

Zdzisław Targoński

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

BIOTECHNOLOGIA – STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJU

BIOTECHNOLOGY – ACTUAL STATE AND PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT

Słowa kluczowe: inżynieria genetyczna, biotechnologia medyczna, biotechnologia przemysłowa, zielona biotechnologia, organizmy modyfikowane genetycznie

Key words: genetic engineering, medical biotechnology, industrial biotechnology, green biotechnology, genetically modified organisms

Synopsis. Biotechnologia należy do najszybciej rozwijających się dziedzin nauki, o coraz większych możliwościach aplikacyjnych. W artykule omówiono najważniejsze osiągnięcia biotechnologii medycznej, biotechnologii przemysłowej i biotechnologii rolniczej pokazując jednocześnie możliwości i kierunki ich rozwoju. Zwrócono uwagę na aspekty społeczne i zagrożenia wynikające z wprowadzenia do praktyki rolniczej roślin modyfikowanych genetycznie.

Słowa „biotechnologia” użyto po raz pierwszy w 1917 roku dla opisu procesów wykorzystujących organizmy żywe do wytwarzania produktów. Jednak początki biotechnologii są o wiele wcześniejsze, gdy człowiek zaczął uprawiać rośliny, udomawiać zwierzęta, wytwarzać wino, piwo czy chleb. Definicja biotechnologii przyjęta przez OECD w wersji prostszej jest następująca „*Biotechnologia – interdyscyplinarna dziedzina nauki i techniki zajmująca się zmianami materii żywej i nieożywionej przez wykorzystanie organizmów żywych, ich części bądź pochodzących od nich produktów, a także modeli procesów biologicznych w celu wytworzenia wiedzy, produktów i usług*” [Dubin 2007]. Znanych jest kilka podziałów biotechnologii, jeden z nich oparty jest na pięciu kolorach: białym, czerwonym, zielonym, niebieskim i fioletowym [Twardowski 2007].

Biała biotechnologia – biotechnologia przemysłowa wykorzystująca systemy biologiczne w produkcji przemysłowej i ochronie środowiska. Opiera się ona na biokatalizie i bioprocessach. Dzięki tej biotechnologii surowce odnawialne, głównie produkty rolne, są przetwarzane z wykorzystaniem pleśni, drożdży, bakterii czy enzymów w cenne chemikalia, leki, biopolimery, biopaliwa, funkcjonalne składniki żywności, itd.

Czerwona biotechnologia – biotechnologia wykorzystywana w ochronie zdrowia, ważny i dynamicznie rozwijający się obszar biotechnologii, w szczególności w zakresie produkcji nowych biofarmaceutyków, diagnostyki genetycznej czy terapii genowej i ksenotransplantologii,

Zielona biotechnologia – biotechnologia związana z rolnictwem obejmująca stosowanie metod inżynierii genetycznej w celu doskonalenia produkcji roślinnej czy zwierzęcej. Ważnym osiągnięciem tej biotechnologii jest wprowadzanie transgenicznych roślin do uprawy polowej, produkcji szczepionek doustnych i rekombinowanych białek, a także wykorzystanie roślin jako surowców odnawialnych w biorafineriach.

Niebieska biotechnologia – biotechnologia morza wykorzystująca metody nowoczesnej biologii w celu wzrostu produkcji żywności pochodzenia morskiego i śródlądowego, otrzymywania nowych leków, poprawy zdrowotności ryb itd.

Fioletowa biotechnologia – zogniskowana wokół zagadnień społecznych i prawnych, jak akceptacja społeczna, legislacja, własność intelektualna czy też zagadnienia filozoficzne i etyczne.

W rozwoju biotechnologii można wyróżnić trzy okresy:

- biotechnologia starożytna – skoncentrowana głównie wokół produkcji żywności (chleb, jogurt, wino, piwo, kiszzone warzywa),
- biotechnologia klasyczna – w części oparta o biotechnologię starożytną, ale także o zdobycze nauki do połowy XX wieku (antybiotyki, proste związki chemiczne, witaminy, biopolimery itp.),

- biotechnologia nowoczesna – rozwój biologii molekularnej, inżynierii genetycznej, bioinżynierii prowadzące do otrzymywania organizmów modyfikowanych genetycznie w tym organizmów transgenicznych, tj. organizmów mających sztucznie zmieniony materiał genetyczny.

Nowoczesna biotechnologia rozwija się niezwykle dynamicznie, dlatego coraz częściej pojawiają się takie słowa, jak: bioekonomia czy biogospodarka, które świadczą o coraz większym znaczeniu różnych obszarów biotechnologii w rozwoju ludzkości. Jakie korzyści już mamy, a jakie możemy mieć w przyszłości to problematyka, którą przedstawiono w artykule. Spektakularnymi osiągnięciami nowoczesnej biotechnologii są m.in. klonowanie zwierząt, klonowanie genów w produkcji farmaceutyków, opracowanie technologii namnażania komórek macierzystych, genetycznie modyfikowana żywność, wykorzystanie DNA do identyfikacji organizmów [Dubin 2007].

W obszarze biotechnologii medycznej, a w szczególności przemysłu farmaceutycznego można wyróżnić dwie daty kluczowe dla rozwoju biofarmaceutyków, tj. połowa lat 40-tych XX wieku, gdy na skalę przemysłową rozpoczęto produkcję penicyliny G, co dało początek masowemu stosowaniu antybiotyków. Z kolei w 1982 roku do leczenia wykorzystano ludzką insulinę otrzymaną na drodze inżynierii genetycznej, a w 1985 roku wytworzono rekombinantowy hormon wzrostu. Te dwa produkty dały początek nowoczesnej biotechnologii medycznej oraz nowej grupie produktów polipeptydowych i białkowych nazywanych biofarmaceutykami. Obecnie większość biofarmaceutyków otrzymywana jest z wykorzystaniem modyfikowanych genetycznie bakterii, głównie *Escherichia coli* i drożdży *Saccharomyces cerevisiae*, ale także coraz większe znaczenie będą miały produkty z organizmów wyższych. Gruczoły mleczne zwierząt transgenicznych (koza, krowa) mogą stać się ważnym źródłem ludzkich białek o działaniu terapeutycznym. Do najważniejszych biofarmaceutyków zalicza się: rekombinantowe hormony, interferony, interleukiny, czynniki martwicy nowotworów, enzymy terapeutyczne, przeciwciała monoklinalne, szczepionki. Produkty te znalazły zastosowanie w leczeniu takich chorób, jak: cukrzyca, zawały serca, udary mózgu, białaczki, liczne choroby nowotworowe, anemie, zapalenia wątroby i inne [Walsh 2007].

Obecnie prowadzone badania ukierunkowane są na tworzenie biofarmaceutyków drugiej generacji charakteryzujące się lepszą farmakokinetyką, o lepszej skuteczności terapeutycznej i mniejszej szkodliwości dla organizmu. Duże nadzieje wiąże się z terapią genową polegająca na wprowadzeniu obcych kwasów nukleinowych do komórek, których obecność zmusza komórki do produkcji białek kodowanych przez wprowadzone geny, bądź hamowanie lub modulację ekspresji genów.

Komórki macierzyste to komórki mające zdolność do samoodnawiania oraz różnicowania w komórki potomne. Dzięki temu mogą przekształcać się w każdy dowolny rodzaj tkanki lub organu, jeżeli stworzy się im odpowiednie warunki do wzrostu i rozwoju. Dzięki tym właściwościom stworzone zostaną nowe możliwości leczenia chorób serca, stwardnienia rozsianego czy udaru mózgu [Praca zb. 2006].

W ostatnich kilkunastu latach nastąpił dynamiczny rozwój w obszarze zastosowania inżynierii genetycznej do wytwarzania genetycznie modyfikowanych roślin w tym i żywności, zwanych w skrócie GMO [Malepszy 2001]. Dotychczas uprawiane rośliny powstały na drodze hybrydyzacji różnych odmian na ogół tego samego gatunku lub rodzaju, a następnie ukierunkowanej selekcji, są więc również roślinami modyfikowanymi genetycznie. Jednak techniki inżynierii genetycznej pozwoliły na ukierunkowane, kontrolowane zmiany w genomie, w tym wprowadzanie genów z innych, często odległych gatunków organizmów. Dzięki tym ostatnim technikom uzyskano rośliny odporne na choroby i szkodniki oraz o poprawionej jakości w stosunku do odmian przed modyfikacją. Prowadzone są prace nad uzyskaniem roślin transgenicznych o zmienionych walorach prozdrowotnych i smakowych, odpornych na niekorzystne warunki środowiska (mróz, susza, zasolenie), pochłaniających zanieczyszczenia z gleby i wody. Genetycznie modyfikowane rośliny charakteryzują się następującymi cechami:

- odpornością na szkodniki i owady,
- tolerancją na herbicydy,
- przywracaniem płodności,
- sterylnością,
- odpornością na wirusy,
- odpornością na grzyby,
- zmianami biosyntezy skrobi.

Odporność na szkodniki uzyskuje się dzięki wprowadzeniu do roślin genu odpowiedzialnego za taką odporność – gen Bt uzyskuje się z bakterii glebowej *Bacillus thuringiensis*. Gen ten koduje specyficzne białko – Cry, które jest toksyczne dla owadów. Szkodnik po zjedzeniu komórek rośliny umiera. Białko uzyskuje swoją toksyczność tylko wewnątrz przewodu pokarmowego określonych

gatunków szkodników, nie jest toksyczne dla innych organizmów, w tym człowieka. Ziemiak zawierający gen Bt jest odporny na stonkę, podobnie jak bawełna, kapusta, pomidory, a przede wszystkim kukurydza stają się odporne na porażające je owady. Rośliny odporne na herbicydy wytwarzają enzymy rozkładające herbicydy, dzięki posiadaniu zupełnie nowych, albo dodatkowych kopii obecnych w nich genów kodujących powyższe enzymy. Modyfikacja ta jest jedną z najczęściej stosowanych, co pozwoliło zmodyfikować wiele roślin, w tym soję (najczęściej uprawiana roślina transgeniczna), kukurydzę, rzepak, tytoń, pomidory.

Odporność na bakterie i wirusy uzyskuje się przez wprowadzenie do roślin genów kodujących enzymy degradujące ściany komórkowe drobnoustrojów. Również na drodze inżynierii genetycznej otrzymuje się rośliny odporne na wirusy. Przykładem może być tytoń odporny na wirusa mozaiki tytoniowej (TMV), ogórek na wirusa mozaiki ogórka, kalafior na wirusa mozaiki kalafiora.

Poprawę jakości żywności dokonuje się przez np. zwiększenie zawartości suchej masy przez wzrost syntezy skrobi w pomidorach, stworzenie transgenicznego ryżu (z genami żonkila), który charakteryzuje się zwiększoną produkcją beta-karotenu, prekursora witaminy A, co sprawia, że nasiona ryżu są zabarwione na kolor żółty – „żółty ryż”. Inne modyfikacje prowadzą do: zwiększenia zawartości glutenu w pszenicy, co poprawia cechy mąki uzyskiwanej z tak modyfikowanych ziaren, spowolnienia dojrzewania i przejrzenia pomidorów przez ograniczenie aktywności enzymów macerujących ścianę komórkową powodującą mięknięcia pomidora [Plant...2005].

Modyfikacje genetyczne mogą dotyczyć nie tylko jednej cechy, co pokazują poniższe przykłady:

- ziemniaki:
 - wzrost zawartości skrobi,
 - odporność na herbicydy, stonkę ziemniaczaną, wirusy,
 - „słodkie ziemniaki” – wprowadzenie genu odpowiedzialnego za wytwarzanie słodkiego białka – taumatyny,
 - odporność na ciemnienie enzymatyczne,
 - mała zawartość glikoalkaloidów, substancji szkodliwych na człowieka, występujących w surowych ziemniakach.
- truskawki:
 - wyższa słodkość owoców,
 - spowolnienie dojrzewania,
 - odporność na mróz.
- rzepak:
 - odporność na herbicydy,
 - zmniejszona zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych,

Zwiększający się na świecie obszar upraw modyfikowanych genetycznie roślin podyktowany jest w dużej mierze względami ekonomicznymi [Purohit 2005]. Rośliny GMO odznaczają się często lepszym smakiem, ładniej wyglądają, są bardziej dorodne, co może zapewniać lepszą sprzedaż. Zmniejszone zużycie chemicznych środków ochrony roślin, może prowadzić do obniżenia kosztów produkcji. Ponadto, odporność na trudne warunki wzrostu (susza, zasolenie gleby) oraz potencjalnie wyższe plony, w porównaniu z tradycyjnymi odmianami, sprawiają, że genetycznie modyfikowane rośliny mogą pomóc w eliminacji problemu głodu. Jednak obawy związane z wprowadzeniem do sprzedaży i upowszechnieniem żywności modyfikowanej genetycznie żywności są tematem budzącym ogromne kontrowersje, w szczególności w krajach europejskich, w tym w Polsce. Obawy te dotyczą bezpieczeństwa żywności, bezpieczeństwa środowiska naturalnego oraz pewnych aspektów socjologicznych i psychologicznych. Przeciwnicy roślin GMO zwracają uwagę na to, że:

- rośliny zawierające toksynę Cry mogą negatywnie wpływać na owady spokrewnione ze szkodnikami,
- uprawa roślin Bt w monokulturze może doprowadzić do wyselekcjonowania owadów odpornych na toksynę Cry,
- uprawa roślin odpornych na grzyby, wirusy, bakterie może spowodować powstanie mutantów na nie odpornych,
- klonowane geny mogą przenosić się na inne rośliny uprawne i gatunki blisko spokrewnione, powodując powstanie tzw. superchwastów odpornych na dany herbicyd, chociaż zastosowanie innych herbicydów może równie dobrze niszczyć ten chwast,
- niekontrolowane wprowadzanie do produkcji żywności produktów pochodzących z roślin modyfikowanych genetycznie,

- zdominowanie rynku nasion przez kilku dużych koncernów, co może utrudniać racjonalną ocenę wpływu roślin modyfikowanych genetycznie na środowisko oraz jako składniki żywności.

Do tej pory nie udało się stwierdzić negatywnego wpływu genetycznie modyfikowanej żywności na organizm ludzki. Nie udało się też jednak udowodnić jej całkowitej nieszkodliwości. Nadal nieznanne są skutki, jakie może wywołać długotrwałe spożywanie GMO, co wskazuje, że dyskusja na te tematy będzie długa i często burzliwa. Zwolennicy roślin GMO twierdzą, że argumenty, jakimi dysponują przeciwnicy GMO, zwykle nie są faktami naukowymi. Toksyna zawarta w modyfikowanej kukurydzy niszczy omacnicę prosowiankę (i owady błonkoskrzydłe), ale jest nieszkodliwa dla pszczoł i ssaków. Toksyna w modyfikowanej kukurydzy jest jedynym skutecznym środkiem w walce z omacnicą, która w niektórych regionach Polski prowadzi nawet do 30-40% strat w uprawach. Zwalczanie szkodnika środkami chemicznymi jest nieskuteczne, a zastosowane na większą skalę zatrułoby środowisko. To tylko jeden przykład korzyści z upraw roślin GMO. Przyjęcie przez Polskę bardzo rygorystycznych regulacji w zakresie GMO, jakimi są przepisy UE, w wystarczającym stopniu spełnia wymogi bezpieczeństwa w korzystaniu z nowych technologii. Nie zamyka też przed producentami możliwości korzystania z nowych technologii, a konsumentom daje prawo wyboru [Bielecki 2007]. Ze względu na stopień ingerencji genetycznej w artykuły spożywcze wyróżnia się:

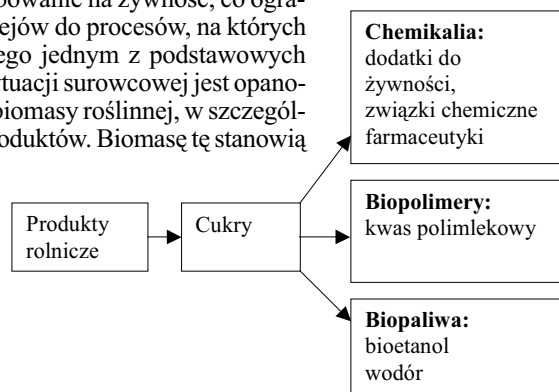
- żywność wytworzona za pomocą technik modyfikacji genetycznej i zawierająca obce geny (np. świeże pomidory i ziemniaki),
- żywność zawierająca przetworzone GMO (np. koncentraty zup z pomidorów, frytki mrożone),
- żywność produkowaną z zastosowaniem GMO (np. chleb pieczony z wykorzystaniem transgenicznego drożdży, piwo i inne produkty fermentacji alkoholowej produkowane z zastosowaniem drożdży transgenicznych),
- produkty żywnościowe pochodne GMO, lecz nie zawierające żadnych komponentów transgenicznych (np. olej rzepakowy otrzymywany z transgenicznego rzepaku, cukier z transgenicznych buraków).

Powyższe informacje powinny być udostępniane w szerszym stopniu konsumentom, by w sposób bardziej racjonalny podejmowali decyzje o wyborze określonego rodzaju żywności.

Biotechnologia przemysłowa (biała biotechnologia) jest działem biotechnologii, której celem jest przemysłowa produkcja związków chemicznych, bioenergii i bioplastyków [Agrawal, Parihar 2005]. W procesach przemysłowych wykorzystuje się surowce odnawialne jako źródła węgla i energii, takie jak: cukry, skrobię, biomasę ligninocelulozową, oleje roślinne. W wyniku konwersji tych surowców z wykorzystaniem drobnoustrojów lub enzymów wytwarzane są takie produkty, jak: bioetanol, biodiesel, niskocząsteczkowe związki chemiczne, bioplastyki, dodatki do żywności, rozpuszczalniki, witaminy i inne.

Zainteresowanie procesami biotechnologii przemysłowej wzrasta głównie z powodu wzrastających cen ropy naftowej, wyczerpywania się zapasów nieodnawialnych źródeł energii, takich jak: gaz ziemny, ropa naftowa, czy węgiel kamienny. Jednak praktyczne wykorzystanie wielu procesów jednostkowych w wytwarzaniu licznych bioproduktów natrafia na poważne bariery, których dopiero pokonanie umożliwi zastosowanie tych procesów w skali przemysłowej.

Jedną z barier jest wzrastające zapotrzebowanie na żywność, co ogranicza dostępność cukrów, skrobi, a także olejów do procesów, na których bazują biotechnologie przemysłowe. Dlatego jednym z podstawowych sposobów wyjścia z tej coraz trudniejszej sytuacji surowcowej jest opanowanie na skalę przemysłową biokonwersji biomasy roślinnej, w szczególności biomasy ligninocelulozowej do bioproduktów. Biomasa tę stanowią takie produkty uboczne rolnictwa, jak: słoma zbóż, słoma rzepakowa, łodygi kukurydzy i inne, a ponadto odpady drzewne, makulatura, rośliny energetyczne [Targoński 1996]. Od wielu lat prowadzone są badania laboratoryjne, jak i próby w skali półtechnicznej, celem opracowania opłacalnej w skali przemysłowej technologii otrzymania cukrów z celulozy i hemiceluloz zawartych w biomasie roślinnej, a następnie efektywnej fermentacji cukrów do różnych związków chemicznych. Produkty



Rysunek 1. Schemat ideowy bioprocessów w biotechnologii przemysłowej

Źródło: Agrawal, Parihar 2005.

otrzymane w procesie biotransformacji biomasy lignionocelulozowej będą stopniowo stawały się konkurencyjne cenowo w stosunku do produktów pochodzących z syntezy chemicznej opartej głównie na ropie naftowej. Jest to związane z ciągłym postępem, m.in. w pozyskiwaniu modyfikowanych genetycznie roślin o obniżonej zawartości ligniny łatwiej podatnych na biodegradację, doskonaleniu organizmów, producentów enzymów degradujących celulozę i hemicelulozy, a także fermentujących cukry do określonych związków chemicznych [Lynd 2002].

Podsumowanie

Biotechnologia należy do jednej z najszybciej rozwijających się dziedzin nauki, która ma ogromny potencjał aplikacyjny. Zastosowanie biotechnologii w medycynie, w rolnictwie budzi kontrowersje w społeczeństwie, które często nieświadome zalet płynących z zastosowanie nowoczesnej biotechnologii na ogół niesłusznie obawia się negatywnego wpływu na zdrowie i równowagę w środowisku. To dzięki biologii molekularnej i inżynierii genetycznej, a także technologii przeciwciał monoklonalnych możliwe było wytworzenie nowoczesnych biofarmaceutyków, a także opracowanie nowych technik terapeutycznych, takich jak: terapia genowa czy podjęcie obiecujących prób wykorzystania komórek macierzystych.

Uprawa roślin modyfikowanych genetycznie pozwala z jednej strony na zwiększenie plonów, poprawę jakości produktów rolniczych, z drugiej zaś budzi liczne obawy o zdrowie konsumentów tej żywności, jak również nie do końca poznany ich wpływ na środowisko przyrodnicze. Brak jednoznacznie negatywnych skutków uprawy tych roślin sprawia, że obszar upraw roślin GMO z roku na rok wzrasta. Z kolei, dzięki dynamicznie rozwijającej się biotechnologii przemysłowej produkty wytwarzane w oparciu o surowce nieodnawialne będą stopniowo zastępowane przez bioprodukty oparte o surowcach pochodzenia roślinnego. Tak więc rozwój nowoczesnej biotechnologii wychodzi naprzeciw nowym wyzwaniom ludzkości w zakresie zdrowia, żywności, a także związanych z wyczerpywaniem się ropy naftowej stanowiących surowiec dla przemysłu chemicznego i zastępowaniem ich bioproduktami opartymi o surowce odnawialne.

Literatura

- Agrawal A.K., Parihar P. 2005: Industrial Microbiology. Fundamentals and Applications. Agrobios.
 Bielecki S. 2007: Raport. Perspektywy i kierunki rozwoju biotechnologii w Polsce do 2013 roku. [www.biotechnologia.com.pl].
 Dubin A. 2007: Stan i kierunki rozwoju biogospodarki. MNiSW, Warszawa.
 Lynd L.P. 2002: Microbiol. *Molecular Biology Reviews*, 60, 506-577.
 Malepszy S. 2001: Biotechnologia roślin. PWN, Warszawa.
 Plant Biotechnology and Transgenic Plants. 2007: Oksman-Caldentey.
 Praca zbiorowa. 2006: Biologia molekularna w medycynie. PWN, Warszawa.
 Purohit S.S. 2005: Biotechnology. Fundamentals and Application. Agrobios.
 Targoński Z. 1996: Biotechnologia. 3(34), 116-130.
 Twardowski T. 2007: *Kosmos*, 56 (3-4), 221-226.
 Walsh G. 2007: Pharmaceutical Biotechnology. Wiley and Son.

Summary

Biotechnology – any technological application that uses biological systems, living organisms, or derivatives thereof, to make or modify products or processes for specific use. Biotechnology is generally divided into three sub fields – red, white and green biotechnology. Red biotechnology deals with genetically altered microorganisms that are used for producing products like insulin and vaccine for medical use. Red biotechnology (medicine biotechnology) also helps in reproductive technologies like in vitro fertilization, DNA profiling, forensics and in technologies of transplantations. White biotechnology (industrial biotechnology) involves the creation of useful chemicals for the industrial sector through organisms like moulds or yeast. Green biotech is easily the oldest use of biotechnology by humans, dating back to the first uses of selective breeding in plants, and in the modern age, green biotech is also the most hotly contested area of biotechnological growth. The genetic modification of plants to produce desired effects – such as resistance to a certain chemical or pest, or increased crop yield – is widely used throughout the world on a number of crops.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Zdzisław Targoński
 Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
 Katedra Biotechnologii, Żywności Człowieka i Towaroznawstwa Żywności
 ul. Skromna 8, 20-704 Lublin
 tel. 604 403 788
 e-mail: zdzislaw.targoński@up.lublin.pl