

Research Article

Plant Prod., 2022, 44(4), 559-572  
http://plantproduction.scu.ac.ir//


ISSN (P): 2588-543X  
ISSN (E): 2588-5979

## Effect of Gamma Amino Butyric Acid on Morpho-Physiological Traits and Seed Yield of Quinoa under Salinity Stress

Abdol-Amir Hatami<sup>1</sup>, Roghayeh Aminian<sup>2</sup>, Sudabeh Mafakheri<sup>3\*</sup>   
Morteza Soleimani Aghdam<sup>4</sup>

- 1- M.Sc. Student of Genetics and Plant Breeding, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
- 2- Roghayeh Aminian, Assistant Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
- 3- **\*Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran (smafakheri@ikiu.ac.ir) .
- 4- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

**Citation:** Hatami A. A., Aminian, R., Mafakheri, S., & Soleimani Aghdam, M. (2022). Effect of gamma amino butyric acid on morpho-physiological traits and seed yield of quinoa under salinity stress. *Plant Productions*, 44(4), 559-572.

 10.22055/ppd.2021.35988.1960

Received: 7 December 2020

Accepted: 14 April 2021

### Abstract

#### Introduction

Salinity and accumulation of salts in the soil are among the most important non-biological stresses that limit agricultural production in arid and semi-arid regions of Iran. To minimize the effects of stress foliar application of gamma-aminobutyric acid (GABA) can make a difference. Therefore, due to the adverse effects of salinity stress on the growth and yield of many plants, including quinoa, it is necessary to use methods to increase plant resistance to improve growth, production, and crop yield. The present study was conducted to study the effect of gamma-aminobutyric acid on reducing the effects of salinity stress and improving the quantitative and qualitative characteristics of quinoa.

#### Materials and Methods

Two-factor factorial experiment in a randomized complete block design with three replications, was conducted during 2018-2019 in the research greenhouse of Imam Khomeini International University in Qazvin, Iran. The experimental factors included salinity of irrigation water at three levels (0, 8 and 16 dS / m sodium chloride) and GABA at five levels (0, 2.5, 5, 7.5 and 10 mM).



Quinoa seeds were obtained from the Seed and Plant Breeding Research Institute. After seedling establishment in the four-leaf stage, salinity was applied by adding sodium chloride to irrigation water. Some morphological and physiological traits such as main stem diameter, number of spikes per plant, grain yield, 1000-seed weight, harvest index; SPAD, leaf relative water content, leaf water loss and membrane stability percentage were also measured.

### **Results and Discussion**

The results showed that salinity had a reducing and significant effect on plant growth and development indices. Application of gamma-amino butyric acid improved the traits of SPAD, plant height, stem length, number of spikes, and harvest index. Therefore, foliar application of GABA under salinity stress conditions is recommended as a compatible osmolyte that reduces salinity damage in quinoa. The salinity  $\times$  GABA interaction was significant for all traits except relative water loss, SPAD index, plant height and number of spikes per plant. At salinity of 16 dS / m, the best GABA treatment increased the leaf relative water content (10%), membrane stability index (29%), stem diameter (11%), 1000-seed weight (37%), grain yield (36 %), plant dry weight (70%), potassium content (58%), potassium to sodium ratio (168%) and decrease in sodium content (117%) compared to non-use of GABA conditions. The maximum leaf SPAD index (39.88), the highest plant height (55.15 cm), and the highest number of spikes per plant (15.03) were obtained in plants treated with 10 mM GABA.

### **Conclusion**

Quinoa is a plant with very high nutritional value that can be an important part of our diet in a near future. The results of this study revealed that although this plant has a high resistance to salinity, increasing the salinity of irrigation water may cause a significant reduction in its growth and development. On the other hand, the use of GABA as a natural factor that improves plant resistance to biotic and abiotic stresses, proved influential to greatly compensate for the damage caused by saline water and significantly increased the resistance of quinoa to salinity.

**Keywords:** GABA, Harvest index, SPAD index

## اثر گاما آمینو بوتیریک اسید بر صفات مروفیز یولوژیک و عملکرد دانه کینوا در شرایط تنش شوری

عبدالامیر حاتمی<sup>۱</sup>، رقیه امینیان<sup>۲</sup>، سودابه مفاخری<sup>۳\*</sup>، مرتضی سلیمانی اقدم<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
 ۲- استادیار، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
 ۳- نویسنده مسئول: استادیار، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران (smafakheri@ikiu.ac.ir)  
 ۴- استادیار، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷

### چکیده

به‌منظور مطالعه اثر گاما آمینو بوتیریک اسید (گابا) بر کاهش اثرات ناشی از تنش شوری و بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کینوا رقم تی تی کا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل ۲ عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. عوامل این آزمایش شامل شوری آب آبیاری در سه سطح (صفر، ۸ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) و گابا در پنج سطح (صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ میلی‌مولار) بود. صفات اندازه‌گیری شده شامل، محتوای نسبی آب برگ، آب نسبی از دست رفته، شاخص پایداری غشا، شاخص سبزیگی، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد سنبله در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، وزن خشک گیاه، شاخص برداشت و مقدار سدیم و پتاسیم برگ بود. نتایج نشان داد که شوری اثر کاهنده و معنی‌داری بر شاخص‌های رشد و نموی کینوا داشت. اثر متقابل شوری و گابا برای همه صفات به جز آب نسبی از دست رفته، شاخص سبزیگی، ارتفاع بوته و تعداد سنبله در بوته معنی‌دار بود. در شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر، برترین تیمار گابا منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ (۱۰ درصد)، شاخص پایداری غشا (۲۹ درصد)، قطر ساقه (۱۱ درصد)، وزن هزار دانه (۳۷ درصد)، عملکرد دانه (۳۶ درصد)، وزن خشک گیاه (۷۰ درصد)، مقدار پتاسیم (۵۸ درصد)، نسبت پتاسیم به سدیم (۱۶۸ درصد) و کاهش مقدار سدیم (۱۱۷ درصد) نسبت به شرایط عدم استفاده از گابا شد. بیشترین شاخص سبزیگی برگ به مقدار ۳۹/۸۸ واحد SPAD، بالاترین ارتفاع بوته (۵۵/۱۵ سانتی‌متر) و بیشترین تعداد سنبله در بوته (۱۵/۰۳ عدد) در گیاهان تیمار شده با ۱۰ میلی‌مولار گابا حاصل گردید.

کلیدواژه‌ها: شاخص برداشت، شاخص سبزیگی، گابا

### مقدمه

آب آبیاری و خاک زراعی تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۵۰ درصد زمین‌های قابل کشت دنیا را تحت تأثیر قرار خواهد داد (Banerjee et al., 2017). در حال حاضر، سازگار سازی سیستم کشاورزی به شوری به یکی از

تغییرات اقلیمی، از طریق ایجاد شرایط نامساعد برای رشد گیاهان، اثر منفی بر تولید محصولات کشاورزی گذاشته است. به‌طوری‌که پیش‌بینی می‌شود شور شدن

گزارش‌ها نشان داده‌اند در گیاهان تحت تنش شوری، چندین نوع اسید آمینه از جمله پرولین و گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) افزایش قابل توجهی می‌یابند. برخی محققان معتقد هستند که این اسیدهای آمینه آزاد به‌عنوان اسمولیت عمل کرده و پتانسیل اسمزی را کنترل می‌کنند. گابا یک اسید آمینه چهار کربنه غیر پروتئینی است که در اکثر موجودات زنده نقش مهمی را ایفا می‌کند (Wang et al., 2019; Hassanpour et al., 2018). پژوهش‌های متعددی، افزایش سریع و زیاد این ترکیب در گیاهان در پاسخ به انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله شوری، گرما، سرما، آفات، بیماری‌ها و ... را گزارش کرده‌اند (Shelp et al., 2003; Koppitz et al., 2004). اخیراً نقش گابا به‌عنوان یک پیام‌رسان مولکولی با دوام طولانی و یک تنظیم‌کننده رشد درون‌زا، برای گیاهان در حال بررسی است. مشخص شده است که استفاده از گابا به‌صورت محلول‌پاشی در گیاه کینوا، توانسته با تشدید متابولیسم «Reactive Oxygen Species (ROS)»، پایداری غشای سلولی را حفظ کرده و تحمل این گیاه به شوری را تا حد قابل توجهی افزایش دهد (Kiani-Pouya et al., 2017). هم‌چنین برخی گزارش‌ها نشان دادند که استفاده بیرونی از گابا سبب خارج شدن کلرید سدیم و افزایش جذب پتاسیم از ریشه جو و کینوا شده است (Cuin and Shabala, 2005; Cuin and Shabala, 2007; Rezzouk, 2020). تأثیر مثبت استفاده از محلول‌پاشی گابا بر افزایش تحمل به تنش شوری در گندم گزارش شده است (Wang et al., 2019).

کینوا گیاهی است با ارزش تغذیه‌ای بسیار بالا که می‌تواند در آینده‌ای نزدیک بخش مهمی از رژیم غذایی ما را تشکیل دهد. از طرفی کاهش کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی و محدود شدن منابع آب شیرین در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران، استفاده از آب‌های شور برای تولید محصولات کشاورزی را به یک ضرورت تبدیل کرده است. بنابراین با توجه به اثرات نامطلوب تنش شوری بر رشد و عملکرد

مهم‌ترین دغدغه‌های محققان بدل شده است چرا که تنش شوری تولید محصولات غذایی را به شدت در تمام جهان محدود خواهد کرد (Tang et al., 2015). گیاهان شورپسند تحمل شوری بالایی دارند. تعداد زیادی گونه گیاهی مقاوم به شوری در مناطق شور و خشک دنیا پراکنده هستند که نقش مهمی در حفاظت از منابع آب و خاک ایفا می‌کنند (Cui et al., 2019). از گونه‌های معروف و ارزشمند این گروه از گیاهان، کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd از خانواده تاج خروس (Amaranthaceae) است که در سال‌های اخیر توجه محققان را به خود جلب کرده است. علت اهمیت ویژه این گیاه، نه تنها تحمل بالای آن به تنش‌های غیرزنده است بلکه، ارزش غذایی قابل توجهی دارد (Nowak et al., 2016). به همین دلیل کینوا یکی از گزینه‌های با ارزش و مناسب کشت در مناطق تحت تأثیر شوری به شمار می‌آید. گیاه کینوا از طرف سازمان خوار و بار جهانی (FAO) به‌عنوان محصولی پراهمیت که نقش پررنگی در تضمین امنیت غذایی جهان ایفا خواهد کرد، معرفی شده است (Bazile et al., 2016). بر اساس نتایج تحقیقی که Iqbal et al. در سال ۲۰۱۸ انجام داده‌اند، مشخص شده است که لاین‌های مختلف کینوا تحمل به شوری مختلفی دارند و می‌توان این گیاه را در اراضی آسیب دیده و تخریب شده به‌عنوان محصولی بهبود دهنده کیفیت خاک کشت نمود. در این حالت علاوه بر سود اقتصادی، از تخریب بیشتر محیط‌زیست نیز جلوگیری خواهد شد. سیستم‌های دفاعی کینوا در مقابله با تنش شوری شامل بیوستنز اسمولیت‌ها، هوموستازی یونی، جای‌گذاری یون‌های سمی و مهار گونه‌های اکسیژن فعال است (Adolf et al., 2012; Razzaghi et al., 2015). با این وجود نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته توسط بسیاری از محققان نشان داده است که تنش شوری سبب کاهش عملکرد بذر، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، شاخص سبزینه‌گی برگ و ... در گیاه کینوا می‌شود (Algozaibi et al., 2015; Viet, 2018; Long, 2016; Aly et al., 2018).

گلخانه به صورت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و متوسط دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. قبل از انجام آزمایش به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایشی، نمونه‌ای مرکب از خاک تهیه و آنالیز گردید (جدول ۱). به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده، از نرم افزار آماری SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌های به دست آمده توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی در هر یک از سطوح تنش انجام شد.

### اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ ((RWC) Relative Water Content)، از هر گلدان ۵ نمونه برگ از برگ‌های کاملاً توسعه یافته بالایی گیاه در اواخر گلدهی، به طور تصادفی برداشت و بلافاصله وزن تر (Fw) با ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری شد. نمونه‌های وزن شده به مدت ۶ ساعت درون آب مقطر قرار گرفت تا به حالت آماس برسند؛ سپس با استفاده از یک پارچه جاذب، رطوبت سطح نمونه گرفته شد و برگ‌ها مجدداً توزین گردیدند تا وزن آماس (Tw) به دست آید. به منظور به دست آوردن وزن خشک (Dw) نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و پس از خشک شدن کامل، وزن خشک اندازه‌گیری گردید. با استفاده از فرمول ۱ میزان آب نسبی برگ برحسب درصد محاسبه شد (Smart and Bingham, 1974).

فرمول ۱

$$RWC\% = [(Fw - Dw) / (Tw - Dw)] \times 100$$

Fw = وزن تر برگ

Dw = وزن خشک برگ

Tw = وزن اشباع برگ

بسیاری از گیاهان از جمله گیاه کینوا، استفاده از روش‌هایی برای افزایش تحمل به تنش شوری در راستای بهبود رشد، تولید و عملکرد محصول، امری ضروری است. به همین دلیل پژوهش حاضر به منظور مطالعه اثر گاما آمینوبوتیریک اسید بر کاهش اثرات ناشی از تنش شوری و بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کینوا اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش شوری و محلول‌پاشی گاما آمینوبوتیریک اسید بر عملکرد و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه کینوا رقم تی تی کا کا آزمایشی به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. عامل اول، شوری آب آبیاری (S) در سه سطح (S<sub>1</sub> = صفر، S<sub>2</sub> = ۸ و S<sub>3</sub> = ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم) و عامل دوم گاما آمینوبوتیریک اسید (G) در پنج سطح (G<sub>1</sub> = صفر، G<sub>2</sub> = ۲/۵، G<sub>3</sub> = ۵، G<sub>4</sub> = ۷/۵ و G<sub>5</sub> = ۱۰ میلی‌مولار) بود و آبیاری با آب معمولی به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. برای انجام این آزمایش از گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۵ و ارتفاع ۳۷ سانتی‌متر استفاده گردید. در کف گلدان‌ها تا ارتفاع دو سانتی‌متری شن درشت ریخته و در هر گلدان ۱۵ کیلوگرم خاک اضافه شد. بذره‌های کینوا رقم تی تی کا کا از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. پس از سبز شدن بذرها، تنک کردن گیاهچه‌ها در چند مرحله انجام گردید و در نهایت در هر گلدان ۵ بوته نگهداری شد. پس از استقرار گیاهچه‌ها در مرحله چهارم برگ‌های تیمارهای شوری با اضافه کردن NaCl خالص به آب آبیاری در چند مرحله انجام گرفت، تا شوری موردنظر حاصل شد. در زمان آغاز گلدهی، گابا در غلظت‌های موردنظر تهیه شد و سه بار به فاصله دو هفته در میان به صورت محلول‌پاشی بر گیاهان اعمال شد. شرایط

Table 1. Physical and chemical properties of experimental soil

Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Total Nitrogen (%)	Phosphorus (mg/kg)	Potassium (mg/kg)	Organic carbon (%)	EC (ds/m)	pH
----------	----------	----------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------	-----------	----

49.5	22.5	28	0.01	20	480	0.09	2.6	7.37
EC <sub>40</sub> = هدایت الکتریکی نمونه در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد (dS/m)								
EC <sub>100</sub> = هدایت الکتریکی نمونه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد (dS/m)								
<b>صفات مرفولوژیک</b>								
در مرحله رسیدن بذرها، پیکر رویشی کینوا از سطح خاک گلدان برداشت گردید و صفاتی مانند ارتفاع بوته (H)، قطر ساقه در ۵ سانتی متری سطح خاک (SD)، تعداد سنبله در بوته (S/P)، وزن هزاردانه (1000SW)، عملکرد دانه در بوته (SY) و وزن خشک گیاه اندازه گیری شد. شاخص برداشت (HI) از فرمول ۴ محاسبه شد.					برای اندازه گیری آب نسبی از دست رفته ((RWL) (Relative Water Content)، از هر گلدان در هر تکرار در اواخر گلدهی ۵ برگ به طور تصادفی انتخاب و بلافاصله وزن تر (F <sub>w</sub> ) با ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه گیری شد. سپس نمونه های وزن شده به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) قرار داده شدند تا وزن پژمردگی آنها به دست آید، در نهایت برای به دست آوردن وزن خشک (D <sub>w</sub> ) نمونه ها در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت در آون قرار گرفتند. با استفاده از فرمول ۲ میزان آب نسبی از دست رفته برگ بر حسب درصد محاسبه گردید (Smart and Bingham, 1974).			
فرمول ۴					فرمول ۲			
۱۰۰ × (عملکرد بیولوژیک در هر گلدان / عملکرد دانه در هر گلدان) = شاخص برداشت بر حسب درصد					$(RWL) = \{(F_w Sw) / (F_w - D_w)\} \times 100$			
<b>مقدار سدیم و پتاسیم برگ</b>					F <sub>w</sub> = وزن تر برگ			
برای اندازه گیری میزان سدیم و پتاسیم، نمونه های برگ از بوته های کاملاً رشد یافته در مرحله اواخر گلدهی کامل، جدا شدند، با آب مقطر شسته و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. نیم گرم از نمونه پودر شده در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴ ساعت سوخته و به خاکستر نمونه ها ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک اضافه شد تا فرایند هضم صورت گیرد. محلول حاصل سپس در حمام بن ماری قرار داده شده و به نسبت یک به ۲۵ با آب مقطر رقیق شد و با روش اسپکتروفوتومتری جذب اتمی میزان سدیم و پتاسیم در آنها اندازه گیری شد (Issac and Kerber, 1971).					D <sub>w</sub> = وزن خشک برگ			
					S <sub>w</sub> = وزن بعد از ۶ ساعت جداسازی از بوته			
					شاخص سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج در وسط برگ های کاملاً توسعه یافته بالایی گیاه (SPAD، مدل ۵۰۲، ساخت شرکت Minolta ژاپن) اندازه گیری شد.			
					برای تعیین شاخص پایداری غشاء (MSI) Membrane (Stability Index)، دو برگ میانی از هر گلدان در اواخر گلدهی انتخاب و ۱/۱ گرم از آن در وضعیت غوطه ور در آب، به مدت ۱۰ دقیقه در حمام بن ماری (مدل WNE10، شرکت مرک آلمان) در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد و ۱/۱ گرم دیگر از آن به مدت ۳۰ دقیقه در حمام بن ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد و سپس هدایت الکتریکی نمونه ها با دستگاه EC متر اندازه گیری و شاخص پایداری غشاء بر اساس رابطه فرمول ۳ محاسبه شد (Azizpour et al., 2010).			
					فرمول ۳			
					$MSI = 1 - (EC_{40} / EC_{100}) \times 100$			

### نتایج و بحث

همان گونه که در جدول های ۲ و ۳، مشاهده می شود، اثر شوری بر صفات محتوی نسبی آب برگ (RWC)، آب نسبی از دست رفته (RWL)، شاخص سبزینگی برگ (SPAD)، شاخص پایداری غشاء (MSI)، درصد سدیم (Na)، درصد پتاسیم (K)، نسبت پتاسیم به سدیم

شاهد ( $G_1$ ) با ارتفاع ۴۹/۱۹ سانتی متر گردید (شکل ۲). تعداد سنبله در گیاه در شرایط شوری صفر ( $S_1$ ) ۱۴/۸۴ عدد بود که در مقایسه با تعداد سنبله گیاهان تحت شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر (۱۲/۳۸)، افزایش معنی داری نشان داد (شکل ۳). صفت تعداد سنبله در بوته تحت تأثیر محلول پاشی با گابا قرار گرفت، بالاترین تعداد سنبله از گیاهان تیمار شده با  $G_5$ ،  $G_4$  و  $G_3$  به ترتیب به میزان ۱۵/۰۳، ۱۴/۹۶ و ۱۴/۶۷ عدد، گزارش گردید (شکل ۴). در تیمار شوری صفر بین قطر ساقه گیاهان تفاوت معنی داری مشاهده نشد. در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، کمترین قطر ساقه (۳/۲۵ میلی متر) مربوط به گیاهان تیمار شده با غلظت ۲/۵ میلی مولار گابا ( $G_2$ ) بود و بین گیاهان تیمار شده با سایر تیمارها اختلافی مشاهده نشد. در شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر، کمترین قطر ساقه (۳/۰۹ میلی متر) مربوط به شرایط عدم استفاده از گابا ( $G_1$ ) بود. در هر سه سطح شوری، وزن هزار دانه (1000 SW) در گیاهان تیمار شده با  $G_5$  (غلظت ۱۰ میلی مولار) بالاترین مقدار بود (۲/۸۷، ۲/۳۸ و ۱/۹۶ گرم به ترتیب در شرایط شوری صفر، ۸ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر). برای عملکرد بذری ( $SY$ ) و وزن خشک کل ( $TDW$ ) کینوا نیز در هر سه سطح تنش شوری، بیشترین مقدار این صفات در گیاهان تیمار شده با  $G_5$  مشاهده شد. در شوری صفر و ۸ دسی زیمنس بر متر بین گیاهان تیمار شده با سطوح مختلف گابا اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد برای شاخص برداشت ( $HI$ ) مشاهده نشد. در شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمارهای  $G_1$ ،  $G_2$ ،  $G_3$  (به ترتیب ۴۲، ۴۱ و ۳۹ درصد) بود (جدول ۴).

( $K/Na$ )، ارتفاع گیاه ( $H$ )، قطر ساقه ( $SD$ )، تعداد سنبله در گیاه ( $S/P$ )، وزن هزار دانه (1000 SW)، عملکرد دانه ( $SY$ ) و وزن خشک کل ( $TDW$ ) در سطح احتمال یک درصد و بر شاخص برداشت ( $HI$ ) در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. کاربرد گابا نیز بر صفات محتوی نسبی آب برگ، آب نسبی از دست رفته، شاخص سبزی‌نگی، شاخص پایداری غشا، درصد سدیم، درصد پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم، ارتفاع گیاه، تعداد سنبله در گیاه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و وزن خشک کل در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی داری داشت. قطر ساقه و شاخص برداشت تحت تأثیر گابا قرار نگرفتند و به لحاظ آماری تأثیر محلول پاشی گابا بر این دو صفت بی معنی بود. اثر متقابل شوری و گابا هم مورد آنالیز قرار گرفت و مشخص شد که اثر متقابل این دو عامل، بر صفات شاخص پایداری غشا، درصد سدیم، درصد پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم در سطح احتمال یک درصد و بر محتوی نسبی آب برگ، قطر ساقه، شاخص برداشت و وزن خشک کل در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی دار داشته است. با این وجود اثر متقابل شوری و گابا بر تعداد سنبله در بوته و ارتفاع گیاه معنی دار نبود (جدول‌های ۲ و ۳).

بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که، ارتفاع بوته تحت تأثیر تیمار شوری قرار گرفت و بیشترین ارتفاع بوته در گیاهان تیمار شده با  $S_1$  (شوری صفر) و به میزان ۵۸/۴ سانتی متر دیده شد. با افزایش شوری ارتفاع بوته به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۱). کاربرد غلظت ۱۰ میلی مولار گابا ( $G_5$ ) سبب افزایش معنی دار ارتفاع بوته کینوا (۵۵/۱۵ سانتی متر) نسبت به گیاهان

**Table 2. Analysis of variance for some physiological and chemical traits in Quinoa**

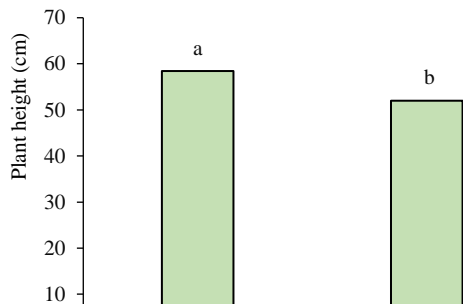
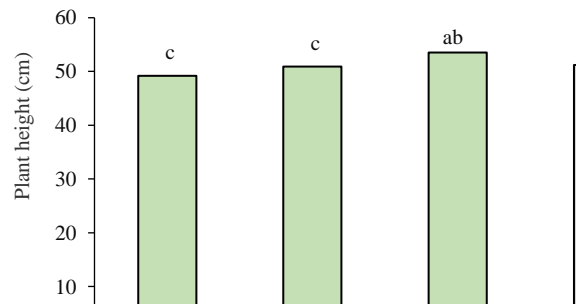
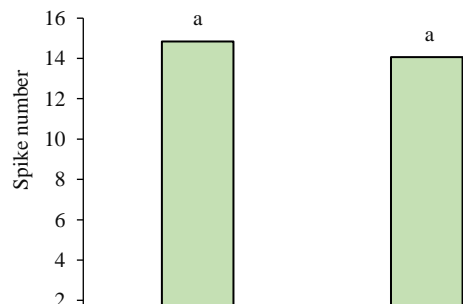
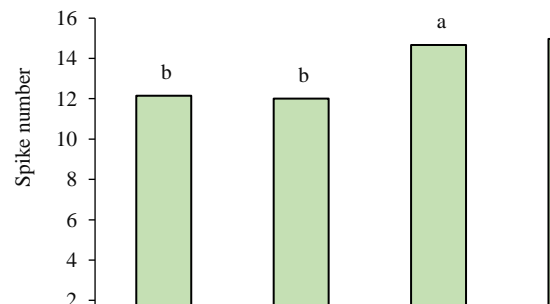
Source of variation	df	RWC	RWL	SPAD	MSI	Na	K	K/Na
Block	2	15.79 <sup>ns</sup>	56.87*	59.76**	1.99 <sup>ns</sup>	0.013 <sup>ns</sup>	0.021 <sup>ns</sup>	0.018 <sup>ns</sup>
Salinity (S)	2	487.74**	425.48**	210.52**	1756.31**	15.22**	87.47**	15.69**
GABA (G)	4	105.07**	80.20**	60.31**	506.13**	3.81**	10.43**	1.68**
S × G	8	23.77*	4.34 <sup>ns</sup>	12.67 <sup>ns</sup>	30.59**	2.05**	33.24**	2.02**
Error	28	10.19	14.10	7.88	4.89	0.012	0.066	0.011
C.V. (%)	-	4.44	4.86	7.98	3.11	2.82	2.32	3.48

ns, \* and \*\* are non-significant and significant at 5 % and 1 % probability levels, respectively.

**Table 3. Analysis of variance for some morphological traits in Quinoa**

Source of variation	df	Plant height	Stem diameter	Spike per Plant	1000 Seed weight	Seed yield	Total dry weight	Harvest index
Block	2	1.68 <sup>ns</sup>	0.04*	2.20 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.02*	0.09 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>
Salinity (S)	2	616.53**	0.28**	23.76**	0.69**	0.66**	7.67**	0.004*
GABA (G)	4	49.45**	0.02 <sup>ns</sup>	21.53**	1.24**	1.09**	7.49**	0.002 <sup>ns</sup>
S × G	8	6.31 <sup>ns</sup>	0.03*	3.04 <sup>ns</sup>	0.08**	0.08**	0.19*	0.003*
Error	28	7.09	0.01	2.07	0.02	0.006	0.08	0.0009
C.V. (%)		5.12	2.99	10.45	7.94	4.78	6.22	8.37

ns, \* and \*\* are non-significant and significant at 5 % and 1 % probability levels, respectively.

**Figure 1. The effect of salinity on plant height****Figure 2. The effect of GABA on plant height****Figure 3. The effect of salinity on the number of spike in plant****Figure 4. The effect of GABA on the number of spike in plant**

عملکرد کل، تعداد دانه و وزن هزاردانه گردید (Cocozza et al., 2013). از سوی دیگر، همان گونه که در بخش نتایج آمده است، استفاده از گابا سبب کاهش اثر منفی شوری بر رشد و نمو گیاه کینوا شده است. در گیاهان، گابا در پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده می‌تواند به سرعت تجمع یابد و باعث مقاومت گیاه در برابر این تنش‌ها شود با وجود این علت این امر که این تجمع ناشی از تنش می‌باشد یا در اثر آسیب سلولی اتفاق می‌افتد هنوز مشخص نشده است (Krishnan et al., 2013). گابا رشد و عملکرد را در محصولات مختلف کنترل می‌کند این ماده از طریق افزایش سطح

یافته‌های تحقیق حاضر، نشان داد که بیشتر صفات کمی اندازه‌گیری شده در گیاه کینوا با افزایش شوری آب آبیاری، به‌طور چشمگیری کاهش و با محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف گابا، بهبود پیدا کردند. نتایج تحقیق Parvez et al. (2020) نیز نتایج گزارش شده را تأیید می‌کند، آن‌ها نشان دادند که استفاده از آب شور در آبیاری کینوا، رشد و عملکرد دو ژنوتیپ آزمایشی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. کاهش فاکتورهای رشدی در شرایط شوری در بسیاری از گیاهان شورپسند دیگر نیز گزارش شده است (Abbas et al., 2017; Rafiq et al., 2017). افزایش شوری در گیاه کینوا باعث کاهش



تیمار G<sub>5</sub> و ۸۶/۲۹ درصد از تیمار G<sub>4</sub> به دست آمده است. در شوری ۸ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر بالاترین مقدار MSI در گیاهان تحت تیمارهای G<sub>4</sub> و G<sub>5</sub> مشاهده شد. در آزمایش حاضر، اثر متقابل شوری و گاما آمینو بوتیریک اسید، بر محتوای نسبی آب برگ کینوا، معنی دار بود. محتوای نسبی آب، وضعیت روزنه‌ها و تعرق برگ را نشان می‌دهد. تجمع گابا به‌عنوان یک اسمولیت، در سلول‌های گیاهی سبب حفظ تورژانس سلولی و محافظت از غشای سلولی شده و سوخت و ساز گیاه را از طریق جلوگیری از هدر رفتن آب سلول، بهبود می‌بخشد (Zarei et al., 2018). اثر متقابل تنش شوری و گابا بر شاخص پایداری غشای سلولی (MSI) نیز معنی دار بود. گابا احتمالاً از طریق افزایش آنزیم‌هایی مانند پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش پایداری غشاء سلولی می‌شود. نتایج تحقیقات Zarei et al. (2018) در گیاه گوجه‌فرنگی نیز یافته‌های این تحقیق را تأیید می‌کند.

هورمون‌های درونزای گیاه، نقش مثبتی در بهبود فاکتورهای مربوط به رشد رویشی و زایشی و همچنین صفات فیزیولوژیکی گیاهان دارد (Ramos-Ruiz et al., 2018). در ذرت، کاربرد گابا به‌طور معنی‌داری باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه و پیکر رویشی شد. در تحقیقی دیگر مشخص شد که استفاده از محلول پاشی گابا، در شرایط تنش شوری، توانست درصد جوانه‌زنی، میزان ماده خشک و رشد و نمو گیاهچه‌های گندم را افزایش دهد (Li et al., 2016 b).

بررسی جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) نشان داد، در شوری صفر و ۸ دسی زیمنس بر متر بیشترین RWC به ترتیب با میزان ۸۵/۹۱ و ۷۷/۰۸ درصد در گیاهان تیمار شده با G<sub>5</sub> حاصل شده است. در شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر کمترین RWC (۶۳/۹۵ درصد) در گیاهان تیمار شده با G<sub>1</sub> مشاهده شد، ولی بین تیمارهای G<sub>2</sub>، G<sub>3</sub>، G<sub>4</sub> و G<sub>5</sub> تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در شوری صفر بالاترین مقدار MSI به ترتیب به میزان‌های ۸۷/۲ درصد از گیاهان تحت

**Table 4. Mean comparison of interaction effects of S × G on Quinoa traits**

Treatments	Traits										
	RWC (%)	MSI (%)	Na%	K%	K/Na	Stem diameter (mm)	1000 seed weight (gr)	Seed yield (gr/Plant)	Total dry weight (gr)	Harvest index (%)	RWC (%)
S <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	73.33 <sup>b</sup>	71.52 <sup>d</sup>	3.22 <sup>a</sup>	15.52 <sup>a</sup>	4.83 <sup>b</sup>	3.52 <sup>a</sup>	1.55 <sup>d</sup>	1.60 <sup>c</sup>	4.50 <sup>c</sup>	36 <sup>a</sup>
	G <sub>2</sub>	77.01 <sup>b</sup>	79.22 <sup>c</sup>	2.41 <sup>e</sup>	13.31 <sup>c</sup>	5.52 <sup>a</sup>	3.54 <sup>a</sup>	1.72 <sup>d</sup>	1.62 <sup>c</sup>	4.79 <sup>bc</sup>	34 <sup>a</sup>
	G <sub>3</sub>	77.38 <sup>b</sup>	83.93 <sup>ab</sup>	2.70 <sup>c</sup>	14.27 <sup>b</sup>	5.28 <sup>a</sup>	3.51 <sup>a</sup>	2.05 <sup>c</sup>	1.71 <sup>c</sup>	5.21 <sup>b</sup>	33 <sup>a</sup>
	G <sub>4</sub>	75.71 <sup>b</sup>	86.29 <sup>a</sup>	2.61 <sup>d</sup>	15.24 <sup>a</sup>	5.84 <sup>a</sup>	3.58 <sup>a</sup>	2.33 <sup>b</sup>	1.85 <sup>b</sup>	5.21 <sup>b</sup>	35 <sup>a</sup>
	G <sub>5</sub>	85.91 <sup>a</sup>	87.2 <sup>a</sup>	2.89 <sup>b</sup>	15.38 <sup>a</sup>	5.32 <sup>a</sup>	3.60 <sup>a</sup>	2.87 <sup>a</sup>	2.76 <sup>a</sup>	7.29 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>
S <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	66.05 <sup>c</sup>	63.43 <sup>c</sup>	3.19 <sup>c</sup>	5.58 <sup>d</sup>	1.75 <sup>d</sup>	3.48 <sup>a</sup>	1.45 <sup>d</sup>	1.43 <sup>d</sup>	3.72 <sup>c</sup>	38 <sup>a</sup>
	G <sub>2</sub>	70.30 <sup>bc</sup>	63.33 <sup>c</sup>	3.50 <sup>a</sup>	9.30 <sup>b</sup>	2.66 <sup>b</sup>	3.25 <sup>b</sup>	1.58 <sup>d</sup>	1.46 <sup>cd</sup>	3.94 <sup>c</sup>	37 <sup>a</sup>
	G <sub>3</sub>	69.61 <sup>c</sup>	73.00 <sup>b</sup>	3.45 <sup>b</sup>	9.28 <sup>b</sup>	2.69 <sup>b</sup>	3.36 <sup>ab</sup>	1.90 <sup>c</sup>	1.59 <sup>c</sup>	4.65 <sup>b</sup>	34 <sup>b</sup>
	G <sub>4</sub>	75.14 <sup>b</sup>	78.00 <sup>a</sup>	3.22 <sup>c</sup>	10.99 <sup>a</sup>	3.4b <sup>a</sup>	3.39 <sup>a</sup>	2.12 <sup>b</sup>	1.76 <sup>b</sup>	4.89 <sup>b</sup>	36 <sup>ab</sup>
	G <sub>5</sub>	77.08 <sup>a</sup>	80.73 <sup>a</sup>	3.38 <sup>b</sup>	8.02 <sup>c</sup>	2.37 <sup>c</sup>	3.40 <sup>a</sup>	2.38 <sup>a</sup>	2.36 <sup>a</sup>	5.77 <sup>b</sup>	41 <sup>a</sup>
S <sub>3</sub>	G <sub>1</sub>	63.95 <sup>b</sup>	51.05 <sup>d</sup>	6.82 <sup>a</sup>	7.43 <sup>d</sup>	1.09 <sup>d</sup>	3.09 <sup>b</sup>	1.43 <sup>d</sup>	1.32 <sup>c</sup>	3.11 <sup>d</sup>	42 <sup>a</sup>
	G <sub>2</sub>	66.53 <sup>ab</sup>	55.44 <sup>c</sup>	3.15 <sup>d</sup>	9.16 <sup>c</sup>	2.93 <sup>a</sup>	3.27 <sup>a</sup>	1.52 <sup>cd</sup>	1.38 <sup>bc</sup>	3.36 <sup>cd</sup>	41 <sup>a</sup>
	G <sub>3</sub>	64.05 <sup>a</sup>	54.40 <sup>cd</sup>	4.53 <sup>c</sup>	7.53 <sup>d</sup>	1.66 <sup>c</sup>	3.30 <sup>a</sup>	1.68 <sup>bc</sup>	1.46 <sup>b</sup>	3.76 <sup>c</sup>	39 <sup>ab</sup>
	G <sub>4</sub>	70.74 <sup>a</sup>	67.00 <sup>b</sup>	4.44 <sup>c</sup>	10.99 <sup>b</sup>	2.47 <sup>b</sup>	3.42 <sup>a</sup>	1.78 <sup>ab</sup>	1.48 <sup>b</sup>	4.36 <sup>b</sup>	34 <sup>b</sup>
	G <sub>5</sub>	67.12 <sup>ab</sup>	72.17 <sup>a</sup>	6.19 <sup>b</sup>	11.77 <sup>a</sup>	1.90 <sup>c</sup>	3.24 <sup>a</sup>	1.96 <sup>a</sup>	1.79 <sup>a</sup>	5.28 <sup>a</sup>	34 <sup>b</sup>

Means followed by the same letter are not significantly different based on Duncan test (slicing, p<0.05).

در شوری صفر بالاترین میزان سدیم (۳/۲۲ میلی گرم در گرم ماده خشک) از برگ گیاهانی حاصل شده است که تحت تأثیر تیمار  $G_1$  بوده‌اند. در شوری ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میزان سدیم (۳/۵۰ و ۶/۸۲ میلی گرم در گرم ماده خشک) به ترتیب در گیاهان تیمار شده با  $G_1$  و  $G_2$  مشاهده شد. در شوری صفر بیشترین میزان پتاسیم هم از گیاهان تیمار شده با  $G_4$  و  $G_5$  به ترتیب با مقدار ۱۵/۲۴ و ۱۵/۳۸ میلی گرم در گرم ماده خشک به دست آمده است. در شوری ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میزان پتاسیم به ترتیب در گیاهان تیمار شده با  $G_4$  (۱۰/۹۹ میلی گرم در گرم ماده خشک) و  $G_5$  (۱۱/۷۷ میلی گرم در گرم ماده خشک) مشاهده شد. در رابطه با نسبت پتاسیم به سدیم نیز در هر سه سطح شوری، گیاهان تحت تیمار  $G_1$  کمترین مقدار را داشتند. همان‌گونه که در بخش نتایج دیده شد، غلظت سدیم در برگ کینوا، با افزایش غلظت شوری به‌طور معنی‌داری بیشتر شد. اکثر گیاهان از روش‌های مختلف مانند کاهش جذب  $Na^+$  توسط ریشه‌ها، انتقال مجدد سدیم جذب شده از شاخساره به سمت ریشه و محدود کردن حرکت  $Na^+$  در آوندهای چوبی؛ از سمیت سدیم می‌کاهند، در رابطه با گیاه کینوا گزارش شده است که استراتژی‌های مقاومت در برابر شوری در بین ژنوتیپ‌های مختلف این گیاه، متفاوت است؛ به‌عنوان مثال برخی ژنوتیپ‌های کینوا از طریق جذب کمتر سدیم و برخی دیگر از طریق حبس سدیم جذب شده درون واکنش‌های خود، از سمیت آن می‌کاهند (Parvez et al., 2020). از سوی دیگر غلظت پتاسیم در شاخساره کینوا، تحت تأثیر شوری کاهش یافت. یون‌های  $K^+$  و  $Na^+$  به شکل جالبی به لحاظ بار یونی و انرژی هیدراتاسیون مشابه هستند بنابراین تحت شرایط شور، سدیم از طریق کانال‌های  $K^+$  که در غشای سلولی وجود دارد وارد سلول می‌شود، لذا با افزایش غلظت سدیم از غلظت پتاسیم کاسته می‌شود. جذب بیش از حد سدیم و کاهش جذب عنصر مهمی مانند پتاسیم به‌طور گسترده بررسی و به اثبات رسیده است (Parvez et al., 2020; )

پتاسیم عنصری حیاتی برای گیاهان است که در ساختار مولکولی بیش از ۵۰ آنزیم نقش داشته و در فرایند سنتز کلروفیل نیز از عناصر مهم به‌شمار می‌آید، بنابراین حفظ مقدار مناسب پتاسیم درون سلول‌ها به‌طور مستقیم با مقاومت به شوری گیاهان ارتباط دارد. به همین دلیل در شرایط محلول‌پاشی با گابا، روند کاهش پتاسیم در تیمارهای شوری، تا حد قابل توجهی کنترل شده است.

بررسی میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شوری، درصد آب نسبی از دست رفته برگ به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار RWL در تیمار  $S_3$  (شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) و به میزان ۸۳/۰۹ درصد اندازه‌گیری شد (شکل ۵). از سوی دیگر با افزایش غلظت گابا، به تدریج از میزان آب نسبی از دست رفته کاسته شد و بیشترین میزان RWL در تیمار  $G_1$  و به مقدار ۸۰/۴۴ درصد و کمترین مقدار این صفت در تیمار  $G_5$  و به میزان ۷۳/۱۵ درصد مشاهده گردید (شکل ۶).

شاخص سبزی‌نگی برگ نیز تحت تأثیر افزایش شوری به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد و همان‌گونه که قابل پیش‌بینی بود، بیشترین میزان این شاخص از گیاهان تیمار شده با شوری صفر ( $S_1$ ) و به مقدار ۳۸/۶۶ ثبت گردید (شکل ۷)، کاربرد گابا در سطح ۱۰ میلی‌مولار توانست مقدار سبزی‌نگی برگ را افزایش دهد و سایر غلظت‌های گابا به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نشان ندادند (شکل ۸).

مکانیسم‌های مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مؤثر بر مقدار فتوسنتز خالص، شاخص سبزی‌نگی SPAD، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و آنزیم‌های مؤثر در متابولیسم نیتروژن، تنظیم مجدد شد که نشان می‌دهد این پارامترها بر رشد مورفولوژیکی گیاهان تحت تأثیر گابا، مؤثر هستند (Li et al., 2016 a). در پژوهش حاضر، با افزایش شوری، شاخص سبزی‌نگی برگ کینوا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

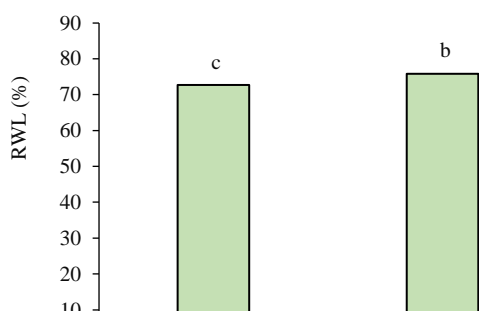


Figure 5. The effect of salinity on RWL

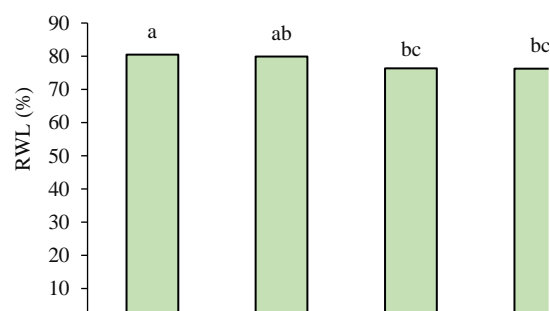


Figure 6. The effect of GABA on RWL

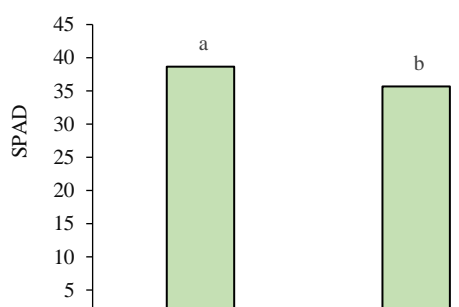


Figure 7. The effect of salinity on SPAD

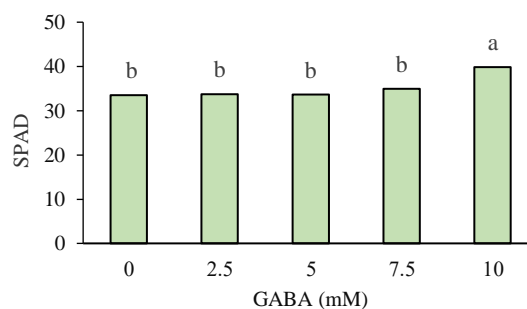


Figure 8. The effect of GABA on SPAD

باعث حذف رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال تولیدشده اتیلن می‌شود و از تخریب غشاء سلولی به خصوص غشاء کلروپلاست جلوگیری می‌کند (Sheteiwy et al., 2019).

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، با وجودی که این گیاه مقاومت بالایی در برابر شوری دارد، اما افزایش شوری آب آبیاری سبب کاهش معنی‌دار رشد و نمو آن گردید، از سوی دیگر استفاده از گابا، به‌عنوان یک عامل طبیعی که مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، افزایش می‌دهد، توانست آسیب ناشی از آب شور را تا حد زیادی جبران کرده و مقاومت کینوا در برابر شوری را به شکل چشمگیری افزایش دهد. با توجه به تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر، استفاده از منابع آب شور در کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد به همین دلیل مطالعه بیشتر در زمینه راه کارهای کم خطر و قابل اعتماد برای جلوگیری از کاهش تولید محصولات غذایی در شرایط نامساعد محیطی، بسیار با ارزش و حیاتی است.

گزارش شده است که در شرایط شوری مقدار اتیلن افزایش یافته در نتیجه کلروفیل گیاه به دلیل فعالیت آنزیم کلروفیل‌از کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. از دلایل دیگر کاهش کلروفیل در تنش شوری را تأثیر در جذب یون‌هایی مثل آهن و منیزیم می‌دانند که در ساختار کلروپلاست نقش اساسی دارند و بنابراین با کاهش جذب این یونها سنتز کلروفیل کاهش یافته در نتیجه فتوسنتز گیاه هم کاهش پیدا می‌کند (Munns and Tester, 2008). هم‌چنین گزارش شده که تنش شوری باعث باز شدن حلقه‌های پورفیرینی شده و مواد سمی حاصل از این تجزیه به واکوئل منتقل شده که وجود این ترکیبات باعث از بین رفتن رنگ سبز برگ می‌گردد (Parida et al., 2004). (Jafar Aghaei et al., 2019). گیاه پنبه و Parvez et al. (2020) در گیاه کینوا، نیز نتایج مشابه تحقیق ما را گزارش نموده‌اند. در مورد تأثیر گابا بر شاخص سبزی‌نگی برگ کینوا، می‌توان گفت که گابا با بالا بردن ظرفیت ضد اکسایشی و افزایش سطوح آنتی‌اکسیدان

کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی  
(ره) کمال تشکر را دارند.

## سپاس‌گزاری

نگارندگان از همکاری آزمایشگاه گیاه‌شناسی دانشکده

## References

- Abbas, G., Saqib, M., Akhtar, J., & Murtaza, G. (2017). Physiological and biochemical characterization of *Acacia stenophylla* and *Acacia albida* exposed to salinity under hydroponic conditions. *Canadian Journal of Research*, 47(3), 1293-1301.
- Adolf, V. I., Shabala, S., Andersen, M. N., Razzaghi, F., & Jacobsen, S. E. (2012). Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant and Soil*, 357(1), 117-129.
- Algozaibi, A. M., El-Garawany, M., Badran, A., & Almadini, A. E. (2015). Effect of irrigation water salinity on the growth of quinoa plant seedlings. *Journal of Agricultural Science*, 7(90), 204-214.
- Aly, A. A., Al-Barakah, F. N., & El-Mahrouky, A. (2018). Salinity stress promote drought tolerance of *Chenopodium Quinoa* Willd. *communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(11), 1331-1343.
- Azizpour, K., Shakiba, M. R., Sima, N. A. K. K., Alyari, H., Mogaddam, M., Esfandiari, E., & Pessarakli, M. (2010). Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 33(2), 859-873.
- Banerjee, K., Gatti, R. C., & Mitra, A. (2017). Climate change-induced salinity variation impacts on a stenocious mangrove species in the Indian Sundarbans. *Ambio*, 46(1), 492-499.
- 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(1), 214-229.
- Cocozza, C., Pulvento, C., Lavini, A., Riccardi, M., d'Andria, R., & Tognetti, R. (2013). Effects of increasing salinity stress and decreasing water availability on ecophysiological traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown in a mediterranean-type agroecosystem. *Journal of Agronomy and Crop Sciences*, 199(4), 229-240.
- Cui, Y. N., Xia, Z. R., Ma, Q., Wang, W. Y., Chai, W. W., & Wang, S. M. (2019). The synergistic effects of sodium and potassium on the xerophyte *Apocynum venetum* in response to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135(1), 489-498.
- Cuin, T. A., & Shabala, S. (2005). Exogenously supplied compatible solutes rapidly ameliorate NaCl-induced potassium eZux from barley roots. *Plant Cell Physiology*, 46(1), 1924-1933.
- Cuin, T. A., & Shabala, S. (2007). Amino acids regulate salinity-induced potassium efflux in barley root epidermis. *Planta*, 225(1), 753-761.
- Hassanpour, H., Bisti, A., & Nojavan, S. (2018). Effect of postharvest treatment of gamma-amino butyric acid on some biochemical and antioxidant properties of sweet cherry cv. Tak Daneyeh Mashhad. *Plant Productions*, 41(2), 67-78. [In Farsi]
- Iqbal, S., Basra, S. M. A., Afzal, I., Wahid, A., Saddiq, M. S., Hafeez, M. B., & Jacobsen, S. E. (2018). Yield potential and salt tolerance of quinoa on salt-degraded soils of Pakistan. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(1), 13-21.
- Isaac, R. A., & Kerber, J. D. (1971). Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant, and water analysis. In L.M. Walsh (Ed), *Instrumental methods for analysis of soil and plant tissues* (P. 17-37). Madison, WI: Soil Science Society of America.

- Jafar Aghaei, M., Zainali, A., Soltani, A., & Galeshi, S. (2019). Reduce of irrigation salinity stress with foliage application of potassium soleplate on cotton. *Journal of Crop Production*, 12(2), 17-32. [In Farsi]
- Kiani-Pouya, A., Roessner, U., Nirupama, S., Rupasinghe, T., & Bazihizina, N. (2017). Epidermal bladder cells confer salinity stress tolerance in thehalophyte quinoa and Atriplex species. *Plant, Cell and Environment*. 40(9), 1900-1915
- Koppitz, H., Dewender, M., Ostendorp, W., & Schmieler, K. (2004). Amino acid as indicators of physiological stress in common reed *Phragmites australis* affected by an extra flood. *Aquatic Botany*, 79(1), 277-294.
- Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V., & Merewitz, E.B. (2013). Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non-protein amino acid  $\gamma$ -aminobutyric acid on perennial ryegrass. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 138(5), 358-366.
- Li, M. F., Guo, S. J., Yang, X. H., Meng, Q. W., & Wei, X. J. (2016 b). Exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid increases salt tolerance of wheat by improving photosynthesis and enhancing activities of antioxidant enzymes. *Biological Plantarum*, 60(1), 123-131.
- Li, W., Lin, J., Ashraf, U., Li, G., Li, Y., Lu, W., Gao, L., Han, F., & Hu, J. (2016 a). Exogenous  $\gamma$ -aminobutyric Acid (GABA) application improved early growth, net photosynthesis, and associated physio-biochemical events in maize. *Frontiers in Plant Science*, 7(1), 1-13.
- Munns, R., & Tester, A. (2008). Wholeplant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13(1), 60-140.
- Nowak, V., Du, J., & Charrondière, U.R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193(1), 47-54.
- Parida, A.K., Das, A.B., Mitra, B., & Mohanty, P. (2004). Salt -stress induced alterations in protein profile and protease activity in the mangrove. *Frontiers in Plant Science*, 59(1), 408-414.
- Parvez, Sh., Abbas, G., Shahid, M., Amjad, M., Hussain, M., Asad, S., ... & Naeem, M. A. (2020). Effect of salinity on physiological, biochemical and photo stabilizing attributes of two genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) exposed to arsenic stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187(1), 120-134.
- Rafiq, M., Muhammad, S., Shamshad, S., & Ali, B. (2017). Comparative study to evaluate efficiency of EDTA and calcium in alleviating arsenic toxicity to germinating and young *Vicia faba* L. seedlings. *Journal of Soils Sediments*, 18(1), 2271-2281.
- Ramos-Ruiz, R., Poirot, E., & Flores-Mosquera, M. (2018). GABA, a non-protein amino acid ubiquitous in food matrices. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 153-154.
- Razzaghi, F., Jacobsen, S. E., Jensen, C. R., & Andersen, M. N. (2015). Ionic and photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity and drought-mechanisms of tolerance. *Functional Plant Biology*, 42(1), 136-148.
- Rezzouk, F., Shahid, M., Elouafi, I., Zhou, B., Araus, B., & Serret, M. (2020). Agronomic performance of irrigated quinoa in desert areas: Comparing different approaches for early assessment of salinity stress. *Agricultural Water Management*, 240(1), 79-98.
- Shelp, B. J., Van Cauwenberghe, O. R., & Bown, A. W. (2003). Gamma aminobutyrate: From intellectual curiosity to practical pest control. *Canadian Journal of Botany*, 81(1), 1045-1048.
- Sheteiwy, M.S., Shao, H., Qi, W., Hamoud, Y., Shaghaleh, H., & Tang, B. (2019). GABA-Alleviated oxidative injury induced by salinity, osmotic stress and their combination by regulating cellular and molecular signals in Rice. *International Journal of Molecular Science*, 20(1), 210-236.

- Smart, R., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53(1), 258-260.
- Tang, X., Mu, X., Shao, H., Wang, H., & Brestic, M. (2015). Global plant-responding mechanisms to salt stress: Physiological and molecular levels and implications in biotechnology. *Biotech*, 35(1), 425-437.
- Viet Long, N. (2016). Effects of salinity stress on growth and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) At flower initiation stages. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, 14(3), 321-327.
- Wang, X., Dong, H., Hou, P., Zhou, H., He, L., & Wang, C. (2019). Effects of exogenous Gamma Aminobutyric acid on absorption and regulation of ion in wheat under salinity stress. *Computer and Computing Technologies in Agriculture*, 546(11), 347-357.
- Zarei, L., Koushesh Saba, M., Vafaei, Y., & Javadi, T. (2018). Effect of gamma-amino-butyric acid foliar application on physiological characters of tomato (cv. Namib) under salinity stress. *Plant Productions*, 41(1), 15-30. [In Farsi]