علوم و تحقیقات بذر ایران
سال دهم/ شماره چهارم/ ۱۴۰۲ (۴۹ - ۳۱)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2023.7682

ارزیابی ویژگی‌های کمی و بیوشیمیایی جوانه‌زنی بذر ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تولید شده در شرایط آب و هوایی کرج

صدف گیلانی نیا[۱]، سید محمدرضا احتشامی*[۲]، مسعود اصفهانی[۳]، محمود باقری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

چکیده

کینوا *Chenopodium quinoa* Willd. به‌دلیل ارزش بالای غذایی، تنوع ژنتیکی و سازگاری با شرایط محیطی متفاوت و تنش‌زا، نقش مهمی در تامین امنیت غذایی در شرایط آب و هوایی در حال تغییر ایفا می‌نماید. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی ویژگی‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی ۱۲ ژنوتیپ کینوا سازگار با شرایط آب و هوایی ایران بود. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۴۰۱ در آزمایشگاه فیزیولوژی و زیست فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. در این آزمایش صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، D10، D50، D90، وزن‌تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه، هدایت الکتریکی محلول بذر، محتوای مالون دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و محتوای ساپونین مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها در تمام صفات و شاخص‌های مورد مطالعه بود. ژنوتیپ Q26 در صفات درصد جوانه‌زنی (۹۱/۳۳ درصد)، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه، وزن تر گیاهچه، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (۰/۲۳۴ میکرومول گلوکز آزادشده در گرم وزن بذر) و محتوای ساپونین نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشت. از نظر شاخص‌های یکنواختی جوانه‌زنی، هدایت الکتریکی محلول بذر و محتوای مالون‌دی‌آلدئید، ژنوتیپ Q26 پائین‌ترین رتبه و به‌ترتیب ژنوتیپ‌های Q2 و Q12 بالاترین رتبه را داشتند. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ Q26 نتایج بهتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر نشان داد. به نظر می‌رسد این ژنوتیپ می‌تواند شرایط بهتری جهت کاشت در شرایط آب و هوایی ایران داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آلفا آمیلاز، جوانه‌زنی، کینوا، مالون دی آلدئید، هدایت الکتریکی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. s.gilaninia@gmail.com
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. smrehteshami@yahoo.com
۳- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. esfahani@guilan.ac.ir
۴- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. bagh313@yahoo.com
*نویسنده مسئول: smrehteshami@yahoo.com

مقدمه

امروزه فشار زیادی بر تولید مواد غذایی برای تغذیه جمعیت رو به‌رشد جهان و ترویج پایداری منابع مختلف مربوط به کشاورزی و حفاظت از محیط زیست وجود دارد (Bhargava *et al*., 2008). وابستگی بیش از حد به محصولات زراعی متداول منجر به کاهش تنوع محصولات در مزارع شده است. علاوه بر این، گرمایش جهانی نیز با کاهش عملکرد محصولات مهم غلات به‌دلیل افزایش دما، امنیت غذایی را تهدید می‌کند (Thiam *et al*., 2021). از این رو جستجوی محصولات جایگزین نه‌تنها برای بهبود وضعیت تغذیه‌ای، بلکه برای محافظت در برابر تغییرات آب و هوایی نیز حیاتی شده است. این موضوع نیازمند معرفی گیاهانی است که در برابر تغییرات آب و هوایی متحمل هستند. در طول سال‌های اخیر گیاهانی با تنوع ژنتیکی بالا، توانایی تحمل تنش‌های غیرزیستی (خشکی، شوری، دماهای بالا و یخبندان)، ارزش تغذیه‌ای و زراعی بالا را به‌دست آورده‌اند. کینوا یکی از این گیاهان می‌باشد که توجه زیادی را در جهان به‌خود جلب کرده است (Pulvento and Bazile, 2023).

کینوا گیاهی دو لپه با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd. از خانواده تاج خروس (*Amarahnthaceae*)، یک شبه‌غله بومی منطقه‌ی آند در آمریکای جنوبی است (Angeli *et al*., 2020). محتوای بالای پروتئین با کیفیت در کینوا آن را به یک غذای کامل با ارزش تغذیه‌ای استثنایی تبدیل کرده است. کیفیت پروتئین کینوا می‌تواند نسبت به گندم، جو و سویا برتر باشد (Angeli *et al*., 2020). دانه‌های کینوا حاوی محتوای بالایی از مواد مغذی، ویتامین‌ها (A، B و E)، پلی فنل‌ها، چربی و ساپونین می‌باشد (Tang and Tsao, 2017).

کینوا یکی از این گیاهانی می‌باشد که توجه زیادی را در جهان به‌خود جلب کرده است (Pulvento and Bazile, 2023). کینوا پتانسیل بالایی برای زراعت در دامنه وسیعی از ارتفاعات، از صفر تا ۴۰۰۰ متر، با توانایی رشد و تولید بذر در محیط‌های گرم و دماهای بسیار سرد را دارد. گیاهی مانند کینوا که پتانسیل بالایی برای تحمل تنش‌ها و بهره‌وری بالا تحت شرایط حاشیه‌ای را دارد، گزینه مناسبی برای تضمین امنیت غذایی، کاهش فشار بر گیاهان زراعی مرسوم و افزایش عملکرد مزارع می‌باشد (Ruiz *et al*., 2014).

جوانه‌زنی از حساس‌ترین مراحل زندگی گیاه است و موفقیت در گذراندن این دوره، نقش مهمی در استقرار گیاه خواهد داشت. جوانه‌زنی سریع و موثر منجر به رشد گیاهچه‌های سالم و قدرتمند با تحمل طیف وسیعی از شرایط محیطی و عملکرد بالا می‌شود (Foolad *et al*., 2007). کیفیت نامناسب جوانه‌زنی و استقرار ناکافی از عوامل محدودکننده‌ای است که گیاهان زراعی در مناطق مختلف با آن مواجه هستند. این کیفیت تحت تاثیر عوامل بسیاری از جمله رقم، خلوص ژنتیکی، خلوص فیزیکی، قوه نامیه و قابلیت حیات بذر قرار می‌گیرد (Soltani *et al*., 2002). با توجه به تنوع اقلیمی مناطق مختلف کشور، دست‌یابی به اطلاعات جامع‌تر در زمینه صفات ژنوتیپ‌های جدید گیاهان زراعی می‌تواند محققان را جهت ارزیابی بهتر این ژنوتیپ‌ها یاری نماید (Samarah and Abu-Yahya, 2008).

تنوع در صفات کمی و کیفی بذرهای کینوا در ژنوتیپ-های متفاوت آن گزارش شده است (Vidueiros *et al*., 2015). گونزالس و همکاران (Gonzalez *et al*., 2011) تنوع بالایی در ۱۰ ژنوتیپ کینوا، جمع آوری شده از شمال غربی آرژانتین را گزارش کردند. نتایج مطالعه بر روی شش ژنوتیپ کینوا از سه منطقه در شیلی، تفاوت معنی‌داری در تمام شاخص‌های تغذیه‌ای نشان داد (Miranda *et al*., 2012). میراندا و همکاران (Miranda *et al*., 2012) تفاوت‌های صفات کیفی و عملکردی بین بذرهای کینوا را ناشی از تاثیر زمینه ژنتیکی در مقابل اثرات شرایط محیطی گزارش کردند. نتایج تحقیقات رگورا و همکاران (Reguera *et al*., 2018) نشان داد که صفات مورد بررسی بذر کینوا به رقم و منطقه کشت آن بستگی دارد. ارزیابی چهار رقم کینوا (Zeno، Titicaca، Jessie و Puno) با منشا ژنتیکی متفاوت در جنوب غربی آلمان نشان داد که کیفیت بالای بذر ناشی از تنوع ژنتیکی در این گیاه است (Präger *et al*., 2018). نتایج تحقیقات رودریگز و همکاران (Granado-Rodriguez *et al*., 2021) تاثیر زیاد شرایط محیطی در رقم‌های متفاوت بر کیفیت بذر کینوا را نشان داد و ارقام Titicaca و Vikinga به‌عنوان بهترین ارقام از نظر کیفیت بذر معرفی شدند. در ایران نیز تفاوت در کیفیت بذر ژنوتیپ‌های کینوا توسط باقری و همکاران (Bagheri *et al*., 2021) و صالحی (Salehi, 2020) گزارش شده است.

با توجه به قابلیت‌های کینوا و سازگاری مناسب آن برای تولید بذر با کیفیت از لحاظ شاخصه‌های مربوط به جوانه-زنی، هدف از انجام پژوهش حاضر، معرفی با کیفیت‌ترین بذر حاصل از ژنوتیپ‌های مختلف (۱۲ ژنوتیپ) تولید شده در شرایط آب و هوایی کرج بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه فیزیولوژی و زیست فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان با ۱۲ تیمار (ژنوتیپ) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای مورد بررسی از بذر ۱۲ ژنوتیپ کینوا (جدول ۱) که در سه تکرار در ۱۳ تیر ۱۴۰۱ در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه ۵۵ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۱۲/۵ متر از سطح دریا کشت شده و در پایان فصل رشد در اواخر آبان ماه، از هر تیمار به‌طور مجزا برداشت شده بودند، به‌دست آمد. بذرها پس از برداشت، تا زمان انجام آزمایش در داخل پاکت‌های زیپ‌دار در سردخانه با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

در ابتدا ۵۰ عدد بذر از هر تیمار برداشت شده از مزرعه، با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به‌مدت سه دقیقه ضدعفونی، سپس برای از بین بردن باقی‌مانده محلول، با استفاده از آب مقطر دو الی سه بار شست و شو، و برای کشت آماده شدند. بذرهای ضدعفونی شده از هر ژنوتیپ درون ظرف پتری شیشه‌ای سایز ۱۰ بر روی کاغذ صافی، به‌مدت هفت روز در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سلیسیوس قرار داده شدند (ISTA, 2018). آبیاری به‌صورت روزانه و به مقداری که کاغذ صافی مرطوب گردد، با آب مقطر به ظرف پتری افزوده شد. از زمان شروع آزمایش تعداد بذرهای جوانه‌زده با معیار ظهور طول ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر، هر روز کنترل و یادداشت برداری گردید. درصد جوانه‌زنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (ISTA, 2018):

(رابطه ۱): $GP=\frac{n}{N}\times 100$

که در آن GP، درصد جوانه‌زنی، n، تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز آخر و N، تعداد کل بذرهای کشت‌شده می‌باشد.

برای تعیین سرعت جوانه‌زنی از رابطه زیر استفاده شد (Ellis and Roberts, 1980):

(رابطه ۲): $GR=\sum n/\sum d$

در این رابطه GR، سرعت جوانه‌زنی، n تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز آخر و d تعداد روزهای آزمایش می‌باشد.

در روز آخر آزمایش، تعداد ۱۰ گیاهچه جوانه‌زده از هر ظرف پتری خارج، و طول ریشه چه و ساقه چه آن اندازه‌گیری شد. سپس به‌منظور اندازه‌گیری وزن‌تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده گردید. بعد از آن نمونه‌ها داخل دستگاه آون با دمای ۷۵ درجه‌ی سلیسیوس و به‌مدت زمان ۲۴ ساعت قرار گرفت. سپس وزن خشک آن‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه مدت زمان رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی از برنامه Germin استفاده شد (Soltani *et al.*, 2002). در برنامه Germin برای محاسبه یکنواختی جوانه‌زنی بذرها، ابتدا منحنی جوانه‌زنی تجمعی هر تکرار در مقابل زمان (بر حسب ساعت) رسم و با استفاده از روش درون‌یابی خطی، مدت زمان شروع کاشت بذرها تا زمانی که ۱۰ درصد و ۹۰ درصد جوانه‌زنی اتفاق افتاد، محاسبه شد. این زمان‌ها به‌صورت D_{10} تا D_{90} نشان داده شد. یکنواختی جوانه‌زنی تفاضل زمان ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی با ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی است (Soltani *et al.*, 2002).

(رابطه ۳): $GU= D_{90} - D_{10}$

به‌منظور انجام آزمون هدایت الکتریکی از دستگاه هدایت‌سنج در چهار تکرار استفاده شد. بدین منظور ۵۰ بذر از هر نمونه، جدا و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱توزین و وزن هر یک از نمونه‌ها یادداشت گردید. ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش، ارلن‌های حاوی ۲۵۰ سی‌سی آب دو بار تقطیر در انکوباتور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس ظرف‌ها خارج، بذرها وزن‌شده و به ظرف‌ها افزوده و به‌خوبی تکان داده شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفته، سپس پس از خارج کردن بذرها از محلول و تکان دادن آن، با استفاده از دستگاه، هدایت الکتریکی محلول‌ها قرائت و یادداشت شد. مقادیر یادداشت شده در داخل فرمول قرار گرفته و هدایت الکتریکی هر نمونه بر حسب میکروزیمنس سانتی‌متر بر گرم گزارش شد (Farooq *et al.*, 2005).

(رابطه ۴): $\text{هدایت الکتریکی} = \frac{EC_{\text{محلول}}-EC_{\text{شاهد}}}{\text{وزن بذر}(g)}$

جدول ۱- اسامی و مشخصات ژنوتیپ‌های کینوا مورد مطالعه

Table 1. Names and characteristics of studied quinoa genotypes

ردیف No	ژنوتیپ یا شناسه Genotype or Identifier	منشا Origin	سال ورود/ تولید Year of entry/production	نوع type
1	Redcarina	The Netherlands	2012	Cultivar
2	Titicaca	Denmark	2011	Cultivar
3	Giza1	Egypt	2013	Cultivar
4	Atlas	The Netherlands	2016	Cultivar
5	Blanka Dejunine (Q103)	Peru	2016	Cultivar
6	Q1	ICBA	2017	Accession
7	Q2	ICBA	2017	Accession
8	Q3	ICBA	2017	Accession
9	Q4	ICBA	2017	Accession
10	COLORADO USA, 2011 FAO (Q12)	Chile	2013	Accession
11	CHILE 2011- FAO (Q26)	Chile	2013	Accession
12	CHILE 2011- FAO (Q29)	Chile	2013	Accession

محتوای مالون‌دی‌آلدئید (MDA) بذرها برای بررسی میزان پراکسیداسیون لیپیدها، بررسی شد. بدین منظور ابتدا مقدار ۰/۲ گرم بذر توسط ۲ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد اسید تری‌کلرواستیک (TCA) همگن شد. سپس عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و روشناور جدا شد. به ۰/۲۵ میلی‌لیتر از محلول روشناور مقدار ۱ میلی‌لیتر محلول ۲۰ درصد TCA حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) اضافه شد. سپس مخلوط حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سلسیوس قرار گرفت و بلافاصله نمونه‌ها در یخ سرد قرار داده شد. پس از طی این مراحل، مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه و در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. در انتها جذب محلول روشناور حاصل از سانتریفوژ در طول‌موج‌های ۵۳۲ و۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر شرکت آرمان شیمی سنج (Libra s22) خوانده شد و در نهایت محتوای مالون‌دی‌آلدئید (با ضریب خاموشی ۱۵۵ میلی‌مول بر سانتی‌متر) که محصول پراکسیداسیون لیپیدهاست، بر اساس نانو مول در گرم وزن بذر محاسبه گردید (Heath and Packer, 1968).

به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز از محلول DNS (دی‌نیتروسالیسیلیک اسید) استفاده شد. در ابتدا بذرها جوانه‌دار، سپس ۰/۲۶ گرم از آن‌ها با محلول بافر فسفات دارای pH=۶/۹ سابیده، و توسط دستگاه سانتریفیوژ به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. در ادامه ۰/۲۵ میلی‌لیتر از روشناور حاصل با ۰/۲۵ میلی‌لیتر نشاسته یک درصد مخلوط و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۳۰ دقیقه بن‌ماری، و پس از طی این مرحله به آن‌ها ۰/۵ میلی‌لیتر محلول DNS افزوده و به دو قسمت تقسیم شدند. نیمی در یخ و نیمی در داخل بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۵ دقیقه قرار داده شد. سپس میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر آرمان شیمی‌سنج (Libra s22) قرائت گردید. محتوای گلوکز نمونه‌ها از تفاوت اعداد قرائت شده مربوط به نمونه‌های قرار گرفته در یخ و آب جوش حاصل گشت و همچنین میزان فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز با استفاده از روابط زیر محاسبه و گزارش شد (Liliana and Lozano, 2002).

(رابطه ۵): $Y=0/355X+0/0222$

(رابطه ۶): فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز $=\frac{Y}{0/25cc.30min.0/26gr}$

که در آن X، تفاوت اعداد قرائت شده مربوط به نمونه‌های قرار گرفته در یخ و آب جوش و Y، میزان گلوکز نمونه می باشد.

به‌منظور اندازه‌گیری میزان ساپونین از روش کوزیال (Kozial, 1991) استفاده شد. مقدار نیم‌گرم از بذرهای هواخشک (بذرهایی که در معرض هوا خشک شدند) وزن و آسیاب شد. سپس در تیوپ‌های درپوش‌دار با طول ۱۶۰ میلی‌متر و قطر ۱۶ میلی‌متر قرار گرفته و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه، سپس تیوپ‌ها به‌مدت ۳۰ ثانیه به‌شدت تکان داده شد (با فرکانس ۴ تکان در ثانیه) و ارتفاع کف ایجاد شده بر روی سطح آب اندازه‌گیری و محتوی ساپونین موجود بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه بذرها با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد:

(رابطه ۷): وزن بذر (گرم)(۰/۰۰۸) + [ارتفاع کف (سانتی‌متر) × (۰/۴۲۳)] = میزان ساپونین (میلی‌گرم)

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه‌ی ۹/۴ انجام گرفت. مقایسات میانگین نیز با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام و نمودارها با نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۰۷ ترسیم شدند.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ژنوتیپ بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به ژنوتیپ Q26 (۹۱/۳۳ درصد) و کمترین درصد جوانه‌زنی مربوط به ژنوتیپ‌های Q1 (۷۴ درصد) و Q12 (۷۵/۳۳ درصد) بود. همچنین ژنوتیپ‌های Q3، Q29 و Titicaca از درصد جوانه‌زنی (۸۸/۶۶) یکسانی برخوردار بوده و با ژنوتیپ Red carnina (۸۷/۳۳) در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). بررسی جوانه‌زنی برای تشخیص تفاوت‌ها در پتانسیل فیزیولوژیکی به دنبال انتخاب ژنوتیپ برتر جهت تولید موفق در کشاورزی ضروری است. یکی از عوامل مهم، استفاده از بذرهایی با کیفیت فیزیولوژیکی بالاست که مستقیما با جوانه‌زنی و بنیه آن مرتبط است و این موارد تحت تاثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرند (Prazeres and Coelho, 2016). وجود اختلافات ژنتیکی در گیاهان و ارقام مختلف یک گونه، با تاثیر بر جذب نور، بر میزان فتوسنتز آن‌ها تاثیر می‌گذارد (Corraliza *et al.*, 2019). نتایج تحقیقات، رابطه بین ترکیبات فنلی و محتوای فسفر بر درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ های متفاوت را نشان می‌دهد. رودریگز و همکاران (Granado-Rodríguez *et al.*, 2021) گزارش کردند که یک همبستگی مثبت بین ترکیبات فنلی و درصد جوانه‌زنی در بذر کینوا مشاهده شد. علاوه بر این، اثر محرک این ترکیبات بر درصد جوانه‌زنی نیز در گونه ی نزدیک به کینوا، در گیاه سلمه تره (*Chenopodium album* L.) گزارش شده است (Reigosa *et al.*, 1999). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد، که میزان محتوای بالای فسفر در بذرها باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد وجود نقش پروتئین‌های ذخیره‌ای با جوانه‌زنی مرتبط باشد (Koyro and Eisa, 2008). بسیاری از مواد ذخیره‌ای بذر، مانند تانن‌ها و بازدارنده‌های تریپسین، در پوشش بذر کینوا یافت می‌شوند که ممکن است اثرات مخربی بر جوانه‌زنی بذر و کیفیت آن داشته باشند. همچنین تانن‌ها و لیگنین‌ها سختی پوشش بذر را افزایش داده و سازگار با ویژگی‌های جوانه‌زنی و خواب بذر می‌باشد (El Hazzam *et al.*, 2020). در ارقام متفاوت کینوا مانند Chadmo و Titicaca، تاخیر بیشتری در جوانه‌زنی بذرهای با پوشش تیره‌تر گزارش شده است (Ceccato *et al.*, 2015). شرایط محیطی که بذرها حین نمو بر روی گیاه مادری با آن روبرو می‌شوند، بر درصد جوانه‌زنی، تاثیر مستقیم دارد (Ceccato *et al.*, 2011). در گیاهان *Chenopodium polyspermum* و *Chenopodium album* دوره‌ی نوری که بذور حین نمو در معرض آن قرار گرفتند، ضخامت پوسته‌ی بذر را تغییر داده و به طور قابل توجهی بر روی قابلیت زنده ماندن بذور و جوانه‌زنی آن تاثیر گذاشته است (Karssen, 1970). در بررسی ۱۲ ژنوتیپ کینوا بومی مناطق آند، مشخص شد که دو عامل تعداد روز تا گلدهی و مقاومت یا حساسیت به عوامل بیماری‌زا موجب ایجاد تفاوت بین ژنوتیپ‌ها می‌شود (Curti *et al.*, 2014). در پژوهش حاضر درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات سرعت جوانه‌زنی (**۰/۷۵۲)، طول ریشه‌چه (**۰/۷۱۲)، طول گیاهچه (*۰/۶۶۹) و همبستگی منفی و معنی‌داری با یکنواختی جوانه‌زنی (**۰/۷۲۱-)، D10 (**۰/۸۱۸-)، D50 (**۰/۸۳۲-)، D90 (**۰/۸۸۵-) و محتوای مالون دی آلدئید (**۰/۸۰۱-) نشان داد (جدول ۸).

سرعت جوانه‌زنی

سرعت جوانه‌زنی بیانگر سرعت خروج ریشه‌چه از بذر بوده و با گونه گیاهی و ترکیبات موجود در بذر ارتباط نزدیکی دارد. کوتاه بودن دوره‌ی جوانه‌زنی بیانگر کیفیت بالای بذر می‌باشد. اثر ژنوتیپ بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین سرعت جوانه‌زنی، مشابه با بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به ژنوتیپ Q26 بود (جدول ۳). ژنوتیپ‌های Q12، Q1 و Atlas در یک گروه آماری قرار گرفته و کمترین سرعت جوانه‌زنی در مطالعه حاضر را نشان دادند (جدول ۳). ثابت شده است که عوامل محیطی مانند دما، دوره‌ی نوری، طول جغرافیایی و میزان بارندگی (در طول چرخه‌ی رشد گیاه) می‌تواند بر سرعت جوانه‌زنی و بینه بذر تاثیر بگذارد

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ بر صفات مربوط به جوانه‌زنی ۱۲ ژنوتیپ کینوا

Table 2. Variance analysis of the effect of genotype on traits related to germination in 12 quinoa genotypes

منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات: درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	D10 Time to reach 10 percent germination	D50 Time to reach 50 percent germination	D60 Time to reach 60 percent germination
تکرار Block	2	22.111^{ns}	0.00002^{ns}	8.631^{ns}	0.084^{ns}	2.902^{ns}	8.462^{ns}
ژنوتیپ Genotype	11	104.88^{**}	0.003^{**}	65.194^{**}	69.535^{**}	69.353^{**}	193.391^{**}
خطا Error	22	15.747	0.001	6.546	0.362	4.174	8.372
ضریب تغییرات(٪) CV (%)	-	4.77	15.48	18.94	10.55	13.12	15

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌دار.

**,* and ns is significant at the 1 and 5 percent probability level, and non-significant respectively.

(Granado-Rodríguez *et al*., 2021). رودریگز و همکاران (Granado-Rodríguez *et al*., 2021) گزارش کردند که میزان عناصر معدنی موجود در بذر نقش مهمی در سرعت جوانه‌زنی بذرهای کینوا ایفا می‌کند.

تاباکوویچ و همکاران (Tabakovic *et al*., 2020) علل جوانه‌زنی بهتر و سریع تر در ژنوتیپ‌های متفاوت را داشتن اندازه و اندوخته غذایی بیشتر در بذرها گزارش کردند. محیط های نامناسب با تغییرات در ویژگی‌های ساختاری و شیمیایی پوشش بذر در گونه‌های *Chenopodium* بر سرعت جوانه‌زنی و خواب بذر تاثیرگذار است (Ceccato *et al*., 2011). ایمبرت (Imbert, 2002) پیشنهاد کرد تفاوت ساختاری بین انواع بذرها در برخی از گونه‌های *Asteraceae* با تفاوت بین تمایز ساختاری اندام پریکارپ و جنین آن مرتبط است که به نوبه‌ی خود سرعت جوانه‌زنی آن را تعیین می‌کند، که با یافته های (Toderich *et al*., 2023) مطابقت دارد. دما در کل دوره رشد گیاه مادر دارای اهمیت بسیار زیادی بوده و می‌تواند بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای حاصل تاثیر مستقیم بگذارد (Penfield and MacGregor., 2017). جوجوآ و همکاران (Jojoa *et al*., 2021) سرعت جوانه‌زنی نسبتا پائین در دو ژنوتیپ کینوا BLA و 4T2S را به میزان رطوبت بالا در مزرعه هنگام بلوغ بذر نسبت دادند. کافارو و همکاران (Cafaro *et al*., 2023) گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی بذرهای کرچک (*Ricinus communis* L.) به ژنوتیپ‌های آن بستگی دارد. تفاوت در سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های متفاوت کینوا (Toderich *et al*., 2023; Jojoa *et al*., 2021) نیز گزارش شده است که با نتایج حاصل در این مطالعه، مطابقت داشت.

سرعت جوانه‌زنی با صفات یکنواختی جوانه‌زنی (-۰/۷۲۱**)، D10 (-۰/۸۶۵**)، D50 (-۰/۹۷۹**) و D90 (-۰/۹۲۳**) همبستگی منفی و معنی داری داشت (جدول ۸).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ۱۲ ژنوتیپ کینوا بر صفات جوانه‌زنی

Table 3. Means comparison of 12 quinoa genotypes effect on germination traits

ژنوتیپ‌های کینوا Quinoa genotypes	درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (n/day)	یکنواختی (ساعت) Germination uniformity (h)
Red Carina	87.33^{ab}	0.10^{ab}	9.33^{c-e}
Titicaca	88.66^{ab}	0.10^{ab}	11.09^{b-e}
Giza1	84^{a-c}	0.11^{ab}	8.53^{de}
Atlas	78^{bc}	0.04^{d}	14.54^{b-e}
Blanka	83.33^{a-c}	0.05^{cd}	15.72^{b-d}
Q1	74^{c}	0.04^{e}	15.14^{b-e}
Q2	78^{bc}	0.08^{bc}	23.44^{a}
Q3	88.66^{ab}	0.05^{cd}	15.72^{b-d}
Q4	80^{a-c}	0.04^{cd}	16.28^{a-c}
Q12	75.33^{c}	0.04^{d}	17.18^{ab}
Q26	91.33^{a}	0.13^{a}	7.56^{e}
Q29	88.66^{ab}	0.11^{ab}	8.78^{c-e}

*حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها براساس آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

* Similar letters indicate no significant difference between groups in Tukey's test at the 1% probability level.

یکنواختی جوانه‌زنی

یکنواختی جوانه‌زنی، بیانگر جوانه‌زنی در دامنه زمانی محدودتر است. هرچه میزان آن بیشتر باشد، بذرها دارای یکنواختی کمتری در جوانه‌زنی هستند. بررسی داده‌های مطالعه حاضر نشان داد که اثر ژنوتیپ بر یکنواختی جوانه زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان یکنواختی جوانه‌زنی مربوط به ژنوتیپ Q2 و Q12 و کمترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ Q26 (عدد ۷/۵۶) بود (جدول ۳). بذرهای با جوانه‌زنی، یکنواختی و سرعت سبز شدن بالا منجر به افزایش عملکرد می‌شوند (Foolad *et al*., 2007). یکنواختی بالا در گیاهان را می‌توان با افزایش سرعت جوانه‌زنی از طریق انتخاب درست ارقام به‌دست آورد (Fowler *et al*., 2006). به‌نظر می‌رسد که دمای محیط گیاه مادری بر سرعت جذب و واکنش‌های شیمیایی موجود در فرآیند جوانه‌زنی تاثیر گذاشته، که این عوامل بر یکنواختی و سرعت جوانه‌زنی اثر می‌گذارد. گزارش شده است که ترکیب ژنتیکی گیاهان، تاثیر قابل توجهی بر بنیه‌ی بذر می‌گذارد. از این رو تفاوت میان بنیه‌ی بذر آن ها می‌تواند ناشی از تفاوت بین گونه‌ها، ژنوتیپ‌ها و حتی ارقام میان یک گونه باشد (Finch-Savage and Bassel, 2016). در بررسی ۴ ژنوتیپ کینوا Q2، Q3، Q4 و Q5 نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های Q5 و Q2 به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان یکنواختی جوانه‌زنی بوده اند (Toderich *et al*., 2023). (karami *et al*., 2020) نیز تفاوت بین قدرت و یکنواختی جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. یکنواختی جوانه‌زنی با صفات D50 (**۰/۷۱۸) و D90 (**۰/۸۶۴) همبستگی مثبت و معنی-داری نشان داد (جدول ۸).

مدت زمان رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ بر این صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مدت زمانی که طول کشید تا بذور به ۱۰ درصد از حداکثر جوانه‌زنی خود برسند، در ژنوتیپ‌های Q12، Q1 و Atlas بالاتر از ژنوتیپ‌های دیگر بوده و ژنوتیپ‌های Q12، Q1 و Atlas در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵)، که نتیجه آن با سرعت جوانه‌زنی پایین بذرهای این ژنوتیپ‌ها یکسان بود. همچنین کمترین مقدار این صفت در ژنوتیپ Q26 دیده شد (جدول ۵) که بالاترین میزان سرعت جوانه‌زنی نیز مربوط به‌همین ژنوتیپ بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد مدت زمانی که طول می-کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد بیشینه خود برسد، در بذرها ژنوتیپ‌های Q12، Q1، Q4 و Atlas بالاتر از ژنوتیپ‌های دیگر بود همچنین این ژنوتیپ‌ها در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). کمترین میزان این صفت در ژنوتیپ‌های Q26، Q29، Giza1، Titicaca و Red carina مشاهده شد. ژنوتیپ Q12 بیشترین میزان D90 را نشان داد و با ژنوتیپ‌های Q1 و Atlas در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). حیدری و همکاران (Heidari *et al*., 2014) در بررسی جوانه‌زنی سه رقم ماریتیغال، متفاوت بودن D10، D50 و D90 در رقم‌های مختلف را گزارش کردند. مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی از ۱۰ درصد به ۹۰ درصد خود برسد نیز به گونه‌ای معرف یکنواختی جوانه‌زنی است و هر چه مقدار این مدت زمان کمتر باشد، بیانگر جوانه‌زنی یکنواخت‌تر (همزمان) بذرها می‌باشد. در پژوهش

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مربوط به ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه

Table 4. Variance analysis of traits related to radicle, shoot and seedlings

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	وزن‌تر ریشه‌چه Radicle fresh weight	وزن‌تر ساقه‌چه Shoot fresh weight	وزن‌تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Shoot length	طول گیاهچه Seedling length
تکرار Block	2	0.0001^{ns}	0.00007^{ns}	0.0004^{ns}	0.000002^{ns}	0.000002^{ns}	0.000008^{ns}	0.101^{ns}	0.588^{ns}	0.891^{ns}
ژنوتیپGenotype	11	0.02^{**}	0.058^{**}	0.134^{**}	0.00002^{**}	0.0002^{**}	0.0003^{**}	6.136^{**}	1.87^{**}	12.019^{**}
خطا Error	22	0.004	0.0001	0.0004	0.000001	0.000001	0.000002	0.165	0.225	0.462
ضریب تغییرات(٪) CV (%)	-	15	4.5	6	10.7	5.2	5	7.2	11.6	7

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌دار.

** ,* and ns is significant at the 1 and 5 percent probability level, and non-significant respectively.

حاضر D10 با D50 (**۰/۹۲۷) و D90 (**۰/۸۵۲) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین D90 با D10 (**۰/۹۵۳) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۸).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ژنوتیپ بر طول ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). ژنوتیپ Q26 بیشترین طول ریشه‌چه را معادل ۸/۱۹ سانتی‌متر در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد (جدول ۵). همچنین کمترین طول ریشه‌چه را ژنوتیپ Q12 (۳/۸۷ سانتی‌متر) دارا بود (جدول ۵). ژنوتیپ‌های Blanka و Titicaca در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). طول ریشه‌چه و بنیه، نشانه‌های مهمی جهت پیش‌بینی و ارزیابی عملکرد گیاهان در مزرعه می‌باشند (Kamoshita *et al*., 2006). همچنین نتایج جدول تجزیه واریانس نشانگر معنی‌داری اثر ژنوتیپ بر طول ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین طول ساقه‌چه را به‌ترتیب ژنوتیپ‌های Q26 و Q12 دارا بودند (جدول ۵) که این ژنوتیپ‌ها بیشترین طول ریشه‌چه و گیاهچه را نشان دادند (جدول ۵). در پژوهش حاضر اثر ژنوتیپ بر طول گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). ژنوتیپ‌های Q26 و Q12 به‌ترتیب دارای بیشترین (۱۴/۲ سانتی‌متر) و کمترین (۶/۶ سانتی‌متر) طول گیاهچه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند (جدول ۵). امیریوسفی و همکاران (Amiryousefi *et al*., 2021) طول گیاهچه متفاوت را برای رقم‌های مختلف کینوا گزارش کردند. کرمی و همکاران (karami *et al*., 2020) در مطالعات خود طول گیاهچه‌های حاصل از ژنوتیپ‌های متفاوت کینوا را معنی‌دار گزارش کرده و دلیل این نتایج را ناشی از تاثیر منشاءهای جغرافیایی متفاوت در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه خود دانستند. نتایج تحقیقات امرایی و امیدی (Amrai and Omidi, 2022)، اثر ژنوتیپ‌های کینوا را بر طول گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نشان داد. منیر و همکاران (Munir *et al*., 2011) در بررسی صفات وابسته به بنیه گیاهچه ۲۵ ژنوتیپ کینوا، تاثیر ژنوتیپ را بر طول ریشه‌چه، طول ساقه-چه و درصد جوانه‌زنی مشاهده کردند. که با نتایج حاصل در مطالعه حاضر مطابقت داشت. در پژوهش حاضر طول ریشه‌چه با طول گیاهچه (**۰/۹۴۸) و طول ساقه‌چه با طول گیاهچه (**۰/۸۱۸) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین طول ریشه‌چه با هدایت الکتریکی محلول بذر (**۰/۷۱۰-) و محتوای مالون دی آلدئید (**۰/۷۳۳-)، و طول گیاهچه با هدایت الکتریکی محلول بذر (**۰/۷۱۵-) و محتوای مالون دی آلدئید (**۰/۷۵۸-) همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد (جدول ۸).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ‌های کینوا بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه و مدت زمان رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی

Table 5. Means Comparison of the quinoa genotypes effect on the radicle, shoot and seedling length and time required to reach 10%, 50%, and 90% germination

ژنوتیپ‌های کینوا Quinoa genotypes	صفات D10 Time to reach 10 percent germination	D50 Time to reach 50 percent germination	D90 Time to reach 90 percent germination	طول ریشه‌چه (سانتی متر) Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی متر) Seedling length (cm)
Red Carina	1.87^{e}	9.33^{de}	11.20^{d}	5.45^{de}	3.03^{cd}	8.48^{ef}
Titicaca	1.983^{e}	9.9^{de}	13.07^{cd}	6.74^{bc}	4.09^{b-d}	10.84^{b-d}
Giza1	1.71^{e}	8.53^{e}	10.24^{d}	4.08^{fg}	4.13^{b-d}	8.22^{ef}
Atlas	12.91^{a}	23.27^{ab}	27.46^{ab}	5.62^{cd}	4.29^{bc}	9.91^{c-e}
Blanka	5.91^{bc}	18.10^{bc}	21.63^{bc}	6.8^{bc}	4.19^{bc}	10.99^{bc}
Q1	12.82^{a}	24.42^{a}	27.96^{ab}	4.8^{e-g}	3.95^{b-d}	8.35^{ef}
Q2	2.59^{de}	15.4^{cd}	26^{ab}	4.47^{d-g}	4.45^{b}	8.93^{de}
Q3	4.31^{cd}	17.44^{bc}	20.04^{bc}	7.79^{ab}	4.14^{bc}	11.94^{b}
Q4	7.69^{b}	20.90^{a-c}	23.97^{ab}	5.43^{de}	4.14^{bc}	9.57^{c-e}
Q12	13.39^{a}	23.08^{ab}	30.57^{a}	3.87^{g}	2.72^{d}	6.6^{f}
Q26	1.51^{e}	7.56^{e}	9.07^{d}	8.19^{a}	6^{a}	14.2^{a}
Q29	1.75^{e}	8.78^{e}	10.54^{d}	5.14^{df}	4.16^{bc}	9.31^{c-e}

*حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها می‌باشد.

* Similar letters indicate no significant difference between groups.

وزن‌تر ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه

اثر ژنوتیپ بر این صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). بیشترین وزن تر ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ Q1 و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ Giza1 بود. همچنین ژنوتیپ‌های Giza1، Titicaca و Red carina در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶). ساندهو و کانگ (Sandhu and Kang, 1998) در تحقیقات خود همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها و صفات مرتبط با ریشه‌چه و ساقه‌چه مانند وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین گیاهچه را نشان دادند. نتایج مقایسه میانگین وزن‌تر ساقه‌چه نشان داد که بیشترین میزان این صفت به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های Q3، Q26 و Q29 بود (جدول ۶). همچنین ژنوتیپ‌های Red carina، Titicaca و Giza1 کمترین مقدار وزن تر ساقه‌چه و گیاهچه را دارا بوده و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند. ژنوتیپ Q26 نیز دارای بیشترین وزن‌تر گیاهچه بود (جدول ۶). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که بذرهای با بنیه بالا دارای سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بیشتری بوده و در شرایط نامطلوب و متنوع مزرعه‌ای به‌خوبی ظاهر می‌شوند (Finch-Savage and Bassel, 2016). محیط تولید بذر و تعامل بین محیط و ژنوتیپ‌ها به‌طور مستقیم بر کیفیت بذر تاثیرگذار است. هنگامی که بذرها پس از رسیدن به مرحله بلوغ به شرایط نامناسب محیطی از جمله بارندگی و دماهای بالا برخورد می‌کنند، از بنیه‌ی آن‌ها کاسته می‌شود (Szareski *et al*., 2017). بذرهای دارای بنیه بیشتر، درصد و سرعت جوانه‌زنی بالاتری داشته و در نتیجه گیاهچه‌های قوی‌تری با وزن بیشتر تولید می‌کنند. (Jamali *et al*., 2016) معنی‌دار بودن اثر رقم‌های متفاوت کینوا بر وزن تر گیاهچه را گزارش کردند. همچنین رقم‌های Titicaca و Sajama به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن تر گیاهچه بودند.

وزن تر گیاهچه با وزن خشک ریشه‌چه (**۰/۷۴۳)، ساقه‌چه (**۰/۷۱۹) و گیاهچه (**۰/۷۵۱) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۸).

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه

اثر ژنوتیپ بر وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بالاترین وزن خشک ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ Q3 بود، همچنین ژنوتیپ‌های Q1 و Q4 در یک گروه آماری قرار گرفتند. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها ژنوتیپ Giza1 کمترین وزن خشک ریشه‌چه را نشان داد (جدول ۶). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک ساقه‌چه مربوط به ژنوتیپ Q3 بوده و ژنوتیپ‌های Q1 و Q4، همچنین Q12 و Q26 در یک گروه آماری قرار گرفتند. در ژنوتیپ Giza1 این صفت، کمترین میزان خود را داشت (جدول ۶). نتایج وزن خشک گیاهچه حاصل از آزمون جوانه‌زنی استاندارد نشان داد که میزان این صفت برای ژنوتیپ Q3 بیشینه بوده و ژنوتیپ Giza1 کمترین مقدار این صفت را داشت (جدول ۶). ژنوتیپ‌هایی با کارایی استفاده از ذخیره بذر بالاتر، بنیه بالاتری داشته و بدون در نظر گرفتن وزن بذر، سریعتر جوانه زده و گیاهچه‌هایی با ماده خشک بالاتر تولید می‌کنند (Andrade *et al*., 2019). نتایج حاصل در بررسی ۴ ژنوتیپ کینوا Tumeko (Q1)، Red Faro (Q2)، Kcoito (Q3) و UDEC-5 (Q4)، نشان داد که ژنوتیپ های Q2 و Q4 دارای وزن خشک گیاهچه بالاتری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر بود (Derbali *et al*., 2020). در بررسی دو رقم کینوا نیز گزارش شده است که وزن خشک گیاهچه تحت تاثیر رقم قرار می‌گیرد (Amiryousefi *et al*., 2021)، که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

وزن خشک ریشه‌چه با وزن خشک ساقه‌چه (**۰/۷۹۶) و گیاهچه (**۰/۸۷۲) و همچنین وزن خشک ساقه‌چه با وزن خشک گیاهچه (**۰/۹۹۰) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۸).

هدایت الکتریکی محلول بذر

اثر ژنوتیپ بر هدایت الکتریکی محلول بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان هدایت الکتریکی محلول بذر مربوط به ژنوتیپ Q2 (۱۲۰/۲۷۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم وزن بذر) و کمترین میزان آن به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های Q26 (۸۷/۵۴۷ میکروزیمنس بر سانتی-متربر گرم وزن بذر) و Titicaca (۹۵/۰۹۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم وزن بذر) مشاهده شد (شکل ۱). آزمون هدایت الکتریکی بر اساس یکپارچگی غشای سلولی است که به‌عنوان یک آزمایش بیوشیمیایی تلقی می‌شود. از دست دادن یکپارچگی غشای سلولی موجب نشت محتویات سلول به محیط اطراف شده، که یکی از عوامل اولیه فرآیند کاهش بنیه بذرنیز می‌باشد (Prado *et al*., 2019). در آزمون

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ‌های کینوا بر وزن‌تر و خشک‌ریشه چه و ساقه‌چه و گیاهچه

Table 6. Means Comparison of the quinoa genotypes effect on fresh and dry weight of radicle, shoot and seedling

ژنوتیپ‌های کینوا Quinoa genotypes	وزن‌تر ریشه‌چه (گرم) Radicle fresh weight (g)	وزن‌تر ساقه‌چه (گرم) Shoot fresh weight (g)	وزن‌تر گیاهچه (گرم) Seedling fresh weight (g)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم) Radicle dry weight (g)	وزن خشک ساقه‌چه (گرم) Shoot dry weight (g)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (g)
Red Carina	0.01^{d}	0.01^{f}	0.03^{f}	0.01^{e-f}	0.01^{ef}	0.02^{e}
Titicaca	0.01^{d}	0.01^{f}	0.03^{f}	0.01^{c-f}	0.01^{ef}	0.02^{e}
Giza1	0.01^{d}	0.01^{f}	0.03^{f}	0.008^{f}	0.009^{f}	0.01^{e}
Atlas	0.01^{c}	0.27^{cd}	0.44^{cd}	0.01^{a-c}	0.02^{d}	0.03^{c}
Blanka	0.18^{bc}	0.36^{ab}	0.55^{ab}	0.01^{a-d}	0.01^{e}	0.02^{d}
Q1	0.26^{a}	0.22^{e}	0.49^{bc}	0.01^{ab}	0.02^{cd}	0.04^{bc}
Q2	0.15^{c}	0.23^{e}	0.39^{de}	0.009^{ef}	0.01^{ef}	0.02^{e}
Q3	0.15^{c}	0.39^{a}	0.54^{ab}	0.01^{a}	0.03^{a}	0.051^{a}
Q4	0.14^{c}	0.28^{c}	0.43^{cd}	0.01^{ab}	0.02^{cd}	0.04^{bc}
Q12	0.12^{c}	0.24^{de}	0.36^{e}	0.01^{b-f}	0.02^{bc}	0.03^{bc}
Q26	0.23^{ab}	0.35^{b}	0.59^{a}	0.012^{a-e}	0.27^{bc}	0.04^{bc}
Q29	0.15^{c}	0.33^{b}	0.49^{bc}	0.013^{a-e}	0.02^{b}	0.04^{b}

*حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها می‌باشد.

* Similar letters indicate no significant difference between groups.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ‌های کینوا بر ویژگی‌های بیوشیمیایی بذر

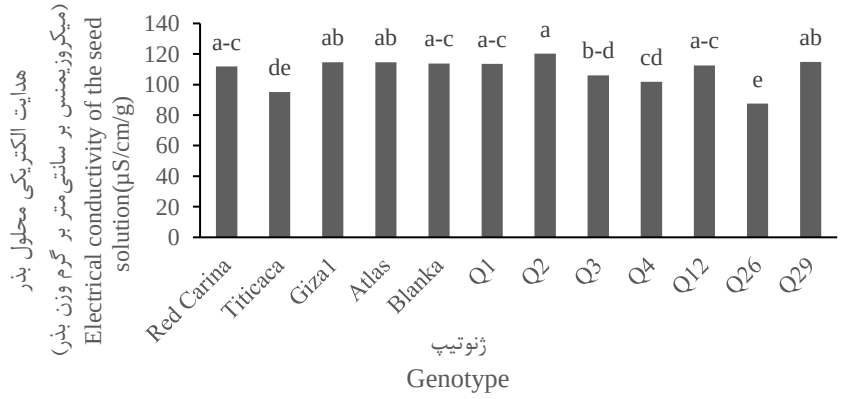
Table 7. Variance analysis of the quinoa genotypes effect on seed biochemical characteristics

منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات: هدایت الکتریکی محلول بذر Electrical conductivity of the seed solution	محتوای مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde content	محتوای ساپونین Saponin content	فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز Alpha-amylase enzyme activity
تکرار Block	2	16.978ns	2.898×10^{-14}ns	0.336ns	0.00009ns
ژنوتیپGenotype	11	272.509**	1.175×10^{-12}**	2.393**	0.004**
خطا Error	22	17.74	2.597×10^{-14}	0.118	0.0001
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	4	14.1	5	5.75

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌دار.

**,* and ns is significant at the 1 and 5 percent probability level, and non-significant respectively.

هدایت الکتریکی، مقادیر بالاتر، نشان دهنده‌ی کم بودن بنیه بذر، به دلیل سرعت پایین‌تر سازماندهی غشاها در طول روند جذب آب و در نتیجه خروج املاح بیشتر می‌باشد. بذرها طی این فرآیند با توجه به سیستم غشای سلولی خود مقادیر متفاوتی از قندها، اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب، آنزیم‌ها و یون‌ها را آزاد کرده که این تفاوت ناشی از سیستم غشای سلولی آن‌ها می‌باشد. بذرها با کیفیت پایین دارای ظرفیت کاهش یافته برای سازماندهی غشای سلولی خود بوده که منجر به کاهش یکنواختی، درصد و سرعت



شکل ۱- اثر ژنوتیپ‌های کینوا بر هدایت الکتریکی محلول بذر

Figure 1. Effect of the quinoa genotype on electrical conductivity of seed solution

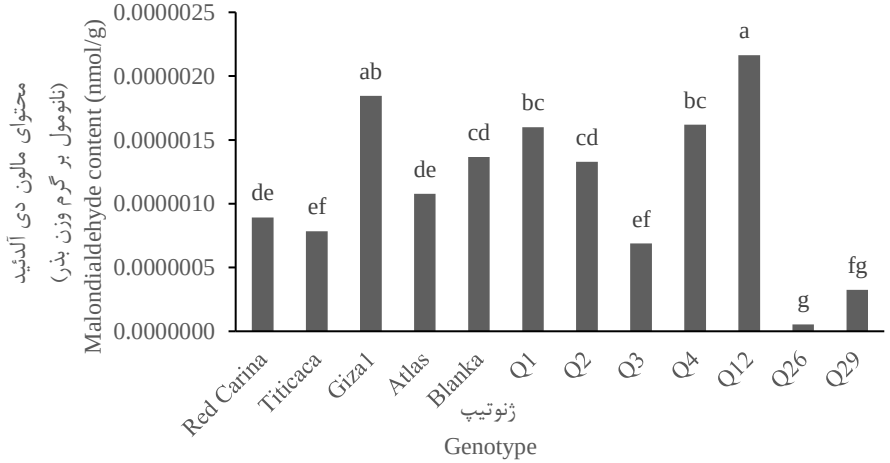
جوانه‌زنی در آن‌ها می‌گردد (Vieira and Marcos-Filho, 2020). تفاوت در میزان هدایت الکتریکی محلول بذر در ۲۰ ژنوتیپ کینوا توسط (Manugade *et al.*, 2023) گزارش شده است. طبق نتایج حاصل در این تحقیق بذرهای مربوط به ژنوتیپ Q26 دارای کمترین میزان هدایت الکتریکی محلول بذر بوده و بالاترین میزان درصد، سرعت و یکنواختی در جوانه‌زنی را داراست.

محتوای مالون‌دی‌آلدئید

رادیکال‌های آزاد موجود در سلول، باعث ایجاد صدمه به لیپیدها و اسیدهای چرب غشا می‌شود. همچنین رادیکال‌های لیپید، پراکسی و هیدروپراکسی را ایجاد می‌کنند، رادیکال‌های تولید شده می‌توانند به واکنش‌های اکسیداسیون لیپیدها (اسیدهای چرب) سرعت بخشند. با توجه به اینکه محتوای مالون دی آلدئید به‌عنوان محصول اصلی پراکسیداسیون لیپیدهاست. تعیین محتوای مالون دی آلدئید، روشی مناسب جهت بررسی صدمات غشا در نظر گرفته می‌شود (Ghalkhani *et al.*, 2020). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ بر محتوای مالون دی آلدئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). ژنوتیپ Q12 دارای بیشترین محتوای مالون دی آلدئید بین ژنوتیپ‌های موجود بود و ژنوتیپ Q26 کمترین محتوای مالون دی آلدئید را داشت (شکل ۲). باید اذعان داشت که ژنوتیپ Q26 و ژنوتیپ Q12 به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین میزان هدایت الکتریکی بودند (شکل ۱). نتایج تحقیقات نشان داده است که فعالیت پراکسیداسیون لیپیدها سبب آسیب رساندن به غشای سلولی، از دست دادن یکپارچگی آن و کاهش بنیه بذر می‌شود (Ebone *et al.*, 2019). نتایج حاصل از صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، نشان دهنده بیشترین میزان این صفات برای ژنوتیپ Q26 و کمترین میزان برای ژنوتیپ Q12 بود (جدول ۳). پراکسیداسیون لیپیدها با تولید رادیکال‌های آزاد ممکن است سبب خسارت به اجزای سلولی مانند لیپیدهای غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک در طول جوانه‌زنی بذر شود. افزایش رادیکال‌های آزاد سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد می‌شود (Escobar *et al.*, 1996). پراکسیداسیون لیپیدها سبب ایجاد زوال بذر شده، که باعث کاهش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و در نهایت موجب کاهش تولید پروتئین می‌شود. پراکسیداسیون لیپیدها با گرفتن یک هیدروژن توسط رادیکال‌های هیدروکسیل آغاز و واکنش زنجیره‌ای شکستن لیپیدها سبب آزادسازی ترکیباتی از قبیل آلدئید-های واکنش‌پذیر می‌گردد که این ترکیبات باعث آسیب‌های بعدی به پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌گردد. تغییر در لیپیدهای ناشی از پراکسیداسیون، ممکن است در افزایش نفوذپذیری غشاء و نشت سلولی که با زوال بذر مرتبط است دخیل باشد (Bewley *et al.*, 2013). نتایج تحقیقات امیر یوسفی و همکاران (Amiryousefi *et al.*, 2021) نیز نشان‌دهنده وجود تفاوت در محتوای مالون دی آلدئید در ژنوتیپ‌های متفاوت کینوا بود.

فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز

اثر ژنوتیپ بر فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). بالاترین میزان فعالیت این آنزیم در ژنوتیپ Q26 (معادل ۰/۲۳۴ میکرومول گلوکز



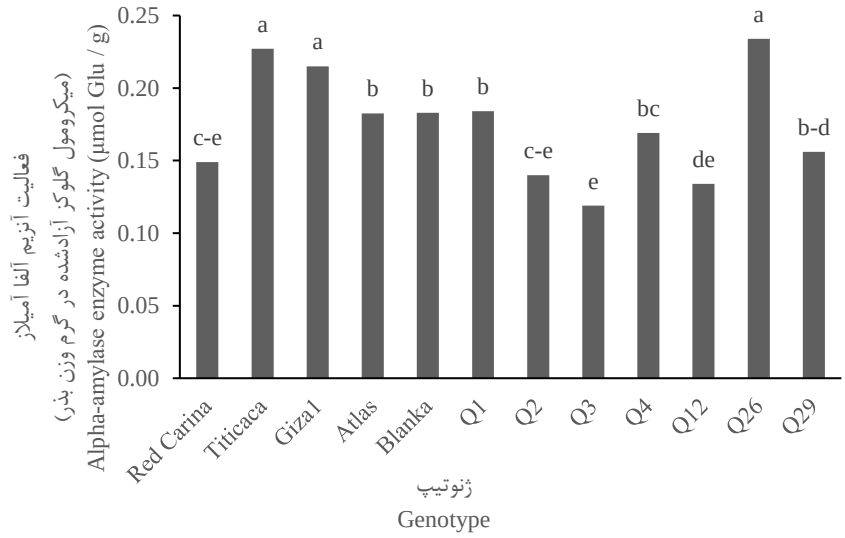
شکل ۲- اثر ژنوتیپ‌های کینوا بر محتوای مالون دی آلدئید

Figure 2. Effect of the quinoa Genotype on Malondialdehyde content

آزادشده در گرم وزن بذر) مشاهده شد که با بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی همسو بود (جدول ۳). همچنین با ژنوتیپ‌های Giza1 و Titicaca در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۳). بررسی داده‌های آزمایش حاضر نشان داد که کمترین میزان این صفت متعلق به ژنوتیپ Q3 معادل ۰/۱۱۹ میکرومول گلوکز آزادشده در گرم وزن بذر بود (شکل۳). فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز ارتباط زیادی با کیفیت بذر دارد (Wang *et al*., 2012). آلفاآمیلاز آنزیم غالبی است که در طول جوانه‌زنی سنتز می‌شود، همچنین مسئول اصلی هیدرولیز نشاسته بوده که به استقرار گیاهچه کمک می‌کند. منبع اصلی تامین انرژی برای جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه، هیدرولیز نشاسته ذخیره شده در بذر است. هیدرولیز نشاسته با عمل ترکیبی آلفاآمیلاز، بتاآمیلاز و ... حاصل می‌شود (Pujadas and Palau, 2001). آنزیم آلفاآمیلاز در حین جوانه‌زنی بذر در حضور جیبرلیک اسید از جنین سنتز می‌شود. با افزایش فعالیت این آنزیم، مواد ذخیره‌ای به گلوکز و ساکارز تبدیل شده و باعث افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود (Parera and Cantliffe, 1994). در شرایط بدون تنش، بذرها با بنیه بالاتر میزان بیشتری از این آنزیم را طی فرآیند جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه نشان داده‌اند (Oliveira *et al*., 2013). پادیل‌ها و همکاران (Padilha *et al*., 2021) گزارش کردند که در شرایط استاندارد محیط، ژنوتیپ‌ها با بنیه بالاتر دارای مقادیر بیشتری از آنزیم آلفاآمیلاز می‌باشند که با نتایج (Oliveira *et al*., 2013) مطابقت داشته است. با توجه به نتایج آزمایش حاضر انتظار می‌رود که فعالیت بیشتر آنزیم آلفا-آمیلاز در بذرهای در حال جوانه‌زنی ممکن است مانند محرکی برای تسریع در روند جوانه‌زنی و بهبود آن باشد. همچنین تفاوت در میزان فعالیت آن ممکن است مرتبط با بنیه بذر باشد که با جوانه‌زنی بذرها نیز همسو بوده و با نتایج گزارش شده مطابقت دارد.

محتوای ساپونین

ساپونین‌ها متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که در پریکارپ بذرهای کینوا یافت می‌شوند. هنگامی که محتوای آن به میزان قابل توجهی وجود داشته باشد، طعم تلخی ایجاد می‌کند. همچنین محتوای بالای آن تاثیر منفی بر فراهمی زیستی مواد معدنی مانند آهن و روی می‌گذارد (Ruales and Nair, 1993). به این دو دلیل، ساپونین‌ها به‌عنوان مواد ضد تغذیه‌ای شناخته می‌شوند و از این رو برنامه های اصلاحی در جهت توسعه ارقام با محتوای ساپونین بذر بسیار کم (ارقام شیرین) متمرکز شده‌است (Zurita-Silva *et al*., 2014). در میان ژنوتیپ‌های متفاوت کینوا، از نظر محتوای ساپونین تنوع گسترده‌ای وجود دارد. محتوای ساپونین بذر ژنوتیپ‌های کینوا در محدوده‌ی ۰/۰۲ تا ۵ درصد (۰/۲ تا ۵۰ میلی‌گرم در گرم بذر تازه) قرار دارد. ژنوتیپ‌ها با محتوای ساپونین بیش از ۱۰ میلی‌گرم در گرم بذر تازه، ژنوتیپ‌های تلخ محسوب می‌شوند (ارقام زراعی موجود در کشور جزو این ارقام نیستند). ژنوتیپ‌های با محتوای ساپونین ۱ تا ۱۰ میلی‌گرم در گرم بذر تازه در محدوده‌ی ژنوتیپ‌های نیمه‌شیرین،



شکل ۳- اثر ژنوتیپ‌های کینوا بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز بذر

Figure 3. Effect of the quinoa genotype on seed alpha-amylase enzyme activity

جدول ۸- نتایج همبستگی برای صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های کینوا

Table 8. The correlation between investigated traits in studied quinoa genotypes

Traits صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1																		
2	.752**	1																	
3	-.721**	-.721**	1																
4	-.818**	-.865**	0.478	1															
5	-.832**	-.979**	.718**	.927**	1														
6	-.885**	-.923**	.864**	.852**	.953**	1													
7	.712**	0.219	-0.304	-0.369	-0.290	-0.383	1												
8	0.406	0.404	-0.213	-0.372	-0.336	-0.345	.592*	1											
9	.669*	0.316	-0.301	-0.410	-0.340	-0.410	.948**	.818**	1										
10	-0.309	-0.390	0.341	0.444	0.489	0.435	0.189	0.468	0.320	1									
11	-0.026	-0.356	0.302	0.244	0.368	0.326	0.397	0.401	0.442	.801**	1								
12	-0.139	-0.387	0.332	0.335	0.434	0.385	0.336	0.448	0.416	.919**	.972**	1							
13	-0.169	-.633*	0.209	0.546	.620*	0.425	0.331	0.121	0.284	.704*	.710**	.743**	1						
14	0.005	-0.339	0.040	0.357	0.362	0.229	0.266	0.163	0.254	.597*	.738**	.719**	.796**	1					
15	-0.034	-0.419	0.080	0.414	0.434	0.282	0.291	0.159	0.270	.643*	.758**	.751**	.872**	.990**	1				
16	-0.572	-0.344	0.456	0.283	0.344	0.429	-.710**	-0.527	-.715**	-0.038	-0.053	-0.050	-0.124	-0.253	-0.233	1			
17	-.801**	-0.574	0.509	0.571	.589*	.629*	-.733**	-.593*	-.758**	-0.143	-0.262	-0.228	-0.126	-0.227	-0.212	0.508	1		
18	0.287	0.459	-0.550	-0.230	-0.396	-0.468	0.265	0.571	0.414	-0.037	-0.306	-0.216	-0.215	-0.317	-0.306	-0.561	-0.212	1	
19	-0.140	0.054	0.033	0.023	0.050	0.021	-0.005	0.417	0.161	0.438	0.260	0.343	0.071	0.091	0.090	0.145	0.019	0.037	1

۱: **درصد جوانه‌زنی**، ۲: **سرعت جوانه‌زنی** ،۳: **یکنواختی جوانه‌زنی**، ۴: D10، ۵: D50، ۶: D90، ۷: **طول ریشه‌چه**، ۸: **طول ساقه‌چه**، ۹: **طول گیاهچه**، ۱۰: **وزن تر ریشه‌چه**، ۱۱: **وزن تر ساقه‌چه**، ۱۲: **وزن تر گیاهچه**، ۱۳: **وزن خشک ریشه‌چه**، ۱۴: **وزن خشک ساقه‌چه**، ۱۵: **وزن خشک گیاه‌چه**، ۱۶: **هدایت الکتریکی محلول بذر**، ۱۷: **محتوای مالون دی آلدئید**، ۱۸: **فعالیت آلفا آمیلاز**، **۱۹: محتوای ساپونین**.

1: Germination percentage, 2: Germination rate, 3: Germination uniformity, 4: D10, 5: D50, 6: D90, 7: Radicle lenght, 8: Shoot lenght, 9: Seedling lenght, 10: Radicle lenght, 11: Shoot fresh weight, 12: Seedling fresh weight, 13: Radicle dry weight, 14: Shoot dry weght, 15: Seedling dru weght, 16: Electrical conductivity, 17: Malondialdehid content, 18: α-Amylase-activity, 19: Saponin Content.

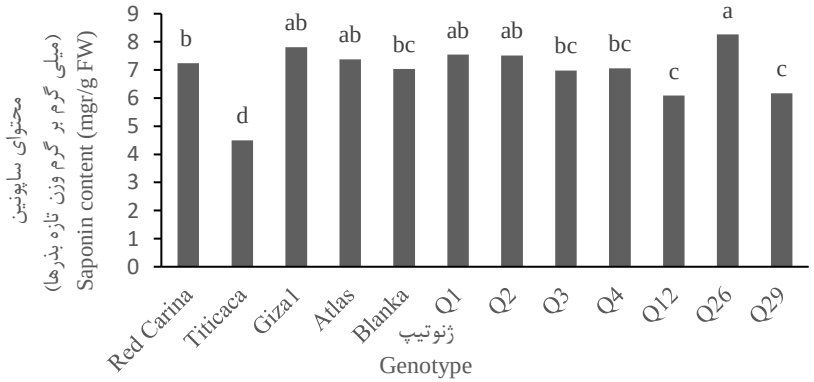
*، **و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۹ درصد و عدم معنی‌دار.

*,** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, and non-significant respectively.

و همچنین ژنوتیپ‌های با محتوای ساپونین زیر ۱ میلی‌گرم در گرم بذر تازه جزوه ژنوتیپ‌های شیرین محسوب می‌شوند (Koziol, 1991). ژنوتیپ‌های شیرین قبل از مصرف نیاز به ساپونین‌زدایی نداشته در حالیکه ژنوتیپ‌های تلخ و غالب ژنوتیپ‌های نیمه‌شیرین قبل از مصرف باید ساپونین‌زدایی شوند. ساپونین‌زدایی معمولا به‌روش‌های خشک (پوست-گیری)، تر (شستشو) و ترکیبی (پوست‌گیری و شستشو) انجام می‌شود. طبق نتایج پژوهش حاضر اثر ژنوتیپ بر محتوای ساپونین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). محتوای ساپونین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی بین ۴/۵-۸/۲۶ میلی‌گرم در گرم بذر تازه بود (شکل ۴). تمام ژنوتیپ‌های آزمایش حاضر در محدوده‌ی ژنوتیپ‌های نیمه‌شیرین قرار گرفتند، درحالیکه در هیچ

یک از ژنوتیپ‌ها، محتوای بالای ۱۰ میلی‌گرم در گرم بذر تازه مشاهده نشد و در دسته ارقام تلخ قرار نگرفتند (Medina-Meza *et al*., 2016). مقایسه میانگین داده-های این صفت نشان داد که بیشترین محتوای ساپونین را ژنوتیپ Q26 (۸/۲۶ میلی‌گرم در گرم بذر تازه) در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه داشت (شکل ۴). در حالیکه کمترین محتوای ساپونین را ژنوتیپ Titicaca (۴/۵ میلی-گرم در گرم بذر تازه) دارا بود (شکل ۴).

محتوای ساپونین یک صفت وابسته به ژنوتیپ در کینوا است (Ruiz *et al*., 2017). مطالعات ربانی و همکاران (Rabbani *et al*., 2022) کمتر بودن محتوای ساپونین در ژنوتیپ Titicacaرا در مقایسه با ژنوتیپ Q29 نشان داد که با نتایج مطالعات حاضر مطابقت داشت. نتایج تحقیقات روئیز و همکاران (Ruiz *et al*., 2017) در ارزیابی محتوای ساپونین پوسته بذر شش ژنوتیپ کینوا نشان داد، که توزیع محتوای ساپونین و فراوانی نسبی به ژنوتیپ‌ها و ویژگی‌های زراعی آن بستگی دارد. همچنین محتوای ساپونین با منشاء و پیشینه‌ی ژنتیکی متفاوت در ژنوتیپ‌ها تغییر می‌کند. ساپونین‌ها دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قوی می‌باشد وکاهش محتوای ساپونین کینوا می‌تواند کیفیت و طعم آن را بهبود بخشد (Zurita-Silva *et al*., 2014). تعیین محتوای ساپونین برای تمایز بین ژنوتیپ‌های تلخ و شیرین کینوا ضروری است. دانش در مورد محتوای ساپونین در ژنوتیپ های مختلف و تنظیم بیوسنتز آن ممکن است به توسعه بیشتر ارقام شیرین کمک نماید. باید توجه داشت که ژنوتیپ‌های شیرین معمولا مورد استقبال بیشتری قرار گرفته و نیازی به فرآیند ساپونین‌زدایی ندارند. با این حال برخی از کشاورزان به‌دلیل این احتمال که ساپونین در برابر تنش‌های زیستی مقاومت ایجاد می‌کند، ارقام تلخ را انتخاب می‌کنند (Zurita-Silva *et al*., 2014). تلفات ناشی از آسیب پرندگان و جوندگان در واریته‌هایی با محتوای ساپونین بالا، ناچیز گزارش شده‌است (Bhargava *et al*., 2006).



شکل ۴- اثر ژنوتیپ‌های کینوا بر محتوای ساپونین در ژنوتیپ‌های کینوا

Figure 4. Effect of the quinoa genotype on Saponin Content

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌های کینوای مورد مطالعه از نظر تمام صفات و شاخص‌های بذری مورد آزمایش دارای تنوع و اختلاف معنی‌داری بودند. شناسایی ژنوتیپ‌های کینوا با ویژگی‌های متفاوت بذر می‌تواند به انتخاب درست ژنوتیپ برتر سازگار با شرایط آب و هوائی کمک نماید. انتخاب ژنوتیپ‌های کینوا بر اساس درصد جوانه‌زنی منجر به انتخاب درست برای سایر صفات گیاهچه‌ای مانند شاخص‌های جوانه‌زنی می‌شود. علاوه بر این، شاخص های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی به‌عنوان صفات قابل اطمینان و پایدار جهت انتخاب ژنوتیپ در کینوا شناسایی شده‌اند. اثر تکرار بر کلیه صفات مورد مطالعه غیر

معنی‌دار بود. اگر شرایط آزمایش به‌طور یکنواخت کنترل شده باشد، انتظار می‌رود که اثر تکرار برای همه صفات غیر معنی‌دار باشد. این امر به این دلیل است که عوامل ناخواسته در تمام بلوک‌ها به‌طور یکسان وجود دارند، بنابراین تاثیر آن‌ها بر نتایج آزمایش نیز بی‌اثر می‌شود. در نتیجه می‌توان گفت که تفاوت های مشاهده شده بین ژنوتیپ‌ها، ناشی از تفاوت های ژنتیکی بین آن‌ها است. در پژوهش حاضر ژنوتیپ Q26 در بیشتر صفات مورد مطالعه به‌عنوان ژنوتیپ برتر بوده و برای کاشت در شرایط آب و هوایی ایران مناسب به نظر می‌رسد. برای دستیابی به نتایج پایدار بهتر است این پژوهش در چند سال تکرار گردد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از حمایت معنوی هسته پژوهشی تولید بذر گیاهان زراعی، باغی و داروئی و آزمایشگاه تحقیقاتی فیزیولوژی و زیست‌فناوری بذر دانشگاه گیلان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Amiryousefi, M., Tadayon, M.R. and Ebrahimi, R. 2021. Effect of nitrogenous and phosphorus biofertilizers on seed germination and some biochemical characteristics of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology, 13 (1): 107-126. (In Persian)(**Journal)**

Amrai, N. and Omidi, H. 2022. The effect of priming on seedling growth and germination characteristics of two genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). Journal of Seed Research, 12 (1): 46-53. (In Persian)**(Journal)**

Andrade, G.C.D., Coelho, C.M.M. and Padilha, M.S. 2019. Seed reserves reduction rate and reserves mobilization to the seedling explain the vigor of maize seeds. Seed Science, 41 (4): 488-497. **(Journal)**

Angeli, V., MiguelSilva, P., CrispimMassuela, D., Khan, M.W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Honninger, S. and Piatti, C. 2020. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An Overview of the potentials of the 'Golden Grain' and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. Journal Foods, 9 (2): 216. **(Journal)**

Bagheri, M., Anafjeh, Z., Taherian, M., Emami, A., Molaie, A.R. and Keshavarz, S. 2021. Assessment of adaptabilityand seed yield stability of selected quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes in spring cropping systems in cold and temperate regions of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 22 (4): 376-387. (In Persian)**(Journal)**

Bewley, D., Bradford, K. J., Hilhorst, H.W. M., and Nonogaki, H. 2013. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy (3th ed.). Springer. **(Book)**

Bhargava, A., Shukla, S., and Ohri, D. 2006. Chenopodium quinoa an Indian perspective. Industrial Crops and Products, 23 (1): 73–87. **(Journal)**

Bhargava, A., Shukla, S., Srivastava, J., Singh, N. and Ohri, D. 2008. Genetic diversity for mineral accumulation in the foliage of Chenopodium spp. Scientia Horticulturae, 118(4): 338–346. **(Journal)**

Cafaro, V., Alexopoulou, E., Cosentino, S.L. and Patane, C. 2023.Germination response of different castor bean genotypes to temperature for early and late sowing adaptation in the mediterranean regions. Agriculture, 13 (8): 1569. **(Journal)**

Ceccato, D.V., Bertero, H.D. and Batlla, D. 2011. Environmental control of dormancy of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. Two potential genetic resources for preharvest sprouting tolerance. Seed Science Research, 21 (2): 133–141. **(Journal)**

Ceccato, D.V., Bertero, H.D., Batlla, D. and Galati, B. 2015. Structural spects of dormancy in quinoa (*Chenopodium quinoa*): importance and possible action mechanisms of the seed coat. Seed Science Research, 25: 267–275. **(Journal)**

Corraliza, M.G., Rplp, V., Lopez, M.L. and Moreno, G. 2019. Wheat and barley can increase grain yield in shade through acclimation of physiological and morphological traits in mediterranean conditions. Nature, Scientific Reports, 9 (1): 9547. **(Journal)**

Curti, R.N., Vega, A.J., Andrade, A.J., Bramardi, S.J. and Bertero, H.D. (2014). Multi-environmental evaluation for grain yield and its physiological determinants of quinoa genotypes across Northwest Argentina. Field Crops Research, 166: 46–57. **(Journal)**

Derbali, W., Goussi, R., Koyro, H.W., Abdelly, C. and Manaa, A. 2020. Physiological and biochemical markers for screening salt-tolerant quinoa genotypes at early seedling stage. Journal of Plant Interactions, 15 (1): 27-38. **(Journal)**

Ebone, L.A., Gancalves, I.M. and Langaro, N.C. 2019. Accelerated aging test and image analysis for barley seed. Australian Journal of Crop Science, 13 (9): 1546-1551. **(Journal)**

El Hazzam, K., Jawhar, H. Mansour, S. Manal, M. Moha, T. Kamal, E.L. and Abdelaziz, Y. 2020. An insight into saponins from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A review. Molecules, 25 (5): 1059. **(Journal)**

Ellis, R.H. and Roberts, E.H. 1980. Towards a rational basis for testing seed quality in seed production. Butterworths. London, 2 (2): 605-635. **(Journal)**

Escobar, J.A., Rubio, M.A., and Lissi, E.A. 1996. SOD and catalase inactivation by singlet oxygen and peroxyl radicals. Free Radical Biology and Medicine, 16: 445–451. **(Journal)**

Farooq, M., Basra, S., Ahmad, N. and Hafeez, K. 2005. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. Journal of Integrative Plant Biology, 42 (2): 187-193. **(Journal)**

Finch-Savage, W.E., and Bassel, G.W. 2016. Seed vigor and crop establishment: extending performance beyond adaptation. Journal of Experimental Botany, 67: 567-591. **(Journal)**

Foolad, M.R., Subbiah, P. and Zhang, L. 2007.Common QTL affect the rate of tomato seed germination under different stress and nonstress conditions. International Journal of Plant Genomics, 2007 (2): 97386. **(Journal)**

Fowler, C.D.F., Turner, D.W., Siddique, K. 2006. Selection of field pea (*Pisum sativum* L.) cultivar and growing site improves germination and uniformity for sprout production. January.Australian journal of Agricultural Research, 57 (12):1249-1257. **(Journal)**

Ghalkhani, E., Hassanpour, H., and Niknam, V. 2020. Sinusoidal vibration alleviates salt stress by induction of antioxidative enzymes and anatomical changes in *Mentha pulegium*. Physiologiae Plantarum, 42 (3): 39-44. **(Journal)**

Gonzalez, J.A., Y. Konishi, M. Bruno, M., Valoya and Pradoc, F. 2011. Interrelationships among seed yield, total quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agroecological regions. Journal of the Science of Food and Agriculture, 92: 1222–1229. **(Journal)**

Granado-Rodriguez, S., Aparicio, N., Matias, J., Perez-Romero, L.F., Maestro, I., Garces, I., Pedroche, J.J., Haros, C.M., Fernandez-Garcia, N. and Navarro del Hierro, J. 2021. Studying the impact of different field environmental conditions on seed quality of quinoa: the case of three different years changing seed nutritional traits in southern europe. Frontiers in Plant Science, 12: 649132. **(Journal)**

Heath, R.L., and Packer, L. 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplasts: I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125 (1): 189–198. **(Journal)**

Heidari, Z., Kamkar, b. and Maasoud Sinki, J. 2014. Evaluation of maritigal (*Silybum marianum* L.) germination unto temperature", 13th Conference of Agricultural Science and Plant Breeding of Iran and 3rd Conference of Iran Seed Science and Technology. 26-28 August, Karaj, Iran. **(Conference)**

Imbert, E. 2002.Ecological consequence and ontology of seed eteromotphism. Plant Ecology Evolution System, 5 (1): 13-36. **(Journal)**

International Seed Testing Association (ISTA). 2018. International rules for seed testing, 5-56. Zurich, Switzerland. From https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing.html

Jamali, S., Sharfian, H., Hezarjaribi, A. and Sepahvand, N.A. 2016.The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of Quinoa. Protection of water and soil resources, 6 (1): 87-98. **(Journal)**

Jojoa, W.A., Peixoto, J.R., Spehar, C.R., Vilela, M.S., Fagioli, M., Nobrega, D., Cruz, A. and Oliveira, A. 2021. Evaluation of the phisiological quality of quinoa seeds. Agricultural Research, 17 (5): 802-808. **(Journal)**

Kamoshita, A., Babu, R.C. Boopathi, N.M. and Fukai. S. 2006. Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. Field crop research, 109: 1-23. **(Journal)**

Karami, R., Ebrahimi, F., Balouchi, H.R and Babaei, M.J. 2020. Improvement of germination behavior and seedling characteristics of two quinoa cultivars *Chenopodium quinoa* Willd. under the influence of salicylic acid and salt stress. Islamic Azad University Journal of Seed Science, 10 (1): 53-66. (In Persian)**(Journal)**

Karssen, C.M. 1970. The light promoted germination of the seeds of *Chenopodium album* L. III. Effect of the photoperiod during growth and development of the plants on the dormancy of the produced seeds. Acta Botanica Neerlandica, 19 (1): 81–94. **(Journal)**

Koyro, H.W. and Eisa, S.S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. Plant Soil, 302: 79–90. **(Journal)**

Koziol, M.J. 1991.Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Science Food and Agriculture, 54 (2), 211–219. **(Journal)**

Liliana N.C. and Lozano, E.J. 2002. Amylase for apple juice proccecing: Effects of pH, heat and Ca^{2+}ions. Food Technology and Biotechnology, 40 (1), 33-38. **(Journal)**

Manugade, R.P., Govind H. and Bhalekar, N.B. 2023. Assessment of seed qualities in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). The Pharma Innovation Journal, 12 (2): 3024-3027. **(Journal)**

Medina-Meza, I.G., Aluwi, N.A., Saunders, S.R. and Ganjyal, G.M. 2016. GC-MS Profiling of triterpenoid saponins from 28 Quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown in Washington state. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64: 8583–8591. **(Journal)**

Miranda, M.A. Vega-Galvez, I. Quispe-Fuentes, M.J., Rodriguez, H. and Martinez, E.A. 2012. Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. Chilean Journal of Agricultural Research, 72:175-181. **(Journal)**

Munir, H., Basra, S.M. Cheema, M.A. and Wahid, A. 2011. Phenotypic flexibility in exotic quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm for seedling vigor and viability. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 48 (4): 255-261. **(Journal)**

Oliveira, G.E., Pinho, R.G.V., Andrade, T.D., Pinho, E.V.D.R.V., Santos, C.D.D. and Veiga, A.D. 2013. Physiological quality and amylase enzyme expression in maize. Agrotecnologia, 37 (1): 40-48. **(Journal)**

Padilha, M.S., Coelho, C.M.M. and Ehrhardt-Brocardo, N. 2021. Vigor and alpha-amylase activity in common bean seeds under salt stress conditions. Ciencias Agrarias, 42 (6): 3633-3650. **(Journal)**

Parera, G. and Cantliff, D. 1994. Presowing seed treatments to enhance supersweet sweet corn seed and seedling quality. HortScience, 29 (4): 271-278. **(Journal)**

Penfield, S. and MacGregor, D.R. 2017. Effects of environmental variation during seed production on seed dormancy and germination. Journal of Experimental Botany, 68 (4): 819–825. **(Journal)**

Prado, J.P.D., Krzyzanowski, F.C., Martins, C.C. and Vieira, R.D. 2019. Physiological potential of soybean seeds and its relationshipto electrical conductivity. Journal of Seed Science, 41 (4): 407-415. **(Journal)**

Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P.M., Mast, B., and Graeff-Hönninger, S. 2018. Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. Agronomy, 8 (10): 197. **(Journal)**

Prazeres, C.S. and Coelho, C.M.M. 2016. Genetic Devergence and Heterosis Related to Physiological Quality in Maize Seeds. Bragantia, 75 (4): 411-417. **(Journal)**

Pujadas, G. and Palau, J. 2001.Evolution of α-Amylases: Architectural features and key residues in the stabilization of the $(\beta/\alpha)_8$ scaffold. Molecular Biology and Evolution, 18 (1): 38-54. **(Journal)**

Pulvento, C. and Bazile, D. 2023. Worldwide evaluations of quinoa biodiversity and food security under climate change pressures: Advances and perspectives. Plants, 12 (4): 868. **(Journal)**

Rabbani, B., Karimi, G., Khoramivafa, M., Saeidi, M., Boroomandan, P., Bagheri, M. and Zarei, L. 2022. Effect of sowing date and plant density on seed yield and yield attributes of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes, Iran Agricultural Research, 40 (2): 121-133. **(Journal)**

Reguera, M., Conesa, C.M., Gil-Gomez, A., Haros, C.M., Perez-Casas, M.A., Labarca, V.B., Bolanos, L., Bonilla, I., Alvarez, R., Pinto, K., Mujica, A. and Bascunan-Godoy, L. 2018. The impact of different agroecological conditions on the nutritional composition of quinoa seeds. PeerJ. The Journal of Life and Environmental Sciences, 6: 4442. **(Journal)**

Reigosa, M.J., Souto, X.C. and Gonzlez, L. 1999. Effect of phenolic compounds on the germination of six weed species. Plant Growth Regulation, 28: 83–88. **(Journal)**

Ruales, J. and Nair, B.M. 1993. Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds.Food Chemistry, 48 (2): 131-136. **(Journal)**

Ruiz, K.B., Biondi, S., Oses, R., Acuna-Rodriguez, I.S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E.A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, P.A. and Zurita-Silva, A.M. 2014. Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. Agronomy for Sustainable Development, 34 (2):1-11. **(Journal)**

Ruiz, K.B., Khakimov, B., Engelsen, S.B., Bak, S., Biondi, S. and Jacobsen, S.E. 2017. Quinoa seed coats as an expanding and sustainable source of bioactive compounds: An investigation of genotypic diversity in saponin profiles. Industrial Crops and Products, 104 (1): 156–163. **(Journal)**

Salehi, M. 2020. Comparision of yield and yield components in different quinoa lines in autumn rainfed cropping at Gorgan. Crop Production, 13 (1): 17-30. (In Persian)**(Journal)**

Samarah, N.H. and Abu-Yahya, V. 2008. Effect of maturity stages of winter and spring sowen chickpea (*Cicer arietinum* L.) on germination and vigor of the harvested seeds. Seed Science and Technology, 36 (1): 177-190. **(Journal)**

Sandhu, S.K., and Kang, G.S. 1998. Genetic analysis in germplasm of andigena potatoes (*Solanum tuberosum* subsp Andigena). Crop Improvement, 25: 181-185. **(Journal)**

Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Latifi, N. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology, 30: 51-60. (In Persian)**(Journal)**

Szareski, V.J., Carvalho, I.R., Kehl, K., Levin, A.M., Nardino, M., Demari, G.H., Lauthencheleger, F., Souza, V.Q., Pedo, T. and Aumonde, T. Z. 2017. Univariate, multivariate techniques, and mixed models applied to the adaptability and stability of wheat in the Rio Grande do Sul State. Genetics and Molecular Research, 16: 1-13. **(Journal)**

Tabakovic, M., Simic, M., Stanisavljevic, R., Milivojevic, M., Secanski, M. and Postic, D. 2020. Effects of shape and size of hybrid maize seed on germination and vigor of different genotypes. Chilean Journal of Agricultural Research, 80 (3): 381-392. **(Journal)**

Tang, Y. and Tsao, R. 2017. Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. Molecular Nutrition and Food Research, 61 (7):1600767. **(Journal)**

Thiam, E., Allaoui, A. and Benlhabib, O. 2021. Quinoa productivity and stability evaluation through varietal and environmental interaction. Plants, 10 (4): 714. **(Journal)**

Toderich, K., Karvtsova, T., Gasimova, K., Alizade, V., Yakovleva, O. and Ozturk, M. 2023. Seed heteromorphism and germination *Chenopodium quinoa* Willd. Related to crop introduction marginalized environments. Pakistan Journal of Botany, 55 (4): 1459-1475. **(Journal)**

Vidueiros, S.M., Curti, R.N., Dyner, L.M., Binaghi, M J., Peterson, G., Bertero, H. D. and Pallaro, A.N. 2015. Diversity and interrelationships in nutritional traits in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Northwest Argentina. Journal of Cereal Science, 62: 87–93. **(Journal)**

Wang, J. 2012. Analysis of differential transcriptional prouling in wheat infected by *Blumeria graminis* f. sp. tritici using genechip. Molecular Biology Reports, 39: 381-387. **(Journal)**

Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S.E. and Schwember, A.R. 2014. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Potential and perspectives. Molecular Breeding, 34 (1): 13–30. **(Journal)**

Evaluation of quantitative and biochemical characteristics of seed germination of quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.) produced in the climatic conditions of Karaj

Sadaf Gilaninia[1], Seyed MohammadReza Ehteshami[2]*, Masoud Esfahani[3], Mahmood Bagheri[4]

Received: January 1, 2024 ....Accepted: February 18, 2024

Abstract

Quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd, plays a strategic role in establishing food security under changing climatic conditions due to its nutritional value, genetic diversity, and high adaptability under stressful conditions and different environments. The purpose of this research was to evaluate the germination and biochemical characteristics of 12 quinoa genotypes adapted to the climatic conditions of Iran. This experiment was conducted in the form of the randomized complete blocks design with three replications in the Laboratory of Seed Physiology and Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University. In this experiment, the characteristics of germination percentage, germination rate, germination uniformity, D10, D50, D90, radicle fresh and dry, shoot and seedling weight, radicle, shoot, and seedling length, electrical conductivity of seed solution, malondialdehyde content, alpha-amylase enzyme activity and saponin content were investigated. The analysis of the data's variance demonstrated significant differences between genotypes in all studied traits. Q26 Genotype showed high values in germination percentage (91.33%), germination rate, radicle, shoot and seedling length, seedling fresh weight, alpha-amylase enzyme activity (0.234 micromoles released glucose per one gram of seed weight) and saponin content. Q26 genotype had the worst, and Q2 and Q12 genotypes had the best performance in terms of germination uniformity, electrical conductivity of seed solution and malondialdehyde content, respectively. Among the studied genotypes, the Q26 genotype demonstrated better results in comparison with other genotypes. It seems that this genotype may have better conditions for planting in the climatic conditions of Iran.

Key words: Alpha amylase; Electri cal conductivity; Germination; Malondialdehyde; Quinoa

How to cite this article
Gilaninia, S., Ehteshami, S.M.R., Esfahani, M. and Bagheri, M. 2024. Evaluation of quantitative and biochemical characteristics of seed germination of quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.) produced in the climatic conditions of Karaj. Iranian Journal of Seed Science and Research, 10(4): 31-49. (In Persian)**(Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2023.7682

COPYRIGHTS
Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research
The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. s.gilaninia@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. smrehteshami@yahoo.com
3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. esfahani@guilan.ac.ir
4. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. bagh313@yahoo.com
*Corresponding author: smrehteshami@yahoo.com