

Utilization Effect of Superabsorbent Nano-Polymer, Grow-More, Iron and Zinc Fertilizers on the Functional Quality and Quantity of Agave (*Agave americana* cv. Marginata) under Drought Stress

M. Yadegari^{ID*}

1- Research Center of Nutrition and Organic Products, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
(* - Corresponding author's Email: kazemkazem1357@iau.ac.ir)

Received: 20 October 2024

Revised: 01 December 2024

Accepted: 23 December 2024

Available Online: 23 December 2024

How to cite this article:

Yadegari, M. (2026). Utilization effect of superabsorbent nano-polymer, grow-more, iron and zinc fertilizers on the functional quality and quantity of Agave (*Agave americana* cv. Marginata) under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 183-201. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90365.1384>

Introduction

Agave americana cv. Marginata from the Agavaceae family is an important plant with many uses in various medicinal and food industries. Among environmental stresses, water deficit stress plays an important role in the biosynthesis of secondary metabolites in medicinal plants in arid and semi-arid regions like Iran. Drought stress has detrimental effects on growth and yield and can disrupt the balance between the antioxidant defense system and free radicals by triggering a cascade of biochemical reactions in which free radicals cause cell damage. In sustainable production systems of medicinal and aromatic plants, stable quantitative and qualitative functions can be achieved under conditions of environmental stress and it is possible to improve the production of secondary metabolites in these plants under adverse environmental conditions. Therefore, this study was done to evaluate some of the important macro-micro nutrients on the morpho-physiological and phytochemical properties of *Agave americana* cv. Marginata to determine and introduce the best combinations of fertilizers with use of superabsorbent nano-polymer under water stress conditions.

Materials and Methods

This research used a randomized complete block design (RCBD) in a split-split plot layout with three replications. Irrigation regimes (D1-D3: Field Capacity, 50% and 75% evaporation from basin class A) in main plots, superabsorbent nano-polymer application (S1-S2: use and not use) in sub plots and treatments of fertilizers [F1-F15: grow-more 1 (F1), grow-more 2 (F2), grow-more 3 (F3), iron chelate (F4), zinc chelate (F5), grow-more 1 + iron chelate (F6), grow-more 1 + zinc chelate (F7), grow-more 2 + iron chelate (F8), grow-more 2 + zinc chelate (F9), grow-more 3 + iron chelate (F10), grow-more 3 + zinc chelate (F11), grow-more 1 + iron chelate + zinc chelate (F12), grow-more 2 + iron chelate + zinc chelate (F13), grow-more 3 + iron chelate + zinc chelate (F14) and control (F15)] in sub-sub plots were done. This research was performed in greenhouse conditions of Islamic Azad University Branch of Shahrekord (latitude: 32°20' N, longitude: 50°51' E, altitude: 2061 m) in 2023-2024. In each year, fertilizer treatments were applied in foliar application after stage of V8 (plants had 8 leaves) in 6 stage by 14 days interval and harvesting was done one month after the final application of fertilizers. The fertilizers Grow-More (NPK), iron and zinc in 4 gr.l⁻¹ concentration by the production company certification were used in V8 stage in plants and the effects were compared with control plants. Weed control was done manually during the entire experiment. During the experiment, no systemic pesticide or herbicide was used. The harvested shoots were transferred to the laboratory for measurement of various characteristics. Morphological characters such as leaf length, leaf diameter and dry/fresh root/leaf weight; physiological characters such as total chlorophyll and zinc, iron and nitrogen content in root/leaf and



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90365.1384>

phytochemical characters such as contents of hecogenin, saponin, and protein in leaf and root were measured. For assessment of the total chlorophyll content of *A. americana*, the leaves were extracted with 80% acetone. The absorbance of the extraction was read at 470, 648, and 664 nm, and the content of total chlorophyll was calculated as mg per g leaf fresh weight. For the measurement of hecogenin, saponin, total protein in the leaf and root and the nitrogen content in leaf and root use the protocols of [Hackman et al., 2006](#), [Sidana et al., 2016](#), [Bradford, 1976](#); [Álvarez-Chávez et al., 2021](#); were followed respectively.

Results and Discussion

Over two consecutive years, the obtained results showed that the use of treatments increased the characters and showed significant effectiveness. The highest mean values for leaf dry weight ($30.11 \text{ g.plant}^{-1}$), leaf fresh weight ($207.33 \text{ g.plant}^{-1}$), root dry weight ($3.82 \text{ g.plant}^{-1}$), root fresh weight ($18.79 \text{ g.plant}^{-1}$), length of leaf (64.55 cm), leaf diameter (0.41 Cm), total chlorophyll (2.82 mg.g^{-1} fresh weight), hecogenin (35.48 mg.kg^{-1} fresh weight), saponin ($66164.8 \text{ mg.kg}^{-1}$ fresh weight), nitrogen of leaf (1.39 mg.g^{-1} dry weight), nitrogen of root (1.23 mg.g^{-1} dry weight), protein of leaf (25.34 mg.g^{-1} dry weight), protein of root (16.99 mg.g^{-1} dry weight), zinc of leaf (68.99 µg.g^{-1} dry weight), zinc of root (44.84 µg.g^{-1} dry weight), iron of leaf (81.01 µg.g^{-1} dry weight) and iron of root (49.84 µg.g^{-1} dry weight) made in grow-more fertilizers specially grow-more 1 (20-20-20) in combination with Fe/Zn Libfer. However the superabsorbent nano-polymer application had an aggressive effect on the amounts of characters especially in hardness of water stress. The lowest values for morpho-physiological and phytochemical characters such as leaf dry weight ($12.81 \text{ g.plant}^{-1}$), leaf fresh weight ($89.54 \text{ g.plant}^{-1}$), root dry weight ($1.62 \text{ g.plant}^{-1}$), root fresh weight ($8.18 \text{ g.plant}^{-1}$), length of leaf (41.12 cm), leaf diameter (0.24 cm), total chlorophyll (1.95 mg.g^{-1} fresh weight), hecogenin (21.88 mg.kg^{-1} fresh weight), saponin ($22134.3 \text{ mg.kg}^{-1}$ fresh weight), nitrogen of leaf (0.29 mg.g^{-1} dry weight), nitrogen of root (0.77 mg.g^{-1} dry weight), protein of leaf (10.11 mg.g^{-1} dry weight), protein of root (6.47 mg.g^{-1} dry weight), zinc of leaf (34.34 µg.g^{-1} dry weight), zinc of root (20.36 µg.g^{-1} dry weight), iron of leaf (43.77 µg.g^{-1} dry weight) and iron of root (27.73 µg.g^{-1} dry weight) made in control plants. In most of the measured characters the treatments of D1S1F12, D3S1F14 and D2S1F14 were the best and control plants had the least of the characters.

Conclusion

Generally the application of Grow-More fertilizer 1 (20-20-20) with the consumption of zinc and iron fertilizers can be a good strategy to improve the morpho-physiological and phytochemical characters of *Agave americana* cv. *Marginata* especially the hecogenin and saponin amounts in water stress conditions. However the use of superabsorbent nano-polymer in strenuous drought stress (75%) is more effective than other water stress levels.

Keywords: Grow-more fertilizer, Hecogenin, Medicinal plant, Saponin

تأثیر کاربرد نانو پلیمر سوپر جاذب، کودهای کامل گرومور، آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه آگاو (*Agave americana* cv. *Marginata*) تحت تنش خشکی

مهراب یادگاری *

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

چکیده

با توجه به ارزشمندی گیاه آگاو آمریکانا رقم 'مارجیناتا' (*Agave americana* cv. *Marginata*) از خانواده آگاواسه در صنایع مختلف غذایی و دارویی، پژوهش حاضر به صورت طرح کرت‌های دوبار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی شهرکرد در سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. در این تحقیق، سطوح تنش خشکی (میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A در سه سطح ظرفیت مزرعه (D1)، ۵۰ درصد (D2) و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی (D3)) به عنوان کرت‌های اصلی، سطوح پلیمر سوپر جاذب (استفاده (S1) و عدم استفاده (S2)) در کرت‌های فرعی و ۱۵ ترکیب محلول‌پاشی (کودهای گرومور ۱ (F1)، گرومور ۲ (F2)، گرومور ۳ (F3)، لیبر آهن (F4)، لیبر روی (F5)، گرومور ۱ + لیبر آهن (F6)، گرومور ۱ + لیبر روی (F7)، گرومور ۲ + لیبر آهن (F8)، گرومور ۲ + لیبر روی (F9)، گرومور ۳ + لیبر آهن (F10)، گرومور ۳ + لیبر روی (F11)، گرومور ۱ + لیبر آهن + لیبر روی (F12)، گرومور ۲ + لیبر آهن + لیبر روی (F13)، گرومور ۳ + لیبر آهن + لیبر روی (F14)، شاهد (عدم استفاده از تیمارهای مغذی -F15)) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پس از رسیدن گیاهان به مرحله شش الی هشت برگ، در شش مرحله با فواصل ۱۴ روزه، تیمارهای مغذی به صورت محلول‌پاشی برگی اضافه گردید. صفات ریخت‌شناختی (وزن تر و خشک ریشه و برگ، ضخامت و طول برگ)، صفات فیزیولوژیکی (کلروفیل کل و مقادیر عناصر روی، آهن و نیتروژن ساختارهای برگ و ریشه) و صفات فیتوشیمیایی (هکوزئین، ساپونین، پروتئین برگ و ریشه) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده اثرگذاری معنی‌دار تیمارهای مورد استفاده بر صفات مورد ارزیابی بود. افزودن کودها به ویژه کود گرومور ۱ (۲۰-۲۰-۲۰) به همراه محلول‌پاشی ریزمغذی آهن و روی منجر به افزایش بیشترین مقادیر در اکثر صفات مورد بررسی شد. بیشترین مقادیر وزن خشک برگ (۳۰/۱۱ گرم در گیاه)، وزن خشک ریشه (۳/۸۲ گرم در گیاه)، کلروفیل کل (۲/۸۲ میلی گرم در گرم وزن تر)، هکوزئین (۳۵/۴۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر) و ساپونین (۶۶۱۶۴/۸۶ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر) اغلب در تیمار D1S1F12 به دست آمد، هرچند که در برخی موارد با تیمارهای D1S1F14 و D2S1F14 تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی در گیاهان تحت تیمار تنش خشکی شدید-عدم کاربرد پلیمر سوپر جاذب و عدم تیمار مغذی (D3S2F15) تولید شدند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان کود کامل گرومور (NPK) با ترکیب ۲۰-۲۰-۲۰ را به عنوان مؤثرترین تیمار برای افزایش صفات مورد ارزیابی گیاه آگاو، از جمله مقادیر هکوزئین و ساپونین تحت شرایط گلخانه‌ای برای تحقیقات آینده پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: ساپونین، کود گرومور، گیاه دارویی، هکوزئین

مقدمه

آگاو آمریکایی (*Agave americana* cv. *Marginata* L.) متعلق به خانواده Agavaceae است. این گیاه برگ‌های سبز ضخیم با حاشیه زرد رنگ دارد و اگر در محیط مناسب قرار بگیرد رشدونمو

کرده و به ارتفاع بیش از یک متر می‌رسد. این گیاه نیاز به نور زیاد دارد و در شرایط سایه یا کم‌نور رشد مناسبی نخواهد داشت. به خاک مرطوب نیاز دارد و مقاوم به خشکی است. گیاه دائمی همیشه‌سبز دارای سیستم فتوسنتزی CAM بوده و تا ۷/۵ متر رشد می‌کند. گل‌ها دوجنسی و گرده‌افشانی به وسیله حشرات و پروانه‌ها صورت می‌گیرد. تکثیر این گیاه هم از طریق بذر و هم از طریق کاشت پاجوش‌های نزدیک به ریشه صورت می‌گیرد (Trejo et al., 2023; Bharathi et al., 2024). این جنس شامل حدود ۳۰۰ گونه چندساله است. این

۱- مرکز تحقیقات تغذیه و محصولات ارگانیک، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: kazemkazem1357@iau.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.90365.1384>

گیاه به طور معمول رشد کندی دارد و معمولاً پس از گل دهی می میرد (Hackman et al., 2006). از مواد استخراج شده از بخش های مختلف این گیاه از جمله ساپونین و هکوتنین، در صنایع مختلف غذایی و دارویی استفاده می شود (Sidana et al., 2016; García-Villalba et al., 2023).

با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک، تنش آب یکی از مسائل محدودکننده رشد و نمو گیاهان است. تنش خشکی منجر به افزایش مقادیر اسانس گیاهان دارویی آویشن دناهی (*Thymus daenensis*) و باغی (*Thymus vulgaris*) (Askary et al., 2018)، ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) (Mumivand et al., 2021)، استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) (Khorasani et al., 2023) و همیشه بهار مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) (Babaei et al., 2021)؛ افزایش راندمان مصرف آب و مقادیر کربوهیدرات های محلول در آب در لولیم (*Lolium multiflorum*) و فستوکا (*Festuca arundinacea*) (Fariaszewska et al., 2020)؛ افزایش مقادیر آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز دیسموتاز در گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) (Hayati et al., 2021) و کاهش پتانسیل آب برگ و فتوسنتز خالص در مریم گلی (*Salvia dolomitica* Codd.) (Caser et al., 2019) شده است. گیاهان تحت تنش خشکی متابولیت هایی تولید می کنند که از آن ها در مقابل رادیکال های آزاد از جمله رادیکال های اکسیژن محافظت نموده و از کاهش فتوسنتز جلوگیری می نمایند. سلول های گیاهی برای کاهش تأثیر تخریبی این مولکول ها، فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی خود از جمله ۲ و ۳-دی فنیل، ۱-پیکریل هیدرازیل^۱ را افزایش می دهند. در شرایط تنش خشکی، متابولیسم اسیدهای آمینه، قندها و سایر مولکول های زیستی تحت تأثیر قرار می گیرند. از آنجاکه تولید متابولیت های ثانویه در گیاهان به وسیله عوامل محیطی تغییر می یابد، در این بین تنش رطوبتی عامل مؤثری در کاهش رشد و همچنین ساخت ترکیبات طبیعی گیاهان دارویی است (Khorasani et al., 2023)، لذا ارائه روش هایی که گیاه بتواند ماده مؤثره بیشتر تولید نماید، ضروری به نظر می رسد. در این میان، نقش عناصر مغذی و نیز استفاده از پلیمر سوپر جاذب بسیار حائز اهمیت است. نیتروژن از عناصر اصلی تشکیل دهنده پروتئین بوده و برای رشد بخش های هوایی گیاه ضروری است. فسفر نیز عنصری است که به ویژه در بخش های زایشی گیاه بسیار اهمیت دارد و یکی از عناصر مهم در گیاهان دارویی است و باید کمبود آن در خاک برطرف شود تا گیاه بتواند میزان جوانه زنی و رشد بیشتری داشته

باشد. پتاسیم نیز از دیگر عناصر پرمصرف در گیاهان است. این عنصر در بسیاری از فعالیت های گیاه مانند فتوسنتز، جذب آب و حفظ پتانسیل اسمزی در گیاهان دارویی نقش مهمی ایفا می کند (Gustafson, 2010; Marschner, 1995). عنصر نیتروژن موجب کاهش فعالیت نیترات ردوکنازی برگ های آگاو می شود و محتوای کلی نیتروژن ریشه را به نفع افزایش آن در برگ ها تغییر می دهد (Jokar et al., 2021).

استفاده از ریزمغذی ها در تغذیه گیاهان از روش هایی است که در کشورهای پیشرفته و توسعه یافته جهت دستیابی توسعه پایدار و امنیت غذایی به کار برده می شود (Marschner, 1995; Malakoti & Davodi, 2002). در رابطه با اهمیت عناصر به کار گرفته شده در تغذیه گیاهی در این تحقیق، لازم به توضیح است که بیشتر خاک های کشاورزی ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن، اسیدیته بالا، حضور سدیم بی کربنات در آب های آبیاری دچار کمبود عناصر ریزمغذی به ویژه آهن و روی هستند. روی در ساختمان تعداد زیادی از آنزیم ها شرکت داشته و در نقل و انتقالات زیست شیمیایی سلول نقش مهمی را ایفا می کند (Nasiri et al., 2020). آهن از دیگر عناصر ریزمغذی، جزء مهمی از آنزیم های گیاه از قبیل آنزیم های گیرنده الکترون و ساخت کلروفیل گیاه است. امروزه جهت بالابردن راندمان کاربرد کود از اشکال قابل حل آهن و روی، به صورت محلول پاشی استفاده می شود (Marschner, 1995).

سوپرجاذب ها مواد پلیمری و به شدت آب دوستند که به اندازه ده ها تا صدها برابر وزن خود، آب یا محلول های آبی را جذب می کنند و در خود نگه می دارند (Mashahiri et al., 2023). این پلیمرها تنش های رطوبتی را از بین برده و به سازگاری گیاهان کشت شده در محیط های خشک کمک می نمایند. نقش مفید سوپرجاذب ها با توجه به pH خنثی این مواد در تحقیقات متعدد به اثبات رسیده است (Bagherifard et al., 2020; Hoseini et al., 2020).

با توجه به بررسی منابع، تاکنون تحقیق جامعی راجع به اثرگذاری استفاده از مواد مغذی پرمصرف و کم مصرف و نیز نانو پلیمر سوپر جاذب بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی آگاو در جهت تحمل به تنش خشکی انجام نشده است. این پژوهش در جهت یافتن بهترین نوع ترکیب مواد مغذی (پرمصرف و کم مصرف) تحت کاربرد پلیمر سوپر جاذب برای به دست آوردن بالاترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی در این گیاه مهم دارویی تحت سطوح مختلف تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح تحقیق و مشخصات تیمارها: این پژوهش به صورت

کرت‌های دوبار خردشده با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح تنش خشکی (میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به ترتیب در سه سطح ظرفیت مزرعه (D1)، ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی (D2) و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی (D3)) به عنوان کرت‌های اصلی، دو سطح از پلیمر سوپر جاذب ([استفاده (S1) و عدم استفاده (S2)) در کرت‌های فرعی و ۱۵ ترکیب محلول‌پاشی (کودهای گرومور ۱ (F1)، گرومور ۲ (F2)، گرومور ۳ (F3)، لیبر آهن (F4)، لیبر روی (F5)، گرومور ۱ + لیبر آهن (F6)، گرومور ۱ + لیبر روی (F7)، گرومور ۲ + لیبر آهن (F8)، گرومور ۲ + لیبر روی (F9)، گرومور ۳ + لیبر آهن (F10)، گرومور ۳ + لیبر روی (F11)، گرومور ۲ + لیبر روی (F12)، گرومور ۲ + لیبر آهن + لیبر روی (F13)، گرومور ۳ + لیبر آهن + لیبر روی (F14)، شاهد (عدم استفاده از تیمارهای مغذی-F15) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پس از انتقال پاجوش‌ها شش ماه آبیاری گردید تا گیاهان به مرحله شش برگی برسند، سپس تیمار اعمال گردید. پس از رسیدن گیاهان به مرحله شش الی هشت برگی، در شش مرحله با فواصل ۱۴ روزه، تیمارهای مغذی به سطوح گیاهان محلول‌پاشی شدند. تیمار پلیمر سوپر جاذب طبق توصیه شرکت سازنده به میزان ۳۰ گرم در مترمربع (چهار گرم در هر گلدان با قطر ۴۰ سانتی‌متر) اعمال گردید.

مشخصات خاک، آب و تیمارهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در جداول ۱ تا ۳ آمده است. کل طرح در هر سال پژوهش شامل ۲۷۰ گلدان بود. پاجوش‌های دو تا سه برگی آگاو آمریکایی رقم 'مارجیناتا' از بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (باجگاه- شهرک نیایش)، تهیه شد و به گلدان‌های حاوی خاک سبک (پرلیت، کوکوپیت و پیت‌ماس) به نسبت ۱-۱-۱ انتقال داده شد. در این تحقیق از تیمارهای زیر استفاده شد:

کود آهن: کود لیبر شش درصد آهن. [تولید کارخانجات Jaer-اسپانیا].

کود روی: کود لیبر ۱۵ درصد روی. [تولید کارخانجات Jaer-اسپانیا].

(گرومور ۱): کود گرومور ۲۰-۲۰-۲۰ (N.P.K). [تولید کارخانجات Master-ایتالیا].

(گرومور ۲): کود گرومور ۱۵-۵-۳۰ (N.P.K). [تولید کارخانجات Master-ایتالیا].

(گرومور ۳): کود گرومور ۱۲-۱۲-۳۶ (N.P.K). [تولید کارخانجات Master-ایتالیا].

نانو پلیمر سوپر جاذب. [رهاب رزین-تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران].

جدول ۱- مشخصات کودهای گرومور

Table 1- Grow-more fertilizers properties

نام کود Name of fertilizer	کد Code	کل نیتروژن Total nitrogen	نیترات Nitrogen (NO ₃)	آمونیاک Nitrogen (NH ₃)	اوره Nitrogen (urea)	فسفر قابل استفاده Available phosphorous (%)	پتاسیم Potass ium	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	مولیبدن Mo
20-20-20	1	20	5.9	3.9	10.2	20	20	0.1	0.1	0.05	0.05	0.0005
30-5-15	2	15	9.1	2	3.9	5	30	0.2	0.05	0.05	0.05	0.0005
36-12-12	3	12	3.8	4	4.2	12	36	0.2	0.1	0.05	0.05	0.0005

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 2- Physicochemical properties of the studied soil

سال Year	کربن آلی Organic carbon	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	pH	نیتروژن N	پتاسیم K	منگنز Mn	مس Cu	روی Zn	آهن Fe	فسفر P	مواد محلول کل TDS	الکتریکی EC
		(%)											(ppm)	(dS.m ⁻¹)
۱۴۰۲ 2023	1.46	29.2	25.2	45.6	7.66	0.14	134	0.11	0.17	0.09	0.03	16	47	2.2
۱۴۰۳ 2024	1.55	30.9	24.8	44.3	7.11	0.155	187	0.16	0.11	0.101	0.02	14	45.4	2.8

TDS: مواد محلول کل

TDS: Total Dissolved Solids

جدول ۳- مشخصات آب مورد استفاده برای آبیاری
Table 3- Characteristics of water used for irrigation

سال Year	کلسیم کربنات HCO_3^- (meq.lit ⁻¹)	کلر Cl^- (meq.lit ⁻¹)	منیزیم Mg^{2+} (meq.lit ⁻¹)	کلسیم Ca^{2+} (meq.lit ⁻¹)	پتاسیم K^+ (meq.lit ⁻¹)	سدیم Na^+ (meq.lit ⁻¹)	مواد محلول کل TDS (mg.lit ⁻¹)	هدایت الکتریکی E.C ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	اسیدیته pH
۱۴۰۲ 2023	3.42	0.91	1.43	2.28	0.16	0.763	247.93	387	8.11
۱۴۰۳ 2024	3.55	0.88	1.41	2.14	0.17	0.788	255.1	399	8.09

TDS: مواد محلول کل
TDS: Total Dissolved Solidsادامه جدول ۳- مشخصات آب مورد استفاده برای آبیاری
Continued table 3- Characteristics of water used for irrigation

سال Year	نیترات NO_3^- (meq.lit ⁻¹)	روی Zn (meq.lit ⁻¹)	منگنز Mn (meq.lit ⁻¹)	مس Cu (meq.lit ⁻¹)	آهن Fe (meq.lit ⁻¹)	کادمیم Cd (meq.lit ⁻¹)	سولفات SO_4^{2-} (meq.lit ⁻¹)	کربنات CO_3^{2-} (meq.lit ⁻¹)
۱۴۰۲ 2023	23.67	0.001	0.001	0.001	0.009	0	0.001	0.21
۱۴۰۳ 2024	24.01	0	0	0.001	0.002	0	0.002	0.24

کلروفیل (a) و ۶۴۵ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل b) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) و با استفاده از استون ۸۰ درصد به عنوان محلول شاهد قرائت گردید (Dere et al., 1998).

(۱)

$$\text{Chl total (mg.kg Fw}^{-1}\text{)} = (20.21 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})$$

برای اندازه گیری آهن و روی ساختار هوایی گیاه از روش جذب اتمی شعله ای استفاده شد. هشت میلی لیتر از محلول سه به یک اسید کلریدریک به اسید نیتریک غلیظ، به نمونه های برگ اضافه و در دمای اتاق قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، به منظور خارج شدن بخارات اسیدی از محلول، عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد و با استفاده از دستگاه جذب اتمی میزان آهن و روی نمونه ها اندازه گیری گردید (Ryan et al., 2001).

به منظور اندازه گیری هکوزن، مقدار یک گرم از پودر داخل برگ آگاو (خشک شده با آون تحت خلاء در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد) با سه میلی لیتر متانول (مرک آلمان) کاملاً مخلوط شده و به مدت سه دقیقه هموزن شد. اندازه گیری میزان هکوزن به کمک دستگاه پلیت ریدر (Citation5, USA) و در طول موج ۲۵۵ نانومتر انجام گردید (Hackman et al., 2006).

از گلدان با گیاه و خاک سبک (بدون اعمال تیمار) به عنوان شاهد استفاده گردید. یک ماه پس از آخرین تیمار، سنجش ها انجام شد.

شرایط گلخانه: طول گلخانه ۵۰ متر، عرض گلخانه ۲۸ متر، ارتفاع دیواره جانبی سه متر، ارتفاع کمان دو متر، پهنای هر کمان نه متر، نوع پوشش پلی اتیلن دولایه، میانگین دما 28 ± 2 درجه سانتی گراد در طول روز و 18 ± 2 درجه سانتی گراد در شب و متوسط رطوبت نسبی در طول دوره رشد 60 ± 10 درصد بود. ۶۰۰۰ لوکس روشنائی با لامپ به صورت ۱۴ ساعت روشنائی و ۱۰ ساعت خاموشی اجرا گردید.

صفات مورد بررسی در پژوهش شامل ویژگی های ریخت شناختی (وزن تر ریشه و برگ، وزن خشک ریشه و برگ، ضخامت برگ و طول برگ)، صفات فیزیولوژیکی (کلروفیل کل، مقادیر عناصر نیتروژن، روی و آهن برگ و ریشه) و صفات فیتوشیمیایی (مقادیر هکوزن، ساپونین، کل پروتئین برگ و ریشه) بودند.

آزمایش ها: جهت اندازه گیری غلظت کلروفیل کل، $0.1/25$ گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد و 0.1 گرم کلسیم کربنات (برای خنثی نمودن حالت اسیدی مایع درون سلولی و ممانعت از تخریب کلروفیل) در یک هاون چینی ساییده شد تا به صورت توده یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد. پس از سانتریفیوژ کردن عصاره حاصل، محلول رویی برداشته شد و جذب نور توسط آن در طول موج های ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب نور

به ترتیب در گیاهان تحت تیمارهای D1S1F12 و D3S2F15 حاصل شد. در مورد صفات وزن تر و خشک بیشترین (۱۸/۷۹-۳/۸۲ گرم در گیاه) و کمترین مقادیر (۸/۱۸-۱/۶۲ گرم در گیاه) به ترتیب در تیمارهای D1S1F12 و D3S2F15 به دست آمد. برآورد صفات دیگر مورفوفیزیولوژیکی نشان داد که بالاترین مقادیر مربوط به صفات ضخامت برگ (۰/۴۱ سانتی متر)، طول برگ (۶۴/۵۵ سانتی متر) و کلروفیل کل (۲/۸۲ میلی گرم در گرم وزن تر) در تیمارهای D1S1F12T و D2S1F14 مشاهده شد. کمترین مقادیر ضخامت برگ (۰/۲۴ سانتی متر)، طول برگ (۴۱/۱۲ سانتی متر) و کلروفیل کل (۱/۹۵ میلی گرم در گرم وزن تر) در تیمار D3S2F15 (تخلیه رطوبتی ۷۵ درصد- عدم کاربرد پلیمر سوپر جاذب- عدم استفاده از مواد مغذی پرمصرف و کم مصرف) به دست آمد (جدول ۵). بالاترین مقادیر نیتروژن برگ (۱/۳۹ میلی گرم در گرم وزن خشک)، نیتروژن ریشه (۱/۲۳ میلی گرم در گرم وزن خشک)، عنصر روی برگ و ریشه (۴۴/۶۸-۸۴/۹۹ میکروگرم در گرم وزن خشک) در تیمارهای D1S1F12، D1S1F14 و D1S1F5 و در مورد عنصر آهن در برگ و ریشه پس از برداشت، بیشترین میزان (۴۹/۸۴-۸۱/۰۱ میکروگرم در گرم وزن خشک) در تیمارهای D1S1F12 و D1S1F4 به دست آمد (جدول ۷). از سویی، کمترین مقادیر نیتروژن برگ (۰/۲۹ میلی گرم در گرم وزن خشک)، نیتروژن ریشه (۰/۷۷ میلی گرم در گرم وزن خشک)، مقادیر عنصر روی برگ و ریشه (۳۴/۳۴-۲۰/۳۶ میکروگرم در گرم وزن خشک) در تیمارهای D3S2F15 و D2S2F15، و کمترین مقدار آهن برگ و ریشه (۴۳/۷۷-۲۷/۷۳ میکروگرم در گرم وزن خشک) در گیاهان تحت تیمارهای D3S2F15 و D2S2F15 (تخلیه رطوبتی ۷۵ درصد- عدم کاربرد پلیمر سوپر جاذب- عدم استفاده از کودهای مغذی) ایجاد شد.

تأثیر مثبت اعمال کودهای نیتروژنه در بهبود رشدنمو و محصول دهی در گزارش های متعددی اشاره شده است (Almrani, 2019; Amissah et al., 2022; Yadegari, 2022a). در تحقیق حاضر در تمامی صفات ریخت شناختی مورد ارزیابی مشاهده گردید که تیمارهای مورد استفاده اثر افزایش در صفات نسبت به گیاهان شاهد داشتند. در تحقیقات قبلی بیان شده است که با افزایش صفات ریخت شناختی و در نهایت وزن خشک، میزان مواد مؤثره افزایش یافته است. این تحقیق نشان داد که وجود همزمان آهن و روی اثر تقویتی داشت و باعث افزایش صفات ریخت شناختی و فیزیولوژیکی شد. افزایش صفات ریخت شناختی از جمله طول برگ، وزن تر و خشک اندام های گیاهی، در اثر کاربرد کودهای کامل و ریزمغذی ها را می توان به افزایش تولید فیتوهورمون ها به خصوص ایندول استیک اسید نسبت داد (Hamedi et al., 2022; Wibowo, 2007). عناصر

اندازه گیری ساپونین کل براساس روش پنافیل انجام شد. ابتدا ۰/۲ گرم از نمونه با ۳/۲ میلی لیتر از محلول گلسیال اسید استیک / اسید سولفوریک (۱:۱) مخلوط شد. سپس یک دقیقه هموژن شد و در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. اندازه گیری میزان ساپونین به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (UV - 1650 PC, Shimadzu, Japan) در طول موج ۵۲۷ نانومتر انجام شد (Sidana et al., 2016).

برای سنجش مقدار کلی پروتئین های برگ و ریشه از روش رنگ سنجی استفاده شد. در این روش بین اسیدهای آمینه یک پروتئین و رنگ Coomassie Brilliant Blue G-250 واکنشی رخ داد که نتیجه آن تغییر رنگ محلول به آبی است. سپس می توان غلظت پروتئین ها را براساس خوانش شدت جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۹۵ نانومتر به دست آورد. در نتیجه لازم است که ابتدا منحنی کالیبراسیون برای غلظت های مختلف به دست آمده باشد (Bradford, 1976).

جهت سنجش نیتروژن کل برگ و ریشه از روش کج لال استفاده شد. در این روش به کمک تیتراسیون، مقدار آمونیاک تقطیر شده حاصل از مرحله هضم مقدار مشخصی از نمونه برگ گیاه تعیین و با توجه به وزن نمونه، مقدار کل نیتروژن موجود در آن محاسبه گردید (Álvarez-Chávez et al., 2021).

با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov از نرمال بودن داده ها اطمینان حاصل شد. پس از انجام آزمون همگنی واریانس های خطای آزمایشی (بارتلت) و مشخص شدن عدم معنی داری در هر دو سال، تجزیه مرکب اطلاعات برآمده از تحقیق به واسطه نرم افزار آماری SAS ver.9 انجام شد. مقایسه میانگین های اسانس و ترکیبات اسانس از روش حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد انجام شد و برای اطمینان از مقادیر خطای استاندارد، به طور جداگانه با نرم افزار Excel ver. 2013، برآورد مجدد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفوفیزیولوژیکی: نتایج این پژوهش نشانگر اثرگذاری معنادار تیمارهای مورد استفاده بر صفات مورفوفیزیولوژیکی مورد ارزیابی بود (جدول ۴). در دو سال انجام تحقیق، بیشترین و کمترین مقادیر وزن تر برگ، به ترتیب در تیمارهای D1S1F12 (ظرفیت زراعی- کاربرد پلیمر سوپر جاذب- تیمار ترکیبی کود گرومور ۱ + لیفر آهن + لیفر روی) و D3S2F15 (۷۵ درصد تخلیه رطوبتی- عدم کاربرد پلیمر سوپر جاذب- عدم کاربرد مواد مغذی) به میزان ۲۰۷/۳۳ و ۸۹/۵۴ گرم در گیاه به دست آمد. در مورد وزن خشک برگ، بیشترین و کمترین مقادیر (۳۰/۱۱ - ۱۲/۸۱ گرم در گیاه)

و در نتیجه بیان ژن‌های دفاعی، محتوای مواد فیتوشیمیایی گیاه افزایش می‌یابد (Kulak, 2020).

غذایی، مسئول ارسال پیام‌های شیمیایی هستند که سبب پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی و تجمع فیتوالکسین می‌شوند. طی پاسخ به سیگنال ناشی از عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه فعال شده

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه آگاو

Table 4- Combined ANOVA (mean of squares) for morpho-physiological properties in <i>A. americana</i>									
منبع تغییرات SOV _e	DF _e	درجه آزادی	کلروفیل کل Total chlorophyll	طول برگ Leaf length	ضخامت برگ Leaf diameter	وزن خشک ریشه Dry root weight	وزن تر ریشه Fresh root weight	وزن خشک برگ Dry leaf weight	وزن تر برگ Fresh leaf weight
سال Year (Y)	1	4.4**	121.3**	444.5**	34.1 ^{ns}	1.5 ^{ns}	2.4 ^{ns}	41.5 ^{ns}	
تکرار در سال R (Y)	4	0.07	1.75	11.6	27.2	1.4	6.54	42.6	
آبیاری (A)	2	1.55**	897.2**	1365.2**	19084.2**	49.5**	882.1**	113.17**	
آبیاری × سال A × Y	2	3.3**	348.5**	465.1**	4367.2**	1.3 ^{ns}	18.4 ^{ns}	0.01 ^{ns}	
خطای کرت‌های اصلی (Ea)	8	0.06	14.4	12.1	37.3	0.88	12.2	1.45	
پلیمر سوپر جاذب (B)	1	2.14**	55.2**	12.12**	11.23**	18.12**	14.14**	22.14**	
پلیمر سوپر جاذب × سال B × Y	1	1.2**	24.2**	10.2**	4.2**	7.2**	5.2**	8.2**	
آبیاری × پلیمر سوپر جاذب A × B	2	0.99**	17.2**	11.62**	3.31**	5.3**	4.3**	6.3**	
آبیاری × پلیمر سوپر جاذب × سال A × B × Y	2	0.003 ^{ns}	0.24*	0.66*	0.009 ^{ns}	0.064 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.09 ^{ns}	
خطای کرت‌های فرعی (Eb)	12	0.004	0.077	0.12	0.011	0.034	0.023	0.05	
محلول‌یابی (C)	14	2.1**	8.23**	3.42**	1.1**	2.08**	1.88**	3.1**	
محلول‌یابی × سال C × Y	14	1.48**	7.23**	2.23**	0.99**	1.99**	1.34**	2.56**	
محلول‌یابی × پلیمر سوپر جاذب C × B	14	1.09**	6.23**	1.43**	0.76**	1.02**	0.99**	1.26**	
محلول‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × سال C × B × Y	14	0.96**	6.02**	1.08**	0.89**	0.97**	0.85**	1.02**	
محلول‌یابی × آبیاری C × A	28	0.75**	2.89**	2.44**	1.05**	1.77**	1.21**	2.44**	
محلول‌یابی × آبیاری × سال C × A × Y	28	0.007*	1.8*	0.22*	0.022 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.088 ^{ns}	
محلول‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × آبیاری C × B × A	28	0.006*	1.77*	0.26*	0.29**	0.38**	0.31**	0.44**	
محلول‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × آبیاری × سال C × B × A × Y	28	0.002 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.039 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.055 ^{ns}	
خطای کرت‌های فرعی (Ec)	336	0.003	1.12	0.11	0.026	0.062	0.056	0.081	
ضریب تغییرات CV (%)		9.9	17.2	12.4	10.5	15.5	14.1	11.1	

ns و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.
*, **, significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively, ns: non-significant.

جدول ۵- صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه آکاو تحت تأثیر تیمارهای مغذی، پلیمر سوپر جاذب و تنش خشکی در دو سال انجام تحقیق

تیمارها	وزن تر برگ (g.plant ⁻¹)	وزن خشک برگ (g.plant ⁻¹)	وزن ریشه (g.plant ⁻¹)	وزن خشک ریشه (g.plant ⁻¹)	ضخامت برگ (cm)	طول برگ (cm)	کلروفیل کل (mg.g ⁻¹ F.W)
DIS1F1	178.99±5.8 ^{abc}	19.67±0.93 ^d	14.04±0.53 ^b	2.46±0.11 ^b	0.27±0.01 ^{cd}	55.34±3.6 ^b	2.29±0.01 ^c
DIS1F2	175.55±6.8 ^b	19.05±0.82 ^d	12.88±0.38 ^c	2.54±0.16 ^b	0.28±0.03 ^d	58.98±2.2 ^b	2.23±0.03 ^c
DIS1F3	185.33±5.3 ^a	18.92±0.93 ^d	14.01±0.42 ^b	2.77±0.14 ^b	0.29±0.04 ^d	60.01±2.8 ^{ab}	2.48±0.02 ^b
DIS1F4	182.24±7.8 ^a	19.98±0.55 ^d	13.77±0.53 ^b	3.06±0.21 ^{ab}	0.32±0.02 ^c	56.89±1.9 ^b	2.27±0.01 ^c
DIS1F5	186.4±5.3 ^a	20.11±0.82 ^{cd}	13.99±0.49 ^b	3.04±0.11 ^a	0.31±0.01 ^c	57.99±3.6 ^b	2.45±0.03 ^b
DIS1F6	181.23±6.8 ^{ab}	18.09±0.73 ^d	14.72±0.42 ^b	3.01±0.16 ^a	0.27±0.02 ^{cd}	58.99±2.2 ^b	2.41±0.02 ^{bc}
DIS1F7	180.11±5.2 ^{ab}	17.77±0.93 ^d	15.77±0.38 ^b	2.99±0.25 ^{ab}	0.28±0.03 ^d	61.98±2.5 ^a	2.44±0.02 ^b
DIS1F8	178.99±6.5 ^{ab}	19.98±0.73 ^{cd}	16.99±0.53 ^a	3.01±0.14 ^{ab}	0.31±0.04 ^c	60.83±1.9 ^{ab}	2.47±0.01 ^b
DIS1F9	177.34±5.8 ^b	25.11±0.82 ^b	17.22±0.49 ^a	3.09±0.21 ^a	0.27±0.01 ^{cd}	59.44±2.8 ^b	2.49±0.02 ^b
DIS1F10	179.67±5.6 ^{ab}	23.43±0.55 ^c	17.56±0.42 ^a	3.12±0.11 ^a	0.28±0.02 ^d	60.11±3.6 ^a	2.56±0.03 ^b
DIS1F11	189.67±6.8 ^a	26.99±0.93 ^{ab}	18.22±0.38 ^a	3.29±0.16 ^a	0.26±0.03 ^c	62.11±1.9 ^a	2.64±0.02 ^a
DIS1F12	207.33±7.56 ^a	30.11±0.73 ^a	18.27±0.53 ^a	3.77±0.25 ^a	0.29±0.02 ^{cd}	64.55±3.7 ^a	2.81±0.01 ^a
DIS1F13	202.32±6.3 ^a	27.99±0.55 ^{ab}	18.01±0.49 ^a	3.55±0.14 ^a	0.28±0.01 ^d	53.66±2.2 ^c	2.57±0.03 ^{ab}
DIS1F14	199.34±5.8 ^a	28.01±0.93 ^a	18.21±0.42 ^a	3.41±0.25 ^a	0.29±0.04 ^{cd}	51.44±2.5 ^c	2.44±0.01 ^b
DIS1F15	170.65±6.2 ^b	22.12±0.82 ^c	12.11±0.53 ^c	2.33±0.11 ^{bc}	0.31±0.03 ^c	50.01±1.9 ^{cd}	2.27±0.02 ^c
DIS2F1	154.47±5.8 ^b	20.18±0.55 ^{cd}	12.98±0.38 ^c	2.22±0.14 ^c	0.27±0.02 ^{de}	49.04±3.6 ^d	2.39±0.01 ^{bc}
DIS2F2	168.43±4.1 ^b	24.33±0.73 ^b	14.22±0.42 ^b	2.32±0.21 ^{bc}	0.28±0.01 ^d	47.99±2.5 ^d	2.44±0.03 ^b
DIS2F3	160.45±5.1 ^b	25.66±0.93 ^b	14.66±0.49 ^b	2.56±0.16 ^b	0.29±0.04 ^{cd}	47.99±2.8 ^d	2.43±0.03 ^b
DIS2F4	165.65±5.8 ^b	21.33±0.82 ^c	14.67±0.53 ^b	2.42±0.11 ^b	0.31±0.04 ^c	48.99±2.2 ^d	2.42±0.02 ^b
DIS2F5	171.11±5.2 ^b	19.98±0.55 ^{cd}	15.33±0.38 ^b	2.11±0.21 ^c	0.29±0.03 ^{cd}	48.78±1.9 ^d	2.31±0.01 ^c
DIS2F6	149.88±5.3 ^c	18.99±0.73 ^d	11.77±0.33 ^c	2.22±0.14 ^c	0.28±0.02 ^d	50.88±3.6 ^c	2.2±0.03 ^c
DIS2F7	158.65±5.2 ^{bc}	20.12±0.55 ^c	12.88±0.42 ^{bc}	2.38±0.33 ^b	0.29±0.01 ^{cd}	51.99±2.5 ^c	2.33±0.03 ^c
DIS2F8	155.43±5.8 ^{bc}	22.44±0.82 ^c	13.45±0.53 ^b	2.69±0.25 ^b	0.27±0.04 ^d	53.44±2.5 ^c	2.44±0.02 ^b
DIS2F9	169.87±5.2 ^b	21.14±0.93 ^c	13.78±0.38 ^b	2.66±0.11 ^b	0.28±0.04 ^d	51.99±1.9 ^c	2.58±0.02 ^{ab}
DIS2F10	166.88±4.8 ^b	20.88±0.55 ^c	13.88±0.49 ^b	2.59±0.14 ^b	0.26±0.03 ^c	52.66±3.6 ^c	2.56±0.03 ^b
DIS2F11	171.11±7.8 ^b	20.88±0.82 ^c	14.99±0.53 ^b	2.76±0.21 ^b	0.25±0.04 ^c	54.99±2.2 ^{bc}	2.63±0.01 ^a
DIS2F12	185.33±6.1 ^{ab}	27.01±0.73 ^{ab}	15.99±0.38 ^{ab}	2.99±0.16 ^{ab}	0.29±0.01 ^{cd}	55.77±1.9 ^{bc}	2.74±0.02 ^a
DIS2F13	181.44±5.2 ^{ab}	24.33±0.77 ^b	14.33±0.42 ^b	2.88±0.11 ^b	0.28±0.02 ^d	56.01±2.5 ^{bc}	2.49±0.03 ^b
DIS2F14	176.77±3.8 ^b	22.08±0.97 ^c	13.55±0.49 ^b	2.66±0.33 ^b	0.27±0.01 ^{de}	55.78±3.6 ^{bc}	2.42±0.01 ^b
DIS2F15	155.77±6.8 ^c	20.24±0.93 ^c	12.45±0.53 ^c	2.26±0.25 ^c	0.28±0.02 ^d	52.11±2.8 ^c	2.19±0.02 ^{cd}
DIS2F16	159.88±6.4 ^c	22.24±0.77 ^c	15.77±0.38 ^b	2.33±0.14 ^b	0.27±0.03 ^{de}	47.72±1.9 ^d	2.27±0.03 ^c
DIS2F17	158.92±5.5 ^c	27.09±0.75 ^{ab}	14.99±0.42 ^b	2.43±0.16 ^b	0.28±0.04 ^d	46.99±2.2 ^d	2.26±0.01 ^c
DIS2F18	148.99±4.4 ^c	26.01±0.64 ^b	16.06±0.24 ^{ab}	2.31±0.11 ^b	0.29±0.01 ^d	47.44±3.6 ^d	2.15±0.02 ^d
DIS2F19	165.77±5.8 ^b	22.19±0.77 ^c	15.62±0.15 ^b	2.65±0.21 ^b	0.33±0.02 ^{bc}	48.14±2.8 ^d	2.29±0.03 ^c
DIS2F20	149.82±4.8 ^c	27.77±0.75 ^a	15.43±0.41 ^b	2.55±0.25 ^b	0.31±0.04 ^c	50.11±1.9 ^{cd}	2.41±0.01 ^b
DIS2F21	155.81±4.4 ^c	25.55±0.64 ^b	14.99±0.26 ^b	2.66±0.16 ^b	0.34±0.01 ^b	51.16±3.6 ^c	2.49±0.01 ^b
DIS2F22	164.32±4.1 ^b	28.78±0.77 ^a	15.54±0.24 ^b	2.77±0.11 ^b	0.33±0.02 ^{bc}	49.99±2.5 ^{cd}	2.53±0.02 ^b
DIS2F23	178.93±6.4 ^b	26.67±0.64 ^b	16.86±0.15 ^a	2.89±0.14 ^{ab}	0.37±0.03 ^{ab}	58.99±2.2 ^b	2.49±0.03 ^b
DIS2F24	166.83±7.5 ^b	28.88±0.75 ^a	17.12±0.11 ^a	2.99±0.21 ^{ab}	0.32±0.02 ^c	55.59±2.5 ^c	2.6±0.02 ^{ab}
DIS2F25	156.88±5.8 ^{bc}	26.22±0.93 ^b	16.67±0.15 ^{ab}	3.23±0.16 ^a	0.33±0.01 ^{bc}	56.77±3.6 ^c	2.74±0.01 ^a
DIS2F26	182.44±4.8 ^{ab}	26.88±0.77 ^b	18.79±0.34 ^b	3.82±0.11 ^a	0.37±0.03 ^b	58.99±2.2 ^b	2.63±0.02 ^a
DIS2F27	177.66±3.2 ^{ab}	25.22±0.75 ^b	16.88±0.26 ^b	2.91±0.14 ^{ab}	0.33±0.02 ^{bc}	57.66±1.9 ^b	2.7±0.02 ^a
DIS2F28	166.54±4.3 ^b	21.77±0.64 ^c	15.32±0.15 ^b	2.77±0.11 ^b	0.38±0.04 ^{ab}	55.76±2.8 ^c	2.81±0.03 ^a
DIS2F29	143.21±4.1 ^c	18.09±0.93 ^d	11.99±0.24 ^c	2.01±0.25 ^c	0.36±0.01 ^b	52.14±3.6 ^c	2.16±0.01 ^d
DIS2F30	139.99±5.3 ^{cd}	21.88±0.75 ^c	9.11±0.11 ^d	1.69±0.16 ^d	0.4±0.04 ^a	44.98±2.2 ^{de}	2.03±0.02 ^a
DIS2F31	155.77±4.8 ^c	22.99±0.77 ^c	9.41±0.26 ^d	1.77±0.21 ^d	0.39±0.03 ^a	45.99±1.9 ^d	2.11±0.01 ^d
DIS2F32	143.66±4.8 ^c	25.01±0.64 ^b	9.55±0.15 ^d	1.95±0.14 ^c	0.36±0.04 ^b	46.66±2.8 ^d	2.17±0.03 ^{cd}
DIS2F33	140.99±4.3 ^c	24.11±0.75 ^b	9.77±0.24 ^d	1.93±0.11 ^c	0.33±0.02 ^{bc}	47.88±2.5 ^d	2.15±0.01 ^d
DIS2F34	151.44±4.8 ^c	22.78±0.77 ^c	9.88±0.11 ^d	1.89±0.25 ^{cd}	0.27±0.01 ^{de}	48.87±3.6 ^d	2.19±0.03 ^{cd}
DIS2F35	149.77±2.2 ^c	24.14±0.64 ^b	9.98±0.26 ^d	1.79±0.16 ^d	0.29±0.03 ^{cd}	49.33±1.9 ^{ad}	2.15±0.02 ^d

D2S2F7	144.66±2.8 ^c	24.34±0.75 ^b	10.12±0.24 ^e	1.88±0.14 ^{cd}	0.26±0.03 ^c	49.12±2.8 ^{cd}	2.08±0.01 ^a
D2S2F8	155.66±2.1 ^c	21.88±0.93 ^c	9.71±0.15 ^a	1.97±0.25 ^c	0.29±0.02 ^d	48.12±3.6 ^d	2.1±0.02 ^d
D2S2F9	160.88±5.1 ^b	21.78±0.77 ^c	9.62±0.11 ^a	2.01±0.21 ^c	0.27±0.01 ^{de}	47.77±2.2 ^d	2.2±0.03 ^c
D2S2F10	165.77±3.3 ^b	22.16±0.75 ^c	9.55±0.24 ^a	1.98±0.11 ^c	0.28±0.04 ^d	48.33±1.9 ^d	2.18±0.01 ^d
D2S2F11	166.77±5.2 ^b	24.33±0.64 ^b	10.99±0.26 ^a	1.93±0.16 ^c	0.27±0.03 ^{de}	51.12±3.6 ^e	2.17±0.01 ^d
D2S2F12	171.66±1.8 ^b	27.77±0.92 ^{ab}	11.01±0.11 ^c	1.88±0.25 ^c	0.38±0.02 ^{ab}	49.98±2.5 ^{cd}	2.21±0.02 ^{cd}
D2S2F13	170.76±2.8 ^b	25.43±0.77 ^b	10.15±0.15 ^c	1.98±0.14 ^c	0.34±0.01 ^b	50.01±2.8 ^c	2.16±0.03 ^d
D2S2F14	169.99±3.5 ^b	25.12±0.64 ^b	9.14±0.24 ^a	1.99±0.21 ^c	0.32±0.04 ^c	50.12±3.6 ^c	2.14±0.01 ^d
D2S2F15	133.12±2.5 ^{de}	16.01±0.75 ^{de}	8.81±0.26 ^a	1.81±0.11 ^d	0.33±0.03 ^c	43.15±1.9 ^e	2.02±0.02 ^d
D3S1F1	119.88±5.4 ^{de}	20.99±0.32 ^c	10.04±0.11 ^c	1.74±0.16 ^d	0.25±0.02 ^e	45.98±2.2 ^d	2.14±0.03 ^d
D3S1F2	134.12±3.2 ^c	21.78±0.55 ^c	10.22±0.15 ^c	1.68±0.33 ^d	0.26±0.01 ^e	47.77±3.6 ^d	2.15±0.03 ^d
D3S1F3	128.99±1.8 ^d	23.45±0.19 ^c	10.32±0.24 ^c	1.77±0.14 ^d	0.27±0.01 ^e	48.22±2.5 ^d	2.11±0.01 ^d
D3S1F4	127.88±2.3 ^d	21.55±0.14 ^c	10.09±0.26 ^c	1.88±0.21 ^d	0.29±0.02 ^{cd}	50.11±1.9 ^e	2.08±0.02 ^d
D3S1F5	122.66±2.2 ^d	21.09±0.32 ^c	9.54±0.11 ^d	1.89±0.11 ^d	0.28±0.03 ^d	49.99±3.6 ^{cd}	2.08±0.01 ^d
D3S1F6	132.44±2.8 ^d	20.78±0.55 ^c	9.77±0.24 ^d	1.73±0.16 ^d	0.34±0.04 ^b	48.93±2.5 ^d	2.16±0.02 ^d
D3S1F7	136.77±1.8 ^d	24.55±0.27 ^b	9.98±0.26 ^a	1.77±0.14 ^d	0.36±0.03 ^b	49.91±2.8 ^{cd}	2.13±0.03 ^d
D3S1F8	131.44±2.5 ^d	22.34±0.32 ^c	10.15±0.11 ^c	1.72±0.11 ^d	0.33±0.02 ^c	49.88±3.6 ^{cd}	2.12±0.03 ^d
D3S1F9	129.66±2.3 ^d	20.99±0.55 ^c	10.11±0.15 ^c	1.79±0.25 ^d	0.34±0.01 ^b	48.88±2.5 ^{cd}	2.1±0.01 ^d
D3S1F10	133.66±1.3 ^d	22.45±0.14 ^c	10.32±0.24 ^c	1.88±0.16 ^{cd}	0.36±0.04 ^b	50.22±2.5 ^c	2.14±0.02 ^d
D3S1F11	135.77±2.3 ^{cd}	25.47±0.32 ^b	10.22±0.11 ^c	1.93±0.21 ^c	0.37±0.04 ^{ab}	51.11±3.6 ^e	2.21±0.03 ^{cd}
D3S1F12	144.34±1.3 ^c	27.89±0.27 ^{ab}	10.34±0.15 ^c	1.99±0.14 ^c	0.39±0.02 ^a	52.12±1.9 ^e	2.23±0.01 ^c
D3S1F13	139.88±1.8 ^c	24.45±0.14 ^b	9.15±0.26 ^a	1.97±0.11 ^c	0.38±0.01 ^{ab}	48.88±2.2 ^d	2.16±0.03 ^d
D3S1F14	134.56±2.2 ^{cd}	25.56±0.55 ^b	8.99±0.24 ^d	1.92±0.16 ^c	0.37±0.04 ^{ab}	48.12±2.8 ^d	2.13±0.02 ^d
D3S1F15	101.34±2.8 ^e	14.41±0.14 ^c	8.77±0.11 ^a	1.81±0.25 ^d	0.31±0.03 ^c	44.66±3.6 ^e	2±0.03 ^{de}
D3S2F1	104.33±2.1 ^e	17.89±0.27 ^d	9.12±0.15 ^a	1.69±0.21 ^d	0.25±0.02 ^e	45.12±3.4 ^{de}	2.1±0.01 ^d
D3S2F2	99.98±1.8 ^{cd}	16.43±0.32 ^d	8.77±0.14 ^a	1.77±0.14 ^d	0.28±0.01 ^d	44.23±1.9 ^e	2.01±0.03 ^{de}
D3S2F3	106.55±2.5 ^e	18.88±0.55 ^d	8.77±0.11 ^a	1.81±0.16 ^d	0.27±0.04 ^{de}	46.33±2.2 ^d	2.02±0.02 ^d
D3S2F4	107.55±2.8 ^e	16.89±0.32 ^d	9.88±0.24 ^a	1.74±0.11 ^d	0.28±0.01 ^d	44.12±2.5 ^e	2.06±0.01 ^d
D3S2F5	118.77±3.8 ^e	14.99±0.27 ^e	9.14±0.26 ^a	1.73±0.25 ^d	0.27±0.02 ^{de}	46.88±2.5 ^d	2.15±0.03 ^d
D3S2F6	119.45±2.3 ^{cd}	15.58±0.14 ^c	9.22±0.15 ^a	1.71±0.21 ^d	0.27±0.02 ^{de}	47.13±3.6 ^d	2.17±0.03 ^d
D3S2F7	116.55±2.8 ^e	16.67±0.32 ^e	9.14±0.11 ^a	1.69±0.16 ^d	0.26±0.04 ^e	46.88±1.9 ^d	2.07±0.01 ^d
D3S2F8	118.92±2.5 ^e	17.77±0.27 ^d	8.92±0.24 ^a	1.77±0.14 ^d	0.25±0.04 ^e	46.99±2.8 ^d	2.15±0.02 ^d
D3S2F9	114.62±2.4 ^e	18.44±0.55 ^d	8.77±0.26 ^a	1.79±0.11 ^d	0.29±0.01 ^d	44.88±3.6 ^e	2.12±0.03 ^d
D3S2F10	106.88±2.1 ^e	19.43±0.32 ^d	9.87±0.15 ^a	1.81±0.33 ^d	0.22±0.02 ^e	46.55±2.2 ^d	2.2±0.03 ^c
D3S2F11	108.66±2.2 ^e	18.99±0.27 ^d	9.14±0.24 ^a	1.98±0.16 ^d	0.28±0.03 ^d	47.77±2.5 ^d	2.12±0.01 ^d
D3S2F12	121.67±1.8 ^d	22.99±0.14 ^c	10.11±0.12 ^c	2.01±0.25 ^c	0.29±0.04 ^d	49.66±2.5 ^{cd}	2.23±0.03 ^c
D3S2F13	98.44±2.9 ^{cd}	14.42±0.32 ^e	9.99±0.11 ^{cd}	1.99±0.21 ^{cd}	0.28±0.01 ^d	48.12±1.9 ^d	2.19±0.02 ^{cd}
D3S2F14	99.81±2.1 ^c	13.39±0.27 ^e	9.89±0.15 ^d	1.88±0.14 ^{cd}	0.27±0.02 ^d	47.13±2.8 ^d	2.12±0.01 ^d
D3S2F15	89.54±2.8 ¹	12.81±0.55 ^e	8.18±0.14 ^d	1.62±0.11 ^d	0.24±0.01 ^e	41.12±3.3 ^e	1.95±0.01 ^e

D* سطوح تنش خشکی [میزان تبخیر از تشت تبخیر در سطح ظرفیت مزاجه (D1) و ۵۰ درصد (D2) و ۷۵ درصد تبخیر رطوبتی (D3)]، S: سطوح پلیمر سوپر جاذب [استفاده (S1) و عدم استفاده (S2)]، F: استفاده از کودهای شیمیایی [کودهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۹۷، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۱، ۲۴۲، ۲۴۳، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۷، ۲۴۸، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۵۷، ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۶۶، ۲۶۷، ۲۶۸، ۲۶۹، ۲۷۰، ۲۷۱، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۲۸۴، ۲۸۵، ۲۸۶، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱، ۲۹۲، ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶، ۲۹۷، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۷، ۳۰۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۳، ۳۱۴، ۳۱۵، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۱۸، ۳۱۹، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۲۳، ۳۲۴، ۳۲۵، ۳۲۶، ۳۲۷، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۰، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳، ۳۳۴، ۳۳۵، ۳۳۶، ۳۳۷، ۳۳۸، ۳۳۹، ۳۴۰، ۳۴۱، ۳۴۲، ۳۴۳، ۳۴۴، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۷، ۳۴۸، ۳۴۹، ۳۵۰، ۳۵۱، ۳۵۲، ۳۵۳، ۳۵۴، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۵۸، ۳۵۹، ۳۶۰، ۳۶۱، ۳۶۲، ۳۶۳، ۳۶۴، ۳۶۵، ۳۶۶، ۳۶۷، ۳۶۸، ۳۶۹، ۳۷۰، ۳۷۱، ۳۷۲، ۳۷۳، ۳۷۴، ۳۷۵، ۳۷۶، ۳۷۷، ۳۷۸، ۳۷۹، ۳۸۰، ۳۸۱، ۳۸۲، ۳۸۳، ۳۸۴، ۳۸۵، ۳۸۶، ۳۸۷، ۳۸۸، ۳۸۹، ۳۹۰، ۳۹۱، ۳۹۲، ۳۹۳، ۳۹۴، ۳۹۵، ۳۹۶، ۳۹۷، ۳۹۸، ۳۹۹، ۴۰۰، ۴۰۱، ۴۰۲، ۴۰۳، ۴۰۴، ۴۰۵، ۴۰۶، ۴۰۷، ۴۰۸، ۴۰۹، ۴۱۰، ۴۱۱، ۴۱۲، ۴۱۳، ۴۱۴، ۴۱۵، ۴۱۶، ۴۱۷، ۴۱۸، ۴۱۹، ۴۲۰، ۴۲۱، ۴۲۲، ۴۲۳، ۴۲۴، ۴۲۵، ۴۲۶، ۴۲۷، ۴۲۸، ۴۲۹، ۴۳۰، ۴۳۱، ۴۳۲، ۴۳۳، ۴۳۴، ۴۳۵، ۴۳۶، ۴۳۷، ۴۳۸، ۴۳۹، ۴۴۰، ۴۴۱، ۴۴۲، ۴۴۳، ۴۴۴، ۴۴۵، ۴۴۶، ۴۴۷، ۴۴۸، ۴۴۹، ۴۵۰، ۴۵۱، ۴۵۲، ۴۵۳، ۴۵۴، ۴۵۵، ۴۵۶، ۴۵۷، ۴۵۸، ۴۵۹، ۴۶۰، ۴۶۱، ۴۶۲، ۴۶۳، ۴۶۴، ۴۶۵، ۴۶۶، ۴۶۷، ۴۶۸، ۴۶۹، ۴۷۰، ۴۷۱، ۴۷۲، ۴۷۳، ۴۷۴، ۴۷۵، ۴۷۶، ۴۷۷، ۴۷۸، ۴۷۹، ۴۸۰، ۴۸۱، ۴۸۲، ۴۸۳، ۴۸۴، ۴۸۵، ۴۸۶، ۴۸۷، ۴۸۸، ۴۸۹، ۴۹۰، ۴۹۱، ۴۹۲، ۴۹۳، ۴۹۴، ۴۹۵، ۴۹۶، ۴۹۷، ۴۹۸، ۴۹۹، ۵۰۰، ۵۰۱، ۵۰۲، ۵۰۳، ۵۰۴، ۵۰۵، ۵۰۶، ۵۰۷، ۵۰۸، ۵۰۹، ۵۱۰، ۵۱۱، ۵۱۲، ۵۱۳، ۵۱۴، ۵۱۵، ۵۱۶، ۵۱۷، ۵۱۸، ۵۱۹، ۵۲۰، ۵۲۱، ۵۲۲، ۵۲۳، ۵۲۴، ۵۲۵، ۵۲۶، ۵۲۷، ۵۲۸، ۵۲۹، ۵۳۰، ۵۳۱، ۵۳۲، ۵۳۳، ۵۳۴، ۵۳۵، ۵۳۶، ۵۳۷، ۵۳۸، ۵۳۹، ۵۴۰، ۵۴۱، ۵۴۲، ۵۴۳، ۵۴۴، ۵۴۵، ۵۴۶، ۵۴۷، ۵۴۸، ۵۴۹، ۵۵۰، ۵۵۱، ۵۵۲، ۵۵۳، ۵۵۴، ۵۵۵، ۵۵۶، ۵۵۷، ۵۵۸، ۵۵۹، ۵۶۰، ۵۶۱، ۵۶۲، ۵۶۳، ۵۶۴، ۵۶۵، ۵۶۶، ۵۶۷، ۵۶۸، ۵۶۹، ۵۷۰، ۵۷۱، ۵۷۲، ۵۷۳، ۵۷۴، ۵۷۵، ۵۷۶، ۵۷۷، ۵۷۸، ۵۷۹، ۵۸۰، ۵۸۱، ۵۸۲، ۵۸۳، ۵۸۴، ۵۸۵، ۵۸۶، ۵۸۷، ۵۸۸، ۵۸۹، ۵۹۰، ۵۹۱، ۵۹۲، ۵۹۳، ۵۹۴، ۵۹۵، ۵۹۶، ۵۹۷، ۵۹۸، ۵۹۹، ۶۰۰، ۶۰۱، ۶۰۲، ۶۰۳، ۶۰۴، ۶۰۵، ۶۰۶، ۶۰۷، ۶۰۸، ۶۰۹، ۶۱۰، ۶۱۱، ۶۱۲، ۶۱۳، ۶۱۴، ۶۱۵، ۶۱۶، ۶۱۷، ۶۱۸، ۶۱۹، ۶۲۰، ۶۲۱، ۶۲۲، ۶۲۳، ۶۲۴، ۶۲۵، ۶۲۶، ۶۲۷، ۶۲۸، ۶۲۹، ۶۳۰، ۶۳۱، ۶۳۲، ۶۳۳، ۶۳۴، ۶۳۵، ۶۳۶، ۶۳۷، ۶۳۸، ۶۳۹، ۶۴۰، ۶۴۱، ۶۴۲، ۶۴۳، ۶۴۴، ۶۴۵، ۶۴۶، ۶۴۷، ۶۴۸، ۶۴۹، ۶۵۰، ۶۵۱، ۶۵۲، ۶۵۳، ۶۵۴، ۶۵۵، ۶۵۶، ۶۵۷، ۶۵۸، ۶۵۹، ۶۶۰، ۶۶۱، ۶۶۲، ۶۶۳، ۶۶۴، ۶۶۵، ۶۶۶، ۶۶۷، ۶۶۸، ۶۶۹، ۶۷۰، ۶۷۱، ۶۷۲، ۶۷۳، ۶۷۴، ۶۷۵، ۶۷۶، ۶۷۷، ۶۷۸، ۶۷۹، ۶۸۰، ۶۸۱، ۶۸۲، ۶۸۳، ۶۸۴، ۶۸۵، ۶۸۶، ۶۸۷، ۶۸۸، ۶۸۹، ۶۹۰، ۶۹۱، ۶۹۲، ۶۹۳، ۶۹۴، ۶۹۵، ۶۹۶، ۶۹۷، ۶۹۸، ۶۹۹، ۷۰۰، ۷۰۱، ۷۰۲، ۷۰۳، ۷۰۴، ۷۰۵، ۷۰۶، ۷۰۷، ۷۰۸، ۷۰۹، ۷۱۰، ۷۱۱، ۷۱۲، ۷۱۳، ۷۱۴، ۷۱۵، ۷۱۶، ۷۱۷، ۷۱۸، ۷۱۹، ۷۲۰، ۷۲۱، ۷۲۲، ۷۲۳، ۷۲۴، ۷۲۵، ۷۲۶، ۷۲۷، ۷۲۸، ۷۲۹، ۷۳۰، ۷۳۱، ۷۳۲، ۷۳۳، ۷۳۴، ۷۳۵، ۷۳۶، ۷۳۷، ۷۳۸، ۷۳۹، ۷۴۰، ۷۴۱، ۷۴۲، ۷۴۳، ۷۴۴، ۷۴۵، ۷۴۶، ۷۴۷، ۷۴۸، ۷۴۹، ۷۵۰، ۷۵۱، ۷۵۲، ۷۵۳، ۷۵۴، ۷۵۵، ۷۵۶، ۷۵۷، ۷۵۸، ۷۵۹، ۷۶۰، ۷۶۱، ۷۶۲، ۷۶۳، ۷۶۴، ۷۶۵، ۷۶۶، ۷۶۷، ۷۶۸، ۷۶۹، ۷۷۰، ۷۷۱، ۷۷۲، ۷۷۳، ۷۷۴، ۷۷۵، ۷۷۶، ۷۷۷، ۷۷۸، ۷۷۹، ۷۸۰، ۷۸۱، ۷۸۲، ۷۸۳، ۷۸۴، ۷۸۵، ۷۸۶، ۷۸۷، ۷۸۸، ۷۸۹، ۷۹۰، ۷۹۱، ۷۹۲، ۷۹۳، ۷۹۴، ۷۹۵، ۷۹۶، ۷۹۷، ۷۹۸، ۷۹۹، ۸۰۰،

میلی گرم در گرم وزن خشک)، پروتئین ریشه (۶/۴۷ میلی گرم در گرم وزن خشک) در گیاهان تحت تیمارهای D3S2F15, D2S2F15 به دست آمد که نشانگر اثر کاهنده معنادار تنش خشکی شدید (۷۵ درصد تخلیه رطوبتی-D3) و نیز عدم کاربرد کودهای مغذی (F15) و عدم مصرف پلیمر سوپر جاذب (S2) می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که بیشترین اثرگذاری تیمارهای برتر (گرومور ۱ + لیفر آهن + لیفر روی و گرومور ۲ + لیفر آهن + لیفر روی) بر مقادیر ساپونین، پروتئین برگ و پروتئین ریشه بوده است که رشدی بیش از دو برابر را ایجاد نمود (جدول ۷). مشخص گردید که سال تأثیر معنی داری بر صفات کلروفیل کل، طول برگ، ضخامت برگ، مقادیر ساپونین، پروتئین برگ، پروتئین ریشه و آهن برگ داشت و در سایر صفات نیز اغلب برهم کنش هر کدام از تیمارهای آبیاری، پلیمر سوپر جاذب، محلول پاشی کودهای کامل و یا ریزمغذی های آهن و روی با سال بر آن ها معنی دار بود (جدول ۴ و ۶).

در پژوهش حاضر، مقادیر تجمع نیتروژن در ریشه ها و برگ ها منجر به افزایش پروتئین ها، هکوزئین و ساپونین شد. به نظر می رسد که افزایش عناصر مغذی به ویژه نیتروژن منجر به افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در برگ ها گردید و در ادامه شدت رشد در ساختار گیاهی افزایش یافت. افزایش جذب نیتروژن و سنتز پروتئین ها و ترکیبات مورد ارزیابی از اثرات مفید کاربرد کودهای مورد تحقیق بوده است که با نتایج محققان قبلی انطباق دارد (Han et al., 2022). کمبود عناصر ریزمغذی به علت تأثیر سوء بر بیوسنتز اکسین می تواند منجر به کاهش ارتفاع ساقه و عملکرد گیاه شود (Fathi et al., 2017). افزایش تجمع نیتروژن منجر به افزایش اسیدهای فنولیک می شود که این ترکیبات با داشتن ساختار ویژه، دارای پتانسیل بالایی برای برهم کنش با پروتئین های مختلف از جمله آنزیم ها می باشند. به همین دلیل آن ها می توانند باعث ممانعت از فعالیت آنزیم هایی مانند ایزوفرم های مختلف سیتوکرم P₄₅₀، سیکلو اکسیژناز، الکل دهیدروژناز، لیپو-اکسیژناز و زانتین اکسیداز شوند که در طی فعالیت خود، میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش داده و در نهایت منجر به افزایش صفات رشدی گیاه از جمله مقادیر کلروفیل و عملکرد گیاه می شوند (Thakur & Kumar, 2020).

در تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه اثرگذاری عناصر پرمصرف و کم مصرف روی گیاهان مختلف دارویی نعنای فلفلی (Mentha piperita L.) (Mahmodi et al., 2020)، گونه های مرزه (Satureja) (Babalar et al., 2020; Yadegari, 2022b; Bani) (Yadegari, 2022c)، آویشن (Thymus) (Taba et al., 2025) استفاده از عناصر ریزمغذی و کود کامل NPK، ریحان (Aghaei et al., 2022; Asgarian et al.) (Ocimum sativum L.)

در میان صفات فیزیولوژیکی، بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمارهای کود گرومور حاصل شد که نقش تغذیه ای کودهای کامل را نشان می دهد (Yadegari, 2022c; Almrani, 2019). در یک نگاه کلی و از منظر فیزیولوژیکی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از کودهای حاوی NPK باعث کاهش نسبی نیتروژن ریشه و در مقابل افزایش نیتروژن برگ ها شد که مشخص می کند اعمال کود، سیستم انتقال مواد نیتروژنه از ریشه به برگ ها را تقویت می نماید، هرچند که مقادیر نیتروژن برگ و ریشه در زمان تنش شدید، بسیار کمتر از سایر سطوح رطوبتی بود. استفاده از عناصر غذایی باعث افزایش سطح برگ می شود که این امر به تولید بیشتر مواد سنتزی منجر می گردد. همچنین با افزایش سطح برگ، تعداد روزنه به عنوان محل ورود دی اکسید کربن بیشتر شده و متعاقب آن ساخت گلوکز به عنوان پیش ماده مناسب در ساخت ترکیبات ثانویه گیاه به عنوان نتیجه فرآیند فتوسنتز زیاد شده و در نتیجه عملکرد کمی و کیفی گیاه ارتقاء می یابد (Sasani et al., 2021). نتایج این پژوهش در تطابق با گزارش های سایر محققان است (Albergaria et al., 2020; Alizadeh et al., 2020). با توجه به نقش محرک رشدی کودهای مورد استفاده در افزایش سبزینه گیاه و به تبع آن افزایش فتوسنتز، بدیهی است که متعاقب آن میزان مواد مؤثره گیاهی بیشتر می شود (Yadegari, 2022b; Marschner, 1995). در این پژوهش، ارتباط مستقیم و مثبت صفات ریخت شناختی مورد ارزیابی با مقادیر برخی از صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی تحت تأثیر اعمال تیمارهای مختلف به دست آمد که با نتایج دیگر محققان تا حد زیادی مطابقت دارد (Jokar et al., 2021; Álvarez-Chávez et al., 2021).

صفات فیتوشیمیایی

نتایج تجزیه مرکب اطلاعات برآمده از پژوهش حاضر نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد استفاده بر صفات مورد بررسی معنی دار بود (جدول ۶). بیشترین مقادیر صفات هکوزئین (۳۵/۴۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر)، ساپونین (۶۶۱۶۴/۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر)، پروتئین برگ (۲۵/۳۴ میلی گرم در گرم وزن خشک)، پروتئین ریشه (۱۶/۹۹ میلی گرم در گرم وزن خشک) در تیمارهای D3S1F14 و D2S1F14, D1S1F12 به دست آمد که نشانگر اثرگذاری مطلوب تیمارهای مغذی (گرومور ۱ + لیفر آهن + لیفر روی، گرومور ۲ + لیفر آهن + لیفر روی) و نیز وجود پلیمر سوپر جاذب بر صفات مورد ارزیابی است. از سوی دیگر، کمترین مقادیر صفات هکوزئین (۲۱/۸۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر)، ساپونین (۲۲۱۳۴/۳ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر)، پروتئین برگ (۱۰/۱۱)

پراکسیداسیون این رنگیزه‌ها و سرانجام تجزیه شیمیایی آن‌ها می‌شود. در شرایط کمبود آب، به علت صدمات متابولیکی و تغییر سطح متابولیت‌های مربوطه، تثبیت دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، کمبود آب عموماً باعث تخریب و شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل شده و مقدار فعالیت آنزیم‌ها را طی فرآیند فتوسنتز کاهش می‌دهد (Danesh Shahraki et al., 2023; Sasani et al., 2021). کاهش کلروفیل کل در هنگام کمبود آب همچنین ممکن است به دلیل تغییر در مجموعه‌های لیپید-پروتئین و کاهش سنتز کمپلکس‌های رنگدانه‌ای و یا تخریب کمپلکس‌های پروتئین-رنگدانه به دام‌اندازنده نور و یا به دلیل تخریب اکسیداتیو لیپیدها و پروتئین‌های کلروپلاست باشد (Esch et al., 2019; Caser et al., 2019). گزارش‌های دیگر نشان داد که کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن است که موجب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌شود (Fariaszewska et al., 2020). با افزایش شدت کمبود آب به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) از میزان کلروفیل کل کاسته شد. دلیل دیگر کاهش کلروفیل برگ‌ها، تغییر متابولیسم نیتروژن و استفاده بیشتر از گلوتامات است (Caser et al., 2019). به عبارتی، کاهش مقدار کلروفیل به هنگام تنش کمبود آب می‌تواند به دلیل تحریک آنزیم بیوسنتز پرولین یعنی گلوتامیل کیناز^۱ در پتانسیل آبی پایین باشد. با افزایش تبدیل گلوتامات به پرولین در هنگام تنش خشکی، در واقع گلوتامات که پیش‌ساز کلروفیل نیز می‌باشد، از دسترس خارج شده و سنتز کلروفیل‌ها دچار نقصان می‌شود. به عبارتی، کاهش سنتز کلروفیل می‌تواند به علت کاهش تجمع اسید آمینولولیتیک^۲ باشد. این اسید پیش‌ساز کلروفیل است که در معرض نور به کلروفیل تبدیل می‌شود و در تنش خشکی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، فعالیت آنزیم گلوتامات کیناز که اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل است، با تنش خشکی بسیار کاهش می‌یابد (Esch et al., 2019). تنظیم اسمزی و سایر پاسخ‌های فیزیولوژیکی به تنش خشکی ممکن است سازگاری کوتاه‌مدت در برابر کمبود آب موقت را فراهم کند. با این حال، این راهبردها ممکن است برای غلبه بر تنش شدید در طول دوره طولانی خشک‌سالی کافی نباشد (Danesh Shahraki et al., 2023).

(al., 2019)، زرین گیاه (*Dracocephalum kotschy* Boiss.) استفاده از غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر از عناصر ریزمغذی آهن و روی، گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) (Yadegari, 2024a) و شوید (*Anethum graveolens* L.) (Yadegari, 2024b) (Javadi et al., 2021) کاربرد کود کامل NPK؛ بیشترین عملکرد کمی و کیفی را در گیاهان مورد بررسی ایجاد نموده است. فتوسنتز از جمله مهم‌ترین واکنش‌های حیاتی در گیاه می‌باشد که نقش تعیین‌کننده در عملکرد و همچنین خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارد. استفاده از ترکیبات محرک رشد، به گیاه کمک می‌کند تا بر عوامل بازدارنده رشدی از جمله تنش خشکی غلبه کند. این ترکیبات با تحت تأثیر قرار دادن خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Marschner, 1995). کاربرد پلیمر سوپر جاذب با ایجاد شرایط رشدی مناسب و جلوگیری از ایجاد تنش آب برای رشد و نمو منجر به افزایش جذب آب و املاح، فتوسنتز و در نهایت رشد و عملکرد گردید که این مسأله در افزایش صفات مورد بررسی مشاهده شد. اثرگذاری مطلوب و معنی‌دار پلیمر سوپر جاذب در گیاهان مختلف دارویی و زینتی از جمله گیاه کبر (*Capparis spinosa* L.) (Bagherifard et al., 2020)، مرزه رشینگری (*Beiranvandi et al., 2020*) (*Satureja rechingeri* Jamzad.) رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) (Rezaee & Pirzad, 2020)، زیره سبز (*Carum carvi* L.) (RafeolHoseini, 2017) (*Setaria italica*) (et al., 2017)، ارزن دم روباهی (Hoseini et al., 2020) گزارش شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که تنش کم‌آبی بر تمام صفات مورد ارزیابی اثر معنی‌داری داشته است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاهش رطوبت یا به عبارتی افزایش فواصل آبیاری، صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی آگاو در تنش شدید (تخلیه رطوبتی ۷۵ درصد) کاهش چشم‌گیری به‌ویژه در شرایط عدم استفاده از تیمار پلیمر سوپر جاذب یافتند که نشان‌دهنده کاهش تقسیم و رشد سلولی گیاه در طی کمبود آب می‌باشد. اثر تنش آبی بر توسعه دیواره سلولی در اثر فشار تورژسانس صورت می‌گیرد. بنابراین هر کاهشی در فشار تورژسانس که ناشی از عدم تعادل در وضعیت آب گیاه باشد منجر به کاهش رشد و حتی در صورت شدید بودن خشکی موجب توقف رشد می‌شود (Kulak, 2020). با توجه به تحمل بالای این گیاه به خشکی (Álvarez-Chávez et al., 2021)، بیشترین مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی در هر دو سال انجام تحقیق در رطوبت زراعی و تخلیه رطوبتی ۵۰ درصد به دست آمد و پس از آن کاهش نسبی در مقادیر، محرز بود. کاهش کلروفیل در شرایط خشکی تا حدودی به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن است که باعث

1- Glutamyl kinase

2- Aminolevulinic acid

جدول ۶ - تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه آگاو (*A. americana*)
Table 6- Combined ANOVA (mean of squares) for physiological and phytochemical properties in *A. americana*

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	آهن ریشه Iron of root ($\mu\text{g.g}^{-1}$ D.W)	آهن برگ Iron of leaf ($\mu\text{g.g}^{-1}$ D.W)	روی ریشه Zinc of root ($\mu\text{g.g}^{-1}$ D.W)	روی برگ Zinc of leaf ($\mu\text{g.g}^{-1}$ D.W)	پروتئین ریشه Protein of root (mg.g^{-1} D.W)	پروتئین برگ Protein of leaf (mg.g^{-1} D.W)	نیترژن ریشه Nitrogen of root (mg.g^{-1} D.W)	نیترژن برگ Nitrogen of leaf (mg.g^{-1} D.W)	ساپونین Saponin (mg.kg^{-1} F.W)	هکونن Hecogenin (mg.kg^{-1} F.W)
سال Year (Y)	1	1.9 ^{ns}	44.9 ^{**}	4.3 ^{ns}	4.4 ^{ns}	3.21 ^{**}	27.5 ^{**}	0.65 ^{ns}	1.5 ^{ns}	88.5 ^{**}	0.21 ^{ns}
تکرار در سال R (Y)	4	1.17	3.32	2.52	2.74	0.12	0.23	0.88	0.99	0.77	0.12
آبیاری (A)	2	88.4 ^{**}	29.4 ^{**}	144.4 ^{**}	188.9 ^{**}	22.5 ^{**}	35.2 ^{**}	33.61 ^{**}	25.4 ^{**}	33.5 ^{**}	28.5 ^{**}
آبیاری × سال A × Y	2	1.2 ^{ns}	32.77 ^{**}	6.87 ^{ns}	23.2 ^{ns}	18.54 ^{**}	23.44 ^{**}	3.11 ^{ns}	0.8 ^{ns}	66.8 ^{**}	0.54 ^{ns}
خطای کرت‌های اصلی (Ea)	8	7.24	2.17	16.4	17.6	0.66	0.88	2.1	1.12	1.6	1.89
پلیمر سوپر جاذب (B)	1	6.62 ^{**}	5.14 ^{**}	7.12 ^{**}	5.76 ^{**}	8.76 ^{**}	8.56	9.2 ^{**}	8.2 ^{**}	14.14 ^{**}	12.23 ^{**}
پلیمر سوپر جاذب × سال B × Y	1	7.2 ^{**}	4.2 ^{**}	6.2 ^{**}	7.2 ^{**}	9.2 ^{**}	6.2 ^{**}	8.2 ^{**}	6.2 ^{**}	11.2 ^{**}	5.2 ^{**}
آبیاری × پلیمر سوپر جاذب A × B	2	8.3 ^{**}	3.3 ^{**}	5.3 ^{**}	8.3 ^{**}	8.3 ^{**}	7.3 ^{**}	7.3 ^{**}	5.3 ^{**}	10.3 ^{**}	4.3 ^{**}
آبیاری × پلیمر سوپر جاذب × سال A × B × Y	2	3.19 [*]	0.012 ^{ns}	2.21 [*]	0.012 ^{ns}	0.48 [*]	0.11 ^{ns}	0.51 [*]	0.011 ^{ns}	0.48 [*]	0.012 ^{ns}
خطای کرت‌های فرعی (Eb)	12	0.77	0.023	0.55	0.015	0.12	0.12	0.12	0.015	0.12	0.011
محل‌یابی (C)	14	2.06 ^{**}	1.22 ^{**}	3.37 ^{**}	1.64 ^{**}	5.11 ^{**}	1.22 ^{**}	3.55 ^{**}	21.22 ^{**}	4.11 ^{**}	2.22 ^{**}
محل‌یابی × سال C × Y	14	1.11 ^{**}	0.99 ^{**}	2.55 ^{**}	2.04 ^{**}	4.11 ^{**}	1.99 ^{**}	2.44 ^{**}	4.99 ^{**}	2.11 ^{**}	0.99 ^{**}
محل‌یابی × پلیمر سوپر جاذب C × B	14	1.09 ^{**}	0.74 ^{**}	3.21 ^{**}	0.99 ^{**}	4.21 ^{**}	1.88 ^{**}	1.77 ^{**}	3.88 ^{**}	1.21 ^{**}	0.88 ^{**}
محل‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × سال C × B × Y	14	1.08 ^{**}	1.11 ^{**}	2.08 ^{**}	1.33 ^{**}	2.33 ^{**}	0.15 ^{**}	1.65 ^{**}	3.15 ^{**}	1.08 ^{**}	1.15 ^{**}
محل‌یابی × آبیاری C × A	28	1.98 ^{**}	0.88 ^{**}	1.98 ^{**}	0.88 ^{**}	3.98 ^{**}	0.88 ^{**}	2.42 ^{**}	2.99 ^{**}	2.98 ^{**}	0.99 ^{**}
محل‌یابی × آبیاری × سال C × A × Y	28	0.88 ^{**}	0.55 ^{**}	0.88 ^{**}	0.55 ^{**}	2.88 ^{**}	0.77 ^{**}	0.79 ^{**}	2.25 ^{**}	0.88 ^{**}	0.025 ^{**}
محل‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × آبیاری C × B × A	28	0.37 [*]	0.66 ^{**}	0.29 [*]	0.002 [*]	0.26 [*]	0.66 ^{**}	0.19 [*]	1.45 ^{**}	0.29 [*]	0.45 ^{**}
محل‌یابی × پلیمر سوپر جاذب × آبیاری × سال C × B × A × Y	28	0.36 [*]	0.001 ^{ns}	0.27 [*]	0.001 ^{ns}	0.23 [*]	0.001 ^{ns}	0.21 [*]	0.001 ^{ns}	0.21 [*]	0.001 ^{ns}
خطای کرت‌های فرعی (Ec)	336	0.22	0.001	0.23	0.001	0.14	0.005	0.11	0.044	0.14	0.002
ضرب تغییرات CV (%)		7.61	8.65	7.61	8.11	10.22	9.11	7.32	5.65	7.61	8.65

ns و ** پدیده‌ی معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار
*، **، ns: significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively, ns: non-significant.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه آگاو تحت تاثیر تیمارهای مغذی، پلیمر سوربر جاذب و تنش خشکی در دو سال انجام تحقیق

Table 7- Means comparisons of physiological and phytochemical properties in *A. americana* plants affected by fertilizers, superabsorbent nano-polymer and drought stress

تیمارها	هکوترین	ساپونین	نیترژن برگ	نیترژن ریشه	پروتئین برگ	پروتئین ریشه	پروتئین برگ	Zinc of leaf	روی ریشه	Iron of leaf	اهن برگ	Iron of root	اهن ریشه
D1S1F1	32.99±1.2 ^{ab}	58938.3±1181.4 ^a	1.11±0.01 ^a	0.99±0.03 ^c	18.78±0.55 ^c	14.12±0.66 ^b	14.33±0.47 ^b	49.87±1.4 ^c	29.81±0.59 ^{cd}	74.24±0.95 ^b	44.11±0.91 ^{ab}	44.11±0.91 ^{ab}	
D1S1F2	32.88±1.4 ^a	57293.34±1181.9 ^a	1.15±0.03 ^{ab}	0.98±0.01 ^c	18.99±0.41 ^{bc}	14.33±0.47 ^b	14.33±0.47 ^b	47.44±1.1 ^d	27.41±0.85 ^d	71.55±0.78 ^b	41.77±0.72 ^b	41.77±0.72 ^b	
D1S1F3	32.77±1.1 ^{ab}	58929.3±1511.5 ^a	1.18±0.02 ^a	0.97±0.02 ^c	19.03±0.82 ^{bc}	14.22±0.36 ^b	14.22±0.36 ^b	46.55±1.5 ^d	26.51±0.63 ^d	70.84±0.91 ^b	40.82±0.93 ^{bc}	40.82±0.93 ^{bc}	
D1S1F4	32.67±1.3 ^a	60191.2±1214.6 ^a	1.19±0.01 ^a	1.05±0.01 ^b	19.06±0.55 ^{bc}	14.44±0.58 ^b	14.44±0.58 ^b	50.99±1.4 ^c	30.55±0.96 ^c	80.99±0.88 ^a	49.81±0.81 ^a	49.81±0.81 ^a	
D1S1F5	32.76±1.2 ^a	61782.3±1191.8 ^a	1.21±0.03 ^a	1.01±0.03 ^b	19.08±0.33 ^{bc}	14.33±0.47 ^b	14.33±0.47 ^b	68.98±2.4 ^a	44.84±0.55 ^a	75.74±0.81 ^{ab}	45.13±0.85 ^{ab}	45.13±0.85 ^{ab}	
D1S1F6	33.09±1.4 ^a	62888.3±1111.1 ^a	1.24±0.02 ^a	1.02±0.02 ^b	19.14±0.41 ^b	14.54±0.56 ^b	14.54±0.56 ^b	51.55±1.7 ^c	31.55±1.1 ^c	79.11±0.95 ^a	49.22±0.91 ^a	49.22±0.91 ^a	
D1S1F7	33.44±1.1 ^a	62929.3±1159.9 ^a	1.26±0.03 ^a	1.03±0.03 ^b	19.23±0.34 ^b	14.99±0.66 ^b	14.99±0.66 ^b	55.67±1.5 ^b	35.34±1.1 ^b	76.66±0.71 ^a	46.58±0.75 ^a	46.58±0.75 ^a	
D1S1F8	33.77±1.2 ^a	64782.7±1214.6 ^a	1.28±0.01 ^a	1.07±0.01 ^b	19.33±0.55 ^b	14.82±0.38 ^b	14.82±0.38 ^b	54.33±1.4 ^{bc}	34.33±0.88 ^{bc}	79.13±0.86 ^a	48.22±0.86 ^a	48.22±0.86 ^a	
D1S1F9	33.67±0.99 ^a	60111.9±1191.9 ^a	1.25±0.02 ^a	1.06±0.01 ^b	19.45±0.85 ^b	15.01±0.55 ^b	15.01±0.55 ^b	57.88±1.2 ^b	37.77±1.1 ^b	77.11±0.77 ^a	47.55±0.76 ^a	47.55±0.76 ^a	
D1S1F10	33.44±1.2 ^a	61892.4±1203.5 ^a	1.29±0.03 ^a	1.11±0.02 ^{ab}	24.34±0.48 ^a	15.22±0.59 ^{ab}	15.22±0.59 ^{ab}	55.33±1.5 ^b	35.33±0.51 ^b	79.15±0.88 ^a	48.15±0.88 ^a	48.15±0.88 ^a	
D1S1F11	33.88±1.1 ^a	63829.2±1111.1 ^a	1.28±0.02 ^a	1.12±0.01 ^{ab}	24.11±0.33 ^a	16.22±0.44 ^a	16.22±0.44 ^a	59.98±1.1 ^b	39.81±1.1 ^{ab}	75.85±1.1 ^{ab}	45.11±0.74 ^{ab}	45.11±0.74 ^{ab}	
D1S1F12	35.48±1.1 ^a	64345.6±1158.4 ^a	1.39±0.03 ^a	1.14±0.03 ^a	25.34±0.77 ^a	16.43±0.66 ^a	16.43±0.66 ^a	68.99±2.4 ^a	44.99±0.55 ^a	81.01±0.88 ^a	48.84±1.1 ^a	48.84±1.1 ^a	
D1S1F13	34.44±1.4 ^a	62893.54±1202.1 ^a	1.33±0.03 ^a	1.15±0.02 ^a	24.06±0.55 ^a	15.99±0.35 ^a	15.99±0.35 ^a	64.33±1.3 ^a	44.55±0.88 ^a	79.85±0.91 ^a	48.85±0.91 ^a	48.85±0.91 ^a	
D1S1F14	34.39±1.2 ^a	64999.4±1191.9 ^a	1.32±0.01 ^a	1.12±0.01 ^{ab}	24.09±0.41 ^a	16.15±0.55 ^a	16.15±0.55 ^a	62.55±1.5 ^{ab}	42.55±1.1 ^a	79.22±0.88 ^a	48.22±0.88 ^a	48.22±0.88 ^a	
D1S1F15	32.09±1.1 ^{ab}	45893.3±1111.1 ^{bc}	1.01±0.03 ^b	0.91±0.01 ^{cd}	15.77±0.33 ^{cd}	13.33±0.44 ^b	13.33±0.44 ^b	40.55±1.1 ^{de}	20.36±1.1 ^c	64.21±0.91 ^c	34.21±1.1 ^{cd}	34.21±1.1 ^{cd}	
D1S2F1	32.02±1.4 ^{ab}	55654.4±1159.5 ^{ab}	1.16±0.02 ^{ab}	0.88±0.02 ^d	18.99±0.88 ^{bc}	13.33±0.44 ^b	13.33±0.44 ^b	40.55±1.1 ^{de}	20.36±1.1 ^c	64.21±0.91 ^c	34.21±1.1 ^{cd}	34.21±1.1 ^{cd}	
D1S2F2	32.04±1.2 ^{ab}	54324.6±1151.9 ^b	1.05±0.01 ^b	0.87±0.03 ^d	18.76±0.55 ^c	13.12±0.66 ^b	13.12±0.66 ^b	40.55±1.1 ^{de}	20.36±1.1 ^c	64.21±0.91 ^c	34.21±1.1 ^{cd}	34.21±1.1 ^{cd}	
D1S2F3	32.09±0.99 ^{ab}	57292.54±1163.5 ^a	1.06±0.03 ^b	0.86±0.02 ^d	18.67±0.33 ^c	13.01±0.31 ^b	13.01±0.31 ^b	40.59±1.5 ^{de}	20.33±0.55 ^c	60.81±0.91 ^c	30.72±0.91 ^d	30.72±0.91 ^d	
D1S2F4	33.01±1.4 ^a	58146.43±1111.1 ^a	1.08±0.02 ^{ab}	0.87±0.01 ^d	18.55±0.47 ^c	13.65±0.45 ^b	13.65±0.45 ^b	42.99±1.4 ^d	22.99±0.75 ^c	66.15±1.1 ^c	36.15±0.88 ^c	36.15±0.88 ^c	
D1S2F5	32.99±1.2 ^a	59134.2±1197.5 ^a	1.09±0.01 ^{ab}	0.89±0.02 ^d	19.01±0.55 ^{bc}	14.01±0.84 ^b	14.01±0.84 ^b	45.37±1.7 ^d	22.99±0.75 ^c	66.15±1.1 ^c	36.15±0.88 ^c	36.15±0.88 ^c	
D1S2F6	32.88±1.1 ^a	60146.22±1214.1 ^a	1.11±0.03 ^a	0.91±0.03 ^c	19.02±0.38 ^{bc}	14.11±0.66 ^b	14.11±0.66 ^b	43.12±1.1 ^d	23.12±0.55 ^c	67.11±0.95 ^c	35.72±0.81 ^{cd}	35.72±0.81 ^{cd}	
D1S2F7	33.05±1.4 ^a	61444.8±1191.5 ^a	1.13±0.02 ^a	0.92±0.01 ^c	19.06±0.82 ^{bc}	14.16±0.66 ^b	14.16±0.66 ^b	46.66±1.5 ^d	26.28±1.1 ^c	66.66±0.71 ^c	36.66±0.71 ^c	36.66±0.71 ^c	
D1S2F8	33.15±1.2 ^a	58929.3±1156.3 ^{ab}	1.16±0.03 ^a	0.94±0.02 ^c	19.08±0.41 ^{bc}	14.54±0.88 ^b	14.54±0.88 ^b	44.11±1.4 ^d	24.11±0.65 ^{de}	68.15±0.86 ^{bc}	38.15±0.86 ^c	38.15±0.86 ^c	
D1S2F9	33.19±1.1 ^a	55888.3±1111.1 ^{ab}	1.18±0.01 ^a	0.95±0.01 ^c	18.99±0.54 ^{bc}	14.33±0.55 ^b	14.33±0.55 ^b	47.88±1.2 ^{cd}	27.31±1.2 ^d	67.11±0.94 ^c	37.73±0.59 ^c	37.73±0.59 ^c	
D1S2F10	33.21±1.4 ^a	60111.3±1214.1 ^a	1.21±0.03 ^a	0.97±0.03 ^c	19.23±0.37 ^b	14.14±0.37 ^b	14.14±0.37 ^b	44.81±1.7 ^d	24.81±0.55 ^c	69.15±0.88 ^b	39.15±0.77 ^c	39.15±0.77 ^c	
D1S2F11	32.66±1.2 ^a	62782.6±1287.1 ^a	1.16±0.03 ^a	0.95±0.02 ^c	19.55±0.82 ^{bc}	15.44±0.47 ^{ab}	15.44±0.47 ^{ab}	48.22±1.1 ^c	28.55±1.1 ^d	67.82±0.66 ^c	37.82±0.66 ^c	37.82±0.66 ^c	
D1S212	33.77±1.2 ^a	59893.45±1188.5 ^a	1.24±0.02 ^a	0.99±0.03 ^c	19.98±0.55 ^b	16.67±0.66 ^a	16.67±0.66 ^a	49.99±1.2 ^c	29.99±0.58 ^{cd}	69.11±0.88 ^b	39.77±0.88 ^{bc}	39.77±0.88 ^{bc}	
D1S2F13	33.27±1.1 ^a	64238.3±1181.5 ^a	1.22±0.01 ^a	0.98±0.01 ^c	19.88±0.33 ^b	15.54±0.51 ^{ab}	15.54±0.51 ^{ab}	49.15±1.4 ^c	29.77±0.66 ^{cd}	69.88±0.91 ^b	39.58±0.82 ^{bc}	39.58±0.82 ^{bc}	
D1S2F14	32.89±1.4 ^a	56829.3±1111.1 ^{ab}	1.21±0.03 ^a	0.97±0.02 ^c	19.67±0.46 ^b	15.32±0.33 ^{ab}	15.32±0.33 ^{ab}	49.49±1.5 ^c	29.49±1.1 ^d	69.88±0.91 ^b	39.42±0.88 ^c	39.42±0.88 ^c	
D1S2F15	31.99±0.99 ^{ab}	42983.9±121.5 ^c	0.91±0.02 ^b	0.85±0.01 ^d	15.67±0.82 ^{cd}	11.77±0.18 ^c	11.77±0.18 ^c	42.12±1.1 ^d	22.22±1.1 ^e	59.11±0.81 ^d	29.44±0.81 ^{de}	29.44±0.81 ^{de}	
D2S1F1	30.55±1.2 ^b	43292.7±1151.3 ^c	0.84±0.01 ^b	1.09±0.02 ^b	18.78±0.55 ^{bc}	12.99±0.49 ^b	12.99±0.49 ^b	38.55±1.3 ^e	18.55±0.76 ^c	50.24±0.91 ^d	30.24±0.91 ^d	30.24±0.91 ^d	
D2S1F2	31.55±0.99 ^b	44729.2±1111.1 ^c	0.77±0.03 ^{bc}	1.01±0.03 ^b	17.98±0.36 ^c	12.62±0.66 ^b	12.62±0.66 ^b	37.81±1.4 ^e	17.81±1.1 ^e	48.55±0.78 ^d	30.55±0.55 ^d	30.55±0.55 ^d	
D2S1F3	31.23±1.4 ^{ab}	42982.4±1151.5 ^c	0.81±0.02 ^{bc}	0.99±0.01 ^c	17.87±0.33 ^c	12.55±0.33 ^b	12.55±0.33 ^b	38.59±1.1 ^e	18.33±0.85 ^c	47.84±0.92 ^d	30.11±0.92 ^d	30.11±0.92 ^d	
D2S1F4	32.32±1.2 ^{ab}	44892.4±1155.7 ^c	0.83±0.01 ^b	0.98±0.01 ^c	18.99±0.4 ^{bc}	12.44±0.14 ^{bc}	12.44±0.14 ^{bc}	40.99±1.1 ^e	20.99±1.2 ^e	53.15±1.1 ^c	44.15±0.84 ^b	44.15±0.84 ^b	
D2S1F5	30.15±1.1 ^b	45682.4±1151.4 ^{bc}	0.91±0.02 ^b	1.08±0.02 ^b	19.01±0.55 ^{bc}	12.89±0.55 ^b	12.89±0.55 ^b	43.37±1.2 ^d	23.22±1.1 ^e	52.74±0.85 ^c	32.74±0.85 ^c	32.74±0.85 ^c	
D2S1F6	31.24±0.99 ^b	46782.4±1106.1 ^{bc}	0.95±0.03 ^b	1.17±0.03 ^a	19.02±0.82 ^{bc}	13.12±0.34 ^b	13.12±0.34 ^b	41.12±1.4 ^d	21.12±1.1 ^e	54.15±0.93 ^c	46.15±0.93 ^a	46.15±0.93 ^a	
D2S1F7	32.55±1.2 ^{ab}	45892.4±1121.1 ^{bc}	0.98±0.02 ^b	1.11±0.01 ^b	19.04±0.41 ^{bc}	13.66±0.17 ^b	13.66±0.17 ^b	44.66±1.1 ^d	24.66±0.74 ^c	52.64±0.74 ^c	32.33±0.74 ^d	32.33±0.74 ^d	
D2S1F8	30.44±0.99 ^b	47827.3±122.3 ^b	0.99±0.03 ^b	1.16±0.01 ^a	19.11±0.33 ^{bc}	13.77±0.45 ^b	13.77±0.45 ^b	42.11±1.2 ^d	22.44±0.55 ^c	55.15±0.86 ^c	45.22±0.59 ^{ab}	45.22±0.59 ^{ab}	
D2S1F9	31.77±1.1 ^{ab}	61982.8±1219.1 ^a	1.12±0.01 ^a	1.18±0.02 ^a	19.33±0.55 ^{bc}	13.88±0.66 ^b	13.88±0.66 ^b	45.88±1.5 ^d	25.88±0.65 ^d	54.04±0.92 ^c	34.11±0.92 ^d	34.11±0.92 ^d	
D2S1F10	31.32±1.2 ^{ab}	60783.1±108.9 ^a	1.11±0.02 ^a	1.15±0.03 ^b	19.34±0.41 ^{bc}	13.99±0.55 ^b	13.99±0.55 ^b	42.81±1.4 ^d	22.81±0.88 ^c	56.14±1.1 ^{de}	48.14±0.67 ^a	48.14±0.67 ^a	
D2S1F11	32.18±1.4 ^{ab}	62763.1±159.9 ^a	1.05±0.01 ^b	1.22±0.01 ^a	23.99±0.82 ^a	14.65±0.33 ^b	14.65±0.33 ^b	46.22±1.1 ^d	26.77±1.1 ^d	54.85±0.66 ^c	42.21±0.55 ^b	42.21±0.55 ^b	
D2S1F12	34.66±1.1 ^a	63893.8±1266.1 ^a	1.12±0.03 ^a	1.19±0.02 ^a	23.26±0.33 ^a	16.55±0.17 ^a	16.55±0.17 ^a	47.18±1.2 ^{cd}	27.18±1.1 ^d	56.25±0.81 ^{de}	47.25±0.81 ^{de}	47.25±0.81 ^{de}	
D2S1F13	33.66±0.99 ^a	59894.9±1133.7 ^a	1.22±0.02 ^a	1.18±0.03 ^a	24.32±0.55 ^a	16.76±0.64 ^a	16.76±0.64 ^a	47.15±1.7 ^{cd}	27.15±0.55 ^d	56.85±0.97 ^{de}	49.84±0.97 ^a	49.84±0.97 ^a	
D2S1F14	33.48±1.1 ^a	66164.8±1224.6 ^a	1.39±0.05 ^a	1.23±0.03 ^a	25.34±0.81 ^a	16.99±0.45 ^a	16.99±0.45 ^a	47.49±1.1 ^{cd}	44.83±1.1 ^a	56.13±0.78 ^{de}	46.33±0.78 ^d	46.33±0.78 ^d	
D2S1F15	33.15±1.4 ^a	44768.5±1141.5 ^c	0.99±0.01 ^b	0.89±0.01 ^d	15.56±0.82 ^{cd}	11.44±0.33 ^c	11.44±0.33 ^c	40.11±1.4 ^{de}	20.11±0.88 ^{de}	46.75±0.85 ^d	32.99±0.66 ^d	32.99±0.66 ^d	
D2S2F1	22.14±1.1 ^{de}	48345.7±151.7 ^b	0.65±0.03 ^c	1.01±0.02 ^b	12.88±0.35 ^{de}	12.99±0.47 ^b	12.99±0.47 ^b	37.5					

D2S2F8	24.14±1.2 ^a	50549.4±1201.5 ^b	0.64±0.03 ^c	1.02±0.03 ^{bc}	13.19±0.33 ^{de}	12.88±0.55 ^b	41.11±1.7 ^a	21.22±0.95 ^e	54.15±0.86 ^e	34.22±0.67 ^d
D2S2F9	24.04±0.99 ^d	52178.5±1154.9 ^b	0.69±0.01 ^c	1.04±0.02 ^b	13.22±0.25 ^d	12.55±0.47 ^{bc}	44.88±1.1 ^a	24.88±1.1 ^{de}	53.04±0.94 ^d	33.04±0.94 ^d
D2S2F10	24.18±1.1 ^a	52987.3±1131.7 ^b	0.73±0.02 ^c	1.01±0.01 ^{bc}	13.32±0.25 ^d	14.44±0.33 ^b	41.88±1.4 ^a	21.88±0.55 ^e	55.15±1.1 ^e	35.15±1.1 ^e
D2S2F11	24.88±1.2 ^d	53782.2±1121.5 ^b	0.83±0.03 ^b	0.99±0.03 ^c	13.44±0.82 ^{de}	14.99±0.11 ^{ab}	45.29±1.2 ^a	25.11±0.77 ^{de}	53.82±0.66 ^d	33.82±0.66 ^d
D2S2F12	25.11±0.99 ^{bc}	54832.98±1151.5 ^b	0.85±0.01 ^b	0.98±0.02 ^c	13.99±0.39 ^d	15.53±0.55 ^{ab}	46.11±1.7 ^a	26.11±1.1 ^d	55.25±0.88 ^e	35.88±0.77 ^c
D2S2F13	24.23±0.88 ^d	52345.8±1150.9 ^b	0.81±0.02 ^{bc}	0.95±0.01 ^c	13.88±0.25 ^d	15.33±0.66 ^{ab}	46.18±1.5 ^a	26.18±0.75 ^d	55.88±0.97 ^{de}	45.88±0.97 ^{de}
D2S2F14	23.55±1.2 ^a	51734.2±1201.1 ^b	0.79±0.03 ^c	0.99±0.03 ^c	13.77±0.77 ^d	15.02±0.47 ^{ab}	46.42±1.1 ^a	26.22±0.55 ^d	55.15±1.1 ^e	45.15±0.74 ^{ab}
D2S2F15	21.88±0.99 ^e	33657.8±1101.9 ^d	0.41±0.01 ^d	0.85±0.01 ^d	11.19±0.55 ^e	11.55±0.14 ^c	34.35±1.4 ^e	20.35±0.98 ^{de}	45.77±0.85 ¹	27.74±0.85 ^c
D3S1F1	21.99±1.1 ^e	37893.5±1198.99 ^d	0.56±0.02 ^c	0.91±0.02 ^{cd}	11.34±0.37 ^e	14.12±0.51 ^c	36.55±1.6 ^e	16.55±0.84 ^e	48.27±0.91 ^c	38.27±0.91 ^c
D3S1F2	22.09±1.2 ^{de}	39675.2±1150.8 ^c	0.55±0.01 ^c	0.87±0.03 ^d	11.23±0.33 ^e	14.01±0.68 ^b	36.71±1.5 ^e	16.55±0.65 ^e	46.52±0.78 ¹	36.52±0.71 ^c
D3S1F3	22.07±0.99 ^{de}	40128.5±1151.5 ^c	0.54±0.03 ^c	0.83±0.01 ^c	11.14±0.25 ^e	13.99±0.33 ^e	35.59±1.4 ^e	15.59±0.55 ^e	45.88±0.99 ¹	30.52±0.99 ^d
D3S1F4	23.01±0.87 ^d	40237.5±1121.3 ^c	0.53±0.02 ^c	0.94±0.01 ^c	11.56±0.55 ^e	14.55±0.48 ^b	37.11±1.1 ^d	17.11±0.85 ^e	51.11±1.1 ^d	31.11±1.1 ^d
D3S1F5	23.03±1.1 ^d	41896.3±1121.5 ^c	0.52±0.01 ^c	0.96±0.03 ^c	11.63±0.77 ^e	14.34±0.12 ^b	40.37±1.6 ^e	20.33±0.87 ^e	50.72±0.88 ¹	30.72±0.77 ^d
D3S1F6	23.04±1.2 ^d	42897.4±1131.3 ^c	0.51±0.03 ^{cd}	0.98±0.01 ^c	11.56±0.31 ^e	14.28±0.55 ^b	39.12±1.5 ^d	19.12±1.1 ^e	52.12±0.95 ^e	32.77±0.95 ^d
D3S1F7	23.08±0.99 ^{de}	44785.8±1101.6 ^c	0.59±0.02 ^c	0.99±0.02 ^c	11.71±0.23 ^e	14.88±0.66 ^b	45.99±1.7 ^d	25.99±1.1 ^{de}	50.66±0.75 ¹	29.66±0.75 ^d
D3S1F8	23.11±1.1 ^d	52762.9±1111.1 ^b	0.58±0.01 ^c	0.89±0.03 ^{cd}	11.81±0.23 ^e	14.77±0.55 ^b	39.11±1.1 ^e	19.33±0.55 ^e	53.12±0.86 ^e	29.12±0.72 ^e
D3S1F9	23.13±0.99 ^d	53652.1±1131.5 ^b	0.56±0.03 ^c	0.94±0.02 ^c	11.76±0.25 ^e	14.33±0.49 ^b	43.88±1.4 ^d	23.88±0.95 ^e	52.04±0.99 ^e	29.22±0.99 ^{de}
D3S1F10	23.15±0.88 ^d	64987.4±1204.1 ^a	0.61±0.01 ^c	1.09±0.01 ^c	11.69±0.55 ^e	14.42±0.14 ^b	39.88±1.5 ^e	19.72±0.75 ^e	54.11±1.1 ^e	29.11±1.1 ^{de}
D3S1F11	23.14±1.1 ^d	65389.3±1191.5 ^a	0.63±0.02 ^c	1.05±0.01 ^b	13.89±0.77 ^d	16.58±0.56 ^a	44.22±1.6 ^d	24.22±0.85 ^{de}	52.82±1.1 ^e	29.82±0.84 ^{de}
D3S1F12	23.34±0.99 ^d	66164.7±1225.6 ^a	0.66±0.01 ^c	1.12±0.03 ^a	14.01±0.33 ^d	15.99±0.33 ^a	45.11±1.1 ^d	25.11±1.1 ^{de}	54.22±0.88 ^e	29.77±0.58 ^e
D3S1F13	22.99±0.86 ^{de}	58734.6±1153.5 ^{ab}	0.64±0.01 ^c	1.11±0.02 ^{ab}	13.99±0.33 ^d	15.88±0.64 ^a	46.18±1.4 ^d	26.18±0.88 ^d	54.88±1.2 ^e	29.88±0.77 ^{de}
D3S1F14	23.22±1.1 ^d	62198.5±1206.1 ^a	0.61±0.02 ^c	1.23±0.03 ^a	13.88±0.77 ^{de}	16.99±0.33 ^a	47.49±1.7 ^{cd}	27.44±0.55 ^d	54.11±1.1 ^e	29.43±0.35 ^e
D3S1F15	21.92±0.99 ^e	34563.78±1121.9 ^d	0.34±0.01 ^d	0.82±0.02 ^c	11.24±0.25 ^e	10.99±0.42 ^e	35.99±1.5 ^e	15.99±1.2 ^e	44.99±0.85 ¹	28.99±0.85 ^e
D3S2F1	22.02±0.9 ^{de}	24345.67±1141.3	0.45±0.02 ^d	0.81±0.01 ^d	12.41±0.55 ^{de}	7.55±0.12 ^e	35.55±1.1 ^e	15.55±0.85 ^e	47.77±0.99 ¹	28.37±0.61 ^e
D3S2F2	22.05±1.1 ^{de}	23435.7±1101.7 ^c	0.44±0.01 ^d	0.79±0.02 ^d	12.12±0.33 ^e	7.43±0.59 ^e	34.77±1.4 ^e	14.44±0.75 ^e	45.55±0.78 ¹	29.55±0.78 ^{de}
D3S2F3	22.04±0.88 ^{de}	23989.6±1198.54 ^c	0.43±0.03 ^d	0.78±0.01 ^d	12.24±0.77 ^{de}	7.34±0.31 ^e	35.59±1.7 ^e	15.59±1.1 ^e	44.88±1.2 ¹	28.88±1.1 ^e
D3S2F4	22.09±0.99 ^{de}	24657.4±1111.9 ^c	0.46±0.01 ^d	0.82±0.03 ^d	12.31±0.33 ^e	7.77±0.33 ^e	37.11±1.5 ^e	17.11±1.2 ^e	50.11±1.1 ¹	30.33±0.87 ^d
D3S2F5	22.1±1.1 ^{de}	24345.33±1101.7 ^c	0.47±0.02 ^d	0.83±0.02 ^d	12.47±0.25 ^{de}	7.66±0.51 ^e	40.37±1.1 ^{de}	20.55±0.87 ^e	49.77±1.2 ¹	29.77±0.55 ^e
D3S2F6	22.08±0.99 ^{de}	25789.45±1121.5 ^{de}	0.49±0.01 ^d	0.84±0.01 ^d	12.55±0.77 ^{de}	7.62±0.55 ^e	38.12±1.4 ^e	18.12±1.1 ^e	51.12±0.95 ^e	31.12±0.91 ^d
D3S2F7	22.11±0.88 ^{de}	26345.6±1151.4 ^{de}	0.51±0.01 ^{cd}	0.85±0.03 ^d	12.56±0.33 ^{de}	7.99±0.14 ^{de}	41.99±1.5 ^{de}	21.99±1.3 ^e	49.66±0.75 ¹	29.55±0.75 ^e
D3S2F8	22.13±1.1 ^{de}	27348.1±1121.3 ^{de}	0.49±0.03 ^{cd}	0.86±0.01 ^d	12.61±0.55 ^{de}	7.86±0.41 ^e	39.11±1.7 ^e	19.11±1.1 ^e	52.16±0.86 ^e	32.16±0.81 ^d
D3S2F9	22.15±0.99 ^{de}	27012.23±1198.5 ^{de}	0.50±0.01 ^{cd}	0.87±0.02 ^d	12.71±0.25 ^{de}	7.68±0.33 ^e	42.88±1.1 ^d	22.55±0.88 ^{de}	51.04±1.3 ^e	31.22±1.1 ^d
D3S2F10	22.17±0.78 ^{de}	27098.4±1111.4 ^{de}	0.51±0.03 ^{cd}	0.88±0.03 ^{cd}	12.81±0.77 ^{de}	7.55±0.59 ^e	39.88±1.4 ^e	19.88±1.1 ^e	53.11±1.2 ^e	33.11±1.1 ^d
D3S2F11	23.01±1.1 ^d	31122.3±1121.3 ^d	0.55±0.02 ^c	0.86±0.01 ^d	12.89±0.33 ^{de}	8.01±0.55 ^{de}	43.22±0.98 ^d	23.22±0.77 ^{de}	51.88±1.1 ^e	31.81±0.65 ^d
D3S2F12	23.22±1.1 ^d	31245.6±1121.6 ^d	0.56±0.02 ^c	0.89±0.02 ^{cd}	13.3±0.77 ^d	8.12±0.14 ^d	44.11±1.7 ^d	24.11±1.1 ^{de}	53.22±1.4 ^e	33.26±1.1 ^d
D3S2F13	22.22±0.98 ^{de}	30987.6±1141.5 ^d	0.54±0.01 ^c	0.91±0.03 ^c	13.1±0.31 ^{de}	8.11±0.33 ^{de}	44.15±1.4 ^d	24.77±1.2 ^{de}	53.88±1.1 ^{de}	33.84±0.88 ^d
D3S2F14	21.99±0.94 ^e	29987.6±1101.7 ^c	0.53±0.01 ^c	0.92±0.02 ^c	12.9±0.25 ^{de}	8.09±0.44 ^{de}	44.42±1.1 ^d	24.66±1.1 ^{de}	53.11±1.2 ^e	33.12±0.55 ^d
D3S2F15	21.88±0.99 ^e	22134.3±1198.54 ^c	0.29±0.01 ^d	0.77±0.01 ^d	10.11±0.21 ^e	6.47±0.12 ^e	34.34±1.02 ^e	20.36±0.55 ^e	43.77±0.99 ¹	27.73±0.48 ^e

سطوح تنش خشکی [میزان تبخیر از تنش تبخیر در سطح ظرفیت مزروع (D1)، درصد (D2) و درصد تبخیر رطوبتی (D3)]، سطح پامپر سوپر جاذب [استفاده (S1) و عدم استفاده (S2)]: F: فertilizer application [grow-more 1 (F1), grow-more 2 (F2), grow-more 3 (F3), iron chelate (F4), zinc chelate (F5), grow-more 1 + iron chelate (F6), grow-more 1 + zinc chelate (F7), grow-more 2 + iron chelate (F8), grow-more 2 + zinc chelate (F9), control (F10), iron chelate (F11), grow-more 1 + iron chelate + zinc chelate (F12), grow-more 2 + iron chelate + zinc chelate (F13), grow-more 3 + iron chelate + zinc chelate (F14), control (F15)].

د: D: drought stress [field capacity (D1), 50% evaporation (D2), 75% evaporation (D3)], S: superabsorbent nano-polymer [consumption (S1), no consumption (S2)], F: fertilizer application [grow-more 1 (F1), grow-more 2 (F2), grow-more 3 (F3), iron chelate (F4), zinc chelate (F5), grow-more 1 + iron chelate (F6), grow-more 1 + zinc chelate (F7), grow-more 2 + iron chelate (F8), grow-more 2 + zinc chelate (F9), control (F10), iron chelate (F11), grow-more 1 + iron chelate + zinc chelate (F12), grow-more 2 + iron chelate + zinc chelate (F13), grow-more 3 + iron chelate + zinc chelate (F14), control (F15)].

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

د: در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر معنی دار نیستند.

متابولیت‌های ثانویه تحت تأثیر رشدونمو گیاه است که به رفتارهای فیزیولوژیکی گیاه به‌ویژه ظرفیت فتوسنتز بستگی دارد. تغییر در فعالیت فتوسنتز باعث تغییر در فعالیت متابولیکی گیاه می‌شود (Álvarez-Chávez et al., 2021; Bharathi et al., 2024; García-Villalba et al., 2023).

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر مشخص شد که کاربرد کودهای کامل گرومور، انواع کودهای ریزمغذی و نیز پلیمر سوپر جاذب منجر به افزایش چشم‌گیر و معنی‌دار صفات مختلف مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه آگاو رقم 'مارجیناتا' تحت سطوح مختلف تنش خشکی گردید که در این بین، گیاهان تیمار شده توسط کود گرومور ۱ (۲۰-۲۰-۲۰) همراه با کاربرد لیفر روی و آهن در غالب صفات مورد ارزیابی به لحاظ تغذیه بهتر بالاتر از بقیه گیاهان قرار گیرند. با توجه به تحمل بالای آگاو به خشکی، اثرگذاری پلیمر سوپر جاذب در تنش خشکی شدید (۷۵ درصد تخلیه رطوبتی) بیشتر مشهود بود. لذا جهت پژوهش‌های بعدی در زمینه گیاه آگاو آمریکانا 'م مارجیناتا' در سطوح مختلف تنش خشکی تیمار ترکیبی کود کامل گرومور (۲۰-۲۰-۲۰) به همراه مصرف لیفر روی و آهن با کاربرد نانو پلیمر سوپر جاذب پیشنهاد می‌گردد.

گونه‌های گیاهی مختلف سازوکارهای متفاوتی جهت تحمل شرایط تنش دارند. تنش کم‌آبی با کاهش بخش رویشی یا همان قسمت تعرق‌کننده گیاه و سوق دادن محصولات فتوسنتزی به سمت تولید متابولیت‌های ثانویه در راستای تحمل بیشتر گیاه به شرایط تنشی ایجادشده موجب افزایش محتوای این ترکیبات در گیاه می‌گردد، ولی چنانچه شدت تنش از آستانه تحمل گیاه فراتر رود، فتوسنتز مختل شده و در نتیجه تولید کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد که این امر به کاهش سنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها و دیگر ترکیبات فعال منجر می‌شود (Albergaria et al., 2020). تغییرات مشاهده‌شده در مقادیر هکوزن و ساپونین گیاهان تیمار شده را می‌توان به تفاوت در اثرات هر یک از تیمارهای مورد استفاده بر رشد گیاه و همچنین پاسخ گیاه به عوامل زیستی و غیرزیستی که منجر به افزایش مواد مؤثره گیاه می‌شود، نسبت داد (Álvarez-Chávez et al., 2021). مقادیر مواد مؤثره گیاهان دارویی تحت تنش خشکی، رفتار مختلفی دارند. چنانچه تحت تنش خشکی و زمان گل‌دهی، میزان ماده مؤثره آلفا-پینن^۱ در گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) کاهش ولی در اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.) افزایش یافت. همچنین ترکیبات مؤثره آلفا-پینن، لیمونن^۲ و اوکالیپتول^۳ در مریم‌گلی کاهش یافت، درحالی‌که این ترکیبات در ریحان افزایش یافتند (Kulak, 2020). در گونه‌های مرزه (Yadegari, 2022b)، تنش آبی منجر به کاهش درصد اسانس و نیز برخی از مواد مؤثره اسانس گردید. به‌طور کلی، متابولیت‌های ثانویه به گیاهان دارویی و معطر کمک می‌کنند تا گیاه به شرایط و تنش‌های محیطی مانند خشکی سازگاری بیشتری پیدا کند. به علاوه، تأثیرات ناشی از تنش در افزایش اسانس عمدتاً به علت اثر آن بر رشدونمو گیاه است. گیاهان غلظت بالایی از متابولیت‌ها را تحت شرایط کمبود آب تولید می‌کنند و مقدار کمتری از کربن را به رشد تخصیص می‌هند که نشان از یک تعادل بین دفاع و رشد می‌باشد. تنش خشکی با تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه از طریق مسیرهای متابولیکی در گیاهان دارویی و معطر که برخی از آنها ناشناخته هستند سبب تغییرات میزان کمی و کیفی متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Sidana et al., 2016). تنش خشکی با اختلال در فتوسنتز و تنفس، درصد و ترکیب شیمیایی اسانس را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال، تنش خشکی در حد ملایم، توانست میزان برخی از ترکیبات مؤثره و مهم نظیر تیمول یک ترکیب فنلی را در گیاهان دارویی آویشن دناهی و آویشن باغی افزایش دهد (Askary et al., 2018).

- 1- Alpha-pinene
- 2- Limonene
- 3- Eucalyptol

References

1. Aghaei, K., Ghasemi Pirbalouti, A., Mousavi, A., Naghdi Badi, H. A., & Mehnatkesh A. M. (2022). Effects of different fertilizers and the foliar application of L-phenylalanine on mineral contents of hyssop [*Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.)]. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 4(2), 13-28. (In Persian). <https://doi.org/10.22070/hpn.2021.4639.1038>
2. Albergaria, E. T., Oliveira, A. F., & Albuquerque, U. P. (2020). The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 131, 12-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2020.02.002>
3. Alizadeh, A., Moghaddam, M., Asgharzade, A., & Mahmoodi Sourestani, M., (2020). Phytochemical and physiological response of *Satureja hortensis* L. to different irrigation regimes and chitosan application. *Industrial Crops and Products*, 158, 112990. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112990>
4. Almrani, H. A. (2019). Effect of chemical fertilizers (NPK) in the growth two species of henbane and total alkaloids content. *Iraq Journal of Agriculture*, 24(1), 52-61.
5. Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L., & Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). Agave by-products: An overview of their nutraceutical value, current applications, and processing methods. *Polysaccharides*, 2, 720-743. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030044>
6. Amissah, J. N., Alorvor, F. E., Okorley, B. A., Asare, C. M., Osei-Safo, D., Appiah-Opong, R., & Addae-Mensah, I. (2022). Mineral fertilization influences the growth, cryptolepine yield, and bioefficacy of *Cryptolepis sanguinolenta* (Lindl.) Schl. *Plants*, 11(1), 122. <https://doi.org/10.3390/plants11010122>
7. Arnon, D. I. (1975). Physiological principles of dry land crop production. In: U.S. Gupta (Ed.) *Physiological Aspects of Dry Land Farming*, 3-14. Oxford Press.
8. Asgarian, M., Aminifard, M. H., Khayat, M., & Jahani, M. (2019). Evaluation of different level of complete fertilizer NPK and folic acid on morphological properties, yield and yield components of *Ocimum basilicum* L. *Journal of Agroecology*, 11, 1375-1388. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.73422>
9. Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Mahmoodi, S., & Jamialahmadi, M. (2018). Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 111, 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056>
10. Babaei, Kh., Moghaddam, M., & Farhadi, N. (2021). Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284, 110-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116>
11. Babalar, M., Mohtashami, S., Tabrizi, L., & Roushan, V. (2020). Effect of ammonium sulfat on yield properties and phytochemical properties of savory (*Satureja hortensis* L. Saturn). *Journal of Horticultural Science*, 51, 273-286. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.265743.1511>
12. Bagherifard, A., Hamidoghli, Y., HasanBeiglouei, M., & Orang Ghaedi, M. (2020). Effects of drought stress and superabsorbent polymer on morpho-physiological and biochemical traits of caper (*Capparis spinosa* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 14, 13-20. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.20.14.01.p1418>
13. Bani Taba, A., Yadegari, M., & Naderi Darfaghshahi, M. R. . (2025). The biochemical properties of *Satureja* species affected by micronutrients, genotype, and locations in drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 24, 82. <https://doi.org/10.1007/s44447-025-00105-9>
14. Beiranvandi, M., Akbari, N., Ahmadi, A., Momivand, H., & Nazarian F. (2020). Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of *Satureja rechingeri* Jamzad essential oil under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36, 780-793. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342067.2732>
15. Bharathi, T. U., Lallawmzuali, R., & Kirthishree, S. P. (2024). Diversity in flower morphology of the single-type tuberose (*Agave amica* Medik.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, 4239-4254. <https://doi.org/10.1007/s10722-024-01906-7>
16. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72, 248-250. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
17. Caser, M., Chitarra, W., Angiolillo, F., & Perrone, I. (2019). Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. *Industrial Crops and Products*, 129, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.068>
18. Danesh-Shahraki, H., Ghasemi Pirbalouti, A., & Rajabzadeh, F. (2023). Water deficit stress mitigation by the foliar spraying of salicylic acid and proline on the volatile oils and growth features of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 26, 115-129. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2160279>
19. Dere, S., Güneş, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22(1), 13-18.

20. Esch, E. H., Lipson, D. A., & Cleland, E. E. (2019). Invasion and drought alter phenological sensitivity and synergistically lower ecosystem production. *Ecology*, 100, 34-45. <https://doi.org/10.1002/ecy.2802>
21. Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J., & De Swaef, T. (2020). Physiological and biochemical responses of forage grass varieties to mild drought stress under field conditions. *International Journal of Plant Production*, 14, 335-353. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00088-3>
22. Fathi, B., Reezi, S., Rouhi, V., & Ghobadi Neya, M. (2017). Effect of different levels of superabsorbent and vermicompost on qualitative and quantitative traits of gazania (*Gazania hybrida*) in green roof condition. *Journal of Horticultural Science*, 48, 423-429. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.206858.1011>
23. García-Villalba, W. G., Rodríguez-Herrera, R., Ochoa-Martínez, L. A., Quiñones, O. M., López, M. G., Gallegos-Infante, J. A., & Quiñones, G. B. (2023). Comparative study of four extraction methods of fructans (agavins) from *Agave durangensis*: Heat treatment, ultrasound, microwave and simultaneous ultrasound-microwave. *Food Chemistry*, 415, 135767. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135767>
24. Gustafson, A. F. (2010). Handbook of Fertilizers- Their Sources, Make-up, Effects and Use. Read Books. 325 p.
25. Hackman, D. A., Giese, N., Markowitz, J. S., McLean, J., Ottariano, S. J., Tonelli, C., Weissner, W., Welch, S., & Catherine, U. (2006). Agave (*Agave americana*). *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 6(2), 101-122.
26. Hamed, B., Ghasemi Pirbalouti, A., & Rajabzadeh, F. (2022). Responses to morpho-physiological, phytochemical, and nutritional characteristics of Damask Rose (*Rosa damascena* Mill.) to the applied of organic and chemical fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(17), 1-17. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2070634>
27. Han, R. C., Xu, Z. R., Li, C. Y., Rasheed, A., Pan, X. H., Shi, Q. H. & Wu, Z. M. (2022). The removal of nitrate reductase phosphorylation enhances tolerance to ammonium nitrogen deficiency in rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(3), 631-643. [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63473-6](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63473-6)
28. Hayati, A., Rahimi, M. M., Kelidari, A., & Hosseini, S. M. (2021). Effects of humic acid and iron nanochelate on osmolytes content of black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(5), 809-821. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.354715.2995>
29. Hoseini, A., Heidari, H., Nosrati, A., & Khorami Vafa, M. (2020). Investigating effect of water-superabsorbent polymer on growth and leaf relative water content in foxtail millet (*Setaria italica*) under drought condition. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2, 231-240. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.269609.1083>
30. Javadi, H., Mousavi, Gh., Seghatoleslami, M. J., & Kermani, F. (2021). Effect of organic and chemical improvers application on yield and essential oil percentage of dill (*Anethum graveolens* L.) under water deficit stress conditions. *Plant Productions*, 44, 283-294. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.30621.1806>
31. Jokar, A., Sateei, A., Ebadi, M., & Ahmadi Gelsefidi, M. (2021). Effect of some nitrogen fertilizers on yield, alkaloid content and physiological properties in *Agave americana* cv. Marginata under greenhouse condition. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 16, 111-126. (In Persian).
32. Khorasani, H., Rajabzadeh, F., Mozafari, H., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2023). Water deficit stress impairment of morphophysiological and phytochemical traits of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) buffered by humic acid application. *South African Journal of Botany*, 154, 365-371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.030>
33. Kulak, M. (2020). Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products*, 154, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112695>
34. Mahmodi, A., Yadegari, M., & Hamed, B. (2020). Effect of vermi-compost, nitrogen and phosphorus fertilizers on morphological and phytochemical properties of *Mentha piperita* L. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 15, 84-99. (In Persian).
35. Malakoti, M. J., & Davodi, M. H. (2002). Zn Forgotten Nutrient in Life Cycle of Plant. Sana Issuance, 209 p. (In Persian).
36. Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. San Diego: Academic Press. pp. 379-396.
37. Mashahiri, Y., Hasanpour Asil, M., Khaledian, M., & Farhangi, M. (2023). Effect of superabsorbent polymer and potassium silicate on morphophysiological and biochemical characteristics of daffodil (*Narcissus tazetta* L. cv. Shahla) flower under irrigation regimes. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 24, 485-502. (In Persian). <http://journal-irshs.ir/article-1-619-en.html>
38. Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R., & Shayganfar, A. (2021). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*, 164, 113381. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113381>
39. Nasiri, Y., Shekari, F., & Asadi, M. (2020). Effect of biofertilizer and zinc sulphate on some morphological characters, yield and essential oil of *Satureja hortensis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36, 523-541. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.341271.2685>

40. Pirzad, A., Darvishzadeh, R., & Hasani, A. (2017). Seed yield and essential oil responses of cumin to different irrigation regimes and super absorbent levels in Urmia climatic conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 1, 1-12. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.01.01.01>
41. Rezaee, Z., & RafeolHoseini, M. (2017). Physiological response of *Foeniculum vulgare* Mill. to manure fertilizer and superabsorbent under drought stress. *Ecophysiology of Crop Science*, 43, 547-564. <https://sanad.iau.ir/Journal/jcep/Article/956799/FullText>
42. Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2001). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. 2nd Ed. Available from ICARDA, Aleppo, Syria.
43. Sasani, N., Pâques, L. E., Boulanger, G., & Singh, A. P. (2021). Physiological and anatomical responses to drought stress differ between two larch species and their hybrid. *Trees*, 35, 1467-1484. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02129-4>
44. Sidana, J., Singh, B., & Sharma, P. (2016). Saponins of *Agave*: Chemistry and bioactivity. *Journal of Phytochemistry*, 130, 22-46. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.06.010>
45. Thakur, M., & Kumar, R. (2020). Foliar application of plant growth regulators modulates the productivity and chemical profile of Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) under mid hill conditions of the western Himalaya. *Industrial Crop Products*, 158, 113024. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113024>
46. Trejo, L., Soriano, D., Romano-Grande, E., Sánchez-Carmona, B., & Dávila-Navarro, D. E. (2023). Diversity of reproductive characters, seed set, and viability of *Agave* seeds used for pulque production and their wild relatives in Tlaxcala, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, 2877-2903. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01803-5>
47. Wibowo, S. T. (2007). Kandungan Hormone IAA, Serpan Hara, Dan Pertumbuhan Beberapa Tanaman Budidaya Sebagai Respon Terhadap Aplikasi Pupuk Biologi Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 432 pp.
48. Yadegari, M. (2022a). The effects of foliar application of some micronutrient elements on the content and composition of the essential oil of Damask rose (*Rosa damascena* Mill.). *Iran Agricultural Research*, 41(2), 35-49. <https://doi.org/10.22099/iar.2022.42152.1467>
49. Yadegari, M. (2022b). Effects of NPK, botamisol, and humic acid on morphophysiological traits and essential oil of three *Satureja* species under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(1), 61-80. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.356264.3073>
50. Yadegari, M. (2022c). Effects of NPK, botamisol, and humic acid on morphophysiological traits and essential oil of three *Thymus* species under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 2, 301-321. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.357303.3119>
51. Yadegari, M. (2024a). The effects of foliar application of some important micronutrient elements on essential oil content and components of *Dracocephalum kotschy* Boiss. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 7(1), 81-98. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2024.7079.1351>
52. Yadegari, M. (2024b). Effects of some biological and chemical fertilizers on morphophysiological characters and essential oil in *Rosa damascena* Mill. in drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 12, 417-440. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/12.57.417>