The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

Effect of Pinching and Thidiazuron on Morphophysiological and Biochemical Properties of *Pelargonium graveolens* Under Water Deficit Stress

Abbass Yasemi [1], Abdolhossein Rezaei Nejad [2]✉, Sadegh Mousavi-Fard[3], Farhad Beiranvand[4]

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: abassyasemi@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: rezaeinejad.h@lu.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal Bakhtiari, Iran. E-mail: Mousavifard.S@sku.ac.ir
4. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: Farhadbeiranvand@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 31 July 2023

Received in revised form: 10 November 2023

Accepted: 26 December 2023

Published online: Summer 2024

Keywords:

Drought,

Number of branches,

Photosynthetic pigments,

Plant height,

Relative water content.

ABSTRACT

In order to investigate the effect of pinching and foliar spraying of thidiazuron on improving the tolerance to water-deficit stress in *Pelargonium graveolens* plants, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with four replications in the research greenhouses of the Faculty of Agriculture of Lorestan University in 2022. The first factor was water deficit stress (80 (control), 50 and 20% available water in the soil (AWC)), the second factor was pinching and non-pinching, and the third one included thidiazoron foliar spraying (zero, 5 and 10 mg/liter). The results showed that water deficit stress had a decrease effect on the indices of plant height, number of lateral branches, total fresh and dry weight, relative water content and essential oil percentage, whereas it had an increase impact on electrolyte leakage, malondialdehyde content and catalase enzyme activity. Pinching of plants and foliar application of thidiazuron in the control level decreased the plant height, number of leaves and the relative water content of the leaves, but increased total fresh and dry weight, root growth, concentration of photosynthetic pigments and electrolyte leakage. However, under the water deficit stress, plant height, number of lateral branches, number of leaves, root growth, total fresh and dry weight, relative leaf water content and essential oil yield increased and electrolyte leakage, malondialdehyde content and catalase enzyme activity decreased. In general, the results showed that the application of pinching and thidiazoron, particularly at a concentration of 5 mg/liter, resulted in a reduction of the adverse effects of water deficit stress by improving the water balance and promoting root growth.

Cite this article: Yasemi, A., Rezaei Nejad, A., Mousavi-Fard, S. & Beiranvand, F. (2024). Effect of Pinching and Thidiazuron on Morphophysiological and Biochemical Properties of *Pelargonium graveolens* Under Water Deficit Stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (2), 215-240. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.363042.2117

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.363042.2117

Extended Abstract

Introduction

The growth and development of plants in arid and semi-arid areas is limited by lack of water, resulting in changes in their physiological and biochemical characteristics, such as an imbalance in hormonal levels that can cause a decrease in plant growth. Therefore, the utilization of plant growth regulators can be an effective factor in improving tolerance to abiotic stresses. On the other hand, in plants with a strong dominance of terminal bud, application of plant growth regulators causes the promotion of branching and enhancement of

plant yield. Thidiazuron affects many aspects of the plant, including shoot formation and multiplication. It is also resistant to internal cytokinin oxidases, which makes it stable in the plant. Aromatic geranium is a slow-growing, perennial plant that is used as an ornamental and medicinal plant. The present study aims to investigate the effect of thidiazuron foliar application and pinching in reducing the adverse effects of water deficit stress on some morphophysiological and biochemical characteristics of aromatic geranium in greenhouse conditions.

Materials and methods

The factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with three factors and four replications in the research greenhouses of Lorestan Agricultural College in spring and summer of 2022. The first factor was water deficit stress at three levels of 80, 50 and 20% of available water content in the soil, the second factor was pinching at two levels including without pinching and with pinching and the third factor was thidiazuron foliar spraying at three levels of zero (control), 5 and 10 mg/l. Stem cuttings of aromatic geranium were induced to rooting by application of an auxin rooting hormone. Then transplanted to the substrate containing sand, field soil and manure 1:1:1. After the establishment of cuttings, the water deficit stress was calculated with the help of pressure plate device and gravimetrically method. Pinching was performed by hand in the morning. Thidiazuron treatment was also carried out by spraying on plants. Three months after the application of water deficit stress, the morphophysiological and biochemical characteristics in addition to percentage and yield of the essential oil were measured.

Results and discussion

The results showed that the stress of water deficit decreased the height of the plant, the number of lateral stems, the total fresh and dry weight, the relative water content of leaf and the percentage of essential oil, but it increased electrolyte leakage, malondialdehyde content and catalase enzyme activity. Pinching and foliar spraying of thidiazoron on plants at the level of 80% of available water led to a decrease in height, number of leaves and relative water content of leaves. Although the total fresh and dry weight, root growth, concentration of photosynthetic pigments and electrolyte leakage increased under the condition of water deficit stress, but plant height, number of lateral branches, number of leaves, root growth, total fresh and dry weight, concentration of photosynthetic pigments, relative content of leaf water and essential oil yield increased and electrolyte leakage rate, malondialdehyde content and catalase enzyme activity decreased. Among the examined concentrations of thidiazuron, the concentration of 5 mg/liter showed a better effect on the growth and development of plants. Drought-resistant plants can show resistance to water deficit conditions through morphological and physiological adaptations and molecular signals. In fact, the decrease in plant height can be due to the decrease in turgor pressure and as a result, the decrease in cell division and enlargement in drought stress conditions. The effect of thidiazoron and the action of pinching can increase cell division, chlorophyll accumulation, biosynthesis of photosynthetic pigments (conversion of etioplast to chloroplast) and delay the aging of plant leaves by reducing terminal dominance and stimulating cytokinin production. Also, through the positive effect on cell division, it increases the potential of the physiological reservoir and thereby increases the photosynthetic capacity and plant growth. By increasing the irrigation intervales, the essential oil content enhanced, while the yield of oil declined, which can be related to the reduction of vegetative growth as a result of water deficit stress Thidiazuron as a growth stimulant can affect secondary metabolites depending on the time and the concentration used.

Conclusion

The results of the present experiment showed that pinching and the foliar application of thidiazuron can increase the resistance of the *Pelargonium graveolens* water deficit stress by improving root growth and inhibiting terminal dominance. However, more research is needed in order to use thidiazuron for decapitation in other plants.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۵، شماره ۲

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

تاثیر سربرداری و تیدیازورون بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

عباس یاسمی [۱] | عبدالحسین رضایی نژاد [۲]✉ | صادق موسوی فرد [۳] | فرهاد بیرانوند [۴]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: abassyasemi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: rezaeinejad.h@lu.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال بختیاری، ایران. رایانامه: Mousavifard.S@sku.ac.ir

۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: Farhadbeiranvand@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، خشکی، محتوای نسبی آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سربرداری و محلول‌پاشی تیدیازورون روی بهبود تحمل به تنش کم آبیاری در گیاهان شمعدانی معطر، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۴۰۱ انجام شد. فاکتور اول تنش کم آبیاری (۸۰ (شاهد)، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس در خاک)، فاکتور دوم سربرداری و عدم سربرداری و فاکتور سوم شامل محلول‌پاشی تیدیازورون (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد که تنش کم آبیاری تاثیر کاهشی بر مولفه‌های ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن تر و خشک کل، محتوای نسبی آب و درصد اسانس داشت، اما نشت الکترولیت، محتوای مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد. سربرداری گیاهان و محلول‌پاشی تیدیازورون در سطح شاهد، باعث کاهش ارتفاع، تعداد برگ و محتوای نسبی آب برگ شدند، اما وزن تر و خشک کل، رشد ریشه، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و نشت الکترولیت را افزایش دادند. با این‌وجود، تحت شرایط تنش کم آبیاری، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، رشد ریشه، وزن تر و خشک کل، غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد اسانس را افزایش و میزان نشت الکترولیت، محتوای مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم کاتالاز را کاهش دادند. به‌طورکلی،نتایج نشان داد کاربرد سربرداری و تیدیازورون به‌ویژه در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر از طریق بهبود تعادل آبی و افزایش رشد ریشه، باعث کاهش اثرات نامطلوب کم آبیاری شدند.

استناد: یاسمی، عباس؛ رضایی نژاد، عبدالحسین؛ موسوی فرد، صادق و بیرانوند، فرهاد (۱۴۰۳). ارزیابی روش‌های ضدعفونی ریزوم و بذر زنبق مردابی در شرایط درون‌شیشه‌ای. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۵ (۲)، ۲۴۰-۲۱۵. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.363042.2117

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.363042.2117

مقدمه

تغییرات آب و هوایی جهانی مشکل خشک‌سالی را تشدید می‌کند و می‌تواند دامنه آن را در مناطق خشک و نیمه خشک گسترش داده و رشد و نمو گیاهان را محدود کند (Liu *et al*., 2022; Kaur *et al*., 2000). بنابراین، برای مدیریت بهتر منابع آبی باید به دنبال راهکارهای بلند مدت و کوتاه مدت بود (Alvareza *et al*., 2019). تحت شرایط تنش خشکی، رشد گیاهان به دلیل عدم تعادل هورمون‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین استفاده از تنظیم کننده‌های رشد تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند عاملی در بهبود تحمل به تنش‌های غیر زیستی باشد (Kaur *et al*., 2000). از طرفی دیگر استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی به‌منظور بهبود شاخه‌زایی، به‌ویژه در گیاهانی با غالبیت انتهایی قوی و شاخه‌دهی ضعیف نسبت به عمل سربرداری شاخه‌ی اصلی، بسیار موثر است (Gudarowska & Szewczuk, 2002) و عملکرد گیاهان را به دلیل حذف غالبیت انتهایی و در نتیجه تحریک نمو جوانه‌های محوری افزایش دهد (Dorajeerao & Mokashi, 2012). زیرا تحریک به رشد شاخه‌های جانبی و افزایش کیفیت و بازارپسندی گیاهان گلدهنده و برگساره‌ای گلدانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در گیاهان، هورمون‌های گیاهی، فعالیت‌های مختلف سلولی و پاسخ گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی را تنظیم می‌کنند (Karnwal *et al*., 2023; Zhang *et al*. 2022; Ali *et al*., 2022; Khan and Singh, 2021). تیدیازورون (1-phenyl-3-(1,2,3-thiadiazol-5-yl) urea; TDZ) تنظیم کننده رشد گیاهی که فعالیت شبه سایتوکینینی (فاقد حلقه پورین) است که جنبه‌های زیادی از مراحل گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

شمعدانی معطر گیاهی کند رشد، چند ساله به رنگ سبز خاکستری است که به‌دلیل برگ‌های مضرس با بریدگی عمیق به رنگ سبز تا سبز کمرنگ با بوی شبیه عطر گل سرخ و گلچه‌ها کوچک و صورتی می‌تواند علاوه بر کاربردهای دارویی، به عنوان گیاهی زینتی مورد استفاده قرار گیرد (Rezaei Nejad & Ismaili, 2014). گیاه شمعدانی معطر در مناطق مدیترانه ای، در باغ ها و پارک‌ها به عنوان یک گونه زینتی کشت و کار می‌شود (Motsa *et al*., 2006). با توجه به اهمیت گیاهان زینتی در زندگی امروزی و نیاز به شناخت بهتر واکنش آنها به شرایط کمبود آب و البته حفظ بازارپسندی مناسب، پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد تیدیازورون و سربرداری در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبیاری بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

پیشینه پژوهش

تحقیقات روی گیاهان پروانش (Zomorrodi *et al*., 2022) و مریم گلی زینتی (Beiranvand *et al*., 2023) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش صفات فنولوژیک (ظهور جوانه گل، عمر گل روی بوته) ، مورفولوژیک (وزن خشک اندام هوایی و ریشه، وزن خشک گل، سطح برگ) و سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای شد و مقدار نشت الکترولیت، محتوای مالون‌دی آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) را افزایش داد. انسداد روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی، فراهمی دی‌اکسید کربن را برای سیستم فتوسنتزی محدود کرده و در نتیجه از رشد گیاه و قدرت گلدهی گیاه کاسته می شود. تحت تاثیر تنش خشکی در سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌های گیاه، گونه‌های فعال اکسیژن تجمع می‌یابند. برای دفع سمیت این ترکیبات، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش یافته و به غربال گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدها کمک می‌کند تا زنده‌مانی و تمامیت اندامک‌ها و غشای سلولی حفظ شود (Liu *et al*., 2022). در بررسی تاثیر تنش کم آبیاری (سطوح ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بر رشد، عملکرد، میزان اسانس شمعدانی معطر گزارش کردند تنش خشکی به شدت باعث کاهش ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، عملکرد ماده تر و خشک در گلدان و همچنین عملکرد اسانس شد. در بین سطوح تنش کم آبیاری، سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین

1 . *Pelargonium graveolens* L.

تاثیر منفی را بر رشد و نمو گیاه نشان داد و کمترین عملکرد خشک و عملکرد اسانس به دست آمد. (Rezaei Nejad *et al*., 2013).

در گیاهان ورد[1] جعفری آفریقایی[2] و گوجه فرنگی، سربرداری گیاهان باعث کاهش ارتفاع گیاه و تاخیر در گلدهی شد، اما تعداد گل جانبی، قطر ساقه و زیست توده گیاهی را افزایش داد (Zieslin *et al*., 1975; Singh *et al*., 2019; Sehrawat *et al*., 2003; Ki-Yun *et al*., 2004)، همچنین تاخیر در سربرداری (۴۰ روز) گیاهان جعفری آفریقایی، با حداکثر تعداد شاخه و عملکرد گل همراه بود (Sehrawat *et al*., 2003). در یک بررسی روی گیاه آنتوریوم سرزنی باعث کاهش ارتفاع گیاه و تاخیر در گلدهی شد اما تعداد گل جانبی را افزایش داد. کاربرد پاکلوبوترازول نیز گیاهان متراکم‌تری را ایجاد کرد و ارتفاع گیاه را کاهش داد. کاربرد پاکلوبوترازول در مراحل اولیه رشد تاثیر بیشتری روی کاهش ارتفاع گیاهان نشان داد (Wainwright & Irwin, 1987).

مطالعات نشان داده است که کاربرد تیدیازورون در گونه‌های گیاهی از جمله میخک (Nugent *et al*., 1991) و ورد (Lu, 1993)، تاثیر بیشتری در مقایسه با بنزیل آدنین، کینیتین و زه‌آتین در القای باززایی شاخساره دارد. تیمار تیدیازورون (صفر، ۱، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار) روی میخک[3] در مرحله قبل و بعد از برداشت باعث کاهش طول ساقه در مقایسه با تیمار شاهد شد و در غلظت ۱۰۰ میکرومولار به‌طور قابل توجهی عمر گلجای گل شاخه بریده را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. گل‌های تیمار شده با تیدیازورون، وزن تر نسبی بیشتری نیز نشان دادند (Chamani & Esmaeilpour, 2007).

در بررسی تاثیر تیدیازورون روی گل رز گلدانی سربرداری شده، دو هفته پس از تیمار با ۱۰۰ میلی‌مولار تیدیازورون، گیاهان فشرده، شاخه‌ها کوتاه‌تر و میانگره‌ها ضخیم تر شدند و ارتفاع ساقه‌های جدید به نصف ارتفاع گیاهان شاهد کاهش یافت، اما قطر ساقه حدود ۴۰ درصد بیشتر از شاهد شد. همچنین تیمار تیدیازورون از طریق تعدیل بیوسنتز جیبرلین، طول و قطر ساقه را در گیاهان گل رز تنظیم کرد (Celikel *et al*., 2021). بر خلاف دیگر سیتوکینین‌ها، تیدیازورون به اکسیدازهای درونی سیتوکینین مقاوم است که باعث ثبات آن در گیاه می‌شود (Dewir *et al*., 2018). همچنین، تیدیازورون فعالیت سیتوکینین اکسیداز/دهیدروژناز را مهار می‌کند که می‌تواند منجر به افزایش تجمع پورین سیتوکینین در بافت گیاهان شود. از طرفی تیمار با تیدیازورون، ژن‌های مرتبط با تنش را فعال (Radhakrishnan *et al*., 2009) و تجمع مولکول‌های سیگنال‌دهی تنش از جمله اسید آبسیزیک و پرولین را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، به‌طور نسبی تیدیازورون جریان ورودی و خروجی کلسیم را نیز تغییر می‌دهد (Dewir *et al*., 2018).

روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه فاکتور و چهار تکرار در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی لرستان (دمای روزانه ۲۸–۲۰ و شبانه ۲۰–۱۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰–۶۰ درصد و شدت نور ۵۰۰–۴۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) در بهار و تابستان ۱۴۰۱ انجام شد. فاکتور اول شامل تنش کم آبیاری در سه سطح ۸۰، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس در خاک، فاکتور دوم سربرداری در دو سطح شامل بدون سربرداری و با سربرداری و فاکتور سوم محلول‌پاشی تیدیازورون در سه سطح صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود. قلمه‌های شمعدانی معطر از سرشاخه گیاهان مادری از گلخانه دانشکده کشاورزی لرستان تهیه و پس از ریشه‌دار شدن با استفاده از هورمون اکسین در گلدان‌هایی (۱/۵ کیلوگرمی، هر گلدان حاوی یک گیاه) شامل مخلوط ماسه، خاک زراعی و کود پوسیده گندزدایی شده به نسبت مساوی ۱:۱:۱ (با بافت خاک لومی رسی–شنی، ظرفیت زراعی ۲۳/۲۲ درصد، نقطه پژمردگی ۱۷/۶۶ درصد، حاوی ۰/۰۸۳ درصد نیتروژن

1. *Rosa hybrida* ' Baccara '
2. *Tagetes erecta* L.
3. *Dianthus caryophyllus* 'Lunetta'

به‌علاوه فسفر قابل جذب، پتاسیم، منیزیم و آهن، به ترتیب ۱/۸۶، ۰/۲۲، ۰/۴۵۲ و ۰/۰۰۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) کشت شد. پس از استقرار قلمه‌ها (به مدت سه ماه از زمان قلمه‌گیری تا استقرار کامل) در گلدان، تیمار کم آبیاری با کمک دستگاه صفحات فشاری و روش وزنی محاسبه و اعمال شد. سرزنی با دست در صبح و دو هفته بعد از اعمال تنش کم آبیاری انجام شد. همچنین اعمال تیمار تیدیازورون (با فرمول: C9H8N4OS و وزن مولکولی ۲۲۰/۲۵ گرم بر مول) به‌صورت محلول‌پاشی در دو مرحله و با فاصله زمانی یک هفته، بعد از استقرار گیاهان و همزمان با اعمال تنش کم آبیاری انجام شد. گلدان‌های تیمار شاهد نیز با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. سه ماه بعد از اعمال تنش کم آبیاری ویژگی‌های زیر اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی شامل ارتفاع بوته و طول ریشه از محل طوقه (سانتی‌متر)، تعداد ساقه، قطر ساقه (میانگره سوم از پایین) و حجم ریشه (از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرارگیری ریشه در حجم مشخص آب بر اساس قانون ارشمیدوس)، وزن تر ریشه و وزن تر و خشک کل گیاه اندازه گیری شد. کارآیی مصرف آب (Jaleel *et al*., 2008) و شاخص مقاومت به تنش خشکی (Fischer and Maurer, 1978) نیز به ترتیب طبق روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند.

رابطه ۱) $\text{کارآیی مصرف آب (گرم وزن خشک تقسیم بر کیلوگرم آب)} = \frac{\text{وزن خشک کل}}{\text{آب مصرفی کل}}$

رابطه ۲) $\text{شاخص مقاومت به تنش (درصد)} = \frac{\text{وزن خشک کل}}{\text{وزن خشک شاهد}} \times 100$

محتوای نسبی آب برگ طبق روش Ritchie & Nguyen (1990) و رابطه ۳ اندازه گیری شد. در این رابطه RWC نشان دهنده محتوای نسبی آب برگ؛ FW وزن تر؛ DW وزن خشک و TW وزن در حالت تورژسانس نمونه‌های برگ است.

رابطه ۳) $$RWC\ (\%) = (FW- DW/ TW- DW)$$

نفوذپذیری غشاء سلولی، بر اساس روش Lutts *et al*. (1996) ، در برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد. نمونه های برگی در ابعاد ۱ سانتی‌متری بریده و سپس با آب مقطر شسته شد. هدایت الکتریکی اولیه پس از ۲ ساعت نگه‌داری نمونه‌ها در آب مقطر و دمای اتاق و هدایت الکتریکی ثانویه پس از ۲۰ دقیقه اتوکلاو در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و سپس سرد شدن قرائت شدند. نشت الکترولیت برگ از رابطه ۴ به‌دست آمد.

رابطه ۴) $$EL\ (\%) = (E1/E2)\times 100$$

در این رابطه EL نشت الکترولیت؛ E1 هدایت الکتریکی اولیه و E2 هدایت الکتریکی ثانویه می‌باشد.

برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (1987)، استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم از برگ در هاون چینی با ازت مایع خرد و با ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص مخلوط شد. عصاره به دست آمده به مدت ۱۵ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۲ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. استون به‌عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری اسپکتروفتومتر استفاده شد. در نهایت غلظت رنگیزه‌ها با استفاده ازروابط زیر محاسبه و بر اساس میلی‌گرم در گرم محاسبه شد.

رابطه ۵) $$Chla = (11.24 \times A662) - (2.04 \times A645)$$

رابطه ۶) $$Chlb = (20.13 \times A645) - (4.19 \times A662)$$

رابطه۷) $$Total\ Chl = 7.05 \times (A662) + 18.09 \times (A645)$$

رابطه ۸) $$Car = 1000 \times (A470 - 1.90\times Chl\ a - 63.14 \times Chl\ b) / 214$$

میزان مالون دی‌آلدئید با استفاده از تیوباربیتوریک اسید به عنوان معرف و بر اساس روش Wang *et al*. (2009) انجام شد. یک دهم گرم از بافت تازه گیاه (برگ) با استفاده از نیتروژن مایع خرد شد، سپس ۵ میلی لیتر از محلول نیم درصد تیوباربیتوریک اسید (حل شده در تری‌کلرو استیک اسید) به آن اضافه شد. به منظور انجام واکنش، نمونه ها به مدت ۱۵ دقیقه درون حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند پس از آن، بلافاصله با استفاده از یخ سرد شدند. مخلوط در

۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. جذب روشناور در سه طول موج ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و سپس میزان مالون دی آلدئید بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه ۹ محاسبه گردید.

$$MDA = 6.45(OD532-OD600)- 0.56(OD450)$$ رابطه ۹)

در این رابطه MDA محتوای مالون‌دی‌آلدهید و OD میزان جذب در طول موج مشخص می‌باشد.

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش Chance & Maehly (1981) انجام شد. مقدار ۰/۳ گرم نمونه برگ در هاون چینی و بر روی یخ با ازت مایع خرد و کاملاً پودر شد. میزان ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج آنزیم (شامل فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار PVP ۲ درصد EDTA ۱ میلی‌مولار) جهت له شدن کامل بافت برگ به آن اضافه شد. سوسپانسیون حاصل در دستگاه سانتریفیوژ یخچال‌دار به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس و در ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس میزان جذب روشناور حاصل در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. در نهایت مقدار فعالیت آنزیم بر اساس رابطه زیر محاسبه شد.

$$Activity\ (U/ml) = (\Delta A240 \times l \times Vt \times df) / (\varepsilon \times l \times t \times Vs)$$ رابطه ۱۰)

در این رابطه U: واحد آنزیمی؛ ΔA240: تفاوت میزان جذب مخلوط واکنش در زمان شروع و پایان واکنش؛ I: با توجه به ضریب در معادله تعیین می‌شود که معادل ۲ می‌باشد. Vt: حجم مخلوط واکنش؛ Df: فاکتور رقیق کننده؛ t: مدت زمان واکنش و Vs: حجم نمونه می باشد.

استخراج اسانس از ساقه و برگ خشک و خرد شده با استفاده از روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر و به مدت ۳ ساعت صورت گرفت. اسانس به‌دست آمده توسط سولفات سدیم خشک و آب‌گیری و وزن شد. درصد و عمکرد اسانس نیز بر اساس روابط ۱۱ و ۱۲ محاسبه شدند (Amani Machiani *et al*., 2018).

رابطه ۱۱) ۱۰۰× وزن خشک سرشاخه ها / وزن اسانس استخراج شده = درصد اسانس

رابطه ۱۲) وزن خشک بوته × درصد اسانس = عملکرد اسانس

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار آماری Minitab18 ، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD و رسم نمودارها با نرم افزار Excel صورت گرفت.

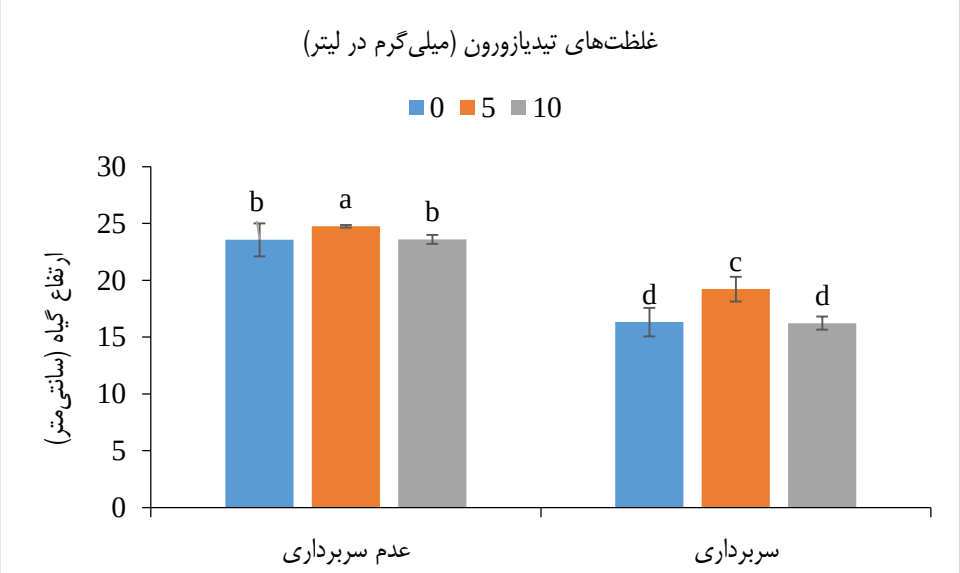
یافته‌های پژوهش

ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد ساقه جانبی و برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون، همچنین اثر متقابل تیمارهای تنش کم آبیاری × سربرداری و تیمارهای سربرداری × تیدیازورون بر ارتفاع گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر تنش کم آبیاری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش ارتفاع گیاهان شمعدانی در هر دو تیمار سربرادری و عدم سربرداری شد. عمل سربرداری نیز باعث کاهش ۳۳/۳ درصدی ارتفاع گیاهان در مقایسه با گیاهان شاهد (عدم سربرداری در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس) شد (جدول ۱). کاربرد تیدیازورون (به‌ویژه غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر) روی هر دو گروه گیاهان سربرداری شده و سربرداری نشده باعث افزایش ارتفاع گیاهان شد. در مجموع بیشترین ارتفاع (۲۴/۷۵ سانتی‌متر) در گیاهان تیمار شده با تیدیازورون با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر که سربرداری نشده بودند ثبت شد. کمترین

1. SHIMADZU, model UV-1700, Japan

ارتفاع نیز در گیاهان سربرداری شده و در غلظت صفر (۱۶/۳۲ سانتی‌متر) و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون (۱۶/۲۲ سانتی‌متر) به‌دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر سربرداری و تیدیازورن بر ارتفاع گیاه شمعدانی معطر (منبع: یافته‌های تحقیق)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری و تیدیازورون بر قطر ساقه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۱). اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیدیازورون نیز در سطح احتمال آماری ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده سربرداری و اثر متقابل کم آبیاری × سربرداری و سربرداری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل سه گانه کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد. قطر گیاهان تحت تنش کم آبیاری کاهش یافت و تنش ۲۰ درصد آب قابل دسترس در مقایسه با تیمار شاهد (عدم سربرداری) باعث کاهش ۱۴/۵ درصدی در قطر گیاهان شد. تیمار شاهد نیز با ۶/۶۶ میلی‌متر بیشترین قطر گیاه را نشان داد. محلول‌پاشی تیدیازورون در سطوح تنش ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، افزایش قطر را به همراه داشت، اما در سطح شاهد منجر به کاهش شاخص مورد نظر شد (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون و همچنین اثر تنش کم آبیاری × سربرداری بر تعداد ساقه در گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر تنش کم آبیاری × تیدیازورون، سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۱). تعداد ساقه در گیاهان تحت تاثیر تنش کم آبیاری به شدت کاهش پیدا کرد. با این‌وجود، در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، استفاده از سربرداری باعث افزایش تعداد ساقه در گیاهان شد. در بین تیمارهای مختلف نیز تیمار شاهد و عدم سربرداری در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس به ترتیب بیشترین (۱۶/۳۳ عدد) و کمترین (۶/۸۹ عدد) تعداد ساقه جانبی را نشان دادند (جدول ۳). استفاده از تیدیازورون نیز با افزایش غلظت باعث افزایش تعداد ساقه در گیاهان شد، به‌طوری‌که در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش ۱۶/۷۷ درصدی در این شاخص نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۷).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، سربرداری × تیدیازورون بر تعداد برگ گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر وزن خشک برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تعداد برگ تحت تاثیر تنش کم آبیاری به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد و در تنش شدید کم آبیاری کاهش ۵۹/۹ درصدی نشان داد. در سطح ۸۰

درصد آب قابل دسترس بدون سربرداری، محلول‌پاشی تیدیازورون باعث کاهش تعداد برگ شد، اما در گیاهان سربرداری شده افزایش تعداد برگ را نشان داد. در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس در هر دو گروه گیاهان، کاربرد تیدیازورون تعداد برگ را افزایش داد. با این‌وجود، بیشترین تعداد برگ(۷۹/۳۳ عدد) در تیمار عدم محلول‌پاشی تیدیازورون در گیاهان بدون سربرداری و در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس به‌دست آمد. همچنین، در تیمار تنش سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیدیازورون در گیاهان سربرداری نشده کمترین(۳۷/۳۳ عدد) مقدار شاخص مورد نظر ثبت گردید (جدول ۴).

ویژگی‌های ریشه (حجم، طول، وزن تر و خشک ریشه)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری، تیدیازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون بر حجم ریشه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۱). تنش کم آبیاری باعث کاهش حجم ریشه شد، به‌طوری‌که تنش شدید کم آبیاری کاهش ۳۷/۷ درصدی را نشان داد. عمل سربرداری و محلول‌پاشی تیدیازورون در همه تیمارها منجر به افزایش حجم ریشه گیاهان شدند. در بین تیمارهای آزمایشی، غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون در گیاهان سربرداری شده در سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین حجم ریشه (۲۵/۳۳ سانتی‌متر مکعب) را نشان داد. در تیمار تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیدیازورون نیز کمترین حجم ریشه (۱۲/۶۶ سانتی‌متر مکعب در هر دو گروه گیاهان) ثبت شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری و تیدیازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر طول ریشه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اثر ساده سربرداری و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۱). طول ریشه تحت تاثیر تنش کم آبیاری در هر دو تیمار سربرادری و عدم سربرداری، کاهش پیدا کرد و در سطح تنش ۲۰ درصد آب قابل دسترس کمترین مقدار را در هر دو گروه گیاهان نشان داد (جدول ۳). کاربرد تیدیازورون در سطوح ۸۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس باعث افزایش طول ریشه شد، اما در سطح آبیاری ۵۰ درصد آب قابل دسترس، بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین طول ریشه در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس و غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر تیدیازورون (۳۴/۹۱ سانتی‌متر) ثبت شد، کمترین مقدار آن نیز در تیمار ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم کاربرد تیدیازورون (۲۵/۴۱ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۸).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون بر وزن تر ریشه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیدیازورون در سطح احتمال آماری ۵ درصد معنی‌داری شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۱). وزن تر ریشه تحت تاثیر تنش کم آبیاری کاهش یافت و در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس کاهش ۴۱/۹ درصدی را نشان داد. تیدیازورون باعث افزایش وزن تر ریشه در همه گیاهان شد. سربرداری گیاهان نیز در سطوح مختلف تنش کم آبیاری (بجز غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس) باعث افزایش وزن تر ریشه گیاهان شد. در مجموع، غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون در گیاهان سربرداری شده در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس بیشترین (۱۶/۰۶ گرم) وزن تر ریشه را نشان داد. سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیدیازورون در گیاهان سربرداری نشده نیز کمترین مقدار شاخص مورد نظر (۷/۵۷ گرم) را داشت (جدول ۴).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر وزن خشک ریشه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون در سطح احتمال آماری ۵ درصد معنی‌داری شد (جدول ۱). تنش کم آبیاری در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس باعث کاهش وزن خشک ریشه تا ۵۰/۵ درصد در وزن خشک ریشه شد. در گیاهان سربرداری شده تحت سطوح مختلف تنش کم آبیاری، کاربرد تیدیازورون منجر به افزایش وزن خشک ریشه شد. در گیاهان بدون سربرداری اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. بیشترین وزن خشک ریشه (۳/۰۲ گرم) در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون در گیاهان سربرداری شده در ۸۰ درصد آب قابل دسترس به‌دست آمد. همچنین سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیدیازورون در گیاهان سربرداری نشده نیز کمترین مقدار این شاخص (۱/۱۵ گرم) را نشان داد (جدول ۴).

وزن تر و خشک کل گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون بر وزن تر کل گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیازورون و سربرداری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۱). وزن تر کل گیاه تحت شرایط تنش کم آبیاری کاهش یافت، به طوری‌که بیشترین (۸۷/۲۶ گرم) و کمترین (۴۲/۷۶ گرم) وزن تر کل گیاه به ترتیب در تیمارهای ۸۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس ثبت شد (جدول ۵). اما سربرداری گیاهان، افزایش وزن تر کل را نشان داد (جدول ۶). کاربرد تیدیازورون نیز باعث افزایش وزن تر کل شد. با این وجود، بین غلظت‌های آن تفاوت معنی‌داری دیده نشد (جدول ۷).

بررسی تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون بر وزن خشک کل گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیازورون و سربرداری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۱). تنش کم آبیاری باعث کاهش وزن خشک کل شد و کمترین وزن تر کل (۷/۶۵ گرم) در تیمار ۲۰ درصد آب قابل دسترس به‌دست آمد. بیشترین (۱۵/۶۷ گرم) مقدار این شاخص مربوطه نیز در سطح آبیاری ۸۰ درصد آب قابل دسترس ثبت شد (جدول ۳). اعمال سربرداری و محلول‌پاشی تیدیازورون نیز افزایش وزن خشک کل را نشان دادند (جدول ۶).

شاخص مقاومت به تنش خشکی و کارآیی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری و تیدیازورون بر شاخص مقاومت به تنش خشکی در گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده سربرداری و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیازورون و سربرداری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشدند (جدول ۱). شاخص مقاومت به تنش خشکی تحت تاثیر تنش کم آبیاری کاهش پیدا کرد و در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس کمترین مقدار (۴۹/۸۷ درصد) را داشت. بیشترین مقدار آن نیز در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس (۱۰۲/۳۰ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). کاربرد تیدیازورون تنها در غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش شاخص مقاومت به تنش را نشان داد (جدول ۷).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون بر کارآیی مصرف آب گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیازورون و سربرداری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشدند (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد تنش کم آبیاری باعث افزایش کارآیی مصرف آب شد. با این‌حال، بیشترین مقدار آن در تیمار ۵۰ درصد آب

قابل دسترس (۱/۶۳ گرم وزن خشک بر کیلوگرم آب) حاصل شد (جدول ۵). عمل سربرداری و کاربرد تیدیازورون نیز کارآیی مصرف آب را افزایش دادند (جدول ۶).

ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت و مقدار مالون دی‌آلدئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری، تیدیازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر محتوای نسبی آب برگ گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشدند (جدول ۲). محتوای نسبی آب برگ در هر دو گروه گیاهان تحت شرایط تنش کم آبیاری، کاهش پیدا کرد. بیشترین محتوای نسبی آب (۸۹/۹۰ درصد) در سطح آبیاری ۸۰ درصد آب قابل دسترس و عدم سربرداری ثبت شد. کمترین مقدار شاخص مورد نظر نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس ودر هر دو تیمار عدم سربرداری و سربرداری (به ترتیب ۷۲/۵۴ و ۷۱/۷۸ درصد) به‌دست آمد (جدول ۳). محلول‌پاشی تیدیازورون در سطوح مختلف تنش کم آبیاری نیز باعث افزایش محتوای نسبی آب شد. با این‌حال، اختلاف معنی‌داری بین دو غلظت ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر تیدیازورون مشاهده نشد (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیدیازورون و سربرداری × تیدیازورون بر نشت الکترولیت گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون در سطح احتمال آماری ۵ درصد معنی‌داری شد (جدول ۲). نشت الکترولیت تحت تاثیر تنش کم آبیاری در گیاهان سربرداری شده و عدم سربرداری افزایش یافت. در حالی‌که کاربرد تیدیازورن در گیاهان تحت تیمار سربرداری و عدم سربرداری در هر سه سطح تنش کم آبیاری، باعث کاهش نشت الکترولیت شد. در بین تیمارهای آزمایشی، بیشترین نشت الکترولیت در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیدیازورون در گیاهان عدم سربرداری (۷۵/۸۵ درصد) و سربرداری شده (۷۴/۹۶ درصد) به‌دست آمد. کمترین مقدار نشت الکترولیت نیز در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس و عدم سربرداری و کاربرد غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر تیدیازورون (۱۵/۵۱ درصد) ثبت شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری و تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر مقدار مالون دی‌آلدئید شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده سربرداری و اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقدار مالون دی‌آلدئید با افزایش تنش کم آبیاری در هر دو گروه گیاهان افزایش یافت. به‌طور کلی، بیشترین مقدار مالون دی‌آلدئید در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم سربرداری (۱/۶۲ میکرومول بر گرم وزن تر) ثبت شد. در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس در تیمارهای عدم سربرداری و سربرداری نیز کمترین مقدار مالون دی آلدئید (به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۲ میکرومول بر گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۳). محلول‌پاشی تیدیازورون نیز در هر سه سطح تنش کم آبیاری باعث کاهش مالون دی‌آلدئید شد و در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر عملکرد بهتری نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۸).

رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری، تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر محتوای کلروفیل a گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد

معنی‌دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۲). اعمال تنش کم آبیاری در گیاهان بدون سربرداری موجب کاهش محتوای کلروفیل a شد، در حالی‌که با اعمال سربرداری محتوای کلروفیل a افزایش یافت (جدول ۳). کاربرد محلول‌پاشی تیدیازورون در تیمار شاهد (۸۰ درصد آب قابل دسترس) تاثیر معنی‌داری روی غلظت کلروفیل a نداشت، اما در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، باعث افزایش محتوای کلروفیل a شد و بیشترین مقدار آن در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس و غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر (۱۰/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌دست آمد. کمترین مقدار شاخص مورد نظر نیز در سطح کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم محلول‌پاشی تیدیازورون (۸/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) ثبت شد (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری، تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر محتوای کلروفیل b شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۲). تنش کم آبیاری در گیاهان بدون سربرداری باعث کاهش محتوای کلروفیل b شد، اما در گیاهان سربرداری شده مقدار آن را افزایش داد (جدول ۳). محلول‌پاشی تیدیازورون در تیمار شاهد باعث کاهش محتوای کلروفیل b شد. با این وجود، در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، استفاده از تیدیازورون منجر به افزایش محتوای کلروفیل b شد. در مجموع، بیشترین محتوای کلروفیل b در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس و عدم کاربرد تیدیازورون (۴/۰۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کمترین مقدار آن نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم محلول‌پاشی تیدیازورون (۳/۱۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) ثبت شد (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر محتوای کاروتنوئید گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر ساده سربرداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده تیدیازورون و اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۲). اعمال تنش کم آبیاری در گیاهان سربرداری نشده باعث افزایش محتوای کاروتنوئید شد، اما در گیاهان سربرداری شده، تنها در سطح تنش کم آبیاری ۵۰ درصد آب قابل دسترس باعث افزایش محتوای کارتنوئید شد و در بین تیمارهای مختلف بیشترین مقدار (۳/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را ثبت کرد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد، محلول‌پاشی تیدیازورون در تیمار شاهد (۸۰ درصد آب قابل دسترس) و ۵۰ درصد آب قابل دسترس باعث افزایش مقدار کارتنوئید شد، اما در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس، موجب کاهش محتوای کاروتنوئید شد. در مجموع غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس بیشترین مقدار کارتنوئید (۳/۲۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را نشان داد. کمترین مقدار شاخص مورد نظر نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون (۲/۷۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۸).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر محتوای کلروفیل کل شمعدانی معطر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد اعمال تنش کم آبیاری در گیاهان بدون سربرداری باعث کاهش محتوای کلروفیل کل شد، با این‌حال، با اعمال سربرداری در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس، محتوای کلروفیل کل افزایش یافت، به طوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل کل (۱۹/۱۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را نشان داد. کمترین مقدار کلروفیل کل (۱۵/۴۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس در تیمار عدم سربرداری مشاهده شد (جدول ۳). همچنین محلول‌پاشی تیدیازورون در تیمار شاهد باعث کاهش جزئی در مقدار کلروفیل کل شد، اما در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، سبب افزایش محتوای کلروفیل کل شد. در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین کلروفیل کل در سطح ۵۰ درصد آب

قابل دسترس در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر تیدیازورون (۱۸/۲۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) دیده شد. همچنین کمترین مقدار شاخص مذکور نیز در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس و بدون تیدیازورون (۱۴/۵۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۸).

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون و سربرداری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون بر فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تاثیر تنش کم آبیاری افزایش یافت. در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس، عمل سربرداری باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شد و کاربرد تیدیازورون نیز افزایش فعالیت آنزیم مربوطه را در مقایسه با تیمارهای عدم سربرداری، نشان داد. با این وجود، در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، کاربرد تیدیازورون در هر دو گروه گیاهان، کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز را در مقایسه با تیمارهای شاهد (بدون تیدیازورون در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس) نشان داد. همچنین در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، اعمال سربرداری نیز منجر به کاهش فعالیت آنزیم مذکور شد. به‌طور کلی در بین تیمارهای آزمایشی، سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس، بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (به ترتیب ۲/۰۱۲ میکرومول بر دقیقه در گرم وزن تر) را نشان دادند. همچنین در تیمار عدم سربرداری، غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس نیز کمترین فعالیت آنزیم مربوطه (۰/۳۳۶۴ میکرومول بر دقیقه در گرم وزن تر) را ثبت کرد (جدول ۴).

درصد و عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری و تیدیازورون بر درصد اسانس گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده سربرداری و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیازورون و سربرداری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشدند (جدول ۲). نتایج نشان داد تنش کم آبیاری باعث افزایش درصد اسانس شد، به طوری‌که بیشترین درصد اسانس در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس (۰/۴۳ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). با این وجود، کاربرد تیدیازورون منجر به کاهش درصد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد و در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر، کمترین درصد اسانس (۰/۳۴۳ درصد) را نشان داد. بیشترین مقدار اسانس (۰/۳۸۹ درصد) نیز در تیمار شاهد به‌دست آمد هر چند با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

بررسی تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش کم آبیاری بر عملکرد اسانس گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و اثر ساده سربرداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده تیدیازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیازورون و سربرداری × تیدیازورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد تحت تاثیر تنش کم آبیاری، عملکرد اسانس کاهش یافت، به طوری‌که کمترین مقدار آن در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس (۲/۶۸ گرم در گیاه) مشاهده شد. بیشترین عملکرد اسانس نیز در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس (۳/۸۸ گرم در گیاه) به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد سربرداری گیاهان باعث افزایش ۱۰/۹ درصدی عملکرد اسانس در مقایسه با گیاهان سربرداری نشده شد (جدول ۶).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر سربرداری و تیدیازورون بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	تعداد ساقه	تعداد برگ	حجم ریشه	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر کل	وزن خشک کل	کارآیی مصرف آب	شاخص مقاومت به تنش
کم آبیاری	۲	۱۲۱/۵۷**	۱/۹۴۸**	۴۰/۰۷**	۲۱۰۶/۰**	۱۹۰/۳۵**	۳۳/۷۲**	۱۱۴/۴۶**	۵/۳۲**	۸۹۴۸/۴**	۲۹۱/۶۰**	۰/۳۷۶**	۱۲۴۳۵/۵**
سربرداری	۱	۶۰۸/۶۳**	۰/۰۰۱ ns	۴۵۶/۴۶**	۶۴۰/۶**	۷۵/۸۵**	۱۹/۲۰*	۳۸/۲۱**	۰/۷۸**	۳۵۰/۳**	۱۵/۰۳**	۰/۲۸۵**	۸/۳ns
تیدیازورون	۲	۲۵/۵۹**	۱/۴۱۵**	۱۲/۵۷**	۱۹۱/۶**	۵۹/۰۱**	۴۴/۴۵**	۱۷/۹۹**	۰/۶۸**	۳۱۶/۳**	۶/۳۱**	۰/۱۳۰**	۲۶۷/۵**
کم آبیاری × سربرداری	۲	۲۸/۹۰**	۰/۱۵۰ ns	۴۵/۸۵**	۶۰۰/۸**	۵۵/۳۵**	۱۵/۲۷*	۱۳/۰**	۰/۱۰**	۱۶/۸ ns	۰/۴۵ ns	۰/۰۱۸ ns	۱۹/۳ ns
کم آبیاری × تیدیازورون	۴	۰/۱۹ ns	۰/۵۷۶*	۲/۳۵ ns	۴۶/۳*	۶/۵۷**	۵۲/۴۸**	۱/۵۶*	۰/۰۷**	۲۳/۹ ns	۲/۳۳ ns	۰/۰۵۰ ns	۹۷/۱ ns
سربرداری × تیدیازورون	۲	۴/۷۵**	۰/۰۳۳ ns	۳/۱۳ ns	۸۴/۲**	۱/۶۸ ns	۸/۵۴ ns	۰/۹۹ ns	۰/۰۹*	۵۷/۰ ns	۱/۸۱ ns	۰/۰۲۸ ns	۷۵/۷ ns
کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون	۴	۰/۴۰ ns	۰/۱۶۰ns	۱/۵۱ ns	۸۷/۸**	۹/۳۵**	۱۱/۳۲ ns	۲/۹۸**	۰/۰۷*	۲۳/۱۱ ns	۱/۳۷ ns	۰/۰۱۶ ns	۵۵/۹ ns
خطای آزمایشی	۳۴	۰/۸۲۷	۰/۱۷۷	۱/۶۵۹	۱۲/۵۶	۱/۰۵۸	۴/۳۹۴	۰/۴۹۰	۰/۰۱۹	۳۱	۱/۰۹۹	۰/۰۲۰	۴۶/۱
ضریب تغییرات	–	۴/۵۱	۷/۰۴	۱۲/۷۳	۶/۸۹	۵/۳۴	۶/۷۳	۶/۰۷	۷/۱۹	۸/۸۱	۹/۶۵	۱۰/۲۵	۹/۵۴

*، ** و ns: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس اثر سربرداری و تیدیازورون بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و اسانس شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	نشت الکترولیت	مالون دی‌آلدئید	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل	کاتالاز	درصد اسانس	عملکرد اسانس
کم آبیاری	۲	۹۷۹/۸**	۵۹۵۷/۳**	۱/۶۸۱**	۱۰/۳۸۵**	۱/۰۵۸**	۰/۴۷۵*	۲۰/۸۲۱**	۱/۰۳۱**	۰/۰۸۵۷**	۰/۰۰۰۶۷۲**
سربرداری	۱	۱۵۹/۵**	۵۱۷/۱**	۰/۰۲۲ ns	۳۴/۰۹۱**	۲/۹۱۶**	۰/۶۲۷*	۶۹/۵۳۴**	۰/۷۱۷**	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۱۶۶*
تیدیازورون	۲	۵۰۸/۸**	۲۵۴۵/۷**	۱/۹۹۸**	۷/۶۰۱**	۰/۹۱۵**	۰/۱۲۱ns	۱۱/۸۴۹**	۲/۴۳۳**	۰/۰۰۹۶**	۰/۰۰۰۰۰۴ns
کم آبیاری × سربرداری	۲	۳۰/۷*	۳۵/۶*	۰/۱۶۰**	۶/۲۹۲**	۰/۶۰۶**	۱/۱۳۰**	۱۵/۵۰۰**	۰/۴۰۶**	۰/۰۰۱۰ ns	۰/۰۰۰۰۴۰ns
کم آبیاری × تیدیازورون	۴	۸۰/۷**	۳۶۱/۷**	۰/۲۰۳**	۲/۷۱۸**	۰/۵۴۹**	۰/۴۴۰**	۴/۷۹۰**	۰/۱۲۳**	۰/۰۰۱۸ ns	۰/۰۰۰۰۴۲ns
سربرداری × تیدیازورون	۲	۲/۶ns	۱۴۰/۲**	۰/۰۰۸ ns	۰/۲۴۹ ns	۰/۰۹۶ ns	۰/۰۰۹ ns	۰/۵۵۴ ns	۰/۶۱۷**	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۰۰۸ns
کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون	۴	۲/۵ns	۳۸/۵*	۰/۰۴۷ ns	۰/۲۲۳ ns	۰/۰۴۵ ns	۰/۰۱۴ ns	۰/۴۸۴ ns	۰/۰۶۸**	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۲۴ns
خطای آزمایشی	۳۴	۶/۳۷	۹/۸۴	۰/۰۲۰	۰/۵۲۹	۰/۱۰۸	۰/۰۹۹	۱/۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۳۲
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۳۰	۷/۶۳	۱۱/۹۵	۷/۱۴	۸/۶۳	۱۰/۵۷	۵/۸۲	۱۳/۴۷	۱۱	۱۶/۷۸

*، ** و ns: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

سربرداری	تنش کم آبیاری (آب قابل دسترس در خاک)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد ساقه (در گیاه)	طول ریشه (سانتی‌متر)	محتوای نسبی آب (درصد)	مالون دی‌آلدئید (میکروگرم در گرم)	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل
						میلی‌گرم در گرم وزن تر				
عدم سربرداری	۸۰	a۲۸/۲۲	a۱۶/۳۳	a۳۲/۰۶	a۸۹/۹۱	d۰/۸۵۷	c۹/۷۳۷	b۳/۹۱۷	c۲/۷۵۹	c۱۶/۴۱۴
	۵۰	b۲۳/۰۰	b۱۰/۵۶	ab۳۱/۱۹	c۸۰/۹۰	c۱/۰۷۵	d۹/۰۹۰	c۳/۴۷۴	bc۲/۹۲۶	d۱۵/۴۹۰
	۲۰	c۲۰/۶۸	b۱۱/۵۶	bc۲۹/۳۹	e۷۲/۵۵	a۱/۶۲۵	d۸/۹۶۷	c۳/۳۵۲	b۳/۰۸۹	d۱۵/۴۰۸
سربرداری	۸۰	d۱۸/۸۰	c۶/۸۹	a۳۱/۶۷	b۸۳/۹۲	d۰/۹۲۸	b۱۰/۹۳۵	ab۴/۰۰۴	b۳/۱۱۷	b۱۸/۰۵۷
	۵۰	e۱۶/۶۷	c۷/۱۱	c۲۷/۸۹	d۷۷/۳۴	c۱/۱۴۱	a۱۱/۵۶۸	a۴/۱۹۷	a۳/۴۳۵	a۱۹/۲۰۰
	۲۰	e۱۶/۲۹	c۷/۰۰	bc۲۹/۵۰	e۷۱/۷۸	b۱/۳۶۷	cd۹/۴۱۹	b۳/۷۵۰	c۲/۷۸۲	cd۱۵/۹۵۱

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی¬دار (LSD) می باشد

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

تنش کم آبیاری (آب قابل دسترس در خاک)	سربرداری	تیدیازورون (میلی‌گرم در لیتر)	تعداد برگ (در گیاه)	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	نشت الکترولیت (درصد)	کاتالاز (میکرومول بر دقیقه در گرم وزن تر)
				گرم				
۸۰		صفر	a۷۹/۳۳	d۱۳/۰۵۱	bc۲/۳۲۶	bcd۲۰/۳۳	gh۲۲/۲۰	cd۰/۸۴۹۴
	عدم سربرداری	۵	b۷۱/۳۳	bc۱۴/۶۳۳	b۲/۵۴۷	a۲۵/۰۰	hi۱۸/۳۱	g۰/۳۳۶۴
		۱۰	b۶۹/۰۰	ab۱۵/۳۴۷	b۲/۴۷۸	a۲۵/۳۳	i۱۵/۵۱	g۰/۳۸۷۱
		صفر	fg۴۶/۳۳	d۱۳/۳۳۹	bc۲/۳۴۷	bc۲۱/۳۳	fg۲۵/۲۵	de۰/۷۸۳۹
	سربرداری	۵	c۵۹/۶۷	a۱۶/۰۵۵	a۳/۰۲۰	a۲۴/۰۰	ghi۲۰/۴۰	de۰/۶۶۵۷
		۱۰	de۵۳/۰۰	d۱۲/۸۶۹	c۲/۱۹۹	bcd۲۰/۳۳	hi۱۹/۱۹	fg۰/۴۷۱۶
۵۰		صفر	gh۴۲/۳۳	hij۸/۴۵۴	ef۱/۵۱۵	h۱۴/۶۷	b۶۴/۴۷	a۱/۸۶۰۰
	عدم سربرداری	۵	ef۴۹/۶۷	efg۱۰/۵۹۱	d۱/۷۷۳	def۱۸/۶۷	cd۳۵/۶۶	ef۰/۶۲۵۶
		۱۰	cd۵۵/۶۷	fg۱۰/۰۴۶	de۱/۷۱۱	ef۱۸/۳۳	e۲۸/۴۳	de۰/۶۷۰۱
		صفر	fg۴۴/۰۰	ef۱۰/۷۸۲	d۱/۷۴۵	ef۱۸/۳۳	b۶۱/۵۸	cd۰/۸۵۰۵
	سربرداری	۵	cd۵۵/۶۷	d۱۳/۳۰۸	c۲/۱۴۵	b۲۱/۶۷	cd۴۹/۵۵	ef۰/۶۲۱۷
		۱۰	cf۴۸/۶۷	cd۱۳/۷۶۱	c۲/۱۶۳	a۲۴/۰۰	e۴۰/۷۰	g۰/۴۲۵۳
۲۰		صفر	h۳۷/۳۳	jv۷/۵۷۰	h۱/۱۵۰	i۱۲/۶۷	a۷۵/۸۵	a۲/۰۱۲۲
	عدم سربرداری	۵	fg۴۵/۰۰	hi۸/۸۲۷	f۱/۴۴۳	gh۱۶/۳۳	e۴۰/۳۷	bc۱/۰۰۸۰
		۱۰	fg۴۴/۰۰	ijv۷/۶۶۹	gh۱/۱۶۸	i۱۲/۶۷	e۳۶/۸۱	de۰/۷۴۳۸
		صفر	h۳۸/۰۰	gh۹/۶۰۵	fg۱/۳۸۱	fg۱۷/۰۰	av۷۴//۹۶	b۱/۱۲۹۹
	سربرداری	۵	fg۴۴/۶۷	e۱۱/۲۹۸	d۱/۸۲۳	cde۱۹/۶۷	c۵۳/۵۶	de۰/۸۰۳۷
		۱۰	fg۴۱/۶۷	efg۱۰/۳۱۲	f۱/۴۶۲	de۱۹/۰۰	d۴۸/۱۳	de۰/۶۶۵۹

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی¬دار (LSD) می باشد

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

تنش کم آبیاری (درصدآب قابل دسترس در خاک)	وزن تر کل	وزن خشک کل	شاخص مقاومت به تنش (درصد)	کارآیی مصرف آب (گرم وزن خشک در آب مصرفی)	درصد اسانس	عملکرد اسانس (گرم در گیاه)
	گرم					
۸۰	۸۷/۲۶^{a}	۱۵/۶۸^{a}	۱۰۲^{a}	۱/۳۵۲^{c}	۲/۶۸۸^{b}	۳/۸۸۴^{a}
۵۰	۶۲/۴۸^{b}	۱۱/۱۵^{b}	۷۳^{b}	۱/۶۴۰^{a}	۳/۵۰۳^{c}	۳/۵۰۳^{b}
۲۰	۴۲/۷۷^{c}	۷/۶۵^{c}	۵۰^{c}	۱/۴۷۱^{b}	۳/۸۸۴^{a}	۲/۶۸۷^{c}

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی¬دار (LSD) می باشد

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

تیمار	وزن تر کل (گرم)	وزن خشک کل (گرم)	کارآیی مصرف آب (گرم وزن خشک در آب مصرفی)	عملکرد اسانس (گرم در گیاه)
عدم سربرداری	۶۱/۶۲^{b}	۱۰/۹۷^{b}	۱/۴۱۵^{b}	۳/۱۸۳^{b}
سربرداری	۶۶/۷۲^{a}	۱۲/۰۲^{a}	۱/۵۶۰^{a}	۳/۵۳۴^{a}

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) می باشد

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

تیدیازورون (میلیگرم در لیتر)	تعداد ساقه (در گیاه)	وزن تر کل (گرم)	وزن خشک کل (گرم)	شاخص مقاومت به تنش (درصد)	کارآیی مصرف آب (گرم وزن خشک در آب مصرفی)	درصد اسانس
صفر	۸/۹۴^{b}	۵۹/۴۷^{b}	۱۰/۹۲^{b}	۷۱^{b}	۱/۴۰۰^{c}	۰/۳۸۹^{a}
۵	۱۰/۳۳^{a}	۶۷/۵۳^{a}	۱۲/۱۰^{a}	۷۹^{a}	۱/۵۷۰^{a}	۰/۳۴۳^{b}
۱۰	۱۰/۴۴^{a}	۶۵/۵۰^{a}	۱۱/۴۶^{ab}	۷۵^{ab}	۱/۴۹۲^{ab}	۰/۳۷۰^{ab}

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی¬دار (LSD) می باشد

جدول ۸: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

تنش کم آبیاری (درصد آب قابل دسترس در خاک)	تیدیازورون (میلی گرم در لیتر)	طول ریشه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی متر)	محتوای نسبی آب (درصد)	مالون دی‌آلدئید (میکرو گرم در گرم)	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل
						میلی‌گرم در گرم وزن تر			
	صفر	۳۲/۵۰^{ab}	۶/۶۶^{a}	۸۴/۵۴^{b}	۱/۰۵۳^{c}	۱۰/۴۶۵^{ab}	۴/۰۷۱^{a}	۲/۹۰۷^{bcd}	۱۷/۴۴۴^{abc}
۸۰	۵	۳۴/۹۲^{a}	۶/۴۵^{ab}	۸۷/۷۳^{a}	۰/۹۰۳^{cd}	۱۰/۲۴۴^{b}	۳/۹۲۳^{ab}	۲/۹۰۵^{cd}	۱۷/۰۷۲^{bc}
	۱۰	۲۸/۱۷^{d}	۶/۰۰$^{b-e}$	۸۸/۴۷^{a}	۰/۷۲۳^{e}	۱۰/۲۹۹^{ab}	۳/۸۸۸^{ab}	۳/۰۰۳$^{a-d}$	۱۷/۱۹۰^{bc}
	صفر	۳۰/۰۰^{cd}	۵/۵۴^{ef}	۷۳/۹۲^{f}	۱/۵۳۲^{b}	۹/۴۰۱^{cd}	۳/۴۹۶^{c}	۳/۰۴۸^{abc}	۱۵/۹۴۵^{de}
۵۰	۵	۳۰/۲۰^{bcd}	۶/۱۶^{bcd}	۸۰/۴۸^{cd}	۱/۰۰۷^{c}	۱۰/۶۰۵^{ab}	۴/۰۳۴^{a}	۳/۲۲۴^{ab}	۱۷/۸۶۴^{ab}
	۱۰	۲۸/۴۲^{d}	۵/۸۵^{cde}	۸۲/۹۷^{bc}	۰/۷۸۵^{de}	۱۰/۹۸۱^{a}	۳/۹۷۵^{ab}	۳/۲۷۰^{a}	۱۸/۲۲۵^{a}
	صفر	۲۵/۴۲^{e}	۵/۶۹^{def}	۶۱/۵۲^{g}	۱/۸۸۶^{a}	۸/۱۷۸^{e}	۳/۱۰۴^{d}	۳/۳۱۴^{a}	۱۴/۵۹۶^{f}
۲۰	۵	۳۱/۱۷^{bc}	۶/۲۶^{abc}	۷۶/۷۸^{bc}	۱/۶۳۶^{b}	۹/۲۹۷^{d}	۳/۷۰۲^{bc}	۲/۷۱۳^{d}	۱۵/۷۱۲^{e}
	۱۰	۳۱/۷۵^{bc}	۵/۳۴^{f}	۷۸/۱۹^{de}	۰/۹۶۶^{c}	۱۰/۱۰۴^{bc}	۳/۸۴۷^{ab}	۲/۷۸۰^{cd}	۱۶/۷۳۱^{cd}

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی¬دار (LSD) می باشد

بحث

ارتفاع، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ

پاسخ و مقاومت گیاه به تنش خشکی، ترکیبی از مجموعه فرآیندهای بیولوژیکی در سطوح سلولیو فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سطح کل گیاه است. گیاهان مقاوم به خشکی می‌توانند از طریق سازگاری مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و سیگنال‌های مولکولی به شرایط کمبود آب مقاومت نشان دهند (Liu *et al*., 2022). در پژوهش حاضر تیمار تنش کم آبیاری بر تمامی شاخص‌های مورفولوژیکی مورد آزمایش تاثیر معنی‌داری داشت. نتایج بدست آمده نشان داد اعمال تنش کم آبیاری باعث کاهش ارتفاع گیاه، قطر ساقه و تعداد شاخه‌های جانبی شد. تیمار سربرداری ارتفاع گیاه را کاهش داد، اما قطر ساقه و تعداد

شاخه جانبی گیاه را افزایش داد. کاربرد تیدیازورون نیز منجر به افزایش ویژگی‌های فوق شد. در واقع کاهش ارتفاع گیاه می‌تواند به علت کاهش فشار تورژسانس و در نتیجه کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول در شرایط تنش خشکی باشد (Liu *et al*., 2022). تحت شرایط تنش خشکی، اولین نشانه کمبود آب کاهش آماس سلولی است که باعث کاهش در تقسیم و طویل شدن سلول و متابولیت‌های ضروری مورد نیاز برای رشد و نمو گیاه می‌شود، که در نتیجه کاهش شاخص‌های رشد را به همراه خواهد داشت (Kaur *et al*., 2000).

عمل سربرداری به دلیل حذف قسمت انتهایی، ممکن است انرژی بیشتری برای افزایش تعداد شاخه‌های جانبی صرف کند (Kumar *et al*., 2019). تحقیقات روی گونه‌های گیاهی مختلف از جمله آنتوریوم (Wainwright & Irwin, 1987)، ورد (Zieslin *et al*., 1975) و جعفری آفریقایی (Kumar *et al*., 2019) نشان داده است سربرداری در گیاهان به دلیل حذف غالبیت انتهایی باعث افزایش توزیع مواد غذایی (فرآورده‌های فتوسنتزی مثل قند، نشاسته و کربوهیدرات) در قسمت‌های مختلف گیاه شده و افزایش تعداد شاخه جانبی و قطر ساقه را به همراه داشته است، در صورتی که منجر به کاهش ارتفاع شده است. کاهش تعداد ساقه جانبی در پژوهش حاضر به احتمال زیاد به‌دلیل سربرداری زود هنگام (تعداد گره کم ساقه اصلی) و رشد شاخه‌های جانبی ابتدایی و در نتیجه تاثیر غالبیت آنها بر رشد شاخه‌های جانبی بعدی باشد. در صورتی که در گیاهان سربرداری نشده به دلیل غالبیت انتهایی، رشد ساقه اصلی تا زمان ظهور گل افزایش یافته (تعداد گره بیشتر در مقایسه با گیاهان سربرداری شده) و بعد از آن ظهور گل منجر به کاهش رشد انتهایی شده و رشد ساقه‌های جانبی را به همراه دارد که مشابه سربرداری دیرهنگام عمل می‌کند.

نتایج بررسی تیدیازورون روی گل لاله، داوودی (Ferrante *et al*., 2003) و میخک (Chamani & Esmaeilpour, 2007) نشان داد طول ساقه کاهش و تعداد شاخه‌های جانبی افزایش پیدا کرد. با این‌حال، تحقیقات روی گیاه *Ajuga bracteosa* نشان داد که کاربرد تیدیازورون باعث افزایش تعداد و طول شاخه شد (Ali *et al*., 2018). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که کاربرد تیدیازورون باعث افزایش تعداد شاخه جانبی و طول آنها شد، اما با افزایش غلظت از مقدار آنها کاسته شد. در بررسی تاثیر تیدیازورون روی گل رز گلدانی سربرداری شده گزارش شد که دو هفته پس از تیمار با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار تیدیازورون، گیاهانی با میان‌گره‌های کوتاه‌تر و ضخیم و شاخه‌های کوتاه تشکیل شد. همچنین تیمار تیدیازورون باعث تحریک تولید اتیلن توسط گیاهان شد. علاوه براین تیمار تیدیازورون از طریق تعدیل بیوسنتز جیبرلین، طول و قطر ساقه را در گیاهان گل رز تنظیم می‌کند (Celikel *et al*., 2021). نتایج بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف بنزیل آدنین، کینیتین و تیدیازورون به‌ترتیب در غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ میلی‌گرم در لیتر بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ و ساقه گیاه *Hemerocallis fulava* نشان داد که بیشترین ارتفاع و تعداد برگ در تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آدنین حاصل می‌شود. استفاده از تیدیازورون نیز باعث افزایش شاخص‌های مذکور شد. با این‌وجود، بیشترین تعداد ساقه در تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر تیدیازورون به‌دست آمد (Shalan *et al*., 2023). همچنین، مطالعات درون شیشه‌ای نشان داده است که اضافه کردن تیدیازورون به محیط کشت آلسترومریا (Hutchinson *et al*., 2014) منجر به باززایی شاخساره در غلظت کم می گردد، که با نتایج حاضر همخوانی دارد. ممانعت تیدیازورون از طویل‌شدن شاخه (شاخساره) ممکن است به دلیل فعالیت بالای سیتوکینینی آن باشد، در حالی‌که یک گروه فنیل در تیدیازورون ممکن است باعث ناهنجاری در جوانه شاخه شود (Huetteman & Preece, 1993). همچنین، بازدارندگی از رشد شاخساره ممکن است به متابولیسم جیبرلین یا بیوسنتز پرولین مربوط شود، هر چند این موضوع هنوز ناشناخته است (Dewir *et al*., 2018). تحقیقات نشان داده است اگرچه تیدیازورون در مقایسه دیگر سیتوکینین‌ها، کارآیی بیشتری جهت تکثیر شاخساره دارد، اما مشکلاتی از جمله فشرده بودن و کوتاهی شاخه در برخی گونه‌های گیاهی از جمله گردوی

سیاه ، بیربیای وحشی و زرنباد گزارش شده است که[1] نشان می‌دهد تاثیر تیدیازورون روی گیاهان به غلظت، زمان کاربرد و نوع گونه گیاهی بستگی دارد (Dewir *et al*., 2018).

نتایج این آزمایش نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش تعداد برگ در گیاه شمعدانی شد و با اعمال تیمار تیدیازورون باعث اثر تنش خشکی کاهش یافت و تعداد برگ افزایش پیدا کرد. تنش خشکی با تاثیر بر سلول‌های اولیه برگ و تمایز آنها باعث کاهش تعداد برگ می‌شود. در واقع، کاهش سطح و تعداد برگ با افزایش تنش خشکی سبب کاهش اتلاف آب، تعرق و متعاقب آن افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی می‌شود که نوعی سازش مورفولوژیکی و عاملی برای انتشار مجدد مواد غذایی در گیاه است (Kaur *et al*., 2000). تنش خشکی با تحریک تولید هورمون آبسیزیک اسید و تاثیر بر تولید اتیلن باعث تحریک فرآیند ریزش می‌شود. تحقیقات نشان داده استکه جلوگیری از عمل اتیلن، ریزش برگ را کاهش داده و تعداد آن را افزایش می‌دهد (El Lateef Gharib *et al*., 2019). تاثیر مثبت تیدیازورون روی رشد برگ گیاهان مختلف از جمله *Ajuga bracteosa* (Ali *et al*., 2018) و تربچه (Hussain *et al*., 2019) گزارش شده است. بررسی تاثیر سربرداری بر رشد، گلدهی، ویژگی‌های آناتومی و ترکیبات شیمیایی شمعدانی معمولی (*Pelargonium zonale*) نیز نشان داد که؛سربرداری باعث افزایش تعداد شاخه‌ها در بوته و قطر ساقه شد، همچنین وزن تر و خشک برگ را نیز افزایش داد (Abd El-Ramady *et al*., 2016). در واقع عمل سربرداری با حذف غالبیت انتهایی منجر به افزایش هورمون سیتوکینین و کاهش اکسین می‌شود. از طرفی دیگر، هورمون تیدیازورون آنالوگ سیتوکینین بوده و می‌تواند تاثیراتی مشابه آن داشته باشد. سیتوکینین‌ها ممکن است از طریق تحریک تنظیم اسمزی، تاثیرات مخرب تنش خشکی را کاهش دهند (Blackman & Davies, 1984). با این‌حال، سیتوکینین در سلول‌های نگهبان روزنه به‌طور مستقیم در القاء قطبی شدن غشاء درگیر بوده و با افزایش فعالیت پمپ پروتون، چرخه آدنیلات و ارتباط سیستم کلسیم – کالمودولین، باعث باز شدن روزنه‌ها شده و منجر به افزایش تعرق و کاهش دمای برگ می‌شود و کاربرد آن تحت شرایط تنش خشکی از طریق غربال رادیکال‌های آزاد باعث تاخیر در پیری برگ شده و خسارت وارده به غشای سلولی را کاهش می‌دهد (Abd El-Ramady *et al*., 2016; Sayd *et al*., 2010).

خصوصیات ریشه

نتایج آزمایش نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش حجم و طول ریشه در گیاه شمعدانی شد. با این‌حال، وزن تر و خشک ریشه را کاهش داد. عمل سربرداری در سطوح مختلف تنش کم آبیاری باعث کاهش طول ریشه شد، اما حجم ریشه و وزن تر و خشک را افزایش داد. اعمال تیمار تیدیازورون تحت سطوح مختلف تنش کم آبیاری و عمل سربرداری (بجز غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش ویژگی‌های ریشه (حجم، طول، وزن تر و خشک ریشه) شد. گیاهان برای بهبود حفظ آب و مقاومت به خشکی، سیستم ریشه‌ای و ظرفیت جذب آب را نیز افزایش می‌دهند (Liu *et al*., 2022). تنش خشکی باعث کاهش مقدار اکسین شده و انتقال آن از واحدهای سازنده به مریستم انتهایی و برگ‌ها را دچار اختلال می‌کند. از طرفی دیگر، تولید سیتوکینین در ریشه و انتقال آن به برگ‌ها نیز کاهش یافته و تجزیه آن در ریشه و برگ اتفاق می‌افتد (Pospisilova *et al*., 2003). همچنین، وضعیت مواد غذایی گیاه باعث تنظیم سیتوکینین می‌شود از طرفی دیگر نسبت سیتوکینین به اکسین، سرعت رشد ریشه و اندام هوایی را نیز تعیین می‌کند (Taiz & Zeiger, 2006). غلظت بالای سیتوکینین باعث تحریک رشد اندام هوایی می‌شود و بر عکس، غلظت بالای اکسین، رشد ریشه را افزایش می‌دهد (Liu *et al*., 2022). یک بررسی روی گیاهان تربچه نشان داد که کاربرد تیدیازورون باعث افزایش ویژگی‌های ریشه گیاهان تحت تیمار شد (Hussain *et al*., 2019). همچنین، سربرداری در گیاه تکوما (*Tecoma capensis*) نیز باعث بهبود شاخص‌های ریشه شد (Mohamed *et*

---

1. *Juglans nigra*
2. *Rollinia mucosa*
3. *Alpinia zerumbet*

(Liu *et al*., 2022). رشد گیاهان به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم متاثر از هورمون‌های گیاهی است که تحت تاثیر خشکی دچار اختلال شده و متعاقب آن رشد و نمو گیاه را کاهش می‌دهند. افزایش رشد ریشه در اثر کاربرد تیدیازورون و یا سربرداری (به‌عنوان محرک تولید سیتوکینین) نیز ممکن است به دلیل حفظ تعادل هورمونی در گیاهان باشد (Liu *et al*., 2022).

وزن تر و خشک کل، کارایی مصرف آب و شاخص مقاومت به تنش

تنش خشکی بسته به سطح تنش و مرحله نموی گیاه از طریق کاهش سطح برگ، پیری برگ، افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی، رشد رویشی و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Salehi-Lisar & Bakhshayeshan -Agdam, 2016). با این‌وجود، تاثیر تیدیازورون و عمل سربرداری می‌تواند از طریق سیتوکینین باعث افزایش تقسیم سلولی، تجمع کلروفیل، بیوسنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی (تبدیل اتیوپلاست به کلروپلاست) و تاخیر در پیری برگ گیاهان شود (Taiz & Zeiger, 2006)، همچنین از طریق تاثیر مثبت بر تقسیم سلولی، پتانسیل مخزن فیزیولوژیک (اندام‌های زایشی یا ذخیره‌ای، برگ‌های نابالغ) را افـزایش داده و بدین‌وسیله ظرفیت فتوسنتزی و رشد گیاه را نیز افزایش می‌دهد، زیرا حرکت مواد فتوسنتزی از منبع (شاخ و برگ) به سوی مخزن مبتنی بر ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی (منبع) و ظرفیت مصرف مواد فتوسنتزی (مخزن) است و در صورت عدم تعادل بین این دو، عملکرد گیاه کاهش پیدا می‌کند (Zhang *et al*., 2022).

در پژوهش حاضر نتایج نشان داد که تنش کم آبیاری کارایی مصرف آب را افزایش و شاخص مقاومت به تنش خشکی را کاهش داد. سربرداری گیاهان و کاربرد تیدیازورن موجب افزایش کارایی مصرف آب و شاخص مقاومت به تنش خشکی شد و غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر آن عملکرد بهتری داشت. پژوهش‌ها نشان داده است تنظیم از پایین‌دست سیتوکینین منجر به بیان سیستم ریشه‌ای شده و نسبت ریشه به شاخساره را افزایش می‌دهد که این سطح جذب آب ریشه‌ها را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، شاخه‌ها و سطح برگ به نسبت کوچک در مقایسه با ریشه‌ها می‌تواند به طور موثری تعرق گیاه را کاهش دهد (Calvo-Polanco *et al*., 2019; Werner *et al*., 2010)، بنابراین کل گیاه می‌تواند محتوای نسبی آب نسبتا بالایی را حفظ کند و تحمل به خشکی را بهبود بخشد. علاوه بر این، تنظیم از پایین‌دست سیتوکینین‌ها ممکن است به افزایش در تحمل به خشکی از طریق تاثیرات سیستم اکسیداتیو باشد (Calvo-Polanco *et al*., 2019). همچنین نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که تیمار سیتوکینین توانسته است با تأثیر بر عوامل غیرروزنه‌ای باعث کارآیی بیشتر در افزایش نرخ فتوسنتز خالص گردد (Pospisilova *et al*., 2005).

محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت و میزان مالون دی‌آلدئید

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبیاری در هر دو گروه گیاهان بدون سربرداری و سربرداری شده شمعدانی باعث کاهش محتوای نسبی آب و افزایش نشت الکترولیت و غلظت مالون دی‌آلدئید شد. کاربرد تیدیازورون موجب افزایش محتوای نسبی، آب کاهش نشت الکترولیت و غلظت مالون دی‌آلدئید گردید. تحقیقات مختلف روی گیاهان پروانش (Zomorrodi *et al*., 2022)، مریم گلی زینتی (Beiranvand *et al*., 2023) و گل حنا (Safari *et al*., 2022) در شرایط تنش خشکی نیز افزایش نشت الکترولیت و مالون دی‌آلدئید و کاهش محتوای نسبی آب برگ را نشان داده‌اند که با پژوهش حاضر همخوانی دارد. در بین اجزا گیاهی، غشای سلولی اولین بخش از سلول است که در مواجهه با تنش خشکی آسیب می‌بینند. تنش خشکی با ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی، منجر به اکسیداسیون اسیدهای چرب دیواره سلولی شده که در نتیجه با تخریب غشای سلولی و افزایش نفوذپذیری یون‌ها در اثر افزایش حلالیت و پراکسیداسیون چربی‌های غشا، نشت الکترولیت و محتوای مالون دی‌آلدئید را افزایش و محتوای نسبی آب در گیاهان را کاهش می‌دهد (Demidchik *et al*., 2014). تاکنون گزارشی مبنی بر بررسی مستقیم تاثیر تیدیازورون و سربرداری روی گیاهان تحت تنش خشکی انجام نشده است، هر چند می‌توان تاثیر آنها روی گیاهان را به سیتوکینین نسبت داد. مطالعات نشان داده

است سیتوکینین در شرایط تنش با افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی باعث حذف رادیکال‌های آزاد شده و ثبات غشا سلولی را افزایش داده و از این طریق رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Sayd *et al*., 2010).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل شد. در صورتی‌که سربرداری گیاهان شمعدانی موجب افزایش میزان کلروفیل شد. کاربرد تیدیازورون در تنش کم آبیاری ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، موجب افزایش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل گردید. از راهکارهای موثر برای افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی می‌توان به تنظیم دستگاه فتوسنتزی اشاره کرد. در واقع، خشکی از طریق افزایش تولید رادیکال‌های آزاد در سلول باعث تخریب رنگدانه‌ها و پروتئین‌های D_1 و D_2 در فتوسیستم دو می‌شود که در نتیجه سبب بی نظمی در غشای تیلاکوئید می‌شود (Mittler, 2004). تحقیقات مختلف روی گیاهان مریم گلی زینتی و پروانش (Beiranvand *et al*., 2023; Zomorrodi *et al*., 2022) نشان داده است که تنش خشکی ملایم میزان کلروفیل را افزایش می‌دهد، اما با ادامه شدت تنش، کاهش پیدا می‌کند که با داده‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. وقوع تنش به دلیل کاهش اندازه‌ی سلول از میزان سطح برگ می‌کاهد، در نتیجه به دلیل وجود سلول‌های بیش‌تر در واحد وزن برگ، میزان کلروفیل نیز افزایش پیدا می‌کند (Nonami *et al*., 1997). نتایج تحقیقات روی گیاه گل شاخه بریده رز (Rasouli *et al*., 2015) و گل شاخه بریده لاله و داوودی (Ferrante *et al*., 2003) نشان داد که اعمال تیدیازورون از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و غلظت آن را افزایش می دهد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. مطالعات نشان داده است که سیتوکینین‌ها از طریق کاهش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و فعال کردن آنزیم NADH پروتوکلروفیلید ردوکتاز در مسیر بیوسنتز کلروفیل، محتوای کلروفیل را افزایش می‌دهند (Zavaleta-mancera *et al*., 2007). تحقیقات روی گیاهان شمعدانی (Mutui *et al*., 2008) و آلسترومریا (Mutui *et al*., 2004) نشان داده است که سیتوکینین به دلیل تاخیر در تخریب کلروفیل و حفظ قابلیت دستگاه فتوسنتزی از زردی برگ گیاهان جلوگیری می‌کند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد غلظت کاروتنوئید در گیاهان سربرداری شده و بدون سربرداری تحت تیمار تیدیازورون در سطوح ۸۰ و ۵۰ درصد آب قابل دسترس افزایش یافت، اما در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس از مقدار آن کاسته شد. کاروتنوئیدها به‌عنوان آنتی اکسیدان غیر آنزیمی از طریق خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد فرآیند اکسیداسیون را متوقف می‌کنند و نقش مهمی در تعدیل اثرات مخرب تنش در گیاهان دارند (Mittler, 2004). تحقیقات مختلف روی گیاهان نشان داده است که با افزایش نسبی سطح تنش کم آبیاری بر مقدار کارتنوئید برگ می‌شود، اما با تشدید تنش خشکی از مقدار آنها کاسته شده است (Beiranvand *et al*., 2023; Zomorrodi *et al*., 2022). کاروتنوئیدها می‌توانند انرژی اضافی طول موج‌های کوتاه را جذب کرده و اکسیژن یک‌تایی را به اکسیژن سه‌تایی تبدیل کنند و با جذب رادیکال‌های اکسیژن تولید شده نقش آنتی اکسیدانی خود را بروز دهند (Qi *et al*., 2018).

سیستم آنتی‌اکسیدانی: آنزیم کاتالاز

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبیاری در هر دو گروه گیاهان بدون سربرداری و سربرداری شده شمعدانی باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز شد. با این‌حال، کاربرد تیدیازورون، فعالیت آنزیم کاتالاز را کاهش داد. زمانی‌که گیاهان در معرض تنش قرار می‌گیرند میزان گونه‌های فعال اکسیژن، به عنوان اولین لایه دفاعی در آنها تجمع پیدا می‌کند (Mittler, 2004). سطح معمول گونه‌های فعال اکسیژن، سبب حفظ هومئوستازی مناسب در سلول می‌شود، در حالی‌که تولید بیش از حد آنها سبب آسیب و مرگ سلول خواهد شد. گیاهان برای مقابله با چنین شرایطی با افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی باعث حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند (Qi *et al*., 2018; Mittler, 2004). با این‌وجود، برخی مواقع

ممکن است به‌واسطه فعالیت کم فتوسنتزی برای کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن از طریق کلروپلاست‌ها، سیستم آنزیمی نسبت به تنش‌های محیطی فعالیت یا حساسیت کمتری داشته باشد (Apel & Hirt, 2004). بررسی اثر کاربرد تیدیازورون روی *Ajuga bracteosa* نشان داد که تاثیر تیدیازورون به غلظت و مرحله رشد گیاه بستگی دارد، به‌طوری‌که تیدیازورون در غلظت ۱/۲ پی‌پی‌ام، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را در ساقه‌ها، افزایش داد. با این وجود، حداکثر فعالیت آنزیم کاتالاز در غلظت بالاdی از تیدیازورون (۵ پی‌پی‌ام) مشاهده شد (Ali *et al*., 2018). همچنینT تحقیقات روی گیاه آرابیدوپسیس تحت تاثیر تیمار بنزیل آدنین و تنش شوری نشان داد که بیان بیش از حد سیتوکینین‌ها باعث بیان *AtIPT8* (ژن کد کننده ایزوپنتیل ترانسفراز) و تنظیم از پایین دست ژن‌های مرتبط با غربال گونه‌های فعال اکسیژن شد و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز را کاهش داد. از طرفی دیگر، تنظیم از پایین دست سیتوکینین می‌تواند با تولید بیش از حد سیتوکینین اکسیداز به دست آید (Werner *et al*., 2010) و منجر به کاهش رشد گیاهان و افزایش محتوای ترکیبات محافظت کننده شده و تحمل خشکی در آرابیدوپسیس (Werner *et al*., 2010) و بادام زمینی (Khandal *et al*., 2020) را افزایش دهد.

درصد و عملکرد اسانس

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبیاری درصد اسانس را افزایش و عملکرد اسانس را کاهش داد. سربرداری گیاهان شمعدانی موجب افزایش عملکرد اسانس شد. با این‌حال، کاربرد تیدیازورن باعث کاهش درصد اسانس گردید. زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد تولید ماده موثره آن به دلیل جلوگیری از اکسیداسیون درون سلولی افزایش می‌یابد. افزایش درصد اسانس تحت تنش خشکی در ریحان (Omidbaigi & Hassani, 2002) و بادرشبو (Hassani, 2006) گزارش شده است. افزایش میزان محتوای اسانس و کاهش عملکرد اسانس با افزایش دور آبیاری تا حدودی نشان می‌دهد که تنش آبی با کاهش رشد رویشی بر عملکرد کل اسانس تأثیر منفی می‌گذارد (Eiasu *et al*., 2008). افزایش دورآبیاری در گیاه شمعدانی موجب افزایش اسانس و کاهش عملکرد اسانس شد (Eiasu, 2008). همچنین، در مطالعه دیگری نیز تنش خشکی سبب کاهش عملکرد اسانس گیاه شمعدانی شد (Eiasu *et al*., 2012). در پژوهشی بررسی اثرات تیمارهای مختلف آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی و رشدی گل مکزیکی (*Agastache foeniculum*) نشان داد که تیمار خشکی باعث کاهش عملکرد اسانس و افزایش درصد اسانس شد (Mahmoudi Surestani & Omidbeigi, 2012) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در مقایسه با دیگر تنظیم کننده‌های رشد گیاهی، تیدیازورون به‌عنوان یک ترکیب موثر و کارآمد بر افزایش سطوح متابولیت‌های مهم در بسیاری از گیاهان دارویی شناخته شده است (Unal *et al*., 2018). به تازگی نیز مطالعات نشان داده است که تیدیازورون به‌عنوان یک تنظیم کننده رشد در باززایی مستقیم شاخساره و تولید ترکیبات فعال زیستی و معطر در گیاه *Ajuga bracteosa* نقش به‌سزایی دارد (Ali *et al*., 2018). تیدیازورون به‌عنوان یک محرک رشد بسته به زمان و غلظت مورد استفاده می‌تواند روی متابولیت‌های ثانویه تاثیر گذار باشد. با وجود اینکه بیش از ۴۰ سال است که از تیدیازورون به طور گسترده‌ای در مطالعات علمی جهت تحریک پاسخ‌های مورفوژنتیکی در گیاهان استفاده می‌شود، سازوکار دقیق آن هنوز ناشناخته است (Catalano *et al*., 2022).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان اظهار داشت که عمل سربرداری و کاربرد تیدیازورون می‌تواند از طریق بهبود رشد ریشه و حذف غالبیت انتهایی باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش کم آبیاری شوند. در بین غلظت‌های تیدیازورون نیز غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر تاثیر به مراتب بهتری روی رشد و نمو گیاهان به همراه داشت. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، به‌منظور استفاده از تیدیازورون جهت عملیات سربرداری در گیاهان مختلف، نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه می‌باشد.

منابع

بیرانوند، فرهاد.، زاهدی، بهمن.، و رضایی نژاد، عبدالحسین. (۱۴۰۱). بررسی تاثیر محلول‌پاشی سلنیوم روی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مریم گلی زینتی تحت شرایط تنش کم آبیاری، *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۱ (۴۷)، ۳۳۹-۳۲۳.

حسنی، عباس. (۱۳۸۵). بررسی تاثیر تنش کم آبی بر رشد، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۲ (۳)، ۲۵۶-۲۶۱.

رضایی نژاد، عبدالحسین.، فیضیان، محمد.، سپهوند، کبری. (۱۳۹۲). تأثیر تنش کم‌آبی بر رشد، عملکرد، میزان و ترکیب‌های اسانس شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.)، *دو فصلنامه فنآوری تولیدات گیاهی*، ۵ (۱)، ۹۴-۸۳.

محمودی سورستانی، محمد.، و امیدبیگی، رضا. (۱۳۹۱). مقایسه عملکرد بدن رویشی، مقدار و ترکیب اسانس گل مکزیکی (*Agastache foeniculum* Kuntze) در شرایط مزرعه و گلخانه تحت تیمار تنش خشکی. *تولیدات گیاهی*، ۳۶ (۴)، ۵۳-۴۳.

REFERENCES

Ali, H., Khan, M. A., Kayani, W. K., Khan, T., & Khan, R. S. (2018). Thidiazuron regulated growth, secondary metabolism and essential oil profiles in shoot cultures of *Ajuga bracteosa*. *Industrial Crops and Products*, 121, 418-427.

Ali, S. Z., Sandhya, V., Grover, M., Linga, V. R., & Bandi, V. (2011). Effect of inoculation with a thermotolerant plant growth promoting *Pseudomonas putida* strain AKMP7 on growth of wheat (*Triticum* spp.) under heat stress. *Journal of Plant Interactions*, 6(4), 239-246.

Alvareza, S., Gómez-Bellota, M. J., Acosta-Motosc, J, R., & Sánchez-Blanco M. J. (2019). Application of deficit irrigation in Phillyrea angustifolia for landscaping purposes, *Agricultural water Water managementManagement*, 218, 193–202.

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2018). Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean, *Industrial. Crops and Products*, 111, 743–754.

Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual. Review. Plant Biology*., 55, 373-399.

Beiranvand, F., Zahedi, B., & Rezaei Nejad, A. (2023). Investigation of the effect of selenium foliar application on morphophysiological and biochemical characteristics of ornamental salvia under irrigation regime. *Plant Process and Function*, 11 (47), :323-339. (In Persian)

Blackman, P. G., & Davies, W. J. (1984). Age-related changes in stomatal response to cytokinins and abscisic acid. *Annals of Botany*, 54(1), 121-126.

Calvo-Polanco, M., Armada, E., Zamarreño, A. M., García-Mina, J. M., & Aroca, R. (2019). Local root ABA/cytokinin status and aquaporins regulate poplar responses to mild drought stress independently of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor*. *Journal of Experimental Botany*, 70(21), 6437-6446.

Catalano, A., Ceramella, J., Iacopetta, D., Mariconda, A., Scali, E., Bonomo, M. G., & Sinicropi, M. S. (2022). Thidiazuron: New trends and future perspectives to fight Xylella fastidiosa in *olive* trees. *Antibiotics*, 11(7), 947.

Çelikel, F. G., Zhang, Q., Zhang, Y., Reid, M. S., & Jiang, C. Z. (2021). A cytokinin analog thidiazuron suppresses shoot growth in potted rose plants via the gibberellic acid pathway. *Frontiers in Plant Science*, 12, 639717.

Chamani, E., & Esmaeilpour, B. (2007). Thidiazuron effects on physiochemical characteristics of carnation during pre and postharvest periods. *Journal of. Applied. Horticulture*, 9, 115-117.

Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalas and proxidase. In S. P.: Colowick, S.P., & N. D. Kaplan (eds). *Methods in Enzymology*. Academic Press, New York, 764-775.

Demidchik, V., Straltsova, D., Medvedev, S. S., Pozhvanov, G. A., Sokolik, A., & Yurin, V. (2014). Stress-induced electrolyte leakage: the role of K^+-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. *Journal of Experimental Botany*, 65(5), 1259-1270.

Dewir, Y. H., Nurmansyah, Naidoo, Y., & Teixeira da Silva, J. A. (2018). Thidiazuron-induced

abnormalities in plant tissue cultures. *Plant Cell Reports*, 37, 1451-1470.

Dorajeerao, A. V. D., & Mokashi, A. N. (2012). Growth analysis as influenced by pinching time in garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.). *J Agric Res Technol Global Journal of Bioscience and Biotechnology*, 371(32), 373242-379247.

Eiasu, B. K., Steyn, J. M., & Soundy, P. (2012). Physiomorphological response of rose-scented geranium (*Pelargonium* spp.) to irrigation frequency. *South African Journal of Botany*, 78, 96-103.

El Lateef Gharib, F. A., Zeid, I. M., Ghazi, S. M., & Ahmed, E. Z. (2019). The response of cowpea (*Vigna unguiculata* L) plants to foliar application of sodium selenate and selenium nanoparticles (SeNPs). *Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology*, 8(4), 1-15.

El-Ramady, H., Abdalla, N., Taha, H. S., Alshaal, T., El-Henawy, A., Faizy, S. E. D. A., … & Schnug, E. (2016). Selenium and nano-selenium in plant nutrition. *Environmental Chemistry Letters*, 14(1), 123-147.

Ferrante, A., Tognoni, F., Mensuali-Sodi, A., & Serra, G. (2003). Treatment with thidiazuron for preventing leaf yellowing in cut tulips and chrysanthemum. *Acta Horticulturae*, 624, 357-363.

Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29 (5), 897-912.

Gudarowska, E., & Szewczuk, A. (2002). Wplyw czynnikow agtotechnicznych i bioregulatorow na stopien rozgalezienia jednorocznych i dwuletnich drzewek jabloni odmian GALA i ALWA na podkladce M. 26. *Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach*, 10, 29-37.

Hassani, A. (2006). Effect of water deficit stress on growth, yield and essential oil Content of *Dracocephalum moldavica*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22 (3), 256-261. (In Persian)

Huetteman, C. A., & Preece, J. E. (1993). Thidiazuron: a potent cytokinin for woody plant tissue culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 33, 105-119.

Hussain, F., Hadi, F., & Akbar, F. (2019). Magnesium oxide nanoparticles and thidiazuron enhance lead phytoaccumulation and antioxidative response in *Raphanus sativus* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 30333-30347.

Hutchinson, M. J., Onamu, R., Kipkosgei, L., & Obukosia, S. D. (2014). Effect of Thidiazuron, NAA and BAP on in vitro propagation of *Alstroemeria aurantiaca* C. V. 'Rosita'from shoot tip explants. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 16(2), 58-72.

Jaleel C. A., Gopi R., Manivannan P., Gomathinayagam M., Murali P.V., & Panneerselvam R. (2008). Soil applied propiconazole alleviates the impact of salinity on Catharanthus roseus by improving antioxidant status. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 90(2): 135-139.

Karnwal, A., Shrivastava, S., Al-Tawaha, A. R. M. S., Kumar, G., Kumar, A., & Kumar, A. (2023). PGPR- mediated breakthroughs in plant stress tolerance for sustainable farming. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-17. https://doi.org/10.1007/s00344-023-11013-z.

Kaur, S., Gupta, A. K., & Kaur, N. (2000). Effect of GA3, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. *Plant Growth Regulation*, 30(1), 61-70.

Khan, A., & Singh, A. V. (2021). Multifarious effect of ACC deaminase and EPS producing Pseudomonas sp. and Serratia marcescens to augment drought stress tolerance and nutrient status of wheat. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37, 1-17.

Khandal, H., Gupta, S. K., Dwivedi, V., Mandal, D., Sharma, N. K., Vishwakarma, N. K., & Chattopadhyay, D. (2020). Root-specific expression of chickpea cytokinin oxidase/dehydrogenase 6 leads to enhanced root growth, drought tolerance and yield without compromising nodulation. *Plant Biotechnology Journal*, 18(11), 2225-2240.

Ki-Yun, J., Bong-Hwa, K., Yu-Jin, P., & Jung-Myung, L. (2004). Producing double-stemmed tomato seedling by cutting propagation, pinching and plant bioregulators application. *HortScience*, 39(4), 758C-758.

Kumar, V., Singh, V., Kumar, L., & Maurya, S. K. (2019). A Review on effect of pinching on growth, flowering and flower yield of marigold. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 7, 493-501.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: –pigments of photosynthetic biomembrances. In H. Sies, R. Douce, N. Clowick & N. Kaplan (Eds.), Methods in Enzymology Plant Cell Membranes, 148 (pp. 350-381). Academic Press, San Diego (CA).

Liu, Y., Wang, X., Wang, X., Gao, W., & You, C. (2022). Identification and functional characterization of apple MdCKX5. 2 in root development and abiotic stress tolerance. *Horticulturae*, 8(1), 62.

Lu, C. Y. (1993). The use of thidiazuron in tissue culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 29, 92-96.

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(3), 389-398.

Mahmoudi Surestani, M., & Omidbeigi, R. (2012). Comparison of vegetative body performance, amount and composition of essential oil of Mexican flower (*Agastache foeniculum* Kuntze) in field and greenhouse conditions under drought stress treatment. *Plant Products*, 36 (4), 43-53. (In Persian)

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*, 9(10), 490-498.

Mohamed, Y. F. Y., Zewail, R. M., Sami, R., Al-Mushhin, A. A., Alyamani, A., Aljahani, A. H., & El-Desouky, H. S. (2022). Effect of pinching and paclobutrazol on, flowering, chemical constituents, and histological features of *Tecoma capensis* (Thunb.) Lindl. *Science of Advanced Materials*, 14(3), 447-461.

Motsa, N. M., Soundy, P., Steyn, J. M., Learmonth, R. A., Mojela, N., & Teubes, C. (2006). Plant shoot age and temperature effects on essential oil yield and oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) grown in South Africa. *Journal of Essential Oil Research*, 18(sup1), 106-110.

Mutui, T. M., Emongor, M. J., & Hutchinson, M. J. (2004). Influence of plant growth regulators on postharvest characteristics of Alstroemeria cut flowers. *Discovery and Innovation*, 16(3), 195-201.

Mutui, T. M., Mibus, H., & Serek, M. (2008). Effects of phytohormones and dark storage on postharvest quality of Pelargonium cuttings. *African Journal of Horticultural Science*, 1, 19-32.

Nonami, H., Wu, Y., & Boyer, J. S. (1997). Decreased growth-induced water potential (a primary cause of growth inhibition at low water potentials). *Plant Physiology*, 114(2), 501-509.

Nugent, G., Wardley-Richardson, T., & Lu, C. Y. (1991). Plant regeneration from stem and petal of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *Plant Cell Reports*, 10(9), 477-480.

Omidbaigi, R., Hassani, A., & Sefidkon, F. (2003). Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *Journal of Essential oil-bearing plants*, 6(2), 104-108.

Pospisilova, J. (2003). Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. *Biologia Plantarum*, 46, 491-506.

Pospisilova, J., Vagner, M., Malbeck, J., Travnickova, A., & Batkova, P. (2005). Interactions between abscisic acid and cytokinins during water stress and subsequent rehydration. *Biologia Plantarum*, 49, 533-540.

Qi, J., Song, C. P., Wang, B., Zhou, J., Kangasjarvi, J., Zhu, J. K., & Gong, Z. (2018). Reactive oxygen species signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. *Journal Integrative Plant Biology*, 56, 1-23.

Radhakrishnan, R., Ramachandran, A., & Ranjitha Kumari, B. D. (2009). Rooting and shooting: dual function of thidiazuron in in vitro regeneration of soybean (*Glycine max* L). *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 1213-1217.

Rasouli, O., Ahmadi, N., Behmanesh, M., & Nergi, M. D. (2015). Effects of BA and TDZ on

postharvest quality and expression of laccase and aquaporin genes in cut rose 'Sparkle'. *South African Journal of Botany*, 99, 75-79.

Rezaei Nejad, A., & Ismaili, A. (2014). Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), 905-910.

Rezaei Nejad, A., Faizian, M., & Sephond, K. (2013). Effect of water deficit stress on growth, yield, essential Oil oil content and composition of *Pelargonium graveolens* L. *Plant Production Technology*, 5(1), 83-94. (In Persian).

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1), 105-111.

Safari, M., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., Sorkheh, K., & Sofo, A. (2022). Exogenous salicylic acid positively affects morpho-physiological and molecular responses of *Impatiens walleriana* plants grown under drought stress. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 969-984.

Salehi-Lisar, S. Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. In M. A. Hossain, S. H. Wani, S. Bhattacharjee, D. J. Burritt & L. P. Tran (Eds.), Drought *stress tolerance in plants* 1, 1-16.

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, 184–191.

Sehrawat, S. K., Dahiya, D. S., Singh, S. & Rana, G. S. (2003). Effect of nitrogen and pinching on growth, flowering and yield of marigold (*Tagetes erecta* L.) cv. African Giant Double Orange. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*. 32, 59-60.

Shalan, E. E., Soliman, S. S., Mahmoud, A. A., Al-Khayri, J. M., ALshamrani, S. M., Safhi, F. A., & Hassanin, A. A. (2023). Micropropagation of daylily (*Hemerocallis fulva*) from crown-tip explants and assessment of somaclonal variation of in vitro- propagated plants using SCoT markers. *Phyton*, 92(7), 2183-2196.

Taiz, L. D., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*. Sunderland (Massachusetts): Sinauer Associates.

Turkyilmaz Unal, B. (2018). Thidiazuron as an elicitor in the production of secondary metabolite. In N. Ahmad & M. Faisal, *Thidiazuron: from urea derivative to plant growth regulator*. Springer Singapore.

Wainwright, H., & Irwin, H. L. (1987). The effects of paclobutrazol and pinching on *Antirrhinum* flowering pot plants. *Journal of Horticultural Science*, 62(3), 401-404.

Wang, F., Zeng, B., Sun, Z., & Zhu, C. (2009). Relationship between proline and Hg^{2+}-induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56, 723-731.

Wang, Y., Shen, W., Chan, Z., & Wu, Y. (2015). Endogenous cytokinin overproduction modulates ROS homeostasis and decreases salt stress resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant* Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In H. Sies, R. Douce, N. Clowick & N. Kaplan (Eds.), *Methods in Enzymology Plant Cell Membranes*, 148 (pp. 350-381). Academic Press, San Diego (CA).

Science, 6, 1004.

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*. *The Plant Cell*, 22(12), 3905-3920.

Zavaleta-Mancera, H. A., López-Delgado, H., Loza-Tavera, H., Mora-Herrera, M., Trevilla-Garcia, C., Vargas-Suárez, M., & Ougham, H. (2007). Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark-senescence. *Journal of Plant Physiology*, 164(12), 1572-1582.

Zhang, M., Liu, L., Chen, C., Zhao, Y., Pang, C., & Chen, M. (2022). Heterologous expression of a

Fraxinus velutina SnRK2 gene in Arabidopsis increases salt tolerance by modifying root development and ion homeostasis. *Plant Cell Reports*, 41(9), 1895-1906.

Zieslin, N., Hurwitz, A., & Halevy, A. H. (1975). Flower production and the accumulation and distribution of carbohydrates in different parts of Baccara rose plants as influenced by various pruning and pinching treatments. *Journal of Horticultural Science*, 50(4), 339-348.

Zomorrodi, N., Rezaei Nejad, A., Mousavi-Fard, S., Feizi, H., Tsaniklidis, G., & Fanourakis, D. (2022). Potency of titanium dioxide nanoparticles, sodium hydrogen sulfide and salicylic acid in ameliorating the depressive effects of water deficit on periwinkle ornamental quality. *Horticulturae*, 8(8), 675.