ره‌آوردهای نوین زیست‌فناوری گیاهی

رقیه علی‌یاری (مربی پژوهشی)
محمدعلی ملبوبی (استادیار پژوهشی)
مرکز ملی تحقیقات مهندسی ژنتیک و تکنولوژی زیستی

در سال‌های اخیر گسترشِ کشتِ گیاهانِ تراریختِ بیان‌کننده‌ی صفات مهم و حایز ارزش اقتصادی، توجه دانشمندان را به بهره‌گیری از گیاهان به‌عنوان «واکنشگر زیستی» جلب کرده است. در این گرایش جدید نه‌تنها امکان تولید محصولات غذایی با کیفیت بالاتر و حاوی مواد مغذی جدید، نظیر چربی‌های بهداشتی‌تر، وجود دارد، بلکه می‌توان از گیاه برای تولید بسیاری از مواد صنعتی، مانند روغن‌ها و بسپارها، و مواد مؤثر داروها، مانند آلکالوییدها یا پروتیین‌های انسانی، بهره گرفت. بخش عمده‌ی این توانایی‌ها به کمک روش‌های مهندسی ژنتیک، که انتقال ژن‌های جدا شده از سایر موجودات را به گیاه ممکن می‌سازد، میسر شده است.

مقدمه

پیدایش محصولات نوین زیست‌فناوری در بخش گیاهی، نویدبخش جهانی نو در آینده‌یی نه‌چندان دور است. این پیشرفت‌ها در تجربیاتی نمود پیدا کرده است که به ایجاد گیاهان تراریخت می‌انجامد. توانایی مهار ژن‌های درون‌زاد[1] گیاهان زراعی و جداسازی ژن‌های جدید منابع مختلفی چون باکتری، قارچ و گیاهان و انتقال آن‌ها به گیاهان مورد نظر، دریچه‌های نوینی برای تولید محصولات جدید گشوده است که از طریق ایجاد جهش و بهره‌گیری از روش‌های سنتی اصلاح نژاد امکانپذیر نیست. در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ میلادی تحقیقات صورت گرفته عمدتاً در زمینه‌ی صفات زراعی ــ مانند زمان رسیدگی میوه و گل‌دهی ــ مقاومت در برابر بیماری‌های ویروسی، باکتریایی و قارچی، مقاومت در برابر علف‌کش‌ها، مقاومت نسبت به حشرات و مقاومت در مقابل تنش‌هایی نظیر خشکی یا یخ‌زدگی متمرکز شده است.

مهندسی ژنتیک گیاهان در خدمت بخش کشاورزی

توانایی انتقال ژن از منابع زیستی مختلف به گیاهان، راه حل‌های جدیدی برای غلبه بر مشکلات موجود ارائه می‌کند.[۱و۲] در عمل، واردشدن یک کپی از ژن مورد نظر بدون ورود توالی‌های DNA ناقل[2] و نشانگرهای انتخابی[3] ژنتیک اهمیت زیادی دارد. با وجود آن که کمتر از ۱۵ سال از ایجاد اولین گیاه تراریخت می‌گذرد، این گیاهان در حال حاضر در مقیاس وسیعی کشت می‌شوند. پیشرفت‌های حاصل در زمینه‌ی گسترش، ایجاد و کشت گیاهان تراریخت در ابعاد مختلف به‌طور عمده در چهار زمینه متمرکز است:

۱ـ تعیین نقشه‌ی ژنی گیاهان و راهبردهای جداسازی ژن‌ها براساس نقشه‌ی ژنی؛

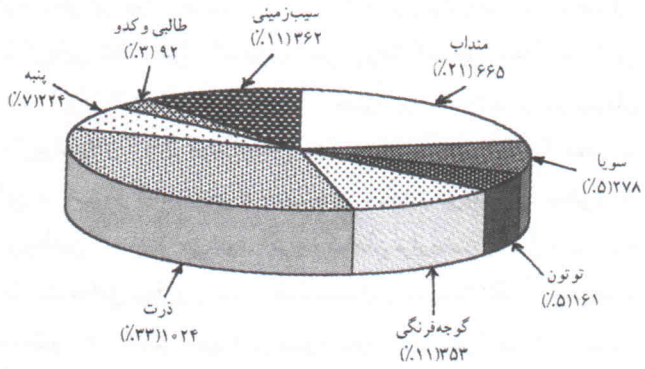
۲ـ بهره‌گیری از علامت‌گذاری توسط T-DNA و ترانهادها[4] که جداسازی مستقیم یک ژن را امکانپذیر می‌سازد؛

۳ـ کلون‌سازی[5] (همسانه‌سازی) براساس برهم‌کنش پروتیین ـ پروتیین که به محقق امکان جداسازی مجموعه‌ی ژن‌هایی را می‌دهد که در یک مسیر یا فرایند سوخت‌وسازی[6] دخالت دارند.

۴ـ اطلاع‌رسانی زیستی (بیوانفورماتیک)، بویژه گسترش استفاده از بانک‌های اطلاعاتی، پیشرفت پروژه‌های ژنوم گیاهان و توالی‌های یافت‌شده[7]، تهیه‌ی نرم‌افزارهای تجزیه و تحلیل رایانه‌یی.[۳]

توسعه‌ی روش‌های انتقال ژن ابتدا به کمک ژن‌های گزارشگر، نظیر بتا ـ گلوکورونیداز، یا مقاوم به آنتی‌بیوتیک صورت گرفت. اما به‌زودی این روش‌ها برای ایجاد صفاتی نظیر مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا،

شکل ۱ـ تعداد و درصد گیاهان زراعی تراریخت که در سطح جهان در بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۶ تحت آزمایش‌های مزرعه‌یی قرار گرفته‌اند



مقاومت در برابر علف‌کش‌ها، و نیز افزایش کمیت و کیفیت محصول در گیاهان مورد توجه قرار گرفتند. شکل ۱ تعداد و درصد گیاهان زراعی تراریخت را که در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۵ مورد آزمایش‌های مزرعه‌یی قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد.[۴] همان طور که مشاهده می‌شود بیشترین تعداد آزمایش‌های مزرعه‌یی مربوط به ذرت (۳۳ درصد) بوده است. پس از آن، گیاهان تراریخت منداب یا کلزا[۸] (۲۱ درصد)، سیب‌زمینی (۱۱درصد)، گوجه فرنگی (۱۱ درصد)، و سویا (۹ درصد) بیش از سایر گیاهان تراریخت مورد آزمایش مزرعه‌یی قرار گرفته‌اند.[۴]

در جدول ۱ نیز آماری از آزمایش‌های مزرعه‌یی گیاهان تراریخت، که در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۶ تا پایان سال ۱۹۹۵ در آمریکا انجام شده‌اند، برحسب صفات انتقال‌یافته ذکر شده است. مقاومت در برابر

جدول ۱ـ صفات ابرازشده در گیاهان تراریخت ایجادشده در آمریکا [۴]

نام صفت انتقال‌یافته	آزمایش‌های مزرعه‌یی
مقاومت در برابر علف‌کش	۵۹۰
۴،۲ـ دی‌کلروفنوکسی‌استیک‌اسید،	
Asulam	
آترازین	
برموگزینیل	
Fosametin	
گلوفسینات/فسفینوتریسین	
گلی‌فسات	
پیریدین	
سولفونیل‌اوره	
افزایش کیفیت محصول	۵۷۰
تأخیر در رسیدن میوه	
افزایش وزن خشک	
بهینه‌سازی فرایند	
افزایش مواد جامد محلول	
افزایش محصول	
تغییر میزان روغن	
تغییر میزان فیتاز	
تغییر میزان پروتیین ذخیره‌ی دانه	
تغییر سوخت‌وساز نشاسته	
مقاومت در برابر جهش	
مقاومت در برابر حشرات	۴۹۲
پروتیین ضد تغذیه	
پروتیین سمّی Bt	
مقاومت در برابر قارچ‌ها	۶۲
Acetyltranslerase	
گلوکوناز	
لیزوزیم	
اسموتین	
مقاومت نسبت به ویروس	۲۴۴
Alfalfa mosaic	
Gucumber mosaic	
Papaya ringspot	

نام صفت انتقال‌یافته	آزمایش‌های مزرعه‌یی
Plum pox	
Potato leafroll	
Potato virus X	
Potato virus Y	
Rice stripe	
Soybean mosaic	
Sweet potato feathery mottle	
Tobacco etch	
Tobacco mosaic	
Tomato mosaic	
Watermelon mosaic 2	
Zucchini yellow mosaic	
سایر صفات	۱۷۲
ـ تولید مواد شیمیایی یا دارویی خاص	
انکفالین‌ها	
اسیدهای چرب	
آلبومین سرم انسانی	
قندها(مثل تکپارها و بسپارهای گرمانرم)	
واکسن‌ها(مثل هپاتیت و عفونت‌های باکتریایی)	
ـ مقاومت نسبت به باکتری‌ها	
سرکوپین	
ـ مقاومت در برابر تنش‌های غیر زیستی	
ـ ژن‌های نشانگر	
کلرامفنیکل	
جنتامایسین	
GUS	
Gucumber mosaic	
هیگرومایسین	
کانامایسین	
نئومایسین	
مانوز	
گزیلوز	

علف‌کش‌ها (۵۹۰ مورد)، افزایش کیفیت محصول (۵۷۰ مورد) و مقاومت نسبت به حشرات (۴۹۲ مورد) بارزترین صفات انتقال‌یافته در این تقسیم‌بندی هستند.[۴]

در دهه‌ی ۱۹۹۰ بیش از ۹ کشور جهان اجازه‌ی کاشت گیاهان تراریخت را ــ پس از آزمایش‌های مزرعه‌یی و کنترل‌های بسیار ــ صادر کرده‌اند. طبق آمار موجود، مناطقی که در سطح جهان زیر کشت گیاهان زراعی تراریخت رفته‌اند از ۲/۸ میلیون هکتار در سال ۱۹۹۶ به ۲۷/۸ میلیون هکتار در سال ۱۹۹۸ رسیده است.[۵] در سال ۱۹۹۶، ۵۷ درصد مناطق زراعی گیاهان تراریخت در کشورهای صنعتی و ۴۳ درصد در کشورهای در حال توسعه قرار داشته‌اند. در کشورهای صنعتی، این رقم در سال ۱۹۹۷ به ۷۵ درصد و در سال ۱۹۹۸ به ۸۴ درصد رسیده است.[۵] آمار مناطق تحت کشت گیاهان تراریخت بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ میلادی نشان می‌دهد که رشد این مناطق در کشورهای صنعتی پنج برابر کشورهای در حال توسعه بوده است. در سال ۱۹۹۸ سویا و ذرت ۸۲ درصد از سطح زیر کشت گیاهان تراریخت را به خود اختصاص داده‌اند. از نظر صفات انتقال‌یافته، مقاومت در برابر علف‌کش‌ها ۷۱ درصد، مقاومت نسبت به حشرات ۲۸ درصد، و تغییر صفات کیفی در کمتر از یک درصد گیاهان تراریخت گزارش شده‌اند.[۵] در حال حاضر، بسیاری از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و شرکت‌های فعال در زمینه‌ی زیست‌فناوری به ایجاد گیاهان زراعی تراریخت واجد صفات اقتصادی مهم، آزمایش مزرعه‌یی آن و فروش بذر قابل کشت در آنها ادامه می‌دهند.

نوآوری‌های حاصل از مهندسی مسیرهای سوخت‌وسازی

در میان پژوهش‌های مربوط به جداسازی ژن‌ها و انتقال آنها به گیاهان، ایجاد صفات جدید با استفاده از دست‌ورزی مسیرهای سوخت‌وسازی دورنمای جذابی دارند. به‌طور کلی یون‌ها، آب و... توسط گیاه جذب و در اندام‌های هوایی طی فرایند فتوسنتز (نورآمایی) به قندها، چربی‌ها، پروتیین‌ها و سایر مواد مورد نیاز گیاه تبدیل می‌شوند. مواد حاصل از طریق آوندها در بین بافت‌ها توزیع می‌شود و هر بافت این مواد را جذب و پس از تغییرات لازم مورد استفاده قرار می‌دهد. پس از به دست آمدن اطلاعات دقیق در خصوص اجزای یک مسیر سوخت‌وسازی، در دسترس داشتن ژن‌ها و فعال‌کننده‌های مورد نظر و تسلط به روش‌های تراریخت‌سازی، می‌توان کلیدهای اصلی فعال‌کننده‌ی مسیر سوخت‌وسازی را شناسایی کرد و براساس آن از گیاه به‌عنوان یک واکنشگر زیستی برای تولید ترکیبات جدید استفاده کرد. در این زمینه، تلاش‌های موفقی برای ایجاد مسیرهای سوخت‌وسازیِ کربوهیدراتیِ جدید، بدون تأثیر عمده بر روی گیاهان، انجام شده است. زیست‌ساخت (بیوسنتز) فروکتان در واکوئل سیب‌زمینی‌های تراریخت و تولید پلی‌هیدروکسی بوتیرات (PHB)[۹] در پلاستیدهای آرابیداپسیس تالیانا ازجمله‌ی این موارد است.[۶] در یک گیاه توتون تراریخت‌شده توسط ژن باکتریایی *Ubic*، میزان ۴ـ هیدروکسی‌بنزوات گلوکوزیدها[۱۰] حداقل ۱۰۰۰ برابر افزایش یافته است.[۶] اخیراً ژن رمزکننده‌ی تریپتوفان دکربوکسیلاز[۱۱] را از کاتارانتوس جدا، و به سیب‌زمینی وارد کرده‌اند. به این ترتیب، در گیاه میزبان با جهت‌دهی مجدد تریپتوفان، مخزنی از تریپتامین[۱۲] حاصل می‌شود. اگرچه گیاهان تراریخت حاصل نسبت به عفونت عوامل بیماری‌زا بسیار حساسند، این تجربه نشانگر آن است که با دست‌ورزیِ ژنتیکیِ مسیرهای سوخت‌وسازیِ سلول می‌توان تولید آلکالوئیدها و سایر فراورده‌های سوخت‌وسازی مهم ثانویه‌ی دارویی را افزایش داد.[۷]

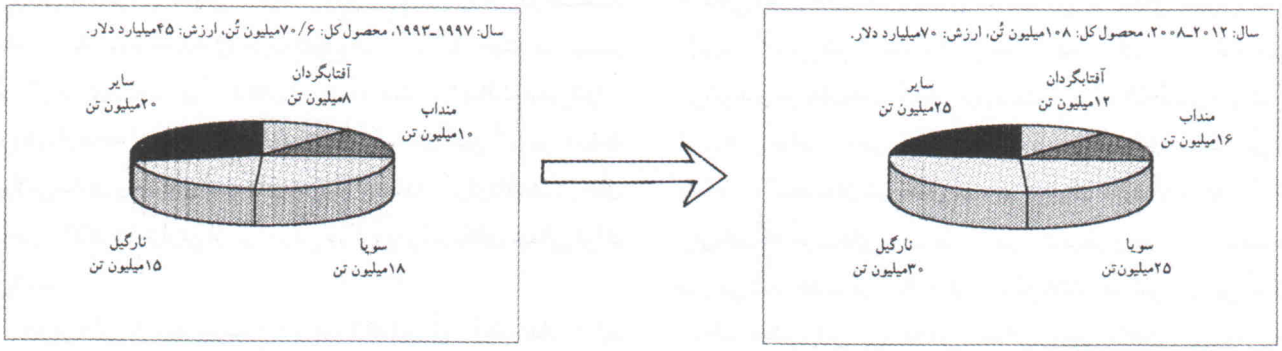
بسیاری از مسیرهای سنتز زیست‌شیمیایی مهم به ویتامین H (بیوتین) نیاز دارند. در آرابیداپسیس‌های جهش‌یافته که قادر به تولید ویتامین H نیستند، آنتوسیانین در کاسبرگ‌ها جمع می‌شوند و سطح پوست برونی فاقد موم[۱۳] است. مشکل این گیاهان در تبدیل ۷ـکتو ـ ۸ـ آمینوپلارگونیک اسید به ۸،۷ـدی آمینوپلارگونیک اسید است. جداسازی ژن رمزکننده‌ی مخمر مربوط از باکتری اشریشیاکولی (*E.Coli*) و واردکردن آن به این گیاهان موجب بازگشت گیاه جهش یافته به وضعیت عادی شد. چنین مثال‌هایی نشان می‌دهد که بین مسیرهای سوخت‌وسازی گیاهان و باکتری‌ها مشابهت‌هایی وجود دارد. این امر نویدبخش آن است که می‌توان با انتقال ژن‌ها از موجودات دیگر به گیاهان، به مهندسی مسیرهای سوخت‌وسازی پرداخت و آنها را به سوی ساخت فراورده‌های سوخت‌وسازی مورد نظر هدایت کرد.

تغییرات در سوخت‌وساز اسیدهای چرب

پس از غلات، گیاهان روغنی دومین منبع مهم تأمین کالری مورد نیاز انسان محسوب می‌شوند. افزون بر آن، گیاهان روغنی در بسیاری از صنایع نیز کاربرد دارند. سویا، زیتون، آفتابگردان و منداب چهار گیاه روغنی اصلی هستند که در مجموع ۷۲ درصد منبع تولید روغن‌های گیاهی را تشکیل می‌دهند. در میان این گیاهان، منداب به‌طور ویژه‌یی موضوع تحقیقات زیست‌فناوری بوده است. بسیاری از صفات مهمی که در تنظیم ترکیبات پروتیین یا چربی گیاه منداب نقش دارند در کنترل تعداد بسیار کمی از ژن‌ها قرار دارند.[۸] شکل ۲ پیش‌بینی تولید سالانه‌ی گیاهان روغنی را در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، ایجاد گیاهان منداب

شکل ۲ـ پیش‌بینی تولید سالانه‌ی روغن نباتی در جهان در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۹۸ـ۱۹۹۳ و ۲۰۱۲ـ۲۰۰۸ [۸]



جدول ۲ـ گونه‌های تراریخت گیاه مناداب تحت توسعه در جهان [۸]

محصول دانه‌دار	محصول صنعتی	آزمایش مزرعه‌یی اولیه	رتبه‌ی گسترشی
استئاریک ۴۰٪ (۱۸:۰)	مارگارین، کره‌ی کاکائو	۱۹۹۴	***
لوریک ۴۰٪ (۱۲:۰)	زداینده‌ها	۱۹۹۴	***
لوریک ۶۰٪ (۱۲:۰)	زداینده‌ها	۱۹۹۶	***
اولئیک ۸۰٪ (۱۸:۱)	غذاها، روغن موتور، جوهرها	۱۹۹۵	***
پتروسلینیک (۱۸:۱)	بسپارها، زداینده‌ها	۱۹۹۸(؟)	**
موم «جوجُبا»	لوازم آرایش، روغن‌های موتور	۱۹۹۶(؟)	**
میریستات ۴۰٪ (۱۴:۰)	زداینده‌ها، صابون‌ها، لوازم شخصی	۱۹۹۶	**
اوریک ۴۰٪ (۲۲:۱)	بسپارها، لوازم آرایش، جوهرها، مواد دارویی	۱۹۹۸	**
ریسینولئیک (۱۸:۱ OH-)	روغن‌های موتور، نرم‌کننده‌ها، لوازم آرایش، مواد دارویی	۱۹۹۷(؟)	**
پلی‌هیدروکسی بوتیرات	پلاستیک‌های از هم پاشنده	۱۹۹۷(؟)	**
فیتاز	غذای حیوانات	۱۹۹۴	***
مخمرهای صنعتی	تخمیر، کاغذسازی، پردازش غذا	۱۹۹۸(؟)	*
پپتیدهای نوول	مواد دارویی	۱۹۹۵	***

تراریخت‌شده که برای تولید محصولات جدید تحت آزمایش قرار گرفته‌اند، رقم عمده‌یی را تشکیل می‌دهد. طبق گزارش شرکت «کالژن»، در سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۴ افزایش میزان اسید استئاریک و اسید لوریک در گیاه مناداب ۴۰درصد بوده است که در مقایسه با میزان اسید استئاریک (۱ تا ۲ درصد) و اسید لوریک (کمتر از ۰/۱ درصد) موجود در گونه‌های وحشی افزایش چشمگیری داشته است. این گیاهان تراریخت برای هر صفت فقط یک ژن اضافی دریافت کرده‌اند. در مورد اسید لوریک انتقال یک ژن موجب خاتمه‌ی سریع زنجیره‌ی اسیدهای چرب می‌شود؛ به گونه‌یی که به جای زنجیره‌ی اسیدهای چرب ۱۸ کربنیِ طبیعی، زنجیره‌ی اسیدهای چرب ۱۲کربنی ایجاد می‌شود. اسید لوریک در تهیه‌ی صابون و سایر پاک کننده‌ها کاربرد دارد. در گونه‌هایی که میزان اسید استئاریک به ۴۰ درصد افزایش یافته است، کپی ناخواندنی[۱۴] ژن Brassica stearate desaturase به مناداب انتقال یافته است و مانع عملکرد طبیعی کپی خواندنی ژن در گیاه می‌شود؛ و به این ترتیب، اسید استئاریک به‌دلیل تبدیل‌نشدن به اسید اولئیک در گیاه جمع می‌شود. تولید چربی‌های جامد نظیر مارگارین، ازجمله مزایای این گونه‌ها نسبت به گونه‌های طبیعی است.[۸]

مناداب تراریخت با میزان بالای اسید لوریک اولین گیاه روغنی بود که با استفاده از شیوه‌های مهندسی ژنتیک تهیه و به بازار عرضه شد. خاصیت منحصر بفرد روغن حاصل از این گیاه، داشتن اسید چرب ۱۸کربنی با یک پیوند دوگانه (۱۸:۱) در موقعیت ۲ـSn بود. در صنایع غذایی، روغن حاصل از روغن‌هایی که تری آسیل گلیسرول‌های آنها به‌طور تصادفی پیوندهای دوگانه دارند برترند و از لحاظ بهداشتی نیز ارزش بیشتری دارند.[۷]

فناوری تراریخت‌سازی نه‌فقط محتوای درصدی زنجیره‌ی بلند اسیدهای چرب را افزایش می‌دهد، بلکه روغن‌هایی با طول‌های متفاوت از زنجیره‌ی اسیدهای چرب (۲۰:۱، ۲۲:۱ و ۲۴:۱) می‌سازد؛ مانند روغن حاصل از دانه‌ی روغنی کلم (HEAR[۱۵])، از گونه‌ی مناداب، که

اسید اوریک بالایی دارد، و به‌دلیل داشتن پیش‌ماده‌های تعدادی از مواد شیمیایی مخصوص صنعتی، اهمیت زیادی دارد. این روغن در صنعت، زنجیره‌ی بلندی از اسیدهای چرب دارد و عمدتاً به‌دلیل جهش در سیستم طولانی‌سازی زنجیره‌ی اسیدهای چرب در منداب، یافت نمی‌شوند. گروهی از محققان با همسانه‌سازی ژن رمزکننده‌ی این آنزیم، صفت طولانی‌سازی زنجیره‌ی اسیدهای چرب را به منداب برگرداندند. در حال حاضر سالانه ۵۰هزارتن از این روغن در اروپا و آمریکای شمالی تولید می‌شود.

روغن‌هایی با اسید چرب ۸:۰ و ۱۰:۰ که اخیراً در گیاه منداب تولید شده‌اند، ازجمله روغن‌های نباتی جدیدند که در طبیعت وجود ندارند. گونه‌ی منداب وحشی قادر به انباشتن مقدار عمده‌یی از اسیدهای چرب با زنجیره‌ی متوسط (مثل ۸:۰، ۱۰:۰، ۱۲:۰ و ۱۴:۰) نیست، اما هنگامی که تیواستراز مخصوص ۸:۰ یا ۱۰:۰ از *Cuphae hookriana* در منداب بیان می‌شود، مقدار زیادی از اسیدهای چرب ۸:۰ و ۱۰:۰ در گیاه انباشته می‌شود. اگر چه میزان انباشتگی اسیدهای چرب ۱۲:۰ و ۱۴:۰ دراین حد نیست، این امر موفقیت چشمگیری است، زیرا در هیچ گیاه طبیعی ـ اقتصادی این روغن‌ها تولید نمی‌شود.

تری‌آمین‌گلیسرول‌هایی که اسیدهای چرب ۱۰کربنی یا کمتر دارند نیز کاربردهای زیادی در استفاده‌های غذایی و صنعتی دارند. این روغن‌ها به‌راحتی هضم و جذب می‌شوند و کمتر به‌صورت چربی ذخیره در بدن ظاهر می‌شوند. آنها همچنین گلیسیرین بیشتر و کالری کمتری دارند.[۷]

چشم‌انداز مهم دیگر، استفاده از گیاهان به‌عنوان وسیله‌ی انتقال «اسیدهای چرب بلندزنجیره‌ی اشباع‌نشده»[۱۶] است. این روغن‌ها دارای اسید چرب با ۱۸تا۲۲ کربن و دو پیوند دوگانه یا بیشترند. برخی از این روغن‌ها آراشیدونیک اسید (۲۰:۴)، برخی پنتانوئیک اسید (۲۰:۵)، و برخی دیگر هگزانوئیک اسید (۲۲:۶) و پیش‌ماده‌هایی تظیر لینولئیک اسید (۱۸:۳) دارند که به مهار و درمان بیماری‌های قلبی، روماتیسم و برخی از انواع سرطان‌ها کمک می‌کنند. مسیر سوخت‌وسازی اسیدهای چرب بلندزنجیره‌ی اشباع‌نشده در جلبک‌های تک سلولی دریایی و برخی از قارچ‌ها شناسایی شده است. بزرگ‌ترین تولیدات تجاری پنتانوئیک اسید و هگزانوئیک اسید از روغن ماهی حاصل شده است اما این محصول به‌دلیل هزینه‌ی بالای فرایند تخلیص مقرون به صرفه نیست. از این رو، تولید این محصولات در روغن‌های خوراکی گیاهی ــ نظیر روغن منداب و سویا ــ چشم‌انداز مثبتی دارد، اگرچه مسیر سوخت‌وسازی پیچیده‌ی این محصولات کار سخت چند ساله و روش‌های پیشرفته‌تری می‌طلبد.[۷]

پروتیین‌ها

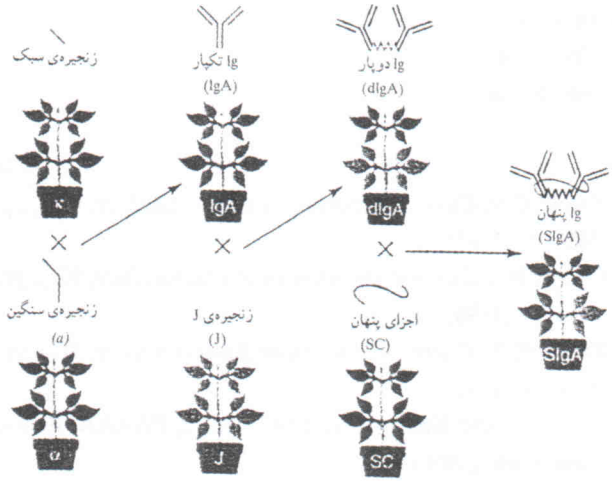
هنگامی که مشخص شد ژن‌های رمزکننده‌ی آنزیم‌های مسؤول ساخت اکتوپین[۱۷] و نوپالین[۱۸] به‌سادگی از خاک کشت باکتری وارد گیاه میزبان می‌شوند و در بافت‌های گیاهی تراریخت شده فعالانه بیان می‌شوند و آنزیم‌های حاصل به‌طور کامل عملکرد طبیعی خود را حفظ می‌کنند، محققان با استفاده از شیوه‌های مهندسی ژنتیک تولید آن دسته از گیاهان تراریخت که آنزیم‌های مورد نظر موجودات دیگر را فعالانه در بافت خود بیان می‌کنند، هدف قرار دادند. فیتاز و گزیلاناز، دو نمونه از این آنزیم‌ها بوده‌اند. حضور این آنزیم‌ها در دانه‌های روغنی باعث می‌شود که با کاهش میزان اسید فیتیک، کنجاله‌ی حاصل پس از روغن‌کشی به‌عنوان خوراک دام مورد استفاده قرار گیرد.

دستاوردهای جدیدی در تولید پروتیین‌ها در گیاهان تراریخت گزارش شده است. مثال‌هایی از این‌گونه گیاهان تراریخت عبارت‌اند از: گندم‌های تراریخت دارای گلوتنین[۱۹] با وزن مولکولی بالا برای افزایش کیفیت پخت، ساخت پروتیین‌های تائوماتین[۲۰] در سیب‌زمینی، افزایش میزان پروتیین‌های حاوی آمینواسیدهای غنی از گوگرد در شبدر و جوِ دوسر برای بهبود رشد پشم در گوسفندانی که در این مراتع چرانده می‌شوند.

استفاده از گیاهان تراریخت‌شده با روش‌های مهندسی ژنتیک، یکی از مناسب‌ترین شیوه‌های تولید انواع واکسن، پادتن و سایر پروتیین‌های دارویی است. این گیاهان به رقیب توانمندی برای سیستم‌های تولید مبتنی بر فرایند تخمیر تبدیل شده‌اند. هرچند استفاده از سیستم‌های نوترکیب سلولی برای به‌دست آوردن این محصولات معمول شده است، اما تولید انبوه به‌دلیل هزینه‌ی بالایی که صرف فناوری تخمیر و خالص‌سازی محصول می‌شود، با تنگناهای مالی همراه است و بویژه برای کشورهای در حال توسعه مشکل‌آفرین است. توانایی تولید در میزان انبوه، هزینه‌ی کم تخلیص، و در نهایت نیاز به تسهیلات کمتر ازجمله مزایای تولید پروتیین‌های نوترکیب در گیاه، به‌عنوان واکنشگر زیستی است.[۹و۱۰]

در این میان، تولید گیاهان تراریخت که در بخش خوراکی خود (میوه، غده،...) واکسن مورد نظر را ذخیره می‌کنند مورد توجه زیادی قرار گرفته است. برای مثال، می‌توان با استفاده‌ی غذایی از سیب‌زمینی‌های حاوی نوعی واکسن، سیستم ایمنی را تحریک و پاسخ‌های ایمنی تن‌آبگونه‌یی (هُمورال) و سلولی را ایجاد نمود. اخیراً بیان پادگن پوششی هپاتیت B در برگ‌های توتون گزارش شده است که با توجه به سمیت این برگ‌ها، محققان درصدد انتقال این پادگن به گیاهانی نظیر موز هستند که مصرف خوراکی دارند.[۹]

شکل ۳ـ تجمع بخش‌های مختلف ایمونوگلوبین A ترشحی: ژن‌های رمزکننده‌ی چهار پلی‌پپتید SIgA با آمیزش بین گیاهانی که هر یک دارای یکی از زنجیره‌ها هستند، در یک گیاه جمع می‌شوند. ساختمان مولکولی پادتن ایجاد شده در هریک از گیاهان در بالای آن گیاه نشان داده شده است.



در زمینه‌ی تولید پادتن‌های گیاهی نیز پیشرفت‌های چشمگیری حاصل شده است. از کوچکترین قطعه‌ی پادتن که قادر به اتصال به پادگن است تا پادتن کامل و حتی پادتن چندجزئی، به‌خوبی در گیاه تولید می‌شوند. در عمل، ژن رمزکننده‌ی هریک از اجزای پادتن به گیاه منتقل می‌شود و با آمیزش بین گیاهان تراریخت حاصل و دورگه‌گیری ژنتیکی، در نهایت گیاهی به دست می‌آید که حاوی کلیه‌ی ژن‌های مورد نیاز برای بیان یک پادتن کامل است (شکل ۳). فرایند آلایش و پردازش پادتن ایجادشده تا رسیدن به محصولی نهایی که از لحاظ زیستی فعال باشد، در سلول‌های گیاهی آسان‌تر از سیستم‌های پیش‌هسته‌یی است. نگهداری بذر گونه‌های تراریخت حاصل نیز بسیار ساده است. به‌همین دلیل توان رقابت محصولاتی که در گیاه تولید می‌شوند بیش از سایر سیستم‌های موجود است.[۱۰]

برخی از داروهای پروتیینی دیگر نیز در گیاهان تولید شده‌اند که عبارت‌اند از: اینترفرون موش، ایمونوگلوبولین، و آلبومین انسانی.[۱] با توجه به کم‌هزینه‌بودن روش تولید این داروها نسبت به روش‌های دیگر، پیش‌بینی می‌شود که در آینده شاهد گسترش بیشتر این فناوری باشیم.

کربوهیدرات‌ها

همانطور که گفته شد، تولید اولین گیاهان تنباکو و سیب‌زمینی تراریخت که قادر به تولید فروکتان هستند در سال ۱۹۹۴ به ثبت رسید. به همین ترتیب با استفاده از ژن *glgc* باکتری اشریشیاکولی میزان نشاسته در گوجه‌فرنگی و غده‌های سیب‌زمینی افزایش یافته است.

توانایی دست‌ورزی ترکیبات شیمیایی و میزان آنها در گیاهان نیز توجه دانشمندان را به خود معطوف داشته است. مثلاً مطالعات زیادی برای همسانه‌سازی ژن‌هایی که در مسیر زیست‌ساخت (بیوسنتز) لیگنین مؤثرند در حال انجام است تا بتوان میزان لیگنین را در گیاهان مختلف به‌مقدار دلخواه تغییر داد.[۱]

بسپارهای زیستی[۲۱]

انتقال ژن رمزکننده‌ی پلی‌هیدروکسی بوتیرات سنتاز از باکتری به گیاهان از جمله موفقیت‌های چشمگیری است که در پژوهش‌های دانشگاهی و بخش خصوصی دنبال می‌شود. دانشمندان اخیراً توانسته‌اند از اندامک‌های سلولی به‌عنوان جایگاه ساخت و ابراز ژن مربوط در بافت‌های گیاهی خاصی استفاده کنند.[۶] در سال ۱۹۹۶ سویه‌ی جدیدی از جلبک‌های سبز ـ آبی با استفاده از روش‌های مهندسی ژنتیک ایجاد شده است که حامل ژن رمزکننده‌ی آنزیمی است که ساخت پیش‌ماده‌ی پلی‌هیدروکسی بوتیریک اسید (نوعی پلاستیک قابل تجزیه‌ی زیستی) را بر عهده دارد. با قرارگرفتن جلبک‌ها در معرض نور، فتوسنتز فعال می‌شود و ضمن استفاده از دی‌اکسید کربن و آب، پیش‌ماده‌ی بسپار هیدروکسی بوتیرات را تولید می‌کند، به‌گونه‌یی که تحت شرایط مناسب تا بیش از ۱۰ درصد وزن خشک جلبک، پلاستیک قابل تجزیه‌ی زیستی تولید می‌شود. همچنین، با کشت این جلبک‌ها در محیط کارخانه‌ها می‌توان مانع تصاعد دی‌اکسیدکربن به جوّ زمین شد.[۱۱]

الیاف رنگی

مزرعه‌ی پنبه‌یی را تصور کنید که پوشیده از غوزه‌های آبی، قهوه‌یی، قرمز و سیاه است. این تصویری است که با استفاده از تراریخت‌سازی پنبه با ژن‌های رمزکننده‌ی رنگدانه ارائه شده است. در این وضعیت، ژن‌های مربوط را از منابع پیش‌هسته‌یی (پریوکاریوتی) و سیستم‌های هسته‌یی (یوکاریوتی) جدا، و وارد گیاه پنبه کرده‌اند. در صورت موفقیت این روش، مشکل رنگ و رو باختن پارچه‌ها پس از شستشو برطرف خواهد شد. علاوه بر آن، با حذف مرحله‌ی رنگرزی الیاف، یکی از مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های محیط زیست از صنعت نساجی حذف می‌شود.

پس از مطالعه‌یی که با استفاده از cDNA رمزکننده‌ی مخمر دهیدروژناز سینامیک الکل صورت گرفت و به ایجاد رنگ قرمز منجر شد، پژوهشگران طرح چوب‌های جنگلی را پیشنهاد کرده‌اند که با استفاده از روش‌های مهندسی ژنتیک به رنگ دلخواه درمی‌آیند. رز آبی نیز از محصولات جدیدی است که کنترل رنگ گل را به تفکری تحقق‌یافتنی نزدیک کرده است.[۱]

نتیجه گیری

استفاده از گیاهان به عنوان واکنشگر زیستی به کمک روش‌های مهندسی ژنتیک برای تولید انبوه مواد مورد نیازی که ممکن است حتی در طبیعت وجود نداشته باشند توجه پژوهشگران را به‌طور روزافزونی به خود جلب کرده است. بیان ژن‌های بیگانه به میزان و کیفیت مناسب، و ارزان تمام‌شدن این فرایند در گیاه نسبت به سایر سیستم‌های موجود، از عوامل اصلی این توجه بوده است. به‌همین منظور تلاش‌های گسترده‌یی در جریان است تا با رفع کاستی‌ها، بهترین محصول در دسترس مصرف‌کنندگان قرار گیرد. مسائلی چون بیان ژن بیگانه در سطح بالا و اثرهای آن بر فیزیولوژی و رشد و نموّ گیاه میزبان بویژه در مراحل بذردهی، جوانه‌زنی و عملکرد گیاه، تأثیر گیاه تراریخت بر سایر گیاهان و بر کل اکوسیستم، و....به بررسی‌های بیشتری نیاز دارند.

پانوشت‌ها

1. endogenous
2. vector
3. selection markers
4. transpositons
5. cloning
6. metabolic process
7. expressed sequence
8. Colza (گیاه‌شناسی)
9. poly hydroxy Butirate
10. 4-hydroxybenzoate glucosides
11. tryptophane decarboxylase
12. tryptamine
13. Wax
14. antisense
15. High Euric Acid Rapeseed
16. poly unsaturated fatty acid
17. Octopin
18. Nopalin
19. Glutenin
20. Thaumatin
21. biopolymers

منابع

1. Knauf, C.V. *Current Opinion in Biotechnology*, **6**(2), pp. 165-170 (1995).
2. Gelvin, B.S. *Current Opinion in Biotechnology*, **9**(2), pp. 227-232 (1998).
3. Smirnoff, N. *Current Opinion in Biotechnology*, **9**(2), pp. 214-219 (1998).
4. James, C., and Krattiger. *ISAAA Briefs*, **1**, ISSAAA. Ithaca, New York, (1996).
5. James, C. *ISAAA Briefs*, **8**, ISSAAA. Ithaca, New York, (1998).
6. Herberts K., and Sonnewals U. *Trends in Biotechnology*, **14**, pp. 198-205 (1996).
7. Yuan L. and Knauf C.V. *Current Opinion in Biotechnology*, **8**, pp. 227-233 (1997).
8. Murphy, J.D. *Trends in Biotechnology*, **14**, pp. 206-213 (1996).
9. Mason, S.H., and Amtzen, J.C. *Trends in Biotechnology*, **13**, pp. 388-392 (1995).
10. Julian, K.C., and Hein, M.B. *Trends in Biotechnology*, **13**, pp. 522-527 (1995).
11. بولتن بیوتکنولوژی، دفتر بررسیها و مطالعات علمی-صنعتی ریاست جمهوری: مرکز مطالعات بیوتکنولوژی. شماره ۱۷، ۱۳۷۷.