ارزیابی ایمنی خوراک دام تراریخته در صنعت دام و طیور

سمانه نصراللهی بروجنی (نویسنده مسئول) [*]

[*] کارشناس مسئول زراعت و باغبانی، مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان شاهین شهر و میمه، اصفهان، ایران،

Samane.nasrolahi@gmail.com

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۰

Immune evaluation of transgenic feed in the livestock and poultry industry

Samane Nasrollahi Boroujeni (Corresponding author) [*]

* Expert in charge of agriculture and horticulture, Agriculture Jihad Management of Shahinshahr and Maymeh, Isfahan, Iran, Samane.nasrolahi@gmail.com

Received: September 2021 Accepted: November 2021

چکیده

امنیت غذایی یکی از مهمترین مسائل جوامع بشری است. روش‌های بیوتکنولوژی نوین کشاورزی، از جمله اصلاح ژنتیکی، راهکاری است که از طریق امکان افزایش تولید، استفاده بیشتر از منابع طبیعی و کاهش اثرات زیست محیطی مورد توجه است. با این حال، انواع جدید محصولات زراعی تراریخته که با روش‌های مهندسی ژنتیکی تغییر یافته‌اند لازم است در معرض ارزیابی‌های ایمنی برای تحقق الزامات نظارتی، قبل از بازاریابی قرارگیرند. هدف از ارزیابی، بررسی اثر محصولات زراعی تراریخته بر سلامت انسان، حیوان و محیط زیست است. اگرچه، مطالعات بسیاری در مورد ارزیابی ریسک مواد غذایی تراریخته منتشر شده است، خوراک دام تراریخته مورد توجه نبوده است، با وجود این که بین ۷۰ تا ۹۰ درصد از کل محصولات تراریخته و زیست توده آن‌ها به عنوان خوراک دام استفاده می‌شود. در این مقاله، چارچوب نظارتی محصولات تراریخته برای خوراک دام در نظر گرفته شده است و اطلاعات موجود در مورد ارزیابی مواد غذایی تراریخته به عنوان مبنا بررسی می‌شود. اگرچه اکثر تکنیک‌های مورد استفاده برای ارزیابی ایمنی مواد غذایی تراریخته می‌توانند در خوراک دام تراریخته استفاده شوند، با این وجود بسیاری از قسمت‌های گیاهی که برای تغذیه دام استفاده می‌شود، برای انسان غیرقابل استفاده هستند. بنابراین غلظت پروتئین‌های بیان شده جدید در بافت‌های مختلف گیاه و ترکیباتی که بطور طبیعی در گیاه وجود دارند اما مقدارشان در گیاه تراریخته و خوراک دام حاصل از آن تغییر کرده است به عنوان شاخص در نظر گرفته می‌شود. توسعه بیشتر روش‌های اختصاصی برای ارزیابی محصولات تراریخته برای مصرف حیوانات، به منظور ارائه یک ارزیابی دقیق‌تر در ایمنی خوراک تراریخته ضرورت دارد.

کلمات کلیدی: ارزیابی، اصلاح ژنتیکی، سم شناسی، علوفه، محصولات تراریخته.

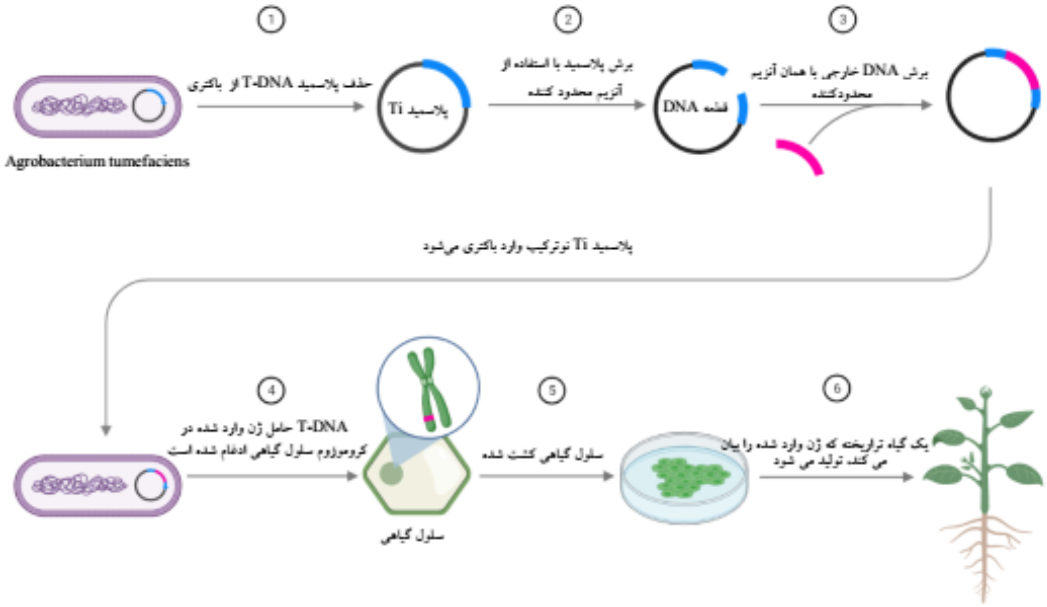
Abstract

Food security is one of the most important issues in human societies. Modern agricultural biotechnology methods including genetic modification are a solution that is being considered through the possibility of increasing production, however new types of transgenic crops that have been modified by genetic engineering methods need to be subjected to safety assessments to meet pre-marketing requirements. The purpose of the evaluation is to investigate the impact of transgenic crops on human, animal and environmental health. Although many studies have been published on GM food risk assessment GM feed has not received much attention, although between 70 and 90 percent of all GM products and their biomass are used as animal feed. In this paper the monitoring framework of GM products for animal feed is considered and the available information on GM food evaluation is considered as a basis. However most of the techniques used to assess the safety of GM foods can be used in GM livestock feed, however many of the plant parts used to feed livestock are unusable to humans. Therefore, the concentration of newly expressed proteins in different plant tissues and compounds that are naturally present in the plant but their amount in the transgenic plant and the resulting feed feed has been considered as an indicator. Further development of specific methods for evaluating GM products for animal consumption is necessary to provide a more accurate assessment of GM feed safety.

Keywords: Evaluation, Forage, Genetic Modification, Toxicology, Transgenic Crops.

مقدمه و کلیات

رشد جمعیت بشر چالش‌های قابل توجهی را برای تولید محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند و امنیت غذایی را به یک نگرانی فزاینده تبدیل می‌کند. علاوه براین، در حال حاضر تغییر اقلیم و تخریب محیط زیست، مساحت زمین‌های کشاورزی موجود را کاهش داده و چالش‌های دیگری را برای افزایش تقاضای روزافزون مواد غذایی ایجاد می‌کند (Barros *et al.*, 2019). به دلیل افزایش تقاضا در تولید محصولات علوفه‌ای، استفاده از روش‌های نوین مولکولی می‌تواند راهکارهایی را جهت رفع محدودیت‌های کیفیت علوفه، مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها، افزایش راندمان جذب مواد مغذی، تحمل در برابر استرس‌های غیر طبیعی و رشد مناسب گیاه را فراهم کند. تراریخته یک روش کلاسیک اصلاح DNA است که تولید محصولات زراعی با صفات مورد نظر را بر اساس ژن‌های معرفی شده امکان پذیر می‌کند. فناوری‌های ویرایش ژنوم موجب تغییر DNA می‌شود و قرار دادن ژن‌های خارجی در ناحیه هدف، محصولی چند جانبه را ایجاد می‌کند. اصلاح ژنتیکی به طور معمول به روشی گفته می‌شود که به طور طبیعی اتفاق نمی‌افتد و منجر به تغییر ماده ژنتیکی می‌شود و خصوصیات ویژه‌ای مثل مقاومت به حشرات خاص، علف‌کش‌ها، ویروس‌ها یا عوامل فساد بعد از برداشت و تجمع فرآورده‌های ذخیره ای تغییر شکل‌یافته را به گیاهان اعطا می‌کنند (Lin and Pan, 2016). بنابراین، ارقام زراعی که به صورت تراریخته تولید می‌شوند، به عنوان Genetically Modified (GM) در نظر گرفته می‌شوند (شکل۱). از آنجا که عمدتاً ایمنی محصولات تراریخته در مصوبات تجاری سازی برای مصرف انسان مورد توجه قرارگرفته است، چارچوب نظارتی برای محصولات زراعی GM که به عنوان خوراک دام و علوفه مصرف می‌شود، در نظر گرفته نشده است. اگرچه انواعی از خوراک دام با مصارف انسانی همپوشانی دارند (مانند دانه گیاهان روغنی)، اما بسیاری از گیاهان و بخش‌های گیاه به طور مستقیم توسط انسان مصرف نمی‌شوند و به طور انحصاری توسط دام‌ها به عنوان خوراک استفاده می‌شوند (Songstad *et al.*, 2017). این مقاله مروری به طور اجمالی به بحث در مورد ارزیابی ایمنی محصولات GM که به عنوان علوفه و خوراک دام مصرف می‌شوند می‌پردازد.



شکل ۱- ترانسفورماسیون بواسطه آگروباکتریوم

Fig 1- Agrobacterium transformation

خوراک دام GM

سهم بازار محصولات GM به واسطه تجاری شدن محصولات GM در دهه ۱۹۹۰ به سرعت افزایش یافته است. عمده محصولات زراعی GM موجود در بازار عبارتند از سویا (*Glycine max* L. Merr) با ۷۷٪ مساحت جهانی (۹۴/۱ میلیون هکتار)، ذرت (*Zea mays* L.) با ۳۲٪ (۵۹/۵ میلیون هکتار) ، پنبه (*Gossypium arboretum* L.) در ۸۰٪ (۲۴/۲۱ میلیون هکتار) ، و کلزا (*Brassica napus* L.) با ۳۰٪ (۱۰/۲ میلیون هکتار). استفاده تجاری از ارقام محصولات زراعی تراریخته اخیراً در گونه‌های دیگری از جمله چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)، پاپایا (*Carica papaya* L.)، کدو (*Cucurbita* L.)، بادمجان (*Solanum melongena* L.)، سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و سیب (*Malus pumila*) نیز صورت می‌گیرد. متاآنالیز ۱۴۷ محصول غذایی و خوراکی نیز نشان داده است که با اتخاذ فناوری GM میزان استفاده از سموم دفع آفات شیمیایی ۳۷ درصد کاهش، عملکرد محصول ۲۲ درصد افزایش و سود کشاورز را نیز ۶۸ درصد افزایش داده است. محصولات کشاورزی GM را می‌توان به عنوان مواد غذایی مورد مصرف انسان و خوراک دام معامله کرد. این محصولات به عنوان مواد غذایی تغییر ژنتیکی شده یا GM طبقه بندی می‌شوند، در حالی که مصرف کننده مستقیم، عمدتا انسان‌ها هستند ولی این محصولات می‌توانند برای مصرف حیوانات نیز در نظر گرفته شوند. با این حال، طیف وسیعی از محصولات GM، مانند ذرت، سویا و کلزا به عنوان غذا و خوراک مورد استفاده قرار می‌گیرند. بیشتر محصولات زراعی GM موجود در بازار، به جز یونجه (*Medicago sativa* L.)

(*Agrostis stolonifera* ssp.sativa) و علف بوریا به عنوان مواد غذایی GM مورد مصرف انسان ارزیابی شده اند (Flachowsky *et al*., 2012). براساس زیست توده تخمین زده می‌شود، بین ۷۰ تا ۹۰٪ از کل محصولات زراعی GM به عنوان خوراک دام استفاده می‌شود. برخلاف محصولات غذایی GM مورد مصرف انسان، تنها تعداد کمی از محصولات علوفه‌ای GM به طور تجاری روانه بازار شده اند. یونجه که از نظر اقتصادی یک خوراک دام مهم به شمار می‌آید به طور عمده در مناطق معتدل می‌روید. اولین محصول علوفه‌ای GM که درایالات متحده تجاری شد، یونجه شرکت Roundup Ready در آمریکا بود که با توجه به ویژگی مقاومت به علف کش، می‌توان آن را به عنوان تراریخته‌های نسل اول طبقه بندی کرد. این محصول از طریق درج دو نسخه از یک ژن مشتق شده از آگروباکتریوم (epsps cp4) که محصول پروتئینی آن (EPSPS ؛ ۵-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) به تحمل گلیفوزات کمک می‌کند، تولید شد. درج این ژن خارجی به ظهور علف کش‌های مبتنی بر گلیفوزات برای کنترل علفهای هرز منجر شد(Putnam *et al*., 2016). پس از یونجه Roundup Ready، یونجه HarvXtra، یکی دیگر از تراریخته‌های نسل اول، توسعه داده شد و به صورت تجاری روانه بازار شد. با استفاده از مکانیسم سرکوب ژن مبتنی بر تداخل RNA (RNAi) ، محتوا و ترکیب لیگنین دراین رقم اصلاح شده است. یک کاست ژنی تراریخته شامل توالی هدف به صورت تکرار معکوس با استفاده از *A. tumefaciens* برای سرکوب caffeoyl-CoA 3-O-methyltransferase (CCoAOMT)، که در بیوسنتز لیگنین دخیل است، معرفی شد. توالی تکرار معکوس برای بیان تحت کنترل پروموتر فنیل آلانین آمونیاک لیاز (PAL2) از لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) در بافت آوندی رونویسی شد، و امکان سرکوب مطلوب بیوسنتز لیگنین را بدون اثرات منفی بر عملکرد علوفه فراهم کرد (Barros *et al*., 2019). چاودار چند ساله (*Lolium perenne* L.) همچنین یکی از مهمترین گونه‌های علوفه‌ای در مناطق معتدل است. اگرچه چندین گیاه چاودار چند ساله تراریخته با صفات اقتصادی بسیار مفید تولید شده است اما هیچکدام از آنها به صورت تجاری روانه بازار نشده اند. با استفاده از یک رویکرد مشابه با یونجه HarvXtra، چاودار چند ساله با میزان لیگنین پایین تولید شده است. در چاودار چند ساله تراریخته، ژن‌های مرتبط با بیوسنتز لیگنین بر اساس مکانیسم‌های RNAi تنظیم شدند. از آنجا که گیاهان تراریخته با میزان پایین لیگنین ممکن است قابلیت هضم را در گاوها افزایش دهند، فناوری کنترل بیوسنتز لیگنین ممکن است برای تولید خوراک دام بهینه مفید باشد. فناوری خاموش کردن ژن مهارکننده CRES-T یک رویکرد تازه مبتنی بر تراریخته برای تجزیه و تحلیل عملکردی عوامل رونویسی در گیاهان است. ساختار تراریخته CRES-T برای هدف قرار دادن ژن فاکتور رونویسی انگشت-روی‌ایجاد شده است، که به مقاومت نمکی مرتبط است (Cen *et al*., 2016). گیاه چاودار چند ساله تراریخته با تغییر در ساختار CRES-T تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری (حداکثر ۳۰۰ میلی

مولار سدیم کلسیم) نشان داده است. جالب توجه است، چاودار چند ساله تراریخته در شرایط تنش غیر نمکی نیز یک فنوتیپ قوی را نشان می‌دهد که می‌تواند برای تولید علوفه مفید باشد. گیاه چاودار چند ساله با استفاده از فناوری تراریخته منجر به تولید محصولی محتوی ترکیبات با انرژی بالا شده است. گیاه چاودار چند ساله تراریخته محتوی ترکیبات ساختاری سنتز شده از ٦-گلوکز فروکتوزیل ترانسفراز (6G-FFT) و ساکارز است که با انتقال ژنهای۱ فروکتوزیل ترانسفراز ساکارز (SST1) به ژنوم چاودار چند ساله، با هدف تقویت بیوسنتز فروکتان در تیغه‌های برگ به‌این ساختار دست یافتند. گیاهان تراریخته افزایش قابل توجهی در تجمع فروکتان در پره‌های برگ و همچنین افزایش تولید زیست توده را نشان دادند. این صفات می‌تواند برای صنعت دام مفید باشد، زیرا پره‌های برگ قسمت اصلی است که به عنوان خوراک نشخوارکنندگان در چراگاه‌ها مصرف می‌شود (Panter *et al*., 2017). گیاه چاودار چند ساله تراریخته از طریق درج ژن‌های دستکاری شده تولید می‌شود واین رقم را می‌توان به عنوان یک نمونه از نسل سوم تراریخته در نظر گرفت. بهبود تحمل تنش بیوتیک در شبدر سفید (*Trifolium repens* L.)، به عنوان یکی از گیاهان مهم مرتعی در مناطق معتدل، از طریق تولید گیاهان مصون از عفونت توسط ویروس موزائیک یونجه (AMV) با استفاده از فناری تراریخته‌ایجاد شده است. اگرچه،این شبدر مقاوم در برابر AMV هنوز به بازار عرضه نشده است، مطالعات گسترده‌ای جهت بیان پایدار ژن پروتئین پوششی ویروس رمزگذاری شده، توسط RNA4 ساب ژنومی AMV در شبدر سفید، در شرایط گلخانه‌ای و کشت در خاک صورت گرفته است (Smith and Spangenberg, 2016). توسعه تولید محصولات خوراک دام از طریق اصلاحات ژنتیکی و ویرایش ژنوم، این پتانسیل را دارد که در تحقق تقاضای روز افزون برای محصولات حیوانی نقش اساسی داشته باشد. بنابراین ارزیابی ریسک، باید ایمنی آن را برای انسان، حیوان و محیط زیست تضمین کند تا سیستم کشاورزی از نظر اقتصادی و زیست محیطی پایدار باشد.

ارزیابی ایمنی

شواهد علمی که در ارزیابی ایمنی محصولات زراعی GM ارائه می‌شود، می‌تواند در حوزه‌های حقوقی و قضایی مختلف متفاوت باشد. بااین وجود، توصیف دقیق مولکولی تولید تراریخته، توسعه روش‌های ردیابی و ارزیابی برای اطمینان از قانونی بودن و مطالعات محیطی برای فعال کردن چارچوب‌های همزیستی، از جمله مطالعات رایج در ارزیابی ایمنی محصولات زراعی است. مطالعات دیگر، مانند سم شناسی و حساسیت زایی، به دنبال یک رویکرد موردی با توجه به دانش و فناوری‌های نوظهور علمی‌انجام شده است (Alexandrova *et al*., 2005). استفاده از محصولات زراعی GM به عنوان خوراک دام می‌تواند نگرانی‌های مربوط به ایمنی انسان را کاهش دهد و ویژگی‌های دیگر مانند ارزش تغذیه و معادل غذایی را تاکید کند. از نظر صنعتی، ارزیابی مورد نیاز برای مقامات نظارتی می‌تواند به دو گروه تقسیم شود. مسائل مربوط به قبل و بعد از بازاریابی. اولی شامل فناوری‌های نسبتا استاندارد برای کلیه

مواد غذایی و تولیدات GM، مانند خصوصیات مولکولی و توسعه ابزارهای ردیابی به منظور شناسایی محصولات GM است. مباحث پیش از بازاریابی همچنین شامل فناوری‌های در حال توسعه است که به صورت موردی متفاوت است، از جمله مطالعات ایمنی زیست محیطی، سم شناسی و حساسیت زایی. مسائل پس از بازاریابی با نظارتی مرتبط است که منجر به برچسب زدن و ردیابی GM می‌شود (Flachowsky *et al*., 2002).

ردیابی GM

ردیابی محصولات غذایی یا خوراک دام GM در حالت های مختلف مانند برگ‌های تازه، برگ‌های خشک، گرده‌ها، دانه‌ها، ساقه و بخش‌هایی که می‌توانند به عنوان مواد غیرفرآوری شده وارد زنجیره خوراک دام شوند، حائز اهمیت است (Tiwari and Singh, 2018). انتخاب پروتکل استخراج DNA از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، زیرا ممکن است مقادیر استخراج DNA ناچیز باشد و DNA کیفیت مطلوبی نداشته باشد و یا تخریب شود. بنابراین روش‌های استخراج باید برای هر محصول کشاورزی ارزیابی شود و عملکرد و خلوص بالای DNA را تضمین کند (Guttikonda *et al*., 2016). روشی که برای ردیابی انتخاب شده است، باید به اندازه کافی حساس باشد تا ژن (ها) را در سطوح پایین تر از حد آستانه صلاحیت مربوطه تشخیص دهد (به عنوان مثال، ۵٪ درایالات متحده ، ۱٪ کانادا و ۰/۹٪ در اتحادیه اروپا). در حال حاضر qPCR روشی استاندارد است که در آزمایشگاه‌های مرجع برای شناسایی و تعیین کمیت محصولات GM مورد استفاده قرار می‌گیرد (Li *et al*., 2017). فرآیند تشخیص محصولات GM در آزمایشگاه‌های مرجع شامل دو مرحله متوالی است. اولین مرحله غربالگری qPCR وکتورهایی است که معمولا در محصولات GM وجود دارد، از جمله پروموتر 35s از ویروس موزائیک کلم گل و نشانگرهای انتخابی (Ren *et al*., 2018). سپس نمونه‌ها با فرض حضور احتمالی آنتی ژن های موادغذایی GM، با استفاده از روش‌های اختصاصی ارزیابی GM آزمایش می‌شوند. فناوری PCR قطره ای دیجیتال (ddPCR) از همان اصول تکثیر DNA در qPCR استفاده می‌کند، اما این فناوری می‌تواند با استفاده از روش‌های مبتنی بر PCR به هزاران قطره در اندازه نانولیتر تبدیل شود که در آنها DNA تکثیر می‌شود و دقت کمّی بیشتری را ارائه می‌دهند (Dalmira *et al*., 2016). ویژگی‌هایی مانند کمیت مطلق، اجتناب از استفاده از منحنی‌های استاندارد و مقاومت بالا در برابر مهار کننده‌ها، ddPCR را به عنوان گزینه‌ای امیدوارکننده برای تشخیص محصولات GM تبدیل می‌کند. فناوری‌های SGS همچنین به دلیل توانایی تشخیص همه توالی‌های هدف در چندین نمونه بطور همزمان توصیه شده است، با این حال نیاز به دانش بیو انفورماتیک برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و دستگاه‌های پیشرفته‌تر، کاربرد این روش در شناسایی GM را محدود می‌کند (Boutigny *et al*., 2019). qPCR، ddPCR و SGS از نظر شناسایی و دقت اندازه گیری GM، و توانایی تشخیص توالی‌های شناخته شده و ناشناخته با هم تفاوت دارند. همچنین هزینه و زمان پردازش از qPCR به

ddPCR و SGS افزایش می‌یابد. با این حال، تمام این روش‌ها نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی دارند و زمانبر هستند، و ضرورت توسعه دستگاه‌های سریع و قابل حمل مبتنی بر روش‌های غربالگری توان بالا در آینده نزدیک ادامه خواهد یافت. تحقیقات اخیر در رابطه با شناسایی محصولات زراعی GM در محل و یا آزمایشگاه روی تراشه شامل روش تکثیر هم دما با واسطه حلقه (LAMP)، بیوسنسور جریان جانبی مبتنی بر LAMP، بیوسنسور جریان جانبی مبتنی بر PCR، سیستم‌های qPCR قابل حمل و توالی یابی با روش نانو حفره است (Fraiture *et al.*, 2018). فناوری‌هایی برای تحقق الزامات نظارتی برای ردیابی مواد غذایی GM ایجاد شده است. روش مبتنی بر qPCR برای غربالگری با توان بالا مناسب است و رویکرد مبتنی بر ddPCR می‌تواند با دقتی بالا، میزان کم غلظت آنتی ژن‌های موجود در GM را اندازه گیری کند. اگرچه رویکردهای شناسایی موادغذایی GM ممکن است برای تحقق الزامات نظارتی برای خوراک دام GM نیز استفاده شود، در مورد خوراک دام GM ملاحظات ویژه‌ای باید در نظر گرفته شود و لازم است تدابیر لازم در استفاده از قطعات گیاهی که برای مواد غذایی انسانی استفاده نمی‌شود و محصولات فرعی سایر صنایع که با استفاده از گیاهان علوفه ای GM تولید می شوند در نظر گرفته شود.

مطالعات ایمنی محیط زیست

ارزیابی ریسک محیطی با هدف تعیین اینکه آیا محصول GM اثرات مستقیمی بر محیط زیست دارد مطرح می‌باشد (Devos *et al.*, 2016). اگرچه طیف وسیعی از عوامل مانند تاثیر بر تنوع زیستی، اصلاح کیفیت خاک و آب و بیماری و کنترل علف‌های هرز باید دراین فرآیند در نظر گرفته شود، اما عمده ترین نگرانی مربوط به جریان ژنی تراریخته (ها) به رقم های گیاهی مشابه تراریخته‌هاست (Tsatsakis *et al.*, 2017). در گونه‌های GM، گرده افشانی ناخواسته می‌تواند عامل اصلی ایجاد جریان ژنی باشد. یکی از متداول ترین اقدامات برای کاهش جریان ژنی به واسطه گرده افشانی، ایجاد فاصله و جداسازی است. کمترین فاصله بین مزارع زراعی GM و غیر GM بر اساس نوع گونه‌های کشت شده تعریف شده است که مانع از رسیدن میزان گرده افشانی متقاطع به حد آستانه شود. عوامل متعدد مانند اندازه جمعیت، مسافت و همگام سازی گلدهی بین مزارع اهدا کننده و گیرنده و همچنین شرایط باد محلی، همگی در تعیین فاصله و جداسازی مناسب تاثیر می‌گذارند (Devos *et al.*, 2016). خطرات بالقوه جریان ژن ممکن است بسته به ماهیت صفات تراریخته متفاوت باشد. اما از آنجا که محصولات علوفه ای عمدتاً چند ساله و سالانه یا دوسالانه نیستند، این ویژگی می‌تواند اثرات جریان ژنی ناشی از گرده افشانی را کاهش دهد (Smith and Spangenberg, 2016).

مطالعات ایمنی تغذیه

تاکنون ارزیابی ایمنی گیاهان GM که به مصرف انسان می‌رسند بسیار مورد توجه قرارگرفته است، اما ایمنی حیوانات در حالی که نادیده گرفته نمی‌شود، اهمیت کمتری را به خود اختصاص داده است. مطالعات ایمنی خوراک بررسی می‌کند که آیا اصلاح ژنتیکی می‌تواند ناخواسته سمیت یا حساسیت زایی گیاه تراریخته را برای انسان یا حیوان افزایش دهد. از

آنجا که محصولات کشاورزی علوفه‌ای عمدتا توسط دام مصرف می‌شوند و مصرف انسان از محصولات علوفه‌ای GM یک اثر غیرمستقیم است، در نتیجه ارزیابی برای خوراک دام GM باید به طور ویژه پیگیری شود (Pauwels *et al.*, 2015). مطالعات تغذیه‌ای بر پاسخ دادن به دو موضوع اصلی تمرکز دارد. ایمنی محصول جدید برای انسان و دام و ایمنی محصول حاصل از حیوانات پرورش یافته با خوراک تراریخته برای انسان (Ramessar *et al.*, 2007). آزمایش‌های تغذیه‌ای با استفاده از حیوانات مدل برای ارزیابی ایمنی محصولات غذایی GM انجام شده است. گونه‌های اصلی حیوانات که محصولات خوراکی GM را مصرف می‌کنند شامل گاو، گوسفند، خوک و طیور هستند. خوک‌ها به دلیل وجود آناتومی روده و فیزیولوژی مشابه (به ویژه ایمنی مخاطی) و نیازهای غذایی به عنوان یک مدل برای انسان بسیار مورد استفاده قرارگرفته اند (Buzoianu *et al.*, 2012). آزمایشات روی جوندگان به ویژه برای مطالعات سم شناسی و حساسیت‌زایی محصولات حاصل از ژن‌های الحاق شده بیشترین اهمیت را دارند (Hong *et al.*, 2017). توسعه استانداردها در روش‌های In silico و In vitro می‌تواند سبب کاهش زمان و هزینه پیشبرد این روند و جلوگیری از استفاده از حیوانات شود. در صورت لزوم مطالعات مربوط به خوراک به صورت In vivo امکان انجام آزمایش‌های تغذیه‌ای را در گونه‌های هدف فراهم می‌کند، چیزی که در مورد غذاهای GM در انسان امکان پذیر نیست (Levitsky *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از فناوری‌های مولکولی اصلاح ژنتیکی و ویرایش ژنوم در گونه‌های گیاهی علوفه‌ای می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا چالش‌های تغییرات آب و هوایی، پایداری و امنیت غذایی را برطرف کنند. اطلاعات در مورد ارزیابی ایمنی محصولات علوفه‌ای GM که فقط برای تغذیه حیوانات در نظر گرفته شده اند بسیار محدود است. طرح ارزیابی نظارتی برای موادغذایی GM طراحی شده است و با در نظر گرفتن تفاوت‌ها، می‌توان از روش‌های مشابه برای ارزیابی محصولات علوفه‌ای GM استفاده کرد. تکنیک‌هایی که برای توصیف مولکولی، قابلیت ردیابی GM و مطالعات ایمنی محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای خوراک دام GM نیز قابل استفاده است. اما مطالعات سم شناسی و سنجش حساسیت برای خوراک دام GM با هدف مصرف حیوانات به خوبی تعریف و تعیین نشده است. طراحی راهکارهای خاص با هدف ایجاد ایمنی در خوراک دام GM لازم است برای مصرف کننده نهایی بطور هدفمند صورت گیرد. تعریف یک چارچوب جدید برای ارزیابی خطر محصولات GM اعم از خوراک دام و مواد غذایی، به منظور استفاده بهتر از منابع و جلوگیری از ارزیابی های غیر ضروری اهمیت دارد. هدف نهایی ارزیابی محصولات جدید GM به شیوه‌ای مؤثرتر، افزایش تجاری سازی محصولات با پتانسیل بالا برای ارائه منافع اقتصادی و بهداشتی به مصرف کنندگان و تولید کنندگان است.

منابع

1) Alexandrova N., Georgieva K. and A, Atanassov. 2005. Biosafety regulations of GMOs: national and international aspects and regional cooperation. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 19 (sup3): 153–172.
2) Barros J., Temple S. and R. A, Dixon. 2019. Development and commercialization of reduced lignin alfalfa. *Curr. Opin. In Biotechnol*, 56: 48–54.
3) Boutigny A. L., Barranger A., De Boisséson C., Blanchard Y. and M, Rolland. 2019. Targeted next generation sequencing to study insert stability in genetically modified plants. *Sci. Rep,* 9 (1): 2308.
4) Buzoianu S. G., Walsh M. C., Rea M. C., Cassidy J. P., Ross R. P. and G. E, Gardiner. 2012. b. Effect of feeding genetically modified Bt MON810 maize to ~40-day-old pigs for 110 days on growth and health indicators, *Animal* 6 (10): 1609–1619.
5) Cen H., Ye W., Liu Y., Li D., Wang K. and W, Zhang. 2016. Overexpression of a chimeric gene, OsDST-SRDX, improved salt tolerance of perennial ryegrass. *Sci. Rep.* 6: 27320.
6) Corbisier, P. and H, Emons. 2019. Towards metrologically traceable and comparable results in GM quantification. *Anal. Bioanal. Chem,* 411 (1): 7–11.
7) Dalmira F. U., Melina P. U., Jose´-Benigno V. T., Josefina L. F., Raymundo G. E. and A. S, Abraham. 2016. Development, optimization and evaluation of a duplex droplet digital PCR assay to quantify the T-nos/hmg copy number ratio in genetically modified maize. *Anal. Chem,* 88 (1):, 812–819.
8) Devos, Y., Demont, M., Dillen, K., Reheul, D., Kaiser, M. and O, Sanvido. 2009. Coexistence of genetically modified and Non-GM crops in the european union: a review. *Sustain. Agric*, 29: 11–30.
9) Devos, Y., Gaugitsch H., Gray, A. J., Maltby, L., Martin, J. and J. S, Pettis. 2016. Advancing environmental risk assessment of regulated products under EFSA's remit. *EFSA J,* 14: e00508.
10) Flachowsky, G., Aulrich, K., Berk, A., Daenicke, R. and T, Reuter. 2002. Nutritional assessment of feeds from genetically modified (GM) crops. *Proc. Soc. Nutr. Physiol,* 11: 183–186.
11) Flachowsky, G., Schafft, H. and U, Meyer. 2012. Animal feeding studies for nutritional and safety assessments of feeds from genetically modified plants: A review. *J. Für Verbrauch. und Lebensm,* 7 (3): 179–194.
12) Fraiture, M. A., Saltykova, A., Hoffman ,S., Winand, R., Deforce, D. and K, Vanneste. 2018. Nanopore sequencing technology: a new route for the fast detection of unauthorized GMO. *Sci. Rep,* 8 (1): 7903.
13) Gao, W., Tian ,J., Huang, K., Yang, Z., Xu, W. and Y, Luo. 2019. Ultrafast, universal and visual screening of dual genetically modified elements based on dual super PCR and a lateral flow biosensor. *Food Chem*, 279: 246–251.
14) Giraldo, P. A., Cogan, N., Spangenberg, G., Smith, K. and H, Shinozuka, 2019. Development and application of droplet digital PCR tools for the detection of transgenes in pastures and pasture-based products. *Front. In Plant Sci*, 9: 1923.
15) Guttikonda, S. K., Marri, P., Mammadov, J., Ye, L., Soe, K. and K, Richey. 2016. Molecular characterization of transgenic events using next generation sequencing approach. *PloS One*, 11 (2): e0149515.
16) Hong, B., Du, Y., Mukerji, P., Roper, J. M. and L. M, Appenzeller. 2017. Safety assessment of food and feed from GM crops in Europe: evaluating EFSA's alternative framework for the rat 90-day feeding study. *J. Agric. Food Chem*, 65 (27): 5545–5560.
17) Klümper, W. and M, Qaim. 2014. A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PloS One*, 9 (11): e111629.
18) Levitsky, E. L. 2016. Problem of genetically modified foods safety: a

toxicologist's view. *Biotechnol. Acta*, 9 (1): 7–25.

19) Li, X., He, X. L. Y., Xiao, G., Jiang, X. and K, Huang. 2008. Comparative analysis of nutritional composition between herbicide-tolerant rice with bar gene and its non-transgenic counterpart. *J. Food Compos Anal*, 21: 535–539.
20) Li, R., Quan, S., Yan, X., Biswas, S., Zhang, D. and J, Shi. 2017. Molecular characterization of genetically modified crops: challenges and strategies. *Biotechnol. Adv*, 35 (2): 302–309.
21) Lin, C. H. and T. M, Pan. 2016. Perspectives on genetically modified crops and food detection. *J. Food Drug Anal*, 24 (1): 1–8.
22) Panter, S., Mouradov, A., Badenhorst, P., Martelotto, L., Griffith, M. and K. F, Smith. 2017. Re-programming photosynthetic cells of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) for fructan biosynthesis through transgenic expression of fructan biosynthetic genes under the control of photosynthetic promoters. *Agronomy*, 7 (2): 36.
23) Pauwels, K., De-Keersmaecker, S., De-Schrijver, A., Du-Jardin, P., Roosens, N. and P, Herman. 2015. Next-generation sequencing as a tool for the molecular characterisation and risk assessment of genetically modified plants Added value or not? *Trends in Food Sci. Technol*, 45: 319–326.
24) Putnam, D. H., Woodward, T., Reisen, P. and S, Orloff. 2016. Coexistence and market assurance for production of non–genetically engineered alfalfa hay and forage in a biotech era. *Crop Forage Turfgrass Manage*, 2: 1.
25) Ramessar, K., Peremarti, A., Gómez-Galera, S., Naqvi, S., Moralejo, M. and P, Munoz. 2007. Ransgenic crop plants: a case of the science not supporting the politics. *Transgenic Res*, 16: 261–280.
26) Ren, R., Wang, H., Guo, C., Zhang, N., Zeng, L. and Y, Chen. 2018. Widespread whole genome duplications contribute to genome complexity and species diversity in angiosperms. *Mol. Plant*, 11 (3): 414–428.
27) Smith, K. and G, Spangenberg. 2016. Considerations for managing agricultural co-existence between transgenic and non-transgenic cultivars of outcrossing perennial forage plants in dairy pastures. *Agronomy*, 6 (4): 59.
28) Songstad, D. D., Petolino, J. F., Voytas, D. F. and N. A, Reichert. 2017. Genome editing of plants. *Crit. Rev. In Plant Sci*, 36 (1): 1–23.
29) Tiwari, A. and K. N, Singh. 2018. Transgene copy number. *J. Pharmacogn. Phytochem*, 7 (2): 1829–1835.
30) Tsatsakis, A. M., Nawaz, M. A., Tutelyan, V. A. and K, Golokhvast. 2017. Impact on environment, ecosystem, diversity and health from culturing and using GMOs as feed and food. *Food Chem. Toxicol*, 107: 108–121.