NAUKA 4/2014 • 121-138

Agata Tyczewska*, Joanna Gracz, Tomasz Twardowski, Aleksandra Małyska

Soja przyszłością polskiego rolnictwa?

1. Wstęp

W wyniku tysięcy lat istnienia rolnictwa człowiek uzyskał wiele odmian roślin uprawnych, które stały się podstawą codziennej diety. Do najważniejszych roślin żywieniowych świata zalicza się zboża. Spośród nich największą wartość produkcji osiągają: pszenica (podstawowe zboże chlebowe), kukurydza (głównie zboże paszowe i przemysłowe) oraz ryż. Do czołówki najważniejszych roślin uprawnych zalicza się również soję, na którą zapotrzebowanie nieustannie rośnie. Unia Europejska importuje obecnie około 20 mln ton rocznie i zamierza stopniowo ograniczać sprowadzanie tego surowca na rzecz lokalnych upraw. Rozwój rolnictwa związany ze stałym przyrostem ludności na świecie wymaga wprowadzenia nowych odmian roślin do uprawy oraz ich ciągłego doskonalenia, które można osiągnąć, stosując także szereg nowych technik hodowlanych (NBT, ang. *New Breeding Techniques*). W najbliższych latach, aby sprostać wymaganiom rynku, należy rozważyć możliwość wprowadzenia soi do uprawy na terenie Polski, jaki i UE. Przeprowadzane doświadczenia polowe wskazują na duże możliwości uprawy soi szczególnie na południu kraju. Mimo wątpliwości związanych z komercyjną uprawą tej rośliny w naszym klimacie, warto podkreślić, że 40 lat temu takie obawy towarzyszyły wprowadzeniu kukurydzy, w przypadku której odnotowano największy wzrost areału upraw i jest obecnie powszechnie wykorzystywana w przemyśle spożywczym i paszowym.

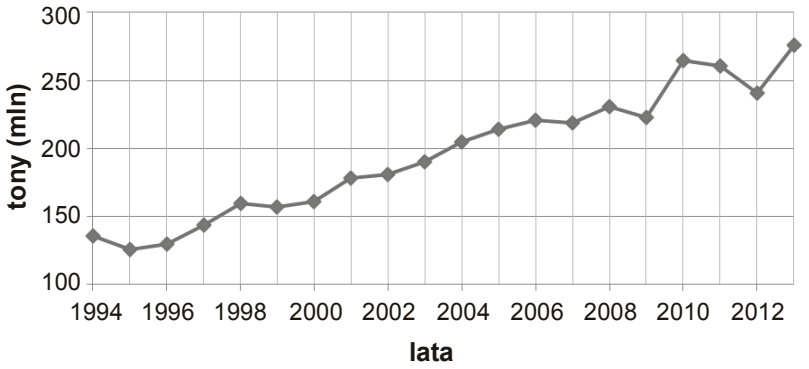
1.1. Produkcja i konsumpcja soi na świecie

Soja to roślina z rodziny bobowatych, która wywodzi się z Azji Wschodniej. Jest uważana za jedną z najważniejszych roślin uprawnych na świecie wykorzystywanych głównie do produkcji olejów i pasz. Soja ma bardzo szerokie zastosowanie zarówno w produkcji spożywczej, jak też artykułów przemysłowych (np. kosmetyków, tworzyw sztucznych, farb). Olej uzyskiwany z tej rośliny stanowi jeden z podstawowych surowców do produkcji biodiesla. Szacuje się, że po raz pierwszy roślinę tę zaczęto hodować około XI wieku p.n.e. w północnych Chinach [1]. Do Europy soja dotarła stosunkowo późno – w 1739 r. nasiona tej rośliny wysłane przez misjonarzy w Chinach, zostały posadzone

* Dr Agata Tyczewska (agatat@ibch.poznan.pl), dr Joanna Gracz, prof. dr hab. Tomasz Twardowski, dr Aleksandra Małyska – Instytut Chemii Bioorganicznej PAN, Poznań

w paryskim ogrodzie botanicznym, a ponad czterdzieści lat później w Królewskich Ogrodach Botanicznych w Kew w Anglii [1]. Najwcześniejsze wzmianki o soi w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej dotyczą upraw prowadzonych w 1765 r. w Savannah, w stanie Georgia. Jednakże wartość soi w kontekście pozyskiwania oleju oraz białka została dostrzeżona dopiero w 1904 r. przez wybitnego amerykańskiego chemika Georga Washingtona Carvera.

Obecnie, ze względu na bardzo szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, soja jest uprawiana w wielu regionach świata, głównie w Ameryce Północnej i Południowej oraz Azji. W ciągu ostatnich 30 lat światowa produkcja soi wzrosła trzykrotnie i w sezonie 2013/2014 przekroczyła 283 mln ton (ryc. 1) [2]. Ta gwałtowna zmiana jest bezpośrednim wynikiem większego wykorzystania tej rośliny w różnych gałęziach przemysłu oraz wzrostem konsumpcji soi o przeszło 200 mln ton od lat 70. poprzedniego stulecia [3]. Polska importuje rocznie około 2 mln ton śruty sojowej na paszę, natomiast produkcja rodzima wynosi, według różnych źródeł, od kilkuset do kilku tysięcy ha (por. rozdz. 1.2).

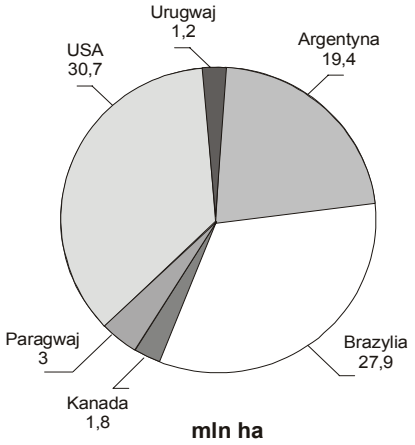


Ryc. 1. Światowa produkcja soi w milionach ton w latach 1994-2013

Soja zawiera około 20% oleju i 40% białka (dla porównania w mięsie wieprzowym zawartość białka jest dwukrotnie niższa, a w jajach kurzych – trzykrotnie) [4]. Po raz pierwszy śrutę sojową otrzymano jako produkt uboczny procesu produkcji oleju, który jest obecnie drugim najczęściej konsumowanym olejem na świecie. Śruta sojowa jest natomiast podstawom źródłem białka w paszach przeznaczonych do karmienia zwierząt hodowlanych. W mniejszym zakresie roślina ta jest wykorzystywana do bezpośredniej konsumpcji i wytwarzania produktów spożywczych, takich jak: olej, mleko sojowe, mąka sojowa, tofu oraz dodatki do żywności (np. lecytyna sojowa).

Do największych eksporterów soi należą (w kolejności wielkości sprzedaży): Stany Zjednoczone Ameryki Północnej, Brazylia, Argentyna, Paragwaj, Kanada oraz Urugwaj. Biorąc pod uwagę tonaż soi sprzedawanej za granicę, kraje te łącznie pokrywają ponad

95% światowego eksportu, a areał upraw na ich terytorium stanowi ponad trzy czwarte światowej powierzchni zasiewu (ryc. 2) [5].



Ryc. 2. Areał upraw soi wśród największych eksporterów soi w 2013 roku

W drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych poprzedniego stulecia do obrotu wprowadzono pierwszą odmianę soi genetycznie zmodyfikowanej (GM) odporną na herbicyd totalny Roundup®. Przez lata stopniowo komercjalizowano kolejne odmiany GM, co doprowadziło do znaczącego zmniejszenia areału konwencjonalnych upraw soi na rzecz odmian transgenicznych. W 2013 r. areał upraw soi GM wynosił 84,5 mln ha i wzrósł o ponad 3 mln w porównaniu do roku 2012 [6]. Obecnie szacuje się, że około 79% soi dostępnej na rynku to odmiany GM, głównie z cechami odporności na herbicydy lub/i szkodniki owadzie [6]. Wprowadzane innowacje nie spotkały się jednak z aprobatą opinii publicznej wielu krajów rozwiniętych, a badania sondażowe wykazały, że około 70% Europejczyków i Japończyków wolałoby konsumować żywność wyprodukowaną bez użycia GMO [7, 8]. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że badania empiryczne dotyczące decyzji zakupowych dokonywanych przez Europejczyków wykazały rozbieżność między deklaracjami a wyborami dokonywanymi przez konsumentów w trakcie codziennych zakupów [9].

Zapotrzebowanie na konwencjonalne odmiany soi (posiadające certyfikat wykluczający jakiekolwiek modyfikacje genetyczne) jest wyrażane szczególnie przez mieszkańców najlepiej rozwiniętych i najbardziej zamożnych krajów europejskich oraz Japonii i stanowi około 10% całkowitego handlu na świecie [3]. Koszt produkcji takiej soi (łącznie z procesem certyfikacji) jest wyższy od upraw GM, a liderami produkcji w tym zakresie są obecnie Brazylia, Chiny, Indie, USA i Kanada [3].

1.2. Konsumpcja soi w Polsce

Wśród krajów europejskich Polska stanowi stosunkowo duży rynek zbytu dla soi i jej przetworów, jednak rynek krajowy ogranicza się w zdecydowanej większości do

konsumpcji importowanych dóbr. Szacuje się (jak już wspomniano), że import śruty sojowej wynosi obecnie około 2 mln ton, przy bardzo ograniczonym areale upraw soi [10]. Obecnie uprawa soi z przeznaczeniem na paszę jest w Polsce bardzo ograniczona. Uzależnianie dopłat bezpośrednich od spełnienia przez rolników wymogów ekologicznych, począwszy od 2015 r. może przyczynić się do wzrostu wykorzystania upraw soi [11].

Rodzima produkcja zbóż paszowych jest w stanie zaspokoić około 30% zapotrzebowania na białko do produkcji pasz, głównie w postaci śruty rzepakowej [10], pozostałe 70% jest uzupełniane poprzez wykorzystanie importowanej śruty sojowej. Szacuje się, że Polska jest w około 80% uzależniona od importu wysokobiałkowych pasz [10]. W 2012 r. ponad 90% sprowadzanej z zagranicy śruty pochodziło z Ameryki Południowej, pozostała część – z USA oraz innych krajów UE [12]. Krajowe zużycie śruty sojowej z upraw konwencjonalnych (non-GM) stanowi zaledwie kilka procent jej ogólnego zużycia, pozostała część pochodzi z upraw GM. W sezonie 2012/2013 został utrzymany wieloletni trend wzrostu zapotrzebowania na surowce wysokobiałkowe do produkcji pasz, a ich zużycie szacowano na około 4,55 mln ton [13]. W 2012 r. ceny śruty sojowej były rekordowo wysokie i przekroczyły 2200 zł/tonę (wzrost o 60% w stosunku do poprzedniego roku), co spowodowało znaczący wzrost cen pasz przemysłowych. Import surowców wysokobiałkowych w 2013 r. był szacowany na ponad 3,6 mln ton [13].

Warto zatem podkreślić, że Polacy konsumują soję głównie pośrednio poprzez spożywanie mięsa i jego przetworów ze zwierząt skarmianych paszami, w których głównym źródłem białka jest soja. Biorąc pod uwagę silny sprzeciw społeczeństwa polskiego wobec wykorzystywania GMO w produkcji rolno-spożywczej, należy przytoczyć rachunek ekonomiczny, który szacuje wzrost kosztów produkcji żywca drobiowego, wieprzowego oraz jaj w przypadku zastąpienia surowców GM soją non-GM od 2 do 8%, a w przypadku wykorzystania innych surowców (takich jak: mączka rybna, serwatka, gluten kukurydziany) od 7,5 do 17% [14].

2. Właściwości soi

Olej sojowy i białka stanowią około 60% suchej masy nasion soi (40% – białko i 20% – olej). Pozostałe to węglowodany (ok 35%) i popiół (5%). Nasiona soi są nieco bardziej kaloryczne niż nasiona grochu i fasoli, 100 g suchych nasion soi dostarcza 385 kcal, a grochu i fasoli – 290 kcal. Wynika to z wysokiej zawartości tłuszczu, co jednak nie obniża wartości odżywczej soi, ponieważ zawiera ona duże ilości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych; warto podkreślić, że stosunek ilości kwasów wielonienasyconych do nasyconych jest o wiele korzystniejszy u soi niż w produktach mięsnych. Soja dostarcza również witaminy i składniki mineralne (szczególnie wysoka zawartość witamin z grupy B). Jest również ważnym źródłem azotu, potasu, żelaza, wapnia, magnezu i fosforu.

Większość białek sojowych jest względnie stabilna termicznie, co umożliwia produkcję artykułów spożywczych (takich jak tofu, mleko sojowe czy mąka sojowa, które wymagają obróbki termicznej). Jest to szczególnie istotne ze względu na fakt, że surowe produkty sojowe są toksyczne dla wszystkich zwierząt posiadających żołądek jednokomorowy (a zatem także dla człowieka), ze względu na wysoką zawartość inhibitorów proteaz serynowych.

Soja przez wielu uważana jest za źródło białka pełnowartościowego, czyli takiego, które dostarcza organizmowi wszystkich niezbędnych aminokwasów. Stąd soja może być stosowana zamiennie z białkiem pochodzącym z mięsa. Jest przy tym zdrowsza, bo zawiera mniej tłuszczów nasyconych.

Tabela 1. Ilości składników odżywczych w zbożach surowych [17].
(HRS – ang. *Hard Red Spring*, klasyfikacja pszenicy)

Gatunek	**Kukurydza żółta**	**Ryż biały, długi**	**Pszenica HRS**	**Soja zielona**	**Sorgo**
zawartość w 100 g					
Woda (g)	10	12	13	68	9
Energia (kJ)	1528	1528	1369	615	1419
Białko (g)	9,4	7,1	12,6	13	11,3
Tłuszcz (g)	4,74	0,66	1,54	6,8	3,3
Węglowodany (g)	74	80	71	11	75
Włókna (g)	7,3	1,3	12,2	4,2	6,3
Cukry (g)	0,64	0,12	0,41	0	0
Wapń (mg)	7	28	29	197	28
Żelazo (mg)	2,71	0,8	3,19	3,55	4,4
Magnez (mg)	127	25	126	65	0
Fosfor (mg)	210	115	288	194	0
Potas (mg)	287	115	363	620	287
Sód (mg)	35	5	2	68	350
Witamina C (mg)	0	0	0	29	0
Tiamina (mg)	0,39	0,07	0,3	0,44	0,24
Ryboflawina (mg)	0,2	0,05	0,12	0,18	0,14
Folian (μg)	19	8	38	165	0
Nasycone kwasy tłuszczowe	0,67	0,18	0,26	0,79	0,46
Jednonienasycone kwasy tłuszczowe (g)	1,25	0,21	0,2	1,28	0,99
Wielonienasycone kwasy tłuszczowe (g)	2,16	0,18	0,63	3,2	1,37

Podstawowymi węglowodanami rozpuszczalnymi dojrzałych nasion soi są disacharyd sukroza (2,5-8,2%), trójsacharyd rafinoza (0,1-1,0%) i tetrasacharyd stachioza (1,4-4,1%) [15]. Rafinoza i stachioza zapewniają ochronę nasionom przed wysychaniem, nie ulegają

jednak trawieniu w układzie pokarmowym, co ma zasadnicze znaczenie w produkcji pasz – przyczyniają się do powstawania wzdęć, dyskomfortu w okolicach podbrzusza u zwierząt z jednokomorowym żołądkiem. Niestrawione oligosacharydy ulegają rozkładowi za pomocą mikroorganizmów w jelitach, czego efektem jest produkcja gazów, takich jak dwutlenek węgla, wodór i metan. Produkty sojowe poddawane fermentacji, czyli m.in. koncentraty sojowe, tofu czy sosy sojowe, pozbawione są tych niepożądanych właściwości. Węglowodany rozpuszczalne to głównie celuloza, hemiceluloza i pektyny. Większość z nich można zaliczyć do włókien żywieniowych.

W tłuszczu pochodzącym z nasion sojowych znajdują się 4 rodzaje fitosteroli: stigmasterol, sitosterol, kampesterol i brasikasterol, mogą one zostać przekształcone w hormony steroidowe [16]. Rośliny bobowate, takie jak soja czy ciecierzyca, są najważniejszym źródłem saponin w ludzkiej diecie (są to naturalne surfaktanty). W nasionach ich zawartość to od 0,17 do 6,16%, w odtłuszczonej mące sojowej od 0,35 do 2,3%, a w tofu od 0,06 do 1,9%.

W tabeli 1 przedstawiono wartości odżywcze zawarte w nieprzetworzonej (surowej) zielonej soi i innych ważnych zbożach. Po przetworzeniu, ilość poszczególnych składników się zmienia w zależności od metody obróbki (gotowanie, smażenie, pieczenie).

2.1. Przydatność do produkcji przemysłowej zwierząt

Śruta sojowa (SBM, ang. *soybean meal*) jest najważniejszym źródłem białka stosowanym w żywieniu zwierząt hodowlanych. Inne produkty sojowe są również wykorzystywane, jak np.: sojowe pełnotłuszczowe, sojowe koncentraty białkowe (SPC, ang. *soy protein concentrate*), sojowe izolaty białkowe (SPI, ang. *soy protein isolate*), olej sojowy czy też łupiny sojowe. Głównym powodem wysokiej popularności SBM jest unikatowa kompozycja aminokwasów, która komplementuje/uzupełnia skład aminokwasowy innych produktów zbożowych. Jest to szczególnie istotne w przypadku skarmiania drobiu i świń, gdzie czynnikiem limitującym wzrost i rozwój jest niedobór aminokwasu lizyny w innych kompozycjach mieszanek paszowych. Białka sojowe zawierają również względnie wysokie stężenie argininy (bardzo istotne w przypadku drobiu) i tryptofanu (ważne w przypadku żywienia świń). Pełnotłuste produkty sojowe nie są tak często wykorzystywane do skarmiania świń i drobiu jak SBM, mogą być jednak dodawane do żywienia. Podobnie, dodatek oleju sojowego zwiększa wartość energetyczną pożywienia zwierząt hodowlanych. Łuski nasion soi nie są zazwyczaj podawane zwierzętom posiadającym żołądek jednokomorowy, mogą być natomiast dodatkiem do pożywienia dla przeżuwaczy. Białka sojowe są również składnikiem karmy podawanej zwierzętom domowym, takim jak koty, psy [18].

Jak wcześniej wspomniano, wszystkie produkty sojowe podawane w diecie zwierzętom z jednokomorowym żołądkiem muszą być najpierw poddane obróbce termicznej w celu inaktywacji inhibitorów proteaz i lektyn. Jest to bardzo ważny etap przygoto-

wania konsumpcyjnych produktów sojowych. Obróbka termiczna nie może być jednak zbyt długa, ponieważ obniża się wtedy możliwość przyswajania niektórych aminokwasów, szczególnie lizyny. Jednakże prawidłowa obróbka surowych produktów sojowych gwarantuje odpowiednio wysoką przyswajalność aminokwasów przez wszystkie zwierzęta.

Inaczej ma się sprawa z fosforem zawartym w produktach sojowych, który jest słabo przyswajany przez zwierzęta. Wynika to z faktu, że w większości pozostaje on związany w kompleksach fitynianowych. Jednakże dodatek enzymu fytazy zwiększa dostępność tego pierwiastka w pożywieniu.

Wykorzystanie produktów sojowych do skarmiania zwierząt może być w przyszłości jeszcze powszechniejsze, o ile przeprowadzi się ich modyfikacje. Jedną z nich mogłoby być obniżenie ilości oligosacharydów w diecie drobiu, co prowadziłoby do zwiększenia zdolności trawienia produktów sojowych, a także obniżyłoby częstość występowania wzdęć u zwierząt (co zwiększyłoby także możliwości wykorzystywania produktów sojowych do skarmiania zwierząt domowych).

Podobnie, wyprodukowanie produktów sojowych o obniżonej zawartości antygenów pozwoliłoby na szersze wykorzystanie SBM w skarmianiu młodych świń. Białka antygenowe występujące w soi, to glicynina i β-konglicynina. Powodują one reakcje alergiczne w przewodzie pokarmowym, które uszkadzają kosmki jelitowe. W efekcie zmniejsza się wchłanianie składników pokarmowych oraz zwiększa się podatność na zaburzenia pokarmowe. Ma to ujemny wpływ na wyniki odchowu prosiąt. Największy, jak się wydaje, potencjał wykorzystania soi i jej przetworów w skarmianiu zwierząt hodowlanych istnieje jednak w przypadku bydła, gdzie można by jednocześnie stosować zarówno produkty sojowe, jak i łupiny nasion soi.

2.2. Odmiany GM

W ciągu ostatnich 20-30 lat zauważa się wzrost zainteresowania nowymi genetycznie zmodyfikowanymi zbożami i składnikami pokarmowymi o ulepszonych wartościach żywieniowych. Początkowo starano się zmieniać soję w celu obniżenia kosztów produkcji, czy też wyeliminowania problemów występujących podczas wzrostu roślin. Kolejno zaczęto udoskonalać odmiany tak, aby ich skład był bardziej wartościowy bądź też aby uzyskiwać większe plonowanie soi z pól uprawnych.

Pierwsze genetycznie zmodyfikowane odmiany soi zostały opisane w 1988 r. [19]. W przypadku soi modyfikacje dotyczą zwiększenia odporności na insekty (wprowadzenie genów tolerancji z *Bacillus thuringensis* Bt), tolerancji na środki ochrony roślin (rodzina herbicydów opartych na glifosacie), jak również polepszenia cech odżywczych.

Jedną z modyfikacji wpływających na zwiększoną możliwość wykorzystania soi i produktów z niej wytwarzanych jest obniżenie ilości inhibitorów trypsynowych i odmian o niskiej zawartości lektyn [20-22]. Ponadto uzyskano odmiany o niskiej zawartości oli-

gosacharydów [23], zredukowanej ilości fitynianów, co warunkuje ułatwioną przyswajalność fosforu i wyższej zawartości białek [24]. Kolejną odmianą genetycznie zmodyfikowaną ważną dla konsumenta, a nie tylko producenta, jest odmiana o ulepszonym składzie kwasów tłuszczowych (Plenish) [25]. W tabeli 2 przedstawiono zarejestrowane genetycznie zmodyfikowane odmiany soi. Należy podkreślić, że rejestracja odmiany GM w Unii Europejskiej nie jest równoznaczna ze zgodą na jej hodowlę i produkcję.

Tabela 2. Transgeniczne odmiany soi [26] (pogrubiono odmiany zarejestrowane w UE)

Nazwa odmiany	Przeprowadzona modyfikacja	Twórca odmiany (patent)	Opis
A2704-12 A2704-21 A5547-35	Dodatkowy gen z *Streptomyces hygroscopicu* kodujący fosfinotrycyno-N-acetyltransferazę (PAT)	Bayer CropScience (Aventis CropScience (AgrEvo))	Odmiana z tolerancją na herbicyd, fosfinotrycynę
A5547-127	Dodatkowy gen z *Streptomyces hygroscopicu* kodujący fosfinotrycyno-N-acetyltransferazę (PAT), gen beta-laktamazy nieulegający ekspresji	Bayer Crop Science (Aventis CropScience (AgrEvo))	Odmiana z tolerancją na herbicyd, fosfinotrycynę
BPS-CV127-9	Dodatkowy gen z *Arabidopsis thaliana*, duża podjednostka syntazy acetylohydroksykwasu (csr1-2)	BASF Inc.	Odmiana z tolerancją herbicydu, imidazolinon
DP-305423	Dwa dodatkowe geny *Glycine max* kodujące delta(12) dehydrogenazę kwasów tłuszczowych oraz syntazę acetylomleczanową	DuPont, Pioneer	Odmiana o zmienionej zawartości kwasów tłuszczowych, podwyższonej ilości kwasu oleinowego i obniżonej zawartości kwasu linolenowego
DP356043	Dodatkowy gen *Bacillus licheniformis*, kodujący N-acetylotransferazę glifosatu i dodatkowy gen *Glycine max* kodujący syntazę acetylomleczanową (ALS)	DuPont, Pioneer	Odmiana tolerancyjna na herbicyd, glifosat oraz herbicydy hamujące aktywność ALS
G94-1, G94-19, G168	Dodatkowy gen *Glycine max* kodujące delta(12) dehydrogenazę kwasów tłuszczowych, gen z *Escherichia coli* kodujący beta-D-glukoronidazę, gen beta-laktamazy nieulegający ekspresji	DuPont Canada Agricultural Products	Odmiana o podwyższonej zawartości kwasu oleinowego
GTS 40-3-2	Dodatkowy gen *Agrobacterium tumefaciens* CP4 kodujący syntazę 5-enolopirogroniano-szikimowo-3-fosforanową	Monsanto Company	Odmiana z tolerancją na herbicyd, glifosat
GU262	Dodatkowy gen z *Streptomyces viridochromogene* kodujący fosfinotrycyno-N-acetyltransferazę (PAT), gen beta-laktamazy nieulegający ekspresji	Bayer Crop Science (Aventis CropScience (AgrEvo))	Odmiana z tolerancją na herbicyd, fosfinotrycynę
MON87701	Dodatkowy gen z *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki* (Btk) kodujący toksynę Cry1Ac	Monsanto Company	Odmiana odporna na szkodniki, larwy *Pseudoplusia includen* oraz *Anticarsia gemmatalis*

MON87701 x MON89788	Dodatkowy gen *Agrobacterium tumefaciens* CP4 kodujący syntazę 5-enolopirogroniano-szikimowo-3-fosforanową oraz gen z *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki* (Btk) kodujący toksynę Cry1Ac	Monsanto Company	Odmiana odporna na szkodniki oraz z tolerancją na herbicyd, glifosat
MON89788	Dodatkowy gen z *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki* (Btk) kodujący toksynę Cry1Ac	Monsanto Company	Odmiana z tolerancją na herbicyd, glifosat
OT96-15	Dodatkowy gen z *Glycine max fan1 (PI361088B)*	Agriculture & Agri-Food Canada	Odmiana o zmienionej zawartości kwasów tłuszczowych, obniżonej zawartości kwasu linolenowego
W62, W98	Dodatkowy gen z *Streptomyces hygroscopicu* kodujący fosfinotrycyno-N-acetyltransferazę (PAT) gen z *Escherichia coli* kodujący beta-D-glukuronidazę	Bayer Crop Science (Aventis CropScience (AgrEvo))	Odmiana z tolerancją na herbicyd, fosfinotrycynę

Soja jest pospolitą rośliną uprawną, która posiada jednak bardzo duże wymagania, potrzebuje dobrych, żyznych gleb i dużego nasłonecznienia. Zakres optymalnych temperatur dla wzrostu soi to 20-30 °C, poniżej 20 °C i powyżej 40 °C rośliny te rosną znacznie wolniej.

Większość soi i przetworów sojowych wykorzystywanych w Europie jest importowana. Około 400 000 hektarów soi uprawianej w Europie reprezentuje jedynie 3% zapotrzebowania naszego kontynentu na pasze dla zwierząt. Stąd Europa importuje 20 milionów ton soi rocznie z Ameryki Południowej i Północnej. Jedną z poważniejszych trudności w uprawie soi w Europie jest klimat charakteryzujący się chłodną wiosną i suszą na początku lata. Rozwiązaniem problemów klimatycznych jest stosowanie odmian soi niewrażliwych na umiarkowany klimat panujący w Europie. Nowe odmiany można uzyskiwać metodami standardowymi, bardzo czasochłonnymi, bądź też z wykorzystaniem technik biologii molekularnej jak NBT, czy też tworzenie odmian genetycznie zmodyfikowanych, GMO.

3. Nowe techniki hodowlane

Jedną ze składowych procesu wprowadzania innowacji w rolnictwie jest uzyskanie postępu hodowlanego lub odmianowego, który można szerzej określić jako postęp biologiczny. Związany jest on z wprowadzaniem zmian, zarówno w organizmach roślinnych, jak i zwierzęcych, które wpływają na ich wartość technologiczno-użytkową [27]. Postęp biologiczny jest obecnie dominującym czynnikiem determinującym wzrost produktywności rolnictwa [28]. Wymaga od hodowców tworzenia nowych odmian, a tym samym genotypów, których cechy coraz lepiej odpowiadają współczesnej praktyce rolniczej

i wymaganiom rynku związanym z produkcyjnością, zdrowotnością, przydatnością do przetwórstwa czy oczekiwaniami konsumentów. Także niekorzystne zmiany środowiska naturalnego spowodowane działalnością człowieka stawiają nowe wyzwania przed hodowcami, którzy muszą zapewnić wzrost plonu roślin uprawianych w warunkach stresu abiotycznego związanego np. z suszą czy wysokim zasoleniem gleby, które obejmuje coraz większe obszary ziem uprawnych na świecie.

Aby sprostać rosnącym potrzebom gospodarki rolnej, hodowcy coraz częściej zwracają się ku nowym technikom hodowlanym NBT, które są oparte na genomice i biologii molekularnej, a mogą zapewnić uzyskanie szybszego postępu hodowlanego. Poza techniką modyfikacji genetycznej i tworzenia roślin GM, należą do nich techniki wykorzystujące nukleazy z domeną palca cynkowego (ZFN, ang. *zinc finger nuclease*), mutagenezę kierowaną oligonukleotydami (ODM, ang. *oligonucleotide directed mutagenesis*), cis- i intragenezę (ang. *cisgenesis, intragenesis*), zależną od RNA metylację DNA (RdDM, ang. *RNA-dependent DNA methylation*), szczepienie na podkładkach GM oraz agro-infiltrację (ang. *agro-infiltration*). Zastosowanie tych technik prowadzi do otrzymania zmienionych cech roślin, jednakże niespełniających obecnie prawnej definicji genetycznie zmodyfikowanych organizmów. Zatem ich wprowadzenie do produkcji nie wymaga kosztownych i długotrwałych procedur koniecznych w Unii Europejskiej do rejestracji odmian GM [29].

W ostatnich latach jednym z najbardziej wszechstronnych i skutecznych narzędzi celowanej inżynierii genomowej okazały się nukleazy z domeną palca cynkowego (ZFN). Są to syntetyczne białka, które składają się z domeny wiążącej się do specyficznej sekwencji w obrębie genomu (domena palca cynkowego) oraz domeny nukleazowej, która tnie podwójną nić DNA. Powstała przerwa w łańcuchu DNA jest naprawiana przez komórkowy mechanizm scalania niehomologicznych końców DNA (NHEJ, ang. *non-homologous end joining*), który prowadzi do mutacji od jednego do kilku nukleotydów lub do niewielkiej insercji/delecji. Technika ZFN umożliwia także wprowadzenie nowej informacji genetycznej, gdy do genów kodujących ZFN zostanie dodana sekwencja DNA, której końce są homologiczne do sekwencji w miejscu cięcia [30]. W ten sposób można więc wprowadzić mutacje lub dodatkową informację genetyczną w konkretnych miejscach genomu. Białka ZFN działają jako heterodimery – aby zaszła reakcja cięcia do specyficznych sekwencji na obu niciach, muszą przyłączyć się monomery, które dopiero w wyniku dimeryzacji nabierają zdolności nukleazowych. Dzięki temu system ZFN zapewnia specyficzność, sekwencja docelowa może mieć długość nawet 18 nt, co wystarcza do uzyskania swoistości cięcia nawet w dużych i złożonych genomach eukariotycznych [31]. Technika ZFN została wykorzystana np. do wprowadzenia mutacji w genie ALS tytoniu kodującym syntetazę acetylomleczanową (ang. *acetolactate synthase*), dzięki czemu zwiększono odporność roślin na herbicydy (imidazolinon i sulfonylomo-

cznik) [32]. Także w roślinach tytoniu [33] oraz kukurydzy [34] wprowadzono zmiany w niefunkcjonalnym genie PAT, który koduje fosfotransferazę fosfinotricyny (ang. *phosphinotricin phosphotransferase*) i odpowiada za nabycie odporności na herbicyd Basta przez tak zmodyfikowane rośliny.

Innym narzędziem do celowanej mutagenezy, wykorzystywanym między innymi w hodowli roślin, jest mutageneza kierowana oligonukleotydami (ODM), zwana również celowaną naprawą genów (ang. *targeted gene repair*), kierowaną przez RNA modyfikacją DNA (ang. *RNA-mediated DNA modification*) czy kierowaną oligonukleotydami modyfikacją genów (ang. *oligonucleotide-mediated gene modification*). Zmiany genetyczne, które można osiągnąć przy pomocy tej techniki, obejmują wprowadzanie nowej mutacji jednego lub kilku przyległych nukleotydów, odwrócenie istniejącej mutacji lub indukcję krótkiej delecji. Specyficzność techniki zapewnia sekwencja syntetyzowanego chemicznie oligonukleotydu o długości od 20 do 100 nt, który jest homologiczny do sekwencji, która ma zostać docelowo zmieniona, z wyjątkiem kilku nukleotydów, w obrębie których chcemy wprowadzić mutacje. Wprowadzenie oligonukleotydu do komórki i jego przyłączenie do sekwencji homologicznej w genomie uruchamia komórkowe systemy naprawcze, rozpoznające niedopasowania między oligonukleotydem a sekwencją genomu, które są korygowane, zmieniając przy tym pierwotną sekwencję genomu. Technika ta była stosowana do wprowadzenia mutacji w genie ALS u ryżu i rzepaku oraz genie AHAS, który koduje syntazę kwasu acetylohydroksylowego (ang. *synthase acetohydroxyacid*). W wyniku wprowadzonych mutacji rośliny uzyskały odporność na herbicydy, które blokują produkty białkowe wymienionych genów [35].

Jedną z głównych przeszkód przed szerszym wykorzystaniem organizmów GM jest obawa opinii publicznej przed wykorzystywaniem materiału genetycznego pochodzącego z organizmów, które naturalnie nie mogą się krzyżować. Aby rozwiązać ten problem, zaproponowano dwie koncepcje transformacji genetycznej – intra- i cisgenezę, w których wprowadzany materiał genetyczny pochodzi z tego samego gatunku rośliny lub z gatunku spokrewnionego na tyle, że krzyżowanie z nim jest możliwe także w warunkach naturalnych. Także w tym przypadku zastosowana technologia nie spełnia kryteriów otrzymywania GMO, a zatem jest szansa na ominięcie kłopotów prawnych i społecznych. W przypadku cisgenezy wprowadzany gen, introny, elementy regulatorowe są niezmienione i ciągłe. Stosując cisgenezę, możemy uzyskać w znacznie krótszym czasie rezultaty, które można by odtworzyć, korzystając z tradycyjnych metod hodowli. Intrageneza dopuszcza zmiany we wprowadzanym materiale genetycznym, możliwe jest zestawienie genów z różnymi promotorami czy innymi elementami regulatorowymi, a także stosowanie wyciszania genów, np. przez wykorzystanie zjawiska interferencji RNA (RNAi), wykorzystując własne (endogenne) zasoby informacji genetycznej danego organizmu. Dzięki temu wachlarz możliwości wprowadzania nowych cech jest szerszy

niż w przypadku cisgenezy. Techniki te zostały wykorzystane do modyfikacji roślin uprawnych, takich jak ziemniak, jabłko, melon, lucerna, pszenica, jęczmień czy truskawki do wprowadzenia np. odporności na infekcje grzybiczne [36] czy zmniejszenia poziomu akrylamidu w ziemniakach [37], odporności na parch jabłoni [38] czy zwiększenia aktywności fitazy w jęczmieniu [39].

Kolejną techniką, która umożliwia wprowadzenie nowych cech w roślinach bez wprowadzania mutacji czy dodatkowego materiału genetycznego, jest RdDM – zależna od RNA metylacja DNA. Umożliwia ona zmianę ekspresji genów poprzez mechanizmy epigenetyczne. RdDM powoduje transkrypcyjne wyciszenie docelowego genu poprzez metylację jego sekwencji promotorowej. Stosując odpowiednią metodę transformacji do komórek roślinnych wprowadza się konstrukt genowy. Po transkrypcji powstałe z niego dwuniciowe RNA zostaje poddane obróbce przez specyficzne enzymy komórkowe, w wyniku której tworzone są krótkie 21-24 nukleotydowe RNA, które kierują metylacją homologicznej sekwencji promotorowej. W ten sposób następuje zahamowanie transkrypcji danego genu. W organizmach roślinnych wzorzec metylacji jest mejotycznie stabilny i dzięki temu wprowadzone zmiany, a tym samym pożądana cecha, są dziedziczone przez kolejne pokolenia i poprzez segregację w obrębie populacji hodowlanej, prowadzą do wytworzenia odmiany, w której status metylacji jest zmieniony, ale nie zawiera ona egzogennego konstruktu. Proces RdDM wykorzystano dotychczas do zmiany ekspresji genów u kukurydzy (związanych z cechą męskiej sterylności), ziemniaka (geny związane z produkcją skrobi) czy u roślin ozdobnych (geny warunkujące pigmentację kwiatów) [40].

Szczepienie jest z kolei metodą, w której nadziemne części wegetatywne jednej rośliny (zraz) są przytwierdzane do korzenia drugiej rośliny, który został uprzednio transformowany, w wyniku czego powstaje chimeryczny organizm o polepszonych cechach użytkowych. Stosując różnego rodzaju metody modyfikacji genetycznej, jak np. transformacja z udziałem *Agrobacterium* czy podejście biolistyczne, zmieniane są cechy, takie jak zdolność ukorzeniania czy odporność na choroby roślin wywoływane przez patogeny glebowe. Kiedy niezmodyfikowany zraz jest szczepiony na zmodyfikowanej genetycznie podkładce, nadziemne części rośliny takie jak łodyga, liście, kwiaty, nasiona i owoce nie będą posiadały zmienionej informacji genetycznej, jednak dzięki wprowadzonym w obrębie korzenia zmianom możliwe jest osiągnięcie np. wyższego plonowania. Głównymi cechami modyfikowanymi przez szczepienie na podkładach GM jest odporność na wirusy wprowadzona m.in. do ziemniaków, winorośli, arbuza, groszku i ogórka [35], odporność na zasolenie w przypadku roślin z rodziny psiankowatych i dyniowatych [41] czy odporność na suszę u pomidora [42] i pieprzu [43].

Kolejnym przykładem nowych technik hodowlanych jest agroinfiltracja. Jest to technika wykorzystywana do badania interakcji między rośliną i patogenem, roli elementów

regulatorowych w konstruktach genowych, a także produkcji wysokiej jakości rekombinowanych białek. Polega ona na nasączaniu tkanek roślinnych, najczęściej liści, wodną zawiesiną z komórkami *Agrobacterium*, które są zmodyfikowane genem, którego przejściową i lokalną ekspresję chcemy uzyskać w roślinie. W przypadku programów hodowlanych najczęściej technika ta wykorzystywana jest do badań przesiewowych roślin o pożądanym fenotypie. Jednym z przykładów jest wykorzystanie agroinfiltracji do rozpoznania fenotypów odpornych na patogeny, które mogą zostać następnie użyte jako rośliny wyjściowe do kolejnych krzyżówek.

4. Alternatywne źródła białka paszowego

Hodowla zwierząt gospodarczych stanowi znaczący składnik ogólnoświatowego zintegrowanego łańcucha pokarmowego. Wzrastający dobrobyt w wysoko zaludnionych krajach przyczynił się do zwiększenia popytu na produkty pochodzenia zwierzęcego, a co za tym idzie tempa wzrostu produkcji zwierzęcej. Szacuje się, że produkty odzwierzęce stanowią 30% wartości rolnictwa światowego, 19% wartości produkcji żywności, odpowiadają za dostarczenie 34% białka i 19% tłuszczów w diecie człowieka [44]. Aby zapewnić odpowiednią podaż mięsa, mleka, jaj i innych produktów odzwierzęcych, należy przede wszystkim zadbać o regularne dostawy opłacalnej, wysokiej jakości i bezpiecznej paszy dla zwierząt gospodarczych. W ostatnich latach coraz częściej w debatach publicznych pojawiają się głosy niepokoju związane z koniecznością zapewnienia coraz większej ilości wysokobiałkowych pasz. Dotyczą one nie tylko rosnących potrzeb ilościowych, ale coraz częściej są związane z zaniepokojeniem opinii publicznej o jakość i bezpieczeństwo stosowanych w żywieniu zwierząt surowców, czego drastycznym przejawem był kryzys związany ze stosowaniem mączki kostnej i epidemią gąbczastej encefalopatii bydła (BSE, ang. *bovine spongiform encephalopathy*), zwaną popularnie chorobą wściekłych krów. W konsekwencji zakazano w UE stosowania mączek mięsno-kostnych jako komponentu pasz dla bydła, trzody i drobiu, co w efekcie doprowadziło do uzależnienia rynku europejskiego od importu śruty sojowej, produkowanej głównie z soi GM. Wzbudza to również zaniepokojenie społeczeństwa, podobnie jak incydenty związane ze skażeniem chemicznym komponentów pasz, np. dioksynami, infekcje bakteryjne, których ogniskami była żywność oraz rosnąca liczba przypadków mikroorganizmów opornych na antybiotyki.

Obecnie, jak i w najbliższej przyszłości, to soja stanowić będzie podstawę produkcji pasz zwierzęcych, jednak ze względu na konieczność jej importu i wzrastające ceny, a także w skali globalnej zwiększoną konkurencję o zasoby ziemi i wody między uprawą roślin na żywność, pasze i paliwo, wzrasta konieczność znalezienia alternatywnych źródeł wysokiej jakości białka paszowego. Jedną z możliwości jest wykorzystanie nowych technik hodowlanych i stworzenie odmian soi, które będą mogły rosnąć w klimacie

umiarkowanym. Kolejną mogą stanowić rośliny pastewne bogate w skrobię, w których została zwiększona zawartość białka, np. odmiany hybrydowe kukurydzy o wysokiej zawartości białka (QPM, ang. *quality protein maize*), które z powodzeniem zostały wprowadzone do uprawy w Chinach, Indiach czy Wietnamie.

W naszej strefie klimatycznej najważniejszym alternatywnym źródłem białka paszowego jest rzepak, a konkretnie poekstrakcyjna śruta rzepakowa. Uprawiane obecnie odmiany dwuzerowe posiadają znikomą zawartość szkodliwych dla zwierząt glukozylanów i kwasu erukowego, a zawierają około 38% dobrze przyswajalnego białka bogatego w aminokwasy siarkowe, których ilość w soi jest zbyt niska. Innymi gatunkami roślin, które mogą zastąpić w żywieniu zwierząt soję, są należące do tej samej rodziny, groch, bobik czy łubin, które w klimacie umiarkowanym były tradycyjnie uprawiane na pasze, a ich produkcja może zapewnić wiele korzyści w samym gospodarstwie (np. polepszenie żyzności, przewiewności i drenażu gleby, a także wzbogacenie jej w azot). W obrębie Unii Europejskiej uprawa rodzimych gatunków roślin bobowatych jest wspierana, aby zmniejszyć zależność od importowanej śruty sojowej. Każda z wymienionych roślin ma swoje mocne i słabe strony jako źródło białka paszowego. Np. łubin charakteryzuje się najwyższą zawartością białka (32-43% w zależności od gatunku), jednak jest to białko ubogie w aminokwasy egzogenne, jak tryptofan czy lizyna. Ponadto nasiona łubinu zawierają wiele alkaloidów o działaniu toksycznym, a syntetyzowane przez łubin węglowodany nie są trawione przez drób, tylko wydalane, co prowadzi do zawilgocenia ściółki i pogorszenia warunków chowu. Z kolei nasiona bobiku zawierają pewne ilości glikozydów pirymidynowych, które pogarszają spożycie paszy, przyrosty oraz wielkość jaj. Potencjalnie największe znaczenie może mieć uprawa grochu, chociaż cechuje go dość niska zawartość białka, jednak jest to białko wysokiej jakości, bogate w lizynę, treoninę i cysteinę. Dodatkową zaletą jest niska zawartość błonnika i substancji antyżywieniowych, dlatego udział grochu w mieszankach paszowych może być wysoki.

Doskonałym, lecz kosztownym źródłem białka są pasze pochodzenia zwierzęcego – najczęściej stosuje się w żywieniu zwierząt monogastrycznych surowce takie, jak mączka rybna, z krwi i suszona plazma krwi. Charakteryzują się one wysoka zawartością dobrze przyswajalnego białka, a mączka z krwi i suszona plazma zawierają także immunoglobuliny, które stymulują układ odpornościowy młodych zwierząt. Jednak ze względu na wysoki koszt stosowanie mączek racjonalne jest jedynie w przypadku zwierząt młodych. Jak już wspomniano, stosowanie mączki mięsno-kostnej jest dopuszczalne jedynie w produkcji zwierząt futerkowych oraz zwierząt domowych (psy, koty).

Kolejnym źródłem białka może być suszony wywar gorzelniany, który jest produktem ubocznym w procesie produkcji spirytusu. Zawartość białka wynosi w przypadku wywaru kukurydzianego 29%, a w wywarze żytnim 34%, jednak są one ubogie w aminokwasy egzogenne, zawierają także znaczną ilość włókna i resztki składników antyżywie-

niowych. Mimo wszystko mogą stanowić dobre i tanie źródło białka, szczególnie łatwo dostępne dla lokalnych hodowców. Zużycie wywaru może być formą zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych i ich recyklingu, co sprzyja racjonalnemu i ekonomicznemu wykorzystaniu zasobów.

Rozpropagowanymi na mniejszą skalę źródłami białka w żywieniu zwierząt są także algi morskie. Stosuje się również suplementację pasz syntetycznymi aminokwasami. Aminokwasy syntezowane chemicznie były wprowadzane do żywienia zwierząt już w latach 50. XX wieku (dodawano metioninę do pasz dla drobiu). Rozwój technik biotechnologicznych umożliwił znaczną redukcję kosztów syntezy i zwiększył opłacalność stosowania syntetycznych aminokwasów. Szacuje się, że użycie tony syntetycznej lizyny mogłoby zaoszczędzić zużycia 33 ton śruty sojowej [44], jednak mimo to zastosowanie syntetycznych aminokwasów na skalę światową jest nadal nieopłacalne ekonomicznie. Także hodowla i produkcja alg pozostaje w stadium badań, mimo że zapewniają one bardzo dobre źródło wysokiej jakości białka. Wykazano w licznych badaniach żywieniowych, jak i toksykologicznych przydatność alg jako dodatku lub substytutu pasz sojowych i obecnie 30% produkowanych alg jest wykorzystywanych w żywieniu zwierząt [45].

5. Konkluzje: żywność dla 9 mld ludzi

Ogromny wzrost produkcji żywności w ostatnim półwieczu pozwolił znacząco obniżyć liczbę ludzi głodujących na świecie, nawet mimo dwukrotnego wzrostu zaludnienia, który nastąpił w tym czasie. Jednak nadal co siódma osoba cierpi z powodu niedożywienia, a z drugiej strony około miliarda ludzi ma nadwagę. Prognozy tempa przyrostu ludności przewidują osiągnięcie plateau dopiero na poziomie 9 mld ludzi około roku 2050. Do tego czasu, aby zapewnić wyżywienie populacji ludzkiej, należałoby zwiększyć produkcję żywności aż o 70%, co wymagałoby średniego wzrostu produkcji zbóż o 44 mln ton rocznie [46]. Osiągnięcie trwałego wzrostu produkcji rolniczej na taką skalę będzie bezprecedensowe i wymaga wielu znaczących zmian zarówno w procesie produkcji, jak i postępie hodowlanym. Dokonanie zmian we wszystkich obszarach rolnictwa, które sprostałyby wzrostowi ludności jest ogromnym wyzwaniem, tym bardziej biorąc pod uwagę dodatkową presję związaną z globalnymi zmianami klimatu i zanieczyszczeniem środowiska, wydaje się to zadaniem wręcz heroicznym i egzaminem dla całej ludzkości.

Wzrost produktywności upraw w konkretnym środowisku może być osiągnięty przez zapewnienie hodowcom wiedzy i dostępu do odpowiednich nasion, właściwych metod ochrony przed szkodnikami oraz zabezpieczenie zasobów wody i składników odżywczych. W ten sposób można zniwelować różnice w wydajności hodowli (ang. *yield gap*), która określa różnicę między realną wysokością plonów uzyskiwanych w danym środowisku i warunkach geopolitycznych a plonami, które można by wytworzyć, stosując

najlepsze dostępne warunki i odmiany oraz techniki hodowlane. Zastosowanie NBT, czyli nowych technik hodowlanych, umożliwia przyspieszenie uzyskania postępu odmianowego, dzięki któremu można stworzyć linie i szczepy roślin uprawnych optymalnie dostosowane do lokalnych warunków środowiska. Postęp w hodowli soi i wprowadzenie jej do uprawy na szerszą skalę w strefie klimatu umiarkowanego mógłby przyczynić się do obniżenia kosztów produkcji zwierzęcej, a tym samym zwiększenia jej opłacalności i wielkości. W perspektywie zmian środowiskowych najbliższych lat i dalszego wzrostu ludności może być to jeden z elementów, który pozwoli uzyskać zrównoważoną intensyfikację produkcji rolnej i pomoże w wyżywieniu 9 mld ludzi.

Literatura

[1] Hymowitz T. (1990) *Soybeans: The success story*. [W:] *Advances in new crops*., red. Janick J., Simon J.E., Timber Press, Portland, OR: 159-163.
[2] *FAO 2014 Production Statistics*, dostępny pod adresem: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/E
[3] Garrett R. D., Rueda X., Lambin E. F. (2014) *Globalization's unexpected impact on soybean production in South America: linkages between preferences for non-genetically modified crops, eco-certifications, and land use*. Environ. Res. Lett. 8: 1-11.
[4] *Soy facts and data*, dostępny pod adresem: http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/agriculture/soy/facts/
[5] *FAO 2014 Trade Statistics,* dostępny pod adresem: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/E
[6] Clive J. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2013.* ISAAA Asia Center, Philippines.
[7] Małyska A., Twardowski T. (2012) *Social and legal determinants for the marketing of GM products in Poland*. New Biotech. 29 (3): 249-254.
[8] McCluskey J., Grimsrud K.M., Ouchi H., Wahl T.I. (2003) *Consumer response to genetically modified food products in Japan*. Agric. Resour. Econ. Rev. 32: 222-231.
[9] Gaskell, G. et al. (2010) *Europeans and Biotechnology in 2010 – Winds of change?* A report to the European Commission's Directorate-General for Research: 1-172, dostępny pod adresem: http://ec.europa.eu/public opinion/archives/ebs/ebs 341
[10] Jerzak M.A., Czerwińska-Kayzer D., Florek J., Śmiglak-Krajewska M. (2012) *Determinanty produkcji roślin strączkowych jako alternatywnego źródła białka – w ramach nowego obszaru polityki rolnej w Polsce*. Roczniki Nauk Rolniczych, seria G, T. 99. z.1: 113-120.
[11] Sadowska I., *Uprawa soi w Polsce*, dostępny pod adresem: http://www.wodr.poznan.pl/
[12] *Międzynarodowa Rada Zbożowa podwyższa prognozy dla zbiorów soi*, dostępny pod adresem: http://www.kipdip.org.pl/article/id/888
[13] *Rynek pasz stan i perspektywy* (2013) Dzwonkowski W. (red.) Dział Wydawnictw IERiGŻ-PIB, Warszawa.
[14] Kowalski A. (2012) *Wpływ zakazu stosowania GMO na koszty produkcji i ceny żywności*. Wykład na konferencji: GMO szansą polskiej gospodarki, Warszawa, 26 kwietnia 2012.
[15] Obendorf R.L., Kosina S.M. (2011) *Soluble Carbohydrates in Soybean*, str. 201-228, roz. 11[w:] *Soybean – Biochemistry, Chemistry and Physiology*, Tzi-Bun Ng (red.), InTechOpen.

[16] Feng-Qing Wang, Kang Yao and Dong-Zhi Wei (2011) *From Soybean Phytosterols to Steroid Hormones*, str. 213-252, roz. 11 [w:] *Agricultural and Biological Sciences, Soybean and Health*, Hany El-Shemy (red.), InTechOpen.
[17] *Nutrient data laboratory*. United States Department of Agriculture. http://fnic.nal.usda.gov/food-composition/usda-nutrient-data-laboratory
[18] Stein H.H., Berger L.L., Drackley J.K., Fahey G.C., Jr., Hernot D.C., Parsons C.M. (2008) *Nutritional properties and feeding values of soybeans and their coproducts*, str. 613-660, [w:] *Soybeans, Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. L.A. Johnson, P.J. White, R. Galloway (red.), AOCS Press, Urbana IL.
[19] Christou P., McCabe D.E., Swain W.F. (1988) *Stable Transformation of Soybean Callus by DNA-Coated Gold Particles*, Plant Physiol. 87 (3): 671-674.
[20] Batal A.B., Parsons C.M. (2003) *Utilization of different soy products as affected by age in chicks*, Poult. Sci. 82: 454-462.
[21] Douglas M.W, Parsons. C.M., Hymowitz T. (1999) *Nutritional evaluation of lectin-free soybeans for poultry*. Poult. Sci. 78: 91-95.
[22] Han Y., Parsons C.M., Hymowitz T. (1991) *Nutritional evaluation of soybeans varying in trypsin inhibitor content*. Poult. Sci. 70: 896-906.
[23] Parsons C.M., Zhang Y., Araba M. (2000) *Nutritional evaluation of soybean meals varying in oligosaccharide content.* Poult. Sci. 79: 1127-1131.
[24] Edwards III, H.M., Douglas M.W., Parsons C.M., Baker D.H. (2000) *Protein and energy evaluation of soybean meals processed from genetically modified high-protein soybeans.* Poult. Sci. 79: 525-527.
[25] http://www.plenish.com/
[26] CERA. (2012). *GM Crop Database.* Center for Environmental Risk Assessment (CERA), ILSI Research Foundation, Washington D.C. http://cera-gme.org/GMCropDatabase
[27] Mańkowski D., Laudański Z., Flaszka M. (2012) *Propozycja metody oceny postępu biologicznego i technologicznego w uprawie roślin na przykładzie pszenicy ozimej.* Biuletyn IHAR 263: 91-104.
[28] Wicki L. (2008) *Wykorzystanie postępu odmianowego w produkcji zbóż w polskim rolnictwie.* Roczniki Nauk Rolniczych, seria G, 94: 136-46.
[29] *Planting the future: opportunities and challenges for using crop genetic improvement technologies for sustainable agriculture* (2013), European Academies Science Advisory Council, Policy Report 21.
[30] Gaj T., Gersbach C.A., Barbas C.F. 3rd (2013) *ZFN, TALEN, and CRSIPR/Cas-based methods for genome engineering.* Trends Biotechnol. 31 (7): 397-405.
[31] Carrol D. (2011) *Genome engineering with zinc-finger nucleases.* Genetics 188 (4): 773-82.
[32] Townsend J.A., Wright D.A., Winfrey R.J., Fu F. et al. (2009) *High-frequency modification of plant genes using engineered zinc-finger nucleases*. Nature 459 (7245): 442-5.
[33] Cai C.Q., Doyon Y., Ainley W.M., Miller J.C. et al. (2009) *Targeted transgene integration in plant cells using designed zinc finger nucleases.* Plant Mol. Biol. 69 (9): 699-709.
[34] Ainley W.M., Sastry-Dent L., Welter M.E., Murray M.G. et al. (2013) *Trait stacking via targeted genome editing.* Plant Biotechnol. J. 11 (9): 1126-34.
[35] Lusser M., Parisi C., Plan D., Rodriguez-Cerezo E. (2011) *New Plant breeding techniques. State-of-the-art and prospects for commercial development.* JRC Reference Rep., 24760 EN.
[36] Haverkort A.J., Struik P.C., Visser R.G.F., Jacobsen E. (2009) *Applied Biotechnology to Combat Late Blight in Potato Caused by Phytophthora Infestans.* Potato Research 52: 249-64.

[37] Chawla R., Shakya R., Rommens C.M. (2012) *Tuber-specific silencing of asparagine synthase-1 reduces the acrylamide-forming potential of potatoes grown in the field without affecting tuber shape and yield.* Plant Biotechnol. J. 10 (8): 913-24.
[38] Joshi S.G., Schaart J.G., Groenwold R., Jacobsen E. et al. (2011) *Functional analysis and expression profiling of HcrVf1 and HcrVf2 for development of scab resistant cisgenic and intragenic apples.* Plant Mol. Biol. 75 (6): 579-91.
[39] Holme I.B., Dionisio G., Brinch-Pedersen H., Wendt T. et al. (2012) *Cisgenic barley with improved phytase activity.* Plant Biotechnol. J. 10 (2): 237-47.
[40] Lusser M., Parisi C., Plan D., Rodriguez-Cerezo E. (2012) *Deployment of new biotechnologies in plant breeding.* Nat. Biotechnol. 30 (3): 231-9.
[41] Colla G., Rouphael Y., Leonardi C., Bie Z. (2010) *Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions.* Scienta Horticulturae 127: 147-55.
[42] Sanchez-Rodriguez E., Romero L., Ruiz J.M. (2013) *Role of Grafting in Resistance to Water Stress in Tomato Plants: Ammonia Production and Assimilation.* J. Plant Growth Regul. 32: 831-842.
[43] Penella C., Nebauer S.G., Bautista A.S., Lopez-Galarza S. et al. (2014) *Rootstock alleviates PEG-induced water stress in grafted pepper seedlings: physiological responses*. J. Plant Physiol. 171 (10): 842-51.
[44] *Protein sources for the animal feed industry*. Expert Consultation and Workshop (2002), FAO Animal Production and Health Proceedings, Rzym.
[45] Becker E.W. (2007) *Microalgae as a source of protein*. Biotechnol. Adv. 25 (2): 207-10.
[46] Tester M., Landgridge P. (2010) *Breeding technologies to increase crop production in changing world*. Science 327 (5967): 818-22.

Finansowanie
Ten artykuł powstał dzięki kofinansowaniu ERANET-CORNET # 2/15/2013 projektu badawczego: „Innowacyjne produkty białkowe z nasion roślin strączkowych, uprawianych w warunkach rolnictwa zrównoważonego do żywienia drobiu" współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz grantu NCN nr UMO-2012/06/A/NZ9/00125."

Time for soybean?

Soybean is the most important raw material of industrial feeds in Poland as well as in the whole European Union. Unfortunately the climate conditions and available soybean varieties are the main cause of insignificant production in EU countries. At the same time excellent nutritional properties and great soybean promotion make EU dependent on import. The urgent question is whether we could start soybean production in Poland and other European countries? It appears possible, especially if we use new breeding techniques to improve existing soybean varieties. In near future this might be one of the possibilities to provide more food for growing human population.

Keywords: soybean, feed, GMO, new breeding techniques