

به نام خداوند جان و خرد

بررسی؛ مدیریت مقاومت در برابر علف کش: تحولات و روندهای اخیر

Review , Herbicide Resistance Management: Recent Developments and Trends



Review

Herbicide Resistance Management: Recent Developments and Trends

Hugh J. Beckie *, Michael B. Ashworth and Ken C. Flower

Australian Herbicide Resistance Initiative (AHRI), School of Agriculture and Environment, The University of Western Australia, Crawley, WA 6009, Australia; mike.ashworth@uwa.edu.au (M.B.A.); ken.flower@uwa.edu.au (K.C.F.)

* Correspondence: hugh.beckie@uwa.edu.au; Tel: +61-8-6488-4615

Received: 3 May 2019; Accepted: 5 June 2019; Published: 8 June 2019

Abstract: This review covers recent developments and trends in herbicide-resistant (HR) weed management in agronomic field crops. In countries where input-intensive agriculture is practiced, these developments and trends over the past decade include renewed efforts by the agrichemical industry in herbicide discovery, cultivation of crops with combined (stacked) HR traits, increasing reliance on preemergence vs. postemergence herbicides, breeding for weed-competitive crop cultivars, expansion of harvest weed seed control practices, and advances in site-specific or precision weed management. The unifying framework or strategy underlying these developments and trends is mitigation of viable weed seeds into the soil seed bank and maintaining low weed seed banks to minimize population proliferation, evolution of resistance to additional herbicidal sites of action, and spread. A key question going forward is: how much weed control is enough to consistently achieve the goal of low weed seed banks? The vision for future HR weed management programs must be sustained crop production and profitability with reduced herbicide (particularly glyphosate) dependency.

Keywords: best management practices; crop competition; herbicide resistance; integrated weed management; precision weed management; site-specific weed management

برگرداننده: افشین ولایی

چکیده:

این بررسی شامل تحولات و اقدامات اخیر در مدیریت علف‌های هرز مقاوم در برابر علف‌کش¹ (HR) در محصولات زراعی است. در کشورهایی که کشاورزی پرمصرف در بکارگیری از نهاده‌ها (کشاورزی فشرده) در آنها رواج دارد، این تحولات و روندها در طی دهه‌های گذشته شامل کوشش‌های نوین صنایع کشاورزی در کشف

¹ Herbicide Resistance

علف‌کش‌ها، کشت محصولات با ویژگی مقاوم به علف‌کش‌ها، و افزایش اعتماد به علف‌کش‌های قبل از ظهور (پیش‌رویشی)، در مقابل علف‌کش‌های پس از ظهور (پس‌رویشی)، تولید ارقام زراعی دارای خاصیت رقابتی با علف‌های هرز، گسترش روش‌های کنترل بذور علف‌های هرز، و پیشرفت در مدیریت مکان ویژه^۲ یا دقیق علف‌های هرز، گردیده است. چارچوب یا استراتژی مشترک شامل اقدامات کاهش دهنده بذور علف‌های هرز در بانک بذر خاک و حفظ بانک‌های بذر کاهش یافته جهت به حداقل رساندن تکثیر جمعیت علف‌های هرز، می‌باشد. یک سوال کلیدی و اساسی پیش رو این است: چقدر کنترل علف‌های هرز برای دستیابی به بانک‌های بذر کاهش یافته کافی است؟ چشم انداز و آینده برنامه‌های مدیریت علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها در آینده می‌بایستی منجر به تولید سودآور و پایدار محصول با کاهش وابستگی به علف‌کش‌ها (به ویژه گلیفوزیت) شود.

کلمات کلیدی: بهترین روش‌های مدیریتی، ارقام رقابتی، مقاومت به علف‌کش‌ها، مدیریت یکپارچه علف‌های هرز، مدیریت دقیق علف‌های هرز، مدیریت مکان ویژه علف‌های هرز

1. مقدمه

طی دهه گذشته، مهمترین تغییر در استراتژی مدیریت علف‌های هرز مقاوم در برابر علف‌کش (HR) در دنیا افزایش تمرکز بر کاهش بانک بذر علف‌های هرز و حفظ سطح پایین بانک بذر به هر طریق ممکن بوده است. در طی سال های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰، تحقیقات زیادی به منظور تعیین تأثیر تراکم علف‌های هرز و زمان ظهور آنها نسبت به محصول و اثر آن بر روی از دست دادن درآمد (عملکرد به قیمت) انجام شده است. این نتایج برای توسعه مدل‌ها یا سیستم‌های پشتیبانی برای استفاده از علف‌کش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌های اولیه آستانه اقتصادی علف‌های هرز تنها تمرکز در دوره رویش محصول را داشته و با در نظر گرفتن دوره‌های زمانی طولانی‌تر و پیامدهای بانک بذر علف‌های هرز، آستانه‌های بهینه اقتصادی یا سطح آسیب، پیچیده‌تر می‌شدند.

امروزه، مفهوم آستانه اقتصادی اگر چه هنوز در علوم حشره‌شناسی و آسیب‌شناسی استفاده می‌شود، اما دیگر توسط دانشمندان، محققین و کارشناسان علوم علف‌های هرز کاربرد ندارد. واقعیت امروزه برای اکثر کشاورزان این است

² site-specific weed management (SSWM)

(یا مدیریت نقطه ای یا مدیریت هوشمند)

که بانک بذر علف‌های هرز در مزارع آنها احتمالاً در برابر یک یا چند محل عمل علف‌کش^۳ (SOA) مقاوم هستند. اکنون سیاست تحمل صفر یا سیاست سختگیرانه ("هیچ بذری وارد بانک بذر نشود") مورد نظر است. با این حال، دستیابی به این هدف برای همه گونه‌های علف‌های هرز و در همه سیستم‌های کشت در دنیا ممکن است از نظر زراعی و اقتصادی امکان‌پذیر یا ضروری نباشد.

همانگونه که در ادامه شرح داده می‌شود، تحولات و روندهای اخیر مربوط به مدیریت علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها شامل تلاش‌هایی در کشف مولکول‌های جدید علف‌کش توسط صنایع شیمیایی پس از یک دوره طولانی از اواخر دهه ۱۹۸۰ تا به امروز به تجاری شدن هیچ علف‌کش جدیدی (SOA) منجر نشده است. در این دوره استراتژی استفاده گسترده از علف‌کش‌های موجود با معرفی محصولات عمده زراعی دارای صفات مقاومت (تراویخته)، به ویژه سویا (*Glycine max*)، ذرت (*Zea mays*)، و پنبه (*Gossypium hirsutum*) بوده است. اگرچه استفاده از صفات مقاومت به علف‌کش‌ها انعطاف‌پذیری بیشتری را برای مدیریت جمعیت علف‌های هرز به کشاورزان می‌دهد، اما اتفاق نظر دانشمندان علوم علف‌های هرز این است که این راه حل در طولانی مدت پایدار نیست و به طور حتم منجر به افزایش جمعیت‌های علف‌های هرز مقاوم خواهد شد.

روند عمده دیگر مربوط به استفاده از برتری علف‌کش‌های پیش از ظهور^۴ (PRE) خاک مصرف برای پر کردن جای خالی علف‌کش‌های پس از ظهور^۵ (POST)، مانند بازدارنده‌های استیل-CoA کربوکسیلاز (ACCase) یا استولاکتات سنتاز (ALS)، به دلیل از دست دادن کارآیی به دلیل بروز مقاومت گسترده می‌باشد. بنابراین، اکنون موضوع در جهت دیگری در حال چرخش است. در دهه ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، کاربرد علف‌کش‌های پیش‌رویشی که نیاز به اختلاط با خاک را دارند به طور قابل توجهی به نفع استفاده از علف‌کش‌های پس از ظهور کاهش یافت که بیشتر در سیستم‌های کشت بدون خاک‌ورزی و یا کم‌خاک‌ورزی مناسب هستند.

علاوه بر این، دو پیشرفت در مدیریت علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها بدون کاربرد علف‌کش بررسی می‌شود. یکی از آنها که تأثیر قابل توجهی داشته، کنترل بذر علف‌های هرز هنگام برداشت^۶، HWSC و دیگری که پیش

³ Site Of Action

⁴ preemergence

⁵ postemergence

⁶ Harvest Weed Seed Control کنترل بذر علف‌های هرز هنگام برداشت

بینی می‌شود در آینده نزدیک بیشتر مطرح گردد، استفاده از ارقام زراعی دارای توان رقابت با علف‌های هرز می‌باشند. اگر چه تحقیق و توسعه در زمینه مدیریت مکان ویژه علف‌های هرز (SSWM) (یا مدیریت دقیق علف‌های هرز یا مدیریت نقطه ای یا مدیریت هوشمند) بیش از ۲۰ سال است که ادامه دارد، پذیرش این فن‌آوری در مزارع با وجود منافع اقتصادی آن نشان داده که هنوز بسیار کم است. با این وجود، نمی‌توان از مزایای بی‌شمار اقتصادی و زیست محیطی مدیریت هوشمند چشم پوشی کرد. ما یک رویکرد اولیه تا حدودی ساده به مدیریت هوشمند را ترسیم می‌کنیم که ممکن است به تحریک پذیرش کشاورزان در سال‌های آینده کمک نماید.

۲. کشف علف کش: تلاش‌های تازه

علف کش‌ها جز اساسی سیستم‌های مدیریت یکپارچه علف‌های هرز^۷ (IWM) در کشاورزی متداول هستند. طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰، علف کش‌ها با محل عمل جدید به طور مکرر به بازار عرضه می‌گردید (جدول ۱). این سرعت معرفی در دهه ۱۹۸۰ بطور قابل ملاحظه‌ای کند و در پایان دهه متوقف شد. در حال حاضر، بیش از ۳۰ سال است که علف کشی با محل عمل جدید معرفی نشده است.

یک دلیل اصلی استفاده گسترده از محصولات مقاوم در برابر گلایفوزیت (GR) در اواسط دهه ۱۹۹۰ و افزایش کاربرد علف کش گلایفوزیت (Roundup®) بود. انقضا حق ثبت اختراع در سال ۲۰۰۰ منجر به ارزان‌تر شدن محصول عمومی (ژنریک) و افزایش چشمگیر در مصرف گلایفوزیت شد. اکنون میزان کاربرد گلایفوزیت از هر علف کش و محل عملی دیگری پیشی گرفته است. علاوه بر این، تثبیت صنایع شیمی کشاورزی، مقررات و شرایط محدودکننده برنامه‌های کشف علف کش به وضعیت فعلی کمک کرده‌اند. امروزه، ما با موجی گسترده و فزاینده از جمعیت علف‌های هرز مقاوم به علف کش‌ها در محل عمل‌های گوناگون، بازده اقتصادی نامشخص از سرمایه گذاری در کشف و توسعه علف کش‌ها، و مقررات یا محدودیت‌های نظارتی در کاربرد علف کش‌ها روبرو هستیم. کشف، توسعه، ثبت و تجاری سازی علف کش‌های جدید یک کار پرهزینه با ریسک بالای اقتصادی است و هزینه آن به ۳۰۰ میلیون دلار می‌رسد. با این وجود، صنایع شیمیایی کشاورزی در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای یافتن مولکول‌های جدید علف کش که ممکن است آینده علف کش‌ها باشند، افزایش داده است.

⁷ Integrated weed management

یکی از موضوعات امیدوارکننده کشف و توسعه علف کش های جدید، موادی می باشند که از محصولات جانبی میکروارگانیزم ها یا عصاره گیاهان تهیه می گردند. تحقیقات بر روی فیتوتوکسین های طبیعی منجر به یافتن چندین سایت هدف بالقوه علف کش شده است. این ترکیبات ممکن است منجر به کشف محل هدف های جدید شود. علاوه بر این، خواص علف کشی بسیاری از داروهای ضد مالاریا منبع احتمالی یافتن ترکیبات دارای محل هدف های جدید را نشان می دهد. شرکت های شیمیایی همچنین روند کشف خود را برای افزایش احتمال یافتن علف کش های با محل هدف جدید با مدل سازی ساختمان آنزیمی و مولکولی و مطالعات محل های هدف همراه با یک فرآیند غربالگری خودکار، تطبیق داده اند. ابزارهای مولکولی و سایر امکانات امروزی امکان غربالگری هدفمند و آگاهانه را از طریق ژنومیک و متابولومیک فراهم می کنند. در مجموع، این فن آوری ها و فرآیندهای جدید یا سازگار که در کشف علف کش ها مورد استفاده قرار گرفته اند، تا حدودی برای سال ۲۰۲۵ نسبت به علف کش ها با محل هدف جدید خوش بینی های را بوجود آورده است. در این میان، اتکا به علف کش های قدیمی که برای استفاده های گسترده ثبت شده اند (در بخش زیر توضیح داده می شود) باید این کمبود را بر طرف کنند.

جدول ۱. معرفی گروه های محل هدف علف کش ها (اقتباس از Heap؛ WSSA؛ سیستم Weed Science Society of America که در ایالات متحده آمریکا و کانادا استفاده می شود؛ HRAC؛ سیستم کمیته مقاومت در برابر علف کش ها که در سایر کشورها بجز استرالیا (که دارای سیستم خاص خود است) استفاده می شود)

Decade	Site of Action *	Example	WSSA	HRAC	Australia
1930s	Uncouplers (membrane disruption)	Dinoterb	24	M	Z
1940s	Synthetic auxins	2,4-D	4	O	I
	Auxin transport inhibitors	Diiflufenzopyr	19	P	P
	Mitosis inhibitors	Propham	23	K2	E
1950s	Microtubule assembly inhibitors	Trifluralin	3	K1	D
	PS-II inhibitors	Atrazine	5	C1	C
	PS-II inhibitors (ureas and amides)	Chlorotoluron	7	C2	C
	Lipid inhibitors	Triallate	8	N	J
	Carotenoid biosynthesis inhibitors	Amitrole	11	F3	Q
	Nucleic acid inhibitors	MSMA	17	Z	Z
	PS-I electron diverters	Paraquat	22	D	L
1960s	PS-II inhibitors (nitriles)	Bromoxynil	6	C3	C
	PPO inhibitors	Oxyfluorfen	14	E	G
	VLCFA inhibitors	Metolachlor	15	K3	K
	Lipid inhibitors	Ethofumesate	16	N	J
	DHP synthase inhibitors	Asulam	18	I	R
	Cellulose inhibitors	Dichlobenil	20	L	I,O,Z
1970s	ACCase inhibitors	Diclofop	1	A	A
	ALS inhibitors	Chlorsulfuron	2	B	B
	Cell elongation inhibitors	Difenzquat	8	Z	Z
	EPSPS inhibitors	Glyphosate	9	G	M
	Glutamine synthase inhibitors	Glufosinate	10	H	N
	Carotenoid biosynthesis inhibitors (PDS)	Diifufenican	12	F1	F
1980s	Antimicrotubule mitotic disrupters	Flamprop	25	Z	Z
	DOXP inhibitors	Clomazone	13	F4	Q
	Cellulose inhibitors	Dichlobenil	21,26	L	I,O,Z
	HPPD inhibitors	Isoxaflutole	27	F2	H

* اختصارات: ACCase: استیل-کوآکربوکسیلاز؛ ALS: استولاکتات سنتاز؛ DHP: دی‌هیدروپتروات؛ DOXP: 4-deoxy-D- xylulose-5-phosphate synthase؛ EPSPS: 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase؛ HPPD: هیدروکسی-فنیل-پروات-دی‌اکسیژناز؛ PDS: phytoene desaturase؛ PPO: پروتوپورفیرینوژن اکسیداز؛ PS: فتوسیستم VLCFA: اسید چرب زنجیره ای بسیار طولانی.

۳. محصولات مقاوم در برابر علف کش (HR): پذیرش تغییر صفات

سویا در ایالات متحده آمریکا شاید بهترین نمونه پذیرش ارقام تغییر صفات یافته با صفات مختلف مقاومت به علف کش‌ها را نشان می‌دهد (جدول ۲). سطح زیر کشت سویا در ایالات متحده در سال ۲۰۱۸، ۳/۳۶ میلیون هکتار بود. از سال ۲۰۱۴، میزان پذیرش سویا مقاوم در ایالات متحده ۹۴٪ ثابت مانده است. با این حال، این آمار تغییرات رخ داده در پذیرش صفات مختلف مقاومت را پنهان می‌کند.

صفت غالب هنوز مقاومت به گلایفوزیت است. سویای اصلی Roundup Ready (RR) در سال ۲۰۱۵ از ثبت اختراع خارج شد. در سال ۲۰۰۹، سویا RR2 به بازار وارد شد. اگر چه شرکت Bayer در حال انتقال به سیستم RR2 Xtend (مقاومت به علف کش Dicamba) است، اما بسیاری از شرکت‌های تولیدکننده بذر هنوز ارقام RR2 را به فروش می‌رسانند. در حال حاضر، ارقام با ویژگی RR به تنهای ۳۰ درصد از بازار ایالات متحده را شامل می‌شوند. در سال ۲۰۱۹ نزدیک به ۵۰ درصد سهم بازار مربوط به ارقام مقاوم با ویژگی Xtend بود. این میزان بالای استقبال از ارقام دارای صفت Xtend در مدت سه سال نشان دهنده اهمیت آن برای تولیدکنندگان در مدیریت مقاومت گلایفوزیت و علف‌های هرز مقاوم به علف کش‌ها است. با این حال، برندهای تجاری علف کش دایکامبا (به عنوان مثال، XtendiMax™) ثبت شده برای استفاده در این ارقام سویا توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده به عنوان "سموم دفع آفات با استفاده محدود" طبقه بندی می‌شود. بنابراین، این علف کش‌ها مجوز فروش و استفاده را دارند تا زمانی که احتمال آسیب به ارقام یا محصولات حساس به دلیل حرکت خارج از هدف یا بادبردگی کاهش یابد.

جدول ۲. صفات مقاومت به علف کش (HR) در ارقام محصولات عمده زراعی

HR Trait	Soybean	Maize	Cotton	Rice	Canola	Wheat
ACCase inhibitor		X		X		X
ALS inhibitor		X		X	X	X
Triazine *					X	
Glyphosate	X	X	X		X	
Glufosinate	X	X	X		X	
Glyphosate+glufosinate	X	X	X			
Glyphosate+triazine*					X	
Glyphosate+dicamba	X		X			
Glyphosate+2,4-D+APP (ACCase)		X				
Glyphosate+isoxaflutole	X					
Glyphosate+glufosinate+dicamba	X		X			
Glyphosate+glufosinate+2,4-D	X		X			
Glyphosate+isoxaflutole+glufosinate	X					

* اختصارات فقط در استرالیا: ACCase: استیل-کوآکربوکسیلاز؛ ALS: استولاکتات سنتاز؛ APP: آریلوکسیفن اکسی پروپونات.

روش تولید بذر سویا (LibertyLink™ (LL)، که در سال ۲۰۰۹ معرفی شد، مقاومت در برابر علف کش گلایفوزیت (Liberty™) را ایجاد می‌کند. بعد از ادغام با شرکت Monsanto، این فن‌آوری توسط Bayer به BASF (سویا Credenz™) واگذار شد. همانند روش بذر سویا RR2 Xtend، روش LL طی پنج سال گذشته حدود ۲۰٪ سهم بازار را بدست آورده است، زیرا این امر نیاز به مدیریت آلودگی علف‌های هرز مقاوم به گلایفوزیت مانند *Amaranthus spp.* را دارد. این افزایش سهم بازار نتیجه پایین آمدن قیمت بذر در سال‌های اخیر و در دسترس بودن محصولات عمومی (ژنریک) علف کش گلو فوزینات است. ارقام سویا با صفات ترکیبی RR+LL و RR+LL+dicamba (Xtend flex) نیز موجود است.

در ادامه، سویای GT27، ساخته شده توسط شرکت‌های MS Technologies، Bayer و Mertec LLC، که متحمل به گلایفوزیت و ایزوکسافلوتول، که یک علف کش بازدارنده هیدروکسی فیل-پروات-دیوکسیژناز (HPPD) می‌باشد. شرکت BASF بذر LL GT27 را معرفی کرد که صفت تحمل سه محل عمل گلیفوزیت، گلو فوزینات و علف کش قبل از کشت ایزوکسافلوتول را به همراه دارد. رقم سویای متحمل سه محل عمل دیگری که قرار است معرفی شود، Enlist E3 است که توسط شرکت‌های MS Technologies و Dow AgroSciences ساخته شده است، که گلیفوزیت، گلو فوزینات و 2,4-D را تحمل می‌کند.

تصمیم یک شرکت برای تولید و معرفی ارقام با ویژگی مقاومت به علف کش برای یک محصول خاص اساساً به چشم انداز تصویب مقررات، وضعیت بازار (یعنی درآمد بالقوه) و آینده بازار و تقاضای بیشتر، بستگی دارد (به

عنوان مثال، نیاز به کنترل علف‌های هرز). به عنوان مثال، مسایل مرتبط به علف‌های هرز برنج مانند برنج قرمز (*Oryza sativa* L.) یک موضوع موثر جهت معرفی ارقام تراریخته است. محصولاتمانند کلزا که در جهان در سطح کمی کشت می‌شوند، از اولویت کمتری برای سرمایه‌گذاری در ارقام جدید با صفت مقاومت به علف‌کش‌ها برخوردار هستند. شرکت Monsanto برنامه‌های تجاری سازی گندم (*Triticum aestivum* L.) مقاوم به گلایفوزیت را در سال ۲۰۰۴ به دلیل عدم استقبال ارقام تراریخته در بازار رها کرد. بنابراین، سویا، ذرت و پنبه همچنان به عنوان مهمترین محصولات جهت سرمایه‌گذاری، توسعه و معرفی ارقام تراریخته مطرح می‌باشند. با استفاده بیشتر از رقم سویا و سایر ارقام زراعی با صفات تراریخته (دو و سه حالته)، انتخاب سیستم یا سیستم‌های مناسب برای کنترل علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش و غیر مقاوم در مزرعه برای کشاورزان چالش برانگیزتر خواهد شد. آموزش جامع برای کشاورزان در زمینه نظارت‌های صحیح بر این فن‌آوری‌ها جهت بهینه‌سازی و طولانی شدن فواید آن‌ها و به حداقل رساندن خطرات زیست محیطی لازم است زیرا سالانه به طور گسترده در سطح میلیون‌ها هکتار از اراضی کشاورزی اینگونه ارقام کشت می‌شوند. همچنین فروشندگان بذر و متخصصین زراعت به اینگونه آموزش‌ها نیاز دارند، زیرا آنها اغلب در مورد گزینه‌های علف‌کش مناسب برای حل مشکلات خاص علف‌های هرز در تصمیم‌گیری و توصیه تأثیر گذارند.

۴. افزایش برتری علف‌کش‌های پیش‌رویشی

در طول دهه گذشته، افزایش اعتماد به علف‌کش‌های پیش‌رویشی یا Pre emergent با اثر بقایای کوتاه تا طولانی مدت در خاک برای مدیریت جمعیت علف‌های هرز مقاوم در برابر گلایفوزیت و بسیاری از علف‌کش‌های پس‌رویشی Post emergent مانند بازدارنده‌های ACCase یا ALS بوجود آمده است. به عنوان مثال، استفاده از علف‌کش‌های قبل از کاشت یا pre plant و Pre emergent در کشت سویای ایالات متحده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ از ۲۵ درصد به ۷۰ درصد سطوح کشت افزایش یافته است، که این موضوع تا حد زیادی در پاسخ به علف‌های هرز مقاوم در برابر گلایفوزیت می‌باشد.

محل‌های اثر علف‌کش‌های پیش‌رویشی که بطور معمول در محصولات زراعی استفاده می‌شوند، شامل بازدارنده‌های مونتاژ میکروتوبول (دی‌نیتروآیلین‌ها مانند تری‌فلوورالین)، بازدارنده‌های فتوسیستم II (به عنوان مثال، متریبوزین)، بازدارنده‌های پروتوپورفیرینوژن اکسیداز (PPO) (به عنوان مثال، سافلوفناسیل، فلومیوکسازین،

سولفترازون)، بازدارنده‌های سنتز چربی (به عنوان مثال، پروسولفوکارب، تری‌الاکت) و بازدارنده‌های اسیدهای چرب با زنجیره بلند (VLCFA) (به عنوان مثال، پیروکسازولفون) می‌باشند. در بهترین شرایط، علف‌کش‌های پیش‌رویشی در اوایل فصل رشد، علف‌های هرز را کنترل کرده، در نتیجه کاهش عملکرد محصول به دلیل رقابت با علف‌های هرز و فشار انتخاب برای تکامل پدیده مقاومت از هر نوع در مرحله رویشی یا قبل از برداشت که ممکن است برای کنترل قابل قبول علف‌های هرز مورد نیاز باشد، کاهش می‌یابد. استفاده از علف‌کش پیش‌رویشی بخصوص برای محصولات مانند، ذرت، سویا و پنبه یا حبوبات (مانند، نخود و عدس) موجب رشد و نمو کند علف‌های هرز در اوایل فصل و بسته شدن کانوپی می‌شود. جهت مدیریت پیشگیرانه یا واکنش به علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش در یک فصل رشد، برنامه کاربرد علف‌کش‌های توصیه شده در حالت ایده‌آل باید شامل چندین محل هدف باشد که در صورت نیاز در طول یک یا چند نوبت کاربرد (قبل از کاشت، در هنگام حضور محصول و بعد از برداشت) بصورت ترکیبی با بر اساس اولویت بکار روند.

نمونه‌ای از این روند، بررسی است که در استرالیا با کاربرد علف‌کش‌های پیش‌رویشی در کنترل علف‌هرز چچم (*Lolium rigidum* Gaud.) در گندم صورت گرفته است. به طور معمول در گذشته توصیه می‌شد که کشاورزان بذرداری را در مزارعی که تراکم علف‌های هرز زیاد می‌باشد به تأخیر بیندازند تا قبل از کاشت حداکثر میزان کنترل علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش‌های عمومی مانند گلایفوزیت یا پاراکوات جهت کاهش بانک بذری انجام شود. اما، امروزه اغلب، محصول گندم را برای افزایش عملکرد بصورت خشکه کاری در سیستم بدون شخم در ماه آوریل (فروردین) یا اوایل ماه مه (خرداد) کشت^۹ می‌کنند. علف‌کش‌های پیش‌رویشی متداول (خاک مصرف که با عملیات بذرداری مصرف می‌شوند) در گندم شامل تری‌فلورالین^{۱۰}، پروسولفوکارب + S-متولاکلر^{۱۱}، تری‌الاکت^{۱۲} یا پیروکسازولفون^{۱۳} است. به کشاورزان توصیه می‌شود که برنامه کاربرد علف‌کش‌های پیش‌رویشی را با چندین روش موثر زراعی که اثر علف‌کش‌ها را بهینه و کنترل علف‌های هرز را موجب می‌شوند، ادغام نمایند. با کشت دیر هنگام بذری جهت کنترل علف‌های هرز قبل از کاشت در محصولات پائیزه به دلیل کاهش سرعت رشد

^۹ استرالیا در نیمکره جنوبی واقع شده و ماه‌های آوریل و مه پاییز محسوب می‌گردد.

^۹ Trifluralin

^{۱۰} prosulfocarb + S-metolachlor

^{۱۱} Triallate

^{۱۲} Pyroxasulfone

محصول همراه با کاهش دمای خاک و هوا، می تواند باعث رقابت بیشتری بین علف های هرز و محصول گردد. با در دسترس بودن علف کش های پیش رویشی کارآمد که علف های هرز را در مراحل اولیه کنترل می کنند، کشت زود هنگام می تواند بهترین استراتژی برای کاهش تولید بذر علف های هرز باشد، زیرا علف های هرزی که در مراحل بعد جوانه می زنند توسط سایه اندازی تاج پوشش (کانوپی) محصول سرکوب می شوند. کنترل موثر گونه های علف های هرز یکساله تابستانه و علاوه بر آن ماشین آلات جدید در کاشت بذر در سیستم بدون خاک ورزی اکنون به کشاورزان این امکان را می دهد که محصولات را زودتر مستقر نمایند و از آب موجود استفاده بهتری داشته و منجر به افزایش عملکرد شوند.

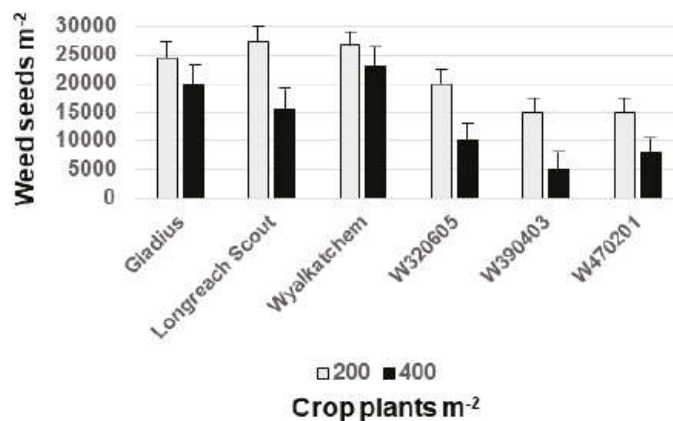
برای بهبود اثربخشی این علف کش های خاک مصرف کشاورزان باید از عوامل متعددی که بر کارایی آنها تأثیر گذارند، از جمله دمای و رطوبت خاک، نوع؛ فراوانی و توزیع مواد و بقایای گیاهی موجود در خاک، میزان اختلاط خاک در اثر خاک ورزی (از عملیات حداقل با دیسک تا وارونگی کامل توسط گاوآهن) و تأثیر آن بر توزیع کربن آلی خاک (ماده آلی) و بافت خاک (به عنوان مثال، بخش رسی آن) در ساختمان خاک، آگاه باشند. اطلاعات اولیه از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی هر علف کش برای درک چگونگی رفتار احتمالی آن در محیط خاک یک مزرعه مورد نیاز است. از آنجا که این علف کش ها ممکن است چند روز قبل از کاشت بذر یا هم زمان با بذرکاری استفاده شوند، نوع تجهیزات کاشت و پارامترهای عملیاتی می تواند بر توزیع مکانی (افقی و عمودی) علف کش های پیش رویشی تأثیر گذار باشند، که به نوبه خود، تحت تأثیر توزیع و فراوانی آب در ساختمان خاک است. وقتی علف کش های پیش رویشی در خاک خشک بکار می روند، برای دانستن رابطه بین زمان کاربرد و زمان بارندگی (یا زمان بذرکاری) از نظر آسیب رسیدن به محصول و اثر کنترلی بر علف های هرز، احتیاج به تحقیقات و بررسی لازم می باشد. علاوه بر این، تحقیقات بیشتری در مورد روش های زراعی جهت بهبود اثر علف کش های پیش رویشی در سیستم های خاک ورزی حفاظتی، مانند میزان بذر، فاصله ردیف ها، و زمان مصرف کود، مورد نیاز است.

۵- محققین اصلاح نباتات و تولید کنندگان بذر رقابت علف های هرز را در نظر بگیرند

رقابت محصولات زراعی با علف های هرز یکی از ارکان اصلی مدیریت تلفیقی علف های هرز IWM و مدیریت علف های هرز مقاوم به علف کش ها است. دانشمندان علوم علف های هرز از مدت ها قبل ابراز تاسف می کردند که

به نژادگران محصولات زراعی از توجه به رقابت‌پذیری علف‌های هرز در برنامه‌های خود غافل شده‌اند. راهنمای یا بروشور بذر محصولات زراعی بطور معمول حاوی اطلاعاتی مربوط به عملکرد، رسیدگی محصول، کیفیت و میزان تحمل به بیماری‌ها می‌باشند، اما هیچ اطلاعاتی در مورد میزان توانایی رقابت با علف‌های هرز ارائه نمی‌دهند. در جامعه علمی علف‌های هرز، تولید و انتخاب ژنوتیپ‌های محصولات مهارکننده علف‌های هرز از سال‌ها قبل در دستور کار با الویت بالا قرار گرفته است.

با افزایش روزافزون میزان بروز و پیچیده شدن مسئله مقاومت به علف‌کش‌ها در جمعیت علف‌های هرز و کاهش در دسترس بودن ابزارهای علف‌کشی موثر، اکنون به نژادگران (محققین اصلاح بذر) در حال تحقیق و توسعه ژرم پلاسما با افزایش توانایی رقابت با علف‌های هرز هستند (شکل ۱). تحقیقات در این باره ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی را که موجب افزایش قدرت رقابت با علف‌های هرز می‌شوند را شناسایی و معرفی کرده است. این صفات شامل افزایش ارتفاع بوته، قدرت رشد اولیه بیشتر و سیستم ریشه زایی قوی و قابل رقابت جهت کسب منابع است. قدرت رشد اولیه در اوایل فصل توسط ژن‌های که طول کولتوپتیل را کنترل می‌نمایند، و معیار اصلی رقابت با علف‌های هرز است، فعال می‌شوند. معلوم گردیده که اندازه اولیه تاج پوشش (بسته شدن کانوپی) به شدت با میزان سرکوب علف‌های هرز ارتباط دارد. ژرم پلاسما‌های که بیانگر صفات رقابتی با علف‌های هرز هستند توسط روش‌های ژنتیکی کارآمد تولید می‌شوند. ارقام غلات قابل رقابت با رشد و نمو علف‌های هرز (مانند، برنج، گندم و جو) طی دهه آینده به طور گسترده‌ای در دسترس کشاورزان قرار می‌گیرند.



شکل ۱: میزان بذر علف‌های هرز در قطعات مزرعه‌ای گندم W320605، W390403 و W470201 با افزایش رقابت علف‌های هرز در مقایسه با سه رقم تجاری گندم (اقتباس از Rebetzke)

تصور می‌شود در آینده راهنماها یا بروشورهای بذور محصولات مختلف زراعی، با گنجاندن رتبه بندی رقابت پذیری در برابر علف‌های هرز با بهره‌گیری از اطلاعات جمع آوری شده سالانه از برنامه‌های آزمایشی تهیه گردند. فنومیکس^{۱۳} / فنوتیپ مزرعه‌ای (به عنوان مثال، تفاوت شاخص رویشی استاندارد شده، NDVI) از یک روش غیر تخریبی (بدون برداشت گیاه مورد آزمایش) برای ارزیابی توان رشد محصول، از قبیل درصد پوشش زمین، بسته شدن کانوپی یا شاخص سطح برگ، استفاده می‌کند. با این حال اولین گام، اعتبارسنجی چنین ارزیابی‌هایی از طریق آزمایش‌های محیطی کنترل شده بر روی نرخ رشد نسبی و همچنین آزمایش‌های کرت‌های کوچک (در شرایط با حضور علف‌های هرز و بدون علف‌های هرز) و اندازه‌گیری پارامترهای کلیدی مرتبط با رقابت‌پذیری محصول می‌باشد. علاوه بر این، ارزیابی سیستم رتبه بندی رقابت‌پذیری علف‌های هرز در مزرعه باید با استفاده از روش‌های زراعی که بطور معمول و مکرر توسط کشاورزان استفاده می‌شود، انجام گیرد. در آینده، تلفیق روش‌های زراعی مانند زمان و محل قرار دادن کود، میزان بذر و فاصله ردیف‌های کشت ارقام رقابتی (رقابت کننده با علف‌های هرز

^{۱۳} مقیاس مطالعه فنوتیپ، ارزیابی فنوتیپی مزرعه‌ای از جمله بعنوان شاخص‌هایی برای رقابت با علف‌های هرز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فنومیک شامل جمع آوری داده‌های فنوتیپی مناسب در سطوح متعدد برای پیشرفت در جهت توصیف کامل تر فضای فنوتیپی تولید شده توسط یک ژنوم خاص یا مجموعه‌ای از ژنوم‌ها است. فنومی گیاه بررسی رشد، عملکرد و ترکیب گیاه است. به منظور پیش بینی فنوتیپ بر اساس نشانگرهای ژنتیکی، به منظور پیش بینی فنوتیپ، به طور معمول از پیشرفت‌های فنوتیپی برای غربالگری مجموعه‌های ژرم پلاسما استفاده شده است. این رویکرد "علائم ژنتیکی" نامیده می‌شود.

، توانایی محصول را برای سرکوب علف‌های هرز و همچنین ایجاد فرصت برای کشاورزان در جهت کاهش وابستگی به علف‌کش را فراهم می‌سازد.

۶. کنترل بذر علف‌های هرز در زمان برداشت^{۱۴} (HWSC) در حال شتاب گرفتن در جهان

کنترل بذر علف‌های هرز در زمان برداشت اکنون یک ابزار نوین مدیریت علف‌های هرز است که به طور گسترده‌ای و به دنبال تحقیق و توسعه فراوان توسط تولید کنندگان غلات استرالیا پذیرفته شده و استفاده می‌شود. روش‌های مختلف HWSC می‌تواند میزان زنده ماندن بذر علف‌های هرزی که از انتهای کمباین خارج می‌گردد را کاهش دهد. این روش‌های شامل: (۱) ردیف کردن باریک کاه و سوزاندن آن‌ها^{۱۵}؛ (۲) مخزن جمع آوری کاه، که پشت کمباین حرکت می‌کند^{۱۶} (۳) سیستم بیلر مستقیم^{۱۷} (دستگاه بیلر کشیده شده پشت کمباین)؛ (۴) ردیف باریک کاه (کاه روی یک ردیف باریک پشت دستگاه کمباین قرار داده می‌شود)؛ (۵) کاه روی خط عبور (کاه‌ها بر روی مسیرهای خطوط تردد هدایت می‌شوند) و (۶) خرد کردن بذر علف‌های هرز (به عنوان مثال،^{۱۸} HSD یکپارچه؛ شکل ۲). اتخاذ روش سوزاندن خطوط باریک کاه به طور قابل توجهی بیشتر از سایر اقدامات HWSC انجام می‌شود. استفاده از مخازن کاه در پشت کمباین، مورد علاقه کشاورزان دامدار است. با این حال، کم هزینه بودن روش ردیف باریک کاه و همچنین در صورت پایین آمدن هزینه ساخت سیستم‌های تخریب بذر علف‌های هرز در آینده، می‌تواند باعث افزایش پذیرش این سیستم‌ها در دنیا شود.

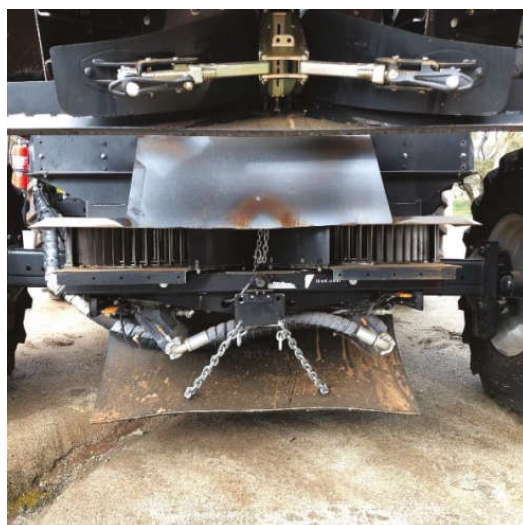
¹⁴ Harvest Weed Seed Control

¹⁵ Narrow-windrow burning

¹⁶ Chaff cart towed behind the combine harvester

¹⁷ bale-direct system

¹⁸ Harvest Seed Destructor کاه بذر داخل



شکل ۲. واحد تخریب مکانیکی بذر (iHSD) نصب شده در یک کمباین.

گونه‌های علف‌های هرز که بیشترین سازش را با روش‌های HWSC دارند، گونه‌هایی هستند که بذرهای خود را تا زمان برداشت (قبل از ریزش) در ارتفاع حدود ۱۵ سانتی‌متر یا بالاتر جهت جمع‌آوری توسط کمباین حفظ نمایند. دو مورد از مشکل سازترین علف‌های هرز در استرالیا، چچم (*Lolium spp.*) و ترب وحشی (*Raphanus raphanistrum* L.) می‌باشند که هر دو دارای این خصوصیات هستند. در پنج سال گذشته، تلاش‌های تحقیقاتی قابل توجهی در کانادا و ایالات متحده آمریکا بر روی پتانسیل HWSC برای مدیریت گونه‌های اصلی علف‌های هرز در دسر ساز، مانند یولاف وحشی (*Avena fatua* L.) و بی‌تی‌راخ (*Galium spp.*) در دشت Great Plains (که از تگزاس آمریکا تا آلبرتا کانادا ادامه دارد) و گونه‌ای از تاج خروس (*Amaranthus palmeri* S. Watson) و سوروف (*Echinochloa spp.*) در غرب میانه و جنوب ایالات متحده آمریکا انجام شده است. به طور کلی، نتایج تا به امروز دلگرم کننده است. به عنوان مثال، فقط سه گونه از ۲۰ گونه علف‌های هرز بر اساس معیارهای ذکر شده در بالا، دارای پتانسیل پایین HWSC ارزیابی شده‌اند، در اروپا محققین در حال بررسی پتانسیل HWSC در مدیریت علف‌های هرز دم روباهی کشیده مقاوم به علف کش (*Alopecurus myosuroides* Huds.)، علیرغم ریزش قابل توجه دانه قبل از برداشت، و سایر گونه‌های علف‌های هرز مهم می‌باشند.

روش‌های ارزیابی‌های میدانی مدام در حال پیشرفت بوده و انجام شیوه‌های مختلف HWSC در سیستم‌های گوناگون کشت در سراسر آمریکای شمالی و سایر نقاط، بمنظور آگاهی دادن به کشاورزان جهت اتخاذ این شیوه‌ها

در آینده بعنوان یک ابزار مهم غیر شیمیایی مدیریت علف‌های هرز می‌باشند. یک مسئله مهم در این ارزیابی‌ها نظارت بر تغییر گونه‌های علف‌های هرز در طول زمان به عنوان یک نتیجه اجتناب ناپذیر از اثر بخشی متفاوت عملکردهای HWSC بر گونه‌های مختلف علف‌های هرز است. علاوه بر این، جمعیت علف‌های هرز ممکن است به سرعت با یک شیوه تکراری HWSC در یک زمین سازگار شوند. چنین سازگاری ممکن است شامل گلدهی و بلوغ زود هنگام بذر، کاهش در نگهداری بذر توسط گیاه یا بوجود آمدن گیاهانی باشد که زیر ارتفاع برش محصول قرار می‌گیرند، باشد. مانند هر ابزار مدیریت علف‌های هرز (چه شیمیایی و چه غیر شیمیایی) شیوه‌های HWSC دارای خاصیت برگشت پذیری بوده، لذا توصیه می‌شود نظارت دقیق بر تغییرات در فنولوژی جمعیت علف‌های هرز را به عنوان یک واکنش تطبیقی برای کاهش یا و به حداقل رساندن اثرات کنترلی این روش‌ها وجود داشته باشد.

به مانند کاربرد علف‌کش‌ها، روش‌های HWSC نمی‌توانند ابزاری مستقل برای مدیریت علف‌های هرز محسوب گردند. حتی در گونه‌های علف‌های هرز که در روش جمع‌آوری بذر یا خرد کردن بذر یا تخریب بذر در هنگام برداشت که برای کنترل علف‌هرز چچم مناسب هستند، اثر کنترلی به طور متوسط حدود ۶۰٪ است، نه حدود ۸۰٪. اثر بخشی که بوسیله اکثر علف‌کش‌های مناسب حاصل می‌شود. بنابراین، HWSC فقط یکی از اجزای سیستم IWM است که در حالت ایده‌آل شامل اقدامات غیر علف‌کشی بوده که موجبات سرکوب و جلوگیری از رشد و باروری علف‌های هرز را فراهم می‌کند.

۷. آیا مدیریت مکان ویژه علف‌های هرز (مدیریت دقیق علف‌های هرز) (SSWM) در محصولات زراعی در حال مهیا شدن است؟

در موضوع کشاورزی "دیجیتال" یا "دقیق" در رابطه با نقشه برداری از مزارع، کاربرد کود و غیره، هیاوهی زیادی وجود دارد. در حال حاضر، SSWM بیشتر در محصولات باغی و پرورش گل که ارزش اقتصادی بالای دارند، و همچنین روش‌های آبیاری، که بطور طبیعی دارای عملیات اجرایی زیادی هستند، استفاده می‌شود. تا کنون، میزان پذیرش SSWM توسط کشاورزان محصولات زراعی دیم، علیرغم وجود منافع اقتصادی، بسیار کم بوده است. آیا سرمایه گذاری‌های اخیر برخی شرکت‌های بزرگ، مانند John Deere، Monsanto و Bayer می‌تواند مقدمه‌ای برای توسعه و پذیرش SSWM در محصولات زراعی باشد؟

امروزه، کنترل علف‌های هرز در زمان مناسب در اراضی آیش (روش "سبز روی قهوه ای"^{۱۹}، به عنوان مثال، سمپاش های WEED-It™ یا WeedSeeker™) در مناطق زراعی نیمه خشک و خشک گسترش یافته است (شکل ۳). که گزارش شده کاهش کاربرد علف کش تا ۹۰٪ را به همراه داشته است. شناسایی و کنترل علف‌های هرز در زمان مناسب در محصولات زراعی (به عنوان مثال روش "سبز روی سبز") به هماهنگی لازم و عملکرد بالای حسگرها، پردازش داده‌ها و سیستم‌های متحرک نیاز دارد. علیرغم چالش‌های زیادی که در تشخیص دقیق علف‌های هرز در مقابل گیاهان زراعی (بطور مثال علف‌های هرز باریک برگ در غلات) وجود داشته، پیشرفت‌های روزافزونی در فن‌آوری دید رایانه‌ای، رباتیک، پردازش ماشینی و غیره بوجود آمده، و این در حالی است که سرعت حرکت این گونه ادوات تا ۲۵ کیلومتر در ساعت می‌باشد و پردازش و تجزیه و تحلیل کارآمد مقادیر زیادی از داده‌های تولید شده صورت می‌گیرد. تحقق کامل کاربرد تمامی داده‌های جهت کنترل علف‌های هرز هنوز منوط به ایجاد مقررات سازمانی، اخلاقی و قانونی جهت به اشتراک گذاردن داده‌ها است.

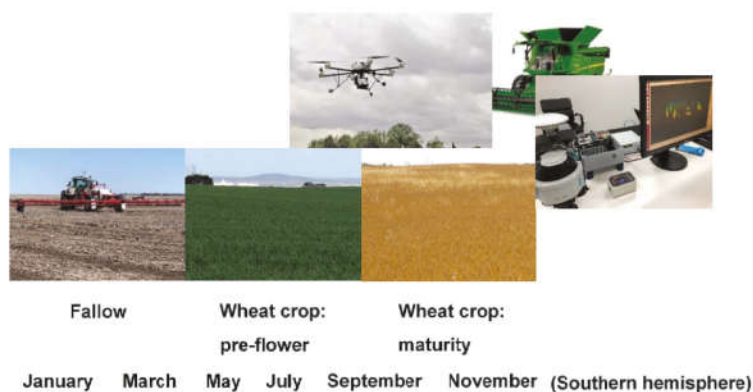


شکل ۳. کنترل خودکار علف‌های هرز مختص مدیریت دقیق با استفاده از سم پاش در زمان واقعی و بکارگیری آن در زمین آیش.

علف‌های هرز غالباً به طور یکنواخت در مزارع توزیع نمی‌شوند، و تمایل دارند بصورت لکه‌های با اندازه، شکل و تراکم مختلف باشند. لکه‌های علف‌های هرز نمود مشهودی از بانک بذر زمین است که باید در دوره خواب و یا فعالیت بذرها کاهش یابند. مشاهدات کشاورزان و متخصصین زراعت نشان می‌دهد که جمعیت علف‌های هرز در

^{۱۹} یکی از روش های تشخیص بوسیله طیف نوری می باشد

مزرعه و جایی که HWSC به طور مکرر مورد استفاده قرار می گیرد، کمتر به صورت متراکم در می آیند. افزایش جمعیت علف های هرز با توزیع لکه ای به عنوان یک نتیجه از روش های تکراری HWSC توسط مدل سازی ها معلوم می شود. پیش بینی می گردد روش های تکراری HWSC در مزارع با جمعیت علف های هرز مقاوم چند گانه موجب پدید آمدن لکه های بیشتر علف های هرز (ناهمگنی فضایی) شود. در این شرایط، مقرون به صرفه بودن محلول پاشی کل مزرعه با استفاده از علف کش مورد سوال است. در این حالت، یک رویکرد اولیه بنسبت ساده برای مدیریت دقیق علف های هرز (مدیریت نقطه ای یا مدیریت هوشمند SSWM) ممکن است اتخاذ شود (شکل ۴).



شکل ۴. فرصت های در فصل کشت محصول (در نیمکره جنوبی و مناطق نیمه خشک) جهت شناسایی و نقشه لکه های علف های هرز در گندم در مرحله رشد قبل از گلدهی با استفاده از دوربین پهپاد یا نزدیک به مرحله بلوغ محصول با استفاده از واحد تشخیص طیف نور و دامنه (LiDAR) که می تواند روی کمباین نصب شود. علاوه بر این، کنترل علف های هرز در زمان آیش با استفاده از سمپاش تشخیص علف های هرز در زمان واقعی.

اولین گام در رویکرد مدیریت نقطه ای (SSWM) می تواند رسم نقشه علف های هرز در مرحله رسیدگی محصول یا زمان برداشت، با استفاده از واحد سیستم موقعیت یابی جهانی (GPS) نصب شده روی تراکتور یا کمباین باشد. چنین نقشه ای را می توان به صورت دستی (یعنی توسط اپراتور بصورت چشمی علامت گذاری کرد) یا از طریق سنسورهای نصب شده بوسیله دیتالاگر همراه رسم نمود. این حسگرها می توانند شامل دوربین های RGB (قرمز، سبز، آبی) یا چند طیفی / مادون قرمز رنگی (۳ تا ۷ باند با عرض ۱۰۰ نانومتر در منطقه مرئی و مادون قرمز) بر اساس ساختار در حرکت؛ یا سیستم تشخیص و دامنه نور (LiDAR) باشند. چنین سیستمی برای گونه های علف های هرز

با تکثیر کم لکه‌های پایدار یا گیاهانی است که در بالای تاج پوشش محصول قرار می‌گیرند، مناسب است. کاربرد روش سنجش از دور در شناسایی علف‌های هرز با استفاده از پهپادها می‌تواند لکه‌های علف‌های هرز را در محصولات زراعی در مراحل اولیه رشد تا اواخر فنولوژی محصول ترسیم کرده و تصاویر با وضوح مکانی بالا را به موقع و با هزینه‌های عملیاتی نسبتاً کم ارائه نماید. باید صحت پردازش داده‌های جهت نقشه‌برداری با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اثبات شود (به عنوان مثال، لایه‌های اطلاعاتی) و در نهایت بمنظور نقشه‌برداری از لکه‌های علف‌های هرز مورد استفاده قرار گیرند. تا زمانی که پیشرفت‌های فنی بیشتری در زمینه کنترل علف‌های هرز در زمان واقعی و مناسب در مزارع حاصل نشود، تعیین توالی عملیات نقشه‌برداری و مدیریت لکه‌ای علف‌های هرز یک استراتژی موقت و کم‌خطر است. تجهیزات بذرکاری و سمپاشی مزارع به طور فزاینده‌ای در استفاده از روش‌ها و شیوه‌های نوین توانمند می‌شوند. بنابراین، لکه‌های علف‌های هرز را می‌توان با میزان بیشتر بذر محصول و یا تیمارهای علف‌کشی بسیار موثر مورد هدف قرار داد. جهت گسترش استفاده از علف‌کش‌های موثر و ثبت اطلاعات بر روی بر چسب (لیبل)، تحقیقات بیشتری لازم است. از آنجا که توزیع علف‌های هرز بطور سالیانه نقشه‌برداری می‌شود، کشاورزان می‌توانند همواره با تغییرات صورت گرفته و بوجود آمدن لکه‌های جدید علف‌های هرز، به وجود علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها پی ببرند. با حمایت‌های صورت گرفته از تحقیق و توسعه، امکان دارد این روش‌های اولیه و ساده مدیریت هوشمند علف‌های هرز SSWM دچار تغییرات عمده‌ای شود. چالش محققان با کشاورزان و مشاوران آن‌ها این است که نشان دهند (۱) چگونه می‌توان از فناوری موجود استفاده و به راحتی و به طور قابل اعتماد لکه‌های علف‌های هرز را در مزارع نقشه‌برداری و مدیریت کرد. (۲) و این کار از بازده اقتصادی کافی جهت سرمایه‌گذاری دارا می‌باشد. تجربه و اطمینان حاصل شده در بکارگیری از یک سیستم مدیریت هوشمند علف‌های هرز SSWM بنسبت ساده ممکن است پیش شرط ارزشمندی برای قبول و پذیرش سیستم‌های SSWM پیشرفته‌تر از نظر فن‌آوری باشد.

۸. نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده

تاریخچه مدیریت علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها در دنیا نشان می‌دهد که کشاورزان پس از بروز این پدیده متوجه مشکل می‌گردند. میزان تغییرات در سیستم‌های کشاورزی به میزان (توزیع و فراوانی) و پیچیدگی (الگوهای

مقاومت متقابل و چندگانه) جمعیت علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها در مزارع بستگی دارد. تعداد زیادی از کشاورزان در حال حاضر با تغییر کشت یا تناوب‌های زراعی جهت مدیریت علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها و استفاده از علف‌کش‌های موثر باقی مانده روبرو هستند. به عنوان مثال، درصد مزارعی که در انگلستان از محصولات بهاره به عنوان وسیله‌ای برای مدیریت علف‌های هرز باریک برگ مقاوم به علف‌کش‌ها مانند دم روباهی کشیده (*Alopecurus myosuroides*) استفاده می‌کنند، از ۳۲٪ به ۸۱٪ از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ افزایش یافته است. محصولات حبوبات یکساله به دلیل رقابت ضعیف آن‌ها با علف‌های هرز همراه با تعداد کمی علف‌کش ثبت شده در این محصولات و یا متعلق به چند محل عمل محدود مانند بازدارنده‌های ALS، گزینه مناسبی جهت قرار گرفتن در تناوب نیستند. این نوع محصولات بیشتر در معرض کاهش سطح کاشت و تولید قرار دارند. تجربیات دهه گذشته در استرالیا نشان می‌دهد که علف‌کش‌های پیش‌رویشی موثر همراه با تلفیق روش‌های زراعی جهت تقویت رقابت محصول با علف‌هرز و به حداقل رساندن میزان بذر علف‌های هرز یا دوباره پر شدن بانک بذر خاک، به طور کلی منجر به پایداری سطح پایین بذر علف‌های هرز مشکل‌دار و تولید سودآور محصول شده است.

چشم انداز آینده مدیریت علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها در دنیا باید بر اساس کاهش وابستگی به علف‌کش‌ها، به ویژه گلیفوزیت استوار باشد. روش‌های غیر شیمیایی اغلب جهت جبران کاهش اثر علف‌کش‌ها به دلیل افزایش میزان مقاومت، استفاده می‌شوند. معیار موفقیت IWM باید بر اساس کاهش بانک بذر علف‌های هرز همزمان با کاهش استفاده از علف‌کش‌ها باشد. آنچه که در حال حاضر شاهد آن هستیم ادغام استراتژی‌ها و تاکتیک‌های مرسوم و ارگانیک مدیریت علف‌های هرز به دلیل افزایش میزان بروز و تأثیر جمعیت علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها، افزایش فشار جامعه در کاهش استفاده از سموم دفع آفات در تولید مواد غذایی از دیدگاه مسایل بهداشتی و زیست محیطی و افزایش هزینه‌های نظارتی مانند، الزامات یا محدودیت‌های مربوط به ثبت و

استفاده از سموم دفع آفات، می‌باشد. آیا کاربرد علف‌کش‌ها به دلیل گسترده بودن جمعیت علف‌های هرز مقاوم چندگانه در بسیاری از سیستم‌های عمده کشت در دنیا، برای یکبار هم که شده، می‌تواند یک روش باشد؟ یک سوال مهم تحقیقاتی که پیش رو است این می‌باشد که کنترل علف‌های هرز چقدر برای دستیابی به هدف کاهش بانک بذر علف‌های هرز کافی است؟ این سوال به معنای کاهش استفاده از علف‌کش است. برای ارزیابی بهتر امکان‌پذیری اقتصادی، اثربخشی و پیامدهای کاهش استفاده از آفات‌کش‌ها، می‌توان از روش‌های استاندارد شده استفاده نمود. برای پاسخگویی مناسب به این سوال، به پروژه‌های کشاورزی در چند مکان، با برنامه میان مدت (۴-۸ سال) در سطح وسیع مناطق طبیعی یا مزرعه نیاز است. مقایسه شاخص‌های کلیدی اقتصادی، زراعی و زیست محیطی در بین سیستم‌های کشاورزی، هر کدام با تناوب محصولات خاص و ترکیبی از شیوه‌های مدیریت علف‌های هرز، می‌تواند به شناسایی سیستم‌های مدیریت علف‌های هرز از نظر پایداری مسایل زیست محیطی کمک کند. علاوه بر این، نظرسنجی و پرسشنامه‌های مربوط به مدیریت علف‌های هرز که توسط کشاورزان تکمیل می‌شود، می‌توانند به شناسایی بهترین روش مدیریتی برای حفظ بانک‌های بذر علف‌های هرز به میزان حداقل در سیستم‌های کشاورزی با کاهش کاربرد علف‌کش کمک کنند.

1. Jones, R.E.; Medd, R.W. Economic thresholds and the case for longer term approaches to population management of weeds. *Weed Technol.* **2000**, *14*, 337–350. [CrossRef]
2. Lacoste, M.; Powles, S. RIM: Anatomy of a weed management decision support system for adaptation and wider application. *Weed Sci.* **2015**, *63*, 676–689. [CrossRef]
3. Somerville, G.J.; Powles, S.B.; Walsh, M.J.; Renton, M. How do spatial heterogeneity and dispersal in weed population models affect predictions of herbicide resistance evolution? *Ecol. Model.* **2017**, *362*, 37–53. [CrossRef]
4. Barber, L.T.; Smith, K.L.; Scott, R.C.; Norsworthy, J.K.; Vangilder, A.M. *Zero Tolerance: A Community-Based Program for Glyphosate-Resistant Palmer Amaranth Management*; University of Arkansas Cooperative Extension Service Bulletin FSA2177: Fayetteville, AR, USA, 2015.
5. Bayer CropScience. How a Zero Tolerance Approach can Minimize Weed Resistance. 2019. Available online: <https://www.cropscience.bayer.us/learning-center/articles/how-a-zero-tolerance-approach-can-minimize-weed-resistance> (accessed on 1 May 2019).
6. Green, J.M.; Owen, M.D.K. Herbicide-resistant crops: Utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. *J. Agric. Food Chem.* **2011**, *59*, 5819–5829. [CrossRef] [PubMed]
7. Fernandez-Cornejo, J.; Hallahan, C.; Nehring, R.; Wechsler, S. Conservation tillage, herbicide use, and genetically engineered crops in the United States: The case of soybeans. *AgBioForum* **2012**, *15*, 231–241.
8. Katalin, T.-G.; Eniko, L.; István, T. Economic benefits of precision weed control and why its uptake is so slow. *Stud. Agric. Econ.* **2013**, *115*, 40–46.
9. Heap, I.M. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. 2019. Available online: <http://www.weedscience.org> (accessed on 1 May 2019).
10. Duke, S.O. The history and current status of glyphosate. *Pest Manag. Sci.* **2018**, *74*, 1027–1034. [CrossRef]
11. Benbrook, C.M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environ. Sci. Eur.* **2016**, *28*, 3. [CrossRef]
12. Duke, S.O.; Stidham, M.A.; Dayan, F.E. A novel genomic approach to herbicide and herbicide mode of action discovery. *Pest Manag. Sci.* **2019**, *75*, 314–317. [CrossRef]
13. Peters, B.; Streck, H.J. Herbicide discovery in light of rapidly spreading resistance and ever-increasing regulatory hurdles. *Pest Manag. Sci.* **2018**, *74*, 2211–2215. [CrossRef]
14. Phillips McDougall. *The Cost of New Agrochemical Product Discovery, Development and Registration in 1995, 2000, 2005–8 and 2010 to 2014—R&D Expenditure in 2014 and Expectations for 2019*; R&D Report; Phillips McDougall: Pathhead, UK, 2016; 41p.
15. Dickmann, R. *Herbicide Discovery a Global Expedition*; GroundCover Issue 135; Grains Research and Development Corporation: Canberra, Australia, 2018.
16. Begemann, S. *FMC to Introduce Two New Herbicide Modes of Action in Next Decade*; AgProfessional Farm Journal: Lenexa, KS, USA, 2019.
17. Westwood, J.H.; Charudattan, R.; Duke, S.O.; Fennimore, S.A.; Marrone, P.; Slaughter, D.C.; Swanton, C.; Zollinger, R. Weed management in 2050: Perspectives on the future of weed science. *Weed Sci.* **2017**, *66*, 275–285. [CrossRef]
18. Dayan, F.E.; Duke, S.O. Natural compounds as next-generation herbicides. *Plant Physiol.* **2014**, *166*, 1090–1105. [CrossRef]
19. Corral, M.G.; Leroux, J.; Stubbs, K.A.; Mylne, J.S. Herbicidal properties of antimalarial drugs. *Sci. Rep.* **2017**, *7*, e45871. [CrossRef]
20. Kraehmer, H.; van Almsick, A.; Beffa, R.; Dietrich, H.; Eckes, P.; Hacker, E.; Hain, R.; Streck, H.J.; Stuebler, H.; Willms, L. Herbicides as weed control agents: State of the art: II. recent achievements. *Plant Physiol.* **2014**, *166*, 1132–1148. [CrossRef]
21. [USDA-NASS] United States Department of Agriculture—National Agricultural Statistics Service. *USDA Reports Soybean, Corn Acreage Down; 29-2018.php* (accessed on 1 May 2019). 2018. Available online: <https://www.nass.usda.gov/Newsroom/2018/06-29-2018.php>
22. Wechsler, S.J. Trends in the Adoption of Genetically Engineered Corn, Cotton, and Soybeans. 2018. Available online: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2018/december/trends-in-the-adoption-of-genetically-engineered-corn-cotton-and-soybeans> (accessed on 1 May 2019).
23. Unglesbee, E. Soybean Herbicide Tolerant-Trait Systems for 2019—Breaking It Down. 2018. Available online: <https://agfax.com/2018/10/03/soybean-choices-for-2019-breaking-it-down-dtn> (accessed on 1 May 2019).
24. Peterson, M.A.; Collavo, A.; Ovejero, R.; Shivrain, V.; Walsh, M.J. The challenge of herbicide resistance around the world: A current summary. *Pest Manag. Sci.* **2018**, *74*, 2246–2259. [CrossRef] [PubMed]
25. Walsh, M.J.; Fowler, T.M.; Crowe, B.; Ambe, T.; Powles, S.B. The potential for pyroxasulfone to selectively control resistant and susceptible rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) biotypes in Australian grain crop production systems. *Weed Technol.* **2011**, *25*, 30–37. [CrossRef]
26. Webster, T.M.; Sosnoskie, L.M. Loss of glyphosate efficacy: A changing weed spectrum in Georgia cotton. *Weed Sci.* **2010**, *58*, 73–79. [CrossRef]
27. Beckie, H.J.; Reboud, X. Selecting for weed resistance: Herbicide rotation and mixture. *Weed Technol.* **2009**, *23*, 363–370. [CrossRef]
28. Owen, M.D. Diverse approaches to herbicide-resistant weed management. *Weed Sci.* **2016**, *64*, 570–584. [CrossRef]
29. Gill, G.S.; Holmes, J.E. Efficacy of cultural control methods for combating herbicide-resistant *Lolium rigidum*. *Pestic. Sci.* **1997**, *51*, 352–358. [CrossRef]
30. Gomez-Macpherson, H.; Richards, R.A. Effect of sowing time on yield and agronomic characteristics of wheat in south-eastern Australia. *Aust. J. Agric. Res.* **1995**, *46*, 1381–1399. [CrossRef]
31. Flower, K.; Crabtree, B.; Butler, G. No-till cropping systems in Australia. In *No-Till Farming Systems*; Goddard, T., Zobelisch, M., Gan, Y., Ellis, W., Watson, A., Sombatpanit, S., Eds.; Special Publication No. 3; World Association of Soil and Water Conservation: Bangkok, Thailand, 2008; pp. 457–467.
32. Ashworth, M.; Desbiolles, J.; Tola, E. *Disc Seeding in Zero-Till Farming Systems—A Review of Technology and Paddock Issues*; Western Australian No-Tillage Farmers Association: Northam, Australia, 2010; 226p.
33. Beckie, H.J.; Harker, K.N. Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. *Pest Manag. Sci.* **2017**, *73*, 1045–1052. [CrossRef] [PubMed]
34. WeedSmart. The Big 6. 2019. Available online: <http://www.weedsmart.org.au> (accessed on 1 May 2019).
35. Liebman, M.; Baraibar, B.; Buckley, Y.; Childs, D.; Christensen, S.; Cousens, R.; Eizenberg, H.; Heijting, S.; Loddio, D.; Morotto, A., Jr.; et al. Ecologically sustainable weed management: How do we get from proof-of-concept to adoption. *Ecol. Appl.* **2016**, *26*, 1352–1369. [CrossRef] [PubMed]
36. Andrew, I.K.S.; Storkey, J.; Sparkes, D.L. A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. *Weed Res.* **2015**, *55*, 239–248. [CrossRef] [PubMed]

37. Rebetzke, G. Weed-Competitive Plants on the Way. GroundCover Supplement Issue 127, Grains Research and Development Corporation, Canberra, Australia. 2017. Available online: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/groundcover/ground-cover-supplements/groundcoverissue-127-wheat-prebreeding/weed-competitive-plants-on-the-way> (accessed on 1 May 2019).
38. Worthington, M.; Reberg-Horton, C. Breeding cereal crops for enhanced weed suppression: Optimizing allelopathy and competitive ability. *J. Chem. Ecol.* **2013**, *39*, 213–231. [CrossRef] [PubMed]
39. Widdrick, M.; Lemerle, D.; Bell, K.; Storrie, A.; Hashem, A.; Taylor, C.; Osten, V.; Johansen, C.; Cook, T. *Crop Competition Management Options for Herbicide-resistant Weeds: Literature Review, Meta-analysis, Gap Analysis and Trial Design Recommendations*. GRDC Project DAQ00197. 2015; 150p. Available online: <https://grdc.com.au/research/reports/report?id=6253> (accessed on 1 May 2019).
40. Walsh, M.J.; Broster, J.C.; Schwartz-Lazaro, L.M.; Norsworthy, J.K.; Davis, A.S.; Tidemann, B.D.; Beckie, H.J.; Lyon, D.J.; Soni, N.; Neve, P.; et al. Opportunities and challenges for harvest weed seed control in global cropping systems. *Pest Manag. Sci.* **2018**, *74*, 2235–2245. [CrossRef] [PubMed]
41. Walsh, M.J.; Harrington, R.B.; Powles, S.B. Harrington Seed Destructor: A new nonchemical weed control tool for global grain crops. *Crop Sci.* **2012**, *52*, 1343–1347. [CrossRef]
42. Walsh, M.J.; Ouzman, J.; Newman, P.; Powles, S.; Llewellyn, R. High levels of adoption indicate that harvest weed seed control is now an established weed control practice in Australian cropping. *Weed Technol.* **2017**, *31*, 1–7. [CrossRef]
43. Tidemann, B.D.; Hall, L.M.; Harker, K.N.; Beckie, H.J. Factors affecting weed seed devitalization with the Harrington Seed Destructor. *Weed Sci.* **2017**, *65*, 650–658. [CrossRef]
44. Tidemann, B.D.; Hall, L.M.; Harker, K.N.; Beckie, H.J.; Johnson, E.N.; Stevenson, F.C. Suitability of wild oat (*Avena fatua*), false cleavers (*Galium spurium*), and volunteer canola (*Brassica napus*) for harvest weed seed control in western Canada. *Weed Sci.* **2017**, *65*, 769–777. [CrossRef]
45. Beckie, H.J.; Blackshaw, R.E.; Harker, K.N.; Tidemann, B.D. Weed seed shatter in spring wheat in Alberta. *Can. J. Plant Sci.* **2018**, *98*, 107–114. [CrossRef]
46. Schwartz-Lazaro, L.M.; Green, J.K.; Norsworthy, J.K. Seed retention of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in soybean. *Weed Technol.* **2017**, *31*, 617–622. [CrossRef]
47. Ashworth, M.B.; Walsh, M.J.; Flower, K.C.; Vila-Aiub, M.M.; Powles, S.B. Directional selection for flowering time leads to adaptive evolution in *Raphanus raphanistrum* (wild radish). *Evol. Appl.* **2016**, *9*, 619–629. [CrossRef] [PubMed]
48. Walsh, M.J.; Aves, C.; Powles, S.B. Harvest weed seed control systems are similarly effective on rigid ryegrass. *Weed Technol.* **2017**, *31*, 178–183. [CrossRef]
49. Young, S.L.; Pierce, F.J. *Automation: The Future of Weed Control in Cropping Systems*; Springer: New York, NY, USA, 2014; 265p.
50. Fernández-Quintanilla, C.; Pena, J.M.; Andújar, D.; Dorado, J.; Ribeiro, A.; López-Granados, F. Is the current state of the art of weed monitoring suitable for site-specific weed management in arable crops? *Weed Res.* **2018**, *58*, 259–272. [CrossRef]
51. Cameron, J.; Storrie, A. *Summer Fallow Weed Management: A Reference Manual for Grain Growers and Advisers in the Southern and Western Grains Regions of Australia*; GRDC Publ. ICN00012. 2014; 71p. Available online: https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0028/98632/summer-fallow-weedmanagement-manual.pdf.pdf (accessed on 1 May 2019).
52. Partel, V.; Kakarla, S.C.; Ampatzidis, Y. Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. *Comput. Electron. Agric.* **2019**, *157*, 339–350. [CrossRef]
53. Van Evert, F.K.; Fountas, S.; Jakovetic, D.; Crnojevic, V.; Travlos, I.; Kempenaar, C. Big data for weed control and crop protection. *Weed Res.* **2017**, *57*, 218–233. [CrossRef]
54. Rew, L.J.; Cousens, R.D. Spatial distributions of weeds in arable crops: Are current sampling and analytical methods appropriate? *Weed Res.* **2001**, *41*, 1–18. [CrossRef]
55. Somerville, G.J.; Powles, S.B.; Walsh, M.J.; Renton, M. Modeling the impact of harvest weed seed control on herbicide-resistance evolution. *Weed Sci.* **2018**, *66*, 395–403. [CrossRef]
56. Castillejo-González, I.L.; Pena-Barragán, J.M.; Jurado-Expósito, M.; Mesas-Carrascosa, F.J.; López-Granados, F. Evaluation of pixel- and object-based approaches for mapping wild oat (*Avena sterilis*) weed patches in wheat fields using QuickBird imagery for site-specific management. *Eur. J. Agron.* **2014**, *59*, 57–66. [CrossRef]
57. Huang, Y.; Reddy, K.N.; Fletcher, R.S.; Pennington, D. UAV low-altitude remote sensing for precision weed management. *Weed Technol.* **2017**, *32*, 2–6. [CrossRef]
58. Beckie, H.J. Herbicide-resistant weeds: Management tactics and practices. *Weed Technol.* **2006**, *20*, 793–814. [CrossRef]
59. Moss, S. Integrated weed management (IWM): Why are farmers reluctant to adopt non-chemical alternatives to herbicides? *Pest Manag. Sci.* **2019**, *75*, 1205–1211. [CrossRef] [PubMed]
60. Davis, A.S.; Frisvold, G.B. Are herbicides a once in a century method of weed control? *Pest Manag. Sci.* **2017**, *73*, 2209–2220. [CrossRef]
61. Frisvold, G.B. How low can you go? Estimating impacts of reduced pesticide use. *Pest Manag. Sci.* **2019**, *75*, 1223–1233. [CrossRef] [PubMed]