DOI: 10.22092/spj.2025.369835.1427

"نهال و بذر"
جلد ۴۰، شماره ۳، سال ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

اثر کاربرد خاکی سولفات منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی

Effect of Soil Application of Magnesium Sulfate on Fruit Quantitative and Quality Characteristics of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Mazafati

بهاره دامن کشان[1*]، بهمن پناهی[2] و جواد فرخی تولیر[3]

۱- مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
۲- دانشیار، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

چکیده

دامن کشان، ب.، پناهی، ب. و فرخی تولیر، ج. ۱۴۰۳. اثر کاربرد خاکی سولفات منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی. **نهال و بذر ۴۰:** ۳۸۶-۳۶۳

منیزیم از جمله عناصر غذایی مؤثر بر عملکرد، کیفیت و طعم میوه خرما است. در این پژوهش، اثر کاربرد خاکی سولفات‌منیزیم (MgSO4.7H2O) بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما رقم مضافتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات‌منیزیم به‌صورت کاربرد خاکی در هر درخت)، بر روی ۱۲ نفر نخل خرمای ۲۰ ساله رقم مضافتی در دو سال زراعی (۱۴۰۱ و۱۴۰۲) در نخلستانی در بروات از توابع شهرستان بم در استان کرمان بررسی شد. نتایج نشان داد اثر سطوح تیمار سولفات¬منیزیم بر عملکرد میوه درخت، قطر میوه، میزان مواد جامد محلول کل (TSS) خرما و غلظت منیزیم در برگ در سطح احتمال یک درصد و بر طول هسته خرما در سطح احتمال پنج درصد معنی¬دار بود. بیشترین عملکرد میوه درخت (۷۴/۶۶ کیلوگرم در درخت)، بیشترین قطر میوه (۲/۳۱ سانتی‌متر) و بالاترین مقدار TSS میوه (۶۶/۳۳ درصد) مربوط به تیمار سولفات منزیم به میزان ۲۵۰ گرم در هر درخت بود. بیشترین میزان منیزیم در برگ (۰/۱۸۸۳ درصد) و کمترین طول هسته (۱/۹۸ سانتی‌متر) در تیمار ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم ثبت شد. این یافته‌ها نقش حیاتی سولفات‌منیزیم را در بهینه‌سازی بهره‌وری عملکرد و کیفیت میوه نخل خرما رقم مضافتی برجسته کرده و بر ضرورت مدیریت مناسب و بهینه کودهای دارای عنصر منیزیم در نخلستان های منطقه تاکید می کند. بنابراین، استفاده بهینه از سولفات‌منیزیم می‌تواند به عنوان راهکاری عملی جهت ارتقاء کمیت و کیفیت میوه خرما رقم مضافتی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خرما، صفات پومولوژیکی، قطر میوه، عملکرد میوه، نخلستان.

* نگارنده مسئول: damankeshan_2@yahoo.com تلفن: ۰۳۴۳۲۱۱۲۳۹۱

2024© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

نخل خرما (*Phoenix dactylifera* L.) از قدیمی‌ترین درختان میوه کشت شده در جهان است (Hussain *et al.*, 2020). کشت و پرورش نخل خرما با توجه به نیازهای اندک رشدی، اهمیت اقتصادی، تولید میوه مغذی و پایدار بودن آن، به‌عنوان محصولی مقرون به‌صرفه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به‌سرعت رو به گسترش می‌باشد (Fernández-López *et al.*, 2022). کشور ایران با تولید ۱۲۸۳۴۹۹ تن خرما ۱۳/۵ درصد از تولید دنیا را به خود اختصاص داده است و تولید این محصول در پنج سال اخیر، رشد ۲۴/۳ درصدی داشته است (FAO, 2022).

استان کرمان با سهم ۱۵/۸ درصدی پس از استان سیستان و بلوچستان، در رتبه دوم تولید خرما در کشور قرار دارد (Anonymous, 2022). هرچند در سال‌های اخیر در این استان، تغذیه درختان خرما به‌دلیل خسارت عارضه خشکیدگی خوشه خرما، اهمیت بیشتری یافته است، اما در اکثر نخلستان ها، این مهم بر اساس آزمون‌های خاک و برگ انجام نمی‌شود. نتایج آزمون خاک راهنمایی مفید برای تنظیم راهبردهای کوددهی فراهم می‌کند و اطمینان می‌دهد که مصرف کودها با شرایط خاک و نیازهای خاص درختان همخوانی دارد (Obreza *et al.*, 2020). تجزیه برگ ارزیابی مستقیمی از وضعیت تغذیه‌ای درخت ارائه می‌دهد و امکان شناسایی کمبودها یا مسمومیت‌های عناصرغذایی را فراهم می‌کند (De Mello Prado and Rozane, 2020). مقایسه سطح عناصرغذایی در برگ‌ها با استانداردهای مشخص به تنظیم برنامه‌های کوددهی کمک می‌کند (Bould, 1963).

ترکیب آزمایش خاک و تجزیه برگ دیدگاهی جامع از تغذیه درختان ارائه می‌دهد و امکان اتخاذ تصمیمات مدیریتی بهتر را با در نظرگرفتن شرایط خاک و سلامت گیاه فراهم‌می‌کند (Pushparajah, 1994; Qureshi and Srivastava, 1966). علائمی مانند تغییر رنگ برگ‌ها و رشد کَم درخت نیازمند پایش دقیق و مداخلات به‌موقع است (Aiswarya. *et al.*, 2023) اگرچه کمبود عناصر و عدم تعادل تغذیه‌ای در محصولات باغی بر اساس بروز علائم ظاهری و رنگ‌پریدگی گیاه قابل تشخیص است ولی این علائم معمولا زمانی ظاهر می‌شوند که آسیب جدی به رشد گیاه وارد شده و کاهش غیرقابل برگشتی در عملکرد ایجاد شده است (Barker and Pilbeam, 2015).

منیزیم عنصری است که در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان نقش دارد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد غلظت بحرانی منیزیم برای تشکیل زیست‌توده و محصول حدود ۱/۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک (معادل ۰/۰۲ درصد) است (Cakmak and Kirkby, 2008). اما غلظت بحرانی منیزیم ممکن است در گیاهان مختلف متفاوت باشد و به نوع فرآیند گیاهی نیز بستگی دارد. مطالعات نشان داده اند که حساسیت فرآیندهای فتوسنتزی به کمبود منیزیم

کمتر از حساسیت تشکیل زیست‌توده است (Tränkner *et al.*, 2019).

منیزیم برای فتوسنتز و سنتز کلروفیل ضروری است و نقش مهمی در متابولیسم و رشد گیاهان دارد. کاربرد کافی منیزیم برای جلوگیری از کمبودهایی که می‌تواند منجر به کاهش محتوای کلروفیل و اختلال در رشد گیاه شود ضروری است (Assis, 2024; Li *et al.*, 2022). در دسترس بودن منیزیم در خاک تحت‌تأثیر برهمکنش آن با کاتیون های دیگر مانند پتاسیم (K) و کلسیم (Ca) است که می‌توانند با منیزیم برای جذب توسط گیاهان رقابت کند (Assis, 2024; Mayland and Wilkinson, 1989). منیزیم در خاک بسیار متحرک است که می‌تواند منجر به آبشویی قابل‌توجه آن به ویژه در خاک‌های شنی با هدایت الکتریکی بالا شود (Senbayram *et al.*, 2015; Gransee and Führ s, 2013).

گرم شدن خاک جذب منیزیم را در گیاهان بهبود می‌بخشد (Li *et al.*, 2022). دماهای بالا می‌تواند آزادسازی منیزیم از مواد معدنی خاک را افزایش داده و دسترسی آن را در محلول خاک برای جذب گیاه افزایش دهد (Senbayram *et al.*, 2015). دمای بالا اثر تنش های غیرزیستی را تشدید می‌کند، منیزیم در این شرایط به افزایش تحمل گیاه کمک می‌کند (Gransee and Führs, 2013). در حالی که دماهای بالا می‌توانند جذب منیزیم را افزایش دهند، اما می‌توانند خطر شستشوی منیزیم را نیز افزایش دهند، به ویژه در مناطقی که بارندگی شدید یا آبیاری زیاد دارند. این اثر دوگانه بر اهمیت راهبردهای کوددهی متعادل تأکید می‌کند (Mayland and Wilkinson, 1989; Sun *et al*, 2018).

به طور کلی کمبود منیزیم در خاک‌ها در برخی شرایط اتفاق افتد، از جمله در خاک‌های اسیدی با pH کمتر از ۵/۴، زمانی که نسبت منیزیم در ظرفیت تبادل کاتیونی کمتر از ۶٪ باشد و یا محتوای منیزیم کمتر از ۴۸ میلی‌گرم در دسی‌متر مکعب خاک باشد و یا خاک‌های ناشی از سنگ‌های فقیر از منیزیم. همچنین اگر نسبت پتاسیم به منیزیم بیش از چهار باشد ویا در خاک‌های سبک با مقدار کم مواد آلی کمبود منیزیم مشاهده مِ شود (Ferreira *et al.*, 2023). ارائه برنامه مناسب و بهینه کوددهی جهت افزایش جذب مواد غذایی و به حداقل رساندن کاربرد کودهای شیمیایی، باید از اهداف مهم پژهشگران و پرورش‌دهندگان درختان میوه باشد (Ezz *et al.*, 2010). در استان کرمان، علیرغم هزینه کرد بالای باغداران و مصرف میزان زیادی کودهای آلی و شیمیایی، برخی نخیلات عملکرد و کیفیت میوه قابل قبولی نداشتند و این مسئله موجب دغدغه خاطر و دلسردی نخل‌کاران شده بود.

در پژوهش حاضر، ابتدا وضعیت موجود تغذیه‌ای نخلستان‌ها بررسی شد و پس از بررسی وضعیت عناصر برگ در نخل های رقم مضافتی،که کمبود منیزیم برگ را نشان داد، اثر کاربرد خاکی سولفات منیزیم بر خصوصیات

کمی و کیفیت میوه نخل خرمای رقم مضافتی ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

بررسی وضعیت موجود تغذیه‌ای نخلستان‌ها

این بررسی در تیر سال ۱۴۰۱ وضعیت موجود تغذیه‌ای درختان ۱۵ نخلستان رقم مضافتی در مناطق بروات، بم، شهداد، فهرج، ریگان، نرماشیر، اندوهجرد و چهارفرسخ در استان کرمان بررسی شد. نمونه برگ از ردیف دوم برگ‌های درختان خرما (Mohebbi and Nabhani, 2011) از نظر عناصر پتاسیم (Isaac and Kerber, 1971)، کلسیم (Klute, 1986) ، منیزیم (Ryan *et al.*, 2001)، فسفر (Noonan and Holcombe., 1975) و نیتروژن (Bremner, 1965) بررسی شد. میانگین عناصر برگ ۱۵ نخلستان در نرم افزار Excel (Microsoft, USA, Version 2016) وارد و نمودار مربوط به مقایسه میانگین‌ها رسم شد.

بررسی اثر تغذیه منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما رقم مضافتی

این آزمایش در نخلستانی در شهر بروات در استان کرمان با ارتفاع ۹۹۸ متر از سطح دریا و با طول جغرافیایی "۳۹ '۲۴ °۵۸ و عرض جغرافیایی " ۵۸ '۳ °۲۹ اجرا شد. بروات در نه کیلومتری شرق شهر بم و در ۲۰۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان کرمان و واقع شده است. آزمایش در دو سال باغی (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) بر روی ۱۲ نفر نخل خرمای رقم مضافتی ۲۰ ساله در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار شامل سطوح مختلف سولفات‌منیزیم (Salama *et al.*, 2014; El-Salhy *et al.*, 2014) به شرح زیر اجرا شد.

۱- Control: عدم کاربرد سولفات‌منیزیم.

۲- $MgSO_4$ 250: کاربرد خاکی سولفات‌منیزیم (چالکود) به‌میزان ۲۵۰ گرم برای هر درخت

۳- $MgSO_4$ 500: کاربرد خاکی سولفات‌منیزیم (چالکود) به‌میزان ۵۰۰ گرم برای هر درخت

۴- $MgSO_4$ 750: کاربرد خاکی سولفات‌منیزیم (چالکود) به‌میزان ۷۵۰ گرم برای هر درخت

علاوه بر کاربرد خاکی سولفات‌منیزیم در بهمن هر سال، محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم با غلظت ۰/۵ درصد (۵ گرم در لیتر) (Chandra and Singh, 2015) در شرایط خنکی هوا در صبح زود در نیمه فروردین و نیمه اردیبهشت برای کلیه درختان آزمایشی به طور یکسان انجام شد. در فصل بهار، درختان خرما در مرحله رشد فعال هستند، قدرت جذب عناصر از طریق برگ بالاست و محلول‌پاشی گزینه مناسب برای تغذیه تکمیلی است. قطعه نخلستان انتخاب‌شده پیش از شروع آزمایش از نظر عناصر غذایی موجود در خاک و نمونه برگ (از ردیف دوم برگ‌های درختان خرما) مورد ارزیابی قرارگرفت. داده‌های آزمایش خاک و برگ در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نخلستان محل اجرای آزمایش

Table 1. Physico-chemical soil properties of experimental palm date orchard

عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)	درصد اشباع Saturation (%)	درصد کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس‌برمتر) Electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته گل اشباع pH	درصد مواد خنثی شونده Total neutralizing value (%)
0-30	7.9	1.01	1.94	7.9	0.00
30-60	8.1	1.0	2.3	8.1	13.00

ادامه جدول ۱-

Table 1. Continued.

درصد شن Sand (%)	درصد رس Clay (%)	درصد لای Silt (%)	درصد نیتروژن N (%)	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون) Available P (ppm)	منیزیم قابل جذب (قسمت در میلیون) Available Mg (ppm)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون) Available K (ppm)
59.00	6.00	35.00	1.25	10	25	550
57.00	9.00	34.00	1.27	9	23	560

جدول ۲ – محتوای عناصر برگ نخل خرما رقم مضافتی در نخلستان محل اجرای آزمایش

Table 2. Element contents of leaf of palm date cv. Mazafti in experimental orchard

نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (درصد) P (%)	پتاسیم (درصد) K (%)	کلسیم (درصد) Ca (%)	منیزیم (درصد) Mg (%)
1.52	0.08	2.56	0.6	0.08

تغذیه متداول نخل داران که شامل استفاده از کود های دارای عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بود، در سال اول اجرای آزمایش انجام نشد و در سال دوم در بهمن ، ۵۰ کیلوگرم کود آلی از نوع گاوی به هر درخت داده شد. سامانه آبیاری نخلستان از نوع غرقابی با فاصله زمانی ده روز یکبار بود. عملیات هرس برگ، گرده‌افشانی (با گرده سازگار محلی)، کنترل آفات، خوشه‌بندی و پوشش خوشه‌ها برای کلیه درختان آزمایشی به‌طور یکسان انجام شد. یک ماه پس از گرده‌افشانی، هشت خوشه تلقیح‌شده و سالم از جهات مختلف هر نخل، جهت انجام داده‌برداری، انتخاب شده و بقیه خوشه‌ها در مرحله کیمری حذف شدند.

دسترسی به منیزیم به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر عوامل مختلفی به ویژه اسیدی‌شدن خاک قرار می‌گیرد (Hailes *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 2022)، بنابراین در این آزمایش از ترکیب سولفات‌منیزیم آبدار ($MgSO_4.7H_2O$) استفاده شد. محلول‌پاشی عناصر ماکرو و میکرو، کلیدی برای بهبود تشکیل میوه، باروری وکیفیت میوه‌هاست،

همچنین نقش مؤثری در بازیابی تغذیه و رفع اختلالات فیزیولوژیکی در درختان میوه دارد (Lalithya *et al.*, 2014)

در زمان برداشت، وزن کل میوه‌های هر یک از هشت خوشه با کمک ترازوی دیجیتالی ۳۰ کیلوگرمی با دقت ۱۰ گرم، اندازه‌گیری و به عنوان عملکرد میوه در درخت یادداشت شد. میوه‌های خرما به‌طور تصادفی و به تعداد ۳۰ عدد از هر درخت برداشته شد. صفات کمی شامل (طول، قطر و وزن) میوه و هسته، وزن گوشت میوه و نسبت گوشت به هسته اندازه‌گیری شد. وزن میوه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، طول و قطر میوه و هسته با کولیس اندازه‌گیری شد.

میزان مواد جامد محلول کل (Total soluble soilds = TSS) میوه با قرائت عدد بریکس در دستگاه رفراکتومتر دستی مدل Carl Zeiss (ساخت آلمان) یادداشت شد (AOAC, 2000). میزان منیزیم به روش کمپلکسومتری سنجیده شد. از عصاره برگی پنج میلی‌لیتر برداشته شد و پس از رساندن به حجم ۲۵ میلی‌لیتر با آب مقطر، چهار قطره اربی‌کروم‌بلک‌تی و ۱۰ قطره بافر آمونیم‌کلرید به آن اضافه شد و با EDTA تیتر شد. تیتراسیون تا تبدیل رنگ محلول از قرمز آجری به آبی یا سبز ادامه یافت و سپس میزان منیزیم برگ محاسبه گردید (Ryan *et al.*, 2001).

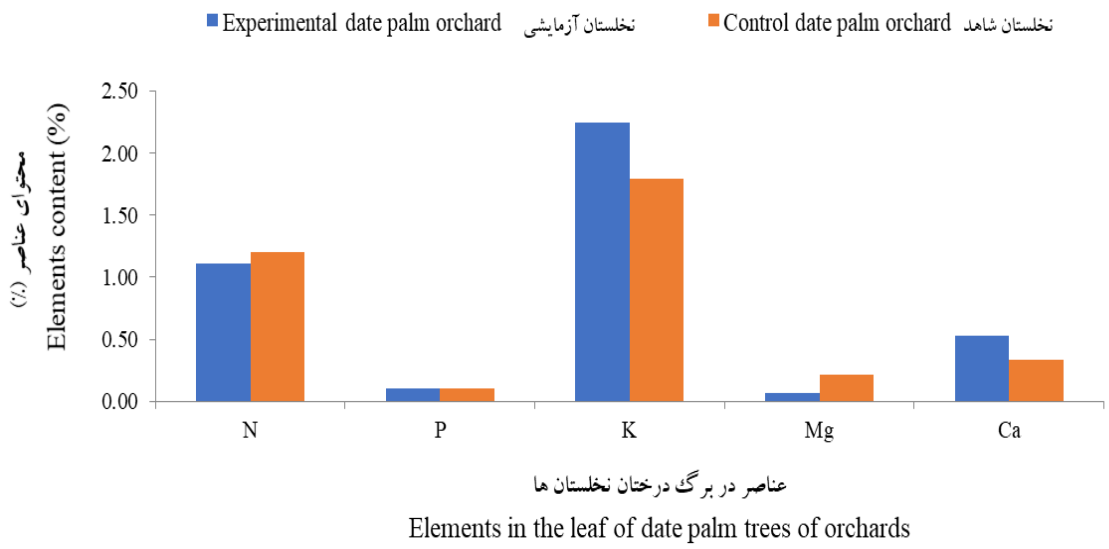
داده ها در نرم‌افزار Excel وارد شد و پس از انجام تست نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب داده ها با استفاده از نرم‌افزار (Version SPSS 26) انجام شد. از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه میانگین ها استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار (Microsoft, USA, Excel Version 2016) استفاده شد.

نتایج و بحث

وضعیت موجود تغذیه‌ای نخلستان‌ها

مقایسه میانگین محتوای عناصر غذایی در برگ درختان خرمای رقم مضافتی در نخلستان‌های آزمایشی و شاهد نشان داد که میزان نیتروژن و فسفر در برگ درختان شاهد و آزمایشی تفاوت زیادی وجود نداشت (شکل ۱). اما میزان پتاسیم و کلسیم در نخلستان‌های آزمایشی بیشتر از نخلستان شاهد بود، در حالی‌که میزان عنصر منیزیم کمتر از نخلستان شاهد بود.

میانگین عناصر برگ درختان خرمای رقم مضافتی در دو گروه آزمایشی و شاهد مربوط به ۱۵ نخلستان مورد مطالعه نشان داد با توجه به محدوده نرمال عناصر مورد بررسی در درختان خرما هیچ‌کدام از نخلستان‌های مورد مطالعه با کمبود فسفر یا کلسیم مواجه نبودند (جدول ۳). در ۷۰ درصد از درختان مورد مطالعه، غلظت پتاسیم برگ بیشتر از سطح نرمال (۰/۴ تا ۲/۱۲ درصد) بود. این موضوع نشان‌دهنده‌ی جذب بیش از حد (Mohebbi and Nabhani, 2011)



شکل ۱- میانگین عناصر برگ درختان خرما رقم مضافتی در نخلستان‌های آزمایشی و شاهد

Fig. Mean of elements in the leaves of date palm trees cv. Mazafati in the experimental and control date palm orchard

پتاسیم است. مقدار بالای پتاسیم در گروه درختان نخلستان های آزمایشی می‌تواند منجر به اختلال در جذب سایر عناصر مانند منیزیم و کلسیم شود (Zhang *et al.*, 2021; Mohamad, 2003).

در ۸۵ درصد از درختان مورد مطالعه، غلظت منیزیم برگ کمتر از سطح نرمال (۰/۱۱ تا ۰/۲۷ درصد) بود و در ۷۰ درصد از درختان مورد مطالعه، غلظت نیتروژن برگ کمی پایین‌تر از سطح نرمال (۱/۲۲ تا ۱/۷۲ درصد) بود (جدول ۳). این کمبودها ممکن است تأثیر منفی بر سلامت و رشد درختان داشته باشد و به کاهش کیفیت میوه و سلامت درخت منجر شود (Zhang *et al.*, 2023).

این نتایج نشان می‌دهد که برنامه تغذیه‌ای در نخلستان شاهد (بر اساس آزمون خاک) باعث شده برخی عناصر مانند منیزیم و کلسیم در محدوده بهینه باشند، در حالی که در در درختان نخلستان آزمایشی این تعادل مختل شده است. با توجه به نتایج بررسی وضعیت موجود تغذیه‌ای نخلستان‌های آزمایشی که کمبود منیزیم محرز شد و با توجه به نقش مؤثر منیزیم در بسیاری از فرآیندهای مهم گیاهی مانند فتوسنتز، تشکیل زیست توده (بیوماس) ومحصول (Tränkner *et al.*, 2019) و تأثیر آن بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه (Zhang *et al.*, 2022)، پژوهش حاضر، بر روی اثر تغذیه منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل های خرمای رقم مضافتی در نخلستان آزمایشی متمرکز شد.

جدول ۳- میانگین محتوای عناصـر برگ درختان خرمای رقم مضـافتی در نخلسـتان‌های آزمایشـی و شـاهد، همچنین دامنه نرمال این عناصـر در برگ درختان خرما (محبی و نبهانی، ۱۳۹۰).

Table 3. Mean of element contents of the leaves of date palm trees cv. Mazafati in experimental and control date palm orchard plus normal range of elements in leaves of date palm tree (Mohebbi and Nabhani, 2011)

نخلستان Date palm orchard		شناسه نخلستان Date palm orchard identity	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude above sea levlel	محتوای عناصر برگ (٪) Leaf elements content (%)				
						نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	منیزیم Mg	کلسیم Ca
نخلستان‌های آزمایشی Experimental date palm orchard		A	58° 25' 37.005"	29° 03' 37.716"	976	1.53	0.09	2.37	0.04	0.52
		B	58° 25' 08.349"	29° 04' 49.933"	996	1.12	0.11	1.69	0.06	0.52
		C	58° 16' 24.798"	29° 08' 25.277"	1154	1.14	0.13	2.30	0.08	0.48
		D	58° 16' 11.203"	29° 08' 52.264"	1166	1.00	0.12	2.18	0.05	0.56
		E	58° 17' 53.787"	29° 07' 21.579"	1113	1.11	0.08	2.81	0.08	0.56
		F	58° 29' 35.176"	28° 50' 46.577"	890	1.16	0.09	2.10	0.07	0.52
		G	58° 52' 33.911"	28° 42' 43.765"	699	1.00	0.09	2.31	0.04	0.56
		H	59° 04' 46.199"	28° 35' 57.251"	604	1.00	0.08	2.06	0.06	0.52
		I	57° 45' 13.209"	30° 16' 47.581"	683	1.00	0.11	2.50	0.11	0.40
		J	57° 45' 13.518"	30° 16' 34.906"	686	1.00	0.11	2.31	0.08	0.48
		K	57° 45' 06.107"	30° 13' 59.651"	844	1.11	0.12	2.31	0.04	0.56
		L	57° 42' 06.584"	30° 25' 34.404"	449	0.99	0.11	2.18	0.04	0.56
		M	58° 20' 25.580"	29° 05' 46.276"	1086	1.01	0.11	1.87	0.14	0.52
		N	58° 24' 39.183"	29° 03' 58.538"	998	1.52	0.08	2.65	0.08	0.60
Control date palm orchard	نخلستان شاهد	Control	58° 16' 27.155"	29° 08' 22.565"	1146	1.2	0.10	1.79	0.21	0.35
Normal range of elements in leaves of date palm tree				دامنه نرمال عناصر در برگ درختان خرما		1.22-1.72	0.08-0.13	0.4-2.12	0.11-0.27	0.35-1.12

بررسی اثر تغذیه منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما رقم مضافتی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح تیمار سولفات‌منیزیم بر پارامترهای عملکرد درخت، قطر میوه، میزان TSS خرما و غلظت منیزیم برگ رابطه معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و بر طول هسته خرما رابطه معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴ و ۵). نتایج مطالعات سایر پژوهشگران نیز نشان می‌دهد که استفاده از سولفات‌منیزیم می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در کیفیت و عملکرد میوه‌ها داشته باشد و تأثیر مثبتی بر ویژگی‌ها مانند قطر و طول میوه گذارد (Zhang *et al.*, 2022). تیمارهای مختلف منیزیم می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بر رشد ریشه و جذب مواد غذایی در گیاهان تأثیر گذارند، که این امر به نوبه خود می‌تواند بر ویژگی‌های میوه اثرگذار باشد (Qu *et al.*, 2023).

اثر تیمار های سولفات منیزیوم بر عملکرد میوه در درخت در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد میوه در درخت در تیمارهای آزمایشی نسبت به شاهد بیشتر بود و بیشترین عملکرد میوه در درخت با ۷۴/۶۶ کیلوگرم متعلق به تیمار سولفات‌منیزیم ۲۵۰ گرم بود که نسبت به شاهد ۱۶/۵ کیلوگرم افزایش محصول را نشان داد (شکل۲). سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده اند که استفاده از کودهای حاوی منیزیم می‌تواند عملکرد میوه را به‌طور میانگین ۸/۵ درصد افزایش دهد (Wang *et al.*, 2020).

منیزیم برای سنتز کلروفیل ضروری است که فتوسنتز و زیست‌توده را افزایش می‌دهد (Ahmad *et al.*, 2023) و موجب بهبود عملکرد میوه می‌شود (Wang *et al.*, 2020). منیزیم دارای عملکردهای فیزیولوژیکی متنوعی در سامانه‌های بیولوژیکی است (Cakmak, 2013, Peng *et al.*, 2018). کمبود این عنصر، رشد و توسعه گیاهان را مهار می‌کند و در نهایت منجر به کاهش عملکرد و کیفیت پائین محصولات می‌شود (Cakmak, 2013).

اثر تیمار های سولفات منیزیوم برقطر میوه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین های قطر میوه نشان داد که بیشترین قطر میوه با ۲/۳۱ سانتی‌متر مربوط به تیمارسولفات‌منیزیم ۲۵۰ گرم بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۳).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب برای اثر سال و سطوح سولفات‌منیزیم بر عملکرد و برخی صفات میوه درخت خرما رقم مضافتی

Table 4. Table 5. Combined analysis of variance for the effect of year and magnesium sulfate levels on yield and some fruit traits of date palm cv. Mazafati

			Mean squares میانگین مربعات				
S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	قطر میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit length	وزن گوشت میوه Fruit flesh weight	وزن میوه Fruit weight	عملکرد میوه در درخت Fruit yield tree^{-1}
Year (Y)	سال	1	0.018*	0.028	165.550**	174.850	5.042
Error 1	اشتباه آزمایشی ۱	4	0.036	0.296	4.335	4.348	2.837
Treatment (T)	تیمار	3	0.022**	0.027	2.440	2.40	314.375**
T × Y	تیمار × سال	3	0.009	0.016	1.290	1.247	12.700*
Error 2	اشتباه آزمایشی ۲	12	0.004	0.021	1.220	1.200	2.167
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		4.50	4.30	25.10	23.80	9.80

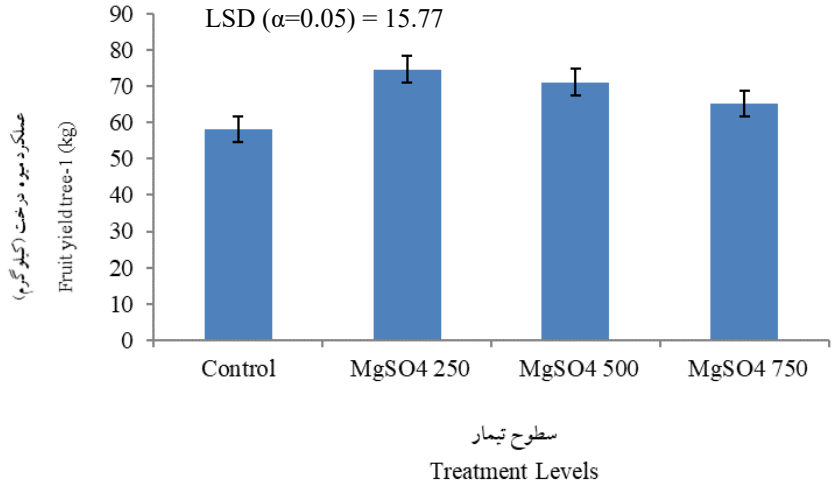
* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب برای اثر سال و سطوح سولفات‌منیزیم بر برخی صفات میوه و محتوای منیزیم برگ خرما رقم مضافتی

Table 5. Combined analysis of variance for the effect of year and magnesium sulfate levels on some fruit traits and leaf magnesium content of date palm cv. Mazafati

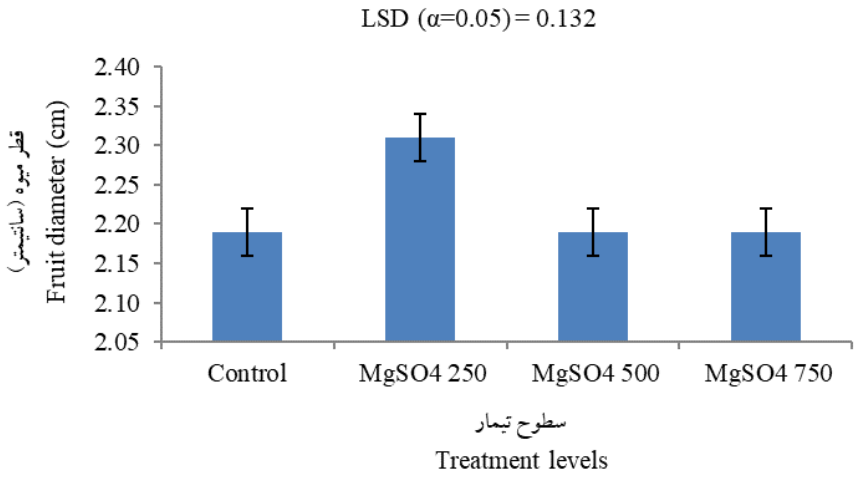
			Mean squares میانگین مربعات					
S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	مواد جامد محلول کل TSS	نسبت گوشت به هسته میوه fruit flesh: seed ratio	قطر هسته Seed diameter	طول هسته Seed lenght	وزن هسته Seed weight	محتوای منیزیم بر گ Leaf Mg conten
Year (Y)	سال	1	0.01	79.76**	0.005	0.010	0.127	4.160
Error 1	اشتباه آزمایشی ۱	4	3.29	5.52	0.005	0.014	0.003	0.002
Treatment (T)	تیمار	3	20.37**	3.7	0.001	0.024*	0.001	0.015**
T × Y	تیمار × سال	3	0.45	3.22	0.011	0.005*	0.004	8.190
Error 2	اشتباه آزمایشی ۲	12	3.13	3.79	0.002	0.007	0.008	4.440
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		3.40	19.70	8.00	5.00	11.60	28.50

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد



شکل ۲- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات‌منیزیم(۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات‌منیزیم برای هر درخت) بر عملکرد میوه در درخت خرمای رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند

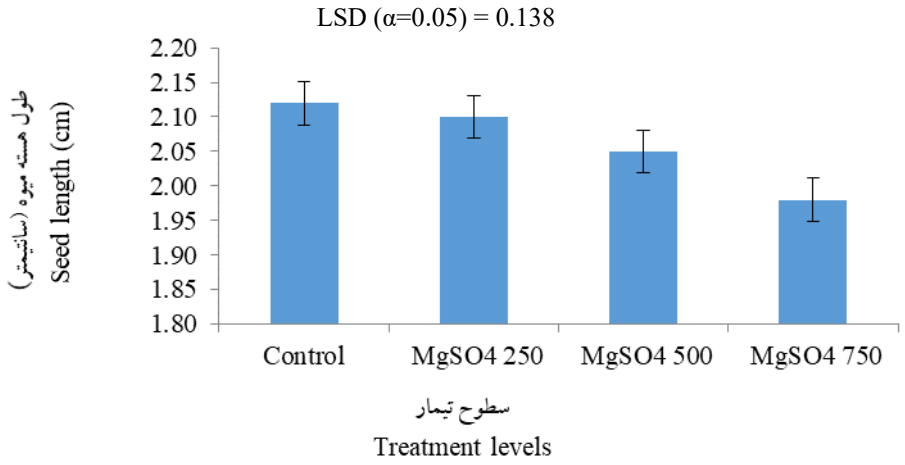
Fig. 2. Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree^{-1}) on fruit yield tree^{-1} cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean



شکل ۳- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات‌منیزیم(۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات‌منیزیم برای هر درخت) بر قطر میوه در درخت خرما رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند.

Fig. 3. Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree^{-1}) on fruit diametr of date palm cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean

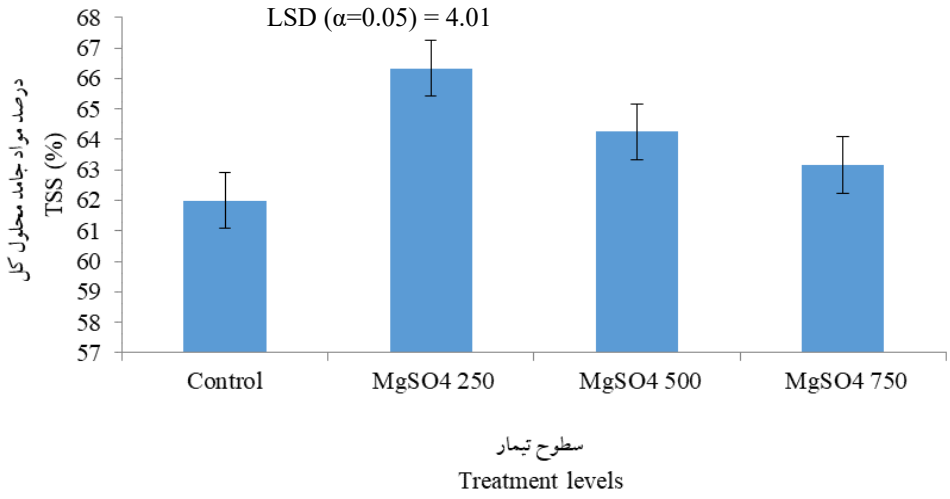
اثر تیمار های سطوح سولفات منیزیم بر طول هسته در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). با افزایش سطوح تیمارها، طول هسته کاهش یافت و کمترین مقدار طول هسته در تیمار سولفات‌منیزیم ۷۵۰ گرم (۱/۹۸ سانتی‌متر) بود (شکل ۴).



شکل ۴- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات‌منیزیم(۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات‌منیزیم برای هر درخت) بر طول هسته میوه در درخت خرما رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند.

Fig. 4. Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree^{-1}) on fruit seed length of date palm cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean

اثر سطوح سولفات منیزیم بر مواد جامد محلول کل میوه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین میزان TSS میوه (۶۶/۳۳ درصد) مربوط به تیمار سولفات‌منیزیم ۲۵۰ گرم بود که با سایر تیماره تفاوت معنی‌داری داشت. با افزایش سطح سولفات‌منیزیم از ۲۵۰ به ۷۵۰ گرم، میزان TSS کاهش یافت و کمترین میزان TSS (۶۲ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۵). رکیس و همکاران (Rekis *et al.*, 2020) گزارش کردند که منیزیم می‌تواند در افزایش مواد جامد محلول در میوه نقش مؤثری داشته باشد. در میوه‌های ازگیل ژاپنی محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم، به‌طور قابل‌توجهی نسبت قند به اسید را افزایش داد و موجب افزایش TSS تا ۵۳/۸۱ درصد و کاهش اسیدیته تا ۷۲/۴۵ درصد شد (Ali *et al.*, 2024).



شکل ۵- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات‌منیزیم(۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات‌منیزیم برای هر درخت) بر مواد محلول جامد کل میوه در درخت خرما رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند.

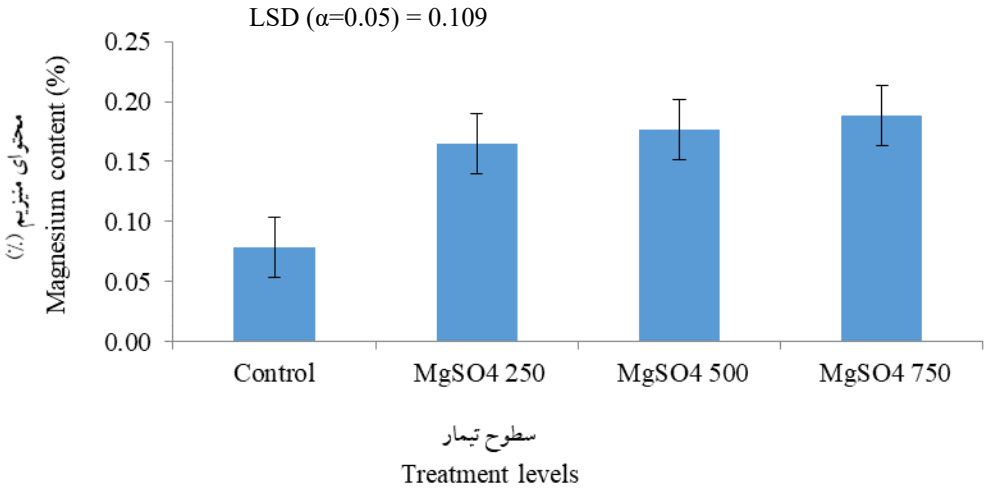
Fig. 5 Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree^{-1}) on fruit total soulable solids of date palm cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean

نتایج پژوهش حاضر نشان داد سطوح بالاتر سولفات‌منیزیم (تیمارهای $MgSO_4$ 500 و $MgSO_4$ 750) می‌تواند منجر به کاهش TSS شود. تأثیر منفی افزایش منیزیم بر صفات کیفیت میوه در نتیجه نسبت نامتعادل کاتیون‌ها است (Gerendás, 2013). غلظت بالای منیزیم می‌تواند جذب سایر عناصرغذایی، مانند کلسیم و پتاسیم را مختل کند. این امر موجب کمبود عناصر و کاهش کیفیت میوه می‌شود. همچنین غلظت بالای منیزیم می‌تواند تعادل یونی را در خاک تغییر دهد و منجر به شرایط غیرمطلوب برای رشد گیاه شود. این نتایج نشان می‌دهند که کاربرد $MgSO_4$ در مقادیر متوسط TSS را بهبود می‌بخشد، در حالی که مقادیر بیش از حد ممکن است این مزیت را حفظ نکنند (Zhang *et al.*, 2022).

در مرکبات، تیمار منیزیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیزه‌کننده ساکارز، کل مواد جامد محلول و محتوای قند را افزایش داد (Han *et al.*, 2024). نقش مثبت منیزیم در تنظیم آنزیم‌های کلیدی دخیل در متابولیسم ساکارز، مانند ساکارزسنتاز و ساکارزفسفات‌سنتاز، باعث تجمع قند می‌شود (Han *et al.*, 2024). از طرفی منیزیم یک عنصر کلیدی در ترکیب کلروفیل است و به فرآیند فتوسنتز کمک می‌کند. با افزایش میزان فتوسنتز، تولید قند و سایر

مواد محلول در میوه‌ها افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به افزایش TSS می‌شود. منیزیم با تأثیر بر رشد ریشه نیز به گیاه کمک می‌کند تا آب و عناصر غذایی را به خوبی جذب کند و از این رو کیفیت میوه را بهبود می‌بخشد (Qu *et al.*, 2023). آنها بیان داشتند که منیزیم به‌عنوان یک عنصر کلیدی، نقش بسزایی در بهبود کیفیت، طعم میوه و عملکرد درخت ایفاء می‌کند.

اثر سطوح سولفات منیزیم بر محتوای منیزیم برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین ها نشان داد درختان شاهد دارای کمترین غلظت منیزیم (۰/۰۷۸۳ درصد) در برگ بودند و با افزایش سطوح تیمارها، غلظت منیزیم در برگ درختان خرما رقم مضافتی افزایش یافت. به‌طوری‌که در سطوح ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات‌منیزیم به ترتیب مقادیر منیزیم برگ ۰/۱۶۵۰ درصد، ۰/۱۷۶۷ درصد و ۰/۱۸۸۳ درصد مشاهده گردید (شکل ۶).



شکل ۶- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات‌منیزیم(۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات‌منیزیم برای هر درخت) بر محتوای منیزیم برگ درخت خرمای رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند.

Fig. 6. Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree^{-1}) on magnesium content of leaf of date palm tree cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean

سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده اند که استفاده از ترکیبات منیزیم، به‌طور قابل توجهی باعث افزایش محتوی منیزیم در برگ‌ها و خاک می‌شود (Melanie and Merle, 2019; Esteves *et al.*, 2022). منیزیم عمدتاً در واکوئل‌های برگ انباشته می‌شود و

ناقل‌های خاصی نقش مهمی در این فرآیند دارند (Waters, 2011). مطالعات نشان می‌دهد که محتوی منیزیم در برگچه‌های ناحیه میانی نخل خرما بیشترین مقدار را دارد که نشان‌دهنده نقش حیاتی آن در سلامت برگ است (Kolsi-Benzina and Zougari, 2008). سطوح کافی منیزیم با بهبود محتوی کلروفیل مرتبط است که برای فتوسنتز و سلامت گیاه حیاتی است. بارندگی باعث شسته‌شدن و از دست‌رفتن منیزیم خاک می‌شود (Sun *et al.*, 2018).

کمبود منیزیم منجر به کاهش بازده فتوسنتزی و زیست‌توده می‌شود. همانطور که در گیاهان دارای کمبود منیزیم، کاهش قابل‌توجه فلورسانس کلروفیل و بازده کوانتومی مشاهده می شود. محلول‌پاشی برگی منیزیم با جبران این کمبودها، زیست‌توده را افزایش داده و سطح برگ را در گونه‌های مختلف گیاهی بهبود می‌بخشد (He *et al.*, 2022). وجود منیزیم در گیاه باعث تسهیل بارگیری ساکارز در آوند آبکش می‌شود که برای توزیع کربوهیدرات در گیاه ضروری است (Cakmak and Kirkby, 2008).

علاوه‌بر اثر مستقیم کاربرد سولفات‌منیزیم بر صفات کمی و کیفیت میوه، باید به نقش ویژگی‌های خاک نخلستان مورد آزمایش نیز توجه داشت. خاک این نخلستان دارای هدایت الکتریکی (۱/۹۴-۲/۳ دسی زیمنس بر متر) در محدوده قابل قبول برای رشد نخل خرما قرار می‌گیرد (جدول ۱). با این حال احتمال بروز رقابت یونی به‌ویژه در حضور کاتیون‌های پتاسیم و کلسیم وجود دارد. بر اساس داده‌های اولیه تجزیه برگ در نخلستان مورد مطالعه، نسبت پتاسیم به منیزیم برگ زیاد و بیش از چهار بود (Ferreira *et al.*, 2023)، همچنین غلظت پتاسیم برگ (۲/۵۶٪) نسبتاً بالا بود (Mohebbi and Nabhani, 2011).

با این وضعیت عناصر جذب منیزیم را از طریق مهار رقابتی می‌تواند کاهش داده باشد، چون که رقابت بین یون‌های Mg^{2+}، K^{+} و Ca^{2+} در محل تبادل ریشه در شرایط مناطق گرمسیری و نیمه‌خشک گزارش شده است (Marschner, 2012; Zörb *et al.*, 2014). همچنین در خاک‌های قلیایی با اسیدیته بالاتر از هفت، که در مناطق جنوبی و جنوب شرقی معمول است، در دسترس بودن منیزیم برای گیاه کاهش می‌یابد زیرا منیزیم ممکن است به‌صورت ترکیبات نامحلول رسوب کند و قابلیت جذب آن محدود شود (Cakmak and Kirkby, 2008).

بنابراین می توان بیان کرد که در پژوهش حاضر، بخشی از تغییرات مشاهده‌شده در غلظت منیزیم برگ و اثر آن بر عملکرد میوه و مواد جامد محلول کل (TSS) می‌تواند ناشی از همین محدودیت‌های خاکی باشد. به‌نظرمی‌رسد استفاده از سولفات‌منیزیم با مقدار متوسط (۲۵۰ گرم برای هر درخت) توانسته است بر این محدودیت‌ها غلبه کند و موجب افزایش جذب Mg^{2+}و بهبود کیفیت میوه شود، در حالی که

افزایش بیشتر این عنصر (۵۰۰ و ۷۵۰ گرم برای هر درخت) احتمالاً به‌واسطه بروز اختلال در جذب سایر عناصر یا برهم‌خوردن تعادل یونی خاک، موجب کاهش ویژگی های کیفیت میوه از جمله TSS شد (Gerendás and Führs, 2013).

باتوجه به محدودیت‌های پژوهش حاضر، از جمله عدم بررسی انواع دیگر ترکیبات منیزیمی و در شرایط مختلف اقلیمی پیشنهاد می‌شود که در آینده بررسی های تکمیلی برای اثر ترکیبات دیگر منیزیمی و شرایط محیطی مختلف پرداخته شود. به طورکلی، نتایج پژوهش حاضر بر اهمیت تغذیه درختان براساس نیازهای غذایی خاص آن‌ها، همراه با آزمایش‌های منظم خاک و برگ برای شناسایی کمبودها و بهینه‌سازی برنامه‌های کوددهی تأکید می‌کنند. همچنین اهمیت تامین منیزیم کافی برای بهبود کیفیت و کمیت میوه خرما را برجسته می‌کند و توصیه هایی را برای نخل کاران برای مدیریت و افزایش بهره‌وری نخلستان های خرما رقم مضافتی در منطقه هدف ارائه می کند.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از پشتبانی‌های مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان برای اجرای این پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری می کنند. همچنین از کارشناسان و مدیریت‌های جهاد کشاورزی و نخلکاران استان کرمان در شهرستان‌ها و بخش‌های بم، بروات، شهداد، فهرج، ریگان، نرماشیر، اندوهجرد و چهارفرسخ بابت دقت نظر، ارائه گزارش و همکاری در تهیه نمونه‌های گیاهی برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای نخلستان‌ها و مشارکت در اجرای پروژه قدردانی می‌نمایند. همچنین به روح شادروان آقای علی رستمی باغدار محترم بروات که این آزمایش در باغ ایشان اجرا شد، درود می‌فرستند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌کنندکه هیچ گونه تعارض منافعی با هم و با سایر اشخاص حقوقی/حقیقی ندارند.

References

Ahmad, R., Ali, H.M., Lisek, A., Mosa, W.F., Ercisli, S. and Anjum, M.A. 2023. Correlation among some phenological and biochemical traits in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) germplasm. *Frontiers in Plant Science, 14.* 1118069. DOI: 10.3389/fpls.2023.1118069.

Aiswarya, J., Mariammal, K. and Veerappan, K. 2023. Plant nutrient deficiency detection and classification-a review. Pp.796-802. In: Proceedings of the 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications. DOI:

10.1109/ICIRCA57980.2023.10220778

Ali, M.M., Hu, X., Chao, P., Ali, S., Akram, M.T., Naveed, W.A., Gull, S., Deng, H., Mosa, W.F., Hou, Y. and Chen, F. 2024. Magnesium's impact on fruit quality of loquat: Insights into sugar and acid dynamics. *Scientia Horticulturae*, *328*. 112972. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112972.

Anonymous. 2022. Agricultural statistical yearbook. 3rd Volume. Horticultural and Glasshouse Products. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran. 401 pp (in Persian).

AOAC. 2000. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. 17th edition. Gaithersburg, Maryland, U.S.A.

Assis, V.C.S.S. 2024. Magnesium dynamics in the soil-plant system and its role in plant metabolism and nutrition: a review. *Scientific Electronic Archives*, *17*(4), pp.1-10. DOI: 10.36560/17420241898

Barker, A.V. and Pilbeam, D.J. 2015. Handbook of Plant Nutrition; CRC Press: Boca Raton, Florida, USA. 661 pp.

Bould, C. 1963. Soil and leaf analysis in relation to fruit nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *14*(10), pp.710-718.

Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. Pp. 1149-1178. In: Norman, A.G. (ed.) *Methods of Soil Analysis*: *Chemical and Microbiological Properties, 9*(2). American Society of Agronomy. Wisconsin, USA.

Cakmak, I. 2013. Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant Soil. 368*, pp.1-4. DOI: 10.1007/s11104-013-1781-2

Cakmak, I. and Kirkby, E.A. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia Plantarum*, *133*(4), pp.692-704. DOI: 10.1111.j.1399-3054.2007.01042.x

Chandra, R. and Singh, K.K. 2015. Foliar application of zinc sulphate, magnesium sulphate and copper sulphate on the yield and quality of aonla (*Emblica officinalis* Gaertn L.) cv. "NA-7" under Garhwal Himalaya. *Journal of Medicinal Plants Studies*, *3*(5), pp.42-45.

De Mello Prado, R. and Rozane, D.E. 2020. Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits. *Fruit Crops*, pp.131-143. DOI: 10.1016/B978-0-12-818732-6.00011-3

El-Salhy, A.M., El-Akaad, M.M., El-Deen, E.Z. and Ahmed, M.M. 2017. Effect of magnesium fertilization and leaf/bunch ratio on growth and fruiting of Sewy date palm.

Assiut Journal of Agricultural Sciences, *48*(4), pp.132-144. DOI: 10.21608/ajas.2017.5014

Esteves, E., Kadyampakeni, D.M., Zambon, F., Ferrarezi, R.S. and Maltais-Landry, G. 2022. Magnesium fertilization has a greater impact on soil and leaf nutrient concentrations than nitrogen or calcium fertilization in Florida orange production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems, 122*(1), pp.73-87. DOI: 10.1007/s10705-021-10182-1

Ezz, T.M., Kassem, H.A. and Marzouk, H.A. 2010. Response of date palm trees to different nitrogen and potassium application rates. *Acta Horticulturae, 882*(84), pp.761-768. DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.882.84

FAO. 2022. World food and agricultural-statistics yearbook 2022. Rome, Italy. 380 pp. https://www.fao.org/10.4060/cc2211en

Gerendás, J. and Führs, H. 2013. The significance of magnesium for crop quality. *Plant and Soil, 368*, pp.101-128. DOI: 10.1007/s11104-012-1555-2

Gransee, A. and Führs, H. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil, 368*, pp.5-21. DOI: 10.1007/s11104-012-1567-y

Hailes, K.J., Aitken, R.L. and Menzies, N.W. 1997. Magnesium in tropical and subtropical soils from north-eastern Australia. II. Response by glasshouse-grown maize to applied Magnesium. *Soil Research, 35*, pp.629–641. DOI: 10.1071/S96082

Han, H., Chen, X.L., Liu, Y.Z., Zhou, T., Alam, S.M. and Khan, M.A. 2024. Foliar spraying magnesium promotes soluble sugar accumulation by inducing the activities of sucrose biosynthesis and transport in citrus fruits. *Scientia Horticulturae*, *324*, 112593. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112593

He, H., Khan, S., Deng, Y., Hu, H., Yin, L. and Huang, J. 2022. Supplemental foliar-applied magnesium reverted photosynthetic inhibition and improved biomass partitioning in magnesium-deficient banana. *Horticulturae, 8*(11), 1050 pp. DOI: 10.3390/horticulturae8111050

Hussain, M.I., Farooq, M. and Syed, Q.A. 2020. Nutritional and biological characteristics of the date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.)–A review. *Food Bioscience, 34.* 100509. DOI: 10.1016/j.fbio.2019.100509

Isaac, R.A. and Kerber, J.D. 1971. Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant, and water analysis. Pp. 17-37. In: Instrumental methods for

analysis of soils and plant tissue. DOI: 10.2136/1971.instrumentalmethods.c2

Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. Pp. 635-662. In: Klute, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis*: *Physical and Mineralogical Methods*. ASA and SSSA. Madison.

Kolsi-Benzina, N. and Zougari, B. 2008. Mineral composition of the palms leaflets of the date palm. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(3), pp.583-591. DOI: 10.1080/01904160801895100

Lalithya, K.A., Bhagya, H.P. and Choudhary, R. 2014. Response of silicon and micro nutrients on fruit character and nutrient content in leaf of sapota. *Biolife*, *2*(2), pp.593-598.

Li, J., Jin, S., Zhou, W., Meng, L., Song, X., Chen, Q., Shi, H. and Wang, Y. 2022. Magnesium fertilizer application and soil warming improves tomato yield by increasing magnesium absorption under PE-film covered greenhouse. *Agronomy*, *12*(4), 940. DOI: 10.3390/agronomy12040940

Marschner, H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd edition. Vol. 89, Academic press, London. 651 pp.

Mayland, H.F. and Wilkinson, S.R. 1989. Soil factors affecting magnesium availability in plant-animal systems: a review. *Journal of Animal Science*, *67*(12), pp.3437-3444.

Melanie, H.J. and Merle, T. 2019. Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and photo-oxidative defense: A systematic review and meta-analysis from 70 years of research. *Plant Science*, *10*, pp.766–781. DOI: 10.3389/fpls.2019.00766

Mohamad, A. 2003. Response of oil palm seedlings planted on highly weathered acid soils to magnesium fertilizers. Ph. D. Thesis. University of Putra. Malaysia. 120 pp.

Mohebi, A. and Nabhani, L. 2011. Principles and foundations of date palm nutrition. Katibeh Sabz Publications. Ahvaz, Iran. 118 pp. (in Persian).

Noonan, L. and Holcombe, E.E. 1975. Procedures for chemical analyses of plant and soil samples, Oregon State University. 72 pp.

Obreza, T.A., Zekri, M. and Hanlon, E.A. 2008. Soil and leaf tissue testing. Pp. 24-32. In: Obreza, T.A and Morgan, K.T (eds.) *Nutrition of Florida citrus trees*. University of Florida institute of food and agricultural. Gainesville, USA.

Peng, W., Zhang, L., Zhou, Z., Chen, F., Chen, Z. and Liao, H. 2018. Magnesium promotes root nodulation through facilitation of carbohydrate allocation in soybean. *Plant*

Physiology, 163, pp.372–385. DOI: 10.1111/ppl.12730

Pushparajah, E. 1994. Leaf analysis and soil testing for plantation tree crops. Pp 1–12 .In: Proceedings of the international workshop on 'Leaf diagnosis and soil testing as a guide to crop fertilization', Taiwan.

Qu, S., Li, H., Zhang, X., Gao, J., Ma, R., Ma, L. and Ma, J. 2023. Effects of magnesium imbalance on root growth and nutrient absorption in different genotypes of vegetable crops. *Plants, 12*(20). 3518. DOI: 10.3390/plants12203518

Qureshi, I.M. and Srivastava, P.B.L. 1966. Foliar diagnosis and mineral nutrition of forest trees. *Indian Forester, 92*(7), pp.447-60.

Rekis, A., Laiadi, Z. and Mehenni, M. 2020. Morphological characteristics denomination of date palm studied cultivars. *Algerian Journal of Arid Regions, 14*(1), pp.131-140.

Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A. 2001. Soil and plant analysis laboratory manual. 2nd edition. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. 172 pp. https://hdl.handle.net/20.500.11766/67563

Salama, A.S.M., Omima, E.S.M. and Abdel-Hameed, A.A. 2014. Effect of magnesium fertilizer sources and rates on yield and fruit quality of date palm cv. Hayany under Ras-Sudr conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *10*(2), pp.118-126.

Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V. and Thiel, H. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science*, *66*(12), pp.1219-1229. DOI: 10.1071/CP15104

Sun, X., Chen, J.H., Liu, L.S., Rosanoff, A., Xiong, X. and Zhang, Y.J. 2018. Effects of magnesium fertilizer on the forage crude protein content depend upon available soil nitrogen. *Journal of Agricultural Food Chemistry, 66,* pp.1743–1750. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b04028

Tränkner, M. and Jaghdani, S.J. 2019. Minimum magnesium concentrations for photosynthetic efficiency in wheat and sunflower seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry, 144*, pp.234-243. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.09.040

Wang, Z., Hassan, M.U., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F. and Li, X. 2020. Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science, 10,* 495191. DOI: 10.3389/fpls.2019.01727

Waters, B.M. 2011. Moving magnesium in plant cells. *New Phytologist, 190*(3), pp.510-513. DOI: 10.1111.j.1469-8137.2011.03724.x.

Zhang, S.W., Yang, W.H., Muneer, M.A., Ji, Z.J., Tong, L. and Zhang, X. 2021. Integrated use of lime with Mg fertilizer significantly improves the pomelo yield, quality, economic returns and soil physicochemical properties under acidic soil of southern China. *Scientia Horticulturae, 290,* 110502. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110502

Zhang, W., Liu, Y., Muneer, M.A., Jin, D., Zhang, H., Cai, Y., Ma, C., Wang, C., Chen, X., Huang, C. and Tang, Y. 2022. Characterization of different magnesium fertilizers and their effect on yield and quality of soybean and pomelo. *Agronomy, 12*(11), 2693. DOI: 10.3390/agronomy12112693

Zhang, Q., Shi, Y., Hu, H., Shi, Y., Tang, D., Ruan, J., Fernie, A.R. and Liu, M.Y. 2023. Magnesium promotes tea plant growth via enhanced glutamine synthetase-mediated nitrogen assimilation. *Plant Physiology, 192*(2), pp.1321-1337. DOI: 10.1093/plphys/kiad143

Zörb, C., Senbayram, M. and Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture–status and perspectives. *Journal of plant physiology*, *171*(9), pp.656-669. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.08.008

RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.22092/spj.2025.369835.1427

Effect of Soil Application of Magnesium Sulfate on Fruit Quantitative and Quality Characteristics of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Mazafati

B. Damankeshan[1*], B. Panahi[2] and J. Farrokhi Toolir[3]

1. Researcher, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.
2. Associate Professor, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.
3. Assistant Professor, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

ABSTRACT

Damankeshan, B., Panahi, B. and Farrokhi Toolir, J. 2024. Effect of soil application of magnesium sulfate on fruit quantitative and quality characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Mazafati. *Seed and Plant, 40*, pp.363–386 (in Persian).

To investigate the effects of different magnesium sulfate on fruit quantitative and quality characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Mazafati, a field experiment was carried out using randomized complete block design with three replications in palm date orchard cv. Mazafati in Baravat district of Bam, Kerman province, in Iran, in two growing seasons (2022 and 2023). The experimental treatments were four levels (0, 250, 500, and 750 g tree^{-1}) of soil applied magnesium sulfate. The results showed that magnesium sulfate levels had significant effect on fruit yield, fruit diameter, seed length, total soluble solids (TSS), and leaf magnesium content. The 250 g level had the highest fruit yield and quality, while the 750 g level showed the highest leaf magnesium content. In conclusion, soil application of magnesium sulfate improved fruit yield, fruit quality and pomological traits. The results underlined the importance of megensium role in improvement of productivity and fruit quality of date palm trees cv. Mazafati.

Keywords: Date palm, orchard, fruit diameter, pomological traits, fruit yield.

Introduction

In recent years, numerous studies have investigated the role of magnesium in improving plant growth, yield, and fruit quality. Tränkner *et al*. (2019) highlighted the importance of magnesium in biomass production and chlorophyll synthesis. Similarly, research by Assis (2024) emphasized the role of magnesium in enhancing plant tolerance to abiotic stresses. In most of these studies, the effects of soil-applied magnesium were examined (Zhang *et al*., 2021). Unlike previous research, which mainly focused on other fruit crops, this study specifically assesses the effects of different levels of soil applied magnesium sulfate on the fruit quantitative and quality characteristics of date palm cv. Mazafati under the climatic conditions of Kerman province.

This study aimed to determine the optimum level of soil application of magnesium sulfate levels to improve fruit yield and quality traits of date palms cv. Mazafati in arid and semi-arid regions in Iran.

Materials and Methods

This research was carried out in two phases. First, the nutritional status of 15 cv. Mazafati date palm orchards in Kerman Province (Baravat, Bam, Shahdad, Fahraj, Rigan, Narmashir, Anduhjerd, and Chahar-Farsakh) was assessed. Leaf samples were analyzed for nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium. Data were processed in mean comparisons.

Second, the main field experiment was carried out in two growing seasons (2022 and 2023) in Baravat district, Bam, Kerman Province, in Iran, on 20-year-old date palm trees cv. Mazafati using randomized complete block design with three replications and four soil applied magnesium sulfate levles 0 (control), 250, 500, and 750 g $MgSO_4$ $tree^{-1}$. Routine orchard management practices were uniformly applied. At harvest, fruit yield $tree^{-1}$, fruit weight, fruit diameter, seed length, fruit flesh: seed ratio, and total soluble solids (TSS) were measured. Leaf Mg content was determined by complexometric titration. Combined analysis of variance and mean comparision LSD tests at the 5% probability level was perfermed using SPSS (Version 26) software.

Results and Discussion

The results showed that despite non-significant differences in nitrogen and phosphorus contents between the control and experimental date palm orchards, potassium and calcium levels were higher, while magnesium levels were lower in the experimental orchards compared to the control. In 85% of the leaf samples, leaf magnesium contents

were lower than normal thresholds, which could potentially reduce fruit yield and quality. The higher potassium contents likely inhibited magnesium uptake in the experimental orchard (Zhang *et al*., 2021).

Soil application of 250 g magnesium sulfate tree^{-1} resulted in the highest fruit yield (74.66 kg tree^{-1}) and fruit diameter (2.31 cm). This treatment also had the highest TSS content (66.33%). However, excessive magnesium sulfate application (500 and 750 g tree^{-1}) led to reduction in TSS, likely due to disturbances in cation balance and the uptake of other nutrient elements. Our findings are in consistent with the findings of Wang *et al*. (2021).

Therefore, balanced soil applied magnesium sulfate was effective in correcting nutrient deficiencies and improving fruit yield and quality characteristics of date palm cv. Mazafati.

References

Assis, V.C.S.S. 2024. Magnesium dynamics in the soil-plant system and its role in plant metabolism and nutrition: a review. *Scientific Electronic Archives, 17*(4), pp.1-10. DOI: 10.36560/17420241898

Tränkner, M. and Jaghdani, S.J. 2019. Minimum magnesium concentrations for photosynthetic efficiency in wheat and sunflower seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *144*, pp.234-243. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.09.040

Wang, Z., Hassan, M.U., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F. and Li, X. 2020. Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 495191. DOI: 10.3389/fpls.2019.01727

Zhang, S.W., Yang, W.H., Muneer, M.A., Ji, Z.J., Tong, L. and Zhang, X. 2021. Integrated use of lime with Mg fertilizer significantly improves the pomelo yield, quality, economic returns and soil physicochemical properties under acidic soil of southern China. *Scientia Horticulturae, 290,* 110502. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110502

*Corresponding author: damankeshan_2@yahoo.com Tel.: +983432112391

Received: 04 August 2024
Accepted: 10 November 2024

2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.