University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 15, No. 3, Autumn 2025 (319-330)
doi: 10.22124/CR.2025.31214.1874
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Effect of dose and application timing of Medax Top on grain yield components of two forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars

Hassan Alishahi[1], Majid AghaAlikhani[2], Farid Golzardi[3*] and Foad Moradi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Research Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (* Corresponding author: f.golzardi@areeo.ac.ir)
4. Research Associate Professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

The growing global population, diminishing freshwater resources, and climate change have imposed additional pressure on agriculture in arid and semi-arid regions. One of the appropriate solutions for managing limited water resources is the cultivation of drought tolerant crops with high water use efficiency such as sorghum. Forage sorghum is a promising option due to its high tolerance to drought and heat, efficient water use, and considerable dry-matter production; however, the low grain yield of open-pollinated cultivars has limited the expansion of this crop in the country. Open-pollinated cultivars offer advantages over hybrids such as greater genetic diversity, adaptability to poor soils, and lower seed-production costs, but they require increased grain production potential. Plant growth regulators like mepiquat chloride+prohexadione calcium (Medax Top 35% SC) have been shown to increase grain number, thousand-grain weight, and grain yield in various cereals such as wheat, rice, and maize; nonetheless, very limited information exists on their effects on grain-production potential in forage sorghum. The present study aimed to evaluate the effect of dose and application timing of the growth regulator Medax Top on grain yield components of two open-pollinated forage sorghum cultivars and to identify the optimal combination of dose and application timing.

Materials and methods

This research was carried out as a factorial split-plot experiment in a randomized complete block design with sixteen treatments and three replications at the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, during the 2023 and 2024 growing seasons. The factorial combination of Medax Top dose and application timing was assigned to main plots, and the sorghum cultivars to sub-plots. Medax Top dose was evaluated at four levels: zero (control), 0.5, 1, and 2 L.ha^{-1}; foliar-spray timing was at two levels: the 3-4 leaf stage and the 6-8 leaf stage; and cultivars included two open-pollinated forage sorghum cultivars, Mansour and Behesht. The evaluated traits were panicle density, grains per panicle, grains per plant, grains per square meter, thousand-grain weight, plant height, panicle to plant weight ratio, grain yield, and grain protein content. Given homogeneity of experimental error variances across both years, data were subjected to combined analysis of variance using SAS 9.1, and mean comparisons were performed by LSD at the 5 % significance level.

Research findings

The results showed that application of Medax Top as a growth regulator significantly improved grain-yield components of forage sorghum. Increasing dose enhanced grains per plant, grains per square meter, and 1000-grain weight. The maximum panicle density (40.9 panicles.m^{-2}) was achieved with 1 L.ha^{-1} of Medax Top applied at the 3-4 leaf stage. The highest grains per panicle (721) were recorded in cultivar Mansour with 2 L.ha^{-1} during the first year, whereas the greatest grains per plant (1,134) and per

square meter (18,970) occurred in cultivar Beheshte with 2 L.ha^{-1} during the second year. The highest 1000-grain weight (25.3 g) was obtained in Mansour with 1-2 L.ha^{-1} in the second year. Application of 0.5, 1, and 2 L.ha^{-1} of Medax Top increased the ratio of panicle to plant weight by 71 %, 109 %, and 180 %, respectively. The maximum grain protein content (9.66 %) resulted from 2 L.ha^{-1} applied at the 6-8 leaf stage. Overall, the results of this experiment showed that Medax Top application at 3-4 leaf stage had a greater positive effect on all grain yield components of forage sorghum, while for grain protein content, application of Medax Top at 6-8 leaf stage was more effective.

Conclusion

The results of this study indicated that foliar application of the growth regulator Medax Top is an effective and practical method for improving yield components and grain quality of open-pollinated forage sorghum cultivars. Application of 1-2 L.ha^{-1} of Medax Top, especially at the 3-4 leaf stage, enhanced panicle density, grain number, and thousand-grain weight, thereby significantly boosting grain yield. For grain production of the Mansour cultivar, 1 L.ha^{-1} is sufficient, whereas cultivar Beheshte responds best to 2 L.ha^{-1}. Early application at the 3-4 leaf stage strengthens photosynthate allocation to reproductive organs, maximizing yield components, conversely, for elevating grain protein content, application at the 6-8 leaf stage is preferred.

Keywords: Grain number, Open-pollinated cultivar, Plant growth regulator, Protein content, Thousand-grain weight

Received: July 17, 2025 Accepted: August 12, 2025

Cite this article:

Alishahi, H., AghaAlikhani, M., Golzardi, F., & Moradi, F. (2025). Effect of dose and application timing of Medax Top on grain yield components of two forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars. *Cereal Research*, *15*(3), 319-330. doi: 10.22124/CR.2025.31214.1874.

تحقیقات غلات
دوره پانزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴ (۳۳۰-۳۱۹)
doi: 10.22124/CR.2025.31214.1874
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

اثر دُز و زمان مصرف مداکس‌تاپ بر اجزای عملکرد دانه دو رقم سورگوم علوفه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

حسن علیشاهی[۱]، مجید آقاعلیخانی[۲]، فرید گل‌زردی[۳*] و فواد مرادی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (* نویسنده مسئول: f.golzardi@areeo.ac.ir)
۴- دانشیار پژوهش، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده جامع

مقدمه: افزایش جمعیت جهانی همراه با کاهش منابع آب شیرین و تغییرات اقلیمی، فشار مضاعفی بر کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک وارد کرده است. یکی از راه‌کارهای مناسب برای مدیریت منابع محدود آب، کشت گیاهان متحمل به خشکی با بهره‌وری زیاد آب مانند سورگوم است. سورگوم علوفه‌ای به‌دلیل تحمل زیاد در برابر کم‌آبی و گرما، کارایی مصرف آب مناسب و تولید ماده خشک قابل‌توجه، گزینه‌ای امیدبخش است، اما عملکرد دانه کم در رقم‌های آزادگرده‌افشان آن، توسعه کشت این محصول را در کشور محدود کرده است. رقم‌های آزادگرده‌افشان نسبت به هیبریدها، مزیت‌هایی از قبیل تنوع ژنتیکی بیش‌تر، سازگاری با خاک‌های نامرغوب و هزینه کم‌تر تولید بذر دارند، اما نیازمند افزایش پتانسیل تولید دانه هستند. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند مپی‌کوات کلراید و پروهگزادیون کلسیم (مداکس‌تاپ) در غلات مختلف نظیر گندم، برنج و ذرت، سبب افزایش تعداد دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شده‌اند، اما اطلاعات بسیار کمی در مورد تأثیر کاربرد این ترکیبات بر پتاسیل تولید دانه سورگوم علوفه‌ای وجود دارد. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر دُز و زمان مصرف تنظیم‌کننده رشد مداکس‌تاپ بر اجزای عملکرد دانه دو رقم آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای و شناسایی ترکیب بهینه دُز و زمان مصرف انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت فاکتوریل-کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شانزده تیمار و سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی دو سال زراعی ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ اجرا شد. دُز و زمان مصرف تنظیم‌کننده رشد مداکس‌تاپ به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و رقم در کرت‌های فرعی ارزیابی شد. دُز مداکس‌تاپ در چهار سطح شامل صفر (شاهد)، نیم، یک و دو لیتر در هکتار، زمان محلول‌پاشی در دو سطح شامل مراحل ۴-۳ برگی و ۸-۶ برگی و رقم‌های آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای نیز در دو سطح شامل منصور و بهشت بودند. صفات ارزیابی‌شده در این مطالعه شامل تراکم خوشه، تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در متر مربع، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، نسبت وزن خوشه به بوته، عملکرد دانه و محتوای پروتئین دانه بودند. با توجه به همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی طی دو سال، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. همنین برای مقایسه میانگین‌ها نیز از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج نشان داد کاربرد مداکس‌تاپ به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، اجزای عملکرد دانه سورگوم علوفه‌ای را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید، به‌نحوی‌که با افزایش دُز مصرف مداکس‌تاپ، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در متر مربع و وزن هزار دانه افزایش یافت. بیشینه تراکم خوشه (۴۰/۹ خوشه در متر مربع) با کاربرد یک لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی حاصل شد. بیش‌ترین تعداد دانه در خوشه (۷۲۱ دانه) با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در رقم منصور در سال اول ثبت شد، درحالی‌که بیش‌ترین تعداد دانه در بوته (۱۱۳۴ دانه) و دانه در متر مربع (۱۸۹۷۰ دانه) با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در رقم بهشت در سال دوم به‌دست آمد. بیشینه وزن هزار دانه (۲۵/۳ گرم) نیز با کاربرد یک و دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در رقم منصور در سال دوم مشاهده شد. با کاربرد نیم، یک و دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ، نسبت وزن خوشه به بوته به‌ترتیب ۷۱، ۱۰۹ و ۱۸۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیش‌ترین محتوای پروتئین دانه (۹/۶۶ درصد) نیز با کاربرد دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در مرحله ۸-۶ برگی حاصل شد. در مجموع، نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی اثر مثبت بیش‌تری بر تمامی اجزای عملکرد دانه سورگوم علوفه‌ای داشت، در حالی‌که در مورد محتوای پروتئین دانه، کاربرد مداکس‌تاپ در مرحله ۸-۶ برگی مؤثرتر بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد مداکس‌تاپ، روشی موثر و عملی برای بهبود اجزای عملکرد و کیفیت دانه رقم‌های آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای است. کاربرد یک تا دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ به‌ویژه در مرحله ۴-۳ برگی، موجب افزایش تراکم خوشه، تعداد دانه و وزن هزار دانه شد و در نهایت عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. برای تولید دانه در رقم منصور، دُز یک لیتر در هکتار مداکس‌تاپ کفایت می‌کند، در حالی‌که رقم بهشت بهترین پاسخ را به دُز دو لیتر در هکتار نشان داد. کاربرد زودهنگام مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی، تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی را تقویت و بیشینه عملکرد و اجزای عملکرد دانه را تولید کرد، در حالی‌که اگر هدف افزایش محتوای پروتئین دانه باشد، کاربرد مداکس‌تاپ در مرحله ۸-۶ برگی اولویت دارد.

واژه‌های کلیدی: تعداد دانه، تنظیم‌کننده رشد گیاهی، رقم آزادگرده‌افشان، محتوای پروتئین، وزن هزار دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۱

نحوه استناد به این مقاله:

علیشاهی، حسن، آقاعلیخانی، مجید، گل‌زردی، فرید، و مرادی، فواد. (۱۴۰۴). اثر دُز و زمان مصرف مداکس‌تاپ بر اجزای عملکرد دانه دو رقم سورگوم علوفه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *تحقیقات غلات*، ۱۵(۳)، ۳۳۰-۳۱۹.
doi: 10.22124/CR.2025.31214.1874

مقدمه

افزایش جمعیت جهانی و فشار روزافزون بر منابع آب شیرین، امنیت غذایی را به‌ویژه در مناطق کم‌بارش و نیمه‌خشک با چالشی اساسی مواجه کرده است (Nazari *et al*., 2017; Ghalkhani *et al*., 2023). تغییرات اقلیمی، شامل افزایش دما و نوسانات بارندگی، مصرف آب در بخش کشاورزی را تشدید و ثبات تولیدات زراعی را تهدید کرده است (Baghdadi *et al*., 2023). در این شرایط، توسعه گیاهان متحمل به کم‌آبی که بتوانند با مصرف بهینه منابع آبی، عملکرد پایداری ارائه دهند، ضروری به‌نظر می‌رسد (Pourali *et al*., 2023). سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) به‌دلیل سازگاری با تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی و گرما، کارآیی زیاد در مصرف آب و ظرفیت تولید ماده خشک قابل‌توجه، یکی از گزینه‌های امیدبخش برای تأمین علوفه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک است (Sürmen & Kara, 2022; Mirahki *et al*., 2023). با این‌حال، یکی از چالش‌های اصلی توسعه کشت این گیاه، عملکرد دانه کم در رقم‌های آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای است که تولید بذر کافی برای گسترش سطح زیر کشت آن را محدود می‌کند. این موضوع ضمن کاهش بهره‌وری اقتصادی کشاورزان، زنجیره تأمین بذر را نیز تضعیف می‌کند و خوداتکایی کشور را در تأمین بذر با چالش روبرو می‌سازد (Tavazoh *et al*., 2024). رقم‌های آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای نسبت به انواع هیبرید، مزیت‌های مختلفی دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به تحمل بیش‌تر در برابر شرایط نامساعد محیطی و خاک‌های نامرغوب، نیاز کم‌تر به نهاده‌ها و تنوع ژنتیکی بیش‌تر اشاره کرد (Mirahki *et al*., 2023; Tavazoh *et al*., 2024). همچنین، فرآیند تولید بذر این رقم‌ها ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است و بنابراین مناسب کشاورزان کوچک‌مقیاس است و تکثیر داخلی آن می‌تواند وابستگی به واردات بذر را کاهش و خوداتکایی کشور را افزایش دهد. با توجه به این مطالب، افزایش پتانسیل تولید دانه این رقم‌ها در شرایط کم‌آبی روبه‌رشد و افزایش تقاضای علوفه در ایران ضروری است (Ghalkhani *et al*., 2023; Mirahki *et al*., 2023).

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله عامل‌های مؤثر در کنترل رشد و بهبود عملکرد گیاهان زراعی هستند. این ترکیبات از طریق متابولیسم هورمون‌های گیاهی، به‌ویژه مهار مسیرهای تولید جیبرلین، توانایی تغییر در تسهیم منابع و تنظیم رشد گیاه را دارند و می‌توانند عملکرد دانه و اجزای آن را بهبود بخشند (Rademacher, 2015). ترکیبات پروهگزادیون کلسیم و مپی‌کوات کلراید به‌عنوان اجزای اصلی تنظیم‌کننده رشد مداکس‌تاپ، در غلاتی نظیر گندم و برنج باعث مقاومت به خوابیدگی و افزایش تعداد دانه، وزن هزار دانه و محتوای پروتئین دانه شده‌اند (Na *et al*., 2011; Mykhalska *et al*., 2019; Bozek *et al*., 2019; Kolev & Todorov, 2023). کاربرد مداکس‌تاپ باعث افزایش تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و محتوای پروتئین خام و گلوتن دانه گندم دوروم شده است (Kolev & Todorov, 2023). همچنین، کاربرد مپی‌کوات کلراید عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت را بهبود بخشید (Kamran *et al*., 2018). در برنج نیز کاربرد مپی‌کوات کلراید و پروهگزادیون کلسیم باعث اختصاص بیش‌تر مواد فتوسنتزی از ساقه و برگ‌ها به دانه‌ها و افزایش عملکرد شلتوک شده است (Kim *et al*., 2007; Na *et al*., 2011; Gorgizadeh *et al*., 2020). همچنین، کاربرد پروهگزادیون کلسیم در بادام‌زمینی (Studstill *et al*., 2020) و مپی‌کوات کلراید در پنبه (Murtza *et al*., 2022; Luo *et al*., 2023; Priyadarshini *et al*., 2023) عملکرد و بهره‌وری محصول را افزایش داده است.

جمع‌بندی یافته‌های یاد شده تاییدی بر پتانسیل زیاد تنظیم‌کننده‌های رشد در مدیریت ساختار گیاه و افزایش کارآیی تولید است. با این‌حال، اطلاعات موجود در مورد کاربرد این ترکیبات در سورگوم علوفه‌ای، به‌ویژه در زمینه بهبود پتانسیل تولید بذر، بسیار محدود است. بیش‌تر پژوهش‌ها در سایر غلات به‌ویژه گندم انجام شده و اثرات دُزها و زمان‌های کاربرد تنظیم‌کننده‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه رقم‌های آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای به‌طور جامع بررسی نشده است. این خلأ مطالعاتی از آن جهت اهمیت دارد که تولید بذر رقم‌های آزاد گرده‌افشان سورگوم می‌تواند نقش کلیدی در کمک به خودکفایی کشاورزی و کاهش هزینه‌های تولید در مناطق کم‌آب ایفا کند. درک اثرات تنظیم‌کننده رشد مداکس‌تاپ بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه رقم‌های آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای، به‌عنوان یک راهنمای عملی برای تولیدکنندگان بذر، می‌تواند به بهبود مدیریت زراعی و انتخاب رقم مناسب کمک کند و زمینه‌ساز کاهش وابستگی به واردات بذر، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و توسعه پایدار کشت سورگوم در مناطق خشک کشور شود. با توجه به مطالب ذکر شده، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات اجزای عملکرد دانه

رقم‌های آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر دزها و زمان‌های مختلف مصرف مداکس‌تاپ و شناسایی ترکیب بهینه دُز و زمان مصرف آن به‌منظور افزایش عملکرد و محتوای پروتئین دانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا شد. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالانه ۲۶۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۴ درجه سلسیوس است. خاک مزرعه دارای باقت لوم رسی با pH برابر با ۷/۲، هدایت الکتریکی ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر و میزان ماده آلی ۰/۵ درصد بود. زمین در نظر گرفته شده برای کشت، در سال زراعی قبل به‌صورت آیش نگهداری شده بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک‌زنی و تسطیح با استفاده از لولر انجام شد. تاریخ کاشت در هر دو سال ۱۱ خردادماه بود و آبیاری به روش قطره‌ای نواری انجام شد. کود مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک و نیاز کودی سورگوم، شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم بود که در زمان کاشت به زمین اضافه شد و همچنین، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نیز به‌صورت سرک در مرحله چهار تا شش برگی سورگوم مصرف شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل- کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. دُز و زمان کاربرد تنظیم‌کننده رشد مداکس‌تاپ (Medax Top SC 35%) حاوی ۳۰۰ گرم در لیتر مپی‌کوات کلراید و ۵۰ گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم به‌عنوان عامل اصلی و دو رقم سورگوم علوفه‌ای آزادگرده‌افشان (منصور و بهشت) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. دُز مداکس‌تاپ در چهار سطح، شامل صفر (شاهد)، نیم، یک و دو لیتر در هکتار و زمان کاربرد در دو سطح، شامل مراحل ۳-۴ برگی و ۸-۶ برگی بود. محلول‌پاشی مداکس‌تاپ با استفاده از سمپاش پشتی کالیبره‌شده انجام و در تیمار شاهد، آب معمولی (بدون تنظیم‌کننده رشد) محلول‌پاشی شد تا اثرات خنک‌کنندگی و رطوبت‌رسانی آن با سایر تیمارها یکسان باشد و ایجاد خطا نکند. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول شش متر بود و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و بین بوته‌ها روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد ده بوته تصادفی از هر کرت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه، انتخاب و فاصله سطح خاک تا نوک خوشه با استفاده از خط‌کش فلزی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تراکم خوشه، تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در متر مربع، وزن هزار دانه، نسبت وزن خوشه به بوته، محتوای پروتئین دانه و عملکرد دانه، بوته‌های دو ردیف میانی از هر کرت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه برداشت شدند. تراکم خوشه در متر مربع، با تقسیم تعداد بوته‌ها و خوشه‌های برداشت‌شده بر مساحت زمین محاسبه و تعداد دانه در خوشه نیز پس از خرمنکوبی با دستگاه بذرشمار شمارش شد. برای تعیین وزن هزار دانه، چهار نمونه ۱۰۰۰ عددی از دانه‌های هر کرت با ترازوی دیجیتال وزن و میانگین وزن هزار دانه محاسبه شد. برای اندازه‌گیری نسبت وزن خوشه به بوته، خوشه‌های پنج بوته تصادفی از دو ردیف میانی هر کرت توزین و سپس به‌مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، خشک و مجدداً توزین شدند تا درصد ماده خشک آن‌ها محاسبه شود. سپس با تقسیم وزن خشک خوشه به کل زیست‌توده، نسبت وزن خوشه به بوته به‌دست آمد. محتوای پروتئین دانه نیز با روش لوری (Lowry *et al.*, 1951) اندازه‌گیری شد. با توجه به همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی طی دو سال (بر اساس نتایج آزمون بارتلت)، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تراکم خوشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تراکم خوشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال و دُز مداکس‌تاپ و برهمکنش دُز×زمان مصرف مداکس‌تاپ قرار گرفت (جدول ۱). تراکم خوشه در سال دوم (۳۸/۳ خوشه در متر مربع) حدود ۴۲ درصد بیش‌تر از سال اول (۲۷/۰ خوشه در متر مربع) بود (جدول ۲). با افزایش دُز مداکس‌تاپ از صفر به دو لیتر در هکتار، تراکم خوشه از ۲۲/۶ به ۳۸/۰ عدد افزایش یافت. دُزهای نیم، یک و دو لیتر در هکتار به‌ترتیب باعث افزایش ۴۱، ۷۰ و ۶۸ درصدی تراکم خوشه نسبت به شاهد شدند. بررسی برهمکنش دُز×زمان مصرف مداکس‌تاپ نشان داد که بیش‌ترین تراکم خوشه (۴۰/۹ خوشه در متر مربع) با مصرف یک لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی

حاصل شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد مداکس‌تاپ با مهار بیوسنتز جیبرلین، تقسیم سلولی و رشد ساقه را تعدیل و توسعه اندام‌های زایشی را تسهیل می‌کند (Bozek *et al*., 2019). همچنین احتمالاً کاربرد زودهنگام تنظیم‌کننده به دلیل همزمانی با مرحله تمایز خوشه، اثرگذاری بیش‌تری دارد (Kim *et al*., 2007).

تعداد دانه

اثرات اصلی هیچ‌یک از عامل‌ها بر تعداد دانه در خوشه معنی‌دار نبود، اما برهمکنش سال×دُز، سال×رقم و سال×دُز ×رقم بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۱). بیش‌ترین تعداد دانه در خوشه (۷۲۱ دانه) با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در رقم منصور در سال اول حاصل شد که ۱۰۴ درصد نسبت به شاهد برتری داشت (جدول ۴). هان و همکاران (Han *et al*., 2011) با انجام مطالعه مشابهی روی سورگوم شیرین نشان دادند که مهار سنتز جیبرلین توسط تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر پروهگزادیون کلسیم باعث تمرکز گیاه به‌سمت تولید اندام‌های زایشی و افزایش تعداد دانه می‌شود.

تعداد دانه در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال، دُز، زمان مصرف و برهمکنش سال×دُز، دُز×زمان مصرف، زمان مصرف×رقم و سال×دُز×رقم قرار گرفت (جدول ۱). تعداد دانه در بوته در سال دوم حدود ۳۴ درصد بیش‌تر از سال اول بود. بیش‌ترین تعداد دانه در بوته (۹۹۸ عدد) با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ حاصل شد که ۱۰۹ درصد بیش‌تر از شاهد بود. همچنین، کاربرد مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی، هشت درصد تعداد دانه بیش‌تری نسبت به مرحله ۸-۶ برگی تولید کرد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش دُز×زمان مصرف نشان داد که مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در هر دو مرحله ۴-۳ برگی و ۸-۶ برگی، بیش‌ترین تعداد دانه در بوته (به‌ترتیب ۹۹۹ و ۹۹۶ عدد) را تولید کرد که نسبت به شاهد حدود ۱۰۹ درصد برتری داشت. کاربرد دُزهای نیم و یک لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی نسبت به مرحله ۸-۶ برگی اثر مثبت بیش‌تری بر تعداد دانه در بوته داشت، درحالی‌که در دُز دو لیتر در هکتار، تفاوت معنی‌داری بین دو زمان مصرف مشاهده نشد (جدول ۳). رقم بهشت در سال دوم با کاربرد دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ، بیش‌ترین تعداد دانه در بوته (۱۱۳۴ عدد) را تولید کرد که نسبت به شاهد حدود ۲۴۰ درصد برتری داشت (جدول ۴). پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش داده‌اند که کاربرد مپی‌کوات کلراید و پروهگزادیون کلسیم از طریق تغییر در توزیع مواد فتوسنتزی و انتقال بهتر آن‌ها از بخش‌های رویشی (ساقه و برگ) به دانه‌ها، تعداد دانه در خوشه را در برنج افزایش دادند (Na *et al*., 2011; Gorgizadeh *et al*., 2020).

برای تعداد دانه در متر مربع اثر سال، دُز، سال×دُز، دُز ×زمان مصرف و سال×دُز×رقم معنی‌دار بود (جدول ۱). تعداد دانه در متر مربع در سال دوم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سال اول بود. بیش‌ترین تعداد دانه (۱۶۸۲۳ دانه در متر مربع) در تیمار دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ مشاهده شد که نسبت به شاهد ۱۱۳ درصد افزایش داشت (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد دانه (۱۶۹۰۳ عدد) با کاربرد دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی مشاهده شد که نسبت به شاهد حدود ۱۱۶ درصد برتری داشت. کاربرد دُزهای نیم و یک لیتر در هکتار در مرحله ۴-۳ برگی به‌ترتیب ۱۹/۵ و ۹/۶ درصد برتری نسبت به مرحله ۸-۶ برگی نشان داد، در حالی‌که در دُز دو لیتر در هکتار این تفاوت غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد دانه (۱۸۹۷۰ دانه در مترمربع) در رقم بهشت با کاربرد دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ طی سال دوم به‌دست آمد که حدود ۲۴۳ درصد بیش‌تر از شاهد بود (جدول ۳). در مطالعه‌ای مشابه، کاربرد مداکس‌تاپ باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله و پنجه‌های بارور گندم دوروم در مقایسه با شاهد شد (Kolev & Todorov, 2023). نتایج یک مطالعه دیگر نشان داد که کاربرد مپی‌کوات کلراید منجر به افزایش تعداد دانه در بلال در گیاه ذرت شد (Kamran *et al*., 2018).

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که اثرات اصلی سال، دُز مداکس‌تاپ و رقم و برهمکنش سال×دُز، دُز×زمان مصرف، سال×دُز×رقم، سال×زمان مصرف×رقم و دُز×زمان مصرف×رقم بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۱). وزن هزار دانه در سال دوم حدود شش درصد بیش‌تر از سال اول بود. با افزایش دز مصرف مداکس‌تاپ، وزن هزار دانه افزایش یافت، به‌نحوی‌که دُز دو لیتر در هکتار باعث افزایش ۱۴ درصدی وزن هزار دانه نسبت به شاهد شد. همچنین، وزن هزار دانه رقم منصور (۲۳/۴۵ گرم) حدود ۲۰ درصد بیش‌تر از رقم بهشت (۱۹/۵۲ گرم) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش دُز×زمان مصرف نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه (۲۳/۰۷ گرم) با کاربرد دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی حاصل شد که نسبت به شاهد حدود ۱۵ درصد برتری داشت (جدول ۳). بیش‌ترین وزن هزار دانه

(۲۵/۳ گرم) با کاربرد یک و دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در رقم منصور طی سال ۱۴۰۳ به‌دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۴۰ درصد برتری داشت (جدول ۴). برهمکنش دُز×زمان مصرف×رقم نیز نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه (۲۴/۶۲ گرم) در رقم منصور با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی حاصل شد. بیش‌ترین وزن هزار دانه رقم بهشت (۲۱/۵۲ گرم) نیز در همین ترکیب تیماری ثبت شد. کاربرد مداکس‌تاپ در هر سه دُز در مرحله ۴-۳ برگی، اثر مثبت بیش‌تری بر وزن هزار دانه نسبت به مرحله ۸-۶ برگی داشت (جدول ۳ و شکل ۱). به‌طور مشابه، کاربرد مپی‌کوات کلراید با کاهش رشد رویشی و تغییر الگوی توزیع مواد فتوسنتزی، موجب تحریک تولید غوزه و در نهایت افزایش معنی‌دار وزن دانه در گیاه پنبه شد (Murtza *et al*., 2022; Luo *et al*., 2023; Priyadarshini *et al*., 2023). همچنین، نیکولوف و دلچف (Nikolov & Delchev, 2021) گزارش کردند که کاربرد مداکس‌تاپ در گندم دوروم منجر به بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب اثر دُز و زمان مصرف مداکس‌تاپ بر اجزای عملکرد و محتوای پروتئین دانه دو رقم سورگوم علوفه‌ای

Table 1. Combined analysis of variance for the effects of dose and application timing of Medax Top on grain yield components and protein content of two forage sorghum cultivars

Source of variation	df	Mean square								
		Panicle density	No. of grains per panicle	No. of grains per plant	No. of grains per m^2	1000-grain weight	Panicle to plant weight ratio	Plant height	Grain yield	Grain protein content
Year (Y)	1	3080.4**	22506^{ns}	1146907**	323907190**	42.80*	0.1661**	2.2971*	24.52**	1.46^{ns}
Rep/Y	4	46.0	4473	26572	7682499	4.16	0.0014	0.1321	0.85	1.34
Dose (A)	3	7653.4*	153778^{ns}	1163274*	340076642*	33.88*	0.1382*	4.5439*	21.76*	13.34*
Y×A	3	814.2**	284839**	94054**	27150383**	4.91**	0.0111**	0.2615**	2.07**	1.07^{ns}
Timing (B)	1	115.7^{ns}	10^{ns}	71887*	18268405^{ns}	4.04^{ns}	0.0205^{ns}	0.2915^{ns}	1.54*	0.76^{ns}
Y×B	1	13.1^{ns}	1085^{ns}	34^{ns}	135902^{ns}	0.10^{ns}	0.0006^{ns}	0.0027^{ns}	0.01^{ns}	0.02^{ns}
A×B	3	99.3*	1357^{ns}	26156**	6389125*	0.40**	0.0030^{ns}	0.0802**	0.55*	0.07*
Y×A×B	3	10.6^{ns}	1590^{ns}	328^{ns}	185998^{ns}	0.10^{ns}	0.0004^{ns}	0.0006^{ns}	0.03^{ns}	0.01^{ns}
Error $_{(AB)}$	28	20.1	6880	5374	1414547	1.15	0.0003	0.0136	0.07	0.28
Cultivar (C)	1	30.8^{ns}	69752^{ns}	41542^{ns}	11859610^{ns}	370.13*	0.0023^{ns}	0.7579^{ns}	9.12^{ns}	1.13^{ns}
Y×C	1	153.0**	40685*	11638^{ns}	2963848^{ns}	0.53^{ns}	0.0001^{ns}	0.0625*	0.65**	0.01^{ns}
A×C	3	50.0^{ns}	47395^{ns}	174662^{ns}	44337256^{ns}	1.41^{ns}	0.0038^{ns}	0.0328^{ns}	1.48^{ns}	0.09^{ns}
Y×A×C	3	35.4^{ns}	27340*	36066*	9579526*	0.24**	0.0010^{ns}	0.0437*	0.40*	0.08^{ns}
B×C	1	2.3^{ns}	885^{ns}	1675*	323^{ns}	0.10^{ns}	0.0001^{ns}	0.0018^{ns}	0.01^{ns}	0.09^{ns}
Y×B×C	1	0.7^{ns}	125^{ns}	7^{ns}	54817^{ns}	0.10**	0.0001^{ns}	0.0036^{ns}	0.01^{ns}	0.01^{ns}
A×B×C	3	6.0^{ns}	847^{ns}	379^{ns}	64113^{ns}	0.13**	0.0001^{ns}	0.0091^{ns}	0.02^{ns}	0.02^{ns}
Y×A×B×C	3	8.4^{ns}	2938^{ns}	2117^{ns}	35908^{ns}	0.10^{ns}	0.0003^{ns}	0.0027^{ns}	0.04^{ns}	0.03^{ns}
Error $_{(C)}$	32	17.6	7849	5055	1441247	0.80	0.0002	0.0125	0.63	0.78
CV (%)	-	12.85	11.94	9.37	9.47	6.17	7.11	5.52	8.81	10.21

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سال، رقم و دُز و زمان مصرف مداکس‌تاپ بر اجزای عملکرد و محتوای پروتئین دانه سورگوم علوفه‌ای

Table 2. Comparison of means for the effects of year, cultivar, and dose and application timing of Medax Top on grain yield components and protein content of forage sorghum

Factor		Panicle density per m^2	No. of grains per panicle	No. of grains per plant	No. of grains per m^2	1000-grain weight (g)	Panicle to plant weight ratio	Plant height (m)	Grain yield ($t.ha^{-1}$)	Grain protein (%)
Year	2023	27.0 b	419 a	649 b	10829 b	20.81 b	0.15 b	2.18 a	2.34 b	8.52 a
	2024	38.3 a	388 a	868 a	14503 a	22.15 a	0.23 a	1.87 b	3.35 a	8.77 a
Dose	Control	22.6 b	353 a	478 c	7882 c	20.02 b	0.10 c	2.52 a	1.66 c	7.80 c
	0.5 L/ha	31.8 a	372 a	713 bc	11944 bc	21.11 ab	0.17 bc	2.21 ab	2.58 b	8.37 bc
	1 L/ha	38.4 a	367 a	846 ab	14015 ab	22.03 ab	0.21 ab	1.88 bc	3.28 a	8.85 ab
	2 L/ha	38.0 a	523 a	998 a	16823 a	22.77 a	0.28 a	1.50 c	3.88 a	9.56 a
Timing	3-4 leaf	33.8 a	403 a	786 a	13102 a	21.69 a	0.20 a	1.97 a	2.98 a	8.56 a
	6-8 leaf	31.6 a	404 a	731 b	12230 a	21.28 a	0.17 a	2.08 a	2.72 b	8.73 a
Cultivar	Mansour	32.1 a	431 a	780 a	13018 a	23.45 a	0.19 a	1.94 a	3.16 a	8.54 a
	Behesht	33.2 a	377 a	738 a	12315 a	19.52 b	0.18 a	2.12 a	2.54 a	8.75 a

Means followed by similar letter in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

جدول ۳- برهمکنش دُز×زمان مصرف مداکس‌تاپ بر اجزای عملکرد و محتوای پروتئین دانه سورگوم علوفه‌ای

Table 3. Interaction effect of dose×application timing of Medax Top on grain yield components and protein content of forage sorghum

Treatment		Panicle density per m^2	No. of grains per plant	No. of grains per m^2	1000-grain weight (g)	Plant height (m)	Grain yield ($ton.ha^{-1}$)	Grain protein (%)
Dose ($L.ha^{-1}$)	Timing							
Control	3-4 leaf	21.6 d	476 e	7837 e	20.04 g	2.51 a	1.65 e	7.79 g
	6-8 leaf	23.5 d	481 e	7928 e	20.00 g	2.53 a	1.67 e	7.82 g
0.5	3-4 leaf	34.4 b	776 c	13009 c	21.40 e	2.10 c	2.87 c	8.22 f
	6-8 leaf	29.2 c	650 d	10879 d	20.82 f	2.32 b	2.30 d	8.51 e
1	3-4 leaf	40.9 a	893 b	14662 b	22.24 c	1.78 e	3.50 b	8.75 d
	6-8 leaf	35.8 b	799 c	13369 c	21.82 d	1.98 d	3.05 c	8.94 c
2	3-4 leaf	38.2 ab	999 a	16903 a	23.07 a	1.50 f	3.88 a	9.46 b
	6-8 leaf	37.8 ab	996 a	16744 a	22.48 b	1.51 f	3.87 a	9.66 a

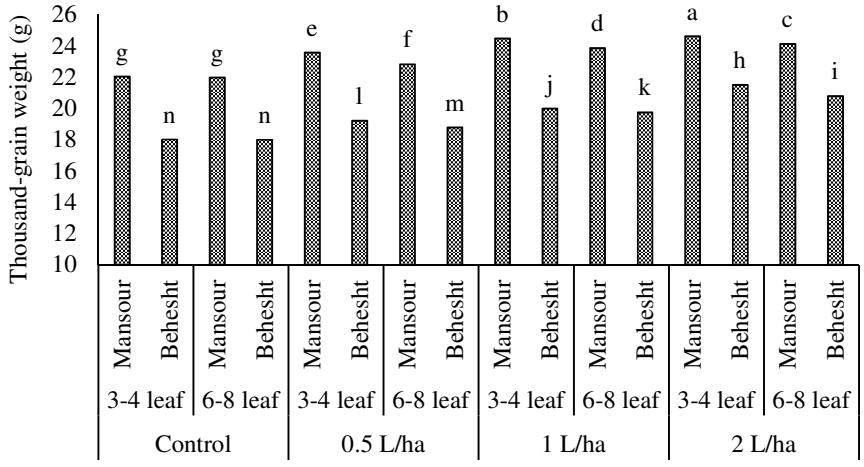
Means followed by similar letter in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

جدول ۴- برهمکنش سال×رقم×دُز مصرف مداکس‌تاپبر اجزای عملکرد دانه سورگوم علوفه‌ای

Table 4. Interaction effect of year×cultivar×application dose of Medax Top on grain yield components of forage sorghum

Year	Dose ($L.ha^{-1}$)	Cultivar	No. of grains per panicle	No. of grains per plant	No. of grains per meter	1000-grain weight (g)	Plant height (m)	Grain yield ($ton.ha^{-1}$)
2023	0	Mansour	338 def	489 e	8004 f	21.80 g	2.47 b	1.85 fg
		Behesht	278 ef	349 f	5860 g	18.03 m	2.59 a	1.06 h
	0.5	Mansour	299 ef	542 e	9218 e	22.55 e	2.31 d	2.09 ef
		Behesht	334 def	543 e	8844 ef	18.67 l	2.42 bc	1.73 g
	1	Mansour	343 de	709 d	11804 d	23.03 d	2.01 f	2.67 d
		Behesht	360 cde	673 d	11050 d	18.93 k	2.15 e	2.22 e
	2	Mansour	721 a	898 c	14996 c	23.43 c	1.68 h	3.66 c
		Behesht	679 a	994 b	16860 b	20.07 i	1.83 g	3.46 c
2024	0	Mansour	554 b	744 d	12142 d	22.23 f	2.35 cd	2.70 d
		Behesht	241 f	333 f	5524 g	18.02 m	2.66 a	1.03 h
	0.5	Mansour	444 c	887 c	14936 c	23.87 b	1.93 fg	3.62 c
		Behesht	412 cd	881 c	14778 c	19.35 j	2.18 e	2.88 d
	1	Mansour	409 cd	1006 b	16575 b	25.32 a	1.50 i	4.54 a
		Behesht	354 cde	997 b	16632 b	20.83 h	1.85 g	3.67 c
	2	Mansour	337 def	963 bc	16469 b	25.33 a	1.25 j	4.11 b
		Behesht	356 cde	1134 a	18970 a	22.25 f	1.25 j	4.27 ab

Means followed by similar letter in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.



شکل ۱- برهمکنش رقم×دُز×زمان مصرف مداکس‌تاپبر وزن هزار دانه سورگوم علوفه‌ای

Figure 1. Interaction effect of cultivar×dose×application timing of Medax Top on 1000-grain weight of forage sorghum

نسبت وزن خوشه به بوته

نتایج نشان داد که اثرات اصلی سال و دُز مداکس‌تاپ و برهمکنش سال×دُز مصرف بر نسبت وزن خوشه به بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). این صفت در سال ۱۴۰۳ نسبت به ۱۴۰۲ حدود ۵۳ درصد افزایش نشان داد. همچنین، با افزایش دُز مصرف، نسبت وزن خوشه به بوته افزایش یافت، به‌نحوی که کاربرد نیم، یک و دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ باعث افزایش به‌ترتیب ۷۱، ۱۰۹ و ۱۸۰ درصدی این نسبت شد (جدول ۲). هر چند کاربرد مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی باعث افزایش ۱۵ درصدی نسبت خوشه به بوته در قیاس با مرحله ۸-۶ برگی شد، ولی این تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۲). افزایش نسبت وزن خوشه به بوته با افزایش دُز مصرف مداکس‌تاپ نشان‌دهنده نقش مداکس‌تاپ در تخصیص منابع فتوسنتزی از رشد رویشی به رشد زایشی است (Rademacher, 2015). هان و همکاران (Han *et al*., 2011) گزارش کردند که مهار جیبرلین توسط تنظیم‌کننده رشد پروهگزادیون کلسیم، تمرکز گیاه را به سمت تولید اندام‌های زایشی هدایت می‌کند. کامران و همکاران (Kamran *et al*., 2018) نیز نشان دادند که کاربرد مپی‌کوات کلراید، باعث کاهش رشد رویشی و بهبود رشد اندام زایشی ذرت می‌شود.

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال و دُز مداکس‌تاپ و برهمکنش سال×دُز، سال×رقم، دُز×زمان مصرف و سال×دُز×رقم قرار گرفت (جدول ۱). ارتفاع بوته در سال اول حدود ۱۷ درصد بیش‌تر از سال دوم بود. با افزایش دُز مصرف مداکس‌تاپ، ارتفاع بوته کاهش یافت، به‌نحوی که کاربرد نیم، یک و دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ منجر به کاهش به‌ترتیب ۱۲، ۲۵ و ۴۰ درصدی این صفت شد (جدول ۲). بررسی برهمکنش دُز×زمان مصرف نشان داد که کمینه ارتفاع بوته (۱/۵ متر) با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ به‌دست آمد و در این دُز، تفاوت معنی‌داری بین دو زمان مصرف وجود نداشت، در حالی‌که کاربرد دُزهای نیم و یک لیتر در هکتار در مرحله ۴-۳ برگی نسبت به مرحله ۸-۶ برگی اثر بیش‌تری بر کاهش ارتفاع بوته نشان داد (جدول ۳). بررسی برهمکنش سال×دُز×رقم نیز نشان داد که کم‌ترین ارتفاع بوته در هر دو رقم (۱/۲۵ متر) با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در سال دوم مشاهده شد (جدول ۴). به‌طور مشابه، کاربرد پروهگزادیون کلسیم در برنج (Kim *et al*., 2007) و مپی‌کوات کلراید در ذرت (Kamran *et al*., 2018) نیز موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شد. به‌نظر می‌رسد مپی‌کوات کلراید و پروهگزادیون کلسیم با جلوگیری از سنتز جیبرلین و کاهش تقسیم و رشد سلولی منجر به کاهش ارتفاع بوته می‌شوند (Rademacher, 2015).

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که اثرات اصلی سال، دُز و زمان مصرف و برهمکنش سال×دُز، سال×رقم، دُز×زمان مصرف و سال×دُز×رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). عملکرد دانه در سال دوم حدود ۴۳ درصد بیش‌تر از سال اول بود. با افزایش دُز مصرف مداکس‌تاپ عملکرد دانه نیز افزایش یافت. همچنین، کاربرد مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی نسبت به ۸-۶ برگی، عملکرد دانه را حدود نه درصد بهبود بخشید (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد دانه با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ به‌دست آمد و در این دُز، تفاوت معنی‌داری بین دو زمان مصرف مشاهده نشد، در حالی‌که در دُزهای نیم و یک لیتر در هکتار، کاربرد زودهنگام مداکس‌تاپ اثر مثبت بیش‌تری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش سال×دُز×رقم نیز نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۴/۵۴ تن در هکتار) با مصرف یک لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در رقم منصور در سال دوم به‌دست آمد. در مقابل در رقم بهشت، بیش‌ترین عملکرد دانه (۴/۲۷ تن در هکتار) با مصرف دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در سال دوم مشاهده شد (جدول ۴). مطالعات مشابه نیز نشان داده‌اند که پروهگزادیون کلسیم و مپی‌کوات کلراید از طریق بهینه‌سازی توزیع مواد فتوسنتزی و هدایت آن‌ها به سمت اندام‌های زایشی، نقش مؤثری در افزایش عملکرد دانه گندم ایفا می‌کنند (Bozek *et al*., 2019; Mykhalska *et al*., 2019; Kolev & Todorov, 2023). کاربرد پروهگزادیون کلسیم در بادام زمینی نیز منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد (Studstill *et al*., 2020).

محتوای پروتئین دانه

نتایج نشان داد که اثر دُز و برهمکنش دُز×زمان مصرف تنظیم‌کننده رشد مداکس‌تاپ بر محتوای پروتئین دانه سورگوم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش دُز مصرف محتوای پروتئین دانه نیز افزایش یافت، به‌نحوی‌که کاربرد نیم، یک و دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ، باعث افزایش به‌ترتیب ۷، ۱۳ و ۲۳ درصدی این صفت شد (جدول ۲). بیش‌ترین پروتئین دانه (۹/۶۶

درصد) با کاربرد دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ در مرحله ۶- ۸ برگی حاصل شد که نسبت به شاهد حدود ۲۴ درصد برتری داشت. در هر سه دُز مصرف مداکس‌تاپ، کاربرد در مرحله ۸-۶ برگی نسبت به مرحله ۴-۳ برگی اثر مثبت بیش‌تری بر محتوای پروتئین دانه داشت (جدول ۳). کاربرد مداکس‌تاپ در گندم دوروم نیز موجب افزایش محتوای پروتئین دانه شد (Kolev & Todorov, 2023).

نتیجه‌گیری کلی

به‌نظر می‌رسد کاربرد تنظیم‌کننده رشد مداکس‌تاپ می‌تواند راه‌کاری مؤثر و کاربردی برای بهبود اجزای عملکرد و کیفیت دانه سورگوم باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد یک تا دو لیتر در هکتار مداکس‌تاپ به‌ویژه در مرحله ۴-۳ برگی، موجب بهبود تراکم خوشه، تعداد دانه و وزن هزار دانه و افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. همچنین، برای تولید بذر در رقم منصور، کاربرد دُز یک لیتر در هکتار مداکس‌تاپ مناسب بود، در حالی‌که در رقم بهشت، دُز دو لیتر در هکتار نتیجه بهتری داشت. کاربرد زودهنگام مداکس‌تاپ با تمایز خوشه هم‌زمان است و تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی را تقویت می‌کند. بنابراین، اگر هدف افزایش عملکرد دانه سورگوم است، کاربرد مداکس‌تاپ در مرحله ۴-۳ برگی مناسب است، اما اگر افزایش محتوای پروتئین دانه مد نظر باشد، کاربرد آن در مرحله ۸-۶ برگی اولویت دارد. به‌طورکلی، نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد مداکس‌تاپ در زمان مناسب، علاوه بر بهبود کارایی استفاده از منابع، می‌تواند منجر به بهبود اجزای عملکرد و کیفیت دانه در مزارع تولید بذر رقم‌های آزادگرده‌افشان سورگوم علوفه‌ای شود.

سپاسگزاری

از حمایت‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در اجرای این طرح تحقیقاتی با کد مصوب ۰۳-۰۳-۰۳۰۵-۰۲۴-۰۱۰۳۱۲ سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین، این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده است و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان با چاپ این مقاله به‌صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Baghdadi, A., Golzardi, F., & Hashemi, M. (2023). The use of alternative irrigation and cropping systems in forage production may alleviate the water scarcity in semi-arid regions. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, *103*(10), 5050-5060. doi: 10.1002/jsfa.12574.

Bozek, K. S., Winnicki T., & Zuk-Golaszewska K. (2019). The effects of seeding rate, mineral fertilization and a growth regulator on the economic and energy efficiency of durum wheat production. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, *18*(3), 133-144. doi: 10.37660/aspagr.2019.18.3.4.

Ghalkhani, A., Golzardi, F., Khazaei, A., Mahrokh, A., Illés, Á., Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., & Széles, A. (2023). Irrigation management strategies to enhance forage yield, feed value, and water-use efficiency of sorghum cultivars. *Plants*, *12*(11), 2154. doi: 10.3390/plants12112154.

Gorgizadeh, M., Lak, Sh., & Gilani, A. (2020). Assessment of the role of growth reduction factors on some morphophysiological and yield indicators of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in climate condition of Khuzestan. *Journal of Plant Production Science*, *10*(1), 164-175. [In Persian].

Han, L. P., Guo, X., Yu, Y., Duan, L., Rao, M. S., & Xie, G. H. (2011). Effect of prohexadione-calcium, maleic hydrazide and glyphosine on lodging rate and sugar content of sweet sorghum. *Research on Crops*, *12*(1), 230-238.

Kamran, M., Ahmad, I., Wang, H., Wu, X., Xu, J., Liu, T., Ding, R., & Han, Q. (2018). Mepiquat chloride application increases lodging resistance of maize by enhancing stem physical strength and lignin biosynthesis. *Field Crops Research*, *224*, 148-159. doi: 10.1016/j.fcr.2018.05.011.

Kim, H. Y., Lee, I. J., Hamayun, M., Kim, J. T., Won, J. G., Hwang, I. C., & Kim, K. U. (2007). Effect of prohexadione calcium on growth components and endogenous gibberellins contents of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy & Crop Science*, *193*(6), 445-451. doi: 10.1111/j.1439-037X.2007.00280.x.

Kolev, T., & Todorov, Z. (2023). Testing of retardants on durum wheat. S*cientific Papers*, *Series A*, *Agronomy*, *66*(1), 378-383.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, *193*(1), 265-275.

Luo, H., Zhang, Z., Wu, J., Wu, Z., Wen, T., & Tang, F. (2023). Effects of mepiquat chloride and plant population density on leaf photosynthesis and carbohydrate metabolism in upland cotton. *Journal of Cotton Research*, *6*(1), 20. doi: 10.1186/s42397-023-00157-8.

Mirahki, I., Ardakani, M. R., Golzardi, F., Paknejad, F., Mahrokh, A., & Faraji, S. (2023). Yield, water use efficiency and silage feeding value of sorghum cultivars as affected by planting date and planting method. *Gesunde Pflanzen*, *75*(5), 1963-1973. doi: 10.1007/s10343-022-00822-z.

Murtza, K., Ishfaq, M., Akbar, N., Hussain, S., Anjum, S. A., Bukhari, N. A., AlGarawi, A.M., & Hatamleh, A. A. (2022). Effect of mepiquat chloride on phenology, yield and quality of cotton as a function of application time using different sowing techniques. *Agronomy*, *12*(5), 1200. doi: 10.3390/agronomy12051200.

Mykhalska, L. M., Makoveychuk T. I., & Schwartau V. V. (2019). Application of fertilizer megafol and retardants of acylcyclohexadione class on winter wheat crops. *Plant Physiology & Genetics*, *51*(6), 541-548. doi: 10.15407/frg2019.06.541.

Na, C. I., Hamayun, M., Khan, A. L., Kim, Y. H., Choi, K. I., Kang, S. M., Kim, S. I., Kim, J. T., Won, J. G., & Lee, I. J. (2011). Influence of prohexadione-calcium, trinexapac-ethyl and hexaconazole on lodging characteristic and gibberellin biosynthesis of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*, *10*(61), 13097-13106.

Nazari, S., Aboutalebian, M. A., & Golzardi, F. (2017). Seed priming improves seedling emergence time, root characteristics and yield of canola in the conditions of late sowing. *Agronomy Research*, *15*(2), 501-514.

Nikolov, P., & Delchev, G. (2021). Photosynthetic activity and productivity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) affected by certain preparations and various terms of sowing. *Agricultural Science & Technology*, *13*(3), 250-254. doi: 10.15547/ast.2021.03.039.

Pourali, S., Aghayari, F., Ardakani, M. R., Paknejad, F., & Golzardi, F. (2023). Benefits from intercropped forage sorghum–red clover under drought stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, *75*(5), 1769-1780. doi: 10.1007/s10343-023-00833-4.

Priyadarshini, M., Nagabhushanam, U., & Reddy, K. (2023). Effect of different doses and scheduling time of plant growth regulators and defoliants on growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under high density planting system. *International Journal of Environment & Climate Change*, *13*(10), 2252-2260. doi: 10.9734/ijecc/2023/v13i102888.

Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, *34*, 845-872. doi: 10.1007/s00344-015-9541-6.

Studstill, S. P., Monfort, W. S., Tubbs, R. S., Jordan, D. L., Hare, A. T., Anco, D. J., Sarver, J. M., & Ferguson, J. C. (2020). Influence of prohexadione calcium rate on growth and yield of peanut (*Arachis hypogaea*). *Peanut Science*, *47*(3), 163-172. doi: 10.3146/PS20-11.1.

Sürmen, M., & Kara, E. (2022). Forage yield and quality performances of sorghum genotypes in Mediterranean ecological conditions. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *19*(2), 331-339. doi: 10.25308/aduziraat.1193628.

Tavazoh, M., Habibi, D., Golzardi, F., Ilkaee, M. N., & Paknejad, F. (2024). Effect of drought stress on morpho-physiological characteristics, nutritive value, and water-use efficiency of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] varieties under various irrigation systems. *Brazilian Journal of Biology*, *84*, e286121. doi: 10.1590/1519-6984.286121.