

Struktura genetyczna bydła polskiego czerwonego na podstawie badań grup krwi oraz sekwencji niekodujących i kodujących DNA

Maciej Żurkowski¹, Marian Duniec²

¹*Institut Genetyki i Hodowli Zwierząt PAN, Jastrzębiec, Stacja Badawcza Rolnictwa Ekologicznego*

i Hodowli Zachowawczej Zwierząt w Popielnie, 12-222 Wejsuny

²*Institut Zootechniki, Dział Immuno- i Cytogenetyki Zwierząt, 32-083 Balice k. Krakowa*

Rozwój badań nad grupami krwi u zwierząt domowych wiąże się z odkryciem grup krwi u ludzi, a pierwsze badania grup krwi u bydła oparte były na metodach stosowanych u człowieka. W badaniach tych różnicowano osobniki na podstawie izoaglutynin w surowicach normalnych. Okazało się jednak, że u zwierząt domowych nie występują analogiczne układy genetyczne determinujące grupy krwi jak u ludzi (Spryszak, 1955).

Dopiero odkrycie w latach czterdziestych ubiegłego wieku przez Fergusona (1941) i Stormonta (1950) mechanizmu dziedziczenia się grup krwi u zwierząt domowych dało podstawy do szeroko zakrojonych badań grup krwi u bydła. Odkrycie to pozwoliło na dysponowanie niespotykaną jak na ówczesne czasy, łatwo dostępną liczbą markerów genetycznych wykorzystywanych w praktyce hodowlanej, np. w kontroli pochodzenia, czy też w ustalaniu zależności między cechami użytkowymi a posiadanymi grupami krwi.

Pierwsze badania grup krwi bydła polskiego czerwonego zostały wykonane przez Spryszaka w 1958 roku w Królewskiej Wyższej Szkole Weterynaryjnej i Rolniczej w Danii. Badaniami objęto następujące układy grupowe krwi: A, B, C, FV, J, L, M, SU, Z i Z'. Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań w układzie B, w którym zidentyfikowano u bydła polskiego

czerwonego 41 alleli przy użyciu surowic testowych identyfikujących 45 antygenów krwinkowych. Niewątpliwie bardzo ciekawie przedstawia się porównanie wyników uzyskanych w wyniku przeprowadzonych badań bydła polskiego czerwonego z z wynikami badań nad bydłem duńskim czerwonym (tab. 1). I tak, u bydła duńskiego czerwonego określono 24 B-allele (Spryszak, 1958), podczas gdy u bydła czerwonego polskiego zidentyfikowano 41 B-allele. O tym, że mamy do czynienia z zupełnie innymi rasowo populacjami niech świadczy fakt, że u tych 2 ras spotkano tylko 8 wspólnych B-allele. Analizując częstość występowania B-allele o frekwencji powyżej 1% można stwierdzić, że bydło duńskie czerwone posiada 8 takich alleli, a bydło polskie czerwone aż 19. Z kolei, bydła duńskiego czerwonego 72,9% puli genów warunkowane było przez 4 allele (BO1Y1D', BO1, B, E1), natomiast u bydła polskiego czerwonego spotkano tylko dwa B-allele o wysokiej częstotliwości (BG101A1 oraz GE3), które stanowiły 26,10% puli genów i które nie zostały zidentyfikowane u bydła duńskiego czerwonego. Z kolei, alleli BO1Y1D' (q = 20,20) oraz B (q = 13,30), występujących z dużą częstością u bydła duńskiego czerwonego, nie spotkano u bydła polskiego czerwonego.

Podobnie istotne różnice w częstości występowania alleli stwierdzono pomiędzy tymi dwiema rasami w układach A, FV i Z.

Struktura genetyczna bydła pc

Tabela 1. Częstość występowania B-alleli u bydła polskiego czerwonego i duńskiego czerwonego
(Spryszak, 1960)

Table 1. Frequency of B-alleles in Polish Red and Danish Red cattle (Spryszak, 1960)

Lp. No.	B-allele B-alleles	Bydło - Cattle		Lp. No.	B-allele B-alleles	Bydło - Cattle	
		duńskie czerwone <i>Danish Red</i>	polskie czerwone <i>Polish Red</i>			duńskie czerwone <i>Danish Red</i>	polskie czerwone <i>Polish Red</i>
1	BO ₁ Y ₁ D	20,20		29	BGIO ₁ A ₁		12,50
2	BO ₁ D	0,10		30	BOA ₁ E ₃		0,60
3	BGO ₁	0,30		31	BO ₁ Q		0,50
4	BO ₁	17,90	3,50	32	BOA ₁		0,01
5	O ₁	0,20	1,20	33	BA ₁ E ₃		0,01
6	BO ₁ Y ₁ A ₁ E ₃	1,30	0,50	34	BGKA ₂ E ₂ (E ₃)		2,10
7	BGKOY ₂ A	0,20		35	BGK		0,50
8	BGKO	0,10		36	BIQ		0,01
9	BPY ₁	0,90		37	GA ₁		0,60
10	PY ₂	0,10		38	GE ₃		13,60
11	B	13,30		39	G		0,01
12	Y ₁ A ₂ E ₃	0,20	2,20	40	IA ₂ E ₃		1,70
13	IOQA ₁ E ₁ K	3,70		41	IE ₁		1,20
14	IA ₂ E ₁	2,60	5,00	42	OTE ₃ T ₁ K		0,50
15	IOJK	0,40		43	OY ₂ A ₂ D ₁ I		0,50
16	OQJ ₁ K	4,70		44	OE ₁ Y ₁ K		1,10
17	OJK	0,40		45	OE ₂ J		3,20
18	QE ₃	0,80		46	QE ₁ I		1,60
19	A ₁ E ₃	0,10		47	Y ₂ I		0,60
20	A ₂ E ₃	+	0,60	48	P		2,10
21	DE ₃	0,40		49	TA ₁ E ₃		0,50
22	Q	0,40	0,01	50	T		4,90
23	O ₁ A ₁		0,01	51	Y ₁ A ₂ D ₁ E ₃		0,50
24	E ₁		5,20	52	E ₁ Y ₁ A ₂		0,50
25	I		3,30	53	Y ₁ E ₁		0,50
26	E ₃		0,80	54	A ₁		1,70
27	Y ₁		0,01	55	DE ₂ (E ₁)		0,50
28	Y ₂		2,70	56	b	10,10	19,60

Trela i in. (1976) przeprowadzili badania bydła polskiego czerwonego, duńskiego czerwonego i mieszańców obu tych ras przy użyciu około 70 surowic testowych. U bydła polskiego czerwonego autorzy zidentyfikowali w układzie B 176 alleli, u bydła duńskiego czerwonego 65 B-alleli, a u mieszańców 99. B-allele, o częstości występowania powyżej 1%, które w sposób istotny charakteryzują strukturę genetyczną populacji, występują u bydła polskiego czerwonego w ilości 22, a u bydła duńskiego czerwonego - 12. Oceniając różnice w częstości występowania B-alleli między bydłem polskim czerwonym i duńskim czerwonym w 18 przypadkach stwierdzono statystycznie istotne różnice. Podobnie

można mówić o swoistości genetycznej mieszańców, które posiadały 16 B-alleli o częstości występowania powyżej 1% i statystycznie istotnie różniły się od bydła polskiego czerwonego w 19 przypadkach, a od duńskiego czerwonego w 17 przypadkach. Należy podkreślić, że badania grup krwi pozwalają na wykazanie, w jakim stopniu mieszańce dwurasowe stanowią nową jakość z punktu widzenia struktury genetycznej. Potwierdzeniem tego jest między innymi fakt, że allele: I₁O_xA₁E₁K, I₂DE₁G₁, O₁T₁KG₂, występujące tylko u bydła polskiego czerwonego, zostały zidentyfikowane u mieszańców. Podobne zjawisko występuje w przypadku alleli O_xQA₂J₁K₁O, BO_xQA₁P, BPY₁G, występujących u bydła duń-

skiego czerwonego, które stwierdzono również u mieszańców.

Późniejsze badania grup krwi bydła polskiego czerwonego prowadzone przez Trelę i in.

(1984) w rejonie hodowli zachowawczej tej rasy pozwoliły na zidentyfikowanie 85 B-alleli, w tym 15 alleli o częstości powyżej 1%, które stanowiły 76,4% puli genów w B układzie (tab. 2).

Tabela 2. Częstość występowania B-alleli u bydła polskiego czerwonego (Trela i in., 1984)
Table 2. Frequency of B-alleles in Polish Red cattle (Trela et al., 1984)

Lp. No.	B-allele B-alleles	Częstość Frequency	Lp. No.	B-allele B-alleles	Częstość Frequency
1	BG ₂ KO _x Y ₂ A ₁ G'G'' ₁	0,0024	44	I ₂ Y ₂ E' ₁	0,0028
2	BG ₂ KO _x Y ₂ A ₁ O	0,0024	45	I₂D'E'₁G''₁	0,0122
3	BG ₂ KO _x A ₁ B'O	0,0020	46	I ₂ E' ₁ G'' ₁	0,0035
4	BG ₂ KO _x A'O	0,0016	47	O ₁	0,0079
5	BG ₂ KO _x E' ₂ O	0,0035	48	O ₁ T ₁	0,0028
6	BG ₂ KO _x E' ₂ G'O'G'' ₁	0,0055	49	O ₁ T ₁ A' ₂ K'G'' ₂	0,0047
7	BG ₂ KQE' ₂ G'G'' ₁	+	50	O ₁ T ₁ K'G'' ₂	+
8	BI ₁ Q	0,0016	51	O₁Y₂D'	0,0106
9	BO₁	0,2000	52	O ₁ A ₁	0,0028
10	BO ₁ Y ₂	0,0031	53	O _x QA ₂ J'K'O	0,0020
11	BO₁Y₂D'	0,1237	54	O _x Y ₂ A ₁	+
12	BO ₁ Y ₂ D'I'G'' ₁	0,0016	55	O _x Y ₂ D'E' ₁ O'G'' ₂	+
13	BO_xY₂A₁G'P'Q	0,0323	56	O _x Y ₂ K'Y'Ba5	+
14	BO _x A ₁ P'Q	0,0024	57	O _x Y ₂ O'Y'	0,0024
15	BQ	0,0082	58	O _x A ₁	0,0020
16	BPY ₂ G'	0,0055	59	O _x B'E' ₂ O	0,0579
17	BP'	0,0374	60	O _x O	0,0047
18	G ₁	+	61	O _x O'Y'G'' ₂	0,0083
19	G ₁ O ₁	0,0031	62	O _x O'G'' ₂	0,0024
20	G ₁ O ₁ E' ₁	+	63	P	0,0091
21	G ₂ I ₁	+	64	PY ₂	+
22	G ₂ O ₁	0,0020	65	Q	0,0016
23	G ₂ O ₁ Y ₂ Y'	+	66	T₁B'	0,0311
24	G ₂ O _x T ₁ Y ₂ A ₁ B'G'Y'	+	67	T ₁ B'P'	+
25	G₂O_xE'₁O'G''₂	0,0863	68	Y₂	0,0197
26	G ₂ O _x E' ₂ O	0,0028	69	Y ₂ D'G'I'Q'	+
27	G ₂ O _x O'G'' ₂	0,0016	70	Y ₂ G'G'' ₁	0,0059
28	G ₂ Y ₂ D'G'' ₂	+	71	Y ₂ G'Y'G'' ₁	0,0016
29	G ₂ Y ₂ D'Q'	0,0016	72	Y ₂ I'	+
30	G ₂ E' ₁	0,0028	73	Y ₂ K'Y'Ba5	+
31	G ₂ E' ₁ O'G'' ₂	0,0012	74	Y ₂ O'Y'G'' ₂	0,0028
32	I ₂	0,0012	75	Y₂Y'	0,0130
33	I₁O_xQA₁E'₁K'Q	0,0347	76	Y ₂ Y'G'' ₂	+
34	I ₁ O _x A ₁ K'E' ₁ Q	0,0031	77	D'E' ₁ G'' ₁	+
35	I ₁ O _x A ₂ J'K'O	0,0063	78	E' ₁ G'' ₂	+
36	I ₁ D'E' ₁ G'' ₁	0,0016	79	E' ₁	+
37	I ₁ E' ₁	+	80	G'G'' ₁	0,0095
38	I ₁ E' ₁ G'' ₁	0,0016	81	I'	0,0055
39	I ₁ E' ₁ G'G'' ₁	0,0039	82	Y'	0,0016
40	I₁G'G''₁	0,0670	83	Y'G'' ₂	+
41	I ₁ I'	+	84	Q'	0,0165
42	I ₁ Q'	+	85	G''₁	0,0331
43	I ₂	0,0437			

B-allele wytłuszczone - częstość >1% - B alleles in bold - frequency >1%; + - częstość <0,001 - + - frequency <0,001.

Struktura genetyczna bydła pc

Rychlik i in. (1999), prowadząc badania na licznym materiale bydła rasy pc zidentyfikowali 77 B-alleli (tab. 3), z których 19 wykazywało częstości powyżej 1%, stanowiąc 86,3% puli genów w B układzie.

Tabela 3. Częstość występowania B-alleli u bydła polskiego czerwonego (Rychlik i in., 1999)
 Table 3. Frequency of B-alleles in Polish Red cattle (Rychlik et al., 1999)

Lp. No.	B-allele B-alleles	Częstość Frequency	Lp. No.	B-allele B-alleles	Częstość Frequency
1	BO''	0,0015	40	O ₁ T ₁ A ₃ K'G ₂ 'E ₃ 'Q''	0,0018
2	BG ₂ KO ₄ I'O'A''O''	0,0018	41	O ₁ Y ₂ D'G ₁ 'E ₃ 'Q''	0,0020
3	BG ₂ KO ₅ QE ₂ 'G'G''IO''Q''	+	42	O ₁ A ₁ I ₂ Q''	0,0082
4	BG ₂ KO ₅ E ₂ 'G'O'A''G''IO''Q''	0,0013	43	O ₁ A ₁ Q'I ₂	+
5	BG ₂ KO ₅ E ₂ 'O'A''O''Q''	0,0062	44	O ₁ Q	0,0046
6	BI ₁ Q''	0,0013	45	O₁QA₃J'K'O'O''Q''	0,0131
7	BI ₁ QQ''	+	46	O ₁ Y ₂ A ₃ G'J'O'G ₁ 'O'E ₃ 'Q''	0,0009
8	BO₁I₂Q''	0,1556	47	O ₁ Y ₁ A ₃ G'J'K'O'G ₁ 'O'E ₃ 'Q''	0,0040
9	BO ₁ Y ₂ Q''	0,0057	48	O ₂ A ₃ J'K'O'O'Q''	0,0026
10	BO₁Y₁D'I₂Q''	0,0918	49	O ₂ A ₃ K'Q''	0,0011
11	BO ₁ Q''	+	50	O ₄ Y ₂ A ₁ Q''	0,0020
12	BO₃Y₂A₂G'P'Q'G₁I₂E₃'	0,0312	51	O ₄ Y ₂ A ₁ G'O'G ₁ 'Q''E ₃ '	0,0015
13	BO ₃ Y ₂ A'G'P'Q'Y'G ₁ E ₃	0,0015	52	O ₄ Y ₂ D'E'1'O'G''Q''	0,0011
14	BO ₃ A'P'Q''	0,0015	53	O ₄ Y ₂ O'Y'Q''	+
15	BP₂Y₂G'Q''	0,0361	54	O ₄ A'Q''	0,0033
16	BQQ''	0,0022	55	O ₄ A'BD'G'Q''	+
17	BT ₁ P'A'Q''	+	56	O ₄ O'P'Q''	0,0013
18	BY ₂ D'Q''	0,0038	57	O₄B'E₂O'Q''	0,0292
19	BP₁I₂Q''	0,0502	58	O ₄ O'Q''	0,0039
20	G ₁ A'Q''	0,0024	59	O ₄ A'Q''	0,0013
21	G ₁ O ₁ A'Q''	0,0027	60	O ₄ O'Q'Y'G'' ₂ E ₃	0,0053
22	G ₁ O ₁ E ₁ Q''	0,0011	61	PQ''	0,0011
23	G ₂ I ₁ Q''	+	62	PY ₂ I'Y'Q''	0,0018
24	G ₂ O ₁ Y ₂ Q''	+	63	PI'Q''	0,0035
25	G ₂ O ₁ Y ₂ Q'Y'A''	+	64	QQ''	0,0022
26	G₂O₄E₁O'G₂'I₂Q''	0,1036	65	QQ''	0,0013
27	G ₂ Y ₂ E ₁ Q''	0,0051	66	Y₂Q''	0,0128
28	G₃T₁B'Q''	0,0438	67	Y ₂ D'I'Q'G'' ₂ E ₃	0,0029
29	I ₁ O ₂ Y ₂ E ₁ G'K'Q'G ₁ '	+	68	Y ₂ G'G' ₁ E ₃ 'Q''	0,0022
30	I₁O₂QA₂E₁K'Q'I₂	0,0392	69	Y ₁ G'Y'G'' ₁ E ₃ 'Q''	0,0060
31	I₁O₂A₂E₁K'Q'I₂	0,0126	70	Y₂Y'O''	0,0580
32	I₁O₂A₃J'K'O'O''Q''	0,0168	71	E ₁ Q''	0,0013
33	I ₁ E ₁ G'G ₁ Q''	0,0020	72	G'G'' ₁ E ₃ 'Q''	0,0070
34	I ₁ E ₁ G ₁ I ₂ Q''	0,0011	73	I'Q''	0,0150
35	I₁G'G₁I₂E₃'Q''	0,0372	74	I'Q''	0,0029
36	I₂Q''	0,0620	75	Q'I₂	0,0208
37	I₂Y₁E₁'Q''	0,0161	76	G'' ₁ E ₃ 'Q''	0,0051
38	I ₂ E ₁ G ₁ Q''	0,0015	77	Q''	0,0179
39	O ₁ Q''	0,0020			

B-allele wytłuszczone częstość >1% - B alleles in bold – frequency >1%;

+ - częstość < 0,001 - + - frequency < 0.001.

Analizując wyniki badań bydła polskiego czerwonego (Grzybowski i Żurkowski, 1968;

Gasparski i in., 1960) należy podkreślić bardzo duże zróżnicowanie genetyczne, nie spotykane

u innych ras, czego wyrazem, między innymi, jest niski stopień homozygotyczności, w granicach 5–8%. Istotne jest, że wskaźnikiem stopnia zróżnicowania genetycznego populacji bydła jest w układzie B tzw. „allel recesywny” - b. Pod pojęciem allelu recesywnego, nieidentyfikowanego immunologicznie, znajdują się nie zidentyfikowane fenogrupy. Stąd między innymi, w poszczególnych badaniach podawana jest różna liczba określanych B-alleli. Tak np., Spryszak (1960) zidentyfikował tylko 45 B-alleli u bydła polskiego czerwonego. Częstość allelu b wynosiła u pc 19,60%, natomiast u bydła duńskiego czerwonego – 10,10%. Prawdopodobieństwo zidentyfikowania nowych B-alleli u bydła duńskiego w porównaniu z bydem polskim czerwonym była dwukrotnie mniejsza. Z kolei, Gasparski i in. (1960) określili u bydła czerwonego polskiego 52 B-allele, przy czym częstość allelu b wynosiła 32,3%, czyli 1/3 B-alleli nie została zidentyfikowana. W późniejszych badaniach Treli i in. (1976), którzy zidentyfikowali u bydła

polskiego czerwonego 176 B-alleli, a u bydła duńskiego czerwonego 65 B-alleli, częstość allelu recesywnego b wynosiła około 5%. Częstość występowania allelu b wiąże się niewątpliwie z liczbą surowic testowych, którymi identyfikowane są antygeny w układzie B. Obecnie w czołowych laboratoriach prowadzących badania grup krwi u bydła częstość b-allelu waha się w granicach 5-7%.

Innym zagadnieniem, które stanowiło przedmiot badań, była struktura genetyczna bydła polskiego czerwonego. W stadzie bydła rasy pc w Końskowoli analizowano w latach 1958–1968 (Żurkowski i in., 1969) zmiany w strukturze genetycznej bydła polskiego czerwonego. W układzie B nie zaobserwowano istotnych zmian w liczbie alleli. W 1958 roku zarejestrowano 28 alleli, a w 1968 roku 27 (tab. 4). Istotne zmiany nastąpiły natomiast w wyniku eliminacji oraz wprowadzenia nowych alleli do badanej populacji bydła polskiego czerwonego (tab. 4).

Tabela 4. Częstość występowania B-alleli ($q > 1\%$) u bydła polskiego czerwonego w oborze Końskowola w latach 1958 – 1968 (Żurkowski i in., 1969)

Table 4. Frequency of B-alleles ($q > 1\%$) in Polish Red cattle in Końskowola farm during 1958-1968 (Żurkowski et al., 1969)

Lp. No.	B-allele B-alleles	Częstość - Frequency	
		1958	1968
1	B ₁ GIOT ₂ A'	0,1891	0,0866***
2	GO _x E ₂ F'O'	0,1058	0,1676*
3	I ₁ A'E ₁	0,0481	0,1173**
4	B ₁ GKO _x A'E ₁ F'O'	0,0417	0,0112*
5	B ₂ O ₁	0,0288	0,0531
6	Y ₂ A'E ₃	0,0288	0,0251
7	T	0,0481	0,0195
8	I'	0,0801	0,0307*
9	QE ₁ I'	0,0192	0,0251
10	I ₁ A'E ₃	+	0,0223
11	Y ₂ E ₁	0,0160	-
12	OY ₂ E ₁	0,0128	-
13	OE ₂ J'(O _x B ₁ E ₂ F'O')	0,0417	0,0419
14	A'	0,0128	-
15	A'E ₃	0,0545	-
16	T ₂ A'E ₃	+	0,0335
17	T ₂ F'	-	0,0112
18	O ₁ T ₂ E ₃ F'K'	-	0,0475
19	DE ₁	-	0,0140

***P < 0,001; **P < 0,01; *P < 0,05; + - częstość < 1% - - frequency < 1%.

Drugim obszarem badań nad strukturą genetyczną bydła był polimorfizm białek krwi. Badania te w mniejszym stopniu rozwinęły się w odniesieniu do bydła niż do innych gatunków zwierząt gospodarskich, takich jak konie czy trzoda chlewna. Wynikało to ze stosunkowo niedużego polimorfizmu badanych białek, w związku z czym nie wiązano z nimi tak dużych nadziei jak z grupami krwi (kontrola pochodzenia, szukanie zależności między gru-

pami krwi a użytkowością). Tym niemniej, należy odnotować badania nad polimorfizmem białek krwi u bydła polskiego czerwonego (tab. 5). W badaniach nad strukturą genetyczną bydła polskiego czerwonego na podstawie typów transferyn, hemoglobiny i amylazy wykazano swoistość genetyczną tej populacji (Ma-deyska i in., 1968; Składanowska, 1972 Skła-danowska i Żurkowski, 1972 a, b; Żurkowski i in., 1972).

Tabela 5. Częstość występowania fenotypów i alleli transferyn, hemoglobiny i amylazy u bydła polskiego czerwonego (Składanowska, 1972)

Table 5. Frequency of phenotypes and alleles of transferrins, haemoglobin and amylase in Polish Red cattle (Składanowska, 1972)

Transferyny - <i>Transferrine</i>				Hemoglobina - <i>Haemoglobin</i>				Amylaza - <i>Amylase</i>			
fenotypy <i>phenotypes</i>		allele <i>alleles</i>		fenotypy <i>phenotypes</i>		allele <i>alleles</i>		fenotypy <i>phenotypes</i>		allele <i>alleles</i>	
typ <i>type</i>	q	allel <i>allele</i>	q	typ <i>type</i>	q	typ <i>type</i>	q	typ <i>type</i>	q	typ <i>type</i>	q
AA	19,0	A	,4502	AA	94,7	A	,9696	AA	1,7	A	,0331
AD	44,1			AB	4,5	B	,0304	AB	2,1		
AE	7,9	D	,5460	BB	0,8			AC	1,1	B	,460
DD	20,6							BB	30,4		
DE	8,1	E	,0823					BC	46,3	C	,4209
EE	0,3							CC	18,4		

Zachowano stosowaną wówczas nomenklaturę - *Nomenclature used at that time.*

Osiągnięcia genetyki molekularnej dały podstawy do rozszyfrowania genomu człowieka poprzez odkrycie genetycznego polimorfizmu sekwencji kodujących i niekodujących DNA. Stworzyło to szansę poszerzenia w niespotykany dotychczas sposób naszej wiedzy o strukturze i funkcji genomu. Odkrycie genetycznego polimorfizmu DNA u ludzi zapoczątkowało bardzo dynamiczny rozwój tych badań u zwierząt domowych. Niekodujące sekwencje DNA charakteryzują się wysoką polimorficznością; u bydła obecnie zidentyfikowanych jest około 1190 alleli w 119 loci.

W badaniach sekwencji mikrosatelitarnych DNA u bydła polskiego czerwonego Żurkowski i Zwierzchowski (2004) zidentyfikowali w 24 loci 181 alleli (tab. 6). Na ogólną liczbę 181 alleli - 11 określono jako charakterystyczne dla bydła polskiego czerwonego. Nie zostały one

dotychczas zarejestrowane w światowej bazie danych. Zbliżony do powyższego rezultat uzyskali Lubieniecka i in. (2001) badając bydło polskie czerwone. Autorzy ci zidentyfikowali 193 allele w 26 loci. Podobnie, Żurkowski i in. (2005) w prowadzonych przez siebie badaniach u bydła pc zidentyfikowali w 27 loci 220 alleli. Powyższe wyniki świadczą o niespotykanym zróżnicowaniu genetycznym sekwencji mikrosatelitarnych u bydła polskiego czerwonego w porównaniu z innymi rasami. O stopniu różnorodności biologicznej bydła polskiego czerwonego niech świadczy fakt, że dla porównania u bydła holsztyńsko-fryzyjskiego w 24 loci zidentyfikowano 144 allele (tab. 6). Wiążą się z tym istotne różnice w liczbie alleli na locus. I tak, u bydła polskiego czerwonego liczba ta wynosi 7,54, a u bydła holsztyńsko-fryzyjskiego 5,54. Innym wskaźnikiem zróżnicowania gene-

tycznego jest fakt, że stopień heterozygotyczności w poszczególnych loci waha się w granicach od 0,4633 (INRA032) do 0,8399 (BM2113), z czym wiąże się wysoki stopień polimorficzności, zawierający się w granicach od 0,4349 do 0,8149. Prawdopodobieństwo wykluczenia na podstawie 24 loci wynosi 100%, a prawdopodobieństwo spotkania dwóch identycznych genotypów - wynosi około $4,2 \times 10^{-28}$.

Ciekawe wyniki uzyskali Grzybowski i Prusak (2004) odnośnie swoistości genotypowej bydła polskiego czerwonego. Określając dystans genetyczny między 10 rasami europejskimi a bydłem polskim czerwonym wykazali oni, że 80% osobników bydła polskiego czerwonego stanowi odrębną grupę genetyczną w porównaniu z pozostałymi rasami.

Obok badań sekwencji niekodujących u bydła polskiego czerwonego prowadzone były badania sekwencji kodujących. Klauzińska i in. (2004) w badaniach sekwencji kodujących DNA u bydła polskiego czerwonego takich białek, jak: κ -kazeina, β -laktoglobulina, hormon wzrostu (GH), miostatyna, leptyna, czynnik transkrypcyjny Pit-I, wykazali daleko idącą swoistość genetyczną bydła polskiego czerwonego. Na podkreślenie zasługuje fakt, że u krów polskich czerwonych zidentyfikowano w β -laktoglobulinie allel I, którego dotychczas nie stwierdzono

u bydła czarno-białego. Inną cechą charakterystyczną bydła polskiego czerwonego jest mutacja T→C w pozycji 186 w promotorze genu α S2 kazeiny. Należy podkreślić, że mutacja ta wpływa na skład białek mleka. Ponadto, wykazano delecję w genie miostatyny (MSTN), która u bydła błękitnego belgijskiego wywołuje hipertrofię mięśni. W populacji bydła polskiego czerwonego stwierdzono obecność unikalnych lub rzadko występujących alleli niektórych genów – np. promotorów genów prolaktyny, hormonu wzrostu, miostatyny i β -laktoglobuliny.

Stwierdzono istotne różnice między bydłem polskim czerwonym a bydłem czarno-białym w częstości występowania genotypów i alleli κ -kazeiny, β -laktoglobuliny (HaeIII), hormonu wzrostu (AluI), promotora hormonu wzrostu, prolaktyny oraz leptyny (tab. 7).

Uzyskane dotychczas wyniki badań nad markerami genetycznymi i sekwencjami kodującymi DNA mogą wiązać się z charakterystycznymi dla bydła polskiego czerwonego cechami, takimi jak odporność i zdrowotność, długowieczność i dobra płodność. Wskazują one, że bydło to jest swoistym bankiem genów, które u innych ras bydła zostały wyeliminowane w wyniku selekcji prowadzonej w kierunku zwiększenia wydajności.



Struktura genetyczna bydła pc

Tabela 6. Częstość występowania alleli sekwencji mikrosatelitarnych DNA u bydła polskiego czerwonego w porównaniu do bydła czarno-białego (Żurkowski i Zwierzchowski, 2004)

Table 6. Frequency of microsatellite DNA sequence alleles in Polish Red cattle compared to Black-and-White cattle (Żurkowski and Zwierzchowski, 2004)

Loci	Allele <i>Alleles</i>	Bydło		Loci	Allele <i>Alleles</i>	Bydło	
		polskie czerwone <i>Polish Red</i>	czarno-białe <i>Black-and-White*</i>			polskie czerwone <i>Polish Red</i>	czarno-białe <i>Black-and-White*</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
BM1818	252	0,0126	-	ETH3	109	0,0463	0,030
	256	0,0177	0,040		115	0,0171	-
	258	0,0126	0,040		117	0,2634	0,450
	260	0,2121	0,460		119	0,1488	0,130
	262	0,1995	0,090		121	0,1073	0,110
	264	0,5253	0,330		123	0,0732	-
	266	0,0202	0,020		125	0,1219	0,150
268	-	0,020	127		0,1171	0,090	
BM1824	177	0,0091	-		129	0,0634	0,010
	179	0,3659	0,360		131	0,0317	-
	181	0,2318	0,090		133	0,0098	-
	183	0,2469	0,330		220	0,3750	0,150
	189	0,1341	0,220		222	-	-
BM2113	191	0,0122	-	226	-	0,020	
	122	0,0515	-	228	0,0692	0,380	
	126	0,0696	0,080	230	0,0580	0,040	
	128	0,2397	0,130	232	0,1362	0,260	
	130	0,0129	-	234	0,2902	0,040	
	132	0,0103	-	236	0,0223	0,080	
	134	0,1082	0,370	238	0,0201	0,030	
	136	0,1469	0,170	240	0,0290	-	
CSMM66	138	0,1624	0,110	137	0,0259	-	
	140	0,1985	0,140	139	0,2617	0,120	
	179	0,0162	0,030	141	0,0492	-	
	181	0,0463	-	143	0,0959	0,050	
	183	0,4538	0,100	145	0,0440	0,090	
	185	0,1250	0,310	147	0,1269	0,300	
	187	0,1018	-	149	0,1969	0,380	
	189	0,1273	0,220	151	0,1192	0,060	
	191	0,0625	-	153	0,0803	-	
	193	0,0486	0,210	101	0,0118	-	
ETH10	195	-	-	103	0,3543	0,020	
	197	0,0185	0,030	105	0,3976	0,610	
	199	-	-	107	0,0079	-	
	211	0,0541	0,030	109	0,0118	-	
	213	0,0335	0,060	111	0,0827	0,070	
	215	0,4247	0,190	113	0,1339	0,300	
	217	0,3041	0,330	151	0,0449	-	
	219	0,0206	0,170	153	0,2303	0,370	
ETH152	221	0,0361	0,060	155	0,1068	0,140	
	223	0,1289	0,160	159	-	-	
	225	-	-	163	0,1629	0,420	
	191	0,0137	-	165	0,1967	0,030	
	195	0,1689	0,070	167	0,2191	0,030	
	197	0,6256	0,560	173	0,0393	-	
	199	0,0685	0,100	186	-	-	
ETH12	201	0,0548	0,060	188	0,3931	0,340	
	203	0,0205	0,140	190	0,1824	0,030	
	205	0,0137	-	192	0,3491	0,560	
	207	0,0343	0,070	194	0,0754	0,070	

cd. tab. 6 – Table 6 contd.

1	2	3	4	5	6	7	8	
HEL9	141	0,0223	-	ILSTS005	184	0,4011	0,220	
	147	-	-		186	0,5989	0,780	
	149	-	-		113	0,0982	-	
	151	-	0,050		115	0,2656	0,040	
	153	0,5715	0,220		117	0,0491	0,030	
	155	0,0134	0,130		MM12	119	0,3572	0,400
	157	-	-			121	0,0089	-
	159	0,0536	0,030			123	0,0112	-
	161	0,1071	0,050			127	0,0268	-
	163	0,0424	0,130			129	0,0067	0,020
	165	0,0112	0,020			131	0,1629	0,500
	167	0,0781	0,080			133	0,0134	-
	169	0,1004	0,290			244	0,4005	0,740
	INRA063	175	0,5631			0,380	SPS115	246
177		0,3175	0,440	248		0,1990		0,140
179		0,0158	0,120	250	0,0612	-		
183		0,0743	0,060	252	0,1811	0,110		
185		0,0293	-	254	0,0230	-		
INRA005	137	-	-	256	0,1148	-		
	139	0,0762	0,060	TGLA126	117	0,0217	-	
	141	0,6286	0,750		119	0,4203	0,660	
143	0,2952	0,190	121		0,2101	0,210		
INRA023	199	0,0179	0,040		123	0,0362	0,020	
	201	0,1480	0,290		125	-	-	
	203	0,0051	-		127	0,2416	0,100	
	205	0,0204	0,040		129	0,0435	-	
	207	0,1173	0,170		133	0,0266	-	
	209	0,2296	0,240		TGLA53	151	0,0294	0,270
	211	0,0893	0,060			153	-	-
	213	0,0204	0,160	155		0,0909	0,090	
	215	0,3418	-	157		0,3904	0,070	
	217	0,0051	-	159		0,1203	0,100	
219	0,0051	-	161	0,0642		0,030		
INRA032	172	-	-	163		-	0,110	
	176	0,0297	0,100	165		0,0802	0,150	
	178	0,1005	0,030	167		0,1043	0,110	
	180	0,7169	0,530	169		0,0534	-	
	182	0,1141	0,140	171	-	-		
	184	0,0320	0,190	179	-	-		
	186	0,0068	-	TGLA122	140	0,0851	0,130	
INRA037	120	0,2133	0,070		142	0,3192	0,220	
	122	0,0275	-		140	0,0851	0,130	
	124	0,0069	-		142	0,3192	0,220	
	126	0,0711	0,120		148	0,0425	0,040	
	128	0,1628	0,190		150	0,3511	0,270	
	130	0,0390	-		152	0,1241	0,050	
	132	0,3853	0,540		160	0,0390	-	
	134	0,0505	-		162	0,0177	0,220	
	136	0,0275	-		164	-	-	
	138	0,0069	-	168	0,0213	-		
136	0,0275	-	ILSTS005	183	0,4011	0,220		
138	0,0069	-		185	0,5989	0,780		
144	0,0092	-						
148	-	0,060						

* Lubieniecka i in. (2001) - *Lubieniecka et al. (2001)*.

Tabela 7. Częstość występowania genotypów i alleli sekwencji kodujących DNA u bydła polskiego czerwonego i czarno-białego (Klauzińska i in., 2004)

Table 7. Frequency of genotypes and alleles of DNA coding sequences in Polish Red and Black-and-White cattle (Klauzińska et al., 2004)

Locus	Bydło polskie czerwone <i>Polish Red cattle</i>				Bydło czarno-białe <i>Black-and-White cattle</i>			
	genotyp <i>genotype</i>	częstość <i>frequency</i>	allele <i>alleles</i>	częstość <i>frequency</i>	genotyp <i>genotype</i>	częstość <i>frequency</i>	allele <i>alleles</i>	częstość <i>frequency</i>
κ-kazeina <i>κ-casein</i>	AA	46,8	A	0,6927	AA	57,3	A	0,7657
	AB	44,9	B	0,3073	AB	38,7	B	0,2343
	BB	8,3			BB	4,09		
β-laktoglobulina (<i>HaeIII</i>) <i>β-lactoglobulin</i> (<i>HaeIII</i>)	AA	12,5	A	0,2772	AA	19,4		0,4126
	AB	30,4	B	0,7227	AB	43,8		0,5874
	BB	57,0			BB	36,8		
β-laktoglobulina (<i>SmaI</i>) <i>β-lactoglobulin</i> (<i>SmaI</i>)	NN	99,7	N	0,9902	NN	1,00	N	1,0000
	NI	0,3	I	0,0098	NI	0,00		-
Hormon wzrostu (<i>MspI</i>) <i>Growth hormone</i> (<i>MspI</i>)	AA	73,2	A	0,8524	AA	75,2	A	0,8581
	AB	24,0	B	0,1476	AB	21,2	B	0,1419
	BB	2,7			BB	3,6		
Hormon wzrostu (<i>AluI</i>) <i>Growth hormone</i> (<i>AluI</i>)	LL	58,9	L	0,7564	LL	53,9	L	0,6942
	LV	33,4	V	0,2436	LV	31,0	V	0,3058
	VV	7,6			VV	15,1		
Promotor hormonu wzrostu <i>Growth hormone</i> <i>promoter</i>	AA	11,9	A	0,3668	AA	5,0	A	0,2420
	AB	49,4	B	0,6331	AB	38,4	B	0,7580
	BB	38,6			BB	56,6		
Pit-1	AA	8,3	A	0,2086	AA	7,6	A	0,2578
	AB	25,1	B	0,7914	AB	36,3	B	0,7422
	BB	66,6			BB	56,1		
Prolaktyna <i>Prolactin</i>	AA	75,8	A	0,8736	AA	60,3	A	0,7831
	AB	23,1	B	0,1264	AB	36,1	B	0,2169
	BB	1,1			BB	3,6		
Leptyna <i>Leptin</i>	AA	52,9	A	0,7356	AA	62,1	A	0,7914
	AB	14,9	B	0,1106	AB	15,2	B	0,1043
	BB	1,4	C	0,1538	BB	1,9	C	0,1043
	AC	26,5			AC	18,9		
	BC	4,3			BC	1,9		

Literatura

Ferguson L.C. (1941). Heritable antigens in the erythrocytes of cattle. *J. Immunol.*, 40: 213-242.

Gasparski J. Rapacz J., Rendel J. (1960). Ugrupowania krwi u bydła i ich dziedziczenie. Częstość genów grup krwi bydła polskiego czerwonego z rejonu krakowskiego – B allele. *Rocz. Nauk Rol.*, 76-B-3: 563-568.

Grzybowski G., Prusak B. (2004). Genetic variation in nine European cattle breeds as determined on the basis of microsatellite markers. II Gene migration and genetic distance. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, 22, 1: 37-44.

Grzybowski G., Żurkowski M. (1968). Zróżnicowanie B-fenogrup u bydła rasy polskiej czerwonej województwa białostockiego. *Doniesienia na XVII*

Zjazd PTZ (wyk. w ZHDZ PAN), ss. 10-12.

Klauzińska A., Żurkowski M., Siadkowska E., Szymanowska M., Grochowska R., Zwierzchowski L., Klewec J. (2004). Analysis of genetic structure in Polish Red and Polish Black-and-White cattle using twelve marker loci potentially related to milk or meat production traits. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, 2: 153-171.

Lubieniecka J., Grzybowski G., Lubieniecki K. (2001). Genetic variation in nine European cattle breeds as determined on the basis of microsatellite markers. I. Within-breed variation. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, 19, 4: 249-246.

Madeyska A., Składanowska E., Żurkowski M. (1968). Polymorphism of transferrins in cattle Polish Red breed and Zlotnicka pigs. *Proc. XI Conf. Anim. Blood Grps Biochem. Polymorph.*, Warsaw; pp. 243-246.

Rychlik T., Duniec M.J., Duniec M., Kościelny M. (1999). Characteristics of the genetic structure of Polish Red cattle based on blood group studies. *Ann. Anim. Sci. – Rocz. Nauk Zoot.*, 26, 4: 11-22.

Składanowska E. (1972). Polimorfizm hemoglobiny, transferyn i amylazy u bydła rasy polskiej czerwonej i jersey oraz ich mieszańców. *Praca doktorska. IGHZ PAN, Jastrzębiec.*

Składanowska E., Żurkowski M. (1972 a). Transferrin genotypes distribution in Polish Red cattle and Black-and-White Lowland cattle. *Genet. Pol.*, 10: 190-193.

Składanowska E., Żurkowski M. (1972 b). Występowanie allelu Am A u bydła rasy polskiej czerwonej. *Mat. IV Zjazdu PTG, Białystok*, s. 64.

Spryszak A. (1955). Cechy krwi bydła w Polsce wg izoaglutynin w surowicach normalnych. *Post. Nauk Rol.*, 5: 54-70.

Spryszak A. (1960). Badania grup krwi u bydła rasy polskiej czerwonej. *Rocz. Nauk Rol.*, 76-B-1: 1-23.

Stormont C. (1950). Additional gene-controlled antigenic factors in the bovine erythrocyte. *Genetics*, 35: 76-94.

Trela J., Rychlik T., Żur F., Kraszewska D. (1976). Immunogenetyczna charakterystyka mieszańców krzyżówkowych bydła rasy polskiej czerwonej i czerwonej duńskiej. *Post. Nauk Rol.*, 180: 393-398.

Trela J., Kraszewska D., Trela E., Rychlik T., Żur F. (1984). Polimorfizm grup krwi i typów transferyn u bydła rasy polskiej czerwonej w rejonie zachowawczym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 267: 29-34.

Żurkowski M., Zwierzchowski L. (2004). Materiały nie publikowane.

Żurkowski M., Szaniawski D., Grzybowski G. (1969). Changes in the frequency of blood-alleles in the herd of Polish Red cattle in years 1958-1968. *Genet. Pol.*, 10: 200-202.

Żurkowski M., Składanowska E., Szaniawska D. (1972). Research into the distribution of transferrin genes in cattle. *Genet. Pol.*, 13: 137-143.

Żurkowski M., Niemczewski C., Zwierzchowski L., Zięba G., Litwińczuk L. (2005). Określenie zmienności struktury genetycznej bydła polskiego czerwonego i biało-żółtego na podstawie sekwencji mikrosatelitarnych DNA. *Pr. Mat. Zoot.*, 62: 59-73.

GENETIC STRUCTURE OF POLISH RED CATTLE BASED ON BLOOD GROUP STUDIES AND NON-CODING AND CODING DNA SEQUENCES

Summary

Based on the frequency of class I and II blood genetic markers (blood groups, polymorphic forms of protein, DNA) in Polish Red cattle, Danish Red cattle and their crossbreeds, the genetic structure of these populations and the existing differences were described.

The results obtained indicate that Polish Red cattle have genes that were eliminated in the other breeds, and thus they form a specific pool of these genes.