دگرآسیبی: روش علمی سازگار برای مدیریت پایدار علف‌های هرز

Allelopathy: An adaptive scientific method for sustainable weed management

رحمان خاکزاد*

دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۹ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۶

چکیده

امروزه وابستگی به علف‌کش‌های شیمیایی به شدت بر محیط و اکوسیستم تأثیر گذاشته است. راهبردهای جایگزین مدیریت پایدار علف‌های هرز مانند دگرآسیبی می‌توانند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز به منظور کاهش استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی گنجانده شوند. دگرآسیبی، پاسخ گیاه به محرک‌های خارجی با آزادسازی متابولیت‌های ثانویه است. این پدیده به‌طور بالقوه می‌تواند مدیریت سالم‌تر علف‌های هرز را از نظر محیطی تسهیل کند و از نگرانی‌های مرتبط با استفاده نادرست از مواد شیمیایی کشاورزی برای مدیریت آفات و علف‌های هرز جلوگیری کند. این مقاله مروری کاربرد عملی دگرآسیبی برای کنترل علف‌های هرز را در سیستم‌های کشاورزی ارائه می‌دهد. در منابع متعدد، چاودار، سورگوم، برنج، آفتابگردان، کلزا و گندم به‌عنوان محصولات دگرآسیب مهم ثبت شده‌اند. این محصولات توانایی دگرآسیبی خود را با انتشار پیام رسان‌هایی نشان می‌دهند که نه تنها علف‌های هرز را سرکوب می‌کنند، بلکه فعالیت‌های میکروبی زیرزمینی را تقویت می‌سازند. ارقام زراعی دارای توانایی دگرآسیب را می‌توان برای فرونشانی علف‌های هرز تحت شرایط مزرعه کشت کرد. علاوه بر این، انواع مختلفی از گیاهان دگرآسیب را می‌توان با محصولات دیگر برای مدیریت علف‌های هرز به‌صورت مخلوط کشت کرد. استفاده از محصولات پوششی دگرآسیب و مالچ‌ها می‌توانند فشار علف‌های هرز را در محصولات زراعی کاهش دهند. تناوب یک محصول رایج با یک محصول دگرآسیب برای یک فصل، یکی دیگر از روش‌های کنترل دگرآسیب علف‌های هرز است. نکته مهم آنکه، به‌نژادی گیاهی را می‌توان برای بهبود توانایی دگرآسیبی ارقام زراعی مورد بررسی قرار داد. در نتیجه از پتانسیل دگرآسیبی می‌توان برای فرونشانی علف‌های هرز در محصولات زراعی بهره‌مند شد. دگرآسیبی برای سیستم‌های مدیریت بوم‌شناختی، پایدار و تلفیقی علف‌های هرز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

واژگان کلیدی: پیام‌رسان شیمیایی، علف‌کش، فرونشانی، محصولات پوششی، مدیریت تلفیقی

مقدمه

علف‌های هرز به‌طور مداوم از طریق رقابت با گیاهان زراعی باعث کاهش بهره‌وری در کشاورزی شده‌اند. لذا از دیرباز علف‌های هرز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آفات گیاهی ثبت شده‌اند (Zimdahl, 2013). علف‌های هرز همیشه نقش مهمی را در کاهش عملکرد گیاهان زراعی داشته‌اند که انجام اقداماتی برای کنترل آنها را اجتناب‌ناپذیر ساخته‌اند (Oerke *et al*., 1994؛ Zimdahl, 2013). وجین دستی، بریدن و خفه کردن فیزیکی علف‌های هرز از جمله روش‌های قدیمی در کنترل آنها هستند (Oerke *et al*., 1994؛ Young *et al*., 2014). با گذشت زمان، ابزارهای دستی برای بر هم زدن خاک به منظور کنترل علف‌های هرز توسعه یافتند. اخیراً، از علف‌کش‌ها و سایر ابزارهای جدید برای مدیریت علف‌های هرز استفاده شده است. با این حال، از آغاز کشاورزی، روش‌های وجین دستی، وجین مکانیکی و کاربرد علف‌کش‌ها از مطمئن‌ترین روش‌های کنترل علف‌های هرز محسوب می‌شدند (Griepentrog and Dedousis, 2010؛ Bergin, 2011؛ Rueda-Ayala *et al*., 2011؛ Chauvel *et al*., 2012). این روش‌های کنترل به کاهش آلودگی علف‌های هرز و بهبود بهره‌وری محصول در سراسر جهان کمک کرده‌اند.

مربی، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

نویسنده مسئول مکاتبات: rahman.khakzad@yahoo.com

اگر چه روش‌های نوین کنترل علف‌های هرز باعث افزایش بهره‌وری در کشاورزی شده‌اند، اما این روش‌ها همراه با چالش‌های خاصی نیز بوده‌اند. از مهم‌ترین چالش‌های وجین دستی می‌توان به کاهش فراهمی و افزایش هزینه کار و همچنین کنترل ناسازگار علف‌های هرز اشاره نمود (Carballido *et al*., 2013؛ Gianessi, 2013). به‌طور مشابه، کنترل مکانیکی علف‌های هرز نیاز به برگرداندن خاک اضافی دارد که می‌تواند با تخریب ساختار خاک، حاصل‌خیزی خاک را کاهش دهد (Smith *et al*., 2011). از طرفی دیگر کنترل مکانیکی علف‌های هرز همیشه مؤثر نیست و می‌تواند گران و فاقد دوام باشد (Bond and Grundy, 2001). به همین ترتیب علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش، اثرات سلامتی و نگرانی‌های محیطی، از محدودیت‌های اصلی برای استفاده مکرر از علف‌کش‌ها برای کنترل علف‌های هرز هستند (Annett *et al*., 2014؛ Hoppin, 2014؛ Powles, 2008؛ Starling *et al*., 2014). چالش‌های مرتبط با روش‌های مرسوم کنترل علف‌های هرز (مانند وجین دستی، کنترل مکانیکی، علف‌کش‌ها و غیره)، توسعه تنوع در روش‌های فعلی کنترل علف‌های هرز را ضروری می‌سازد. در صورت توسعه روش‌های مختلف مدیریت علف‌های هرز، گزینه‌های متنوعی برای کنترل علف‌های هرز در مکان خاص در دسترس خواهند بود. نگرانی در رابطه با هزینه و سلامت محیط زیست را می‌توان با استفاده از گزینه‌های متنوع مدیریت علف‌های هرز مورد رسیدگی قرار داد. با توجه به سازگاری مواد آللوپاتی یا محیط زیست، فرونشانی علف‌های هرز با استفاده از پدیده دگرآسیبی از جمله روش‌های نوآورانه مهم در کنترل علف‌های هرز است (Jabran and Farooq, 2013؛ Zeng, 2014).

این مقاله بر جنبه‌های کاربرد عملی دگرآسیبی برای کنترل علف‌های هرز در سیستم‌های کشاورزی متمرکز شده است. علاوه بر این، ما بر روی پیامدهای علف‌های هرز در تولید محصولات زراعی، چالش‌ها در مدیریت علف‌های هرز، محصولات دگرآسیب بالقوه و استفاده از دگرآسیبی برای مدیریت علف‌های هرز تمرکز کرده‌ایم. راهبردهایی مانند استفاده از ارقام دگرآسیب، کشت مخلوط با گیاهان سرکوب‌کننده علف‌های هرز دگرآسیب، استفاده از گیاهان و بقایای پوششی دگرآسیب و تناوب کاشت محصولات زراعی دگرآسیب برای کنترل عملی علف‌های هرز در محصولات زراعی مورد بحث قرار گرفته است.

علف‌های هرز و تولید گیاه زراعی

علف‌های هرز از نظر فضایی همزمان با گیاهان زراعی رشد می‌کنند. آن‌ها گیاهان زراعی را از منابع محدود مانند مواد غذایی، فضا، نور و رطوبت محروم می‌کنند. لذا فعالیت‌های فیزیولوژیکی و رشد محصولات زراعی در حضور علف‌های هرز تحت تأثیر منفی قرار می‌گیرند (Rajcan and Swanton, 2001). در نهایت باروری گیاه زراعی به دلیل رقابت علف هرز با گیاه زراعی ضعیف خواهد شد.

در بین انواع آفات محصولات زراعی، علف‌های هرز بیشترین کاهش را در عملکرد محصولات زراعی ایجاد می‌کنند (Oerke *et al*., 1994). به‌طور متوسط، علف‌های هرز می‌توانند تولید محصول زراعی را تا ۳۴ درصد کاهش دهند (Oerke, 2006). در همین رابطه بیان شده است که در صورت حضور علف‌های هرز به‌صورت متوسط عملکرد گندم ۲۳ درصد، سویا ۳۷ درصد، برنج ۳۷ درصد، ذرت ۴۰ درصد، پنبه ۳۶ درصد و سیب زمینی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد (Oerke, 2006).

علف‌های هرز علاوه بر تأثیرات مستقیم، اثرات غیرمستقیم نیز بر گیاهان زراعی دارند. رشد گیاه زراعی تحت تأثیر دگرآسیبی برخی گونه‌های علف هرز قرار می‌گیرد. آللوکمیکال‌های حاصل از علف‌های هرز دگرآسیب می‌توانند رشد ریشه و شاخساره گیاهچه‌های گیاه زراعی در حال رویش را مختل کنند و همچنین باعث خسارت‌های متعدد دیگری شوند. در یکی از مطالعات، گزارش گردید که آللوکمیکال‌های تراوش شده از تارهای کشنده سلمک برگ گزنه‌ای، *Chenopodium murale* L.، مسئول اختلال چرخه سلولی و خسارت اکسیداتیو در گندم و گیاهچه‌های شاهی گوش‌موشی *Arabidopsis thaliana* L. بود (Dmitrovic *et al*., 2015). به‌طور مشابه نشان داده شد که عصاره‌های آبی دگرآسیب از گونه‌های علف‌های هرز از جمله پنیرک گل‌ریز، *Malva parviflora* L.، و سلمک برگ گزنه‌ای از رشد و فعالیت فتوسنتزی در جو جلوگیری می‌کند (Al-Johani *et al*., 2012). در علف‌هرز مهاجم

Flaveria bidentis (L.) Kuntze تراوش ترکیبات فنلی آللوپاتیک یافت شد (Zhang *et al*., 2012). به‌طوری‌که بقایای این علف هرز توانست از رشد و زیست‌توده گیاهچه‌های پنبه جلوگیری نماید. علف‌های هرز همچنین می‌توانند به عنوان میزبان جایگزین برای بسیاری از آفات، حشرات و بیماری‌های گیاهی بر عملکرد گیاه زراعی تأثیر بگذارند. این گیاهان علاوه بر افزایش هزینه تولید (هزینه مربوط به کنترل آن‌ها) می توانند در برداشت محصول نیز تداخل ایجاد نمایند.

چالش‌های مدیریت علف‌های هرز

با افزایش جمعیت جهان و کاهش منابع موجود، مدیریت علف‌های هرز پیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. مدیریت دقیق‌تر علف‌های هرز برای امنیت غذایی در سراسر جهان یک موضوع اجتناب‌ناپذیر است. در حال حاضر سه روش استفاده از علف‌کش، کنترل مکانیکی و وجین دستی از مهم‌ترین و مطمئن‌ترین روش‌های کنترل علف‌های هرز محسوب می‌شوند. با این حال پایداری طولانی مدت کنترل شیمیایی علف‌های هرز با چالش‌های خاصی روبرو است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های علم علف‌های هرز، تکامل مقاومت آنها به علف‌کش‌ها است. از دیگر مشکلاتی که در مدیریت علف‌های هرز با علف‌کش‌ها با آن مواجه هستیم، اثرات منفی علف‌کش‌ها بر سلامت محیط، انسان و دام است. مهم‌تر از همه، علف‌کش‌ها (به استثنای تعدادی اندک) را نمی‌توان در مزارع کشت ارگانیک، استفاده نمود. در موارد محدود مشاهده شده است که کشاورزان خرده پا نمی‌توانند هزینه علف‌کش‌ها را بپردازند. از سوی دیگر، برای موفقیت‌آمیز بودن روش کنترل مکانیکی باید این روش در چندین نوبت اعمال گردد که این امر باعث تخریب ساختار خاک و افزایش هزینه‌های تولید خواهد شد. بیل زدن با دست یکی از روش‌های کنترل علف‌های هرز است که عمدتاً در سراسر جهان انجام می‌شود. این روش به نیروی کار زیادی نیاز داشته و لذا انجام آن در مقیاس بزرگ دشوار است.

با اجرای مدیریت تلفیقی می‌توان تا حدودی مشکلات خاصی که در هر روش به تنهایی ایجاد می‌شود را حل نمود. ثابت شده است که وابستگی به بیش از یک روش کنترل علف‌های هرز در کاهش شانس ایجاد مقاومت به علف‌کش در علف‌های هرز مؤثر است. علاوه بر این، استفاده از شیوه‌های مختلف مدیریت علف‌های هرز در مزارع خاص می‌تواند کنترل پایدار و مؤثر آنها را تضمین نماید. بنابراین دستکاری پدیده آللوپاتی می‌تواند به بهبود کنترل علف‌های هرز در محصولات زراعی با استفاده از هم‌افزایی برای بهبود کارایی سایر روش‌های کنترل علف‌های هرز کمک کند.

محصولات زراعی با توانایی بالقوه در دگرآسیبی

چندین گیاه پدیده دگرآسیبی را از طریق تراوش پیام رسان‌های شیمیایی (جدول ۱) بیان می‌کنند. به عنوان مثال، چاودار یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی دگرآسیب است. علاوه بر بنزوکسازینون‌ها [2,4-dihydroxy -1,4(2H)-benzoxazin-3-one (DIBOA) and 2(3H)-benzoxazolinone (BOA)] به عنوان مهم‌ترین آللوکمیکال‌های مسئول پتانسیل دگرآسیبی در چاودار، چندین آللوکمیکال مهم دیگر نیز در چاودار شناسایی شده است. ضمن بررسی پتانسیل دگرآسیبی چاودار، ۱۶ آللوکمیکال موجود در این گیاه فهرست گردیدند. این آللوکمیکال‌ها شامل β-فنیلاکتیک اسید، پروتوکاتچوئیک اسید، DIBOA (گلوکوزید)، اسید وانیلیک، آپیژنین-گلیکوزیدها، اسید سیرینگیک، لوتئولینگلوکورونیدها، اسید هیدروکسی بنزوئیک، اسید p-کوماریک، بنزوکسازولینون BOA، گلیکوزید سیانیدین، β-هیدروکسی بوتریک اسید، ایزوویتکسین گلوکوزیدها، DIMBOA (گلوکوزید)، اسید گالیک، و اسید فرولیک هستند (Schulz *et al*., 2013). علاوه بر این تعدادی از مطالعات، مهار آللوپاتی سایر محصولات زراعی و علف‌های هرز توسط چاودار را گزارش کردند (Bertholdsson *et al*., 2012؛ Didon *et al*., 2014؛ Macias *et al*., 2014). اگرچه چاودار را می‌توان برای سرکوب علف‌های هرز در یک سیستم زراعی به عنوان یک محصول زراعی تناوبی، گیاه پوششی یا مالچ دستکاری کرد، اما استفاده از آن به عنوان یک گیاه پوششی رایج‌ترین روش برای کنترل علف‌های هرز است (Norsworthy *et al*., 2011، Tabaglio *et al*., 2013).

سورگوم یکی دیگر از محصولات زراعی مهم دگرآسیب است. منابع متعددی، پتانسیل دگرآسیبی سورگوم و تأثیرات آن را در سیستم‌های مختلف کشت ارائه دادند. فعالیت دگرآسیبی سورگوم در ارقام مختلف، شرایط محیطی و

مراحل رشد گیاه متفاوت است. سورگوم فعالیت دگرآسیبی خود را از طریق تولید چندین آللوکمیکال بیان می‌کند. مهم‌ترین آللوکمیکال‌های سورگوم عبارتند از: پی بنزوکینون آبگریز (سورگولئون)، فنولیک‌ها و گلیکوزید آسیانوژنیک (دهورین) (Weston *et al*., 2013). سورگولئون قوی‌ترین آللوکمیکال سورگوم است که از ریشه‌های آن تراوش می‌شود. سلول‌های تار کشنده مسئول تولید سورگولئون در بوته‌های سورگوم هستند (Weston *et al*., 2012). فعالیت دگرآسیبی سورگوم را می‌توان برای کنترل علف‌های هرز با کاشت ارقام دگرآسیب، کاربرد بقایای سورگوم به عنوان مالچ، استفاده از سورگوم به عنوان گیاه پوششی و کشت مخلوط، یا گنجاندن ارقام سورگوم در تناوب زراعی دستکاری کرد.

خانواده شب‌بو یا کلم (Brassicaceae) دارای پتانسیل دگرآسیبی قوی در برابر سایر گیاهان زراعی و علف‌های هرز هستند (Haramoto and Gallandt, 2004). کلم یا به‌طور کلی خانواده شب‌بو قادرند ترکیب دگرآسیب گلوکوزینولات را از تمام قسمت‌های بوته خود تولید نمایند (Fahey *et al*., 2001). با این‌حال غلظت این آللوکمیکال در قسمت‌های مختلف گیاه متفاوت است (Fahey *et al*., 2001). گلوکوزینولات از طریق تبخیر یا تجزیه در محیط آزاد می‌شود. پس از آزاد شدن، گلوکوزینولات به چندین ترکیب فعال زیستی مانند ایزوتیوسیانات تجزیه می‌شود (Morra and Kirkegaard, 2002). به‌علاوه این آللوکمیکال‌ها (ایزوتیوسیانات‌ها) از رشد و نمو گیاهان یا علف‌های هرز که آنها را جذب می‌کنند، جلوگیری می‌کنند (Petersen *et al*., 2001). از توانایی بالقوه دگرآسیبی این گیاهان می‌توان برای سرکوب علف‌های هرز با استفاده از بوته‌های شب‌بو به‌عنوان گیاهان پوششی، کشت مخلوط محصولات زراعی شب‌بو با گیاه زراعی اصلی، تناوب زراعی یا استفاده از لاشبرگ شب‌بو به‌عنوان مالچ استفاده کرد (Bangarwa and Norsworthy, 2014 ؛Rice *et al*., 2007 ؛Haramoto and Gallandt, 2005).

آفتابگردان یکی دیگر از مهمترین محصولات زراعی دگرآسیب محسوب می‌شود. آفتابگردان می‌تواند در یک تناوب زراعی برای کشت بعدی سمی باشد. گزارش شده است که آفتابگردان با اثر دگرآسیب بر روی چندین گونه علف‌هرز از رشد آن‌ها جلوگیری می‌کند. السادواوی و همکاران (۲۰۱۲) پتانسیل آللوپاتیک هشت رقم آفتابگردان را در برابر گونه‌های مشکل‌ساز علف‌های هرز در گندم ارزیابی کردند. آنها به دو روش ارقام دگرآسیب آفتابگردان را در یک مخلوط با علف‌های هرز پرورش دادند و باقیمانده ارقام آفتابگردان (۶۰۰ یا ۱۴۰۰ گرم در متر مربع) را روی محصول گندم و علف‌های هرز آن به‌کار بردند. در این مطالعه ارقام آفتابگردان از نظر پتانسیل دگرآسیبی متفاوت بودند و توانستند تراکم کل علف‌های هرز را ۸۷-۱۰ درصد و زیست‌توده کل علف‌های هرز را ۸۱-۳۴ درصد کاهش دهند. بقایای آفتابگردان همچنین پتانسیل دگرآسیبی خود را برای سرکوب تراکم کل علف‌های هرز (۷۵-۲۴ درصد) و زیست‌توده کل علف‌های هرز (۶۷-۱۲ درصد) و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم نسبت به شاهد تیمار نشده شدند. به‌علاوه ۱۶ آللوکمیکال (اسیدهای فنولیک) در ارقام آزمایش شده آفتابگردان یافت شد. در همین رابطه بررسی‌ها نشان داد ارقامی که علف‌های هرز را سرکوب کردند، دارای غلظت‌های بالاتری از آللوکمیکال‌ها بودند (Alsaadawi *et al*., 2012).

از آنجایی که چندین محصول زراعی دارای پتانسیل دگرآسیبی قوی هستند که از طریق تراوش انواع آللوکمیکال‌ها بیان می‌شوند، می‌توان با استفاده از این پتانسیل طبیعی در محصولات زراعی تا حدود زیادی علف‌های هرز را سرکوب نمود.

کنترل دگرآسیب علف‌های هرز

با استفاده از دگرآسیبی می‌توان به کنترل عملی علف‌های هرز دست یافت. نکته مهم این است که بهره‌گیری از چنین روش‌هایی در کنترل علف‌های هرز علاوه بر سازگاری با محیط زیست، کاهش هزینه‌های مدیریت علف‌های هرز را در پی خواهد داشت. کنترل دگرآسیب علف‌های هرز ممکن است به‌عنوان یک راهبرد واحد در سیستم‌های زراعی خاص مانند کشاورزی ارگانیک به‌کار گرفته شود. به‌علاوه برای دستیابی به مدیریت تلفیقی علف‌های هرز می‌توان آن را

با روش‌های دیگر ترکیب کرد. تحت کنترل دگرآسیب علف‌های هرز، پتانسیل دگرآسیبی محصولات زراعی به گونه‌ای دست‌کاری می‌شود که آللوکمیکال‌های این محصولات زراعی باعث کاهش توانایی رقابت در علف‌های هرز شوند.

جدول ۱- اثر دگرآسیب محصولات زراعی بر روی گیاهان دیگر

Table 1. Allelopathic effect of crops on other plants

محصول دگرآسیب (دهنده) Allelopathic Crop (Donor)	گیاه هدف (گیرنده) Target plant (Receiver)	واکنش علف‌های هرز Response of weeds	آللوکمیکال Allelochemical	نوع آزمایش Type of experiment	منابع References
برنج Rice	*Echinochloa crusgalli*, *Cyprus difformis*, *Cyprus iria*, *Fimbristylis miliacea*	جلوگیری از جوانه‌زنی بذر و طول ساقه گیاهچه و طول ریشه Prevention of seed germination and seedling stem length and root length	Phenolic acid, Indoles, Terpenes	گلخانه greenhouse	Alam *et al*. (2018)
برنج Rice	*E. crusgalli*	ممانعت از رشد علف‌های هرز بیش از ۴۱ درصد Inhibition of weed growth by more than 41%	-	آزمایشگاه Laboratory	Rahaman *et al*. (2021)
ذرت خوشه‌ای Sorghum	*Amaranthus hybridus*	کاهش رویش، ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک Reduction of growth, plant height, leaf area and dry weight	Sorgholeon	گلخانه Greenhouse	Tibugari *et al*. (2019)
جو Barley	*Hordeum spontaneum*	کاهش طول هیپوکوتیل، وزن هیپوکوتیل ، وزن ریشه‌چه، جوانه‌زنی بذر و طول ریشه‌چه Reduction of hypocotyl length and weight, root weight and length, seed germination	آللوکمیکال محلول در آب Water soluble alellochemicals	گلخانه و آزمایشگاه Greenhouse and Laboratory	Ashrafi *et al*. (2007)
چاودار Rye	*Amaranthus retroflexus* and *Portulaca oleracea*	کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه Reduction of germination and seedling growth	Benzoxazinones	آزمایش مزرعه‌ای Field	Tabaglio *et al*. (2013)
باقلا Broad Bean	*E. crusgalli* and *A. retroflexus*	کاهش جوانه‌زنی، طویل شدگی طول ریشه و ساقه و زیست‌توده هوایی Reduction of germination, lengthening of root and stem length and aerial biomass	-	گلخانه Greenhouse	Alvarez-Iglesias *et al*. (2018)
لوبیا چشم‌بلبلی Cow-eye pea	*Eleusine indica* (L.) Gaertn.	کاهش جوانه‌زنی، ارتفاع و وزن خشک بوته Reduction of germination, height and dry weight of the plant	-	گلخانه Greenhouse	Adler and Chase (2007)
لوبیا Bean	*Bidens pilosa*, *E. indica* and *Acanthospermum hispidum*	کاهش جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ریزجوانه Reduction of germination, length of root and shoot	-	آزمایشگاه و گلخانه Laboratory and Greenhouse	Runzika *et al*. (2013)
خردل سیاه Black Mustard	*Phalaris paradoxa*	کاهش زیست‌توده و سطح برگ بوته به ترتیب ۹۴ و ۹۲ درصد Reduction of biomass (94%) and plant leaf area by 92%,	Ferulic acid, syringic acid and apheic acid	آزمایشگاه و گلخانه Laboratory and Greenhouse	Al-Sherif *et al*. (2013)
بادام زمینی Peanut	*Lathyrus hirsutus* L. and *Anagallis arvensis* L.	کاهش درصد جوانه‌زنی Reduction of germination	-	ظروف پتری در اتاق رشد Petri diches in growth room	Abou El-Enin and Abdel-Ghffa (2017)
آفتابگردان Sunflower	*Parthenium hysterophorus* L.	کاهش جوانه‌زنی، طول ریشه، زیست‌توده ریشه و ساقه Reduction of germination, root length, root and stem biomass	-	ظروف پتری در اتاق رشد و گلخانه Petri dishes in growth rood and greenhouse	Javaid *et al*. (2006)
آفتابگردان Sunflower	گندم و ذرت Wheat and maize	کاهش جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ریزجوانه و زیست‌توده خشک گیاهچه Reduction of germination, germination index, root and micro shoot length and seedling dry biomass	Alkaloids, phenolic compounds, flavonoids and terpenoids	آزمایشگاه laboratory	Muhammad and Majeed (2014)
ذرت تراریخته Transgenic maize	گندم Wheat	کاهش کلروفیل a، کاروتنوئید، قند محلول برگ، پرولین و فعالیت POD Reduction of chlorophyll a, carotenoid, leaf soluble sugar, proline and POD activity	-	مزرعه‌ای Field	Ibrahim *et al*. (2013)
کاه برنج Rice straw	برنج Rice	کاهش میزان کلروفیل Reduction of chlorophyll	Phenolic acids	مزرعه‌ای Field	Asaduzzaman and Pramanik (2005)

گیاهان زنده یا بقایای آن‌ها فعالیت دگرآسیبی را از طریق تراوش آللوکمیکال‌ها نشان می‌دهند. فرآیندهای تراوش آللوکمیکال‌ها به تراوش ریشه، آبشویی از بافت‌های مرده یا زنده گیاه و فراریت از بخش‌های بالای زمینی گیاه اختصاص دارد. عوامل متعددی به حرکت آللوکمیکال‌ها به سمت گونه‌های هدف کمک می‌نماید. ریسه‌های موجود در خاک از ناقلین دگرآسیب مهم هستند. قارچ‌های مایکوریزای آربوسکولار در تسهیل حرکت آللوکمیکال‌های زیرزمینی نقش دارند. مشخص شده است که وجود هیف‌های خاک در زمان کاربرد آللوکمیکال‌های حاصل از گردو (*Juglans regia* L.) باعث جلوگیری از رشد محصول آزمایشی گوجه‌فرنگی شد. همچنین انتقال آللوکمیکال گردو در حضور هیف‌های خاک افزایش یافت (Achatz and Rilig, 2014).

کنترل دگرآسیب علف‌های هرز را می‌توان با رشد گیاهان دگرآسیب در مجاورت علف‌های هرز که باعث تولید این مواد شیمیایی می‌شوند (Tesio and Ferrero, 2010) یا با قرار دادن مواد دگرآسیب به‌دست آمده از گیاهان مرده در مجاورت علف‌های هرز اجرا کرد. مواد گیاهی در حال تجزیه، آللوکمیکال‌هایی را آزاد می‌کنند که توسط علف‌های هرز هدف جذب می‌شوند. مهم‌ترین مثال برای چنین مواردی استفاده از بقایای گیاهی دگرآسیب برای کنترل علف‌های هرز است (Tabaglio *et al*., 2008). کنترل دگرآسیب علف‌های هرز را می‌توان با رشد گیاهان دگرآسیب در مزرعه برای مدت زمان معینی انجام داد تا ریشه‌های آن‌ها آللوکمیکال‌ها را تراوش کنند. تناوب زراعی مهم‌ترین مثال برای مدیریت دگرآسیب علف‌های هرز است (Farooq *et al*., 2011). روش دیگر برای کنترل علف‌های هرز از طریق آللوپاتی شامل به‌دست آوردن آللوکمیکال‌ها در محلول مایع با فرو بردن کاه (پوشال) دگرآسیب در آب برای مدت زمان معینی است. محققان زیادی استفاده از این روش را برای کنترل علف‌های هرز به تنهایی یا در ترکیب با سایر روش‌های کنترل علف‌های هرز توصیه کرده‌اند (Jabran *et al*., 2010؛ Khan *et al*., 2012؛ Razzaq *et al*., 2010, 2012). تحقیقات نشان داده است که گیاهان دگرآسیب نه تنها از رشد علف‌های هرز جلوگیری می‌کنند، بلکه می‌توانند اثرات مثبتی بر محیط خاک داشته باشند، یعنی دسترسی به مواد غذایی را برای گیاهان زراعی از طریق فعالیت‌های میکروبی خاک بهبود می‌دهند و همچنین باعث افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک می‌شوند (Wang *et al*., 2013؛ Zeng, 2014). رقم دگرآسیب گندم Xiaoyan 22 دارای غلظت‌های بالاتری از میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و اوره‌آز بود. از آنجا که ارقام دگرآسیب گندم کربن و نیتروژن تراوش می‌کنند که باعث بهبود اثرات دگرآسیب میکروارگانیسم‌های خاک در ریزوسفر می‌شوند، لذا آللوکمیکال‌های دفع شده از میکروارگانیسم‌ها بیشتر به سرکوب علف‌های هرز و بیماری‌های گیاهی کمک می‌کنند (Zuo *et al*., 2012).

روش‌های مختلف کنترل دگرآسیب علف‌های هرز

ارقام دگرآسیب

از نظر تجاری ارقام زراعی دارای تولید بالا، در مزارع قابل قبول هستند. در عین حال، در بسیاری از نقاط جهان توانایی ارقام زراعی برای سرکوب علف‌های هرز به‌عنوان یک معیار ارجح برای انتخاب رقم در نظر گرفته می‌شود (Rugare *et al*., 2021). پتانسیل دگرآسیبی گیاهان زراعی به توانایی ارقام در فرونشانی علف‌های هرز کمک می‌کند. ترجیح ارقام دگرآسیب با توانایی سرکوب علف‌های هرز بر ارقام غیر دگرآسیب می‌تواند هجوم علف‌های هرز را بدون تحمیل هزینه اضافی کاهش دهد و به بهبود کارایی نهاده‌ها و روش‌های کنترل علف‌های هرز کمک کند.

تعدادی از مطالعات اهمیت کاشت ارقام دگرآسیب را در کاهش فشار علف‌های هرز به وضوح توضیح می‌دهند. اهمیت پتانسیل دگرآسیبی ارقام برای مدیریت علف‌های هرز در برنج هوازی نشان داده شد (Mahajan and Chauhan, 2013). در کره، فعالیت دگرآسیبی ۷۸ رقم محلی برنج در برابر مشکل‌سازترین علف‌هرز برنج یعنی سوروف *Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv بررسی گردید. تعدادی از ارقام برنج باعث کاهش زیست‌توده، تعداد پنجه و ارتفاع علف‌های هرز تحت شرایط مزرعه شدند. شش رقم از ۷۸ رقم متوسط مهار بالای ۴۰ درصد سوروف را داشتند (Ahn *et al*., 2005). در مطالعه دیگری پتانسیل دگرآسیبی ۹۹ رقم برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. پنج رقم برنج جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز را بیش از ۵۰ درصد کاهش دادند؛ در حالی که پنج رقم دیگر بین

۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش دادند. ارقام برنج با کاهش بیشتر در رشد و جوانه‌زنی علف‌های هرز، دارای غلظت‌های بالاتری از آللوکمیکال‌ها از جمله مومیلاکتون A و مومیلاکتون B بودند (Chung *et al.*, 2002). به‌طور مشابه، در چین، پنج رقم تجاری برنج با رقم دگرآسیب (PI312777) به منظور تولید ارقام تجاری دگرآسیب سرکوب‌کننده علف‌های هرز تلاقی داده شد. در بین ارقام حاصل، Haugan-3 به‌عنوان رقم پرمحصول (۵/۹۵ تن در هکتار) شناخته شد و همچنین بالاترین ممانعت را از رشد علف‌های هرز (۲۶-۳۹ درصد) داشت. در نهایت این رقم دگرآسیب سرکوب‌کننده علف‌های هرز (Haugan-3) برای کشت تجاری در چین توصیه شد (Kong *et al.*, 2011).

در یک بررسی برهم‌کنش‌های برنج - سوروف در ارقام برنج دگرآسیب (PI312777) و غیردگرآسیب (Liaojing-9) مقایسه شد. هر دو نوع رقم برنج توانستند زیست‌توده سوروف را نسبت به شاهد کاهش دهند، هر چند کاهش در زیست‌توده توسط ارقام دگرآسیب تقریباً ۳۳ درصد بیشتر بود. تفاوت در فعالیت سرکوب علف‌های هرز ارقام دگرآسیب و غیردگرآسیب توسط الگوی آزادسازی آلانتوئین آللوکمیکال محرک رشد کنترل می‌شود. ارقام دگرآسیب برنج می‌توانند حضور سوروف را احساس کنند و از این رو آلانتوئین را در غلظت‌های پایین‌تر آزاد می‌کنند که منجر به رشد ضعیف بوته‌های سوروف در مجاورت ارقام دگرآسیب برنج می‌شود (Sun *et al.*, 2012). در مقابل، گزارش گردید که ارقام دگرآسیب برنج پنجه‌زنی بالاتری داشتند و یک سیستم ریشه‌ای گسترده و قوی نسبت به ارقام غیردگرآسیب ایجاد کردند. این سیستم ریشه‌ای قوی به ارقام دگرآسیب کمک می‌کند تا آللوکمیکال‌ها را به‌طور گسترده توزیع کنند که در نهایت مانع از رشد علف‌های هرز خواهد شد (Gealy *et al.*, 2013). در مطالعه دیگری ۷۳ رقم برنج از ویتنام از نظر فعالیت دگرآسیبی در برابر سوروف مورد ارزیابی قرار گرفتند. از بین ارقام مورد آزمایش، تعداد کمی (Khau Van, Y-1, and NhiUu) در جلوگیری از رشد سوروف تحت شرایط گلخانه‌ای مؤثر بودند، در حالی‌که سایرین (PhucTien) تحت شرایط مزرعه‌ای مؤثر بودند (Khanh *et al.*, 2009).

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان به شمار می‌رود. ارقام گندم با پتانسیل دگرآسیبی در دسترس هستند، لذا خوشبختانه تحقیقات بر روی غربالگری ارقام گندم با پتانسیل دگرآسیبی از مجموعه ژنی موجود و همچنین توسعه ارقام جدید دگرآسیب گندم از طریق به‌نژادی کلاسیک و مدرن در حال انجام است (Fragasso *et al.*, 2013). برای مثال، فعالیت دگرآسیبی ۳۵ رقم گندم پاکستانی در برابر یولاف وحشی *Avena fatua* L. بررسی گردید. ارقام مورد آزمایش فعالیت دگرآسیبی متغیری را در برابر یولاف وحشی از خود بروز دادند. از این ۳۵ رقم، ۱۱ رقم دارای فعالیت دگرآسیبی بالا یعنی ۴۲ تا ۸۳ درصد بودند (Mahmood *et al.*, 2013).

در مطالعه‌ای دیگر در استرالیا، بذر ۷۰ رقم کلزا از سراسر جهان جمع‌آوری و پتانسیل دگرآسیبی آن‌ها با رشد آن‌ها در نزدیکی با چچم سخت (*Lolium Rigidum* Gaudin) ارزیابی گردید. کلزا در سه تراکم یعنی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ بوته در هر گلدان کاشته شد. به‌طور کلی تراکم بالاتر کلزا منجر به ممانعت بیشتر از رشد چچم سخت شد. ارقام با فعالیت دگرآسیبی بیشتر (نسبت به سایر ارقام در آزمایش) Barossa، Cescaljarni-repka، PAK85388-502، AV-OPAL، BLN3343CO0402 و RIVETTE بودند. ارقام ذکر شده که در این مطالعه پتانسیل دگرآسیبی بالاتر را نشان دادند توانایی جلوگیری از رشد علف‌های هرز را داشتند (Asaduzzman *et al.*, 2014).

در پژوهشی پتانسیل دگرآسیبی ۱۰ رقم چاودار ارزیابی گردید. تمام ارقام دارای آللوکمیکال DIBOA بودند که مسئول پتانسیل دگرآسیبی چاودار است. غلظت DIBOA بسته به شیوه‌های مدیریتی، مرحله رشد و مدت زمان زندگی گیاه متغیر بود. رقم Wheeler بالاترین غلظت DIBOA را با اثر طولانی مدت داشت. حفظ طولانی مدت آللوکمیکال توسط رقم Wheeler منجر به کنترل مؤثر و بادوام علف‌های هرز خواهد شد (Reberg-Horton *et al.*, 2005).

پتانسیل دگرآسیبی ارقام زراعی یک فرآیند کنترل شده ژنتیکی است؛ اگرچه به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. پتانسیل دگرآسیبی ارقام زراعی در برابر علف‌های هرز را می‌توان از طریق فرآیند به‌نژادی افزایش داد. در مرحله اول، ژرم پلاسم محصول زراعی را می‌توان از نظر پتانسیل دگرآسیبی آن غربال کرد. هر چند رقم

دگرآسیب سرکوب‌کننده علف‌های هرز باید عملکرد بالایی نیز داشتـه باشد. پس از انتخاب ارقام با صفات مورد نظر می‌توان از رویکردهای ژنومیک برای شناسایی ژن‌های مربوطه استفاده کرد.

دانشمندان مختلف در سراسر جهان برای یافتن ارقام زراعی با پتانسیل دگرآسیب، آزمایش‌های زیستی انجام داده‌اند. برای مثال طی یک سنجش زیستی، پتانسیل دگرآسیبی ۳۹۵ لاین برنج از کامبوج در برابر سوروف آزمایش گردید. ۱۵ رقم از ۳۹۵ رقم برای جلوگیری از رشد علف‌های هرز در سنجش زیستی یافت شد. در مرحله دوم آزمایش، ۹۶ لاین برنج از نظر پتانسیل دگرآسیبی غربال شدند که ۱۴ لاین برنج از رشد سوروف جلوگیری کردند (Pheng *et al.*, 2009).

تلاش‌های به‌نژادی برای بهبود پتانسیل دگرآسیبی محصولات زراعی مختلف به ثبت رسیده است. به‌عنوان مثال رقم برنج دگرآسیب PI312777 با چندین رقم تجاری موجود تلاقی داده شد. در نسل F_8، دو لاین به‌نژادی (Haugan-1 و Haugan-3) با دگرآسیبی بالا در برابر علف‌های هرز یافت شدند، لذا این لاین‌ها از نظر ویژگی‌های زراعی و مهار علف‌های هرز در شرایط مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. مطالعه سه ساله نشان داد که ارقام Haugan-1 و Haugan-3 به‌طور مؤثر مانع رشد علف‌های هرز از جمله سوروف و اویارسلام شدند. Haugan-3 نسبت به Haugan-1 و سایر ارقام مورد آزمایش، در برابر علف‌های هرز، سرکوب‌کننده‌تر بوده و عملکرد بالاتری داشت. لذا این رقم برای کشت تجاری در چین ثبت گردید و به‌عنوان اولین رقم برنج دگرآسیب در چین معرفی شد (Kong *et al*., 2011).

این مطالعات نشان می‌دهند که برخی از ارقام زراعی دارای پتانسیل دگرآسیبی هستند؛ در حالی‌که برخی دیگر این گونه نیستند. ارقام زراعی با پتانسیل دگرآسیبی را می‌توان برای کنترل ارزان، آسان و سازگار با محیط زیست علف‌های هرز پرورش داد.

کشت مخلوط با گیاهان دگرآسیب سرکوب‌کننده علف‌های هرز

محصولات زراعی سازگار با هم به منظور برداشت عملکرد خالص بالاتر و مزایای اقتصادی کشت می‌شوند. به‌علاوه رشد محصولات زراعی در کشت مخلوط باعث بهبود کارایی استفاده از منابع (زمین، آب، مواد غذایی و نور) می‌شود. علاوه بر این مزایا، می‌توان از کشت مخلوط به منظور سرکوب علف‌های هرز برای کنترل اقتصادی و سازگار با محیط زیست علف‌های هرز استفاده کرد (Brooker *et al*., 2015). به‌طور خاص، هنگامی که محصولات زراعی دارای پتانسیل دگرآسیبی با سایر گیاهان زراعی به‌طور مخلوط کشت می‌شوند، به کاهش تراکم علف‌های هرز کمک می‌کنند و در نتیجه تولید محصول زراعی را بهبود می‌بخشند. به‌عنوان مثال کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی بر روی پشته‌های متناوب به کاهش ۵۰ درصدی تراکم علف‌های هرز *Echinochloa colona* (L.) Link.، *Portulaca oleracea* L.، *Chorchorus olitorius* L. و *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd. و همچنین بهبود کارایی استفاده از زمین کمک کرد (Saudy, 2015). در مطالعه دیگری کشت مخلوط تقویتی حبوبات با گندم برای مهار علف‌های هرز در مقایسه با تک کشت محصول گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. کشت مخلوط در این آزمایش شامل شبدر سفید، یونجه رازکی، یونجه و شبدر قرمز بود. کشت مخلوط نه تنها به سرکوب علف‌های هرز در مقایسه با تک کشتی محصول گندم کمک کرد، بلکه تراکم علف‌های هرز را در محصول بعدی کاهش داد در حالی‌که شبدر قرمز مؤثرترین کشت مخلوط برای سرکوب علف‌های هرز در گندم ارگانیک بود (Amosse *et al*., 2013).

گل جالیز (*Orobanche* spp.) از جمله علف‌های هرز انگل مشکل‌سازی است که به محصولات زراعی مختلف به شدت خسارت می‌رساند. فعالیت دگرآسیبی شبدر برسیم (شبدر مصری) را می‌توان از طریق کشت مخلوط برای سرکوب گل جالیز مورد بهره‌برداری قرار داد. کشت مخلوط شبدر برسیم با حبوبات (لوبیا و نخود) باعث کاهش تراکم گل جالیز می‌شود (Fernandez-Aparicio *et al.*, 2010). در تحقیقی کشت مخلوط دو محصول زراعی دگرآسیب (سورگوم و آفتابگردان) برای مدیریت علف‌های هرز در پنبه ارزیابی گردید. هر دو گیاه زراعی در کشت مخلوط، از رشد علف‌های هرز در پنبه به میزان ۶۰ تا ۶۲ درصد جلوگیری کردند که منجر به افزایش ۱۷ تا ۲۲ درصدی در عملکرد بذر

پنبه شد. علاوه بر این سورگوم و آفتابگردان نیز به منظور استفاده از دانه‌های آنها برداشت شدند، که منجر به بهبود تولید محصول زراعی، بهره‌برداری از زمین و مزایای اقتصادی شد (Kandhro *et al.*, 2014).

یک آزمایش تحقیقاتی در پنج کشور اروپایی (ایتالیا، انگلستان، دانمارک، فرانسه و آلمان) به منظور ارزیابی سرکوب علف‌های هرز و سایر مزایای کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی انجام شد (Corre-Hellou *et al.*, 2011). جو با نخودفرنگی (محصول زراعی اصلی) به‌صورت مخلوط کشت شد و از نظر کاهش علف‌های هرز با تک کشتی نخود مقایسه شد. سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) و خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) دو گونه غالب علف‌های هرز در مکان‌های آزمایشی بودند. کشت مخلوط نخود - جو باعث کاهش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در مقایسه با کرت‌های تک کشتی نخود یا آیش شد. علاوه بر این علف‌های هرز در این آزمایش مقادیر بیشتری نیتروژن را در تک کشتی نخود (۳۰ درصد) نسبت به کشت مخلوط نخود - جو (۱۰ درصد) جذب کردند (Corre-Hellou *et al.*, 2011). بنابراین کشت مخلوط گیاهان دگرآسیب با محصول زراعی اصلی می‌تواند به کاهش تراکم علف‌های هرز و بهبود عملکرد کمک کند.

محصولات پوششی دگرآسیب

محصولات پوششی با هدف حفظ پایداری یک اکوسیستم زراعی کشت می‌شوند. اهداف مختلف کشت گیاهان پوششی شامل بهبود حاصلخیزی و کیفیت خاک و ممانعت از علف‌های هرز و عوامل بیماری‌زای گیاهی می‌باشد. گیاهان پوششی با پتانسیل دگرآسیبی می‌توانند از رشد علف‌های هرز جلوگیری کنند. تعدادی از گیاهان پوششی مهم عبارتند از کلزا، چاودار، شبدر کریمسون، گندم، شبدر قرمز، خردل قهوه‌ای، یولاف، لوبیا چشم بلبلی، تربچه علوفه‌ای، چچم یک‌ساله، خردل، گندم سیاه، ماشک گل خوشه‌ای و خردل سیاه. برخی از سیستم‌های زراعی (مانند کشت ارگانیک) برای مدیریت علف‌های هرز به شدت به کشت پوششی متکی هستند (Tursun *et al.*, 2018). مشاهدات مزرعه‌ای و نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که انتشار آللوکمیکال‌ها از گیاهان پوششی دگرآسیب و اثرات فیزیکی آن‌ها مسئول فرونشانی علف‌های هرز در مزارع ارگانیک حفاظتی است (Altieri *et al.*, 2011). علاوه بر این گیاهان پوششی دارای چندین مزیت اضافی غیر از مدیریت علف‌های هرز نیز هستند. به‌عنوان مثال، نتایج مطالعه‌ای نشان داد که همراه با فرونشانی علف‌های هرز، گیاهان پوششی حفظ رطوبت خاک، حاصل‌خیزی خاک و تولید محصول را نیز بهبود بخشیدند (Altieri *et al.*, 2011). مخلوطی از گیاهان پوششی در مقایسه با یک محصول پوششی واحد در فرونشانی علف‌های هرز مؤثرتر بوده است. استفاده از بیش از یک گیاه پوششی می‌تواند مقادیر بیشتری از آللوکمیکال‌های متنوع و همچنین زیست‌توده بیشتری را برای فرونشانی مؤثرتر علف‌های هرز تولید کند. محصولات پوششی مهم، محصولات اصلی و علف‌های هرز کنترل شده توسط این محصولات پوششی در جدول ۲ خلاصه شده است.

نقش گیاهان پوششی تیره شب‌بو (چلیپائیان) از جمله خردل سفید و کلزا برای فرونشانی علف‌های هرز در سیستم‌های کشاورزی بررسی شده است. گونه‌های پوششی تیره شب‌بو آللوکمیکال‌هایی تراوش می‌کنند که گلوکوزینولات نامیده می‌شوند (Haramoto and Gallandt, 2004). در محیط‌های طبیعی، گلوکوزینولات‌ها به چندین ترکیب تجزیه می‌شوند که مهم‌ترین آنها ایزوتیوسیانات‌ها هستند (Halkier and Gershenzon, 2006). ایزوتیوسیانات‌ها از نظر زیستی فعال هستند و از جوانه‌زنی و رشد گونه‌های گیاهی مواجه شده با آن‌ها جلوگیری می‌کنند (Norsworthy and Meehan, 2005). اثرات گیاهان تیره شب‌بویان بر جوانه‌زنی گونه‌های علف هرز بیشتر از رشد آن‌ها است (Haramoto and Gallandt, 2004). اثرات دگرآسیب گیاهان تیره شب‌بویان ممکن است به محصولات زراعی بعدی منتقل شود که می‌توان از طریق انتخاب دقیق پوشش و محصولات زراعی بعدی از آن جلوگیری کرد.

گیاهان پوششی همچنین در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی برای فرونشاندن مؤثر علف‌های هرز مفید هستند. به‌عنوان مثال، کارایی محصول پوششی چاودار برای فرونشاندن علف‌های هرز جهت کاشت سویا تحت سیستم بدون خاک‌ورزی آزمایش گردید و نتیجه‌گیری شد که سویا را می‌توان با موفقیت در محصول پوششی چاودار مستقر شده در

خاک بدون خاک‌ورزی کاشت. کاشت سویا در محصول چاودار مستقر شده منجر به کنترل طولانی مدت و مؤثر علف‌های هرز بدون خسارت به محصول سویا شد (Bernstein *et al*., 2014).

جدول ۲- محصولات پوششی دگرآسیب، محصولات اصلی و علف‌های هرز مهار شده توسط گیاهان پوششی

Table 2. Allelopathic cover crops, main crops and the weeds suppressed by cover crops

محصول پوششی Cover crop	محصول اصلی Main crop	علف‌های هرز مهار شده Weeds suppressed	منابع References
گندم Wheat	پنبه Cotton	*E. indica*, *Amaranthus palmeri* S. Wats, *Ipomoea lacunosa* L.	(Norsworthy *et al*., 2011)
چاودار Rye	پنبه Cotton	*E. indica*, *A. palmeri*, *I. lacunosa*	(Norsworthy *et al*., 2011)
چاودار Rye	سویا Soybean	*C. album*, *Abutilon theophrasti* Medik.	(Bernstein *et al*., 2014)
چچم یک‌ساله، چاودار، ماشک، تربچه One-year rye, rye, vetiver, radish	لوبیا، گوجه فرنگی Bean, Tomato	*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc., *Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donell, *Bidens pilosa* L., *Euphorbia heterophylla* L.	(Altieri *et al*., 2011)
ماشک گل خوشه‌ای، جو Mushka flower cluster, barley	ذرت Maize	*D. sanguinalis*, *E. indica*, *A. retroflexus*, *Datura stramonium* L.	(Dube *et al*., 2012)
ذرت خوشه‌ای جارویی [*Sorghum bicolour* (L.) Moench × *Sorgum sudanense* (Piper) Staph.] Broccoli	کلم بروکلی Broccoli	علف‌های هرز پهن برگ Broad leaf weeds	(Finney *et al*., 2009)
ماشک گل خوشه‌ای Mushka flower cluster	پنبه Cotton	*A. palmeri*, *P. oleracea*, *Helianthus annuus* L.	Moran and Greenberg, (2008)
چاودار، ماشک گل خوشه‌ای، جو × تریتیکاله، نخود زمستانه اتریشی Rye, vetiver, barley × triticale, Austrian winter peas	ذرت - سویا با رشد ارگانیک Organically grown maize-soybeans	*C. album*, *Amaranthus hybridus* L., *Thlaspi arvense* L., *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H.Wigg., *Stellaria media* (L.) Vill., *Elymus repens* (L.) Gould, *Panicum crus-galli* L., *Setaria glauca* (L.) P. Beauv.	(Silva, 2014)
خردل سفید White Mustard	باغات زیتون *Olea europaea* L.	*Amaranthus blitoides* S.Watson, *C. album*	(Alcantara *et al*., 2011)
ماشک گل خوشه‌ای، شبدر زیرزمینی، جو Eucalyptus, underground clover, barley	گوجه فرنگی Tomato	*A. retroflexus* and *C. album*	(Campiglia *et al*., 2010)

به‌طور مشابه محصولات پوششی چاودار و گندم به بهبود کنترل علف‌های هرز در پنبه مقاوم به گلایفوسیت تحت سیستم خاک‌ورزی حفاظتی کمک کردند (Norsworthy *et al*., 2011). زیست‌توده علف‌های هرز از جمله چمن غاز *Eleusine indica* (L.) Gaertn.، تاج خروس *Amaranthus palmeri* S. Wats و نیلوفرپیچ *Ipomoea lacunose* L. توسط محصولات پوششی کاهش یافت که به کنترل علف‌های هرز در طول فصل کمک کرد. علاوه بر این گیاهان پوششی می‌توانند بانک بذر علف‌های هرز را در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نیز کاهش دهند. به‌عنوان مثال گیاهان پوششی ماشک مودار و یولاف به‌طور مؤثری بانک بذر علف‌های هرز (۳۰-۷۰ درصد)، از جمله تاتوره *Datura stramonium* L.، علف خرچنگ *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.، تاج خروس وحشی *Amaranthus retroflexus* L. و چمن غاز را در لایه بالایی خاک کاهش دادند (Dube *et al*., 2012). در نتیجه تعدادی از گیاهان پوششی دگرآسیب می‌توانند به کاهش هجوم علف‌های هرز در محصولات زراعی کمک کنند.

بقایای گیاهی دگرآسیب

در اغلب موارد، بخش‌های خاصی از محصولات زراعی برای مصرف استفاده می‌شوند، در حالی‌که بقیه بخش‌های گیاه که توسط حیوانات تغذیه می‌شوند، دور ریخته شده یا به‌عنوان مواد آلی در خاک مخلوط می‌شوند. به‌عنوان مثال، گندم، ذرت و برنج محصولات زراعی دانه‌ای برجسته‌ای هستند که دانه‌های آن‌ها به‌عنوان غذا مصرف می‌شوند؛ در

حالی که، سایر بخش‌های گیاه یا توسط حیوانات تغذیه می‌شوند یا در مزرعه رها می‌شوند. به‌طور مشابه، پنبه محصول زراعی شناخته شده‌ای است که دانه آن مصارف صنعتی دارد؛ در حالی‌که بقیه بخش‌های گیاه دور ریخته شده و یا در مزرعه رها می‌شوند. بقایای گیاهی دگرآسیب به جا مانده در مزرعه به‌صورت ناخواسته یا افزوده شده به‌صورت دستی، فعالیت خود را برای فرونشانی علف‌های هرز نشان می‌دهند (Scavo and Mauromicale, 2020). به‌عنوان مثال بقایای گیاهی جو، چاودار و تریتیکاله حفظ شده در مزرعه ذرت به دلیل اثر دگرآسیب آن‌ها در برابر سوروف و ارزنی چرخه‌ای *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv. در یونان مورد ارزیابی قرار گرفت (Dhima *et al*., 2005). مالچ‌های دگرآسیب، رویش ارزنی چرخه‌ای (صفر تا ۶۷ درصد) و سوروف (۲۷ تا ۸۰ درصد) را در مقایسه با تیمار بدون مالچ کاهش دادند. بوته‌های ذرت هیچ تأثیر منفی از مالچ‌های به‌کار برده شده دریافت نکردند. عملکرد دانه ذرت در کرت‌های اعمال شده با مالچ جو در مقایسه با کرت‌های بدون مالچ (شاهد بدون تیمار) ۴۵ درصد افزایش یافت (Dhima *et al*., 2005). به‌طور مشابه بقایای ذرت مخلوط شده در تناوب ذرت - کلم بروکلی که به‌صورت ارگانیک رشد یافته بودند باعث کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در محصول بعدی (کلم بروکلی) به میزان ۲۲ تا ۴۷ درصد شد (Bajgai *et al*., 2013). مالچ مخلوط شده همچنین به بهبود وضعیت مواد غذایی خاک کمک کرد. به‌طور مشابه در مطالعه دیگری گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی در بقایای مالچ سه محصول زراعی (یولاف، ماشک گل خوشه‌ای و شبدر زیرزمینی) نشاکاری شد (Campiglia *et al*., 2010). مالچ‌ها در فرونشانی علف‌های هرز از نظر تراکم و زیست‌توده نسبت به تیمار شاهد بهتر بودند (۳۵ تا ۸۰ درصد) و در بین آن‌ها یولاف در فرونشانی علف‌های هرز مؤثرتر عمل کرد. هرچند یولاف نیز بر عملکرد گوجه‌فرنگی تأثیر منفی گذاشت. با این وجود بیشترین افزایش عملکرد نسبت به شاهد مربوط به ماشک گل خوشه‌ای بود. در مطالعه مشابهی بقایای مالچ یولاف و ماشک گل خوشه‌ای به‌طور مؤثری تراکم علف‌های هرز *A. retroflexus*، *Polygonum aviculare* L.، *P. oleracea* و *C. album* را در فلفل سیاه کاهش داد (Campiglia *et al*., 2012). یولاف در برابر علف‌های هرز مؤثرتر از ماشک گل خوشه‌ای بود، با این حال ماشک گل خوشه‌ای منجر به افزایش بیشتری در عملکرد فلفل سیاه نسبت به یولاف شد.

تنوع در مواد دگرآسیب می‌تواند فعالیت دگرآسیب را در برابر علف‌های هرز به دلیل وجود آللوکمیکال‌های متنوع بهبود بخشد. همچنین اثر سینرژیستی (هم‌افزایی) آللوکمیکال‌ها می‌تواند فعالیت آن‌ها را در برابر علف‌های هرز هدف بهبود بخشد. بر اساس این فرضیه، ترکیبی از بقایای گیاهی دگرآسیب شامل آفتابگردان، کلزا و سورگوم به میزان ۷/۵ تن در هکتار برای کنترل علف‌های هرز در محصول ذرت به‌کار برده شد. مالچ به‌کار برده شده تراکم و زیست‌توده اویارسلام ارغوانی *Cyperus rotundus* L. و خرفه‌سا *Trianthema potrtulacastrum* L. را تا حدود ۹۰ درصد کاهش داد و عملکرد دانه ذرت، وزن هزار دانه و شاخص برداشت را به ترتیب ۵۴، ۱۳ و ۲۹ درصد افزایش داد. هیچ اثر منفی از مواد مالچ به‌کار برده شده بر رشد یا نمو ذرت گزارش نشد که نشان می‌دهد می‌توان از مواد دگرآسیب برای کنترل علف‌های هرز بدون خسارت رساندن به بوته‌های ذرت استفاده کرد (Khaliq *et al*., 2011).

در نتیجه بقایای گیاهی دگرآسیب را می‌توان به‌عنوان مالچ برای فرونشانی علف‌های هرز و بهبود عملکرد دانه به کار برد. افزایش حفاظت از رطوبت و دسترسی به مواد غذایی از دیگر مزایای استفاده از مالچ برای مدیریت علف‌های هرز است.

گنجاندن محصولات دگرآسیب در تناوب

تناوب زراعی عبارت است از توالی یا ترتیب کاشت محصولات زراعی در یک مزرعه خاص. هدف از این توالی حفظ بهره‌وری و پایداری خاک است. تغییرات خاص در این توالی زراعی می‌تواند هجوم آفات را کاهش دهد. تناوب زراعی به تنهایی هجوم علف‌های هرز را در مزارع کاهش می‌دهد؛ در حالی‌که اثربخشی کنترل علف‌های هرز را در صورت ترکیب با روش‌های دیگر افزایش می‌دهد (Abbas *et al*., 2021). به‌عنوان مثال تناوب زراعی یکی از راهبردهای اصلی کنترل علف‌های هرز بود که توسط تولیدکنندگان ارگانیک در ایالات متحده آمریکا برای فرونشانی علف‌های هرز مورد استفاده قرار گرفت (Sahoo *et al*., 2023). تناوب زراعی زمانی مؤثرتر می‌شود که هیچ بذر علف هرزی از مزرعه مجاور به

مزرعه تحت تناوب هجوم نبرد (Gonzalez-Díaz *et al*., 2012). آللوکمیکال‌های اضافه شده به مزرعه از محصول دگرآسیب قبلی و شیوه‌های مدیریتی تغییر یافته با هم به کنترل علف‌های هرز کمک می‌کنند (Scavo and Mauromicale, 2020). تحقیقات ثابت کرده است که گیاهان دگرآسیب، خاک را با آللوکمیکال‌هایی پر می‌کنند که باعث فرونشانی علف‌های هرز در محصول بعدی می‌شود (Dmitrovic *et al*., 2015). در مطالعه اخیر، سوروف در خاک‌هایی که پس از برداشت رقم برنج دگرآسیب PI312777 و رقم برنج غیردگرآسیب (Liaojing-9) به‌دست‌آمده بود، رشد کرده بود (Dmitrovic *et al*., 2015). خاک رقم برنج دگرآسیب حاوی غلظت‌های بالاتری از آللوکمیکال‌هایی بود که باعث فرونشانی رشد سوروف شد. در مطالعه دیگری، گنجاندن محصول چاودار در تناوب با محصول ذرت پیشنهاد شد. هدف فرونشانی علف‌های هرزی مانند خرفه و تاج‌خروس وحشی در محصول بعدی ذرت بود. آزمایش‌های گلخانه‌ای فعالیت دگرآسیب بستر (لاشبرگ) چاودار را برای فرونشانی علف‌های هرز از طریق تراوش آللوکمیکال‌ها، از جمله DIBOA (Benzoxazinoids 2,4-dihydroxy-1,4 (2H)-benzoxazin-3-one) و BOA (Benzoxazolin-2(3H)-one) تأیید کردند (Tabaglio *et al.*, 2013). در نتیجه محصولات دگرآسیب موجود در یک تناوب به فرونشانی علف‌های هرز در محصول زراعی بعدی از طریق تراوش آللوکمیکال‌ها کمک می‌کنند.

نتیجه‌گیری

محصولات دگرآسیب فعالیت دگرآسیبی خود را از طریق تراوش آللوکمیکال‌ها بروز می‌دهند. انتقال آللوکمیکال‌ها به گونه‌های علف هرز هدف توسط میکروارگانیسم‌ها تسهیل می‌شود. همچنین آللوکمیکال‌ها فعالیت میکروبی خاک را تقویت می‌کنند که اثر مثبتی بر گیاهان زراعی دارند. رشد ارقام زراعی دگرآسیب ممکن است به روشی مهم برای فرونشانی علف‌های هرز تبدیل شود، به‌ویژه زمانی که تحت حمایت مدیریت تلفیقی علف‌های هرز مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور مشابه، استفاده از گیاهان پوششی دگرآسیب، کشت مخلوط دگرآسیب، گنجاندن محصولات دگرآسیب در تناوب و استفاده از بقایای گیاهی دگرآسیب به‌عنوان مالچ روش‌های مهمی هستند که می‌توانند برای مدیریت اقتصادی و سازگار با محیط‌زیست علف‌های هرز در سیستم‌های کشاورزی اعمال شوند. با مشخص شدن اهمیت مواد آللوکمیکال، امرزه پتانسیل دگرآسیبی محصولات زراعی مورد نظر با استفاده از تکنیک‌های متداول و جدید به‌نژادی گیاهی در حال تقویت است.

منابع References

Abbas, T., Ahmad, A. and Kamal, A. 2021. Ways to use allelopathic potential for weed management: a review. International Journal of Food Science and Agriculture 5: 492-498.

Abou El-Enin, M.M. and Abdel-Ghffa, M.A.F. 2017. Allelopathic effect of peanut, sunflower and corn crops on germination and growth of some winter weeds. Archives of Agriculture and Environmental Science 2: 257-263.

Achatz, M. and Rillig, M.C. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae enhance transport of the allelochemical juglone in the field. Soil Biology and Biochemistry 78: 76-82.

Adler, M.J. and Chase, C.A. 2007. Comparison of the allelopathic potential of leguminous summer cover crops: cowpea, sunn hemp, and velvetbean. Hortscience 42: 289-293.

Ahn, J.K., Hahn, S.J., Kim, J.T., Khanh, T.D. and Chung, I.M. 2005. Evaluation of allelopaahic potential among rice *Oryza sativa* L. germplasm for control of *Echinochloa crus-galli* P. Beauv in the field. Crop Protection 24(5): 413-419.

Alam, M.A., Hakim, M.A., Juraimi, A.S., Rafii, M.Y., Hasan, M.M. and Aslani, F. 2018. Potential allelopathic effects of rice plant aqueous extracts on germination and seedling growth of some rice field common weeds. Italian Journal of Agronomy 13: 134-140.

Alcantara, C., Pujadas, A. and Saavedra, M. 2011. Management of *Sinapis alba* subsp. *mairei* winter cover crop residues for summer weed control in southern Spain. Crop Protection 30: 1239-1244.

Al-Johani, N.S., Aytah, A.A. and Boutraa, T. 2012. Allelopathic impact of two weeds, *Chenopodium murale* and *Malva parviflora* on growth and photosynthesis of barley (*Hordeum vulgare* L.). Pakistan Journal of Botany 44: 1865-1872.

Alsaadawi, I.S., Sarbout, A.K. and Al-Shamma, L.M. 2010. Differential allelopathic potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes on weeds and wheat (*Triticum aestivum* L.) crop. Archive of Agronomy and Soil Science 58(10): 1-10.

Al-Sherif, E., Hegazy, A.K., Gomaa, N.H. and Hassan, M.O. 2013. Allelopathic effect of black mustard tissues and root exudates on some crops and weeds. Planta Daninha 31: 11-19.

Altieri, M.A., Lana, M.A. and Bittencourt, H.V. 2011. Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil. Journal of Sustainable Agriculture 35: 855-869.

Alvarez-Iglesias, L., Puig, C.G., Revilla, P., Reigosa, M.J. and Pedrol, N. 2018. Faba bean as green manure for field weed control in maize. Weed Research 58: 437-449.

Amosse, C., Jeuffroy, M.H., Celette, F. and David, C. 2013. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. European Journal of Agronomy 49: 158-167.

Annett, R., Habibi, H.R. and Hontela, A. 2014. Impact of glyphosate and glyphosate based herbicides on the freshwater environment. Journal of Applied Toxicology 34: 458-479.

Asaduzzaman, M. and Pramanik, M.H.R. 2005. Allelopathic effect of rice straw in soil on nutrient and chlorophyll contents of transplanted aman rice. Bangladesh Journal of Environmental Science 11: 359-363.

Asaduzzaman, M., An, M., Pratley, J.E., Luckett, D.J. and Lemerle, D. 2014. Canola *Brassica napus* germplasm shows variable allelopathic effects against annual ryegrass *Lolium rigidum*. Plant and Soil 380(1/2): 47-56.

Ashrafi, Y.Z., Sadeghi, S. and Mashhadi, H.R. 2007. Allelopathic effect of barley (*Hordeum vulgare*) on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*). Pakistan Journal of Weed Science Research 13: 99-112.

Bajgai, Y., Kristiansen, P., Hulugalle, N. and McHenry, M. 2013. Comparison of organic and conventional managements on yields, nutrients and weeds in a corn-cabbage rotation. Renewable Agriculture and Food Systems 30: 132-142.

Bangarwa, S.K. and Norsworthy, J.K. 2014. Brassicaceae cover-crop effects on weed management in plasticulture tomato. Journal of Crop Improvement 28(2): 145-158.

Bergin, D. 2011. Weed Control Options for Coastal Sand Dunes: a Review. Pp. 5-13. New Zealand Forest Research Institute LTD.

Bernstein, E.R., Stoltenberg, D.E., Posner, J.L. and Hedtcke, J.L. 2014. Weed community dynamics and suppression in tilled and no-tillage transitional organic winter rye-soybean systems. Weed Science 62: 125-137.

Bertholdsson, N.O., Andersson, S.C. and Merker, A. 2012. Allelopathic potential of *Triticum* spp., *Secale* spp. and *Triticosecale* spp. and use of chromosome substitutions and translocations to improve weed suppression ability in winter wheat. Plant Breeding 131: 75-80.

Bond, W. and Grundy, A. 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. Weed Research 41: 383-405.

Brooker, R.W., Bennett, A.E. and Cong, W.F. 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. New Phytologist 206: 107-117.

Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E. and Caporali, F. 2010. Effect of cover crops and mulches on weed control and nitrogen fertilization in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Crop Protection 29: 354-363.

Campiglia, E., Radicetti, E. and Mancinelli, R. 2012. Weed control strategies and yield response in a pepper crop (*Capsicum annuum* L.) mulched with hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) and oat (*Avena sativa* L.) residues. Crop Protection 33: 65-73.

Carballido, J., Rodríguez-Lizana, A., Agüera, J. and Perez-Ruiz, M. 2013. Field sprayer for inter and intra-row weed control: performance and labor savings. Spanish Journal of Agricultural Research 11: 642-651.

Chauvel, B., Guillemin, J.P., Gasquez, J. and Gauvrit, C. 2012. History of chemical weeding from 1944 to 2011 in France: changes and evolution of herbicide molecules. Crop Protection 42: 320-326.

Chung, I., Kim, K. and Ahn, J. 2002. Screening of allelochemicals on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and identification of potentially allelopathic compounds from rice (*Oryza sativa*) variety hull extracts. Crop Protection 21: 913-920.

Corre-Hellou, G., Dibet, A. and Hauggaard-Nielsen, H. 2011. The competitive ability of peaebarley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. Field Crops Research 122: 264-272.

Dhima, S., Vasilakoglou, I., Eleftherohorinos, I. and Lithourgidis, A. 2005. Allelopathic potential of winter cereals and their cover crop mulch effect on grass weed suppression and sugar beet development. Crop Science 46(1): 1682-1691.

Didon, U.M., Kolseth, A.K., Widmark, D. and Persson, P. 2014. Cover crop residues effects on germination and early growth of annual weeds. Weed Science 62: 294-302.

Dmitrovic, S., Simonovic, A. and Mitic, N. 2015. Hairy root exudates of allelopathic weed *Chenopodium murale* L. induce oxidative stress and down-regulate core cell cycle genes in Arabidopsis and wheat seedlings. Plant Growth Regulation 75(1): 365-382.

Dube, E., Chiduza, C. and Muchaonyerwa, P. 2012. Winter cover crops and fertiliser effects on the weed seed bank in a low-input maize-based conservation agriculture system. South African Journal of Plant and Soil 29: 195-197.

Fahey, J.W., Zalcmann, A.T. and Talalay, P. 2001. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. Phytochemistry 56(1): 5-51.

Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z.A., Wahid, A. and Siddique, K.H. 2011. The role of allelopathy in agricultural pest management. Pest Management Science 67: 493-506.

Fernandez-Aparicio, M., Emeran, A.A. and Rubiales, D. 2010. Inter-cropping with berseem clover (*Trifolium alexandrinum*) reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. Crop Protection 29: 867-871.

Finney, D.M., Creamer, N.G. and Schultheis, J.R. 2009. Sorghum sudangrass as a summer cover and hay crop for organic fall cabbage production. Renewable Agriculture and Food Systems 24: 225-233.

Fragasso, M., Iannucci, A. and Papa, R. 2013. Durum wheat and allelopathy: toward wheat breeding for natural weed management. Frontiers in Plant Science 4: 375.

Gealy, D., Moldenhauer, K. and Duke, S. 2013. Root distribution and potential interactions between allelopathic rice, sprangletop (*Leptochloa* spp.), and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) based on 13C isotope discrimination analysis. Journal of Chemical Ecology 39: 186-203.

Gianessi, L.P. 2013. The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. Pest Management Science 69: 1099-1105.

Gonzalez-Díaz, L., Van Den Berg, F., Van Den Bosch, F. and Gonzalez-Andújar, J.L. 2012. Controlling annual weeds in cereals by deploying crop rotation at the landscape scale: Avena sterilis as an example. Ecological Applications 22: 982-992.

Griepentrog, H.W. and Dedousis, A.P. 2010. Mechanical Weed Control. Pp. 171-179. Soil engineering. Springer.

Halkier, B.A. and Gershenzon, J. 2006. Biology and biochemistry of glucosinolates. Annual Review of Plant Biology 57: 303-333.

Haramoto, E.R. and Gallandt, E.R. 2004. Brassica cover cropping for weed management: a review. Renewable Agriculture and Food Systems 19: 187-198.

Haramoto, E.R. and Gallandt, E.R. 2005. Brassica cover cropping: I. Effects on weed and crop establishment. Weed Science 53: 695-701.

Hoppin, J.A. 2014. Pesticides and respiratory health: where do we go from here? Occupational and Environmental Medicine 71(2): 80.

Ibrahim, M., Ahmad, N., Shinwari, Z.K., Bano, A. and Ullah, F. 2013. Allelopathic assessment of genetically modified and non-modified maize (*Zea mays* L.) on physiology of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Botany 45: 235-240.

Jabran, K., Cheema, Z.A., Farooq, M. and Hussain, M. 2010. Lower doses of pendimethalin mixed with allelopathic crop water extracts for weed management in canola (*Brassica napus*). International Journal of Agriculture and Biology 12: 335-340.

Jabran, K. and Farooq, M. 2013. Implications of Potential Allelopathic Crops in Agricultural Systems. Pp. 349-385. In: Cheema, Z., Farooq, M. and Wahid, A. (eds.). Allelopathy. Springer, Berlin, Heidelberg.

Javaid, A., Shafique, S., Bajwa, R. and Shafique, S. 2006. Effect of aqueous extracts of allelopathic crops on germination and growth of *Parthenium hysterophorus* L. South African Journal of Botany 72: 609-612.

Kandhro, M.N., Tunio, S., Rajpar, I. and Chachar, Q. 2014. Allelopathic impact of sorghum and sunflower intercropping on weed management and yield enhancement in cotton. Sarhad Journal of Agriculture 30: 311-318.

Khaliq, A., Matloob, A. and Shafiq, H.M. 2011. Evaluating sequential application of pre and post emergence herbicides in dry seededfine rice. Pakistan Journal of Weed Science Research 17: 111-123.

Khan, M.B., Ahmad, M. and Hussain, M. 2012. Allelopathic plant water extracts tank mixed with reduced doses of atrazine efficiently control *Trianthema portulacastrum* L. in *Zea mays* L. Journal of Animal and Plant Sciences 22: 339-346.

Khanh, T.D., Cong, L.C., Chung, I.M., Xuan, T.D. and Tawata, S. 2009. Variation of weed suppressing potential of Vietnamese rice cultivars against barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) in laboratory, greenhouse and field screenings. Journal of Plant Interactions 4: 209-218.

Kong, C.H., Xiong-Hui, C., Fei, H. and Song-Zhu, Z. 2011. Breeding of commercially acceptable allelopathic rice cultivars in China. Pest Management Science 67(9): 1100-1106.

Macias, F.A., Oliveros-Bastidas, A. and Marin Mateos, D. 2014. Evidence for an allelopathic interaction between rye and wild oats. Journal of Agricultural and Food Chemistry 62: 9450-9457.

Mahajan, G. and Chauhan, B.S. 2013. The role of cultivars in managing weeds in dry seeded rice production systems. Crop Protection 49: 52-57.

Mahmood, K., Khaliq, A., Cheema, Z.A, and Arshad, M. 2013. Allelopathic activity of Pakistani wheat genotypes against wild oat *Avena fatua* L. Pakistan Journal of Agricultural Research 50(2): 169-176.

Moran, P. and Greenberg, S. 2008. Winter cover crops and vinegar for early-season weed control in sustainable cotton. Journal of Sustainable Agriculture 32: 483-506.

Morra, M.J. and Kirkegaard, J.A. 2002. Isothiocyanate release from soil-incorporated Brassica tissues. Soil Biology and Biochemistry 34: 1683-1690.

Muhammad, Z. and Majeed, A., 2014. Allelopathic effects of aqueous extracts of sunflower on wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Botany 46: 1715-1718.

Norsworthy, J.K., McClelland, M., Griffith, G., Bangarwa, S.K. and Still, J. 2011. Evaluation of cereal and Brassicaceae cover crops in conservation-tillage, enhanced, glyphosate-resistant cotton. Weed Technology 25: 6-13.

Norsworthy, J.K. and Meehan IV, J.T. 2005. Use of isothiocyanates for suppression of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*), pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*) and yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*). Weed Science 53: 884-890.

Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science 144: 31-43.

Oerke, E.C., Dehne, H.W., Schonbeck, F. and Weber, A. 1994. Crop Production and Crop Protection: Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. Elsevier, B.V. Amsterdam, The Netherlands. 808pp.

Petersen, J., Belz, R., Walker, F. and Hurle, K., 2001. Weed suppression by release of isothiocyanates from turnip-rape mulch. Agronomy Journal 93(1): 37-43.

Pheng, S., Olofsdotter, M., Jahn, G. and Adkins, S.W. 2009. Potential allelopathic rice lines for weed management in Cambodian rice production. Weed Biology and Management 9: 259-266.

Powles, S.B. 2008. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. Pest Management Science 64: 360-365.

Rahaman, F., Juraimi, A.S. and Rafii, M.Y. 2021. Allelopathic effect of selected rice (*Oryza sativa*) varieties against barnyard grass (*Echinochloa cruss-gulli*). Plants 10(10), https://doi.org/10.3390/plants10102017.

Rajcan, I. and Swanton, C.J. 2001. Understanding maize–weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. Field Crop Research 71(2): 139-150.

Razzaq, A., Cheema, Z. and Jabran, K. 2012. Reduced herbicide doses used together with allelopathic sorghum and sunflower water extracts for weed control in wheat. Journal of Plant Protection Research 52: 281-285.

Razzaq, A., Cheema, Z.A. and Jabran, K. 2010. Weed management in wheat through combination of allelopathic water extracts with reduced doses of herbicides. Pakistan Journal of Weed Science Research 16: 247-256.

Reberg-Horton, S.C., Burton, J.D., Danehower, D.A., Ma, G, Monks, D.W., Murphy, J.P., Ranells, N.N., Williamson, J.D. and Creamer, N.G. 2005. Changes over time in the allelochemical content of ten cultivars of rye *Secale cereale* L. Journal of Chemical Ecology 31(1): 179-193.

Rice, A., Johnson-Maynard, J., Thill, D. and Morra, M., 2007. Vegetable crop emergence and weed control following amendment with different Brassicaceae seed meals. Renewable Agriculture and Food Systems 22(3): 204-212.

Rueda-Ayala, V., Rasmussen, J., Gerhards, R. and Fournaise, N.E. 2011. The influence of post-emergence weed harrowing on selectivity, crop recovery and crop yield in different growth stages of winter wheat. Weed Research 51: 478-488.

Rugare, J.T., Pieterse, P.J. and Mabasa, S. 2021. Allelopathic potential of green manure cover crops on germination and early seedling development of goose grass [*Eleusine indica* (L.) Gaertn] and blackjack (*Bidens pilosa* L.). International Journal of Agronomy 12, http://dx.doi.org/10.1155/2021/6552928.

Runzika, M., Rugare, J.T. and Mabasa, S. 2013. Screening green manure cover crops for their allelopathic effects on some important weeds found in Zimbabwe. Asian Journal of Agriculture and Rural Development 3: 554-565.

Sahoo, T.R., Behera, B. and Paikaray, R.K. 2023. Effects of sunflower residue management options on productivity and profitability of succeeding rice under different crop establishment methods. Field Crops Research 290: 108763.

Saudy, H.S. 2015. Maize-cowpea intercropping as an ecological approach for nitrogen use rationalization and weed suppression. Archives of Agronomy and Soil Science 61: 1-14.

Scavo, A. and Mauromicale, G. 2020. Integrated weed management in herbaceous field crops. Agronomy 10: 466-475.

Schulz, M., Marocco, A., Tabaglio, V., Macias, F.A. and Molinillo, J.M. 2013. Benzoxazinoids in rye allelopathy-from discovery to application in sustainable weed control and organic farming. Journal of Chemical Ecology 39: 154-174.

Silva, E.M. 2014. Screeningfive fall-sown cover crops for use in organic no-till crop production in the upper Midwest. Agroecology and Sustainable Food Systems 38: 748-763.

Smith, R.G., Ryan, M.R. and Menalled, F.D. 2011. Direct and indirect impacts of weed management practices on soil quality. Pp. 275-286. In: Hatfield, J.L. and Sauer, T.J. (eds.). Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. Soil Science Society of America. Madison, WI.

Starling, A.P., Umbach, D.M. and Kamel, F. 2014. Pesticide use and incident diabetes among wives of farmers in the agricultural health study. Occupational and Environmental Medicine 71: 629-635.

Sun, B., Kong, C.H., Wang, P. and Qu, R. 2012. Response and relation of allantoin production in different rice cultivars to competing barnyardgrass. Plant Ecology 213: 1917-1926.

Tabaglio, V., Gavazzi, C., Schulz, M. and Marocco, A. 2008. Alternative weed control using the allelopathic effect of natural benzoxazinoids from rye mulch. Agronomy for Sustainable Development 28: 397-401.

Tabaglio, V., Marocco, A. and Schulz, M. 2013. Allelopathic cover crop of rye for integrated weed control in sustainable agroecosystems. Italian Journal of Agronomy 8: 35-40.

Tesio, F. and Ferrero, A. 2010. Allelopathy, a chance for sustainable weed management. International Journal of Sustainable Development 17: 377-389.

Tibugari, H., Manyeruke, N. and Mafere, G. 2019. Allelopathic effect of stressing sorghum on weed growth. Cogent Biology 5: 1684865.

Tursun, N., Demir, Z. and Jabran, K. 2018. Use of living, mowed, and soil- incorporated cover crops for weed control in apricot orchards. Agronomy 8: 150-159.

Wang, P., Zhang, X. and Kong, C. 2013. The response of allelopathic rice growth and microbial feedback to barnyard grass infestation in a paddy field experiment. European Journal of Soil Biology 56: 26-32.

Weston, L.A., Alsaadawi, I.S. and Baerson, S.R. 2013. Sorghum allelopathydfrom ecosystem to molecule. Journal of Chemical Ecoloy 39: 142-153.

Weston, L.A., Ryan, P.R. and Watt, M. 2012. Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. Journal of Experimental Botany 63: 3445-3454.

Young, S.L., Pierce, F.J. and Nowak, P. 2014. Introduction [to automation: the future of weed control in cropping systems]: scope of the problem-rising costs and demand for environmental safety for weed control. West Central Research and Extension Center, North Platte, 9pp

Zeng, R.S. 2014. Allelopathy-the solution is indirect. Journal of Chemical Ecology 40: 515-516.

Zhang, F.J., Guo, J.Y., Liu, W.X. and Wan, F.H. 2012. Influence of coastal plain yellowtops (*Flaveria bidentis*) residues on growth of cotton seedlings and soil fertility. Archives of Agronomy and Soil Science 58: 1117-1128.

Zimdahl, R.L. 2013. Fundamentals of Weed Science, 4th. ed. Academic Press, San Diego, CA, USA. 664pp.

Zuo, S., Liu, G. and Li, M. 2012. Genetic basis of allelopathic potential of winter wheat based on the perspective of quantitative trait locus. Field Crops Research 135(30): 67-73.

Allelopathy: An adaptive scientific method for sustainable weed management

R. Khakzad*

Received: 17 Apr., 2024 Accepted: 15 Jun., 2024

ABSTRACT

Today, dependence on chemical herbicides strongly affects the environment and ecosystem. Alternate sustainable weed management strategies like allelopathy could be included in integrated weed management programs to reduce the usage of chemical herbicides. Plant allelopathy is a response to external stimuli by releasing secondary metabolites. This phenomenon has the potential to facilitate environmentally sounder weed control and avoid the concerns associated with the misuse of agro-chemicals for pest and weed management. This review article provides the practical application of allelopathy for weed control in agricultural systems. In many sources, rye, sorghum, rice, sunflower, rape seed, and wheat have been documented as important allelopathic crops. These crops express their allelopathic potential by releasing allelochemicals which not only suppress weeds, but also promote underground microbial activities. Crop cultivars with allelopathic potentials can be grown to suppress weeds under field conditions. Further, several types of allelopathic plants can be intercropped with other crops to weed management. The use of allelopathic cover crops and mulches can reduce weed pressure in field crops. Rotating a routine crop with an allelopathic crop for one season is another method of allelopathic weed control. Importantly, plant breeding can be explored to improve the allelopathic potential of crop cultivars. In conclusion, it is possible to benefit from the potential of allelopathy to suppress weeds in field crops. Allelopathy is of special importance for ecological, sustainable and integrated weed management systems.

Key words: Allelochemicals, cover crops, herbicide, integrated management, suppression

Instructor, Department of Agriculture Engineering, Technical and Vocational University, Tehran, Iran
Corresponding author: rahman.khakzad@yahoo.com