University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

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

Vol. 17, No. 2, pp. 255-270 (Summer 2024)

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5722.2169

Original article

Effect of foliar application of different forms of iron fertilizer on yield and forage properties of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) under drought stress conditions

F. Mrovati[1], T. Mir Mahmoodi[2]*, S. Yazdan Seta[2]

1. MSc. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran

2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

Received 24 October 2022; Accepted 20 January 2023

Extended abstract

Introduction

Hairy vetch a plant that can be used in different ways, such as fodder, silage, grazing, and green manure and its seeds can be used to feed poultry. Like other legume family plants, vetch can improve and strengthen the soil and fix nitrogen. Iron (Fe) is an essential micronutrient to virtually all forms of life. Although Fe is the second most abundant metal element in earth's crust its low solubility and high fixation in soil reduce its bioavailability to the plant roots. Fe plays a major role in redox reactions in metabolic processes such as photosynthesis, respiration, and nitrogen assimilation besides being involved in the biosynthesis of chlorophyll and hormones, Drought stress is the most common environmental stress that reduces crop production, and low soil moisture leads to the lack of low consumption elements, especially iron and zinc elements in plants, So With the aim of investigating the effect of foliar application of different sources of iron fertilizer on fodder characteristics of vetch, this research was conducted.

Materials and methods

The research was conducted in the agricultural research farm of the Agricultural Jihad Organization in Baneh city in Kurdistan province, at 2021 crop season. The experimental design was implemented as a split plot where different levels of irrigation include no irrigation (rainfed conditions), one irrigation and two irrigations in the main plots, and foliar spraying of different sources of iron fertilizer including, control (spraying solution with water), iron chelate (Fe-EDTA), iron nanochelate (Khizra) and non-chelated source of iron sulfate were placed in sub-plots in three replicates. In the study chlorophyll index, plant height, fresh forage yield, dry fodder yield, Fodder protein percentage, digestibility percentage, ADF, NDF, soluble carbohydrates, crude fiber and ash percent of fodder were measured.

Results and discussion

The results showed that the main effect of irrigation and foliar spraying on all investigated traits was significant. Results revealed that the interaction effect of irrigation with iron fertilizer foliar application on chlorophyll index, plant height, digestibility percentage, cell wall NDF, fiber percentage, and ash percentage was a significant, In our study dry conditions, compared to the treatment of two times of irrigation, decreased the wet fodder yield and dry fodder yield and the protein content of fodder by 71.65, 50.16, and 58.58%, respectively, and increased the insoluble fibers in the acidic cell (ADF) by 48.15%. Also, under iron nano chelate treatment of fresh and dry fodder yield, the protein content of the fodder and the content of soluble carbohydrates increased by 84.35, 40.19, 22.90 and 64.08, respectively, and the insoluble fibers in the neutral cell wall (NDF) decreased by 11.60%. Among the interaction

* Corresponding author: Touraj Mir Mahmoodi; E-Mail: toraj73@yahoo.com

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

treatments of irrigation with the iron foliar application, the highest chlorophyll content (133.45 and 131.04 mg/g fresh weight respectively), plant height (23.81 and 23.43 cm respectively), fodder digestibility percentage (72 42.42 and 77.10% respectively), fiber percentage (37.75 and 40.98 respectively) and fodder ash percentage (19.37 and 21.01% respectively) And the lowest NDF of the cell wall (21.78 and 26.93% respectively) was recorded in the treatment of iron chelate (Fe-EDTA) and iron nano chelate with two times of irrigation. The results of the interaction treatments also showed that iron chelate (Fe-EDTA) under the one-time irrigation treatment could significantly increase the leaf chlorophyll content, the percentage of forage digestibility and the percentage of forage fiber compared to the control treatment.

Conclusion
It can be concluded that foliar application of iron fertilizer from sources of iron chelate (Fe-EDTA) and nano-iron chelate (Khizra) with two times of irrigation to achieve the maximum quantitative and qualitative characteristics of the fodder of the cluster flower is recommended, therefore it can be stated that supplementary irrigation and foliar application of iron fertilizer can be a solution to improve the quantitative and qualitative characteristics of fodder in vetch.

Keywords: Fodder, Low consumption elements, Protein, Water deficit

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5722.2169

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی اشکال مختلف کود آهن بر عملکرد و خصوصیات علوفه ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) در شرایط تنش خشکی

فرمیسک مروتی[1]، تورج میرمحمودی[2*]، سامان یزدان‌ستا[2]

۱. دانشجو کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد

۲. هیئت‌علمی دانشگاه آزاد اسلامی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پروتئین
علوفه
عناصر کم‌مصرف
کم‌آبی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۸/۰۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۳
۱۷(۲): ۲۵۵-۲۷۰

چکیده

با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی شکل‌های مختلف کود آهن بر عملکرد و خصوصیات علوفه ماشک در شرایط تنش خشکی تحقیقی در سال زراعی ۱۴۰۰ به‌صورت اسپلیت‌پلات در چهار تکرار اجرا شد. سطوح مختلف آبیاری شامل عدم آبیاری (شرایط دیم)، یک‌بار آبیاری و دو بار آبیاری در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی شکل‌های مختلف کود آهن شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب) کلات آهن (Fe-EDTA)، نانوکلات آهن (خضرا) و منبع غیرکلاته سولفات آهن در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج شرایط دیم در مقایسه با تیمار دو بار آبیاری عملکرد علوفه تر و خشک و محتوی پروتئین علوفه را به ترتیب ۷۱/۶۵، ۵۰/۱۶، ۵۸/۵۸ درصد کاهش و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی دیواره سلولی (ADF) را ۴۸/۱۵ درصد افزایش داد، همچنین تحت تیمار نانوکلات آهن علوفه تر و خشک، محتوی پروتئین علوفه و محتوی کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب ۸۴/۳۵، ۴۰/۱۹، ۲۲/۹۰ و ۶۴/۰۸ افزایش و الیاف نامحلول در شوینده خنثی دیواره سلولی (NDF) ۱۱/۶۰ درصد کاهش یافت. در بین تیمارهای برهمکنش آبیاری با محلول‌پاشی آهن بالاترین محتوی کلروفیل (به ترتیب ۱۳۳/۴۵ و ۱۳۱/۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ارتفاع بوته (به ترتیب ۲۳/۸۱ و ۲۳/۴۳ سانتی‌متر)، درصد قابلیت هضم علوفه (به ترتیب ۴۲/۷۲ و ۷۷/۱۰ درصد)، درصد فیبر (به ترتیب ۳۷/۷۵ و ۴۰/۹۸) و درصد خاکستر علوفه (به ترتیب ۱۹/۳۷ و ۲۱/۰۱ درصد) و کمترین NDF دیواره سلولی (به ترتیب ۲۱/۷۸ و ۲۶/۹۳ درصد) در تیمار کلات آهن (Fe-EDTA) و نانوکلات آهن و دو بار آبیاری ثبت شد. نتاج تیمارهای برهمکنش نشان داد کلات آهن (Fe-EDTA) تحت تیمار یک‌بار آبیاری توانست محتوی کلروفیل برگ، درصد قابلیت هضم علوفه و درصد فیبر علوفه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش دهد. می‌توان نتیجه گرفت محلول‌پاشی کود آهن از منابع کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن (خضرا) و دو بار آبیاری جهت دستیابی به حداکثر خصوصیات کمی و کیفی علوفه ماشک گل خوشه‌ای قابل توصیه است.

مقدمه

ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) گیاهی از خانواده پروانه‌آسا بوده و عمدتاً یک‌ساله، تعدادی دوساله و به‌ندرت چندساله هستند. شکل رویشی ماشک، نیمه‌رونده بوده و از هر بوته تعدادی ساقه‌ی اصلی با انشعابات فرعی خارج می‌شود (Asghari Meidany and Karimi, 2013). این گیاه را می‌توان به صورت‌های مختلف ازجمله علوفه، سیلو، چرای مستقیم و کود سبز و از دانه‌ی آن برای تغذیه طیور استفاده نمود (Jalilian and Rahiminejad, 2012).

یکی از متداول‌ترین تنش‌های محیطی که موجب کاهش قابل‌توجه محصولات زراعی می‌شود تنش خشکی است (Lambers et al., 2008). با توجه به میانگین بارندگی سالیانه در ایران که برابر ۲۴۰ میلی‌متر است، کشور ما جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک است، تنش‌های محیطی به‌خصوص تنش خشکی انتهای فصل به‌صورت گسترده‌ای رشد و تولید محصول اقتصادی را در کشور محدود می‌سازد (Turhan and Baser, 2014).

* نگارنده پاسخگو: تورج میرمحمودی. پست الکترونیک: toraj73@yahoo.com

در تحقیقی بر روی ماشک گل خوشه‌ای دوگان (Dogan, 2019) گزارش کرد عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و دیگر خصوصیات فیزیولوژیکی این گیاه در واکنش به تنش خشکی کاهش معنی‌دار نشان داد. یکی از اثرات تنش خشکی کاهش جذب و کمبود عناصر غذایی به‌خصوص عناصر کم‌مصرف مانند آهن است (Sanches-Rodrigues et al., 2010).

در میان عناصر کم‌مصرف، آهن بیشتر از دیگر عناصر موردنیاز گیاه است. آهن در ساختار هموپروتئین‌ها مانند سیتوکروم‌ها، سیتوکروم اکسیداز و لگ هموگلوبین مشارکت دارد. یکی از عناصر ضروری برای سنتز کلروفیل در گیاهان آهن است، آهن در فتوسنتز به‌عنوان فعال‌کننده آنزیم‌های مؤثر در انتقال الکترون و همچنین یک گیرنده الکترون نقش دارد (Irmak et al., 2012). کمبود آهن در گیاهان موجب زرد شدن برگ‌های جوان شده و فعالیت‌های فتوسنتزی و رشد و نمو گیاه را کاهش می‌دهد که درنهایت موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Pourgholam et al., 2013; Pirzad and Shokrani, 2012). زمانی که گیاهان با تنش کم‌آبی روبرو هستند جذب مواد و عناصر غذایی و انتقال آن‌ها به بافت‌ها و اندام‌های گیاهی ناکارآمد است. در شرایط خشکی کود دهی به‌واسطه عدم جذب عناصر غذایی از خاک می‌تواند موجب شور شدن خاک شود و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین محلول‌پاشی می‌تواند راه‌کاری مناسب در جهت بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه باشد (Marschener, 2012).

روش‌های مختلفی جهت رفع کمبود آهن در گیاهان پیشنهادشده که می‌توان به مصرف خاکی، محلول‌پاشی و یا اختلاط آهن با بذر اشاره کرد (Godsey and Johnson, 2001) مصرف کودهای معدنی آهن‌دار برای رفـ کمبود مؤثر واقع نشده و به‌سرعت به ترکیبات نامحلول و غیرقابل‌جذب در خاک تبدیل می‌شوند ولی محلول‌پاشی با کلات‌های آهن باعث جذب بهتر آهن و توزیع سریع‌تر آن در اندام‌های گیاهی و نقاط مصرف می‌شود (Datirl et al., 2012) مصرف برگی آهن (سولفات آهن یا کلات‌های آهن) روشی معمول در کشاورزی است، به‌ویژه در خاک‌هایی که بـا کمبود آهـن همراه هستند (Fang et al., 2008) کاربرد مفید و مناسب انواع مختلف کودها راه‌حل اصلی برای اصلاح و نگهداری حاصلخیزی خـاک و افزایش تولید محصولات است (Rezaeei et al., 2014).

امیری نژاد و همکاران (Amiri Nejad et al., 2015) نشان دادند که کاربرد عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی در گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) مقدار مقاومت گیاه را به تنش خشکی از طریق فرآیندهای بیوشیمیایی بهبود بخشید. در تحقیقی دیگر بر روی کنجد (*Sesamum indicum*) مشاهده شد محلول‌پاشی نانواکسید به میزان ۱ کیلوگرم در ۱۰۰۰ لیتر آب موجب افزایش محتوی رنگ‌دانه‌های نورساختی (کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید) تحت شرایط تنش کم‌آبی شد (Heidari et al., 2016). در تحقیقی بر روی گیاه ریحان (*Ocimum Basilicum*)، پیوندی و همکاران (Peyvandi et al., 2015) اظهار داشتند محلول‌پاشی نانو کلات آهن با غلظت یک کیلوگرم در هکتار اثر مثبتی بر خصوصیات رشدی گیاه مذکور داشت. اقدسی و همکاران (Aghdasi et al., 2016) در تحقیقی مشاهده کردند که محلول‌پاشی آهن از منبع سولفات آهن (با غلظت ۱/۵ درصد) و منگنز (غلظت یک درصد) توانست به‌صورت معنی‌داری عملکرد کمی و کیفی و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) را بهبود دهد. حسنوندی و همکاران (Hasanvandi et al., 2009) خصوصیات کمی و کیفی علوفه توده‌های مختلف علوفه را تحت شرایط محیطی مختلف در استان لرستان موردبررسی قرار داده و نشان دادند تحت شرایط آبیاری کامل عملکرد تر و عملکرد خشک علوفه، درصد پروتئین علوفه، خاکستر کل، درصد ADF و NDF علوفه افزایش و کربوهیدرات‌های محلول در آب تحت شرایط تنش خشکی کاهش نشان داد. در مطالعه مهدی نژاد و همکاران (Mahdinezhad et al., 2019) محلول‌پاشی نانو کلات آهن (یک لیتر در هکتار) عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) را افزایش داد، آن‌ها مشاهده کردند تیمار نانو کلات آهن عملکرد دانه را در این گیاه تحت شرایط تنش خشکی در مقایسه با عدم کاربرد این تیمار ۱۲/۱۱ درصد افزایش داد. آزاد و همکاران (Azad et al., 2017) نشان دادند محلول‌پاشی آهن در ارقام بابونه (*Matricaria Chamomilla*) عملکرد گیاه را به‌واسطه بهبود سیستم فتوسنتزی گیاه بهبود بخشید. همچنین کاربرد کود آهن (دو میلی‌گرم در لیتر) در این گیاه اثر تنش خشکی را در این گیاه تعدیل کرد. در تحقیقی بر روی کنجد (*Sesamum indicum*) ایوب زاده و همکاران (Ayoubi zadeh et al., 2018) نشان دادند محلول‌پاشی نانو کلات آهن در گیاه کنجد (*Sesamum indicum*) در شرایط تنش

کم‌آبی علاوه بر تعدیل اثر مضر تنش خشکی قادر بود عملکرد دانه، درصد پروتئین علوفه، عملکرد پروتئین و همچنین عملکرد روغن را در کلیه تیمارهای آبیاری افزایش دهد. جهان‌بین و اردشیری (Ardashiri and Jahanbin, 2018) دریافتند تحمل به تنش خشکی با محلول‌پاشی نانو کلات آهن در کلزا افزایش یافت.

با توجه به وجود دیم‌زارهای وسیع در استان کردستان و به‌خصوص شهرستان بانه و وقوع تنش خشکی با دوره‌های متناوب در منطقه و همچنین نیاز به تأمین علوفه برای دام مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی کود آهن بر خصوصیات کمی و کیفی ماشک تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی اداره جهاد کشاورزی در شهرستان بانه استان کردستان انجام شد. محل مورد آزمایش در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی در ارتفاع متوسط ۱۵۵۰ متری از سطح دریا و با متوسط بارندگی سالیانه ۷۲۰ میلی‌متر واقع بود. طرح آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد که در آن سطوح مختلف آبیاری شامل عدم آبیاری (شرایط دیم)، یک‌بار آبیاری و دو بار آبیاری در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی منابع مختلف کود آهن شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب) کلات آهن (Fe-EDTA)، نانوکلات آهن (خضرا) و منبع غیرکلاته سولفات آهن در کرت‌های فرعی در چهار تکرار قرار گرفتند. ماشک گل‌خوشه‌ای رقم مراغه از مرکز تحقیقات دیم مراغه تهیه شده بود. عملیات آماده‌سازی زمین با شخم به عمق ۲۵ سانتی‌متر در فصل پاییز ۱۳۹۹ آغاز شد، یک شخم بهاره و یک دیسک قبل از کشت نیز جهت تهیه زمین آزمایش انجام گرفت. جهت انجام آزمون خاک یک نمونه مرکب از چندین نقطه خاک محل آزمایش تهیه‌شده و جهت مشخص شدن خصوصیات فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ درج گردیده است. بعد از عملیات آماده‌سازی زمین زراعی برای کشت مساحت هر کرت ۱۲ مترمربع (با ابعاد ۳×۴ متر) در نظر گرفته شد. در هر کرت ۱۵ ردیف با فواصل ۲۰ سانتی‌متر و طول ۴ متر کشت شد.

جدول ۱. تجزیه فیزیکی شیمیائی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical analysis of the soil of the test site.

Parameter	پارامترهای اندازه‌گیری	مقدار amount
Sp%	درصد اشباع	43
EC (ds m^{-1})	هدایت الکتریکی	1.36
F.C 1/3 A+	ظرفیت نگهداری آب در خاک	27.3
W.P	نقطه پژمردگی	12.3
B.D	وزن مخصوص ظاهری	1.4
pH	اسیدیته	8.09
T. N. V%	کربنات کلسیم	4.75
O.C%	کربن آلی	1.3
N%	ازت کل	0.13
P(ppm)	فسفر قابل‌جذب	14.62
K(ppm)	پتاسیم قابل‌جذب	444
Sand%	شن ٪	16
Silt%	سیلت ٪	54
Clay%	رس ٪	28
soil texture	بافت خاک	Silt clay loam

فواصل بین تیمارها و بلوک‌ها نیز به ترتیب ۰/۶ و یک متر در نظر گرفته شد. در این مطالعه تراکم کاشت ۲۵۰ بوته در مترمربع بود. کاشت در اواخر اسفند ۱۴۰۰ به‌صورت دستی انجام گرفت. در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. آبیاری کرت‌های آزمایشی به روش قطره‌ای (نوار تیپ) انجام شد. آبیاری با استفاده از شلنگ و کنتور صورت گرفت مقدار آب مصرفی در تیمار دیم ۳۰ مترمکعب (تنها آب باران)، در تیمار یک‌بار آبیاری ۷۰ مترمکعب (آب باران+ یک‌بار آبیاری) و در تیمار دو بار آبیاری ۱۱۰ مترمکعب (آب باران+ یک‌بار آبیاری) برآورد و در تیمارهای مربوطه اعمال شد. در تیمار آبیاری دیم هیچ آبیاری انجام نشد و کلیه مراحل رشد به کمک آب باران انجام گرفت، در تیمار یک‌مرتبه آبیاری، آبیاری تنها در مرحله کشت و در تیمار دو مرحله آبیاری، آبیاری در مرحله کاشت و مرحله قبل از گلدهی انجام گرفت. محلول‌پاشی کودهای میکرو قبل از طلوع آفتاب با استفاده از سم‌پاش موتوری انجام پذیرفت. کلات آهن (Fe-EDTA) (غلظت ۲ در هزار)، نانوکلات آهن (خضرا با غلظت ۲ در هزار) و منبع غیرکلاته سولفات آهن به میزان (سه در هزار) مطابق دستورالعمل شرکت سازنده و در مرحله گلدهی محلول‌پاشی شدند.

جدول ۲. میزان بارندگی و میانگین دمای محل آزمایش در طول فصل رشد در سال زراعی ۱۴۰۰ در شهرستان بانه

Table 2. Meteorological parameters in year of 2021 crop season at execution site in Baneh city

Month	ماه	بارندگی Monthly Rainfall	میانگین حداقل دما Minimum temperature Average	میانگین حداکثر دما Maximum temperature Average	میانگین حداقل رطوبت نسبی Minimum humidity Average	میانگین حداکثر رطوبت نسبی Maximum humidity Average
		mm	----------°C ----------		---------- % ----------	
April	**فروردین**	43.2	17.1	4.1	78.8	33.7
May	**اردیبهشت**	33.7	18.9	7.4	79.1	35.4
June	**خرداد**	15.7	25.5	12.2	77.9	29.6
July	**تیر**	15.0	20.3	16.5	65.6	25.7
August	**مرداد**	3.01	31.3	17.0	63.5	25.6
September	**شهریور**	10.9	29.6	15.4	55.6	18.3
October	**مهر**	15.6	20.2	5.8	68.8	25.9
November	**آبان**	52.5	13.6	3.8	88.7	49.6

جهت اندازه‌گیری صفات موردبررسی، در مراحل گلدهی (۵۰ درصد گلدهی) شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD- 502 (مارک مینولتا ساخت ژاپن) از توسعه‌یافته‌ترین برگ از ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری شد. بعد از برداشت از هر کرت ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی برداشت‌شده و بعد از کف بر شدن ارتفاع آن‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شدند.

جهت تعیین خصوصیات کیفی علوفه ماشک زمانی که حدود ۵۰ درصد از کرت‌ها به گل رفتند بعد از حذف حاشیه‌ها سطحی معادل شش مترمربع برداشت شد. سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک علوفه، علوفه تر برداشت‌شده تا ثابت شدن وزن در زیر سایه قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری درصد ماده خشک قابل‌هضم[1]، ۴ گرم نمونه آسیاب شده درون بوته چینی ریخته و به مدت ۲۴ ساعت درون آونی با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، سپس نمونه‌ها دوباره وزن شده و طبق رابطه زیر درصد ماده خشک هر تیمار تعیین گردید:

$$\%DM = \left(\frac{A-B}{C-B}\right) \times 100 \qquad [۱]$$

A: وزن بوته چینی + نمونه خشک، B: وزن بوته چینی، C: وزن بوته چینی + نمونه اولیه

برای اندازه‌گیری خاکستر، ۲ گرم نمونه درون بوته‌های چینی ریخته شده و سپس بوته‌ها درون کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت قرار داده شدند. ازآنجایی‌که خاکستر به‌شدت قابلیت جذب رطوبت دارد، بنابراین بوته‌ها بعد از سرد شدن به‌سرعت توزین شده و طبق رابطه زیر درصد خاکستر مشخص شد.

$$\%Ash = \left(\frac{A-B}{C-B}\right) \times 100 \qquad [۲]$$

A: وزن بوته چینی + نمونه خشک، B: وزن بوته چینی، C: وزن بوته چینی + نمونه اولیه

جهت تعیین درصد پروتئین خام[2] علوفه از دستگاه Kejeldahl (مدل دستگاه) استفاده شد. اساس کار در این روش بر اندازه‌گیری نیتروژن کل موجود در نمونه آزمایشی استوار است و فرض بر آن است که تمام نیتروژن موجود از نوع پروتئین است؛ بنابراین، پس از اندازه‌گیری نیتروژن کل نمونه با اعمال ضریب ۶/۲۵، درصد پروتئین خام علوفه در تیمارهای مختلف محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)[3] علوفه، ابتدا یک گرم از نمونه خشک را در داخل کروسیبل‌ها ریخته و با استفاده از گیره مخصوص کروسیبل‌ها با دقت در جای خود قرار داده شدند. ریجنت‌های NDS و ADS از قبل تهیه و در داخل مخزن‌های مخصوص تعبیه شده بودند. حدود ۴۵ تا ۶۰ دقیقه مایع داخل کروسیبل‌ها جوشیدند و پس از اتمام این مدت، مایع داخل کروسیبل‌ها خالی شد. سپس نمونه به داخل آونی با دمای ۱۰۵ درجه

[1] Dry Matter
[2] Crude protein (CP)
[3] Neutral detergent fibers

سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. بعد از برداشتن از آون، نمونه‌ها وزن شدند و به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد درون کوره الکتریکی قرار گرفتند. بعدازاین زمان نمونه‌ها دوباره وزن شده و با استفاده از رابطه زیر درصد NDF محاسبه شد.

$$\%NDF=\left(\frac{Y-X}{Z}\right) \quad [۳]$$

Y: وزن نمونه بعد از آون، X: وزن نمونه بعد از کوره، Z: وزن اولیه نمونه

تجزیه‌وتحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. میانگین‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون حداقل اختلاف دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین سه سطح آبیاری و چهار سطح محلول‌پاشی کود آهن ازلحاظ اثر بر کلیه خصوصیات کمی و کیفی ماشک اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. در این مطالعه NDF دیواره سلولی درصد فیبر خام و درصد خاکستر در سطح احتمال یک درصد و شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته و درصد قابلیت هضم در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر برهم‌کنش تیمارهای قرار گرفت (جدول ۳).

شاخص کلروفیل (SPAD)

نتایج نشان داد تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری محتوی کلروفیل برگ را کاهش داد، اما تحت شرایط یک‌بار آبیاری محلول‌پاشی هر سه منبع کودی و تحت شرایط دو بار آبیاری محلول‌پاشی کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن قادر بودند محتوای کلروفیل را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهند. در این مطالعه دو تیمار محلول‌پاشی کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن تحت شرایط دو بار آبیاری (به ترتیب با متوسط ۱۳۳/۴۵ و ۱۳۱/۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و تیمار شاهد محلول‌پاشی تحت شرایط عدم آبیاری با متوسط ۴۰/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کمترین محتوی کلروفیل برگ را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

نتایج نشان داد با تشدید تنش کم‌آبی از محتوی کلروفیل برگ کاسته شد. یکی از اثرات مضر تنش کم‌آبی ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید اکسیژن‌های فعال (ROS) است، این عناصر با قدرت تخریبی بالا می‌توانند به ساختارهای سلولی ازجمله کلروپلاست حمله کرده و ساخت و پایداری کلروفیل را کاهش دهند، با توجه به اینکه عنصر آهن اثر مستقیمی بر سنتز کلروفیل و افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد سلولی در برگ‌های جوان دارد کسب چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نبود.

جدول ۳. تجزیه واریانس داده‌های صفات فیزیولوژیک و زراعی در ماشک گل خوشه‌ای تحت رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی آهن

Table 3. Variance analysis of physiological and agronomic traits data in the hairy vetch under irrigation regimes and iron foliar application

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی Df	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	ارتفاع بوته plant height	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry fodder yield	درصد پروتئین علوفه Fodder protein percentage
Repetition	تکرار	3	4104.09	2.88	10.04	0.49	8.20
Irrigation (I)	آبیاری	2	17084.4**	33.60**	454.98**	9.85**	750.50**
Main error	خطای اصلی	6	381.0	1.44	3.76	0.31	5.12
Fe foliar application (Fe)	محلول‌پاشی آهن	3	2009.9**	20.70**	331.36**	5.69**	48.01**
I ×Fe	آبیاری × محلول‌پاشی	6	655.0*	8.11*	23.61^{ns}	0.90^{ns}	14.78^{ns}
sub error	خطای فرعی	27	235.4	2.55	12.39	0.55	10.07
CV%	ضریب تغییرات (٪)	-	*17.85*	*7.24*	*17.35*	*19.31*	*14.26*

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	درصد قابلیت هضم Digestibility percentage	ADF دیواره سلولی ADF	NDF دیواره سلولی NDF	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates	درصد فیبر خام Crude Fiber%	درصد خاکستر Ash%
تکرار Repetition	3	15.37	6.30	760.98	47.61	21.78	55.84
آبیاری Irrigation (I)	2	2757.96**	2733.9**	2746.61**	3208.54**	1436.85**	305.17**
خطای اصلی Main error	6	48.07	59.29	68.59	50.85	31.41	7.62
محلول‌پاشی آهن Fe foliar application (Fe)	3	223.36**	357.31**	235.28**	387.01**	340.26**	261.14**
آبیاری × محلول‌پاشی I ×Fe	6	60.35*	57.58ns	160.69**	92.82ns	97.02**	17.85**
خطای فرعی sub error	27	17.57	37.58	39.70	53.05	15.79	4.41
ضریب تغییرات (٪) CV%	-	*9.63*	*14.80*	*15.58*	*24.05*	*14.95*	*15.58*

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively
NDF: Neutral Detergent Fiber, ADF: Acid Detergent Fiber,

نتایج تحقیق حاضر حاکی از اثر مثبت محلول‌پاشی منابع مختلف آهن بر محتوای کلروفیل تحت شرایط دو و یک‌بار آبیاری بود، ماده مشترک برای ساخت کلروفیل و هیم (Hem)، اسید دلتا آمینولوولینیک است که میزان تشکیل آن به‌وسیله آهن کنترل می‌شود. به کار رفتن آهن و یا منیزیم، به‌عنوان اتم مرکزی در درون تتراپیرول، به ترتیب به تشکیل کوآنزیم‌های هیم و منیزیم پروتوپورفیرین منجر می‌شود. ثابت شده است که وجود آهن برای تشکیل پروتوکلروفیلید از منیزیم پروتوپورفیرین لازم است. همچنین آنزیم کپروپورفیرینوژن اکسیداز که یک پروتئین آهن‌دار است اکسید شدن منیزیم-پروتوپورفیرین را به پروتوکلروفیلید (Protochlorophyllide) کاتالایز می‌کند. در مطالعه کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2012) بر روی سورگوم، محلول‌پاشی آهن محتوی کلروفیل برگ را تحت شرایط تنش کم‌آبی بهبود بخشید.

ارتفاع بوته

در این بررسی با تشدید تنش کم‌آبی ارتفاع بوته کاهش نشان داد، اما محلول‌پاشی منابع مختلف کود آهن تحت شرایط دیم توانست ارتفاع بوته را در مقایسه با تیمار شاهد مربوطه به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. در این مطالعه گیاهان تیمار شده با کلات آهن (Fe-EDTA) تحت شرایط دو و یک‌بار آبیاری به ترتیب با متوسط ۲۵/۰۰ و ۲۱/۸۳ سانتی‌متر بالاترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص دادند، کمترین ارتفاع بوته نیز با متوسط ۱۶/۸۶ سانتی‌متر در تیمار شاهد محلول‌پاشی تحت شرایط دیم ثبت شد (جدول ۶). بالا بودن ارتفاع بوته در تیمار یک‌بار آبیاری در مقایسه با دو بار آبیاری احتمالاً به دلیل رشد بیشتر شاخ و برگ‌های جانبی در این تیمارها بود، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب کاهش پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌گردد که نتیجه آن کاهش ارتفاع بوته را به دنبال دارد، همچنین چنانچه گیاه تحت شرایط تنش کم‌آبی قرار گیرد میزان ترشح هورمون‌های رشد نظیر سیتوکینین از ریشه کاهش‌یافته و ارتفاع بوته به‌واسطه کاهش تقسیم سلولی کاهش نشان خواهد داد (Lalinia et al., 2012). در این تحقیق کاربرد عناصر ریزمغذی (محلول پاشی) موجب افزایش ارتفاع بوته شد که علت آن را می‌توان به وجود عناصر ریزمغذی Fe و کاربرد آن‌ها در رشد گیاه نسبت داد. آهن در سنتز کلروفیل و فتوسنتز و به‌تبع آن کربوهیدارت‌سازی، رشد رویشی ساقه نقش دارد (Erdal et

al., 2004). مزایای استفاده از نانو کود کلات آهن شامل افزایش متابولیسم گیاهان و جذب بیشتر و مؤثرتر عناصر کودهای اصلی و همچنین رساندن هدفمند عناصر ریزمغذی به بافت‌های مشخص گیاهان هست، همچنین آهن نقش مهمی در سنتز کلروفیل دارد و از اجزای اصلی کلروفیل است طرفی در برخی گزارش‌ها ذکر شده است که کمبود آهن، همواره موجب از بین رفتن کلروفیل و تخریب ساختمان کلروپلاست و کاهش فعالیت آنزیم‌های اکسیداز نظیر کاتالاز و پراکسیداز می‌گردد که این امر سبب کاهش شدید نرخ فتوسنتزی گیاه می‌گردد (Ahmadi et al., 2019). گزارش شده است که یک رابطه خطی معنی‌داری بین غلظت آهن و عملکرد گیاه وجود دارد؛ به‌طوری‌که در اثر مصرف آهن، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و رشد رویشی گیاه افزایش‌یافته و این امر باعث افزایش سطح کربن‌گیری و درنتیجه میزان ماده خشک تولیدی ازجمله ارتفاع بوته در گیاه می‌شود (Amaliotis et al., 2000).

عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2013) گزارش کردند تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های ماشک کاست. در تحقیقی مصرف کود نانو آهن رشد طولی گیاه لوبیا را افزایش داد که این خاصیت به دلیل سطوح مخصوص نانو ذرات آهن و قابلیت جذب و تحرک بیشتر در گیاه است (Khalaj et al., 2019). در مطالعه اردشیری و جهانبین (Ardashiri and Jahanbin, 2018) بالاترین ارتفاع بوته در تیمار آبیاری نرمال و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و نانو کلات روی گزارش شد. در مطالعه حسنوندی و همکاران (Hasanvandi et al., 2009) ارتفاع بوته ماشک تحت شرایط آبیاری نرمال بالاتر از شرایط تنش کم‌آبی بود.

عملکرد خشک علوفه

در بین سطوح آبیاری بالاترین عملکرد علوفه خشک به سطح دو بار آبیاری با متوسط ۴/۶۷ تن در هکتار اختصاص داشت، کمترین عملکرد علوفه خشک نیز با متوسط ۳/۱۱ تن در هکتار به تیمار عدم آبیاری (دیم) اختصاص یافت (جدول ۴).

در بین تیمارهای محلول‌پاشی منابع مختلف کود آهن، کاربرد کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن (خضرا) عملکرد خشک علوفه را در مقایسه با تیمار شاهد محلول‌پاشی به ترتیب ۴۴/۵۱ و ۴۱/۲۹ درصد افزایش دادند (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر تیماری آبیاری بر صفات کمی و کیفی موردبررسی در ماشک گل خوشه‌ای

Table 4. Mean Comparison of the effect of irrigation treatment on investigated quantitative and qualitative traits in the hairy vetch

Irrigation	آبیاری	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry fodder yield	درصد پروتئین علوفه Fodder protein percentage	ADF دیواره سلولی ADF	NDF دیواره سلولی NDF
		----------Ton.ha^{-1}----------		----------%----------		
non-irrigation	عدم آبیاری (دیم)	14.96^{c}	3.11^{c}	14.85^{c}	54.26^{a}	43.26^{a}
Once Irrigation	یک‌بار آبیاری	20.28^{b}	3.74^{b}	28.36^{a}	41.84^{b}	25.32^{b}
Twice Irrigation	دو بار آبیاری	25.68^{a}	4.67^{a}	23.55^{b}	28.13^{c}	20.31^{c}

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هست.

Mean with the same letters in each column indicate no significant difference based on Duncan's test at the 1% probability level

کاهش وزن علوفه خشک ناشی از تنش کمبود آب می‌تواند ناشی از کاهش فشار آماس و همچنین کاهش سرعت فتوسنتز به‌واسطه محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کم‌آبی مانند کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل باشد (Miyashita et al., 2005). افزایش عملکرد خشک علوفه در تحقیق حاضر در تیمارهای محلول‌پاشی آهن را می‌توان به افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت فسفو انول پیروات کربوکسیلاز و ریبلوز بی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی، افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور عناصر آهن و روی نسبت داد. باقری ده آبادی و همکاران (Bagheri Dehabadi et al., 2016) نشان دادند محلول‌پاشی هم‌زمان آهن و روی عملکرد خشک علوفه را در مقایسه با تیمار شاهد در سورگوم علوفه‌ای به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. در مطالعه آقازاده خلخالی و همکاران (Aghazadeh-Khalkhali et al., 2015) اثر محلول‌پاشی کود کلات آهن بر روی گیاه اسفرزه موردمطالعه قرار گرفت و

مشاهده کردند دو گرم در لیتر نانو کلات آهن در مقایسه با تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) توانست عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، موسیلاژ و عملکرد موسیلاژ را به‌صورت معنی-داری افزایش دهد.

درصد پروتئین علوفه

در بین تیمارهای آبیاری بالاترین درصد پروتئین با متوسط ۲۸/۳۶ درصد به تیمار یک‌بار آبیاری اختصاص داشت، کمترین مقدار نیز با متوسط ۱۴/۵۸ به تیمار عدم آبیاری اختصاص یافت (جدول ۴). محققین گزارش کرده‌اند که کاهش محتوای پروتئین تحت تیمارهای تنش کم‌آبی با افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد ازجمله پرولین در ارتباط هست گزارش شده است که شرایط تنش خشکی شدید پروتئین‌های استرومای کلروپلاست به‌ویژه آنزیم رابیسکو به‌وسیله رادیکال-های فعال اکسیژن به‌صورت غیر آنزیمی تخریب می‌شوند (Parry et al., 2002). در تحقیقی دیگر علت کاهش درصد پروتئین تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی را به تجزیه برخی از پروتئین‌ها در شرایط تنش خشکی و عدم سنتز مجدد آن‌ها نسبت داده شده است (Levitt, 1980). در تحقیقی کریمیان و همکاران (Karimi et al., 2016) اثر تنش کم‌آبی را بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه کوشیا موردبررسی قرار داده و اظهار داشتند با تشدید تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از درصد پروتئین علوفه گیاه مذکور کاسته شد. همچنین تیمار آبیاری دو بار آبیاری نیز از درصد پروتئین کمتری نسبت به تیمار دو بار آبیاری برخوردار بود، آبیاری تکمیلی موجب افزایش طول دوره رشد گیاه و افزایش نسبت کربوهیدرات به پروتئین و درنتیجه کاهش درصد پروتئین شده است که همسو با نتایج تحقیق جلیلیان و همکاران (Jalilian et al., 2005) است.

در بین تیمارهای محلول‌پاشی منابع مختلف آهن، کاربرد کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن (خضرا) به ترتیب با متوسط ۲۳/۴۳ و ۲۴/۱۵ درصد بالاترین درصد پروتئین علوفه را به خود اختصاص داد. کمترین درصد پروتئین علوفه در این مطالعه به تیمار شاهد با متوسط ۱۹/۶۵ درصد اختصاص یافت (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر تیماری محلول‌پاشی آهن بر صفات کمی و کیفی موردبررسی در ماشک گل خوشه‌ای

Table 5. Mean Comparison of the effect of Fe foliar application treatment on investigated quantitative and qualitative traits in the hairy vetch

محلول‌پاشی آهن application foliar Fe		عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry fodder yield	درصد پروتئین علوفه Fodder protein percentage	ADF دیواره سلولی ADF	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates
		----------Ton.ha^{-1}----------		---------%--------		
Control	شاهد	13.81^{c}	3.11^{b}	19.65^{b}	45.49^{a}	20.52^{c}
Iron chelate (Fe-EDTA)	کلات آهن (Fe-EDTA)	23.53^{a}	4.40^{a}	23.43^{a}	34.18^{c}	30.73^{a}
Iron nano chelate (Khazra)	نانوکلات آهن (خضرا)	25.46^{a}	4.36^{a}	24.15^{a}	40.21^{b}	33.67^{a}
Iron sulfate	سولفات آهن	18.36^{b}	3.45^{b}	21.85^{ab}	45.76^{a}	26.93^{b}

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هست.

Mean with the same letters in each column indicate no significant difference based on LSS test at the 5% probability level

یکی از عناصری که به‌صورت مستقیم در سنتز پروتئین دخالت دارد عنصر آهن است (Cakmak et al., 2010)، این عنصر به‌واسطه افزایش فرودوکسین، باعث افزایش احیای نیترات و تبدیل هیدرات‌های کربن به پروتئین می‌شود همچنین گزارش شده است که عنصر آهن در متابولیسم نیتروژن نقش اساسی دارد (Malakoti and Tehrani, 1999)، بنابراین افزایش محتوی پروتئین در تیمارهای محلول‌پاشی آهن می‌تواند به دلیل مذکور باشد.

در تحقیقی بر روی خصوصیات علوفه ماش سبز تحت شرایط تنش کم‌آبی گزارش شد تنش خشکی محتوی پروتئین در این گیاه را کاهش داد (Aghdasi et al., 2016)، همچنین در مطالعه آن‌ها محلول‌پاشی آهن به‌صورت معنی-داری محتوای پروتئین در این گیاه را در سطوح مختلف

آبیاری افزایش داد. در مطالعه ایوب زاده و همکاران (Ayoubi zadeh et al., 2018) کاربرد نانو کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی توانست درصد و عملکرد پروتئین و همچنین عملکرد روغن را در گیاه کنجد در کلیه تیمارهای آبیاری افزایش دهد. در تحقیقی بر روی سورگوم علوفه‌ای مشاهده شد کاربرد نانو کلات آهن به‌صورت معنی‌داری بر درصد پروتئین علوفه در گیاه سورگوم افزود (Bagheri Dehabadi et al., 2016)

درصد قابلیت هضم علوفه

مقایسه میانگین ترکیبات تیماری آبیاری و محلول‌پاشی منابع مختلف کود آهن ازلحاظ اثر بر قابلیت هضم علوفه نشان داد، محلول‌پاشی کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن (خضرا) و سولفات آهن تحت شرایط دو بار آبیاری به ترتیب با متوسط ۷۲/۴۳، ۷۷/۱۳ و ۷۱/۷۳ درصد بالاترین درصد قابلیت هضم علوفه را به خود اختصاص دادند، این در حالی بود که تیمار شاهد محلول‌پاشی و محلول‌پاشی سولفات آهن تحت شرایط دیم به ترتیب با متوسط ۴۰/۷۱ و ۴۰/۳۱ درصد کمترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

درصد ماده خشک قابل‌هضم مهم‌ترین صفت در تعیین کیفیت علوفه شناخته می‌شود، این صفت نشان‌دهنده نسبتی از علوفه است که از بدن دام دفع نمی‌شود و توسط دام جذب می‌شود. بهبود درصد قابلیت هضم علوفه در تیمارهای محلول‌پاشی آهن می‌تواند به دلیل نقش این عنصر در تولید پروتئین‌ها و دیگر مواد مغذی قابل‌جذب در گیاه باشد. در پژوهشی که بر روی اثر تنش خشکی بر کیفیت علوفه سورگوم علوفه‌ای صورت گرفت، با افزایش شدت تنش خشکی، قابلیت هضم علوفه سورگوم به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (Karimi et al., 2016).

در مطالعه باقری ده‌آبادی و همکاران (Bagheri Dehabadi et al., 2016) تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۶ در هزار روی بیشترین و تیمار عدم محلول‌پاشی کمترین درصد ماده خشک قابل‌هضم را تولید کرد.

ADF دیواره سلولی[1]

نتایج تحقیق حاضر نشان داد شرایط دیم مقدار ADF دیواره سلولی را در مقایسه با تیمار یک و دو بار آبیاری به ترتیب ۲۹/۶۸ و ۹۲/۸۹ درصد افزایش داد (جدول ۴).

در این مطالعه محلول‌پاشی کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن (خضرا) مقدار ADF دیواره سلولی را در مقایسه با تیمار شاهد محلول‌پاشی به ترتیب ۳۳/۰۹ و ۱۳/۱۳ درصد کاهش دادند، اختلاف بین تیمار شاهد با محلول‌پاشی سولفات آهن ازنظر اثر بر ADF دیواره سلولی معنی‌دار نبود (جدول ۴). در مطالعه محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2020) بر روی عملکرد و خصوصیات کیفی علوفه بالاترین درصد NDF و NDF علوفه از تیمار شاهد بدون کود آهن و اوره به دست آمد.

NDF دیواره سلولی[2]

در بررسی حاضر با افزایش تعداد دور آبیاری بر درصد دیواره سلولی NDF افزوده شد، محلول‌پاشی تیمارهای مختلف آهن به‌خصوص کلات آهن (Fe-EDTA) در هر سه شرایط آبیاری این افزایش را تعدیل کرد.

نتایج نشان داد محلول‌پاشی هر سه منبع کلات آهن (Fe-EDTA)، نانو کلات آهن (خضرا) و سولفات آهن به ترتیب با متوسط ۲۱/۷۸، ۲۶/۹۳ و ۳۱/۱۵ درصد تحت تیمار دو بار آبیاری کمترین و تیمار شاهد محلول‌پاشی تحت شرایط دیم با متوسط ۶۳/۰۳ درصد بالاترین محتوی دیواره سلولی را به خود اختصاص داد (جدول ۶).

الیاف نامحلول در شوینده خنثی به‌عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه و نیز عامل مهمی برای تعیین میزان تعلیف دام معرفی شده است (Hail et al., 2009). درواقع NDF بالا سبب کاهش تعلیف علوفه توسط دام به دلیل غیرقابل‌هضم بودن آن می‌شود. یکی از عوامل تأثیرگذار در بهبود کیفیت و کمیت علوفه تغذیه اصولی و صحیح گیاه است، در تغذیه صحیح گیاه، نه‌تنها هر عنصر باید به مقدار کافی برای گیاه تأمین شود بلکه ایجاد توازن بین میزان عناصر مورداستفاده نیز اهمیت ویژه‌ای دارد (Rutkowska et al., 2009). مهرورز و همکاران (Mehrvarz et al., 2013) نشان دادند استفاده از کودهای بیولوژیک و شیمیایی تحت شرایط

[1] Acid Detergent Fiber

[2] Neutral Detergent Fiber

تنش کم‌آبی مقدار NDF دیواره سلولی را در گیاه جو کاهش داد.

کربوهیدرات‌های محلول

در این تحقیق تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری بر محتوی کربوهیدرات‌های محلول افزود، به‌نحوی‌که تیمار دیم مقدار صفت مذکور را در مقایسه با تیماری یک و دو بار آبیاری به ترتیب ۴۱/۴۷ و ۵۳/۰۵ درصد افزایش داد (جدول ۴). میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب یا کربوهیدرات‌های غیرساختمانی در اندام‌های گیاهی یکی از عوامل اصلی و تعیین‌کننده خوش‌خوراکی و کیفیت علوفه است. این مواد در مراحل اولیهٔ رشد گیاه، در کمترین مقدار و در دوران گلدهی به حداکثر میزان خود می‌رسد. می‌توان اظهار داشت که گیاه در محیط با آبیاری مناسب شاخ و برگ بیشتر، عملکرد زیست‌توده و عملکرد پروتئین بالاتری تولید می‌نماید درحالی‌که تحت شرایط کم‌آبی گیاهان شاخ و برگ کمتری تولید کرده و تراکم و حجم ساقه در آن‌ها کمتر خواهد بود، توجه به اینکه محتوی کربوهیدرات‌های موجود در ساقه در گیاهان علوفه‌ای تقریباً دو برابر این نسبت در برگ‌هاست (McGrath, 1988) بالا بودن محتوی کربوهیدرات تحت شرایط کم‌آبی دور از انتظار نبود. سازوکارهای مختلفی در گیاهان در جهت مقابله با تنش کم‌آبی مورداستفاده قرار می‌گیرد، تنظیم اسمزی یکی از این سازوکارها است. با تنظیم اسمزی شرایط لازم در جهت ادامه جذب آب از محیط ریشه و ادامه آماس سلول فراهم می‌شود (Good and Zaplachiniski, 1994) با این هدف گیاهان ترکیبات آلی و معدنی مختلفی را جذب می‌نمایند، افزایش محتوی کربوهیدرات‌ها در تیمار آبیاری دیم در تحقیق حاضر واکنشی برای تحمل به تنش خشکی است. افزایش محتوی کربوهیدرات در گیاه ماشک تحت شرایط تنش کم‌آبی در مطالعه حسنوندی و همکاران (Hasanvandi et al., 2009) نیز گزارش شده است.

در بین تیمارهای محلول‌پاشی منابع مختلف آهن، کاربرد کلات آهن Fe-EDTA))، نانو کلات آهن (خضرا) به ترتیب با متوسط ۳۰/۷۳ و ۳۳/۶۷ درصد بالاترین و تیمار عدم محلول‌پاشی با متوسط ۲۰/۵۲ درصد کمترین محتوی کربوهیدرات‌های محلول را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

در مطالعه باقری ده آبادی و همکاران (Bagheri Dehabadi et al., 2016) محلول‌پاشی آهن به‌صورت قابل‌توجهی بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول در سورگوم علوفه‌ای افزود.

درصد فیبر خام

مقایسه میانگین ترکیبات تیماری آبیاری و محلول‌پاشی آهن ازلحاظ اثر بر فیبر خام علوفه نشان داد که محلول‌پاشی کلات آهن (Fe-EDTA)، نانو کلات آهن (خضرا) و سولفات آهن تحت شرایط دو بار آبیاری به ترتیب با متوسط ۳۲/۷۵، ۳۵/۹۸ و ۳۸/۹۳ درصد بالاترین و تیمار شاهد محلول‌پاشی تحت شرایط دیم با متوسط ۱۲/۹۳ درصد کمترین درصد فیبر خام علوفه را به خود اختصاص داد (جدول ۶). کاهش درصد فیبر خام، تحت شرایط تنش خشکی در ارزن مرواریدی نوتریفید توسط محققین گزارش شده است و علت آن، کاهش ساخته‌شدن اجزای دیواره سلولی تحت خشکی اعلام شد (Paygozar et al., 2009). در مطالعه حسنوندی و همکاران (Hasanvandi et al., 2009) نیز قرار گرفتن ارقام مختلف ماشک تحت شرایط تنش کم‌آبی از محتوی فیبر خام ارقام کاست.

درصد خاکستر

نتایج مطالعه حاضر نشان داد محلول‌پاشی هر سه تیمار کلات آهن (Fe-EDTA)، نانو کلات آهن (خضرا) و سولفات آهن تحت شرایط دو بار آبیاری به ترتیب با متوسط ۱۷/۸۱، ۱۹/۱۳ و ۲۱/۰۰ درصد بالاترین درصد خاکستر علوفه را به خود اختصاص دادند، درحالی‌که تیمار عدم محلول‌پاشی تحت شرایط دیم با متوسط ۷/۲۲ درصد کمترین مقدار صفت مذکور را نشان داد (جدول ۶). با توجه به اینکه درصد خاکستر، بیانگر مقدار مواد معدنی در بافت‌های گیاهی است و جذب این مواد تحت شرایط محلول‌پاشی بهبود می‌یابد، کسب چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نبود. در مطالعه باقری ده‌آبادی و همکاران (Bagheri Dehabadi et al., 2016) بر روی سورگوم درصد خاکستر علوفه به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی کود آهن قرار گرفت و افزایش یافت.

جدول ۶. مقایسه میانگین تیماری برهمکنش آبیاری با محلول‌پاشی آهن ازلحاظ اثر بر خصوصیات کمی و کیفی موردبررسی در ماشک گل خوشه‌ای

Table 6. Mean comparison of investigated quantitative and qualitative traits in interaction effect of Irrigation × Fe foliar application in the hairy vetch

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی آهن application foliar Fe	شاخص کلروفیل Chlorophyl index	ارتفاع بوته plant height	درصد قابلیت هضم Digestibility percentage	NDF دیواره سلولی NDF	درصد فیبر Fiber percentage	درصد خاکستر Ash
		mg.g^{-1} FW	cm	----------%----------			
عدم آبیاری (دیم) non-irrigation	شاهد Control	40.69^{e}	16.87e	40.78^{g}	63.03^{a}	12.93^{f}	7.26^{g}
	کلات آهن (Fe-EDTA) Iron chelate	60.50^{de}	21.8^{bcd}	50.85^{ef}	41.70^{cd}	19.23^{de}	10.6^{ef}
	نانوکلات آهن (خضرا) Iron nano chelate (Khazra)	56.52^{de}	20.87^{d}	45.93^{fg}	58.10^{a}	18.81^{def}	8.97^{fg}
	سولفات آهن Iron sulfate	45.78^{de}	22.0^{bcd}	40.35^{g}	53.42^{ab}	16.28^{ef}	10.3^{efg}
یک‌بار آبیاری Once Irrigation	شاهد Control	66.67^{d}	21.7^{bcd}	57.45^{de}	46.71^{bc}	22.58^{cd}	12.8^{cde}
	کلات آهن (Fe-EDTA) Iron chelate	94.22^{c}	23.8^{ab}	65.71^{bc}	38.45^{cde}	31.15^{b}	15.5^{bc}
	نانوکلات آهن (خضرا) Iron nano chelate (Khazra)	94.78^{c}	23.4^{abc}	58.68^{d}	32.44^{def}	28.14^{bc}	13.2^{cde}
	سولفات آهن Iron sulfate	110.10^{bc}	22.0^{bcd}	60.70^{cd}	39.68^{cde}	26.93^{bc}	10.8^{def}
دو بار آبیاری Twice Irrigation	شاهد Control	90.60^{c}	22.7^{bcd}	60.70^{cd}	31.85^{ef}	20.28^{de}	13.9^{cd}
	کلات آهن (Fe-EDTA) Iron chelate	133.45^{a}	25.00^{a}	72.42^{ab}	21.78^{g}	37.75^{a}	17.8^{ab}
	نانوکلات آهن (خضرا) Iron nano chelate (Khazra)	131.04^{ab}	23^{abcd}	77.10^{a}	26.93^{fg}	40.98^{a}	19.37^{a}
	سولفات آهن Iron sulfate	107.03^{c}	21.3^{cd}	71.71^{ab}	31.15^{efg}	43.93^{a}	21.01^{a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هست.

Mean with the same letters in each column indicate no significant difference based on LSS test at the 5% probability level

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد بالاترین عملکرد علوفه تر و خشک و کمترین محتوی ADF و NDF دیواره سلولی در تیمار دومرتبه آبیاری به دست آمد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت زمانی که هدف از کاشت ماشک، علوفه باشد، دو بار آبیاری تکمیلی قابل توصیه است، همچنین بالاترین وزن تر و خشک علوفه و کمترین محتوی ADF و NDF دیواره سلولی در تیمارهای محلول‌پاشی کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن (خضرا) ثبت شد، بنابراین تیمارهای مذکور در جهت بهبودی عملکرد کمی علوفه قابل توصیه هستند. در تحقیق حاضر بالاترین خصوصیات کیفی علوفه در تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن (خضرا) ثبت شد، بالاترین محتوی کلروفیل ارتفاع بوته، درصد قابلیت هضم علوفه، درصد فیبر و درصد خاکستر علوفه و کمترین NDF دیواره سلولی در تیمار کلات آهن (Fe-EDTA) و نانوکلات آهن و دو بار آبیاری ثبت شد، بنابراین محلول‌پاشی کود آهن از منابع کلات آهن (Fe-EDTA) و نانو کلات آهن (خضرا) و دو بار آبیاری جهت دستیابی به حداکثر خصوصیات کمی و کیفی علوفه ماشک گل خوشه‌ای قابل توصیه است.

منابع

Abbasi, A., Mohammadi Nargesi, B., Keshavarznia, R., Poor Ibrahim, Q., 2013. The study of genetic variation of common vetch (*vicia sativa* .l) based on morphological traits under normal and stress conditions. Iranian Journal of Field Crop Science. 3, 370-359. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2013.36146

Aghazadeh-Khalkhali, D., Mehrafarin, A., Abdossi, V., Naghdi Badi, H., 2015. Mucilage and seed yield of psyllium (*Plantago psyllium* L.) in response to foliar application of nanoiron and potassium chelate fertilizer. Journal of Medicinal Plants. 14, 23-34. http://jmp.ir/article-1-838-en.html

Aghdasi, S., Modares Sanavy, S.A.M., Aghaalikhani, M., Keshavarz, H., 2016. Effect of foliar application of iron and manganese on yield and yield components of mungbean under water deficit stress. Water and Soil Science Journal. 28, 13-25.

Ahmadi, L., Ghobadi, M., Saeidi, M. Ghaderi, J., 2019. The effect of supplemental irrigation, time and methods of Fe fertilizer application on qualitative and quantitative traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Pulses Research. 10, 119- 131. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/IJPR.V10I2.68262

Amaliotis, D., Velemis, D., Bladenopoulou, S., Karapetsas, N., 2002. Leaf nutrient levels of strawberries (cv. Tudla) in relation to crop yield. Acta Horticulture. 567, 447- 450. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.567.93

Amiri Nejad, M., Akbari, Gh. A., BaqiZadeh, A., Alah-dadi, A., Shahbazi, M., Naimi, M., 2015. Effect of drought stress and foliar iron and zinc on some biochemical traits of cumin plant. Agricultural Crop (Journal of Agricultural Sciences). 17, 855-866. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55136

Ardashiri, T., Jahanbin. S., 2018. Effect of foliar application of nano-iron and zinc chelated on yield, yield components and harvest index of canola under drought stress conditions. Crops Improvement. 20, 31-43. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2018.220873.1582

Asghari Meidany, J., Karimi, E., 2013. Sowing depth effects on vetch yield in maragheh dry lands. Iranian Journal of Field Crops Research. 11, 430-436. [In Persian].

Ayoubi zadeh, N., Laei, G., Amini Dehghi, M., Masoud Sinaki, J., Rezvan S., 2018. Effect of foliar application of iron nano-chelate and folic acid on seed yield and some physiological traits of sesame cultivars under drought tension conditions. Crop Physiology Journal. 10, 55-74. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2020.281730.2220

Azad, H., Fakheri, B., Mehdi Nejhad, N., Parmoon, G., 2017. Response of different irrigation on nano iron chelated to chamomile genotypes. Journal of Crop Ecophysiology. 11, 565-584. [In Persian].

Bagheri Dehabadi, M., Moghadam, H., Chaichi, M.R., Zilouie. N., 2016. The mycorrhiza and iron and zinc foliar application on quantitative and qualitative characteristics of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Crops Improvement. 16, 799-815. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.83372008.1396.19.3.17.7

Cakmak, I., Wolfgang, H.P., Bonnie, M.C., 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. Cereal Chemistry. 87, 10-20. https://doi.org/10.1094/CCHEM-87-1-0010

Datirl, R. B., Apparao, B.J., Laware S.L., 2012. Application of amino acid chelated micronutrient for enhancing growth and productivity in chili (*Capsicum annum* L.). Plant Sciences Feed. 2, 100-106.

Dogan, A., 2019. Effect of supplemental irrigation on vetch yield components. Agricultural Water Management. 213, 978-982. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.013

Erdal, I., Kepenek, K., Kizilgoz, I., 2004. Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars, Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 28, 421-427.

Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L.Y., An, X.X., Hu, Q.H., 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56, 2079–2084. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.589835

Godsey, R.J., Johnson, B., 2001. Seed treatment, seeding rate, and cultivar effects on iron deficiency chlorosis of soybean. Journal of

Plant Nutrition. 24, 1255–1268. https://doi.org/10.1081/PLN-100106980

Good, A., Zaplachiniski, S., 1994. The effects of drought on free aminoacid accumulation and protein syntesis in (*Brassica napus*). Physiologia Plantarum. 90, 9–14. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02185.x

Hail, Y., Daci, M., Tan, M. E., 2009. Valuation of annual legumes and barley as sole crops and intercrop in spring frost conditions for animal feeding: Yield and quality. Journal of Animal and Veterinary Advances. 8, 1337-1342.

Hasanvandi, M., Ashraf Jafari, A., Sepahvand, A., Nakhjavan, S., 2010. Study for yield and quality traits in 6 domestic populations of common vetch (*Vicia sativa*) grown under optimum and dry land farming system in Lorestan, Iran. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research. 16, 517-535. [In Persian].

Heidari, M., 2011. Effect of salinity on growth, chlorophyll content and osmotic components of two cultivars of basil (*Basilicum ocimum* L.). Africa Journal of Biotechnology. 11, 379-384.

Irmak, S., Nuran Çıl, A., Yücel, H., Kaya, Z., 2012. The effects of iron application to soil and foliarly on agronomic properties and yield of peanut (*Arachis hypogaea*), Journal of Food, Agriculture and Environment. 10, 417 – 422.

Jalilian, J., Sanawi, A.M., Sabbaghpour, H., 2005. Effect of plant density and supplementary irrigation on yield and yield components of chickpea cultivars. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 12, 1-9. [In Persian].

Jalilian, N., Rahiminejad, M.R., 2012. Determination of vicia species based on seed shape in Iran. Journal of Seed Science and Technology. 2, 71-76.

Karimi, R., Hadi, H., Tajbaksh, M., 2016. Forage yield of sorghum under water deficit and foliar application of zinc sulphate and salicylic acid. Journal of Agricultural Science. 26, 169-187. [In Persian].

Kazemi, E., Baradaran, R., Ghasemi. A., 2012. The effect of iron and zinc foliar application on the quantitative and qualitative characteristics of grain sorghum under drought stress conditions. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi). 102, 190-196 [In Persian].

Khalaj, H., Baradarn Firouzabadi, M., Delfani, M., 2019. Effect of nano iron and magnesium chelate fertilizers on growth and grain yield of *Vigna sinensis* L. Journal of Plant Process and Function. 9, 160-177. [In Persian].

Lalinia, A.A., Marefatzadeh Khamenh, M., Galostian, M., Majnoon Hoseini, N., Esmailzade Bahabadi, S., 2012. Echophysiological impact of water stress ongrowth and development of mungbean. International Journal of Agronomy and Plant Production. 3, 599-607.

Lambers, H., Chapin, F.S., and Pons, T.L., 2008. Plant physiology ecology, 2nd edition Springer, New York.

Levitt, J., 1980. Responses of plant toenviron mental stresses. AcademicPress, New York. 215 Pp.

Mahdinezhad, N., Jamalpour, H., Fakheri B., Azad, H., 2019. The study of the response of some physiological characteristics and grain yield of Purslane cultivars to drought stress and foliar application of chelated nano iron. Journal of Plant Environment Physiology. 14, 74-89. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1398.14.54.7.7

Malakoti, M.J., Tehrani, M.M., 1999. Effects of micronutriens on the Yield and Quality of Agricultural Products. Tarbiat Modarres University Publications. 22, 292-294.

Marschener, P., 2012. Marschener's mineral nutrition of higher of plants. Academic London, London.

McGrath, D., 1988. Seasonal variation in the watersoluble carbohydrates of perennial and Italian ryegrass under cutting conditions. Irish Journal of Agricultural and food Research. 27, 131-139.

Mehrvarz, S., Chaichi, M.R., Hashemi, M., Parsinejad, M., 2013. Yield and growth response of Maize (*Zea Mays* L. S. C.704) to surfactant under limited irrigation. International Journal of Plant and Animal Sciences. 1, 41-51.

Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T., Kimura, K., 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. Environmental and experimental botany. 53, 205-14. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.03.015

Mohammadi, H., Heidari, G. R., Sohrabi, Y., 2020. The effects of biological and chemical nitrogen fertilizers and Iron micronutrient on forge quality and yield of maize *(Zea may*s L.) Plant Productions. 43, 187-205. [In Persian]. https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27736.1678

Parry, M.A.J., Andralojc, P.J., Khan, S., Lea, P.J., Keys, A.J., 2002. Rubisco activity: effects of drought stress. Annals of Botany. 89, 833-839.

Paygozar, Y., Ghanbari, A., Heydari, M., Tavassoli, A., 2009. Effect of foliar application of certain micronutrients on qualitative and quantitative characteristics of pearl millet (*Pennisetum glacum*) under drought stress. Journal of Agriculture Science. 3, 67-79. [In Persian].

Peyvandi, M., Parandeh, H., Mirza, M., 2015. Comparison of nano Fe and Fe chelate fertilizers on the quality and the quantity of Ocimum basilicum L. essential oil. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 31, 185-193. [In Persian].

Pirzad, A., Shokrani, F., 2012, Effects of iron application on growth characters and flower yield of Calendula officinalis L. under water stress, World Applied Sciences Journal. 18, 1203-1208. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.18.09.538

Pourgholam, M., Nemati, N., Oveysi, M., 2013, Effect of zinc and iron under the influence of drought on prolin, protein and nitrogen leaf of rapeseed (*Brassica napus*), Annals of Biological Research. 4, 200-203.

Rezaeei, M., Daneshvar M., Shirani A.H., 2014. Effect of iron nano chelated fertilizers foliar application on three wheat cultivars in Khorramabad climatic conditions. Scientific Journal of Crop Science. 3, 9-16. https://doi.org/10.14196/sjcs.v3i1.1178

Rutkowska, B., Szulc, W., Labetowicz, J., 2009. Influence of soil fertilization on microelements in soil solution of sandy soil. Journal of Elementology. 14, 353-354. https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.2.15

Sanches-Rodrigues, E., Rubio-Welhelmi, M.D., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Leyva, R., Romero, L., and Ruiz, J.M., 2010. Study of the ionome and uptake fluxes in cherry tomato plants under moderate water stress conditions. Plant and Soil. 335, 339-347.

Turhan, H., Baser, I., 2014. In vitro and in vivo water stress in sunflower (*Helianthus annus* L.). Helia, 27, 227-23. https://doi.org/10.2298/HEL0440227T