

بررسی اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بروی خصوصیات جوانه‌زنی بذور کینوا: مطالعه آزمایشگاهی پس از برداشت مزرعه‌ای

پریسا احمدی^۱، فرزاد حسین‌پناهی^{۲*}، عادل سی و سه مرده^۳

۱- دانشجوی سابق ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۳- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

نویسنده مسئول: f.hosseinpanahi@uok.ac.ir

چکیده:

مقدمه: کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) به عنوان یک گیاه استراتژیک و مقاوم به شرایط محیطی نامساعد نظیر خشکی و شوری، در سال‌های اخیر به ویژه در ایران مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی، کمبود آب و شوری خاک، کشت این گیاه می‌تواند به تأمین امنیت غذایی و تنوع بخشی به الگوی کشت کشور کمک کند. این تحقیق بررسی تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی بذرهای کینوا پس از برداشت مزرعه‌ای و شناسایی بهترین روش‌های پرایمینگ برای بهبود قوه نامیه و یکنواختی سبز شدن در شرایط کشت ایران است.

مواد و روش: تیمارهای آزمایشی شامل پرایمینگ هورمونی (اسید جبرلیک و اسید سالیسیلیک)، اسموپرایمینگ (کلرید پتاسیم، نترات پتاسیم، پلی‌اتیلن گلاکول ۶۰۰۰، اسید هیومیک و سولفات روی) و هیدروپرایمینگ با آب مقطر بودند. پس از جمع‌آوری بذرهای مزرعه، آزمایش‌های جوانه‌زنی در شرایط کنترل شده انجام شد.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی داشتند. به طور کلی، تیمار کلرید پتاسیم با ۶۱/۶۶ درصد بالاترین درصد جوانه‌زنی را نشان داد، در حالی که تیمار هیومیک اسید با ۳۸/۶۶ درصد کمترین درصد جوانه‌زنی را داشت. همچنین، تیمار اسید سالیسیلیک بیشترین سرعت جوانه‌زنی را با میانگین ۲۱/۱۸ تعداد در روز در مقایسه با سایر تیمارها به خود اختصاص داد. همچنین نتایج نشان داد که تیمارهای نترات پتاسیم و سولفات روی باعث افزایش غیرمعنی‌دار درصد گیاهچه‌های نرمل شدند. در حالی که شرایط رشدی گیاه مادری و تأثیرات محیطی در زمان برداشت ممکن است بر کیفیت بذرهای تأثیرگذار باشند، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده پتانسیل بالای تیمارهای پرایمینگ در بهبود جوانه‌زنی بذرهای کینوا است.

نتیجه‌گیری کلی: به طور کلی، این پژوهش می‌تواند به کشاورزان، تولیدکنندگان بذر و محققان در بهبود عملکرد و کیفیت محصول کینوا کمک کند و زمینه‌ساز تحقیقات آینده در راستای بهینه‌سازی کشت این گیاه در شرایط مختلف محیطی باشد.

کلمات کلیدی: پرایمینگ، درصد گیاهچه‌های نرمال، سرعت جوانه‌زنی، کینوا، نترات پتاسیم

مقدمه:

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) به‌عنوان یک گیاه استراتژیک با قابلیت کشت در شرایط نامساعد محیطی، اخیراً مورد توجه محققان و کشاورزان ایرانی قرار گرفته است (Koocheki et al., 2016). با توجه به افزایش چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی، کمبود آب و شوری خاک در ایران، کشت کینوا به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی و شوری می‌تواند نقش مهمی در امنیت غذایی و تنوع بخشی به الگوی کشت کشور ایفا کند (Ghasemi et al., 2018). با توجه به ارزش غذایی بالا و وجود ترکیبات مفید مانند پروتئین کامل، اسیدهای آمینه ضروری و مواد معدنی، توسعه کشت این گیاه می‌تواند به بهبود تغذیه جامعه و کاهش وابستگی به واردات غلات کمک کند (Bastidas et al., 2016). از این رو، تحقیقات گسترده‌تر در زمینه به‌نژادی، مدیریت کشت و توسعه فرآوری این گیاه در ایران ضروری به نظر می‌رسد. شرایط محیطی مانند خاک و دمای محیط، رطوبت نسبی و بارندگی در دوران پر شدن و رسیدن بذر و عملیات زراعی در دوره رشد و نمو گیاه مادری از کاشت تا برداشت و دوره پس از برداشت، بر کیفیت بذر تأثیرگذار می‌باشد (Basra, 2024). عواملی مانند خلوص ژنتیکی و فیزیکی، قوه نامیه، جوانه‌زنی، بنیه، سلامت، میزان رطوبت، کیفیت انبارمانی و ماندگاری (طول عمر) مهمترین شاخص‌های تعیین کننده کیفیت بذر هستند (Elias et al., 2012). قوه نامیه بذر مجموع‌های از ویژگی‌های بذر اعم از سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه و توانایی جوانه‌زنی بذر و خروج گیاهچه از خاک در شرایط نامناسب محیطی است که در تعیین کیفیت بذر تأثیرگذار می‌باشد (Basra, 2024). قوه نامیه اولیه بذر می‌تواند بر مقاومت بذر نسبت به تنش‌های محیطی اعمال شده در مرحله جوانه‌زنی تأثیرگذار باشد. آزمایش آزمون جوانه‌زنی استاندارد، متداول‌ترین آزمون تعیین درصد جوانه‌زنی بذر بوده و آزمون می‌باشد که تحت شرایط مطلوب برای جوانه‌زنی انجام می‌گردد و نشان دهنده حداکثر پتانسیل جوانه‌زنی بذر را تحت شرایط بهینه و مطلوب می‌باشد. با این وجود که ارزیابی گیاهچه‌ها و تعیین درصد گیاهچه‌های عادی به‌عنوان مبنای تعیین درصد جوانه‌زنی بذر در این آزمون برآوردی از قوه نامیه گیاهچه‌ها می‌باشد (ISTA, 2013). علاوه بر این بذرهای با قابلیت جوانه‌زنی بالا در شرایط مطلوب برای جوانه‌زنی در آزمایشگاه معمولاً در شرایط نامناسب در مزرعه از جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه کمتری برخوردار می‌باشند و اجرای آزمون‌های قوه نامیه بذر برآورد بهتری از قوه نامیه و قابلیت سبز شدن و استقرار گیاهچه در مزرعه نشان می‌دهند (Padma and Reddy, 2002). جوانه‌زنی و قوه نامیه بذرهای کینوا پس از برداشت مزرعه‌ای تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله خواب فیزیولوژیکی، سختی پوسته بذر و شرایط محیطی پس از برداشت قرار می‌گیرد (Bewley et al., 2013; González et al., 2015). مطالعات نشان داده‌اند که بذرهای کینوا ممکن است به دلیل وجود مهارکننده‌های رشد طبیعی یا ساختار فیزیکی پوسته، با کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی مواجه شوند (Murphy, 2015). قوه نامیه بذر نیز که بیانگر توانایی بذر در تولید گیاهچه‌های سالم و قوی است، ممکن است در اثر تنش‌های پس از برداشت مانند خشکی یا دمای نامناسب کاهش یابد (Rojas et al., 2020). با این حال، یکی از چالش‌های اصلی در کشت کینوا، جوانه‌زنی نامنظم و کاهش قوه نامیه بذرهای پس از برداشت مزرعه‌ای است که می‌تواند بر یکنواختی سبز شدن مزرعه و عملکرد نهایی محصول شوند، از این رو استفاده از تیمارهای پرایمینگ به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود این خصوصیات پیشنهاد شده است (Farooq et al., 2009; Khan et al., 2021). پرایمینگ یک تکنیک پیش‌تیمار بذر است که با القای فرآیندهای متابولیکی اولیه

جوانه‌زنی، بدون خروج ریشه‌چه، منجر به بهبود یکنواختی، سرعت و درصد جوانه‌زنی می‌شود (Farooq et al., 2009). این روش با فعال‌سازی آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی مانند- α آمیلاز و افزایش سنتر پروتئین‌های ذخیره‌ای، مقاومت بذرها به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (Paparella et al., 2015). با توجه به اهمیت کینوا در کشاورزی پایدار و چالش‌های جوانه‌زنی آن، این پژوهش به بررسی اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی بذرهای کینوا پس از برداشت مزرعه‌ای می‌پردازد. که با توجه به پتانسیل بالای کینوا در تأمین امنیت غذایی و چالش‌های جوانه‌زنی پس از برداشت، این تحقیق می‌تواند به شناسایی بهترین روش پرایمینگ برای بهبود استقرار مزرعه‌ای کینوا کمک کند. نتایج این مطالعه می‌تواند برای کشاورزان، تولیدکنندگان بذر و محققان در جهت بهبود عملکرد و کیفیت محصول کینوا مفید باشد.

مواد و روش

به منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بروی خصوصیات جوانه‌زنی بذور کینوا رقم تیتیکا پس از برداشت مزرعه‌ای، دو آزمایشی در شرایط مزرعه و آزمایشگاهی انجام گرفت.

تیمار آزمایشی شامل: پرایمینگ بذر با پرایمینگ هورمونی شامل اسید جیبرلیک و اسیدسالیسیلیک (به ترتیب با غلظت‌های ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر)، سطوح اسموپرایمینگ شامل کلریدپتاسیم (با غلظت ۱ درصد وزنی-حجمی)، نتراتپتاسیم (با غلظت ۵ درصد وزنی-حجمی)، پلی اتیلن گلاکول ۶۰۰۰ (با غلظت ۱۰ درصد وزنی-حجمی)، اسیدهیومیک (با غلظت ۵۴ میلی گرم در لیتر) و سولفات روی (با غلظت ۶ درصد وزنی-حجمی)، یک سطح هیدروپرایمینگ با آب مقطر یکبار تقطیرشده و یک تیمار شاهد بدون پرایمینگ می‌باشد. از بذر کینوا رقم تیتیکا استفاده شد. به منظور انجام آزمایش در آزمایشگاه قبل از شروع آزمایش وسایل موردنیاز به همراه کاغذهای جوانه‌زنی در اتوکلاو با دمای ۱۸۰ سانتی گراد به مدت ۲ ساعت استریل شدند. در مرحله بعدی، بذور با هیپوکلریدسدیم ۲ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی سطحی و سپس چند بار با آب مقطر شستشو داده شدند (Hajhashemi and Ehsanpour, 2013). جهت آماده‌سازی محلول پرایمینگ، حجم مشخصی از هر کدام از مواد پرایمینگ در آب مقطر حل و به حجم موردنظر رسیدند. سپس بذور به محلول‌های ایجاد شده اضافه گردیدند و به مدت ۶ ساعت در دمای ۲۲-۲۱ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و جهت اکسیژن‌رسانی با استفاده از پمپ هوا عمل تهویه (هوادهی) انجام گردید (Gholami et al., 2022). بعد از اتمام عمل پرایمینگ، بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شدند (Parmoon et al., 2013). و با خشک شدن کامل بذور، بذور آماده کشت در مزرعه شدند.

۱- آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان انجام شد. این مزرعه در غرب ایران با مختصات جغرافیایی تقریباً ۳۵/۱۸ درجه عرض شمالی و ۴۶/۳۵ درجه طول شرقی، در ارتفاع ۱۸۶۰ متر از سطح دریا واقع شده است. آب و هوای این منطقه مدیترانه‌ای است که با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های خشک و معتدل مشخص می‌باشد. به منظور آماده‌سازی بستر کشت، عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح برای بهبود ساختمان خاک زراعی انجام گرفت. بعد از کرت‌بندی ۶ ردیف خطوط کاشت در زمین قرار گرفت و در هر بلوک مقدار ۱۰۰ گرم از بذور پرایم شده در عمق ۲-۱ سانتی‌متری به صورت دستی کشت گردید و سپس با خاک روی بذور پوشانده شد و تاریخ ۱۸ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ به عنوان تاریخ کاشت ثبت گردید. آبیاری هر هفته یکبار صورت گرفت. در طول فصل رشد، سه بار و جین دستی برای کنترل کامل علف‌های هرز انجام شد. برای

کاهش رقابت درون گونه‌ای در مرحله ۵ برگی، گیاهان اضافی تنک یا حذف شدند تا تراکم مطلوب بوته ۵۰ بوته در متر مربع حاصل شود. پس از تنک، مزرعه به طور یکنواخت با کود اوره (به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) کوددهی و سپس آبیاری شد. علاوه بر این، برای مبارزه با آفات در مراحل ۴-۵ برگی و پنجه‌زنی، از آفت کش ایمیداکلوپراید به میزان ۱۵ سی سی در ۲۰ لیتر آب برای کنترل ساقه‌خوارها استفاده شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی، برداشت به صورت دستی (۱۰۹ روز پس از کاشت) انجام شد (تاریخ برداشت ۳ شهریور سال ۱۳۹۸). پس از برداشت، گیاهان هر کرت به مدت ده روز در معرض نور خورشید کاملاً خشک شدند.

۲- آزمایش آزمایشگاهی: جهت بررسی و ارزیابی خصوصیات جوانه‌زنی بذور برداشت شده از هر کرت از آزمایش مزرعه‌ای، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام گردید. تست بذور در بستر کاغذ صافی و در پتری‌دیش انجام گرفت و قبل از انجام آزمایش کلیه اقدامات لازم در خصوص استریل شدن بذرها و محیط کشت انجام گرفت. ۱۰۰ عدد بذر در هر پتری‌دیش، بر روی کاغذ واتمن شماره ۱ (ISTA, 2013) قرار گرفت و مقدار ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به هر پتری‌دیش اضافه گردید. سپس پتری‌دیش‌ها به درون ژرمیناتور با دمای 20 ± 1 (مامدی و همکاران، ۱۳۹۳; ISTA, 2013)، رطوبت نسبی ۷۰ درصد، ۱۶ ساعت روشنائی و ۸ ساعت تاریکی (Zeng et al., 2013) منتقل شدند. به مدت زمان یک هفته پتری‌دیش‌ها در محیط ژرمیناتور نگهداری شدند. در طول مدت زمان آزمایش تعداد بذور جوانه‌زده به طور روزانه شمارش و ثبت شدند. معیار جوانه‌زنی بذر خروج ریشه‌چه به مقدار ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد. پایان آزمایش در روز هفتم درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی و درصد گیاهچه نرمال و غیرنرمال بررسی شدند. خصوصیات جوانه‌زنی و درصد گیاهچه‌های نرمال و غیرنرمال با استفاده از روابط زیر محاسبه گردیدند.

درصد جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی، پس از آخرین روز شمارش بذور از معادله ۱ محاسبه گردید

$$FGP = \frac{\sum n}{N} \times 100 \dots\dots\dots \text{معادله (۱)} \dots\dots\dots$$

در این رابطه $\sum n$ تعداد بذور جوانه‌زده و N تعداد بذور کشت شده هستند (Singh et al., 2018).

سرعت جوانه‌زنی

سرعت جوانه‌زنی با شمارش تعداد بذور در روز و با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$R = \sum \frac{n_i}{d_i} \dots\dots\dots \text{معادله (۲)}$$

در این رابطه $\sum n$ تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز، d_i تعداد روز از آغاز آزمایش هستند (Singh et al., 2018).

متوسط زمان جوانه‌زنی

متوسط زمان جوانه‌زنی با شمارش بذور جوانه‌زده در روز و کل بذور جوانه زده، متوسط زمان جوانه‌زنی از معادله ۳ محاسبه گردید

$$MGT = \frac{\sum (nd)}{\sum n} \dots\dots\dots \text{معادله (۳)}$$

در این رابطه D زمان بر حسب روز، n تعداد بذور جوانه‌زده در روز و $\sum n$ تعداد کل بذور جوانه‌زده هستند (Damalas et al., 2019).

درصد گیاهچه‌های نرمال و غیرنرمال: به منظور اندازه‌گیری درصد گیاهچه‌های نرمال و غیرنرمال، تعداد گیاهچه‌های نرمال و غیرنرمال شمارش گردیده و بر درصد جوانه‌زنی تقسیم نموده. جهت نرمال‌سازی داده‌ها، ابتدا آزمون نرمالیت با نرم‌افزار Minitab انجام گرفت. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS.ver.9.0 انجام گرفت. و با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 نمودار رسم گردید.

نتایج و بحث:

جدول ۱: تجزیه واریانس خصوصیات جوانه‌زنی و قوه نامیه (بر اساس تعداد گیاهچه‌های نرمال) بذور برداشت شده از آزمایش مزرعه‌ای
Table 1: Analysis of variance of germination characteristics and vigor (based on the number of normal seedlings) of seeds harvested from the field experiment

میانگین مربعات Mean squares						
درصد گیاهچه‌های غیرنرمال (درصد)	درصد گیاهچه‌های نرمال (درصد)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد در روز)	درصد جوانه‌زنی (درصد)	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V)
Percentage of abnormal seedlings (%)	Percentage of normal seedlings (%)	Mean Germination Time (day)	Germination rate (number per day)	Germination percentage (%)		
112.62 ^{ns}	112.62 ^{ns}	0.88*	34.36**	208.03**	8	تیمار (T)
95.79	95.79	0.33	8.05	30.81	18	خطا (E)
100.97	100.97	0.50	16.14	85.34	26	کل (T)
34.86	13.60	14.52	17.61	11.33	–	ضریب تغییرات (CV)(درصد)

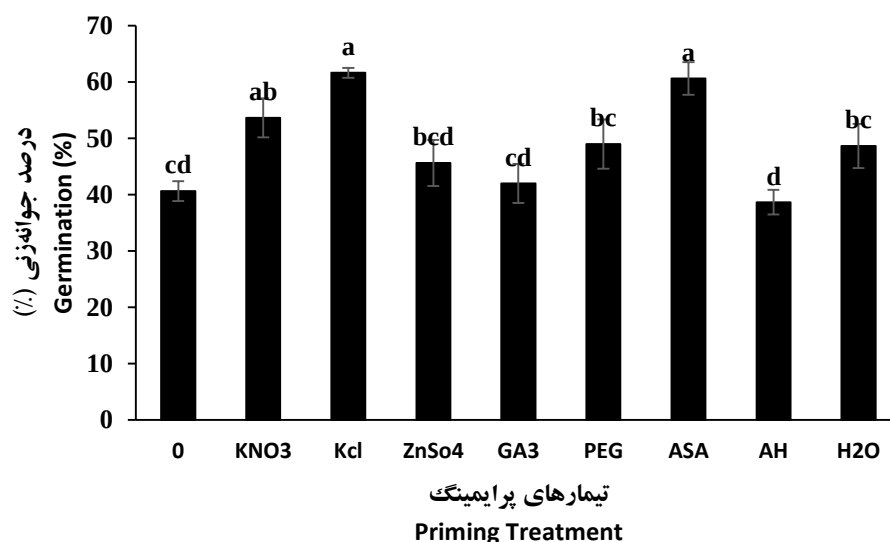
ns, ** و * به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد
 ns, ** and * are non-significant, significant at the 1 and 5 percent probability levels, respectively.

درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی بذور برداشت شده از مزرعه معنی‌دار بود (جدول ۱، $p < 0.01$). بالاترین درصد جوانه‌زنی به تیمار کلرید پتاسیم با ۶۱/۶۶ درصد و پایین‌ترین درصد به تیمار هیومیک اسید با ۳۸/۶۶ درصد اختصاص داشت. به‌طور کلی، درصد جوانه‌زنی در تیمارهای نترات پتاسیم، کلرید پتاسیم، سولفات روی، جبرلیک اسید، پلی اتیلن گلاکول، اسید سالیسیلیک، هیومیک اسید و هیدروپرایم نسبت به شاهد به ترتیب ۳۱/۹۷، ۵۱/۶۴، ۱۲/۲۹، ۳/۲۹، ۲۰/۵۱، ۴۹/۱۸، ۴/۹۱ و ۱۹/۶۷ درصد بود. به جز تیمار هیومیک اسید، سایر تیمارها منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی شدند، اما تنها تفاوت‌های تیمارهای نترات پتاسیم، کلرید پتاسیم و اسید سالیسیلیک با شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار بود (۱). بررسی‌های کمی روی بذور برداشت شده از مزارع تحت پرایمینگ نشان داد که این نتایج، حداقل در ایران، اولین گزارش در این زمینه به شمار می‌رود. دلایل تفاوت در

جوانه‌زنی بذور برداشت شده از مزارع که پیش‌تر تحت تیمارهای مختلف پرایمینگ قرار گرفته بودند، در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفت، اما به احتمال زیاد، شرایط رشدی که بذرها در زمان قرارگیری روی گیاه مادری داشتند، عامل اصلی این تفاوت‌ها می‌باشد. شرایط محیطی، تنش‌های زنده و غیرزنده، سطح تغذیه و بسیاری عوامل دیگر می‌توانند کیفیت بذور تولیدی را تحت تأثیر قرار دهند. برای نتیجه‌گیری نهایی در این زمینه، نیاز به تحقیقات بیشتری وجود دارد.

در منابع، دلایل کافی برای توجیه اثرات مستقیم پرایمینگ بر بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی وجود دارد. از جمله این دلایل می‌توان به تأثیر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید بر سیستم آنتی‌اکسیدانی (مدرس ثانوی و همکاران، ۱۳۸۷)، تعادل نسبت هورمونی در بذور و کاهش مواد بازدارنده رشد مانند آبسزینیک اسید (ABA) به واسطه کاربرد نیترات پتاسیم و جیبرلیک اسید (قاسمی پیربلوطی و همکاران، ۱۳۸۶)، افزایش سرعت فعال‌سازی آنزیم‌های کربونیک آنهیدراز، مالیک دهیدروژناز، گلوتامات دهیدروژناز، الکل دهیدروژناز و انبساط سلول‌ها به واسطه تیمار سولفات روی (Fageria and Moreira, 2011) و بهبود سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و نسبت‌های یونی در بافت‌های گیاهی ناشی از تیمار کلرید پتاسیم (Chen and Arora, 2011) اشاره کرد.



شکل ۱: مقایسه درصد جوانه‌زنی بذور کینوا برداشت شده از مزرعه که در زمان کاشت تحت تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بودند.

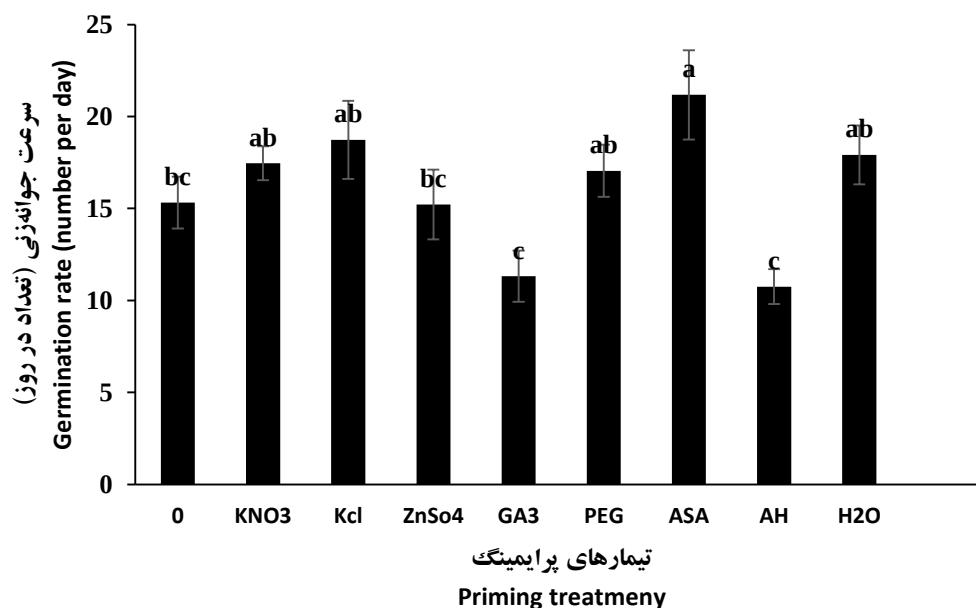
Figure 1: Comparison of germination percentage of quinoa seeds harvested from the field that were affected by different priming treatments at the time of planting.

سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر روی سرعت جوانه‌زنی بذور برداشت شده از مزرعه معنی‌دار بود (جدول ۱، $p < 0.01$). بیشترین سرعت جوانه‌زنی به تیمار اسید سالیسیلیک با مقدار ۲۱/۱۸ تعداد در روز و کمترین سرعت به تیمار هیومیک اسید با مقدار ۱۰/۷۵ تعداد در روز اختصاص دارد. به‌طور کلی، تغییرات سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای نیترات پتاسیم، کلرید

پتاسیم، سولفات روی، جبرلیک اسید، پلی اتیلن گلیکول، اسید سالیسیلیک، هیومیک اسید و هیدروپرایم نسبت به شاهد به ترتیب $+13/97$ ، $+22/25$ ، $-0/65$ ، $-26/10$ ، $+11/29$ ، $+38/25$ ، $-29/83$ و $+26/97$ درصد بوده است. تیمارهای نیترات پتاسیم، کلرید پتاسیم، پلی اتیلن گلیکول، اسید سالیسیلیک و هیدروپرایم موجب افزایش سرعت جوانه زنی شدند، در حالی که تیمارهای سولفات روی، جبرلیک اسید و هیومیک اسید باعث کاهش سرعت جوانه زنی شدند و تنها تفاوت مشاهده شده در مورد تیمار اسید سالیسیلیک با شاهد از لحاظ آماری معنی دار بود (شکل ۲).

در مورد تأثیر مستقیم تیمارهای پرایمینگ بر سرعت جوانه زنی بذور، عواملی چون تأثیر بر سیستم آنتی اکسیدانی (Stevens et al., 2006)، افزایش سرعت تقسیم سلولی در بذور (Bose and Mishra, 1992) و تحریک برخی فعالیت‌های متابولیکی در مراحل ابتدایی جوانه زنی (Bradford, 1995) گزارش شده است. با این حال، دلیل تفاوت در جوانه زنی بذور برداشت شده از مزرعه که در زمان کاشت با تیمارهای مختلف پرایم شده‌اند، برای ما مشخص نگردید.



شکل ۲: مقایسه سرعت جوانه زنی بذور کینوا برداشت شده از مزرعه که در زمان کاشت تحت تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بودند.

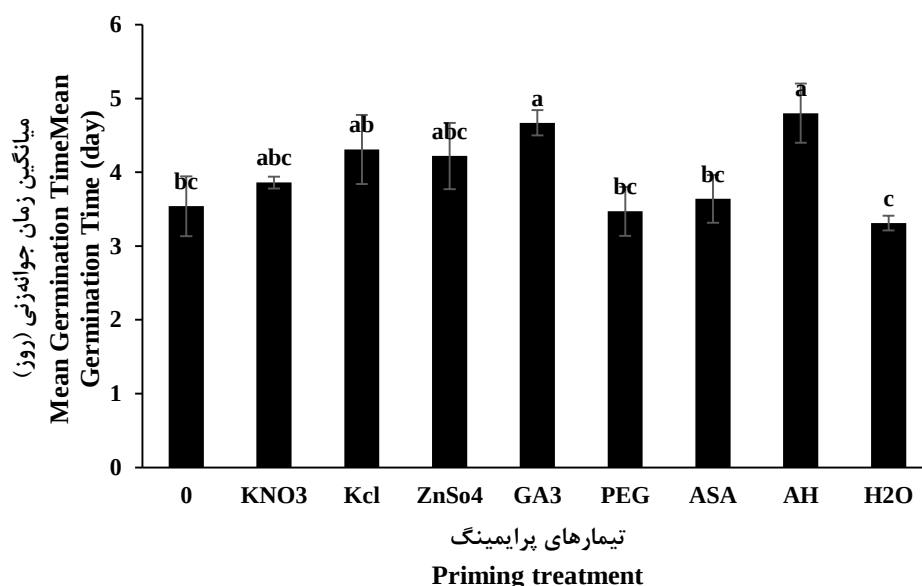
Figure 2: Comparison of germination rate of field-harvested quinoa seeds that were subjected to different priming treatments at the time of planting

میانگین مدت زمان جوانه زنی (MGT)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر میانگین مدت زمان جوانه زنی بذور برداشت شده از مزرعه معنی دار بود (جدول ۱، $p < 0.05$). تیمارهای هیدروپرایمینگ و پلی اتیلن گلیکول تنها کاهش اندکی در میانگین مدت زمان جوانه زنی

ایجاد کردند، اما تفاوت آنها با شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود. در سایر تیمارها که میانگین مدت زمان جوانه‌زنی افزایش یافته بود، تنها تفاوت‌های تیمارهای جیبرلیک اسید و هیومیک اسید با شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار بود (شکل ۳).

زمانی که بذور مستقیماً تحت پرایمینگ قرار می‌گیرند، فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده مواد ذخیره‌ای افزایش می‌یابد و دسترسی گیاهچه به مواد مغذی در طول مرحله جوانه‌زنی آسان‌تر می‌شود. به همین دلیل، بذور پرایمینگ شده قادرند فرآیند جوانه‌زنی را در زمان کوتاه‌تری به پایان برسانند و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (قاسمی پیربلوطی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین گزارش شده است که پرایمینگ باعث رونویسی زودهنگام DNA، افزایش سطح RNA و سنتز پروتئین در بذور می‌شود، که این موارد به رشد رویان، ترمیم بخش‌های آسیب‌دیده بذور و کاهش ترشح متابولیت‌ها کمک می‌کند. این عوامل به افزایش میزان و یکنواختی جوانه‌زنی بذور و ظهور گیاهچه‌ها منجر می‌شوند (Omidi et al., 2005).



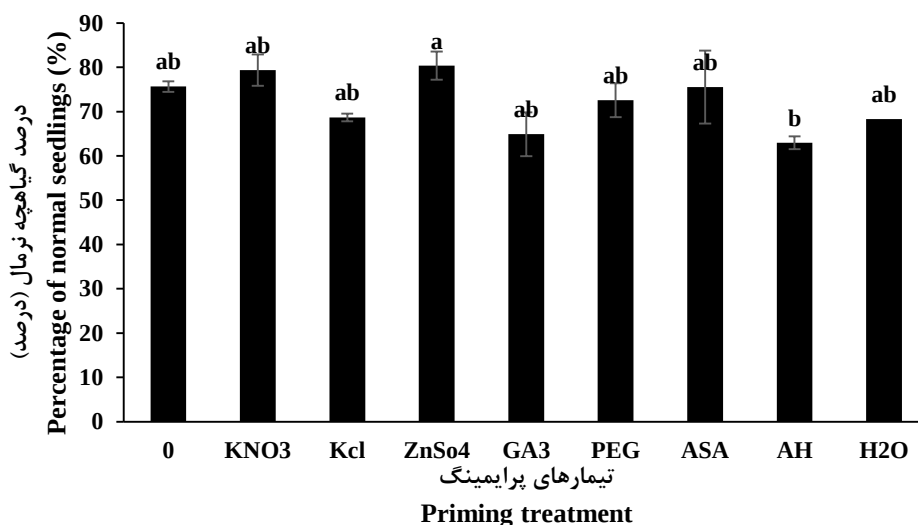
شکل ۳: مقایسه میانگین مدت زمان جوانه‌زنی بذور کینوا برداشت شده از مزرعه که در زمان کاشت تحت تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بودند.

Figure 3: Comparison of the Mean Germination Time of quinoa seeds harvested from the field that were affected by different priming treatments at the time of planting

درصد گیاهچه‌های نرمال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر روی درصد گیاهچه‌های نرمال حاصل از بذور برداشت شده از مزرعه معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیشترین درصد گیاهچه‌های نرمال به تیمار سولفات روی با ۸۰/۳۵ درصد اختصاص داشت و کمترین درصد مربوط به تیمار هیومیک اسید با ۶۲/۹۷ درصد بود. به‌طور کلی، تغییرات درصد گیاهچه‌های نرمال در تیمارهای نترات پتاسیم، کلرید پتاسیم، سولفات روی، جیبرلیک اسید، پلی اتیلن گلاکول، اسید سالیسیلیک، هیومیک اسید و هیدروپرایم نسبت به شاهد به ترتیب ۴/۸۶، ۹/۲۲، ۶/۱۹، ۱۴/۲۴، ۴/۰۹، ۰/۱۸، ۱۶/۷۷ و ۹/۶۷ درصد بود (شکل ۴). در بذور حاصل از تیمارهای کلرید پتاسیم، جیبرلیک اسید، پلی اتیلن گلاکول، اسید سالیسیلیک، هیومیک اسید و هیدروپرایم، درصد گیاهچه‌های نرمال کاهش یافت، اما این

تفاوت‌ها با شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین، تیمارهای نترات پتاسیم و سولفات روی باعث افزایش غیرمعنی‌دار درصد گیاهچه‌های نرمال شدند. همان‌طور که در مورد درصد و سرعت جوانه‌زنی اشاره شد، به احتمال زیاد شرایط رشد روی گیاه مادری بر میزان جوانه‌زنی و قوه نامیه بذورها تأثیر خواهد گذاشت. در این مطالعه، احتمالاً به دلیل ضریب تغییرات بالا، تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نشدند، اما نشانه‌هایی از تأثیر پرایمینگ بر کیفیت بذور نسل بعد مشاهده شد که می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات آتی باشد.

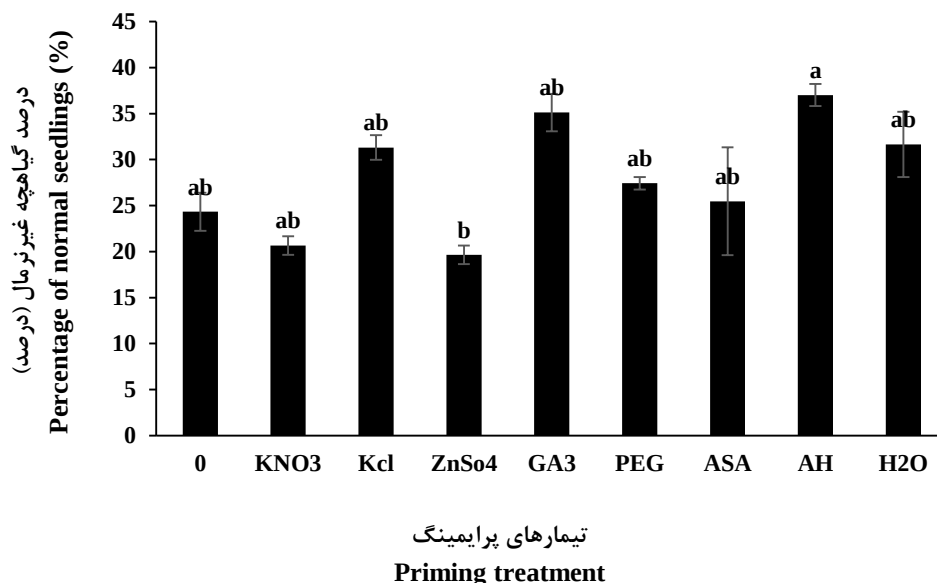


شکل ۴: مقایسه درصد گیاهچه‌های نرمال کینوا حاصل از جوانه‌زنی بذور برداشت شده از مزرعه که در زمان کاشت تحت تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بودند.

Figure 4: Comparison of the percentage of normal quinoa seedlings resulting from the germination of seeds harvested from the field that were affected by different priming treatments at the time of planting

۳-۴-۵- درصد گیاهچه‌های غیرنرمال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر روی درصد گیاهچه‌های غیرنرمال حاصل از بذور برداشت شده از مزرعه معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیشترین درصد گیاهچه‌های غیرنرمال به تیمار هیومیک اسید با ۳۷/۰۲ درصد تعلق داشت و کمترین درصد مربوط به تیمار سولفات روی با ۱۹/۶۴ درصد بود. به‌طور کلی، تغییرات درصد گیاهچه‌های نرمال در تیمارهای نترات پتاسیم، کلرید پتاسیم، سولفات روی، جیرلیک اسید، پلی اتیلن گلیکول، اسید سالیسیلیک، هیومیک اسید و هیدروپرایمینگ نسبت به شاهد به ترتیب ۱۵/۰۸-، ۲۸/۶۸+، ۱۹/۲۷-، ۴۴/۳۴+، ۱۲/۷۴+، ۴/۶۸+، ۵۲/۱۵+ و ۳۰/۰۸+ درصد بود (شکل ۵). تیمارهای کلرید پتاسیم، جیرلیک اسید، پلی اتیلن گلیکول، اسید سالیسیلیک، هیومیک اسید و هیدروپرایم موجب افزایش درصد گیاهچه‌های غیرنرمال شدند، اما این تفاوت‌ها با شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین، تیمارهای نترات پتاسیم و سولفات روی باعث کاهش غیرمعنی‌دار درصد گیاهچه‌های غیرنرمال گردیدند.



شکل ۵: مقایسه درصد گیاهچه‌های غیرنرمال کینوا حاصل از جوانه‌زنی بذور برداشت شده از مزرعه که در زمان کاشت تحت تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بودند.

Figure 5: Comparison of the percentage of abnormal quinoa seedlings resulting from the germination of seeds harvested from the field that were affected by different priming treatments at the time of planting.

نتیجه‌گیری کلی:

نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که تیمارهای مختلف پرایمینگ تأثیرات معناداری بر خصوصیات جوانه‌زنی کینوا داشته‌اند. به‌طور کلی، تیمار کلرید پتاسیم با دستیابی به ۶۱/۶۶ درصد، بالاترین درصد جوانه‌زنی را در میان سایر تیمارها به خود اختصاص داد. همچنین، تیمار اسید سالیسیلیک با افزایش سرعت جوانه‌زنی به ۲۱/۱۸ تعداد در روز، به‌عنوان یک محرک مؤثر در تسریع فرایند جوانه‌زنی شناسایی شد. در این بین، سایر تیمارها مانند نترات پتاسیم و سولفات روی نیز به‌طور معناداری درصد جوانه‌زنی را افزایش دادند، در حالی که تیمار هیومیک اسید تأثیر منفی بر این پارامتر به‌نمایش گذاشت. علاوه بر این، نتایج نشان داد که اگرچه درصد گیاهچه‌های نرمال و غیرنرمال تحت تأثیر تیمارها از نظر آماری معنادار نبود، شواهدی از بهبود کیفیت بذور و پتانسیل مثبت پرایمینگ بر عملکرد گیاهان در شرایط مختلف کشاورزی مشاهده شد. این یافته‌ها نه‌تنها بر اهمیت انتخاب استراتژیک تیمارهای پرایمینگ تأکید می‌کند، بلکه ضرورت پژوهش‌های بیشتر برای بررسی مکانیزم‌های مولکولی و فیزیولوژیکی دخیل در تأثیرات پرایمینگ بر جوانه‌زنی و کیفیت بذور را نیز نمایان می‌سازد.

قاسمی پیربلوطی، ا.، گل پرور، م.، ریاحی دهکردی، م. و نوید، ع. (۱۳۸۶). بررسی اثر تیمارهای مختلف در شکست خواب و تحریک جوانه‌زنی پنج گونه گیاه دارویی منطقه چهارمحال بختیاری. *مجله پژوهش. سازندگی*، ۷۴: ۱۹۲-۱۸۵.

مامدی، آ.، توکل افشاری، ر.، سپهوند، ن. و اوایی، م. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر دما بر جوانه‌زنی بذر گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت تنش شوری. *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۶(۴): ۵۸۹-۵۸۳.

مدرس ثانوی، ع. م.، دولت آبادیان، آ. و اعتمادی، ف. (۱۳۸۷). اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی بذر گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط تنش شوری. *مجله زیست شناسی ایران*، ۲۱(۴): ۷۰۲-۶۹۲.

Basra, A. (Ed.). (2024). *Handbook of seed science and technology*. CRC Press.

Bastidas, E. G., Roura, R., Rizzolo, D. A. D., Massanés, T., & Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 2016, vol. 6, num. 3.

Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., ... & Padulosi, S. (2016). Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in plant science*, 7, 850.

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W., Nonogaki, H., Bewley, J. D., Bradford, K. J., ... & Nonogaki, H. (2013). Dormancy and the control of germination. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*, 3rd Edition, 247-297.

Bose, B., & Mishra, T. (1992). Response of wheat seeds to pre-sowing seed treatment with Mg (NO₃)₂.

Bradford, K. J. (2017). Water relations in seed germination. In *Seed development and germination* (pp. 351-396). Routledge.

Chen, K., & Arora, R. (2011). Dynamics of the antioxidant system during seed osmopriming, post-priming germination, and seedling establishment in Spinach (*Spinacia oleracea*). *Plant Science*, 180(2), 212-220.

Damalas, C. A., Koutroubas, S. D., & Fotiadis, S. (2019). Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. *Agriculture*, 9(9), 201.

Fageria, N. K., & Moreira, A. (2011). The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Advances in agronomy*, 110, 251-331.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Dordrecht: Springer Netherlands.

Ghasemi, Z., Ghaderian, S. M., Rodríguez-Garrido, B., Prieto-Fernández, Á., & Kidd, P. S. (2018). Plant species-specificity and effects of bioinoculants and fertilization on plant performance for nickel phytomining. *Plant and Soil*, 425, 265-285.

Gholami, S., Dehaghi, M. A., Rezazadeh, A., & Naji, A. M. (2022). Seed germination and physiological responses of quinoa to selenium priming under drought stress. *Bragantia*, 81, e0722.

González, L. M. G., El Kayal, W., Morris, J. S., & Cooke, J. E. (2015). Diverse chitinases are invoked during the activity-dormancy transition in spruce. *Tree Genetics & Genomes*, 11, 1-21.

ISTA Association Testing Seed International. Ed .rd3 (Switzerland , Zurich .(ISTA)

Khan, N., Ali, S., Shahid, M. A., Mustafa, A., Sayyed, R. Z., & Curá, J. A. (2021). Insights into the interactions among roots, rhizosphere, and rhizobacteria for improving plant growth and tolerance to abiotic stresses: a review. *Cells*, 10(6), 1551.

Koocheki, A., Seyyedi, S. M., & Gharaei, S. (2016). Evaluation of the effects of saffron–cumin intercropping on growth, quality and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae*, 201, 190-198.

Murphy, A. (2015). Hormone crosstalk in plants. *Journal of Experimental Botany*, 66(16), 4853-4854.

Omidi, H., Soroushzadeh, A., Salehi, A., & Ghezeli, F. (2005). Evaluation of priming pretreatments on germination rape seed. *Agricultural Science and Technology*, 19(2), 1-10.

Padma, V., & Reddy, B. M. M. (2002). Standardization of laboratory vigour test for rice.

Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M. A. L. A. K. A., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant cell reports*, 34, 1281-1293.

Rojas, R., Tafolla-Arellano, J. C., & Martínez-Ávila, G. C. (2020). Euphorbia antisiphilitica Zucc: A source of phytochemicals with potential applications in industry. *Plants*, 10(1), 8.

Singh, K., Gupta, N., & Dhingra, M. (2018). Effect of temperature regimes, seed priming and priming duration on germination and seedling growth on American cotton. *Journal of Environmental Biology*, 39(1), 83-91.

Stevens, J., Senaratna, T., & Sivasithamparam, K. (2006). Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilisation. *Plant Growth Regulation*, 49, 77-83.

Zeng, J., Chen, A., Li, D., Yi, B., & Wu, W. (2013). Effects of salt stress on the growth, physiological responses, and glycoside contents of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(24), 5720-5726.

Title: Effects of Different Priming Treatments on Germination Characteristics of Quinoa Seeds Titicaca variety: Laboratory Study Post-Harvest

Parisa Ahmadi¹, Farzad Hossein Panahi^{*2} and Adel Siosemardeh³

1- Former Master's student in Seed Science and Technology, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

3- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

Corresponding author: f.hosseinpanahi@uok.ac.ir

Abstract:

Introduction: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) has recently gained attention as a strategic crop resistant to adverse environmental conditions such as drought and salinity, particularly in Iran. Given the challenges posed by climate change, water scarcity, and soil salinity, cultivating this plant can contribute to food security and diversify the country's cropping pattern. This study aims to investigate the effects of various priming treatments on the germination characteristics of quinoa seeds post-harvest and to identify the best priming methods for enhancing seed vigor and uniform emergence under Iranian cultivation conditions.

Materials and Methods: The experimental treatments included hormonal priming (gibberellic acid and salicylic acid), osmopriming (potassium chloride, potassium nitrate, polyethylene glycol 6000, humic acid, and zinc sulfate), and hydro-priming with distilled water. After harvesting the seeds from the field, germination tests were conducted under controlled conditions.

Results: Analysis of variance revealed that different priming treatments had a significant impact on germination percentage, germination rate, and mean germination time. Overall, the potassium chloride treatment exhibited the highest germination percentage (66.61%), while the humic acid treatment showed the lowest (38.66%). Additionally, the salicylic acid treatment recorded the highest germination rate, averaging 21.18 number per day. The results also indicated that potassium nitrate and zinc sulfate treatments led to a non-significant increase in the percentage of normal seedlings. While the growing conditions of the mother plant and environmental factors at harvest may influence seed quality, the findings of this study highlight the significant potential of priming treatments in improving quinoa seed germination.

Conclusion: Overall, this research can assist farmers, seed producers, and researchers in enhancing the performance and quality of quinoa crops and pave the way for future studies aimed at optimizing the cultivation of this plant under diverse environmental conditions.

Keywords: germination rate, percentage of normal seedlings, post-harvest, potassium nitrate Priming, quinoa