

The effects of irrigation regimes on the yield and water use efficiency of quinoa (Case study: Rudasht, Isfahan)

ABSTRACT

This study was conducted in the Roodasht region of Isfahan, Iran, during 2019 and 2020 to investigate the effects of irrigation regimes on quinoa grain yield and water use efficiency (WUE). The experiment was arranged in a randomized complete block design with three treatments and three replications, comprising nine experimental plots. The irrigation treatments (T1, T2, and T3) consisted of soil moisture depletion levels of 30%, 50%, and 70%, respectively, during the mid-growth stage, while irrigation was triggered at 30% soil moisture depletion during the other growth stages. The results showed that irrigation treatments had significant effects on grain yield, biomass yield, and WUE at the 1% significance level ($P < 0.01$), and on thousand-kernel weight at the 5% significance level ($P < 0.05$). Mean comparisons using Duncan's multiple range test at the 5% significance level indicated that T1 produced the highest mean grain yield (2,220 kg ha⁻¹), followed by T2 (1,440 kg ha⁻¹) and T3 (880 kg ha⁻¹). Across both years, soil moisture depletion levels of 50% and 70% during the mid-growth stage reduced grain yield by 39% and 66%, respectively, compared with the control treatment (T1). The highest WUE values were also obtained under T1, reaching 0.82 in the first year and 0.61 in the second year.

Keywords: *Irrigation regimes, Evapotranspiration, Yield, Quinoa, Water use efficiency*

Extended Abstract

Introduction

Quinoa has been cultivated in Peru and Bolivia for 7000 years and, according to the FAO report in 2011, 69,000 tons of quinoa seeds were produced (average 0.8 tons/ha). This plant is well adapted to arid and semi-arid regions and is cultivated from low altitudes (sea level) to 4000 m above sea level. Quinoa can be grown in rotation with potatoes, barley and sometimes with wheat and maize in low altitudes (Christiansen et al, 2010). The development of phenological stages depends on the quinoa variety and water stress affects phenological stages (Geerts et al., 2008c). In Italy, Pulvento et al. (2012) reported that under both fully irrigated (300–360 mm) and under deficit irrigation (200–220 mm) conditions during the growing season, the yield of quinoa (cv. T. caca) ranged from 2.3 to 2.7 t/ha; thus, this study showed that there was no significant yield reduction due to reduced water use. In another study in Denmark, similar yield results were observed for quinoa (cv. T. caca) under irrigated and non-irrigated conditions on sandy, sandy loam, and sandy clay loam soils (Razzaghi et al., 2012).

Method

This study was conducted to determine the yield and water use efficiency of quinoa under different water stresses at the Rudasht Research Station of the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Isfahan Province. First, the yield, biomass, and water use efficiency were measured in relation to water deficit conditions based on the water deficit treatments in the middle growth period. For this purpose, the variety and planting method of quinoa (planting density) was titikaka according to the recommendations of the Institute of Seed and Seedling Improvement and Production. The row spacing was 40 cm and the planting intervals were 7 cm. The planting was carried out in the second decade of August 2019 and 2020, and the planting was completed by the third decade of August. In this regard, 3 water treatments were implemented in the form of 70, 50 and 30% of usable water discharge in three replications and 4 growth stages (initial stage, development, middle and maturity) in 9 experimental plots (3 x 4 m) in a randomized complete block design in each crop year. Treatments T1, T2 and T3 were 30, 50 and 70% of moisture depletion, respectively. According to the irrigation treatments, moisture was measured to the root

development depth (40 cm) with a TDR device and after the soil moisture of the treatments reached the desired values, the plots were irrigated by bringing the soil moisture to the field's agricultural capacity. The volume of irrigation water for each experimental plot was calculated based on the plot area and the required water depth and was given to the treatments by measuring. Grain yield and biomass yield of quinoa plant for different treatments were measured at the end of the season in November. Also, considering the yield of quinoa in low-irrigation plots, the water use efficiency of the treatments was determined and compared with each other.

Results

The results showed that the effect of irrigation treatments on grain yield, biomass yield and water use efficiency was significant at the 1% level and its effect on thousand-kernel weight was significant at the 5% probability level. Comparison of means at the 5% probability level using Duncan's test showed that grain yield in the 30% soil moisture depletion treatment (T1) was the highest with 2220 kilogram per hectare and grain yield in the 50% and 70% moisture depletion irrigation treatments (T2 and T3) were in the next groups with 1440 and 880 kilogram per hectare. The highest grain yield in the first year was 2500 kg/ha and in the second year 1930 kg/ha for the T1 treatment, which showed a 30% decrease. Biomass yield also had a similar trend to grain yield. The highest biomass yield in the first year was 5380 kg/ha and in the second year 4480 kg/ha for the T1 treatment, which showed a 20% decrease. The decrease in biomass yield in the second year compared to the first year was most likely due to the increase in water and soil salinity in the second year of the experiment. In the first year, evapotranspiration for the T1 treatment was 302 mm and evapotranspiration for the T3 treatment was 257 mm. While evapotranspiration for these two treatments in the second year was 316 and 261 mm, respectively. The highest water use efficiency in the first and second years was 0.82 and 0.61 kg/m³ for the T1 treatment, respectively. Due to the severe reduction in grain yield due to water stress treatment and its effect on water use efficiency, this index decreased for the T2 and T3 treatments. In first year, thousand-kernel weight in the two treatments T2 and T3 did not differ significantly from each other. While in the second year, the weight of one thousand grains in all treatments was lower than in the first year due to higher salinity. Also, the T1 and T2 treatments were in the same statistical group and did not differ significantly from each other, but both treatments had a significant difference from the T3 treatment. Therefore, the weight of one thousand grains in the quinoa plant is very sensitive and this parameter will undergo significant changes with water stress and salinity conditions.

Conclusions

The average highest grain yield in the first two years of the experiment was 2200 kg/ha for the T1 treatment. The biomass yield also had a similar trend to the grain yield. The average evapotranspiration of the T1 treatment was 309 mm and the evapotranspiration of the T3 treatment was 259 mm. The results also showed that the quinoa plant in the Rudasht region of Isfahan, on average, with a consumption of 3000 cubic meters per hectare of net irrigation water, will have a maximum water use efficiency of about 0.72 kg/m³, therefore this volume of net irrigation requirement is recommended. Also, irrigation scheduling for this plant is suggested based on soil moisture measurements in this region.

تأثیر رژیم های آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب کینوا (مطالعه موردی: رودشت

اصفهان)

چکیده

این پژوهش در سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در منطقه رودشت اصفهان و با هدف بررسی تأثیر رژیم های آبیاری بر روی مقدار عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه کینوا انجام پذیرفت. بدین منظور سه تیمار آبی T1، T2 و T3 به ترتیب ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک در مرحله میانی رشد و آبیاری با ۳۰ درصد تخلیه رطوبتی در سایر مراحل رشد و با سه تکرار در ۹ کرت آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی اجرا شد. نتایج نشان داد تأثیر اعمال تیمارهای آبیاری بر صفات عملکرد دانه، عملکرد زیست توده و کارایی مصرف آب در سطح ۱ درصد و تأثیر آن بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد به روش دانکن نشان داد میانگین عملکرد دانه در تیمار T1 با ۲۲۲۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری T2 و T3 با ۱۴۴۰ و ۸۸۰ کیلوگرم در هکتار در گروه های بعدی قرار گرفتند. نتایج سال اول و دوم نشان داد که ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبت در مرحله میانی موجب کاهش ۳۹ و ۶۶ درصد عملکرد دانه نسبت به تیمار ۳۰ درصد تخلیه رطوبت (شاهد) گردید. بیشترین کارایی مصرف آب در سال اول و دوم به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۶۱ مربوط به تیمار T1 بود.

واژه های کلیدی: رژیم های آبیاری، تبخیر-عرق، عملکرد، کینوا، کارایی مصرف آب

مقدمه

گیاه کینوا از ۷۰۰۰ سال پیش در مناطق پرو و بولیوی کشت شده و بر اساس گزارش فائو در سال ۲۰۱۱، مقدار ۶۹۰۰۰ تن دانه کینوا با متوسط عملکرد ۰/۸ تن در هکتار تولید شده است. این گیاه با سابقه کشت کهن می تواند نقش مهمی در تغذیه و امنیت غذایی انسان ایفا کند (Choukrallah et al., 2016; Vega-galvez et al., 2010). زیرا افزایش استفاده از آن با ارزش غذایی به عنوان شبه غلات و مواد اولیه بدون گلوتن کاربرد پیدا کرده است (Alvarez-jubete et al., 2009). همچنین این گیاه سازگاری مناسبی در مناطق خشک و نیمه خشک داشته و از مناطقی با ارتفاع کم (سطح دریا) تا مناطقی با ارتفاع ۴۰۰۰ متر از سطح دریا کاشته می شود. کینوا را می توان در تناوب با گیاهان سیب زمینی، جو و در برخی از اوقات با گندم و ذرت در مناطق کم ارتفاع کاشت (Christiansen et al., 2010). این گیاه به عنوان یک گیاه مناسب برای مناطق خشک و تحت تأثیر شوری پیشنهاد شده است (Yazar and Kaya, 2014). همچنین تحمل مناسب کینوا در برابر محیط های استرس زا و نامطلوب به طور دقیق گزارش شده است (Talebnejad and Sepaskhah, 2015). مجمع عمومی سازمان ملل متحد سال ۲۰۱۲ را به عنوان سال بین المللی کینوا اعلام کرد. پس از آن سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد (FAO) در سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ پروژه ای را در ایران با همکاری وزارت جهاد کشاورزی برای معرفی و توسعه کشت کینوا دنبال کرد تا به منابع ژنتیکی بیشتر، متنوع تر و عملکرد بالاتر برای این محصول دستیابی پیدا کند. منطقه رودشت در شرق شهرستان اصفهان دارای خاک شور و شرایط تنش آبی می باشد. با توجه به اینکه گیاه کینوا متحمل به شرایط شوری و کم آبی است برخی کشاورزان این منطقه تمایل به کشت این گیاه پیدا کرده اند. در حالی که پژوهش در خصوص آبیاری این گیاه و تعیین رژیم مناسب آبیاری ضروری بوده و تاکنون در این منطقه انجام نشده است و هدف این پژوهش می باشد.

پیشینه پژوهش

توسعه مراحل فنولوژیکی به واریته کینوا بستگی داشته و تنش آب بر مراحل فنولوژیکی تأثیر دارد (Geerts et al., 2008c). همچنین اثر شرایط آگرواکولوژیک مختلف روی ترکیبات غذایی کینوا بررسی شده است (Reguera et al., 2018). عکس العمل گیاه کینوا به آب در مراحل مختلف رشد متفاوت است (Steduto et al., 2012). اثر آبیاری، کشت مخلوط و واریته های مختلف

کینوا بر ویژگی‌های زراعی و غذایی آن بسیار متفاوت بود (Walters et al., 2016). کارایی مصرف آب کینوا در سطوح مختلف آبیاری متفاوت است (El-Harty et al., 2023). کارایی مصرف آب کینوا به علت محدودیت منابع آب و شرایط تغذیه‌ای در بیشتر موارد پایین بوده و در حدود ۰/۳ تا ۰/۶ کیلوگرم بر مترمربع گزارش گردیده است (Geerts et al., 2009). واریته‌های مختلف کینوا مقاومت‌های مختلفی نسبت به تنش آبی از خود نشان می‌دهند (Bois et al., 2006). رشد ریشه و دینامیک آب خاک نیز بسیار مهم است. سیستم‌های ریشه‌ای عمیق‌تر جذب آب را افزایش می‌دهند و به بهبود بهره‌وری آب کمک می‌کنند. در این ارتباط آزمایشی در قالب اسپلیت پلات با سه تیمار رژیم آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و سه روش کشت کرتی، جویچه‌ای روی پشته و کف شیار روی آب مصرفی، عملکرد، رشد ریشه و بهره‌وری آب در جنوب ایران بر روی کینوا بررسی شد نتایج نشان داد کشت در کف شیار تعرق را ۴/۵ و ۷/۷ درصد افزایش و تبخیر از سطح خاک را ۱۷ و ۲۹ درصد در مقایسه با روش کشت کرتی و کشت روی پشته کاهش داد. بهره‌وری آب بر اساس نیاز آبی و بهره‌وری آب بر اساس آب آبیاری از ۰/۱۷ تا ۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمربع متغیر بود. در یک نتیجه‌گیری کلی از نظر عملکرد دانه، ماده خشک ریشه و اندام هوایی و بهره‌وری آب، تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و روش کشت کف شیار به عنوان راهکار مدیریت روش کشت و مصرف آب بهینه برای گیاه کینوا توصیه گردید. همچنین برای بهبود عملکرد و راندمان آب آبیاری، پیشنهاد گردید در آینده مدیریت عملیات خاک مانند استفاده از مالچ و مواد آلی اصلاح کننده و اثرات آن بر روی منحنی آب خاک و حاصلخیزی خاک پژوهش گردد (Mirsafi et al., 2024). کشت کینوا اغلب در مناطقی انجام می‌شود که با محدودیت منابع آب مواجه می‌باشند و به‌ندرت مواردی را می‌توان یافت که در شرایط آبیاری کامل باشد. در پژوهشی به بررسی اثر کم‌آبیاری بر تولید پایدار کینوا و افزایش بهره‌وری مصرف آب در یکی از مناطق جنوب و خشک بولیوی با منابع آب محدود و شور و با سطح ایستابی کم عمق پرداخته شد. نتایج این پژوهشگران نشان داد که کم‌آبیاری با آب دارای کیفیت پایین در مزارعی با سطح ایستابی آب زیرزمینی بالا و شور می‌تواند مشکلات جدی در کشاورزی پایدار در کشت کینوا ایجاد کند. آبیاری کینوا با آب شور و یا در شرایط خیز موئینه از سطح ایستابی کم عمق و شور، تقریباً پس از یک سال موجب تجمع معنی‌دار نمک در منطقه ریشه گیاه شد. در یک سیستم کشاورزی با این شرایط تنها با یک سال آیش، آبشویی نمک‌ها به خارج از منطقه ریشه انجام نخواهد شد (Geerts et al., 2008d).

به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بر برخی خصوصیات عملکردی گیاه کینوا، آزمایشی در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. آزمایش به‌صورت طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح آبیاری در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم نیز در پنج سطح ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته در مترمربع بود. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد خوشه در گل‌آذین اصلی در مترمربع در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۲۰ بوته در مترمربع و بالاترین وزن خوشه در گل‌آذین اصلی در مترمربع در تراکم ۱۰۰ بوته و سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و همچنین تعداد دانه در خوشه در گل‌آذین اصلی در مترمربع در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع حاصل شد (مصطفایی و دیگران، ۱۳۹۶).

در پژوهشی در شرایط مزرعه‌ای اثر تیمارهای مختلف آبی بر رشد و عملکرد گیاه کینوا بررسی شد. بدین منظور دو سطح آبیاری کامل و ۵۰ درصد آبیاری کامل در دوره‌های مختلف رشد سبزی‌نگی، گلدهی و پر کردن دانه اعمال گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در تمام مراحل رشد گیاه، موجب تولید عملکرد مشابه با تیمارهای اعمال کم‌آبیاری در یک یا دو مرحله از رشد گیاه شد که نشان‌دهنده پتانسیل گیاه برای رشد در شرایط خشک و نیمه‌خشک است (رزاقی و بهادری قصرالدشتی، ۱۳۹۶).

در پژوهشی در کشور ایتالیا گزارش کردند که در هر دو شرایط رشد تحت آبیاری کامل به میزان ۳۰۰ تا ۳۶۰ میلی‌متر و کم‌آبیاری به میزان ۲۰۰ تا ۲۲۰ میلی‌متر در طول فصل رشد، عملکرد کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در دامنه ۲/۳ تا ۲/۷ تن در هکتار بود؛ بنابراین، این مطالعه نشان داد که در اثر کاهش مصرف آب، کاهش عملکرد معنی‌داری رخ نمی‌دهد (Pulvento et al., 2012). در پژوهشی دیگر در دانمارک، برای گیاه کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در شرایط تحت آبیاری و بدون آبیاری در خاک‌های شنی، لوم شنی و لوم رسی شنی نتایج مشابهی در عملکرد مشاهده شد (Razzaghi et al., 2012).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات خاک و آب رودشت در استان اصفهان انجام شد. فاصله این ایستگاه از مرکز استان ۶۵ کیلومتر در حد فاصل طول جغرافیایی $52^{\circ} 10'$ تا $52^{\circ} 11'$ ، درجه شرقی و حد فاصل عرض جغرافیایی $29^{\circ} 32'$ تا $28^{\circ} 32'$ ، درجه شمالی و ارتفاع آن ۱۵۰۸ متر از سطح دریا بود. داده‌های اقلیم منطقه برای دوره بلندمدت ۲۰ ساله شامل میانگین حداقل و حداکثر دما، میانگین رطوبت نسبی، تبخیر، بارش و سرعت باد در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱. داده‌های اقلیمی محل انجام آزمایش در ایستگاه تحقیقات خاک و آب رودشت اصفهان

پارامتر ماه	میانگین حداقل درجه حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین حداکثر درجه حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	تبخیر (میلی‌متر)	بارندگی (میلی- متر)	سرعت باد (کیلومتر در ساعت)
فروردین	۶/۳	۱۶/۳	۳۹/۷	۱۴۴/۲	۹/۲۴	۶/۴
اردیبهشت	۱۱/۸	۲/۵	۳۳/۹	۲۲۸/۴	۵/۲	۵/۹
خرداد	۱۵/۵	۲۵/۸	۲۶/۸	۳۱۵/۷	۱/۷	۵/۳
تیر	۱۹/۴	۳۱/۵	۲/۴	۳۸۱	۰	۵/۷
مرداد	۱۸/۴	۲۱/۴	۲۱	۳۳۵/۱	۰	۵/۶
شهریور	۱۴/۶	۲۸/۲	۲۲	۲۵/۸	۰	۴/۶
مهر	۹/۱	۲۲	۲۷/۲	۱۷۵/۷	۱/۱۵	۳/۷
آبان	۳/۶	۱۵/۳	۳۹/۸	۱۰۷/۳	۵/۹	۳/۷
آذر	-۰/۴	۸/۷	۴۹/۲	۴۶/۸	۱۳/۲	۳/۸
دی	-۲/۸	۵/۹	۵۳/۸	۳۲	۱۶/۷	۳/۵
بهمن	-۲/۲	۷/۵	۴۷/۳	۵۳/۵	۱/۳	۴/۵
اسفند	۱/۵	۱۱/۵	۳۶/۹	۹۵/۷	۱۶/۲	۵/۸
سالانه	۸/۱	۱۸/۹	۳۴/۶	۲۲۰۰	۲۵	۵/۰

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد میانگین حداقل و حداکثر سالانه دما در ایستگاه رودشت به ترتیب $18/9$ و $1/1$ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی سالانه $34/6$ درصد، تبخیر تجمعی سالانه 2200 میلی‌متر، مجموع بارندگی سالانه 75 میلی‌متر و میانگین سرعت باد 5 کیلومتر در ساعت است. شکل ۱ نمایی از ایستگاه و مزرعه آزمایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایی از ایستگاه و مزرعه پژوهشی

در هر سال قبل از انجام کشت، نمونه برداری خاک محل اجرای آزمایش به صورت نمونه مرکب و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری انجام شد. نمونه خاک سطحی پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی متری مورد تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی قرار گرفت. نتایج تجزیه خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج آنالیز نمونه خاک مزرعه کشت کینوا

PWP	FC	BD	بافت	Clay	Silt	Sand	K	P	OC	pH	ECe
Wt%		gr/cm ³			%			mg/kg	%		ds/m
۱۴	۳۰	۱/۴۸	CL	۳۹	۴۵	۱۶	۲۶۹	۶/۱	۰/۳۸	۷/۶	۸/۸

شوری خاک (EC)، ۸/۸ دسی زیمنس بر متر در محدوده شوری زیاد بود. مقدار ماده آلی خاک (OC)، ۰/۳۸ درصد در محدوده کمبود، فسفر خاک (P) با مقدار ۶/۱ میلی گرم بر کیلوگرم کمتر از مقدار متعادل ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم در محدوده کمبود و مقادیر پتاسیم خاک (K) در حد متعادل بالاتر از ۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بود. بافت خاک لومی رسی (CL)، جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۴۸ گرم در سانتی متر مکعب، رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) و رطوبت نقطه پژمردگی خاک (PWP) به ترتیب ۳۰ و ۱۴ درصد وزنی بود.

همچنین ویژگی‌های EC، pH، بیکربنات، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم در نمونه آب آبیاری با روش‌های استاندارد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برخی از ویژگی‌های آب آبیاری مزرعه کینوا در جدول ۳ به ترتیب برای سال اول و دوم آورده شده است. آب مورد استفاده شور بود به گونه ای که هدایت الکتریکی آن به ترتیب در دو سال انجام آزمایش ۱۳ و ۱۴/۸ دسی زیمنس بر متر بود.

جدول ۳. نتایج آنالیز نمونه آب مزرعه کشت کینوا

Na	Mg+Ca	Cl	HCO ₃ ⁻	CO ₃		EC	نوع نمونه
Meq/l					pH	(dS.m ⁻¹)	
۱۰۵	۳۶	۱۰۰	۴/۸	۰	۷/۴	۱۳	سال اول
۱۰۶	۴۲	۱۱۰	۵/۳	۰	۷/۶	۱۴/۸	سال دوم

همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می گردد غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های آب آبیاری نیز بالا می‌باشد. مطابق نشریه فائو (Drechsel)

شکل ۲. شکل شماتیک نحوه چیدمان تیمارهای آزمایش

رابطه ۱

رابطه ۲

رابطه ۳

که در آن WUE کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار و ETc مقدار تبخیر تعرق گیاه بر حسب میلی‌متر است که برای استفاده در این رابطه به مترمکعب در هکتار تبدیل شد. برای شرایط غیر استاندارد مانند شرایط تنش آبی یا کمبود رطوبت خاک، محدودیت تبخیر تعرق گیاه با اعمال ضریب تنش به منظور تعدیل ضریب گیاهی برای شرایط واقعی منظور می‌گردد. تبخیر تعرق گیاه کینوا برای روزهای دوره رشد از حاصل ضرب تبخیر تعرق سطح مرجع، ET0 محاسبه شده به روش پنمن-مانتیث در ضریب گیاهی و ضریب تنش آبی با رابطه ۴ محاسبه شد (Allen et al., 1998). از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه رودشت در محل اجرای آزمایش استفاده شد.

$$ETc = K_s \times K_c \times ET0$$

رابطه ۴

که در آن ETc، تبخیر تعرق گیاه، ET0، تبخیر تعرق سطح مرجع که با روش پنمن-مانتیث و با استفاده از داده‌های هواشناسی فصل رشد و به کمک نرم‌افزار ET0 Calculator (ارائه شده توسط فائو) محاسبه گردید. Kc، ضریب گیاهی و Ks، ضریب تنش آبی می‌باشد. ضریب تنش آبی از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$K_s = (TAW - D_r) / (TAW - RAW)$$

رابطه ۵

که در آن Ks ضریب تنش، TAW و RAW به ترتیب کل آب قابل استفاده خاک و آب سهل‌الوصول در عمق توسعه ریشه (میلی‌متر) می‌باشند. در این آزمایش ضریب تنش آبی برای تیمارهای T1، T2 و T3 برای سال اول به ترتیب ۱، ۰/۹۲ و ۰/۸۵ و برای سال دوم ۱، ۰/۹۱ و ۰/۸۳ برآورد گردید. ضریب گیاهی برای مرحله رشد ابتدایی، میانی و انتهایی بر اساس پژوهش در همان منطقه به ترتیب ۰/۵۱، ۱/۱۶ و ۰/۵۴ در نظر گرفته شد (محمدی کی، ۱۴۰۳). داده‌های دو ساله به دست آمده در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS با مدل آماری اسپلیت پلات در زمان برپایه بلوک کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد انجام شد. شکل‌ها به کمک نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

یافته‌های پژوهش و بحث

تجزیه واریانس برای دو سال انجام آزمایش به صورت مرکب بر اساس اعمال تیمارهای آبیاری ۴۰، ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک (به ترتیب T1، T2 و T3)، با مدل آماری اسپلیت پلات در زمان برپایه بلوک‌های کامل تصادفی به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام و نتایج آن برای صفات عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب در جدول ۴ و شکل‌های ۳ تا ۶ ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج میانگین مربعات تجزیه واریانس مرکب هر دو سال برای صفات اندازه‌گیری شده کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (میلی‌گرم)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
سال (Y)	۱	۳/۵ ^{ns}	۱/۳ ^{ns}	۶/۹ ^{ns}	۶/۳ ^{ns}
تکرار	۲	۰/۳ ^{ns}	۰/۸ ^{ns}	۰/۶ ^{ns}	۲/۳ ^{ns}
آبیاری (T)	۲	۵۵/۳ ^{**}	۲۵ ^{**}	۷/۰ [*]	۵۳/۳ ^{**}
T×Y	۲	۳/۶ ^{ns}	۰/۷ ^{ns}	۴/۶ ^{ns}	۵/۷ [*]
خطا		۴۸۵۷۲	۱۰۰۵۴	۱۷۱۳۹	۰/۰۰۴

ضریب تغییرات	۳۲	۲۹	۱۲/۴	۳۴/۶
--------------	----	----	------	------

علامت‌های **، * نشان‌دهنده معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار می‌باشد.

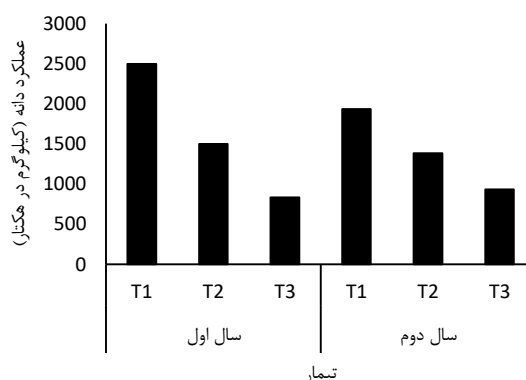
همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد اثر سال و تکرار بر صفات عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب معنی‌دار نبود. در حالی که تأثیر اعمال تیمارهای آبیاری بر صفات عملکرد دانه، عملکرد زیست توده و کارایی مصرف آب در سطح ۱ درصد و اثر آن بر وزن هزاردانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل اعمال تیمارها در سال‌های آزمایش بر کارایی مصرف آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار و بر سایر صفات غیر معنی‌دار بود. برای نشان دادن تأثیر اعمال تیمارهای آبیاری بر میانگین صفات مورد بررسی، آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام و نتایج آن در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۵. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

تیمارهای آبیاری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (میلی گرم)
T1	۲۲۲۰ a	۲۷۲۰۰ a	۱۵۸۸ ab
T2	۱۴۴۰ b	۱۸۵۰۰ b	۱۴۹۲ b
T3	۸۸۰ c	۱۴۵۰۰ b	۱۷۶۲ a

عملکرد دانه

تجزیه واریانس در جدول ۴ تأثیر معنی‌دار اعمال تیمار آبیاری را بر روی عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد به روش دانکن نشان داد عملکرد دانه در تیمار تخلیه ۳۰ درصد رطوبت خاک (T1) با ۲۲۲۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبت (T2 و T3) با ۱۴۴۰ و ۸۸۰ کیلوگرم در هکتار در گروه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۵). همچنین شکل ۳ مقادیر میانگین عملکرد دانه را در هر دو سال انجام آزمایش برای تیمارهای آبیاری نشان می‌دهد.



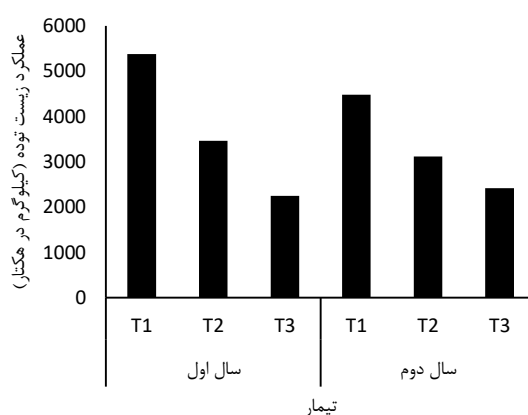
شکل ۳. مقادیر عملکرد دانه کینوا برای تیمارهای آبیاری در مرحله میانی در سال اول و دوم

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است در سال اول تیمار T1 دارای عملکردی به میزان ۶۶ و ۲۰۰ درصد به ترتیب بیشتر از T2 و T3 بود. در سال دوم نیز تیمار T1 دارای عملکردی به میزان ۴۰ و ۱۰۷ درصد به ترتیب بیشتر از T2 و T3 بود. کاهش شدید عملکرد دانه در اثر تیمارهای یاد شده بدلیل حساس بودن گیاه کینوا به اعمال تنش آبی در مرحله میانی رشد است. کاهش عملکرد تحت تنش کم آبی، توسط محققان دیگر نیاز گزارش شده است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸). بیشترین مقدار عملکرد دانه

در سال اول به میزان ۲۴۹۰ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم ۱۹۳۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار T1 بود که کاهش ۳۰ درصدی را نشان می دهد. کاهش عملکرد در سال دوم نسبت به سال اول به احتمال زیاد بدلیل افزایش شوری آب و خاک در سال دوم آزمایش بوده است.

عملکرد زیست توده

همان طور که در جدول ۴ نشان داده شده است تأثیر اعمال تیمار آبیاری بر روی عملکرد زیست توده در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد به روش دانکن نشان داد عملکرد زیست توده در تیمار T1 با ۲۷۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و در تیمارهای آبیاری T2 و T3 با ۱۸۵۰۰ و ۱۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در رتبه های بعدی قرار گرفتند (جدول ۵). شکل ۴ مقادیر میانگین عملکرد زیست توده را در هر دو سال انجام آزمایش برای تیمارهای آبیاری نشان می دهد.



شکل ۴- مقادیر عملکرد زیست توده کینوا برای تیمارهای آبیاری در مرحله میانی

عملکرد زیست توده نیز دارای روند مشابه عملکرد دانه بود. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است در سال اول تیمار T1 دارای عملکرد زیست توده به میزان ۵۵ و ۱۳۹ درصد به ترتیب بیشتر از T2 و T3 بود. در سال دوم نیز تیمار T1 دارای عملکردی به میزان ۴۴ و ۸۶ درصد به ترتیب بیشتر از T2 و T3 بود. کاهش شدید عملکرد زیست توده نیز همانند عملکرد دانه در اثر تیمارهای یاد شده بدلیل حساس بودن گیاه کینوا به اعمال تنش آبی در مرحله میانی رشد است. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که وزن زیست توده کینوا در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط عدم تنش کاهش یافت (Gonzalez et al., 2009). بیشترین مقدار عملکرد زیست توده در سال اول به میزان ۵۳۸۰ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم ۴۴۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار T1 بود که کاهش ۲۰ درصدی را در سال دوم نشان می دهد. کاهش عملکرد زیست توده در سال دوم نسبت به سال اول به احتمال زیاد همانند عملکرد دانه، بدلیل افزایش شوری آب و خاک در سال دوم آزمایش بوده است.

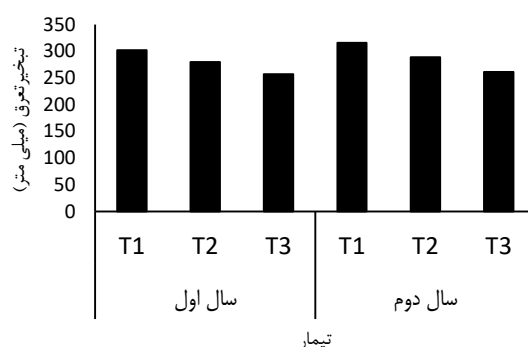
وزن هزار دانه

تجزیه واریانس مرکب دو سال اجرای آزمایش در جدول ۴، تأثیر معنی دار اعمال تیمار آبیاری را بر روی وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد. مقایسه میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد به روش دانکن نشان داد وزن هزار دانه در تیمار T3 با ۱۷۶۲ میلی گرم بیشترین و در تیمارهای آبیاری T1 و T2 با ۱۵۸۸ و ۱۴۹۲ میلی گرم در گروه های بعدی قرار گرفتند. در سال اول وزن هزار دانه در دو تیمار T2 و T3 تفاوت معنی داری با هم نداشت. در حالی که در سال دوم وزن هزار دانه در همه تیمارها بدلیل شوری بیشتر کمتر از سال اول بود. همچنین تیمار T1 و T2 در یک گروه آماری قرار داشته و اختلاف معنی داری با هم نداشتند اما هر دو با تیمار T3 اختلاف معنی داری داشتند. از این رو وزن هزار دانه در گیاه کینوا بسیار حساس بوده و با تنش آبی و شرایط شوری

این پارامتر دستخوش تغییرات معنی‌داری خواهد شد. مقادیر وزن هزار دانه بدست آمده در این پژوهش در هر دو سال و در تمامی تیمارها کمتر از مقدار ارائه شده توسط Rojas(2003) با میانگین ۲۷۰۰ میلی گرم بود که شاید بدلیل شرایط شوری آب و خاک در این پژوهش باشد.

کارایی مصرف آب

ابتدا مقادیر تبخیرتغرق کینوا در هر دو سال اجرای آزمایش با استفاده از رابطه ۴ و ۵ برآورد گردید و سپس با استفاده از رابطه ۳ کارایی مصرف آب هر تیمار محاسبه شد. تبخیرتغرق تیمارهای آزمایشی برای هر دو سال اجرای آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- مقادیر تبخیرتغرق کینوا برای تیمارهای آبیاری در مرحله میانی

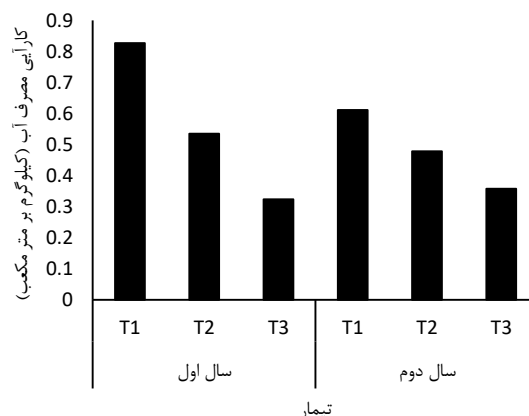
حداکثر تبخیرتغرق در هر دو سال مربوط به تیمار T1 و حداقل تبخیرتغرق مربوط به تیمار T3 بود. در سال اول تبخیرتغرق تیمار T1 برابر ۳۰۲ میلی متر و تبخیرتغرق تیمار T3 برابر ۲۵۷ میلی متر بود. در حالی که تبخیرتغرق این دو تیمار در سال دوم به ترتیب ۳۱۶ و ۲۶۱ میلی متر بود. در سال اول تیمارهای T2 و T3 به ترتیب ۸ و ۱۷/۵ درصد تبخیرتغرق کمتری نسبت به تیمار T1 داشتند و در سال دوم ۹/۳ و ۲۱/۱ درصد تبخیرتغرق کمتری نسبت به T1 داشتند. کاهش مقادیر تبخیرتغرق در تیمارهای تنش آبی با نتایج Bozkurt Colak, 2021 مطابقت دارد.

تأثیر اعمال تیمار آبیاری بر روی کارایی مصرف آب در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۴). همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سال و سطوح آبیاری اثر معنی دار بر کارایی مصرف آب کینوا داشته است. بنابراین برهمکنش سال و سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- تأثیر برهمکنش سال و سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب کینوا

سال	سال اول			سال دوم		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
تیمار آبیاری						
کارایی مصرف آب	۰/۸۳ a	۰/۵۴ b	۰/۳۲ c	۰/۶۱ a	۰/۴۸ b	۰/۳۶ c
(کیلوگرم بر مترمکعب)						

معنادار شدن اثر متقابل سال × تیمار آبیاری برای صفت کارایی مصرف آب نشان می‌دهد که تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب در دو سال آزمایش یکسان نبوده و به شرایط حاکم بر سال آزمایش وابسته بوده است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تغییرات شوری آب و خاک، تغییرات شرایط اقلیمی، به‌ویژه مقدار دما، تبخیرتغرق و تفاوت در عملکرد محصول باشد. شکل ۶ مقادیر میانگین کارایی مصرف آب را در هر دو سال انجام آزمایش برای تیمارهای آبیاری نشان می‌دهد.



شکل ۶- مقادیر کارایی مصرف آب کینوا برای تیمارهای آبیاری در مرحله میانی

بیشترین کارایی مصرف آب در سال اول و دوم به ترتیب 0.83 و 0.61 کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمار T1 بود. در پژوهشی دیگر افزایش کارایی مصرف آب روی کینوا در شرایط تنش رطوبتی مشاهده شد (González Teuber et al., 2018). در حالی که برخی پژوهش‌های دیگر کاهش کارایی مصرف آب را در شرایط اعمال تنش رطوبتی نشان دادند (مصطفایی و دیگران، ۱۴۰۲؛ عشقی‌زاده و دیگران، ۱۳۹۰). در این پژوهش با توجه به کاهش شدید عملکرد دانه در اثر اعمال تیمار تنش آبی و اثر آن بر کارایی مصرف آب، این شاخص برای تیمارهای T2 و T3 در سال اول به ترتیب 0.54 و 0.33 درصد و در سال دوم به ترتیب 0.48 و 0.37 درصد نسبت به تیمارهای T1 در همان سال کاهش نشان داد. در پژوهش حاضر حداکثر کارایی مصرف آب با مقدار 0.83 کیلوگرم بر مترمکعب در سال اول به دست آمده است که بیشتر از 0.6 گزارش شده در کشور بولیوی (Greets et al., 2009) و 0.58 گزارش شده در ترکیه (Yazar, 2015) و کمتر از $1/2$ گزارش شده در ایتالیا (Riccardi et al., 2014) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات شاخص‌های عملکرد و کارایی مصرف آب در مناطق خشک و نیمه خشک کشور تحت شرایط کم‌آبی با بررسی رژیم‌های آبیاری و تحت شرایط شوری آب و خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. میانگین بیشترین مقدار عملکرد دانه در دو سال اجرای آزمایش به میزان 2220 کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار T1 بود. عملکرد زیست توده نیز دارای روند مشابه عملکرد دانه بود. میانگین بیشترین مقدار عملکرد زیست توده در دو سال انجام پژوهش برابر 2720 کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار T1 بود. میانگین تبخیرتغرق تیمار T1 برابر 309 میلی‌متر و تبخیرتغرق تیمار T3 برابر 259 میلی‌متر بود. بیشترین کارایی مصرف آب در سال اول و دوم به ترتیب 0.83 و 0.61 کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمار T1 بود. با توجه به کاهش شدید عملکرد دانه در اثر اعمال تیمار تنش آبی و شوری و اثر آن بر کارایی مصرف آب، این شاخص برای تیمارهای T2 و T3 کاهش داشت. نتایج نشان داد وزن هزار دانه در گیاه کینوا بسیار حساس بوده و با تنش آبی و شرایط شوری، این پارامتر دستخوش تغییرات معنی‌داری خواهد شد. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد گیاه کینوا در منطقه رودشت اصفهان به‌طور متوسط معادل تبخیرتغرق این گیاه با مصرف 3000 مترمکعب در هکتار نیاز خالص آبیاری، کارایی مصرف آب در محدوده 0.61 تا 0.83 کیلوگرم بر مترمکعب خواهد داشت. از این‌رو این حجم از نیاز خالص آبیاری برای این منطقه قابل توصیه می‌باشد. همچنین برنامه ریزی آبیاری برای این گیاه بر مبنای اندازه‌گیری رطوبت خاک و یا تبخیرتغرق در این منطقه پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

این پژوهش در ایستگاه رودشت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان انجام شده است. نویسندگان از حمایت این مرکز و همچنین موسسه تحقیقات خاک و آب قدردانی مینمایند.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

جمالی، صابر؛ گلدانی، مرتضی و زین‌الدین، محبوبه. (۱۳۹۸). بررسی اثر تنش آبی دوره‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۶): ۱۶۸۷-۱۶۹۷.

رزاقی، فاطمه و بهادری قصرالدشتی، محمدرضا. (۱۳۹۶). اثر کم‌آبیاری بر محصول و بهره‌وری آب کینوا در استان فارس. اولین همایش ملی شورورزی، مرکز ملی شوری، یزد.

عشقی زاده، حمیدرضا؛ زاهدی، مرتضی؛ اشرفی، علی و خواجه پور، محمدرضا. (۱۳۸۹). تأثیر رژیم آبیاری و تراکم گیاهی بر رشد و نمو، مقدار رطوبت برگ و عملکرد ذرت شیرین. پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۳(۳): ۵۳-۴۵.

محمدی کیا، رضا؛ دهقانی، محسن؛ گوشه، محی‌الدین و مرشدی، علی. (۱۴۰۳). تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه کینوا. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، شماره فروست ۶۶۱۶۸، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

مصطفایی، مسلم؛ جامی‌الاحمدی، مجید؛ صالحی، معصومه و شهیدی، علی. (۱۴۰۲). بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۲۱(۱): ۲۹-۴۶.

مصطفایی، مسلم؛ جامی‌الاحمدی، مجید؛ صالحی، معصومه و شهیدی، علی. (۱۳۹۶). اثر مقادیر آبیاری مختلف روی عملکرد کینوا. اولین همایش ملی فرصت‌های نوین تولید و اشتغال بخش کشاورزی در شرق کشور، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

REFERENCES

Allen R.G., Pereira L.S., RAES, D., Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Rome, Italy. [http://dl.watereng.ir/doc/98/bahman/fao-56\[WaterEng.ir\].pdf](http://dl.watereng.ir/doc/98/bahman/fao-56[WaterEng.ir].pdf)

Alvarez-Jubete, L., Arendt, E.K., Gallagher, E. (2009). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21: 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>

Bois, J.F., Winkel, T., Lhomme, J.P., Raffaillac, J.P. and Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25: 299-308. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.007>

Bozkurt Çolak, Y., Yazar, A., Alghory, A., & Tekin, S. (2021). Yield and water productivity response of quinoa to various deficit irrigation regimes applied with surface and subsurface drip systems. *The Journal of Agricultural Science*, 1-2: 116-127. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000265>

Choukr-Allah R, Rao NK, Hirich A, Shahid M, Alshankiti A, Toderich K., Gill S. and Ur Rahman Butt K. (2016) Quinoa for marginal environments: toward Future Food and Nutritional Security in MENA and Central Asia Regions. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00346>

Christiansen, J.L., Jacobsen, S.-E. & Jørgensen, S. T. (2010). Photoperiodic effect on flowering and seed development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 60: 539-544. DOI:[10.1080/09064710903295184](https://doi.org/10.1080/09064710903295184)

Drechsel, P., Marjani Zadeh, S. and Pedrero, F. (eds). (2023). Water quality in agriculture: Risks and risk mitigation. Rome, FAO & IWMI. <https://doi.org/10.4060/cc7340en>

El-Harty, E. H., KHAN, M.A., Seleiman, M. F., Afzal, M., Alghamdi, S. S. (2023). Water use efficiency (WUE) and productivity of promising quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown under three water regimes. *Not. Bot. Horti. Agrobiol.*, 51(2): 1-14. DOI:[10.15835/nbha5121320](https://doi.org/10.15835/nbha5121320)

Eshghizadeh, H. R., Zahedi, M., Ashrafi, A., & Khajepour, M. R. (2010). The effect of irrigation regime and plant density on growth and development, leaf moisture content and yield of sweet corn (K.S.C.404). *Journal of Applied Crop Research*, 88, 45-53. (in Persian with English abstract).

Geerts, S., R.S. Mamani, M. Garcia, and D. Raes. (2006). Response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to differential drought stress in the Bolivian Altiplano. Towards a deficit irrigation strategy within a water scarce region. p. 200. In Proc. of the 1st Int. Symp. on *Land and Water Management for Sustainable Irrigated Agric.* 4–8 Apr. 2006. Cukurova Univ., Adana, Turkey.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Mendoza, J. & Huancá, R. (2008c). Indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress. *Field Crops Research*, 108: 150-156. DOI:[10.1016/j.fcr.2008.04.008](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.04.008)

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Taboada, C., Miranda, R., Cusicanqui, J., Mhizha, T. & Vacher, J. (2009). Modelling the potential for closing quinoa yield gaps under varying water availability in the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*, 96: 1652-1658. DOI:[10.1016/j.agwat.2009.06.020](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.020)

Geerts, S., Garcia, M., Jacobsen, S., Vacher, J., Winkel, T., and Bertero, D. (2012). Crop yield response to water: Quinoa. <http://www.fao.org/docrep/016/i2800e/i2800e00.htm>

González, J. A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M., and Prado, F. E. 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies* 50: 35-42.

González-Teuber, M., Urzúa, A., Plaza, P., and Bascuñán-Godoy, L. 2018. Effects of root endophytic fungi on response of *Chenopodium quinoa* to drought stress. *Plant Ecology* 219 (3): 231-240. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0791-1>.

Jamali, S., Goldani, M., and Zeynodin, S. 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on Quinoa. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage* 13 (6): 1687-1697. [In Persian].

Mirsafi, SM., Sepaskhah, AR., Ahmadi, SH. (2024). Quinoa growth and yield, soil water dynamics, root growth, and water use indicators in response to deficit irrigation and planting methods, *Journal of Agriculture and Food Research*, 15: 70-100 <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100970>.

Mohammadikia, R., Dehqani, M., Morshedi, A. and Goosheh, M. (2024). Determination of crop coefficients and water requirement in Quinoa. Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). [In Persian].

Mostafaei, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M., & Shahidi, A. (2023). Investigation of Physiological and Yield Characteristics of Quinoa as Affected by Different Levels of Irrigation and Plant Density. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(1), 29-46. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.74044.1126>

Mostafaie, M., Jamiolahmadi, M., Salehi, M., and Shahidi, A. (2017). Effects of different irrigation on yield of quinoa. The first national conference on new opportunities for production and employment in the agricultural sector in the east of the country (in line with achieving the goals of the resistance economy), February 15, 2017, University of Birjand. [In Persian].

Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Lafelice, G., Marconi, E., d'Andria, R. (2012). Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*: 1-10. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00509.x>

Razzaghi, F., S. H. Ahmadi, S-E. Jacobsen, C. R. Jensen, and M.N. Andersen. (2012). Effects of salinity and soil-drying on radiation use efficiency, water productivity, seed set and final yield of field-grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Agron. Crop Sci*, 198: 173-184. DOI:10.1111/j.1439-037X.2011.00496.x

Razzaghi, F., Bahadori ghasrodashti, M., (2017). Effects of deficit irrigation on yield and water productivity of quinoa in Fars province. *1th conference of salinity hold in National salinity research center. Yazd*. [In Persian].

Reguera M, Conesa CM, Gil-Gómez A, Haros CM, Pérez-Casas MÁ, Briones-Labarca V, Bolaños L, Bonilla I, Álvarez R, Pinto K, Mujica Á, Bascañán-Godoy L. (2018). The impact of different agroecological conditions on the nutritional composition of quinoa seeds. *PeerJ* 6:e4442 <https://doi.org/10.7717/peerj.4442>

Riccardi, M., Pulvento, C., Lavini, A., d'Andria, R., & Jacobsen, S. E. (2014). Growth and ionic content of quinoa under saline irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(4), 246-260.

Rojas, W. (2003). Multivariate Analysis of Genetic Diversity of Bolivian Quinoa Germplasm. *Food Reviews International*, 23: 9-19.

Steduto, P., Hsiao C., Hereres, E., And Raes, D. (2012). Crop yield response to water. *FAO irrigation and drainage paper no 66*, Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/016/i2800e/i2800e00.htm>

Talebnejad, R., Sepaskhah, A.R. (2015). Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agriculture Water Management*, 148: 177-188. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.005>.

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15) : 2541-2547. doi: 10.1002/jsfa.4158.

Walters, H.; Carpenter-Boggs, L.; Desta, K.; Yan, L.; Matanguihan, J.; Murphy, K. (2016). Effect of irrigation, intercrop, and cultivar on agronomic and nutritional characteristics of quinoa. *Agroecol. Sustain. Food Syst.*, 40 : 783–803. <https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1177805>

Yazar A and İnce Kaya Ç. (2014). A new crop for salt affected and dry agricultural areas of Turkey: quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 2: 1440–1446. cigdemincekaya@gmail.com

Yazar, A. 2015. Quinoa experimentation and production in Turkey. In: Bazile, D., D. Bertero, and C. Nieto (Eds.), *State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013*. FAO & CIRAD, Rome, p. 466–477.

ویدر استانی نشده