University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 15, No. 4, pp. 975-990 (Winter 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4181.1984

Original article

The effect of cytokinin foliar on morpho-physiological traits, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity stress conditions

F. Azadi[1], A. Hatami[2, 3], H. Salek Mearaji[4, 5*]

1. B.Sc. Student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Associate Expert at Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI)
3. Ph.D. Candidate, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran
4. Ph.D in Agronomy (Crop Physiology)
5. Lecturer, Department of Agricultural Science, Faculty of Shariati & Bahonar Pakdasht, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

Received 28 February 2021; Accepted 30 May 2021

Extended abstract

Introduction

Salinity as one of the most important abiotic stress that reduce the growth, development and yield of crops and the use of plant growth regulator is one of the beneficial methods to reduce unfavorable effects of salinity stress. Black cumin (*Nigella sativa* L.) is an annual plant from the buttercup family that used widely in traditional and industrial pharmacology and seeds or their extracts contain anti-diabetic, antihistaminic, antihypertensive, anti-inflammatory, anti-microbial, antitumour, galactagogue and insect repellent effects.

Materials and methods

In order to investigate the effects of foliar application of cytokinin on morpho-physiological traits, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.) a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with four replications at the greenhouse condition. The experimental factors included salinity at five levels of 0, 3, 6, 9 and 12 dS m^{-1} and foliar application of cytokinin at three concentrations of 0, 100 and 200 µM. This experiment was performed inside 5 kg plastic pots with a height 21 and openings diameter 23 cm under greenhouse conditions. The substrate composition consisted of a 2:1:1 ratio of arable soil, rotted and sifted manure and aerated sand. The average day and night temperatures of the greenhouse were 27±2 and 18±2°C with relative humidity between 65 and 80%, respectively. Four plants were kept inside each pot and the rest were thinned. Foliar application of cytokinin was performed one stage at the beginning of flowering and the second stage one week after the first foliar application. Physiological traits such as electrolyte leakage, relative water content, chlorophyll pigments and proline were measured one week after the second spraying. Plant height, number of number secondary branch and yield components traits were measured after complete plant maturity.

* Corresponding author: Hadi Salek Mearaji; E-Mail: H.salek228@gmail.com

© 2022, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion

The results of analysis of variance showed that salinity treatment has significant effect on all traits. Salinity stress increases electrolyte leakage and proline, though it has a declining effect on other traits. Was not significant reduction in traits up to 3 dS m^{-1} of salinity. The highest grain yield with 2.42 g pl^{-1} was obtained in the control treatment and the lowest grain yield with 0.81 g pl^{-1} at a concentration of 12 dS m^{-1} of salinity. Cytokinin treatment has significant effect on all traits except chlorophyll a, proline and number of capsule in plant. Foliar application of cytokinin reduced unfordable of salinity stress in black cumin, and 100 µM concentration of cytokinin has high efficiency than 200 µM. The highest percentage of electrolyte leakage, proline and carotenoid content was observed at a salinity level of 12 dS m^{-1}. The lowest of plant height, relative water content, chlorophyll pigments, number seed in capsule, number secondary branch, number capsule in plant, weight of thousand seeds and biological yield observed in 12 dS m^{-1} of salinity level. The lowest grain yield (1.51 g pl^{-1}) was observed in the control treatment and the highest grain yield (1.83 g pl^{-1}) was observed in the concentration of 200 µM of cytokinin. Foliar Cytokinin was effective on all studied morpho-physiological traits under salinity stress. Under salinity stress, cytokinin application only affected the number of grains in capsule and had no significant effect on yield and other yield components traits.

Conclusion

The results obtained in this study showed that the black cumin can tolerate salinity up to 3 dS m^{-1} without any significant reduction in its yield. 1000-grain weight, number of grains per capsule and proline content were the least sensitive to different salinity levels. Biomass yield was also the most sensitive, so that it showed a significant decrease in all salinity levels. The concentration of 100 µM cytokinin was better than 200 µM. The results showed that foliar application of cytokinin under salinity stress may be improve some traits, however, this does not constitute a definite increase in yield and yield components under salinity stress conditions and may not result in a change in grain yield.

***Keywords*:** Benzylaminopurine, Chlorophyll pigment, Hormone, Proline, Relative water content

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4181.1984

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت شرایط تنش شوری

فاطمه آزادی[۱]، اکرم حاتمی[۲،۳]، هادی سالک معراجی[۴،۵*]

۱. دانشجوی کارشناسی، علوم باغبانی، دانشگاه زنجان، ایران
۲ .کارشناس مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال استان زنجان
۳. دانشجوی دکتری، تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه زنجان، ایران
۴. دانش‌آموخته دکتری، فیزیولوژی گیاهان زراعی
۵. مدرس گروه علوم کشاورزی، دانشکده دختران شریعتی و باهنر پاکدشت، دانشگاه فنی و حرفه‌ای

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
بنزیل‌آمینوپورین
پرولین
رنگیزه‌های کلروفیلی
محتوای نسبی آب برگ
هورمون

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۳/۰۹

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۱
۱۵(۴): ۹۷۵-۹۹۰

چکیده

شوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده سبب کاهش رشد، نمو و عملکرد گیاهان شده و کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد، یکی از راهکارهای مفید جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری در گیاهان است. به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل شوری در پنج سطح ۰، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی سیتوکینین در سه غلظت صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شوری بر تمام صفات موردبررسی اثر معنی‌داری داشت. تنش شوری، نشت یونی و پرولین را افزایش و سایر صفات را کاهش داد. بیشترین عملکرد دانه با ۲/۴۲ گرم در بوته در تیمار شاهد و کمترین آن با ۰/۸۱ گرم در بوته در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس شوری به دست آمد. سیتوکینین بر تمام صفات موردبررسی به‌جز کلروفیل a، پرولین و تعداد کپسول در بوته اثر معنی‌داری داشت. محلول‌پاشی سیتوکینین سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری در گیاه سیاه‌دانه گردید و غلظت ۱۰۰ میکرومولار نسبت به غلظت ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین از کارایی بالاتری برخوردار بود. کم‌ترین عملکرد دانه (۱/۵۱ گرم در بوته) در تیمار عدم کاربرد سیتوکینین و بیشترین عملکرد دانه (۱/۸۳ گرم در بوته) در غلظت ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده شد. محلول پاشی سیتوکینین روی تمام صفات مورفوفیزیولوژیکی مورد مطالعه در شرایط تنش شوری اثرگذار بود. در شرایط تنش شوری، کاربرد سیتوکینین فقط بر تعداد دانه در کپسول اثرگذار بود و بر عملکرد و سایر صفات مرتبط با عملکرد اثر معنی‌داری نداشت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که محلول‌پاشی سیتوکینین در شرایط تنش شوری ممکن است سبب بهبود برخی صفات شود ولی این امر به‌منزله افزایش قطعی عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط تنش شوری نبوده و ممکن است تغییری در عملکرد دانه حاصل نشود.

مقدمه

سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) یکی از گیاهان دارویی و معطر بوده (Rashed et al., 2017) که در برخی مناطق ایران به‌صورت خودرو و در برخی مناطق نیز کشت می‌شود (Heidari and Jahantighi, 2014). این گیاه به علت دارا بودن اولئیک اسید، لینولئیک اسید، پالمیتیک اسید و استئاریک اسید، خواص دارویی گسترده‌ای دارد (Matthaus and Ozcan, 2011).

گیاهان در طول دوره رشد و نموی خود در معرض انواع تنش‌ها قرار می‌گیرند. تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که سبب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود

* نگارنده پاسخگو: هادی سالک معراجی. پست الکترونیک: H.salek228@gmail.com

(Sanghera et al., 2011). حدود ۲۰ درصد زمین‌های فاریاب متأثر از تنش شوری بوده و در برخی مناطق به ۳۵ درصد هم می‌رسد (Kumar, 2020; Qadir et al., 2014). تنش شوری تقریباً تمام جنبه‌های رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و سبب کاهش جوانه‌زنی، جذب آب و عناصر غذایی (Lodhi et al., 2009)، رشد ریشه و ساقه، سمیت یونی، اختلال در جذب و به هم زدن تعادل عناصر غذایی داخل گیاه و درنهایت کاهش فتوسنتز و عملکرد می‌شود (Gong et al., 2018).

سیاه‌دانه به‌عنوان یک گیاه دارویی قابلیت رشد در زمین هایی با غلظت بالای نمک را دارد (Alshammari et al., 2017). مقادیر زیاد نمک در تمام مراحل رشد روی رشد گیاه سیاه‌دانه تأثیر گذاشته و حساسیت گیاه به شوری در مراحل مختلف نموی متفاوت است (Wei-Qing et al., 2015). پژوهش‌های متعددی در رابطه با تأثیر تنش شوری روی گیاه دارویی سیاه‌دانه انجام شده است. در پژوهش انجام شده با غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم‌کلرید، گزارش شده که تنش شوری سبب کاهش ارتفاع بوته، عملکرد زیست‌توده، محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سیاه دانه گردید (Ghorbanli et al., 2010). در آزمایش دیگری با سطوح شوری ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر روی گیاه سیاه‌دانه، گزارش شده است که تنش شوری سبب افزایش محتوای پرولین، کاهش وزن هزار دانه، غلظت کلروفیل a و b گردید ولی بر محتوای کاروتنوئید اثر معنی‌داری نداشت (Barghi and Gholipouri, 2020). ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد زیست‌توده گیاه سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری (۲، ۳/۵ و ۵ دسی زیمنس بر متر) کاهش یافت (Molahoseini et al., 2018). همچنین گزارش کرده‌اند که تنش شوری سبب کاهش تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، عملکرد دانه، پروتئین دانه، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاس دانه (Khalid & Shedeed, 2014; Khalid, 2015)، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، مالون دی‌آلدئید (Rahmani et al., 2020)، کاهش درصد روغن (Ghamarnia et al., 2012)، افزایش نشت یونی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Fazeli et al., 2017) و کاهش وزن خشک ساقه و ریشه، طول ریشه و ساقه (Safarnejad et al., 2007; Rahimi et al., 2011) گیاه سیاه‌دانه گردید. همچنین گزارش شده که غلظت‌های ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس کلرید سدیم سبب کاهش تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ و کلروفیل b، میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و مالون دی‌آلدئید (Talei and Reyhani, 2019) گیاه سیاه‌دانه گردید. نتایج کلی به‌دست‌آمده در پژوهش‌های اشاره‌شده بیانگر این مطلب مهم است که میزان تحمل گیاه سیاه‌دانه به تنش شوری برحسب زمان اعمال تنش، نوع نمک، نوع بستر کشت، واریته‌های مورد آزمایش و شرایط رشدی گیاه ازنظر رطوبت نسبی هوا و دما متفاوت است ولی بااین‌حال غلظت‌های مختلف شوری ممکن است بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، مولکولی و درنهایت بر عملکرد و اجزای عملکرد اثر نامطلوب داشته باشد.

هورمون‌های گیاهی اثرات مطلوبی بر بقاء گیاهان تحت شرایط تنش‌های غیرزنده داشته (Wani et al., 2016) و امروزه استفاده از هورمون‌های گیاهی به‌عنوان یک روش جهت بالا بردن تحمل گیاهان به تنش‌ها است (Wani et al., 2016). سیتوکینین یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های رشد و نمو گیاهان بوده (Kang et al., 2012) و در فرآیندهای مختلف گیاه مانند تقسیم سلولی، رشد رویشی (Gordon et al., 2009)، پیری و ریزش برگ (Zubo et al., 2008) متابولیسم نیتروژن و فسفر (Kudoyarova et al., 2015)، رابطه منبع و مخزن (Werner et al., 2008)، کاهش پراکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی (Huang et al., 2011) و ساخت کلروفیل نقش دارد. مشخص‌شده که سیتوکینین‌ها در پاسخ گیاه به تنش‌های مختلف تأثیر داشته (Zalabak et al., 2013) و برخی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی القاء شده توسط تنش را تعدیل می‌نمایند (Werner et al., 2010).

تأثیر مثبت کاربرد سیتوکینین در گیاه استویا (Omidi et al., 2017)، ریحان (Heidargholinezhad and Moradi, 2017)، آلوئه‌ورا (Hazrati Yadekori and Tahmasebi Sarvestani, 2012)، فیلودندرون چینی (He et al., 2018)، اسفناج (Aslam et al., 2016)، بامیه (Mostafa and Brengi, 2018)، کینوا (Salek Mearaji et al., 2020) و سایر گیاهان زراعی بیانگر آن است که کاربرد سیتوکینین می‌تواند اثرات مثبتی بر رشد و نمو گیاه داشته باشد. تاکنون گزارشی مبنی بر تأثیر سیتوکینین بر گیاه دارویی سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری گزارش نشده است. بر این اساس و با توجه به اهمیت این گیاه دارویی و اثرات مطلوب کاربرد سیتوکینین بر گیاهان در شرایط تنش شوری آزمایشی در شرایط گلخانه‌ای طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه به اجرا در آمد. فاکتور اول شامل پنج سطح شوری (صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس) و فاکتور دوم محلول‌پاشی سیتوکینین (بنزیل‌آمینو پورین) در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار بود. بدین منظور، ابتدا ترکیبی از خاک مزرعه، کود دامی پوسیده و الک شده و ماسه‌بادی به نسبت ۱:۱:۲ تهیه و سپس داخل گلدان‌های پلاستیکی پنج کیلوگرمی به ارتفاع و قطر دهانه ۲۱ و ۲۳ سانتی‌متری افزوده شد. کف هر گلدان، ظرفی قرار داده شد تا زه‌آب اضافی در آن ذخیره و مجدداً به گلدان برگردانده شود. پس از پر کردن گلدان‌ها با خاک، داخل هر گلدان تعداد ۱۰ بذر کاشته و بلافاصله با غلظت‌های موردنظر شوری آبیاری انجام شد. میانگین دمای روزانه و شبانه گلخانه به ترتیب ۲±۲۷ و ۲± ۱۸ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی بین ۶۵ تا ۸۰ درصد بود. پس از استقرار کامل بوته‌ها (ظهور دو برگ حقیقی) داخل هر گلدان چهار بوته نگه‌داشته و بقیه تنک شدند. حجم آب آبیاری در هر نوبت برای هر گلدان ۵۰۰ سی‌سی با غلظت‌های موردنظر شوری بود. محلول‌پاشی با سیتوکینین یک مرحله در آغاز گلدهی و مرحله دوم یک هفته پس از محلول‌پاشی نوبت اول انجام گردید. به همین منظور سیتوکینین با سود (NaOH) یک‌دهم نرمال آماده و پس از غروب آفتاب روی گیاهان محلول‌پاشی گردید.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی مانند نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ، رنگیزه‌های کلروفیلی و پرولین یک هفته پس از محلول‌پاشی نوبت دوم انجام شد. صفت محتوای نسبی آب برگ از رابطه ۱ (Ferrat and Lovat, 1999)، نشت یونی از رابطه ۲ (Lutts et al., 1996)، رنگیزه‌های کلروفیلی بر اساس روش آرنون (Arnon, 1949) از رابطه ۳ و محتوای پرولین طبق روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) از رابطه ۴ و طبق روش‌های گفته‌شده در پروتکل‌ها اندازه گیری گردید.

$$RWC\% = (FW - DW) \div (TW - DW) \times 100 \quad [۱]$$

که در آن RWC: محتوای نسبی آب برگ (درصد)، FW: وزن تر نمونه، DW: وزن خشک نمونه، TW: وزن آماس یافته نمونه هستند.

$$EL\% = (EC1 \div EC2) \times 100 \quad [۲]$$

که در آن EL: نشت الکترولیت یا یونی (درصد)، EC1: هدایت الکتریکی محلول پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در دمای ۳۰ درجه، EC2: هدایت الکتریکی محلول پس از اتوکلاو کردن در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۱۵ دقیقه هستند.

$$Chlorophyll\ a\ (mg/g\ FW) = ([12.25(A\ 663) - 2.79(A\ 645)] \times V) \div (1000 \times W) \quad [۳]$$

$$Chlorophyll\ b\ (mg/g\ FW) = ([21.5\ (A\ 645) - 5.1(A\ 663)] \times V) \div (1000 \times W) \quad [۴]$$

$$Chlorophyll\ a+b\ (mg/g\ FW) = ([18.71(A\ 645) + 7.15(A\ 663)] \times V) \div (1000 \times W) \quad [۵]$$

$$Carotenoid\ (mg/g\ FW) = ([1000\ (A\ 470) - 1.82\ (Chl\ a) - 85.02\ (Chl\ b) \div 198] \times V) \div (1000 \times W) \quad [۶]$$

که در این معادلات FW: وزن‌تر نمونه، A663: جذب در طول‌موج ۶۶۳، A645: جذب در طول‌موج ۶۴۵، V: حجم نهایی نمونه استخراج‌شده (میلی‌لیتر)، W: وزن‌تر نمونه (گرم) هستند.

$$\mu m\ proline/g\ FW = [(\mu g\ proline/ml \times ml\ toluene) \div (115.5\ \mu g/\mu mole)] \div [(g\ sample) \div 5] \quad [۷]$$

صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و صفات مرتبط با عملکرد نیز پس از رسیدگی کامل بوته اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری صفات موردنظر، داده‌های به‌دست‌آمده با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه و مقایسات میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش بیانگر تأثیر معنی‌دار ($P\leq0.01$) شوری، سیتوکینین و اثر متقابل شوری × سیتوکینین بر ارتفاع بوته بود (جدول ۱). کمترین ارتفاع بوته (۲۳ سانتی‌متر) در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس شوری و عدم کاربرد سیتوکینین به دست آمد. بیشترین ارتفاع بوته نیز با ۴۳/۷ سانتی‌متر در تیمار بدون شوری و کاربرد ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید (جدول ۲). کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین در شرایط تنش شوری بر ارتفاع بوته مطلوب‌تر از غلظت ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین بود (جدول ۲). رشد و نمو گیاهان حاصل افزایش در تعداد، اندازه

و تمایز سلول‌ها بوده و وابسته به فشار تورژسانس هستند. وجود یون‌های سدیم و کلر در آب یا خاک با کاهش پتانسیل اسمزی، جذب آب توسط ریشه‌ها را کاهش داده درنتیجه فرآیند تقسیم و بزرگ شدن سلولی که وابسته به فشار تورژسانس است، با مشکل مواجه می‌شود (Fathi and Tari, 2016). کاهش ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی گیاه سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری در پژوهش‌های متعددی اثبات گردیده است (Ghorbanli et al., 2010; Molahoseini et al., 2018; Rahimi et al., 2011; Khalid and Shedeed, 2014; Khalid, 2015; Mikaeili et al., 2018). در شرایط تنش شوری، سنتز و انتقال هورمون سیتوکینین و جیبرلین که نقش مهمی در تقسیم و بزرگ شدن سلولی دارند، کاهش پیدا می‌کند (Ma et al., 2020). به نظر می رسد که محلول‌پاشی سیتوکینین با افزایش رشد ریشه (Ghanem et al., 2011)، افزایش کارایی فتوسیستم II و بهبود جذب مواد غذایی (Fahad et al., 2015) سبب افزایش رشد رویشی شده باشد. افزایش ارتفاع با کاربرد سیتوکینین در گیاهان مختلفی گزارش گردیده است (Opabode and Raji, 2018; Hazrati Yadekori and Tahmasebi Sarvestani, 2012; Mostafa and Brengi, 2018; He et al., 2018) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

تعداد شاخه فرعی

تعداد شاخه فرعی بوته تحت تأثیر شوری و سیتوکینین ($P\leq0.01$) قرار گرفت ولی اثر متقابل شوری × سیتوکینین بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر شوری و سیتوکینین بر صفات مورفوفیزیولوژیکی سیاه‌دانه

Table 1. Analysis of variance of the effect of salinity and cytokinin hormone on morpho-physiological traits of black cumin

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Length of plant	تعداد شاخه فرعی Number secondary branch	محتوای نسبی آب برگ RWC	نشت یونی EL
Repeat	**تکرار**	3	20.48 ^{ns}	2.01 ^{ns}	17.62 ^{ns}	9.90 ^{ns}
Salinity (S)	**شوری**	4	503.91**	159.04**	1386.23**	1990.2**
Cytokinin (C)	**سیتوکینین**	2	262.41**	110.71**	583.71**	247.79**
S × C	**شوری × سیتوکینین**	8	16.76**	2.34 ^{ns}	38.19*	175.64**
Error	**خطا**	42	5.14	2.95	16.72	8.17
C.V%	**ضریب تغییرات**	--	*6.85*	*13.31*	*5.93*	*6.48*

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll (a+b)	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline
Repeat	**تکرار**	3	0.004 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	1.91 ^{ns}
Salinity (S)	**شوری**	4	0.222**	0.11**	0.64**	0.07*	73.39**
Cytokinin (C)	**سیتوکینین**	2	0.012 ns	0.12 **	0.15 **	0.02 **	1.68 ^{ns}
S × C	**شوری × سیتوکینین**	8	0.016*	0.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.01**	7.78**
Error	**خطا**	42	0.27	0.68	0.67	0.18	1.24
C.V%	**ضریب تغییرات**	--	*11.91*	*22.36*	*10.15*	*19.07*	*16.09*

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

بیشترین و کمترین تعداد شاخه فرعی با ۱۷/۱ و ۸/۴ عدد به ترتیب در تیمار شاهد و سطح ۱۲ دسی‌زیمنس شوری مشاهده گردید (جدول ۴). کاهش تعداد شاخه فرعی در شرایط شوری را می‌توان با کاهش جذب آب، عناصر غذایی و کاهش طول دوره رشد گیاه مرتبط دانست. کاهش تعداد شاخه فرعی گیاه سیاه‌دانه در آزمایش‌های متعددی گزارش شده است (Ghorbanli et al., 2010; Molahoseini et al., 2018; Rahimi et al., 2011; Khalid and Shedeed, 2014). کاربرد سیتوکینین سبب افزایش تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۴). غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین تعداد شاخه فرعی را به ترتیب ۳۹/۷۰ و ۴۰/۱۹ درصد نسبت به عدم کاربرد سیتوکینین افزایش داد (جدول ۴). یکی از نقش‌های سیتوکینین شروع و شکل‌دهی رویشی گیاهان است (Gordon et al., 2009). به نظر می‌رسد سیتوکینین از طریق کاهش اثرات نامطلوب تنش و بهبود رشد گیاه سبب افزایش رشد گیاه و کاهش غالبیت انتهایی شده و تولید تعداد شاخه فرعی در گیاه را تحریک کرده باشد. افزایش تعداد شاخه فرعی با کاربرد سیتوکینین در گیاهان دارویی مختلفی اثبات شده است (Opabode and Raji, 2018; Hazrati Yadekori and Tahmasebi Sarvestani, 2012; Mostafa and Brengi, 2018; He et al., 2018) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

محتوای نسبی آب برگ

تنش شوری و سیتوکینین در سطح یک درصد ($P\leq0.01$) و اثر متقابل شوری × سیتوکینین در سطح پنج درصد ($P\leq0.05$) بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین محتوای نسبی آب برگ با ۸۱/۷ درصد در تیمار بدون شوری و کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده شد. در غلظت ۸ دسی‌زیمنس شوری و عدم کاربرد سیتوکینین کمترین محتوای نسبی آب برگ (۴۷/۷ درصد) مشاهده گردید (جدول ۲). در غلظت‌های بالای نمک، کاربرد سیتوکینین سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید (جدول ۴). محتوای نسبی آب برگ شاخص مهمی از وضعیت آبی گیاهان بوده (Lugojan and Ciulca, 2011) که در تعیین حساسیت و تحمل به تنش آبی در گیاهان کاربرد فراوانی دارد (Sanchez-Rodriguez et al., 2010). نتایج این آزمایش نشان داد که تنش شوری سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ سیاه‌دانه گردید. کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش شوری در گیاه سیاه‌دانه در آزمایش‌های دیگری نیز گزارش گردیده است (Molahoseini et al., 2018; Fazeli et al., 2017; Rahmani et al., 2020) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. سیتوکینین با افزایش رشد ریشه و تحریک تولید ریشه‌های موئین در تبادل آب نقش ویژه‌ای در گیاه داشته (Ghanem et al., 2011) و برعکس هورمون آبسیزیک اسید عمل می‌نماید (Davies et al., 2005). به نظر می‌رسد که کاربرد سیتوکینین از طریق بهبود جذب آب در شرایط تنش شوری، سبب افزایش محتوای نسبی آب در برگ گیاه دارویی سیاه‌دانه گردیده باشد. افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سیتوکینین در پژوهش‌هایی گزارش شده (Salek Mearaji et al., 2020; Hussein et al., 2015) که بیانگر نقش مثبت سیتوکینین بر محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش اسمزی است.

نشت یونی

نشت یونی تحت تأثیر شوری، سیتوکینین و اثر متقابل شوری × سیتوکینین ($P\leq0.01$) قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین درصد نشت یونی (۷۰/۶ درصد) در غلظت ۹ دسی‌زیمنس شوری و کمترین آن (۲۸/۷ درصد) در تیمار بدون شوری و عدم کاربرد سیتوکینین مشاهده گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که در غلظت‌های پایین نمک، کاربرد سیتوکینین سبب افزایش نشت یونی و در غلظت‌های بالای شوری سبب کاهش آن شد (جدول ۲). تنش اسمزی (شوری و خشکی) باعث تخریب غشاء سلولی و افزایش نفوذپذیری یون‌ها در اثر افزایش حلالیت و پراکسیداسیون چربی‌های غشاء می‌شود. در پژوهش حاضر، تنش شوری سبب افزایش درصد نشت یونی گردید. افزایش نشت یونی گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش شوری در آزمایش دیگری نیز اثبات گردیده است (Fazeli et al., 2017) که همسو با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش است. در شرایط تنش، سیتوکینین از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و از بین بردن ROSها، سبب افزایش پایداری غشاء سلولی می‌گردد (Sayd et al., 2010). تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین بر نشت یونی در آزمایش حاضر، رفتاری دوگانه داشت به این صورت که در شرایط عدم شوری و شوری پائین، سبب افزایش نشت یونی گردید ولی در غلظت‌های بالای نمک نشت یونی را کاهش داد. نتیجه

به‌دست‌آمده را این‌گونه می‌توان استدلال کرد که احتمالاً در شرایط عدم شوری و غلظت‌های پایین نمک، سیتوکینین از طریق افزایش تقسیم سلولی سبب تولید سلول‌های جدید با دیواره سلولی نازک گردیده باشد، به همین جهت نشت یونی این سلول‌ها بیشتر از سلول‌های قدیمی باشد. کاهش نشت یونی با کاربرد سیتوکینین در غلظت‌های بالای شوری را نیز می‌توان این‌گونه توجیه نمود که کاربرد سیتوکینین سبب کاهش اثرات تنش شوری شده و خسارت وارده به سلول‌های غشاء را کاهش و درنتیجه نشت یونی را کاهش داده باشد. گزارش شده که در شرایط مطلوب رطوبتی، کاربرد سیتوکینین ممکن است سبب افزایش نشت یونی شود (Farouk and Sanusi, 2019) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

رنگیزه‌های کلروفیلی

کلروفیل a تحت تأثیر شوری و اثر متقابل شوری × سیتوکینین قرار گرفت (جدول ۱). بالاترین میزان کلروفیل a (۰/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار بدون شوری و کاربرد ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید. کمترین غلظت کلروفیل (۰/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس و کاربرد ۲۰۰ میکرومولار به دست آمد (جدول ۲). کلروفیل b و کلروفیل کل نیز تحت تأثیر شوری و سیتوکینین قرار گرفت ولی اثر متقابل شوری × سیتوکینین معنی‌دار نبود (جدول ۱). بالاترین غلظت کلروفیل b و کلروفیل کل در تیمار بدون شوری و کمترین آن در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس شوری مشاهده گردید (جدول ۴). محلول‌پاشی سیتوکینین فقط در غلظت ۲۰۰ میکرومولار بر کلروفیل b و کلروفیل کل اثر معنی‌داری داشت و سبب افزایش آن‌ها گردید (جدول ۴). شوری، سیتوکینین و اثر متقابل شوری × سیتوکینین بر محتوای کاروتنوئید اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). بالاترین غلظت کارتئوئید با ۰/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس شوری و عدم کاربرد سیتوکینین مشاهده شد. تیمار بدون شوری با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین نیز کمترین غلظت کاروتنوئید (۰/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را دارا بود (جدول ۲). افزایش محتوای کاروتنوئید در بالاترین غلظت شوری می‌تواند به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن باشد که سبب می‌شود شدت تنش وارده به گیاه کاهش یابد.

کلروفیل مهم‌ترین رنگیزه در گیاهان بوده که ظرفیت فتوسنتزی و رشد و نمو گیاه را تعیین می‌کند (Li et al., 2018). نتایج نشان داد که تنش شوری سبب کاهش رنگیزه‌های کلروفیلی گردید. دلیل کاهش رنگیزه‌های کلروفیلی در شرایط تنش شوری، افزایش آنزیم تجزیه‌کننده کلروفیل (کلروفیلاز) و تولید پرولین است. ازآنجاکه گلوتامات، پیش‌ماده سازنده کلروفیل و پرولین است، تولید پرولین در شرایط تنش سبب کاهش گلوتامات اختصاص‌یافته به ساخت کلروفیل می‌شود (Nazarbeygi et al., 2011). کاهش محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش شوری در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (Ghorbanli et al., 2010; Rahimi et al., 2011; Rahmani et al., 2020). البته در پژوهشی گزارش شده که تنش شوری سبب کاهش کلروفیل a، b و کلروفیل کل گیاه سیاه‌دانه گردید ولی بر محتوای کاروتنوئید اثرگذار نبود (Barghi and Gholipouri, 2020).

کاربرد سیتوکینین سبب کاهش اثرات تنش شوری گردید و به همین جهت در بین بسیاری از تیمارها محتوای رنگیزه های کلروفیلی مشابه با تیمار عدم کاربرد سیتوکینین بود (جدول ۴). نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده تأثیر محلول پاشی سیتوکینین بر رنگیزه‌های کلروفیلی (کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید) بود. در اکثر مطالعات گزارش شده که سیتوکینین سبب افزایش رنگیزه‌های کلروفیلی در شرایط تنش می‌شود (Opabode and Owojori, 2018; Lahijani et al., 2018; Kuryata et al., 2020; Salek Mearaji et al., 2020; Aslam et al., 2016; Opabode and Raji, 2018) که با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش همخوانی دارد. هرچند در پژوهشی گزارش شده که کاربرد سیتوکینین سبب کاهش رنگیزه‌های کلروفیلی گردید (He et al., 2018). سیتوکینین در تکامل کلروپلاست‌ها و پیری برگ‌ها نقش داشته و سبب به تأخیر انداختن ریزش و زرد شدن برگ می‌شود (Zubo et al., 2008).

پرولین

شوری و اثر متقابل شوری × سیتوکینین بر میزان پرولین برگ اثر معنی‌داری ($P\leq0.01$) داشت (جدول ۱). تنش شوری سبب افزایش و محلول‌پاشی سیتوکینین سبب کاهش محتوای پرولین برگ گردید (جدول ۲). بیشترین میزان

پرولین با ۱۱/۶۵ میکروگرم بر گرم وزن تر در تیمار ۹ دسی-زیمنس شوری و عدم کاربرد سیتوکینین مشاهده گردید (جدول ۲). تیمار ۳ دسی‌زیمنس شوری با کاربرد ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین نیز کمترین مقدار پرولین (۳/۹۴ میکروگرم بر گرم وزن تر) را دارا بود (جدول ۲). پرولین یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی تحت شرایط تنش‌های غیرزنده بوده که سبب حفظ پایداری غشاءها می‌شود (Hoque et al., 2008). همچنین می‌توان آن را به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی دانست که با حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن از مرگ سلول‌ها در شرایط تنش غیرزنده جلوگیری می‌کند (Ahmadi et al., 2010; Sarvajeet and Narendra, 2010). در غلظت‌های بالای نمک میزان تولید پرولین در برگ سیاه‌دانه افزایش پیدا کرد. افزایش غلظت پرولین سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری در پژوهش-های مختلفی گزارش شده است (Barghi and Gholipouri, 2020; Khalid and Shedeed, 2014; Khalid, 2015; Fazeli et al., 2017; Rahmani et al., 2020) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. در پژوهش حاضر، کاربرد سیتوکینین سبب کاهش میزان پرولین گردید. به نظر می‌رسد که سیتوکینین از طریق کاهش شدت تنش سبب کاهش میزان تولید پرولین در گیاه تحت تنش گردیده باشد. کاهش محتوای پرولین با کاربرد سیتوکینین تحت شرایط تنش در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده (Salek Mearaji et al., 2020; Aslam et al., 2016) که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است.

تعداد کپسول در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار شوری ($P\leq0.01$) بر تعداد کپسول در دانه بود درحالی‌که سیتوکینین و اثر متقابل شوری × سیتوکینین بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). شوری سبب کاهش تعداد کپسول در بوته گردید (جدول ۴). بیشترین تعداد کپسول روی بوته در تیمار عدم شوری و غلظت ۳ دسی‌زیمنس شوری مشاهده گردید (جدول ۴).

جدول ۲. مقایسات میانگین اثرات متقابل صفات موردمطالعه در گیاه دارویی سیاه‌دانه تحت شرایط تنش شوری و محلول‌پاشی سیتوکینین
Table 2. Mean comparisons of the interaction effect of investigate traits in black cumin under salinity stress and cytokinin application

شوری Salinity	سیتوکینین Hormone	ارتفاع بوته Length of plant	محتوای نسبی آب برگ RWC	نشت یونی EL	کلروفیل a Chlorophyll a	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	تعداد دانه در کپسول Number seed in capsule
ds m^{-1}	µM	cm	%		mg g^{-1} FW		µg g^{-1} FW	
0	0	35.42±2.6 de	76±4 ab	28.75±2.2 g	0.84±0.06 ab	0.03 fg±0.24	4.52±0.4 d-f	75.5±4.1 a
	100	42.05±3.8 ab	81.75±3.6 a	32.40±3.1 fg	0.72±0.06 bc	0.04 g±0.21	5.92±0.5 de	71±5.3 a
	200	43.77±3.6 a	81.50±2 a	33.50±1.8 f	0.86±0.07 a	0.07 d-g±0.27	4.51±1.2 ef	74.25±2.8 a
3	0	32.95±1.6 ef	73±2.9 bc	35.71±2.3 ef	0.78±0.05 a-c	0.04 d-g±0.26	5.13±0.7 ef	72.25±3.8 a
	100	42.20±3.7 ab	76±3.9 ab	36.05±2 ef	0.79±0.08 a-c	0.08 c-g±0.31	5.95±0.1 de	71.75±2.9 a
	200	37.52±2.5 cd	80.25±5.5 a	35±1.2 ef	0.78±0.11 a-c	0.02 e-g±0.25	3.94±0.8 f	71.75±2.9 a
6	0	39.60±1.5 bc	68.50±3.4 cd	36.46±2.2 ef	0.66±0.05 cd	0.09 b±0.44	4.67±0.9 ef	69.75±6.5 a
	100	39.65±2.7 bc	72.25±1.7 bc	36.95±1.4 ef	0.74±0.12 a-c	0.05 b-f±0.34	4.25±1.1 ef	72.50±3.8 a
	200	32.92±1.4 ef	77±3.1 ab	38.90±1.8 e	0.72±0.11 bc	0.06 b-e±0.35	7.17±1 cd	71.75±4.7 a
9	0	24.01±0.8 g	54.50±4.5 fg	70.69±2.1 a	0.50±0.07 e	0.04 bc±0.39	11.65±2.2 a	42.75±2 ef
	100	32.05±1.6 ef	58.50±3.2 ef	54.32±3.1 c	0.68±0.08 cd	0.09 bc±0.39	8.84±1.6 bc	58.25±3.5 b
	200	30±3.3 f	71.50±1.7 bc	46.67±1.8 d	0.52±0.09 e	0.10 bc±0.40	7.80±1.1 c	53.25±2.2 bc
12	0	23.05±1.4 g	47.75±2.7 h	67±2.9 a	0.44±0.04 e	0.08 a±0.59	9.79±1 b	38.75±2 f
	100	25.82±1.7 g	51.50±1.7 gh	60.07±4.2 b	0.56±0.06 de	0.04 c-f±0.32	10.08±1 ab	46.5±2.6 de
	200	24.72±1.51 g	63±4.39 de	49.37±5.28d	0.49±0.01 e	0.03 b-d±0.36	9.56±1.2 b	49±1.4 cd

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر شوری و سیتوکینین بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه

Table 3. Analysis of variance of the effect of salinity and cytokinin on yield and yield component of black cumin

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد کپسول در بوته Number capsule in plant	تعداد دانه در کپسول Number seed in capsule	وزن هزار دانه Weight of thousand Seeds	عملکرد زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Repeat	3	0.66 ns	2.28 ns	0.05 ns	0.48 ns	0.03 ns
شوری Salinity (S)	4	65.10**	2198.80**	0.26**	75.99**	5.95**
سیتوکینین Cytokinin (C)	2	3.95 ns	121.95**	0.11*	35.44**	0.53**
شوری × سیتوکینین S × C	8	1.09 ns	66.40**	0.02 ns	0.72 ns	0.04 ns
خطا Error	42	1.96	14.72	0.04	0.79	0.08
ضریب تغییرات C.V%	--	*10.61*	*6.12*	*11.32*	*10.95*	*17.53*

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری درسطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس شوری با ۱۰/۱ کمترین تعداد کپسول بوته را دارا بود (جدول ۴). کاربرد سیتوکینین بر تعداد کپسول روی بوته اثرگذار نبود (جدول ۴). شوری از طریق کاهش پتانسیل اسمزی، سمیت یونی و کاهش جذب عناصر غذایی شده به دنبال آن فتوسنتز کاهش‌یافته و تعداد گل‌های تشکیل‌شده روی بوته کم شده و یا ریزش می‌کنند، درنتیجه عملکرد دانه به دلیل تعداد کم کپسول تولیدشده کاهش می یابد (Tsamaidia et al., 2017). گزارش شده که تنش شوری در گیاه سیاه‌دانه سبب کاهش تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول می‌شود (Ghorbanli et al., 2010) که همسو با یافته‌های تحقیق حاضر است. کاربرد سیتوکینین بر تعداد کپسول در بوته اثرگذار نبود که می‌تواند به علت افزایش تعداد شاخه فرعی و تخصیص مواد فتوسنتزی تولیدشده به آن‌ها بوده باشد که سبب تسهیم مواد فتوسنتزی به شاخه‌های تولیدشده باشد. افزایش تعداد میوه بامیه با کاربرد سیتوکینین گزارش شده است (Mostafa and Brengi, 2018) که برخلاف نتایج این پژوهش است.

تعداد دانه در کپسول

شوری، سیتوکینین و اثر متقابل شوری × سیتوکینین در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول داشت (جدول ۳). با محلول‌پاشی سیتوکینین تا غلظت ۶ دسی زیمنس شوری، تغییری در تعداد دانه در کپسول مشاهده نگردید (جدول ۲). با افزایش سطح شوری از تعداد دانه در هر کپسول کاسته گردید و کاربرد سیتوکینین سبب افزایش تعداد دانه در کپسول شد (جدول ۲). کمترین تعداد دانه در کپسول (۳۸/۷۵) در بالاترین غلظت شوری (۱۲ دسی زیمنس) و عدم کاربرد سیتوکینین مشاهده گردید (جدول ۲). تنش شوری سبب کاهش تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول سیاه‌دانه گردید. کاهش تعداد دانه در کپسول گیاه سیاه‌دانه تحت تنش شوری در آزمایش دیگری نیز گزارش شده (Ghorbanli et al., 2010) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. افزایش تعداد دانه در کپسول با کاربرد سیتوکینین را می‌توان به نقش سیتوکینین در تقسیم سلولی و افزایش اندازه کپسول مرتبط دانست که سبب افزایش تعداد دانه تشکیل‌شده در کپسول می‌شود. از نقش‌های دیگر سیتوکینین در گیاهان کمک به متابولیسم نیتروژن و فسفر (Kudoyarova et al., 2015) است بنابراین ممکن است سیتوکینین از طریق افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش تعداد دانه در کپسول شده باشد. افزایش تعداد دانه در میوه با کاربرد سیتوکینین در گیاه بامیه گزارش شده است (Mostafa and Brengi, 2018) که همسو با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش است.

جدول ۴. مقایسات میانگین صفات موردمطالعه در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش شوری و کاربرد سیتوکینین

Table 4. Mean comparisons of the investigate traits of black cumin under salinity stress and cytokinin application.

تیمار Treatment	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	تعداد شاخه فرعی Number secondary branch	تعداد کپسول در بوته Number capsule in plant	وزن هزار دانه Weight of thousand Seeds	عملکرد زیست-توده تک بوته Biological yield	عملکرد دانه تک بوته Grain yield
	------mg g^{-1} FW--------				g	---------- g pl^{-1} --------	
شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (ds m^{-1})							
0	0.70 a	1.51 a	17.16 a	15.58 a	2.10 a	11 a	2.42 a
3	0.63 ab	1.42 a	15 b	15.50 a	2.04 a	9.79 b	2.29 a
6	0.55 bc	1.26 b	14.08 b	12.66 b	2.01 a	8.84 c	1.80 b
9	0.48 c	1.05 c	9.91 c	12.08 b	1.81 b	6.09 d	1.13 c
12	0.47 c	0.97 c	8.41 d	10.16 c	1.76 b	5.02 e	0.81 d
سیتوکینین (میکرومولار) Cytokinin (µM)							
0	0.51 b	1.16 b	10.20 b	12.70 a	1.87 b	6.61 b	1.51 b
100	0.53 b	1.23 b	14.25 a	13.35 a	1.93 ab	8.85 a	1.72 a
200	0.65 a	1.33 a	14.30 a	13.55 a	2.02 a	8.98 a	1.83 a

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

وزن هزار دانه

شوری در سطح یک درصد ($P\leq0.01$) و محلول‌پاشی سیتوکینین در سطح پنج درصد ($P\leq0.01$) بر وزن هزار دانه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). وزن هزار دانه تا سطح ۶ دسی‌زیمنس شوری کاهش معنی‌داری نداشت درحالی‌که در سطح ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس شوری کاهش یافت (جدول ۴). دلیل کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش شوری را می‌توان به کاهش غلظت داخلی سیتوکینین نسبت داد که در صورت کمبود، تقسیم سلول‌های اندوسپرم دانه کاهش‌یافته و اندازه دانه کوچک‌تر خواهد شد. از دیگر دلایل کاهش وزن هزار دانه و اندازه دانه، کاهش جذب آب، عناصر غذایی از خاک و کاهش فتوسنتز است که سبب کوچک ماندن دانه می‌شود. کاهش وزن هزار دانه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش شوری در آزمایش دیگری نیز گزارش شده است (Barghi and Gholipouri, 2020). محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار وزن هزار دانه را به ترتیب به میزان ۳/۲ و ۸ درصد نسبت به عدم کاربرد سیتوکینین افزایش داد ولی در شرایط تنش شوری، محلول‌پاشی سیتوکینین بر وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳) که دلیل آن را می‌توان با افزایش اندازه منبع و مخزن، افزایش توان جذب آب و عناصر غذایی و همچنین بهبود توان فتوسنتزی گیاه مرتبط دانست. گزارش کردند سیتوکینین با کاهش روند پیری برگ می‌تواند سبب افزایش وزن دانه گردد (Luo et al., 2018). افزایش وزن هزار دانه با کاربرد سیتوکینین در شرایط تنش گزارش شده است (Salek Mearaji et al., 2020; Mostafa and Brengi, 2018) که همسو با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش است.

عملکرد زیست‌توده

نتایج آزمایش نشان داد که شوری و سیتوکینین بر عملکرد زیست‌توده اثر معنی‌داری ($P\leq0.01$) داشت (جدول ۳). بیشترین و کم‌ترین عملکرد زیست‌توده با ۱۱ و ۵/۰۲ گرم در بوته به ترتیب در تیمار عدم شوری و غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس مشاهده گردید (جدول ۴). از دلایل کاهش عملکرد زیست توده در شرایط تنش شوری می‌توان به عدم جذب آب و مواد غذایی کافی، عدم فتوسنتز مطلوب، کاهش ارتفاع، تعداد شاخه‌های فرعی اشاره کرد که درمجموع روی عملکرد زیست توده اثرگذار است. کاهش عملکرد زیست‌توده در گیاه سیاه دانه تحت شرایط تنش شوری در آزمایش‌های مختلفی گزارش شده (Khalid and Shedeed, 2014; Khalid, 2015; Khalid and Shedeed, 2014; Khalid, 2015;

Ghamarnia et al., 2012; Molahoseini et al., 2018; Ghorbanli et al., 2010) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. محلول‌پاشی سیتوکینین نیز سبب افزایش عملکرد زیست‌توده نسبت به عدم کاربرد سیتوکینین گردید و بین غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد (جدول ۳). افزایش عملکرد زیست‌توده در شرایط تنش با کاربرد سیتوکینین در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است (Salek Mearaji et al., 2020; Opabode and Raji, 2018; Hazrati Yadekori and Tahmasebi Sarvestani, 2012; Hussein et al., 2015) که می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت سیتوکینین در جذب آب، عناصر غذایی، بهبود روابط آبی گیاه و حفظ سطح سبز فتوسنتز کننده باشد که درنهایت با افزایش توان فتوسنتزی، افزایش زیست‌توده را به همراه داشته است. نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر بیانگر عدم تأثیر سیتوکینین بر عملکرد زیست‌توده سیاه‌دانه در شرایط تنش شوری بود.

عملکرد دانه

نتایج نشان‌دهنده اثر معنی‌دار ($P\leq0.01$) شوری و سیتوکینین بر عملکرد دانه بود (جدول ۳). بالاترین عملکرد دانه در تیمار بدون شوری و ۳ دسی‌زیمنس شوری و کمترین آن در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس مشاهده شد (جدول ۴). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش شوری را می‌توان به علت کاهش اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد مانند تعداد شاخه فرعی و گل، تعداد کپسول روی بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه باشد که سبب افت عملکرد دانه می‌شود. محلول‌پاشی سیتوکینین سبب افزایش عملکرد دانه گردید ولی بین غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری از نظر میزان عملکرد وجود نداشت (جدول ۴). افزایش عملکرد دانه با کاربرد سیتوکینین را می‌توان به افزایش اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد ارتباط داد. سیتوکینین از طریق بهبود صفاتی مانند تعداد برگ و سطح برگ، روابط آبی گیاه، تأخیر در پیری برگ، بهبود فتوسنتز و رنگیزه‌های کلروفیلی، بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش قدرت منبع و مخزن درنهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. گزارش‌های مختلف روی گیاهان بیانگر تأثیر مثبت کاربرد سیتوکینین بر عملکرد دانه است (Salek Mearaji et al., 2020; Opabode and Raji, 2018; Hazrati Yadekori and Tahmasebi Sarvestani, 2012; Hussein et al., 2015) که با نتایج یافته‌های این پژوهش همسو است. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده عدم تأثیرگذاری سیتوکینین بر عملکرد دانه سیاه دانه در شرایط تنش شوری بود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد که گیاه سیاه‌دانه تا شوری ۳ دسی‌زیمنس را بدون این‌که کاهش معنی‌داری در عملکرد آن مشاهده شود، می‌تواند تحمل کند. از بین صفات موردبررسی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در کپسول و محتوای پرولین کمترین حساسیت را به سطوح مختلف شوری داشتند. عملکرد زیست‌توده نیز بیشترین حساسیت را داشت به‌طوری‌که در همه غلظت‌های نمک کاهش معنی‌داری از خود نشان داد. کاربرد سیتوکینین سبب کاهش اثرات تنش شوری گردید ولی غلظت ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین نسبت به غلظت ۲۰۰ میکرومولار از کارایی بهتری برخوردار بود و در بسیاری از صفات با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کاربرد سیتوکینین در شرایط تنش شوری ممکن است سبب بهبود برخی صفات گردد ولی این بهبود در صفات الزاماً به‌منزله‌ی افزایش در عملکرد دانه نخواهد بود، بنابراین پیشنهاد می‌شود که در صورت به‌صرفه بودن ازنظر اقتصادی، غلظت‌های بالاتر سیتوکینین مورد مطالعه و تأثیر آن بر عملکرد دانه در شرایط تنش شوری گزارش گردد.

منابع

Ahmadi, A., Emam, Y., Pessarakli, M., 2010. Biochemical changes in maize seedlings exposed to drought stress conditions at different nitrogen levels. Journal of Plant Nutrition. 33, 541-556.

Alshammari, A.S., 2017. Light, salinity and temperature effects on the seed germination of *Nigella sativa* L. Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences. 6, 25-31.

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24, 1-15.

Aslam, M., Sultana, B., Anwar, F., Munir, H., 2016. Foliar spray of selected plant growth regulators affected the biochemical and

antioxidant attributes of spinach in a field experiment. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 40, 136-145.

Barghi, A., Gholipouri, A., 2020. Effects of jasmonic acid and 24-epi brassinolid on quantitative and qualitative yield of *Nigella sativa* L. under salinity stress condition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 36, 837-850. [In Persian with English Summary].

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39, 205-207.

Davies, W.J., Kudoyarova, G. and Hartung, W., 2005. Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plants response to drought. Journal of Plant Growth Regulation. 24, 285-295.

Fahad, S., Hussain, S., Bano, A., Saud, S., Hassan, S., Shan, D., Khan, F.A., Khan, F., Chen, Y., Wu, C., Tabassum, M.A., Chun, M.X., Afzal, M., Jan, A., Jan, M.T., Huang, J., 2015. Potential role of phytohormones and plant growth promoting rhizobacteria in abiotic stresses: Consequences for changing environment. Environmental Science and Pollution Research. 22, 4907-4921.

Farouk, S., Sanusi, A.B.A.J., 2019. Potent induction of wheat flowering and its related to yield components. Journal of Animal and Poultry Sciences., 19, 270-278.

Fathi, A., Tari, D.B., 2016. Effect of drought stress and its mechanism in plants. International Journal of Life Sciences. 10, 1-6.

Fazeli, A., Zarei, B., Tahmasebi, Z., 2017. The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of Black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Plant Biology. 9, 69-83. [In Persian with English Summary].

Ferrat, I.I., Lovat, C.J., 1999. Relation between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. Crop Science. 39, 467-470.

Ghamarnia, H., Jalili, Z., Daichin, S., 2012. The effects of saline irrigation water on different components of black cumin (*Nigella sativa* L.). International Journal of AgriScience, 2, 915-922.

Ghanem, M.E., Albacete, A., Smigocki, A.C., Frébort, I., Pospísilová, H., Martínez-Andújar, C., Acosta, M., Sánchez-Bravo, J., Lutts, S., Dodd, I.C., Pérez-Alfocea, F., 2011. Root-synthesized cytokinins improve shoot growth and fruit yield in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Journal of Experimental Botany. 62, 125-140.

Ghorbanli, M., Adib hashemi, N., Peyvandi, M., 2010. Study of salinity and ascorbic acid on some physiological responses of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26, 370-388. [In Persian with English Summary].

Gong, D.H., Wang, G.Z., Si, W.T., Zhou, Y., Liu, Z., Jia, J., 2018. Effects of salt stress on photosynthetic pigments and activity of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in *Kalidium foliatum*. Russian Journal of Plant Physiology.65, 98-103.

Gordon, S.P., Chickarmane, V.S., Ohno, C., Meyerowitz, E.M., 2009. Multiple feedback loops through cytokinin signaling control stem cell number within the Arabidopsis shoot meristem. Proceedings of the National Academy of Sciences. 106, 16529-16534.

Hazrati Yadekori, S., Tahmasebi Sarvestani, Z., 2012. Effects of different nitrogen fertilizer levels and hormone benzyl adenine (BA) on growth and ramet production of *Aloe vera* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 28, 210-223. [In Persian with English Summary].

He, H., Qin, J., Cheng, X., Xu, K., Teng, L., Zhang, D., 2018. Effects of exogenous 6-BA and NAA on growth and contents of medicinal ingredient of *Phellodendron chinense* seedlings. Saudi Journal of Biological Sciences. 25, 1189-1195.

Heidargholinezhad, F., Moradi, H., 2017. Effect of benzylaminopurine (BAP) and variety on basil regeneration. Journal of Medicinal Plants Biotechnology. 3, 30-39.

Heidari, M., Jahantighi, H., 2014. Evaluate effect of water stress and different amounts of nitrogen fertilizer on seed quality of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Iranian Agricultural Research. 11, 640-647. [In Persian with English Summary].

Huang, J., Han, B., Xu, S., Zhou, M., Shen, W., 2011. Heme oxygenase-1 is involved in the cytokinin-induced alleviation of senescence in detached wheat leaves during dark incubation. Journal of Plant Physiology. 168, 768-775.

Hussein, Y., Amin, G., Azab, A., Gahin, H., 2015. Induction of drought stress resistance in sesame (*Sesamum indicum* L.) plant by salicylic acid and kinetin. Journal of Plant Sciences. 10, 128-141.

Kang, N.Y., Cho, C., Kim, N.Y., Kim, J., 2012. Cytokinin receptor-dependent and receptor-independent pathways in the dehydration response of *Arabidopsis thaliana*. Journal of Plant Physiology. 169, 1382-1391.

Khalid, K.A., 2015. Seed yield, fixed oil, fatty acids and nutrient content of Nigella sativa L. cultivated under salt stress conditions. Journal of Agronomy. 14, 241-246.

Khalid, k.a., Shedeed, M.R., 2014. The effects of saline irrigation water and cobalt on growth and chemical composition in *Nigella sativa*. Nusantara Bioscience. 6, 146-151.

Kudoyarova, G.R., Dodd, I.C., Veselov, D.S., Rothwell, S.A., Yu. Veselov, S., 2015. Common and specific responses to availability of mineral nutrients and water. Journal of Experimental Botany. 66, 2133-2144.

Kumar, S.B.P., 2020. Salinity stress, its physiological response and mitigating effects of microbial bio inoculants and organic compounds. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 9, 1397-1303.

Kuryata, V.G., Kushnir, O.V., Kravets, O.O., 2020. Effect of 6-Benzylaminopurine on morphogenesis and production process of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Ukrainian Journal of Ecology. 10, 1-6.

Lahijani, M.J., Kafi, M., Nezami, A., Nabati, J., Erwin, J., 2018. Effect of 6-benzylaminopurine and abscisic acid on gas exchange, biochemical traits, and minituber production of two potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Agricultural Science and Technology. 20, 129-139.

Li, Y., He, N., Hou, J., Xu, L., Liu, C., Zhang, J., Wang, Q., Zhang, X., Wu, X., 2018. Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. Frontiers in Ecology and Evolution. 6, 1-10.

Tsamaidia, D., Dafererab, D., Karapanosa, I.C., Passama, H.C., 2017. The effect of water deficiency and salinity on the growth and quality of fresh dill (*Anethum graveolens* L.) during autumn and spring cultivation. International Journal of Plant Production. 11, 33-46.

Hoque, M.A., Banu, M.N.A., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., Murata, Y., 2008. Proline and glycinebetaine enhance antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems and reduce NaCl-induced damage in cultured tobacco cells. Journal of Plant Physiology, 165, 813-824.

Lodhi, A., Arshad, M., Azam, F., Sajjad, M.H., Ashraf, M., 2009. Changes in mineral and mineralizable N of soil incubated at varying salinity, moisture and temperature regimes. Pakistan Journal of Botany. 41, 967-980.

Lugojan, C., Ciulca, S., 2011. Evaluation of relative water content in winter wheat. Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology. 15, 173-177.

Luo, Y., Tang, Y., Zhang, X., Li, W., Chang, Y., Pang, D., Xu, X., Li, Y., Wang, Z., 2018. Interactions between cytokinin and nitrogen contribute to grain mass in wheat cultivars by regulating the flag leaf senescence process. The Crop Journal. 6, 538-551.

Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany. 78, 389-398.

Matthaus, B., Ozcan, M.M., 2011. Fatty Acids, Tocopherol, and sterol contents of some nigella species seed oil. Czech Journal of Food Sciences. 29, 45 150.

Mikaeili, Y., Nourafcan, H., Ajalli, J., 2018. Effect of indole acetic acid and benzyl amino purine on growth indices of evening primrose. Agroecology Journal. 14, 45-55.

Molahoseini, H., Feizian, M., Davazdaemami, S., Mehdi Pour, E., 2018. Effects of silicone nano oxide coated with humic acid and salicylic acid on some morphological parameters and ionic composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 34, 629-644. [In Persian with English Summary].

Mostafa, O.M., Soliman, M.I., 2010. Ultrastructure alterations of adult male Schistosoma mansoni harbored in albino mice treated with Sidr honey and/or *Nigella sativa* oil. Journal of King Saud University-Science. 22, 111-121.

Mostafa, S.H., Brengi, A., 2018. Growth, yield and chemical composition of okra as affected by three types and levels of synthetic cytokinins under high temperature conditions. Alexandria Journal of Agricultural Sciences. 63, 365-372.

Nazarbeygi, E., Yazdi, H., Naseri, R., Soleimani, R., 2011. The effects of different levels of salinity on proline and a, b chlorophylls in canola. American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science. 1, 70-74.

Ma, Y., Dias, M.C., Freitas, H., 2020. Drought and Salinity Stress Responses and Microbe-Induced Tolerance in Plants. Frontiers in Plant Science. 11, 1-18.

Nikakhlagh, S., Rahim, F., Aryani, F.H.N., Syahpoush, A., Brougerdnya, M.G., Saki, N., 2011. Herbal treatment of allergic rhinitis: the use of *Nigella sativa*. American Journal of Otolaryngology. 32, 402-407.

Omidi, H., Sarami, R., Bostani, A.A., 2017. The effect of auxin and cytokinin on the biochemical parameters and peroxidase activity (H_2O_2) of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under salinity stress. Journal of Soil and Plant Interactions. 8, 91-105.

Opabode, J.T., Raji I.B., 2018. Influence of Exogenous 6-Benzylaminopurine on growth, physiological parameters, proximate content and mineral element composition of pot-grown *Solanecio biafrae*. Advances in Crop Science and Technology. 6, 1-7.

Opabode, J.T., Owojori, S., 2018. Response of African eggplant (*Solanum macrocarpon* L.) to foliar application of 6-benzylaminopurine and gibberellic acid. Journal of Horticultural Research. 26, 37-45.

Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Drechsel, P., Noble, A.D., 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. Natural Resources Forum. 38, 282-295.

Rahimi, A., Shamsodin Saeed, M., Etemadi, F., 2011. Effects of salt stress on germination, growth and ion contents of Cumin (*Nigella sativa* L.). Arid Biome, 1, 20-30. [In Persian with English Summary].

Rahmani, V., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A. R., Balouchi, H.R., Hamidian, M., 2020. Physiological responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to calcium silicate under drought and salinity stresses with iso-osmotic potential. Plant Process and Function. 9, 77-90. [In Persian with English Summary].

Rashed, N., Shala, A., Mahmoud, M.A., 2017. Alleviation of salt stress in *Nigella sativa* L. by gibberellic acid and rhizobacteria. Alexandria Science Exchange Journal. 38, 785-799.

Safarnejad, A., Sadr, S.V.A. Hamidi, H., 2007. Effect of salinity stress on morphological characters of *Nigella sativa*. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 15(1), 75-84. [In Persian with English Summary].

Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., Sepahvand, N.A., 2020. The effect of cytokinin on physiological and related traits with yield of quinoa under drought stress conditions. Journal of Crops Improvement. 22, 419-432. [In Persian with English Summary].

Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., Ruiz, J.M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Science. 178, 30-40.

Sanghera, G.S., Wani, S.H., Hussain, W., Singh, N.B., 2011. Engineering cold stress tolerance in crop plants. Current Ggenomics. 12, 30-43.

Sarvajeet, S.G., Narendra, T., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry. 48, 909-930.

Sayd, S.S., Taie, H.A., Taha, L.S., 2010. Micropropagation, antioxidant activity, total phenolics and flavonoids content of gardenia jasminoides ellis as affected by growth regulators. International Journal of Academic Research. 2, 1-8.

Talei, D., Reyhani, A., 2019. Morphophysiological responses of *Nigella sativa* L. to salicylic acid under salinity stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 949-960. [In Persian with English Summary].

Wani, S.H., Kumar, V., Shriram, V., Sah, S.K., 2016. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. The Crop Journal., 4, 162-176.

Wang, W.Q., Liu, S.J., Song, S.Q., Møller, I.M., 2015. Proteomics of seed development, desiccation tolerance, germination and vigor. Plant Physiology and Biochemistry. 86, 1–15.

Werner, T., Nehnevajova, E., Köllmer, I., Novák, O., Strnad, M., Krämer, U., Schmülling, T., 2010. Root-Specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in Arabidopsis and Tobacco. Plant Cell. 22, 3905-3920.

Zalabák, D., Pospíšilová, H., Šmehilová, M., Mrízová, K., Frébort, I., Galuszka, P., 2013. Genetic engineering of cytokinin metabolism: prospective way to improve agricultural traits of crop plants. Biotechnology Advances. 31, 97–117.

Zarei, B., Fazeli, A., Tahmasebi, Z., 2019. Salicylic acid in reducing effect of salinity on some growth parameters of Black cumin (*Nigella sativa*). Plant Process and Function. 8, 287-298. [In Persian with English Summary].

Zubo, Y.O., Yamburenko, M.V., Selivankina, S.Y., Shakirova, F.M., Avalbaev, A.M., Kudryakova, N.V., Zubkova, N.K., Liere, K., Kulaeva, O.N., Kusnetsov, V.V., Börner, T., 2008. Cytokinin stimulates chloroplast transcription in detached barley leaves. Plant Physiology. 148, 1082-1093.