چغندرقند/ جلد ۳۹/ شماره ۱/ ۱۴۰۲

تأثیر ملاتونین بر تنش ناشی از فرار فومسافن روی چغندرقند (*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[۱] *، و حامد منصوری[۲]

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

نوع مقاله: پژوهشی

DOI:10.22092/jsb.2024.364814.1344

ا. علی وردی و ح. منصوری. ۱۴۰۲. تأثیر ملاتونین بر تنش ناشی از فرار فومسافن روی چغندرقند (*Beta vulgaris L.*) در شرایط گلخانه. **چغندرقند، ۳۹(۱): ۸۷-۷۵.**

چکیده

تنش ناشی از پسمان خاکی و یا فرار فومسافن (Fomesafen) روی چغندرقند می‌تواند بهره‌وری تولید آنرا کاهش دهد. پژوهش حاضر با هدف مصون‌سازی چغندرقند 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، ۱/۱۰۰۰، ۱/۱۰۰ و ۱/۱۰ دوز برچسب شده) در مرحله چهار برگی چغندرقند 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 تاثیری بر وزن بوته نداشت ولی پیش تیمار بذر با ملاتونین وزن خشک ریشه را از ۰/۴۶ به ۰/۵۶ گرم و وزن خشک اندام‌هوایی را از ۱/۲۱ به ۱/۳۶ گرم افزایش داد. کاربرد ۱/۱۰۰۰ 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 کاهشی 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 مالون‌دی‌آلدئید را در چغندرقند کاهش دهد و تفاوتی بین روش کاربرد ملاتونین نیز مشاهده نشد. براساس نتایج، ملاتونین قادر به کاهش تنش ناشی از فرار فومسافن روی چغندرقند است.

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

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

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

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

مقدمه

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 به‌دلیل ماندگاری طولانی مدت در خاک می‌تواند اثرات منفی بر گیاه زراعی بعدی در تناوب زراعی به همراه داشته باشد (Melo *et al*. 2016). برخی از علف‌کش‌ها فرّاریت 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 به‌کار برده می‌شود، نه تنها می‌توانند گیاه زراعی موردنظر 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 می‌کنند که منجربه 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 کنند که منجربه 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 مربوطه ممکن است گیاهان زراعی مزارع مجاور با دوره رویشی مشابه مانند چغندرقند را نیز آلوده کند. به‌طوری که محققان مشخص کردند که وقوع بادبردگی فومسافن به میزان ۱/۱۰۰۰ دوز برچسب شده روی چغندرقند می‌تواند باعث گیاه‌سوزی نزدیک ۶۰ درصدی آن شود (Li *et al*. 2022). علاوه‌بر این، در پژوهش قبلی مشخص شد که سرعت تجزیه فومسافن بسته به شرایط خاک دارد. به‌طوری 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 به‌دلیل ماندگاری طولانی مدت در خاک، عملکرد گیاه زراعی بعدی در تناوب 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).

چغندرقند (*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 ۴/۳ میلیون هکتار از اراضی جهان زیرکشت چغندرقند رفته است که نتیجه آن تولید حدوداً ۲۶۱ میلیون تن ریشه چغندرقند بوده است. سهم ایران در همین سال، کشت تقریباً ۹۰ هزار هکتار با برداشت بیش از پنج میلیون تن ریشه بوده است (Anonymous 2022). چغندرقند

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 چغندرقند موجب پاره شدن غشاهای سلولی می‌شود که منجربه نشت سیتوپلاسم سلول به بیرون و مرگ سلول می‌شود. برای مثال، محققان گزارش کردند که وقوع بادبردگی فومسافن به میزان ۱/۱۰۰۰ و ۱/۱۰ دوز برچسب شده روی چغندرقند می‌تواند باعث افزایش محتوی مالون دی آلدئید از ۳/۹۲ (شاهد) به ۵/۴۰ میلی‌مول 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; Szafrańska *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 چغندرقند 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 منجربه کاهش محتوی آنیون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید و آسیب‌های ناشی از تنش‌های فوق بر چغندرقند 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 (Szafrańska *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 چغندرقند 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، ۲/۵ و ۲۵ گرم ماده موثره در هکتار) در مرحله چهار برگی چغندرقند در نظر گرفته شد که به ترتیب برابر صفر، ۱/۱۰۰۰، ۱/۱۰۰ 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 بادبزنی لبه یکنواخت E11002 مجهز بود که در فشار ۳۰۰ کیلو پاسکال، حجم پاشش ۲۲۰ لیتر در هکتار را فراهم

می‌کرد. عامل دوم دارای سه سطح روش کاربرد ملاتونین شامل عدم‌کاربرد (بذرها در آب مقطر خیسانده شدند)، پیش تیمار بذر (بذرها در محلول ملاتونین ۱ میلی‌مولار خیسانده شدند) و محلول‌پاشی بوته (بوته‌ها در مرحله دو برگی با محلول ملاتونین یک میلی‌مولار محلول‌پاشی شدند) بود (Caputo *et al*. 2020). تیمارهای محلول‌پاشی با ملاتونین به‌وسیله 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 چغندرقند رقم شکوفا ابتدا در محلول‌های پیش تیمار بذر ذکر شده در بالا قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت، بذرها از محلول‌ها خارج و روی کاغذصافی قرار داده شدند تا به‌طور 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 کل (درصد)
				کیلوگرم بر گرم		
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 بالافاصله پس از سبزشدن، به چهار بوته در هر گلدان تنک شدند. در طول آزمایش، دمای و رطوبت نسبی گلخانه به‌ترتیب بین ۱۹ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد و ۴۱ تا ۶۵ درصد اندازه‌گیری شد.

پنج روز پس از کاربرد علف‌کش، میزان گیاه‌سوزی با استفاده از شاخص گیاه‌سوزی (PI) و با برآورد درجه گیاه‌سوزی چشمی به‌صورت 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) کمّی‌سازی شد (Li *et al*. 2022) (رابطه ۱):

$$PI = \sum \frac{G \times ng}{n \times nd} \qquad (۱)$$

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 چغندرقند به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین ترا 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 به‌دست 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 ترا استیک اسید ۱۰۰ میکرومولار + کلرید تترازولیوم پی– نیتروبلو ۷۵ میکرومولار + ریبوفلاوین ۲ میکرومولار، به مدت ۵ دقیقه در معرض لامپ فلورسنت ۳۰ واتی قرار داده شود. در نهایت، جذب نمونه در طیف ۵۶۰ نانومتر با

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 چغندرقند به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین ترا 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 گرانش 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 چغندرقند به ۳ میلی‌لیتر بافر مونوپتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (پی‌اچ ۶/۸) + اتیلن دی‌آمین ترا 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 گرانش 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، 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 دی آلدئید دنبال شد (Meir *et al*. 1992). نیم گرم برگ فریزر شده چغندرقند به ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۰/۱ درصد اضافه شد. مواد با استفاده از هاون دستی همگن و سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانش زمین، ۱۰ دقیقه). سپس، ۱ میلی‌لیتر از مایع رویی با ۴ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد + اسید تیوباربیتوریک ۰/۵ درصد مخلوط و درون حمام بن ماری (۹۵ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ دقیقه) نگه‌داری شد. نمونه در دمای اتاق سرد و سپس سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ گرانش زمین، ۱۰ دقیقه). در نهایت، جذب نمونه در طیف ۵۳۲ نانومتر ثبت گردید.

با درنظر 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 چغندرقند در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		شاخص گیاه‌سوزی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	نسبت ریشه به اندام هوایی
دوز فومسافن (A)	۳	۱۵۷۹۰/۳۸**	۰/۱۴**	۰/۷۹**	۰/۰۱**
روش کاربرد ملاتونین (B)	۲	۳۰۸۸/۴۹**	۰/۰۵**	۰/۱۳**	۰/۰۱**
A × B	۶	۵۷۴/۲۴**	۰/۰۰**	۰/۰۲**	۰/۰۰**
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲/۹۲	۲/۰۶	۳/۵۱	۲/۲۴
		فعالیت سوپراکسید دیسموتاز	فعالیت کاتالاز	فعالیت پراکسیداز	محتوی مالون‌دی‌آلدئید
دوز فومسافن (A)	۳	۱۴۸۸۷/۲۸**	۹۴۱/۵۰**	۳۹/۰۰**	۹/۲۳**
روش کاربرد ملاتونین (B)	۲	۱۲۵۱۹/۵۳**	۳۱۵۶/۳۷**	۱۰۲/۶۰**	۶/۶۱**
A × B	۶	۸۴۹/۷۱**	۳۴/۷۱**	۵/۶۳**	۰/۵۱**
ضریب تغییرات (درصد)	–	۴/۵۴	۱/۳۷	۳/۷۱	۱/۹۹

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد.

نتایج نشان داد که چغندرقند به فومسافن بسیار حساس بود، به‌طوری که کاربرد ۰/۲۵ گرم فومسافن در هکتار موجب گیاه‌سوزی ۷۱ درصدی شد. وقتی بذر و بوته چغندرقند با ملاتونین تیمار شدند، گیاه‌سوزی ناشی از کاربرد ۰/۲۵ گرم فومسافن در هکتار به‌ترتیب از ۷۱ به ۵۴ و ۴۲ درصد کاهش پیدا کرد. علاوه‌بر 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 ۱الف). صرف نظر از روش کاربرد ملاتونین، کاربرد دوز نهایی فومسافن باعث گیاه‌سوزی بیش از ۹۰ درصدی بوته‌های چغندرقند شد. به‌طوری که تعیین فعالیت آنزیم‌های حفاظتی را غیر ممکن ساخت.

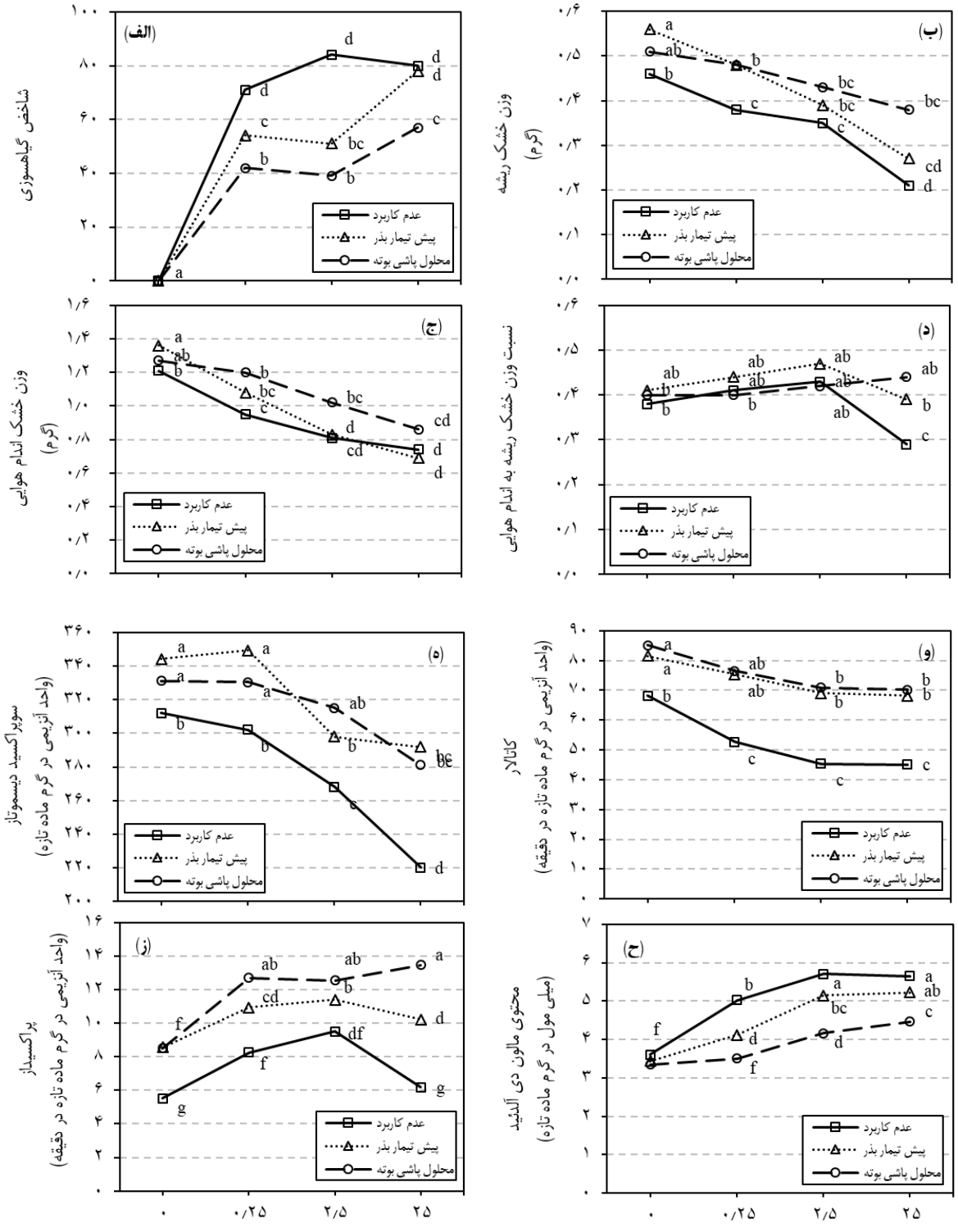
تحت شرایط عدم‌کاربرد فومسافن، روش محلول‌پاشی بوته با ملاتونین تأثیر معنی‌داری بر وزن چغندرقند نداشت ولی روش پیش تیمار بذر با ملاتونین به‌طور معنی‌داری وزن خشک ریشه را از ۰/۴۶ به ۰/۵۶ گرم (شکل ۱ب) و وزن خشک اندام‌هوایی را از ۱/۲۱ به ۱/۳۶ گرم افزایش داد (شکل ۱ج). به وضوح معلوم بود که گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش تیمار شده با ملاتونین یک تا دو روز زودتر از گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش تیمار نشده با 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 چغندرقند 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 جثه گیاه مثل ژن‌های *PsbO* و *PsbP* در فتوسیستمII و *PsaK* و *PsaG* در فتوسیستمI گزارش شده است (Wei *et al*. 2015). در آرابیدوپسیس تالیان نیز گزارش شده است که حذف ژن‌های *PsbO* و *PsbP* (Murakami *et al*. 2005)، *PsaK* و *PsaG* (Varotto *et al*. 2002) منجربه کاهش جثه گیاه شد. از این رو، نقش دیگر ملاتونین در گیاهان افزایش جثه آنها است و اینکه آیا سبزشدن زودتر همراه با رشد اولیه بهتر گیاهچه چغندرقند به‌دلیل پیش تیمار بذر با ملاتونین می‌تواند توانایی رقابتی آن را در برابر علف‌های هرز افزایش دهد باید در پژوهش‌های بعدی به اثبات برسد. به‌طور کلی، روش محلول‌پاشی بوته با ملاتونین در مقایسه با روش پیش تیمار بذر با ملاتونین در کاهش اثرات نامطلوب فومسافن روی وزن بوته

چغندرقند موثرتر عمل کرد. صرف‌نظر از روش کاربرد ملاتونین، وزن بوته چغندرقند با افزایش دوز مصرفی فومسافن به‌طور پیوسته کاهش پیدا کرد. تحت شرایط عدم‌کاربرد ملاتونین، دوز ۱/۱۰ توصیه شده فومسافن (۲۵ گرم در هکتار) توانست وزن ریشه و اندام‌هوایی بوته چغندرقند را به‌ترتیب ۵۴ و ۳۸ درصد کاهش دهد. تحت شرایط کاربرد شاخ و برگی ملاتونین، دوز فوق توانست وزن ریشه و اندام‌هوایی بوته چغندرقند را به‌ترتیب ۲۵ و ۳۲ درصد کاهش دهد. درحالی که تحت شرایط کاربرد بذری ملاتونین، دوز فوق توانست وزن ریشه و اندام‌هوایی بوته چغندرقند 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 چغندرقند نداشت ولی کاربرد دوز ۲۵ گرم فومسافن به‌طور معنی‌داری این نسبت را کاهش داد (شکل ۱د). محققین قبلی نیز وابستگی نسبت وزن ریشه به انـدام‌هوایی چغنـدرقند به دوز فومسـافن 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 چغندرقند و دوز فومسافن شد.

تحت شرایط عدم‌کاربرد 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 مالون‌دی‌آلدهید نداشت (شکل ۱ح). به‌طور مشابه، افزایش فعالیت آنزیم‌های حفاظتی یاد شده در چغندرقند 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 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 چغندرقند شد (شکل ۱الف). همبستگی منفی بین فعالیت این آنزیم‌ها و دوز فومسافن ممکن است پاسخ به تنش توسط سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی چغندرقند باشد. در دوزهای بالای فومسافن، تجمع اکسیژن فعال در چغندرقند از محدوده‌ای که سیستم برای چغندرقند 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 چغندرقند ارائه دادند (Li *et al*. 2022). این در حالی بود که فعالیت آنزیم پراکسیداز چغندرقند با افزایش دوز فومسافن ابتدا روند افزایشی (تا ۲/۵ گرم در هکتار) و سپس کاهشی نشان داد (شکل ۱ز). این نشان می‌دهد چغندرقند 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 از ۳ دوز فومسافن، سطح فعالیت آنزیم پراکسیداز در روش محلول‌پاشی بوته با ملاتونین بیشتر از روش پیش تیمار بذر با ملاتونین بود.

تحت شرایط عدم‌کاربرد ملاتونین، هنگامی که دوزهای ۲/۵ و ۲۵ گرم فومسافن در هکتار اعمال شد، محتوی مالون‌دی‌آلدئید در چغندرقند 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 مالون‌دی‌آلدئید در چغندرقند را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. در برنج تراریخت غنی از ملاتونین که با علف‌کش بوتافنسیل (Butafenacil) (مهارکننده آنزیم پروتوپورفیرینوژن اکسیداز) تیمار شده بود نیز محتوی مالون‌دی‌آلدئید 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).



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

براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنتاج کرد که اثرات تسکین دهندگی ملاتونین بر گیاه‌سوزی چغندرقند ناشی از فومسافن می‌تواند به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های حفاظتی در سرکوب رادیکال‌های اکسیژن نوزاد و حذف مآلون‌دی‌آلدئید به عنوان رایج‌ترین محصول جانبی پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای سلولی باشد. محققان قبلی نیز نتایج مشابهی در رابطه با اثرات تسکین دهندگی ملاتونین بر گیاه‌سوزی نخود ناشی از پاراکوات ارائه دادند (Szafrańska *et al*. 2016). با این وجود، دلیل احتمالی دیگر می‌تواند تجزیه افزایش یافته فومسافن در چغندرقند باشد. آنزیم درگیر در اولین مرحله تجزیه علف‌کش‌ها در گیاهان سیتوکروم پی۴۵۰ منواکسیژناز می‌باشد.

درحالی که در مراحل بعدی، آنزیم گلوتاتیون 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 پی۴۵۰ منواکسیژناز در گوجه‌فرنگی (Debnath *et al*. 2021) و آنزیم گلوتاتیون 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 چغندرقند نیز می‌تواند کاهش گیاه‌سوزی فومسافن در چغندرقند را توضیح دهد 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 چغندرقند به‌دلیل پیش تیمار بذر آن با ملاتونین بود. علاوه‌بر این، حساسیت بسیار بالای چغندرقند به فومسافن نیز محرز گردید. از این رو، با توجه به باقیماندن بقایای خاکی فومسافن برای سال آینده و نیز تقاضای گسترده برای کاربرد فومسافن در گیاهان زراعی مربوطه که احتمال فرار آنرا بر روی چغندرقند افزایش می‌دهد، باید چغندرقند 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 برگی ملاتونین می‌تواند مؤثرتر از کاربرد بذری آن از خسارت فومسافن در چغندرقند بکاهد. با این وجود، اگر خطر بقایای خاکی فومسافن برای چغندرقند 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 برگی ملاتونین در چغندرقند باید بعد از حذف شیمیایی علف‌های هرز در مزرعه انجام گیرد یا اینکه کاربرد بذری ملاتونین در اولویت قرار گیرد.

منابع مورد استفاده:

References:

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 sulfonylurea 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 parsly 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: $PsbO_1$ and $PsbO_2$. 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[1] * and H. Mansouri[2]

(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): 75- 87 (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

1. Associate professor in Weed Science, 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
2. Assistant professor of Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Hamedan, Iran.