



## تأثیر ملاتونین بر تنش ناشی از فرار فومسافن روی چغندرقد (*Beta vulgaris L.*) در شرایط گلخانه

### Effect of melatonin on the stress caused by fomesafen on sugar beet (*Beta vulgaris L.*) under greenhouse conditions

اکبر علی وردی<sup>۱\*</sup> و حامد منصوری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱ : تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰

نوع مقاله: پژوهشی

DOI:10.22092/jsb.2024.364814.1344

۱. علی وردی و ح. منصوری. ۱۴۰۲. تأثیر ملاتونین بر تنش ناشی از فرار فومسافن روی چغندرقد (*Beta vulgaris L.*) در شرایط گلخانه. چغندرقد، ۳۹(۱): ۹۰-۷۷.

#### چکیده

تنش ناشی از پسمان خاکی و یا فرار فومسافن (Fomesafen) روی چغندرقد می‌تواند بهره‌وری تولید آنرا کاهش دهد. پژوهش حاضر با هدف مصون‌سازی چغندرقد در برابر تنش ناشی از فرار فومسافن با ملاتونین، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار در بهار ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا گردید. عامل اول شامل کاربرد چهار دوز فومسافن (۰، ۱/۱۰۰، ۱/۱۰، و ۱/۱۰ دوز برچسب شده) در مرحله چهار برگی چغندرقد بود. عامل دوم شامل سه سطح روش کاربرد ملاتونین (عدم کاربرد، پیش تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته در مرحله دو برگی با محلول ملاتونین ۱ میلی‌مولار) بود. در غیاب فومسافن، محلول‌پاشی بوته با ملاتونین تأثیری بر وزن بوته نداشت ولی پیش تیمار بذر با ملاتونین وزن خشک ریشه را از ۴۶/۰ به ۵۶/۰ گرم و وزن خشک اندام‌هوایی را از ۲۱/۱ به ۳۶/۱ گرم افزایش داد. کاربرد ۱/۱۰۰ دوز برچسب شده فومسافن موجب گیاه‌سوزی ۷۱ درصدی شد که با پیش تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته با ملاتونین به ترتیب به ۵۴ و ۴۲ درصد کاهش پیدا کرد. اگرچه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز با افزایش دوز فومسافن به‌طور پیوسته کاهش یافت، اما در هر سطحی از دوز علف‌کش، ملاتونین سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنها شد و تفاوتی بین روش کاربرد ملاتونین نیز مشاهده نشد. فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزایش دوز فومسافن ابتدا یک روند افزایشی و سپس کاهش نشان داد. در کل، فعالیت آنزیم پراکسیداز در روش محلول‌پاشی بوته با ملاتونین بیشتر از روش پیش تیمار بذر با ملاتونین بود. در هر سطحی از دوز فومسافن، ملاتونین توانست محتوی مألون‌دی‌آلدئید را در چغندرقد کاهش دهد و تفاوتی بین روش کاربرد ملاتونین نیز مشاهده نشد. براساس نتایج، ملاتونین قادر به کاهش تنش ناشی از فرار فومسافن روی چغندرقد است.

واژه‌های کلیدی: بادبردگی، تنش، علف‌کش، چغندرقد، هورمون



۱- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

\*- نویسنده مسئول a.aliverdi@basu.ac.ir

۲- استادیار بخش تحقیقات چغندرقد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

## مقدمه

مربوطه ممکن است گیاهان زراعی مجاور با دوره رویشی مشابه مانند چغندر قند را نیز آلوده کند. به طوری که محققان مشخص کردند که وقوع بادبردگی فومسافن به میزان  $\frac{1}{100}$  دوز برچسب شده روی چغندر قند می‌تواند باعث گیاه‌سوزی نزدیک ۶۰ درصدی آن شود (Li et al. 2022). علاوه بر این، در پژوهش قبلی مشخص شد که سرعت تجزیه فومسافن بسته به شرایط خاک دارد. به طوری که نیمه عمر فومسافن در شرایط بی‌هوازی خاک در کمتر از سه هفته اتفاق می‌افتد ولی در شرایط هوازی خاک، نیمه عمر آن بین ۶ تا ۱۲ ماه است (Johnson and Talbert 1993). از این رو، تحقیقات گذشته ثابت کرده است که کاربرد فومسافن در گیاه زراعی مربوطه به دلیل ماندگاری طولانی مدت در خاک، عملکرد گیاه زراعی بعدی در تناوت زراعی مثل ذرت (Cobucci et al. 1997)، لوبیا، هندوانه، خیار، آفتابگردان، خردل سیاه (Johnson and Talbert 1993)، ارزن و برنج (Cobucci et al. 1998)، گندم، نخود و ماشک گل‌خوشه‌ای (Cornelius and Bradley 2017) را تحت تأثیر قرار داده است. در سال‌های اخیر، با افزایش مقاومت علف‌های هرز به فومسافن (Cao et al. 2023)، کشاورزان دوز مصرفی آن را افزایش می‌دهند تا کارایی آن علیه علف‌های هرز را افزایش دهند. این امر می‌تواند فرار فومسافن روی گیاه زراعی مجاور را تشدید کند و تولید آن را شدیداً تحت تأثیر قرار دهد (Li et al. 2022).

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) گیاهی دو ساله از خانواده تاج خروس (*Amaranthaceae*) است که به صورت گیاهی یکساله جهت استحصال شکر کشت و کار می‌شود (Najafi et al. 2022). در سال ۲۰۲۲، تقریباً  $\frac{4}{3}$  میلیون هکتار از اراضی جهان زیر کشت چغندر قند رفته است که نتیجه آن تولید حدوداً ۲۶۱ میلیون تن ریشه چغندر قند بوده است. سهم ایران در همین سال، کشت تقریباً ۹۰ هزار هکتار با برداشت بیش از پنج میلیون تن ریشه بوده است (Anonymous 2022). چغندر قند

علف‌کش‌ها به‌عنوان ابزار مهمی برای از بین بردن علف‌های هرز در مزارع تلقی می‌شوند. آنها می‌توانند هزینه‌های تولید گیاهان زراعی را کاهش و عملکرد آنها را افزایش دهند (Hkudaygulov et al. 2022). با این حال، کاربرد آنها به دلیل ماندگاری طولانی مدت در خاک می‌تواند اثرات منفی بر گیاه زراعی بعدی در تناوت زراعی به همراه داشته باشد (Melo et al. 2016). برخی از علف‌کش‌ها فرآریت شدیدی دارند و می‌تواند در اثر باد یا تعرق از گیاه به اتمسفر راه پیدا کنند و محیط زیست را آلوده سازند. زمانی که علف‌کش‌ها در مزارع به کار برده می‌شود، نه تنها می‌توانند گیاه زراعی مورد نظر را تحت تأثیر قرار دهند، بلکه می‌توانند به سمت گیاهان زراعی غیرهدف در مزارع مجاور فرار کنند و رشد آنها را متأثر سازند (Strandberg et al. 2021). لذا، آنها ضمن آلوده‌سازی محیط زیست، به‌عنوان یکی از علل کاهش بهره‌وری در کشاورزی محسوب می‌شوند.

در ایران، علف‌کش فومسافن برای کنترل پس‌رویشی علف‌های هرز پهن برگ در مزارع سویا (*Glycine max*) مجوز کاربرد دارد (Anonymous. 2024). فومسافن آنزیم پروتوپورفیرینوژن اکسیداز را در مسیر تولید انواع کلروفیل‌ها مهار می‌کند که منجر به تجمع پروتوپورفیرینوژن در کلروپلاست و نشت آن به سیتوپلاسم سلول و در آنجا، طی واکنش اکسیداسیون خود به خودی به پروتوپورفیرین تبدیل می‌شود. سپس، پروتوپورفیرین با اکسیژن واکنش داده و رادیکال اکسیژن نوزاد را تشکیل می‌دهد که می‌تواند هیدروژن را از اسیدهای چرب غیراشباع غشاهای سلول انتزاع کند که منجر به نشت الکترولیت‌ها از سلول و مرگ آن می‌شود (Lizotte-Hall and Hartzler 2019). فومسافن به یک جزء مهم از برنامه کنترل علف‌های هرز در مزارع در بسیاری از کشورها تبدیل شده است و اخیراً نیز در کشور ما در دسترس کشاورزان قرار گرفته است. با این حال، کاربرد آن در گیاه زراعی

پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدید و آسیب‌های ناشی از تنش‌های فوق بر چغندر قند گردد. در تحقیق دیگری که در محیط پتری‌دیش با استفاده از دیسک‌های برگ‌ی نخود تحت شرایط تنش علف‌کش پاراکوات (Paraquat) انجام گرفت، محققان نشان دادند که افزودن ملاتونین در غلظت ۲۰۰ میکرومولار به محیط کشت می‌تواند محتوی هیدروکسید تولید شده را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد (Szafrńska *et al.* 2016). همچنین، کاربرد ملاتونین در غلظت یک میلی‌مولار به‌صورت خاک مصرف و شاخ و برگ مصرف در کاهش آسیب علف‌کش اکسی‌فلورفن (Oxyfluorfen) (مهارکننده آنزیم پروتوپورفیرینوژن اکسیداز) روی گیاه گوار مؤثر تشخیص داده شده است (Aliverdi and Khorshidvand 2024).

از این رو، این پژوهش با هدف مصون‌سازی چغندر قند به‌واسطه کاربرد ملاتونین در برابر تنش ناشی از فومسافن انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (۴ × ۳) با پنج تکرار در اواخر بهار ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا گردید. با توجه به اینکه دوز فرار علف‌کش روی گیاهان غیرهدف بسیار کمتر از دوز برچسب شده علف‌کش است (Li *et al.* 2022)، عامل اول شامل کاربرد چهار دوز فومسافن (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۲۵ گرم ماده مؤثره در هکتار) در مرحله چهار برگ‌ی چغندر قند در نظر گرفته شد که به ترتیب برابر صفر، ۱/۱۰۰، ۱/۱۰ و ۱/۱۰ دوز برچسب شده از فرمولاسیون رفلکس ۲۵ درصد قابل حل در آب هستند. برای اعمال تیمارهای علف‌کشی از سمپاش دستی فشاری استفاده شد که به نازل بادبزی لبه یکنواخت E11002 مجهز بود که در فشار ۳۰۰ کیلو پاسکال، حجم پاشش ۲۲۰ لیتر در هکتار را فراهم

گیاهی بسیار حساس به علف‌کش‌هاست (Mehdizadeh and Gholami Abadan 2018) و اغلب در دوره رشد تحت تأثیر تنش ناشی از پسمان خاکی فومسافن به‌کار رفته در سال قبل (Melo *et al.* 2016) و یا فومسافن فرار کرده روی آن قرار می‌گیرد (Li *et al.* 2022). تولید رادیکال اکسیژن نوزاد ناشی از تنش فومسافن در چغندر قند موجب پاره شدن غشاهای سلولی می‌شود که منجر به نشت سیتوپلاسم سلول به بیرون و مرگ سلول می‌شود. برای مثال، محققان گزارش کردند که وقوع بادبردگی فومسافن به میزان ۱/۱۰ و ۱/۱۰ دوز برچسب شده روی چغندر قند می‌تواند باعث افزایش محتوی مالون دی‌آلدئید از ۳/۹۲ (شاهد) به ۵/۴۰ میلی-مول در گرم برگ تازه آن شده است که نشان‌دهنده افزایش بیش از ۲۷ درصدی پروکسیداسیون لیپیدهای غشاهای سلولی است (Li *et al.* 2022).

تنش ناشی از علف‌کش‌ها در گیاهان زراعی را می‌توان با برخی از هورمون‌های گیاهی کاهش داد. مانند آسکوربیک اسید (Wang *et al.* 2018)، جاسمونیک اسید (Ma *et al.* 2021)، سالیسیلیک اسید (Khatooni *et al.* 2022)، براسینوستروئید (Zhou *et al.* 2015) و ملاتونین (Caputo *et al.* 2020; Ding *et al.* 2018; Park *et al.* 2013; Szafrńska *et al.* 2016; Aliverdi 2024). ملاتونین ابتدا در حیوانات در سال ۱۹۵۸، سپس در گیاهان در سال ۱۹۹۵ و اخیراً در قارچ‌ها در سال ۲۰۱۶ شناسایی شده است (Asif *et al.* 2019). ملاتونین نقش محافظتی در گیاهان در برابر انواع تنش‌ها دارد. برای مثال، تحقیقات گذشته نشان داد که کاربرد ملاتونین در غلظت ۱۰۰ میکرومولار به‌صورت خاک مصرف و شاخ و برگ مصرف روی چغندر قند رشد یافته تحت شرایط تنش‌های شوری (Zhang *et al.* 2021) و خشکی (He *et al.* 2023) می‌تواند به‌طور معنی‌داری سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز شود. این امر منجر به کاهش محتوی آنیون سوپراکسید،

پنج روز پس از کاربرد علف‌کش، میزان گیاه‌سوزی با استفاده از شاخص گیاه‌سوزی ( $PI$ ) و با برآورد درجه گیاه‌سوزی چشمی به صورت درجه صفر: برگ سالم، درجه ۱: برگ دارای لکه‌هایی سیاه است، درجه ۲: نیم از برگ سیاه شده و درجه ۳: برگ پژمرده یا مرده) کمی‌سازی شد (Li et al. 2022) (رابطه ۱):

$$PI = \sum \frac{G \times ng}{n \times nd} \quad (1)$$

که در آن،  $G$  = درجه گیاه‌سوزی مشاهده شده،  $ng$  = تعداد بوته با درجه گیاه‌سوزی مشاهده شده،  $n$  = تعداد کل بوته‌ها و  $nd$  = تعداد درجه‌بندی برای گیاه‌سوزی چشمی (که در این مطالعه ۴ بود) می‌باشد. دو هفته پس از کاربرد علف‌کش، اندام‌هوایی یک بوته از هر گلدان برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های حفاظتی از روی سطح خاک برداشت و درون فریزر در دمای منفی ۱۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

دستورالعمل زیر برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز دنبال شد (Van Rossun et al. 1997). یک گرم برگ فریزر شده چغندرقد به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید ۱ میلی‌مولار اضافه گردید. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه پارچه از جنس ریون عبور داده شد. نمونه به دست آمده سانتریفیوژ (۱۶۰۰۰ گرانش زمین، ۱۵ دقیقه) و ۵۰ میکرولیتر از مایع رویی آن برداشت شد، تا پس از مخلوط کردن با ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۷/۸) + ال-متیونین ۱۳ میلی‌مولار + اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید ۱۰۰ میکرومولار + کلرید تترازولیوم پی- نیتروبلو ۷۵ میکرومولار + ریبوفلاوین ۲ میکرومولار، به مدت پنج دقیقه در معرض لامپ فلورسنت ۳۰ واتی قرار داده شود. در نهایت، جذب نمونه در طیف ۵۶۰ نانومتر با

می‌کرد. عامل دوم دارای سه سطح روش کاربرد ملاتونین شامل عدم کاربرد (بذرها در آب مقطر خیسانده شدند)، پیش تیمار بذر (بذرها در محلول ملاتونین ۱ میلی‌مولار خیسانده شدند) و محلول‌پاشی بوته (بوته‌ها در مرحله دو برگگی با محلول ملاتونین یک میلی‌مولار محلول‌پاشی شدند) بود (Caputo et al. 2020). تیمارهای محلول‌پاشی با ملاتونین به وسیله همان سمپاش بالا اعمال شد. قبل از پاشش، یک مویان غیریونی (ترند-۹۰) با غلظت یک در هزار به محلول‌های پاشش علف‌کش و ملاتونین اضافه شد. بذرهای چغندرقد رقم شکوفا ابتدا در محلول‌های پیش تیمار بذر ذکر شده در بالا قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت، بذرها از محلول‌ها خارج و روی کاغذ صافی قرار داده شدند تا به طور سطحی خشک شوند. تعداد هشت بذر در عمق حدود یک سانتی‌متری در هر گلدان پلاستیکی پُر شده با سه کیلوگرم خاک کاشته شد. خاک استفاده شده از مزرعه مجاور بدون سابقه کاربرد علف‌کش جمع‌آوری شده بود (جدول ۱).

جدول ۱ تجزیه خاک مورد استفاده بدون سابقه کاربرد علف‌کش

طبقه	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	ماده آلی (درصد)	فسفر	پتاسیم	نیتروژن
لوم شنی	۲/۱	۷/۶	۱	۵۷/۲	۳۶۸/۲	۰/۱

گلدان‌ها در گلخانه در نور طبیعی با حدوداً ۱۲ ساعت نور آفتاب قرار گرفتند، هر سه روز یک بار و هر بار به میزان یکنواخت آبیاری شدند و بافاصله پس از سبزشدن، به چهار بوته در هر گلدان تنک شدند. در طول آزمایش، دمای و رطوبت نسبی گلخانه به ترتیب بین ۱۹ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد و ۴۱ تا ۶۵ درصد اندازه‌گیری شد.

سانتی‌گراد، ۳۰ دقیقه) قرار داده شود. سپس، ۰/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۵ درصد به نمونه اضافه و در نهایت، جذب آن در طیف ۴۸۰ نانومتر ثبت گردید.

دستورالعمل زیر برای اندازه‌گیری محتوی مالون دی‌آلدئید دنبال شد (Meir *et al.* 1992). نیم گرم برگ فریزر شده چغندر قند به ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۱/۰ درصد اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانس زمین، ۱۰ دقیقه). سپس، ۱ میلی‌لیتر از مایع رویی با ۴ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد + اسید تیوباریتوریک ۰/۵ درصد مخلوط و درون حمام بن ماری (۹۵ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ دقیقه) نگاه‌داری شد. نمونه در دمای اتاق سرد و سپس سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانس زمین، ۱۰ دقیقه). در نهایت، جذب نمونه در طیف ۵۳۲ نانومتر ثبت گردید.

با در نظر داشتن برداشت اندام هوایی یکی از بوته‌ها، گیاهان باقی‌مانده در هر گلدان نیز برای اندازه‌گیری پارامترهای رشدی برداشت شدند و پس از خشک کردن آنها در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، وزن خشک ریشه و اندام هوایی تک بوته توزین گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش تجزیه واریانس در محیط نرم‌افزار SAS انجام گرفت. میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده هر دو عامل (دوز فومسافن و روش کاربرد ملاتونین) و اثر متقابل بین آنها بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده در چغندر قند در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

استفاده از طیف‌سنج فرابنفش-مرئی (مدل پرتو دوگانه DS5) ثبت گردید.

دستورالعمل زیر برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز دنبال شد (Zhang *et al.* 1990). یک گرم برگ فریزر شده چغندر قند به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید یک میلی‌مولار اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه پارچه از جنس ریون عبور داده شد. نمونه به‌دست آمده سانتریفیوژ (۱۶۰۰۰ گرانس زمین، ۱۵ دقیقه) و ۲۵ میکرولیتر از مایع رویی آن برداشت شد تا پس از مخلوط کردن با ۲ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + گایاکول ۲۰ میلی‌مولار + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی‌مولار، در حمام بین ماری (۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ دقیقه) قرار داده شود. سپس، ۵۰ میکرولیتر از نمونه به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۷) + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی‌مولار اضافه شد. در نهایت، جذب محلول به‌دست آمده در طیف ۲۴۰ نانومتر ثبت گردید.

دستورالعمل زیر برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز دنبال شد (Urbanek *et al.* 1991). یک گرم برگ فریزر شده چغندر قند به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید یک میلی‌مولار اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و از یک لایه پارچه از جنس ریون عبور داده شد. نمونه به‌دست آمده سانتریفیوژ (۱۶۰۰۰ گرانس زمین، ۱۵ دقیقه) و ۲۵ میکرولیتر از مایع رویی آن برداشت شد تا پس از مخلوط کردن با ۲ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + گایاکول ۲۰ میلی‌مولار + پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی‌مولار، در حمام بین ماری (۷۰ درجه

جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس تاثیر دوز فومسافن و روش کاربرد ملاتونین بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی چغندرقد

میانگین مربعات			درجه آزادی		منابع تغییر
نسبت ریشه به اندام هوایی	وزن خشک	وزن خشک ریشه	شاخص گیاه‌سوزی		
۰/۰۱**	۰/۷۹**	۰/۱۴**	۱۵۷۹۰/۳۸**	۳	دوز فومسافن (A)
۰/۰۱**	۰/۱۳**	۰/۰۵**	۳۰۸۸/۴۹**	۲	روش کاربرد ملاتونین (B)
۰/۰۰**	۰/۰۲**	۰/۰۰**	۵۷۴/۲۴**	۶	A × B
۲/۲۴	۳/۵۱	۲/۰۶	۲/۹۲	-	ضریب تغییرات (درصد)
محتوی مآلوندی آلدئید			فعالیت سوپراکسید دیسموتاز		
۹/۲۳**	۳۹/۰۰**	۹۴/۵۰**	۱۴۸۸۷/۲۸**	۳	دوز فومسافن (A)
۶/۶۱**	۱۰۲/۶۰**	۳۱۵۶/۳۷**	۱۲۵۱۹/۵۳**	۲	روش کاربرد ملاتونین (B)
۰/۵۱**	۵/۶۳**	۳۴/۷۱**	۸۴۹/۷۱**	۶	A × B
۱/۹۹	۳/۷۱	۱/۳۷	۴/۵۴	-	ضریب تغییرات (درصد)

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

ملاتونین سبز شدند، که این امر احتمالاً مسبب وزن بوته بیشتر می‌باشد. پیش از این، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر ناشی از ملاتونین در برخی از بقولات مستند شده است (Saleh *et al.* 2019). همچنین، رشد افزایش یافته گیاهچه چغندرقد ناشی از ملاتونین نیز قبلاً گزارش شده است (Zhang *et al.* 2021; Liu *et al.* 2022; He *et al.* 2023). در سویا، تنظیم مثبت ناشی از ملاتونین در بسیاری از ژن‌های مرتبط با جته گیاه مثل ژن‌های *PsbO* و *PsbP* در فتوسیستم II و *PsaK* و *PsaG* در فتوسیستم I گزارش شده است (Wei *et al.* 2015). در آرابیدوپسیس تالیان نیز گزارش شده است که حذف ژن‌های *PsbO* و *PsbP* (Murakami *et al.* 2005) و *PsaG* و *PsaK* (Varotto *et al.* 2002) منجر به کاهش جته گیاه شد. از این رو، نقش دیگر ملاتونین در گیاهان افزایش جته آنها است و اینکه آیا سبز شدن زودتر همراه با رشد اولیه بهتر گیاهچه چغندرقد به دلیل پیش تیمار بذر با ملاتونین می‌تواند توانایی رقابتی آن را در برابر علف‌های هرز افزایش دهد باید در پژوهش‌های بعدی به اثبات برسد. به طور کلی، روش محلول‌پاشی بوته با ملاتونین در مقایسه با روش پیش تیمار بذر با ملاتونین در کاهش اثرات نامطلوب فومسافن روی وزن بوته

نتایج نشان داد که چغندرقد به فومسافن بسیار حساس بود، به طوری که کاربرد ۰/۲۵ گرم فومسافن در هکتار موجب گیاه‌سوزی ۷۱ درصدی شد. وقتی بذر و بوته چغندرقد با ملاتونین تیمار شدند، گیاه‌سوزی ناشی از کاربرد ۰/۲۵ گرم فومسافن در هکتار به ترتیب از ۷۱ به ۵۴ و ۴۲ درصد کاهش پیدا کرد. علاوه بر دوز یاد شده، برتری نسبی روش محلول‌پاشی بوته با ملاتونین نسبت به روش پیش تیمار بذر در تقلیل سطح گیاه‌سوزی ناشی از کاربرد ۲۵ گرم فومسافن در هکتار نیز محرز گردید (شکل ۱ الف). صرف نظر از روش کاربرد ملاتونین، کاربرد دوز نهایی فومسافن باعث گیاه‌سوزی بیش از ۹۰ درصدی بوته‌های چغندرقد شد. به طوری که تعیین فعالیت آنزیم‌های حفاظتی را غیر ممکن ساخت.

تحت شرایط عدم کاربرد فومسافن، روش محلول‌پاشی بوته با ملاتونین تأثیر معنی‌داری بر وزن چغندرقد نداشت ولی روش پیش تیمار بذر با ملاتونین به طور معنی‌داری وزن خشک ریشه را از ۰/۴۶ به ۰/۵۶ گرم (شکل ۱ ب) و وزن خشک اندام‌هوایی را از ۱/۲۱ به ۱/۳۶ گرم افزایش داد (شکل ۱ ج). به وضوح معلوم بود که گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش تیمار شده با ملاتونین یک تا دو روز زودتر از گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش تیمار نشده با

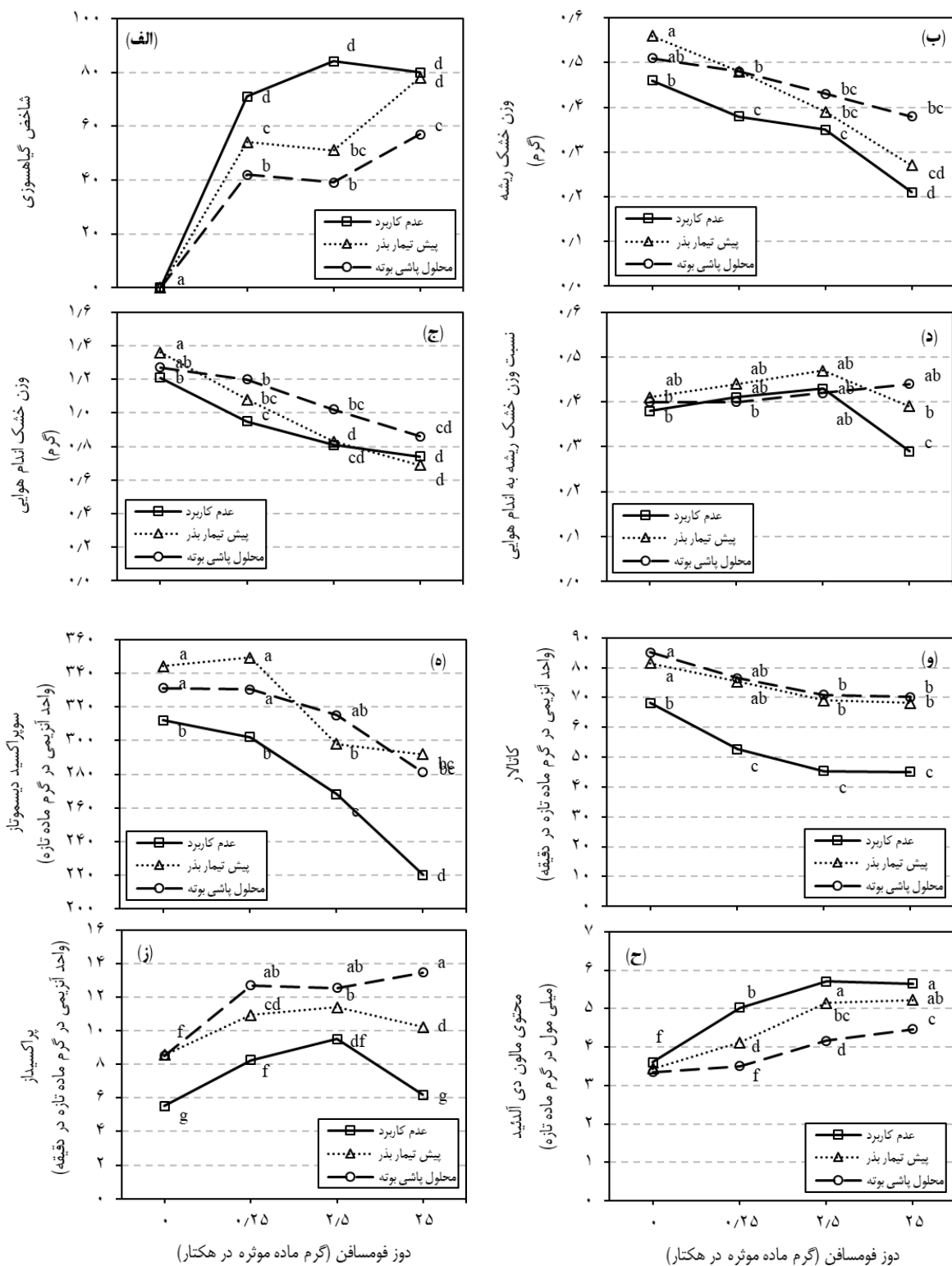
کاربرد ملاتونین تفاوتی مشاهده نشد. به عبارتی دیگر، ملاتونین اثر منفی فومسافن بر فعالیت آنزیم را کاهش داده است. این امر سبب کاهش گیاه‌سوزی ناشی از فومسافن بر روی چغندر قند شد (شکل ۱الف). همبستگی منفی بین فعالیت این آنزیم‌ها و دوز فومسافن ممکن است پاسخ به تنش توسط سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی چغندر قند باشد. در دوزهای بالای فومسافن، تجمع اکسیژن فعال در چغندر قند از محدوده‌ای که سیستم برای چغندر قند می‌تواند تحمل کند فراتر رفت و در نتیجه فعالیت‌های آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز کاهش یافت. محققان قبلی نیز نتایج مشابهی در رابطه با همبستگی منفی بین فعالیت این آنزیم‌ها و دوز فومسافن در چغندر قند ارائه دادند (Li et al. 2022). این در حالی بود که فعالیت آنزیم پراکسیداز چغندر قند با افزایش دوز فومسافن ابتدا روند افزایشی (تا ۲/۵ گرم در هکتار) و سپس کاهش نشان داد (شکل ۱ز). این نشان می‌دهد چغندر قند با تنش دوز پایین فومسافن سازگار شده است ولی دوزهای بالاتر فعالیت آنزیم پراکسیداز را مهار می‌کند و نمی‌تواند از گیاه محافظت کند. در ۲ تا ۳ دوز فومسافن، سطح فعالیت آنزیم پراکسیداز در روش محلول‌پاشی بوته با ملاتونین بیشتر از روش پیش تیمار بذر با ملاتونین بود.

تحت شرایط عدم کاربرد ملاتونین، هنگامی که دوزهای ۲/۵ و ۲۵ گرم فومسافن در هکتار اعمال شد، محتوی مألون‌دی-آلدئید در چغندر قند به بالاترین حد خود رسید (شکل ۱ح). بجز در مورد تیمار دوز ۲۲/۵ گرم فومسافن در هکتار و پیش تیمار بذر با ملاتونین، کاربرد ملاتونین در دوزهای ۰/۲۵، ۲/۵ و ۲۵ گرم فومسافن توانست محتوی مألون‌دی‌آلدئید در چغندر قند را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. در برنج تراریخت غنی از ملاتونین که با علف‌کش بوتافنسیل (Butafenacil) (مه‌ارکننده آنزیم پروتوپورفیرینوزن اکسیداز) تیمار شده بود نیز محتوی مألون‌دی-آلدئید کمتر و آنزیم پراکسیداز فعال‌تری نیز مشاهده شده است و به همین دلیل این رقم از برنج قادر به تحمل علف‌کش مذکور است (Park et al. 2013).

چغندر قند موثرتر عمل کرد. صرف‌نظر از روش کاربرد ملاتونین، وزن بوته چغندر قند با افزایش دوز مصرفی فومسافن به‌طور پیوسته کاهش پیدا کرد. تحت شرایط عدم کاربرد ملاتونین، دوز ۱/۰ توصیه شده فومسافن (۲۵ گرم در هکتار) توانست وزن ریشه و اندام‌هوایی بوته چغندر قند را به‌ترتیب ۵۴ و ۳۸ درصد کاهش دهد. تحت شرایط کاربرد شاخ و برگ ملاتونین، دوز فوق توانست وزن ریشه و اندام‌هوایی بوته چغندر قند را به‌ترتیب ۲۵ و ۳۲ درصد کاهش دهد. در حالی که تحت شرایط کاربرد بذری ملاتونین، دوز فوق توانست وزن ریشه و اندام‌هوایی بوته چغندر قند را به‌ترتیب ۳۱ و ۴۹ درصد کاهش دهد.

کاربرد دوزهای ۰/۲۵ و ۲/۵ گرم فومسافن تأثیر معنی‌داری بر نسبت وزن ریشه به اندام‌هوایی بوته چغندر قند نداشت ولی کاربرد دوز ۲۵ گرم فومسافن به‌طور معنی‌داری این نسبت را کاهش داد (شکل ۱د). محققین قبلی نیز وابستگی نسبت وزن ریشه به اندام‌هوایی چغندر قند به دوز فومسافن را مشاهده کرده بودند (Li et al. 2022). با این وجود، در پژوهش حاضر، کاربرد ملاتونین تا حدود زیادی باعث ناپدید شدن همبستگی بین نسبت وزن ریشه به اندام‌هوایی چغندر قند و دوز فومسافن شد.

تحت شرایط عدم کاربرد فومسافن (دوز صفر)، کاربرد ملاتونین به‌طور معنی‌داری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (شکل ۱ه)، کاتالاز (شکل ۱و) و پراکسیداز شد (شکل ۱ز) ولی تأثیری بر محتوی مألون‌دی‌آلدئید نداشت (شکل ۱ح). به‌طور مشابه، افزایش فعالیت آنزیم‌های حفاظتی یاد شده در چغندر قند به واسطه کاربرد ملاتونین در تحقیقات گذشته بر روی گیاهان دیگری نیز گزارش شده است (Zhang et al. 2021; Liu et al. 2022; He et al. 2023). اگرچه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز با افزایش دوز فومسافن به‌طور پیوسته کاهش یافت، اما در هر سطحی از دوز فومسافن، ملاتونین سبب افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم‌ها شد و نیز بین روش



شکل ۱ تأثیر روش کاربرد ملاتونین و دوز فومسافن بر گیاهسوزی، ویژگی‌های رشدی و فعالیت آنزیم‌های حفاظتی چغندرقدند. در هر شکل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک طبق آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری ندارند.



دور از ذهن نباید باشد. با این وجود، این موضوع باید در پژوهش‌های بعدی به اثبات برسد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج و مشاهدات این پژوهش حاکی از سبزشدن زودتر همراه با رشد اولیه بهتر بوته چغندرقد به دلیل پیش تیمار بذر آن با ملاتونین بود. علاوه بر این، حساسیت بسیار بالای چغندرقد به فومسافن نیز محرز گردید. از این رو، با توجه به باقیماندن بقایای حاکی فومسافن برای سال آینده و نیز تقاضای گسترده برای کاربرد فومسافن در گیاهان زراعی مربوطه که احتمال فرار آنرا بر روی چغندرقد افزایش می‌دهد، باید چغندرقد را در برابر خسارت فومسافن ایمن ساخت تا به بهره‌وری حداکثری در تولید این محصول نائل شد. تحت شرایط فرار شبیه‌سازی شده، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد شاخ و برگ ملاتونین می‌تواند مؤثرتر از کاربرد بذری آن از خسارت فومسافن در چغندرقد بکاهد. با این وجود، اگر خطر بقایای حاکی فومسافن برای چغندرقد وجود داشته باشد، کاربرد بذری ملاتونین در اولویت خواهد بود. از آنجایی که عمل ایمن‌کنندگی ملاتونین در برابر علف‌کش می‌تواند در علف‌های هرز نیز رخ دهد، از این رو، کاربرد شاخ و برگ ملاتونین در چغندرقد باید بعد از حذف شیمیایی علف‌های هرز در مزرعه انجام گیرد یا اینکه کاربرد بذری ملاتونین در اولویت قرار گیرد.

براساس نتایج به دست آمده می‌توان چنین استنتاج کرد که اثرات تسکین دهنده گی ملاتونین بر گیاه‌سوزی چغندرقد ناشی از فومسافن می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های حفاظتی در سرکوب رادیکال‌های اکسیژن نوزاد و حذف مألون‌دی‌آلدئید به عنوان رایج‌ترین محصول جانبی پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای سلولی باشد. محققان قبلی نیز نتایج مشابهی در رابطه با اثرات تسکین دهنده گی ملاتونین بر گیاه‌سوزی نخود ناشی از پاراکوات ارائه دادند (Szafrńska *et al.* 2016). با این وجود، دلیل احتمالی دیگر می‌تواند تجزیه افزایش یافته فومسافن در چغندرقد باشد. آنزیم درگیر در اولین مرحله تجزیه علف‌کش‌ها در گیاهان سیتوکروم پی ۴۵۰ منواکسیژناز می‌باشد.

درحالی که در مراحل بعدی، آنزیم گلوکاتایون اس-ترانسفراز در تجزیه علف‌کش‌ها در گیاهان نقش بازی می‌کند (Van Eerd *et al.* 2003). از آنجایی که تحقیقات گذشته ثابت کرده است که فعالیت آنزیم سیتوکروم پی ۴۵۰ منواکسیژناز در گوجه‌فرنگی (Debnath *et al.* 2021) و آنزیم گلوکاتایون اس-ترانسفراز در گوجه‌فرنگی (Kanwar *et al.* 2020) و کیوی (Liang *et al.* 2018) با کاربرد ملاتونین افزایش می‌یابد، از این رو، فرض اینکه متابولیسم افزایش یافته فومسافن در چغندرقد نیز می‌تواند کاهش گیاه‌سوزی فومسافن در چغندرقد را توضیح دهد

### References:

### منابع مورد استفاده:

- Aliverdi A. Foliar-applied melatonin mitigates carryover injury caused by premix herbicide Lumax 537.5SE in potato. Potato Research. 2024. In Press. doi:10.1007/s11540-023-09665-1. [In Persian]
- Aliverdi A, Khorshidvand Y. Melatonin mitigation of herbicide-induced injury to guar crop improves nodulation. Rhizosphere. 2024; 29: 100866. doi:10.1016/j.rhisph.2024.100866. [In Persian]

- Anonymous. 2024. Plant Protection Organization. List of authorized pesticides in Iran. Available from: <https://www.ppo.ir>.  
[In Persian]
- Anonymous. 2024. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed 21 Jan. 2024) [In Persian]
- Asif M, Pervez A, Ahmad R. Role of melatonin and plant-growth-promoting rhizobacteria in the growth and development of plants. *Clean – Soil, Air, Water*. 2019; 47: 1800459. doi:10.1016/j.pmpp.2023.102097.
- Cao S, Zou Y, Zhang S, Zhang H, Guan Y, Liu L, Ji M. Investigation of resistance mechanisms to fomesafen in *Ipomoea nil* from China. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2023; 194: 105487. doi:10.1016/j.pestbp.2023.105487.
- Caputo GA, Wadl PA, McCarty L, Adelberg J, Jennings KM, Cutulle M. In vitro safening of bentazon by melatonin in sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Hort Science*. 2020; 55: 1406–1410. doi: 10.21273/HORTSCI15128-20.
- Cobucci T, Silva B, Prates HT. Carryover effect of fomesafen, applied on edible bean, on successional maize. *Planta daninha* 1997;15:180–9. doi:10.1590/S0100-83581997000200011.
- Cobucci T, Prates HT, Falcão CLM, Rezende MMV. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. *Weed Science*. 1998; 46: 258–263. doi:10.1017/S0043174500090500.
- Cornelius CD, Bradley KW. Carryover of common corn and soybean herbicides to various cover crop species. *Weed Technology*. 2017; 31:21–31. doi.org/10.1614/WT-D-16-00062.1.
- Debnath B, Sikdar A, Islam S, Hasan K, Li M, Qiu D. Physiological and molecular responses to acid rain stress in plants and the impact of melatonin, glutathione and silicon in the amendment of plant acid rain stress. *Molecules*. 2021; 26: 862. doi:10.3390/molecules26040862.
- Ding F, Wang G, Zhang S. Exogenous melatonin mitigates methyl viologen-triggered oxidative stress in poplar leaf. *Molecules*. 2018; 23:2852. doi:10.3390/molecules23112852.
- He M, Mei S, Zhai Y, Geng G, Yu L, Wang Y. Effects of melatonin on the growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2023; 42:5116–5130. doi:10.1007/s00344-022-10860-6.
- Hkudaygulov G, Chetverikova D, Bakaeva M, Kenjieva A, Chetverikov S. Plant growth promoting Rhizobacteria strain role in protecting crops sensitive to sulfonyleurea herbicides from stress. *Journal of Crop Protection*. 2022; 11:525–534.
- Johnson DH, Talbert RE. Imazaquin, chlorimuron, and fomesafen may injure rotational vegetables and sunflower (*Helianthus annuus*). *Weed Technology*. 1993; 7:573–577. doi:10.1017/S0890037X00037362.
- Kanwar MK, Xie D, Yang C, Ahammed GJ, Qi Z, Hasan MK, Reiter RJ, Yu JQ, Zhou J. Melatonin promotes metabolism of bisphenol A by enhancing glutathione-dependent detoxification in *Solanum lycopersicum* L. *Journal of Hazardous Materials*. 2020; 388:121727. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121727.

- Khatooni M, Karimmojeni H, Zali AG, Razmjoo J, Tseng TM. Salicylic acid enhances tolerance of *Valeriana officinalis* L. to bentazon herbicide. *Industrial Crops and Products*. 2022; 177:114495. doi:10.1016/j.indcrop.2021.114495. [In Persian]
- Li X, Du J, Song B, Zhang X, Riaz M. Fomesafen drift affects morphophysiology of sugar beet. *Chemosphere*. 2022; 287: 132073. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.132073.
- Liang D, Gao F, Ni Z, Lin L, Deng Q, Tang Y, Wang X, Luo X, Xia H. Melatonin improves heat tolerance in kiwifruit seedlings through promoting antioxidant enzymatic activity and glutathione s-transferase transcription. *Molecules*. 2018; 23:584. doi: 10.3390/molecules23030584.
- Liu L, Wang Z, Gai Z, Wang Y, Wang B, Zhang P, Liu X, Chen J, Zhang S, Liu D, Zou C, Li C. Exogenous application of melatonin improves salt tolerance of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2022; 44:57. doi:10.1007/s11738-022-03389-4.
- Lizotte-Hall SE, Hartzler RG. Effect of post emergence fomesafen application on common milkweed (*Asclepias syriaca*) growth and utilization by monarchs (*Danaus plexippus*). *Crop Protection*. 2019; 116:121–125. doi:10.1016/j.cropro.2018.10.018.
- Ma LY, Zhai XY, Qiao YX, Zhang AP, Zhang N, Liu J, Yang H. Identification of a novel function of a component in the jasmonate signaling pathway for intensive pesticide degradation in rice and environment through an epigenetic mechanism. *Environmental Pollution*. 2021; 268:115802. doi:10.1016/j.envpol.2020.115802.
- Mehdizadeh M, Gholami Abadan F. Negative effects of residual herbicides on sensitive crops: impact of rimsulfuron herbicide soil residue on sugar beet. *Journal of Research in Weed Science*. 2018; 1: 1–6. doi:10.26655/JRWEEDSCI.2018.6.1. [In Persian]
- Meir S, Philosoph- Hadas S, Aharoni N. Ethylene-increased accumulation of fluorescent lipid peroxidation products detected during senescence of parsley by a newly developed method. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1992; 117:128– 132. doi:10.21273/JASHS.117.1.128.
- Melo C, Dias R, Mendes K, Assis A, Reis M. Herbicides carryover in systems cultivated with vegetable crops. *Revista Brasileira de Herbicidas*. 2016; 15:67–78. doi:10.7824/rbh.v15i1.434.
- Murakami R, Ifuku K, Takabayashi A, Shikanai T, Endo T, Sato F. Functional dissection of two Arabidopsis PsbO proteins: PsbO<sub>1</sub> and PsbO<sub>2</sub>. *The FEBS Journal*. 2005; 272:2165–2175. doi:10.1111/j.1742-4658.2005.04636.x.
- Najafi H, Miqani F, Kerminjad MR. Evaluation of propizamid and ethofumesate herbicides efficiency and their combination with common sugar beet herbicides in the control of narrow-leaf and broad-leaf as well as dodder (*Cuscuta campestris*) weeds. *Journal of Sugar Beet*. 2022; 38:95-107. doi:10.22092/JSB.2022.358854.1306. [In Persian]

- Park S, Lee DE, Jang H, Byeon Y, Kim YS, Back K. Melatonin-rich transgenic rice plants exhibit resistance to herbicide-induced oxidative stress. *Journal of Pineal Research*. 2013; 54:258–263. doi:10.1111/j.1600-079X.2012.01029.x.
- Saleh HM, Hassan AA, Mansour EH, Fahmy HA, El-Bedawey AEFA. Melatonin, phenolics content and antioxidant activity of germinated selected legumes and their fractions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2019; 18:294–301. doi:10.1016/j.jssas.2017.09.001.
- Strandberg B, Srensen PB, Bruus M, Bossi R, Damgaard CF. Effects of glyphosate spray-drift on plant flowering. *Environmental Pollution*. 2021; 280:1–11. doi:10.1016/j.envpol.2021.116953.
- Szafrańska K, Reiter RJ, Posmyk MM. Melatonin application to *Pisum sativum* L. seeds positively influences the function of the photosynthetic apparatus in growing seedlings during paraquat- induced oxidative stress. *Frontiers in Plant Science*. 2016; 7: 1663. doi:10.3389/fpls.2016.01663.
- Van Eerd L, Hoagland R, Zablotowicz R, Hall J. Pesticide metabolism in plants and microorganisms. *Weed Science*. 2003; 51: 472–495. doi:10.1614/0043-1745(2003)051[0472:PMIPAM]2.0.CO;2.
- Van Rossun MWPC, Alberda M, Van Der Plas LHW. Role of oxidative damage in tulip bulb scale micropropagation. *Plant Science*. 1997; 130: 207–216. doi:10.1016/S0168-9452(97)00215-x.
- Varotto C, Pesaresi P, Jahns P, Lessnick A, Tizzano M, Schiavon F, Salamini F, Leister D. Single and double knockouts of the genes for photosystem (I) subunits G, K, and H of *Arabidopsis*. Effects on photosystem (I) composition, photosynthetic electron flow, and state transitions. *Plant Physiology*. 2002; 129: 616–624. doi:10.1104/pp.002089.
- Wang X, Wu L, Xie J, Li T, Cai J, Zhou Q, Dai T, Jiang D. Herbicide isoproturon aggravates the damage of low temperature stress and exogenous ascorbic acid alleviates the combined stress in wheat seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2018; 84: 293–301. doi:10.1007/s10725-017-0340-x.
- Wei W, Li QT, Chu YN, Reiter RJ, Yu XM, Zhu DH, Zhang WK, Ma B, Lin Q, Zhang JS, Chen SY. Melatonin enhances plant growth and abiotic stress tolerance in soybean plants. *Journal of Experimental Botany*. 2015; 66:695–707. doi:10.1093/jxb/eru392.
- Urbanek H, Kuzniak- Gebarowska E, Herka H. Elicitation of defense responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. *Acta Physiologiae Plantarum*. 1991; 13: 43–50.
- Zhang J, Li J, Cui S. Response of cell protective enzymes in corn leaf to water stress at seedlings stage. *Acta Agriculturae Boreali- Sinica (China)*. 1990; 5: 19–23. doi:10.3390/horticulturae7030050.
- Zhang P, Liu L, Wang X, Wang Z, Zhang H, Chen J, Liu X, Wang Y, Li C. Beneficial effects of exogenous melatonin on overcoming salt stress in sugar beets (*Beta vulgaris* L.). *plants*. 2021; 10:886. doi:10.3390/plants12162948.

Zhou Y, Xia X, Yu G, Wang J, Wu J, Wang M, Yang Y, Shi K, Yu Y, Chen Z, Gan J, Yu J. Brassinosteroids play a critical role in the regulation of pesticide metabolism in crop plants. *Scientific Reports*. 2015; 5:9018. **doi:10.1080/23311932.2018.1436212.**

## Effect of melatonin on the stress caused by fomesafen on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under greenhouse conditions

A. Aliverdi<sup>1</sup> \* and H. Mansouri<sup>2</sup>

(Received 31 Jan. 2024 ; Accepted 18 Apr. 2024)

**A. Aliverdi and H. Mansouri. 2023.** Effect of melatonin on the stress caused by fomesafen on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under greenhouse conditions. **J. Sugar Beet. 39(1): 77- 90 (in Persian).**

### Abstract

The stress caused by soil residues or fomesafen fumes on sugar beet can reduce its production efficiency. The current study was carried out to protect sugar beet against the stress caused by fomesafen with melatonin in a factorial completely randomized design with five replications in spring of 2023 in the Research Greenhouse of Bu-Ali Sina University, Hamedan. The first factor included the application of four doses of fomesafen (0,  $1/1000$ ,  $1/100$ , and  $1/10$  × the labeled dose) at the four-leaf stage of sugar beet. The second factor included three methods of melatonin application (no application, pre-treatment of the seed, and foliar-spraying at the two-leaf stage with 1 mM melatonin solution). In the absence of fomesafen, foliar-spraying with melatonin did not affect plant weight, but pre-treatment of the seed with melatonin increased root dry weight from 0.46 to 0.56 g and shoot dry weight from 1.21 to 1.36 g. Application of  $1/1000$  × labeled dose of fomesafen caused 71% phytotoxicity, which was reduced to 54% and 42% phytotoxicity by pre-treatment of the seed and foliar-spraying with melatonin, respectively. Although the activity of superoxide dismutase and catalase decreased steadily as the dose of fomesafen increased, melatonin caused a significant increase in their activity at each herbicide dose level, and no difference was observed between the methods of melatonin application. The activity of peroxidase showed an increasing and then a decreasing trend with increase in fomesafen dose. In general, peroxidase activity was higher in foliar spraying than in pre-treatment of the seed with melatonin. At each herbicide dose, melatonin reduced the malondialdehyde content in sugar beet, and no difference was observed between the methods of melatonin application. Based on the results, melatonin can decrease fomesafen-induced stress on sugar beet.

**Key words:** Drift, Herbicide, Hormone, Stress, Sugar beet

---

<sup>1</sup> Associate professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. \*- Corresponding Author contact information email: a.aliverdi@basu.ac.ir

<sup>2</sup> Assistant professor of Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Hamedan, Iran.