

Wybrane aspekty stosowania organizmów genetycznie zmodyfikowanych w żywieniu zwierząt gospodarskich i medycynie weterynaryjnej

ZBIGNIEW SIERADZKI, MAŁGORZATA MAZUR, KRZYSZTOF KWIATEK

Zakład Higieny Pasz, Państwowy Instytut Weterynaryjny – Państwowy Instytut Badawczy,
Al. Partyzantów 57, 24-100 Puławy

Otrzymano 24.04.2014

Zaakceptowano 23.05.2014

Sieradzki Z., Mazur M., Kwiatek K.

Selected aspects of usage of genetically modified organisms in livestock feeding and veterinary medicine

Summary

Genetically modified organisms are those in which the genome has been changed by the application of genetic engineering techniques in order to elicit desired properties. Currently, transgenic plants being grown for food and feed purposes are resistant to herbicides, insect pests or diseases. In the future, genetic engineering will serve to enrich feed and food in respect to desirable nutrients. Recent studies have described the ability to control the qualitative and quantitative composition of fatty acids in vegetable oils, the composition of deficient amino acids in cereals and other forage crops, or enrich plants in an easily accessible phosphorus for monogastric animals. Genetic engineering of plants may also allow for the production of vaccines and immunization of animals with plants along with the administered feed. Conducted experimental work indicates the possibility of the production of vaccines, specific proteins or other types of pharmaceutical relevance in veterinary medicine in plant tissue.

Keywords: genetically modified plants, feed, vaccines

Postęp w produkcji rolnej ukierunkowany jest na uzyskiwanie większych plonów przy mniejszym nakładzie środków produkcyjnych lub na produkcję żywności o korzystniejszych walorach smakowych czy zdrowotnych. W niedalekiej przyszłości należy się spodziewać większej rywalizacji pomiędzy różnymi kierunkami wykorzystywania ziemi na takie cele, jak: uprawa roślin do produkcji pasz i żywności, produkcja biopaliw, włókien i innych materiałów stosowanych w przemyśle czy przeznaczanie ziemi pod zabudowę mieszkaniową i infrastrukturę. Dysproporcje pomiędzy wymienionymi kierunkami zagospodarowania pogłębiane będą w przyszłości przez szybko wzrastającą liczbę ludności na świecie, a tym samym większe potrzeby żywnościowe, dlatego też już teraz często poruszanym zagadnieniem jest zwiększenie produkcji rolnej w celu zaspokojenia przyszłych potrzeb paszowych i żywnościowych. Przykładem podobnego procesu z historii jest zielona rewolucja, gdzie zastosowanie nawozów sztucznych w rolnictwie przyczyniło się do ogromnego wzrostu produkcji rolnej. Zastosowanie w produkcji rolnej roślin genetycznie zmodyfikowanych (roślin GM) porównywane jest

z wprowadzeniem nawozów sztucznych, ponieważ skala zmian jakościowych i wzrostu produkcji rolnej jest porównywalna. Stosowane w przyszłości rośliny uprawne powinny gwarantować uzyskiwanie wysokich plonów przy niskim nakładzie środków produkcyjnych, efektywne korzystanie z zasobów naturalnych, optymalne wykorzystanie potencjału genetycznego dla wysokosprawnej fotosyntezy, niską zawartość substancji niepożądanych oraz jak najwyższą zawartość składników odżywczych o możliwie jak najkorzystniejszym składzie jakościowym i ilościowym (13). Takiemu zadaniu sprostać może inżynieria genetyczna stosowana do projektowania nowych odmian roślin uprawnych.

Pierwsze komercyjne uprawy roślin genetycznie zmodyfikowanych zarejestrowano w 1996 r. Obserwowany od tego czasu wzrost areału upraw organizmów genetycznie zmodyfikowanych (GMO) wynosi kilkanaście procent w skali roku. Według raportu agencji ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application), powierzchnia upraw roślin transgenicznych w 2013 r. na świecie wynosiła 175,2 mln ha (11,7% gruntów ornych na świecie),

a taką formą uprawy zajmowała się rekordowo wysoka jak dotąd liczba rolników (18 mln gospodarstw) z 27 krajów (21). Dla porównania: powierzchnia Polski to 31 mln ha, prawie sześciokrotnie mniej. Dominującą pozycję wśród krajów, w których uprawia się GMO, zajmują od wielu lat Stany Zjednoczone (70,1 mln ha), w dalszej kolejności: Brazylia (40,3 mln ha), Argentyna (24,4 mln ha), Indie (11,1 mln ha) i Kanada (10,8 mln ha). Państwa członkowskie Unii Europejskiej, na których terenie uprawia się rośliny transgeniczne na łącznym obszarze 148 013 ha, to (w kolejności malejącego arealu): Hiszpania, Portugalia, Czechy, Rumunia i Słowacja z uprawami zmodyfikowanej kukurydzy Bt (linii MON810). W Hiszpanii uprawia się około 92% produkcji roślin GMO w Europie. Największą część terenu przeznaczoną pod uprawę roślin genetycznie zmodyfikowanych na świecie zajmuje od wielu lat soja (ponad 84,5 mln ha), następnie kukurydza (ponad 57,4 mln ha), bawełna (około 23,9 mln ha) i rzepak (około 8,2 mln ha). Najczęściej uprawianymi roślinami GM są odmiany odporne na herbicydy (blisko 100 mln ha), następnie odmiany posiadające dwie lub trzy skumulowane cechy (około 47,1 mln ha; 27%) oraz rośliny odporne na działanie szkodników (około 27 mln ha). W ostatnich latach rośnie znaczenie roślin posiadających dwie lub trzy skumulowane cechy, a maleje udział odmian z odpornością na działanie szkodników. Omawiane powyżej przykłady roślin genetycznie zmodyfikowanych zaliczane są do pierwszej generacji GMO, gdzie zmiany wywołane transgenezą obejmują wegetatywne części roślin. Rezultatem takich modyfikacji jest poprawa cech agronomicznych poprzez wprowadzenie odporności na szkodniki, środki ochrony roślin lub skumulowanie obu cech w jednym organizmie zmodyfikowanym genetycznie.

Kontrowersje związane z GMO

Uprawy transgenicznych roślin na cele paszowe i do produkcji żywności, a także doświadczenia genetyczne nad zwierzętami hodowanymi budzą wiele kontrowersji. Temat stosowania GMO, jako paszy i żywności, jest nieustannie poruszonym zagadnieniem w odniesieniu do bezpieczeństwa ludzi oraz zwierząt. Z tego też powodu w Unii Europejskiej, w celu zapewnienia konsumentom wyboru pomiędzy żywnością lub paszą zmodyfikowaną genetycznie a ich tradycyjnymi odpowiednikami, stosuje się procedury oceny bezpieczeństwa GMO, rejestrację GMO do obrotu na terenie UE, monitorowanie rynku na obecność takich towarów oraz kontrolę prawidłowego oznakowania produktów zawierających organizmy genetycznie zmodyfikowane. Niskie zaufanie do urzędów sprawujących kontrolę nad żywnością i paszami w całej UE oraz do danych naukowych na temat bezpieczeństwa roślin genetycznie zmodyfikowanych jest wynikiem m.in. braku dostatecznej wiedzy społeczeństwa z zakresu biotechnologii, przypadków fałszowania żywności

oraz występowania przypadków włączania do łańcucha produkcji pasz i żywności substancji szkodliwych. W literaturze naukowej można znaleźć szereg opracowań dotyczących doświadczalnego żywienia zwierząt paszami genetycznie zmodyfikowanymi i opisujących wpływ GMO na status zdrowotny zwierząt, parametry produkcyjne oraz bezpieczeństwo żywności pochodzenia zwierzęcego (42, 47, 48). Podsumowanie takich badań można prześledzić również w dostępnych wielu opracowaniach przeglądowych (2, 9, 12, 32, 43). Zdecydowana większość tych prac wskazuje na równoważność składnikową GMO i ich tradycyjnych odpowiedników oraz bezpieczeństwo pasz i żywności pochodzących z roślin genetycznie zmodyfikowanych. Nieliczne prace przytaczające wyniki badań wskazujące na szkodliwość GMO opierają się bardzo często na błędnych założeniach doświadczalnych, niewłaściwym procesie oceny GMO bądź na formułowaniu niepotwierdzonych wynikami wniosków (41).

Przyszłość modyfikacji genetycznych roślin

W przyszłości należy się spodziewać wprowadzania do uprawy roślin o zmienionym składzie jakościowym i ilościowym składników odżywczych, roślin o zwiększonej odporności na stres biotyczny wywołany suszą, niskimi lub wysokimi temperaturami, zasoleniem gleb itp. Przykładami modyfikacji roślin zaliczanych do drugiej generacji GMO są rośliny o zmienionym profilu jakościowym i ilościowym ważnych składników odżywczych w częściach generatywnych roślin. Modyfikacje prowadzone w tym kierunku dotyczą m.in. zwiększenia poziomu niedoborowych składników odżywczych, np. ważnych, egzogennych aminokwasów w białku.

W przypadku ziarna zbóż prowadzono badania mające na celu podniesienie zawartości lizyny i tryptofanu, a w nasionach roślin motylkowych metioniny (49). Rezultatem tych modyfikacji jest zdecydowanie lepsze zbilansowanie składu aminokwasowego mieszanek paszowych, na przykład: zmieniony profil aminokwasowy kukurydzy linii LY038 charakteryzuje wyższy o 40% poziom zawartości lizyny w porównaniu do kukurydzy linii rodzicielskiej, niemodyfikowanej genetycznie (29). W doświadczeniu na drobiu Lucas i wsp. (29) wykazali, że kurczęta żywione kukurydzą GM osiągały wyższy przyrost masy ciała i lepiej wykorzystywały paszę w porównaniu z grupą kontrolną. Dopiero suplementacja lizyny w paszy grupy kontrolnej pozwalała na zniwelowanie takich różnic. Innym przykładem są rośliny, u których dokonano zmiany w obrębie składu tłuszczu. Przykładem modyfikacji tłuszczu w roślinach o znaczeniu paszowym jest kukurydza (27, 37) o zwiększonej zawartości oleju w ziarnie. Stosowanie takiej kukurydzy pozwolić może nie tylko na ograniczenie natłuszczenia pasz, ale ponadto kukurydza GM opisana w przytoczonych publikacjach charakteryzowała się zwiększoną zawartością białka i niektórych aminokwasów. Otrzymywać można w ten

sposób również oleje roślinne o zaprojektowanym składzie kwasów tłuszczowych, np. olej rzepakowy o zwiększonej zawartości kwasu laurynowego i gamma linolenowego. W odniesieniu do żywienia zwierząt opisywane doświadczenia nie mają jak dotąd dużego znaczenia, jednak należy zaznaczyć, że śruty nasion roślin oleistych są wykorzystywane bardzo często w produkcji pasz i choćby z tego względu należy wykonać ocenę bezpieczeństwa ich stosowania. Doświadczenia żywieniowe z transgenicznym rzepakiem (4) i soją (31) o zmienionym profilu kwasów tłuszczowych wykazały, że nie mają one istotnego wpływu na wskaźniki produkcyjne, zdrowotne i poubojowe zwierząt gospodarskich.

Ważnym elementem jest również przyswajanie z paszy fosforu przez zwierzęta gospodarskie. Rośliny magazynują fosfor głównie w postaci fitynianów, soli kwasu fitynowego, które w przewodzie pokarmowym zwierząt monogastrycznych są trawione w niewielkim stopniu, dlatego też fityniany zawarte w odchodach świń i drobiu są obecnie w rolnictwie głównym źródłem zanieczyszczenia środowiska fosforem. Pasza dla zwierząt monogastrycznych wymaga zbilansowania jej składu przyswajalną formą fosforu paszowego lub poprzez dodatek fitazy, enzymu, który rozkłada wiązania fitynowe. W rozwiązaniu tego problemu pomocne są również rozwiązania możliwe dzięki zastosowaniu inżynierii genetycznej roślin, pozwalające na zwiększenie w roślinach poziomu fosforu niefitynowego lub produkcję fitazy w roślinach GM wykorzystywanych na cele paszowe. Spencer i wsp. (44, 45) opisali doświadczenie na tucznikach z wykorzystaniem kukurydzy o zwiększonej zawartości fosforu niefitynowego, wskazując na możliwość zastąpienia nieorganicznych źródeł fosforu przez transgeniczną kukurydzę, bez negatywnego wpływu na wskaźniki produkcyjne i poubojowe. Podobne badania dotyczyły zastosowania takiej kukurydzy w żywieniu drobiu (14), a ponadto soi i jęczmienia o niskiej zawartości fosforu fitynowego i podwyższonego poziomu fosforu dostępnego w doświadczeniach na świniach (18, 39, 50). Innym wspomnianym kierunkiem modyfikacji roślin w celu rozwiązania tego problemu jest wprowadzanie do genomu roślin genów kodujących produkcję enzymu fitazy. Opisane w publikacjach modyfikacje genem fitazy dotyczyły m.in. kukurydzy (7, 33, 34), soi (8), rzepaku (59) i ryżu (19). Wyniki powyższych doświadczeń wskazują na możliwość zastąpienia fitazy z hodowli mikrobiologicznych enzymem produkowanym bezpośrednio w roślinach przeznaczonych do żywienia zwierząt.

Kolejnym przykładem transgenezy roślin w bardzo podobnych celach są prace mające na celu nadekspresję peroksydazy manganowej w kukurydzy. Taki zabieg pozwoliłby na zwiększenie strawności włókna paszy poprzez degradację lignin. Natomiast produkcja ksylanazy w roślinach umożliwiłaby zaniechanie produkcji tego enzymu przy udziale bakterii i redukcję

kosztów (24). Rośliny GMO z ekspresją ksylanazy w tkankach, produkowane na cele paszowe, same w sobie gwarantowałyby wzrost strawności składników pokarmowych paszy. Ze względu na fakt, że większość omawianych rozwiązań pozostaje w fazie doświadczalnej, dominującą rolą w masowej produkcji enzymów w dalszym ciągu odgrywa zastosowanie mikroorganizmów genetycznie zmodyfikowanych, trudno jest jednak znaleźć informację na etykietach produktów, jaką metodą zostały wyprodukowane. Zastosowanie technik inżynierii genetycznej w produkcji enzymów stosowanych jako dodatki paszowe jest powszechne, a docelowi klienci bardzo często nie mają wiedzy, że korzystają z produktu wyprodukowanego przez GMO.

Rośliny GMO jako biofabryki

Oprócz modyfikacji genetycznych mających na celu modelowanie składu i jakości odżywczej pasz z roślin GM prowadzone są również doświadczenia nad syntezą specyficznych, zazwyczaj obcych gatunkowo substancji chemicznych, obejmujących m.in. przeciwciała, szczepionki roślinne, farmaceutyki weterynaryjne czy dodatki paszowe (17, 38, 51, 54). Z punktu widzenia hodowców zwierząt szczególne znaczenie mogą mieć szczepionki produkowane w roślinach transgenicznych jako element prewencji weterynaryjnej.

Jak dotąd, pomimo postępu w technologii, większość komercyjnie stosowanych szczepionek działa na tej samej pierwotnej zasadzie jako atenuowane lub zabite patogeny, jednakże postęp w tej dziedzinie jest duży, osiągnięty dzięki rozwojowi zaawansowanej biotechnologii, immunologii i głębszemu zrozumieniu wielu procesów patogenez. Rosnąca liczba laboratoriów zajmuje się w ostatnich czasach opracowywaniem i rozwojem technologii produkcji szczepionek przez rośliny GMO, a pierwszy raz ta idea przedstawiona została przez Mason i wsp. (30). Niski koszt upraw, wysoka ilość biomasy, relatywnie szybki czas uzyskiwania dużych ilości protein i niskie nakłady na produkcję powodują, że produkcja oparta na roślinach w dużej skali może być łatwiejsza i tańsza. Ponadto rośliny są zdolne do potranslacyjnej modyfikacji białek jak organizmy eukariotyczne. Kolejną ważną z praktycznego punktu widzenia zaletą szczepionek roślinnych jest podawanie ich zwierzętom w postaci paszy, co zwiększa prawdopodobieństwo odpowiedzi immunologicznej błon śluzowych w miejscu możliwych infekcji oraz redukuje znacząco koszt produkcji w wyniku braku konieczności izolacji i oczyszczania farmaceutyku. Wiąże się to jednak z koniecznością zastosowania dużych dawek antygeny w porównaniu do podawania pozajelitowego. Podawanie szczepionek jako składników pasz może niekiedy być również niewskazane ze względu na możliwość niekontrolowanego wprowadzenia ich do łańcucha żywieniowego. W takich przypadkach wykorzystywane mogą być rośliny modelowe lub uprawiane na cele inne niż żywność i pasze, jak np. tytoń.

Szczepionka roślinna podawana w paszy powinna zachowywać swoje właściwości w środowisku przewodu pokarmowego, stymulować odpowiedź immunologiczną śluzówki jelita oraz chronić organizm zwierzęcia przed chorobą. Wyróżnić można trzy główne kierunki transgenezy roślin w celu produkcji rekombinowanych szczepionek, a mianowicie: trwała transformacja genomu w jądrze komórkowym, trwała transformacja genomu w chloroplastach oraz zakażenia wirusowym materiałem genetycznie zmodyfikowanym. Trwała transformacja pozwala na dziedziczenie cechy przez kolejne generacje roślin, natomiast zakażenia wirusem GM należy każdorazowo powtarzać. Często stosowaną techniką jest również agrofiltracja, która polega na wtłaczaniu do tkanek roślinnych zmodyfikowanych bakterii *Agrobacterium*, wywołanej tym produkcji nowych protein w materiale roślinnym i ich finalnej izolacji z tkanek. Przykłady produkcji szczepionek w roślinach opisano dla wielu gatunków (15, 22, 56), m.in. dla kukurydzy (46), ryżu (55), ziemniaków (28), pomidorów (36), tytoniu (40), w tym tych przeznaczonych wyłącznie do produkcji pasz, jak koniczyna (20) czy lucerna (10).

GMO w immunoprofilaktyce weterynaryjnej

Doświadczalnie wykazano już, że roślinne szczepionki weterynaryjne wywoływały odpowiedź immunologiczną śluzówki jelit w kierunku toksyn, wirusów, bakterii i pasożytów. Jakkolwiek nie ma jeszcze na rynku szczepionek tego typu, to szczepionka przeciwko rzekomemu pomorowi drobiu, opracowana przez firmę Dow AgroSciences, otrzymała pozytywną opinię Departamentu Rolnictwa w USA. Wirus choroby Newcastle był często badany w kontekście opracowywania szczepionek weterynaryjnych produkowanych przez rośliny genetycznie zmodyfikowane. Materiał genetyczny kodujący glikoproteiny z otoczki wirusa włączano do genomu wielu gatunków roślin, takich jak: ziemniaki (3), tytoń (17), kukurydza (16) i ryż (58). W doświadczeniu na świniach z kukurydzą produkującą białko S zakaźnego zapalenia żołądka i jelit u świń (26, 46) wykazano, że transgeniczna kukurydza pozwala na odpowiedź immunologiczną na poziomie zapobiegającym rozwojowi choroby u zwierząt. W badaniach 50% grupy prosiąt żywionych kukurydzą GM wykazywało symptomy choroby, w porównaniu do 78% dla grupy szczepionej tradycyjną szczepionką i 100% dla grupy bez szczepień. Całkowity brak symptomów pryszczycy u świń szczepionych zmodyfikowanym wirusem roślinnym, zawierającym białko VPI wirusa pryszczycy opisali Yang i wsp. (57). Jako roślinę produkującą szczepionkę zastosowano w tym doświadczeniu komosę ryżową, zainfekowaną wirusem mozaiki bambusa z białkiem VPI pryszczycy. Inną jednostką chorobową świń, dla której z powodzeniem zastosowano szczepionki pochodzące z roślin genetycznie zmodyfikowanych, była epidemiczna biegunka świń (PEDV). Zneutralizowany epitop wirusa PEDV

z powodzeniem poddany został ekspresji w tytoniu (1, 23), ziemniakach (25) i ziarnie ryżu (35). Bae i wsp. (1) wykazali, że podanie *per os* antygenów produkowanych przez tytoń wywoływało specyficzną dla wirusa PEDV odpowiedź immunologiczną u myszy.

Doświadczenia nad szczepionkami roślinnymi przeprowadzano również u bydła, badając możliwość immunizacji przeciwko pryszczycy. Szczepionkę w tym przypadku stanowiło białko VP1 wirusa pryszczycy wprowadzone do genomu roślinnego poprzez wirusa roślinnego. Ekspresję tego białka wykazano u takich gatunków roślin, jak: *Arabidopsis* (5), bulwy ziemniaków (6) i liście lucerny (11, 52). Sukcesem zakończyły się również badania nad możliwością szczepień bydła przeciwko rotawirusom (53). Jako antygen wybrano w tym przypadku białko VP4 rotawirusa, które podawano ekspresji w lucernie. Lucerna zmodyfikowana genetycznie przez wirus mozaiki tytoniu, przenoszący informację genetyczną białka gD herpeswirusa, wykazywała również właściwości szczepionki dla bydła w doświadczeniu Perez Figueira i wsp. (38).

W doświadczeniu na kurczętach rzeźnych Wu i wsp. (55) wykazali 80% skuteczność szczepień przeciw zakaźnemu zapaleniu torby Fabrycjusza (IBD) poprzez zastosowanie ryżu genetycznie zmodyfikowanego, zawierającego w ziarnie białko VP2 wirusa IBD, udoskonalając i modyfikując opracowaną wcześniej technologię szczepionki roślinnej przeciw IBD (54). Szczepionkę przeciwko wirusowemu zakaźnemu zapaleniu oskrzeli (IBV) opracowali Zhou i wsp. (60). Wywołali oni ekspresję wirusowej glikoproteiny S1 w bulwach ziemniaków. Kurczęta, którym trzy razy dziennie przez dwa tygodnie podawano skrojone bulwy ziemniaków w paszy, ekspozycję następnie na działanie wirusa IBV. Zwierzęta immunowane szczepionką z ziemniaków transgenicznych produkowały specyficzne dla wirusa IBV przeciwciała i nie ulegały infekcji tą jednostką chorobową. Prowadzono również doświadczenia nad produkcją wydzielniczych immunoglobulin kurzych sIgA w tytoniu w celu ochrony przed pierwotniakami *Eimeria* powodującymi kokcydiozę (51). Opisano molekularną charakterystykę czterech monomerów SiGa kurzego (IgA immunoglobulina o ciężkich i lekkich łańcuchach, łańcucha J i fragment wydzielniczy), co pozwala na rekombinowanie i dużą skalę produkcji kurzego SiGa oraz pasywną immunizację drobiu. Przeciwciała produkowane w roślinach wykazywały istotne różnice w poziomie ekspresji. W rezultacie badań udało się zespołowi badawczemu uzyskać koekspresję wszystkich kurzych immunoglobulin IgA w liściach rośliny *N. benthamiana* z rodzaju tytoń (51).

Immunizacja drogą oralną stad zwierząt gospodarskich z wykorzystaniem pojedynczych szczepionek wymaga dużej skali produkcji tych antygenów, jednakże niski poziom ekspresji w tkankach roślinnych pozostaje jedną z głównych przeszkód stosowania roślin transgenicznych do produkcji szczepionek weterynaryjnych.

ryjnych i stosowanych w medycynie ludzkiej. Wysoki poziom ekspresji w tkankach roślinnych jest tak samo ważny, jak stosowanie właściwej dawki podawanej w ten sposób z paszą oraz ekonomiczność procesu izolacji i oczyszczania antygenów produkowanych dotychczasowym sposobem. Tylko część badań z tego zakresu podnosi problem właściwej dawki szczepionki podawanej w roślinach genetycznie zmodyfikowanych będących składnikiem paszy. Jest to jednak znaczący problem i istnieje potrzeba opracowania technologii produkcji szczepionek roślinnych o optymalnej ilości antygenów w celu właściwej immunizacji zwierząt. Należy również zwrócić uwagę na produkcję szczepionek w roślinach niestosowanych w produkcji żywności, aby zwiększyć tym samym akceptację dla tego typu modyfikacji genetycznych roślin wśród szerokiego grona przeciwników GMO.

Podsumowanie

Stosowanie organizmów genetycznie zmodyfikowanych w produkcji pasz i żywności jest powszechną praktyką na całym świecie. Nie ogranicza się to do transgenicznnych roślin uprawnych, ale GMO stosuje się również do produkcji wielu dodatków paszowych, dodatków do żywności, witamin, enzymów, związków biologicznie czynnych czy suplementów diety. Jest to dopiero początek rozwoju tej technologii w rolnictwie i w przyszłości należy spodziewać się szeregu innych zastosowań modyfikacji genomu roślin lub zwierząt. Prowadzone już obecnie prace doświadczalne wskazują na możliwości produkcji szczepionek, specyficznych białek czy innego rodzaju farmaceutyków mających znaczenie w medycynie i weterynarii. Tak duży rozwój wiedzy i możliwości z tego wynikających wzbudza oczywiście obawy, co do bezpieczeństwa dla zdrowia i życia zwierząt oraz ludzi. Jednakże zawsze postęp i nowe wynalazki budzą różnego rodzaju wątpliwości, dlatego też nie powinny być one przyczyną rezygnacji czy też zaniechania prac nad rozwojem i udoskonalaniem tej technologii.

Piśmiennictwo

- Bae J. L., Lee J. G., Kang T. J., Jang H. S., Jang Y. S., Yang M. S.: Induction of antigen-specific systemic and mucosal immune responses by feeding animals transgenic plants expressing the antigen. *Vaccine*. 2003, 21, 4052-4058.
- Bartholomaeus A., Parrott W., Bondy G., Walker K.: ILSI International Food Biotechnology Committee Task Force on Use of Mammalian Toxicology Studies in Safety Assessment of GM Foods. The use of whole food animal studies in the safety assessment of genetically modified crops: limitations and recommendations. *Crit. Rev. Toxicol.* 2013, 43, 1-24.
- Berinstein A., Vazquez-Rovere C., Asurmendi S., Gomez E., Zanetti F., Zabal O., Tozzini A., Conte Grand D., Taboga O., Calamante G., Barrios H., Hopp E., Carrillo E.: Mucosal and systemic immunization elicited by Newcastle disease virus (NDV) transgenic plants as antigens. *Vaccine*. 2005, 23, 5583-5589.
- Bohme H., Rudloff E., Schone F., Schumann W., Huther L., Flachowsky G.: Nutritional assessment of genetically modified rapeseed synthesizing high amounts of mid-chain fatty acids including production responses of growing-finishing pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 2007, 61, 308-316.
- Carrillo C., Wigdorovitz A., Oliveros J. C., Zamorano P. I., Sadir A. M., Gomez N., Salinas J., Escribano J. M., Borca M. V.: Protective immune response to foot-and-mouth disease virus with VP1 expressed in transgenic plants. *J. Virol.* 1998, 72, 1688-1690.
- Carrillo C., Wigdorovitz A., Trono K., Dus Santos M. J., Castanon S., Sadir A. M., Ordas R., Escribano J. M., Borca M. V.: Induction of a virus-specific antibody response to foot and mouth disease virus using the structural protein VP1 expressed in transgenic potato plants. *Viral Immunol.* 2001, 14, 49-57.
- Chen R., Zhang C., Yao B., Xue G., Yang W., Zhou X., Zhang J., Sun C., Chen P., Fan Y.: Corn seeds as bioreactors for the production of phytase in the feed industry. *J. Biotechnol.* 2013, 165, 120-126.
- Denbow D. M., Grabau E. A., Lacy G. H., Kornegay E. T., Russell D. R., Umbeck P. F.: Soybeans transformed with a fungal phytase gene improve phosphorus availability for broilers. *Poultry Sci.* 1998, 77, 878-881.
- Domingo J. L., Gine Bordonaba J.: A literature review on the safety assessment of genetically modified plants. *Environ. Int.* 2011, 37, 734-742.
- Dus Santos M. J., Carrillo C., Ardila F., Rios R. D., Franzone P., Piccone M. E., Wigdorovitz A., Borca M. V.: Development of transgenic alfalfa plants containing the foot and mouth disease virus structural polyprotein gene P1 and its utilization as an experimental immunogen. *Vaccine*. 2005, 23, 1838-1843.
- Dus Santos M. J., Wigdorovitz A., Trono K., Rios R. D., Franzone P. M., Gil F., Moreno J., Carrillo C., Escribano J. M., Borca M. V.: A novel methodology to develop a foot and mouth disease virus (FMDV) peptide-based vaccine in transgenic plants. *Vaccine*. 2002, 20, 1141-1147.
- Flachowsky G., Aulrich K., Bohme H., Halle I.: Studies on feeds from genetically modified plants (GMP) – Contributions to nutritional and safety assessment. *Anim. Feed Sci. Tech.* 2007, 133, 2-30.
- Flachowsky G., Schafft H., Meyer U.: Animal feeding studies for nutritional and safety assessments of feeds from genetically modified plants: a review. *J. Verbr. Lebensm.* 2012, 7, 179-194.
- Gao C., Ma Q., Zhao L., Zhang J., Ji C.: Effect of Dietary Phytase Transgenic Corn on Physiological Characteristics and the Fate of Recombinant Plant DNA in Laying Hens. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 2014, 27, 77-82.
- Guan Z. J., Guo B., Huo Y. L., Guan Z. P., Dai J. K., Wei Y. H.: Recent advances and safety issues of transgenic plant-derived vaccines. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2013, 97, 2817-2840.
- Guerreiro-Andrade O., Loza-Rubio E., Olivera-Flores T., Fehérvári-Bone T., Gómez-Lim M. A.: Expression of the Newcastle disease virus fusion protein in transgenic maize and immunological studies. *Transgenic Res.* 2006, 15, 455-463.
- Hahn B. S., Jeon I. S., Jung Y. J., Kim J. B., Park J. S., Ha S. H., Kim K. H., Kim H. M., Yang J. S., Kim Y. H.: Expression of hemagglutinin-neuraminidase protein of Newcastle disease virus in transgenic tobacco. *Plant Biotechnol. Rep.* 2007, 1, 85-92.
- Hill B. E., Sutton A. L., Richert B. T.: Effects of low-phytic acid corn, low-phytic acid soybean meal, and phytase on nutrient digestibility and excretion in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 2009, 87, 1518-1527.
- Hong C. Y., Cheng K. J., Tseng T. H., Wang C. S., Liu L. F., Yu S. M.: Production of two highly active bacterial phytases with broad pH optima in germinated transgenic rice seeds. *Transgenic Res.* 2004, 13, 29-39.
- Huang L. K., Liao S. C., Chang C. C., Liu H. J.: Expression of avian reovirus sigmaC protein in transgenic plants. *J. Virol. Methods* 2006, 134, 217-222.
- James C.: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2013, Executive Summary. ISAAA Briefs, 2013, 46.
- Joensuu J., Niklander-Teeri V., Brandle J. E.: Transgenic plants for animal health: plant-made vaccine antigens for animal infectious disease control. *Phytochem. Rev.* 2008, 7, 553-577.
- Kang T. J., Seo J. E., Kim D. H., Kim T. G., Jang Y. S., Yang M. S.: Cloning and sequence analysis of the Korean strain of spike gene of porcine epidemic diarrhea virus and expression of its neutralizing epitope in plants. *Protein Expr. Purif.* 2005, 41, 378-383.
- Kim S., Kim Y. O., Lee Y., Choi I., Joshi C. P., Lee K., Bae H. J.: The transgenic poplar as an efficient bioreactor system for the production of xylanase. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2012, 76, 1140-1145.
- Kim Y. S., Kang T. J., Jang Y. S., Yang M. S.: Expression of neutralizing epitope of porcine epidemic diarrhea virus in potato plants. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 2005, 82, 125-130.
- Lamphear B. J., Streatfield S. J., Jilka J. M., Brooks C. A., Barker D. K., Turner D. D., Delaney D. E., Garcia M., Wiggins B., Woodard S. L., Hood E. E., Tizard I. R., Lawhorn B., Howard J. A.: Delivery of subunit vaccines in maize seed. *J. Control. Release.* 2002, 85, 169-180.
- Lee B. D., Kim D. J., Leet S. J.: Nutritive and economic values of high oil corn in layer diet. *Poultry Sci.* 2001, 80, 1527-1534.
- Li J. T., Fei L., Mou Z. R., Wei J., Tang Y., He H. Y., Wang L., Wu Y. Z.: Immunogenicity of a plant-derived edible rotavirus subunit vaccine transformed over fifty generations. *Virology* 2006, 356, 171-178.
- Lucas D. M., Taylor M. L., Hartnell G. F., Nemeth M. A., Glenn K. C., Davis S. W.: Broiler performance and carcass characteristics when fed diets containing lysine maize (LY038 or LY038 x MON 810), control, or conventional reference maize. *Poultry Sci.* 2007, 86, 2152-2161.

30. Mason H. S., Lam D. M., Arntzen C. J.: Expression of hepatitis B surface antigen in transgenic plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1992, 89, 11745-11749.
31. McNaughton J., Roberts M., Smith B., Rice D., Hinds M., Sanders C., Layton R., Lamb I., Delaney B.: Comparison of broiler performance when fed diets containing event DP-305423-1, nontransgenic near-isoline control, or commercial reference soybean meal, hulls, and oil. *Poultry Sci.* 2008, 87, 2549-2561.
32. Nicolia A., Manzo A., Veronesi F., Rosellini D.: An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. *Crit. Rev. Biotechnol.* 2014, 34, 77-88.
33. Nyannor E. K., Adeola O.: Corn expressing an *Escherichia coli*-derived phytase gene: comparative evaluation study in broiler chicks. *Poultry Sci.* 2008, 87, 2015-2022.
34. Nyannor E. K., Williams P., Bedford M. R., Adeola O.: Corn expressing an *Escherichia coli*-derived phytase gene: a proof-of-concept nutritional study in pigs. *J. Anim. Sci.* 2007, 85, 1946-1952.
35. Oszvald M., Kang T. J., Tomoskozi S., Tamas C., Tamas L., Kim T. G., Yang M. S.: Expression of a synthetic neutralizing epitope of porcine epidemic diarrhea virus fused with synthetic B subunit of *Escherichia coli* heat labile enterotoxin in rice endosperm. *Mol. Biotechnol.* 2007, 35, 215-223.
36. Pan L., Zhang Y., Wang Y., Wang B., Wang W., Fang Y., Jiang S., Lv J., Wang W., Sun Y., Xie Q.: Foliar extracts from transgenic tomato plants expressing the structural polyprotein, P1-2A, and protease, 3C, from foot-and-mouth disease virus elicit a protective response in guinea pigs. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 2008, 121, 83-90.
37. Parsons C. M., Zhang Y., Araba M.: Availability of amino acids in high-oil corn. *Poultry Sci.* 1998, 77, 1016-1019.
38. Perez Filgueira D. M., Zamorano P. I., Dominguez M. G., Taboga O., Del Medico Zajac M. P., Puntiel M., Romera S. A., Morris T. J., Borca M. V., Sadir A. M.: Bovine herpes virus gD protein produced in plants using a recombinant tobacco mosaic virus (TMV) vector possesses authentic antigenicity. *Vaccine.* 2003, 21, 4201-4209.
39. Powers W. J., Fritz E. R., Fehr W., Angel R.: Total and water-soluble phosphorus excretion from swine fed low-phytate soybeans. *J. Anim. Sci.* 2006, 84, 1907-1915.
40. Santi L., Giritich A., Roy C. J., Marillonnet S., Klimyuk V., Gleba Y., Webb R., Arntzen C. J., Mason H. S.: Protection conferred by recombinant *Yersinia pestis* antigens produced by a rapid and highly scalable plant expression system. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2006, 103, 861-866.
41. Seralini G. E., Clair E., Mesnage R., Gress S., Defarge N., Malatesta M., Hennequin D., Vendomois J. S. de: Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Food Chem Toxicol.* 2012, 50, 4221-4231.
42. Sieradzki Z., Mazur M., Kwiatek K., Świątkiewicz S., Świątkiewicz M., Koreleski J., Hanczakowska E., Arczewska-Włosek A., Goldsztejn M.: Assessing the possibility of genetically modified DNA transfer from GM feed to broiler, laying hen, pig and calf tissues. *Pol. J. Vet. Sci.* 2013, 16, 435-441.
43. Snell C., Bernheim A., Berge J. B., Kuntz M., Pascal G., Paris A., Ricroch A. E.: Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: a literature review. *Food Chem. Toxicol.* 2012, 50, 1134-1148.
44. Spencer J. D., Allee G. L., Sauber T. E.: Growing-finishing performance and carcass characteristics of pigs fed normal and genetically modified low-phytate corn. *J. Anim. Sci.* 2000, 78, 1529-1536.
45. Spencer J. D., Allee G. L., Sauber T. E.: Phosphorus bioavailability and digestibility of normal and genetically modified low-phytate corn for pigs. *J. Anim. Sci.* 2000, 78, 675-681.
46. Streatfield S. J., Jilka J. M., Hood E. E., Turner D. D., Bailey M. R., Mayor J. M., Woodard S. L., Beifuss K. K., Horn M. E., Delaney D. E., Tizard I. R., Howard J. A.: Plant-based vaccines: unique advantages. *Vaccine.* 2001, 19, 2742-2748.
47. Świątkiewicz M., Hanczakowska E., Twardowska M., Mazur M., Kwiatek K., Kozaczyński W., Świątkiewicz S., Sieradzki Z.: Effect of genetically modified feeds on fattening results and transfer of transgenic DNA to swine tissues. *Bull. Vet. Inst. Pulawy* 2011, 55, 121-125.
48. Świątkiewicz S., Koreleski J., Arczewska-Włosek A., Świątkiewicz M., Twardowska M., Markowski J., Mazur M., Sieradzki Z., Kwiatek K.: Detection of transgenic DNA from Bt maize and herbicide tolerant soybean meal in tissues, eggs and digestive tract content of laying hens fed diets containing genetically modified plants. *Ann. Anim. Sci.* 2011, 11, 413-424.
49. Ufaz S., Galili G.: Improving the Content of Essential Amino Acids in Crop Plants: Goals and Opportunities. *Plant Physiol.* 2008, 147, 954-961.
50. Veum T. L., Ledoux D. R., Raboy V.: Low-phytate barley cultivars improve the utilization of phosphorus, calcium, nitrogen, energy, and dry matter in diets fed to young swine. *J. Anim. Sci.* 2007, 85, 961-971.
51. Wieland W. H., Lammers A., Schots A., Orzaez D. V.: Plant expression of chicken secretory antibodies derived from combinatorial libraries. *J. Biotechnol.* 2006, 122, 382-391.
52. Wigdorovitz A., Carrillo C., Dus Santos M. J., Trono K., Peralta A., Gomez M. C., Rios R. D., Franzone P. M., Sadir A. M., Escobedo J. M., Borca M. V.: Induction of a protective antibody response to foot and mouth disease virus in mice following oral or parenteral immunization with alfalfa transgenic plants expressing the viral structural protein VP1. *Virology.* 1999, 255, 347-353.
53. Wigdorovitz A., Mozgovoj M., Santos M. J., Parreno V., Gomez C., Perez Filgueira D. M., Trono K. G., Rios R. D., Franzone P. M., Fernandez F., Carrillo C., Babiuk L. A., Escobedo J. M., Borca M. V.: Protective lactogenic immunity conferred by an edible peptide vaccine to bovine rotavirus produced in transgenic plants. *J. Gen. Virol.* 2004, 85, 1825-1832.
54. Wu H., Singh N. K., Locy R. D., Scissum-Gunn K., Giambone J. J.: Immunization of chickens with VP2 protein of infectious bursal disease virus expressed in *Arabidopsis thaliana*. *Avian. Dis.* 2004, 48, 663-668.
55. Wu J. X., Yu L., Li L., Hu J. Q., Zhou J. Y., Zhou X. P.: Oral immunization with transgenic rice seeds expressing VP2 protein of infectious bursal disease virus induces protective immune responses in chickens. *Plant Biotechnology Journal* 2007, 5, 570-578.
56. Xu J., Dolan M. C., Medrano G., Cramer C. L., Weathers P. J.: Green factory: plants as bioproduction platforms for recombinant proteins. *Biotechnol. Adv.* 2012, 30, 1171-1184.
57. Yang C. D., Liao J. T., Lai C. Y., Jong M. H., Liang C. M., Lin Y. L., Lin N. S., Hsu Y. H., Liang S. M.: Induction of protective immunity in swine by recombinant bamboo mosaic virus expressing foot-and-mouth disease virus epitopes. *BMC Biotechnol.* 2007, 7, 62.
58. Yang Z. Q., Liu Q. Q., Pan Z. M., Yu H. X., Jiao X. A.: Expression of the fusion glycoprotein of Newcastle disease virus in transgenic rice and its immunogenicity in mice. *Vaccine.* 2007, 25, 591-598.
59. Zhang Z. B., Kornegay E. T., Radcliffe J. S., Wilson J. H., Veit H. P.: Comparison of phytase from genetically engineered *Aspergillus* and canola in weanling pig diets. *J. Anim. Sci.* 2000, 78, 2868-2878.
60. Zhou J. Y., Wu J. X., Cheng L. Q., Zheng X. J., Gong H., Shuang S. B., Zhou E. M.: Expression of immunogenic S1 glycoprotein of infectious bronchitis virus in transgenic potatoes. *J. Virol.* 2003, 77, 9090-9093.

Adres autora: dr Zbigniew Sieradzki, Al. Partyzantów 57, 24-100 Puławy;
e-mail: zbigniew.sieradzki@piwet.pulawy.pl