مقاله پژوهشی DOI:10.30495/JCEP.2023.1935024.1815

سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) با استفاده از معیارهای مختلف پایداری

مریم اطاعتی[۱]، محمدرضا اردکانی[۲*]، محمود باقری [۳]، فرزاد پاک‌نژآد[۲] و فرید گل‌زردی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

چکیده

گیاه کینوا به‌دلیل ارزش غذایی مطلوب و پتانسیل بالای تولید به‌عنوان گیاه مناسب در شرایط نامساعد محیطی شناخته شده است. این گیاه در کشوری مانند ایران که دارای تنوع اقلیمی است باعث ایجاد امنیت غذایی، افزایش درآمد کشاورزان و تولید پایدار خواهد شد. به‌منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و تعیین سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا در مناطق مختلف کشور، تعداد ده ژنوتیپ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه کرج، شهرکرد، ارومیه و کاشمر طی سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ ارزیابی شدند. ژنوتیپ‌های مورد بررسی شامل Titicaca،Red Carina، Giza1، Q12، Q18، Q21، Q22، Q26، Q29 و Q31 بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر محیط و اثر متقابل محیط و ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه در کرج و شهرکرد (به‌ترتیب ۷۱۷ و ۲۱۹۶ کیلوگرم در هکتار) توسط ژنوتیپ Q26 و در ارومیه و کاشمر (به‌ترتیب ۱۶۱۴ و ۸۲۹ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب توسط ژنوتیپ Q18 و Titicaca حاصل شد. با توجه به نتایج بررسی پایداری و سازگاری با روش‌ها و معیارهای مختلف (پارامتری و ناپارامتری)، ژنوتیپ Red Carina با داشتن عملکرد دانه ۹۹۶ کیلوگرم در هکتار بالاتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها (۹۳۹ کیلوگرم در هکتار)، بالاترین رتبه معیار گزینش هم زمان برای عملکرد و پایداری، کمترین میانگین رتبه (۱/۵۶) و حداقل انحراف معیار رتبه (SD= ۱/۰۳) به عنوان ژنوتیپ دارای عملکرد مطلوب و پایدار و سازگار با مناطق مورد بررسی شناسایی شد.

واژگان کلیدی: پایداری عملکرد، ژنوتیپ، کینوا، محیط.

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۲- استاد گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۳- استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
نگارنده‌ی مسئول mreza.ardakani@gmail.com

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa*) گیاهی یک‌ساله از تیره‌ی Amarantacae و بومی مناطق آمریکای جنوبی است (Bhargava and Sirvastava, 2013). سابقه کشت و مصرف این گیاه به‌عنوان یک منبع غذایی مهم و ارزشمند به هزاران سال قبل برمی‌گردد. در سال‌های اخیر نیز گیاه کینوا به‌عنوان محصول ارزشمند در بیش از ۹۵ کشور مورد توجه قرار گرفته و به‌صورت آزمایشی و یا با هدف کسب درآمد کشت می‌شود (Bazile *et al.*, 2015). سطح زیر کشت جهانی کینوا حدود ۲۰۰ هزار هکتار و متوسط عملکرد جهانی آن نیز تقریباً یک تن در هکتار است. میزان تولید کینوا در جهان در سال ۲۰۱۹ به حدود ۱۶۱/۴۱۵ هـزار تن رسید. پـرو، بولیـوی و اکوادور اصلی‌ترین تولیدکنندگان این محصول می‌باشند. تحقیق و توسعه کینـوا در دنیا از حدود یک دهه گذشته پیشرفت زیادی داشته است (Vasconcelos *et al.*, 2019). تحقیقات گسترده‌ایی در زمینه‌های مختلفی به‌ویژه زراعت، اصلاح و ارزش غذایی کینوا در کلرادوی آمریکا انجام شده است و در آن ارقام مختلف کینوا مورد بررسی قرار گرفتند و میزان عملکرد آنها بین ۲۰۰۰ تا ۱۱۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Angeli *et al.*, 2020).

این گیاه با ارزش غذایی مطلوب و پتانسیل بالای تولید در شرایط نامساعد محیطی شناخته شده و در کشوری مانند ایران که دارای تنوع اقلیمی است باعث ایجاد امنیت غذایی، افزایش درآمد کشاورزان و تولید پایدار خواهد شد (Jorfi *et al.*, 2022; Sharifian *et al.*, 2018). تحقیقات زیادی در مورد عملکرد کینوا در شرایط مختلف آب و هوایی در ایران انجام شده است. سپهوند (Sepahvand, 2013) میانگین عملکرد دانه کینوا در اهواز، کرج و ایرانشهر را به‌ترتیب برابر با ۱۱۶۲، ۱۰۸۱ و ۸۲۲ کیلوگرم در هکتار گزارش نمود. با بررسی سازگاری ژنوتیپ‌های کینوا (دریافتی از فائو) مشخص شد که ژنوتیپ‌های Q29، Q12، Q26، Q31، Q18، Q21، Q107، Giza1، Titicaca، Q22 و Red Carina، به‌ترتیب عملکردی معادل با ۳۹۶۱، ۳۸۰۳، ۳۷۹۹، ۳۳۵۰، ۳۲۷۸، ۳۱۵۸، ۳۰۹۲، ۲۴۳۱، ۲۳۶۴ و ۲۱۸۹ کیلوگرم در هکتار داشتند (Miri, 2016). ملایی (Molaei, 2018) با ارزیابی ۱۲ ژنوتیپ کینوا در شهرکرد گزارش کرد ژنوتیپ‌های Q26، Giza1، Q29، Red Carina و Titicaca به‌ترتیب با تولید ۲۵۰۶، ۲۳۰۴، ۲۰۳۱، ۱۸۱۷ و ۱۱۲۲ کیلوگرم دانه در هکتار بیشترین عملکرد را به خود اختصاص دادند.

از آنجا که عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر متغیر است، لذا انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در یک محیط معیار مناسبی نیست و حتی‌المقدور باید ژنوتیپ‌ها در دامنه وسیعی از تغییرات محیطی مورد ارزیابی قرار گیرند تا معیار مطمئن‌تری برای توصیه ژنوتیپ‌ها و توسعه کشت آنها باشد (Bhargava *et al.*, 2007; Golabi *et al.*, 2022; Vahedi *et al.*, 2021). یکی از اهداف برنامه‌های به‌نژادی معرفی ارقام با عملکرد بالا و سازگار با مناطق مختلف آب و هوایی است (Mohebodini *et al.*, 2006). به‌منظور انتخاب و معرفی ارقام پرمحصول و پایدار آزمایش‌های مقایسه عملکرد در چند مکان و چند تکرار انجام می‌شود. در چنین آزمایش‌هایی معمولاً پس از تجزیه واریانس داده‌ها، درصورتی‌که بین ژنوتیپ و محیط اثر متقابل معنی‌داری وجود داشته باشد، ضروری است علاوه بر اندازه‌گیری میزان عملکرد،

میزان پایداری ارقام با توجه به شاخص‌های مختلف سازگاری مدنظر قرار گیرد.

علی و همکاران (Ali *et al.*, 2018) در بررسی سازگاری پنج ژنوتیپ کینوا در ۱۰ منطقه‌ی کشور مصر از آماره‌های اکووالانس ریک و ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل استفاده کردند و ژنوتیپ Regalona را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ در آن منطقه بر اساس این پارامترها معرفی نمودند. حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2020) به بررسی سازگاری شش ژنوتیپ کینوا در ایالات متحده عربی پرداختند و با استفاده از دو آماره واریانس محیطی ایستایی و اکووالانس ریک ژنوتیپ پایدار و سازگار به محیط را معرفی نمودند.

بارگاوا و همکاران (Bhargava *et al.*, 2005) با استفاده از آماره‌های ابرهارت و راسل، شوکلا و ریک به بررسی سازگاری ۲۷ ژنوتیپ کینوا در چهار منطقه در شمال آفریقا پرداختند. باقری (Bagheri, 2018a) نیز به بررسی عملکرد ژنوتیپ‌های کینوا در مشهد و اصفهان پرداخت و گزارش نمود تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه سازگاری کشت بهاره در این مناطق را دارند و ژنوتیپ‌های Q26 و Red Carina در هر دو منطقه از نظر عملکرد در گروه برتر قرار گرفته و برای کشت بهاره در مناطق سرد و معتدل کشور مناسب می‌باشند.

در ایران مطالعات اندکی بر روی سازگاری و پایداری کینوا در مناطق مختلف صورت گرفته و با توجه به اقلیم‌های مختلف در هر منطقه پاسخ هر ژنوتیپ به شرایط محیطی متفاوت خواهد بود. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا در مناطق مختلف کشور انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه ده ژنوتیپ روزخنثی کینوا شامل Titicaca، Red Carina، Giza1، Q12، Q18، Q21، Q22، Q26، Q29 و Q31 در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه کرج، شهرکرد، ارومیه و کاشمر مورد مطالعه قرار گرفتند. مشخصات ژنوتیپ‌های مورد بررسی در جدول ۱ و میانگین دمای ماهانه و میزان بارش تجمعی در مکان‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارایه شده است. هر کرت آزمایشی شامل سه خط پنج متری بود. فاصله بین خطوط کشت ۶۰ سانتی‌متر و فواصل بین بوته‌ها روی ردیف کاشت ۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت مناطق مختلف، با توجه به اقلیم و درجه حرارت همچنین میزان بارندگی‌ها متفاوت بود. عملیات کاشت در کاشمر اوایل فروردین، در کرج نیمه اول اردیبهشت، در شهرکرد و ارومیه در اواخر اردیبهشت ماه انجام شد. آماده‌سازی بستر کاشت شامل شخم، دیسک، ماله و کودپاشی بود. عمق کاشت ۲-۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از کامل شدن دوره رشد و با مشاهده اولین علایم رسیدگی (زرد شدن ۵۰٪ سنبله‌ها)، عملیات برداشت انجام و سپس ساقه‌های گلدار توسط دستگاه خشک‌کن تا رسیدن رطوبت دانه‌ها به ۱۴-۱۲ درصد خشک شدند و در نهایت پس از کوبیدن و جداسازی دانه‌ها توزین گردیدند (Bagheri, 2018b).

پس از جمع آوری داده‌ها و تعیین عملکرد دانه به‌منظور بررسی پایداری ژنوتیپ‌های مورد بررسی از روش‌های تجزیه پایداری استفاده شد. این روش‌ها شامل روش‌های پارامتری و ناپارامتری هستند. روش‌های پایداری پارامتری شامل ترکیب

واریانس میانگین پلاستد و پترسون[۱]، رگرسیون فینلی و ویلکینسون[۲]، اکووالانس ریک (Wricke, 1962)، ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کنتبرگ (Francis and Kannenberg, 1978) و آماره‌های ناپارامتری (NP_i^1، NP_i^2، NP_i^3 و NP_i^4) تنارازو (Thennarasu, 1995)، آماره‌های ناپارامتری $S^{(1)}$، $S^{(2)}$، $S^{(3)}$ و $S^{(6)}$ ناسار و هیون[۳] و مجموع رتبه‌بندی (KR) کنگ (Kang, 1993) بود.

پلاستد و پترسون مؤلفه واریانس اثرات متقابل ژنوتیپ محیط برای هر جفت ژنوتیپ ممکن را پیشنهاد کردند و میانگین تخمین برای همه ترکیبات با ژنوتیپ مرسوم را به‌عنوان معیار پایداری در نظر گرفتند. بر این اساس ژنوتیپ‌هایی که مقدار θ_i پایین‌تری داشته باشند به‌عنوان ژنوتیپ پایدارتر در نظر گرفته می‌شوند.

روش رگرسیون فیدلی و ویلکینسون مطابق رابطه زیر محاسبه شد:

$$Y_{ijk} = M + Pi + (1+\beta_i)V_i + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

در این مدل M میانگین کل آزمایش، P_i اثر اصلی ژنوتیپ iام، β_i ضریب رگرسیون خطی برای ژنوتیپ i، V_i اثر اصلی محیط، δ_{ij} اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و ε_{ijk} اثر خطا می‌باشد. در این مدل معیار پایداری را با bi نشان می‌دهند که رگرسیون خطی عملکرد ژنوتیپ i در محیط j روی میانگین عملکرد همه لاین‌ها در محیط jام می‌باشد. بنابراین بر اساس این روش ژنوتیپی پایدار است که دارای شیب معادل b=1 باشد.

ریک (Wricke, 1962) بر اساس رابطه زیر با استفاده از روش اکووالانس از اثرات متقابل GE برای هر ژنوتیپ به‌منظور معیار پایداری استفاده کرد:

$$W_i^2 = \Sigma(Xij-Xi-Xj+X..)^2$$

در این رابطه Xij، Xi، Xj و X.. به‌ترتیب نشان‌دهنده عملکرد لاین iام در محیط jام، میانگین عملکرد تمام لاین‌های iام در محیط jام و میانگین عملکرد تمام لاین‌های iام در محیط jام می‌باشند. با توجه به اینکه این مدل سهم هر ژنوتیپ را در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط اندازه می‌گیرد، بنابراین لاین‌های با حداقل مقدار W_i^2 لاین پایدار معرفی می‌شوند چرا که پایین بودن این آماره برابر با بالا بودن اکووالانس است.

به‌منظور بررسی پایداری ارقام ابرهارت و اسل دو پارامتر به نام ضریب رگرسیون b_i و انحراف از رگرسیون S_{di}^2 را به‌صورت زیر پیشنهاد کردند:

$$bi = \frac{\sum X_2 I_j}{\sum I^2}$$

$$s_{di}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{q}(X_{ij} - X_{i.})^2 - b_i^2 \sum_{j=1}^{q}(\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})^2}{q-2}$$

در این مدل ضریب رگرسیون bi معیار پاسخ در نظر گرفته می‌شود چرا که پاسخ ویژه ژنوتیپ‌ها به اثرات محیطی را مشخص می‌کند. بر این اساس ژنوتیپی پایدار است که میانگین مربعات انحراف از رگرسیون آن کوچک باشد. همچنین به منظور پی بردن به اختلاف معنی‌دار ضریب رگرسیونی خطی لاین‌ها از آزمون T-Student استفاده شد.

شوکلا (Shukla, 1972) هم به‌منظور بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف واریانس

۱- Plaisted and Peterson, 1959
۲- Finlay and Wilkinson, 1963
۳- Nassar and Huhn, 1987

پایداری را پیشنهاد نمود که این روش بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$\sigma_i^2 = \left[\frac{p}{(p-2)(q-1)}\right] W_i^2 - \frac{SS_{GE}}{(p-1)(p-2)(q-1)}$$

$$SS_{GE} = \Sigma W_i^2$$

در رابطه فوق p، q و W_i به‌ترتیب نشان‌دهنده تعداد ژنوتیپ، تعداد محیط و آماره شوکلا است. مطابق این روش لاینی پایدار است که مقدار واریانس پایداری آن حداقل باشد.

در این روش سهم ژنوتیپ iام را در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط اندازه می‌گیرد و برای هر ژنوتیپ مستقل از سایر ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش است:

$$CV_i = \left(\frac{\sqrt{S_i^2}}{\bar{r}_{i.}}\right)$$

دو معیار ناپارامتری پایداری که توسط ناسار و هان معرفی شده است نیز به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

$$S_i^1 = 2\sum_{j}^{N-1}\sum_{j=j+1}^{N} |r_{ij} - r_{ij}|/[N(N-1)]$$

$$S_i^2 = \sum_{j=1}^{N} (r_{ij} - \bar{r}_{i.})^2/(N-1)$$

در اینجا $\bar{r}_{i.}$ میانگین رتبه ژنوتیپ i در همه محیط‌هاست، S_i^1 میانگین اختلاف رتبه ژنوتیپ i را بر روی همه محیط‌ها اندازه می‌گیرد و S_i^2 واریانس عمومی رتبه ها است.

تنارازو (Thennarasu, 1995) چهار پارامتر آماره‌های (NP_i^1، NP_i^2، NP_i^3 و NP_i^4) را بر مبنای رتبه‌های تصحیح شده پیشنهاد کرد.

معیار ناپارامتری NP_i^1 بر اساس رابطه زیر برای تعیین ژنوتیپ‌های پایدار به شرح زیر محاسبه گردید.

$$NP_i^1 = \frac{1}{S-1}\Sigma(r_{ij} - \bar{r})^2$$

از آنجا که پایداری باید مستقل از اثر ژنوتیپی به دست آید و رتبه یک ژنوتیپ در یک محیط خاص نباید بر اساس ارزش فنوتیپی آن باشد، به منظور حذف اثر ژنوتیپی عملکرد، برای هر رقم ابتدا مقدار عملکرد طبق فرمول $X_{ij}^* = X_{ij} - \bar{X}_i$ تصحیح شد و سپس هر ژنوتیپ را برحسب عملکرد تصحیح شده خود رتبه‌بندی گردید. علایم X_{ij}، $\bar{X}_i$ و $\bar{X}_j$ به‌ترتیب نشان‌دهنده عملکرد ژنوتیپ iام در محیط jام، میانگین عملکرد ژنوتیپ iام در کلیه محیط‌ها و میانگین عملکرد محیط jام برای کلیه ژنوتیپ‌ها می‌باشد. در این حالت معیار رتبه‌های به‌دست آمده فقط بر اساس اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نیز خطای آزمایشی بودند. چهار معیار دیگر بر اساس روابط ارایه شده توسط تنارازو به شرح زیر محاسبه می‌گردند.

$$NP_{i(2)} = \frac{1}{S}\sum_{j=1}^{S}|r_{ij} - M_{dt}|$$

$$NP_{i(3)} = \frac{1}{S}\left[\sum_{j=1}^{S}|r_{ij} - M_{dt}|/M_{dt}^*\right]$$

$$NP_{i(4)} = \frac{\sqrt{\sum(r_{ij} - \bar{r}_i)^2/S}}{\bar{r}_i^*}$$

در ۴ معیار ذکرشده r_{ij} رتبه ژنوتیپ iام در محیط jام، M_{dt} و M_{dt}^* به‌ترتیب میانگین رتبه‌های تصحیح نشده و تصحیح شده، S تعداد محیط و $\bar{r}_i$ و $\bar{r}_i^*$ به‌ترتیب میانگین رتبه‌های تصحیح نشده و تصحیح شده می‌باشد.

یکی دیگر از روش‌های ناپارامتری برای برآورد اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط و پایداری ژنوتیپ‌ها در همه محیط‌ها روش ناپارامتری رتبه است که در این روش ژنوتیپ‌ها در کلیه محیط‌ها

بر اساس عملکرد دانه رتبه‌بندی می‌شوند. سپس میانگین رتبه (R) و انحراف معیار رتبه‌ها (SDR) برای هر رقم محاسبه می‌شود. در این روش ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر R و SDR کمتر باشند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پر پتانسیل و پایدار در نظر گرفته می‌شوند. آماره‌های پایداری عملکرد با استفاده از برنامه STABILITYSOFT که بر اساس نرم‌افزار R طراحی شده است، محاسبه گردید (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019).

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر محیط و اثر متقابل محیط و ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳-الف). نتایج حاصل از تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در مکان‌های مختلف نیز نشان داد که تفاوت بین ژنوتیپ‌ها در چهار مکان مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳-ب). با توجه به تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های موردمطالعه از نظر عملکرد متفاوت از هم بوده و از این نظر دارای تنوع ژنتیکی می‌باشند. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین میزان عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در کرج و شهرکرد مربوط به ژنوتیپ Q26 با عملکرد به‌ترتیب ۷۱۶ و ۲۱۹۶ کیلوگرم در هکتار و در ارومیه مربوط به ژنوتیپ Q18 با عملکرد ۱۶۱۴ کیلوگرم در هکتار و در کاشمر مربوط به‌ژنوتیپ Titicaca با عملکرد ۸۲۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴).

مؤلفه واریانس میانگین (θ_i) و مؤلفه واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$)

آماره‌های پلستید و پترسون (θ_i) واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را مبنای سنجش پایداری قرار می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در روش پلستید و پترسون (θ_i) ژنوتیپ‌های Red Carina، Q22، Q31 و Q12 کمترین میزان (θ_i) را به خود اختصاص دادند، اما در بین آنها ژنوتیپ Red Carina به علت داشتن عملکرد (۹۹۶/۴۲ کیلوگرم در هکتار) بالاتر از میانگین کل به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا شناخته شد (جدول ۵). آماره پلستید ($\theta_{(i)}$) میانگین واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را در نظر می‌گیرد. بر اساس آماره پلستید ($\theta_{(i)}$) نیز ژنوتیپ‌های Red Carina، Q22، Q31 و Q12 بیشترین مقدار $\theta_{(i)}$ را به خود اختصاص دادند و در بین آنها Red Carina با عملکرد بالاتر از میانگین پایداری مطلوبی را نشان داد (جدول ۵ و ۶).

ضریب واریانس (CV_i)

ژنوتیپ‌های Titicaca، Red Carina و Giza1 مطابق روش فرانسیس و کانبرگ و بر اساس حداقل ضریب تغییرات به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ در نظر گرفته می‌شوند و با توجه به اینکه عملکرد سه ژنوتیپ (به‌ترتیب ۹۱۱/۱۱۷، ۹۹۶/۴۲ و ۱۰۶۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار) از میانگین عملکرد کل (۹۳۸/۶۷ کیلوگرم در هکتار) بیشتر است به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر معرفی می‌گردند (جدول ۵). بر اساس این آماره ژنوتیپ Q21 با عملکرد (۸۸۱/۵۸ کیلوگرم در هکتار پایین‌تر از میانگین عملکرد) بیشترین ضریب تغییرات را دارا بود و پایین‌ترین رتبه را به لحاظ پایداری به خود اختصاص داد.

ضریب رگرسیون (b_i)

بر اساس ضریب رگرسیون خطی bi روش فینلی و ویلکینسون ژنوتیپ‌های Q31، Red Carina، Q22 و Giza1 دارای ضریب رگرسیون نزدیک به ۱ بودند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت

که این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری عمومی به همه محیط‌ها هستند. بیشترین میزان ضریب رگرسیون مربوط به ژنوتیپ‌های Q29، Q21، Q26 و Q18 بود و ژنوتیپ Q26 با داشتن بیشترین عملکرد (۱۱۳۷ کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ مناسب به شرایط مطلوب محیطی شناسایی شد. کمترین میزان ضریب رگرسیون متعلق به ژنوتیپ‌های Titicaca و Q12 بود که به‌دلیل داشتن عملکردی نزدیک با میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ سازگار به محیط‌های نامطلوب در نظر گرفت (جدول ۵ و ۶). ضریب رگرسیون (bi) هر ژنوتیپ بر اساس سایر ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش به دست می‌آید و به‌عنوان معیار عمومی پایداری در نظر گرفته نمی‌شود با این‌وجود، به نظر می رسد این معیار می‌تواند معرف سازگاری ژنوتیپ باشد.

انحراف از رگرسیون (S^2_{di})

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه رگرسیونی ابرهارت و راسل (جدول ۵ و۶) ژنوتیپ‌های Red Carina، Q22 و Q21 کمترین مقدار را به خود اختصاص داده و پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i)

طبق این آماره، ژنوتیپ‌هایی پایدار در نظر گرفته می‌شوند که مقادیر کمتر σ^2_i را داشته باشند، بنابراین بر اساس این آماره و با توجه به جدول ۵ ژنوتیپ‌های Red Carina و Q22 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی می‌شوند.

اکووالانس ریک (W_i^2)

بر اساس روش اکووالانس ریک ژنوتیپ‌هایی پایدار خواهند بود که در محیط‌های مختلف دارای نوسانات W_i^2 کمتر باشند. بر اساس معیار ریک ژنوتیپ‌های Red Carina و Q22 به‌ترتیب با داشتن کمترین میزان نوسانات W_i^2 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. مشابه بودن معیار اکووالانس ریک و و واریانس شوکلا به این دلیل است که واریانس پایداری شوکلا ترکیب خطی از اکووالانس می‌باشد. اگرچه بر اساس روش شوکلا و اکووالانس ریک دو ژنوتیپ Red Carina و Q22 ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند با این‌حال عملکرد ژنوتیپ Q22 (۷۱۸ کیلوگرم در هکتار) نسبت به متوسط عملکرد کل ژنوتیپ‌ها (۹۳۸ کیلوگرم در هکتار) کمتر بوده و این ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب توصیه نمی‌شود (جدول ۵). در مقایسه روش‌های مختلف پایداری آماره پلستید و پترسون، واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک در برآورد اثر متقابل کاملاً مشابه عمل می‌کنند و ژنوتیپ‌های مشابهی را پایدار معرفی می‌کنند.

آماره‌های ناپارامتری

آماره‌های ناپارامتری پایداری برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار کینوا بر اساس معیارهای پیشنهادی ناسار و هیون و تنارازو، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه در جدول ۶ ارایه شده است. در کلیه روش‌های ناپارامتری تجزیه پایداری، ژنوتیپی که کمترین مقدار این آماره را داشته باشد از نظر عملکرد دانه، پایدار محسوب می‌شود. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۶ ژنوتیپ Q22 کمترین میزان آماره‌های $S^{(1)}$، $S^{(2)}$ و $S^{(3)}$ را به خود اختصاص داد و بر اساس این پارامترها به عنوان پایدارترین ژنوتیپ معرفی شد، هر چند بر اساس آماره $S^{(6)}$ ژنوتیپ Red Carina به عنوان پایدارترین ژنوتیپ معرفی شد. همچنین، بر اساس آماره‌های $NP^{(1)}$، $NP^{(2)}$ و $NP^{(3)}$ ژنوتیپ Red Carina به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ در نظر گرفته شد، هرچند آماره $NP^{(4)}$ ژنوتیپ Q22 را می‌توان

به عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناسایی کرد (جدول ۶ و ۷).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه به‌طورکلی نشان داد که امکان کشت بهاره همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مناطق معتدل ایران وجود دارد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر محیط بر عملکرد ژنوتیپ‌های کینوا می‌توان نتیجه گرفت که محیط‌ها به درستی انتخاب شده‌اند و از آب و هوای متنوعی برخوردار بوده‌اند. درصورتی که گزینش ژنوتیپ‌ها تنها بر اساس عملکرد و بدون در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری باشد، ژنوتیپی با میانگین عملکرد بالاتر انتخاب می‌شود، اما اگر در انتخاب ژنوتیپ علاوه بر عملکرد، شاخص‌های واریانس محیطی و ضریب تغییرات محیط نیز بررسی و عملکرد بالاتر از میانگین کل و واریانس محیطی و ضریب تغییرات پایین‌تر ملاک تصمیم‌گیری باشد، در این حالت امکان شناسایی ژنوتیپ پایدار فراهم خواهد شد. با توجه به نتایج آزمایش در چهار منطقه مورد بررسی و بر اساس میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های پایداری، ژنوتیپ Red Carina با عملکرد دانه ۹۹۶ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان یک ژنوتیپ پایدار و سازگار با مناطق مختلف با عملکرد بالاتر از میانگین (۹۳۹ کیلوگرم در هکتار) و واریانس محیطی و ضریب تغییرات پایین معرفی می‌گردد.

نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که عملکرد کینوا در شهرکرد و سپس در ارومیه نسبت به کرج و کاشمر برتری داشته و می‌توان شهرکرد را به‌عنوان یک منطقه مناسب برای تولید دانه کینوا در کشور معرفی کرد. با توجه به میانگین عملکرد دانه در کل مناطق مورد بررسی و بدون در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری، ژنوتیپ‌های Q26، Q29 و Giza1 با عملکرد دانه ۱۱۳۷، ۱۰۸۵ و ۱۰۶۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب رتبه اول تا سوم را به خود اختصاص دادند. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه این امکان را مهیا می‌سازد که ژنوتیپ‌های مناسب برای هر محیطِ خاص تعیین شوند؛ بنابراین ژنوتیپ‌های Q26 و Q29 با عملکرد دانه بیشتر از ۲۱۰۰ کیلوگرم در هکتار برای منطقه شهرکرد، ژنوتیپ Q18 با عملکرد ۱۶۱۴ کیلوگرم در هکتار برای ارومیه، رقم Titicaca با عملکرد ۸۲۹ کیلوگرم در هکتار برای کاشمر و ژنوتیپ Q26 با عملکرد ۷۱۷ کیلوگرم در هکتار برای کرج به‌عنوان ژنوتیپ‌های مناسب در این مناطق معرفی می‌شوند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری‌های بخش تحقیقات سبزی، صیفی و حبوبات آبی و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در اجرای این پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۹۶۰۴۳۸-۰۴۱-۰۳-۰۳- ۰-۰ تشکر و قدردانی می‌شود.

جدول ۱- نام و منشأ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کینوا

Table 1- Name and origin of genotypes of quinoa

شناسه ID	منشأ Origin
Titicaca	Denmark
Red Carina	Holland, Dr. Cheraghi
Giza1	Egypt
COLORADO USA, 2011 FAO (Q12)	FAO
NAVLE-CHILE 2011-FAO (Q18)	FAO
Bio-Bio_CHILE 2011_FAO (Q21)	FAO
CHILE 2011 –FAO (Q22)	FAO
CHILE 2011- FAO (Q26)	FAO
CHILE 2011- FAO (Q29)	FAO
CHILE 2011- FAO (Q31)	FAO

جدول ۲- میانگین دمای ماهانه و میزان بارش تجمعی طی فصل رشد در مکان‌های مورد بررسی

Table 2- Average monthly temperature and the amount of cumulative rainfall during the growing season in the studied areas

Month	Mean temperature (°C) میانگین دما				Rainfall (mm) میزان بارش			
	کرج Karaj	شهرکرد Shahrekord	ارومیه Urmia	کاشمر Kashmar	کرج Karaj	شهرکرد Shahrekord	ارومیه Urmia	کاشمر Kashmar
April	13.64	10.93	11.62	17.77	0.89	1.65	2.56	1.31
May	18.45	15.12	15.65	23.03	1.84	1.20	1.43	0.49
June	25.58	22.62	21.81	30.07	0.24	0.00	0.55	0.00
July	31.91	25.39	26.71	32.87	0.00	0.00	0.00	0.00
August	28.41	24.68	24.12	29.66	0.00	0.00	0.00	0.00
September	23.99	20.32	20.07	25.07	0.03	0.00	0.09	0.00

جدول ۳- الف- نتایج تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) عملکرد دانه

Table 3 A- Results of combined analysis of variance (mean squares) of grain yield

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield
محیط Environment	3	10224326^{**}
بلوک(محیط) Block(Environment)	8	13519
ژنوتیپ Genotype	9	$247231^{n.s.}$
محیط× ژنوتیپ Environment × Genotype	27	114750^{**}
خطای آزمایشی Error	72	3961
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	6.70

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار.

**: Significant at 0.01 probability levels; ns: non-significant.

جدول ۳- ب- نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه در مکان‌های مختلف

Table 3 B- Results of analysis of variance of grain yield in different locations

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات (M.S.)			
		کرج Karaj	شهرکرد Shahrekord	ارومیه Urmia	کاشمر Kashmar
بلوک Block	2	$1363^{n.s.}$	31718^{**}	$20026^{n.s.}$	$970^{n.s.}$
ژنوتیپ Genotype	9	66304^{**}	259229^{**}	186697^{**}	79253^{**}
خطای آزمایشی Error	18	1699	3429	7557	3161
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	9.56	3.44	8.00	10.49

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد؛ .ns: غیرمعنی‌دار.

**: Significant at 0.01 probability levels; ns: non-significant.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های کینوا در مکان‌های مختلف

Table 4- Mean comparison of grain yield ($kg.ha^{-1}$) of quinoa genotypes in different locations

ژنوتیپ Genotype	کرج Karaj	شهرکرد Shahrekord	ارومیه Urmia	کاشمر Kashmar	میانگین Mean
Red Carina	540	1699	1107	639	996
Titicaca	470	1280	1066	829	911
Giza1	412	1761	1362	719	1063
Q12	413	1470	842	483	802
Q18	360	1701	1614	406	1021
Q21	237	1800	1122	368	882
Q22	247	1410	829	387	718
Q26	717	2196	1014	621	1137
Q29	570	2129	1096	543	1085
Q31	347	1560	818	362	772
LSD 0.05	71	100	149	96	n.s.

میانگین‌ها به صورت مستقل با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

The means were independently compared with the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۵- تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا بر اساس روش‌های پارامتری

Table 5- Stability analysis of grain yield of quinoa genotypes based on parametric methods

ژنوتیپ Genotype	عملکرد Yield	مؤلفه واریانس میانگین θ_i	مؤلفه واریانس ژنوتیپ × محیط $\theta_{(i)}$	ضریب واریانس CV_i	ضریب رگرسیون b_i	انحراف از رگرسیون S^2_{di}	واریانس پایداری شوکلا σ^2_i	اکووالانس ریک W_i^2
Red Carina	996.42	23300	42585	53.16	0.91	111	766	9636
Titicaca	911.17	70088	30888	38.07	0.55	7664	104506	262289
Giza1	1063.33	30963	40670	57.44	1.02	7215	16475	51015
Q12	802.00	29256	41096	60.24	0.82	1342	12635	41799
Q18	1020.50	72074	30392	72.22	1.16	35101	108975	273015
Q21	881.58	33373	40067	82.34	1.24	610	21897	64028
Q22	718.33	23880	42440	72.92	0.90	253	538	12766
Q26	1137.17	55268	34593	63.81	1.18	21122	71162	182264
Q29	1084.58	43377	37566	68.37	1.25	7805	44407	118051
Q31	771.58	24829	42203	73.77	0.97	2392	2674	17893

جدول ۶- تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا بر اساس روش‌های ناپارامتری

Table 6- Stability analysis of grain yield of quinoa genotypes based on nonparametric methods

ژنوتیپ Genotype	آماره‌های تنارازو Thennarasu's non-parametric statistics				ناسار و هیون Nassar and Huhn's non-parametric statistics					
	$NP^{(4)}$	$NP^{(3)}$	$NP^{(2)}$	$NP^{(1)}$	$S^{(3)}$	$S^{(6)}$	Z_2	$S^{(2)}$	Z_1	$S^{(1)}$
Red Carina	0.24	0.00	0.20	0.00	0.86	0.57	1.59	2.00	2.07	1.67
Titicaca	0.84	0.57	0.46	2.25	7.43	1.91	1.47	14.25	1.83	4.83
Giza1	0.31	0.34	0.25	2.25	1.47	0.80	0.86	3.67	0.73	2.33
Q12	0.43	0.83	0.44	3.50	1.59	1.18	1.47	2.25	1.67	1.83
Q18	0.56	0.62	0.80	2.75	4.00	1.33	0.00	8.00	0.00	3.33
Q21	0.95	0.48	0.65	2.25	9.00	2.74	1.47	14.25	1.12	4.50
Q22	0.22	0.67	1.38	1.00	0.33	0.67	2.61	0.25	6.09	0.50
Q26	0.45	0.49	0.32	3.75	3.19	1.16	0.00	8.25	0.03	3.50
Q29	0.27	0.38	0.60	2.25	1.20	0.80	1.12	3.00	1.31	2.00
Q31	0.81	0.70	1.88	1.50	3.00	2.22	1.47	2.25	1.67	1.83

جدول ۷- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های کینوا بر اساس شاخص‌های پایداری

Table 7- Ranking of quinoa genotypes based on stability indices

ژنوتیپ Genotype	θ_i	$\theta_{(i)}$	CV_i	S^2_{di}	σ^2_i	W_i^2	$NP^{(4)}$	$NP^{(3)}$	$NP^{(2)}$	$NP^{(1)}$	$S^{(3)}$	$S^{(2)}$	$S^{(1)}$	مجموع رتبه‌ها SR	میانگین رتبه‌ها AR	انحراف معیار SD
Red Carina	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	25	1.56	1.03
Titicaca	9	9	1	7	9	9	9	6	5	4	9	9	10	120	7.50	2.50
Giza1	5	5	3	6	5	5	4	2	2	4	4	6	6	65	4.06	1.44
Q12	4	4	4	4	4	4	5	10	4	9	5	3	3	82	5.13	2.09
Q18	10	10	7	10	10	10	7	7	8	8	8	7	7	129	8.06	1.69
Q21	6	6	10	3	6	6	10	4	7	4	10	9	9	115	7.19	2.34
Q22	2	2	8	2	2	2	1	8	9	2	1	1	1	58	3.63	3.22
Q26	8	8	5	9	8	8	6	5	3	10	7	8	8	102	6.38	2.50
Q29	7	7	6	8	7	7	3	3	6	4	3	5	5	79	4.94	1.95
Q31	3	3	9	5	3	3	8	9	10	3	6	3	3	91	5.69	2.82

References منابع مورد استفاده

- Ali, M., A. Elsadek, and E. Mohamed Salem. 2018. Stability parameters and AMMI analysis of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Egyptian Journal of Agronomy*. 40(1): 59-74. doi:10.21608/agro.2018.2916.1094
- Angeli, V., P. Miguel Silva, D. Massuela, M. WaleedKhan, A. Hamar, F, Khajehei, S. Graeff-Honninger, and C. Piatti. 2020. Quinoa (*Chenopodium quinoa*): An overview of the potentials of the golden grain and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods.* 9(2): 216. doi: 10.3390/foods9020216
- Bagheri, M. 2018a. Evaluation of compatibility of quinoa genotypes in Mashhad and Isfahan. Final Report of the Research Project. Seed and Plant Breeding Research Institute, Karaj, Iran. (In Persian).
- Bagheri, M. 2018b. Handbook of quinoa agriculture. Seed and Plant Breeding Research Institute, Karaj, Iran. (In Persian).
- Bazile, D., D. Bertero, and C. Nieto. 2015. State of the art report on quinoa around the world in 2013. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & CIRAD.
- Bhargava, A., and S. Sirvastava. 2013. Quinoa botany. Production and uses. CAB International, Oxfordshire.
- Bhargava, A., S. Shukala, and D. Ohri. 2007. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 101(1):104–116. doi: 10.1016/j.fcr.2006.10.001
- Bhargava, A., S. Shukla, and D. Ohri. 2005. Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in *Chenopodium* spp. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 4(2): 64-72. doi: 10.17221/3673-CJGPB
- Eberhart, S.A., and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6: 6-40.
- Francis, T.R., and G.N. Kannenberg. 1978. Yield stability studies in short-season maize. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*. 58: 1029-1034. doi: 10.4141/cjps78-157
- Golabi, M., S. Lak, A. Gilani, M. Alavi Fazel, and A. Egdernezhad .2022. Growth index, yield and yield components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars affected by date and method of planting at Ahvaz region. *Journal of Crop Ecophysiology.* 16: 411-434. doi:10.30495/JCEP.202201911931.1721
- Hussain, M.I., A. Muscolo, M. Ahmed, M.A. Asghar, and A.J. Al-Dakheel. 2020. Agro-morphological, yield and quality traits and interrelationship with yield stability in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under saline marginal environment. *Plants*. 9(12): 1763. doi: 10.3390/plants9121763
- Jorfi, A., M. Alavifazel, A. Gilani, M.R. Ardakani, and S. Lack. 2022. Evaluation of root growth dynamics and yield components of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars by changing phosphorus and zinc levels. *Journal of Crop Ecophysiology*.16: 473-455. doi:10.30495/JCEP.2023.1933283.1810

- Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: consequences for growers. *Agronomy Journal*. 85: 754-757. doi. 10.2134/agronj1993.00021962008500030042x
- Miri, Kh. 2016. Evaluation of compatibility of quinoa genotypes to Iranshahr region. Final Report of the Research Project. Balochistan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center (Iranshahr). Agricultural Education and Extension Research Organization, Iran. (In Persian).65 P.
- Mohebodini, M., H. Dehghani, and S.H. Sabaghpour. 2006. Stability of performance in lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes in Iran. *Euphytica*. 149: 343-352. doi: 10.1007/s10681-006-9086-7
- Molaei, 2018. Familiarity with quinoa and cultivation of its cultivars in Shahrekord. Research Project. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran. (In Persian). 38 P.
- Pour-Aboughadareh, A., M. Yousefian, H. Moradkhani, P. Poczai, and K.H.M. Siddique. 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences*. 7(1): e1211. doi: 10.1002/aps3.1211
- Sepahvand, N. A. 2013. Compatibility study, agronomic characteristics, phenological and quality value of quinoa plant in Iran. Final Report. Seed and Plant Breeding Research Institute. (In Persian). 66 P.
- Sharifian, H., S. Jamali, and F. Sajjadi. 2018. Investigation of the effect of different salinity levels on some morphological characteristics of quinoa under different irrigation regimes. *Journal of Soil and Water Sciences*. 22 (2): 15-27. (In Persian). doi: 10.22069/jwsc.2018.13721.2841
- Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype - environmental components of variability. *Heredity*. 29: 237-245. doi:10.1038/hdy.1972.87
- Thennarasu, K. 1995. On certain non- parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph.D. Thesis. P.J. School, IARI, New Dehli, India.
- Vahedi, M.R., E. Tohidi Nejad, and A. Pasandi Pour. 2021. Evaluation of yield and yield components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as affected by different planting densities. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15: 593-608. doi: 10.30495/ jcep.2022.689808
- Vasconcelos, E. S., M. Echer, M. Marcia de, M.A. Kliemann, and L.M. Júnior. 2019. Selection and recommend of quinoa **(***Chenopodium quinoa***)** genotypes based on the yield genotypic adaptability and stability. *Revista Ceres*. 66(2): 117-123. doi:10.1590/0034-737x201966020006
- Wricke, G. 1962. Uber eine methode zur refassung der okologischen streubretite in feldversuchen. *Flazenzuecht*. 47: 92-96.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2023.1935024.1815

Grain Yield Adaptability and Stability of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes Using Different Stability Indices

Maryam Etaati[1], Mohammad Reza Ardakani[2*], Mahmoud Bagheri[3], Farzad Paknejad[2] and Farid Golzardi[3]

Received: July 2021 , Revised: 14 November 2021, Accepted: 1 February 2022

Abstract

Quinoa is known as a suitable plant in adverse environmental conditions due to its desirable nutritional value and high production potential such a country like Iran, which has a climate diversity, it will create food security, increase farmers' incomes and sustainable production. To study the genotype and environment interaction and determine the stability and adaptability of grain yield of quinoa genotypes in different regions of Iran, ten genotypes were evaluated in a randomized complete block design with three replications in four regions of Karaj, Shahrekord, Urmia, and Kashmar during 2017-2018 cropping season. The studied genotypes included Titicaca, Red Carina, Giza1, Q12, Q18, Q21, Q22, Q26, Q29, and Q31. The results of the combined analysis of variance showed that the effect of environment and the genotype and environment interaction on the grain yield were significant ($p \leq 0.01$). The highest grain yield in Karaj and Shahrekord (717 and 2196 $kg.ha^{-1}$, respectively) was obtained by the Q26 genotype and in Urmia and Kashmar (1614 and 829 $kg.ha^{-1}$, respectively) by the Q18 and Titicaca genotypes, respectively. According to the results of stability and compatibility analysis with different methods and indices (parametric and non-parametric), the Red Carina genotype was identified as a genotype with suitable and stable yield and compatible with the study areas, with 996 $kg.ha^{-1}$ grain yield higher than the average yield of all genotypes (939 $kg.ha^{-1}$), the highest rank of simultaneous selection index for yield and stability, the lowest mean rank (1.56), and the minimum standard deviation of rank (SD = 1.03).

Key words: Environment, Genotype, Quinoa, Yield stability.

1- Ph.D. Condinate, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
2- Professor, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
Corresponding Author: mreza.ardakani@gmail.com*