

# Rośliny genetycznie modyfikowane drugiej generacji w żywieniu zwierząt gospodarskich

SYLWESTER ŚWIĄTKIEWICZ, MAŁGORZATA ŚWIĄTKIEWICZ

Dział Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa Instytutu Zootechniki – Państwowego Instytutu Badawczego,  
ul. Krakowska 1, 32-083 Balice

Świątkiewicz S., Świątkiewicz M.

## Second generation of genetically modified plants in animal nutrition

### Summary

The results of studies on the effect of the use of the second generation of genetically modified (GM) plants in animal nutrition were discussed in the article. These GM plants have a changed chemical composition as compared to parental lines, mainly in order to increase its nutritional value. Plants with increased levels of protein and essential amino acids (lysine, methionine, tryptophan) or a decreased content of phytate phosphorus are good examples of this kind of modification. The results of experiments with poultry and pigs indicate that the use of the second generation of GM plants may lower the costs of feed mixture production (plants with increased level of limiting amino acids) and decrease the content of phosphorus in animal excreta (plants with lower level of P in phytate form).

**Keywords:** second generation of genetically modified plants, feedstuffs, amino acids, phytate P, poultry, pigs

Rośliny genetycznie modyfikowane (GM) to rośliny, których materiał genetyczny został zmieniony metodami inżynierii genetycznej. Najbardziej rozpowszechnione są modyfikacje w kierunku poprawy cech agrotechnicznych. Przeważnie są to rośliny zmodyfikowane w kierunku odporności na szkodliwe gatunki owadów (gen Bt kodujący białko toksyczne dla niektórych owadów) oraz tolerancji na herbicydy. Tego rodzaju modyfikacje genetyczne nazywa się transgenezą pierwszej generacji (8).

Surowce paszowe pochodzące z roślin GM pierwszej generacji charakteryzują się składem chemicznym zbliżonym do surowców konwencjonalnych, a więc ich stosowanie nie wpływa z reguły na wartość pokarmową paszy i osiągnięte wyniki produkcyjne. Już pierwsze, wykonane w 1996 r., szeroko zakrojone badania na różnych gatunkach zwierząt (szczury, kurczęta brojlery, krowy mleczne, ryby hodowlane) wykazały, że stosowanie poekstrakcyjnej śruty sojowej GM odpornej na herbicydy, nie miało negatywnego wpływu na organizm zwierzęcy (11). W kolejnych latach przeprowadzono wiele doświadczeń żywieniowych, w których potwierdzono brak ujemnego oddziaływania komponentów GM pierwszej generacji (głównie poekstrakcyjnej śruty sojowej i kukurydzy) na wskaźniki produkcyjne, jakość produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego czy strawność składników pokarmowych. Nie wykazywano także obecności modyfikowa-

nego DNA w tkankach oraz produktach zwierzęcych, takich jak mleko i jaja (8).

W ostatnich latach prowadzone są coraz intensywniejsze badania nad stosowaniem w żywieniu zwierząt pasz produkowanych z roślin GM drugiej generacji. Rośliny takie charakteryzują się zmienionym składem chemicznym, co ma na celu głównie poprawę ich wartości odżywczej, np. poprzez zwiększenie zawartości niektórych egzogennych aminokwasów w ziarnie zbóż czy nasionach roślin motylkowych. Z oczywistych względów, w odróżnieniu od roślin GM pierwszej generacji, ich stosowanie może wpływać na uzyskiwane wyniki produkcyjne u zwierząt.

Celem artykułu jest przedstawienie rezultatów doświadczeń nad stosowaniem surowców paszowych pochodzących z roślin GM drugiej generacji w żywieniu różnych gatunków zwierząt gospodarskich.

### Rośliny o zwiększonej zawartości białka ogólnego i aminokwasów limitujących

Ze względu na niedobór białka paszowego i jego wysoką cenę zwiększenie zawartości tego składnika pokarmowego w roślinach na drodze transgenezy ma duże znaczenie dla przemysłu paszowego. Oprócz tego, biorąc pod uwagę skład aminokwasowy białka w danej roślinie, zwiększa się zawartość tych aminokwasów, które są w największym niedoborze. W przypadku zbóż najwięcej uwagi poświęca się podniesie-

niu poziomu lizyny i tryptofanu, natomiast w nasionach roślin motylkowych – metioniny (32). Tego rodzaju transgeneza, poza korzyściami ekonomicznymi, poprzez lepsze zbilansowanie składu aminokwasowego mieszanek paszowych, może zmniejszać wydalanie azotu w odchodach zwierząt.

Przykładem tego rodzaju transgenezy jest odmiana soi MON703, modyfikowana w celu uzyskania zwiększonego poziomu białka w nasionach. W badaniach amerykańskich stwierdzono, że śruta poekstrakcyjna wyprodukowana z nasion modyfikowanej soi zawierała aż 62,7% białka ogólnego, podczas gdy śruta konwencjonalna – 47,5% (7). Test bilansowy wykonany na kogutach z usuniętymi operacyjnie jelitami ślepy mi wykazał, że śruta GM charakteryzuje się większą wartością pokarmową, gdyż zawiera wyższy poziom strawnych aminokwasów, takich jak lizyna, metionina, treonina i walina oraz energii metabolicznej w porównaniu ze śrutą produkowaną z odmian konwencjonalnych (7).

Modyfikacja genetyczna kukurydzy ma natomiast na celu zwiększenie zawartości lizyny w ziarnie. Przykładem mogą być odmiany GM: LY038 i LY038 x MON 810, do genomu których został wprowadzony gen *cordapA* pochodzący z bakterii *Corynebacterium glutamicum*. Produktem ekspresji tego genu jest enzym zwiększający efektywność syntezy lizyny w organizmie roślinnym. W doświadczeniu na brojlerach oceniano przydatność żywieniową takiej kukurydzy, porównując ją z konwencjonalną odmianą rodzicielską (18). Ziarno roślin modyfikowanych charakteryzowało się wyższą o około 40% zawartością lizyny (0,360 vs 0,255%), a także zwiększonym poziomem białka ogólnego i niektórych innych aminokwasów egzogennych. Doświadczalne mieszanki paszowe zawierały 59-66% kukurydzy, a w przypadku odmiany konwencjonalnej były także uzupełniane dodatkiem brakującej lizyny w postaci L-Lys HCl (w ilości 0,1% mieszanki). Kurczęta żywione mieszanką zawierającą wysokolizynową kukurydzę GM charakteryzowały się wyższym przyrostem masy ciała i lepszym wykorzystaniem paszy niż w przypadku mieszanki z kukurydzą konwencjonalną – bez dodatku lizyny. Dopiero po uzupełnieniu takiej mieszanki dodatkiem L-Lys uzyskano podobne wyniki jak w przypadku kukurydzy GM. Podobne zależności obserwowano analizując wskaźniki poubojowe. Nie odnotowano wpływu kukurydzy GM na status zdrowotny kurcząt i liczbę padnięć. Autorzy opisywanych badań stwierdzili ponadto, że biodostępność lizyny z ziarna GM jest taka sama, jak z kukurydzy konwencjonalnej i krystalicznej L-Lys HCl. Uzyskane wyniki dowodzą, że opisana modyfikacja pozwala zmniejszyć niedobór lizyny w mieszankach paszowych, a tym samym ograniczyć konieczność stosowania dodatku krystalicznej L-Lys. Wysokolizynową kukurydzę z powodzeniem stosowano również w żywieniu trzody chlewnej, stwierdzając, że ziarno GM charakteryzuje się wysoką przy-

swajalnością składników pokarmowych, w tym lizyny (23).

W innej odmianie kukurydzy GM (o nazwie handlowej Nutri-Dense) zwiększony został poziom białka ogólnego i aminokwasów egzogennych. W badaniach amerykańskich stwierdzono, że nasiona tej odmiany kukurydzy zawierają aż 13,1% białka ogólnego; 0,42% lizyny; 0,24% metioniny i 0,26% cystyny. Strawność aminokwasów oznaczona w doświadczeniu na cektomizowanych kogutach była przy tym podobna jak w przypadku kukurydzy konwencjonalnej (6). Opisywaną kukurydzę GM stosowano również w doświadczeniu na tucznikach, stwierdzając, że oprócz większej zawartości białka i strawnych aminokwasów, charakteryzuje się ona również wyższym poziomem energii metabolicznej niż ziarno kukurydzy konwencjonalnej (13, 25). W żywieniu świń potwierdzono również przydatność kukurydzy Nutri-Dense, poddanej jednocześnie transgenezie polegającej na obniżeniu zawartości kwasu fitynowego (17).

W amerykańskim Southern Illinois University do kukurydzy wprowadzono transgen (*gdhA+*), wyizolowany z bakterii *Escherichia coli*, modyfikujący przebieg syntezy białka w nasionach. Efektem tej transgenezy było zwiększenie wartości pokarmowej kukurydzy poprzez istotne podwyższenie poziomu metioniny i leucyny w ziarnie. W doświadczeniu na tucznikach stwierdzono, że strawność składników pokarmowych, w tym aminokwasów, jest w opisywanej odmianie GM taka sama jak w przypadku kukurydzy konwencjonalnej (10). Jednocześnie w badaniach na warchlakach żywionych kukurydzą GM wykazano, że transgeniczne DNA pochodzące z bakterii *E. coli* jest efektywnie rozkładane przez enzymy przewodu pokarmowego, gdyż jego obecność stwierdzano jedynie w treści żołądka i śladowo w treści jelita cienkiego, natomiast w jelicie grubym nie było ono wykrywane. Również we krwi, wątrobie i mięśniach nie stwierdzono obecności badanego DNA (1).

Do łubinu wąskolistnego wprowadzono transgen, którego efektem ekspresji są bogate w metioninę albuminy pochodzące ze słonecznika. W łubinie konwencjonalnym zawartość tego aminokwasu jest niska (około 2 g/kg), podczas gdy łubin GM zawiera aż 4,5 g metioniny/kg. Doświadczenie na brojlerach (27) wykazało, że dzięki wprowadzeniu 25% łubinu GM (zamiast konwencjonalnego) do mieszanki istnieje możliwość znacznego zmniejszenia dodatku krystalicznej metioniny, co obniża koszt produkcji żywca drobiowego. Strawność aminokwasów w nasionach GM i konwencjonalnym kształtowała się na podobnym poziomie, natomiast energia metaboliczna nasion była w łubinie modyfikowanym wyższa (10,2 MJ/kg) niż w tradycyjnym (9,4 MJ/kg), co, według autorów, było związane z obniżoną zawartością rozpuszczalnej frakcji polisacharydów nieskrobiowych (45,6 vs 60,7 g/kg s.m.). Korzystne rezultaty otrzymano również stosując nasiona opisywanego łubinu GM w żywieniu

owiec, u których metionina ze względu na ważną rolę w procesie syntezy wełny jest pierwszym aminokwasem limitującym (34).

Inną rośliną, w której poprzez modyfikacje genetyczne zmienia się skład aminokwasowy ziarna, jest ryż. Zmiana ta polega na zwiększeniu zawartości będącego w niedoborze tryptofanu. Ten podwyższony poziom wynosił około 0,183% i był ponad dwukrotnie wyższy niż w ziarnie konwencjonalnego ryżu (0,076%). W doświadczeniu japońskim modyfikowany ryż stosowano w żywieniu kogutków typu nieśnego, w okresie od 8. do 28. dnia życia (31). Mieszanki paszowe zawierały 55% ryżu GM lub konwencjonalnego. Stosując ryż GM uzyskano normatywną zawartość tryptofanu w mieszance, natomiast mieszanka oparta na ryżu konwencjonalnym wymagała dodatku krystalicznego L-tryptofanu. Wyniki odchovu kurcząt w grupie żywionej z udziałem ryżu GM były wyraźnie lepsze niż w przypadku mieszanki konwencjonalnej, nieuzupełnianej dodatkiem tryptofanu. Dopiero dodatek tego aminokwasu w postaci krystalicznej pozwolił na uzyskanie podobnych wyników jak przy stosowaniu mieszanki z ryżem GM. Na tej podstawie autorzy badań sformułowali wniosek, że tryptofan zawarty w ziarnie modyfikowanego ryżu jest dobrze wykorzystywany przez ptaki, a jego dostępność jest podobna jak formy krystalicznej (L-tryptofanu).

### **Rośliny charakteryzujące się zwiększoną przyswajalnością fosforu**

Główną formą magazynowania fosforu w roślinach są fityniany – sole kwasu fitynowego, które w przewodzie pokarmowym zwierząt monogastrycznych są trawione w niewielkim stopniu. Niestrawione fityniany obecne w odchodach świń i drobiu są w produkcji rolniczej głównym źródłem zanieczyszczenia środowiska fosforem. Wykazano, że w zależności od gatunku, 56-81% fosforu w ziarnie zbóż i śrutach poekstrakcyjnych występuje w formie fitynowej (20). Wiąże się to z koniecznością uzupełniania dawek fosforanami paszowymi lub dodatkiem fitazy, co podnosi koszty żywienia i może prowadzić do zwiększonej akumulacji fosforu w środowisku.

W ostatnich latach metodami inżynierii genetycznej (mutageneza) zaczęto wytwarzać rośliny o zwiększonej zawartości fosforu dostępnego w nasionach, co nastąpiło kosztem P fitynowego. Rośliną taką jest, między innymi, homozygotyczna kukurydza z genem *lpa1*, hamującym syntezę kwasu fitynowego w nasionach. Ziarno kukurydzy GM zawiera 0,28% fosforu, z czego tylko około 0,10% stanowi P fitynowy, podczas gdy w kukurydzy konwencjonalnej zawartość P ogólnego wynosi 0,25%, w tym aż 0,20% to P fitynowy. Tak więc zawartość P przyswajalnego w kukurydzy GM jest kilkakrotnie wyższa niż w konwencjonalnej (0,18 vs 0,05%). Gen *lpa1* nie wpływa przy tym na zawartość białka, aminokwasów, skrobi i innych składników pokarmowych w nasionach. Pierwsze doświadczenia

nad stosowaniem tak modyfikowanej kukurydzy w żywieniu zwierząt gospodarskich przeprowadzono na tucznikach, stwierdzając, że jej użycie zwiększa dostępność fosforu z dawki (29, 30). Pozwoliło to na stosowanie mieszanek paszowych nie zawierających nieorganicznych źródeł P, bez negatywnego wpływu na wskaźniki produkcyjne i poubojowe. Efektem końcowym było zmniejszenie poziomu P i rozszerzenie stosunku N : P w odchodach, dzięki czemu można je było wykorzystać jako nawóz, w sposób bardziej przyjazny dla środowiska naturalnego.

Możliwość stosowania niskofitynowej kukurydzy GM jako źródła fosforu dla kur nieśnych określali Snow i wsp. (28). Badana kukurydza GM zawierała 0,08% P fitynowego, podczas gdy kukurydza konwencjonalna – 0,19%. U niosek żywionych w okresie od 57. do 69. tygodnia życia dietą bez fosforanu paszowego, zawierającą 65% kukurydzy GM, odnotowano wyniki produkcyjne i mineralizację kości zbliżone do grupy kontrolnej, uzyskując przy tym znaczne obniżenie poziomu P w odchodach. Stosowanie diety bez fosforanów, opartej na kukurydzy konwencjonalnej, spowodowało natomiast gwałtowny spadek wydajności nieśnej. W podsumowaniu opisanego doświadczenia stwierdzono, że ziarno niskofitynowej kukurydzy GM charakteryzuje się znacznie wyższą biodostępnością fosforu niż ziarno kukurydzy konwencjonalnej, dlatego jego stosowanie u niosek pozwala na znaczne ograniczenie stosowania fosforanów paszowych i obniżenie wydalania P do środowiska. Oprócz tego korzyścią ze stosowania kukurydzy niskofitynowej jest zwiększenie dostępności cynku i innych mikroelementów, które mogą tworzyć nieprzyswajalne kompleksy z kwasem fitynowym (12).

W podobny sposób modyfikowano również soję. Poekstrakcyjna śruta sojowa produkowana z soi niskofitynowej zawiera około 0,22% P fitynowego (konwencjonalna – 0,48%) i aż 0,55% P dostępnego (konwencjonalna – 0,22%). W doświadczeniu na świniach wykazano, że wprowadzenie do mieszanki tak modyfikowanej śruty sojowej (w miejsce konwencjonalnej) znacznie zwiększa dostępność fosforu, obniżając jego zawartość w odchodach (26). Pozytywne wyniki otrzymano także stosując ziarno jęczmienia niskofitynowego, gdyż jego wprowadzenie do dawek dla tuczników (około 50% mieszanki) w miejsce jęczmienia konwencjonalnego powodowało zmniejszenie wydalania P w odchodach w zakresie od 20,2% do 44,6% (33). W ostatnio wykonanych badaniach na tucznikach określano natomiast następstwa jednoczesnego stosowania śruty sojowej i nasion kukurydzy ze zmniejszonym poziomem kwasu fitynowego (14). Wprowadzenie do dawki obydwu modyfikowanych surowców paszowych miało korzystny wpływ na wykorzystanie fosforu, gdyż pozwoliło na istotne zwiększenie przyswajalności tego makroelementu i obniżenie ilości P wydalanego w odchodach.

Innym sposobem polepszenia dostępności fosforu jest genetyczna modyfikacja roślin, pozwalająca na

ekspresję w nasionach fitazy, enzymu rozkładającego wiązania fitynowe. Przykładem jest kukurydza z transgenem kodującym fitazę, przeniesionym z grzybów (*Aspergillus niger*) lub bakterii (*E. coli*). W doświadczeniu na brojlerach badano skuteczność fitazy zawartej w transgenicznym nasionach kukurydzy, która była produktem ekspresji genu pochodzącego z *E. coli* (21). Wykazano, że dodatni wpływ na przyrost masy ciała, wykorzystanie paszy i mineralizację kości był bardzo podobny w przypadku fitazy z nasion kukurydzy GM i fitazy paszowej, stosowanych w takich samych dawkach (3680 jednostek aktywności/kg). Wprowadzanie do receptury mieszanki coraz wyższego poziomu kukurydzy transgenicznej (0,55; 5,5 i 55,5%) zwiększało liniowo zatrzymanie P, Ca i N, a także obniżało wydalanie P w odchodach. Ten sam zespół autorów otrzymał zbliżone rezultaty, badając opisywaną kukurydzą GM, stosowaną jako nośnik transgenicznej fitazy, w doświadczeniu na tucznikach (22). W podsumowaniu powyższych prac stwierdzono, że kukurydza GM, zawierająca transgeniczną fitazę, może stanowić w żywieniu zwierząt monogastrycznych atrakcyjną ekonomicznie alternatywę dla komercyjnych preparatów fitazy mikrobiologicznej.

W podobny sposób modyfikowano także soję. W doświadczeniu na kurczętach rzeźnych określano również efektywność fitazy wytwarzanej w nasionach transgenicznej soi (zawierającej transgen z *Aspergillus niger*), porównując ją z działaniem komercyjnej fitazy paszowej (Natuphos). Badając takie parametry, jak: produktywność, przyswajalność i wydalanie fosforu, zawartość popiołu surowego w kościach palców oraz wytrzymałość mechaniczną kości piszczelowych, wykazano, że wprowadzenie do mieszanki paszowej pełnych nasion soi GM jako źródła fitazy daje podobny lub nawet korzystniejszy efekt niż stosowanie preparatu enzymatycznego (5).

Transgen ekspresji, którego efektem jest fitaza, wprowadzono również do rzepaku. Nasiona tak modyfikowanych roślin stosowano w żywieniu kurcząt brojlerów i warchlaków, stwierdzając, że fitaza w nich produkowana wykazuje podobną jak fitaza komercyjna skuteczność w zwiększaniu dostępności fosforu zawartego w mieszankach paszowych opartych o śrutę sojową i kukurydzą (35, 36). W ostatnim czasie zmodyfikowano również ryż, wprowadzając do niego transgen bakteryjny (*E. coli*), kodujący fitazę. Dotychczas bezpieczeństwo stosowania nasion tak modyfikowanego ryżu potwierdzono w doświadczeniu na szczurach (4).

Interesujący jest fakt, że oprócz roślin, w podobny sposób modyfikuje się zwierzęta gospodarskie. Tak więc na drodze transgenezy wytworzono linie świń GM, które wytwarzają w gruczołach ślinowych fitazę. W tym celu do genotypu zwierząt wprowadzono transgen *appA* z bakterii *Escherichia coli*, którego produktem ekspresji jest omawiany enzym. W doświadczeniu żywieniowym wykazano, że przyswajalność P ze śruty sojowej u modyfikowanych świń wynosiła

89% (warchlaki) lub 99% (tuczniki). Przełożyło się to na znacznie mniejsze niż u świń konwencjonalnych wydalanie P w odchodach (9).

### Rośliny o zmienionym składzie kwasów tłuszczowych w lipidach nasion

Skład kwasów tłuszczowych nasion roślin oleistych jest modyfikowany metodami inżynierii genetycznej głównie w celu poprawy ich właściwości technologicznych. Dla przykładu, odmiana soi GM oznaczona jako DP-305423 posiada wbudowany transgen *gm-fad2-1*, odpowiedzialny za zmianę profilu kwasów tłuszczowych nasion. Zmiana ta polega na znacznym zwiększeniu zawartości kwasu oleinowego, głównie kosztem kwasu linolowego, co podnosi stopień nasycenia tłuszczu, zmniejszając jego podatność na utlenianie, zwłaszcza podczas ogrzewania (smażenia). Śruta poekstrakcyjna pochodząca z tak modyfikowanej soi będzie docelowo przeznaczana do produkcji mieszanek paszowych. Z tego powodu koniecznym było sprawdzenie bezpieczeństwa jej stosowania w żywieniu zwierząt. W doświadczeniu na kurczętach porównywano wyniki odchowu uzyskane przy stosowaniu mieszanki zawierającej poekstrakcyjną śrutę sojową produkowaną z omawianej soi GM (a także łuskę i olej) oraz mieszanki zawierającej śrutę sojową konwencjonalną (19). Nie wykazano różnic w wynikach produkcyjnych, liczbie padnięć, wskaźnikach poubojowych oraz względnych masach wybranych narządów wewnętrznych, co upoważnia do stwierdzenia, że śruta sojowa GM ma taką samą wartość pokarmową w żywieniu brojlerów, jak śruty konwencjonalne.

W rzepaku, podobnie jak w soi, w celach przemysłowych zmieniono profil kwasów tłuszczowych lipidów w nasionach, wprowadzając do komórek roślin transgen kodujący enzym tioesterazę. Działanie tego enzymu polega na zwiększeniu zawartości kwasu mirystynowego i palmitynowego, kosztem kwasu oleinowego, w nasionach. Przydatność paszową opisywanego rzepaku GM określano w doświadczeniu na tucznikach (3). Zawartość podstawowych składników pokarmowych, składników mineralnych i aminokwasów była w nasionach rzepaku GM podobna jak w przypadku odmiany konwencjonalnej. Ubocznym, negatywnym z punktu widzenia żywienia zwierząt gospodarskich skutkiem opisywanej transgenezy był natomiast wyraźny wzrost poziomu glukozyolanów. W doświadczeniu żywieniowym nie wykazano wpływu pełnych nasion rzepaku GM (stanowiącym 15% mieszanki) na strawność składników pokarmowych, natomiast w porównaniu z nasionami odmiany konwencjonalnej stwierdzono obniżenie pobrania paszy i przyrostów masy ciała tuczników. Autorzy badań tłumaczyli negatywny efekt rzepaku GM wyższą zawartością glukozyolanów, która wpłynęła także na zwiększenie masy tarczycy u zwierząt doświadczalnych.

W przypadku kukurydzy metodami inżynierii genetycznej zwiększono zawartość tłuszczu w nasionach

do około 7%. Ogranicza to konieczność natłuszczenia mieszanek paszowych olejami, a ponadto tak modyfikowane odmiany kukurydzy (tzw. high-oil corn) charakteryzują się zwiększoną zawartością białka i aminokwasów. W badaniach na kurczętach brojlerach i kurach nieśnych wykazano, że strawność aminokwasów w tak modyfikowanej kukurydzy jest taka sama lub większa, a zawartość energii metabolicznej wyższa niż w kukurydzy konwencjonalnej, co powoduje, że może być ona z powodzeniem stosowana w żywieniu zwierząt gospodarskich (16, 24).

Prowadzone są także prace nad zwiększeniem zawartości długołańcuchowych, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z szeregu n-3 w nasionach lnu i innych roślin oleistych. Głównym celem takich modyfikacji jest podniesienie zawartości kwasu stearynowego (SDA, C18:4, n-3), eikozapentaenowego (EPA, C20:5, n-3) i dokozaheksaenowego (DHA, C22:5, n-3). Kwasy te wykazują szereg korzystnych oddziaływań na organizm, występując jednocześnie w niedoborze w diecie człowieka. Do chwili obecnej nie prowadzono badań nad stosowaniem tak modyfikowanych roślin i uzyskiwanych z nich olejów w żywieniu zwierząt gospodarskich, co wiąże się z faktem, że najważniejszym ich przeznaczeniem jest rynek produktów dietetycznych dla człowieka.

### Rośliny zawierające substancje aktywne biologicznie

Ziarno ryżu poddano modyfikacji polegającej na wprowadzeniu do roślin genów kodujących substancje białkowe, naturalnie występujące w organizmie zwierzęcym, o działaniu bakteriobójczym i zwiększającym odporność na działanie czynników chorobotwórczych, tj. laktoferynę oraz lizozym. Modyfikowane w opisany sposób dwie odmiany ryżu GM (z laktoferyną – LF lub lizozymem – LZ) stosowano w doświadczeniach na kurczętach brojlerach. Celem tych doświadczeń było określenie możliwości zastąpienia antybiotyków paszowych badanym ziarnem ryżu. Przeprowadzono dwa doświadczenia, w okresie do 20. lub 22. dnia życia, w których oprócz wskaźników produkcyjnych badano parametry histologiczne jelit (15). Kurczęta żywione mieszanką zawierającą w sumie 15% ryżu GM (5% LF i 10% LZ) lepiej wykorzystywały paszę niż kurczęta z grupy kontrolnej negatywnej (bez antybiotyku paszowego), a w drugim doświadczeniu charakteryzowały się także dłuższymi kosmkami jelitowymi w dwunastnicy. Większa długość kosmków przekłada się na większą powierzchnię chłonną jelit i lepszą przyswajalność składników pokarmowych. Było to prawdopodobnie przyczyną efektywniejszego wykorzystania paszy. Oprócz tego stosowanie ryżu GM zmniejszyło grubość nabłonka jelita cienkiego i liczbę oznaczonych w nim leukocytów, co również jest działaniem podobnym do działania antybiotyków paszowych. Nie stwierdzono natomiast różnic w stosunku do grupy kontrolnej pozytywnej, otrzymu-

jącej mieszankę z antybiotykiem paszowym. Według autorów pracy, uzyskane rezultaty wskazują na możliwość stosowania badanych linii ryżu GM jako zamienników antybiotyków paszowych w żywieniu kurcząt brojlerów.

Przykładem transgenezy mającej na celu uzyskanie właściwości prozdrowotnych może być modyfikacja ziemniaków powodująca w ich bulwach syntezę inuliny. Inulina jest wielocukrem (polimerem fruktozy) o działaniu prebiotycznym, korzystnie wpływającym na stan mikroflory jelitowej i tym samym korzystnie oddziałującym na status zdrowotny organizmu. Koncentracja inuliny w bulwach ziemniaków GM, do których wprowadzono transgen z karczocha (*Cynara scolymus*), wynosi około 50 g/kg. Analizy chemiczne wykazały jednak, że ziemniaki modyfikowane zawierają mniej skrobi i więcej alkaloidów niż ziemniaki konwencjonalne. W badaniach niemieckich określano przydatność kiszonki sporządzonej z tak modyfikowanych ziemniaków w żywieniu tuczników (2). Ze względu na niższą zawartość skrobi i niższą strawność włókna kiszonka taka charakteryzowała się nieco mniejszą wartością energetyczną niż kiszonka z ziemniaków konwencjonalnych, a także powodowała niewielkie obniżenie przyrostów masy ciała. W podsumowaniu autorzy stwierdzili, że opisana modyfikacja jest korzystna z punktu widzenia człowieka, natomiast ze względu na obniżenie wartości energetycznej ziemniaków jej przydatność w żywieniu zwierząt gospodarskich jest niewielka.

Podsumowując przedstawione dane piśmiennictwa, można stwierdzić, że stosowanie roślin GM drugiej generacji, to jest charakteryzujących się zmienionym składem chemicznym w stosunku do form rodzicielskich, może przynosić wiele korzyści w żywieniu zwierząt gospodarskich. Wymienić tu można pozytywny wpływ na wskaźniki produkcyjne i obniżenie kosztów mieszanek paszowych (rośliny GM o podwyższonej zawartości aminokwasów egzogennych) oraz ograniczenie wydalania fosforu w odchodach (rośliny o zwiększonej przyswajalności fosforu w nasionach).

### Piśmiennictwo

1. Beagle J. M., Apgar G. A., Jones K. L., Griswold K. E., Radcliffe J. S., Qiu X., Lightfoot D. A., Iqbal M. J.: The digestive fate of *Escherichia coli* glutamate dehydrogenase deoxyribonucleic acid from transgenic corn in diets fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 2006, 84, 597-607.
2. Bohme H., Hommel B., Flachowsky G.: Nutritional assessment of silage from transgenic inulin synthesizing potatoes for pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 2005, 14 (supl. 1), 333-336.
3. 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.
4. Cheng-Chih T., Chieh-Hsien L., Chi-Sheng Y., Chien-Ku L., Hau-Yang T.: Toxicological evaluation of transgenic rice flour with an *Escherichia coli* phytase gene *appA* by subchronic feeding study in Wistar rats. *J. Sci. Food Agric.* 2008, 382-388.
5. Denbow M. B., Grabau E. A., Lacy G. H., Kornegay E. T., Russell D. R., Umbeck P. F.: Soybeans transformed with a fungi phytase gene improve phosphorus availability for broilers. *Poultry Sci.* 1998, 77, 878-881.

6. Douglas M. W., Peter C. M., Boiling S. D., Parsons C. M., Baker D. H.: Nutritional evaluation of low phytate and high protein corn. *Poultry Sci.* 2000, 79, 1586-1591.
7. Edwards H. M., Douglas M. W., Parsons C. M., Baker D. H.: Protein and energy evaluation of soybean meals processed from genetically modified high-protein soybeans. *Poultry Sci.* 2000, 79, 525-527.
8. 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. Technol.* 2007, 133, 2-30.
9. Golovan S. P., Meidinger R. G., Ajakaiye A., Cottrill M., Wiederkehr M. Z., Barney D. J., Plante C., Pollard J. W., Fan M. Z., Hayes M. A., Laursen J., Hjorth J. P., Hacker R. R., Phillips J. P., Forsberg C. W.: Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure. *Nature Biotechnol.* 2001, 19, 731-745.
10. Guthrie T. A., Apgar G. A., Griswold K. E., Lindemann M. D., Radcliffe J. S., Jacobson B. N.: Nutritional value of a corn containing a glutamate dehydrogenase gene for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 2004, 82, 1693-1698.
11. Hammond B. G., Vicini J. L., Hartnell G. F., Naylor M. W., Knight C. D., Robinson E. H., Fuchs R. L., Padgett S. R.: The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *J. Nutr.* 1996, 126, 717-727.
12. Harland B. F.: Dietary fibre and mineral bioavailability. *Nutr. Res. Rev.* 1989, 2, 133-147.
13. Hastad C. W., Tokach M. D., Goodband R. D., Nelssen J. L., Dritz S. S., DeRouche J. M., Jones C. L.: Comparison of yellow dent and NutriDense corn hybrids in swine diets. *J. Anim. Sci.* 2005, 83, 2624-2631.
14. 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, w druku.
15. Humphrey B. D., Huang N., Klasing K. C.: Rice expressing lactoferrin and lysozyme has antibiotic-like properties when fed to chicks. *J. Nutr.* 2002, 132, 1214-1218.
16. Lee B. D., Kim D. J., Lee S. J.: Nutritive and economic values of high oil corn in layer diet. *Poultry Sci.* 2001, 80, 1527-1534.
17. Linneen S. K., DeRouche J. M., Goodband R. D., Tokach M. D., Dritz S. S., Nelssen J. L., Snow J. L.: Evaluation of NutriDense low-phytate corn and added fat in growing and finishing swine diets. *J. Anim. Sci.* 2008, 85, 1556-1561.
18. 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, or commercial 810), control, or conventional reference maize. *Poultry Sci.* 2007, 86, 2152-2161.
19. McNaughton J., Roberts M., Smith B., Rice D., Hinds M., Sanders C., Layton R., Lambs I., Delaney B.: Comparison of broiler performance when diets containing event DP3O5423-1, nontransgenic near-isoline control, or commercial reference soybean meal, hulls, and oil. *Poultry Sci.* 2008, 87, 2549-2561.
20. Nelson T. S., Ferrara L. W., Storer N. L.: Phytate phosphorus content of feed ingredients derived from plants. *Poultry Sci.* 1968, 47, 1372-1374.
21. Nyannor E. K. D., Adeola O.: Corn expressing an Escherichia coli – derived phytase gene: comparative evaluation study in broiler chicks. *Poultry Sci.* 2008, 87, 2015-2022.
22. Nyannor E. K. D., Williams P., Bedford M. R., Adeola O.: Corn expressing an Escherichia coli – derived phytase gene: a proof-concept nutritional study in pigs. *J. Anim. Sci.* 2007, 85, 1946-1952.
23. O'Quinn P. R., Nelssen J. L., Goodband R. D., Knabe D. A., Woodworth J. C., Tokach M. D., Lohrmann T. T.: Nutritional value of a genetically improved high-lysine, high oil corn for young pigs. *J. Anim. Sci.* 2000, 78, 2144-2149.
24. Parsons C. M., Zhang Y., Araba M.: Availability of amino acids in high-oil corn. *Poultry Sci.* 1998, 77, 1016-1019.
25. Pedersen C., Boersma M. G., Stein H. H.: Energy and nutrient digestibility in NutriDense corn and other cereal grains fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 2007, 85, 2473-2483.
26. 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.
27. Ravindran V., Tabe L. M., Molvig L., Higgins T. J. W., Bryden W. L.: Nutritional evaluation of transgenic high-methionine lupins (*Lupinus angustifolius*) with broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.* 2002, 82, 280-285.
28. Snow J. L., Douglas M. W., Batal A. B., Persia M. E., Biggs P. E., Parsons C. M.: Efficacy of high available phosphorus corn in laying hen diets. *Poultry Sci.* 2003, 82, 1037-1041.
29. 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.
30. 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.
31. Takada R., Otsuka M.: Effects of feeding high tryptophan GM-rice on growth performance of chickens. *Internat. J. Poultry Sci.* 2007, 6, 524-526.
32. Ufaz S., Galili G.: Improving the content of essential amino acids in crop plants: goals and opportunities. *Plant Physiol.* 2008, 147, 954-961.
33. 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.
34. White C. L., Tabe L. M., Dove H., Hamblin J., Young P., Philips N., Taylor R., Gulati S., Ashes J., Higgins T. J. V.: Increased efficiency of wool growth and live weight gain in Merino sheep fed transgenic lupin seed containing sunflower albumin. *J. Sci. Food Agric.* 2000, 80, 147-154.
35. Zhang Z. B., Kornegay E. T., Radcliffe J. S., Denbow D. M., Veit H. P., Larsen C. T.: Comparison of genetically engineered microbial and plant phytase for young broilers. *Poultry Sci.* 2000, 79, 709-717.
36. 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. *Poultry Sci.* 2000, 78, 2868-2878.

Adres autora: doc. dr hab. Sylwester Świątkiewicz, ul. Krakowska 1, 32-083 Balice; e-mail: sylwester.swiatkiewicz@izoo.krakow.pl