

ارزیابی ارتباط بین صفات فنولوژیک با عملکرد در بوته و کاربرد این صفات در گزینش و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های کینوا

Evaluation of the Relationship between Phenological Traits and Yield per Plant and the Application of These Traits in Selection and Grouping Quinoa Genotypes

رضا مرادی ریزوندی^۱، سیدسعید موسوی^{۲*}، محمدرضا عبداللهی^۲ و محمود باقری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

(مقاله پژوهشی)

چکیده

هدف این پژوهش مطالعه رابطه بین صفات مختلف فنولوژیک با عملکرد دانه و بررسی کارایی این صفات در گزینش تک بوته کینوا بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پرشدن دانه بیش‌ترین همبستگی مثبت معنی دار و صفات روز تا ده برگی و روز تا جوانه‌زنی بیش‌ترین همبستگی منفی معنی‌دار را با عملکرد دانه در بوته نشان دادند. روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا ده برگی (با ضریب منفی) و طول دوره پرشدن دانه به ترتیب وارد مدل رگرسیونی شدند. روز تا ده برگی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، به ترتیب بیش‌ترین اثرات مستقیم منفی و مثبت را بر عملکرد دانه داشتند. بیش‌ترین اثر غیرمستقیم مثبت نیز مربوط به طول دوره پرشدن دانه، از طریق افزایش روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، بود. توزیع ژنوتیپ‌ها در هر چهار ناحیه بای‌پلات بیانگر تنوع ژنتیکی بالای ژنوتیپ‌ها بود. ژنوتیپ‌های مطلوب (۱۶، ۸، ۱۵ و ۱۴) بیش‌ترین مقدار از صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول دوره پرشدن دانه و روز تا شیرگی شدن دانه داشتند، در ناحیه مطلوب بای پلات قرار گرفتند. طبق نتایج تجزیه خوشه‌ای این ژنوتیپ‌ها در خوشه پتانسیل تولید دانه قرار گرفتند. برعکس، ژنوتیپ‌های نامطلوب (۲، ۷ و ۱۲) دارای بیش‌ترین مقدار روز تا ده برگی، روز تا جوانه‌زنی و روز تا چهار برگی بودند. به‌طور کلی، گزینش به نفع روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پرشدن دانه و گزینش علیه روز تا ده برگی و روز تا جوانه‌زنی، عملکرد دانه در بوته را در کینوا بهبود خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت، تجزیه همبستگی

۱ و ۲. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. استادیار، بخش تحقیقات سبزی، صیفی و حبوبات آبی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* نویسنده مسئول Email: s.moosavi@basu.ac.ir

مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول به راهنمایی آقای سیدسعید موسوی می‌باشد.

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی خودگشن با ۱۰ تا ۱۵ درصد دگرگشنی، یکساله، پهن‌برگ، با ارتفاعی بین یک تا دو متر است که خواستگاه اولیه آن آمریکای لاتین است (سپهوند و همکاران، ۱۳۹۴). این گیاه، به‌عنوان یک گیاه حاوی پروتئین، از محدود گیاهانی است که دارای تمامی آمینواسیدهای مورد نیاز برای سلامتی بدن انسان است و می‌تواند پروتئین کامل بدن انسان را تا حدودی تأمین کند (امیر یوسفی و همکاران، ۱۳۹۹). دانه‌های کینوا نه تنها به دلیل داشتن پروتئین زیاد، بلکه بیش‌تر به دلیل کیفیت پروتئین آن‌ها شناخته شده می‌باشند (السوهایمی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). این دانه‌ها، منبعی غنی از آنتی‌اکسیدانت، مواد غذایی مفید و عاری از گلوتن می‌باشند (فائو^۲، ۲۰۱۱). این گیاه حاوی انواع مختلفی از مواد معدنی از جمله روی، منیزیم، آهن، مس، فسفر و کلسیم بوده، درصد آهن در آن بسیار بالا است. کینوا در مقایسه با برنج، جو و گندم، حاوی مقادیر بالاتری از ریپوفلاوین و α-توکوفرول می‌باشد (محمی/الدین^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر ویژگی‌های ذکر شده، این گیاه دارای درجه تحمل زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش خشکی، تنش شوری و تنش سرما بوده، به‌خوبی قابلیت رشد در خاک‌های فقیر را دارد (جاکوبسن^۴ و همکاران، ۲۰۰۹).

با توجه به روند رو به رشد جمعیت در جهان، انجام تلاش‌های بی‌وقفه جهت افزایش عملکرد گیاهان زراعی با ارزش غذایی بالا، یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی جدید در کشورهای مختلف، از جمله کشورهای در حال توسعه است (دی سانتیس و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از روش‌های مرسوم برنامه‌های به‌نژادی جهت نیل به هدف فوق، انجام گزینش غیرمستقیم جهت بهبود عملکرد و در نتیجه تولید ارقام با عملکرد بالا از طریق سایر صفات مرتبط و مؤثر بر عملکرد دانه می‌باشد (مولایی و باقری، ۱۳۹۸). در این راستا، از بین صفات مختلف، صفات فنولوژیک گروه مهمی از صفات هستند که نقش قابل‌توجهی را در تغییرات عملکرد اقتصادی ژنوتیپ‌های مختلف بازی می‌کنند (پراگر^۵ و همکاران، ۲۰۱۸). بر این اساس، با ارزیابی ظرفیت و پتانسیل بالقوه ژنوتیپ‌های مختلف از نظر ویژگی‌های فنولوژیک، می‌توان به هدف مهم فوق دست‌یافت. در واقع هر یک از مراحل فنولوژیک، یک چارچوب زمانی برای رشد و نمو

گیاه به‌شمار می‌آید و تناسب آن‌ها با شرایط محیط رشد سبب ارتقاء توان تولید عملکرد گیاه می‌شود. متناسب بودن زمان هر یک از مراحل فنولوژیک با شرایط محیط رشد گیاه از عوامل مهم برای تطابق، سازگاری و افزایش عملکرد یک رقم در یک محیط خاص است (پراگر و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طور معمول طول دوره رشد گیاه و نیز طول هر مرحله فنولوژیک می‌تواند از طریق مصرف بیش‌تر منابع و بهره‌برداری بیش‌تر از محیط، به‌ویژه تحت شرایط نرمال محیطی، عملکرد دانه را به‌نحو مطلوبی تحت تأثیر قرار دهد (مولایی و باقری، ۱۳۹۸). دی سانتیس^۶ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که بیش‌تر صفات فنولوژیک، به‌جزء صفت تعداد روز تا جوانه‌زنی، ارتباط مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند. به‌طوری‌که آن‌ها ارتباط مثبت بیش‌تر صفات فنولوژیک با عملکرد دانه را به استفاده بیش‌تر ژنوتیپ‌های دیررس از پتانسیل و شرایط مناسب فصل رشد نسبت داده، ارتباط منفی روز تا جوانه‌زنی با عملکرد دانه را به تأخیر در استقرار اولیه ژنوتیپ‌های نامطلوب، که دارای تعداد روز تا جوانه‌زنی بالایی بودند، نسبت دادند. در پژوهشی در کینوا (بهارگاوا^۷ و همکاران، ۲۰۰۷) ارتباط مثبت و معنی‌داری بین صفات روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک با عملکرد دانه گزارش شد. در تحقیقی دیگر (کریمی، ۱۳۹۸) اظهار شد که بین عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. در پژوهش سیفی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش شد که صفات فنولوژیک نقش مهمی در شناسایی ژنوتیپ‌های دیررس و زودرس داشته، این صفات به‌عنوان صفات مؤثر بر تغییرات عملکرد دانه در کینوا گزارش شدند. حمزه و همکاران (۱۳۹۷) وجود تفکیک متجاوز مثبت و منفی معنی‌دار برای صفات عملکرد دانه، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پر شدن دانه در گندم گزارش کردند که می‌توان از این موضوع جهت گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب استفاده کرد. بهارگاوا و همکاران (۲۰۰۷) طی پژوهشی در ارزیابی نقش صفات فنولوژیک در کینوا اظهار داشتند که از بین صفات فنولوژیک بررسی‌شده، صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک یکی از صفات مهم مؤثر بر تغییرات عملکرد دانه بود.

به‌طور کلی با توجه به اهمیت و نقش صفات فنولوژیک در تغییرات عملکرد دانه، اهداف این پژوهش ارزیابی ارتباط بین هفت صفت مهم فنولوژیک با عملکرد دانه در بوته، مطالعه

1. Elsohaimy
2. FAO
3. Mohyuddin
4. Jacobsen
5. Prager

6. De Santis
7. Bhargava

سالیانه ۱۹/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۵۰۴/۶ میلی‌متر است. ایستگاه تحقیقات کشاورزی ماهیدشت دارای شرایط آب و هوای نیمه‌خشک و سرد می‌باشد و در ۲۵ کیلومتری شهر کرمانشاه واقع شده است. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. مواد گیاهی این تحقیق (جدول ۱) شامل ۱۶ ژنوتیپ مختلف کینوا (ژنوتیپ‌های G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15 و G16) بودند که بذرها آن‌ها به صورت دستی و کپه‌ای در نیمه اول خردادماه کشت شدند. هر کرت آزمایشی شامل ۳ ردیف ۵ متری بود که فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته در روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

کارایی این صفات در گزینش تک بوته و بررسی نقش آن‌ها در گروه‌بندی ۱۶ ژنوتیپ مختلف کینوا تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه بود که به صورت این پژوهش انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور شناسایی مهم‌ترین صفات فنولوژیک مؤثر بر تغییرات عملکرد دانه در بوته گیاه کینوا تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه، این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ماهیدشت، متعلق به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، در سال ۱۳۹۷ انجام شد. ایستگاه ذکر شده دارای طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۴۶۵ متر، میانگین دمای هوای

جدول ۱: اطلاعات ۱۶ ژنوتیپ کینوا مطالعه شده در این تحقیق

Table 1: Information of the sixteen quinoa genotypes studied in this research

شماره و نام ژنوتیپ Genotype number and name	محل تهیه Location	شماره و نام ژنوتیپ Genotype number and name	محل تهیه Location
G1: EQ1	Canada کانادا	G9: EQ21	FAO فائو
G2: EQ2	Canada کانادا	G10: EQ22	FAO فائو
G3: EQ3	Canada کانادا	G11: EQ26	FAO فائو
G4: EQ4	Canada کانادا	G12: EQ29	FAO فائو
G5: EQ5	Canada کانادا	G13: EQ31	FAO فائو
G6: EQ6	Canada کانادا	G14: Titicaca	Denmark دانمارک
G7: EQ12	FAO فائو	G15: Giza1	Egypt مصر
G8: EQ18	FAO فائو	G16: Red carina	Netherlands هلند

فیزیولوژیک، طول دوره پرشدن دانه و عملکرد دانه در بوته یادداشت‌برداری شد. برای تجزیه‌هایی که فرض نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها (خطاها) لازم بود، این فرض آزمون شد. سپس در ادامه عمل تجزیه همبستگی، تجزیه رگرسیون، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار Minitab V.16 و تجزیه مسیر (علیت) هم با استفاده از نرم‌افزار Path2 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه همبستگی

طبق نتایج (جدول ۲)، علی‌رغم این که صفت روز تا جوانه‌زنی دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفات روز تا چهار برگی ($r=0.71^{**}$) و روز تا ده برگی ($r=0.44^{**}$) بود ولی این صفت با عملکرد دانه همبستگی منفی و معنی‌دار ($r=-0.40^{*}$) نشان داد. در حقیقت تأخیر در جوانه‌زنی بذور، منجر به استقرار دیرتر گیاهچه‌های اولیه خواهد شد که بر اساس این نتایج، می‌توان

جهت تغذیه مطلوب گیاه، پس از انجام آزمون خاک، از کودهای شیمیایی پتاس، فسفر و نیتروژن، به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار، مشابه سطوح کودی استفاده شده برای این گیاه توسط کریمی مقدم (۱۳۹۸)، استفاده شد. جهت پیشگیری و مبارزه با آفات، از آفت‌کش کنفیدور، به میزان ۲۵۰ سی‌سی در هکتار، استفاده گردید. برای به دست آوردن بیش‌ترین سطح سبز مطلوب، عملیات آبیاری بلافاصله بعد از کشت انجام شد. با توجه به نیاز آبی گیاه و دمای محیط، در ابتدای فصل عمل آبیاری در هر هفته یکبار انجام شد. سپس با گرم‌تر شدن هوای محیط، دور آبیاری به صورت هر ۵ روز یکبار انجام شد. در انتهای فصل هم با توجه به کاهش دما و ورود مرحله رشدی گیاه به فصل پاییز، عمل آبیاری هر هفته یکبار و به صورت قطره‌ای تا زمان شروع رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد. جهت ارزیابی ارتباط بین صفات فنولوژیک و عملکرد دانه صفات فنولوژیک روز تا جوانه‌زنی، روز تا چهار برگی، روز تا ده برگی، روز تا کرده‌افشانی، روز تا شیرینی شدن دانه، روز تا رسیدگی

صفات فنولوژیک با عملکرد دانه را به استفاده بیش تر ژنوتیپ‌های دیررس از پتانسیل و شرایط مطلوب فصل رشد نسبت داده، ارتباط منفی روز تا جوانه‌زنی با عملکرد دانه را به تأخیر در استقرار اولیه ژنوتیپ‌های نامطلوب، که دارای تعداد روز تا جوانه‌زنی بالایی بودند، نسبت دادند. بهارگاو و همکاران (2007) وجود ارتباط مثبت و معنی‌داری بین صفات روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک با عملکرد دانه را گزارش دادند.

نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام

نتایج تجزیه رگرسیون (جدول ۳) نشان داد که به ترتیب صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا ده برگی (با ضریب رگرسیونی منفی) و طول دوره پرشدن دانه، به‌عنوان مؤثرترین صفات تأثیرگذار بر تغییرات رابطه خطی عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته، وارد مدل رگرسیونی شدند و در مجموع ۶۷/۷۵ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه در بوته را توجیه نمودند. نتایج حاصله بیانگر نقش کلیدی ولی متفاوت این صفات در توجیه واریانس عملکرد دانه و کاربرد متفاوت آن‌ها در گزینش برای بهبود عملکرد بود. به‌طوری‌که جهت بهبود عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های موردبررسی، گزینش مثبت هم‌زمان برای افزایش طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک و هم‌چنین افزایش طول پرشدن دانه و گزینش بر علیه صفت تعداد روز تا ده برگی، منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد بالاتر خواهد شد. به‌عبارتی‌دیگر با انتخاب ژنوتیپ‌هایی با بالا بودن روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و هم‌زمان طول دوره پر شدن دانه بیش‌تر، و از طرفی دیگر کم بودن تعداد روز تا ده برگی، ضمن استقرار سریع‌تر بوته‌ها، گیاه از پتانسیل فصل رشدی بیش‌تری استفاده می‌کند که در نتیجه این گزینش هم‌زمان، عملکرد دانه افزایش خواهد یافت. در تحقیقی دیگر، حمزه و همکاران (۱۳۹۷) برای صفات فنولوژیک روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پرشدن دانه، وجود تفکیک متجاوز مثبت و منفی معنی‌دار در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گزارش کردند که بر این اساس، می‌توان از این وضعیت جهت گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب استفاده کرد. در پژوهشی دیگر بر روی کینوا (بهارگاو و همکاران، 2012) اظهار شد که صفات فنولوژیک نقش مهمی در تغییرات عملکرد دانه دارند و ژنوتیپ‌هایی که طول دوره رشد بیش‌تر به همراه طول دوره پرشدن بیش‌تری داشتند، دارای عملکرد دانه بیش‌تری بودند.

رشدی و مجیدی در تحقیقی روی چهار گونه مختلف از جنس براسیکا (۱۳۹۵) گزارش کردند که در سه گونه از چهار گونه موردنظر صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک،

اظهار داشت ژنوتیپ‌هایی که دارای تعداد روز تا جوانه‌زنی بیش‌تر بوده‌اند، به‌تبع تعداد روز تا چهار برگی و تعداد روز تا ده برگی بیش‌تری داشته‌اند و لذا استقرار اولیه آن‌ها کندتری بوده است. بر این اساس، ژنوتیپ‌هایی که دیرتر استقرار یافته‌اند، از شرایط مطلوب محیطی و از پتانسیل فصل رشدی بهره کم‌تری برده‌اند. بنابراین در این ژنوتیپ‌ها با محدود شدن فصل رشدونمو، عملکرد دانه آن‌ها کاهش یافته است. در واقع طبق نتایج حاصله (جدول ۲)، عملکرد دانه در بوته با دو صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پرشدن دانه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (به ترتیب $r=0.54^{**}$ و $r=0.47^*$) و با صفات روز تا ده برگی و روز تا جوانه‌زنی بیش‌ترین همبستگی منفی معنی‌دار (به ترتیب $r=-0.54^{**}$ و $r=-0.40^*$) را نشان داد. به‌طور کلی شاید بتوان اظهار داشت که با افزایش روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، گیاه به طول دوره رشد بیش‌تری جهت تکمیل مراحل رشدی خود دسترسی پیدا کرده است. از طرفی دیگر، با توجه به همبستگی مثبت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک با طول دوره پرشدن دانه ($r=0.54^{**}$)، می‌توان اظهار داشت که با افزایش تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول دوره پرشدن دانه نیز افزایش یافته است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های با تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بیش‌تر و طول دوره پرشدن دانه بیش‌تر، ژنوتیپ‌های دیررس‌تری خواهند بود که آن‌ها فرصت بیش‌تری برای استفاده از پتانسیل فصل رشدی خواهند داشت و در نتیجه عملکرد آن‌ها افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر، ژنوتیپ‌هایی که دارای تعداد روز تا جوانه‌زنی و تعداد روز تا ده برگی کم‌تری بوده‌اند، دارای سرعت استقرار بیش‌تری بوده‌اند و لذا راندمان بالایی در استفاده از فصل رشدی داشته، در نتیجه عملکرد خود را بهبود داده‌اند.

در پژوهشی در گیاه کینوا (سیفی و همکاران، ۱۳۹۴) گزارش شد که علی‌رغم این‌که صفت روز تا جوانه‌زنی به ترتیب با صفات روز تا چهار برگی و روز تا شیری شدن دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود، ولی این صفت با صفات روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک دارای همبستگی منفی معنی‌دار بود. در پژوهشی دیگر (پراگر و همکاران، 2018) همبستگی بین عملکرد دانه با صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پرشدن دانه مثبت و معنی‌دار (به ترتیب $r=0.77^{**}$ و $r=0.68^{**}$) بود. دی سانتیس و همکاران (2016) گزارش کردند که صفات فنولوژیک روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا گل‌دهی و طول دوره پرشدن دانه ارتباط مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند ولی صفت تعداد روز تا جوانه‌زنی دارای همبستگی منفی معنی‌دار با عملکرد دانه در واحد سطح بودند. به‌طوری‌که آن‌ها ارتباط مثبت بیش‌تر

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

طبق نتایج (جدول ۵)، در مجموع ۶۳ درصد از واریانس کل داده‌ها توسط اولین مؤلفه (مؤلفه پتانسیل تولید دانه) و دومین مؤلفه (مؤلفه روز تا گل‌دهی) توجیه شد. نمودار بای‌پلات (شکل ۱) بیانگر توزیع ژنوتیپ‌ها در هر چهار ناحیه بای‌پلات بود که این نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالا در بین این ژنوتیپ‌های از نظر عملکرد و صفات مختلف فنولوژیکی و قابلیت تفکیک آن‌ها به کمک نمودار بای‌پلات بود. در حالی که ژنوتیپ‌های مطلوب شماره ۱۶، ۸، ۱۵ و ۱۴، با داشتن بیش‌ترین مقدار از صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا پرشدن دانه و روز تا شیری شدن در ناحیه مطلوب بای‌پلات قرار گرفتند، ژنوتیپ‌های نامطلوب دارای بیش‌ترین مقدار روز تا ده برگی، روز تا جوانه‌زنی و روز تا چهار برگی بودند. بیش‌ترین هم‌راستایی هم بین عملکرد دانه در بوته با دو صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پرشدن دانه مشاهده شد (شکل ۱). طبق نتایج ضرایب مؤلفه‌ای (جدول ۵)، مقدار زیاد مؤلفه اول و مقدار بینابین مؤلفه دوم مطلوب و موردنظر است، بنابراین ناحیه مطلوب، ناحیه بین ناحیه اول و چهارم بود که بر اساس آن می‌توان نتیجه گرفت که مقدار زیاد مؤلفه اول و مقدار بینابین مؤلفه دوم مطلوب است. به تبع آن ژنوتیپ‌ها و صفاتی که در این ناحیه قرار می‌گیرند به‌عنوان ژنوتیپ و صفات مطلوب معرفی می‌شوند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۸، ۱۵ و ۱۴، که واقع در بین ناحیه اول و چهارم نمودار بای‌پلات بودند، به‌عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌های این تحقیق شناخته شدند.

به‌عنوان اولین و مهم‌ترین صفت و در گونه چهارم این صفت به‌عنوان سومین صفت وارد مدل رگرسیونی شد. بنابراین به‌طور کلی یک رابطه مثبت و معنی‌دار بین دیررسی یا افزایش روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و افزایش عملکرد دانه در گیاهان مختلف وجود دارد، هرچند که این دیررسی تا حدی وابسته به شرایط آب و هوایی منطقه، نوع گیاه و میزان حساسیت آن به شرایط محیطی می‌باشد.

نتایج تجزیه علیت

نتایج تجزیه علیت (جدول ۴) نشان داد که صفات روز تا ده برگی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب بیش‌ترین اثر مستقیم منفی و مثبت (به‌ترتیب $-0/49$ و $0/40$) را بر تغییرات عملکرد دانه در بوته داشتند. بیش‌ترین اثر مثبت غیرمستقیم نیز مربوط به صفت طول دوره پر شدن دانه، به‌واسطه افزایش روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، بود. طبق نتایج حاصله شاید بتوان اظهار داشت که با کاهش روز تا ده برگی در ژنوتیپ‌های مطلوب، سرعت استقرار گیاهچه‌ها زودتر اتفاق افتاده است و لذا عملکرد دانه آن ژنوتیپ‌ها بیش‌تر شده است. از طرفی دیگر با افزایش صفت مهم فنولوژیک روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، به‌ویژه با افزایش طول دوره پر شدن دانه، مدت‌زمان بیش‌تری جهت تولید مواد پرورده و اختصاص بخش عمده‌ای از این مواد پرورده به قسمت‌های اقتصادی گیاه، یعنی مخازن (دانه‌ها)، وجود داشته است و لذا عملکرد دانه در بوته افزایش یافته است. نتایج تجزیه همبستگی و رگرسیون نیز بیانگر اهمیت و نقش صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا ده برگی و طول دوره پرشدن دانه در تغییرات عملکرد دانه می‌باشد. در پژوهشی در کینوا (بهارگاو) و همکاران، (2007) اظهار شد که وزن هزاردانه، کلروفیل کل و تعداد شاخه‌های اصلی در بوته به ترتیب بیش‌ترین رابطه مستقیم و مثبت با عملکرد دانه را داشتند در حالی که تعداد روز تا گل‌دهی اثر مستقیم منفی بر عملکرد دانه را نشان داد. در تحقیقی در کینوا (آفیا) و همکاران، (2018)، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های ثانویه در بوته و تعداد گل‌آذین فرعی در بوته بیش‌ترین اثر مستقیم و غیرمستقیم را بر عملکرد دانه داشتند. در پژوهشی بر روی کینوا (کریمی مقدم، ۱۳۹۸) نتایج تجزیه علیت نشان داد که به‌ترتیب صفات شاخص برداشت و قطر پانیکول اصلی بیش‌ترین تأثیر مثبت مستقیم روی افزایش عملکرد دانه را داشتند و بیش‌ترین اثر غیرمستقیم مربوط به قطر پانیکول، از طریق افزایش شاخص برداشت، بود.

جدول ۲: همبستگی فنوتیپی صفات مختلف در شانزده ژنوتیپ کینوا
Table 2: Phenotypic correlation of different traits in the sixteen quinoa genotypes

طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day-to physiological maturity	روز تا شیرگی شدن دانه Day-to milky grain	روز تا گردهافشانی Day-to pollination	روز تا ده برگگی Day-to-ten leaves	روز تا چهار برگگی Day-to-four leaves	روز تا جوانه‌زنی Day-to germination	صفات Traits
						0.71**	روز تا چهار برگگی Day-to-four leaves
					0.46*	0.44*	روز تا ده برگگی Day-to-ten leaves
				0.11 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	روز تا گردهافشانی Day-to pollination
			-0.35 ^{ns}	-0.34 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.03 ^{ns}	روز تا شیرگی شدن دانه Day-to milky grain
		0.47*	-0.13 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.33 ^{ns}	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day-to physiological maturity
	0.53**	0.19 ^{ns}	-0.71**	-0.09 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period
0.47*	0.54**	0.37 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.54**	-0.32 ^{ns}	-0.40*	عملکرد دانه در بوته Grain yield per plant

*, **, و ns: به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن در سطح آماری ۵٪، ۱٪ و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد
*, **, and ns: Indicate statistically significant at 5% and 1% and no significant difference, respectively

جدول ۳: نتایج رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و صفات فنولوژیک به‌عنوان متغیرهای مستقل
Table 3: Stepwise regression results for grain yield as a dependent variable and phenological traits as independent variables

ضریب تبیین تجمعی (درصد) The cumulative determination coefficient (percent)	ضریب رگرسیون صفات در مراحل مختلف The regression coefficient of the traits in different steps			عرض از مبدأ Intercept	نام صفت Name of trait	مراحل رگرسیون Regression steps
	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	روز تا ده برگگی Day-to-ten leaves	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day-to physiological maturity			
39.56**	----	----	0.34	-40.5	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day-to physiological maturity	1
54.50**	----	-0.22	0.32	-29.8	روز تا ده برگگی Day-to-ten leaves	2
67.75*	0.09	-0.22	0.25	-26.6	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	3

* و **: به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن مدل در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.
* and ** Indicate that the model is significant at 1% and 5% respectively.
مدل رگرسیونی پیشنهادی: $GYP = -26/6 + 0.251DPM - 0.218DTL + 0.092GFP$
Proposed regression model: $GYP = -26/6 + 0.251DPM - 0.218DTL + 0.092GFP$

جدول ۴: نتایج تجزیه علیت صفات مختلف در شانزده ژنوتیپ کینوا

Table 4: The results of casual analysis of different traits in the sixteen quinoa genotypes

همبستگی صفت با عملکرد دانه The correlation of trait with grain yield	اثر غیرمستقیم صفت بر عملکرد دانه از طریق صفات The indirect effect of traits on grain yield through traits			اثر مستقیم صفت بر عملکرد دانه Direct effect of trait on grain yield	نام صفت Name of trait
	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	روز تا ده برگی Day-to ten leaves	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Day-to physiological maturity		
0.54**	0.11	0.03	----	0.40	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Day-to physiological maturity
-0.54**	-0.02	----	-0.03	-0.49	روز تا ده برگی Day-to ten leaves
0.47*	----	0.04	0.21	0.21	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period
Residual=0.32					باقیمانده = ۰/۳۲

* و ** : به ترتیب بیانگر معنی دار بودن همبستگی در سطح یک و پنج درصد می باشد.

* and ** Indicate that the correlation is significant at 1% and 5% respectively.

جدول ۵: ضرایب تجزیه به مؤلفه های اصلی برای صفات فنولوژیک و عملکرد دانه در بوته

Table 5: The coefficients of principal components analysis for phenological traits and grain yield per plant

مؤلفه دوم Second component	مؤلفه اول First component	صفات Traits
-0.46	-0.34	روز تا جوانه زنی Day-to germination
-0.50	-0.27	روز تا چهار برگی Day-to four leaves
-0.23	-0.38	روز تا ده برگی Day-to ten leaves
0.49	-0.20	روز تا گرده افشانی Day-to pollination
-0.30	0.30	روز تا شیرین شدن دانه Day-to milky grain
-0.18	0.40	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Day-to physiological maturity
-0.36	0.37	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period
0.09	0.49	عملکرد دانه در بوته Grain yield per plant
2.11	2.92	مقدار ویژه Eigen value
0.26	0.37	درصد جزئی واریانس Partial percent of the variance
0.63	0.37	درصد تجمعی واریانس Cumulative percent of the variance

کنند. عامل اول عامل فنولوژیکی نامیده شد و به تنهایی ۵۲/۵ درصد از کل واریانس داده ها را توجیه کرد و عامل دوم، عامل عملکرد نامیده شد که ۲۹/۵۹ درصد تغییرات را توجیه کرد. در پژوهشی دیگر (السوچامی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵)، مؤلفه اول و دوم به ترتیب به عنوان مؤلفه طول دوره فنولوژیکی و مؤلفه عملکرد و اجزاء عملکرد نامیده شدند و در مجموع ۶۴/۸۷ درصد از

هم چنین صفات عملکرد دانه در بوته، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، طول دوره پر شدن دانه و روز تا شیرین شدن دانه مطلوب ترین صفات بودند که در ناحیه فوق نمودار بای پلات قرار گرفتند. به طور معمول از تجزیه به مؤلفه های اصلی جهت کاهش حجم داده ها و به منظور شناسایی ژنوتیپ ها و صفات مطلوب استفاده می شود. بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهشی (آفیا و همکاران، ۲۰۱۸)، پس از انجام تجزیه به عامل ها بر اساس روش تجزیه به مؤلفه های اصلی، دو عامل اول توانستند در مجموع ۸۲/۰۹ درصد از تغییرات داده ها را توجیه

1. Elsohaimy

موسوی و همکاران: ارزیابی ارتباط بین صفات فنولوژیک با عملکرد...

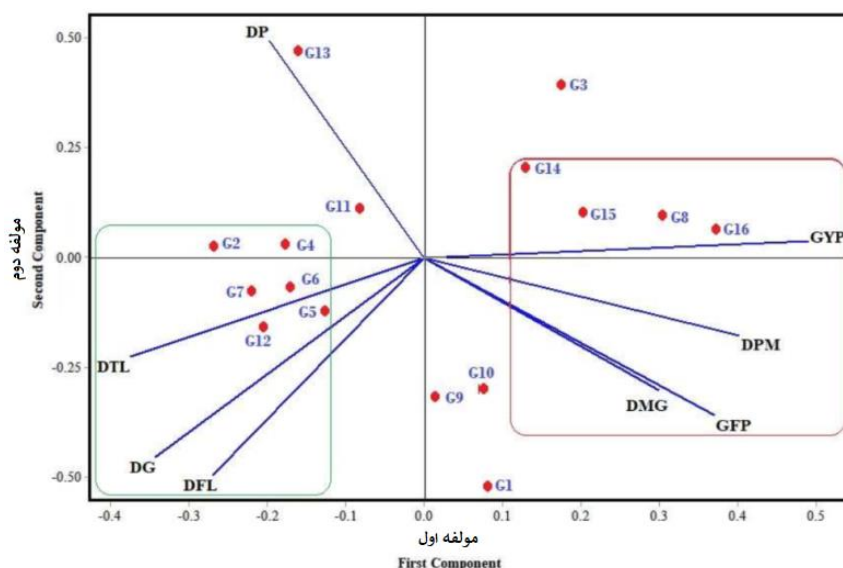
تولید دانه، قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های خوشه دوم، بیش‌ترین فاصله ژنتیکی را با ژنوتیپ‌های خوشه سوم داشتند. با توجه به نتایج (جدول ۷) مشخص گردید که خوشه اول و چهارم دارای بیش‌ترین فاصله ژنتیکی و بعد آن خوشه دوم و سوم دارای کم‌ترین شباهت و بیش‌ترین فاصله ژنتیکی بودند. در نتیجه جهت دو رگ‌گیری می‌توان از افراد خوشه ۱ و ۴ یا افراد خوشه ۲ و ۳ به‌عنوان والدین تلاقی‌ها جهت ایجاد بیش‌ترین تنوع ژنتیکی ساختگی استفاده نمود.

در تحقیقی (امیریوسفی و همکاران، ۱۳۹۹) در مقایسه گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های با مقدار زیادی از صفات روز تا رسیدگی، طول دوره پرشدن دانه و عملکرد دانه در یک خوشه دسته‌بندی شدند.

تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. هم‌چنین بر اساس نمودار بای‌پلات آن‌ها، مهم‌ترین صفات شامل عملکرد و اجزاء عملکرد و برخی از صفات مهم فنولوژیک، از جمله تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در ناحیه اول بای‌پلات قرار گرفتند. در پژوهشی روی کینوا (بهارگاو و همکاران، ۲۰۱۲) اظهار شد که سه مؤلفه اول بیش از ۹۰ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه کردند و لذا مؤلفه اول با سهم ۴۵/۵ درصدی از واریانس، مؤلفه عملکرد نامیده شد.

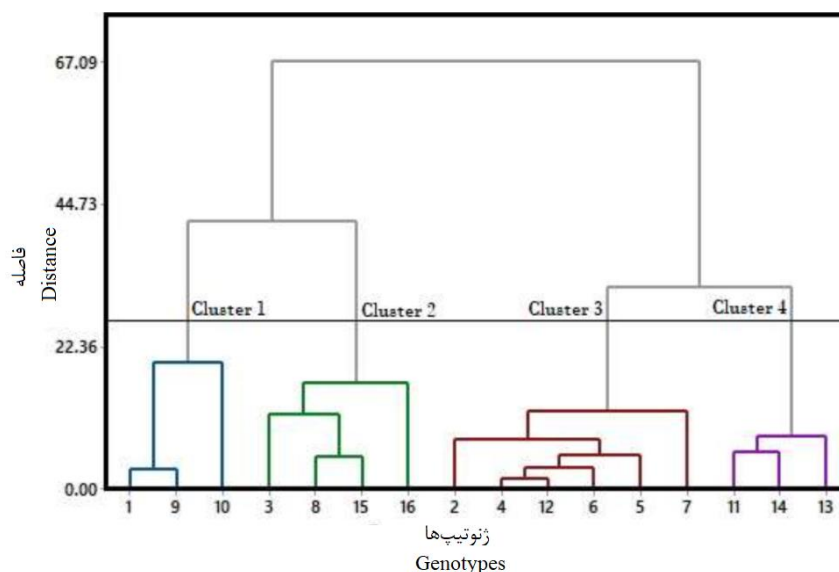
نتایج تجزیه خوشه‌ای

طبق نتایج تجزیه خوشه‌ای (شکل ۲ و جدول ۶)، ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد بالا در خوشه دوم، به‌عنوان خوشه پتانسیل



شکل ۱: نمودار بای‌پلات شانزده ژنوتیپ کینوا با ۸ صفت مورد بررسی

Fig. 1: Bi-plot diagram of the sixteen quinoa genotypes with 8 studied traits



شکل ۲: دندروگرام شانزده ژنوتیپ کینوا بر اساس ماتریس فاصله بین آن‌ها برای هشت صفت مختلف

Fig. 2: Dendrogram of the sixteen quinoa genotypes based on the distances between them for eight different traits

جدول ۶: میانگین صفات مورد بررسی در هر یک از خوشه‌های شانزده ژنوتیپ کینوا با ۸ صفت مورد بررسی

Table 6: The average of the studied traits in each of the clusters of the sixteen quinoa genotypes with 8 studied traits

خوشه Cluster	روز تا جوانه‌زنی Day-to germination	روز تا چهار برگی Day-to- four leaves	روز تا ده برگی Day-to- ten leaves	روز تا گرده‌افشانی Day-to pollination	روز تا شیری شدن دانه Day-to milky grain	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day-to physiological maturity	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	عملکرد دانه در بوته Grain yield per plant
1	4.11	14.00	37.00	67.33	74.67	123.33	55.67	1.32
2	4.00	14.00	33.42	65.75	77.17	123.25	57.25	2.68
3	5.39	15.67	37.00	66.17	75.61	121.72	55.17	1.11
4	5.44	16.00	36.22	64.89	79.00	124.11	57.67	1.82

جدول ۷: فاصله بین مرکز خوشه‌ای در هر یک از خوشه‌های شانزده ژنوتیپ کینوا با ۸ صفت مورد بررسی

Table 7: Distance between the center of the clusters of the sixteen quinoa genotypes with 8 studied traits

خوشه Cluster	خوشه اول First cluster	خوشه دوم Second cluster	خوشه سوم Third cluster	خوشه چهارم Fourth cluster
خوشه اول First cluster	0.00	5.10	3.09	6.00
خوشه دوم Second cluster	5.10	0.00	5.41	4.44
خوشه سوم Third cluster	3.09	5.41	0.00	5.13
خوشه چهارم Fourth cluster	6.00	4.44	5.13	0.00

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این پژوهش بیانگر نقش مهم و قابل توجه صفات فنولوژیک در تغییرات عملکرد دانه در بوته برای ژنوتیپ‌های مورد نظر در این مطالعه بود. به طوری که طبق نتایج تجزیه رگرسیون، به ترتیب صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا ده برگی (با ضریب منفی) و طول دوره پرشدن دانه، به عنوان مهم‌ترین صفات مؤثر بر تغییرات عملکرد دانه، وارد مدل رگرسیونی شدند و در مجموع این سه صفت، ۶۷/۷۵ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه در بوته را توجیه نمودند. این نتیجه بیانگر نقش کلیدی و اساسی صفات فنولوژیک و تغییرات آن‌ها در واریانس عملکرد دانه در بوته است. تجزیه علیت نیز تأییدکننده نتایج حاصله بوده، نشان‌دهنده اثر مهم و مستقیم و غیرمستقیم صفات فنولوژیک بر عملکرد دانه در بوته بود. به طور کلی رابطه عملکرد دانه در بوته با صفات مهم فنولوژیک تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پر شدن دانه مثبت و معنی‌دار و با صفات روز تا ده برگی و روز تا جوانه‌زنی منفی و معنی‌دار بود. افزایش صفات گروه اول یعنی افزایش طول دوره رشدی و استفاده بیشتر از پتانسیل فصل رشد و در نتیجه افزایش مواد پرورده بیشتر است که منجر به

اختصاص بیشتر این مواد پرورده به منابع ذخیره‌ای آن‌ها یعنی بذور است. از طرف دیگر کاهش صفات فنولوژیک گروه دوم به معنی افزایش سرعت استقرار اولیه بوته‌ها و بهره‌وری بیشتر از فصل رشدی است. به عبارتی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا، دارای زمان استقرار اولیه کوتاه‌تر (تعداد روز تا ده برگی کم‌تر)، فرصت استفاده بیشتر از فصل رشدی و اختصاص بیشتر و سریع‌تر مواد پرورده خود به بخش‌های زایشی گیاه بودند که این امر منجر به بهبود بخش زایشی تک بوته در آن‌ها شد. به طور کلی، تحت شرایط این آزمایش، مقدار بیشتر دو صفت مهم روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پرشدن دانه، به عنوان مهم‌ترین صفات جهت‌گزینه ژنوتیپ‌های مطلوب در مراحل آخر رشدی (فاز زایشی) پیشنهاد می‌شود. این در حالی است که جهت غربال‌گری ژنوتیپ‌های مطلوب کینوا در مرحله اولیه رشدی (فاز رویشی)، استفاده از مقدار کم‌تری از صفات روز تا ده برگی و روز تا جوانه‌زنی (یعنی استقرار سریع‌تر گیاهچه‌ها) توصیه می‌گردند. به طور کلی نتایج حاصله گامی مقدماتی جهت کسب اطلاعات اولیه در مورد ارزش صفات فنولوژیک در انتخاب تک بوته در برنامه‌های به‌نژادی این گیاه با ارزش می‌باشد.

منابع

امیریوسفی، م.، تدین، م.، و ابراهیمی، ر. ۱۳۹۹. اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر برخی صفات فیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد گیاه کینوا. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی، ۱۰ (۲): ۱-۱۷.

- حمزه، ح.، اصغری، ع.، محمدی، س. ا.، سفالیان، ا. و محمدی، س. ۱۳۹۷. اثر تغییرات صفات فنولوژیک و تخصیص مواد فتوسنتزی در شرایط متفاوت رطوبتی بر عملکرد دانه گندم نان. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱ (۴): ۸۱۶-۸۰۳.
- رشیدی، ف. و مجیدی، م. م. ۱۳۹۵. تحلیل ارتباط ویژگی‌های فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های چهار گونه جنس براسیکا در شرایط تنش و عدم تنش خشکی. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۶ (۱۹): ۳۴-۱۵.
- سپهوند، ن.، سرهنگی، م.، مهرابی، ر. و مصطفوی، خ. ۱۳۹۴. بررسی تنوع ژنتیکی مورفوتیپ‌های کینوا با استفاده از نشانگر مولکولی ریزماهواره. ژنتیک نوین، ۱۰ (۱): ۱۲۲-۱۱۵.
- سیفی، س. ا.، رمضانپور، س. س.، سلطانلو، ح.، صالحی، م. و سپهوند، ن. ۱۳۹۴. بررسی برخی صفات مورفولوژیک مرتبط با عملکرد و زودرسی در ارقام اصلاح‌شده کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.). نشریه تولید گیاهان زراعی، ۸ (۲): ۱۶۹-۱۵۳.
- کریمی مقدم، ش. ۱۳۹۸. ارزیابی سازگاری و تنوع مورفوتیپ‌های کینوا از طریق نشانگرهای مورفولوژیک و ریزماهواره‌ای در شرایط مختلف رطوبتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بوعلی سینا. ۹۸ صفحه.
- مولائی، ع. و باقری، م. ۱۳۹۸. مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های کینوا در شهرکرد. شانزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۷-۵ بهمن ۱۳۹۸. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، صفحات ۴-۱.
- Afiah, S. A., Hassan, W. A. and Kady, A. Al. 2018. Assessment of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes for seed yield and its attributes under toshka conditions. Zagazig Journal of Agricultural Research, 45 (6): 2281-2294.
- Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D. 2007. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Field Crops Research, 101 (1): 104-116.
- Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D. 2012. 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 (3): 183-192.
- De Santis, G., D'ambrosio, T., Rinaldi, M. and Rascio, A. 2016. Heritabilities of morphological and quality traits and interrelationships with yield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes in the Mediterranean environment. Journal of Cereal Science, 70: 177-185.
- Elsouhaimy, S., Refaay, T. and Zaytoun, M. 2015. Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. Annals of Agricultural Sciences, 60 (2): 297-305.
- FAO, 2011. Quinoa is an ancient crop to contribute to world food security. From <http://www.fao.org/quinoa-2013/publications/detail/en/item/202738/icode>.
- Jacobsen, S. E., Liu, F. and Jensen, C. R. 2009. Does root-sourced ABA play a role for the regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Horticulture, 122: 281-287.
- Mohyuddin, S. G., Riaz, A., Qamar, A., Ali, S. H., Hu, C., Wu, L., YU, T. and Ju, X. H. 2019. Quinoa is beneficial to the comprehensive nutritional value of potential health. Pakistan Journal of Science, 71 (2): 69-74.
- Prager, A., Munz, S., Nkebiwe, P., Mast, B. and Graeff, S. 2018. Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Cultivars are grown under field conditions in southwestern Germany. Agronomy, 8 (197): 1-19.

Evaluation of the Relationship between Phenological Traits and Yield per Plant and the Application of These Traits in Selection and Grouping Quinoa Genotypes

Moradi Rizvandi¹, R., Moosavi^{2*}, S. S., Abdollahi², M. R. and Bagheri³, M.

Abstract

This research aimed to study the relationship between different phenological traits with grain yield and investigate the effectiveness of these traits in single plant selection in quinoa, which was done based on a randomized complete block design. Grain yield per plant showed the most significant positive correlation with day-to physiological maturity and grain filling period and the most significant negative correlation with day-to-ten leaves and day-to germination. Day-to physiological maturity, day-to-ten leaves (with negative coefficient), and grain filling period were entered into the regression model. The two traits of day-to-ten leaves and day-to physiological maturity had the most direct negative and positive effects on grain yield changes, respectively. The most indirect positive effect was related to the grain filling period, due to the increase in day-to physiological maturity. The distribution of genotypes in all four biplot areas indicated high genetic diversity of genotypes. The favorite genotypes (16, 8, 15, and 14) had the highest amount of traits of day-to physiological maturity, grain filling period, and day-to milky grain and were located in the favorable area of the biplot. According to the results of the cluster analysis, these genotypes were located in the "grain yield cluster". On the contrary, unfavorable genotypes (2, 7, and 12) had the highest day-to-ten leaves, day-to-germination, and day-to-four leaves. In general, the selection to increase the day-to physiological maturity and the grain filling period and the selection against the day-to-ten leaves and the day-to germination will improve the yield per plant of quinoa.

Keywords: Principal component analysis, Cluster analysis, Regression analysis, Causal analysis, Correlation analysis

1 and 2. MSc Graduate and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Vegetable and Irrigated Pulse Crops Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*: Corresponding author: Email: s.moosavi@basu.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the guidance of Seyed Saeid Moosavi.