource Research Center of Khorasan-e-Razavi province, Mashhad, Iran (Corresponding author) (Email: arbeheshti81@yahoo.com)

Archive of SID
www.SID.ir