Plant Prod., 2023, 46(1), 141-154
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.41711.2056
Received: 24 August 2022
Accepted: 15 November 2022

Plant Productions
Research Article

The effect of foliar application of iron and zinc fertilizers on some agronomic traits of *Lallemantia iberica* L. under post anthesis water deficit

Mandana Azhand[1], Mohsen Saeidi[2]*, Ali Beheshti-Al Agha[3], Daniel Kahrizi[4]

1. Ph.D. Graduate of Agronomy, Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
3. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
4. Professor, Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.

Citation: 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), 141-154.

Abstract

Introduction

Among various non-biological stresses, drought stress is the most important factor that has limited production in the agricultural sector of the country (Akhzari and Pessarakli, 2016). Today, the supply of oilseeds for the extraction of vegetable oils needed for various industrial, edible, medicinal and cosmetic uses is one of the basic needs of the current population growth (Beynam, 2015). Balangu (*Lallemantia iberica* L.) is an annual, herbaceous and drought-resistant plant belonging to the mint family (Lamiaceae). With medicinal-oil properties, it is considered a multi-purpose plant in agriculture (Hendawy *et al.*, 2015). In order to check and predict the phenological stages of the planted plants in an area, the relationship between the phenological stages and the thermal factor should be considered. For this purpose, thermal units of growth degree days (GDD) are used to check the amount of heat needed to pass each growth stage of plants (Kumari et al., 2020). In plants under drought stress, where the absorption of nutrients through the root faces a problem due to the decrease in soil water volume, the absorption of micronutrients such as iron and zinc can be effective through foliar spraying. (Rafique et al., 2015). In the conditions of lack of water resources, like what is happening in our country, it is necessary to change the agricultural pattern towards planting plants adapted to dry land, as well as ways to increase yield per unit area. Therefore, the purpose of this research was to investigate the development of Balangu planting and the role of foliar application of iron and zinc micronutrients on phenology and the adjustment of stress effects.

* **Corresponding Author:** Mohsen Saeidi
E-mail: msaeidi@razi.ac.ir

© 2023 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Materials and Methods

This research was conducted in the research farm of Razi University of Agriculture and Natural Resources, Kermanshah during two consecutive years (2017-2018 and 2018-2019) as a split-plot-factorial experiment in the form of a basic randomized complete block design with three replications. The experimental treatments include: irrigation (Water deficit after flowering and Normal) in the main plots, foliar spray factors (zero, four and eight per thousand concentrations of iron and zinc sulfate) and foliar application time (at the beginning of the vegetative and reproductive growth stage) were factorially placed in sub-plots. The seeds (native population of Songhor region of Kermanshah province) were planted manually at a depth of two centimeters and with a density of 400 plants per square meter in a row at the first appropriate time in late March of 2017 and 2018. Application of nitrogen, phosphorus and potash fertilizers was based on need. Dehydration stress was applied by stopping irrigation from the time of full flowering (opening of 50% of flowers).

Results and Discussion

The results showed that, with the application of water stress, the seed yield and oil yield decreased by 24% and 17%, respectively, and the oil percentage increased by 8% compared to the treatment without water stress. Also, water deficit stress reduced the number of days and heat requirement to maturity by 10 days and 275 growth days degree, respectively. The greatest increase in oil yield compared to the treatment without foliar spraying (control) was related to the 4 and 8 per thousand zinc foliar treatments in reproductive stage and under stress conditions, which increased these traits from 339 and 283 respectively in conditions Lack of stress and water deficit stress increased to 539 and 513 kg/ha. The greatest effect of iron and zinc foliar application treatments on increasing plant height and the number of days and heat requirement to maturity stage was related to 4 and 8 per thousand iron and zinc foliar application in the vegetative growth stage.

Conclusion

In the present study, it can be concluded that the Balangu having adaptability, suitable production, relatively short growth period and matching the length of the growth period with the rainfall of the study area, and it can be considered as a common plant for rotation in this region. Foliar application of iron and zinc micronutrient elements should be used by farmers to moderate the effects of water deficit stress, taking into account its small and economical amounts.

Keywords: Emergence, Flowering, Growing Degree Days, Maturity, Oil

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۲، ۴۵(۴)، ۱۴۱-۱۵۴
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.41711.2056
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴

تولیدات گیاهی

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی کودهای آهن و روی بر برخی خصوصیات زراعی بالنگوی شهری در شرایط تنش کم‌آبی پس از گل‌دهی

ماندانا آژند[۱] ، محسن سعیدی[۲]*، علی بهشتی آل‌آقا[۳]، دانیال کهریزی[۴]

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه،ایران.
۴. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

چکیده

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی طی دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ به صورت آزمایش اسپلیت‌پلات- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: آبیاری (تنش کم‌آبی پس از گل‌دهی و عدم تنش) در کرت‌های اصلی، فاکتورهای محلول‌پاشی (غلظت‌های صفر، چهار و هشت در هزار سولفات آهن و روی) و زمان محلول‌پاشی (در ابتدای مراحل رشد رویشی و رشد زایشی) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد، با اعمال تنش کم‌آبی عملکرد دانه و عملکرد روغن نسبت به تیمار عدم تنش کم‌آبی به ترتیب ۲۴ و ۱۷ درصدکاهش و درصد روغن ۸ درصد افزایش یافت. همچنین تنش کم‌آبی، تعداد روز و نیاز حرارتی تا رسیدگی را به ترتیب ۱۰ روز و ۲۷۵ درجه روز رشد کاهش داد. اثر محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار آهن و روی با توجه به تیمارهای آبیاری و زمان اعمال تیمارهای محلول‌پاشی در صفات مورد بررسی متفاوت بود. بیش‌ترین افزایش عملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد مربوط به تیمارهای محلول‌پاشی روی ۴ و ۸ در هزار در مرحله رشد زایشی بود،که این صفت را به ترتیب از ۳۳۹ و ۲۸۳ در شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبی به ۵۳۹ و ۵۱۳ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. بیش‌ترین تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی بر افزایش ارتفاع بوته و تعداد روز و نیاز حرارتی تا مرحله رسیدگی مربوط به محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار آهن و روی در مرحله رشد رویشی بود. بنابراین در پژوهش حاضر، بالنگوی شهری با دوره رشد نسبتاً کوتاه (تعداد روز تا رسیدگی برابر با ۱۱۵ و ۱۲۵ به ترتیب در شرایط تنش و عدم تنش) و منطبق بودن بخشی از دوره رشد با بارندگی‌های منطقه و حصول عملکرد قابل قبول در شرایط وقوع تنش کم‌آبی پس از گل‌دهی می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب برای قرار گرفتن در سیستم تناوب زراعی در منطقه مدنظر قرار گیرد. همچنین با در نظرگرفتن اثرات یکسان غلظت‌های ۴ در هزار و ۸ در هزار آهن و روی بر عملکرد دانه، محلول‌پاشی غلظت ۴ در هزار سولفات آهن و سولفات روی با توجه به اقتصادی بودن آن در اوایل رشد طولی ساقه و گل‌دهی می‌تواند در شرایط تنش کم‌آبی با هدف تعدیل اثرات نامطلوب تنش و دستیابی به عملکرد مطلوب توصیه شود.

کلیدواژه‌ها: درجه روز رشد، رسیدگی، روغن، سبز شدن، گل‌دهی

* **نویسنده مسئول:** محسن سعیدی
رایانامه: msaeidi@razi.ac.ir

© 2023 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

مقدمه

در بین تنش‌های مختلف غیر زیستی، تنش خشکی مهم‌ترین عاملی است که تولید را در بخش کشاورزی کشور با محدودیت مواجه کرده است. به علاوه تاثیر تغییرات اقلیمی بر تولید پایدار محصولات کشاورزی با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک کشور دور از انتظار نیست (Akhzari and Pessarakli, 2016). امروزه تامین دانه‌های روغنی جهت استحصال روغن‌های گیاهی مورد نیاز مصارف مختلف صنعتی، خوراکی، دارویی و آرایشی از نیازهای اساسی کشور می‌باشد (Anonymous, 2015). در همین راستا، بالنگوی شهری با توجه به برخی ویژگی‌های خاص آن نسبت به سایر گیاهان روغنی رایج مورد توجه می‌باشد. بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) گیاهی یک ساله، علفی و مقاوم به خشکی متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) بوده و با داشتن ویژگی‌های دارویی- روغنی گیاهی چندمنظوره در کشاورزی محسوب می‌شود. دانه‌های بالنگوی شهری حاوی روغن (۲۱ تا ۳۰ درصد) و موسیلاژ (۱۰ تا ۱۷ درصد) بوده که به منظور تولید دانه، استخراج روغن و موسیلاژ مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (El-Sherbeny et al., 2015). برای بررسی و پیش‌بینی مراحل فنولوژیک گیاهان کاشته شده، باید ارتباط مراحل فنولوژیک و عامل حرارتی مد نظر قرار گیرد. به همین منظور برای بررسی میزان نیاز حرارتی لازم برای عبور از هر مرحله نموی گیاهان از واحدهای گرمایی (درجه روز- رشد یا GDD (Growth degree-days) استفاده می‌شود، که این واحدها به صورت مجموع میانگین درجه حرارت‌های بالاتر از صفر بیولوژیک یا درجه حرارت پایه (Base temperature) گیاهان بیان می‌شود و با این شاخص روند مراحل فنولوژیکی یک محصول و تأثیر آن بر رشد و عملکرد به خوبی توضیح داده می‌شود (Kumari et al., 2020). تامین عناصر ریزمغذی ضروری از جمله آهن و روی با توجه به نقش‌های فیزیولوژیک شناخته شده برای آن‌ها می‌تواند سبب تعادل عناصر غذایی در اندام‌های گیاهان و در نتیجه افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول شود (Rout and Sahoo, 2015). به علاوه جذب این عناصر در شرایط وقوع تنش خشکی می‌تواند تاثیر مهمی در تحمل گیاهان نسبت به شرایط تنش داشته باشد (Mohapatra et al., 2022). در گیاهان تحت تنش خشکی به دلیل کاهش حجم آب خاک جذب عناصر ریز مغذی مانند آهن و روی می‌تواند از طریق محلول‌پاشی موثر واقع شود (Rafique et al., 2015). استفاده از ریزمغذی‌ها در افزایش پارامترهای کمی و کیفی گیاهان روغنی در شرایط تنش و عدم تنش خشکی در مطالعات مختلف بررسی شده است. به طوری‌که افزایش عملکرد کمی و کیفی دانه در شرایط محلول‌پاشی عناصر روی و آهن در بالنگوی شهری (Mohammad Ghasemi et al., 2020)، گلرنگ (Soheili-Movahhed et al., 2019)، کامل‌لینا (Azhand et al., 2021) و آفتابگردان (Ghanbari et al., 2021) گزارش شده است. همچنین محلول‌پاشی غلظت ۶۰۰ (ppm) عناصر ریز مغذی روی و آهن در کتان به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های گیاه و در نهایت درصد و عملکرد روغن در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی شد (Emam, 2020). در شرایط کمبود منابع آبی همانند آنچه که در کشور ما در حال اتفاق افتادن است، ضرورت تغییر الگوی کشاورزی به سمت کاشت گیاهان سازگار به خشکی و همچنین راهکارهای افزایش عملکرد در واحد سطح لازم به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی عملکرد و مراحل رشد بالنگوی شهری و نقش محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی بر فنولوژی و تعدیل اثرات تنش کم‌آبی پس از گل‌دهی که در منطقه حادث می‌شود، بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر، متوسط دمای سالانه ۱۳/۳ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی سالانه ۴۸۰-۴۵۰ میلیمتر) اجرا شد. متوسط میزان بارندگی و تغییرات دمایی طی دو سال اجرای آزمایش (۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶) در شکل ۱ ارائه شده است. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش مطابق با جدول ۱ بود. کشت بهاره بالنگوی شهری با طرح اسپلیت‌پلات– فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این پژوهش فاکتور آبیاری (عدم تنش کم آبی و تنش کم‌آبی پس از گل‌دهی) در کرت‌های اصلی، فاکتورهای محلول‌پاشی (غلظت‌های صفر، چهار و هشت در هزار سولفات آهن و روی) و زمان محلول‌پاشی (ابتدای طویل شدن ساقه به عنوان مرحله رشد رویشی و باز شدن ۵۰ درصد از گل‌ها به عنوان مرحله رشد زایشی) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفت.

Table 1. Physico-chemical properties of the experimental soil

Soil depth (cm)	Mn	Zn	Fe	Cu	K	P	N	OC	Clay	Silt	Sand	Texture	pH
	(mg kg^{-1})						(%)						
0-30	14	0.48	4.5	1.8	360	18	0.09	0.99	45.4	43.9	10.7	Silty clay	7.9

OC: Organic carbon.

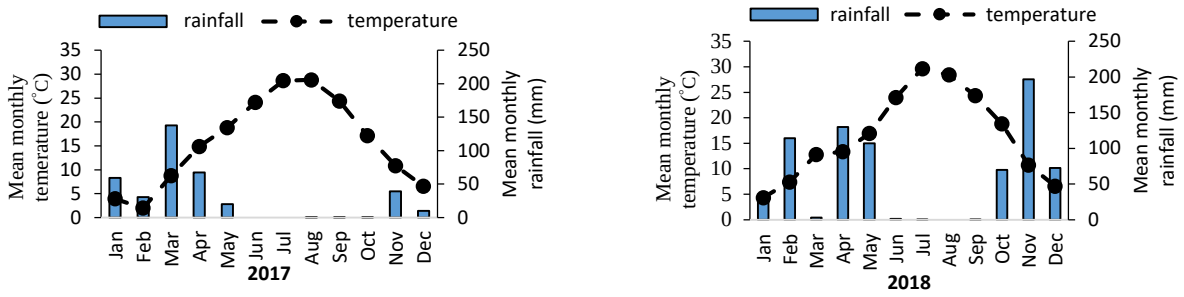

Figure 1. Distribution of mean monthly rainfall and temperature in two years of the experiment (2017- 2018)

کاشت بذور (توده بومی منطقه سنقر استان کرمانشاه) با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع به صورت دستی انجام شد (Aghaei-Gharachorlou et al., 2013). فاصله ردیف ۲۲/۵ سانتی‌متر و روی ردیف یک سانتی‌متر و عمق دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت با توجه به شرایط مناسب آب و هوایی منطقه در ۲۱ اسفند ماه سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ صورت گرفت. با توجه به نتایج آزمون فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه، نیاز کودی گیاه اعمال شد (جدول ۱). کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. تنش کم‌آبی به صورت قطع آبیاری پس از زمان گل‌دهی (باز شدن ۵۰ درصد از گل‌ها) تا رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد رنگ بوته‌ها و کپسول‌ها) اعمال شد. به منظور محاسبه عملکرد دانه، در زمان رسیدگی که به طور میانگین در شرایط تنش کم‌آبی ۱۱۵ روز پس از کاشت (دهه اول تیرماه) و در شرایط عدم تنش کم‌آبی ۱۲۵ روز پس از کاشت اتفاق افتاد، در هریک از کرت‌های آزمایش بعد از حذف اثر حاشیه‌ها، برداشت در سطح یک مترمربع صورت گرفت. برای اندازه‌گیری ارتفاع از نمونه‌های برداشت شده ۲۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفت ارتفاع بوته محاسبه شد. استخراج روغن دانه با استفاده از حلال پترولیوم اتر (Petroleum ether) و توسط دستگاه سوکسله (Soxhlet extractor) انجام شد. نمونه‌ها (خشک و پودر شده) داخل کارتوش دستگاه سوکسله قرار گرفت. بالن‌های حاوی حلال اتر به دستگاه متصل شد. دمای هیتر در حدود۴۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد بود. پس از ریزش اولین قطره (سرعت ریزش حلال از مبرد حداکثر تعداد ۶۰ قطره در دقیقه بود) از حلال توسط مبرد دستگاه بر روی نمونه‌ها، زمان شروع فرآیند ثبت شد و به مدت چهار ساعت ادامه یافت. در پایان فرآیند استخراج توسط دستگاه تقطیر در خلاء (Rotary)، باقیمانده حلال حذف شد. پس از سرد شدن، با توزین دقیق بالن حاوی روغن، درصد روغن محاسبه شد. عملکرد روغن نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن به دست آمد (Khoddami et al., 2011). با توجه به بررسی و مشاهدات در سطح مزرعه، تاریخی که به میزان حداقل ۵۰ درصد جوانه‌ها در سطح خاک هر واحد آزمایش مشاهده شدند به عنوان تعداد روز تا سبزشدن، زمانی که بوته‌های هر واحد آزمایشی به میزان ۵۰ درصد به گل رفتند تاریخ شروع گل‌دهی و مشاهده‌ی زرد شدن ۷۰ درصد رنگ بوته‌ها و کپسول‌ها به عنوان تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ثبت شد. مقدار نیاز حرارتی برای هر مرحله نموی از گیاهان مورد بررسی با توجه به داده‌های دمایی مربوط به منطقه در فصل رشد و نوع گیاه از طریق رابطه (۱) تعیین گردید (Zagade and Pujari, 2014).

$$GDD = \sum [(T_{max} + T_{min})/2] - Tb \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، GDD درجه روز رشد، T_{max} حداکثر دمای روزانه، T_{min} حداقل دمای روزانه و T_b دمای پایه می‌باشد. دمای پایه بالنگوی شهری سه درجه سانتی‌گراد) برای مراحل مختلف نمو

در نظر گرفته شد (Ursu and Borcean, 2012). پس از جمع-آوری داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها توسط نرم افزار SPSS(Version16) بررسی شد. سپس تحلیل واریانس داده‌های هر دو سال با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و SAS(Version9) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول۲)، اثرات سال و برهمکنش تنش کم‌آبی× زمان محلول‌پاشی× محلول‌پاشی بر عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن معنی‌دار بود. در مورد صفات تعداد روز و نیاز حرارتی از کاشت تا سبز شدن و تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی در بین تیمارهای اعمال شده، این صفات فقط تحت‌تاثیر اثر سال قرارگرفتند. اثرات سال و برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی نیز بر صفات تعداد روز و نیاز حرارتی از کاشت تا رسیدگی به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود.

عملکرد دانه

عملکرد دانه در سال اول (۹۷-۱۳۹۶) و در شرایط عدم تنش با ۱۵۱۶ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش کم‌آبی با ۱۰۶۷ کیلوگرم در هکتار، به ترتیب ۲۴ و ۱۸ درصد نسبت به سال دوم (۹۸-۱۳۹۷) بیش‌تر بود (شکل۲). با توجه به داده‌های هواشناسی (شکل۱) در سال اول میزان بارش در فروردین ماه بالاتر از اردیبهشت ماه بوده اما در سال دوم در اردیبهشت ماه علاوه بر این‌که بارندگی به‌طور قابل توجهی بیش‌تر بود، متوسط دما نیز در این ماه پایین‌تر از سال اول بود. یکی از دلایل میانگین عملکرد پایین‌تر در سال دوم می‌تواند به این دلیل باشد که بالنگوی شهری نسبت به آب و هوای مرطوب و بارندگی زیاد به ویژه در مرحله گل‌دهی حساس است (بارندگی بالا در اردیبهشت ماه در سال دوم) به‌طوری که پروژه توسعه و کشت بالنگوی شهری در تعدادی از کشورهای اروپایی به دلیل شرایط آب و هوایی مرطوب این مناطق با شکست مواجه شد (Van Soest et al., 1987). تنش کم‌آبی عملکرد دانه بالنگوی شهری را از ۱۱۵۵ به ۸۷۹ کیلوگرم در هکتار با ۳۱ درصد کاهش داد (جدول۳). در بین تیمارهای محلول‌پاشی اعمال شده، بالاترین میزان عملکرد دانه بالنگوی شهری با ۱۵۱۱ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم تنش و محلول‌پاشی روی ۴ در هزار در مرحله رشد زایشی به‌دست آمد، که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی در همین مرحله و آهن ۸ در هزار در مرحله رشد رویشی نداشت. محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار آهن در مرحله رویشی و محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار روی در مرحله زایشی در افزایش عملکرد دانه موثرتر بود (جدول۳). یافته‌های ما در رابطه با اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد دانه مطابق با گزارش‌های Dreccer et al., (2018) در کلزا و Sanandaji and Pirza, (2019) در بالنگوی شهری بود، که کاهش عملکرد دانه را در شرایط تنش کم‌آبی انتهای فصل گزارش نمودند. در کتان داده‌ها به وضوح نشان داد که محلول‌پاشی غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر (ppm) عناصر ریز مغذی روی و آهن به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های گیاه و عملکرد دانه و زیست‌توده در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی شد (Emam, 2020). اثرات مثبت ایجاد شده مربوط به محلول‌پاشی آهن و روی در این شرایط می‌تواند مربوط به نقش روی در بسیاری از فعالیت‌های متابولیکی باشد، که عنصر روی را در شکل‌گیری و یا افزایش تعداد اجزای گل کارآمدتر کرده است (Hafeez et al., 2013) و همچنین نقش کلیدی آهن در بهبود کارایی زنجیره انتقال الکترون، مسیر بیوسنتز کلروفیل و عملکرد فتوسیستم‌های نوری باشد، چرا که محلول‌پاشی آهن می‌تواند با افزایش غلظت کلروفیل موجب فراهمی مواد پرورده از طریق دوام بیش‌تر فتوسنتز گردد (Waraich et al., 2013). نتایج آزمون خاک نیز پایین بودن غلظت روی و آهن در خاک را نشان داد (جدول ۱). علاوه براین با توجه به قلیایی بودن خاک مورد بررسی و پایین بودن درصد مواد آلی خاک که در مجموع جذب این عنصر را توسط گیاه محدود می‌سازد، می‌تواند اثرات مثبت محلول‌پاشی را بر عملکرد دانه توجیه نماید.

درصد و عملکرد روغن دانه

درصد و عملکرد روغن دانه در سال دوم (۹۸-۱۳۹۷) نسبت به سال اول (۹۷-۱۳۹۶) کاهش یافت. کاهش درصد روغن در سال دوم از مقدار ۳۴/۲۳ به ۳۲/۶۳ درصد و عملکرد روغن از ۵۱۱ و ۳۷۴ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبی به ۳۹۰ و ۳۰۶ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲). اعمال تنش کم‌آبی درصد روغن دانه را از ۲۹/۳۰ درصد به مقدار ۳۱/۹۹ درصد افزایش داد، اما سبب کاهش عملکرد روغن دانه از مقدار ۳۳۹/۶ کیلوگرم به ۲۸۳/۲ کیلوگرم در هکتار شد (جدول ۳).

Table 2. The combined analysis of variance for the effect of year, post anthesis water deficit, foliar application time and foliar application Fe and Zn on seed yield, plant height, oil content and oil yield in *Lallemantia iberica* L.

S.O.V	df	Seed yield	Oil content	Oil yield	Plant Height	Cycle length			GDD		
						Sowing to emergence	Sowing to Flowering	Sowing to maturity	Sowing to emergence	Sowing to Flowering	Sowing to maturity
Year (Y)	1	1527192*	76.9*	273044*	1363**	122**	121*	529**	281*	1432^{ns}	17125**
Block×Y	4	163623	8.38	51581	11.5	0.033	1.01	16.9	3.72	2389	4375
Irrigation (I)	1	4442035^{ns}	86.1^{ns}	370402^{ns}	61.6^{ns}	0.008^{ns}	3.13^{ns}	3224**	0.792^{ns}	0.320^{ns}	2261482**
Y×I	1	124095*	2.29^{ns}	21690*	7.38^{ns}	0.008^{ns}	1.04^{ns}	5.63*	0.792^{ns}	0.161^{ns}	1727^{ns}
Error a	4	12000	5.458	5101	16.9	0.383	7.962	4.88	30.2	3305	1193
Foliar time (T)	1	159166*	3.61*	13343^{ns}	647*	0.008^{ns}	0.002^{ns}	1.20*	0.475^{ns}	0.972^{ns}	741*
Y×T	1	298^{ns}	0.003^{ns}	109^{ns}	3.91^{ns}	0.008^{ns}	0.023^{ns}	0.0001^{ns}	4.66^{ns}	0.243^{ns}	0.609^{ns}
I×T	1	4167^{ns}	2.21^{ns}	1259^{ns}	3.62^{ns}	0.075^{ns}	0.046^{ns}	0.033^{ns}	7.98^{ns}	13.6^{ns}	12.2^{ns}
Y×I×T	1	1170^{ns}	0.019^{ns}	91.2^{ns}	1.56^{ns}	0.075^{ns}	0.049^{ns}	0.833^{ns}	7.99^{ns}	25.6^{ns}	521^{ns}
Foliar application (F)	4	186061**	81.7**	55947**	13.1^{ns}	0.050^{ns}	0.078^{ns}	0.112^{ns}	3.37^{ns}	16.9^{ns}	76.6^{ns}
Y×F	4	2066^{ns}	0.863^{ns}	210^{ns}	7.59^{ns}	0.050^{ns}	0.178^{ns}	0.388^{ns}	8.33^{ns}	16.6^{ns}	248^{ns}
I×F	4	37350*	16.9**	13027*	3.28^{ns}	0.092^{ns}	0.270^{ns}	0.346^{ns}	9.25^{ns}	28.3^{ns}	235^{ns}
Y×I×F	4	3573^{ns}	0.204^{ns}	1693^{ns}	2.71^{ns}	0.092^{ns}	0.065^{ns}	0.071^{ns}	9.25^{ns}	20.9^{ns}	43.4^{ns}
T×F	4	9971^{ns}	9.66*	4439^{ns}	11.3^{ns}	0.050^{ns}	0.133^{ns}	0.096^{ns}	3.12^{ns}	14.4^{ns}	63.9^{ns}
Y×T×F	4	2702^{ns}	1.03^{ns}	515^{ns}	9.18^{ns}	0.050^{ns}	0.071^{ns}	0.271^{ns}	8.41^{ns}	19.3^{ns}	167^{ns}
I×T×F	4	33422*	11.6*	8357**	4.88^{ns}	0.075^{ns}	0.102^{ns}	0.179^{ns}	8.17^{ns}	19.27^{ns}	117^{ns}
Y×I×T×F	4	2558^{ns}	0.412^{ns}	263^{ns}	1.21^{ns}	0.075^{ns}	0.097^{ns}	0.604^{ns}	8.18^{ns}	24.1^{ns}	381^{ns}
Error b	72	11504	3.36	1757	8.71	0.181	3.81	0.526	15.8	1461	336
C.V%		9.09	5.49	10.6	6.87	4.73	2.61	0.60	5.62	4.44	1.00

*, **: Significant at the 5%, 1% probability levels, respectively, and ns; non-significant.

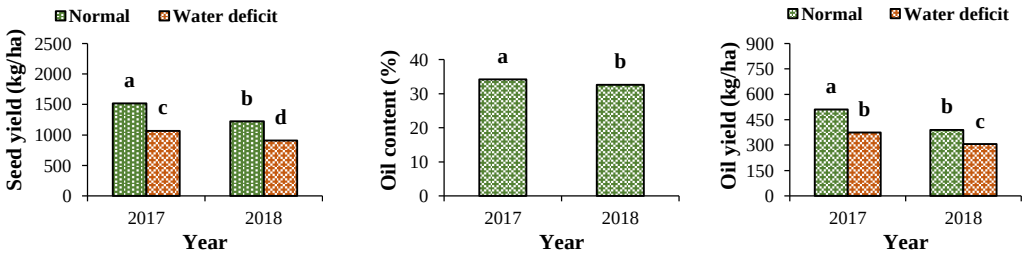

Figure 2. Effect of year and irrigation interaction (Y×I) on seed yield, oil yield and oil content in *Lallemantia iberica* L. Water deficit: no irrigation after flowering; Means followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's Multiple Range test.

Table 3. Effects of post anthesis water deficit, foliar application time, foliar application Fe and Zn Interaction (I×T×F) on seed yield, oil content and oil yield in *Lallemantia iberica* L.

Irrigation	Treatment Foliar application time	Foliar application	Seed yield (kg ha^{-1})	Oil Content (%)	Oil Yield (kg ha^{-1})
Normal	Vegetative stage	Control	1155 ^{de*}	29.3 ^{g}	340 ^{gh}
		Fe4	1418 ^{b}	34.8 ^{c}	493 ^{bc}
		Fe8	1456 ^{ab}	34.0 ^{cd}	498 ^{abc}
		Zn4	1313 ^{c}	32.6 ^{ef}	430 ^{d}
		Zn8	1304 ^{c}	32.4 ^{ef}	424 ^{d}
	Reproductive stage	Fe4	1451 ^{ab}	31.9 ^{ef}	465 ^{c}
		Fe8	1456 ^{ab}	32.2 ^{ef}	471 ^{c}
		Zn4	1511^{a}	34.9 ^{bc}	529 ^{a}
		Zn8	1487 ^{ab}	34.4^{c}	513 ^{ab}
Water deficit	Vegetative stage	Control	878 ^{j}	32.0 ^{ef}	283^{j}
		Fe4	938 ^{hij}	34.0 ^{cd}	320 ^{hi}
		Fe8	894 ^{ij}	33.1 ^{de}	296 ^{ij}
		Zn4	1010 ^{fgh}	37.2 ^{a}	376 ^{ef}
		Zn8	1060 ^{fg}	36.7 ^{a}	389 ^{e}
	Reproductive stage	Fe4	1068 ^{efg}	33.1 ^{de}	354 ^{fg}
		Fe8	984 ^{ghi}	32.9 ^{de}	324 ^{ghi}
		Zn4	1098 ^{def}	36.1 ^{ab}	398 ^{de}
		Zn8	1039 ^{fg}	36.1 ^{a}	376 ^{ef}

Water deficit: no irrigation after flowering; Vegetative stage: beginning of stem elongation; Reproductive stage: 50% of flowers open; Control: no foliar application; Fe, Zn 4, 8: Iron and zinc sulfate 4, 8 per thousand, respectively; *Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's Multiple Range test.

در هر دو شرایط رطوبتی اعمال تیمارهای محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار درصد وعملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد شد. بالاترین درصد روغن در شرایط تنش کم‌آبی و در تیمارهای محلول‌پاشی روی در مراحل رویشی (در غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار به‌ترتیب با ۳۷/۱۹ و ۳۶/۶۸ درصد) و زایشی (در غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار به‌ترتیب با ۳۶/۰۷ و ۳۶/۱۴ درصد) حاصل شد. تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار آهن و روی به ترتیب در مرحله رویشی و زایشی بر افزایش عملکرد روغن به نسبت سایر تیمارها بیش‌تر بود. به‌طوری‌که در این شرایط بالاترین مقدار عملکرد روغن نیز در تیمار روی ۴ در هزار در مرحله زایشی با ۵۲۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). در تایید این نتایج، بررسی تغییرات درصد روغن بالنگوی شهری تحت‌تاثیر تیمارهای تنش کم‌آبی با شدت‌های مختلف نشان داد، درصد روغن دانه با شدت یافتن تنش کم‌آبی افزایش، درحالی‌که عملکرد روغن کاهش پیدا کرد (Aghaei and Nasrollazadeh, 2014). تحت شرایط تنش خشکی کاهش انتقال مواد فتوسنتزی منجر به کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و در این شرایط با کاهش اندازه دانه، حجم بیشتری از دانه به روغن و پروتئین اختصاص می یابد، که این موضوع می‌تواند دلیلی بر افزایش درصد روغن و پروتئین دانه در شرایط خشکی باشد (Daneshian et al., 2002; Daniel and Triboi, 2002). در گلرنگ نیز در بین عناصر ریز مغذی محلول‌پاشی روی بیش‌ترین اثر افزایشی را بر درصد روغن دانه داشت (Pasandi et al., 2018). همچنین، استفاده از

محلول‌پاشی آهن با غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر، درصد روغن دانه کتان را به میزان ۷ درصد افزایش داد (Emam, 2020). طی شرایط تنش کم‌آبی فتوسنتز و دسترسی به آسیمیلات‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین تنش خشکی می‌تواند عامل کاهش عملکرد روغن باشد. نتایج بررسی محلول‌پاشی روی بر کمیت و کیفیت عملکرد گلرنگ بهاره طی تنش کم‌آبی انتهای فصل نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش عملکرد دانه و عملکرد روغن شد، درحالی‌که محلول‌پاشی روی با غلظت یک میلی‌گرم در لیتر از طریق افزایش اجزا عملکرد سبب بهبود عملکرد دانه و در نتیجه کمیت و کیفیت روغن شد (Soheili-Movahhed et al, 2019). عنصر روی تا حدی متابولیسم اسیدهای چرب را افزایش داده و موجب افزایش انباشت روغن در دانه‌ها می‌گردد (Hanif et al., 2017). بسیاری از آنزیم‌های کلیدی با تجمع روغن و سنتز اسیدهای چرب در ارتباط هستند. آنزیم استیل کوآ کربوکسیلاز یکی از آنزیم‌های دخیل در این فرایند بوده و عنصر روی برای عملکرد آن ضروری می‌باشد (Li et al., 2017). بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط پژوهش حاضر، تیمارهای محلول‌پاشی از طریق تاثیر مثبت بر درصد روغن و عملکرد دانه، افزایش عملکرد روغن را فراهم آورد.

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته از ۴۶/۳ سانتی‌متر در سال اول (۹۷-۱۳۹۶) به ارتفاع ۳۹/۵۵ سانتی‌متر در سال دوم (۹۸-۱۳۹۷) کاهش یافت (شکل ۳). اعمال تنش کم‌آبی تاثیر معنی‌دار بر ارتفاع بوته نداشت. احتمالاً این موضوع به زمان اعمال تیمار تنش کم‌آبی مرتبط باشد چرا که کاهش ارتفاع بوته در گیاهان تحت تنش خشکی زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه در طول مرحله رشد رویشی در معرض تنش قرار گیرد (Anjum et al., 2017). اعمال تیمارهای محلول‌پاشی در زمان رشد رویشی نسبت به مرحله رشد زایشی بر افزایش ارتفاع بوته موثر واقع شد (شکل ۳). مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی به صورت محلول‌پاشی در شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش تولید مواد پرورده از طریق بهبود غلظت کلروفیل و فرایند فتوسنتز و افزایش تقسیم سلولی در جهت طولی می‌گردد (Amirkhiz et al., 2014).

تعداد روز و نیاز حرارتی تا سبز شدن

بالنگوی شهری در سال دوم (۹۸-۱۳۹۷) نسبت به سال اول (۹۷-۱۳۹۶) سریع‌تر یا به عبارت دیگر در تعداد روزهای کم‌تری به مرحله سبز شدن رسید (جدول ۴). مقدار نیاز حرارتی برای سبز شدن بالنگوی شهری در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶دریافت ۷۲/۲۱ درجه روز رشد و به مدت ۱۰ روز بود، که در سال ۹۸-۱۳۹۷ این مقدار به ۶۹/۱۴ درجه روز رشد در ۷/۹۸ روز کاهش یافت (جدول۴). یکی از عوامل موثر در فرایند جوانه-زنی و سبز شدن در گیاهان دمای محیط می‌باشد، با توجه به داده‌های هواشناسی در دو سال اجرای آزمایش (شکل۱)، میانگین دمای هوا در سال ۹۸-۱۳۹۷ در (اسفند ماه) ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد و در ماه اسفند سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ برابر با ۷/۱ درجه سانتی‌گراد بود (شکل۱). بنابراین دمای بالای هوا در سال دوم منجر به تسریع در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهان در این شرایط شده‌است. طولانی‌تر شدن تعداد روز تا سبز شدن در گیاهان می‌تواند نتیجه دمای پایین خاک باشد (Petrie et al., 2016).

تعداد روز و نیاز حرارتی تا گل‌دهی

مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد (جدول۴)، بالنگوی شهری در سال دوم (۹۸-۱۳۹۷) نسبت به سال اول (۹۷-۱۳۹۶) سریع‌تر وارد مرحله گل‌دهی شد. در سال اول و دوم تعداد روز تا گل‌دهی به ترتیب ۷۵/۹۵ و ۷۳/۹۴ روز برآورد شد. تعداد روز و نیاز حرارتی تا گل‌دهی تحت‌تاثیر هیچ یک از تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول۲). افزایش تعداد روز و نیاز حرارتی تا گل‌دهی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ می‌تواند به دلیل میانگین دمای پایین در این سال باشد که سبب طولانی شدن طول دوره گل‌دهی شده است.

در این شرایط علی‌رغم تفاوت در تعداد روز تا گل‌دهی در دو سال آزمایش تغییرات نیاز حرارتی برای این مرحله نموی تحت‌تاثیر قرار نگرفت. در مطالعات مختلف عنوان شده که عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین نیازهای حرارتی در تیمارهای مختلف تاکید بر این موضوع دارد که تجمع واحدهای گرمایی عامل مهم‌تری برای تعیین مراحل رشد گیاهان در مقایسه با تعداد روز می‌باشد (Sintim et al., 2016).

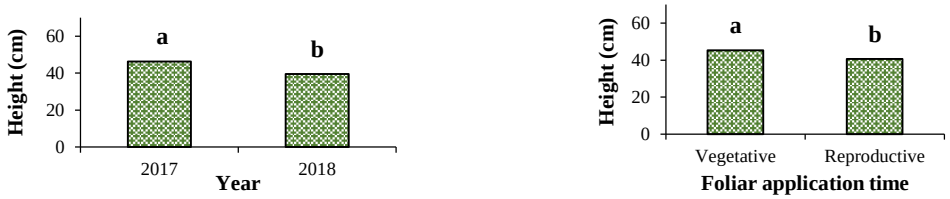

Figure 3. Effects of year (Y), and Foliar application time (T), on plant height in *Lallemantia iberica* L. Vegetative: beginning of stem elongation; Reproduction: Full flowering: 50% of flowers open; Means in each column followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's Multiple Range test.

Table 4. Main Effects of year (Y) and post anthesis water deficit (I) on Cycle length and GDD of Sowing to maturity in *Lallemantia iberica* L.

Treatments	Cycle length (days)			GDD (°C day)	
Year	Sowing to emergence	Sowing to flowering	Sowing to maturity	Sowing to emergence	Sowing to maturity
2018	10.00 [a]	75.95 [a]	122.4 [a]	72.21 [a]	1847.8 [a]
2019	7.98 [b]	73.94 [b]	118.2 [b]	69.14 [b]	1823.9 [b]
Irrigation					
Normal	8.98 [a]	74.92 [a]	125.4 [a]	70.76 [a]	1973.1 [a]
Water deficit	9.00 [a]	74.98 [a]	115.1 [b]	70.67 [a]	1698.6 [b]

*Means in each column followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's Multiple Range test.

تعداد روز و نیاز حرارتی از کاشت تا رسیدگی

تعداد روز و نیاز حرارتی تا رسیدگی در سال دوم (۹۸-۱۳۹۷) نسبت به سال اول (۹۷-۱۳۹۶) کاهش یافت (جدول ۴). مقدار نیاز حرارتی برای رسیدگی در شرایط عدم تنش کم-آبی با دریافت ۱۹۷۳/۱۷ درجه روز رشد و به مدت ۱۲۵/۴۸ روز بود، که در شرایط تنش این مقدار به ۱۶۹۸/۶۱ درجه روز رشد در ۱۱۵/۱۲ روز کاهش یافت (جدول ۴). توانایی تطبیق دوره پرشدن دانه در گیاهان زراعی با شرایط بروز تنش خشکی راهکار موثری برای اجتناب از اثرات منفی تنش دمایی و خشکی انتهای فصل می‌باشد (Faraji, 2014).

در کینوا نیز کاهش طول دوره رشد تحت شرایط تنش خشکی گزارش نموده‌اند (Pakbaz et al., 2022). بیش‌ترین تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی بر افزایش تعداد روز و نیاز حرارتی تا مرحله رسیدگی مربوط به محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار آهن و روی در مرحله رشد رویشی بود (شکل ۴). در عدس نیز محلول‌پاشی سولفات آهن و روی سبب افزایش تعداد روز از کاشت تا رسیدگی شد (Kumari et al., 2019).

همبستگی عملکرد دانه با برخی از صفات فنولوژیک

بررسی نتایج ضرایب همبستگی (جدول ۵) نشان داد، به طور کلی در هر دو تیمار آبیاری، عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی داری با ارتفاع بوته، درصد و عملکرد روغن، درصد روغن با عملکرد روغن و ارتفاع بوته وجود داشت. در این شرایط بالاترین همبستگی عملکرد دانه با عملکرد روغن در شرایط عدم تنش ($R=0.98^{**}$) و تنش کم‌آبی ($R=0.96^{**}$) مشاهده شد. در هر دو شرایط آبیاری، همبستگی مثبت و معنی داری بین عملکرد دانه و عملکرد روغن با تعداد روز از کاشت تا سبز شدن، ارتفاع بوته با تعداد روز از کاشت تا سبز شدن و گل‌دهی وجود داشت. تفاوت‌هایی بین ضرایب همبستگی عملکرد دانه با صفات فنولوژیک در دو شرایط آبیاری وجود داشت. عملکرد دانه در شرایط عدم تنش با صفات نیاز حرارتی از کاشت تا سبزشدن، تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی و تا رسیدگی به صورت مثبت و معنی‌دار بود. بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با تعداد روز تا سبز شدن و گل‌دهی در شرایط عدم تنش کم‌آبی ($R=0.64^{**}$) و تنش کم‌آبی ($R=0.70^{**}$) بود.

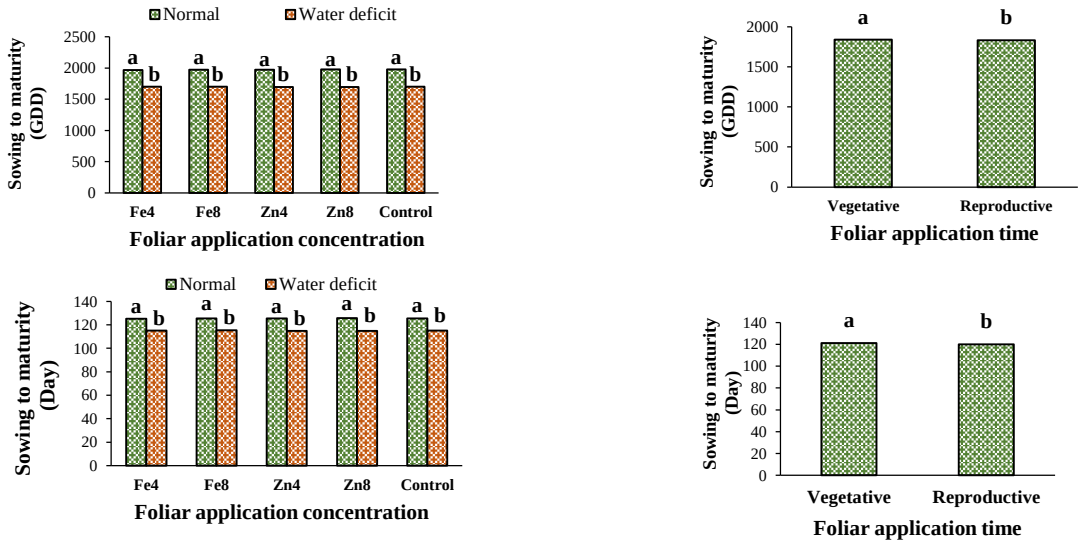

Figure 4. Main Effect of foliar application time (T), and post anthesis water deficit and foliar application Fe and Zn interaction (I×F) on growth period and GDD of sowing to maturity in *Lallemantia iberica* L. Water deficit: No irrigation after flowering; Vegetative stage: beginning of stem elongation; Reproductive stage: Full flowering: 50% of flowers open; Control: No foliar application; Fe, Zn 4, 8: Iron and zinc sulfate 4, 8 per thousand, respectively; Means followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's Multiple Range test.

Table 5. Pearson correlation coefficients between measured traits at Normal (left) and post anthesis water deficit stress (right) based on 2-year averages (2018–2019)

	Y	OC	OY	PH	SE	SF	SM	GSE	GSF	GSM
Y	1									
OC	0.82**	1								
OY	0.98**	0.91**	1							
PH	0.62**	-0.26	-0.54*	1						
SE	0.74**	0.40	0.67**	-0.77**	1					
SF	0.58**	0.29	0.52*	-0.62**	0.80**	1				
SM	0.50*	0.63**	0.57**	-0.33	0.40	0.41	1			
GSE	0.56**	0.26	0.50*	-0.60**	0.84**	0.54*	0.18	1		
GSF	-0.06	-0.04	-0.06	0.03	0.05	0.39	0.19	-0.21	1	
GSM	0.27	0.54*	0.37	-0.08	0.08	0.14	0.94**	-0.06	0.15	1

	Y	OC	OY	PH	SE	SF	SM	GSE	GSF	GSM
Y	1									
OC	0.66**	1								
OY	0.96**	0.84**	1							
PH	0.71**	-0.21	-0.59**	1						
SE	0.68**	0.28	0.60**	-0.78**	1					
SF	0.37	0.09	0.30	-0.55*	0.65**	1				
SM	0.30	-0.19	0.14	-0.30	0.44*	0.19	1			
GSE	0.36	0.02	0.27	-0.41	0.70**	0.32	0.46*	1		
GSF	0.18	0.08	0.15	-0.16	0.26	0.77**	0.02	0.15	1	
GSM	0.06	-0.33	-0.07	-0.03	0.12	-0.04	0.93**	0.30	-0.07	1

Y, Yield; OC, Oil content; OY, Oil yield; PH, Plant height; SE, Sowing to emergence; SF, Sowing to flowering; SM, Sowing to maturity; GSE, GDD from sowing to emergence; GSF, GDD from sowing to flowering; GSM, GDD from sowing to maturity.
*Correlation is significant at the 0.05 level. **Correlation is significant at the 0.01 level.

همبستگی مثبت و معنی‌داری در هر دو شرایط رطوبتی بین سایر صفات فنولوژیک، به‌جز رابطه بین نیاز حرارتی تا سبز شدن با نیاز حرارتی تا گل‌دهی وجود داشت. با توجه به نتایج ضرایب همبستگی در هر دوشرایط رطوبتی موجود، همبستگی بین روز تا سبز شدن با صفات روز تا گل‌دهی به‌ترتیب در شرایط عدم تنش (R=0.80**) و تنش کم‌آبی (R=0.65**) قابل توجه بود. که در این رابطه نتایج مشابهی در گندم (Valipour et al., 2022) و گلرنگ (Aminian et al., 2019) مشاهده شد. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی در کلزا توسط (Forooghi et al., (2017

گزارش شده است. وجود همبستگی مثبت عملکرد دانه با صفات تعداد روز از کاشت تا مراحل نموی مختلف (تعداد روز تا سبز شدن، گل‌دهی و رسیدگی) نشان دهنده این مطلب هست که در این شرایط هرچه بالنگوی شهری دیرتر به مرحله گل‌دهی برسد ارتفاع نیز افزایش یافته (که همبستگی مثبت ارتفاع بوته با عملکرد دانه مشاهده شد)، دیررس‌تر شده و میزان عملکرد دانه افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر افزایش مدت زمان از کاشت تا گل‌دهی (رشد رویشی) با عملکرد دانه رابطه مستقیمی دارد.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن وضعیت خاک محل اجرای آزمایش از جمله: pH بالای خاک، کمبود عناصر ریز مغذی آهن و روی و مقدار بالای فسفر خاک (در چنین شرایطی آهن رسوب می‌نماید و روی جذب و یا منتقل نمی‌شود) در چنین شرایطی دسترسی گیاه به عناصر ریزمغذی خاک به شدت کاهش می‌یابد. به علاوه اعمال تنش کم‌آبی مزید بر علت می‌گردد. بنابراین با توجه به نتایج عملکرد دانه، می‌توان گفت اعمال محلول‌پاشی سولفات آهن و روی با غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار در اوایل رشد طولی ساقه و گل‌دهی بر افزایش عملکرد دانه به ویژه در شرایط اعمال تنش کم‌آبی موثر واقع شد و این گیاهان پاسخ خوبی نسبت به محلول‌پاشی این عناصر نشان دادند. در این شرایط بهبود قابل توجه عملکرد دانه تحت‌تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی ممکن است به دلیل نقش موثر محلول‌پاشی آهن و روی در بهبود سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و بهبود سرعت فتوسنتز، حفظ ماهیت و کارکرد غشاءها، بهبود در جذب مواد مغذی، تقویت سازوکارهای دفاع آنتی‌اکسیدانی و جبران کمبود عناصر غذایی خاک باشد. به نظر می‌رسد کشت و توسعه این گیاه بتواند گامی هرچند کوچک در راستای نیل به اهداف توسعه پایدار و خودکفایی در صنعت دانه‌های روغنی کشورمان باشد.

سپاس‌گزاری

شرایط اجرای پژوهش حاضر توسط پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی فراهم شده است، بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه رازی سپاس‌گزاری می‌شود.

References

Aghaei-Gharachorlou, P., Nasrollahzadeh, S., & Shafagh-Kolvanagh, J. 2013. Effect of different irrigation treatments and plant density on yield and yield components of Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fish. et Mey.). *International Journal of Biosciences*, 3(8), 144-149.

Aghaei-Gharachorlou, P., & Nasrollahzadeh, S. 2014. Effect of drought stress and plant density on oil percentage, oil and grain yield of Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fish. et Mey.). *International Journal of Agriculture Innovations and Research,* 2(4), 654-659. [In Persian].

Akhzari, D., & Pessarakli, M. 2016. Effect of drought stress on total protein, essential oil content, and physiological traits of Levisticum officinale Koch. *Journal of Plant Nutrition,* 39(10), 1365-1371.

Amirkhiz, K.F., Dehaghi, M.A., & Heshmati, S. 2015. Effect of iron application methods on grain yield, yield components, oil content and fatty acids profile of spring safflower cv. Goldasht under deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(4), 308-321. [In Persian]

Aminian, R., Karimzadeh Asl, K., Habibzadeh, F., & Baghbani Arani, A. 2019. The Multivariate Statistical Methods to Study the Relationships among Safflower Traits under Normal Irrigation and Drought Stress Conditions. *Journal of Plant Productions*, 42(2), 211-226. [In Persian]

Anjum, S.A., Ashraf, U., Zohaib, A., Tanveer, M., Naeem, M., Ali, I., Tabassum, T., & Nazir, U. 2017. Growth and development responses of crop plants under drought stress: a review. *Zemdirbyste*, 104(3), 267-276.

Anonymous. 2015. Production and trade of the basic products of the agricultural sector in the period of 2001-2015. The report of the Deputy of Infrastructure Research and Production Affairs of the Islamic Legislative Council, 99 pages. [In Persian]

Azhand, M., Saeidi M., Beheshti Al Agha, A., & Kahrizi, D. 2021. Effect of Foliar Application of Iron and Zinc Sulphate on Yield and some Physiological Characteristics of Camelina (*Camelina sativa* L. crantz) in Rainfed Conditions. *Crop Physiology Journal*, 12(48), 155-172. [In Persian]

Daneshian, J., Noor Mohammadi, GH., & Jonoobi, P. 2002. Responses of soybean to drought stress and different amounts of phosphorus, Abstracts of Seventh Iranian Crop Sciences Congress, Karaj, Seed and Plant Improvement Research Institute. [In Persian]

Daniel, C., & Tribo, E. 2002. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperatures and water stress. *European Journal of Agronomy,* 16(1), 1-12.

Dreccer, M.F., Fainges, J., Whish, J., Ogbonnaya, F.C., & Sadras, V.O. 2018. Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 275-294.

El-Sherbeny, E., Badawy, M., Hussein, S., Hendawy, S., El-Kadya, F., & Amer, M. 2015. Influence of fertilization on growth, yield and chemical constituents of *Lallemantia iberica* plant. *World Journal of Pharmaceutical Sciences*, 3(5), 998-1012.

Emam, S. 2020. Estimation of straw, seed and oil yields for flax plants (*Linum usitatissimum* L.) cultivars of foliar application of Mn, Fe and Zn under dry environment. *Egyptian Journal of Agronomy*, 42(1), 35-46.

Faraji, A. 2014. Seed weight in canola as a function of assimilate supply and source-sink ratio during seed filling period. *International Journal of Plant Production*, 8(2), 255-270.

Forooghi, A., Biyabani, A., Rahemi Karizaki, A., & Rassam, G. 2017. Relationship between phenology and physiological traits with rape seed yield in North Khorasan. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(40), 1007-1024. [In Persian]

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Mansour Ghanaei-Pashaki, K., & Talebi-Siah Saran, P. 2021. Evaluation of Morpho-Physiological and Biochemical Characteristics of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Response to Different Irrigation Regimes and Spraying of Zn and Mn Nano-Fertilizers. *Journal of Plant Productions,* 44(4), 475-488. [In Persian]

Hafeez, B.M.K.Y., Khanif, Y.M., & Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition-a review. *Journal of Experimental Agriculture International,* 50(1), 374-391.

Hanif, M.A., Nawaz, H., Ayub, M.A., Tabassum, N., Kanwal, N., Rashid, N., Saleem, M., & Ahmad, M. 2017. Evaluation of the effects of Zinc on the chemical composition and biological activity of basil essential oil by using Raman spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, 96, 91-101.

Khoddami, A., Ghazali, H.M., Yassoralipour, A., Ramakrishnan, Y., & Ganjloo, A. 2011. Physicochemical characteristics of nigella seed (*Nigella sativa* L.) oil as affected by different extraction methods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 88(4), 533-540.

Kumari, V.V., Banerjee, P., Nath, R., Sengupta, K., Chandran, M.S., & Kumar R. 2019. Effect of foliar spray on phenology and yield of Lentil sown on different dates. *Journal of Crop and Weed*, 15(3), 54-58.

Kumari, V.V., Banerjee, P., Vijayan, R., Nath, R., Sengupta, K., & Chandran, M. 2020. Effects of micronutrient foliar spray on thermal indices ,phenology and yield of lentil in new alluvial zone of West Bengal. *Journal of AgriSearch*, 7, 202-205.

Li, Q.T., Lu, X., Song, Q.X., Chen, H.W., Wei, W., Tao, J.J., Bian, X.H., Shen, M., Ma, B., & Zhang, W.K. 2017. Selection for a zinc-finger protein contributes to seed oil increase during soybean domestication. *Plant Physiology*, 173(4), 2208-2224.

Mohammad Ghasemi, V., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Pourakbar, L., & Popović-Djordjević, J. 2020. Winter cultivation and nano fertilizers improve yield components and antioxidant traits of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* (MB) Fischer & Meyer). *Plants*, 9(2), 252.

Mohapatra, K.K., Singh, S.K., Patra, A., Jatav, S.S., Rajput, V.D., Popova, V., Puzikova, O., Nazarenko O., & Sushkova, S. 2022. Biogeoaccumulation of zinc in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) in an Inceptisol amended with soil zinc application and its bioavailability to human being. *Eurasian Journal of Soil Science*, 11(3), 184-197.

Pakbaz, N., Omidi, H., Naghdi Badi, H.A., & Bostani, A. 2022. Foliar application of iron and zinc on quinoa under drought stress affects its seeds germination and biochemical properties. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 12(2), 4153-4167. [In Persian]

Pasandi, M., Janmohammadi, M., Abasi, A., & Sabaghnia, N. 2018. Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 17(1), 86-94.

Petrie, M., Wildeman, A., Bradford, J.B., Hubbard, R., & Lauenroth, W. 2016. A review of precipitation and temperature control on seedling emergence and establishment for ponderosa and lodgepole pine forest regeneration. *Forest Ecology and Management*, 361, 328-338.

Rafique, E., Yousra, M., Mahmood-Ul-Hassan, M., Sarwar, S., Tabassam, T., & Choudhary, T. K. 2015. Zinc application affects tissue zinc concentration and seed yield of pea (*Pisum sativum* L.). *Pedosphere*, 25(2), 275-281.

Rout, G.R., & Sahoo S. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science,* 31-24.

Sanandaji, D.S., & Pirza, A. 2019. Ecophysiological response of Lallemantia iberica L. to exogenous application of osmotic adjustments in rainfed production. *Agroecology*, 11(3), 1105-1121. [In Persian]

Sintim, H.Y., Zheljazkov, V.D., Obour, A.K., Garcia, A., & Foulke, T.K. 2016. Evaluating agronomic responses of camelina to seeding date under rain-fed conditions. *Agronomy Journal*, 108(1), 349-357.

Soheili-Movahhed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., & Alizadeh, B. 2019. Improvement in seed quantity and quality of spring safflower through foliar application of boron and zinc under end-season drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 42(8), 942-953.

Ursu, B., & Borcean, I. 2012. Researches concerning the sowing technology at *Lallemantia iberica* F. ET M. *Research Journal of Agricultural Science*, 44(1), 168-171.

Valipour, N., Alipour, H., & Darvishzadeh, R. 2022. Evaluation of phenotypic diversity of cumulative growing degree-days (GDD) and grain yield in spring wheat cultivars under optimal and zinc deficiency conditions. *Journal of Plant Productions*, 44(3). [In Persian]

Van Soest, L.J.M., Doorgeest, M., & Ensink, E. 1987. Introduction demonstration of new potential crops (In Dutch). *Center for Genetic Resources, CPRO-DLO, Wageningen, The Netherlands*, 29-31

Waraich, E.A., Ahmed, Z., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., Naeem, M.S., & Rengel, Z. 2013. '*Camelina sativa*', a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: A review. *Australian Journal of Crop Science*, 7(10), 1551-1559.

Zagade, V., & Pujari, K. 2014. Effect of period of maturity on physical characters and heat units required of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso. *Plant Archives*, 14(2), 835-840.