Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Winter 2024, Vol. 20, No. 4, p. 407-422

Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

dor:10.48301/KSSA.2024.416267.2707

Investigation of the Effect of Drought Stress on the Morpho-physiological Characteristics of the Lallemantia Plant (*Lallemantia iberica* L.) in Different Levels of Humic Acid

Akbar Saljoghi[1], Masoud Fattahi[2*], Sayed Reza Mortazavi[3]

[1]MSc, Student of Department of Horticulture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[2,3]Faculty Member, Department of Agricultural Science, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 09.27.2023
Revised: 12.25.2023
Accepted: 03.02.2024

Keyword:
Chlorophyll
Drought Stress
Humic Acid
Mineral Elements
Proline

***Corresponding Author:**
Masoud Fattahi
Email: *m-fatahi@tvu.ac.ir*

ABSTRACT

To investigate the effect of different levels of humic acid on some characteristics of the lallemantia plant under different water deficit treatments, a split-plot field experiment was conducted in the form of a completely randomized block design in three replications in 2014. The treatments included four irrigation levels of 50, 70, 90, and 110 mm of evaporation from the surface of the evaporation pan, equivalent to no stress, mild stress, moderate stress, and severe stress respectively as the main factors, and four levels of humic acid were zero, five, 10 and 15 liters per hectare as subfactors. The results illustrated that plant height, leaf number, secondary stems number, chlorophyll b, total chlorophyll, P concentration of aerial parts, RWC decreased under drought stress, and Na and K content of aerial parts and leaf proline increased. The use of humic acid increased the morpho-physiological indicators of the number of leaves per stem and the number of secondary stems. In addition, the use of humic acid improved the relative water content of the leaves, water use efficiency and proline content. The interaction effect of drought and humic acid treatments on N shoots and chlorophyll was significant. Furthermore, the highest amount of N was at the level of 15 litres per hectare of humic acid and 50 mm of evaporation. In general, the use of humic acid, partiucularly in 15 litres per hectare concentration, improved the morphological and physiological indicators and greatly decreased the effects of drought stress.

©2024 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Abiotic stresses are one of the crucial constraints to food security and crop production. Drought stress is the most common environmental stress that annually causes great damage to crops globally, particularly in Iran which is considered an arid and semi-arid country. Indiscriminate use of chemical fertilizers also endangers human health. The importance of improving organic matter contents in agricultural soils is by consensus due to its influence on soil properties and plant growth. Biological inputs can be used as suitable tools to help the transition for other agriculture systems. The effect of humic substances in the mitigation of abiotic stress effects in plants is well known and generally described as a result of the increase of compatible solutes production and changes in ion balance. One of the most studied physiological effects of humic substances is the promotion of ion uptake under abiotic stress. The growing use of humic substances as plant growth promoters has attracted attention due to its effects on the efficiency of nutrient use, crop quality and protection against abiotic stresses.

Methodology

This experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with three replications at the Research Station of Shahrekord Agriculture School in 2015. The results of the physical and chemical properties of the experimental field soil are illustrated in Table 1. The main factor consisted of four irrigation levels (after 50 (control), 70-, 90-, and 110-mm evaporation from evaporation pan class A) and subfactors included four levels of humic acid (zero, 5, 10 and 15 liters per ha) sprayed on plants. In this experiment, characteristics of plant height, leaf number, secondary stems number, chlorophyll a, b and total chlorophyll, nutrient concentration of aerial parts, RWC, WUE and proline were measured. The chlorophyll concentration was calculated using the following formulas.

$$\text{chlorophyll } a = (12.7OD663 - 2.69OD645)\frac{\text{V}}{1000W}$$

$$\text{chlorophyll } b = (22.9OD645 - 4.68OD652)\frac{V}{1000W}$$

$$Total \text{ chlorophyll} = (20.2OD645 + 8.02OD663)\frac{V}{1000W}$$

Table 1. The results of the physical and chemical properties of the experimental field soil at a depth of 0 to 30 cm.

Texture	Cu	Fe	Mn	Zn	Pava	Kava	N	T.N.V	OC	EC	pH
	mg.kg-1	mg.kg-1	mg.kg-1	mg.kg-1	mg.kg-1	mg.kg-1	%	%	%	dS.m-1	
Clay loam	0.18	3.64	9.05	0.69	11.7	311	0.124	34.5	0.995	0.493	8.08

Results and discussion

The results showed that water stress treatments reduced traits of plant height, number of stem branches per plant, stem diameter, number of leaves per plant, leaf relative humidity,

nutrient uptake, leaf pigments and plant essential oils. The sodium content of the shoot, water use efficiency and proline content increased due to water stress. The results illustrated that plant height, leaf number, secondary stems number, chlorophyll b, total chlorophyll, P concentration of aerial parts, and RWC decreased under drought stress while Na and K content of aerial parts and leaves proline increased. The use of humic acid increased the morpho-physiological indicators of the number of leaves per stem and the number of secondary stems. In addition, the use of humic acid improved the relative water content of the leaf, water use efficiency and proline content. Humic acid treatment also increased all measured traits. Treatments of no stress and foliar application of 15 liters per hectare of humic acid had the greatest effect on yield. Humic acid is one of the most important categories of bio-stimulants, defined as materials that contain one or more substances and microorganisms able to stimulate nutrient uptake and use efficiency by plants, and increase plant tolerance to abiotic stress such as drought stress. Furthermore, it improves crop quality when applied in small amounts. The enhancement of peroxidase activity, reduction of H2O2 concentration, and increased cell proline levels in plants treated with humic acid have been previously reported. All of these responses are classical physiological adaptations against abiotic stress.

Table 2. The effect of drought stress and humic acid levels on some indicators.

Tratment	Proline (mol.L-1)	WUE (%)	RWC (%)
Drought Stress			
no stress	54.5^{d}	2.59^{b}	43.1^{a}
mild stress	67.58^{c}	3.01^{a}	40.99^{b}
moderate stress	92.08^{b}	3.13^{a}	39.03^{c}
severe stress	110.41^{a}	3.26^{a}	37.15^{c}
Humic acid			
0 L.h	78^{b}	2.31^{c}	35.38^{d}
5 L.h	78.58^{b}	3^{b}	39.22^{c}
10 L.h	81.5^{b}	3.04^{b}	41.56^{b}
15L.h	86.5^{b}	3.64^{a}	44.1^{a}

Conclusion

Humic acid can be used directly on plants at low concentrations to enhance plant growth, yield and nutrient uptake, thus constituting a popular category of plant biostimulants. One most intriguing aspects of the direct use of humic substances on plants is how the complex and heterogeneous mixture of small organic molecules can influence diverse physiology processes including nutrient uptake and metabolism such as proline productions. The use of biostimulants in agriculture has grown steadily in the last decade and plant growth stimulation and crop protection against abiotic stress are reported as one of the main effects. Moreover, humic acid-biostimulant formulations are strongly dependent on concentration rate and plant species, which ultimately can modulate plant defense mechanisms and are widely used to alleviate the effects on plants of salinity, drought and heavy metals toxicity.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
زمستان ۱۴۰۲، دوره ۲۰، شماره ٤، ٤٢٢-٤٠٧
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2024.416267.2707

بررسی تأثیر تنش کم آبی بر خصوصیات مورفو فیزیولوژیک گیاه دارویی بالنگو شهری (*Lallemantia iberica* L.) در سطوح مختلف اسید هیومیک

اکبر سلجوقی[۱]، مسعود فتاحی[۲*]، سید رضا مرتضوی[۳]

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲و۳- عضو هیات علمی، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

کلید واژگان:
پرولین
تنش خشکی
عناصر معدنی
کلروفیل
هیومیک اسید

***نویسنده مسئول:** مسعود فتاحی
پست الکترونیکی:
m-fatahi@tvu.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک بر برخی خصوصیات گیاه داروئی بالنگوی شهری تحت تیمارهای مختلف کم آبی، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح آبیاری ۵۰ ، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به ترتیب معادل بدون تنش، تنش ملایم، تنش متوسط و تنش شدید به‌عنوان فاکتور اصلی بود و چهار سطح اسید هیومیک صفر، پنج، ۱۰ و ۱۵ لیتر در هکتار به‌عنوان فاکتور فرعی بود. نتایج نشان داد ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد ساقه فرعی، کلرفیل b، کلرفیل کل، غلظت فسفر اندام هوایی، RWC در اثر تنش خشکی کاهش و محتوای سدیم و پتاسیم اندام هوایی و پرولین برگ افزایش یافت. استفاده از اسید هیومیک باعث افزایش شاخص‌های مورفو فیزیولوژیکی تعداد برگ در ساقه و تعداد ساقه فرعی گردید. همچنین استفاده از اسید هیومیک باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ، کارایی استفاده از آب و محتوای پرولین گردید. اثر متقابل تیمارهای خشکی و اسید هیومیک بر نیتروژن اندام هوایی و کلروفیل a معنی‌دار بود و بیشترین میزان نیتروژن در سطح ۱۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک و ۵۰ میلی‌متر تبخیر وجود داشت. به‌طور کلی استفاده از اسید هیومیک به‌ویژه در غلظت ۱۵ لیتر در هکتار باعث بهبود شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گردید و تاحدود زیادی اثرات تنش خشکی را کاهش داد.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2024 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

بالنگو با نام علمی *Lallemantia lberica* یکی از گیاهان دارویی خانواده lamiaceae است. این گیاه دارای پنج گونه *L. canescens ,L. peltata ,L. lberic ,L. baldschuanica* و *L. royleana* می‌باشد [۱; ۲]. گیاهی یک‌ساله، بدون کرک، دارای ساقه‌هایی به طول ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر و گل آذین در انتهای ساقه قرار دارد. کشت بالنگو شهری به وسیلهٔ بذر انجام می‌شود. این گیاه اثرات دارویی زیادی دارد به عنوان مثال دانه‌های این گیاه به عنوان آرامبخش استفاده می‌شود و از جوشانده ریشه و برگ آن برای درمان ذات الریه استفاده می‌شود [۳; ۴].

خشکی به عنوان مهم‌ترین عامل محدود کننده غیرزنده رشد و عملکرد گیاهان محسوب می‌شود. مکانیسم‌های غلظت و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، مانند جریان توده‌ای، انتشار و یا غلظت و انتقال به وسیله پدیده اسمز، همگی تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت کاهش رطوبت، شدت و غلظت عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد [۵]. خشکی، خطری برای تولید موفقیت آمیز محصولات کشاورزی در سراسر جهان است. خشکی موقعی اتفاق می‌افتد که ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی باعث تنش داخلی در گیاه شده و تولید را کاهش دهد. تنش آبی اثر منفی بر بسیاری از فرایندهای گیاهی از جمله فتوسنتز، تبخیر، تجمع و تخصیص پیش ماده دارد و موجب کاهش اساسی در تولیدات گیاهی می‌شود [۶]. بنابراین یکی از راه‌های افزایش کارآیی مصرف آب و بالا بردن عملکرد به ازای یک واحد آب مصرفی، کم آبیاری است که در آن محصول در یک مرحله خاص از نمو و یا در تمام فصل نمو تحت تنش آبی قرار می‌گیرد. کمبود رطوبت گیاه را وادار به واکنش‌های مختلف مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی می‌کند. واکنش‌های مرفولوژیکی مانند: کاهش سطح برگ، خار دار شدن، خزان زودرس، کاهش اندام هوایی، افزایش رشد ریشه و همچنین واکنش‌های فیزیولوژیکی مانند: بسته شدن روزنه‌ها، افزایش سرعت طی نمودن مراحل فنولوژیک، تجمع آنتی اکسیدانت و مواد محلول می‌شود [۷]. استفاده از ترکیبات آلی به واسطهٔ نقش آن‌ها در حاصلخیزی و نگهداری رطوبت خاک می‌تواند راهکاری برای کاهش اثرات تنش‌ها از جمله خشکی باشد. برای مثال اسید هیومیک به عنوان ترکیب آلی سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده و به دلیل افزایش قابلیت نفوذپذیری غشای سلول‌های گیاهی می‌تواند عناصر را برای گیاه به صورت قابل جذب نگه داشته و موجب بهتر شدن جذب عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه گردد [۸].

اسیدهیومیک، یک پلیمر طبیعی است که دارای مکان‌های H^+ مربوط به عامل‌های اسیدی کربوکسیل بنزوئیک و فنلی (مکان‌های تبادل کاتیونی) است [۹]. این اسید یک ماکرومولکول پیچیده آلی می‌باشد که تحت یک سری از پدیده‌های شیمیایی و باکتریایی در خاک تشکیل می‌شود [۹]. اسید هیومیک دارای وزن مولکولی بالای ۱۰۴ تا ۱۰۶ دالتون می‌باشد و ۵٪ از وزن مولکولی آن را کربن تشکیل می‌دهد [۹]. مولکول‌های اسید هیومیک با پیوند با مولکول‌های آب، تا حدود زیادی مانع از تبخیر آب می‌گردند. همچنین مولکول‌های فولیک اسید (بخش ریز مولکول اسید هیومیک) به درون بافت‌های گیاهی نفوذ می کند و با پیوند شدن به مولکول‌های آب تعریق و تعرق گیاه را کاهش داده به حفظ آب درون گیاه کمک می‌کند [۱۰]. اسید هیومیک به طور مستقیم اثرات مثبتی بر رشد و نمو گیاهان دارد. رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه توسط اسید هیومیک تحریک می‌شود، ولی اثر آن روی ریشه بر جسته‌تر است، حجم ریشه را افزایش داده و باعث اثر بخشی بهتر سیستم ریشه می‌گردد، جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را توسط گیاه افزایش می‌دهد [۱۱].

در بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی در گیاه شنبلیله، نتایج نشان داده که در اثر تنش خشکی عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کاهش یافت [۱۲]. در بررسی مقایسه میانگین اثرمتقابل (تراکم × توده)، زمان کاشت توده‌های بومی (بالنگو شهری) نشان داده شد که توده‌ها، در کشت پائیزه دارای بیشترین عملکرد زیست توده تحت تنش خشکی بود [۲]. طی آزمایشی اسید هیومیک و اسید فولیک رشد ساقه را در گیاهان مختلف تحریک کرد. علاوه بر آن زمانی که یکی از این دو با غلظت‌های ۵۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر و یا به صورت اضافه‌کردن در محلول غذایی در غلظت‌های ۲۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر مصرف شد اثر تحریک‌کنندگی صرف نظر از طریقه کاربرد اغلب به ریشه‌ها

نیز القاء گردید [۱۳]. در بررسی تأثیر اسید هیومیک در مقاومت به خشکی گیاه دارویی نعنا سبز مشاهده شد که استفاده از اسید هیومیک باعث بهبود خصوصیات رویشی مانند ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، طول و عرض برگ و وزن تر و خشک برگ گردید. همچنین استفاده از هیومیک اسید باعث بهبود درصد رطوبت نسبی برگ و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی شد [۸].

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه داروئی بالنگوی شهری تحت تیمارهای مختلف کم آبی، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی هنرستان و آموزشکده کشاورزی شهرکرد (به طول و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۲۱۱۶ متر از سطح دریا) اجرا شد. میانگین درجه حرارت در سال ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت نسبی ۴۲ درصد بود. تیمارها در چهار سطح تنش خشکی، شامل شاهد یا بدون تنش (۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، تنش ملایم (۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، تنش متوسط (۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و تنش شدید (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح اسید هیومیک شامل شاهد (بدون اسید هیومیک)، ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک به‌عنوان عوامل فرعی بودند. آماده‌سازی زمین به منظور کشت در اوایل اردیبهشت انجام شد و قبل از اجرای آزمایش به منظور اطلاع از وضعیت خاک و تقویت آن، خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده‌شده است. سپس کشت در کرت‌های آزمایشی به ابعاد ۲×۳ مترمربع انجام شد. بذر بالنگو شهری در زمین صاف از قبل نرم شده توسط شخم و دیسک در ردیف‌هایی با فاصله بین ردیف ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری و فاصله بین گیاه ۱۰ سانتی‌متر (روی ردیف) برابر با ۳۳ بوته در متر مربع، انجام شد. کشت به صورت دستی صورت گرفت بدین شکل که ابتدا شیارهایی با عمق حدود ۲ سانتی‌متر در خاک ایجاد شد و بذور در این شیارها ریخته شده و با خاک نرم بذرها پوشانده شدند بعد از سبز شدن بذور عمل تنک کردن بر اساس فاصله‌های ذکر شده انجام شد. بذر گیاه بالنگوی شهری از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری بعدی تا زمان استقرار گیاهچه‌ها هر چهار روز یکبار انجام شد و پس از آن بسته به سطوح تیمار تنش آبیاری به صورت سطحی انجام و شاخص‌های مختلف بعد از ۵۰ درصد گلدهی در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد.

جدول ۱. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعهٔ آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر.

بافت	pH	EC	OC	T.N.V	N	K_{ava}	P_{ava}	Zn	Mn	Fe	Cu
		$dS.m^{-1}$	%	%	%	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$
لوم رسی	۸/۰۸	۰/۴۹۳	۰/۹۹۵	۳۴/۵	۰/۱۲۴	۳۱۱	۱۱/۷	۰/۶۹	۹/۰۵	۳/۶۴	۰/۱۸

شاخص‌های مورفولوژیکی

به منظور اندازه‌گیری ارتفاع بوته، فاصله بین نوک ساقهٔ اصلی تا نزدیکی سطح خاک بر حسب سانتی‌متر: برآورد گردید. برای اندازه‌گیری این صفت، در تمامی تکرارها و تیمارهای مختلف از هر کرت تعداد ۵ بوته به طور تصادفی انتخاب شد و با استفاده از یک خط کش با دقت ۰/۱ سانتی متر ارتفاع بوته اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری تعداد شاخهٔ فرعی از هر تیمار آزمایشی ۵ بوته به صورت تصادفی برداشت شد که تعداد کل شاخه‌های خارج شده از ساقهٔ اصلی شمارش و به عنوان تعداد شاخهٔ فرعی ثبت گردید. قطر پایین‌ترین قسمت ساقه بر حسب سانتی‌متر با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های فیزیولوژیکی

به منظور اندازه‌گیری رطوبت نسبی برگ از روش کریمزاده اصل و همکاران [۱۴] استفاده و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید. که در این فرمول: W_f وزن تر برگ، W_t وزن بافت برگ در حالت اشباع از آب، W_d وزن خشک بافت گیاه بود.

$$RWC = \frac{Wf - Wd}{Wt - Wd} \times 100 \quad (۱)$$

کارایی مصرف آب نیز با استفاده از روش کرم[1] و همکاران [۱۵] برآورد و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید که در این فرمول، EY عملکرد اقتصادی (کیلو گرم در هکتار)، ETcrop جرم آب مصرفی بر حسب متر مکعب بود.

$$\mathrm{WUE} = \frac{\mathrm{EY}}{\mathrm{ETcrop}} \quad (۲)$$

میزان کلروفیل a، b و کل درمرحله ۵۰ درصد گلدهی گیاه به روش جانسن[2] و همکاران [۱۶] اندازه گیری شد. به این منظور ابتدا نمونه‌های برگ در استون ۸۰ درصد همگن شد و طول موج عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. سپس با استفاده از روابط ۳ میزان کلروفیل برحسب میلی‌گرم در بافت تر محاسبه شد.

$$\begin{aligned} \text{کلروفیل } a &= (12.7OD663 - 2.69OD645)\frac{\mathrm{V}}{1000W} \\ \text{کلروفیل } b &= (22.9OD645 - 4.68OD652)\frac{V}{1000W} \\ \text{کلروفیل کل} &= (20.2OD645 + 8.02OD663)\frac{V}{1000W} \end{aligned} \quad (۳)$$

عناصر غذایی

برای اندازه‌گیری و تعیین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سدیم، بعد از ۵۰ درصد گلدهی گیاه، از روش خاکسترگیری خشک استفاده شد. در این روش مقدار ۲ گرم از مادهٔ گیاهی در کورهٔ الکتریکی تبدیل به خاکستر شد و در ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک حل گردید. پس از صاف کردن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مقادیر عناصر پتاسیم و سدیم در دستگاه فلیم فتومتر و میزان فسفر در دستگاه اسپکتروفتومتر مدل فارمیسا (LPK) ساخت انگلستان، قرائت شد. مقادیر فسفر و پتاسیم بر حسب درصد و میزان سدیم بر حسب میلی‌گرم در گرم ماده خشک براساس جدول استاندارد محاسبه گردید. میزان نیتروژن با استفاده از روش کجلدال و بر حسب میلی‌گرم در گرم ماده خشک اندازه‌گیری شد [۱۷].

[1] Karam
[2] Janssen

میزان پرولین

به منظور اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ بعد از ۵۰ درصد گلدهی، از روش پاکوین و لاچاسور[1] [۱۸] استفاده شد. ابتدا نیم گرم بافت زندهٔ گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک در هاون ساییده، سپس مخلوط را با کاغذ صافی تصفیه و ۲ میلی‌لیتر از عصارهٔ حاصله را در لولهٔ آزمایش ریخته و ۲ میلی‌لیتر معرف اسید نین‌هیدرین (حاصل از افزودن ۱/۲۵ گرم نین هیدرین به ۳۰ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال) و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال به آن اضافه گردید. در مرحله بعد لوله‌ها به مدت یک ساعت در بنماری و در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند، پس از خروج، نمونه‌ها در حمام یخ به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محتوای هر لوله اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه به وسیله ورتکس مخلوط شد. لوله‌ها مدتی در دمای اتاق ثابت قرار گرفتند. در این مرحله دو لایه مجزا ایجاد و سرانجام جذب نوری لایه رنگی فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر به وسیلهٔ دستگاه اسپکترو فتومتر قرائت و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد تعیین گردید.

تجزیه آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS-۱۰ انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای رسم گراف‌ها و جداول از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه و تعداد ساقهٔ فرعی معنی‌دار بود و تعداد برگ در بوته، قطر ساقه و تعداد ساقهٔ فرعی تحت تأثیر تیمار اسیدهیومیک قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه و تعداد شاخهٔ فرعی در تیمارهای تنش خشکی و سطوح مختلف اسید هیومیک در گیاه دارویی بالنگو شهری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد برگ در بوته	قطر ساقه	تعداد ساقه فرعی
تکرار	۲	۲۶/۳۶	۱۲۳	۰/۰۱۶	۱/۶۲
تنش خشکی	۳	۴۰/۷۵**	۴۲۵۷**	۰/۰۷۹*	۲/۸۹*
خطای اصلی	۶	۱۸	۲۵۸/۶	۰/۰۳۲	۰/۵۹
اسید هیومیک	۳	۱۰/۶۷ns	۱۷۷۳**	۰/۲۴۵**	۱۴/۸۲**
اسید هیومیک×تنش خشکی	۹	۱۱/۸ns	۲۲۲ns	۰/۰۲۴ns	۱۳/۵۴ns
خطای فرعی	۲۴	۸/۴۹	۲۳۷/۵	۰/۰۲۴	۰/۷۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۸/۹	۱۰/۱۷	۷/۸	۱۴/۷

ns، ** و * به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری و ۵٪ در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد کمترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر با میانگین ۳۱ سانتی‌متر وجود داشت و با سطح ۵۰ میلی‌متر تبخیر به عنوان شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بود در حالی که تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر با شاهد وجود نداشت. تعداد برگ در بوته و قطر ساقه تحت تأثیر سطوح ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تنش

[1] Paquin & Lechasseur

خشکی قرار گرفت و نسبت به سطوح ۵۰ و ۷۰ میلی‌متر تبخیر به طور معنی‌داری کمتر بودند. میزان کاهش در تعداد برگ بوته در سطح ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به سطح ۵۰ میلی‌متر تبخیر ۲۳ درصد بود. نتایج نشان داد تعداد ساقه فرعی در سطوح ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به شاهد کاهش یافت. اثر ساده تیمار اسید هیومیک بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. بیشترین تعداد برگ بوته در تیمار ۱۵ لیتر در هکتار و کمترین آن در تیمار شاهد به ترتیب با میانگین‌های ۱۶۴/۵ و ۱۳۹/۴ عدد وجود داشت. همچنین استفاده از اسید هیومیک باعث افزایش قطر ساقه نسبت به شاهد شد و بیشترین قطر ساقهٔ مربوط به تیمار ۱۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک بود. تعداد ساقهٔ فرعی با افزایش میزان مصرف اسید هیومیک نسبت به شاهد افزایش یافت که بیشترین مقدار آن با میانگین ۷/۱۶ شاخه فرعی در بالاترین سطح اسید هیومیک (۱۵ لیتر در هکتار) ثبت گردید (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه و تعداد شاخه فرعی در تیمارهای تنش خشکی و سطوح مختلف اسید هیومیک در گیاه بالنگوی شهری.

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد برگ در بوته	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد ساقه فرعی
تنش خشکی				
۵۰ میلی‌متر تبخیر	۳۵/۳۷^{a}	۱۶۷/۸^{a}	۲/۱^{a}	۶/۵^{a}
۷۰ میلی‌متر تبخیر	۳۲/۴۸^{b}	۱۶۶/۳^{a}	۱/۹۹^{ab}	۶a^{b}
۹۰ میلی‌متر تبخیر	۳۲/۳۳^{b}	۱۴۲/۸^{b}	۱/۹۵^{b}	۵/۷^{b}
۱۱۰ میلی‌متر تبخیر	۳۱^{b}	۱۲۹/^{c}	۱/۹۲^{b}	۵/۳^{b}
اسید هیومیک				
(شاهد)	۷۷.۳۲	۱۳۹/۴^{b}	۱/۸۱^{c}	۴/۵۸^{d}
۵ لیتر در هکتار	۳۱/۶۷	۱۴۳^{b}	۱/۹۹^{b}	۵/۴۹^{c}
۱۰ لیتر در هکتار	۳۲/۷۵	۱۵۹^{a}	۲^{b}	۶/۳۵^{b}
۱۵ لیتر در هکتار	۳۳/۸۹	۱۶۴/۵^{a}	۲/۱۶^{a}	۷/۱۶^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ (LSD) ندارند.

نتایج تجزیه واریانس مربوط به عناصر معدنی و کلروفیل‌ها نشان داد اثر ساده تیمار خشکی بر فسفر، سدیم و پتاسیم اندام هوایی گیاه و کلرفیل a، b و کل گیاه معنی‌دار بود. همچنین اثر ساده تیمار اسید هیومیک نیتروژن، فسفر، کلرفیل a، b و کل معنی‌دار بود اما برهمکنش اسید هیومیک و تنش خشکی تها بر شاخص‌های نیتروژن اندام هوایی و کلرفیل a معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴. نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات نیتروژن، فسفر، سدیم، پتاسیم، کلروفیلa، کلروفیلb و کلروفیل کل در تیمارهای تنش خشکی و سطوح مختلف اسید هیومیک در گیاه دارویی بالنگو شهری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	سدیم	پتاسیم	کلروفیل a	کلروفیلb	کلروفیل کل
تکرار	۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۶	۴۱/۹۲	۰/۰۰۱۳	۰/۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱
تنش خشکی	۳	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۰۰۷*	۱۶۸۳۰**	۰/۱۹۲۴**	۱۳/۹۱**	۱/۵۰۴**	۲۷/۵۹**
خطای اصلی	۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲۲	۱۲۷/۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳۱	۰/۲۶
اسید هیومیک	۳	۰/۶۵۲**	۰/۰۲۸۴**	۴/۱۵^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۰/۸۳**	۰/۱۱۷**	۰/۷۴**

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	سدیم	پتاسیم	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
اسید هیومیک×تنش خشکی	۹	۰/۰۳۳**	۰/۰۰۰۲ns	۹۰/۰۸ns	۰/۰۰۰۹ns	۰/۲۱**	۰/۰۰۹ns	۰/۰۴ns
خطای فرعی	۲۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۴۴/۱۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۲	۰/۰۱۴	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۵	۴	۷/۷	۲	۵	۱۱	۷/۶

در بررسی اثر متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک بر نیتروژن اندام هوایی نتایج نشان داد بیشترین مقدار نیتروژن در سطح ۵۰ میلی‌متر تبخیر و استفاده از ۱۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک وجود داشت که این سطح از اسید هیومیک در سطوح مختلف تنش خشکی (۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین میزان نیتروژن اندام هوایی در سطح شاهد با میانگین ۱/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه وجود داشت. میزان کلرفیل a در اثر تنش خشکی کاهش یافت اما استفاده از اسید هیومیک در سطح ۵۰ میلی‌متر تبخیر باعث افزایش محتوای کلروفیل a گردید. همچنین در سطح ۹۰ میلی‌متر تبخیر استفاده از ۱۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار کلرفیل a نسبت به سایر سطوح اسید هیومیک گردید (جدول ۵)

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار تنش خشکی و اسید هیومیک بر صفات وزن هزار دانه و شاخص برداشت گیاه بالنگو شهری.

تیمار تنش خشکی	اسید هیومیک	نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کلروفیل a (گرم بر وزن تر)
۵۰ میلی‌متر تبخیر	صفر لیتر در هکتار (شاهد)	۱/۲۶^{h}	۳/۳۶^{e}
	۵ لیتر در هکتار	۱/۶۷^{de}	۴/۲۹^{b}
	۱۰ لیتر در هکتار	۱/۸^{bc}	۴/۵۷^{a}
	۱۵ لیتر در هکتار	۲/۸۷^{a}	۴/۷۹^{a}
۷۰ میلی‌متر تبخیر	صفر لیتر در هکتار (شاهد)	۱/۳۸^{gh}	۳/۶۱^{cde}
	۵ لیتر در هکتار	۱/۶۲^{ef}	۳/۶۶^{cd}
	۱۰ لیتر در هکتار	۱/۸۸^{bc}	۳/۵۸^{de}
	۱۵ لیتر در هکتار	۱/۹۶^{ab}	۳/۸۷^{c}
۹۰ میلی‌متر تبخیر	صفر لیتر در هکتار (شاهد)	۱/۴۸^{fg}	۲/۳۸^{g}
	۵ لیتر در هکتار	۱/۵۲^{fg}	۲/۳۸^{g}
	۱۰ لیتر در هکتار	۱/۸۵^{bc}	۲/۵۳^{g}
	۱۵ لیتر در هکتار	۲/۰۷^{a}	۲/۹۲^{f}
۱۱۰ میلی‌متر تبخیر	صفر لیتر در هکتار (شاهد)	۱/۶۷^{de}	۱/۶۶^{i}
	۵ لیتر در هکتار	۱/۵۸^{ef}	۱/۹۱^{hi}
	۱۰ لیتر در هکتار	۱/۸۴^{bc}	۱/۹۳^{h}
	۱۵ لیتر در هکتار	۱/۹۷^{ab}	۱/۹۸^{h}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ (LSD) ندارند.

در ارتباط با تنش خشکی نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد سطوح ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر باعث کاهش فسفر اندام هوایی نسبت به سطح ۵۰ میلی‌متر تبخیر شد. از طرف دیگر با افزایش شدت تبخیر میزان سدیم و پتاسیم اندام هوایی گیاهان افزایش یافت و بیشترین درصد سدیم و پتاسیم در سطح ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد و نسبت به شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بود. کلروفیل b و کلروفیل کل به‌طور یکسانی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند و بیشترین و کمترین مقدار آنها به ترتیب در سطح شاهد (۵۰ میلی‌متر تبخیر) و سطح ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر وجود داشت (جدول ۶). در ارتباط با اسید هیومیک مقایسه میانگین‌ها نشان داد تنها فسفر اندام هوایی و کلرفیل b و کلرفیل کل تحت تأثیر قرار گرفتند به‌طوری که استفاده از ۱۵ لیتر اسیدهیومیک در هکتار باعث افزایش ۲۷/۵ درصدی میزان فسفر نسبت به سطح شاهد گردید. همچنین بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد استفاده از سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک باعث افزایش غلظت کلرفیل b و کلرفیل کل برگ شد و کمترین مقدار آنها مربوط به سطح عدم استفاده از اسید هیومیک بود (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین صفات فسفر، سدیم، پتاسیم، کلروفیلb و کلروفیل کل در تیمارهای تنش خشکی و سطوح مختلف اسید هیومیک در گیاه بالنگوی شهری.

تیمار	فسفر (٪)	سدیم (٪)	پتاسیم (٪)	کلروفیلb (گرم بر وزن تر)	کلروفیل کل (گرم بر وزن تر)
تنش خشکی					
۵۰ میلی‌متر تبخیر	۰/۳۵۳^{a}	۴۸/۶۶^{d}	۱/۶۲^{d}	۱/۵۰۴^{a}	۶/۱۱^{a}
۷۰ میلی‌متر تبخیر	۰/۳۴^{b}	۶۶/۱۴^{c}	۱/۷۶^{c}	۱/۲۲۸^{b}	۴/۸۸^{b}
۹۰ میلی‌متر تبخیر	۰/۳۴^{b}	۹۲/۰۶^{b}	۱/۸۷^{b}	۰/۸۹۸^{c}	۳/۶^{c}
۱۱۰ میلی‌متر تبخیر	۰/۳۳۵^{b}	۱۳۴/۸۲^{a}	۱/۹۱^{a}	۰/۷۰۴^{d}	۲/۶۲^{d}
اسید هیومیک					
صفر لیتر در هکتار (شاهد)	۰/۲۸۲^{d}	۸۴/۷۲^{a}	۱/۷۸^{a}	۰/۹۴۱^{b}	۳/۹۴^{b}
۵ لیتر در هکتار	۰/۳۲۴^{c}	۸۵/۶۲^{a}	۱/۷۹^{a}	۱/۱۰۸^{a}	۴/۳۸^{a}
۱۰ لیتر در هکتار	۰/۳۷۴^{b}	۸۵/۲۳^{a}	۱/۷۹^{a}	۱/۱۱۴^{a}	۴/۳۶^{a}
۱۵ لیتر در هکتار	۰/۳۸۹^{a}	۸۶/۱۱^{a}	۱/۸^{a}	۱/۱۷^{a}	۴/۵۲^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ (LSD) ندارند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد درصد رطوبت نسبی برگ، کارایی استفاده از آب و محتوای پرولین برگ تحت تأثیر اثرات ساده تیمارهای تنش خشکی و اسید هیومیک قرار گرفت اما اثر متقابل تیمارها بر هیچ‌کدام از شاخص‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات رطوبت نسبی برگ، WUE و پرولین در تیمارهای تنش خشکی و سطوح مختلف اسید هیومیک در گیاه دارویی بالنگو شهری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	رطوبت نسبی برگ (RWC)	WUE	پرولین
تکرار	۲	۷/۸۹	۰/۱۵۲	۵/۷۷
تنش خشکی	۳	۷۸/۵۵**	۰/۹۹۶*	۷۴۸۱/۴**
خطای اصلی	۶	۶/۹۱	۰/۲۸۱	۲۹/۹

منابع تغییرات	درجه آزادی	رطوبت نسبی برگ (RWC)	WUE	پرولین
اسید هیومیک	۳	۱۶۵/۰۸**	۳/۵۰۱**	۱۸۱/۰۲**
اسید هیومیک×تنش خشکی	۹	۱۰/۴۶ns	۰/۳۱۵ns	۳۵/۵۵ ns
خطای فرعی	۲۴	۵/۲۱	۰/۲۲۱	۲۴/۲۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۷	۱۵	۶

ns و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

براساس نتایج به‌دست آمده درصد رطوبت نسبی برگ با افزایش شدت تبخیر کاهش یافت و این میزان کاهش در سطح ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر در مقایسه با سطح ۵۰ میلی‌متر تبخیر ۱۴ درصد بود. کارایی ارستفاده از آب در تیمارهای ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر به طور معنی‌داری بیشتر از سطح ۵۰ میلی‌متر تبخیر بود. در ارتباط با محتوای پرولین برگ نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی میزان پرولین افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در سطح ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده گردید. از طرفی بین تمامی سطوح تنش خشکی از نظر محتوای پرولین برگ اختلاف معنی‌دار بود. استفاده از اسید هیومیک بر درصد رطوبت برگ مؤثر بود و افزایش غلظت اسید هیومیک در هکتار باعث افزایش معنی‌دار درصد رطوبت برگ گردید و بیشترین میزان آن با میانگین ۴۴/۱ درصد در سطح ۱۵ لیتر در هکتار وجود داشت. کارایی استفاده از آب نیز در اثر افزایش غلظت اسید هیومیک در هکتار افزایش یافت و با شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بود اما بین سطوح ۵ و ۱۰ لیتر در هکتار هیومیک از نظر کارایی استفاده از آب تفاوت معنی‌داری نداشتند. با استفاده از ۱۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک پرولین برگ افزایش یافت و با سایر سطوح (شاهد، ۵ و ۱۰ لیتر در هکتار) دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بود از طرفی بین سطوح شاهد، ۵ و ۱۰ لیتر در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار پرولین برگ وجود نداشت (شکل ۸).

جدول ۸. مقایسهٔ میانگین صفات رطوبت نسبی برگ، WUE و کلروفیل کل در تیمارهای تنش خشکی و سطوح مختلف اسید هیومیک در گیاه بالنگوی شهری.

تیمار	رطوبت نسبی برگ (درصد)	WUE (کیلوگرم در متر مکعب)	پرولین (مول بر وزن تر)
تنش خشکی			
۵۰ میلی‌متر تبخیر	a۴۳/۱	b۲/۵۹	۵۴/۵d
۷۰ میلی‌متر تبخیر	b۴۰/۹۹	a۳/۰۱	۶۷/۵۸c
۹۰ میلی‌متر تبخیر	c۳۹/۰۳	a۳/۱۳	۹۲/۰۸b
۱۱۰ میلی‌متر تبخیر	c۳۷/۱۵	a۳/۲۶	۱۱۰/۴۱a
اسید هیومیک			
صفر لیتر در هکتار (شاهد)	d۳۵/۳۸	c۲/۳۱	۷۸b
۵ لیتر در هکتار	c۳۹/۲۲	b۳	۷۸/۵۸b
۱۰ لیتر در هکتار	b۴۱/۵۶	b۳/۰۴	۸۱/۵b
۱۵ لیتر در هکتار	a۴۴/۱	a۳/۶۴	a۸۶/۵

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD می باشند

نتایج نشان داد در اثر تنش خشکی شاخص‌های رویشی کاهش یافت که می‌تواند به این دلیل باشد که در شرایط تنش خشکی و با کاهش پتانسیل آبی گیاه، سرعت رشد گیاه به دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز کاهش

می‌یابد [۱۹]. لاریبی[1] و همکاران [۲۰] نیز در تحقیقی بر روی گیاه زیره گزارش کردند که با افزایش محدودیت آب، رشد گیاه، وزن خشک گیاه و عملکرد دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت که نتایج این آزمایش با آن مطابقت دارد. همچنین مطالعات نشان داده که در اثر تنش خشکی کاهش سطح برگ از طریق کاهش تقسیمات سلولی و تورژسانس صورت می‌گیرد و بر رشد کل گیاه اثر می‌گذارد. از طرفی کاهش ارتفاع بوته و ریزش برگ، همچنین کاهش هدایت روزنه‌ای برای جلوگیری از عدم هدر رفتن آب اتفاق می‌افتد که منتج به جذب کم‌تر دی‌اکسید کربن و اثر تنش بر میزان کلروفیل شده و متعاقبا کاهش فتوسنتز رخ می‌دهد. این اتفاق باعث کاهش شاخص‌های رویشی و عملکرد گیاه می‌گردد [۱; ۲۱; ۲۲]. از طرف دیگر نتایج این آزمایش نشان داد در شرایط تنش خشکی محتوای کلروفیل کاهش یافت که علت آن می‌تواند ناشی از افزایش رادیکال‌های آزاد باشد که باعث پراکسیداسیون و در نتییجه تجزیه کلروفیل می‌شود [۲۳]. همچنین کاهش احتمالی جذب منیزیم و احتمالا آهن در شرایط تنش خشکی می‌تواند باعث کاهش میزان کلروفیل شود. افزایش میزان کلروفیل b در اثر تنش خشکی را ناشی از کاهش سطح برگ است، زیرا در شرایط تنش خشکی اندازه سلول‌ها کوچک شده و تعداد سلول در واحد سطح آفزایش می‌یابد و باعث افزایش غلظت کلرفیل می‌گردد [۸].

نتایج این پژوهش نشان داد در اثر تنش خشکی غلظت عناصر در گیاه کاهش یافت که با گزارش‌های قبلی [۵; ۷; ۲۴] همسو است. انتقال مواد معدنی و حلالیت آن‌ها در خاک‌ها رابطه معکوسی با کمبود آب خاک دارد به‌طوری‌که کمبود آب تأثیر منفی در جذب مواد معدنی و انتقال آن‌ها از خاک به گیاه دارد. جذب عناصر معدنی توسط گیاه به میزان جریان آب از راه زنجیره خاک - ریشه - شاخساره بستگی دارد و تعرق برگی شیب لازم برای جذب آب و عناصر محلول را فراهم می‌کند [۲۵]. همچنین کم‌آبی تعداد تارهای کشنده ریشه را کاهش می‌دهد و بر ریخت‌شناسی ریشه تأثیر می‌گذارد و انشعابات ریشه را کاهش می‌دهد که درنتیجه آن جذب عناصر معدنی کاهش می یابد [۲۶]. در شرایط تنش خشکی غلظت پرولین برگ گیاه بالنگوی شهری افزایش یافت. این املاح سازگار که دارای وزن مولکولی کم، غلظت‌های بالا و غیرسمی در سیتوسول می‌باشند، عمده‌ترین راهکار گیاهان برای تحمل شرایط تنش هستند. افزایش سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی نیازمند مصرف انرژی است و درصورت ادامه افزایش تولید پرولین ممکن است سایر فعالیت‌ها و متابولیسم‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد. از طرف دیگر ممکن است افزایش پرولین منجر به تجزیه پروتئین‌ها گردد [۲۷; ۲۸].

نتایج این آزمایش نشان داد استفاده از اسید هیومیک باعث کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش محتوای نسبی آب برگ و جذب عناصر غذایی گردید که با نتایج رستمی و همکاران [۸] بر روی گیاه نعنا سبز همسو می‌باشد. مطالعات نشان‌داده کاربرد اسید هیومیک باعث کاهش اثرات تنش خشکی می‌گردد [۸]. احتمالا هیومیک اسید بر جذب عناصر غذایی و بر غشای سلولی تأثیر می‌گذارد و باعث افزایش شاخص‌های رشدی می‌شود. همچنین مولکول‌های فولویک اسید موجود در هیومیک‌ها با مولکول‌های آب ترکیب شده و تعریق و تعرق را کاهش می‌دهند و به حفظ آب درون گیاه کمک می‌کنند [۸]. همچنین هیومیک‌ها نفوذپذیری غشاء سلولی را افزایش داده، ورود پتاسیم را بسیار تسهیل می‌کنند که نتیجهٔ آن افزایش فشار داخل سلولی و تقسیم سلول است. از طرف دیگر افزایش انرژی در داخل سلول منجر به افزایش تولید کلروفیل و میزان فتوسنتز خواهد شد. به دنبال آن یک فاکتور مهم در رشد یعنی جذب نیتروژن به درون سلول تشدید می‌گردد و تولید نیترات کاهش می‌یابد. مجموعه همه این‌ها منجر به افزایش تولید می‌شود. کاربرد اسید هومیک کلروز گیاهان را بهبود می‌بخشد که احتمالاً نتیجه ای است از توانایی اسید هومیک برای نگهداری آهن خاک به فرمی که قابل جذب و سوخت و ساز باشد. این پدیده می‌تواند در خاک‌های قلیایی و آهکی مؤثر باشد که معمولاً کمبود آهن قابل جذب و مواد آلی را دارند [۲۹].

[1] Laribi

نتایج نشان داد اسیدهیومیک باعث افزایش تجمع پرولین گردید. افزایش غلظت پرولین در اثر هیومیک اسید ممکن است به علت افزایش متابولیسم نیتروژن و افزایش فعالیت آنزیم ATPآز باشد که سنتز ترکیبات آلی نیتروژن دار را افزایش می‌دهد. همچنین مواد هیومیکی باعث افزایش فعالیت چندین آنزیم درگیر در سنتز ترکیبات آلی مفید و مؤثر در گیاهان می‌شوند [۳۰].

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد تنش خشکی اثرات زیادی بر کاهش خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری دارد. از آنجا که در شرایط تنش خشکی میزان جذب آب به داخل گیاه کاهش می‌یابد بنابراین گیاه نمی‌تواند این شرایط را تحمل کند و بر خصوصیات مورفولوژیکی تأثیر می‌گذارد و باعث کاهش رشد می‌گردد. همچنین در اثر تنش خشکی شاخص‌های فیزیولوژیکی هم تحت تأثیر قرار گرفت و محتوای کلرفیل و آب نسبی برگ کاهش یافت و غلظت پرولین برگ برای جذب آب از خاک بیشتر شد. استفاده از اسید هیومیک به عنوان یکی از منابع کودی آلی که امروزه استفاده می‌گردد باعث شد از اثرات تنش خشکی کاسته شود. برای مثال هنگام استفاده از اسیدهیومیک به میزان ۱۵ لیتر در هکتار محتوای نسبی آب برگ، کارایی استفاده از آب و غلظت پرولین برگ افزایش یافت که می‌توان نقش این کود آلی در تنظیم پتانسیل اسمزی در شرایط تنش خشکی را مؤثر دانست. بنابراین استفاده از اسید هیومیک به عنوان یک منبع مواد آلی می‌تواند به‌منظور کاهش اثرات مخرب تنش خشکی در گیاه بالنگوی شهری مورد استفاده قرار گیرد. و بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش غلظت ۱۵ لیتر در هکتار نتایج مطلوبی را حاصل خواهد کرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه شهرکرد که امکان انجام این پژوهش را فراهم آوردند تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

[1] Paravar, A., Farahani, S. M., & Rezazadeh, A. (2018). Effect of drought stress during seed development on seed vigour, membrane peroxidation and antioxidant activity in different species of Balangu. *Journal of Crops Improvement*, *20*(1), 145-159. https://doi.org/10.22059/jci.2018.230780.1707

[2] Shahbazi Durbash, S., Alizadeh Dizj, K., & Fathi Rezaie, V. (2012). Study on planting possibility of Dragon's head (Lallemantia iberica F. & C. M.) landraces in cold rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, *1*(2), 82-95. https://doi.org/10.22092/idaj.2013.100159

[3] Abdulrasool, A. A., Naseer, A. A., & Rahi, F. A. (2011). Application of seed mucilage extracted from Lallemantia royleana as a suspending agent. *Iraqi Journal of Pharmaceutical Sciences*, *20*(1), 8-13. https://doi.org/10.31351/vol20iss1pp8-13

[4] Naghibi, F., Mosaddegh, M., Mohammadi Motamed, S., & Ghorbani, A. (2022). Labiatae Family in folk Medicine in Iran: from Ethnobotany to Pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, *4*(2), 63-79. https://doi.org/10.22037/ijpr.2010.619

[5] Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B., Ravash, R., & Gogorcena, Y. (2021). Beneficial effect of mycorrhiza on nutritional uptake and oxidative balance in pistachio (Pistacia spp.) rootstocks submitted to drought and salinity stress. *Scientia Horticulturae*, *281*(12), 109937. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109937

[6] Jiménez, S., Fattahi, M., Bedis, K., Nasrolahpour-moghadam, S., Irigoyen, J. J., & Gogorcena, Y. (2020). Interactional Effects of Climate Change Factors on the Water Status,

Photosynthetic Rate, and Metabolic Regulation in Peach. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 43. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00043

[7] Fathi, H., Imani, A., Amiri, M. E., Hajilou, J., & Nikbakht, J. (1396). Response of Almond Genotypes/Cultivars Grafted on GN15 'Garnem' Rootstock in Deficit-Irrigation Stress Conditions. *Journal of Nuts*, *8*(2), 123-135. https://doi.org/10.22034/jon.2017.536243

[8] Rostami, G., Moghaddam, M., Saeedi Pooya, E., & Ajdanian, L. (2019). The effect of humic acid foliar application on some morphophysiological and biochemical characteristics of spearmint (Mentha spicata L.) in drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(1), 95-110. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1296.1264

[9] Sardashti, A., & Alidost, M. (2008, February 13). *Determination and identification of humic acid compounds in the forest soils of northern Iran.* 15th Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran, Mashhad, Razavi Khorasan, Iran. https://civilica.com/doc/229284/

[10] Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y. P., Luo, A., & Etemadi, N-A. (2008). Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. *Journal of plant nutrition*, *31*(12), 2155-2167. https://doi.org/10.1080/01904160802462819

[11] Sabzevari, S., & Khazaie, H. R. (2009). The Effect of foliar application with humic acid on growth, yield and yield components of wheat (Triticum aestivum L.). *Journal Of Agroecology*, *1*(2), 53-63. https://doi.org/10.22067/jag.v1i2.2686

[12] Seghatoleslami, M., Mousavi, G., Mahdavi, R., & Zabihi, H. (2013). Response of yield and yield component of fenugreek to irrigation intervals, potassium and zinc. *Annual Research & Review in Biology*, *3*(4), 466-474. http://research.manuscritpub.com/id/eprint/2779/

[13] Chen, Y., & Aviad, T. (1990). Effects of Humic Substances on Plant Growth. In P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, & P. R. Bloom (Eds.), *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. American Society of Agronomy. https://doi.org/10.2136/1990.humicsubstances.c7

[14] Karimzadeh Asl, K., Sefidkon, F., Majnoon Hosseini, N., & Peighambari, S. A. (2014). The effect of different levels of soil moisture, zeolite and biofertilizers on physiological characteristics, yield and essential oil of dragonhead (Dracocephalum moldavica L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *30*(1), 158-173. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.5293

[15] Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., & Rouphael, Y. (2007). Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, *90*(3), 213-223. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.03.009

[16] Janssen, A., Scheffer, J., & Svendsen, A. B. (1987). Antimicrobial activity of essential oils: a 1976-1986 literature review. Aspects of the test methods. *Planta medica*, *53*(05), 395-398. https://doi.org/10.1055/s-2006-962755

[17] Nourzad, S., Ahmadian, A., & Moghaddam, M. (2015). Proline, Total Chlorophyll, Carbohydrate Amount and Nutrients Uptake in Coriander (Coriandrum Sativum L.) under Drought Stress and Fertilizers Application. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(1), 131-139. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i1.26013

[18] Paquin, R., & Lechasseur, P. (1979). Observations sur une méthode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*, *57*(18), 1851-1854. https://doi.org/10.1139/b79-233

[19] Rezvani Moghaddam, P., Norouzpour, G., Nabati, J., & Mohammadabadi, A. (2005). Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (Sesamum indicum). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *3*(1), 57-68. https://doi.org/10.22067/gsc.v3i1.1292

[20] Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., & Marzouk, B. (2009). Water deficit effects on caraway (Carum carvi L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Industrial Crops and Products*, *30*(3), 372-379. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.005

[21] Abdollahi, M., & Farahani, S. M. (2019). Seed quality, water use efficiency and eco physiological characteristics of lallemantia (Lallemantia sp.) species as effected by soil moisture content. *Acta Agriculturae Slovenica*, *113*(2), 307-320. https://doi.org/10.14720/aas.2019.113.2.12

[22] Azhand, M., Saeidi, M., Beheshti Al Agha, A., & Kahrizi, D. (2023). The effect of foliar application of iron and zinc fertilizers on some agronomic traits of Lallemantia iberica L. under post anthesis water deficit. *Plant Productions*, *46*(1), 140-154. https://doi.org/10.22055/ppd.2023.41711.2056

[23] Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2019). Effects of bio fertilizers application on yield, oil content and antioxidant enzymes activity of sunflower (Helianthus annus L.) in different irrigation withholding levels. *Plant Process and Function*, *8*(29), 97-107. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-809-en.html

[24] Paravar, A., Maleki Farahani, S., & Rezazadeh, A. (2021). The effect of mycorrhiza on catalase enzyme activity and growth and qualitative characteristics of Lady's mantle (Lallemantia royleana) under deficit irrigation. *Plant Process and Function*, *10*(45), 235-248. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1520-en.html

[25] Markus, K. (2005). Deficit Irrigation and Vine Mineral Nutrition. *American Journal of Enology and Viticulture*, *56*(3), 267-283. https://doi.org/10.5344/ajev.2005.56.3.267

[26] Askari, A., Ardakani, M. R., Paknejad, F., & Hosseini, Y. (2019). Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. *Scientia Horticulturae*, *257*(2), 108749. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108749

[27] Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, *29*(1), 185-212. https://doi.org/10.1051/agro:2008021

[28] Habibi, D., Moslemi, Z., Ardakani, M. R., Mohammadi, A., & Asgharzadeh, A. (2010, August 01-03). *Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and oxidative damage of maize under drought stress.* International Conference on Chemistry and Chemical Engineering, Kyoto, Japan. https://doi.org/10.1109/ICCCENG.2010.5560441

[29] Grasset, L., Guignard, C., & Amblès, A. (2002). Free and esterified aliphatic carboxylic acids in humin and humic acids from a peat sample as revealed by pyrolysis with tetramethylammonium hydroxide or tetraethylammonium acetate. *Organic Geochemistry*, *33*(3), 181-188. https://doi.org/10.1016/S0146-6380(01)00150-4

[30] Malcolm, R. E., & Vaughan, D. (1979). Humic substances and phosphatase activities in plant tissues. *Soil Biology and Biochemistry*, *11*(3), 253-259. https://doi.org/10.1016/0038-0717(79)90070-1