

Genetyczne możliwości modyfikowania białka i tłuszczu mleka

Anna Sawa

Katedra Hodowli Bydła

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy

ul. Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz

tel. (052) 321-12-41 w. 310

Słowa kluczowe: genetyka, białko i tłuszcz mleka, modyfikacja

Skład mleka kobiecego i krowiego

Hipokrates uważał, że „Mleko jest pokarmem najbliższym doskonałości”. Jako pożywienie ma ono wielowiekową tradycję. Obecnie uważa się, że mleko krowie, chociaż ogólnie dostępne, nie jest idealnym pokarmem dla człowieka. Skład ludzkiego mleka znacznie różni się od mleka krowy i innych przeżuwaczy (tab. 1).

Tabela 1. Skład [$\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$] mleka ludzkiego i poszczególnych gatunków zwierząt [32]

Składniki mleka	Gatunki			
	człowiek	bydło	owce	kozy
Kazeiny				
Alfa S1	ślad	10,0	7,0	0–7,0
Alfa S2	?	3,7	7,0	4,0
Beta	3,0	10,0	28,0	10,0
Kappa	1,0	3,5	3,5	6,0
Białka serwatkowe				
α -laktoalbumina	1,6	1,2	0,8–2,4	1,2
β -laktoglobulina	brak	3,3	2,8–5,0	2,3
albumina	0,4	0,4	—	—
lizozym	0,4	ślad	—	ślad
laktoferyna	1,4	0,1	—	0,1
immunoglobuliny	1,4	0,7	—	0,5

Głównymi białkowymi składnikami mleka krowiego są kazeiny: α S1, α S2, β , κ , z kolei jedynymi kazeinami występującymi w większym stężeniu w mleku kobiety są kazeiny β i κ . Białka kazeinowe są głównym źródłem aminokwasów, występują w połączeniu z fosforanem wapnia w postaci koloidowych miceli. Hydroliza kazeiny κ przez podpuszczkę prowadzi do destabilizacji miceli i do powstania strątu kazeinowego (zatrzymuje on dodatkowo znaczne ilości tłuszczu i białek serwatki i jest półproduktem w procesie wytwarzania serów).

Głównymi białkowymi składnikami serwatki mleka przeżuwaczy są α -laktoalbumina i β -laktoglobulina. α -laktoalbumina wchodzi w skład syntazy laktozowej i katalizuje syntezę laktozy. Funkcja β -laktoglobuliny nie jest dobrze poznana, uważa się, że białko to uczestniczy w transporcie witaminy A. β -laktoglobulina, białko serwatki mleka krowiego, jest źródłem uczuleń. Mleko kobiece zawiera dużo białek serwatki (70%), głównie laktoferyny, która poza fizjologiczną rolą w transporcie i absorpcji żelaza zdaje się mieć pewne właściwości antybakteryjne, zawiera też sporo lizozymu.

Analiza składu tłuszczu mleka krowy wskazuje na wysoki, 66-procentowy udział krótko- i średniołańcuchowych nasyconych kwasów tłuszczowych (głównie C₁₄ i C₁₆), 30-procentowy udział kwasów długołańcuchowych jednonienasyconych (C_{18:1}) i niski — 3-procentowy udział kwasów długołańcuchowych wielonienasyconych (C_{18:2} i C_{18:3}) (tab. 2). Spożycie tłuszczów zawierających wysoki udział nasyconych kwasów tłuszczowych wpływa na poziom cholesterolu w osoczu krwi, uważanego za główny czynnik ryzyka w chorobie wieńcowej serca [31], przy czym główne nasycone kwasy tłuszczowe tłuszczu mleka, szczególnie kwas laurynowy (C₁₂), mirystynowy (C₁₄) i w mniejszym stopniu kwas palmitynowy (C₁₆), są uważane za bezpośrednie czynniki żywieniowe wzrostu poziomu cholesterolu [33]. Natomiast kwas stearynowy (C₁₈), podobnie jak kwas oleinowy (C_{18:1}), obniżają poziom cholesterolu w osoczu krwi człowieka [21].

Tabela 2. Skład tłuszczu mleka krowy i kobiety (% sumy kwasów tłuszczowych mleka) [35]

Kwas tłuszczowy	C4	C6	C8	C10	C12	C14	C16	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
Mleko krowy	3,2	2,0	1,2	2,8	3,5	11,2	26,0	11,2	27,8	1,4	1,5
Mleko kobiety	0	0	śl.	1,4	5,4	7,3	26,5	9,5	35,4	7,2	0,9

Większość mleka spożywa się w postaci przetworów: serów, kefirów, jogurtów lub lodów. Właściwości przetwórcze mleka wiążą się ściśle ze strukturą oraz poziomem białka, laktozy, tłuszczu, soli mineralnych, które — współdziałając ze sobą — wpływają na cechy organoleptyczne i kinetyczne powstałych produktów, warunkując ich smak, zapach, konsystencję itp. Małe stężenie białka, wielkość i struktura miceli kazeinowych mogą wpływać na jakość niektórych gatunków serów; laktoza, słabo rozpuszczalna w niskich temperaturach, może obniżać jakość lodów. Tak więc dla

technologia mleka podstawowym parametrem jest niewątpliwie zawartość suchej masy w mleku, a także względny udział głównych składników suchej masy mleka, tj. białka, tłuszczu i laktozy. Wobec coraz droższej energii, nie obojętne stają się koszty związane z transportem i przerobem dodatkowej ilości wody. Nie jest zatem zaskoczeniem, że producenci, przemysł mleczarski i konsumenci są zainteresowani możliwościami szybkiego i efektywnego modyfikowania składu mleka, polegającego na zwiększeniu zawartości białka oraz ograniczeniu udziału tłuszczu i zmianie jego składu. Na ogół wyróżnia się dwie podstawowe metody służące modyfikowaniu zawartości i składu mleka, a mianowicie metody genetyczne i żywieniowe. Podsumowując wyniki dotychczas przeprowadzonych badań na temat wpływu różnych czynników na skład chemiczny mleka, ustalono, że około 60% zmienności w zakresie koncentracji składników w mleku przypisuje się czynnikom genetycznym, 40% zaś — środowiskowym.

Wpływ selekcji zwierząt na zmiany zawartości składników mleka (markery genetyczne)

Mleko krów różnych ras różni się dość istotnie pod względem składu chemicznego, zwłaszcza w zakresie zawartości tłuszczu i białka [20, 27, 38]. Wyniki badań Czai i in. [9], Gregi i in. [13] wskazują, że od rasy zależy ponadto zawartość w mleku wapnia, fosforu, kwasu cytrynowego oraz gęstość, czas krzepnięcia, jakość uzyskanego skrzepu. Wskazuje to na możliwość wykorzystania czynnika genetycznego, jakim jest rasa, w celu podwyższenia wartości odżywczej, profilaktycznej i technologicznej mleka krowiego.

Drogą selekcji można osiągnąć pożądane zmiany, sprowadzające się do obniżenia zawartości tłuszczu i wzrostu zawartości białka. W wyniku tego stosunek zawartości tłuszczu do białka zbliża się do 1 : 1. Najbardziej pożądany stosunek zawartości tłuszczu do białka osiągnąć można u bydła rasy holsztyńskiej.

W Polsce od wielu lat do krzyżowania uszlachetniającego jest używana rasa holsztyńsko-fryzyjska. Wbrew początkowym obawom o pogorszenie składu mleka, głównie w zakresie zawartości tłuszczu i białka u mieszańców, takie niebezpieczeństwo nie wystąpiło. Odejście od zawartości tłuszczu w mleku, jako głównego kryterium selekcyjnego — na rzecz udziału białka, dało pozytywny efekt w postaci zwiększenia poziomu tego składnika w mleku krów mieszańców [42].

Prognozy dotyczące przewidywanej reakcji na selekcję w kierunku zwiększenia zawartości białka i innych składników w mleku rozpoczynane są w większości prac od oznaczenia parametrów genetycznych i ustalenia ich zmienności. Jak podają Campbell i in. [7], Czaja [8], Reklewski i in. [38], zawartość tłuszczu, białka, laktozy i suchej masy beztłuszczowej charakteryzuje się wysoką odziedziczalnością (h^2 odpo-

wiednio: 0,58; 0,50; 0,53 i 0,59). Możliwości konwencjonalnych metod hodowlanych są jednak ograniczone stosunkowo niską zmiennością zawartości białka (SD = 0,22%) i tłuszczu (SD = 0,25%) [8].

W pracy hodowlanej nad doskonaleniem mleczości konieczna jest znajomość powiązań między poszczególnymi cechami mleka. Zależność między zawartością tłuszczu i białka w mleku była przedmiotem wielu badań, szczególnie odkąd wzrosło zainteresowanie białkiem mleka. Podsumowanie tych badań można znaleźć m.in. w pracy Reklewskiego i in. [38]. W prowadzonej przez lata pracy hodowlanej nad poprawieniem mleczości krów uwzględniano wydajność mleka i procentową zawartość w nim tłuszczu, natomiast mniejszą uwagę zwracano na procentową zawartość białka. Zwiększenie zawartości tego składnika w mleku miało nastąpić wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu, ponieważ współzależność pomiędzy tymi składnikami w mleku jest dodatnia (wahania od 0,2 do 0,7 w zależności od rasy, kolejnej laktacji i poziomu produkcji) [27, 40, 41].

Pod wpływem preferencji konsumentów rośnie zapotrzebowanie na produkty z udziałem białka w diecie człowieka. Postęp w selekcji bydła na zawartość białka jest niezwykle powolny i wynosi około 0,2–0,3% w ciągu 20 lat wzmożonej pracy hodowlanej, jednak — jak wykazała Czaja [8] — jest on niezwykle opłacalny. W dalszym ciągu poszukuje się więc optymalnych kryteriów selekcji w kierunku zwiększenia zawartości białka. Zdaniem Vosa i in. [46], szybkie zwiększenie zawartości białka w mleku można uzyskać, prowadząc selekcję na stosunek białka do tłuszczu. Odziedziczalność tej cechy wynosi 0,5 [46].

Ujemne zależności pomiędzy cechami wydajności i zawartości składników mleka utrudniają prowadzenie selekcji [38]. W takiej sytuacji wielu badaczy wskazuje na konieczność wprowadzenia indeksów do oceny wartości hodowlanej bydła. Przy konstrukcji indeksów konieczne jest ustalenie wagi ekonomicznej każdej cechy do nich wprowadzonej. Indeksy opracowane w poszczególnych krajach różnią się od siebie liczbą cech w nich uwzględnianych oraz wagami przyjmowanymi dla konkretnych cech i chociaż w poszczególnych państwach różne są cele hodowlane, nacisk — jaki kładzie się na białko — jest dominujący [23]. Również indeks buhaja obliczany w naszym kraju dwukrotnie silniej akcentuje przewagę w wydajności białka aniżeli tłuszczu. Jest to jak najbardziej słuszne z hodowlanego punktu widzenia, jednak powodzenie może zapewnić stworzenie bodźców ekonomicznych, np. w postaci powszechnego premiowania przez mleczarnie zawartości białka w mleku.

W ostatnich latach czynione są przez hodowców próby wykorzystania związków między cechami użytkowości mleczej a cechami funkcjonalnymi, bowiem selekcja pośrednia, np. w kierunku obniżenia częstotliwości występowania mastitis, mogłaby przyczynić się do poprawy ilości i jakości mleka. Mrode i in. [34] — podsumowując wyniki badań wielu autorów na temat związku pomiędzy liczbą komórek somatycznych (wskaźnik mastitis) a cechami mleka — podają, że wartości wskaźników korelacji genetycznych między liczbą komórek somatycznych a zawartością tłuszczu wa-

hają się od $-0,06$ do $0,01$, natomiast fenotypowych od $-0,06$ do $0,01$, z kolei między liczbą komórek somatycznych a zawartością białka odpowiednio: od $-0,01$ do $0,12$ i od $-0,01$ do $0,12$. Oznacza to, że stany zapalne gruczołu mlekowego oddziałują negatywnie na skład mleka (wzrost zawartości białka towarzyszący nasileniu choroby jest niepożądany z punktu widzenia spożycia i przerobu, bowiem spada zawartość kazeiny, a wzrasta ilość albumin i globulin) [22].

We współczesnych programach hodowlanych coraz większą uwagę zwraca się na pojedyncze geny, których funkcja w organizmie może rzutować na ważne gospodarczo cechy użytkowe zwierząt. Na ekonomiczne korzyści zastosowania tej metody — jako wsparcia dla klasycznych metod selekcji — wskazali Brascamp i in. [5].

W hodowli bydła duże znaczenie odgrywają geny uczestniczące w syntezie białek. Wykryto 6 takich genów: cztery geny kazeinowe (α S1-kazeina, α S2-kazeina, β -kazeina, κ -kazeina) i dwa geny serwatkowe (α -laktoalbumina, β -laktoglobulina).

Białka kazeinowe	Wariant genetyczny (Lodes [29])
❖ α S1-kazeina	A, B, C, D, E
❖ α S2-kazeina	A, B, C, D
❖ β -kazeina	A1, A2, A3, B, C, D, E
❖ κ -kazeina	A, B, C, E, F, G
Białka serwatkowe	
❖ α -laktoalbumina	A, B, C
❖ β -laktoglobulina	A, B, C, D, E, F, G, G, H, W, X

Geny kodujące te białka są zaliczane do markerów genetycznych [25], warunkują syntezę ponad 95% białka całkowitego oraz fizykochemiczne właściwości mleka [15, 16, 30, 43].

Skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne białka mleka zależą znacząco od stosunkowo niewielkich zmian w łańcuchu polipeptydowym, polegających na zastąpieniu w jednej pozycji jednego lub kilku aminokwasów przez inne, co przedstawia przykład (FitzGerald [12]):

Białko	Wariant genetyczny	Zmiany w składzie aminokwasowym
k-kazeina	A \Rightarrow B	136: Thr \Rightarrow Ile 148: Asp \Rightarrow Ala
	A \Rightarrow C	97: His \Rightarrow Arg 136: Thr \Rightarrow Ile
		148: Asp \Rightarrow Ala

Różne warianty każdego białka mogą mieć różny wpływ na właściwości technologiczne mleka. Gen kodujący κ -kazeinę jest szczególnie ważny z punktu widzenia technologii przetwórstwa mleka. Jego istotna funkcja wynika nie z ilości kodowanego białka (zaledwie 12%), lecz z roli, jaką pełni w procesie powstawania skrzepu pod wpływem podpuszczki. κ -kazeina wchodzi w skład miceli kazeinowej, a — znajdując

się głównie na jej powierzchni — jako pierwsza podlega działaniu podpuszczki, zapoczątkowując proces koagulacji białek mleka i powstawania skrzepu.

Feleńczak i in. [10] stwierdzili, że krowy posiadające genotyp AB i BB κ -kazeiny charakteryzowały się wyższą zawartością białka ogólnego, kazeiny i tłuszczu w mleku. Mleko pochodzące od krów o genotypie BB κ -kazeiny wykazywało najkrótszy czas krzepliwości i najwyższą stabilność termiczną. Według Aleandri i in. [1], mleko krów o genotypie BB zawiera o około 1/5 więcej κ -kazeiny aniżeli mleko krów o genotypie AA, jednak z uwagi na niewielką bezwzględną zawartość tego białka, względna koncentracja białka ogólnego w mleku wzrasta zaledwie o 1–2%, zjawisko to występuje najczęściej u bydła hf, u innych ras mlecznych obserwowany wzrost jest nieistotny. Ponadto allel B warunkuje wyższą o 5–8% wydajność świeżego i dojrzalego sera parmezan i cheddar oraz większą o 2–4% konwersję azotu całkowitego w serach cheddar, camembert i gouda [15].

Wymienione parametry właściwości technologicznych mleka posiadają wymierną wartość ekonomiczną. Badania bydła czarno-białego w wielu krajach wykazały jednak, że częstość występowania zwierząt o pożądanym genotypie κ -kazeiny jest niska i systematycznie spada. Według Litwińczuk i in. [28], efektem doskonalenia krajowego pogłowia rasą hf jest zmniejszenie w okresie ostatnich 20 lat frekwencji genu B κ -kazeiny u bydła czarno-białego z 0,286 do 0,215.

Gen kodujący β -laktoglobulinę występuje w populacji bydła domowego w kilku odmianach, z których allele A i B są najbardziej powszechne wśród bydła cb. Badania Boland i in. [3] dowiodły, że mleko krów z genotypem β -laktoglobuliny AA w porównaniu z typem BB zawiera ponad 25% więcej białek serwatkowych, co prowadzi do spadku liczby kazeinowej o 2–3 %, ponadto zawiera 7% mniej białka kazeiny, 11% mniej tłuszczu i 6% mniej suchej masy. Według Boland i in. [3], warianty β -laktoglobuliny są rozłożone podobnie u rasy jersey i u fryzów: 20% AA, 30% BB i 50% AB.

Krzyżewski i in. [24], podsumowując wyniki badań wielu autorów, wykazali, że dodatnia korelacja między genotypem κ -kazeiny BB a zawartością kazeiny w mleku oraz ujemny wpływ β -laktoglobuliny BB na koncentrację białek serwatki powodują, że obydwa wymienione genotypy wpływają na wzrost liczby kazeinowej mleka i w konsekwencji na większą o 4–9% wydajność sera. W serze produkowanym z takiego mleka wyższa jest o około 7% retencja białka oraz o około 3% retencja tłuszczu.

Prowadzone są badania mające wskazać optymalną kombinację alleli dla wszystkich białek mleka (β -laktoglobulina, α S1-kazeina, α S2-kazeina, β -kazeina i κ -kazeina) [14], która byłaby markerem genetycznym wysokiej zawartości białka w mleku. Wyniki badań Allmere i in. [2] wykazały, że mleko krów z κ -kazeiną BB i β -laktoglobuliną BB jest najbardziej przydatne do produkcji fermentowanych napojów mlecznych, może też być preferowane do produkcji sera. Według Grodzkiego i in. [14], najkorzystniejszy skład z technologicznego punktu widzenia wykazuje mleko o genetycznych kombinacjach BB κ -, BC α S1-, A'A' β -kazeiny i BB β -laktoglobuliny. Ru-

tynowe oznaczenia genotypów dwóch białek κ -kazeiny i β -laktoglobuliny wzbogacają już informację o buhajach używanych do rozplodu przez SHiUZ. Obecnie w niektórych krajach, np. w Niemczech i Holandii, buhaje o genotypie BB są przy ocenie premiowane dodatkowymi punktami (od 1 do 3, w zależności od rasy).

W tej chwili zagadnienie dotyczące uwzględnienia polimorfizmu białek mleka w praktycznej hodowli jest wciąż jeszcze w sferze dyskusji. Możliwości wykorzystania polimorfizmu białek mleka w selekcji bydła czarno-białego w kraju zostały przedstawione w pracach Kamińskiego [17, 18]. Postęp genetyczny, jaki można uzyskać, selekcionując na podstawie markerów, może być o około 5% wyższy od uzyskiwanego w wypadku stosowania tradycyjnej selekcji [19, 39]. Korzyści wynikające z włączenia danego genotypu do programu selekcyjnego zależą od rodzaju cechy, granicy opłacalności związanej z jej poprawą oraz frekwencji genu, na który prowadzi się selekcję [36]. Krzyżewski i in. [24] zwracają uwagę na fakt, że wpływ genotypów związanych z dziedzicznym polimorfizmem białek na skład chemiczny i cechy jakościowe mleka może okazać się różny w poszczególnych krajach, co wynika z różnych strategii i celów hodowlanych. Można spodziewać się, że rozwój tego kierunku pracy hodowlanej będzie zależeć od odbiorcy wyników badań — przemysłu mleczarskiego.

Podsumowując wyniki badań wielu autorów, Krzyżewski i in. [24] stwierdzają, że gdyby cały wysiłek selekcyjny był skoncentrowany tylko na genotypach białek mleka, wówczas pozytywne allele mogłyby być wprowadzone do populacji w znaczącym stopniu po kilku pokoleniach. Jednakże wśród badaczy zajmujących się tym zagadnieniem panuje dość zgodna opinia, że selekcja na korzystne allele białek mleka powinna być włączona w cały system selekcyjny, uwzględniający poprawę wszystkich pożądanych cech u krów przy mlecznym kierunku użytkowania (a więc nie tylko wydajność mleka i jego skład chemiczny, lecz również reprodukcja, zdrowie zwierząt i ogólne efekty ekonomiczne). Gdyby zastosować w praktyce taki wariant, wówczas pozytywne allele białek mleka mogłyby być wprowadzone po 7–12 pokoleniach [37].

Inżynieria genetyczna

Efektem intensywnej selekcji i doskonalenia zwierząt jest znaczny wzrost wydajności mlecznej krów, natomiast zmiany w składzie mleka nie są satysfakcjonujące. Postęp, jaki dokonał się ostatnio w zakresie biologii molekularnej i embriologii, sprawiły, że obecnie myśli się poważnie o wykorzystaniu inżynierii genetycznej do wprowadzenia istotnych zmian w składzie mleka przeżuwaczy, poprawy jego właściwości odżywczych, a także o wykorzystaniu transgenicznych zwierząt jako producentów obcych gatunkowo białek (głównie ludzkich). Jest szansa, że inżynieria genetyczna pozwoli na osiągnięcie w ciągu jednego pokolenia zmian, których uzyskanie tradycyjnymi metodami hodowlanymi zajęłoby kilkaset lat, jeżeli w ogóle byłyby możliwe do osiągnięcia.

Gruczoł mleczny jest atrakcyjnym obiektem dla inżynierii genetycznej — oferuje możliwości genetycznych manipulacji bez wpływu na żywotność zwierząt po transferze genów. Białko syntetyzowane w wymieniu w ogromnych ilościach jest w sposób nieinwazyjny dla zwierzęcia wydzielane na zewnątrz. Zwierzęta transgeniczne, raz uzyskane, mogą same, bez specjalnej interwencji człowieka, produkować mleko o zmodyfikowanym składzie i, co więcej, przekazywać tę cechę swojemu potomstwu.

Według Zwierzchowskiego [47], modyfikacji składu mleka można dokonać poprzez:

- wprowadzenie nowych genów w celu wytworzenia w mleku obcych białek o wysokiej wartości, np. środków farmaceutycznych lub czynników wzrostu;
- zahamowanie ekspresji jednego lub kilku genów;
- „ulepszenie” istniejących genów białek mleka;
- modyfikację innych genów kodujących enzymy zaangażowane w biosyntezę takich składników mleka, jak tłuszczy lub cukry.

Zwierzchowski [47] — podsumowując wyniki badań wielu autorów — podaje, że zasadniczym celem tych modyfikacji jest m.in. poprawa jakości produktów spożywczych wytwarzanych z mleka (zwiększenie jędrności strątu kazeinowego i ilości zawartych w nim białek i tłuszczów, przyspieszenie dojrzewania serów, zwiększenie trwałości zawiesiny koloidowej kazein mleka, eliminacja kryształków lodu i strąków laktozy) oraz poprawa właściwości odżywczych mleka. Nie wiadomo jednak, czy konsumenci zaakceptują produkty mleczarskie pochodzące ze zmodyfikowanego mleka. W najbardziej ambitnych projektach zakłada się przeprowadzenie humanizacji mleka krowiego, czyli wprowadzenie takich zmian jego składu, aby było adekwatnym substytutem mleka ludzkiego. „Humanizacja” mleka krowiego, w wyniku manipulacji genetycznych, mogłaby spowodować zmniejszenie zawartości laktozy (składnika mleka, którego nie toleruje w pożywieniu większość dorosłych mieszkańców Azji, Afryki i rdzennych mieszkańców obu Ameryk, obniżającego ponadto wartość niektórych przetworów mlecznych, np. lodów). Na drodze inaktywacji genu lub zahamowania jego ekspresji można by także obniżyć w mleku krowim zawartość β -laktoglobuliny, głównego alergenu mleka [11].

Spożywanie nadmiaru tłuszczów zwierzęcych, w tym także tłuszczu mleka, może być przyczyną arteriosklerozy. Dzięki inaktywacji lub modyfikacji genów związanych z biosyntezą kwasów tłuszczowych będzie można zmniejszyć zawartość tłuszczu w mleku [6] i poprzez produkcję mniej tłustego mleka obniżyć koszty jego produkcji [44].

Inżynieria genetyczna może doprowadzić do wyhodowania zwierząt, które będą zdolne do syntezy obcych gatunkowo białek w gruczole mlecznym, np. biopreparatów możliwych do wykorzystania w medycynie, takich jak: alphaantytrypsyna, czynnik VIII i IX krzepliwości krwi, aktywator plazminogenu tkankowego, fibrynogen, białko C [45].

Większości planowanych manipulacji genetycznych, mających na celu modyfikację składu mleka, jeszcze nie przeprowadzono lub przeprowadzono je tylko na myszach, najlepiej poznanym i najłatwiej dostępnym zwierzęciu doświadczalnym. Oczywiście mleczna krowa byłaby najlepszym „bioreaktorem”. Uzyskano już bydlę transgeniczne, syntetyzujące w gruczole mlecznym ludzką laktoferynę (białko o działaniu bakteriobójczym) [26].

Manipulacje genetyczne na dużych zwierzętach gospodarskich są bardzo kosztowne. Ponadto spotykają się z zastrzeżeniami ze strony organizacji ekologicznych, uważających je za zbyt daleko idące ingerencje w naturę, grożące trudnymi do przewidzenia konsekwencjami. Pomijając uzasadnione, jak się wydaje, opór konsumentów przed spożywaniem żywności transgenicznej, należy wobec bezspornych osiągnięć i bogatych propozycji z zakresu inżynierii genetycznej podkreślić konieczność współpracy między przedstawicielami dwóch metodologii konstruowania programów hodowlanych: tradycyjnej — opartej na statystyce matematycznej, oraz nowej — wywodzącej się z biologii molekularnej. Postęp w tworzeniu możliwości szybkiego i efektywnego modyfikowania składu mleka zależeć będzie nie tylko od osiągnięć w dziedzinie biologii molekularnej czy doskonalenia metod selekcji, ale od społecznego zapotrzebowania na tego typu badania i od odbiorcy wyników tych badań — przemysłu mleczarskiego.

Literatura

- [1] Aleandri R., Buttazzoni L.G., Schneider J.C., Caroli A., Davoli R. 1990. The effects of milk protein polymorphism on milk components and cheese producing ability. *J. Dairy Sci.* 73: 241–255.
- [2] Almere T., Andrn A., Bijoeerck. 1995. Effects of genetic polymorphism of milk proteins on fermented milk products. Proceedings of the NJF/NMR — Seminar No. 252, Turku, January 13–15. NJF-Report: 102.
- [3] Bonald M.J., Hill J.P., Creamer L.K. 1992. Genetic manipulation of milk proteins and its consequences for the dairy industry. *Australasion Biotechnology* 2: 355–359.
- [4] Bovenhuis H., De Boer I.J.M. 1994. The potencial contribution of milk protein loci to improvement of dairy cattle. Proceedings of the 5th World Congresson Genetics Applied to Livestock Production, Guelph, August 7–12, 19: 311–318.
- [5] Brascamp E.W., Van Arendonk J.A.M., Groen A.F. 1993. Economic appraisal of the utilization of genetic markes in dairy cattle breeding. *J. Dairy Sci.* 76(4):1204–1213.
- [6] Bremel R. D., Yom H.C., Bleck G.T. 1989. Alteration of milk composition using molecular genetics. *J. Dairy Sci.* 72: 2826–2833.
- [7] Campbell J.R., Marschall R.T. 1982. Podstawy produkcji mleka spożywczego i jego przetworów. PWN, Warszawa: ss. 850..
- [8] Czaja A. 1990. Możliwości wykorzystania białka w mleku w selekcji bydła czarno-białego. Wyd. wł. IZ. Rozpr. habilitacyjna: ss. 72

- [9] Czaja H., Bielak F., Trela J., Wawrzyńczak S. 1998. Porównanie przydatności technologicznej mleka czystorasowych krów krajowych i ich mieszańców z rasami mlecznymi. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 331: 91–99.
- [10] Feleńczak A., Gil Z., Ormian M. 2000. Kappa-kazeina jako wskaźnik przydatności technologicznej mleka. *Rocz. Nauk Zoot.* 8: 9–13.
- [11] Ferguson A., Watret K.C. 1988. Milk protein allergy: clinical features, pathogenesis and therapeutic implications. *Milk Protein, Natural Clinical, Functional and Technological Aspects*. Springer Verlag, New York: 261–269.
- [12] FitzGerald R.J. 1997. Exploitation of caseine variants. W: *Milk Compositio, Production and Biotechnology*, AgResearch New Zealand, Pastoral Agriculture Research Institute Ltd. Hamilton, New Zealand. CAB International: 153–172.
- [13] Grega T., Sady M., Farot A., Pustkowiak H. 2000. Poziom wapnia, fosforu, laktozy oraz kwasu cytrynowego w mleku krów różnych ras. *Mat. Konf. Nauk. „Bezpieczna żywność wyzwaniem dla nauk zootechnicznych”*. Balice: ss. 5.
- [14] Grodzki H., Karaszewska A., Grabowski R., Zdziarski K. 1998. Wpływ różnych kombinacji wariantów genetycznych białek mleka na jego cechy jakościowe. *Prz. Mlecz.* 7: 196–198.
- [15] Jakob E., Puhan Z. 1992. Technological properties of milk as influenced by genetic polymorphism of milk proteins (a review). *International Dairy Journal* 2: 157–178.
- [16] Kamiński S. 1996. Bovine kappa-casein (CASK) gene-molecular nature and application in dairy cattle breeding (a review). *J. Appl. Genet.* 37(2): 179–196.
- [17] Kamiński S., Czarnik U., Zabolewicz T. 1996. Program praktycznego wykorzystania identyfikacji genu kappa-kazeiny oraz genu beta-laktoglobuliny. *Prz. Hod.* 1: 4–5.
- [18] Kamiński S. 1997. Nowa koncepcja badań genetycznych nad zwiększeniem zawartości białka w mleku bydła czarno-białego. *Prz. Mlecz.* 1: 10–11.
- [19] Kashi Y., Halermann M. 1990. Marker-assisted selection of candidate bulls for progeny testing programmes. *Anim.Prod.* 51: 63–74.
- [20] Kaufman W., Hagemester H. 1987. Composition of milk. W: *World Animal Science. C. Production — System Approach*. A. Neiman-Sorensen (red.). Amsterdam. Elsevier: 107.
- [21] Kenelly J.J. 1996. The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oil seeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 60: 137–152.
- [22] Kiszka J., Sajko W. 1987. Zmiany w składzie chemicznym mleka krów chorych na zapalenie — wymion z uwzględnieniem jego przydatności do przerobu. *Prz. Mlecz.* 6: 3–7.
- [23] Krencik D. 1996. Który lepszy? Indeksy selekcyjne w hodowli bydła mlecznego. *Prz. Hod.* 12: 3–6.
- [24] Krzyżewski J., Strzałkowska N., Ryniewicz Z. 1998. Związek między genetycznym polimorfizmem białek a wydajnością, składem chemicznym i parametrami technologicznymi mleka krów. *Pr. i Mater. Zoot.* 52: 7–36.
- [25] Kurył J. 1992. Markery genetyczne. *Prz. Hod.* 6: 48–72.
- [26] Lee S.H., de Boer H. 1996. 9th World Holstein-Friesian Conference, Sapporo (10–13 September): 83–95.

- [27] Litwińczuk Z., Gnyp J. 1993. Powtarzalność składu chemicznego mleka w trzech kolejnych laktacjach u krów czarno-białych i mieszańców F1 (cb x hf). *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowskiej*, Lublin -Polonia. 9: 61–66.
- [28] Litwińczuk A., Litwińczuk Z., Tumienie M., Barłowska J. 1999. Polimorfizm białka mleka krów cb z wybranych rejonów Polski i Litwy. *Pr. i Mat. Zoot.* 54: 101–106.
- [29] Lodes A. 1995. Beziehungen zwischen zusammensetzung und labgerinnungseigenschaft der milch und genetischen varianten der milchproteine. PhD thesis, The Technical University of Munich Germany.
- [30] Lodes A., Buchberger J., Krause I., Auman J., Klostermeyer H. 1996. The influence of genetic variants of milk proteins on the compositional and technological properties of milk. 2 Rennet coagulation time and firmness of rennet curd. *Milchwissenschaft* 51(10): 543–547.
- [31] Martin M. J., Hulley S. B., Browner W. S. 1986: Serum cholesterol, blood pressure, and mortality: Implications from a cohort of 361662 men. *Lancet* 2: 933–935.
- [32] Martin P., Grosclaude F. 1993. *Livestock Production Sci.* 35: 95–115.
- [33] Mensink R.P., Temme E.H.M., Hornstra G. 1994. Dietary saturated fatty acids and lipoprotein metabolism. *Ann. Med.* 26: 461–37.
- [34] Mrode R.A., Swanson G.J.T. 1996. Genetic and statistical properties of somatic cell count and its suitability as an indirect means of reducing the incidence of mastitis in dairy cattle. *Animal Breeding Abstracts.* 64(11): 847–857.
- [35] Paul A.A., Southgate D.A.T. 1978. The composition of food. 4 th ed. HMSO: London.
- [36] Pedersen J. 1991. Selection to increase frequency of kappa-casein variant B in dairy cattle. *J. Anim. Breeding and Genetics* 108: 434–445.
- [37] Pedersen J. 1994. Genetic manipulation of the protein content and protein fractions of milk. 45th Meeting EAAP, Edinburgh, Book of Abstracts : 1–9.
- [38] Reklewski Z., Dymnicki E., Łukaszewicz M., Jezierski T. 1994. Chów i hodowla bydła. Fundacja ROZWÓJ SGGW: 291 ss.
- [39] Reklewski Z., Łukaszewicz M. 1997. Tendencje w doskonaleniu bydła mlecznego w kraju i na świecie. *Mat. Międzynar. Konf. Nauk. „Tendencje w mlecznym użytkowaniu bydła w kraju i na świecie”*. Balice: 87–110.
- [40] Sawa A., Oler A. 1999. Wpływ zapalenia wymienia i wybranych czynników środowiskowych na wydajność, skład i jakość mleka. *Zesz. Nauk. PTZ* 44: 225–242.
- [41] Tarkowski J., Trautman J. 1995. Ocena relacji pomiędzy zawartością białka i tłuszczu w mleku krów rasy simentalskiej i czarno-białej. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowskiej*, Lublin-Polonia 10: 67–70.
- [42] Trela J. 1999. Poprawa produktywności mlecznej i mięsnej bydła metodami hodowlanymi z wykorzystaniem krzyżowania towarowego. *Mat. Sem. „Proekologiczne systemy produkcji bydła mlecznego”*. Kraków-Mełno: 76–96.
- [43] Walawski K., Sowiński G., Czarnik U., Zabolewicz T. 1994. Beta-lactoglobulin and kappa-casein polymorphism in relation to production traits and technological properties of milk in the herd of Polish Black-and-White cows. *Genet. Pol.* 35(1–2): 93–108.
- [44] Wall R.J. Kerr D.E., Bondioli K.R. 1997. Transgenic Dairy Cattle: Genetic Engineering on a Large Scale. *J. Dairy Sci.* 80: 2213–2224.
- [45] Wężyk S., Smorąg Z., Czaja H., Różycki M. 2000. Genetyka a jakość produktów zwierzęcych w XXI wieku. *Rocz. Nauk. Zoot. Supl.* 4: 63–93.

- [46] Vos H., Groen A.F., van der Kooy R. 1992. Milchrind, Journal fur Zuchtung, Biotechnologie und Leistungsprufung, 2,2, Qartal, 4–5: 192.
- [47] Zwierzchowski L. 1998. Biotechnologiczne wykorzystanie gruczołu mlecznego — perspektywy manipulacji genetycznych białkami mleka. *Biotechnologia* 2(41): 33–56.

The prospects for genetic modification of milk protein and fat

Key words: genetics, milk protein and fat, modification

Summary

The prospects for genetic modification of milk protein and fat were discussed on the basis of literature review. The purpose of this study was to improve the dietetic and nutritive values of milk as well as its technological usability in milk industry. The results of traditional breeding methods such as selection and crossbreeding were presented. The relations among different forms of milk casein and whey proteins and milk chemical composition, physico-chemical and technological parameters were analysed. The prospects for genetic engineering concerning milk protein genes were also considered.