

تأثیر ملاتونین و سولفات روی بر صفات زراعی و عملکرد دانه ارقام کینوا در شرایط شوری

مهدی فتحی مقدم^۱ | حمیدرضا اصغری^۲ | مهدی برادران فیروزآبادی^۳ | احمد غلامی^۴

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

رایانامه: Mahdifathi60@gmail.com

۲. دانشیار زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: hamidasghari@gmail.com

۳. دانشیار زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: m.baradaran.f@gmail.com

۴. دانشیار زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: aghholami@yahoo.com

چکیده

به منظور بررسی تأثیر ملاتونین و سولفات روی بر صفات زراعی و عملکرد دانه ارقام کینوا در شرایط تنش شوری، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲ در کاشمر و بردسکن در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارها دو رقم کینوا شامل ردکارینا و تی تی کاکا، پرایمینگ بذر و محلولپاشی برگ در سه سطح صفر، ملاتونین و سولفات روی بود. نتایج نشان داد که در بردسکن که دارای آب‌وخاک شور است عملکرد پروتئین در رقم ردکارینا ۳۰/۰۲ درصد و در رقم تی تی کاکا ۳۵/۳۹ درصد کمتر از این صفت در همین ارقام در منطقه کاشمر بود. عملکرد دانه در رقم تی تی کاکا در منطقه بردسکن ۲۳/۲۵ درصد و در منطقه کاشمر ۲۵/۸۱ درصد بیشتر از عملکرد دانه در رقم ردکارینا در این دو منطقه بود. در کاشمر کاربرد توأم پرایمینگ و محلولپاشی ملاتونین موجب افزایش ۱۷/۸۵٪ عملکرد دانه و سولفات روی نیز افزایش ۱۸/۰۴٪ را نشان داد. این در حالی است که در بردسکن کاربرد توأم پرایمینگ و محلولپاشی ملاتونین و سولفات روی به ترتیب افزایش ۳۶/۹۱ و ۳۵/۷۰ درصدی عملکرد دانه را موجب شد. در محدوده پژوهش انجام‌شده کاشت رقم تی تی کاکا و کاربرد توأم پرایمینگ و محلولپاشی ملاتونین و سولفات روی جهت افزایش عملکرد دانه و عملکرد پروتئین پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: تنش اسمزی، تنش شوری، کلروفیل.

۱. مقدمه

شوری یکی تنش‌های مهم غیر زیستی است که اکثر گیاهان در سراسر جهان آن را تجربه می‌کنند. شوری موجب کاهش پتانسیل اسمزی خاک‌ها می‌شود و از این‌رو جذب و انتقال آب و مواد غذایی به گیاهان کاهش می‌یابد. شوری منجر به تنش اسمزی، کاهش فشار تورگر سلولی و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سطح برگ و عملکرد می‌گردد. در شرایط شوری به دلیل تجمع Na^+ و Cl^- و کاهش جذب عناصر اساسی مانند K^+ و Ca^{2+} موجب عدم تعادل یونی در گیاهان می‌شود (Isayenkov and Maathuis, 2019). کمبود آب القاشده در شرایط تنش شوری موجب بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جذب دی-اکسید کربن می‌شود. تجمع Na^+ در کلروپلاست موجب ایجاد اختلال در فتوسنتسم‌های I و II، پروتئین‌های ناقل الکترون،

کاهش سنتز رنگ‌دانه و افزایش تخریب کلروفیل می‌شود. بنابراین محدودیت روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای کارایی فتوسنتز را در شرایط تنش شوری کاهش می‌دهد (Pan et al., 2020). گیاهان جهت مقابله با تنش اسمزی، سمیت یونی و تنش اکسیداتیو ناشی از شوری، یکسری واکنش‌های دفاعی شامل ممانعت از تجمع بیش‌ازاندازه Na^+ در سیتوپلاسم، افزایش پرولین و تشدید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در خودشان تکامل داده‌اند (Yang and Guo, 2018).

امروزه سازگار کردن سیستم‌های کشاورزی به شوری، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های محققان در بخش کشاورزی شده است. تعداد زیادی گونه گیاهی مقاوم به شوری وجود دارند که در سراسر دنیا پراکنده شده‌اند. یکی از این گیاهان کینوا هست. کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) متعلق به خانواده *Amaranthaceae* است و در دسته هالوفیت‌ها قرار دارد. کینوا شوری را می‌تواند تحمل کند. محل کاشت کینوا در ایران بیشتر مناطق گرم جنوبی مانند خوزستان، بوشهر، ایرانشهر، جیرفت و مناطق مشابه می‌باشد. دانه این گیاه به عنوان مکمل غذایی مورد مصرف انسان و دام قرار می‌گیرد و علوفه کینوا نیز یکی از بهترین علوفه‌های مورد استفاده برای دام می‌باشد. عملکرد دانه کینوا بسته به نوع رقم و منطقه کاشت از ۴۵۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. گیاه کینوا تحمل نسبتاً مطلوبی به سطوح بالای شوری (حدود ۸ دسی زیمنس بر متر) در مرحله جوانه‌زنی دارد. این گیاه در شرایط آبیاری با آب شور با EC بین ۱۰ تا ۲۰ دسی زیمنس بر متر و خاک شور با EC مساوی آب دریا (بیشتر از ۴۰ دسی زیمنس بر متر) نیز توانایی زنده ماندن دارد (Hinojosa et al., 2018; Bouras et al., 2022). ولی باین وجود پژوهش‌ها بیانگر این است که تنش شوری درصد جوانه‌زنی کینوا را تا سطح معنی‌داری کاهش می‌دهد (Buedo et al., 2020). شوری آب آبیاری نیز بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا تأثیر منفی داشته است (Jahantighi et al., 2023). محققان کاهش عملکرد دانه کینوا در شرایط شوری را گزارش کرده‌اند (Salehi and Dehghani, 2023). در پژوهشی که به بررسی تأثیر شوری بر صفات فیزیولوژیکی ارقام کینوا پرداخته شد مشخص گردید که شوری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ، رنگدانه‌های فتوسنتزی شد و صفاتی از قبیل نشت الکترولیت‌ها، پرولین، مالون‌دی-آلدهید، فعالیت کاتالاز و گایاکول پراکسیداز در شرایط شوری افزایش نشان داد (Kaboodkhani et al., 2023).

تنش شوری می‌تواند باعث بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاهان شود. در این شرایط، کاربرد مواد ریزمغذی برای مقابله با تنش می‌تواند مفید باشد. در میان عناصر غذایی کم‌مصرف، عنصر روی در تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی بیش از سایر عناصر دخالت دارد (Hassan et al., 2021). در شرایط تنش شوری، در دسترس بودن عنصر روی در محیط ریشه و یا در محیط سلول می‌تواند اثرات منفی کلرید سدیم را با جلوگیری از جذب و یا انتقال سدیم و کلر کاهش دهد (Zafar et al., 2017). در خاک‌های شور، جذب روی به علت رقابت کاتیونی قوی‌تر سدیم در سطح ریشه کاهش می‌یابد (Zhao et al., 2017).

2021). روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه نقش کاتالیزور فعال‌کننده دارد و در متابولیسم قندها، اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و پروتئین‌ها نیز نقش دارد (Al-Zahrani *et al.*, 2021). عنصر روی باعث افزایش زیست‌توده تولیدی و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه شده و می‌تواند موجب بهبود فتوسنتز و افزایش کلروفیل برگ به‌خصوص در شرایط تنش شود (Zhang *et al.*, 2021). این عنصر از طریق کانال‌های عبور یون کلر و جلوگیری از جذب آن، موجب افزایش جذب یون نیتрат شده و با کمترین آسیب به غشای پلاسمایی، موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش شوری می‌شود (Shao *et al.*, 2023). عنصر روی در حفاظت از کلروپلاست و واکنش‌های فتوشیمیایی مرتبط با آن و نیز متعادل کردن رادیکال‌های آزاد و واکنش‌های مرتبط با آن از طریق سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش دارد (Nadeem *et al.*, 2020).

در سال‌های اخیر نقش ملاتونین در تحمل به تنش‌ها در گیاهان مورد توجه زیادی قرار گرفته است. ملاتونین (N-استیل-5-متوکسی تریپتامین) یک ترکیب شبه‌اکسین است که به‌طور گسترده‌ای در اکثر گیاهان شناسایی شده است (Debnath *et al.*, 2019). ملاتونین یک مولکول ایندول آمین با وزن مولکولی کم است که از تریپتوفان سنتز می‌گردد. این پیش ماده در چندین فرآیند بیوشیمیایی به سروتونین و در نهایت به ملاتونین تبدیل می‌شود (Zheng *et al.*, 2017). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که ملاتونین نه تنها می‌تواند به‌عنوان یک تحریک‌کننده رشد در شرایط بدون تنش به رشد ریشه، مورفولوژی برگ، حفظ کلروفیل، تنظیم گلدهی، فتوسنتز، پیری و رشد میوه کمک کند بلکه در فعال‌سازی سیستم‌های دفاعی گیاهان در برابر بسیاری از تنش‌ها نیز نقش دارد (Nabaei and Amooaghaie, 2019). ملاتونین گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شامل رادیکال آنیون سوپر اکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، رادیکال هیدروکسید ($OH\cdot$) را جمع‌آوری و پاک‌روبی می‌کند (Arnao and Hernandez-Ruiz, 2019). گزارش شده است که کاربرد ملاتونین خارجی در گیاهان از طریق بالا بردن سنتز پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب تحمل به شوری در این گیاهان شده است (Zhan *et al.*, 2019, Zhao *et al.*, 2018). با توجه به افزایش روزافزون زمین‌های شور و تأثیر تنش شوری بر عملکرد گیاهان، در این مطالعه اثر سولفات روی و ملاتونین به‌صورت پرایمینگ بذری و محلول‌پاشی روی برگ گیاهان باهدف کاهش تأثیر تنش شوری بر دو رقم کینوا مورد بررسی قرار گرفت.

۲. پیشینه پژوهش:

تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۲ در دو منطقه کاشمر (غیر شور) و بردسکن (شور) در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاصله مکانی دو منطقه از یکدیگر ۸۵ کیلومتر بود. شرایط آب و هوایی دو منطقه در فصد رشد در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- شرایط آب و هوایی دو منطقه مورد آزمایش در سال ۱۴۰۲

بارندگی (میلی متر)	رطوبت نسبی (درصد)		میانگین دما (درجه سانتی-گراد)		کاشمر	بردسکن
	کاشمر	بردسکن	کاشمر	بردسکن		
کاشمر	1.3	35	42	24.9	24.4	ماه
بردسکن	0.9	29	32	30.9	28.6	خرداد
کاشمر	0	13	18	32.8	30.4	تیر
بردسکن	0	11	17	31.7	29.1	مرداد
کاشمر	0.2	19	22	29.1	26.3	شهریور
بردسکن	0.1	23	27	28.4	18.9	مهر
کاشمر						آبان

تیمارهای آزمایش شامل دو رقم کینوا (ردکارینا و تی تی کاکا)، پرایمینگ بذر در سه سطح صفر (شاهد)، پرایمینگ با ملاتونین (۱۰۰ میکرومولار) و پرایمینگ با سولفات روی (۴۰ میلی مولار)، محلول پاشی برگری در سه سطح شاهد (آب مقطر)، محلول پاشی با ملاتونین (۰/۲ میلی مولار) و محلول پاشی با سولفات روی (۰/۵ درصد) بود. پرایمینگ بذرها از طریق خیساندن (Soaking) به مدت ۶ ساعت در محلول‌های مورد نظر انجام شد. خیساندن در دمای اتاق انجام شد. جهت ضدعفونی کردن بذرها از هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۶۰ ثانیه استفاده شد و سپس بذرها سه بار با آب مقطر شستشو شدند

رقم ردکارینا بومی کشور هلند است. این رقم روز خنثی و در دسته متوسط رس‌ها (۱۱۰ تا ۱۳۰ روز) قرار دارد و مقاوم به شوری می‌باشد. رقم تی تی کاکا بومی کشور دانمارک است. روز خنثی و زودرس (۸۵ تا ۱۰۰ روز) است و مقاوم به شوری است. جهت انجام پیش‌تیمار بذور، ۸۰ گرم بذر کینوا در ظروف جداگانه به مدت هشت ساعت در غلظت‌های اشاره‌شده از ملاتونین و سولفات روی با رعایت اصول هوادهی (پمپ آکوارיום) خیسانده شدند. عملیات کاشت در هر دو منطقه در تاریخ

۱۵ مرداد و با استفاده از دست در عمق حدود سه سانتی متری انجام شد. در هر کرت آزمایشی چهار خط کاشت به طول ۸ متر با فواصل ردیف ۵۰ سانتی متر و روی ردیف ۵ سانتی متر در نظر گرفته شد.

بذور از بانک بذر ایستگاه تحقیقات کشاورزی شرق کشور تهیه شد. تیمار محلول پاشی صبح زود و همزمان با آغاز گلدهی و در شرایط مساعد محیطی (صبح زود و هوای آرام و بدون ابر) انجام شد. اندازه گیری صفات دو هفته پس از محلول پاشی انجام شد. ویژگی های خاک و آب دو مزرعه و داده های هواشناسی منطقه های مورد آزمایش، به ترتیب در جداول ۲ و ۳ گزارش شده است.

جدول ۲: ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مزرعه های مورد آزمایش

شهر	واحد	فاکتور مورد بررسی
بردسکن	کاشمر	
0.21	0.45	% کربن آلی
0.010	0.026	% نیتروژن کل
3.4	12.9	فسفر (P) mg/kg
378	392	پتاسیم (K) mg/kg
10370	857	هدایت الکتریکی (EC) $\mu\text{S/cm}$
8.09	7.89	پی اچ
46	45	% شن
18	19	% رس
36	36	% سیلت

جدول ۳: ویژگی های آب مورد استفاده در مزرعه های مورد آزمایش

محدوده مطلوب	بردسکن	کاشمر	فاکتور مورد بررسی
6.5-7.5	8.13	7.27	پی اچ
0-2000	16880	538	هدایت الکتریکی ($\mu\text{mhos/cm}$)

صفات اندازه گیری شده: درصد سبز شدن نهایی مزرعه (FEP) طبق رابطه ۱ اندازه گیری شد (ISTA, 2009).

$$\text{FEP} = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه n: تعداد بذر سبز شده و N: تعداد بذر کشت شده بود. در مزرعه، بلافاصله پس از مشاهده ظهور اولین گیاهچه‌ها، شمارش گیاهچه‌های ظاهر شده به صورت روزانه در هر کرت آغاز و تا زمانی که تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده ثابت گردیدند، شمارش ادامه داشت.

دو هفته پس از اعمال محلول‌پاشی اقدام به اندازه‌گیری وزن خشک برگ، ساقه و وزن خشک کل گردید. تعداد ۱۰ بوته به-طور تصادفی از هر کرت با حذف حاشیه برداشت شد. نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه به ساقه و برگ تفکیک و به‌طور مجزا در پاکت قرار داده شدند. نمونه‌ها توسط دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شدند. مقادیر به دست آمده برحسب گرم در مترمربع محاسبه گردیدند. ارتفاع ساقه و طول خوشه با استفاده از متر اندازه‌گیری شد. قطر یقه با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد.

دو هفته پس از محلول‌پاشی، میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b) با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای این کار، ۰/۵ گرم برگ در ۵ میلی‌لیتر دی‌متیل سولفوکسید، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند (Hiscox and Israelstom, 1979). میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت گردید.

شاخص علوفه‌ای بودن (درصد ماده خشک قابل هضم (DDM)) طبق روش آدی و همکاران (Oddy, et al., 1983) اندازه‌گیری شد. طبق این روش در ابتدا میزان الیاف شوینده اسیدی علوفه (ADF) اندازه‌گیری می‌شود. یک گرم علوفه خشک پودر شده (W1) در ارلن مایر ریخته شد. ۱۰۰ میلی لیتر محلول اسیدی به نمونه اضافه شده و در دستگاه هضم قرار گرفت. بعد از یک ساعت نمونه‌ها از دستگاه هضم خارج شده و نمونه‌ها به مدت ۲ تا ۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن شدند (W2). محتویات خشک شده در کوره با دمای ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه قرار گرفته و به مدت ۲ تا ۳ ساعت سوزانده شدند تا فقط خاکستر (مواد معدنی و سیلیس) باقی ماند در نهایت این نمونه‌ها وزن شدند (W3). برای حاسبه میزان الیاف شوینده اسیدی از رابطه (۲) استفاده شد. بر اساس رابطه (۳) شاخص علوفه‌ای (DDM) محاسبه شد.

$$\%ADF = ((W2 - W3) / W1) \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$DDM = 88.9 - (0.779 * \%ADF) \quad (\text{رابطه ۳})$$

جهت تعیین میزان پروتئین دانه از دستگاه کجلدال (مدل Behr-D-40599 Dusseldorf) و روش فولر و همکاران (Fowler et al, 1989) استفاده شد. تعداد شاخه‌های فرعی در ده بوته شمارش و ثبت شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، تعداد بوته-

های موجود در یک مترمربع در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (خشک شدن گیاه و زرد شدن خوشه ها و رطوبت بذرها بین ۱۵ تا ۲۰ درصد) برداشت شدند.

در نهایت عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش گردید. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای بررسی همگنی خطاهای آزمایشی هر صفت در دو منطقه مورد مطالعه ابتدا آزمون بارتلت انجام شد. به دلیل معنی‌دار شدن آزمون بارتلت برای شش صفت شامل وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه، قطر یقه، شاخص علوفه‌ای، کلروفیل a و کلروفیل b داده‌های هر منطقه برای این صفات جداگانه آنالیز گردید و به دلیل معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت برای صفات دیگر شامل درصد سبز شدن اولیه مزرعه، طول خوشه، تعداد شاخه‌های فرعی، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه آنالیز مرکب انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش:

تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جدول‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است. در جدول ۴، تجزیه واریانس صفاتی از منطقه غیر شور که آزمون بارتلت برای آن‌ها معنی‌دار شده بود، آورده شده است. اثر پرایمینگ، محلول‌پاشی، رقم، برهمکنش پرایمینگ و محلول‌پاشی، پرایمینگ و رقم، محلول‌پاشی و رقم و برهمکنش سه‌جانبه پرایمینگ، محلول‌پاشی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه، شاخص علوفه‌ای، کلروفیل a و کلروفیل b معنی‌دار بود. در صفت قطر یقه، اثر پرایمینگ، محلول‌پاشی، رقم، برهمکنش دوجانبه پرایمینگ و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش پرایمینگ و رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴: تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات کینوا تحت تأثیر رقم، پرایمینگ و محلول‌پاشی در منطقه غیر شور (کاشمر)

S.O.V	df	وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع ساقه	قطر یقه	شاخص علوفه ای	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	2	0.33	153.24	5.35	0.0006	36.48	1.48
(A) پرایمینگ	2	292.81**	13362.24**	133.12**	0.006**	2649.65**	108.00**
(B) محلول‌پاشی	2	177.88**	5748.68**	115.24**	0.01**	1949.07**	79.44**
(c) رقم	1	67.87**	1908.16**	26.74**	0.002**	398.84**	16.25**
A*B	4	31.86**	471.21**	31.96**	0.04**	288.46**	11.75**
A*C	2	11.26**	107.16**	3.90*	0.007**	16.99**	0.69**

B*C	2	2.10	126.16**	2.01	0.007**	182.69**	7.44**
A*B*C	4	3.76*	55.91**	1.68	0.013**	65.79**	2.68**
error	34	1.01	3.14	1.17	0.00008	0.25	0.01
C.v (%)		7.82	1.62	8.58	2.04	1.11	1.18

** و *** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و یک درصد هست.

در جدول ۵، تجزیه واریانس صفاتی از منطقه شور که آزمون بارتلت برای آن‌ها معنی دار شده بود، آورده شده است. وزن خشک اندام هوایی از پرایمینگ، محلول پاشی و برهمکنش‌های دوجانبه در سطح احتمال یک درصد و رقم در سطح احتمال پنج درصد تأثیر پذیرفت. ارتفاع ساقه از پرایمینگ، محلول پاشی و برهمکنش دوجانبه پرایمینگ و محلول پاشی و برهمکنش پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد و از برهمکنش سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال پنج درصد تأثیر پذیرفت. قطر یقه از پرایمینگ، محلول پاشی، رقم و برهمکنش پرایمینگ و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. شاخص علوفه‌ای تحت تأثیر برهمکنش دوجانبه محلول پاشی و رقم در سطح احتمال پنج درصد و سایر اثرات عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. کلروفیل a و b نیز از پرایمینگ، محلول پاشی و برهمکنش این دو عامل در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۵).

جدول ۵: تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات کینوا تحت تأثیر رقم، پرایمینگ و محلول پاشی در منطقه شور (بردسکن)

S.O.V	df	وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع ساقه	قطر یقه	شاخص علوفه ای	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	2	0.36	593.90	20.72	0.0021	7.03	3.83
پرایمینگ (A)	2	113.34**	3471.24**	81.50**	0.14**	999.37**	47.64**
محلول پاشی (B)	2	97.74**	1419.46**	41.16**	0.21**	644.13**	13.34**
رقم (c)	1	8.54**	62.29	11.57**	0.06**	14.45	1.31
A*B	4	89.21**	833.46**	14.16**	0.27**	599.79**	9.39**
A*C	2	3.70**	185.12**	1.24	0.07**	6.79	0.17
B*C	2	1.05	79.46	0.57	0.01*	14.51	0.29
A*B*C	4	0.480	110.29*	1.57*	0.03**	12.29	1.02
Error	34	0.39	31.41	0.58	0.004	8.61	0.58
C.v (%)		5.80	7.89	8.55	20.72	10.18	12.18

** و *** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و یک درصد هست.

در جدول ۶، تجزیه واریانس صفت درصد سبز شدن مزرعه که آزمون بارتلت برای آن معنی دار شده بود، آورده شده است. این صفت در مراحل اولیه کاشت اندازه‌گیری شده است و لذا هنوز تیمار محلول پاشی اعمال نشده بود؛ به همین دلیل، تجزیه

واریانس مرکب این صفت در جدول جداگانه آورده شده است. صفت درصد سبز شدن مزرعه تحت تأثیر پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. طول خوشه نیز از مکان، پرایمینگ، محلول پاشی، رقم و تمام برهم کنش ها به جز برهم کنش سه جانبه مکان، پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای آزمایش قرار نگرفت. عملکرد پروتئین نیز از مکان، محلول پاشی، برهم کنش پرایمینگ و محلول پاشی، محلول پاشی و رقم و برهم کنش سه جانبه پرایمینگ، محلول پاشی و رقم در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. پرایمینگ و برهم کنش سه جانبه مکان، محلول پاشی و رقم و برهم کنش چهارجانبه عامل ها نیز در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد پروتئین تأثیرگذار بودند. عملکرد دانه تحت تأثیر مکان، محلول پاشی و برهم کنش های دوجانبه پرایمینگ و محلول پاشی، محلول پاشی و رقم و برهم کنش سه جانبه پرایمینگ، محلول پاشی و رقم در سطح احتمال یک درصد و برهم کنش چهارجانبه در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۷).

جدول ۷: تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات کینوا تحت تأثیر مکان، رقم، پرایمینگ و محلول پاشی (تجزیه مرکب)

S.O.V	df	طول خوشه	تعداد خوشه	میزان پروتئین	عملکرد دانه
مکان (P)	1	352.08**	0.03	5425636620.0**	8897000.03**
R(P)	4	23.79	0.09	262612866.0	580455.98
پرایمینگ (A)	2	1603.06**	0.17	142386888.0*	325284.70
محلول پاشی (B)	2	891.45**	0.06	517447814.0**	6776806.03**
رقم (c)	1	114.08**	0.14	115354805.0	134408.33
A*B	4	71.13**	0.35	200978165.0**	424205.41**
A*C	2	33.58**	0.45	39760886.0	79948.77
B*C	2	9.52**	0.009	376933803.0**	727325.44**
A*B*C	4	22.98**	0.85	180272045.0**	451311.51**
P*A	2	91.58**	0.06	49105090.0	105261.14
P*B	2	25.69**	0.009	13797466.0	31478.25
P*C	1	24.08**	0.59	601742.0	181.48
P*A*B	4	101.31**	0.16	23473907.0	42940.82
P*A*C	2	0.25	0.12	126824531.0	297905.59
P*B*C	2	60.25**	0.06	146354071.0*	289895.25
P*A*B*C	4	23.04**	0.05	121742567.0*	306834.74*
Error	68	0.72	0.25	40924626.0	105815.30
C.v (%)		4.02	7.92	16.34	16.54

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و یک درصد هست.

۱.۳. تجزیه ساده

وزن خشک اندام هوایی در ارقام ردکارینا و تی تی کاکا در شرایط شوری در شرایط عدم پرایمینگ و عدم محلول پاشی (شاهد) نسبت به شرایط غیر شور به ترتیب ۴۷/۶۸ و ۴۶/۶۹ درصد کاهش نشان داد. در منطقه غیر شور، بیشترین میزان وزن خشک

اندام هوایی در هر دو رقم مربوط به کاربرد ملاتونین به صورت توأم پرایمینگ و محلول پاشی بود. در منطقه شور، بالاترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به رقم ردکارینا بود زمانی که ملاتونینی را به صورت توأم پرایمینگ و محلول پاشی دریافت کرده بود که افزایش $73/04$ درصدی این صفت را نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول پاشی در همین رقم نشان داد. در رقم تی تی کاکا نیز بالاترین میزان این صفت زمانی به دست آمد که ملاتونین به صورت توأم پرایمینگ و محلول پاشی استفاده شده بود و افزایش $48/64$ درصدی را نشان داد. سایر ترکیبات تیماری نیز منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی در هر دو رقم در این منطقه شدند (جدول ۹).

جدول ۸: مقایسه میانگین صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه، شاخص علوفه‌ای، کلروفیل a و b تحت تأثیر برهمکنش سه‌جانبه پرایمینگ، محلول‌پاشی و رقم در منطقه غیر شور

کلروفیل b (mg/g Fw leaf)	کلروفیل a (mg/g Fw leaf)	شاخص علوفه‌ای	ارتفاع ساقه (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	رقم	محلول‌پاشی برگی	پرایمینگ
8.28±0.20	43.56±1.00	41.27±0.60	110.66±1.52	40.56±2.42	ردکارینا	بدون محلول‌پاشی	بدون پرایمینگ
9.72±0.40	45.58±2.00	43.24±0.42	111.33±1.51	42.27±2.38	تی تی کاکا		
10.17±0.30	52.90±1.51	44.02±0.74	117.33±2.08	52.27±2.77	ردکارینا	ملاتونین (0.2 mM)	
12.39±0.30	48.91±1.51	45.26±0.57	118.66±1.51	50.39±3.05	تی تی کاکا		
9.28±0.40	48.58±2.00	46.64±0.38	115.66±2.05	47.33±2.94	ردکارینا	سولفات روی (0.5%)	
9.97±0.20	48.58±1.00	42.79±1.24	116.33±2.51	46.22±2.34	تی تی کاکا		
9.10±0.20	43.57±1.00	43.74±0.18	117.33±2.03	52.42±2.64	ردکارینا	بدون محلول‌پاشی	ملاتونین (100 µM)
9.89±0.32	45.38±1.60	47.01±0.56	117.66±3.05	63.92±2.24	تی تی کاکا		
10.14±0.20	47.61±1.00	45.63±0.82	126.00±0.57	76.43±3.18	ردکارینا	ملاتونین (0.2 mM)	
10.41±0.30	48.98±1.50	50.58±0.14	125.66±2.51	86.04±3.07	تی تی کاکا		
9.12±0.12	47.82±0.60	44.11±2.07	117.00±1.00	43.18±3.04	ردکارینا	سولفات روی (0.5%)	
9.60±0.31	45.22±1.54	46.91±0.81	116.33±2.51	48.65±2.82	تی تی کاکا		
9.05±0.20	43.54±1.00	43.95±1.74	118.66±2.55	44.10±3.28	ردکارینا	بدون محلول‌پاشی	سولفات روی (40 mM)
9.58±0.30	45.47±1.52	44.45±1.30	114.66±2.04	46.55±2.71	تی تی کاکا		
9.12±0.42	46.84±2.08	46.90±0.63	115.33±1.52	48.57±2.70	ردکارینا	ملاتونین (0.2 mM)	
9.61±0.31	48.22±1.54	47.71±0.81	114.00±2.58	50.40±2.96	تی تی کاکا		
9.99±0.31	47.24±1.55	47.29±0.78	117.00±2.00	47.75±2.41	ردکارینا	سولفات روی (0.5%)	
9.65±0.40	48.54±1.00	51.60±0.91	115.00±2.29	45.99±1.91	تی تی کاکا		
0.165	0.829	1.484	2.112	3.806	LSD 5%		

All values represent mean±SD.

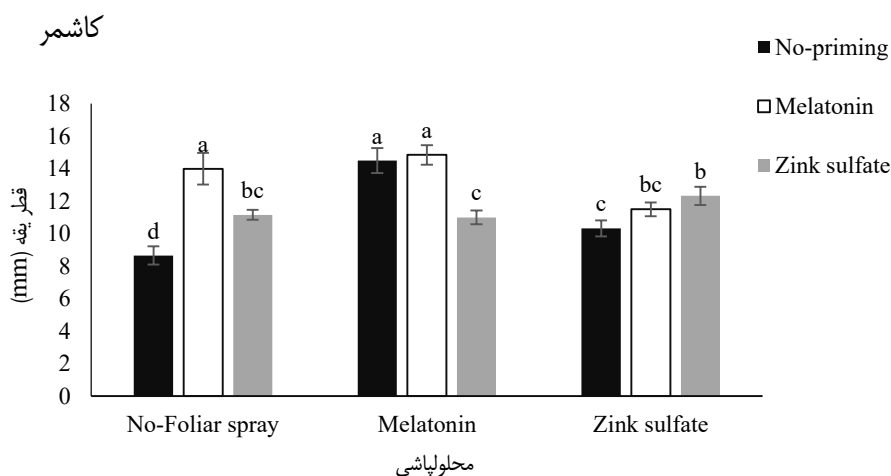
جدول ۹: مقایسه میانگین صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه، قطر یقه و شاخص علوفه‌ای تحت تأثیر برهمکنش سه‌جانبه پرایمینگ، محلول‌پاشی و رقم در منطقه شور

پرایمینگ	محلولپاشی	رقم	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	ارتفاع ساقه (cm)	قطر یقه (mm)	شاخص علوفه ای
عدم پرایمینگ	بدون محلولپاشی	ردکارینا	40.56±2.42	65.66±1.52	6.33±0.57	30.25±0.03
		تی تی کاکا	42.27±2.38	62.33±2.08	6.33±0.57	32.47±0.07
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	52.27±2.77	66.33±2.51	11.00±1.00	44.14±0.01
		تی تی کاکا	50.39±3.05	64.66±2.51	10.00±1.00	45.25±0.02
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	47.33±2.94	64.00±2.00	6.66±0.57	41.34±0.02
		تی تی کاکا	46.22±2.34	63.00±2.00	7.33±1.52	42.54±0.17
(100 μM) ملاتونین	بدون محلولپاشی	ردکارینا	52.42±2.64	71.66±1.52	10.00±1.00	37.41±0.06
		تی تی کاکا	63.92±2.24	73.00±2.00	10.00±1.73	35.89±0.02
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	76.43±3.18	74.00±2.00	15.00±2.00	48.51±0.07
		تی تی کاکا	86.04±3.07	76.66±3.14	13.00±2.64	45.68±0.06
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	43.18±3.04	65.00±2.93	9.33±1.51	39.43±0.13
		تی تی کاکا	48.65±2.82	67.66±3.14	8.33±1.52	36.89±0.01
(40 mM) سولفات روی	بدون محلولپاشی	ردکارینا	44.10±3.28	69.33±3.57	7.33±1.52	38.44±0.01
		تی تی کاکا	46.55±2.71	67.33±3.45	7.00±1.00	36.71±0.02
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	48.57±2.70	68.00±3.57	7.00±1.00	38.25±0.01
		تی تی کاکا	50.40±2.96	64.66±3.23	7.00±1.00	32.24±0.08
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	47.75±2.41	66.33±3.57	9.00±1.10	38.77±0.07
		تی تی کاکا	45.99±1.91	68.66±4.54	9.33±1.15	36.36±0.09
LSD 5%			3.806	4.300	1.264	0.104

All values represent mean±SD.

بررسی مقایسات میانگین حاکی از آن بود که ارتفاع ساقه گیاهان نیز تحت تأثیر شوری کاهش معنی‌دار پیدا کرد. در منطقه غیر شور تمامی ترکیبات تیماری منجر به افزایش ارتفاع ساقه در هر دو رقم شد و بالاترین ارتفاع در هر دو رقم ردکارینا و تی‌تی‌کاکا با کاربرد ملاتونین به‌صورت توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۸). در منطقه شور، کاربرد محلول‌پاشی به‌تنهایی تأثیری بر ارتفاع ساقه نداشت. استفاده از پرایمینگ به‌تنهایی و همچنین کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی منجر به افزایش ارتفاع ساقه در هر دو رقم شد (جدول ۹). بررسی برهمکنش پرایمینگ و محلول‌پاشی در منطقه غیر شور نشان داد که تمامی ترکیبات تیماری منجر به افزایش قطر یقه شدند (شکل ۱).

مقایسه میانگین قطر یقه تحت تأثیر برهمکنش پرایمینگ و رقم در منطقه غیر شور بیانگر این بود که پرایمینگ با هر دو ماده ملاتونین و سولفات روی در رقم تی‌تی‌کاکا موجب افزایش قطر یقه شد و در رقم ردکارینا تنها کاربرد ملاتونین این صفت را افزایش معنی‌دار داد. در منطقه شور، کاربرد ملاتونین در هر دو صورت پرایمینگ و محلول‌پاشی موجب افزایش قطر یقه شد و این در حالی بود که سولفات روی تنها زمانی که به‌صورت توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی استفاده شد توانست قطر یقه کینوا را در منطقه شور افزایش دهد (جدول ۹).



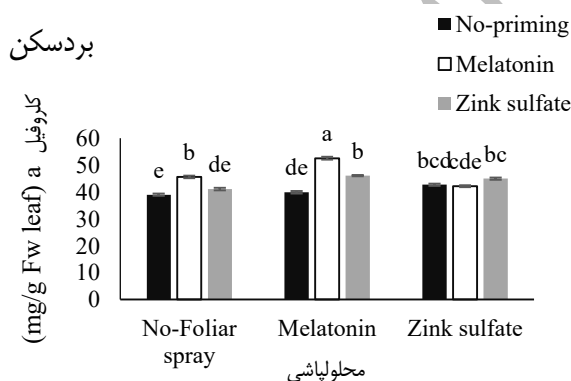
شکل ۱: مقایسه میانگین قطر یقه تحت تأثیر برهمکنش پرایمینگ و محلول‌پاشی در منطقه غیر شور

Error bar represents the standard error of 3 replications (n=3).

شاخص علوفه‌ای در گیاهان رشد یافته در منطقه شور در رقم ردکارینا ۱۱ درصد و در رقم تی‌تی‌کاکا ۱۰/۷۷ درصد کمتر بود. در هر دو منطقه، شاخص علوفه‌ای رقم تی‌تی‌کاکا بالاتر از رقم ردکارینا بود به طوری که در منطقه غیرشور این شاخص در رقم تی‌تی‌کاکا

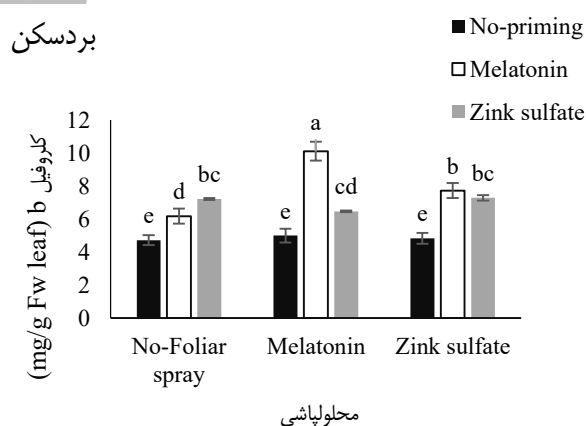
۱/۹۷ درصد و در منطقه شور این شاخص در این رقم ۲/۲۲ درصد بیشتر از رقم ردکارینا بود. در منطقه غیر شور بالاترین میزان این صفت در رقم تی تی کاکا و کاربرد توأم سولفات روی به صورت پرایمینگ و محلول پاشی (معادل ۵۱/۶۰ درصد) و همچنین کاربرد توأم ملاتونین به صورت پرایمینگ و محلول پاشی به دست آمد (۵۰/۵۸ درصد). در رقم ردکارینا نیز کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی (۴۷/۲۹ درصد) و پرایمینگ سولفات روی به همراه محلول پاشی ملاتونین (۴۶/۹۰ درصد) بالاترین شاخص علوفه ای را نشان داد (جدول ۸). در منطقه شور، اگرچه تمام ترکیبات تیماری منجر به افزایش معنی دار شاخص علوفه ای در هر دو رقم شدند اما بیشترین شاخص علوفه ای مربوط به کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی ملاتونین بود که در رقم ردکارینا معادل ۴۸/۵۱ درصد و در رقم تی تی کاکا معادل ۴۵/۶۸ درصد بود (جدول ۹). بررسی مقایسه میانگین کلروفیل a و b در منطقه غیر شور نشان داد که میزان این رنگدانه ها در رقم تی تی کاکا بیشتر از رقم ردکارینا بود. محلول پاشی ملاتونین و سولفات روی در دو رقم موجب افزایش معنی دار میزان کلروفیل a و b شد و این در حالی بود که کاربرد این دو ماده به صورت پرایمینگ تأثیری بر این صفت نشان نداد و تنها زمانی که پرایمینگ به همراه محلول پاشی به کار رفت، بهبود در میزان این صفت به ثبت رسید (جدول ۸).

در مورد منطقه شور بررسی ها نشان داد که میزان کلروفیل های a و b با کاربرد ملاتونین و سولفات روی در حالت محلول پاشی و ترکیب توأم پیش تیمار و محلول پاشی تا سطح معنی داری افزایش نشان دادند (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲: مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر برهمکنش پرایمینگ و محلول پاشی در منطقه شور

Error bar represents the standard error of 3 replications (n=3).

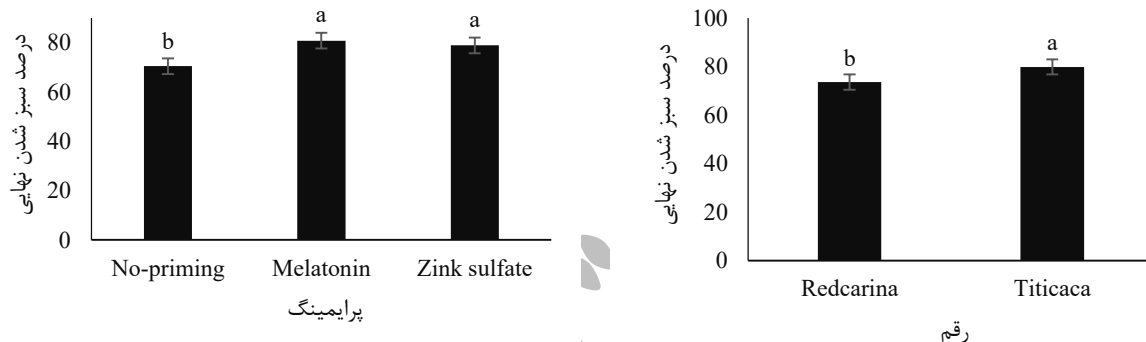


شکل ۳: مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر برهمکنش پرایمینگ و محلول پاشی در منطقه شور

Error bar represents the standard error of 3 replications (n=3).

۲,۳. تجزیه مرکب

تجزیه مرکب درصد سبز شدن مزرعه نشان داد که پرایمینگ با دو ماده ملاتونین و سولفات روی به ترتیب موجب افزایش ۱۰/۳۳ و ۸/۴۱ درصدی این صفت نسبت به عدم پرایمینگ شد (شکل ۴). در بین دو رقم مورد آزمایش، درصد سبز شدن مزرعه در رقم تی-تی کاکا ۶/۲۴ درصد بیشتر از رقم ردکارینا بود (شکل ۵).



شکل ۴: مقایسه میانگین درصد سبز شدن نهایی مزرعه تحت تأثیر پرایمینگ

Error bar represents the standard error of 3 replications (n=3).

شکل ۵: مقایسه میانگین درصد سبز شدن نهایی مزرعه تحت تأثیر رقم

Error bar represents the standard error of 3 replications (n=3).

نتیجه بررسی مقایسات میانگین نشان داد که شوری موجب کاهش معنی دار طول خوشه شد. در هر دو منطقه، طول خوشه در رقم تی-تی کاکا بیشتر از رقم ردکارینا بود. کاربرد ملاتونین و سولفات روی به صورت محلول پاشی و ترکیب توأم پیش تیمار و محلول پاشی توانست در هر دو منطقه و در هر دو رقم این صفت را افزایش دهد (جدول ۱۰). عملکرد پروتئین دانه کینوا تحت تأثیر شوری کاهش معنی دار نشان داد. در بین دو رقم مورد آزمایش رقم تی-تی کاکا، عملکرد پروتئین بیشتری را نسبت به رقم ردکارینا در هر دو منطقه دارا بود. در هر دو منطقه کاربرد توأم ملاتونین به صورت پرایمینگ و محلول پاشی و همچنین کاربرد سولفات روی به صورت توأم پرایمینگ و محلول پاشی بالاترین میزان عملکرد پروتئین را به خود اختصاص داد (جدول ۱۰).

بررسی تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که در منطقه شور، ارقام ردکارینا و تی-تی کاکا به ترتیب کاهش ۲۵/۵۵ و ۲۷/۰۷ درصدی عملکرد دانه را نشان دادند. رقم تی-تی کاکا در هر دو منطقه، عملکرد دانه بیشتری داشت. کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی ملاتونین و همچنین کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی در هر دو منطقه، بالاترین عملکرد دانه را دارا بود. در منطقه غیر شور، محلول پاشی ملاتونین افزایش ۳۱/۹۵ درصدی را در رقم ردکارینا موجب شد ولی در رقم تی-تی کاکا این افزایش

معنی‌دار نبود. اعمال محلول‌پاشی سولفات روی در رقم ردکارینا در منطقه غیر شور، افزایش ۴۱/۰۷ درصدی عملکرد دانه را نشان داد.

کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی ملاتونین در منطقه غیر شور در رقم ردکارینا منجر به افزایش ۳۳/۸۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی در همین رقم گردید. در منطقه شور، کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی سولفات روی در رقم ردکارینا موجب افزایش ۳۱/۵۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی در همین رقم شد. در مورد رقم تی‌تی کاکا استفاده از پرایمینگ و محلول‌پاشی سولفات روی منجر به افزایش ۱۸/۰۴ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی در همین رقم شد. محلول‌پاشی ملاتونین در رقم ردکارینا در منطقه شور، افزایش ۵۱/۵۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی همین رقم در این منطقه را نشان داد. محلول‌پاشی ملاتونین در رقم تی‌تی کاکا در منطقه شور، افزایش ۳۲/۸۶ درصدی عملکرد دانه را نسبت به شرایط عدم کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی در همین رقم نشان داد.

در منطقه شور محلول‌پاشی سولفات روی در رقم ردکارینا افزایش ۵۱/۲۴ درصدی عملکرد را موجب شد. کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی ملاتونین در رقم ردکارینا در منطقه شور موجب افزایش ۴۸/۷۵ درصدی عملکرد دانه شد. زمانی که ملاتونین به‌صورت توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی در رقم تی‌تی کاکا استفاده شد موجب افزایش ۳۶/۹۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی در همین رقم شد. کاربرد توأم سولفات روی به‌صورت توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی در رقم ردکارینا در منطقه شور موجب افزایش ۴۲/۷۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم پرایمینگ و عدم محلول‌پاشی این رقم در همین منطقه (منطقه شور) شد. استفاده از پرایمینگ و محلول‌پاشی سولفات روی در رقم تی‌تی کاکا افزایش ۲۹/۶۱ درصدی عملکرد دانه را نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی در این رقم را نشان داد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: اثر متقابل رقم، پرایمینگ، محلول پاشی بر طول خوشه، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه. داده‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار هستند.

پرایمینگ	محلولپاشی	رقم	طول خوشه		عملکرد پروتئین		عملکرد دانه	
			(cm)		(kg/ha)		(kg/ha)	
			کاشمر	بردسکن	کاشمر	بردسکن	کاشمر	بردسکن
بدون پرایمینگ	بدون محلولپاشی	ردکارینا	22.00±2.00	15.00±1.00	35408.44±7698	24778.00±3096	1791.00±257.31	1333.33±145.20
		تی تی کاکا	25.66±1.52	16.00±1.00	48020.66±11825	31023.23±3110	2253.33±276.09	1643.33±93.97
	0.2 mM) ملاتونین	ردکارینا	30.33±2.51	19.00±1.00	48723.33±6075	38500.06±7778	2363.33±159.38	2020.00±134.54
		تی تی کاکا	27.00±2.00	21.33±2.08	45759.83±1335	23911.66±6137	2333.33±133.11	2183.33±160.91
	0.5%) سولفات روی	ردکارینا	29.66±1.52	21.00±1.00	52094.13±7679	39045.06±7773	2526.66±134.18	2016.66±131.32
		تی تی کاکا	27.00±1.73	18.00±1.00	55462.86±5934	33906.00±7415	2645.66±92.65	2030.00±120.33
100 μM) ملاتونین	بدون محلولپاشی	ردکارینا	22.33±1.52	15.00±1.00	35781.83±4894	26046.03±6098	1860.00±185.78	1553.33±119.23
		تی تی کاکا	25.66±1.52	16.00±1.00	42296.43±6803	22763.86±3057	2093.33±196.56	1713.33±92.18
	0.2 mM) ملاتونین	ردکارینا	33.33±2.08	16.66±1.52	48985.66±6472	30183.23±1618	2398.00±187.45	1983.33±63.58
		تی تی کاکا	31.00±2.00	15.66±1.52	39907.46±7854	45067.40±1641	2655.66±149.24	2250.00±145.35
	0.5%) سولفات روی	ردکارینا	26.00±1.00	16.00±1.00	42015.49±2535	32112.46±3256	1996.33±118.80	1706.66±124.52
		تی تی کاکا	28.66±2.51	18.33±1.15	47067.03±8826	30951.73±8324	2206.66±135.10	1694.00±183.23
سولفات روی (40 mM)	بدون محلولپاشی	ردکارینا	27.66±1.52	15.00±1.00	41458.77±3359	30583.23±3809	2171.00±66.74	1700.00±114.53
		تی تی کاکا	25.00±1.00	15.66±1.00	54653.00±4934	34293.20±7022	2200.00±114.20	1800.00±174.42
	0.2 mM) ملاتونین	ردکارینا	27.66±1.52	18.33±0.57	51265.20±5529	30649.83±6988	2186.66±63.58	1660.00±103.45
		تی تی کاکا	27.33±1.52	19.66±0.57	35877.60±3098	25656.12±7228	2160.00±156.97	1894.00±89.07
	0.5%) سولفات روی	ردکارینا	26.33±0.57	19.33±0.57	50384.60±7913	27982.13±6689	2356.66±109.28	1903.33±140.35
		تی تی کاکا	26.00±1.00	19.33±0.57	57018.96±3243	49596.06±3154	2660.00±123.41	2230.00±108.41
LSD 5%			0.977	0.977	7370.00	7370.00	530.00	530.00

۵. همبستگی بین صفات

همبستگی بین صفات مختلف در منطقه شور و غیرشور به ترتیب در جداول ۱۱ و ۱۲ گزارش شده است.

جدول ۱۱. همبستگی بین صفات در منطقه شور

عملکرد پروتئین	عملکرد پروتئین	کلروفیل b	کلروفیل a	شاخص علوفه ای	تعداد شاخه-های فرعی	طول پانیکول	قطر یقه	ارتفاع ساقه	وزن اندام هوایی	درصد سبز شدن نهایی	
										1	درصد سبز شدن نهایی
									1	0.24	وزن اندام هوایی
								1	0.50**	0.50**	ارتفاع ساقه
							1	0.65**	0.66**	0.34*	قطر یقه
						1	0.78**	0.77**	0.51**	0.31*	طول پانیکول
					1	0.02	0.13	0.19	0.18	0.08	تعداد شاخه‌های فرعی
				1	0.10	0.004	0.04	0.08	0.54**	0.08	شاخص علوفه ای
			1	0.18	0.16	0.52**	0.76**	0.61**	0.86**	0.20	کلروفیل a
		1	0.91**	0.12	0.05	0.55**	0.75**	0.65**	0.76**	0.28*	کلروفیل b
	1	0.004	0.04	0.10	0.05	0.04	0.14	0.06	0.02	0.09	عملکرد پروتئین
1	0.98**	-0.03	0.007	0.06	0.07	0.06	0.16	0.04	0.02	0.10	عملکرد دانه

جدول ۱۱. همبستگی بین صفات در منطقه غیر شور

عملکرد پروتئین	عملکرد پروتئین	کلروفیل b	کلروفیل a	شاخص علوفه ای	تعداد شاخه-های فرعی	طول پانیکول	قطر یقه	ارتفاع ساقه	وزن اندام هوایی	درصد سبز شدن نهایی	
										1	درصد سبز شدن نهایی
									1	0.52**	وزن اندام هوایی
								1	0.87**	0.69**	ارتفاع ساقه
							1	0.85**	0.80**	0.62**	قطر یقه
						1	0.80**	0.94**	0.78**	0.72**	طول پانیکول
					1	0.13	0.04	0.10	0.001	0.10	تعداد شاخه‌های فرعی
				1	0.03	0.08	0.22	0.23	0.42**	0.04	شاخص علوفه ای
			1	0.33*	0.07	0.76**	0.75**	0.83**	0.94**	0.53**	کلروفیل a
		1	0.35*	0.33*	0.07	-0.30*	-0.16	-0.31*	0.20	0.04	کلروفیل b
	1	-0.22	-0.22	-0.15	0.08	0.76**	0.75**	0.83**	0.94**	0.53*	عملکرد پروتئین
1	0.95**	-0.19	-0.19	-0.19	0.11	0.30*	0.16	0.31*	0.20	0.04	عملکرد دانه

۶. بحث:

در شرایط شور، درصد سبز شدن مزرعه کینوا کاهش معنی‌دار نشان داد. اثرات بازدارندگی کلرید سدیم بر روی جوانه‌زنی بذری می‌تواند به دلیل تأثیر مستقیم آن بر روی رشد جنین باشد (Rodriguez-Hernandez and Garmendia, 2023). پژوهشگران دریافتند که طولیل شدن محور جنینی به واسطه سطح بالای کلرید سدیم موجود در آب‌و خاک شور، بازداشته می‌شود و از طرف دیگر کلرید سدیم به دلیل اثر بازدارندگی در جذب آب به وسیله بذر، تعداد بذور جوانه‌زده را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jaikishun *et al.*, 2023). استفاده از ملاتونین و سولفات روی به صورت پرایمینگ، توانست درصد سبز شدن مزرعه را تا سطح معنی‌داری ارتقا دهد.

پرایمینگ بذور با ملاتونین با تحریک و انبساط سلولی و مهار فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن حاصل از تنش اسمزی موجب بهبود جوانه‌زنی می‌شود (Kiremit *et al.*, 2024). افزایش درصد سبز شدن مزرعه با کاربرد ملاتونین و سولفات روی مربوط به افزایش سنتز RNA و پروتئین، فعال شدن آنزیم‌ها به خصوص آلفا آمیلاز در جنین و قابلیت دسترسی بیشتر به ATP و در نتیجه رشد سریع جنین هست (Shao *et al.*, 2023). شوری خاک در این پژوهش موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع ساقه شد. کاهش ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل رشد و نمو کندتر گیاه ناشی از تنش اسمزی ایجاد شده توسط شوری باشد و یا ممکن است به دلیل بازدارندگی فتوسنتز از طریق اثرات مستقیم تنش شوری بر روی سیستم فتوسنتزی گیاه باشد (Al-Naggar *et al.*, 2023) و (Balasubramaniam *et al.*, 2023).

کاهش شاخص‌های رویشی مانند ارتفاع ساقه و وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش شوری به دلیل کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه و تأثیر ویژه یون‌ها در فرآیند متابولیسم است (Bouras *et al.*, 2022). کاهش سطوح فتوسنتز کننده و مصرف بیش از حد انرژی در جهت کنترل و کاهش اثر تنش برای برقراری تعادل اسمزی به منظور حفظ آماس سلولی می‌تواند از علل عمده کاهش وزن خشک اندام هوایی در گیاهان باشد (Hussin *et al.*, 2023).

در این پژوهش ملاتونین و سولفات روی منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع ساقه شدند. گزارش شده است که ترکیبات ایندولی از جمله ملاتونین با تأثیر بر فرآیندهایی مانند فتوسنتز، تنفس، جذب یون، نفوذپذیری غشاء، فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌ها میزان رشد و تولید وزن خشک کل را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Zhang *et al.*, 2015). ملاتونین از طریق تأثیر بر افزایش ترشح هورمون‌های محرک رشد مانند ایندول استیک اسید، سیتوکینین، جیبرلین، اکسین، ترکیبات آنتی‌اکسیدانت و کاهش بیوسنتز بازدارنده‌های رشد از جمله اتیلن، میزان تقسیم سلولی بافت‌های مریستمی را افزایش داده و موجب افزایش ارتفاع ساقه و وزن خشک کل می‌گردد (Li *et al.*, 2014). کاربرد سولفات روی از طریق افزایش تولید تریپتوفان و هورمون‌های رشد از جمله اکسین منجر به افزایش ارتفاع ساقه و وزن خشک اندام هوایی می‌گردد (Mostafa *et al.*, 2019).

رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a و b در شرایط شوری کاهش یافتند. علت کاهش میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در شرایط شوری ممکن است تخریب لاملای کلروفیل باشد (Acosta-Gamboa *et al.*, 2023). غلظت‌های بالای نمک، کمپلکس پروتئین-رنگیزه را بی‌ثبات می‌کند و فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و تولید گونه‌های فعال اکسیژن را تحریک می‌کند که این پاسخ‌ها می‌تواند موجب کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه شود (Muhammad *et al.*, 2021). ملاتونین و سولفات روی میزان رنگ‌دانه‌ها را در هر دو منطقه افزایش دادند. ملاتونین از فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و آنزیم Pheophorbide-a oxygenase (Pao) (آنزیم‌های کلیدی در تجزیه کلروفیل) جلوگیری به عمل می‌آورد و در نتیجه موجب حفظ و افزایش محتوای کلروفیل می‌گردد (Turk *et al.*, 2014). پژوهشگران نشان دادند که محلول-پاشی روی با افزایش دادن میزان جذب منیزیم و کلسیم در گیاهان و افزایش ظرفیت جذب نور موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ گیاهان می‌شوند (Zhao *et al.*, 2024). نتایج پژوهشی نشان داد که افزایش کلروفیل با کاربرد سولفات روی به دلیل بهبود در دسترس بودن مواد مغذی و افزایش فتوسنتز هست (Irimes *et al.*, 2023).

عملکرد پروتئین و عملکرد دانه کینوا در منطقه شور کاهش معنی‌دار یافت. علت کاهش عملکرد پروتئین در شرایط شوری، وقوع تنش اکسیداتیو و اکسیداسیون پروتئین‌ها، سرکوب سنتز پروتئین و افزایش تجزیه پروتئین‌ها در این شرایط هست (Esfandiyari Sabzevar *et al.*, 2023). کاربرد ملاتونین و سولفات روی موجب افزایش عملکرد پروتئین دانه شدند. پژوهشگران دریافتند ملاتونین از طریق افزایش بیان ژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در جذب نیتروژن (nitrogen assimilation) منجر به افزایش میزان پروتئین دانه در گیاهان می‌شود (Erdal, 2019). نتایج تحقیقات نشان داده است که سولفات روی از طریق افزایش دادن سنتز آمینواسیدها و پروتئین‌های محلول منجر به افزایش میزان پروتئین دانه در گیاهان می‌گردد (Singh *et al.*, 2020).

عملکرد دانه در شرایط شور به دلیل کاهش صفات مرفولوژی و فیزیولوژی گیاه شامل درصد سبز شدن مزرعه، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و طول خوشه کاهش یافت. نتایج تحقیقات نشان داده است که سمیت یون‌های سدیم و کلر، تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری و کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند منجر به کاهش بیومس و کاهش پارامترهای رشد گیاه گردد (Manaa *et al.*, 2019). کاربرد ملاتونین و سولفات روی در منطقه شور از طریق کاهش دادن اثرات تنش شوری توانستند عملکرد دانه را در این شرایط افزایش دهند و استفاده از این دو ماده در منطقه غیر شور از طریق بهبود دادن صفات زراعی و فیزیولوژی منجر به ارتقای عملکرد دانه گردیدند. پژوهشگران اعلام کردند که ملاتونین و سولفات روی می‌توانند به‌عنوان واسطه خیلی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاهان به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، تعادل یونی و افزایش رشد رویشی در تعدادی از گونه‌های گیاهی عمل کنند که در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شوند (Lalarukh *et al.*, 2022 و Eisa *et al.*, 2023).

۶. نتیجه گیری:

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه کینوا تحمل و مقاومت نسبی مطلوبی به سطوح شوری آب‌خاک دارد و به نظر می‌رسد بتوان با اعمال مدیریت مناسب در مزرعه، استقرار این گیاه را در شرایط وجود آب‌خاک شور تضمین نمود. در محدوده پژوهش انجام‌شده کاربرد توأم پرایمینگ (۱۰۰ میکرومولار) و محلول‌پاشی (۰/۲ میلی مولار) ملاتونین و کاربرد توأم پرایمینگ (۴۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی سولفات روی (۰/۵ درصد) جهت افزایش عملکرد پروتئین (۳۲ تا ۵۱ درصد) و عملکرد دانه کینوا (۱۸ تا ۳۱ درصد) در ارقام ردکارینا و تی‌تی کاکا در هر دو منطقه غیر شور و شور پیشنهاد می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش، ۴۶ گرم ملاتونین خالص در ۱۰۰۰ لیتر آب و ۱/۵ کیلوگرم سولفات روی ۳۴ درصد در ۱۰۰۰ لیتر آب برای محلول‌پاشی یک هکتار مناسب می‌باشد. در بین دو رقم مورد بررسی رقم تی‌تی کاکا به جهت داشتن شاخص علوفه‌ای، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه بالاتر نسبت به رقم ردکارینا جهت کاشت در دو منطقه غیر شور و شور توصیه می‌شود. برای دستیابی به نتایج کاربردی لازم است تحقیقات گسترده‌تر در سطوح پروتئینی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه کینوا به‌موازات مطالعه ژن‌های مهم درگیر در تنش شوری انجام شود.

“نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی مرتبط با تحقیق حاضر ندارند.”

۷. منابع:

- Acosta-Gamboa, L., Czymmek, K., Klebanovych, A., Kenney, S., Gordon, J., Brown, A., & Gehan, M. (2023). Salt stress using *Chenopodium quinoa* as a model plant. Authorea Preprints.
- Al-Naggar, A. M. M., Abd El-Salam, R. M., Hassan, A. I. A., El-Moghazi, M. M. A., & Ahmed, A. A. (2023). Salinity tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes to elevated NaCl concentrations at germination and seedling stages. *SABRAO Journal Breeding and Genetics*. 55(5), 1789-1802.
- Al-Zahrani, H. S., Alharby, H. F., Hakeem, K. R., & Rehman, R.U. (2021). Exogenous application of zinc to mitigate the salt stress in *Vigna radiata* (L.) wilczek Evaluation of physiological and biochemical processes. *Plants*. 10, 1005.
- Arnao, M. B., & Hernandez-Ruiz, J. (2019). Melatonin and reactive oxygen and nitrogen species: a model for the plant redox network. *Melatonin Research*. 2, 152-168.
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*. 12(12), 22-53.
- Bouras, H., Choukr-Allah, R., Amouaouch, Y., Bouaziz, A., Devkota, K. P., El Mouttaqi, A., & Hirich, A. (2022). How does quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) respond to phosphorus fertilization and irrigation water salinity? *Plants*. 11(2), 216.
- Buedo, S. E., & Gonzalez, J. A. (2020). Effect of salinity stress on quinoa germination. Influence of ionic and osmotic components. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 1(2), 577-582.

- Debnath, B., Islam, W., Li, M., Sun, Y., Lu, X., Mitra, S., Hussain, M., Liu, S., & Qiu, D. (2019). (Melatonin mediates enhancement of stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 20, 104.
- Eisa, E. A., Honfi, P., Tilly-Mandy, A., & Mirmazloun, I. (2023). Exogenous melatonin application induced morpho-physiological and biochemical regulations conferring salt tolerance in *Ranunculus asiaticus* L. *Horticulturae*. 9(2), 228.
- Erdal, S. (2019). Melatonin promotes plant growth by maintaining integration and coordination between carbon and nitrogen metabolisms. *Plant cell reports*. 38, 1001-1012.
- Esfandyari Sabzevar, T., Tatari, M., Khosroyar, S., Ghorat, F., & Salehi, M. (2023). Physiological and biochemical responses of Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) Varieties to Salinity Stress. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 42(11): 3824-3834. (In Farsi).
- Fowler, B.D., Brydon, J., & Baker, R.J. (1989). Nitrogen fertilization of no till winter wheat and rye. II: Influence of grain protein. *Agronomy Journal*. 81,72-77.
- Hassan, M. U., Aamer, M., Nawaz, M., Rehman, A., Aslam, T., Afzal, U., Shahzad, B. A., Ayub, M. A., Ahmed, F., & Qiaoying, M. (2021). Agronomic bio-fortification of wheat to combat zinc deficiency in developing countries. *Pakistan Journal Agriculture Research*. 3, 201.
- Hinojosa, L., Gonzalez, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F., & Murphy, K. M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A Review. *Plants*. 7 106.
- Hiscox, J. D., & Israelstom, G.F. (1979). *A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration*. *Canadian Journal of Botany*. 57, 1332-1334.
- Hussin, S. A., Ali, S. H., Lotfy, M. E., El-Samad, E. H. A., Eid, M. A., Abd-Elkader, A. M., & Eisa, S. S. (2023). Morpho-physiological mechanisms of two different quinoa ecotypes to resist salt stress. *BMC Plant Biology*. 23(1), 374.
- Irmes, K., Kristo, I., Szentpeteri, L., Racz, A., Valyi-Nagy, M., Kassai, M. K., & Tar, M. (2023). The Effect of Foliar Zinc Application on the Leaf Chlorophyll Concentrations and Grain Yields of the Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Field Experiments of Two Seasons. *Agronomy*. 13(6), 16-40.
- Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. (2019). Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1 -11.
- ISTA (International Seed Testing Association). (2009). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*. 49, 86-41.
- Jahantighi, M., Roshandel, P. and Danesh Shahraki, A. (2023). Enhancement of salt tolerance in quinoa (*Chenopodium quinoa* var. Titicaca) by seed priming with melatonin. *Journal of Plant Physiology and Breeding*. 2, 181-195.
- Jaikishun, S., Song, S., & Yang, Z. (2023). Morphophysiological Responses of Two *Chenopodium quinoa* Genotypes to Salinity in a Hydroponic System. *Asian Research Journal of Agriculture*. 16(2), 8-22.
- Kaboodkhani, M., Salek Mearaji, H., Aghaei, K. & Tavakoli, A. (2023). Investigation of the effect of salinity stress on physiological traits and grain yield of Quinoa cultivars. *Journal of Crops Improvement*. 25(1), 221-233.

- Kiremit, M. S., Ozturk, E., Arslan, H., Subrata, B. A. G., Akay, H., & Bakirova, A. (2024). Effects of melatonin, proline, and salicylic acid on seedling growth, photosynthetic activity, and leaf nutrients of sorghum under salt stress. *Plant Direct*. 8(3), e574.
- Lalarukh, I., Zahra, N., Al Huqail, A. A., Amjad, S.F., Al-Dhumri, S.A., Ghoneim, A.M. and Abdelhafez, A.A. (2022). Exogenously applied ZnO nanoparticles induced salt tolerance in potentially high yielding modern wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Environmental Technology & Innovation*. 27, 102799.
- Li, C., D. X. Tan, D. Liang, C. Chang, D., & Jia, F. M. (2014). Melatonin mediates the regulation of ABA metabolism, free-radical scavenging, and stomatal behaviour in two *Malus* species under drought stress. *Journal Experiment Botany*. 66, 669-80.
- Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Abdelly, C., & Barbato, R. (2019). Salinity tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as assessed by chloroplast ultrastructure and photosynthetic performance. *Environmental and experimental botany*. 162, 103-114.
- Mostafa, E. L., Leilah, A. A., & Fayed, E. A. (2019). Effect of seed soaking and foliar application with zinc sulfate on rice seedling strength, yield and its components. *Journal of Plant Production*. 10(12), 1169-1173.
- Muhammad, I., Shalmani, A., Ali, M., Yang, Q. H., Ahmad, H., & Li, F. B. (2021). Mechanisms regulating the dynamics of photosynthesis under abiotic stresses. *Frontiers in plant science*. 11, 615942.
- Nabaei, M., & Amooaghaie, R. (2019). Interactive effect of melatonin and sodium nitroprusside on seed germination and seedling growth of *Catharanthus roseus* under cadmium stress. *Russian Journal of Plant Physiology*. 66, 128-139.
- Nadeem, F., Azhar, M., Anwar-ul-Haq, M., Sabir, M., Samreen, T., Tufail, A., Awan, H. U. M., & Juan, W. (2020). Comparative response of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars to applied zinc and manganese for mitigation of salt stress. *Journal Soil Science and Plant Nutrition*. 20, 2059–2072.
- Oddy, V.U., Robards, G.E. & low, S.G., 1983. Predicion of In – vivo dry matter digestibility from the fibre and nitrogen content of a feed, In *Feed Information and Animal production* . Eds G.E Robards and R.G Packham. Commonwealth Agricultural Bureux . Australia. 298-295.
- Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Nie, C., Yu, M., Kuznetsov, V. V., Allakhverdiev, S. I. and Shabala, S. (2020). Non -stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 1(2), 1 -35.
- Rodriguez-Hernandez, M. D. C., & Garmendia, I. (2023). Leaf production and quality of quinoa ‘Titicaca’is enhanced under moderate salinity. *Chilean journal of agricultural research*. 83(6), 732-741.
- Salehi, M. & Dehghani, F. (2023). Evaluation the effect of salinity stress on the protein and micronutrient elements content of quinoa seeds. *Crop Production*. 2(1), 1-16.
- Shao, J., Tang, W., Huang, K., Ding, C., Wang, H., Zhang, W., & Qari, S.H. (2023). How does zinc improve salinity tolerance? Mechanisms and future prospects. *Plants*. 12(18), 3207.

- Singh, D. K., Shrivastava, M., Patel, V.K., Singh, A., & Kumar, A. (2020). The Effect of different levels of zinc on morpho-physiological parameters, seed yield attributing characters and seed quality of wheat. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*. 9(5).
- Turk, H., Erdal, S., Genisel, M., Atici, O., Demir, Y., & Yanmis, D. (2014). The regulatory effect of melatonin on physiological, biochemical and molecular parameters in cold-stressed wheat seedlings. *Plant Growth Regulation*. 74, 139-152.
- Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt stress responses. *New Phytologist*. 217, 523 -539.
- Zafar, S., Ashraf, M. Y., & Saleem, M. (2017). Shift in physiological and biochemical processes in wheat supplied with zinc and potassium under saline condition. *Journal of Plant Nutrition*. 41, 19–28.
- Zhang, L., Yan, M., Ren, Y., Chen, Y., & Zhang, S. (2021). Zinc regulates the hydraulic response of maize root under water stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*. 159, 123-134.
- Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S.H., & Guo, Y.D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*. 66, 647-56.
- Zhan, H., Nie, X., Zhang, T., Li, S., Wang, X., Du, X., Tong, W., & Song, W. (2019). Melatonin: A small molecule but important for salt stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 20, 709.
- Zhao, G., Zhao, Y., Yu, X., Kiprotich, F., Han, H., Guan, R., Wang, R., & Shen, W. (2018). Nitric oxide is required for melatonin -enhanced tolerance against salinity stress in rapeseed (*Brassica napus L.*) seedlings. *International Journal of Molecular Sciences* 19, 1912.
- Zhao, D., Gao, S., Zhang, X., Zhang, Z., Zheng, H., Rong, K., & Khan, S. A. (2021). Impact of saline stress on the uptake of various macro and micronutrients and their associations with plant biomass and root traits in wheat. *Plant, Soil & Environment*. 67(2),12-23.
- Zhao, X., Song, B., Riaz, M., Li, M., Lal, M. K., Adil, M. F. & Ishfaq, M. (2024). Foliar zinc spraying improves assimilative capacity of sugar beet leaves by promoting magnesium and calcium uptake and enhancing photochemical performance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 206, 108277
- Zheng, X., Tan, D. X., Allan, A. C., Zuo, B., Zhao, Y., Reiter, R. J., Wang, L., Wang, Z., Guo, Y., & Zhou, J. (2017). Chloroplastic biosynthesis of melatonin and its involvement in protection of plants from salt stress. *Scientific Reports*. 7, 1 -12.

Effects of Melatonin and Zinc Sulfate on Agronomic Traits and Grain Yield of Quinoa Cultivars under Salinity Conditions

Abstract :

To investigate the effects of melatonin and zinc sulfate on agronomic traits and grain yield of quinoa cultivars under salinity stress, an experiment was designed and conducted in the 2023 growing season in Kashmar and Bardaskan. The study was laid out as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. Treatments included two quinoa cultivars, 'Red Carina' and 'Titicaca', and seed priming along with foliar application at three levels: control (no application), melatonin, and zinc sulfate. The results showed that in Bardaskan with saline water and soil, the protein yield of the Redcarina was 30.02% and that of the Titicaca was 35.39% lower than that of the same varieties in the Kashmar. The seed yield of the Titicaca in the Bardaskan was 23.25% and that of the Kashmar region was 25.81% higher than that of the Redcarina in these two regions. In Kashmar, the combined application of seed priming and foliar melatonin increased grain yield by 17.85%, while zinc sulfate also led to an 18.04% increase. Conversely, in Bardaskan, the combined application of seed priming and foliar melatonin and zinc sulfate resulted in grain yield increases of 36.91% and 35.70%, respectively. Within the scope of this research, the use of the 'Titicaca' cultivar and the combined application of seed priming and foliar melatonin and zinc sulfate are recommended for enhancing grain and protein yield."

Keywords: Osmotic stress, Salinity stress, Chlorophyll.