

مروری بر گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف‌کش: مزایا و معایب

A review of transgenic crops resistance to herbicides: benefits and disadvantages

جاوید قرخلو^{۱*}، ابوالفضل درخشان^۲، ریاس ویدال^۳ و مهدی راستگو^۴

چکیده:

بیوتکنولوژی این پتانسیل را دارد که فوائد بسیاری برای تولید گیاهان زراعی فراهم آورد. با اینحال به منظور اجتناب از خطرات احتمالی مشکل‌ساز برای تولید و بهره‌وری مزرعه می‌بایست در بهره‌گیری از این فن‌آوری احتیاط‌های لازم را بعمل آورد. عمده‌ترین صفاتی از گیاهان زراعی تراریخته که تا کنون جنبه تجاری پیدا کرده‌اند، مقاومت به علف‌کش‌ها و حشرات می‌باشد. چرا که این صفات را ژن‌های بزرگ‌اثر کنترل کرده و شرکت‌های بین‌المللی می‌توانند به راحتی از این فن‌آوری منفعت کسب نمایند. بسیاری دیگر از صفاتی که در تولید گیاهان زراعی مفید هستند عبارتند از: مقاومت به خشکی، بهبود مصرف نیتروژن، افزایش عملکرد گیاه زراعی، افزایش کیفیت بذر و غیره. با اینحال بسیاری از این صفات بدلیل فقدان ژن‌هایی با بیان فراگیر، مد نظر شرکت‌های تجاری قرار نمی‌گیرند. همچنین برخی از این صفات فاقد ارزش لازم برای پرداخت هزینه‌های خاص این فن‌آوری، به منظور تهیه بذر می‌باشند. لذا این صفات می‌بایست از طریق بخش‌های دولتی توسعه یابد تا نیازی به پرداخت هزینه‌های اضافی نباشد. با توجه به مطالب یاد شده، این فن‌آوری منافع بسیاری برای کشاورزان دارد ولی بسیاری از کشاورزان بدلیل خطرات و مشکلات این نوع فن‌آوری، آنرا با احتیاط می‌پذیرند. از آنجاییکه بخش کوچکی از مسائل و مشکلات این فن‌آوری توسط کشاورزان درک شده است، کشاورزان در اجتناب از خطرات و ممانعت از مشکلات بسیار کند عمل می‌کنند. باید به این نکته توجه کرد که گیاه زراعی که مقاوم به علف‌کش می‌شود به این مفهوم نیست که تنها رویکرد مدیریت علف‌های هرز در آن، روش شیمیایی باشد. در واقع می‌بایست از رهیافت‌های متعددی در جهت حصول یک برنامه مدیریتی بلندمدت، بهره‌جست. از جمله این رهیافت‌ها می‌توان به تناوب گیاه زراعی، تناوب علف‌کش‌هایی با نحوه عمل متفاوت، تلفیق روش‌های کنترل علف‌هرز، تمیز کردن ادوات جهت حداقل کردن پراکنش گونه‌های علف‌هرز متحمل و مقاوم و غیره اشاره کرد. خلاصه اینکه هنوز هم روش‌های زراعی خوب و قدیمی برای تولید بهینه گیاهان زراعی طی سالیان متمادی، ضروری است.

واژه‌های کلیدی: بیوتکنولوژی، گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت و عملکرد

مقدمه

سطح زیر کشت گیاهان زراعی تراریخته در جهان در سال ۲۰۰۹، حدود ۱۳۴ میلیون هکتار

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۱۳

- ۱- هیات علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- ۳- هیات علمی دانشگاه ریو گراند دو سول، برزیل
- ۴- هیات علمی دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول Email: gherekhloo@yahoo.com

تراریخته ۲۶ درصد از سطح جهانی و با نرخ پذیرش ۲/۹ میلیون هکتار در سال بود. و در نهایت پنبه ۴۹ درصد از سطح زیر کشت جهانی را با نرخ پذیرش ۱ میلیون هکتار در سال به خود اختصاص می‌داد (جدول ۱).

آمار جهانی مربوط به گیاهان تراریخته در سال ۲۰۰۹ نشان می‌دهد که مقاومت به علف کش با سطح زیر کشتی در حدود ۸۷ میلیون هکتار و با غالبیت گیاه زراعی سویا، عمده ترین صفتی است که مورد پذیرش کشاورزان قرار گرفته است. گیاهان تراریخته مقاوم به حشرات با غالبیت ذرت و پنبه، در سطحی در حدود ۲۲ میلیون هکتار و گیاهانی که هر دو ویژگی را داشتند باز هم با غالبیت ذرت و پنبه در سطحی حدود ۲۸ میلیون هکتار مورد کشت و کار قرار گرفتند (James, 2011).

بخش عمده‌ی بسیاری از نظام‌های نوین مدیریت علف‌هرز، استفاده از مواد شیمیایی است که علف‌های هرز را به طور انتخابی در گیاهان زراعی کنترل کند. طبق تعریف انجمن علوم علف‌هرز آمریکا، تحمل به علف کش توانایی ذاتی یک گونه برای بقاء و تکثیر بعد از تیمار علف کش است. طبق این تعریف هیچ انتخاب یا دستکاری ژنتیکی برای متحمل ساختن گیاه وجود نداشته و گیاه به طور طبیعی متحمل است (Nandula et al., 2007). مقاومت به علف کش به عنوان توانایی ارثی یک گیاه برای بقاء و تکثیر پس از قرار گرفتن در معرض دزی از علف کش که به طور معمول برای فرم وحشی آن کشنده است، تعریف می‌شود (Nandula et al., 2007).

در گیاه، مقاومت ممکن است به طور طبیعی رخ

تخمین زده شد (James, 2008، شکل ۱). در این سال کشورهای ایالات متحده آمریکا، برزیل، آرژانتین، هند و کانادا به ترتیب با ۶۴، ۲۱/۴، ۲۱/۳، ۸/۴ و ۸/۲ میلیون هکتار، بیشترین سطح زیر کشت گیاهان زراعی تراریخته را به خود اختصاص دادند. ۲۰ کشور دیگر دنیا نیز روی هم ۲۰ میلیون هکتار از سطح زیر کشت این گیاهان را شامل می‌شدند (James, 2011). نرخ پذیرش این گیاهان در سطح جهانی ۷ درصد در سال است (James, 2011). ابتدا کشورهای توسعه یافته این گیاهان را پذیرفتند و در سال ۱۹۹۸ سطح زیر کشت گیاهان تراریخته در این کشورها به ۲۰ میلیون هکتار رسید. در مقابل در کشورهای در حال توسعه این مقدار سطح زیر کشت در سال ۲۰۰۳ محقق شد (شکل ۱). در سال ۲۰۰۹ سطح زیر کشت گیاهان تراریخته در کشورهای توسعه یافته ۷۳ میلیون هکتار بود و این در حالی است که این سطح برای کشورهای در حال توسعه ۶۱ میلیون هکتار بود که ۴۵ درصد از کل سطح زیر کشت جهانی را در بر می‌گرفت (James, 2011).

عمده‌ترین گونه‌های گیاهی تراریخته شامل سویا، ذرت و پنبه است (شکل ۲). با این حال گیاهان تراریخته سایر گونه‌های گیاهی نظیر یونجه، کلزا، پاپایا، کدو، چغندر قند و فلفل شیرین هم مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (James, 2011). در سال ۲۰۰۹ سطح زیر کشت گیاهان تراریخته سویا، ذرت و پنبه به ترتیب به ۶۹، ۴۱ و ۱۶ میلیون هکتار رسید (شکل ۲ و جدول ۱). در این سال سویای تراریخته ۷۷ درصد از کل سطح زیر کشت دنیا را، با نرخ پذیرش ۵/۳ میلیون هکتار در سال، به خود اختصاص داده بود. در مقابل سطح زیر کشت ذرت

علف‌کش متریبوزین بود که موجب خسارت غیر قابل قبول به دیگر ارقام سویا می‌شد. هیچگاه توجه زیادی به این رویکرد نشد که تا حدی به این دلیل بود که در آن زمان، شرکت‌های تولید بذر تحت مالکیت تولیدکنندگان علف‌کش نبوده و انگیزه کمی برای به‌نژادی صفات مرتبط با محصولات شرکت تولیدکننده علف‌کش وجود داشت.

پیدایش علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی باعث ایجاد علاقمندی به تقلید از این پدیده ناخواسته برای استفاده در به‌نژادی گیاه زراعی شد. پیشرفت همزمان در ژنتیک مولکولی، انتقال ژن‌های مقاومت از موجودات زنده غیر خویشاوند به گیاه زراعی مستعد را ممکن ساخت. با این حال لازم به ذکر است که گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش برای اولین بار با روش‌های به‌نژادی مرسوم تولید شدند، در حالی که عمده گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش امروزی توسط مهندسی ژنتیک، فن‌آوری که ناخواسته این گیاهان زراعی را در یک مناظره شدید بین موافقان و مخالفان معرفی و استفاده تجاری از گیاهان زراعی تراریخته قرار داده است، تولید شده‌اند. پس از سال ۱۹۸۴، زمانی که نخستین رقم کلزای مقاوم به ترای‌آزین (OAC Triton) در بازار کانادا معرفی شد (Duke & Powles, 2008)، کشت گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش به صورت تجاری گسترش یافت. این رقم، توسط روش‌های به‌نژادی مرسوم ایجاد شده و مقاومت به ترای‌آزین با تلاقی برگشتی از *Brassica rapa* به یک رقم تجاری کلزا انتقال داده شد.

بعد از معرفی کلزای مقاوم به ترای‌آزین، روش‌های به‌نژادی غیر تراریخته از قبیل انتخاب

دهد یا به کمک تکنیک‌هایی از قبیل مهندسی ژنتیک یا انتخاب فرم‌های تولید شده توسط کشت بافت یا جهش‌زایی، ایجاد شود. گیاهان زراعی تراریخته‌ی مقاوم به علف‌کش، بخشی از یک نظام کنترل علف‌هرز می‌باشند که شامل یک علف‌کش غیرانتخابی و گیاه زراعی مقاوم به علف‌کش مذکور است.

با اینکه همه‌ی گیاهان زراعی به طور طبیعی نسبت به برخی علف‌کش‌ها متحمل می‌باشند، اصطلاحات "گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش"^۱ یا "گیاهان زراعی متحمل به علف‌کش"^۲، در سال‌های اخیر، برای اشاره به ارقام زراعی جدیدی که به منظور مقاوم شدن نسبت به یک یا چند علف‌کش خاص تغییر یافته‌اند، به کار رفته است.

گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش به سه روش ایجاد می‌شوند:

- در نتیجه‌ی تلاقی با گونه‌های مقاوم خویشاوند
- گزینش در کشت بافت (با یا بدون جهش‌زایی)
- انتقال یک ژن خارجی به وجود آورنده مقاومت، ایجاد یک گیاه زراعی تراریخته یا تغییر یافته ژنتیکی

محصول فرآیند اول و دوم یک رقم هیبرید یا غیر تراریخته و ماحصل فرآیند سوم به عنوان یک رقم تراریخته^۳ شناخته می‌شوند.

قبل از ظهور بیوتکنولوژی امروزی، تلاش اندکی برای یافتن و یا به‌نژادی ارقام مقاوم به علف‌کش وجود داشت. یک نمونه از این رویکرد، مقاومت رقم سویای Tracy M نسبت به دزهایی از

1 _ Herbicide resistant crops

2 _ Herbicide tolerant crops

3 _ Transgenic

زیر کشت گیاهان زراعی تراریخته را در سراسر دنیا شامل می‌شوند (James, 2008). معرفی گیاهان تغییر یافته ژنتیکی منجر به چالش همگانی بسیار بزرگی شده است. بخش عمده‌ای از این چالش‌ها بر اثرات بالقوه این گیاهان بر کشاورزی، سلامت انسان و محیط زیست متمرکز است. مسئله خاص این است که احساس خطر دانشمندان از درک خطر عموم مردم متفاوت است. در این مقاله به بررسی مزایا و معایب مرتبط با گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف کش با تاکید بر گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسیت پرداخته می‌شود.

گیاهان زراعی مقاوم به علف کش فعلی و اثرات آنها

گیاهان زراعی مقاوم به علف کش تجاری موجود در سال ۲۰۰۸، ۱۴ سال بعد از معرفی گیاهان زراعی مقاوم به علف کش، تنها کشت ۸ گیاه زراعی خاص مقاوم به علف کش در ایالات متحده آمریکا (جدول ۲) و کشت تعداد کمتری از این گیاهان زراعی در سایر کشورها انجام می‌شد. از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰، هر ساله یک یا دو گیاه زراعی جدید مقاوم به علف کش به بازار معرفی می‌شد و پس از آن این روند کاهش یافت، به نحوی که گهگاه یک گیاه زراعی جدید مقاوم به علف کش معرفی می‌شد.

نرخ پذیرش سویای مقاوم به گلايفوسیت در ایالات متحده سریع بود (شکل ۳) و در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد از سطح زیر کشت سویا در این کشور را شامل می‌شود. در آرژانتین این نرخ سریع تر هم بود و در طی چهارمین سال ورود، پذیرش آن تقریباً به ۹۰ درصد رسید (Penna & Iema, 2003). پذیرش این گیاه زراعی مقاوم به

تک سلول، جهش‌زایی و انتخاب گیاه از جمعیت‌های طبیعی برای تولید سویا مقاوم به سولفونیلوریا، ذرت مقاوم به ستوکسیدیم و چندین گیاه زراعی مقاوم به ایمیدازولینون مورد استفاده قرار گرفت (Dotray et al., 1993). در هر یک از این موارد، مبنای فیزیولوژیکی مقاومت، محل هدف غیر حساس به علف کش بوده است (Dotray et al., 1993). همه‌ی علف‌کش‌های مورد استفاده در روش‌های به‌نژادی غیر تراریخته، انتخابی بوده و در نتیجه این فن آوری صرفاً این گیاهان زراعی را به فهرست گونه‌های گیاهی با مقاومت طبیعی می‌افزود. به عبارت دیگر، از آنجاییکه این گیاهان زراعی به طور طبیعی مقاوم به علف کش بودند، مدیریت علف‌های هرز آنها بسیار مشابه با مدیریت علف‌های هرز با علف‌کش‌های انتخابی بود. موفق‌ترین این محصولات، گیاهان زراعی مقاوم به ایمیدازولینون، به خصوص برنج مقاوم به ایمیدازولینون بوده است (Tan et al., 2005).

یک سال بعد از عرضه تجاری نخستین گیاه تراریخته (گوجه فرنگی با زمان ماندگاری طولانی) در سال ۱۹۹۴، گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف کش با ورود پنبه مقاوم به بروموکسینیل و کلزای مقاوم به گلو فوسینیت معرفی شد (جدول ۲). مقاومت به بروموکسینیل در طول سال‌هایی که در دسترس بود، نفوذ اندکی در بازار داشت. در سال ۱۹۹۶، نخستین گیاه زراعی مقاوم به گلايفوسیت (سویا) به بازار معرفی شد. سایر گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسیت و گلو فوسینات در سال‌های بعد معرفی شدند. در حال حاضر گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسیت (GR) بیش از ۸۰ درصد از کل سطح

بخاطر بذور ترا ریخته موجود محدود شد. یونجه مقاوم به گلایفوسیت در سال ۲۰۰۵ معرفی و به خوبی توسط کشاورزان پذیرفته شد، اما در سال ۲۰۰۷ مصوبه ورود آن به بازار، در دادگاه توسط تولیدکنندگان ارگانیک یونجه به چالش کشیده شده و منجر به حذف یونجه مقاوم به گلایفوسیت از بازار شد.

گیاهان زراعی مقاوم به گلو فوسینیت نیز موجود می‌باشند (جدول ۲)، ولی بخش بسیار کوچتری از بازار گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش را به خود اختصاص دادند. بزرگترین بازار آنها مربوط به کلزا در ایالات متحده است. پنبه مقاوم به گلو فوسینیت با نرخ بالایی در ایالت تگزاس آمریکا پذیرفته شد. با این حال به دلیل توسعه علف‌های هرز مقاوم به گلایفوسیت، پذیرش گیاهان زراعی مقاوم به گلو فوسینیت در حال افزایش است. در آینده گیاهان زراعی با هر دو ویژگی مقاومت به گلایفوسیت و گلو فوسینیت نیز به بازار عرضه خواهند شد.

یکی از نخستین گیاهان زراعی ترا ریخته مقاوم به علف‌کش در دسترس کشاورزان، پنبه مقاوم به بروموکسینیل در سال ۱۹۹۵ بود (Stalker et al., 1996). سپس، کلزای ترا ریخته مقاوم به بروموکسینیل در سال ۲۰۰۰ معرفی شد (Stalker et al., 1996). هیچ یک از این گیاهان زراعی سهم زیادی از بازار را کسب نکرد، اما این گیاهان برای رفع مشکل ناشی از فشار علف‌های هرز حساس به بروموکسینیل بسیار مفید واقع شدند (Stephen, 2005). از آنجایی که بروموکسینیل یک علف‌کش طیف گسترده نیست، در حقیقت معرفی این گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش،

علف‌کش در سایر بخش‌های آمریکای جنوبی نیز سریع بوده است.

در پنبه و ذرت، هم ارقام خاص مقاوم به گلایفوسیت و هم ارقام دارای ترکیبی از صفات مقاومت به گلایفوسیت و ترا ریخته *Bt* برای مقاومت در برابر حشرات وجود دارد. در هر دو گیاه زراعی، ارقام خاص *Bt* نیز وجود دارد. پذیرش پنبه مقاوم به گلایفوسیت در ابتدا مشابه با سویا بود، اما تا حدی به دلیل پذیرش پنبه مقاوم به گلو فوسینیت در مناطقی که تناسب آن با مشکلات علف‌های هرز بهتر از پنبه مقاوم به گلایفوسیت بود، در حدود ۷۰ درصد ثابت شد. وقتی ذرت مقاوم به گلایفوسیت برای نخستین بار معرفی شد، به لحاظ اقتصادی و در مقایسه با روش‌های مدیریت علف‌هرز موجود، خیلی خوب نبود، اما در حال حاضر پذیرش آن در ایالات متحده به سرعت در حال افزایش است و تقریباً به پذیرش پنبه نزدیک شده است (شکل ۳). کلزای مقاوم به گلایفوسیت به نسبت کمتری در ایالات متحده کشت می‌شود، اما در سال ۲۰۰۶ در حدود ۹۰ درصد از سطح زیر کشت کلزا در کانادا مربوط به ارقام کلزای مقاوم به گلایفوسیت بود (Dill et al., 2008). در سال ۲۰۰۵، از مجموع سطح زیر کشت کلزا در ایالات متحده، ۶۲ درصد مقاوم به گلایفوسیت و ۳۱ درصد مقاوم به گلو فوسینیت بود (Sankula, 2006).

چغندر قند مقاوم به گلایفوسیت، پس از یک شروع ناموفق در سال ۱۹۹۹، در سال ۲۰۰۸ با نرخ پذیرش بی‌سابقه‌ای، در حدود ۶۰ درصد، برای سال نخست و نرخ پذیرش قابل انتظار ۹۵ درصد، در سال ۲۰۰۹ دوباره به بازار معرفی شد. نرخ پذیرش

(EPSPS)، بسیار حساس به گلایفوسیت است (Duke, 1998) و به ظاهر هیچ بازدارنده مناسب دیگری برای این آنزیم وجود ندارد. تمامی EPSPS های گیاهی به گلایفوسیت حساس است، از اینرو گلایفوسیت یک علف کش غیر انتخابی است که می تواند برای از بین بردن تقریباً همه گونه های علف هرز مورد استفاده قرار گیرد. برخی قارچ ها و باکتری ها نیز دارای EPSPS بوده و نسخه های باکتریایی از این آنزیم وجود دارد که بسیار مقاوم به گلایفوسیت است. ژن رمزکننده آنزیم EPSPS باکتری *Agrobacterium sp.* مقاوم به گلایفوسیت، ژن CP4، به عنوان ژن انتقالی تقریباً برای تمامی گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت به کار رفته است (Cerdeira & Duke, 2007). در برخی ارقام ذرت، ژن EPSPS تغییر یافته ذرت به وسیله جهش زایی هدایت شده⁵ به عنوان ژن خارجی در ارقام GA21 به کار رفته است (Dill, 2005). در کلزا، ژنی از باکتری خاکری *Ochrobactrum antropi* که یک آنزیم تجزیه کننده گلایفوسیت را کد می کند (گلایفوسیت اکسیدوریداکتاز، GOX) و نیز ژن CP4 آنزیم EPSPS مورد استفاده قرار گرفته است. این آنزیم تجزیه گلایفوسیت به آمینومتیل فسفونیک اسید⁶ (AMPA) و گلی اکسالات را کاتالیز می کند، که هر دو به النسبه ترکیبات بی ضرری می باشند. ژن CP4 آنزیم EPSPS، به تنهایی حساسیت سویا را به گلایفوسیت حدود ۵۰ برابر کاهش می دهد (Nandula et al., 2007). ژن های CP4 و GOX به همراه یکدیگر تقریباً

علف کش انتخابی دیگری به علف کش های در دسترس برای استفاده در این گیاهان زراعی افزود. این گیاهان زراعی به تازگی از بازار حذف شدند.

مقاومت به علف کش در گیاهان زراعی مقاوم به علف کش

گیاهان را می توان توسط ساز و کارهای متعددی نسبت به علف کش ها یا سایر ترکیبات سمی برای گیاهان¹ مقاوم ساخت. محل هدف مولکولی علف کش را می توان تغییر داد، به طوری که علف کش دیگر به آن متصل نشود و به این طریق آن گیاه را نسبت به علف کش مقاوم ساخت. یک یا چند آنزیم غیر فعال کننده علف کش² یا تجزیه کننده علف کش³ را می توان به گیاه وارد کرد یا میزان آن را در گیاه افزایش داد. گیاه را می توان به گونه ای تغییر داد تا دارای ساز و کاری برای ممانعت از رسیدن علف کش به محل هدف مولکولی شود (ترکیب با ملکول ها یا یون های دیگر⁴، کاهش جذب یا انتقال). هر سه ساز و کار در علف های هرز دارای مقاومت نسبت به علف کش ها گزارش شده است. غیر فعال سازی متابولیکی یا تجزیه در اغلب موارد ساز و کارهای اصلی مقاومت طبیعی گیاه زراعی نسبت به علف کش های انتخابی است.

دو رویکرد نخست در تولید تجاری گیاهان زراعی مقاوم به علف کش سودمند بوده است. محل هدف مولکولی گلایفوسیت آنزیمی از مسیر اسید آمینه حلقوی است (مسیر شیکیمیت). این آنزیم، ۵-انول پیروویل شیکیمیت-۳-فسفات سینتاز

¹ - Phytotoxines

² - Herbicide-inactivating

³ - Herbicide-degrading

⁴ - Sequestration

⁵ - Site-directed mutagenesis

⁶ - Aminomethylphosphonic acid

عنوان ژن انتقالی برای گیاهان زراعی مقاوم به گلو فوسینیت استفاده می‌شود (Vasil, 1996).

گیاهان زراعی مقاوم به بروموکسینیل به دلیل ژن انتقالی با منشا میکروبی (*Klebsiella ozaenae*) که بنزونیتریل را به مشتق غیر سمی بنزوئیک اسید آن تبدیل می‌کند، مقاوم شده اند (Stalker et al., 1996). این ژن گیاه زراعی را حدود ۱۰ برابر نسبت به بروموکسینیل مقاوم می‌کند. بروموکسینیل یک علف کش انتخابی قدیمی است که فتوسنتز را توسط اتصال به پروتئین D1، فتوسیستم ۲ متوقف می‌کند (Devine et al., 1993).

تأثیر بر مدیریت علف‌های هرز

شاید به جز معرفی علف‌کش‌های انتخابی مصنوعی، هیچ پیشرفتی به اندازه استفاده از گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت، در یک چنین دوره زمانی کوتاهی، تأثیر بسزایی بر مدیریت علف‌های هرز نداشته است. عوامل بسیاری در پذیرش گسترده فن آوری مقاومت به گلایفوسیت مشارکت دارد. یک دلیل قابل توجه اینست که گلایفوسیت علف‌کشی بسیار موثر، سودمند و در دسترس است (Duke & Powles, 2008). گلایفوسیت فرآورده‌ای کندفعال، بسیار نفوذی و شاخ و برگ مصرف است که علف‌های هرز را توسط بازدارندگی یک محل هدف مولکولی که در همه گیاهان موجود است، از بین می‌برد (Duke et al., 2003). عمل کند گلایفوسیت امکان انتقال آن به بافت‌های مریستمی را میسر می‌سازد و مرگ همه نقاط رشدی از جمله نقاط رشدی زیر زمینی را حتمی می‌سازد. گلایفوسیت دارای مشخصات زیست محیطی بسیار ایمنی است. از جمله اینکه

همان میزان مقاومت را در کلزا ایجاد می‌کند (Nandula et al., 2007).

میکروب‌های مرتبط با ریشه در تغذیه معدنی گیاه دخیل هستند. برخی از این میکروب‌ها حساس به گلایفوسیت می‌باشند (Moorman et al., 1992). با ترشح گلایفوسیت به محیط ریشه، تغذیه معدنی گیاه ممکن است با تأثیر منفی گلایفوسیت بر میکرو فلور مرتبط با ریشه دچار تغییر شود. گلایفوسیت برای *Bradyrhizobium japonicum* سمی است (Morman et al., 1992). چندین مطالعه نشان داده که پتانسیل کاهش تثبیت نیتروژن در سویای مقاوم به گلایفوسیت وجود دارد، اما زمانی که گلایفوسیت با دز توصیه شده به کار رفته است، کاهش عملکردی در مزرعه، گزارش نشده است.

گلو فوسینیت نسخه سنتزی فرآورده طبیعی فسفینوتریسن است. گلو فوسینیت تاحدی به دلیل سنتز شیمیایی آن، توسط کشاورزان ارگانیک مورد قبول واقع نشده است. گلو فوسینیت از طریق بازدارندگی سنتز گلو تامین عمل می‌کند، از اینرو موجب تجمع مقادیر سمی یون آمونیوم و به طور غیر مستقیم توقف فتوسنتز می‌شود (Lydon & Duke, 1999). گلو فوسینیت یک علف کش با طیف گسترده است، اما کارایی آن در برخی مناطق مانند گلایفوسیت نیست. یکی از میکروب‌های تولیدکننده فسفینوتریسن *Streptomyces hygroscopicus* مقاوم به گلایفوسیت می‌باشد و دارای آنزیمی است که فسفینوتریسن و گلو فوسینیت را با استیل دار کردن آنها، غیر فعال می‌کند. ژن کدکننده (*bar*) این آنزیم (فسفینوتریسن N-استیل ترانسفراز یا PAT) به

گلایفوسیت در نظام های کشت گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت به ثبت رسیده است. در اغلب موارد دیگر، مقاومت در باغ‌هایی که گلایفوسیت چندین مرتبه در سال و برای چندین سال متوالی پاشش می‌شده، توسعه یافته است.

سطوح مقاومت علف‌های هرز نسبت به گلایفوسیت در حدود ۲ تا ۱۰ برابر پایین‌تر از گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت است. هرچند جهش در EPSPS در *Eleusine indica* (Baerson et al., 2002) و برخی جمعیت‌های *Lolium spp.* (Perez-Jones et al., 2007) رخ داده است، ولیکن معمول‌ترین ساز و کار مقاومت در بیوتیپ‌های مقاوم، کاهش انتقال علف‌کش است (مثل *Lolium spp.* و *Conyza spp.*).

علاوه بر توسعه علف‌های هرز مقاوم به گلایفوسیت، وقتی کشاورزان هر ساله بر استفاده از گلایفوسیت تکیه می‌کنند، سایر گونه‌های علف هرز می‌توانند آشیانه‌های اکولوژیکی خالی شده توسط گونه‌هایی که به آسانی با گلایفوسیت کنترل می‌شوند، را پر کنند. این فرآیند تغییر فلور علف‌های هرز در مزارع گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت، ثبت شده است (برای مثال: Oven, 2008). برخی از این گونه‌ها دارای سطح پایینی از مقاومت طبیعی (و نه توسعه یافته) می‌باشند و برخی دیگر با جوانه‌زنی دیرتر در فصل رشد و یا داشتن الگوی جوانه‌زنی گسترده در سرتاسر فصل از گلایفوسیت اجتناب می‌کنند. یکی از سازوکارهای بالقوه برخی از گونه‌هایی که به طور ذاتی مقاوم به گلایفوسیت می‌باشند، افزایش تبدیل گلایفوسیت به AMPA می‌باشد (Reddy,

بسیار غیر سمی بوده و به آسانی به آب‌های سطحی و زیر زمینی وارد نمی‌شود و نیمه عمر به نسبت کوتاهی در خاک دارد. پیش از گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت، از این علف‌کش تنها در مکان‌های عاری از گیاه زراعی یا با روش‌هایی که از تماس آن با گیاه زراعی ممانعت می‌کند، استفاده می‌شد. گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت زمینه‌ای را برای مصرف گسترده این علف‌کش استثنایی به طور مستقیم در مزارع فراهم آورده است.

علاوه بر مزایای اقتصادی فراوان، فن‌آوری گیاه زراعی مقاوم به گلایفوسیت مدیریت علف‌های هرز را ساده کرده است (Bonny, 2008). کشاورز می‌تواند تنها به یک یا دو مرتبه کاربرد گلایفوسیت در طول فصل رشد اتکا کند و ملزم به استفاده از راهبردهای مدیریتی پیچیده نیست. در ابتدا، مدیریت علف‌های هرز با فن‌آوری گیاه زراعی مقاوم به گلایفوسیت عالی بود، اما تهدید ناشی از توسعه علف‌های هرز مقاوم به گلایفوسیت تکیه بر این روش کنترل علف‌هرز را به مخاطره انداخته است (Powles, 2008). با وجودی که (Bradshah et al., 2007) دلایلی ارائه کردند که توسعه مقاومت نسبت به گلایفوسیت غیر ممکن است، در همان سال مقاومت علف‌های هرز نسبت به گلایفوسیت برای نخستین بار گزارش شد (Heap, 1997). از آن به بعد بروز پدیده مقاومت نسبت گلایفوسیت به طور پیوسته و یکنواختی افزایش یافت (جدول ۳) و به علت فشار انتخابی شدید، حدود نیمی از موارد در گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت رخ داده است (شکل ۴). تکامل چندین علف‌هرز یکساله پهن برگ مقاوم به

(2004). پدیدگانی^۱ ناشی از ژن انتقالی، تغییر بیان ژن‌های غیر تراریخته توسط موقعیت ژن انتقالی در ژنوم و یا سایر اثرات غیر مستقیم رخ دهد. برای تایید عرضه تجاری گیاهان زراعی تراریخته، این گیاهان زراعی به مراتب با دقت بیشتری از گیاهان متعارف با استفاده از روش‌های تجزیه‌ای، تغذیه‌ای و سم‌شناسی مورد بررسی قرار می‌گیرند (Mallarkey, 2003; Konig *et al.*, 2004).

هاریسون و همکاران (Harrison *et al.*, 1996) در ارزیابی ایمنی آنزیم CP4 EPSPS وارد شده به سویا برای مقاومت به گلايفوسیت، دریافتند که هنگامی که پروتئین با دز هزار برابر بالاتر از دز بالقوه مصرفی توسط انسان به کار رفت، برای موش غیر سمی بود، به آسانی توسط ترشحات دستگاه گوارش تجزیه می‌شد و از لحاظ ساختاری یا عملکردی با هیچ ترکیب حساسیت‌زا یا سمی پروتئینی شناخته شده‌ای مرتبط نبود. استن و همکاران (Sten *et al.*, 2004) در مطالعه‌ای روی بیماران حساس به سویا، دریافتند که حساسیت زایی ۱۰ رقم سویای مقاوم به گلايفوسیت و ۸ رقم غیر مقاوم به گلايفوسیت تفاوتی نداشت.

چانگ و همکاران (Chang *et al.*, 2003) هیچگونه حساسیت‌زایی قابل توجهی برای موش از فرآورده ژن CP4 EPSPS مشاهده نکردند. هرویت و همکاران (Herouit *et al.*, 2005) اثبات کردند که اطمینان قابل قبولی در مورد عدم زیان ناشی از ورود ژن مربوط به مقاومت به گلوپوسینیت در مواد غذایی انسان و خوراک دام وجود دارد. طبق نظر وزارت بهداشت کانادا، روغن

ظهور علف‌های هرز مقاوم به گلايفوسیت و تغییر فلور علف‌های هرز به سمت گونه‌هایی با مقاومت طبیعی و اجتناب‌کننده از گلايفوسیت، کارایی مدیریت علف‌های هرز با گلايفوسیت را در برخی مناطق کاهش داده است. میزان مصرف و دفعات کاربرد گلايفوسیت در گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسیت، افزایش یافته و علاوه بر گلايفوسیت، علف‌کش‌های دیگری نیز در گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسیت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گیاهان زراعی جدید مقاوم به علف‌کش، که دارای مقاومت به گلايفوسیت به همراه مقاومت به علف‌کش دیگر یا گروه دیگری از علف‌کش‌ها است، برای مدیریت علف‌های هرزی که با گلايفوسیت قابل کنترل نیستند، موثر خواهند بود. گزینه‌های دیگر برای غلبه بر گونه‌های مقاوم به گلايفوسیت و تغییر فلور علف‌های هرز، راهبردهای مدیریتی است که شامل رویکردهایی چون تناوب علف‌کش‌ها، مصرف متناوب علف‌کش‌ها به همراه گلايفوسیت و استفاده از خاکورزی می‌باشد (Werth *et al.*, 2008).

تأثیر بر غذاها و خوراک دام

یکی از نگرانی‌های مخالفان گیاهان زراعی تراریخته این است که گیاه تراریخته کیفیت و یا ایمنی بخش قابل مصرف گیاه را تغییر خواهد داد. این امر ممکن است از طریق سمی بودن پروتئین ایجاد شده به وسیله ژن انتقالی، سمی بودن فرآورده متابولیکی آنزیم کد شده با ژن انتقالی، اثرات چند

¹ - Pleiotropy

گیاهان زراعی مقاوم به گلائیفوسیت با گیاهان غیر تراریخته یکسان است.

اثرات زیست محیطی

اثرات زیست محیطی ممکن بسیاری درباره گیاهان زراعی مقاوم به علف کش وجود دارد. این اثرات می تواند مثبت یا منفی بوده، مرتبط با ژن انتقالی و یا علف کش مورد استفاده باشد. اما در نهایت اثرات بالقوه زیست محیطی این گیاهان باید با اثرات فن آوری های پیشین مقایسه شود. بیشتر مطالعات منتشر شده در این خصوص، مزایای زیست محیطی گیاهان زراعی مقاوم به علف کش را قابل توجه شمرده است (Bennett *et al.*, 2004; Amman, 2005; Cerdeira & Duke, 2007). البته، مزایای بالقوه بسته به گیاه زراعی مقاوم به علف کش، مکان جغرافیایی، روش استفاده کشاورز از این گیاهان و مولفه های مختلف محیطی، متفاوت می باشد.

یکی از پرسش های رایج پیرامون پذیرش گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف کش مربوط به تاثیر این گیاهان بر میزان مصرف علف کش است. بسته به بسیاری از عوامل می توان ادعا نمود که کشت این گیاهان زراعی مصرف علف کش را بر حسب مقدار ماده مورد استفاده در هر هکتار کاهش و یا افزایش داده است. شواهد مستندی وجود دارد که در ابتدا ماده موثره علف کشی مورد استفاده در این گیاهان به طور چشمگیری کاهش یافته بود (Bonny, 2008; Dill *et al.*, 2008). تعداد دفعات کاربرد کمتری مورد نیاز بود و از اینرو علف کش کمتری مورد استفاده قرار می گرفت. با این حال، از آنجاییکه علف کش های

تصفیه شده از کلزای مقاوم به گلو فوسینیت (رقم HCN92) ایمنی و خواص غذایی همسان با روغن تصفیه شده حاصل از ارقام تجاری رایج دارد (Public Health Agency of Canada, 2011). در مطالعات انجام شده روی خوگ و نشخوارکنندگان مشخص شد که خواص تغذیه ای چغندر قند و ذرت مقاوم به گلو فوسینیت اساساً با ارقام غیر تراریخته، یکسان بود (Daenicke *et al.*, 2000; Bohme *et al.*, 2001). نتایج مشابهی در مورد برنج مقاوم به گلو فوسینیت در تغذیه خوگ گزارش شد (Cromwell *et al.*, 2005). در مطالعه ای به منظور مقایسه ایمنی تغذیه ای ذرت مقاوم به گلائیفوسیت با ارقام متعارف، آنالیزهای ترکیبی انجام شده برای اندازه گیری محتوای فیبر، آمینو اسید، اسید چرب و مواد معدنی دانه و علوفه جمع آوری شده از ۱۶ مزرعه طی ۲ سال اختلاف معنی داری را نشان نداد (Sidhu *et al.*, 2000). لاپ و همکاران (Lappe *et al.*, 1999) کاهش سطوح ایزوفلاون^۱ در ارقام مقاوم به گلائیفوسیت سویا را در شرایط عدم پاشش گلائیفوسیت گزارش کردند (یعنی اثر چند پدیدگانی ژن CP4)، اما این مطالعه با لاین های ایزوژنیک^۲ انجام نشد. پدگت و همکاران (Padgett *et al.*, 1999) هیچ اثری از ژن انتقالی بر محتوای ایزوفلاون سویا نیافتند. جدول ۴ بیشتر نتایج منتشر شده از مطالعات مربوط به تغذیه دام از گیاهان زراعی مقاوم به گلائیفوسیت را خلاصه کرده است. همه این مطالعات تایید کننده این دیدگاه می باشد که اساساً غذای حاصل از

^۱ - Isoflavone

^۲ - Isogenic

این گذشته گلايفوسیت در بیشتر خاک‌ها خیلی سریعتر از علف‌کش‌هایی که پیش از این استفاده می‌شد، تجزیه می‌شود (Mammy *et al.*, 2005). علاوه بر تجزیه میکروبی، گلايفوسیت و AMPA می‌تواند در خاک در معرض تجزیه غیر میکروبی قرار گیرد (Barrett & McBride 2005)، هرچند مشارکت نسبی این دو فرایند ناشناخته است. اخیراً نگرانی‌هایی درباره آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط AMPA مطرح شده است (Mammy *et al.*, 2005). دوام AMPA در محیط زیست خیلی بیشتر از گلايفوسیت است و خیلی آسانتر در خاک دچار آبشویی می‌شود (Mammy *et al.*, 2005).

مصرف سوخت مرتبط با مدیریت علف‌هرز به دلیل کاهش خاکورزی و حرکت کمتر تراکتور برای سم‌پاشی در مزرعه گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسیت کاهش یافته است (Cerqueira & Duke, 2007). بنت و همکاران (Bennett *et al.*, 2004) تخمین زدند که مصرف سوخت‌های فسیلی با کشت چغندر قند مقاوم به گلايفوسیت در اروپا ۵۰٪ کاهش خواهد یافت. بروکس و بارفوت (Brookes & Barfoot, 2006) برآورد کردند که استفاده از گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسیت میزان انتشار کربن را تقریباً به اندازه حذف خودروهای ۴ میلیون خانوار از جاده‌ها، کاهش داده است.

اثرات علف‌کش‌های مورد استفاده در گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش بر موجودات غیر هدف، نگرانی دیگری است که مطرح می‌باشد. از آنجاییکه گلايفوسیت یک علف‌کش است، بادرنگی گلايفوسیت به گیاهان غیر هدف می‌تواند

مورد استفاده در گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف‌کش در مقادیری مصرف می‌شود که چندین برابر بالاتر از علف‌کش‌هایی است که پیش از این گیاهان، مورد استفاده قرار می‌گرفته، این مساله مطرح می‌شود که علف‌کش بیشتری در مقایسه با گیاهان زراعی متعارف مصرف می‌شود. علاوه بر این، تعدد کاربرد علف‌کش در گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف‌کش، به طور پیوسته و یکنواختی بعد از معرفی این گیاهان زراعی، افزایش یافته است (Dill *et al.*, 2008) و به دلیل توسعه مقاومت به گلايفوسیت و تغییر فلور علف‌های هرز به سمت گونه‌هایی با مقاومت طبیعی، گلايفوسیت به طور فزاینده‌ای با سایر علف‌کش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از لحاظ اثرات زیست‌محیطی این عامل مفید نیست، چرا که سمیت نسبی و سرنوشت زیست‌محیطی گلايفوسیت یا گلو فوسینیت در مقایسه با علف‌کش‌هایی که جایگزین آنها شده‌اند، می‌تواند بزرگ باشد. گلايفوسیت و گلو فوسینیت دارای سمیت به نسبت کمی برای پستانداران می‌باشند (Elbert *et al.*, 1990; Williams *et al.*, 2000) و به خصوص گلايفوسیت سمیت حاد پایین تری نسبت به آسپرین و بسیاری از سایر ترکیباتی که به طور معمول مصرف می‌شود، دارد.

نه گلايفوسیت و نه گلو فوسینیت علف‌کش‌های مشکل‌سازی در زمینه آلوده سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی نیستند (Cerqueira & Duke, 2006; Borrggard & Gimsing, 2008). به دلیل جذب سطحی شدید گلايفوسیت به کانی‌های خاک، این علف‌کش به خوبی در خاک حرکت نمی‌کند (Mammy & Baruisso, 2005). از

گیاهان زراعی ذاتا مقاوم، برخی کشاورزان به منظور مدیریت کامل تر علف های هرز به سمت خاکورزی رایج بازگشته اند.

نگرانی هایی درباره پتانسیل گیاهان زراعی مقاوم به علف کش برای ایجاد مشکلات نوین در علف های هرز وجود دارد، به این معنا که یا خود تبدیل به علف هرز شوند، یا فرار ژن انتقالی مقاومت به علف کش به خویشاوندان و یا گونه های وحشی، مشکلات جدیدی ایجاد نماید. جریان ژن به جمعیت های بومی که می توانند با گیاهان زراعی مقاوم به علف کش تلاقی یابند، ممکن است منجر به بروز اثرات ناخواسته کشاورزی و یا زیست محیطی شود. گاهی اوقات گیاهان زراعی مقاوم به علف کش، در مزارعی که در سال بعد علف کش مشابهی به همراه گیاه زراعی مقاوم به علف کش دیگری مورد استفاده قرار می گیرد، مشکلاتی ایجاد می نمایند. این مشکل در ارتباط با گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت وجود داشته است (Soltani *et al.*, 2006) و نیازمند استفاده از علف کش هایی غیر از گلایفوسیت برای کنترل گیاه زراعی مقاوم به گلایفوسیت خودرو² می باشد.

جریان ژن به گیاهان زراعی غیر تراریخته از همان گونه ها یک مشکل تجاری و سیاسی بوده، اما یک تهدید زیست محیطی نیست. برای گیاهان زراعی مثل سویا برون آمیزی³ یک مشکل نیست، اما برون آمیزی قابل توجهی می تواند در ذرت، برنج، چغندر قند و کلزارخ دهد (Mallarkey, 2003). حتی اگر برنج مقاوم به گلو فوسینیت تنها به صورت آزمایشی کشت شود، برون آمیزی ممکن

مضر باشد (Bellaloui *et al.*, 2006). البته این مساله مشکل جدیدی نبوده و در مورد سایر علف کش های نیز وجود دارد. غلظت رسیده به گیاهان غیر هدف به طور معمول تنها بخش کوچکی از دز توصیه شده برای کنترل علف هرز است. بسته به نوع علف کش بادرنگی در دز خیلی کم، اغلب ممکن است باعث تحریک رشد، فعال سازی سیستم های دفاعی میزبان در برابر پاتوژن ها و یا افزایش بهره برداری از نیتروژن شود (Duke *et al.*, 2006). پدیده اثر تحریک کننده ای در غلظت بسیار کم یک سم به اصطلاح هورمسیس¹ نامیده می شود. گلایفوسیت در دز بسیار کمتر از حالت سمی، به وضوح رشد گیاهان را افزایش می دهد (Velini *et al.*, 2008). اما، دست کم در جو، این اثر در طول زمان پایدار نیست (Cerqueira & Duke, 2007).

شاید بزرگترین خسارت ایجاد شده توسط کشاورزی سنتی، به غیر از خارج کردن زمین از حالت طبیعی خود، از خاکورزی ناشی شده باشد. دلیل اصلی برای شخم، مدیریت علف هرز می باشد. مصرف گلایفوسیت در گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت، بویژه در سویا و پنبه منجر به کاهش قابل توجه شخم شده است (Dill *et al.*, 2008). حتی در برخی گیاهان زراعی غیر مقاوم به گلایفوسیت، کاهش قیمت گلایفوسیت و افزایش هزینه سوخت دیزلی، خاکورزی حفاظتی را نسبت به خاکورزی رایج مقرون به صرفه تر کرده است (Nelson *et al.*, 2002). با این حال، با تکامل علف های هرز مقاوم به گلایفوسیت و نیز گسترش

² - Volunteer

³ - Outcrossing

¹ - Hormesis

است منجر به آلودگی برنج غیر تراریخته با ژن مقاومت به گلو فوسینیت شود (Vermij, 2006). هیچ جریان ژنی از پنبه تراریخته به غیر تراریخته در مزارع کشت شده گزارش نشده، اما به دلیل گرده افشانی حشرات این پدیده باید رخ می‌داد. جریان ژن از یونجه مقاوم به گلایفوسیت به یونجه ارگانیک، دلیل اصلی برای وضع مقررات جدید و حذف آن از بازار بود.

نگرانی زیادی در مورد اثرات بالقوه جریان ژن از گیاهان زراعی مقاوم به علف کش به خویشاوندان وحشی وجود دارد. ژن‌های انتقالی مقاومت به علف کش در جایی که علف کش استفاده نمی‌شود، هیچ مزیتی در زیست بوم‌های طبیعی ندارد، اما وقتی مصرف علف کش با ژن‌های انتقالی همراه شود، صفاتی بروز می‌کند که می‌تواند شایستگی آن گیاه را در زیست بوم‌های طبیعی بهبود بخشد (مثل مقاومت به حشرات و خشکی)، صفت مقاومت به علف کش ممکن است احتمال ورود ژن به گونه‌های ناخواسته دریافت کننده را افزایش دهد. جریان یا ورود ژن شامل حرکت ژن یا ژن‌ها به گونه‌های مستعد می‌باشد. این نوع از جریان ژن، جریان عمودی ژن نیز نامیده می‌شود. نسل نخست به طور معمول شایستگی لازم را ندارد (Scheffler & Dale, 1994)، اما تلاقی‌های برگشتی بعدی سرانجام با ورود کامل ژن انتقالی به این گونه‌ها همراه می‌باشد. انتقال ژن‌های انتقالی مقاومت به علف کش می‌تواند علف‌های هرز خویشاوند گیاهان زراعی مقاوم به علف کش را برای کشاورزان، بسیار مشکل ساز کند. این پدیده در مورد سویا، پنبه و ذرت احتمالاً به دلیل وجود تعداد اندک یا عدم وجود گونه‌های علف هرز مستعد، در

مکان‌هایی که این گیاهان کشت می‌شود، رخ نداده است. کلزا با چندین گونه علف هرز خویشاوند از جنس *Brassica* و نیز گیاهان زراعی این جنس، برون آمیزی می‌کند. ورود ژن انتقالی مقاومت به گلایفوسیت از کلزا به خویشاوند وحشی آن، کلم وحشی (*Brassica rapa*)، در مزرعه رخ داده و این ژن حتی در فقدان پاشش گلایفوسیت در جمعیت پایدار بوده است (Warwick et al., 2008; Darmency et al., 2007). نشان دادند که چنانچه علف کش‌ها به طور متناوب مصرف نشود، میزان جریان ژن از چغندر قند به چغندر وحشی به اندازه‌ای خواهد بود که در خلال چند سال مشکلاتی برای تولید کنندگان چغندر قند ایجاد شود. برنج به آسانی با برنج وحشی و نیز گونه‌های علف هرز خویشاوند تلاقی می‌یابد. برون آمیزی برنج غیر تراریخته مقاوم به ایمیدازولینون که توسط گزینش در کشت سلول ایجاد شده (Tan et al., 2005) با گونه‌های علف هرز خویشاوند منجر به ایجاد علف‌های هرز مقاوم به ایمیدازولینون شده است (Cerqueira & Duke, 2007).

برخی ابزار نگرانی کردند که جریان ژن از گیاهان زراعی مقاوم به علف کش و سایر گیاهان زراعی تراریخته به موجودات کاملاً نامربوط (انتقال افقی ژن)، به خصوص از طریق گیاهان زراعی مقاوم به علف کش تجزیه شده در مزرعه یا از طریق مصرف مواد غذایی حاصل از گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت توسط میکروب‌های خاکریز یا دستگاه گوارش می‌تواند وجود داشته باشد (James, 2008). تقریباً همه ژن‌های انتقالی که در حال حاضر برای گیاهان زراعی مقاوم به علف کش

آن پژوهش کاربرد گلایفوسیت در سویای مقاوم به گلایفوسیت، آلودگی و خسارت زنگ را هم به عنوان تیمار بازدارنده و هم به عنوان تیمار بهبود دهنده کاهش داد. به هر حال، در بسیاری از موارد، بعید است که زمان بهینه کاربرد گلایفوسیت برای مدیریت موثر علف‌های هرز، موثرترین زمان برای کنترل بیماری زنگ نیز باشد (Bradley & Sweets, 2008). احتمالاً تاثیر گلایفوسیت بر کاهش این بیماری همچنانکه کاربرد گلایفوسیت به دلیل توسعه علف‌های هرز مقاوم به گلایفوسیت و تغییر فلور علف‌های هرز به سوی علف‌های هرز ذاتاً مقاوم کمتر می‌شود، کاهش خواهد یافت.

گزارش‌های بسیاری در مورد تشدید علائم بیماری‌های گیاهی توسط گلایفوسیت وجود دارد، اما اکثر این مطالعات با گیاهان حساس به گلایفوسیت انجام شده است (Duke et al., 2007). به هر حال، گزارش‌های اندکی از این پدیده در گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت وجود دارد (جدول ۵). یک نمونه از این مطالعات خسارت ناشی از پوسیدگی ریشه کورنيسپورایی می‌باشد که در گذشته کمتر مطرح بوده است. بعد از کاربرد گلایفوسیت در سویای مقاوم به گلایفوسیت ممکن است افزایش شدت این بیماری منجر به خسارت اقتصادی شود (شکل ۵). ترشح گلایفوسیت به محیط ریشه، جمعیت موجودات احیاء کننده منگنز را کاهش و جمعیت موجودات اکسید کننده منگنز را افزایش می‌دهد. این تغییر در زیست شناسی خاک، دسترسی منگنز برای جذب گیاه و واکنش‌های تدافعی فعال در گیاه را محدود ساخته و به طور هم‌افزا با *Corynespora* در جهت افزایش بیماری عمل می‌کند (Huber et al.,

استفاده می‌شود، از میکروب‌های خاک می‌باشد. احتمال انتقال این ژن‌ها از منابع میکروبی طبیعی به میکروب‌های غیر مرتبط، نسبت به انتقال از گیاهان زراعی مقاوم به علف کش، خیلی بیشتر است (Kim et al., 2005; Levy-Booth et al., 2008) در یافتند که تجزیه ژن انتقالی CP4-EPSPS حاصل از مواد برگ‌گی سویای مقاوم به گلایفوسیت در خاک سریع بود، اما حتی پس از ۳۰ روز در خاک قابل تشخیص بود. تجزیه ژن انتقالی و ژن‌های طبیعی سویا در خاک مشابه بود. تا کنون شواهد قابل قبولی در مورد انتقال ژن از گیاهان زراعی تراریخته به میکروب‌ها وجود نداشته (Dunfield & germida, 2004)، هر چند برخی افراد، این روش‌های تشخیص را مورد انتقاد قرار داده‌اند. با این وجود، پس از ۱۶ سال از کشت این گیاهان زراعی در مناطق گسترده، هیچ گزارشی از انتقال ژن انتقالی به هیچ نوع میکروبی وجود نداشته است.

گیاهان زراعی مقاوم به علف کش و بیماری‌های گیاهی

برخی مزایای ناگفته در مورد گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت و شاید گیاهان زراعی مقاوم به گلو فوسینیت وجود دارد. هر دو علف کش گلایفوسیت و گلو فوسینیت برای قارچ‌ها سمی هستند (Duke et al., 2007). از اینرو، این علف کش‌ها در برخی شرایط محیطی ممکن است مانع از خسارت ناشی از عوامل بیماری‌زای گیاهی شده و منجر به حذف مصرف قارچ کش شوند. شاید دقیق‌ترین نمونه مطالعه شده، تاثیر گلایفوسیت بر زنگ آسیایی در سویای مقاوم به گلایفوسیت می‌باشد (Feng et al., 2005 & 2008)، که در

در این میان ایالت ریوگرانند دو سول^۱ در صدر ایالاتی بود که این گیاه مورد پذیرش تمامی کشاورزان آن بود. در مقابل کشاورزان ایالات مرکزی برزیل نگران کاهش عملکرد ناشی از استفاده از این گیاهان بودند و در نتیجه پذیرش کمتری نسبت به آن داشتند. بعنوان مثال در ایالات ماتوگروسو^۲ و گوایاس^۳ که در صدر تولید کنندگان کشور برزیل قرار دارند، پذیرش سویای مقاوم به گلایفوسیت در سال ۲۰۰۹ به ترتیب برابر ۴۰ و ۶۰ درصد، بود (EMBRAPA, 2011).

پیش از پذیرش گیاهان زراعی تراریخته در برزیل، یک ارزیابی مفهومی از فواید (جدول ۶) این فن‌آوری انجام شد (Vidal et al., 1997). از فواید پیش بینی شده، دو مورد اول منجر به تحریک کشاورزان برای پذیرش سویای مقاوم به علف‌کش شد. در طی دو سال اول پذیرش این فن‌آوری، یعنی زمانیکه از بذور وارداتی از آرژانتین استفاده می‌شد، کشاورزان بذورشان را ذخیره می‌کردند بدون آنکه ملزم به پرداخت هزینه سالانه مربوط به حق امتیاز این فن‌آوری باشند. این مساله به همراه کاهش قیمت گلایفوسیت (که توسط بسیاری از کشورها عرضه می‌شد)، منجر به کاهش چشمگیری در هزینه‌های تولید شده و بسیاری از کشاورزان را تحریک به پذیرش این فن‌آوری کرد. علاوه بر این ساده شدن کنترل علف‌های هرز نیز کاملاً مشهود بود، به این مفهوم که با یک علف‌کش عمده مشکلات علف‌های هرز مزارع حل شد (Vidal et al., 1997).

(2005).

علاوه بر این، گزارش‌هایی درباره کاهش بیماری‌های گیاهی با گلایفوسیت وجود دارد (جدول ۵). بنابراین، برهمکنش گلایفوسیت، بیماری‌های قارچی گیاهی و گیاهان زراعی مقاوم به گلایفوسیت بسته به گیاه زراعی، بیماری و شاید زمان کاربرد علف‌کش و آلودگی متغیر است. همچنین، تفاوت در روش‌های زراعی بین گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش و غیر تراریخته می‌تواند بیماری‌های گیاهی را تحت تاثیر قرار دهد (Lee et al., 2005). اثرات گلایفوسیت بر ترشحات ریشه و رطوبت خاک می‌تواند بر بیماری‌های خاکزاد ریشه سویا موثر باشد (Nandula et al., 2007).

مطالعه موردی در کشور برزیل

علیرغم اینکه مجوز قانونی برای کاشت سویای مقاوم به علف‌کش در برزیل از سال ۲۰۰۴ به بعد صادر شد، با اینحال کشاورزان برزیلی کشت این گیاهان را از اوایل سال ۱۹۹۸ آغاز کرده بودند. منطقه‌ای که برای اولین بار کاشت این گیاه در آن انجام شد، بخش جنوبی برزیل، نزدیک مرز آرژانتین و اروگوئه، بود (Castro, 2008). این در حالی است که کشت ذرت مقاوم به حشره‌کش‌ها در ایالات جنوبی برزیل از سال ۲۰۰۱ شروع شد. کشت پنبه مقاوم به حشره‌کش‌ها نیز از سال ۲۰۰۴ در ایالات مرکزی برزیل آغاز شد (Castro, 2008).

در سال ۲۰۰۹ سویای مقاوم به گلایفوسیت بیشترین پذیرش را در بین کشاورزان برزیلی داشت.

¹ - Rio Grande do Sul

² - Mato Grosso

³ - Goiás

سایر فواید لیست شده در جدول ۶ مد نظر شاغلین حرفه‌ای بخش کشاورزی نظیر متخصصین زراعت و مشاوران فنی مزارع است. بعنوان مثال در گیاه سویا، علف‌های هرز تیره نخود Fabaceae در مقایسه با سایر دولپه‌ای‌ها، نسبت به علف‌کش‌هایی که تاکنون در سویا به ثبت رسیده‌اند، مشکل‌تر کنترل می‌شوند و برخی از آنها به بازدارندگان ALS نیز مقاوم شده‌اند. بنابراین زمانیکه فن‌آوری سویای مقاوم به گلايفوسیت به بازار معرفی شد، جایگزین بسیار خوبی برای کنترل علف‌های هرز مشکل ساز شد. گلايفوسیت که یک علف‌کش عمومی بوده و نمی‌توان بصورت انتخابی در سویا بکار رود، ولی با این فن‌آوری گزینه‌های علف‌کشی موجود برای این گیاه زراعی افزایش یافت.

سایر امکانات بسیار خوبی که سویای مقاوم به گلايفوسیت فراهم می‌آورد عبارتست از افزایش استفاده از علف‌کش‌های پس‌رویشی و کاهش بقایای علف‌کش که دو پیامد به دنبال خواهد داشت: اول اینکه بدلیل کاهش پسماند علف‌کش، محصولاتی که پس از سویا در تناوب قرار می‌گیرند، آسیب کمتری خواهند دید و دوم اینکه در این شرایط به دلیل امکان پذیر شدن نظام‌های بدون شخم، امکان افزایش سطح زیر کشت آنها فراهم می‌شود. مساله حفاظت خاک در کشاورزی حاره‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که فرسایش خاک در طی بارندگی شدید با آنچه در زمان کاشت رخ می‌دهد، برابری می‌کند. در حال حاضر ۲۵ میلیون هکتار از اراضی برزیل تحت کشت بدون شخم است که از آلودگی آب با رسوبات خاک، آفت‌کش‌ها و کودها جلوگیری

می‌کند.

بسیاری از خطرات پیش‌بینی شده مرتبط با پذیرش علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش در جدول ۷ آورده شده که برخی از آنها در مزارع برزیل اتفاق افتاده و امکان ممانعت از آنها، وجود نداشت. اولین مورد از مشکلات کشاورزان، افزایش هزینه تهیه بذر بدلیل قیمت فن‌آوری مورد استفاده است، هر چند که بخشی از این هزینه اضافی با قیمت پایین علف‌کش گلايفوسیت جبران می‌شود.

استفاده آسان از این فن‌آوری منجر به این شده است که کشاورزان طی سالیان متمادی بر آن تکیه کنند. نتیجه این امر بروز مقاومت به علف‌کش در علف‌های هرز است که در حال حاضر ۵ گونه علف هرز در برزیل به این پدیده مبتلا شده‌اند. این گونه‌ها عبارتند از: *Lolium multiflorum* L.;

Conyza bonariensis (L.) Cronquist;
Conyza canadensis L. Cronquist;
و *Euphorbia heterophylla* L.;

Digitaria insularis (L.) Fedde
(Roso & Vidal, 2010). سایر گونه‌هایی

که دارای بیوتیپ‌های مشکوک به مقاومت به گلايفوسیت هستند عبارتند از:

Eleusine indica (L.) Gaert; *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel.; *Ipomoea triloba* L.

بذور سویایی که طی برداشت ریزش می‌کنند، با اولین بارش پس از برداشت سبز شده و برای کنترل آنها نیاز به علف‌کش خواهد بود. حتی در نواحی که تناوب وجود دارد، می‌بایست سویا خودرو در دوره آیش کنترل شود تا عوامل گسترش بیماری زنگ سویا و *Phakopsora pachyrhizi* (زنگ سویا و *Phakopsora meibomiae*) کاهش یابد.

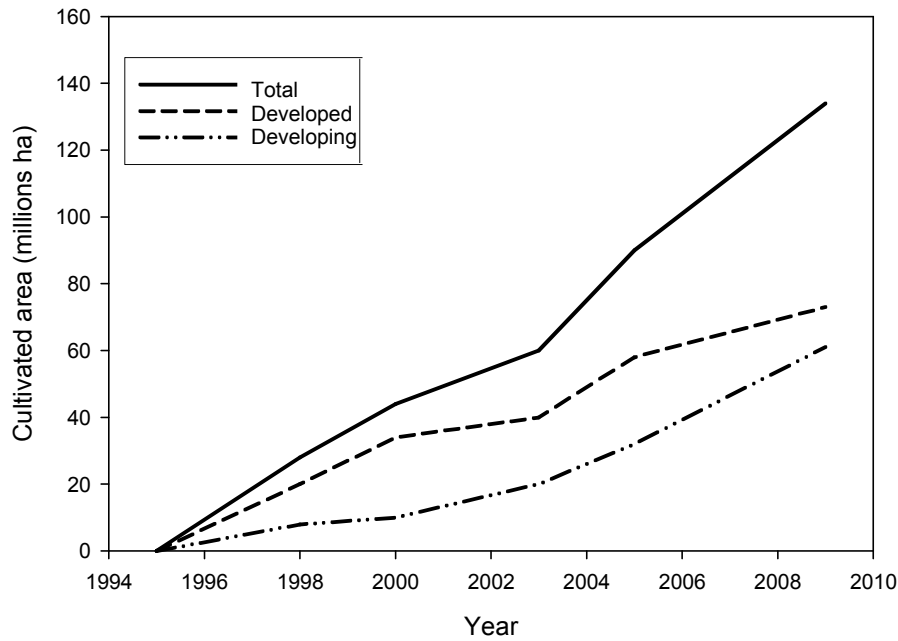
فیزیولوژیکی گلایفوسیت بر محصول به نحویکه مقادیر ۱۲۰۰ گرم در هکتار، عملکرد سویا را تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد (شکل ۷). خلاصه اینکه عملکرد سویا در ریوگرانند دو سول از سال ۱۹۹۶ کاهش یافت و فن‌آوری مقاومت به گلایفوسیت، نتوانست به افزایش آن کمک کند. در نتیجه در دهه گذشته کشاورزان این منطقه با کاهش سود روبرو بوده‌اند.

در کشور برزیل انتقال ژن از سویای تراریخته به علف‌های هرز مشابه، بدلیل فقدان گونه‌های وحشی مشابه سویا وجود ندارد. با اینحال در ایالت ریوگرانند دو سول انتقال ژن مقاومت از گیاه زراعی برنج به برنج وحشی گزارش شده است. این امر مشکل علف هرز را بسیار حادتر کرد و منجر به اثر منفی بسیار بزرگی بر مدیریت گیاه زراعی برنج شد.

ایالت ریوگرانند دو سول در برزیل تنها منطقه این کشور با پذیرش ۱۰۰ درصدی سویای مقاوم به گلایفوسیت از سال ۲۰۰۴ می‌باشد. این در حالی است که استفاده صرف از یک علف کش منجر به بروز علف‌های هرز متحمل و مقاوم شده است. در نتیجه کشاورزان به منظور کنترل علف‌های هرز کنترل نشده، مقدار کاربرد علف کش را افزایش داده‌اند. سه دلیل عمده برای کاهش تولید سویا در ریوگرانند دو سول نسبت به میانگین تولید برزیل وجود دارد (شکل ۶).

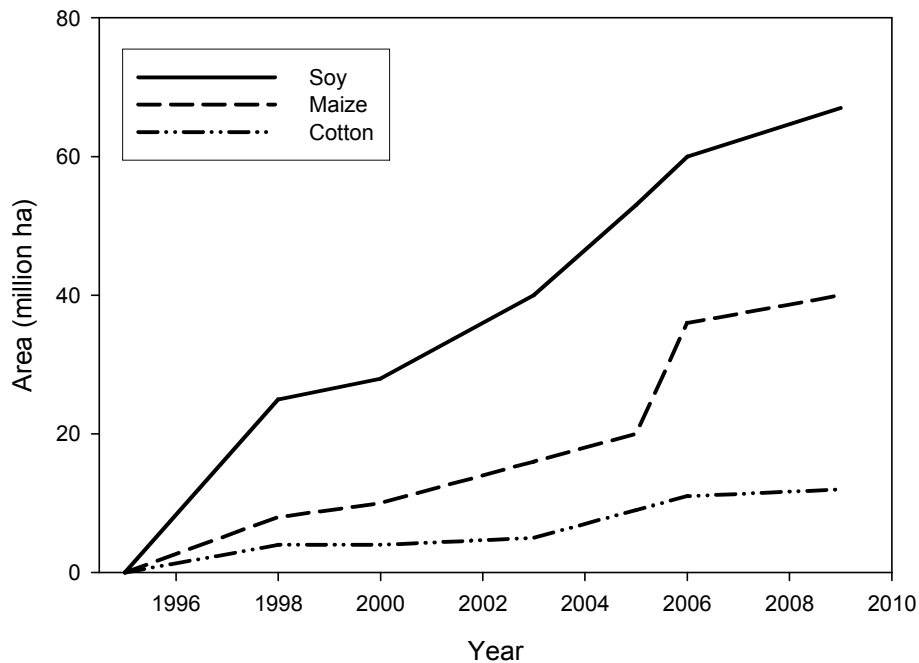
اول رقابت ناشی از علف‌های هرزی که کنترل نشده‌اند که از سال ۱۹۹۶ با مقاومت به بازدارنده‌های ALS شروع شد و از سال ۲۰۰۳ نیز با مقاومت به گلایفوسیت ادامه پیدا کرد. دوم حضور علف‌های هرز طی سبز شدن سویا بدلیل فقدان علف‌کش‌های دارای پسماند. سوم اثر منفی

"مروری بر گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف کش: مزایا و معایب"



شکل ۱- سطح زیر کشت گیاهان زراعی تراریخته (Total)، در کشورهای توسعه یافته (Developed) و در حال توسعه (Developing). اقتباس از James, 2011

Figure 1 – Area cultivated with transgenic crops worldwide (Total), in developed countries, and in developing countries. Adapted from James, 2011.



شکل ۲- سطح زیر کشت گیاهان زراعی تراریخته: سویا (Soy)، ذرت (Maize) و پنبه (Cotton) طی سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹. اقتباس از James, 2011

Figure 2 – Area cultivated with the main transgenic crops: soybean (Soy), maize, and cotton during the period 1996-2009. Adapted from James, 2011.

جدول ۱- سطح زیر کشت گیاهان تراریخته و غیر تراریخته سویا، ذرت و پنبه و نرخ پذیرش گیاهان تراریخته طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹. اقتباس از James, 2011

Table 1- World area cultivated with soybean, maize, and cotton transgenic, conventional, and total, and adoption rate for the transgenic crop between 1996 and 2009. Adapted from James, 2011.

Crop	Transgenic (million ha)	None- transgenic (million ha)	total (million ha)	Adoption rate (million ha in year)
Soybean	69 (77)	21	90	5.3
Maize	41 (26)	117	159	2.9
Cotton	16 (49)	17	33	1

جدول ۲- گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف کش تایید شده برای فروش در آمریکای شمالی. اقتباس از Duke & Cerdeira (2010)

Table 2- Transgenic herbicide-resistant crops that have been deregulated in North America. Adapted from Duke & Cerdeira, 2010.

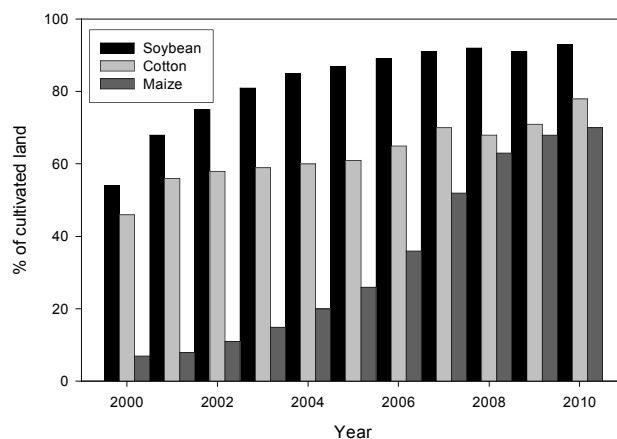
Herbicide	Crop	Year approved
Bromoxynil ^a	Cotton	1995
	Canola	2000
Glufosinate	Canola	1995
	Maize	1997
	Cotton	2004
Glyphosate	Rice ^b	2006
	Soybean	2006
	Canola	2006
	Cotton	1997
	Maize	1998
	Sugarbeet ^c	1999
	Alfalfa ^d	2005

^a از بازار حذف شد، ^b تایید شد، اما به صورت تجاری عرضه نشد، ^c از بازار حذف شد، اما دوباره در سال ۲۰۰۸ معرفی شد.

^d با وضع مقررات جدید در سال ۲۰۰۷ از بازار حذف شد.

^aRemoved from market, ^bDeregulated, but not commercialized, ^cRemoved from market, but reintroduced in 2008, and ^dReturned to regulated status in 2007 by court

"مروری بر گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف کش: مزایا و معایب"



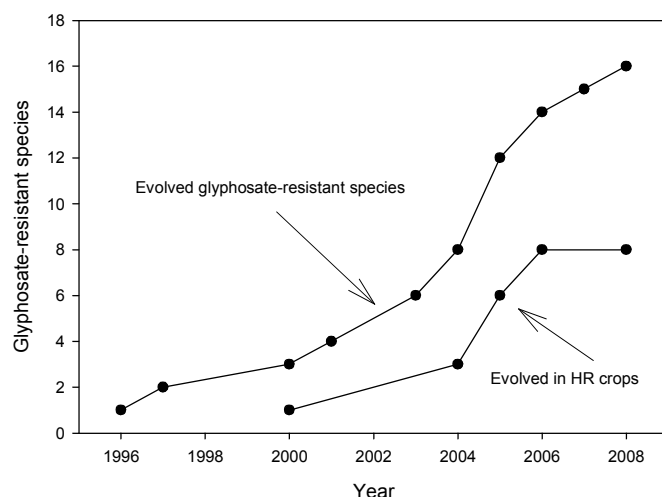
شکل ۳- نرخ پذیرش گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف کش در ایالات متحده (USDA, 2011)

Figure 3- US adoption rate of glyphosate-resistant crops, Adapted from United States Department of Agriculture (USDA), 2011; <http://www.ers.usda.gov/Data/BiotechCrops>

جدول ۳- بروز مقاومت به گلايفوسیت در علف‌های هرز. اقتباس از Duke & Cerdeira, 2010

Table 3- Occurrence of evolved GR weeds by species, year and country, Adapted from Duke & Cerdeira, 2010

Species	Year	Location
<i>Amaranthus palmeri</i>	2005	USA
<i>Amaranthus rudis</i>	2005	USA
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	2004	USA
<i>Ambrosia trifida</i>	2004	USA
<i>Conyza bonariensis</i>	2003	South Africa
	2004	Spain
	2005	Brazil
	2006	Columbia
	2007	USA
<i>Conyza canadensis</i>	2000	USA
	2005	Brazil
	2006	China, Spain
	2007	Czech republic
<i>Digitaria insularia</i>	2006	Paraguay
	2008	Brazil
<i>Echinochloa colona</i>	2007	Australia
<i>Eleusine indica</i>	1997	Malaysia
	2006	Columbia
<i>Euphorbia heterophylla</i>	2006	Brazil
<i>Lolium multiflorum</i>	2001	Chile
	2003	Brazil
	2004	USA
	2006	Spain
	2007	Argentina
<i>Lolium rigidum</i>	1996	Australia
	1998	USA
	2001	South Africa
	2005	France
	2006	Spain
<i>Parthenium hysterophorus</i>	2005	Columbia
<i>Plantago lanceolata</i>	2003	South Africa
<i>Sorghum halepense</i>	2005	Argentina
	2007	USA
<i>Urochloa panicoides</i>	2008	Australia



شکل ۴- روند بروز مقاومت به گلايفوسيت در علف‌های هرز. اقتباس از Duke & Cerdeira, 2010

Figure 4- Incidence of species that have evolved resistance to glyphosate by year. Adapted from Duke & Cerdeira, 2010

جدول ۴- نتایج برخی از مطالعات تغذیه دام با گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسيت. اقتباس از Cerdeira & Duke (2007)

Table 4- Some result of animal feeding studies with glyphosate-resistant crops. Adapted from Cerdeira & Duke, 2007

Crop	Animal	Result
Maize	Rat (موش صحرايي)	No effect
Maize	Swine (خوک)	No effect
Maize	Cattle (گاو)	No effect
Maize	Dairy cattle (گاو شيري)	No effect
Maize	Poultry (ماکيان)	No effect
Soybean	Rat	No effect
Soybean	Mice (موش)	No effect
Soybean	Swine	No effect
Soybean	Dairy cattle	No effect
Soybean	Catfish (گرچه ماهی)	No effect
Soybean	Poultry	No effect
Canola	Rainbow trout (قزل الای رنگین کمان)	No effect
Canola	Poultry	No effect
Alfalfa	Cattle	No effect
Sugar beet	Sheep (گوسفند)	No effect



شکل ۵- افزایش شدت بیماری پوسیدگی کورنیسپورایی ریشه بعد از کاربرد گلايفوسیت در سویای مقاوم به گلايفوسیت. شاهد (چپ)، بوته‌های آلوده (وسط) و بوته‌های آلوده سم‌پاشی شده با گلايفوسیت (راست). اقتباس از Huber et al, 2005

Figure 5- Increased severity of *Corynespora* root rot after glyphosate application to glyphosate-resistant soybeans. Non-inoculated control (left), inoculated plants (center), inoculated plants sprayed with glyphosate (right) Adopted from Huber et al., 2005.

جدول ۵- گزارش‌هایی از برهمکنش گلايفوسیت با بیماری گیاهی در گیاهان زراعی مقاوم به گلايفوسیت. اقتباس از Duke & Cerdeira, 2010

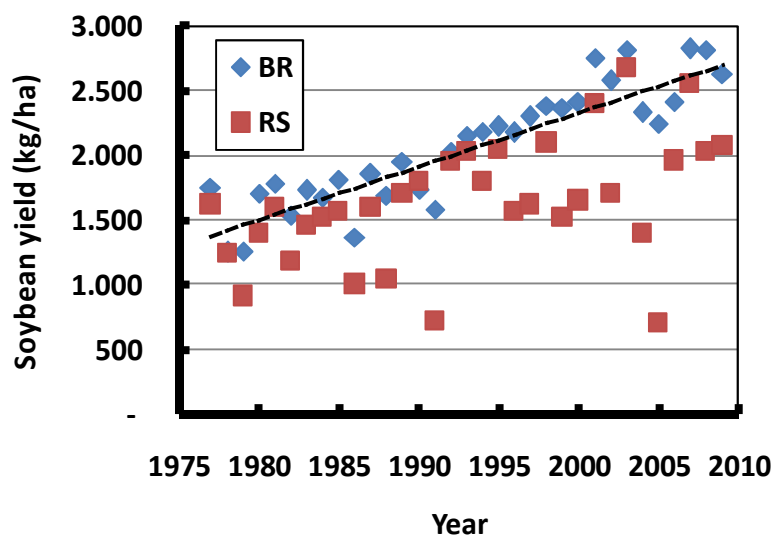
Table 5- Reports of glyphosate interactions and lack of interactions with plant disease in glyphosate-resistant crops. Adapted from Duke & Cerdeira, 2010.

Crop	Disease	Effect	Reference
Soybean	<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	Reduce	Feng et al., 2005, 2008
	<i>Fusarium</i> spp	Increase	Kremer et al., 2005
	<i>S. scleraotiorum</i>	No effect	Lee et al., 2003
		Increase	Nelson et al., 2002
	<i>F. solani</i>	Increase	Sanogo et al., 2001
Cotton	<i>Rhizoctonia solani</i>	Reduce	Pankey et al., 2005
Wheat	<i>Puccinia triticina</i>	Reduce	Feng et al., 2005
Sugar beet	<i>Rhizoctonia solani</i>	Increase	Larson et al., 2005
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Increase	Larson et al., 2005

جدول ۶- فواید بالقوه گیاهان زراعی مقاوم به علف‌کش‌ها (Vidal, 1997). عمده‌ترین فوایدی که توسط کشاورزان درک شده‌اند با حروف پررنگ سیاه نشان داده شده است.

Table 6- Potential benefits of crop resistant to herbicides (Vidal, 1997). Major benefits perceived by farmers are in bold.

Category	Benefit
Costs (هزینه‌ها)	Reduction of production costs. (کاهش هزینه‌های تولید)
Agronomical practices (عملیات کشاورزی)	Simplification of the weed control. (ساده شدن کنترل علف‌های هرز) Control of weeds botanically related to the crop. (کنترل علف‌های هرز هم خانواده با گیاه زراعی) More herbicide options available for the crop. (گزینه‌های علف‌کشی بیشتر در دسترس برای گیاه زراعی) Control of weeds resistant to other herbicides. (کنترل علف‌های مقاوم به سایر علف‌کش‌ها) Non selective herbicides can be used selectively. (استفاده انتخابی از علف‌کش‌های غیرانتخابی) Reduction of the use of herbicide with soil activity. (کاهش استفاده از علف‌کش‌های فعال در خاک)
Environment (محیط زیست)	Increased use of soil conservation techniques. (افزایش روش‌های حفاظت خاک) Reduction of water contamination with pesticides and fertilizers. (کاهش آلودگی آب به آفت‌کش‌ها و کودها)



شکل ۶- عملکرد سویا (کیلوگرم در هکتار) در برزیل (BR) و ایالت ریو گراند دو سول (RS)، طی سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۹. خط نقطه چین بیانگر متوسط عملکرد بدست آمده برای برزیل طی این دوره است (۴۱/۵ کیلوگرم در هکتار) - $r^2=0.70$.

اقتباس از Vidal *et al.*, 2011

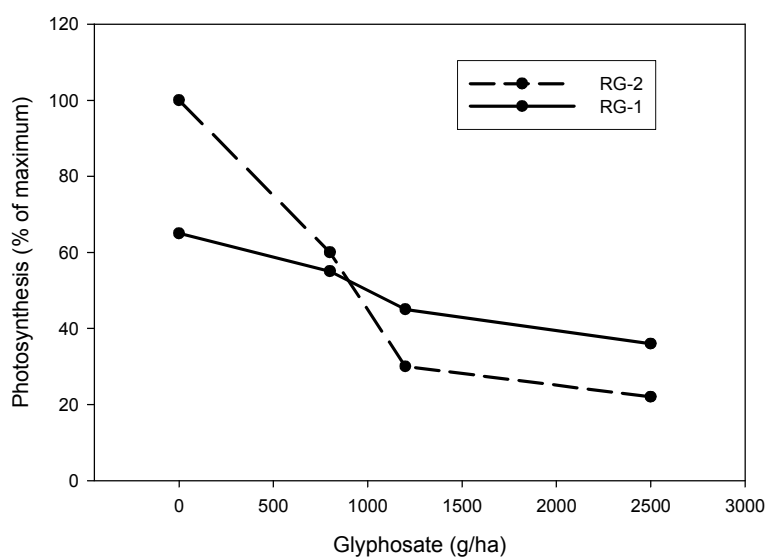
Figure 6 – Soybean productivity (kg/ha) in Brazil (BR) and in the State of Rio Grande do Sul (RS), during the period 1978-2009. Dotted line represents the average productivity gain for Brazil during the period (41.5 kg/ha) year, $r^2 = 70\%$). Adapted from Vidal *et al.*, 2011

"مروری بر گیاهان زراعی تراریخته مقاوم به علف کش: مزایا و معایب"

جدول ۷- مشکلات بالقوه و خطرات گیاهان زراعی مقاوم به علف کش ها برای کشاورزان (Vidal, 1997). عمده ترین مشکلاتی که توسط کشاورزان درک شده اند با حروف پررنگ سیاه نشان داده شده است.

Table 7- Potential problems and risks of crops resistant to herbicides to farmers (Vidal, 1997). Major problems perceived by farmers are in bold.

Category	Problems
Costs (هزینه ها)	Increased seed cost. (افزایش هزینه تهیه بذر)
Weed control (کنترل علف هرز)	Dependence of only one herbicide. (وابستگی صرف به یک علف کش) Increased selection pressure on the weed population. (افزایش فشار انتخاب روی جمعیت علف هرز) Increased number of herbicide resistant weeds. (افزایش تعداد علف های هرز مقاوم به علف کش) Problems with volunteer crop plants. (مشکلات مربوط به گیاهان زراعی خودرو) Increased weed competition. (افزایش رقابت علف هرز)
Crop production (تولید گیاه زراعی)	Crop injury due to herbicide drift. (آسیب به گیاه زراعی در اثر بادبردگی) Reduced crop yield because of uncontrolled weeds or drift. (کاهش عملکرد گیاه زراعی ناشی از علف های هرز کنترل نشده و بادبردگی)
Environment (محیط زیست)	Gene flow from the crop do related weed species. (جریان ژن از گیاه زراعی به گونه های علف هرز مشابه)
Money (پول)	Reduced profits because of low yields. (کاهش سود ناشی از عملکرد پایین) Increased payment of royalties (due to transgenic tech fee). (افزایش هزینه حق امتیاز ناشی از قیمت فن آوری گیاهان تراریخته)



شکل ۷- اثر گلیفوسیت بر فتوسنتز سویای حاصل از نسل ۱ (RG-1) و نسل ۲ (RG-2). اقتباس از Zobiolo *et al.*, 2010

Figure 7- Effect of glyphosate on the photosynthesis of soybean from generation 1 (RG-1) and 2 (RG-2). Adapted from Zobiolo *et al.*, 2010.

Reference

فهرست منابع

- Amman, K.** 2005. Effects of Biotechnology on Biodiversity: herbicide-tolerant and insect-resistant GM crops. *Trends Biotechnol.* 23: 388-394.
- Baerson, S. R., Rodriquez, D. J., Tran, M., Feng, Y., Biest, N. A., and Dill, G. M.** 2002. Glyphosate-resistant goosegrass. Identification of a mutation in target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. *Plant Physiol.* 129: 1265-1275.
- Barrett, K. A., and McBride, M. B.** 2005. Oxidative degradation of glyphosate and aminomethylphosphonate by manganese oxide. *Environ Sci Technol.* 39: 9223-9228.
- Bellaloui, N., Reddy, K., Zablotowicz, R. M., and Mengistu, A.** 2006. Simulated glyphosate drift influences nitrate assimilation and nitrogen fixation in non-glyphosate-resistant soybean. *J Agri Food Chem.* 54: 3357-3364.
- Bennett, R., Phipps, R., Strange, A., and Grey, P.** 2004. Environmental and human health impacts of growing genetically modified herbicide-tolerant sugar beet: a life-cycle assessment. *Plant Biotechnol J.* 2: 273-278.
- Bohme, H., Aulrich, K., Daenicke, R., and Flachowsky, G.** 2001. Genetically modified feeds in animal nutrition. 2nd communication: Glufosinate tolerant sugar beet (roots and silage) and maize grains for ruminants and pigs. *Arch Anim Nutrit.* 54: 197-207.
- Bonny, S.** 2008. Genetically modified glyphosate-tolerant soybean in the USA: Adoption factor impacts and prospects: a review. *Agron Sustain Dev.* 28: 21-32.
- Borggaard, O. K., and Gimsing, A. L.** 2008. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Manag Sci.* 64: 441-456.
- Bradley, K. W., and Sweets, L. E.** 2008. Influence of glyphosate and fungicide coapplications on weed control, spray penetration, soybean response, and yield in glyphosate-resistant soybean. *Agron J.* 100: 1360-1365.
- Bradshaw, L. D., Padgett, S. R., Kimball, S. L., and Wells, B. H.,** 1997. Perspectives on glyphosate resistance. *Weed Technol.* 11: 189-198.
- Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA).** 2011. Available at: <http://www.terravivagrants.org/Home/view-grant-makers/government-organizations/brazilian-agricultural-research-corporation>. Accessed on October, 2011.
- Brookes, G., and Barfoot, P.** 2006. Global impact of biotech crops: Socio-economic and environmental effects in the first ten years of commercial use. *AgBioForum.* 9:139-151.
- Castro, B.S.** 2008. A introdução de algodão, milho e soja geneticamente modificados; coincidências reveladoras. Abstracts... in: BRASA Meeting, IX. New Orleans: Tulane University. 19 p. Available at: http://www.brasa.org/_sitemason/files/iD6Qxi/Castro%20Bianca%20Scarpeline.pdf, accessed on August, 2011.
- Cerdeira, A. L., and Duke, S. O.** 2007. Environmental impacts of transgenic herbicide-resistant crops. *CAB Rev: Perspectives in Agri Vet Sci Nutri Nat Res.* 2:#033, pp, 14, [http://www.cabi.org/cabreviews/default.aspx?LoadModule=Review&ReviewID=31919167 & page= 1178](http://www.cabi.org/cabreviews/default.aspx?LoadModule=Review&ReviewID=31919167&page=1178).
- Chang, H. S., Kim, N. H., Park, M. J., Lim, S. K., Kim, S. C., Kim, J. Y., Kim, J. A., Oh, H. Y., Lee, C. H., Huh, K., Jeong, T. C., and Nam, D. H.** 2003. The 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase of glyphosate-tolerant soybean expressed in *Escherichia coli* shows no severe allergenicity. *Mol Cell.* 15:20-26.
- Cromwell, G. L., Henry, B. J., Scott, A. L., Gerngross, M. F., Dusek, D. L., and Fletcher, D. W.** 2005. Glufosinate herbicide-tolerant (LibertyLink) rice vs. in diets for growing-

- finishing swine. *J Anim Sci.* 83:1068-1074.
- Daenicke, R., Aulrich, K., and Flachowsky, G.** 2000. Investigations on the nutritional value of sugar beets and sugar beet leaf silage of isogenic and transgenic plants for muttuns. *VDLUFA-Schriftenreihe.* 55: 84-86.
- Darmency, H., Vigouroux, Y., De Garambe, T., Gestat, R-M. M., and Muchembled. C.** 2007. Transgene escape in sugar beet production field: data from six scale monitoring. *Environ Biosaf Res.* 6: 197-206.
- Devine, M. D., Duke, S. O., and Fedtke, k.** 1993. *Physiology of herbicide action.* PTR Prentiss-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, p 441.
- Dill, G. M.** 2005. Glyphosate-resistant crops: history, status and future. . *Pest Manag Sci.* 61: 219-224.
- Dill, G. M., Cajacob, C. A., and Padgette, S. R.** 2008. Glyphosate-resistant crops: adoption, use and future considerations. *Pest Manag Sci.* 64: 326-331.
- Dotray, P.A., Marshall, L.C., Parker, W.B., Wyse, D.L., Somers, D.A., and Gengengach, B.G.** 1993. Herbicide tolerance and weed control in sethoxydim-tolerant corn (*Zea mays*). *Weed Sci.* 41:213–217
- Duke, S. O.** 1998. Glyphosate. In: Kearney. P.C., Kaufman. D. D., (eds) *Herbicides- chemistry, degradation and mode of action,* Marcel Dekker, New York, USA, pp 1-70
- Duke, S. O. and Cerdeira, A. L.** 2010. Transgenic crops for herbicide resistance. In: Kole, C., Michler, C., Abbott, A.G., Hall, T.C. (Eds.). *Transgenic Crop Plants.* Springer Heidelberg Dordrecht London New York, pp: 133-167.
- Duke, S. O., and Powles, S. B.** 2008. Glyphosate: a once in a century herbicide. *Pest Manag Sci.* 64: 319-325.
- Duke, S. O., Baerson, S. R., and Ramindo, A. M.** 2003. Herbicides: glyphosate. In: Plimmer, J. R., Gammon, D. W., Ragsdale, N. N., (eds) *Encyclopedia of agrochemicals.* John Wiley, New York, USA <http://www.mrw.interscience.wiley.com/ea/articles/agr119/frame.html>. Accessed August 31, 2011.
- Duke, S. O., Cedergreen, N, Velini, E. D., and Belz, R. G.** 2006. Is it an important factor in herbicide use and allelopathy. *Outlooks Pest Manag.* 17: 29-33.
- Duke, S. O., Wedge, D. E., Cerdeira, A. L., and Matallo, M. B.** 2007. Interactions of synthetic herbicides with plant disease and microbial herbicides. In: Vurro, M., Gressel, J., (eds) *Novel Biotechnologies for biocontrol Agent Enhancement and Management.* Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp 277-296
- Dunfield, K. E., and Germida, J. J.** 2004. Impact of genetically modified crops on soil- and plant-associated microbial communities. *J Environ Qual.* 33: 806-815.
- Elbert, E., Leist, K. H., and Mayer, D.** 1990. Summary of safety evaluation toxicity studies of Glufosinate ammonium. *Food Chem Toxicol.* 28:339-349.
- Feng, P. C. C., Baley, G. J., Clinton, W. P., Bunkers, G. J., Alibhai, M. F., Paulitz, T. C., and Kidwell, K. K.** 2005. Glyphosate inhibits rust disease in Glyphosate-resistant wheat and soybean. *Proc Natl Acad Sci USA.* 102:17290-17295.
- Feng, P. C. C., Clark, C., Andrade, G. C., Balbi, M. C., and Caldwell, C.** 2008. The control of Asian rust by glyphosate-resistant soybean. *Pest Manag Sci.* 64: 353-359.
- James, C.** 2008. International service for the acquisition of agri-biotech applications. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/37/pptslides/brief37slides.pdf>. Accessed on February 9, 2011.
- James, C.** 2009. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. The first fourteen years,

- 1996 to 2009. Available at <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/41/executivesummary/default.asp>
Accessed on August 31, 2011.
- Hammond, B. G., Vicini, J. I., Hartnell, G. F., Naylor, M. W., Knight, C.D., Robinson, E. H., Fuchs, R. L., and Padgett, S. R.** 1996. The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *J Nutri.* 126: 717-727.
- Harrison, L. A., Bailey, M. R., Naylor, M. W., Ream, J. E., Hammond, B. G, Nida, D. L., Burnette, B. L., Nicholson, T. E., Mitsky, T. A., Taylor, T. A., Fuchs, R. L., and Padgett, S. R.** 1996. The expressed protein in glyphosate-tolerant soybean, 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase from *Agrobacterium* sp. strain CP4 is rapidly digested in vitro and is not toxic to acutely gavaged mice. *J Nutr.* 126: 728-740.
- Hartnell, G. F., Hvelplund, T., and Weisbjerg, M. R.** 2005. Nitrient digestibility in sheep fed diets containing Roundup Ready or conventional fodder beet, and pulp. *J Anim Sci.* 83: 400-407.
- Heap, I. M.** 1997. The occurrence of herbicide-resistant weed worldwide. *Pest Sci.* 51:235-243.
- Herouet, C., Esdaile, D. J., Mallyon, B. A., Debruyne, E., Schulz, A., Currier, T., Hendrickx, K., van derKlis, R-J., and Rouan, D.** 2005. Safety evaluation of the phosphinothricin acetyltransferase proteins encoded by the pat and bar sequences that confer tolerance to Glufosinate-ammunium herbicide in transgenic plants. *Regul Toxicol Pharmacol.* 41: 134-149.
- Huber, D. M., Cheng, M. W., and Winsor, B. A.** 2005. Association of severe *Corynespora* root rot of soybean with glyphosate-killed giant ragweed. *Phytopathology.* 95: 37-45.
- Kim, Y. T., Kim, S. E., Park, K. D., Kang, T. H., Lee, Y. M., Lee, S. H., Moon, J. S., and Kim, S. U.** 2005. Investigation of possible gene transfer from leaf tissue of transgenic potato to soil bacteria. *J Microbiol Biotechnol.* 15: 1130-1134.
- Konig, A., Cockbum, B., Crevel, P. W. R., Dbruyne, E., Grafstroem, R., Hammerling, U., Kimber, I., Knusden, I., Kuiper, H. A., Poulsen, M., Schauzu, M., and Wal, J. M.** 2004. Assessment of the safety of foods derived from genetically modified (GM) crops. *Food Chem Toxicol.* 42: 1047-1088.
- Kremer, R. J., Means, N. E., and Kim, S.** 2005. Glyphosate affects soybean root exudation and rhizosphere microorganisms. *Int J Environ Anal Chem.* 85: 1165-1174.
- Lappe, M. A., Bailey, E. B., Childress, C., and Setchell, K. D. R.** 1999. Alterations in clinically important phytoestrogens in genetically modified, herbicide-tolerant soybean. *J Med Food.* 1: 251-245.
- Larson, R. L., Hill, A. L., Fenwick, A., Kniss, A. R., Hanson, L. E., and Miller, S. D.** 2005. Influence of glyphosate on *Rhizoctonia* and *Fusarium* root rot in sugar beet. *Pest Manag Sci.* 62: 1182-1192.
- Lee, C. D., Renner, K. A., Penner, D., Hammerschmidt, R., and Kelly, J. D.** 2003. Glyphosate-resistant soybean management system effects on *Sclerotinia* stem rot. *Weed Technol.* 19: 580-588.
- Levy-Booth, D. J., Campbell, R. G., Gulden, R. H., Hart, M., Powell, J. R., Klironomos, J. N., Pauls, K.P., Swanton, C. J., Trevors, J. T., and Dunfield, K. E.** 2008. Real-time polymerase chain reaction monitoring of recombinant DNA entry into soil from decomposing Roundup Ready leaf biomass. *J Agri Food Chem.* 56: 6339-6347.
- Lydon, J., and Duke, S. O.** 1999. Inhibitors of glutamine biosynthesis. In: Singh, B. K., (ed) *Plant Amino Acids: Biochemistry and Biotechnology.* Marcel Dekker, New York, USA, pp 445-464.

- Mallarkey, T.** 2003. Human health concerns with GM crops. *Mut Res.* 544: 217-221.
- Mamy, L., and Barriuso, E.** 2005. Glyphosate adsorption in soils compared to herbicides replaced with the introduction of glyphosate resistant crops. *Chemosphere.* 61: 844-855.
- Mamy, L., Barriuso, E., and Gabrielle, B.** 2005. Environmental fate of herbicides trifluralin, metazochlor, metamitron and sulcotrione compared with that of glyphosate, a substitute broad spectrum herbicide for different glyphosate resistant crops. *Pest Manag Sci.* 61: 905-916.
- Moorman, T. B., Becerril, J. M., Lydon, J. M., and Duke, S. O.** 1992. Production of hydroxybenzoic acids by *Bradyrhizobium japonicum* strains after treatment with glyphosate. *J Agri Food Chem.* 40: 289-293.
- Nandula, V. K., Reddy, K. N., Rimando, A. M., Duke, S. O., and Poston, D. H.** 2007. Glyphosate-resistant and susceptible soybean (*Glycine max*) and canola (*Brassica napus*) dose response and metabolism relationships with glyphosate. *J Agri Food Chem.* 55: 3540-3545.
- Nelson, K. A., Renner, K. A., and Hammerschmidt, R.** 2002. Cultivar and herbicide selection affects soybean development and incidence of *Sclerotinia* stem rot. *Agron J.* 94: 1270-1281.
- Owen, M. D K.** 2008. Weed species shifts in glyphosate-resistant crops. *Pest manag Sci.* 64: 377-387.
- Padgett, S. R., Taylor, N. B., Nida, D. L., Bailey, M. R., MacDonald, J., Holden, L. r., and Fuches, R. L.** 1999. The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. *J Agri Food Chem.* 126: 702-716.
- Pankey, J. H., Griffin, J. L., Colyer, P. D., Schneider, W., and Miller, D. K.** 2005. Preemergence herbicide and glyphosate effects on seedling disease in glyphosate-resistant cotton. *Weed Technol.* 19: 312-318.
- Penna, J. A., and Lema, D.** 2003. Adoption of herbicide tolerant soybeans in Argentina: an economic analysis. In: Kalaitzandonakes. N., (ed) Economic and environmental impacts of agrotechnology. Kluwer-Plenum Publ, New York, USA, pp 203-220.
- Perez-Jones, A., Park, K-W., Polge, N., Colquhoun, J., and Mallory-Smith, C. A.** 2007. Investigating the mechanisms of glyphosate resistance in *Lolium multiflorum*. *Planta.* 226: 395-404.
- Powles, S. B.,** 2008. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Manag Sci.* 64:360-365.
- Public Health Agency of Canada.** 2011. Available at: http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/mh-dm/ofb-bba/nfi-ani/e_nf7web00.html. Accessed on May 6, 2011.
- Reddy, K. N.** 2004. Weed control and species shift in bromoxynil- and glyphosate-resistant cotton (*Gossypium hirsutum*) rotation systems. *Weed technol.* 18:131-139.
- Roso, A. C. and Vidal, R. A.** 2010. A Modified phosphate-carrier protein theory is proposed as a non-target site mechanism for glyphosate resistance in weeds. *Planta daninha*, v. 28, p. 1175-1185. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582010000500025&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Accessed on June 20, 2011.
- Sankula, S.** 2006. Quantification of the impacts on U.S. agriculture of biotechnology-derived crops planted in 2005 national center for food and agricultural policy. Washington, USA 110 p.
- Sanogo, S. Yang, X. B., and Lundeen, P.** 2001. Field response of glyphosate-tolerant soybean to herbicides and sudden death syndrome. *Plant Dis.* 85: 773-779.
- Scheffler, J. S., and Dale, P. J.** 1994. Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgene Res.* 3: 263-278.

- Sidhu, R.S., Hammond, B. G., Fuchs, R.L., Mutz, J.N., Holden, L.R., George, B., and Olsen, T.** 2000. Glyphosate-tolerant corn: the composition and feeding value of grain from Glyphosate-tolerant corn is equivalent to that of conventional corn (*Zea mays* L.). *J Agri Food Chem.* 48: 2305-2312.
- Soltani, N., Shropshire, C., and Sikkema, P.H.** 2006. Control of volunteer Glyphosate-tolerant maize (*Zea mays* L.) in Glyphosate-tolerant soybean (*Glycine max*). *Crop Protect.* 25: 178-181.
- Stalker, D. M., Kiser, J. A., G, Coulombe, B., Houck, C. M.** 1996. Cotton weeds control using the BXN system. In: Duke. S. O., (ed) *Herbicide-resistant crops*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp93-105.
- Sten, E., Skov, P. S., Anderson, S. V., Torp, A. M., Olesen, A., Bindlsley-Jensen, U., Poulsen, L. K., and Bindlsley-Jensen, C.** 2004. A comparative study of the allergenic potency of wild-type and glyphosate-tolerant gene-modified soybean cultivars. *Acta Pathologica Microbiologica Immunologica Scandinavica.* 112: 21-28.
- Stephen, O.D.** 2005. Taking stock of herbicide-resistant crops ten years after introduction. *Pest Manag Sci.* 61:211-218
- Tan, S., Evans, R. R., Dahmer, M. L., Singh, B. K., and Shaner, D. L.** 2005. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. *Pest Manag Sci.* 61: 246-257.
- United States Department of Agriculture (USDA).** 2011. Available at: <http://www.ers.usda.gov/Data/BiotechCrops>. Accessed on November, 2011.
- Vasil, I. K.** 1996. Phosphinothricin-resistan crops. In Duke. S. O., (ed) *Herbicide-resistant crops*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 85-91.
- Velini, E. D., Alves, E., Godoy, M. C., Meschede, D. K., Souza, R. T., and Duke, S. O.** 2008. glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. *Pest Manag Sci.* 64: 489-496.
- Vermij, P.** 2006. Liberty Link rice raises specter of tightened regulations. *Nat Biotechnol.* 24: 1301-1302.
- Vidal, R. A.** 1997. *Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas*. Porto Alegre: Editora Palotti, 165p.
- Vidal, R. A. Almeida, F. S. and Mizokami, M. M.** 2011. Causas e conseqüências (da resistência de ervas ao glyphosate). *Cultivar*, p. 8-9.
- Warwick. S. I., Legere, A., Simard, M-J., and James, T.** 2008. Do escaped transgenes persist in nature? The case of an herbicide resistant transgene in a weedy *Brassica rapa* population. *Mol Ecol.* 17: 1387-1395.
- Werth, J. A., Peston, C., Taylor, I. N., Charles, G. W., Robets, G. N., and Baker, J.** 2008. Managing the risk of glyphosate resistance in Australian glyphosate-resistant cotton production systems. *Pest Manag Sci.* 64: 417-421.
- Williams, G. M., Kroes, R., and Munro, I. C.** 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regul Toxicol Pharmacol.* 31: 117- 165.
- Zobiolo, L. H. S., and Kremer, R. J.** 2010 Glyphosate affects photosynthesis in first and second generation of glyphosate-resistant soybeans. *Plant and Soil*. Available online at: http://www.dag.uem.br/napd/up/Public-NAPD_e520f7bc2ecf23fc44f3766ea09ddf130HzKW.pdf. Accessed on May 6, 2011.