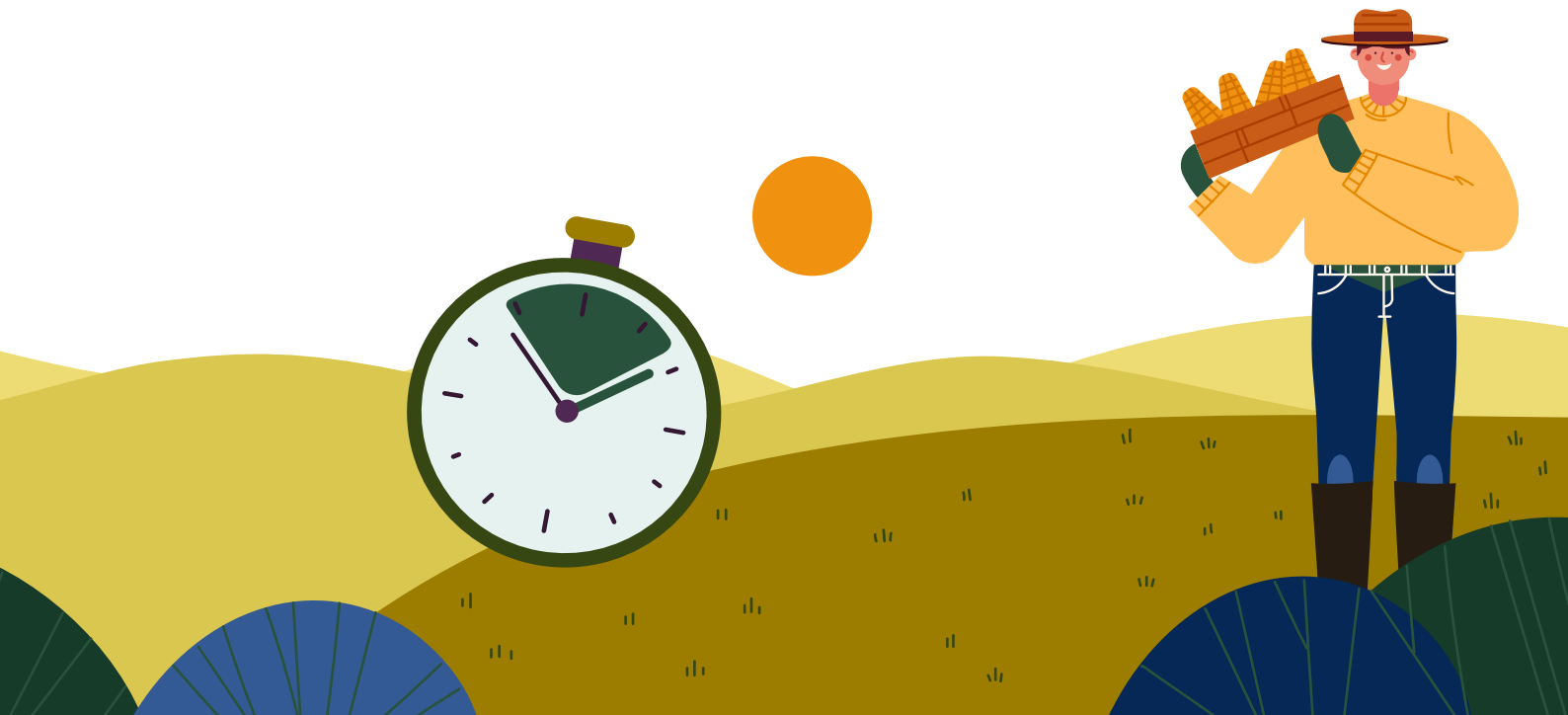
آیا ساعت بیولوژیکی در گیاهان می‌تواند زمان سم‌پاشی محصولات را تعیین کند؟

محمد اسماعیل عامری بافقی ا
دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه شاهد

گیاهان می‌توانند ریتم شبانه‌روز را درک کنند و این توانایی بر پاسخ آن‌ها به برخی از علف‌کش‌های مورد استفاده در کشاورزی تاثیر می‌گذارد. مطالعات نشان داده است که ریتم شبانه‌روزی گیاه، واکنش گیاهان به علف‌کش را با توجه به زمان روز تنظیم می‌کند. این یافته‌ها می‌تواند با کاهش تلفات محصول و بهبود برداشت، به سود کشاورزی باشد. با این تفسیر، در آینده می‌توان، استفاده از برخی مواد شیمیایی را که در کشاورزی استفاده می‌شود، با استفاده از ساعت بیولوژیک گیاه اصلاح کرد. این رویکرد، با ترکیب بیوتکنولوژی و کشاورزی دقیق، می‌تواند مزایای اقتصادی و زیست محیطی فراوانی داشته باشد. ساعت بیولوژیکی گیاهی سهم بسزایی در رشد آن‌ها و پاسخ گیاهان به نوسانات محیط دارند. محققان دریافتند که مرگ بافت گیاهی و کاهش رشد ناشی از علف‌کش گلایفوزیت به زمان استفاده از آن و هم‌چنین ساعت بیولوژیکی بستگی دارد. ساعت بیولوژیکی همچنین منجر به تغییر حداقل مقدار علف‌کش مورد نیاز برای تاثیر بر گیاه می‌شود، بنابراین در ساعات مشخصی از روز به علف‌کش کمتری نیاز خواهد بود. این مساله فرصتی را برای کاهش علف‌کش‌های استفاده شده، صرفه‌جویی در وقت و هزینه کشاورزان و کاهش اثرات زیست‌محیطی فراهم می‌کند. در پزشکی، تقویم درمانی برای تعیین بهترین زمان برای دادن دارو یا درمان، ساعت بدن را در نظر می‌گیرد. تحقیقات نشان می‌دهد که می‌توان رویکرد مشابهی را برای روش‌های کشاورزی در آینده اتخاذ کرد، با تیمارهای زراعی در زمان‌هایی که مناسب‌ترین عملکرد را داشته باشند. بکارگیری نوعی گاه‌نگاری کشاورزی می‌تواند باعث توسعه کشاورزی مورد نیاز برای تامین جمعیت در حال رشد شود.

کلمات کلیدی: گلایفوزیت، بیوتکنولوژی، کشاورزی دقیق، کشاورزی پایدار

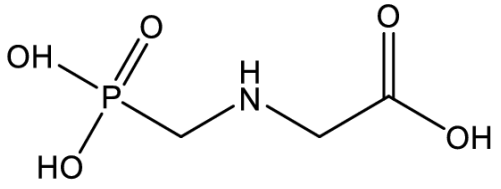


مقدمه

گیاهان با داشتن ساعت بیولوژیک بسیاری از مکانیزم‌های ملکولی و فیزیولوژی خود را متناسب با شرایط محیط تنظیم می‌کنند. از بین نمونه‌های بسیار آن، می‌توان به شروع فاز زایشی با استفاده از این توانایی اشاره کرد. بررسی و شناخت ساعت بیولوژیک می‌تواند در تعیین مناسب‌ترین زمان برای سم‌پاشی و دریافت بیشترین بازده به کشاورز کمک کند. مانند انسان، گیاهان با یک ساعت داخلی کار می‌کنند که به رشد و انطباق با تغییرات محیطی کمک می‌کند. این مفهوم مشابه کرونراپی است که در ساعت داخلی فرد برای تعیین زمان بهینه برای مصرف دارو موثر است. سمپاشی محصول باید در زمان‌های خاص انجام شود و این برنامه باید با ساعت بیولوژیکی گیاه هماهنگ شود. با توجه به افزایش جمعیت، تغییرات آب و هوا و نیاز به غذا، استفاده کمتر از علف‌کش‌ها نه تنها صرفه‌جویی در هزینه است، بلکه می‌تواند اثرات سوء زیست‌محیطی آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها را کاهش دهد. نیاز جهانی مواد غذایی به تولید محصول تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۱۱۰-۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. علف‌های هرز باعث کاهش عملکرد تا ۳۴ درصد می‌شوند. با استفاده از علف‌کش‌ها که ابزاری برای مقابله با این تلفات هستند و همچنین مدیریت زراعی می‌توان این تلفات را کاهش داد. به علت استفاده گسترده از علف‌کش گلایفوزیت، بررسی ساعت بیولوژیک گیاه و نقش آن در واکنش به این علف‌کش مورد بررسی قرار گرفت.

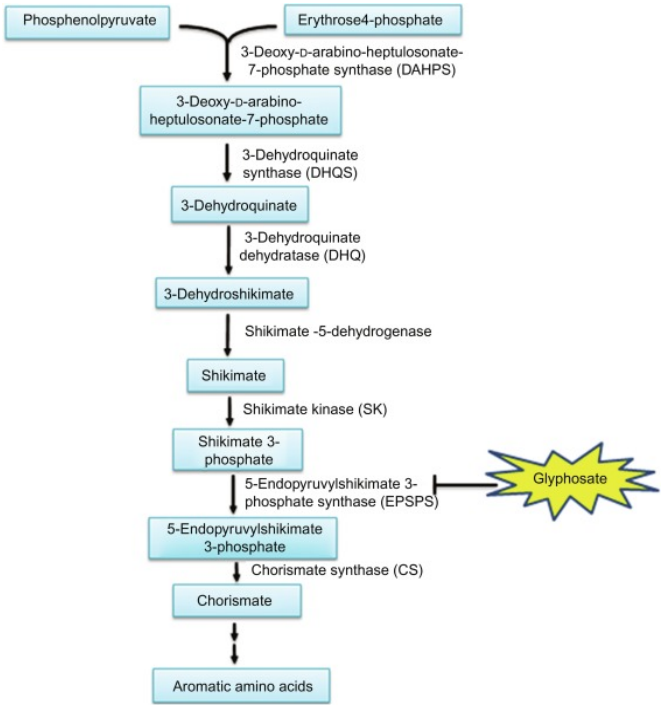
گلایفوزیت

گلایفوزیت با نام تجاری راندآپ (Roundup) به اشکال مختلفی عرضه می‌شود که بیش از ۷۵۰ محصول را در بر می‌گیرد. گلایفوزیت یک علف‌کش غیر انتخابی است؛ به این معنی که بیشتر علف‌های هرز را از بین می‌برد. این ماده از ساخت پروتئین‌های خاص برای رشد گیاه جلوگیری می‌کند، یعنی یک مسیر آنزیمی خاص به نام مسیر اسید شیکیمیک shikimic را متوقف می‌کند که برای گیاهان و برخی میکروارگانیسم‌ها ضروری است.



N-(Phosphonomethyl)-glycine (Glyphosate)

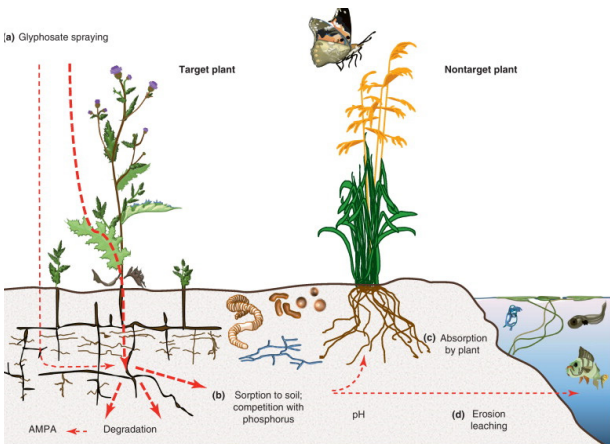
شکل ۱- ساختار گلایفوزیت



شکل ۲- ایجاد محدودیت گلایفوزیت در مسیر اسید شایکمیک

سرنوشت گلایفوزیت در محیط زیست

گلایفوزیت خالص سمیت کمی دارد، اما این محصولات معمولا حاوی ترکیبات دیگری هستند که به نفوذ گلایفوزیت به گیاهان کمک می‌کند. سایر مواد موجود در محصول می‌توانند باعث سمی‌تر شدن آن شوند. Glyphosate به‌شدت روی مواد معدنی خاک رسوب می‌کند و به استثنای حمل و نقل تسهیل شده با کلوئید، انتظار می‌رود باقیمانده محلول آن در آب‌های آزاد تحرک کمی داشته باشد. بنابراین، میزان آلودگی آب‌های زیر زمینی و سطحی نسبتا محدود در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- اثرات گلایفوزیت در محیط زیست

این علف‌کش به آسانی توسط میکروب‌های خاک به اسید آمینومتیل فسفونیک (AMPA) تجزیه می‌شود که مانند گلایفوزیت به شدت جذب مواد جامد خاک می‌شود و از این رو بعید است که به آب های زیرزمینی نشت کند، اما آب‌های سطحی را می‌تواند به شدت آلوده کند. گلایفوزیت به طور کلی در آب نسبت به خاک پایدارتر است و ماندگاری بیش از یک سال آن در آمریکا ثبت شده است. گلایفوزیت با ۵ میلیارد و ۱۱ میلیارد دلار سالانه به ترتیب برای محصولات حاوی گلایفوزیت در ایالات متحده آمریکا و سراسر جهان، بیشترین ماده فعال علف‌کش است. فرمولاسیون‌های مبتنی بر گلایفوزیت در بیش از ۳۵۰ میلیون هکتار سطح زیر کشت در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند که سالانه حدود ۸/۶ میلیارد کیلوگرم گلایفوزیت را شامل می‌شود. این میزان استفاده از گلایفوزیت باعث می‌شود راهکارهای افزایش سودمندی آن از نظر تجاری و زیست‌محیطی جذاب باشد. به طرز جالب توجهی، اثر علف‌کش گلایفوزیت می‌تواند به زمان مصرف آن در روز بستگی داشته باشد. مکانیزمی که بر زمان پاسخ گیاهان به محیط آن‌ها تاثیر می‌گذارد، ساعت شبانه‌روزی است. در گیاهان، ریتم شبانه‌روزی توسط مجموعه‌ای از حلقه‌های ترجمه و رونویسی به‌هم پیوسته و مکانیسم‌های پس از ترجمه ایجاد می‌شود که در مجموع به عنوان نوسانگر شبانه‌روزی شناخته می شوند. از آن‌جاکه ساعت شبانه‌روزی زمان بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و تکاملی گیاهان را هماهنگ می‌کند، بنابراین تنظیم شبانه‌روزی زمینه‌ساز برخی از واکنش‌های گیاهان به گلایفوزیت نیز هستند.

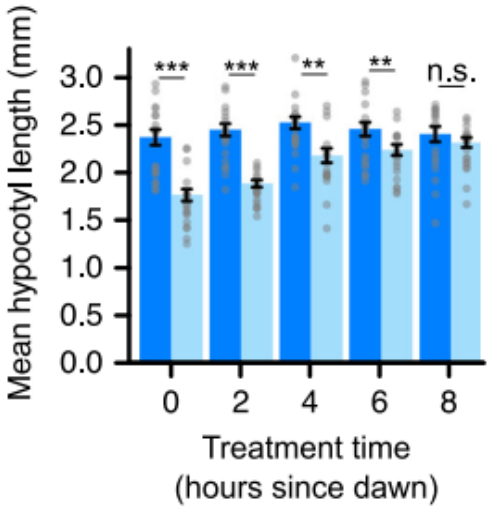
ساعت شبانه‌روزی گیاه، اثربخشی گلایفوزیت را تنظیم می‌کند

چرا اثربخشی گلایفوزیت (N- (فسفونومتیل) گلیسین) به ساعت مصرف آن بستگی دارد؟ گلایفوزیت، ۵-انولپیرویل-شایکیم-۳-فسفات سنتاز (EPSPS) را در مسیر اسید شایکیمیک مهار می‌کند و در نهایت گیاه را از بین می‌برد. فرآیندهای سلولی تحت تاثیر ریتم شبانه‌روزی و گلایفوزیت که با بررسی داده‌های رونویسی مربوط به Arabidopsis thaliana شناسایی شد، نشان داد که پاسخ گلایفوزیت تحت چرخه‌های تاریکی و روشنایی توسط ریتم شبانه‌روزی تنظیم می‌شوند. به‌دنبال آن مسیرهای پاسخ به گلایفوزیت شناسایی گردید و منجر به شناخت ۱۸ و ۵۷ مسیر رونویسی شد که توسط گلایفوزیت به ترتیب القا و سرکوب شدند. ۷۲ درصد از مسیرهای القایی گلایفوزیت در هنگام سحر به اوج فراوانی می‌رسند در حالی که مسیرهای سرکوب شده با گلایفوزیت در ساعات مختلف دارای نوسان بودند. ۷۵ مسیر رونویسی بین اثر گلایفوزیت و تنظیم به‌واسطه ریتم شبانه‌روزی دارای همپوشانی بودند که این همپوشانی‌ها ممکن است به این دلیل رخ دهد که گلایفوزیت EPSPS را مهار می‌کند، از سنتز پیش‌ساز اکسین یعنی تریپتوفان جلوگیری می‌کند و یا این‌که گلایفوزیت می‌تواند حمل و نقل اکسین را مهار کند. از طرفی سیگنالینگ اکسین نیز از طریق ریتم شبانه‌روزی تنظیم می‌شود، بنابراین می‌توان استدلال کرد که تعامل بین سیگنالینگ اکسین، گلایفوزیت و ریتم شبانه‌روزی، زمینه‌ساز برخی پاسخ‌های چند منظوره یا شبانه‌روزی به گلایفوزیت باشد. یک صفت مناسب برای مطالعه این موضوع، طویل شدن هیپوکوتیل نهال است که توسط ریتم شبانه‌روزی و فیتوهورمون‌ها از جمله اکسین تنظیم می‌شود. بنابراین، این مساله مطرح می‌شود که چنین ریتمی زمینه‌ساز حساسیت طول هیپوکوتیل به گلایفوزیت باشد.

شکل ۴- ساعت شبانه‌روزی گیاه

ریتم شبانه‌روزی و حساسیت طول هیپوکوتیل به گلایفوزیت

مطالعات نشان دادند که گلایفوزیت اعمال شده در هنگام سحر باعث ایجاد بیشترین کاهش در طول هیپوکوتیل می‌گردد، درحالی‌که طول هیپوکوتیل، تحت تاثیر گلایفوزیت اعمال شده در هنگام غروب قرار نگرفت و برای ایجاد حساسیت در هنگام غروب باید بین ۲۵ تا ۳۰ درصد گلایفوزیت بیشتر اعمال شود؛ یعنی ۲۵ تا ۳۰ درصد مصرف سم بیشتر! حساسیت بیشتر طول هیپوکوتیل به گلایفوزیت که در سپیده دم اعمال می‌شود مربوط به زمان افزایش سیگنالینگ اکسین است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که صرف نظر از هر گونه کاهش یا افزایش، چرخه‌های روزانه حساسیت طول هیپوکوتیل به گلایفوزیت وجود دارد.



شکل ۵- واکنش میانگین طول هیپوکوتیل به گلایفوزیت اعمال شده در ساعت‌های مختلف بعد از سپیده‌دم

ریتم شبانه‌روزی، پاسخ به گلایفوزیت و مرگ سلول

مورد دیگری که برای درک رابطه ریتم شبانه‌روزی و اثر گلایفوزیت می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد مرگ سلولی و کاهش غلظت کلروفیل است که توسط گلایفوزیت القا می‌شود. تحت چرخه‌های تاریکی و روشنایی، استفاده از گلایفوزیت در گیاهان نوع وحشی در هنگام سحر به طور قابل توجهی غلظت کلروفیل را کاهش می‌دهد. علاوه بر ROS و پراکسیداسیون لیپیدها، کاهش فراوانی رونویسی‌ها مکانیسمی را نشان می‌دهد که گلایفوزیت غلظت کلروفیل را کاهش می‌دهد، زیرا جهش های gun4 تجمع کلروفیل را کم می‌کند. روی‌هم‌رفته، دو شاخص مرگ سلولی (رونویسی MC1 و غلظت کلروفیل) نشان می‌دهد که استفاده از گلایفوزیت در سپیده‌دم باعث مرگ سلول با سرعت بیشتری نسبت به هنگام غروب می‌شود که تنظیمات شبانه‌روزی به طور بالقوه زیربنای این پاسخ است.

ریتم شبانه‌روزی و پاسخ به گلایفوزیت در گونه‌های مختلف گیاهی

در گیاهان دو لپه‌ای Brassica napus و Sinapis arvensis ، گلایفوزیت باعث کاهش قابل توجهی در طول هیپوکوتیل می‌شود. اگرچه کاربرد گلایفوزیت هنگام سحر باعث کاهش بیشتر طول هیپوکوتیل در مقایسه با استفاده از آن در هنگام غروب می‌گردد، اما اثر متقابل بین گلایفوزیت و زمان، از نظر آماری معنی‌دار نبود. در مقابل، در گیاه تک لپه‌ای Panicum miliaceum ، گلایفوزیت که در سحر و غروب اعمال می‌شود باعث کاهش قابل توجهی در طول هیپوکوتیل می‌گردد و تفاوت معنی‌دار با یکدیگر دارند. این مساله مشخص می‌کند که پاسخ رشد گیاهچه به گلایفوزیت، با توجه به گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است.

نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های مختلف، مشخص شده است که ساعت شبانه‌روزی از طریق مکانیسم‌های متعدد به پاسخ گیاه به گلایفوزیت کمک می‌کند. زمان استفاده از سموم با توجه به شناخت دقیق ساعت بیولوژیک گیاه می‌تواند اثر بخشی آن را افزایش و کاهش مقدار استفاده از سم را در پی داشته باشد. در آینده، شناسایی مکانیسم دقیق استفاده از گلایفوزیت در افزایش طول هیپوکوتیل و یا سیگنالینگ اکسین و میزان تحقق این مقیاس در زمینه کشاورزی، بسیار مفید خواهد بود. لازم است مطالعاتی از این دست توسط پژوهشگران، بر روی گیاهان مختلف و سموم مختلف صورت گیرد تا با استفاده از نتایج آن بتوان در استفاده صحیح و اصلاح الگوی استفاده از سموم در راستای توسعه کشاورزی پایدار اقدام کرد.

منابع

- Oerke, E. C. 2005. Crop losses to pests. Journal of Agriculture Science. 43-31 ,144.

- Orson, J., Davies, D. K. H. and Norfolk, N. R. 2007. Pre-harvest glyphosate for weed control and as a harvest aid in cereals. (Home-Grown Cereals Authority).

- Benbrook, C. M. 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. Environment Science Europe. 3 ,28.

- Mohr, K., Sellers, B. A. and Smeda, R. J. 2007. Application time of day influences glyphosate efficacy. Weed Technology. 13-7 ,21.

- Belbin, F.E., Hall, G.J., Jackson, A.B. 2019. Plant circadian rhythms regulate the effectiveness of a glyphosate-based herbicide. Nature Communications Journal. 3704 ,10.

- Michael, T.P., Mockler, T.C., Breton, G., McEntee, C., Byer. A. 2008. Network discovery pipeline elucidates conserved time-of-day–specific cis-regulatory modules. PLOS Genetics. 14 ,4.

- Dodd, A.N., Salathia, N., Hall, A., Kévei, E., Tóth, R., Nagy, F., Hibberd, J.M. Plant circadian clocks increase photosynthesis, growth, survival, and competitive advantage. Science Journal. 633-630 ,309.