فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و یکم/ شمارهٔ اول/ صفحات ۱۳۵-۱۴۶/ بهار و تابستان ۱۴۰۰
DOI: 10.22084/PPT.2021.21704.1994

روابط بین برخی صفات ریخت‌شناسی با وزن خشک دانه و بوته در ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Relationships between some Morphological Traits with Grain and Plant Dry Weight in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes

جده اسفندیاری[۱] و محمدحسین فتوکیان[۲*]

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۹
(مقاله پژوهشی)

چکیده

کینوا گیاهی است که عموماً به خاطر دانه خوراکی آن کشت می‌شود ولی به‌عنوان علوفه نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد. به‌منظور مطالعه ارتباط بین ۲۱ صفت ریخت‌شناسی در ۷۰ ژنوتیپ کینوا، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس چندگانه نشان از تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه بود. میانگین مربعات برای صفات وزن‌تر ساقه، تعداد برگ۱ (۵۴ روز بعد از کشت بذر)، وزن خشک برگ، وزن هزاردانه، تعداد برگ۲ (زمان برداشت) و ارتفاع بوته۲ (زمان برداشت)، و محتوی کلروفیل برگ۱ (۵۴ روز بعد از کشت بذر) معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن نشان داد که ژنوتیپ G117 دارای بیش‌ترین وزن‌تر ساقه (۳۳/۳۵ گرم)، تعداد برگ۱ (۷۴/۱۶ عدد) و وزن خشک برگ (۵/۶۲ گرم) بود. بیش‌ترین وزن هزاردانه در ژنوتیپ G83 با ۲/۷۰ گرم برآورد شد. بر اساس نتایج تجزیه علیت، بیش‌ترین اثر مستقیم را وزن خشک خوشه بر وزن خشک برگ و وزن خشک دانه داشت. نتایج تجزیه علیت با استفاده از داده‌های خام (با تکرار) و میانگین داده (میانگین تکرارها) متفاوت بود. در هر دو حالت فوق وزن خشک خوشه دارای بیش‌ترین اثر مستقیم بر وزن خشک دانه و وزن خشک بوته داشت. با توجه به متوسط صفات مرتبط با عملکرد دانه و برگ، ژنوتیپ G117 به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه علیت، خوشه، رگرسیون گام‌به‌گام، مقایسه میانگین دانکن، هم‌راستایی

۱ و ۲. به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران
*: نویسنده مسئول Email: fotokian@shahed.ac.ir

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول به راهنمایی محمدحسین فتوکیان می‌باشد.

مقدمه

کینوا[1] گیاهی دولپه‌ای، آلوتتراپلوئید (2n=4X=36)، از خانواده آمارانتاسه، سه کربنه و هالوفیت اختیاری است که جزو شبه غلات دسته‌بندی می‌شود (*آدولف*[2] و همکاران، 2012). این گیاه خودگرده‌افشان است و گاهی اوقات ۱۰ تا ۱۵ درصد دگرگرده افشانی دارد (*گومز پاندو*[3] و همکاران، 2010). پروتئین کینوا ۲۲-۸ درصد با کیفیت و تعادل مناسب از اسیدهای آمینه ضروری است. بذور کینوا دارای میزان بالایی از کلسیم، روی، آهن، مس و منیزیم بوده و عاری از گلوتن است و برای افراد دارای بیماری سیلیاک غذای مناسبی است. با توجه به تغییرات اقلیمی (گرم شدن کره زمین و مشکل شوری و خشکی) در بعد جهانی و کاهش قابل‌توجه عملکرد گیاهان غذایی مهم، بهترین راهکار سازگاری با شرایط موجود از طریق معرفی گیاهان متحمل به شوری و خشکی و سازگار به تغییرات اقلیمی مانند کینوا است. با توجه به نقش بالقوه این گیاه در بهبود امنیت غذایی در آینده و تحمل بالا به تنش‌های شوری و خشکی، سازمان خواربار جهانی سال ۲۰۱۳ را به نام این گیاه نام‌گذاری کرد. تعداد نمونه‌های کینوا و خویشاوندان وحشی آن ۱۶۴۲۲ توده گزارش شده است که در ۵۹ بانک ژن در ۳۰ کشور نگهداری می‌شود. با توجه به سازگاری وسیع به عوامل مختلف اقلیمی، این گیاه به‌عنوان یک گیاه مناسب تغییر اقلیم و متحمل به تنش‌های محیطی موردتوجه قرار گرفته است (صالحی و دهقانی، ۱۳۹۷).

کینوا در سال ۲۰۱۸ در سطحی معادل ۱۷۸۳۱۳ هکتار در دنیا کشت گردید (*فائواستیت*[4]، 2019). گزارشی از سطح زیر کشت این گیاه در ایران در بخش آمار سازمان خواربار و کشاورزی (FAO) ثبت نشده است. اولین بار این گیاه در ایران در سال ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر-کرج کشت شد (سپهوند، ۱۳۹۲). گرچه اهمیت کینوا به دلیل استفاده از دانه آن در تغذیه انسان است ولی با توجه به قابلیت هضم و جذب مواد غذایی بالای موجود در برگ آن، در حال بررسی و تبدیل شدن به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای مؤثر در تغذیه دام می‌باشد.

در مطالعه تنوع ژنتیکی تفاوت‌ها یا شباهت‌های افراد بر اساس صفات ریخت‌شناسی و یا مولکولی و با استفاده از مدل های آماری بررسی می‌گردد (*محمدی و پراسانا*[5]، 2003). صفات ریخت‌شناسی اولین نشانگرهایی بودند که برای ارزیابی تنوع ژنتیکی مورداستفاده قرار گرفتند. نشانگرهای ریخت‌شناسی نتیجه جهش‌های قابل‌رؤیت در ظاهر افراد می‌باشند. بررسی‌های ریخت‌شناسی، مطالعات پایه‌ای جهت شناسایی، طبقه‌بندی و گزینش در برنامه‌های اصلاحی است (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۰).

گرچه با استفاده از ضرایب همبستگی می‌توان ارتباط عملکرد دانه با صفات مهم را بررسی نمود ولی برآورد آثار مستقیم و غیرمستقیم صفات مؤثر بر عملکرد از طریق تجزیه علّیت امکان‌پذیر است. لذا محققین به‌نژادی گیاهی از تجزیه علّیت یا تجزیه مسیر که توسط *رایت*[6] (1921) پیشنهاد شده، برای تعیین ارتباط صفات مؤثر در عملکرد دانه استفاده می کنند. ممکن است همبستگی زیاد بین دو صفت نتیجه اثرات غیرمستقیم صفات دیگر باشد و درنتیجه همبستگی ساده قادر نیست رابطه بین دو صفت را توجیه کند. درحالی‌که در روش‌های مبتنی بر رگرسیون مانند رگرسیون گام‌به‌گام، روابط غیرمستقیم بین صفات نیز لحاظ می‌گردد (*علی*[7] و همکاران، 2003).

وانگ[8] و همکاران (2019) رابطه هفت صفت (طول دوره رشد، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد انشعابات ساقه اصلی، طول گل‌آذین اصلی، تعداد انشعابات گل‌آذین اصلی، وزن هزاردانه) را با عملکرد دانه گیاه در ۱۰ ژنوتیپ کینوا با استفاده از تجزیه علیت بررسی کردند. اثر مستقیم ارتفاع گیاه و قطر ساقه بر عملکرد دانه گیاه قابل‌توجه بود و نتیجه گرفتند که امکان گزینش ژنوتیپ با عملکرد دانه بالا از طریق قطر ساقه و ارتفاع گیاه امکان‌پذیر است.

بارگاوا[9] و همکاران (2008) در مطالعه ۲۹ لاین کینوا و با استفاده از تجزیه علیت نشان دادند که قطر ساقه دارای اثر مستقیم معنی‌دار بر عملکرد دانه است.

در صورت گمراه کنند بودن انتخاب مستقیم برای شاخص‌ها، انتخاب غیرمستقیم ممکن است کارایی بالاتری داشته باشد (*توکر و کاگیرگان*[10]، 2004). برای شناخت بهتر روابط بین صفات در گیاه، انجام تجزیه علیت یک گام منطقی است (*کاشف و خالیق*[11]، 2004)، به‌طوری‌که تجزیه علیت اجزاء تشکیل‌دهنده ضریب همبستگی را به اثرات مستقیم و غیرمستقیم تفکیک می‌کند و روابط بین صفات را بهتر نمایش می‌دهد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ رحیم[12] و همکاران، 2010).

1. *Chenopodium quinoa* Willd.
2. Adolf
3. Gomez-Pando
4. FAOSTAT
5. Mohammadi and Prasanna
6. Wright
7. Ali
8. Wang
9. Bhargava
10. Toker and Cagirgan
11. Kashf and Khaliq
12. Rahim

مطالعه تنوع ژنتیکی در کینوا در ایران دارای سابقه طولانی نیست. سیفتی و همکاران (۱۳۹۴) تنوع فنوتیپی موجود میان ۵ ژنوتیپ گیاه کینوا را مورد ارزیابی قرار داده و تنوع فنوتیپی گسترده‌ای را در صفات مختلفی مانند وزن هزاردانه، طول ساقه و ارتفاع گیاه در میان آن‌ها مشاهده نمودند.

باتوجه به این‌که کینوا در ایران گیاهی جدید می‌باشد، ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های آن جهت کشت در اقلیم‌های مختلف امری ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور بررسی تنوع و روابط بین صفات ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا هدف این تحقیق بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. متوسط بارندگی و دمای منطقه بر اساس آمار هواشناسی استان تهران ۲۱۶ میلی‌متر و ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار (به دلیل کافی نبودن مقدار بذر) و ۷۰ ژنوتیپ اجرا گردید. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق، دو مرحله دیسک عمود بر هم و توزیع کودهای پایه‌ی نیتروژن، پتاس و فسفر بر اساس آزمایش خاک و توصیه کودی مربوطه انجام گرفت. بذور ژنوتیپ‌ها در اواسط اسفند ۱۳۹۷ با دست کشت شدند. برای هر واحد آزمایشی کرتی شامل ۳ جوی پشته به طول ۲ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین دو پشته ۷۰ سانتی‌متر بود و بذور بر روی پشته‌ها کشت شدند. فاصله بین بوته‌ها در هر پشته حدود ۱۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو واحد آزمایشی ۱۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عملیات آبیاری بر اساس نیاز، عملیات وجین به‌صورت دستی و برداشت بر اساس تاریخ رسیدگی ژنوتیپ‌ها انجام گرفت. بذور ژنوتیپ‌های مورداستفاده در این تحقیق از مزرعه‌ای که در شهریور ۱۳۹۷ تحت عنوان رقم Giza 1 (از کشور مصر) در مزرعه دانشکده کشاورزی کشت شده بود برداشت گردید. تعداد ۷۰ ژنوتیپ (مورفوتیپ) که از نظر صفات مختلف شامل ارتفاع بوته، طول و شکل و رنگ خوشه، رنگ ساقه و رنگ برگ و میزان برگ، فرم خوشه و غیره با یکدیگر تفاوت داشتند انتخاب شدند (اسامی ژنوتیپ‌ها در جدول ۴ ارائه شده است). تنوع ریخت‌شناسی در بوته‌های این رقم بسیار زیاد بود و انتخاب بوته‌ها بر اساس ریخت‌شناسی انجام گرفت. وجود تنوع در داخل بوته‌های ژنوتیپ Giza1 ممکن است به دلیل عواملی مانند دگرگشنی، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و یا اختلاط فیزیکی بذور در منشأ در طی سالیان به وجود آمده باشد. این بذور در بانک بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد نگهداری می‌شوند.

صفات ریخت‌شناسی اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: وزن‌تر بوته، وزن‌تر برگ، وزن‌تر ساقه، وزن‌تر خوشه، تعداد برگ۱ (۵۴ روز بعد از کشت بذر)، سطح برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک خوشه، وزن خشک برگ، وزن خشک بوته، وزن خشک دانه، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته۱ (۵۴ روز بعد از کشت بذر)، تعداد برگ۲ (زمان برداشت)، ارتفاع بوته۲ (زمان برداشت)، طول خوشه، تعداد ساقه فرعی، تعداد خوشه فرعی و قطر ساقه، محتوی کلروفیل برگ۱ (۷۴ روز بعد از کشت بذر) و محتوی کلروفیل برگ۲ (۱۱۵ روز بعد از کشت بذر)، بوده است. برای اندازه‌گیری صفات از هر واحد آزمایشی تعداد ۳ بوته در حال رقابت به‌تصادف انتخاب و میانگین نمونه‌های هر واحد آزمایشی برای تجزیه‌های آماری مورداستفاده قرار گرفت. محتوی کلروفیل برگ یا میزان سبزینگی برگ با دستگاه SPAD-502 Plus ساخت شرکت Konica Minolta کشور ژاپن اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌های آماری

تجزیه‌وتحلیل آماری شامل تجزیه واریانس، مقایسه میانگین (روش دانکن)، و تجزیه علیت با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام گرفت. به‌منظور بررسی و مطالعه هرچه بیش‌تر روابط درونی بین صفات وارد شده و تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات از روش تجزیه علیت بر مبنای سیستم علت و معلول و بر پایه ترتیب بروز و تکامل هر یک از صفات موردبررسی در گیاه کینوا استفاده شد. در اینجا از داده کل (با تکرار) و داده با میانگین تکرار برای برآورد تجزیه علیت استفاده شد. هم‌چنین متغیرهای وزن خشک بوته و وزن خشک دانه به‌طور جداگانه به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند. در تجزیه علیت که با استفاده از رگرسیون چندگانه و به روش گام‌به‌گام برآورد شد، فقط صفات مستقلی که با صفات وابسته دارای رابطه رگرسیون معنی‌دار بودند در معادله ابقاء شدند. فرضیات تجزیه رگرسیون چندگانه شامل مستقل بودن خطاهای آزمایشی (آزمون دوربین-واتسون[1])، نرمال بودن خطای آزمایشی (نمودار توزیع نرمال)، وجود و یا عدم وجود هم‌راستایی (عامل تورم واریانس یا VIF[2]) و داده‌های پرت (داده‌های که فاصله آن از میانگین بیش از ۳ برابر انحراف معیار

1. Durbin-Watson
2. Variance Inflation Factor

باشد) موردبررسی قرار گرفت. داده‌های پرت قبل از انجام تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام حذف شدند.

نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی

برخی از معیارهای آمار توصیفی صفات موردمطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. ضریب تغییرات در وزن هزاردانه (۱۴۱ درصد) بیش‌تر از بقیه صفات بود که ناشی از تنوع زیاد این صفت در ژنوتیپ‌های موردمطالعه است. حداکثر دامنه تغییرات در سطح برگ (۳۶۳/۶۵ سانتی‌متر) مشاهده شد. در مقایسه صفات تر و خشک، انحراف معیار صفات خشک از صفات تر مربوطه کم‌تر به‌دست آمد.

تجزیه واریانس چندگانه

بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه از نظر ۲۱ صفت بررسی شده در سطح احتمال ۰/۰۱ تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۲). با استفاده از تنوع بین ژنوتیپ‌ها می‌توان نسبت به اصلاح ژنتیکی صفات اقدام نمود و در تعیین سودمندی انتخاب میزان تنوع ژنتیکی تأثیر دارد (بابایی زارچ و همکاران، ۱۳۹۹).

تجزیه واریانس ساده

بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه از نظر تعداد برگ۱ (۵۴ روز بعد از کشت بذر)، وزن خشک برگ، وزن هزاردانه، محتوی کلروفیل برگ۱ و تعداد برگ۲ (زمان برداشت) تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۳). این نشان می‌دهد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر میزان استفاده از منابع طبیعی و نهاده‌های کشاورزی در طول زمان تفاوت وجود دارد و لذا در بررسی‌های مربوط به تنوع ژنتیکی بایستی به این‌گونه موارد توجه نمود و فقط به بررسی و اندازه‌گیری صفات در آخر فصل رشد و یا فقط در یک مرحله از رشد گیاه اکتفا نکرد.

تنوع بین ژنوتیپ‌ها امکان اصلاح و بهبود صفات را فراهم می‌آورد و به‌ویژه میزان تنوع ژنتیکی در تعیین سودمندی انتخاب مؤثر است. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان در ذرت هیبرید (*فان*[1] و همکاران، 2007). و برمودا‌گراس (*رز*[2] و همکاران، 2008) گزارش شد. در یک طرح مشترک بین ۹ کشور که ایران نیز در آن همکاری داشته است، تعداد ۱۳ ژنوتیپ کینوا در ایرانشهر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بررسی شد. بیش‌ترین عملکرد بذر را ژنوتیپ Titicaca (۴/۴۸ تن در هکتار) ارائه داد (*بازیل*[3] و همکاران، 2016). مولائی (۱۳۹۵) در بررسی واکنش ۱۲ ژنوتیپ کینوا به طول روزبلند در شهرکرد نشان داد که ژنوتیپ‌های Q26، Giza1، Q29، Red Carina و Titicaca به ترتیب با عملکرد ۲۵۰۶، ۲۳۰۴، ۲۰۳۱، ۱۸۱۷ و ۱۱۲۲ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد را به خود اختصاص دادند.

مقایسه میانگین

نتایج مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌های کینوا در جدول ۴ ارائه شده است. ژنوتیپ G60 با میانگین ۷۹/۵۰ عدد دارای تعداد برگ۱ بیش‌تری نسبت به دیگر ژنوتیپ‌های کینوا بود. هم‌چنین ژنوتیپ‌های G117 (۷۴/۱۶)، G109 (۶۷/۱۶)، G45 (۶۰/۸۳)، G7 (۵۸/۸۳) و G5 (۵۶/۱۶) نیز تعداد برگ۱ قابل‌توجهی نسبت به دیگر ژنوتیپ‌های داشتند. بیش‌ترین وزن خشک برگ در ژنوتیپ‌های G117 (۵/۶۲ گرم) و G70 (۳/۶۲ گرم) و کم‌ترین وزن خشک برگ در ژنوتیپ‌های G118 (۲/۴۵ گرم) و G119 (۲/۵۷ گرم) مشاهده شد. در ژنوتیپ‌های G83 (۲/۷۰ گرم) و G8 (۰/۱۰ گرم) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزاردانه برآورد شد. ژنوتیپ G96 (۱۶/۴۵ عدد) بیش‌ترین و ژنوتیپ G87 (۹/۹۹ عدد) کم‌ترین تعداد برگ۲ را داشتند. رتبه ژنوتیپ‌های کینوا موردمطالعه از نظر تعداد برگ در دو مرحله مورد اندازه‌گیری (۵۴ روز بعد از کشت بذر و زمان برداشت) متفاوت بوده است. ژنوتیپ G6 با میانگین ۹۸ سانتی‌متر و ژنوتیپ G82 با میانگین ۴۵/۵۰ سانتی‌متر به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع بوته ۲ را داشتند. در برخی از مطالعات عنوان شده است که صفات ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های کینوا تحت اثر ژنوتیپ قرار گرفته است. این موضوع در مطالعات عباسی و همکاران (۱۳۹۷) برای صفاتی مانند وزن هزاردانه، ارتفاع بوته و وزن خشک بوته در ژنوتیپ‌های کینوا کاملاً مشهود بود.

تجزیه علیت

الف: تجزیه علیت با استفاده از کل داده (وزن خشک بوته به‌عنوان متغیر وابسته)

صفات وزن خشک خوشه، وزن خشک ساقه، تعداد برگ ۱، سطح برگ، محتوی کلروفیل برگ ۲ و تعداد ساقه فرعی بر وزن خشک بوته دارای رابطه رگرسیونی معنی‌دار بودند. بیش‌ترین اثر مستقیم (۰/۶۶۸) را وزن خشک خوشه بر وزن خشک بوته داشت. بیش‌ترین اثر غیرمستقیم بر وزن خشک بوته، اثر وزن خشک خوشه از طریق وزن خشک ساقه (۰/۱۸۱) برآورد شد (جدول ۵).

1. Fan
2. Rose
3. Bazile

ب: تجزیه علیت با استفاده از کل داده (وزن خشک دانه به‌عنوان متغیر وابسته)

در تجزیه علیت با استفاده از داده با تکرار، وزن خشک دانه به عنوان متغیر وابسته و بقیه صفات به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. از بین صفات موردمطالعه، وزن خشک خوشه، وزن‌تر ساقه و طول خوشه بر وزن خشک دانه دارای رابطه رگرسیونی معنی‌دار بودند. بیش‌ترین اثر مستقیم (۱/۰۶۴) را وزن خشک خوشه بر وزن خشک دانه داشته است. بیش‌ترین اثر غیرمستقیم (۰/۷۱۹) را طول خوشه از طریق وزن خشک خوشه بر وزن خشک دانه داشت (جدول ۶).

ج: تجزیه علیت با استفاده از میانگین تکرارها (وزن خشک بوته به‌عنوان متغیر وابسته)

در تجزیه علیت با استفاده از میانگین تکرار، وزن خشک بوته به عنوان متغیر وابسته و بقیه صفات به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. صفات وزن خشک خوشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ دارای رابطه رگرسیونی معنی‌دار با وزن خشک بوته بودند. بیش‌ترین اثر مستقیم (۰/۶۴۸) را وزن خشک خوشه بر وزن خشک بوته داشته است و بیش‌ترین اثر غیرمستقیم (۰/۲۰۵) را وزن خشک ساقه از طریق وزن خشک خوشه بر وزن خشک بوته داشته است. بنابراین بر اساس نتایج حاصله در این تحقیق، گزینش ژنوتیپی با وزن خشک خوشه بالا، موجب افزایش وزن خشک بوته خواهد شد (جدول ۷). نتایج مشابه با استفاده از ضرایب تجزیه علیت مبنی بر وجود رابطه‌ی مثبت، معنی‌دار و اثرات غیرمستقیم بین صفات ریخت شناسی و وزن خشک بوته گزارش شده است. در بررسی لاین‌های گندم، وزن خشک بوته (زیست‌توده)، ارتفاع گیاه، شاخص برداشت و عملکرد زیستی اثر مستقیمی بر عملکرد دانه داشتند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴).

د: تجزیه علیت با استفاده از میانگین تکرارها (وزن خشک دانه به‌عنوان متغیر وابسته)

در تجزیه علیت با استفاده از میانگین تکرار، وزن خشک دانه به عنوان متغیر وابسته و بقیه صفات به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. از میان صفات موردمطالعه، فقط وزن خشک خوشه و تعداد خوشه فرعی بر وزن خشک دانه دارای رابطه رگرسیونی معنی‌دار بودند. بیش‌ترین اثر مستقیم (۰/۷۹۶) را وزن خشک خوشه بر وزن خشک دانه داشته است. بیش‌ترین اثر غیرمستقیم (۰/۱۳۰) را تعداد خوشه فرعی از طریق وزن خشک خوشه بر وزن خشک دانه داشت (جدول ۸).

در هر دو حالت استفاده از وزن خشک بوته و وزن خشک دانه به‌عنوان متغیر وابسته، تعداد صفاتی که در معادله تجزیه علیت وارد شدند در حالت استفاده از تکرار داده بیش‌تر از وقتی بود که از میانگین تکرارها استفاده شد. نتایج تجزیه علیت در دو حالت استفاده از تکرار داده و میانگین تکرارها هم از نظر تعداد و نوع صفات و هم از نظر مقادیر اثرات مستقیم و غیرمستقیم متفاوت بود. این نتایج همسو با نتایج به‌دست‌آمده در گیاه دارویی خرفه (فیضی‌کلاسی، ۱۳۸۹)، باقلا (مالایی-کناری، ۱۳۸۹)، و گیاه سیر (باقرنژاد، ۱۳۸۹) بود. در مطالعه فیضی‌کلاسی (۱۳۸۹) در ۲۰ لاین نسل سوم حاصل از تیمار بذور با ماده جهش‌زای دی متیل سولفات (DMS) در خرفه، مشخص شد که در تجزیه علیت با تکرار داده، اثر مستقیم وزن‌تر ساقه بر وزن‌تر بوته بیش‌تر از اثر غیرمستقیم بود درحالی‌که این روند بر روی وزن‌تر برگ معکوس بود. در استفاده از میانگین تکرارها، بیش‌ترین اثر غیرمستقیم را وزن‌تر برگ و نسبت وزن خشک به وزن‌تر برگ از طریق وزن‌تر ساقه بر وزن‌تر بوته داشتند. مالایی‌کناری (۱۳۸۹) تجزیه علیت را در تحقیق خود در ۲۶ ژنوتیپ باقلا و با استفاده از ۲۲ صفت ریخت‌شناسی با تکرار داده‌ها و میانگین داده‌ها موردمطالعه قرار دارد. در تجزیه علیت با میانگین داده، تعداد دانه در بوته بیش‌ترین تأثیر غیرمستقیم را از طریق تعداد غلاف خشک در بوته بر روی عملکرد دانه داشته است. در تجزیه علیت با استفاده از میانگین تکرارها صفات طول گل، تعداد دانه در بوته خشک، تعداد غلاف خشک در گره و تعداد غلاف خشک در بوته دارای رابطه رگرسیونی معنی‌دار با عملکرد دانه بودند و بیش‌ترین اثر مستقیم را تعداد دانه در بوته خشک داشت.

در مطالعه *وانگ* و همکاران (2019) که در آن همبستگی، رگرسیون و تجزیه علیت در ۱۰ ژنوتیپ کینوا بررسی شده بود ارتفاع گیاه و قطر ساقه بر عملکرد دانه گیاه دارای اثر مستقیم معنی‌دار بودند. در تحقیق ما ارتفاع بوته و قطر ساقه با وزن خشک بوته و وزن خشک بذر رابطه رگرسیونی معنی‌دار نداشتند و درنتیجه در مدل تجزیه علیت وارد نشدند. این نتیجه نشان می‌دهد که روابط بین صفات می‌تواند تحت تأثیر ژنوتیپ باشد (*اومر*[1] و همکاران، 2016).

در این تحقیق نتایج تجزیه علیت که ترکیبی از تجزیه رگرسیون و همبستگی است در حالت استفاده از تکرارها و میانگین تکرارها متفاوت بوده است. یک سؤال اساسی این است که استفاده از کدام‌یک از داده‌ها در تجزیه همبستگی و رگرسیون (و درنتیجه در تجزیه علیت) صحیح‌تر می‌باشد. استفاده از میانگین داده بجای داده خام می‌تواند تا حدی باعث

1.Omer

کاهش خطای آزمایشی شود. چنانچه تیمارها به‌عنوان متغیر مستقل در تجزیه رگرسیون یا به‌عنوان یکی از دو متغیر در تجزیه همبستگی به‌کار روند و امکان اعمال تیمار به‌طور تقریباً دقیق میسر باشد، شایسته آن است که از میانگین هر تیمار در تجزیه‌های مذکور استفاده شود. چنانچه تیمارها به‌عنوان متغیر مستقل در تجزیه رگرسیون یا به‌عنوان یکی از متغیرها در تجزیه همبستگی به‌کار نرفته باشد و هدف بررسی رگرسیون و یا همبستگی دو یا چند متغیر دیگر که تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار گرفته‌اند، باشد می‌توان از داده‌های تکرارها در تجزیه‌های مذکور سود جست (سلطانی، ۱۳۸۵).

جدول ۱: برخی آمار توصیفی در ۲۱ صفت موردمطالعه

Table 1: Some descriptive statistics in 21 studied traits

ضریب تغییرات CV	اشتباه معیار Standard Error	میانگین Mean	دامنه تغییرات Range	پیشینه Maximum	کمینه Minimum	صفات Traits
0.40	1.30	38.32	88.87	98.86	9.99	وزن‌تر بوته (گرم) (PWW) Plant wet weight (PWW) (g)
0.68	0.24	4.23	14.80	15.00	0.20	وزن‌تر برگ (گرم) (LWW) Leaf wet weight (LWW) (g)
0.53	0.54	11.95	53.04	56.40	3.36	وزن‌تر ساقه (گرم) (SWW) Stem wet weight (SWW) (g)
0.41	0.76	21.71	55.39	58.53	3.14	وزن‌تر خوشه (گرم) (PaWW) Panicle wet weight (PaWW) (g)
0.47	1.54	38.47	109.67	116.00	6.33	تعداد برگ۱ (NL1) Number of leaves1 (NL1)
0.74	5.49	88.23	363.65	366.00	2.35	سطح برگ (سانتی‌مترمربع) (LA) Leaf area (LA) (cm^2)
0.59	0.22	4.34	15.04	16.40	1.36	وزن خشک ساقه (گرم) (SDW) Stem dry weight (SDW) (g)
0.45	0.29	7.65	17.53	18.48	0.95	وزن خشک خوشه (گرم) (PaDW) Panicle dry weight (PaDW) (g)
0.83	0.09	1.28	7.14	7.27	0.13	وزن خشک برگ (گرم) (LDW) Leaf dry weight (LDW) (g)
0.41	0.46	13.28	30.09	34.62	4.53	وزن خشک بوته (گرم) (PDW) Plant dry weight (PDW) (g)
0.42	0.19	5.34	10.43	10.96	0.53	وزن خشک دانه (گرم) (GDW) Grain dry weight (GDW) (g)
1.41	0.11	0.93	15.02	15.32	0.30	وزن هزاردانه (گرم) (TGW) Thousand grain weight (TGW) (g)
0.23	0.31	16.47	22.66	29.16	6.50	ارتفاع بوته۱ (سانتی‌متر) (PH1) Plant height1 (PH1) (cm)
0.47	0.51	12.85	72.34	81.00	8.66	تعداد برگ۲ (NL2) Number of leaves2 (NL2)
0.19	1.26	79.53	93.33	116.33	23.00	ارتفاع بوته۲ (سانتی‌متر) (PH2) Plant height2 (PH2) (cm)
0.22	0.39	21.16	24.00	34.33	10.33	طول خوشه (سانتی‌متر) (PaL) Panicle length (PaL) (cm)
0.17	0.15	10.41	12.67	18.00	5.33	تعداد ساقه فرعی (NSS) Number of sub-stem (NSS)
0.16	0.31	22.70	27.14	34.33	7.19	تعداد خوشه فرعی (NSP) Number of sub-panicle (NSP)
0.53	0.35	7.90	49.58	54.05	4.47	قطر ساقه (میلی‌متر) (SD) Stem diameter (mm) (SD)
0.11	0.56	58.10	52.90	76.50	23.60	محتوی کلروفیل۱ (CC1) Chlorophyl content1 (CC1)
0.21	0.77	43.28	46.85	69.55	22.70	محتوی کلروفیل۲ (CC2) Cholorophyl content2 (CC2)

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس چندگانه

Table 2: The results of multivariate variance analysis

شاخص‌های آماری Statistical indices	مقدار شاخص Index amount	آزمونF
Pillai's Trace	11.6	1.22**
Wilks' Lambda	0.0002	1.33**
Hotelling's Trace	44.8	1.45**
Roy's Largest Root	9	9.03**

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**: Significant at the probability level of 1%

جدول ۳: تجزیه واریانس ساده برخی صفات موردمطالعه

Table 3: Simple variance analysis of some studied traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		Nl1	LDW	TGW	NL2	CC1
تکرار Replications	1	924*	0.07	0.15*	0.56	12
ژنوتیپ Genotypes	69	355*	0.18**	0.49**	2.54*	47.22**
خطای آزمایشی Error	69	218.66	0.1	0.23	1.63	25.15
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	28.5	24.8	29.1	9.9	8.6

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. نتایج تجزیه واریانس فقط برای صفاتی که معنی‌دار شدند ارائه شده است

* and **: Significant at the probability level of 5% and 1%, respectively. The results of analysis of variance are presented only for the traits that became significant

Nl1: تعداد برگ۱، LDW: وزن خشک برگ، TGW: وزن هزاردانه، NL2: تعداد برگ۲، CC1: محتوی کلروفیل برگ۱

NL1: Number of leaves1, LDW: Leaf dry weight, TGW: Thousand grain weight, NL2: Number of leaves2, CC1: Chlorophyl content1

جدول ۴: نتایج مقایسه میانگین صفات

Table 4: The results of traits mean comparison

ژنوتیپ Genotypes	تعداد برگ۱ Nl1	وزن خشک برگ (گرم) LDW (g)	وزن هزاردانه (گرم) TGW (g)	تعداد برگ۲ NL2	محتوی کلروفیل برگ۱ CC1
G5	56.16c-i	1.68e-j	1.10b-h	11.83d-j	66.82b-d
G6	79.50c	2.47e-g	0.55f-j	10.83h-j	62.90b-f
G7	58.83cg	2.97d-f	0.70b-j	14c-h	59.70b-j
G8	24.83f-j	0.88f-j	0.10b-j	11.99d-j	59.95b-j
G19	26.66f-j	0.89f-j	1.15b-g	12.99d-j	50.95f-j
G20	24.21f-j	1.64e-j	0.75b-j	12.33d-j	51.20f-j
G36	32e-j	0.63g-j	1.25a-f	12.49d-j	67.72b-c
G37	25.49f-j	0.52i-j	0.90b-j	10.16i-j	55.67c-j
G38	40.16d-j	0.86f-j	0.80b-j	12.83d-j	53.07e-j
G39	40.66d-j	1.13e-j	1.10b-h	12.16d-j	49.12i-j
G40	26.58f-j	0.65g-j	0.95b-i	12.99d-j	57.40b-j
G41	21.66h-j	3.77d-f	1.10b-h	13.66c-h	57.25b-j
G42	25.82f-j	0.69g-j	1.35a-d	11.83d-j	58.92b-j
G43	37.33e-j	0.90f-j	0.70b-j	12.16d-j	53.65e-j
G44	26.66f-j	0.98f-j	0.70b-j	11.83d-j	56.15c-j
G45	60.83c-f	1.29e-j	0.75b-j	12.99d-j	60.72b-i

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک به منزله‌ی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد

In each column, averages with at least one common letter are not significant.

Nl1: تعداد برگ۱، LDW: وزن خشک برگ، TGW: وزن هزاردانه، NL2: تعداد برگ۲، CC1: محتوی کلروفیل برگ۱

NL1: Number of leaves1, LDW: Leaf dry weight, TGW: Thousand grain weight, NL2: Number of leaves2, CC1: Chlorophyl content1

ادامه‌ی جدول ۴: نتایج مقایسه میانگین صفات

Table 4 continue: The results of traits mean comparison

محتوی کلروفیل برگ۱ CC1	تعداد برگ۲ NL2	وزن هزاردانه (گرم) TGW (g)	وزن خشک برگ (گرم) LDW (g)	تعداد برگ۱ Nl1	ژنوتیپ Genotypes
49.85h-j	11.83d-j	0.85c-j	0.67g-j	36.33e-j	G46
61.10b-i	14.33c-f	0.50g-j	1.11f-j	24.39f-j	G47
59.30b-j	12.16d-j	0.55f-j	0.60i-j	27.66f-j	G48
57.80b-j	12.50d-j	0.70b-j	1.22e-j	43.50c-j	G49
62.77b-f	13.33d-i	1.45a-b	0.75g-j	31.41e-j	G50
62.15b-h	11.49e-g	1.25a-f	1.45e-j	54.49c-j	G57
56.45c-j	12.66d-j	1.30a-e	0.67g-j	30.49e-j	G58
53.57e-j	12.66d-j	1.05b-h	0.93f-j	35.83e-j	G59
62.07b-h	13.66c-h	0.55f-j	0.56i-j	36.33d-j	G60
60.35b-i	11.83d-j	0.90b-j	0.87f-j	39.83e-j	G61
52.12e-j	13.33d-i	0.50g-j	1.86e-j	40.99d-j	G62
58.32b-j	11.83d-j	0.75b-j	1.46e-j	44.49c-j	G63
67.75b-c	10.83h-j	0.45h-j	0.96f-j	34.83e-j	G64
57b-j	11.99d-j	0.80b-i	0.93f-j	36.66e-j	G65
50.15e-j	11.66d-j	0.70b-j	0.40j	23.66g-j	G66
53.66e-j	11.66d-j	0.60e-j	0.56h-j	26.49f-j	G67
54.27d-j	13.66c-h	0.65d-j	0.95f-j	18j	G68
59.47b-j	14c-h	0.90b-j	1.49e-j	48c-j	G69
47.62j	12.99d-j	0.65c-j	1.72e-j	57c-h	G70
51.17b-j	13.66d-j	0.60b-j	1.32d-e	45.16c-j	G71
58.95e-j	12.66d-j	0.85c-j	3.62f-j	36.33e-j	G72
52.60b-i	12.99d-i	0.65b-h	0.95f-j	37e-j	G79
60.65b-i	13.33d-j	1.05b-h	0.84f-j	30.33e-j	G80
63.42b-f	14.16c-j	0.60e-j	0.96f-j	55.99c-i	G81
64.20b-e	11.16d-j	0.95b-i	0.38j	20.33h-j	G82
63.52b-f	12.16d-j	2.70a	1.24e-j	38d-j	G83
59.70b-j	9.99j	0.85b-j	1.06f-j	27.16f-j	G87
57.62b-j	12.16d-j	0.70b-j	1.58e-j	50.83c-j	G88
58.47b-j	11.49e-j	0.55g-j	0.95f-j	31.49e-j	G89
58.57b-j	11.49e-j	0.50g-j	0.78g-j	26.66f-j	G92
61.07b-i	11.99d-j	1.05b-h	1f-j	52.83c-j	G93
6.42b-i	41.14c-e	40.1a-c	26.1e-j	43.16d-j	G94
45.55d-j	12.66d-j	0.95b-i	1.13f-h	43.83c-h	G95
49.72h-j	16.49c	0.90b-j	0.76g-j	33.16e-j	G96
62.27b-h	11.50e-j	0.80b-j	0.96f-j	37.16e-g	G97
58.07b-j	11.16f-j	0.65c-j	1.16f-j	31.33c-h	G98
54.12e-j	11.50e-j	0.45h-j	1.25e-j	43.33c-j	G99
54.12e-j	11.66d-j	0.70b-j	0.86f-j	28.99f-j	G100
69.55b	11.49e-j	0.35j	0.82f-j	40.66e-j	G101
58.22b-j	12.16d-j	0.70b-j	0.59i-j	19.83i-j	G102
58.22b-j	11j-i	0.50g-j	1.12e-j	31.5e-j	G103
53.85e-j	12.49d-j	0.85b-j	1.45e-i	27.66f-j	G106
55.77c-j	10.99g-j	0.55f-j	1.69e-j	57.33c-h	G107
58.65b-j	11.16e-f	0.80b-j	0.84f-j	25.16f-j	G108
64.55b-e	12.33d-j	0.45h-j	1.98e-i	67.16c-e	G109
62.47b-g	11.86f-j	1.25a-f	1.83e-j	16.90e-	G113
64.52b-e	11.83d-j	0.90b-j	0.51i-j	35.83e-j	G114
61b-i	11.83d-j	0.90b-j	1.19e-j	28.66f-j	G115
54.20e-j	12d-j	0.45h-j	0.90f-j	17.50j	G116
60.40b-i	11.66d-j	0.65e-i	5.62d	74.16c-d	G117
63.97b-e	12.49d-j	0.75b-j	2.45e-g	59.16c-j	G118
62.72b-g	14.83c-d	0.40i-j	2.57e-h	35.99e-j	G119
62.80b-f	11.66d-j	0.90b-j	1.20e-j	32.33c-j	G120
55.25c-j	12.36d-j	0.82b-j	1.28e-j	46.50c-j	G122

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک به منزله‌ی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد

In each column, averages with at least one common letter are not significant.

Nl1: تعداد برگ۱، LDW: وزن خشک برگ، TGW: وزن هزاردانه، NL2: تعداد برگ۲، CC1: محتوی کلروفیل برگ۱

NL1: Number of leaves1, LDW: Leaf dry weight, TGW: Thousand grain weight, NL2: Number of leaves2, CC1: Chlorophyl content1

جدول ۵: تجزیه علیت صفات دارای رابطه رگرسیون معنی‌دار با وزن خشک بوته (داده با تکرار). مقادیر اثرات مستقیم (ضریب استاندارد بتا) صفات در قطر اصلی ارائه شده است

Table 5: Path analysis of traits with significant regression relationship with plant dry weight (data with replications). The values of the direct effects (standard beta coefficient) of traits are presented in the main diameter

اثر غیرمستقیم Indirect effect						صفات Traits
NSS	CC2	LA	NL1	SDW	PaDW	
0.004	0.0001	0.02	-0.01	0.18	0.69**	PaDW
0.003	0.0005	0.01	0.01	0.4**	0.01	SDW
0.01	0.01	0.03	0.06**	0.06	-0.08	NL1
0.001	-0.001	0.06**	0.03	0.11	0.17	LA
0.001	0.024*	0.02	0.02	0.10	0.01	CC2
0.02*	0.001	0.01	0.02	0.01	0.01	NSS

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

* and **: Significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

PaDW: وزن خشک خوشه، SDW: وزن خشک ساقه، Nl1: تعداد برگ۱، LA: سطح برگ، CC2: محتوی کلروفیل برگ۲، NSS: تعداد ساقه فرعی

PaDW: Panicle dry weight, SDW: Stem dry weight, NL1: Number of leaves1, LA: Leaf area, CC2: Cholorophyl content2, NSS: Number of sub-stem

جدول ۶: تجزیه علیت صفات دارای رابطه رگرسیون معنی‌دار با وزن خشک دانه (داده با تکرار). مقادیر اثرات مستقیم (ضریب استاندارد بتا) صفات در قطر اصلی ارائه شده است

Table 6: Path analysis of traits with significant regression relationship with grain dry weight (data with replications). The values of the direct effects (standard beta coefficient) of traits are presented in the main diameter

اثر غیرمستقیم Indirect effect			صفات Traits
PaL	SWW	PaDW	
-0.058	-0.048	1.064**	PaDW
-0.041	0.087**	0.597	SWW
-0.086*	-0.041	0.719	PaL

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

* and **: Significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

PaDW: وزن خشک خوشه، SWW: وزن‌تر ساقه، PaL: طول خوشه

PaDW: Panicle dry weight, SWW: Stem wet weight, PaL: Panicle length

جدول ۷: تجزیه علیت صفات دارای رابطه رگرسیون معنی‌دار با وزن خشک بوته (با میانگین تکرار). مقادیر اثرات مستقیم (ضریب استاندارد بتا) صفات در قطر اصلی ارائه شده است

Table 7: Path analysis of traits with significant regression relationship with plant dry weight (data with mean replications). The values of the direct effects (standard beta coefficient) of traits are presented in the main diameter

اثر غیرمستقیم Indirect effect			صفات Traits
LDW	SDW	PaDW	
0.03	0.16	0.65**	PaDW
0.06	0.49*	0.21	SDW
0.23**	0.12	0.08	LDW

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

* and **: Significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

PaDW: وزن خشک خوشه، SDW: وزن خشک ساقه، LDW: وزن خشک برگ

PaDW: Panicle dry weight, SDW: Stem dry weight, LDW: Leaf dry weight

جدول ۸: تجزیه علیت صفات دارای رابطه رگرسیون معنی‌دار با وزن خشک دانه (با میانگین تکرار). مقادیر اثرات مستقیم (ضریب استاندارد بتا) صفات در قطر اصلی ارائه شده است

Table 8: Path analysis of traits with significant regression relationship with grain dry weight (data with mean replications). The values of the direct effects (standard beta coefficient) of traits are presented in the main diameter

صفات Traits	اثر غیرمستقیم Indirect effect	
	PaDW	NSP
PaDW	0.8**	0.03
NSP	0.13	0.18**

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**: Significant at the probability level of 1%

PaDW: وزن خشک خوشه، NSP: تعداد خوشه فرعی

PaDW: Panicle dry weight, NSP: Number of sub-panicle (NSP)

با استفاده از روش‌های مختلف چندمتغیره، می‌توان حجم داده‌ها را کاهش داد و با کمک این روش‌ها، ژنوتیپ‌های مطلوب را بر اساس مجموعه‌ای از صفات، به‌جای انتخاب بر اساس یک صفت، انتخاب کرد. تجزیه علیت، روشی برای تفکیک ضرایب همبستگی به تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم صفات است و اطلاعات مفیدی درباره نحوه‌ی تأثیرپذیری صفات از یکدیگر و روابط بین آن‌ها فراهم می‌کند. همبستگی بالای بین دو صفت شاید نتیجه اثرات غیرمستقیم صفات دیگر باشد و همیشه استفاده از تجزیه همبستگی ساده نتواند روابط بین صفات را تبیین کند (عسگر و همکاران، ۱۳۸۹). تجزیه علیت این امکان را فراهم می‌کند که اثرات مستقیم هر صفت بر مقدار نهایی تولید، از اثرهای غیرمستقیمی که از طریق ارتباطات دوجانبه میان آن‌ها ایجاد می‌شود، تفکیک گردد (*امام و بورجان*[1]، 2000).

نتیجه‌گیری

ارتباط بین صفات (به‌ویژه همبستگی بین صفات) به دلایل مختلفی مانند پلیوتروپی[2]، پیوستگی زیاد[3] بین ژن‌ها و یا در اثر اپیستازی[4] بین ژن‌های کنترل‌کننده صفات به‌وجود می‌آید (*اومر* و همکاران، 2016). در مطالعه حاضر استفاده از ۲۱ صفت ریخت‌شناسی در ۷۰ ژنوتیپ جهت بررسی روابط بین صفات و تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های کینوا نشان داد که تنوع ژنتیکی بالایی بین ژنوتیپ‌ها وجود دارد. ژنوتیپ G117 که دارای بیش‌ترین وزن‌تر ساقه، تعداد برگ۱ و وزن خشک برگ بود، از نظر متوسط صفات مرتبط با عملکرد دانه و برگ به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی می‌گردد. بر اساس نتایج تجزیه علیت بیش‌ترین اثر مستقیم را وزن خشک خوشه و بیش‌ترین اثر غیرمستقیم را وزن خشک ساقه از طریق وزن خشک خوشه را بر وزن خشک بوته داشت. بنابراین می‌توان از این صفات، در انتخاب مستقیم یا غیرمستقیم ژنوتیپ‌های پرمحصول کینوا برای اهداف دومنظوره عملکرد دانه و عملکرد علوفه استفاده کرد.

منابع

بابایی زارچ، م. ج.، فتوکیان، م. ح. و محمودی، س. ۱۳۹۹. ارزیابی تنوع ژنتیکی صفات مورفولوژیک برخی از ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از روش‌های چندمتغیره. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۵ (۱۲): ۸۵-۹۸.

باقرنژاد دیوکلایی، ا.، ۱۳۸۹. ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های سیر با استفاده از صفات ریخت‌شناسی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد. ۹۳ صفحه.

خدادای، م.، دهقانی، ح. و فتوکیان، م. ح. ۱۳۹۰. بررسی توارث‌پذیری، تجزیه علیت و تحلیل عامل‌های در ژنوتیپ‌های گندم پاییزه (*Triticum aestivum* L.). زراعت. ۴ (۴): ۶۷-۷۸.

سپهوند، ن. ع. ۱۳۹۲. بررسی سازگاری، ویژگی‌های زراعی، فنولوژیکی و ارزش کیفی محصول کینوا در ایران. گزارش نهایی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر، مرکز اطلاعات و مدارک علمی و تحقیقاتی کشاورزی، شماره ثبت ۴۴۰۲۶.

1. Emam and Borjan
2. Pleiotropy
3. Close linkage
4. Epistasis

سلطانی، ا.، ۱۳۸۵، تجدیدنظر در کاربرد روش‌های آماری در تحقیقات کشاورزی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

سیفتی، س. ا.، رمضان‌پور، س. س.، سلطانلو، ح.، صالحی، م. و سپهوند، ن. ع. ۱۳۹۴. بررسی برخی صفات موروفونولوژیک مرتبط با عملکرد و زودرسی در ارقام اصلاح شده کینوا (*Chenopodium quinoa*). تولید گیاهان زراعی، ۸ (۲): ۱۵۳-۱۶۹.

صالحی، م. و دهقانی، ف، ۱۳۹۷. راهنمای کاشت، داشت و برداشت کینوا در شرایط شور. نشر آموزش کشاورزی.

عباسی، س.، کردنائیج، ع. و باقری، م. ۱۳۹۷. ارزیابی پایداری عملکرد و سازگاری تعدادی از ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa*) در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشگاه شاهد. ۸۰ صفحه.

عسگر، م.، یزدان‌سپاس، ا. و امینی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان زمستانه و بینابین در شرایط آبیاری نرمال و تنش قطع آبیاری پس از مرحله گل‌دهی. نهال و بذر، ۲۶ (۳): ۳۱۳-۳۲۹.

فیضی کلاسی، ن. ۱۳۸۹. تعیین دز مطلوب و بررسی اثرات ماده جهش‌زای دی متیل سولفات (DMS) در لاین‌های M2 خرفه. پایان نامه کارشناسی‌ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد. ۱۳۹ صفحه.

قربانی، ح.، سمیع‌زاده لاهیجی، ح.، ربیعی، ب. و اله قلی پور، ا. ۱۳۹۸. بررسی ارتباط عملکرد و صفات زراعی همبسته در برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از تجزیه رگرسیون و علیت. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۱۱ (۳۱): ۱۱۵-۱۲۳.

مالایی‌کناری، ز. ۱۳۸۹. ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های باقلا با استفاده از صفات ریخت‌شناختی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد. ۱۰۱ صفحه.

موسوی، س. س.، کیان‌ارثی، ف.، افیونی، د. و عبدالهی، م. ر. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم نان و شناسایی صفات اگرومورفولوژیک مرتبط با عملکرد تحت شرایط رطوبتی آخر فصل. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۵ (۱۸): ۹۱-۱۰۳.

مولائی، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی سازگاری و عکس‌العمل چند رقم کینوا نسبت به طول روز در شهرکرد. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.

Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., and Shabala, S. 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany, 92: 43-54.

Adu-Dupaah, H. K. and Sang Won, R. S. 2005. Improving bambra groundnut productivity using gamma irradiation and in vitro techniques, African Journal of Biotechnology, 3 (5): 260-265.

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

Bhargava, A., Shukla, S., Ohri, D. 2008. Implications of direct and indirect selection parameters for improvement of grain yield and quality components in *Chenopodium quinoa* Willd. International Journal of Plant Production, 2: 184-191.

Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, MS., Ba. D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, MI., Mambetov, O., Otambekova, M., Sepahvand, NA., Shams, A., Souici, D., Miri, K. and Padulosi, S. 2016. Worldwide evaluations of Quinoa: Preliminary results from post international year of Quinoa, FAO projects in nine countries. Frontiers in Plant Science, 7: 1-18.

Emam, Y., and Borjan, A. R. 2000. Yield and yield components of two winter wheat cultivars in response to rate and time of foliar application. Journal of Agriculture Science, 2: 263-270.

Fan, X. M., Kang, M. S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J. and Xu, C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. Agronomy Journal, 99: 220-228.

FAOSTAT, 2019. Quinoa production in 2018, Crops/Regions/World list/Production Quantity (pick lists)". UN Food and Agriculture Organization, Corporate Statistical Database (FAOSTAT). Retrieved 15 February 2020.

Gomez-Pando, L., Alvarez-Castro, R. and Eguiluz-de la Barra, A. 2010. Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: a promising crop. Journal of Agronomy and Crop Science, 196: 391-396.

Kashif, M. and Khaliq, I. 2004. Heritability, correlation and path coefficient analysis for some metric traits in wheat. International Journal of Agriculture and Biology, 1: 138-142.

Mohammadi, S. A. and Prasanna, B. M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants-salient statistical tools and considerations. Crop Science, 43: 1235-1248.

Rahim, M. A., Mia, A. A., Mahmud, F., Zeba, N. and Afrin, K. S. 2010. Genetic variability, character association and genetic divergence in Mungbean (*Vigna radiate* L. Wilczek). Plant Omics Journal, 3 (1): 1-6.

Rose, I. V. L. W., Das, M. K. and Taliaferro, C. M. 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. Euphytica, 164: 19-25.

Toker, C. and Cagirgan, M. I. 2004. The use of phenotypic correlation and factor analysis in determining characters for grain yield selection in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Heriditas, 140: 226-228.

Wang, Y., Li, Y., Li, C., Lu, W., Sun, D., Yin, G., Hong, B., Wang, L. 2019. Correlation and path analysis of the main agronomic traits and yield per plant of Quinoa. Crops, 35 (6): 156-161.

Wright, S. 1921. Correlation and causation. Journal of Agricultural Research, 20: 557-585.

Relationships between some Morphological Traits with Grain and Plant Dry Weight in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes

Esfandyari[1], J. and Fotokian[2*], M. H.

Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a plant that is commonly grown for its edible seeds but is also used as fodder. To study the relationship between 21 morphological traits of 70 quinoa genotypes, an experiment was conducted in the form of the randomized complete block design with three replications in the research farm of the faculty of agriculture of Shahed University. The results of multiple variance analysis showed a significant difference among the studied genotypes. The mean squares were significant for stem wet weight (SWW), number of leaves1 (54 days after seed sowing) (NL1), leaf dry weight (LDW), thousand-grain weight (TGW), number of leaves2 (harvest time) (NL2), plant height2 (harvest time) (PH2), and leaf chlorophyll content1 (54 days after seed sowing). The mean squares were significant for SWW, NL1, LDW, TGW, and PH2. The results of the mean comparison with Duncan's test showed that the G117 genotype had the highest SWW (33.35 g), NL1 (74.16) and the LDW (5.62 g). The highest TGW was estimated in genotype G83 with 2.70 g. The results of path analysis using raw data (with replications) were different from data with the mean data (mean of replications). In both cases, the panicle dry weight had the greatest direct effect on the grain dry weight and the plant dry weight. Due to the average traits associated with grain and leaf yield, the G117 genotype is introduced as the superior genotype.

Keywords: Path analysis, Panicle, Step-by-step regression, Duncan'smeancomparison, Collinearity

1 and 2. MSc Graduate and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

⁎: Corresponding author Email: fotokian@shahed.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the guidance of Mohammad Hossein Fotokian.