

Inżynieria genetyczna INGE6

Michał Mikula

Zakład Genetyki
Centrum Onkologii-Instytut
im. Marii Skłodowskiej-Curie

email: mikula.michal@gmail.com

<http://www.ire.pw.edu.pl/~trubel/dydaktyka/inge/>

Transgeniczne zwierzęta i rośliny

- ▶ Produkcja **transgenicznego organizmu** wymaga trwałej zmiany w oryginalnej sekwencji genomu w taki sposób aby mogła być dziedziczona w trakcie reprodukcji
- ▶ Ten obszar inżynierii genetycznej wzbudza publiczne kontrowersje i niepokoje
- ▶ Istnieje dużo trudnych do przewyżczenia naukowych i technicznych ograniczeń dla inżynierii genetycznej w manipulacjach z użyciem wyższych organizmów tj.
 - rozmiar i złożoność regulacji genomu oraz nie do końca poznany na poziomie molekularnym mechanizm rozwoju
- ▶ Pomimo ograniczeń, metody tworzenia transgenicznych roślin i zwierząt są dostępne i używane.

Transgeniczny kot z białkiem RFP



Foto: Gyeongsang National University

<http://www.youtube.com/watch?v=BD5KEeZEe18>

Transgeniczne zwierzęta

► Powody tworzenia zwierząt transgenicznych:

- Badania nad chorobami – nadekspresja genów i deaktywacja (knockout)
- Poprawa jakości produktów ze zwierząt hodowlanych
- Używanie zwierząt jako bioreaktorów do produkcji białek i leków

► W 1981 wprowadzono króliczy gen **beta-globiny**, kodujący białko hemoglobiny z erytrocytów, do mysiej komórki jajowej

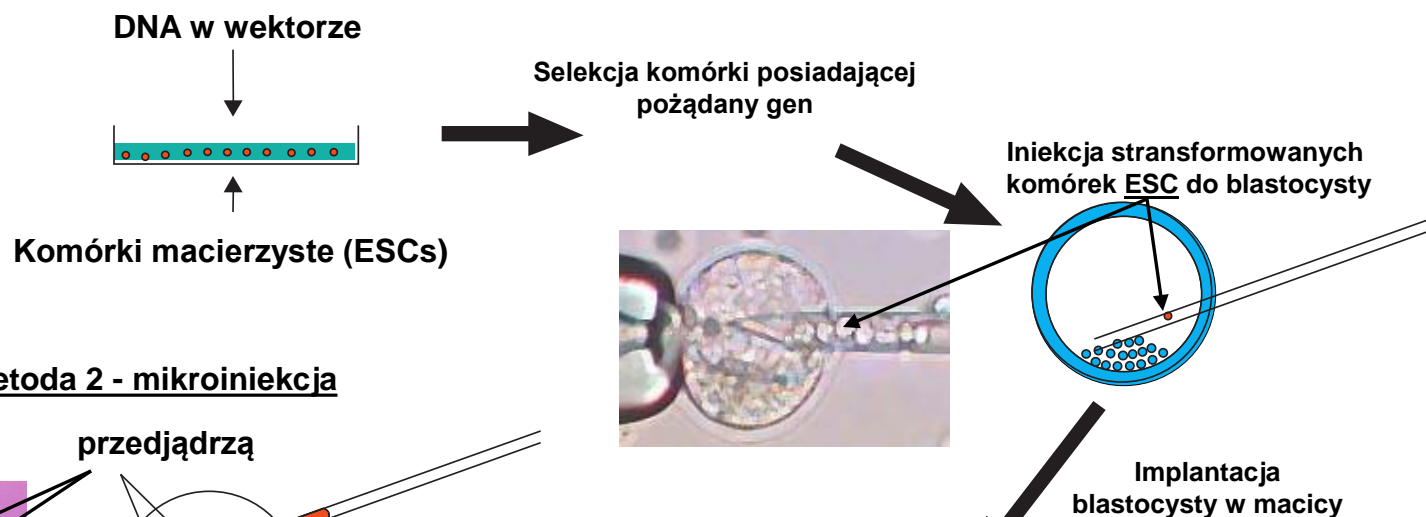
► W tym samym roku szczurzy **hormon wzrostu** wprowadzono do oocyty myszy - uzyskano potomstwo, które było 2x większe od rówieśników bez transgenu



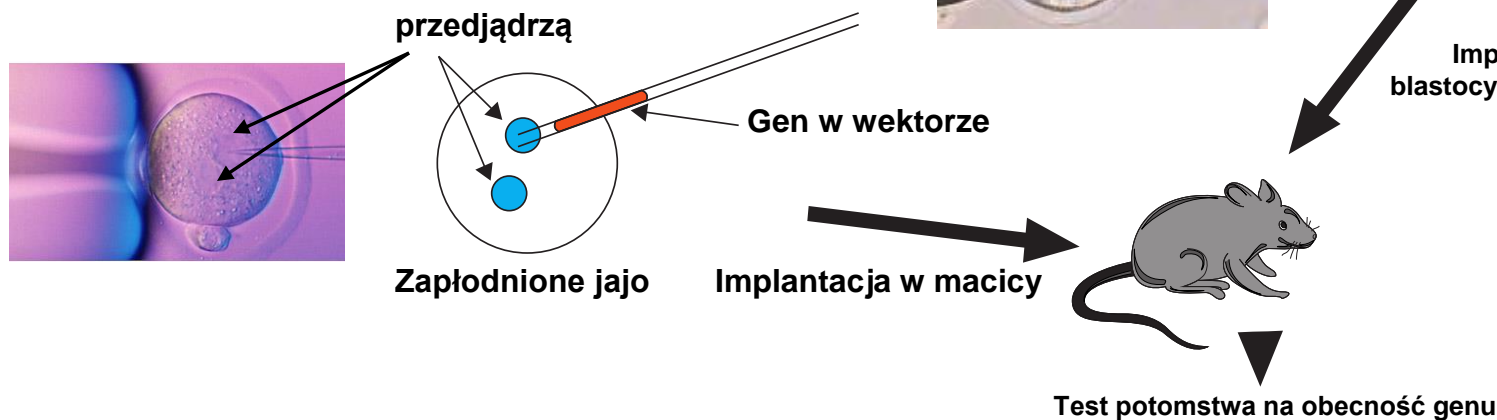
Transgeniczne zwierzęta – metody otrzymywania

- ▶ Stworzenie transgenicznego zwierzęcia wymaga przyjęcia najlepszej strategii dostarczenia **transgenu** tak by zmienić genom w każdej komórce gospodarza
- ▶ Musimy posiadać wiedzę o lokalizacji, strukturze i funkcji genu, który poddamy transferowi lub unieczynnieniu
- ▶ Ważne jest użycie właściwego wektora DNA, który nie tylko dostarczy gen ale również pokieruje jego integracją z genomem gospodarza

Metoda 1 – komórki macierzyste



Metoda 2 - mikroiniekcja



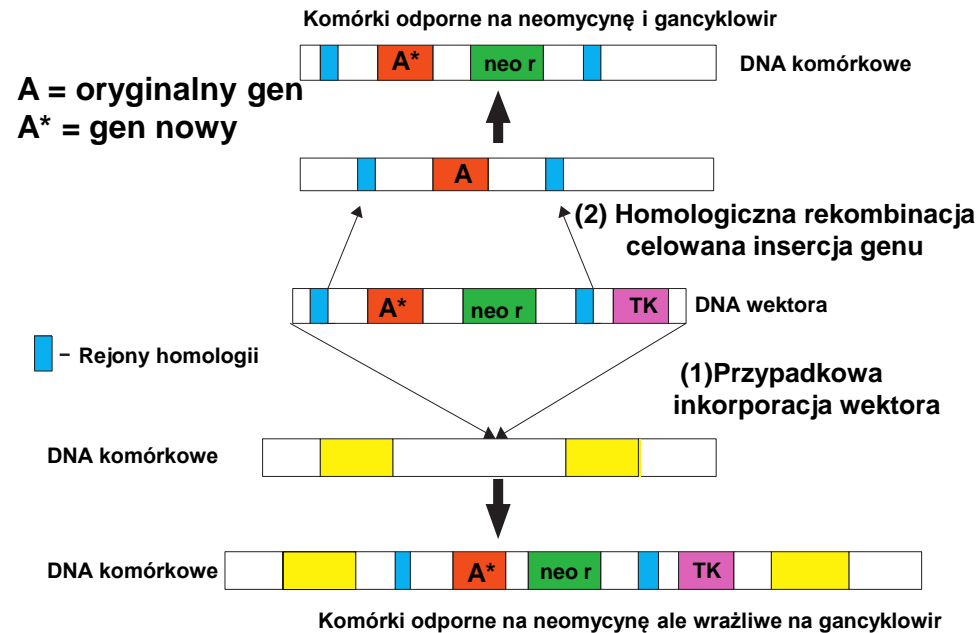
Transgeniczne zwierzęta – metoda z użyciem komórek ESCs

- ▶ Pierwsze wektory do wstawiania/wyłączania genów były niedoskonałe – wstawiały nawet do 200 kopii wektora gdziekolwiek w genomie. Wiedza o sekwencji otaczającej konkretny gen lub rejon umożliwia skonstruowanie wektora o specyficznym powinowactwie. Transformacja wektorem ma na celu
 - ▶ przywrócenie/amplifikację/nadanie nowej/ funkcji genu
 - ▶ wyłączenie genu – knock-out genu
- ▶ Wektory transgeniczne, używane do uzyskiwania transgenicznych zwierząt, oprócz genu do transfekcji (**A***) często zawierają gen oporności na neomycynę (**neo r**), gen kinazy tymidynowej (**TK**) oraz inne elementy regulatorowe – np. ułatwiające **homologiczną rekombinację**
- ▶ **Elementy funkcjonalne** wektora DNA mogą pokierować jego integracją z genomem gospodarza oraz zdeterminować czas w jakim gen podlegnie ekspresji.

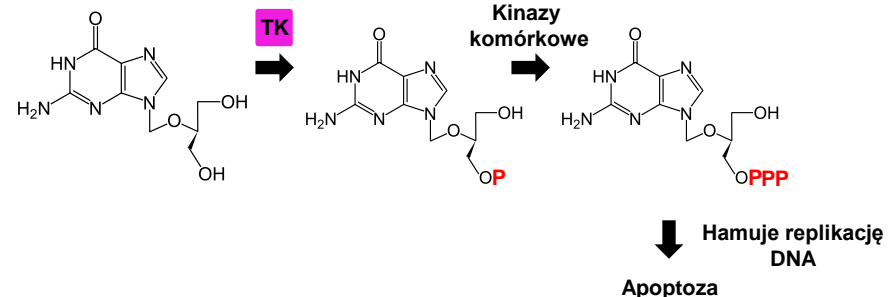


Transgeniczne zwierzęta – metoda z użyciem komórek ESCs

- ▶ Hodowla komórek embrionalnych (ESC) jest inkubowana z wektorem
- ▶ Większość komórek **nie inkorporuje wektora** – te komórki zginą po ekspozycji na neomycynę
- ▶ U części komórek wektor włącza się **w sposób przypadkowy (1)**: cały wektor, łącznie z genem TK inkorporuje się do DNA gospodarza. Komórki odporne na neomycynę ale zabijane przez gancyklowir (TK aktywuje gancyklowir).
- ▶ U frakcji komórek zachodzi **homologiczna rekombinacja (2)**: Fragmenty DNA w wektorze parują z homologicznymi sekwencjami w genomie a rejony pomiędzy tymi sekwencjami są wymieniane na te obecne w wektorze. Komórki odporne na neomycynę i gancyklowir (brak TK).
- ▶ Komórki są wprowadzane do blastocysty



Gancyklowir – lek używany w terapii antywirusowej i antynowotworowej (cytostatyk)



Transgeniczne zwierzęta – myszy knock-out

► Jeżeli gen **A*** jest **niefunkcjonalny** to skrzyżowanie dwóch **heterozygotycznych (wt/ko)** transgenicznych zwierząt, najczęściej myszy, wytworzy szczep myszy **knockout homozygotyczny (ko/ko)** dla niefunkcjonalnego genu (obie kopie genu zostały wyłączone)



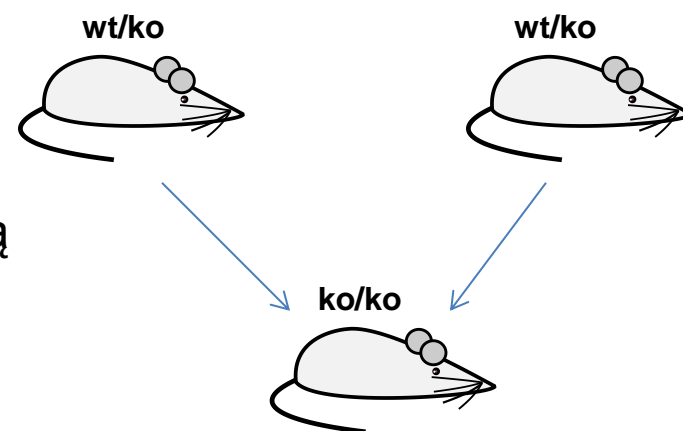
► Myszy „knockout” są przydatnym narzędziem do badania funkcji genów i często są używane jako modele chorób człowieka – np. otyłość, cukrzyca

► Ograniczenia:

► Myszy „knockout” dla pewnych genów nie przeżywają rozwoju płodowego – niemożność obserwacji dorosłego fenotypu

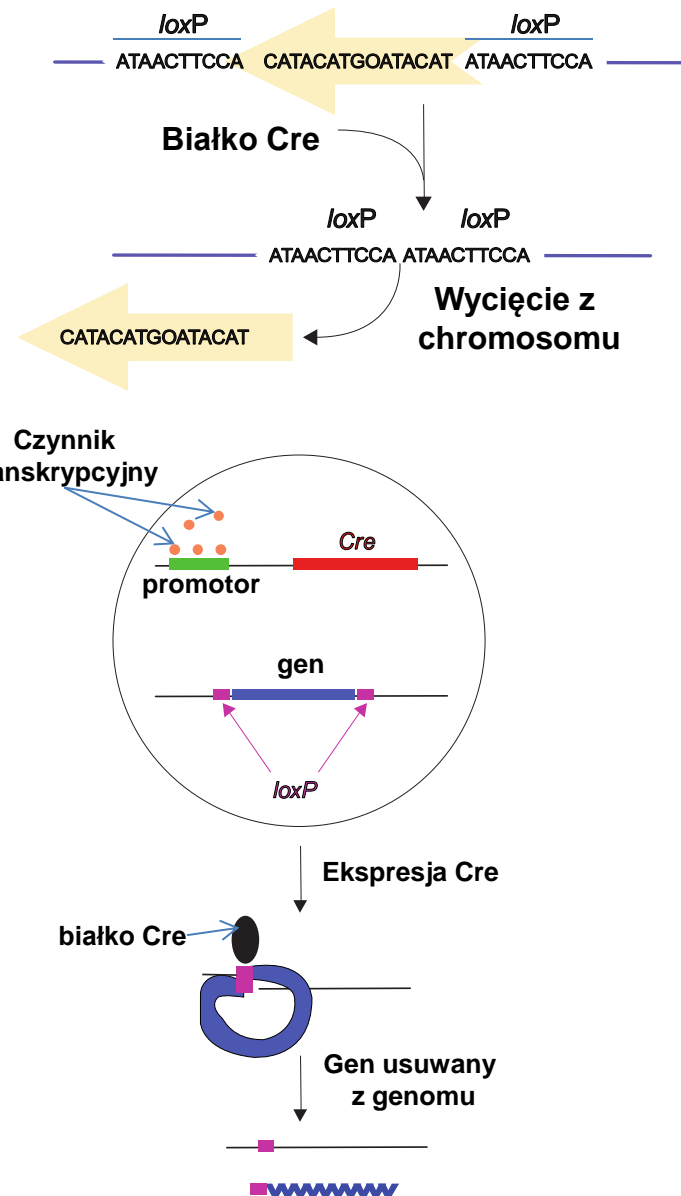
► Myszy „knockout” są często zaskakująco niedotknięte przez transgeniczne wyłączenie genu. Wiele genów wydaje się zbędne bądź nie testowano warunków, w których ich przydatność jest konieczna. Brak genu może być kompensowany przez inne.

► Geny mają charakter **plejotropowy** – podlegają ekspresji w różnych tkankach, warunkach i na odmiennych etapach rozwoju



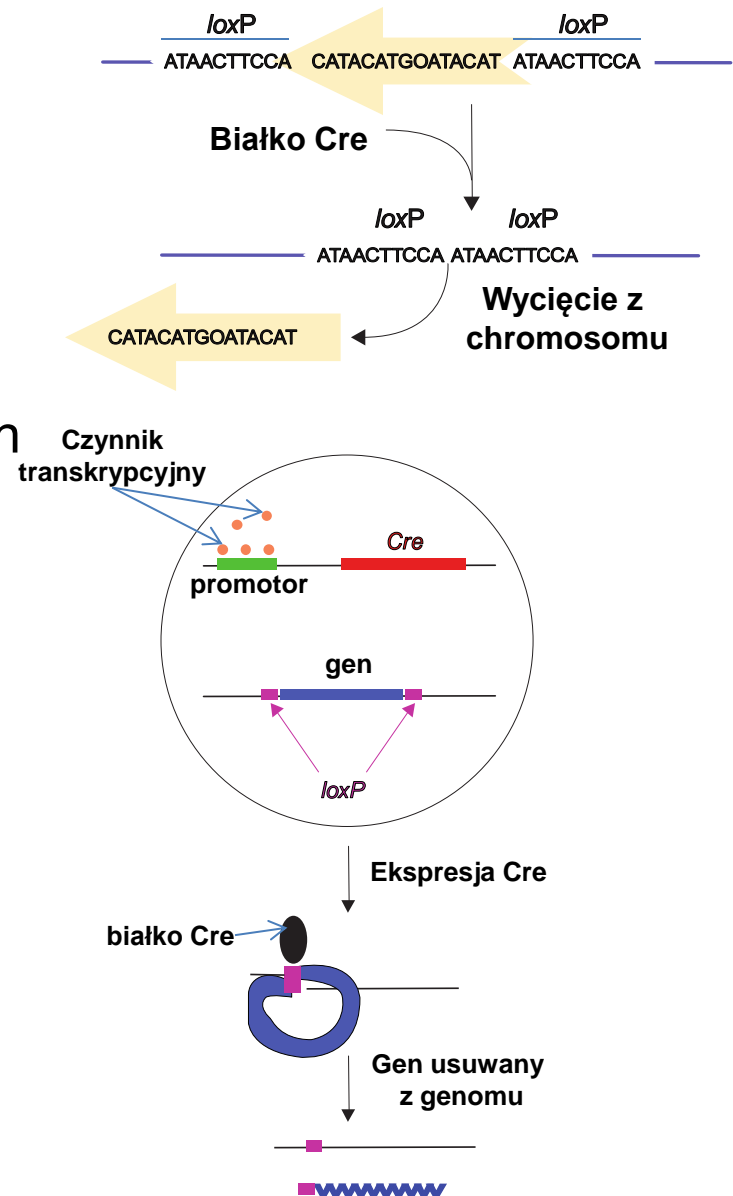
Transgeniczne zwierzęta – wybiórczy knock-out – system Cre/Lox

- ▶ System **Cre/loxP** może być użyty do deaktywacji genu w specyficznej tkance w wybranym momencie
- ▶ Bakteriofag E. coli, nazywany P1, produkuje białko **Cre**, które tnie DNA na fragmenty długości właściwej dla zapakowania DNA do **kapsydu**. Białko **Cre** tnie DNA wirusa zawsze gdy napotka sekwencje **loxP**. DNA pomiędzy dwoma miejscami loxP jest wycinane, a nici DNA łączone ponownie
- ▶ Gen kodujący białko Cre znajduje się pod kontrolą promotora włączanego przez **czynnik transkrypcyjny** obecny wyłącznie w specyficznej tkance
- ▶ Gen „wyłączany”, którego funkcja będzie badana jest flankowany sekwencjami loxP
- ▶ Wszystkie inne tkanki nie posiadają danego czynnika transkrypcyjnego dlatego celowany gen nie będzie unieczynniony
- ▶ Wynik: mysz transgeniczna bez genu jedynie w wybranym typie komórek



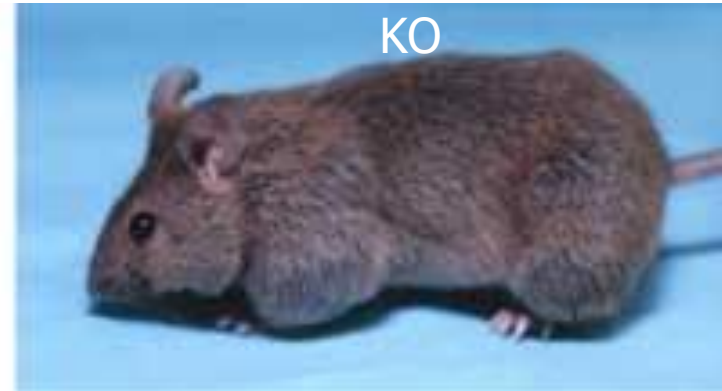
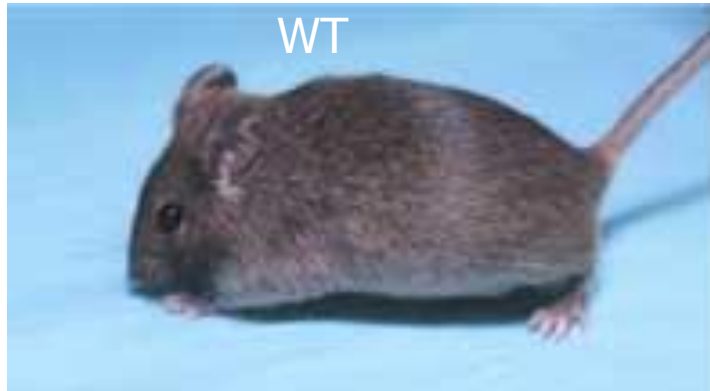
Transgeniczne zwierzęta – wybiórczy knock-in – system Cre/Lox

- ▶ System **Cre/loxP** może być również użyty do aktywacji genu w specyficznej tkance w wybranym momencie przez:
- ▶ Usunięcie sekwencji DNA blokujących transkrypcję genu i wstawienie np. promotora, który będzie włączany w konkretnych komórkach i w czasie zaplanowanym przez eksperymentatora
- ▶ Zamianę genu mysiego na dowolny jaki chce badać eksperymentator
- ▶ Tego typu myszy transgeniczne nazywane są **knock-in**



Transgeniczne zwierzęta – przykłady myszy knock out

Knock-out genu GDF8 (Miostatyna) – rozrost tkanki mięśniowej



<http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/3833353.stm>

Naturalnie występujące mutanty GDF8



Krowa rasy błękitna belgijska



Chart

Transgeniczne zwierzęta – przykłady myszy knock out

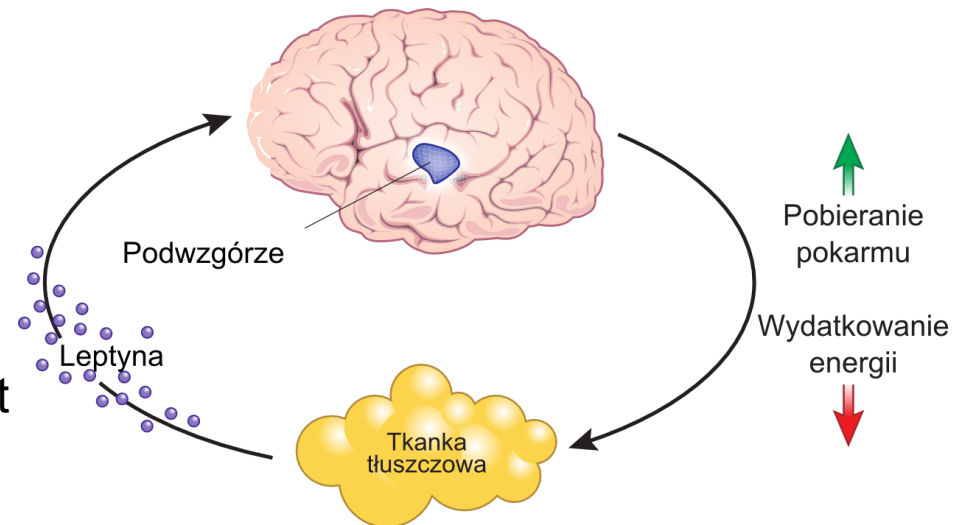
► Knock-out w genie **leptyny** (ob/ob) oraz w genie **receptora leptyny** (db/db) - dwa modele mysie z genetycznie uwarunkowaną otyłością oraz zaburzeniami metabolicznymi odpowiadającymi cukrzycy typu II

► **Leptyna** wydzielana jest głównie przez komórki tłuszczowe (adipocyty) odgrywające rolę w regulacji pobierania pokarmu i gospodarki energetycznej organizmu

► Działa poprzez **receptory leptynowe** znajdujące się w **podwzgórzu**. Po związaniu leptyny z receptorami w podwzgórzu, neurony przestają wytwarzać neurotransmitter - **neuropeptyd Y**, który jest stymulatorem apetytu



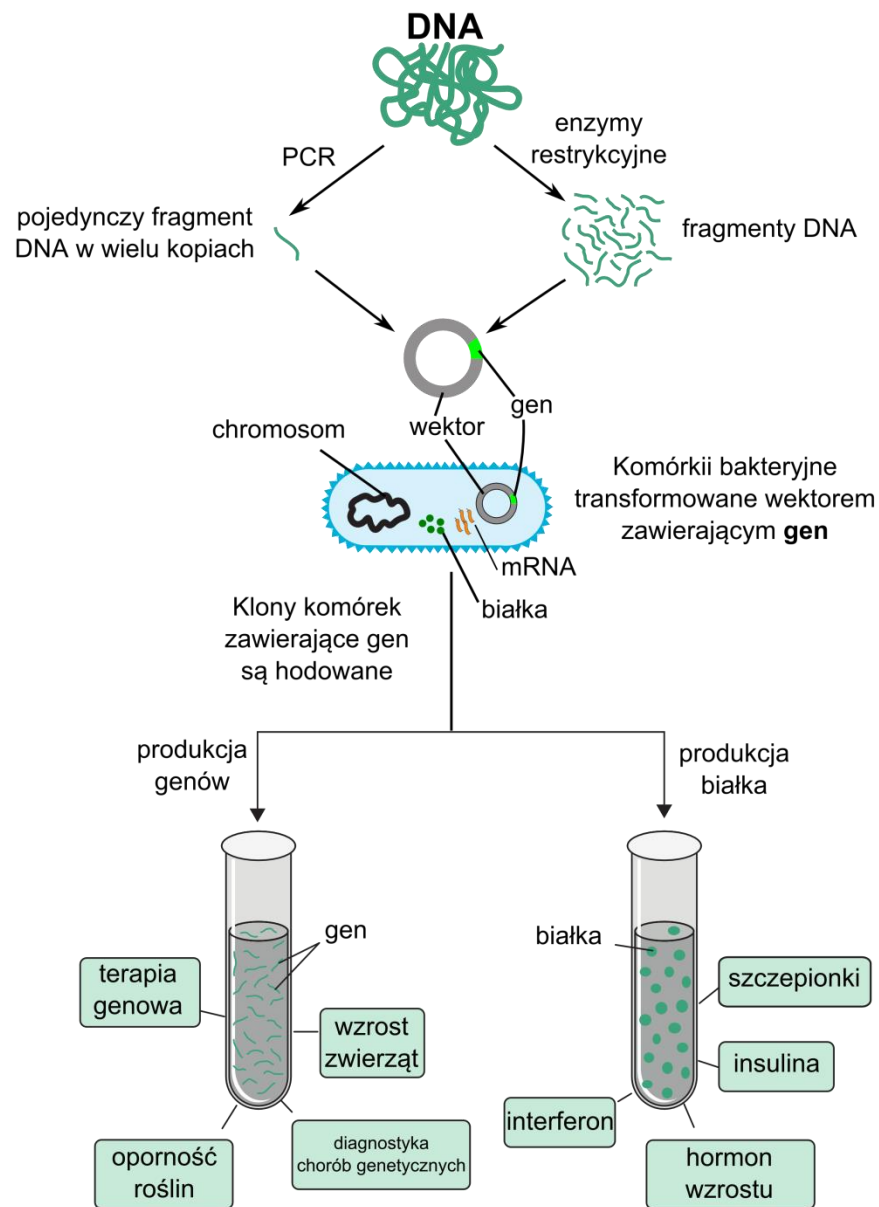
<http://en.wikipedia.org/wiki/Leptin>



[Nat Med.](#) 2010 Oct;16(10):1100-6.

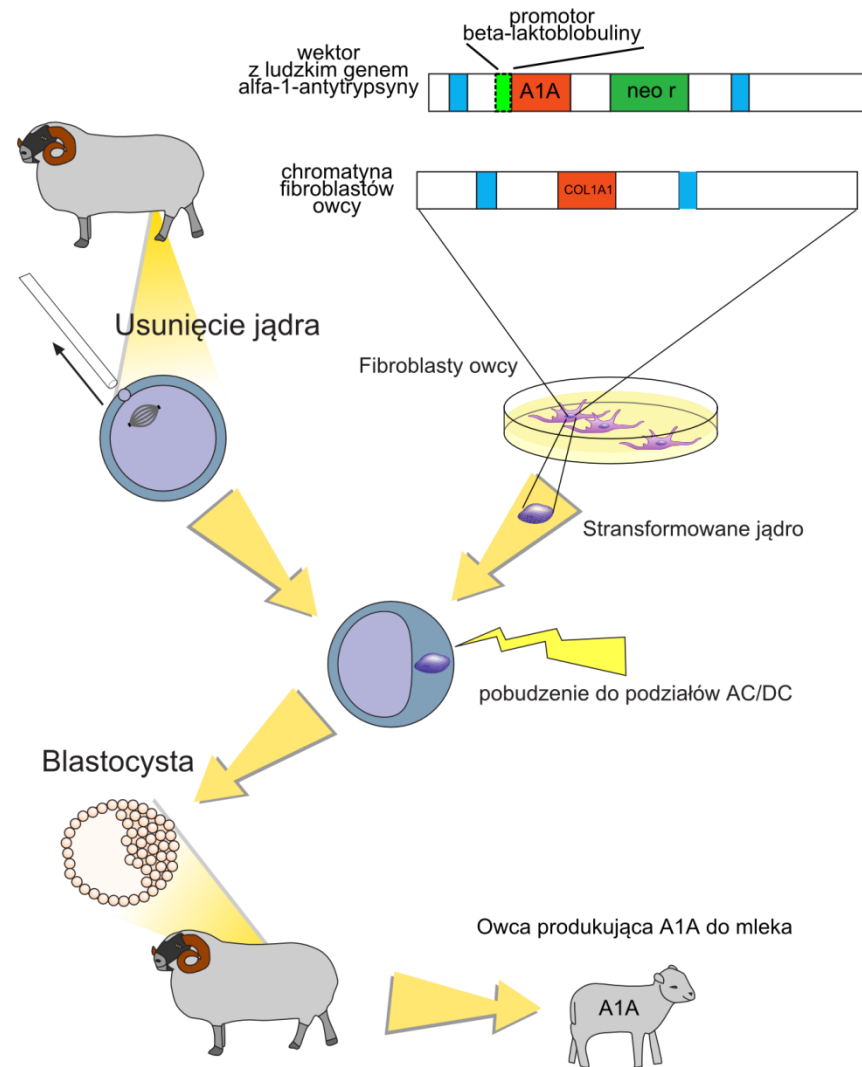
Transgeniczne zwierzęta – biofarming

- ▶ Tworzenie i sprzedaż produktów uzyskiwanych z transgenicznych organizmów nazywany jest **biofarmingiem**
- ▶ Produkty białkowe uzyskiwane metodami **rekombinowanego DNA** w bakteriach często nie posiadają aktywności z powodu braku modyfikacji potranslacyjnych, np. reszt cukrowych i odpowiedniego zwinięcia białka
- ▶ Modyfikacjom poddano zwierzęta gospodarskie takie jak krowy, owce oraz kozy, które produkują rekombinowane białka prosto do mleka



Transgeniczne zwierzęta – biofarming - przykłady

- ▶ W 2000 wprowadzono w sposób specyficzny transgen kodujący ludzki gen **alfa1-antytrypsyny** (A1A) do owcy. Niedobór białka wywołuje u ludzi rozedmnę płuc – neutrofile produkują elastazę (proteaza białkowa), która jest neutralizowana przez A1A
- ▶ Hodowlę fibroblastów owcy poddano transfekcji wektorem z ludzkim genem A1A, który włączył się specyficznym w miejsce genu kodującego kolagen (COL1A1), a następnie dla komórek stransformowanych (odpornych na noeomycynę) przeprowadzono procedurę klonowania reprodukcyjnego, jak w przypadku owcy Dolly
- ▶ Stężenie białka A1A jakie uzyskano to 650 µg/ml; 50 razy więcej niż metodami z przypadkowym włączeniem transgenu



Transgeniczne zwierzęta – biofarming - przykłady

- ▶ Pomimo sukcesu technologicznego produkcja białek rekombinowanych w zwierzętach hodowlanych ma swoje ograniczenia np. wynikające z konieczności procesu oczyszczania białek do poziomu czystości nadających się jako leki
- ▶ Potencjalne zyski mogą być jednak ogromne. Firma GTC Biotherapeutics produkuje 2 gramy rekombinowanej ludzkiej antytrombiny (AT) w litrze koziego mleka. AT to **antykoagulant** stosowany w **niedoborze antytrombiny**, chorobie genetycznej prowadzącej do zakrzepicy żyłnej i zatorowości płucnej. Lek (ATryn) został dopuszczony do stosowania na terenie UE i USA. Jedna koza produkuje tyle leku ile dostarczyłoby rocznie 90 000 dawców krwi.



<http://www.gtc-bio.com/atryn-antithrombin-recombinant>

Transgeniczne zwierzęta – biofarming - przykłady

► Transgeniczne kurczaki

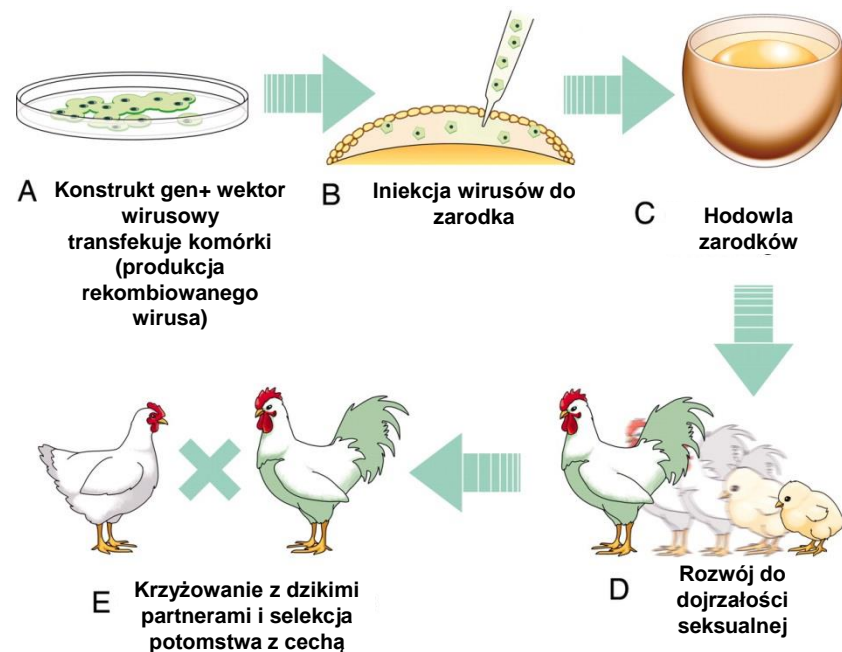
Zalety:

- rosną szybciej niż owce i krowy
- można pomieścić dużą liczbę zwierząt na małym terenie
- Możliwa synteza nawet **gramów** białek rekombinowanych w białku jaja

► Metoda

- Infekcja embrionów wektorem wirusowym niosącym pożądany ludzki kodujący białko terapeutyczne
- Inkorporacja elementu regulatorowego (promotora), który umożliwi produkcję białka na żądanie w jajach

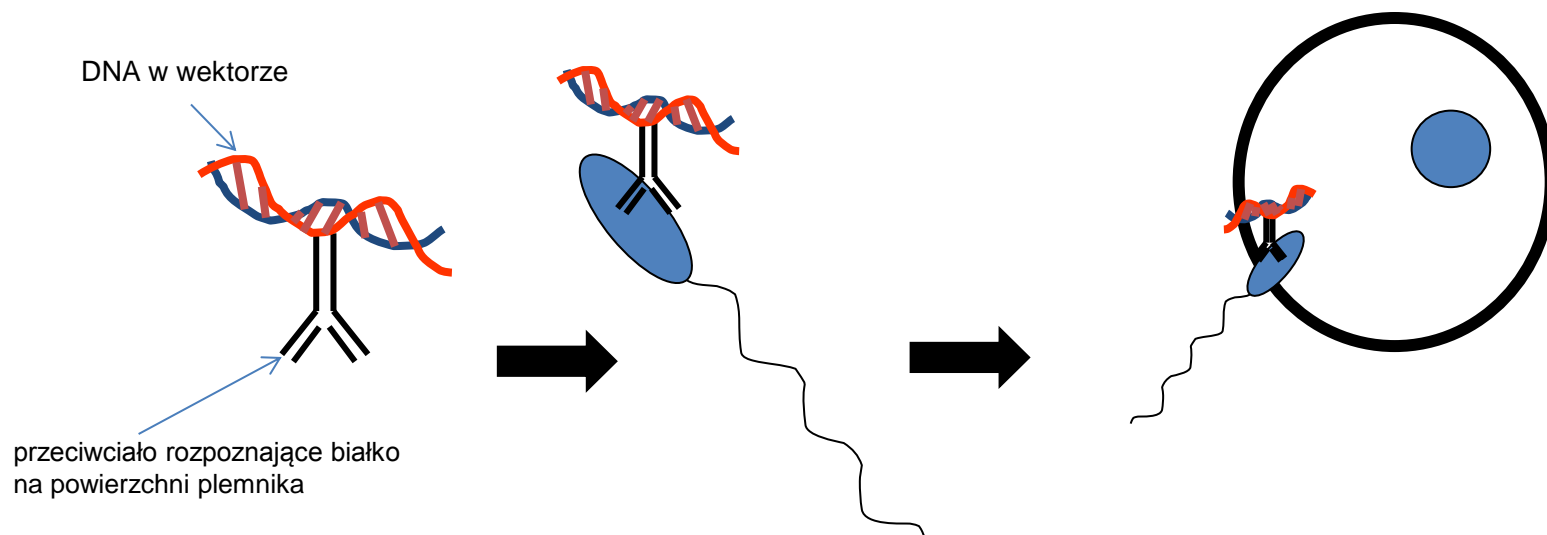
- Metoda „na kurczaka” dostarcza na razie 0,1 g ludzkiego białka na jajo



Petitte J N , and Mozdziak P E PNAS 2007;104:1739-1740

Transgeniczne zwierzęta – biofarming - przykłady

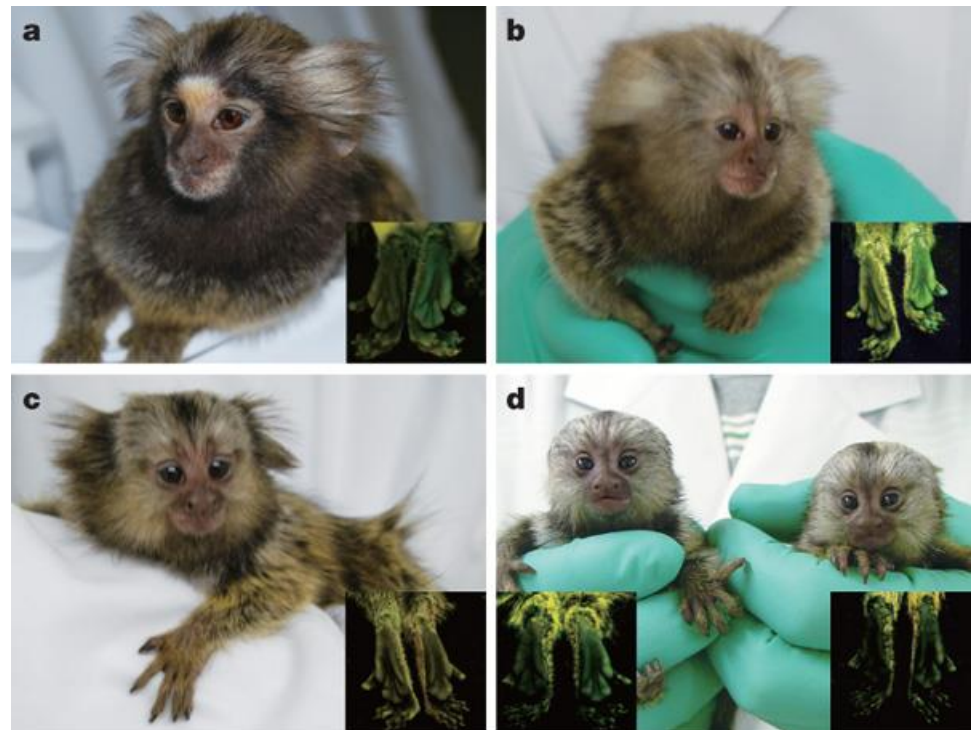
► **Transgeniczne świnie** – uzyskiwane na drodze zapłodnienia oocytów nasieniem z dołączonym obcym DNA. Procedura nazwana sperm-mediated gene transfer (SMGT) może dać transgeniczne świnie, których organy mogłyby zostać użyte w przeszczepach organów np. przez wyłączenie genów kodujących białka powierzchniowe rozpoznawane przez ludzki system immunologiczny



Plemniki zapładniają komórki jajowe a obcy gen jest inkorporowany do genomu

Transgeniczne zwierzęta – biofarming - przykłady

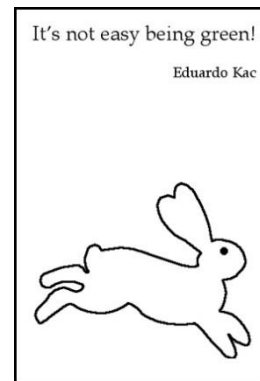
► **Transgeniczne naczelne** – 28 maja 2009 w piśmie *Nature* japońscy naukowcy ogłosili narodziny transgenicznej małpy gatunku marmoset (*Callithrix jacchus*). Do genomu małpy włączono transgen kodujący **green fluorescent protein (GFP)**, który został przekazany **kolejnemu pokoleniu**. Naczelne są najbliższe ewolucyjnie i na poziomie molekularnym człowiekowi stąd nadzieja, że modele transgenicznych naczelnych są najodpowiedniejsze do tworzenia modeli chorób ludzkich oraz terapii



E Sasaki *et al.* *Nature* **459**, 523-527 (2009) doi:10.1038/nature08090

Transgeniczne zwierzęta – inne zastosowanie

► **Transgeniczny królik** - nazwany Alba, zawiera transgen **EGFP** (enhanced GFP). Narodzony w 2000 jako „sztuka transgeniczna”



<http://www.ekac.org/gfpbunny.html#gfpbunnyanchor>

► **Transgeniczne ryby akwariowe** – wytworzone pierwotnie do monitorowania zanieczyszczenia wody
Zwykle czarno-srebrne **Danio pręgowane** (*Danio rerio*) zostały stransfekowane różnymi odmianami genu GFP



Nowe narzędzia do edycji genomu

► Edycja genomu umożliwia wydajne modyfikowanie wybranej sekwencji i opiera się inżyneryjnie skonstruowanych nukleazach zbudowanych z domen rozpoznających sekwencje oraz domeny o właściwości niespecyficznego nukleazy

► **Nukleazy z motywem palca cynkowego** (ang. *Zinc finger nucleases* - ZFN). U ludzi, i innych ssaków, tych nukleaz są setki – a charakteryzują się tym, że wiążą różne, specyficzne dla siebie, sekwencje DNA w sposób zależny od liczby i budowy cynkowych palców (**każdy palec rozpoznaje jedną trójnukleotydową sekwencję**). W sposób naturalny tworzą one katalog enzymów rozpoznających ssaczę DNA – narzędzie połączone nukleazy ZNF z domeną tnącą **FokI**.

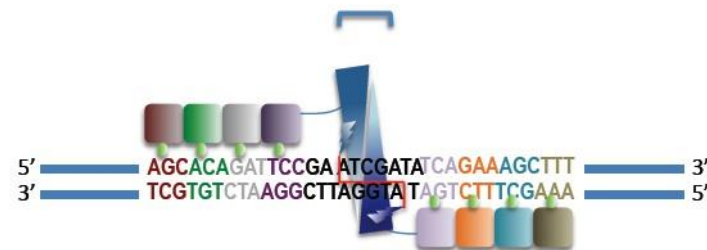
► **TALENy** (ang. *Transcription activator-like effector nucleases*) każda domena TALE rozpoznaje pojedynczy nukleotyd – możliwa precyzyjna kombinacja domen i rozpoznanie sekwencji docelowej

Metoda Roku 2011 według magazynu Nature Methods

ZFN



Domena palca cynkowego



TALEN



Poddomena TALE



heterodimer aktywnej podjednostki katalitycznej enzymu FokI

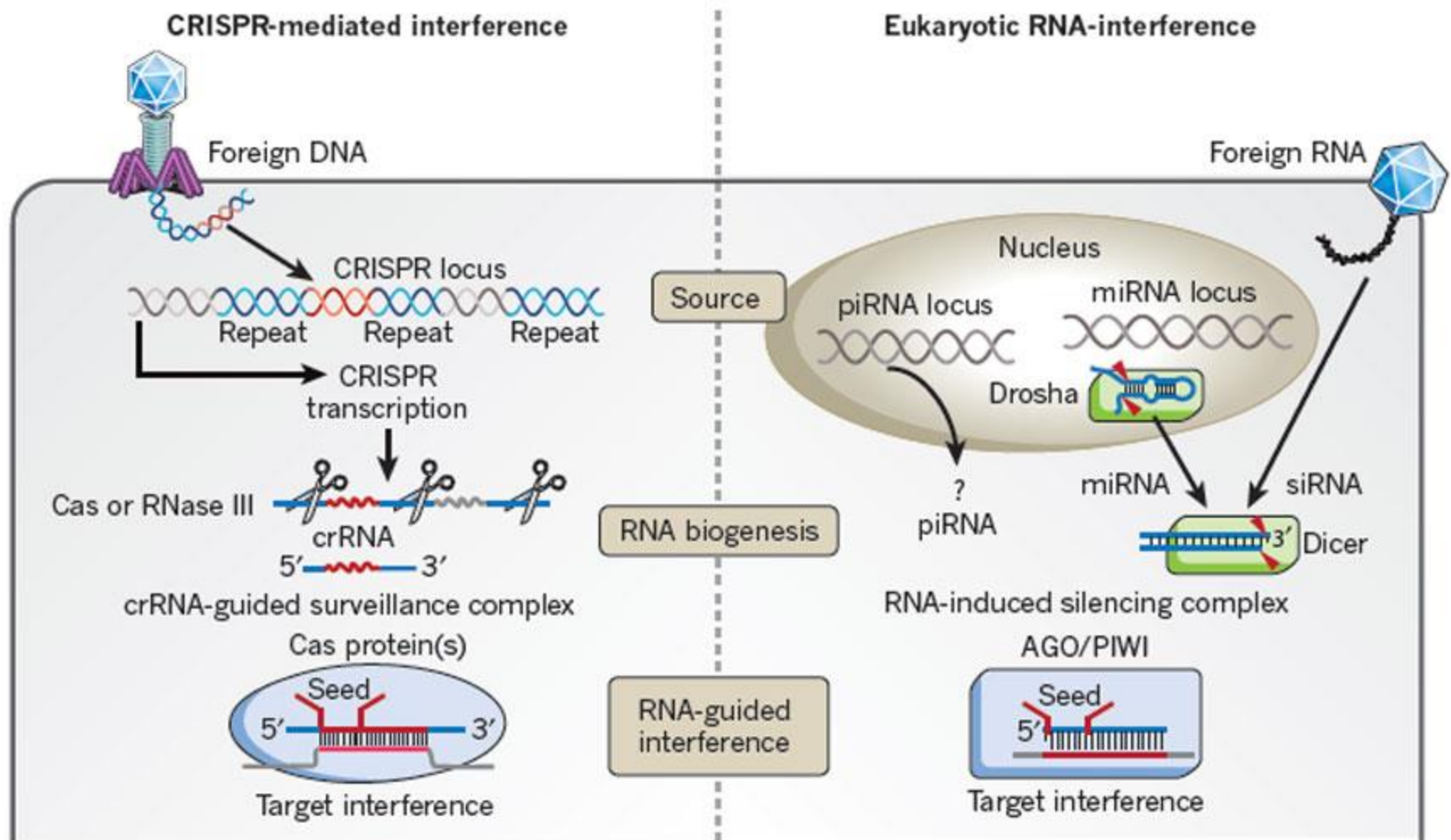
<http://podwojnahelisa.wordpress.com/2013/04/22/geny-na-miare/>

Rolę TALENów odkryto w 2009 badając bakterie *Xantomonas* wywołujących infekcje roślin



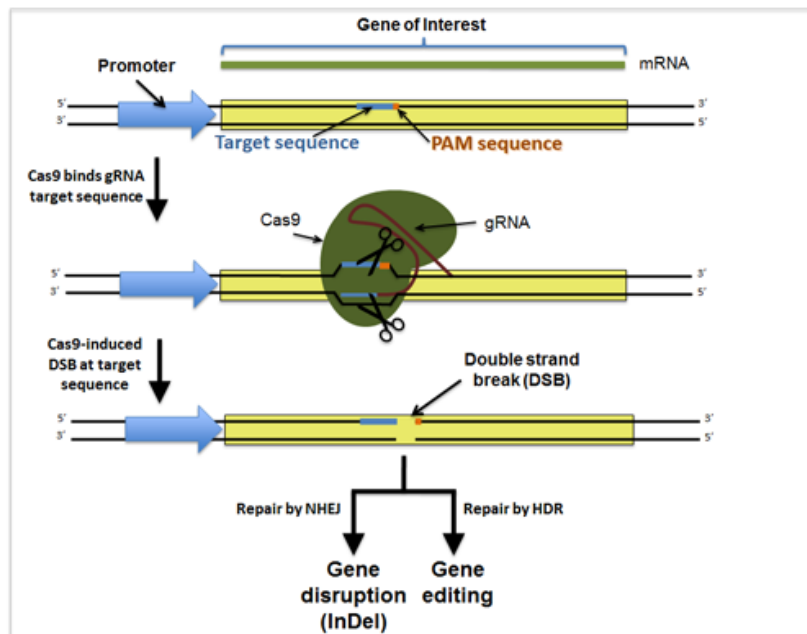
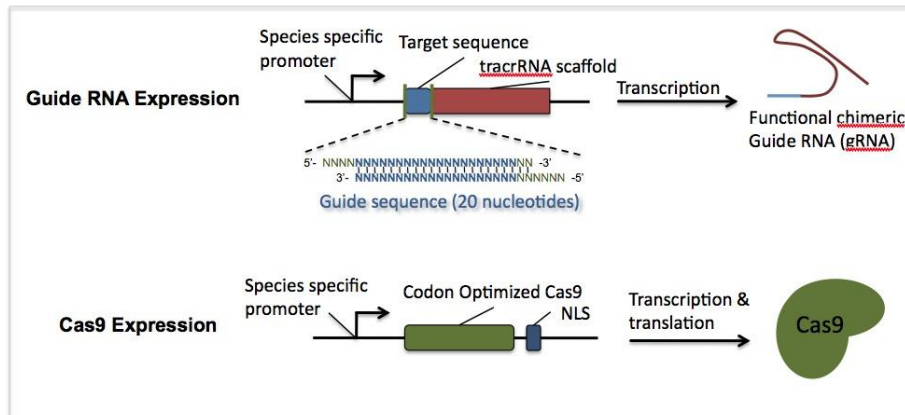
Nowe narzędzia do edycji genomu

► **CRISPR/Cas** (ang. Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) – system obrony organizmów prokariotycznych (bakterii i archeonów) przed egzogennymi elementami genetycznymi (np. bakteriofagami czy plazmidami).



Nowe narzędzia do edycji genomu

► **CRISPR/Cas** jest obecnie najczęściej używanym narzędziem do edycji/naprawy genomu, hamowania/włączania ekspresji wybranych genów



Nowe narzędzia do edycji genomu

- ▶ pierwsze naczelne z modyfikacją genomu techniką **CRISPR/Cas**
- ▶ szybkie wielogenowe modyfikacje - Pparg oraz Rag1

Cell

Resource

Generation of Gene-Modified Cynomolgus Monkey via Cas9/RNA-Mediated Gene Targeting in One-Cell Embryos

Yuyu Niu,^{1,5,7} Bin Shen,^{2,7} Yiqiang Cui,^{3,7} Yongchang Chen,^{1,5,7} Jianying Wang,² Lei Wang,³ Yu Kang,^{1,5} Xiaoyang Zhao,⁴ Wei Si,^{1,5} Wei Li,⁴ Andy Peng Xiang,⁶ Jiankui Zhou,² Xuejiang Guo,³ Ye Bi,³ Chenyang Si,^{1,5} Bian Hu,² Guoying Dong,³ Hong Wang,^{1,5} Zuomin Zhou,³ Tianqing Li,^{1,5} Tao Tan,^{1,5} Xiuqiong Pu,^{1,5} Fang Wang,^{1,5} Shaohui Ji,^{1,5} Qi Zhou,⁴ Xingxu Huang,^{2,*} Weizhi Ji,^{1,5,*} and Jiahao Sha^{3,*}

¹Yunnan Key Laboratory of Primate Biomedical Research, Kunming 650500, China

²MOE Key Laboratory of Model Animal for Disease Study, Model Animal Research Center of Nanjing University, National Resource Center for Mutant Mice, Nanjing 210061, China

³State Key Laboratory of Reproductive Medicine, Department of Histology and Embryology, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

⁴State Key Laboratory of Reproductive Biology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

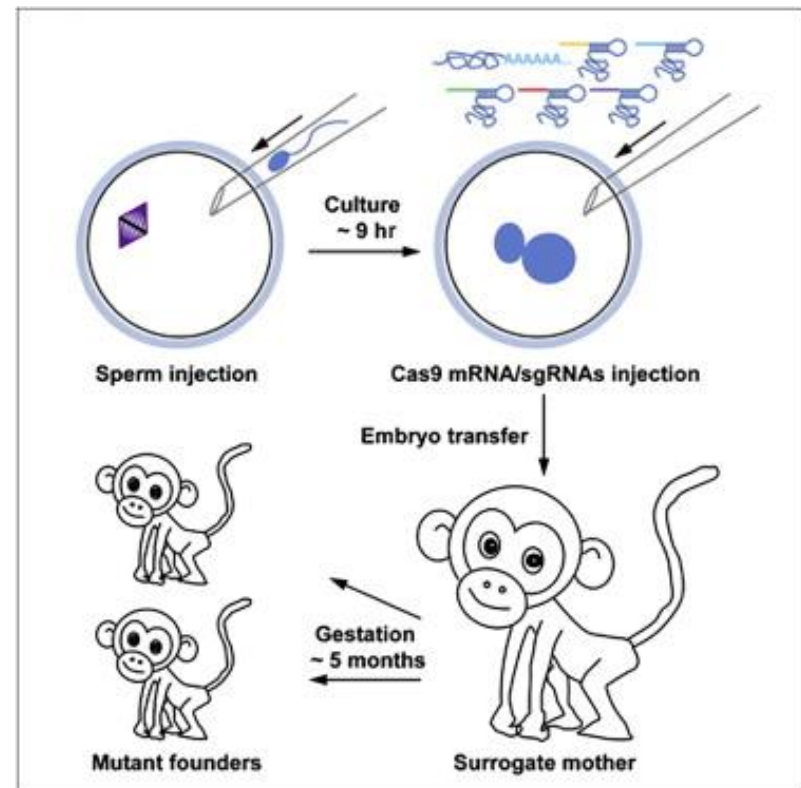
⁵Kunming Biomed International and National Engineering Research Center of Biomedicine and Animal Science, Kunming 650500, China

⁶Center for Stem Cell Biology and Tissue Engineering, Key Laboratory for Stem Cells and Tissue Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510080, China

⁷These authors contributed equally to this work

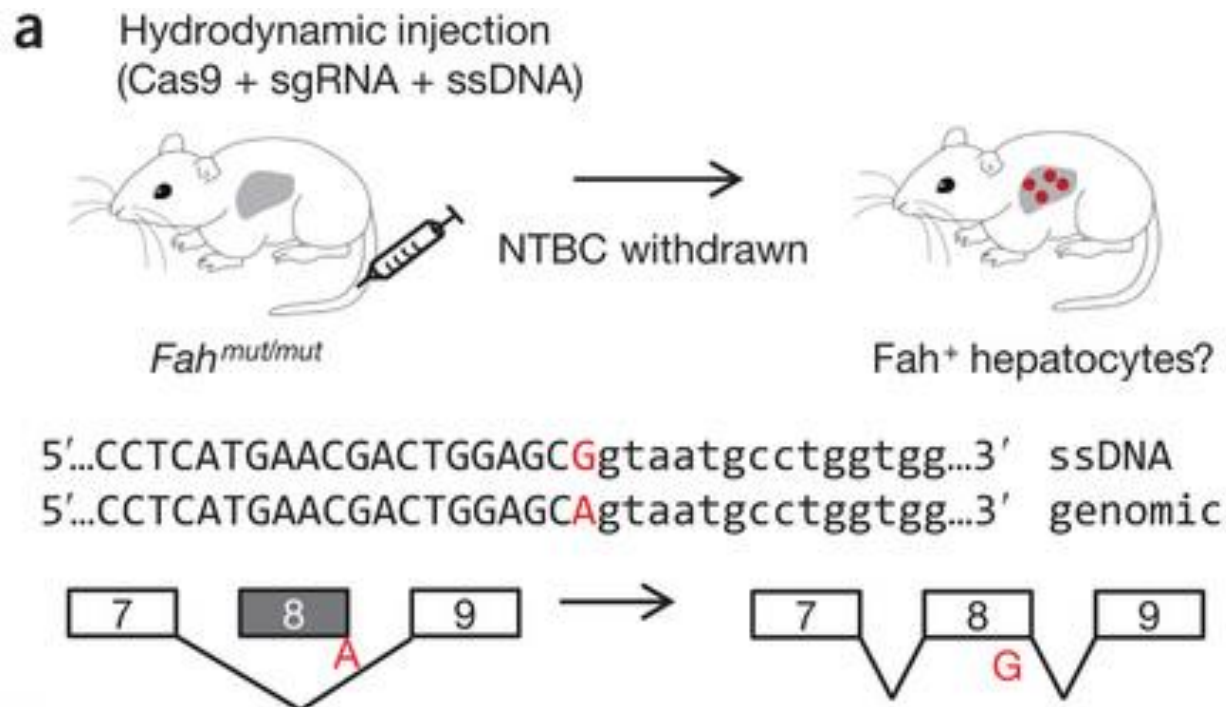
*Correspondence: shajh@njmu.edu.cn (J.S.), wji@kbimed.com (W.J.), xingxuhuang@mail.nju.edu.cn (X.H.)

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2014.01.027>



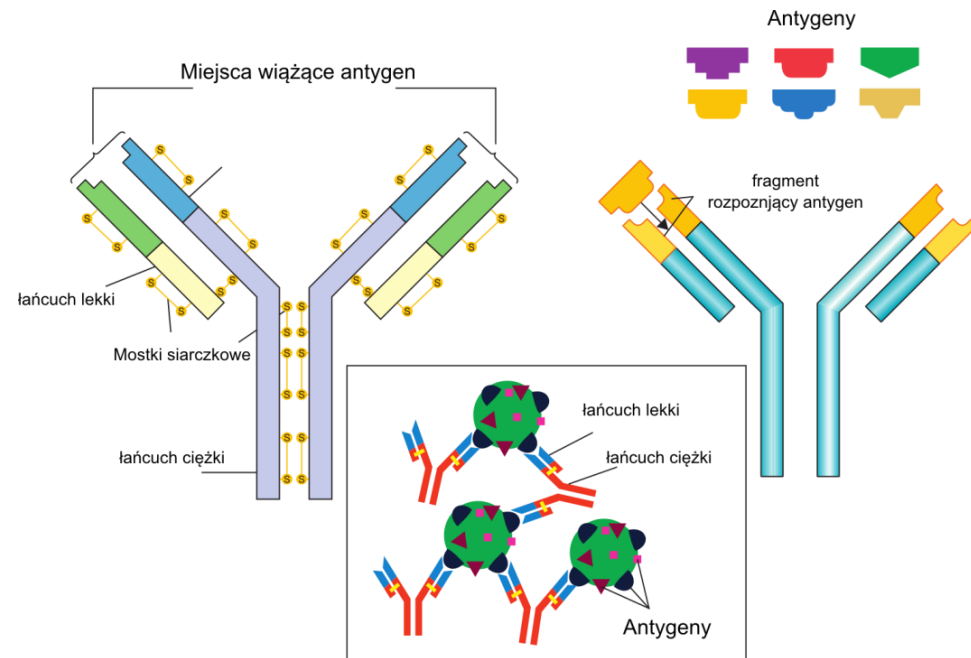
Nowe narzędzia do edycji genomu

- ▶ pierwsze udana terapia u zwierząt doświadczalnych techniką **CRISPR/Cas**
- ▶ **Tyrozynemia typu I**, śmiertelna choroba genetyczna w genie *FAH* (hydroksylaza fumarylo-aceto-octanowa), kodującym enzym szlaku metabolizmu tyrozyny. Mutacja punktowa ostatniego nukleotydu eksonu 8 powoduje jego opuszczenie w trakcie składania mRNA i produkcję krótkiego niestabilnego białka *FAH*
- ▶ Częstość występowania tyrozynemii typu I ocenia się na 1:100 000-120 000 narodzin, a w Polsce do 2000 r. rozpoznano 14 przypadków tej choroby



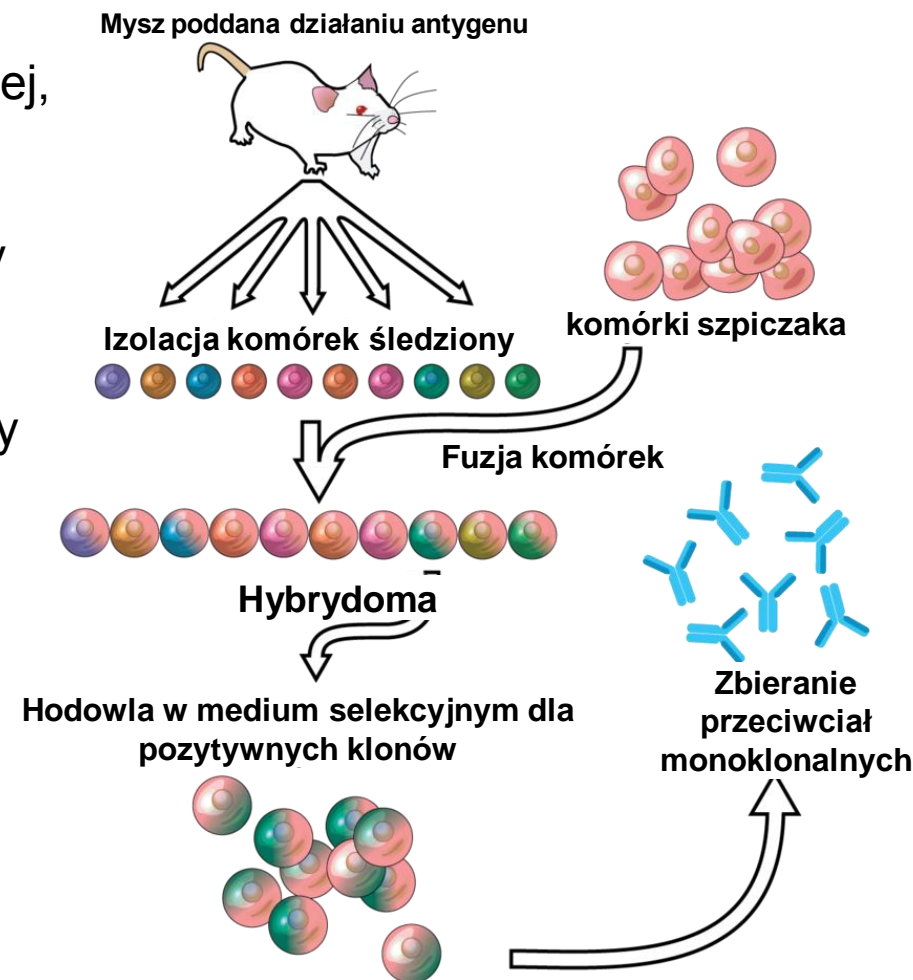
Przeciwciała poliklonalne i monoklonalne

- ▶ Człowiek i inne kręgowce posiadają zdolność do syntezy przeciwciał, które **specyficznie** rozpoznają i wiążą antygeny, np. inne białka
- ▶ Specyficzność czyni je atrakcyjnym narzędziem do rozpoznawania różnego rodzaju molekuł np. receptorów białkowych na powierzchni komórek nowotworowych
- ▶ Połączenie takiego przeciwciała z lekiem umożliwia precyzyjne dostarczenie do komórki nowotworowej i jej zlikwidowanie
- ▶ Ograniczenia:
 - ▶ 1. Odpowiedź systemu immunologicznego na jakikolwiek antygen wywołuje syntezę przeciwciał **poliklonalnych** – powstaje wiele struktur przeciwciał
 - ▶ 2. Nawet jeśli komórka wytwarzająca pojedyncze przeciwciało zostanie wyizolowana po kilkudziesięciu podziałach umrze



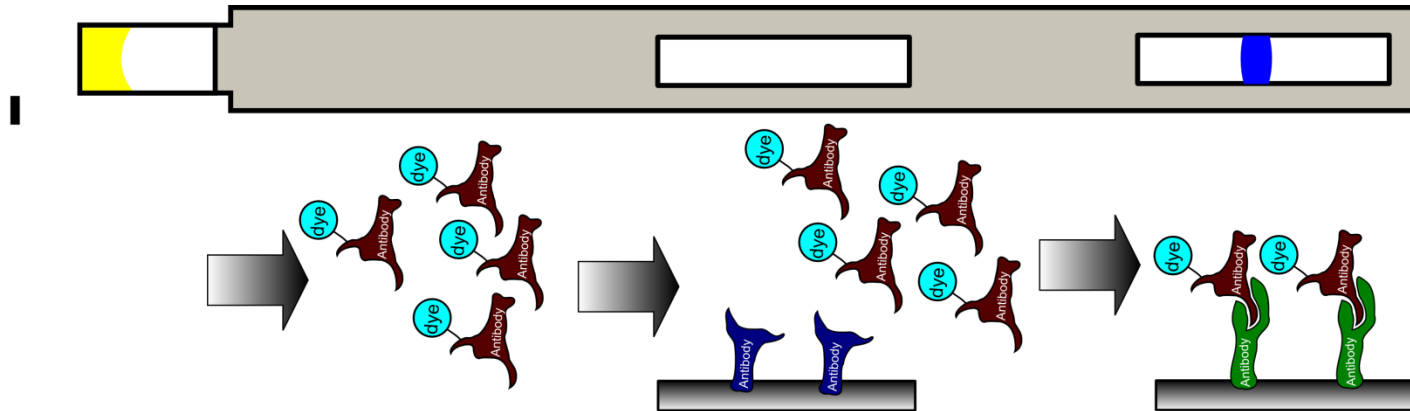
Przeciwciała monoklonalne - produkcja

- ▶ Metoda produkcji przeciwciał monoklonalnych opiera się na **fuzji komórek szpiczakowych z limfocytami B**
- ▶ Dochodzi do połączenia komórki nowotworowej, zdolnej do nieograniczonej liczby podziałów z komórką limfocyty B o pożądanej swoistości izolowanej ze śledziony immunizowanej myszy
- ▶ Komórki szpiczaka mają uszkodzony gen fosforybozylotransferazy hipoksantynowo-guaninowej (**HGPRT**), który jest zaangażowany w syntezę puryn – komórki nie mogą się replikować samodzielnie.
- ▶ Wolne limfocyty B ulegną apoptozie
- ▶ Komórki hybrydowe przeżyją bo limfocyty B produkują HGPRT a szpiczak zapewnia „nieśmiertelność”
- ▶ Komórki hodowli rozdziela się do osobnych naczynek tak, że przeciwciała w danym naczyniu będą pochodzić tylko i wyłącznie z jednego klonu komórek, będą zatem **przeciwciałami monoklonalnymi**.



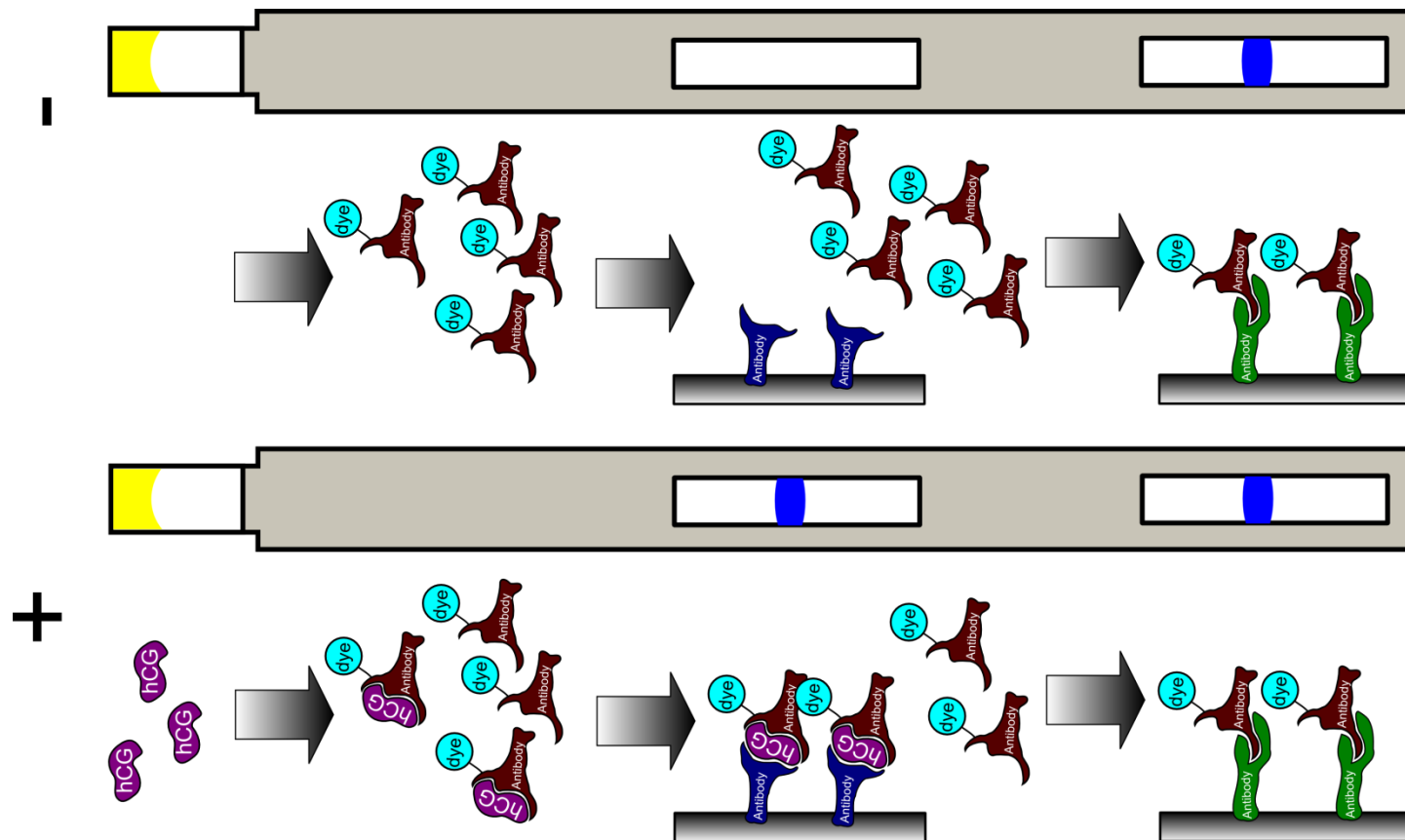
Przeciwciała monoklonalne - zastosowanie

► **Test ciążowy** - oznaczanie obecności **gonadotropiny kosmówkowej (hCG)** produkowanej przez zarodek w moczu kobiety. Hormon ten daje się wykrywać standardowymi testami od 6–12 dnia po zapłodnieniu



Przeciwciała monoklonalne - zastosowanie

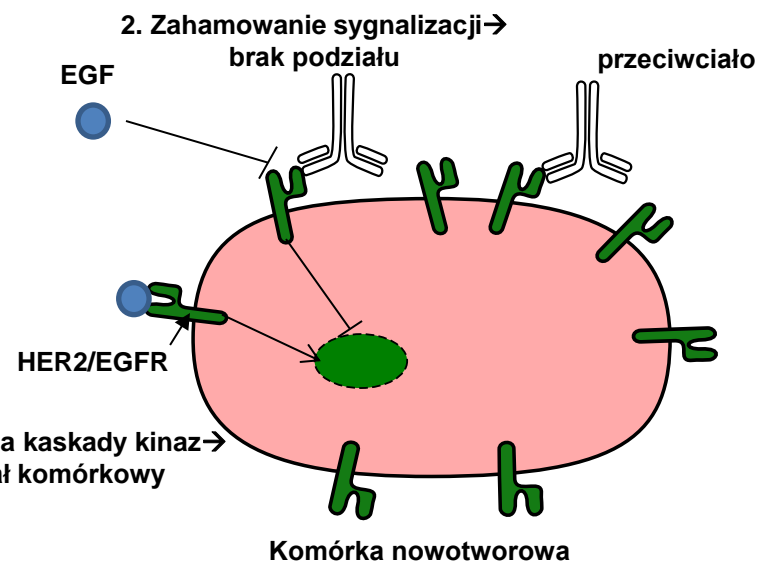
► **Test ciążowy** - oznaczanie obecności **gonadotropiny kosmówkowej (hCG)** produkowanej przez zarodek w moczu kobiety. Hormon ten daje się wykrywać standardowymi testami od 6–12 dnia po zapłodnieniu



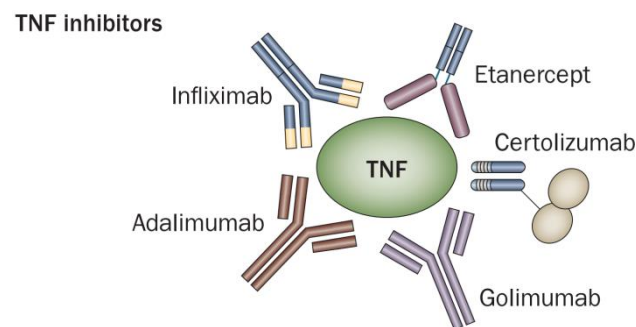
Przeciwciała monoklonalne - zastosowanie

► Przeciwciała monoklonalne są już używane jako leki.

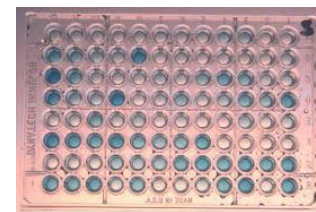
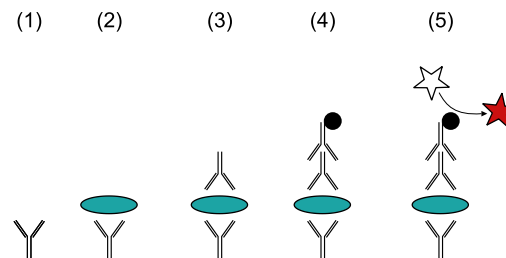
► **terapia nowotworów.** Herceptyna używana w terapii raka piersi (amplifikacja receptora HER2) oraz Cetuximab przepisywany w terapii raka jelita grubego (mutacje aktywujące w receptorze nabłonkowego czynnika wzrostu - EGF)



► **immunosupresja w chorobach o podłożu zapalnym**, w których można użyć przeciwciał skierowanych przeciwko cytokinom wywołującym patologię. Infliximab oraz adalimumab to przeciwciała hamujące aktywność białka **TNF- α** w chorobie Crohn'a i zapaleniu stawów



► **badania diagnostyczne** w laboratorium analitycznym test ELISA ang. *enzyme-linked immunosorbent assays*



Transgeniczne rośliny

► Inżynieria genetyczna zrewolucjonizowała badania podstawowe na roślinach, a także umożliwiła doskonalenie roślin aby ułatwić ich uprawę lub zwiększyć wartość uzyskiwanych plonów.

► > 170 milionów hektarów genetycznie zmodyfikowanych roślin było hodowanych na świecie w 2012 roku

<http://www.nature.com/gmcrops>

► Te osiągnięcia były możliwe dzięki pionierskim badaniom **Armina Brauna**, który w 1947 zasugerował, że DNA bakterii *Agrobacterium tumefaciens*, która zakaża rośliny, indukuje guzy w postaci narośli.

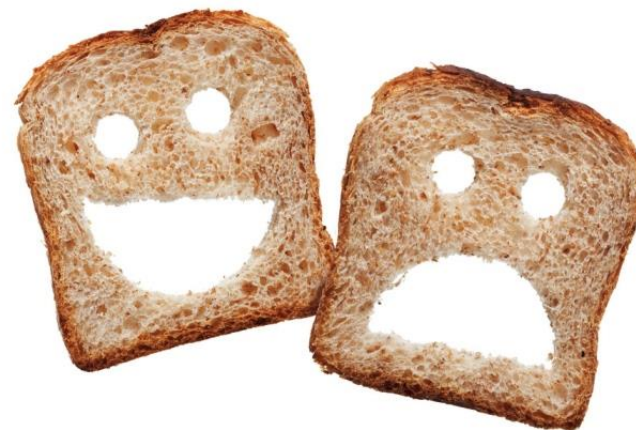


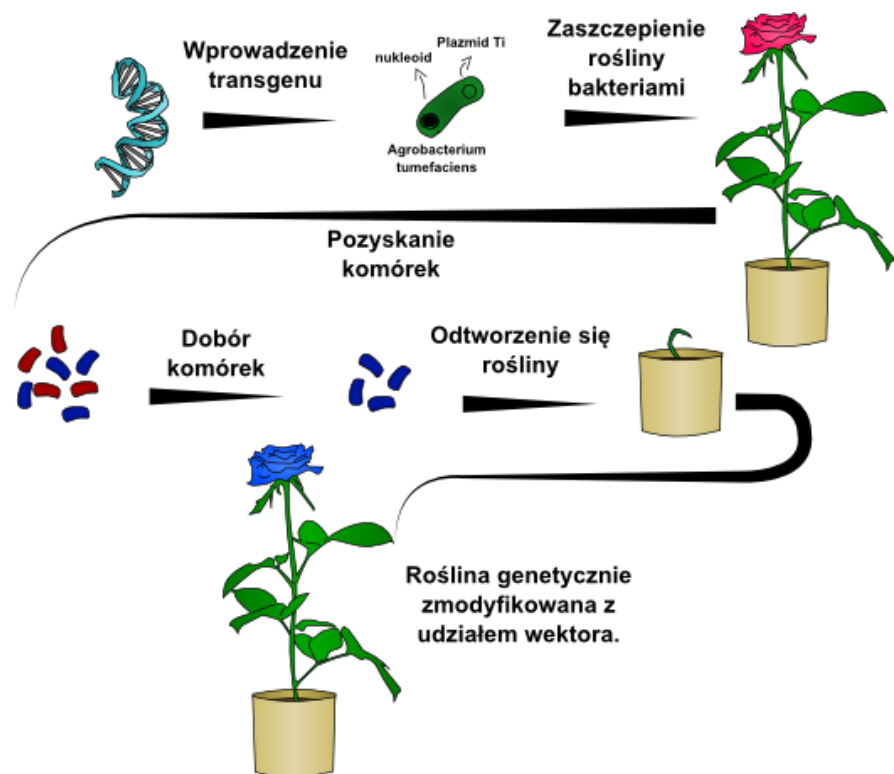
IMAGE: KELLY KRAUSE/NATURE (PHOTO: NAGY-BAGOLY ARPAD/SHUTTERSTOCK)



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Agrobacterium_tumefaciens_Forsythie.jpg

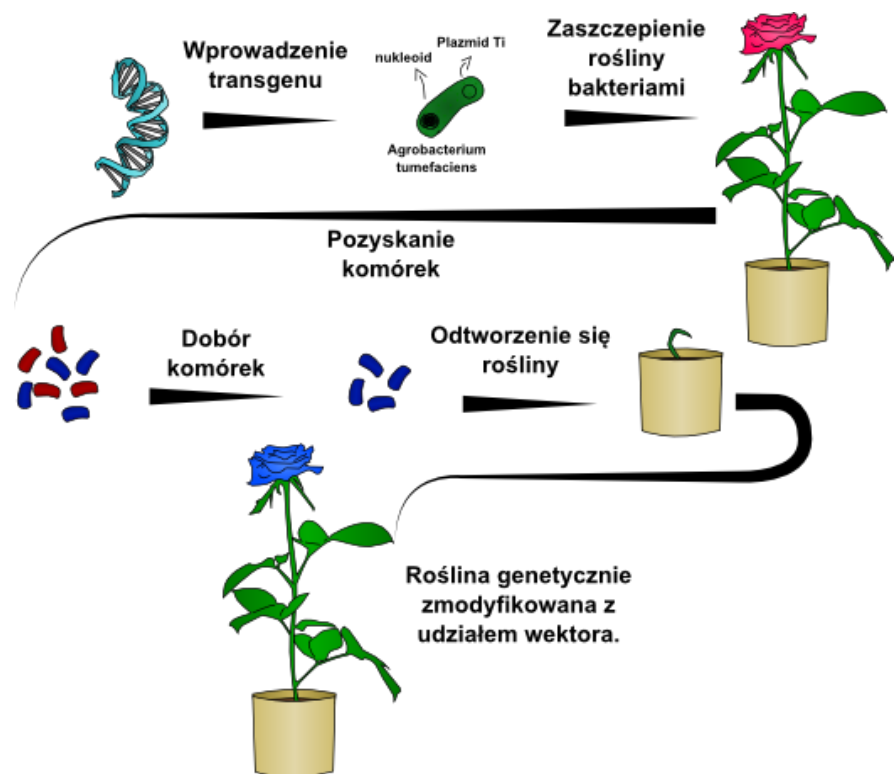
Transgeniczne rośliny

► *A. tumefaciens* wprowadza fragment własnego DNA do jądrowego DNA rośliny używając systemu integracji z plazmidem **Ti**. W maju 1983 użyto po raz pierwszy systemu z plazmidem Ti do wprowadzenia transgenu do rośliny

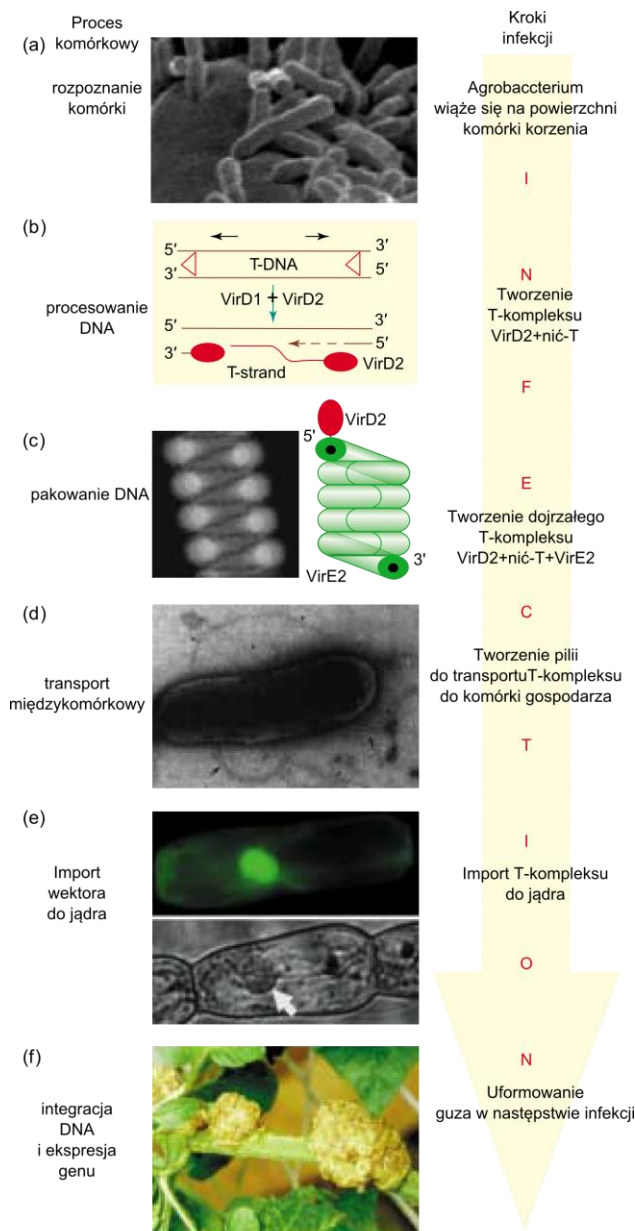


Transgeniczne rośliny

► *A. tumefaciens* wprowadza fragment własnego DNA do jądrowego DNA rośliny używając systemu integracji z plazmidem **Ti**. W maju 1983 użyto po raz pierwszy systemu z plazmidem Ti do wprowadzenia transgenu do rośliny



Mechanizm infekcji *A. tumefaciens*



Transgeniczne rośliny - przykłady

► **Oporność na herbicydy - glifosat**, składnik aktywny produktu Roundup, hamuje aktywność enzymu szlaku wytwarzania aminokwasów aromatycznych, które są niezbędne do prawidłowego wzrostu rośliny. Roślina GMO, np. burak cukrowy, posiada kopię genetycznie zmienionego enzymu odpornego na glifosat. Jest to najczęściej modyfikowana właściwość w roślinach GMO

Uprawa buraka cukrowego



<http://www.gmo-compass.org>

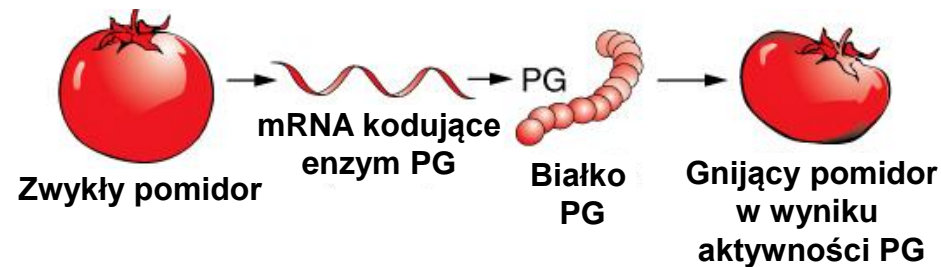
► **Oporność na owady (rośliny Bt)** – białko **Cry1Ab**, pochodzące z bakterii *Bacillus Thuringiensis* (Bt) wprowadzono do kukurydzy **MON 810**, zwalcza skutecznie **Omacnicę Prosowiankę**



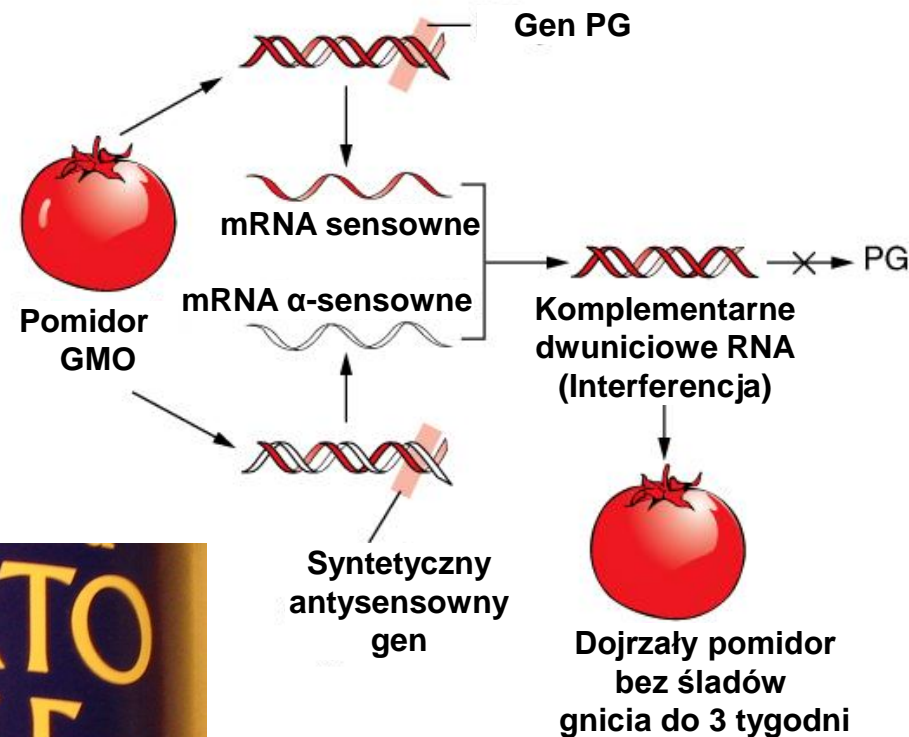
<http://www.gmo-compass.org>

Transgeniczne rośliny - przykłady

- **Flavr Savr** (wymawiany "flavor saver")
 - pomidor GMO, pierwsze warzywo dopuszczone do konsumpcji.
 - Produkowane w latach 1994-1998.

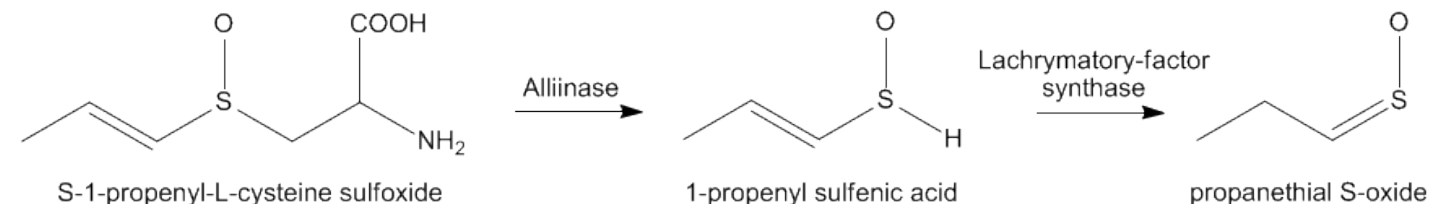


- Uzyskane poprzez wprowadzenie **antysensownego genu**, którego produkt interferował i powstrzymywał produkcję enzymu – **poligalakturonazy (PG)**. Enzym rozkłada pektynę w ścianie komórkowej zmiękcza tkankę, podczas dojrzewania, starzenia i psucia się owocu



Transgeniczne rośliny - przykłady

► **No tears onion** – cebula bez efektu łzawienia uzyskana techniką iRNA – zahamowanie syntezy enzymów **allinazy** oraz **syntazy czynnika łzawienia**, które produkują podrażniający oczy związek **Propanethial S-oxide**



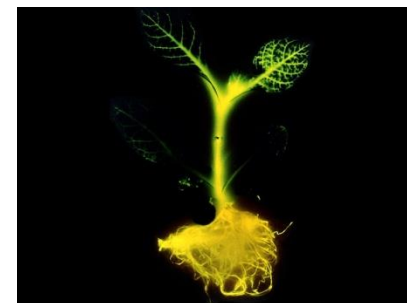
► **Złoty ryż** (ang. *Golden rice*) – wariant ryżu uzyskany metodami inżynierii genetycznej, dzięki czemu syntetyzuje β -Karoten. Powstał z myślą o rynku azjatyckim jako projekt humanitarny, gdzie dzieci zapadają na **ślepotę zmierzchową** z uwagi na brak witaminy A (β -Karoten zawarty w jadalnych częściach tego ryżu jest prowitaminą A)



<http://www.goldenrice.org/>

► **Glowing plant** - świecąca roślina dla każdego

► <http://www.kickstarter.com/projects/antonyevans/glowing-plants-natural-lighting-with-no-electricit>



<http://glowingplant.com/>

INGE – Wykład 6 – podsumowanie

