

阿波とん豚の繁殖能力改良に関する研究

新居雅宏・飯塚 悟・程野恵理子

要 約

阿波とん豚の繁殖能力の改良を目的に阿波とん豚系統において総産子数、生産子数、21 日齢頭数および 1 腹 21 日齢総体重の繁殖形質と連鎖不平衡の関係にある 1 塩基多型 (SNP) の検索を行った。

30 個の繁殖成績との関連性が報告されている SNP について、阿波とん豚系統作成に供用中あるいは供用したデュロック種 (18 頭)、猪にデュロック種の交配を重ねた戻し交配世代 (52 頭) および戻し交配世代 F1 (93 頭) を対象に SNP 型を判定するとともに、SNP 型により形質を集約した。

結果、計測値では 12 個、育種価では 16 個の SNP ディプロタイプ間に統計的に有意な差がみられた。9 個の SNP は、計測値および育種価ともに差が見られ、特に *Rs81427175* (総産子数の表型値 A/A8.12, A/G9.02, G/G9.72), *Rs81308910* (総産子数の表型値 C/C7.29, C/T8.63, G/G8.82) および *LIF* (総産子数の表型値 A/A7.93, A/G9.09, G/G9.83) は、ハプロタイプ間の差が大きかった。これらのことより、統計的手法と SNP マーカーによる選抜を組合せることで、効率的な阿波とん豚の繁殖能力改良が期待される。

目 的

徳島県では、猪と豚を交雑した実験家系を用いた QTL 解析により猪の持つ特徴的な肉質に関わる量的形質遺伝子座 (Quantitative Trait Loci: QTL) を複数検出した¹⁾²⁾。そのうち第 6 染色体上腕部および第 15 染色体中央部を DNA マーカーによる染色体構造の推定と連続的な戻し交配 (DNA マーカーアシスト導入) により取り込んだ新しい系統の開発に取り組んだ。平成 24 年には導入領域が固定化した個体が生まれ、農家への供給を開始した。平成 25 年には系統の名前を「阿波とん豚」として、肉の販売を開始した。阿波とん豚の肉は、消費者より美味しいと好評であり、官民連携して阿波とん豚の生産拡大に取り組んでいる。しかしながら、出荷頭数は伸び悩んでおり、消費者、小売店より増頭を求められている。その主因として阿波とん豚の繁殖能力の低さによる生産コス

トの上昇のため、農家における繁殖母豚数の増加が図られていない。

阿波とん豚は、系統の素材としてデュロック種、猪および大ヨークシャーを交雑しているが、染色体に占める割合としてはデュロック種が大部分で猪が第 6 および 15 染色体の一部、そして大ヨークシャー種はほとんど残っていないことによる。デュロック種は産子数や離乳頭数は、ランドレース種、大ヨークシャー種に比べ少ない³⁾上に猪については、産子数が 4 頭程度と極端に少ない⁴⁾ことから、阿波とん豚の繁殖能力が改良された雌系品種と同等であることは望めない。

従来、繁殖形質は限性形質でかつ遺伝率が低いこと、産肉形質に比べて記録を得るまでの時間が長いこと等から選抜による改良は難しいとされてきた⁵⁾。一方、大きな群を対象とした精度の高い遺伝能力の推定により EU を中心にランドレース種および大ヨー

クシャー種の繁殖能力が著しく改良されている⁶⁾。しかしながら、阿波とん豚については、個体数が少ないことから、正確な遺伝率の推定が難しいため統計的手法による短期的な改良は困難である。

近年、DNA 解析手法の発達により同一品種、同一系統における遺伝解析が可能となり、経済形質に関与する 1 塩基多型 (Single Nucleotide Polymorphism: SNP) の検出が繁殖性についても多数報告されている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。そこで、阿波とん豚について繁殖能力の改良が可能となる SNP を探索し、改良を図るものである。

材料および方法

1) 材料

2003 年 7 月 3 日～2019 年 11 月 10 日に分娩した阿波とん豚系統作成に用いたデュロック種、デュロック種に猪を交配した戻し交配家系および戻し交配同士を交配した戻し交配 F1 家系、163 頭延べ 532 回の分娩成績を解析の対象とした。各世代の頭数および産歴の平均を表 1 に示した。なお、交配は全て人工授精により実施した。

表 1 繁殖豚の品種および産歴

世代	頭数	分娩腹数	平均産歴
デュロック	18	94	3.70
戻し交配	52	152	2.75
戻し交配 F1	93	286	2.86
総計	163	532	2.98

2) 繁殖形質の測定

形質の測定は、1 回の分娩時の死産と生産子を併せた総産子数 (TNB)、総産子数から死産を除いた生産子数 (NBA)、生後 21 日齢時の生存頭数 (LP21) および個々の体重を測定し、合計 (LW21) した (表 2)。

離乳はおおむね生後 21 日齢以降の毎週金曜日に実施し、授乳期間中の母豚の飼料給与量は、ボディコンディションを考慮しつつ、子豚の体重増加とともに給与量を増量した。

3) 育種価の算出

育種価は、プログラム VCE (version 6.02) を用い、REML 法アニマルモデルにより推定した。

$$X_{ijklmno} = \mu + \pi_i + y_j + m_k + g_l + a_m + p_n + \varepsilon_{ijklmno}$$

モデルにおける $X_{ijklmno}$ は各形質の測定値とし、 μ は全平均、 π_i 、 y_j 、 m_k 、 g_l は産次 i 、分娩年度 j 、分娩月 k 、血縁グループ l の母数効果、 a_m は個体 m の育種価および p_n は永続的環境効果 n の各変量効果、 $\varepsilon_{ijklmno}$ は残差とした。育種価における TNB、NBA、LP21 および LW21 をそれぞれ TNB' 、 NBA' 、 $LP21'$ および $LW21'$ と表記した (表 3)。

4) SNP タイピング

繁殖性について報告のある SNP を中心に 30 個の SNP について、DNA 型を判定した。なお、SNP は、TaqMan プローブを用い、Step One Plus リアルタイム PCR (Life Technologies Ltd.) により判定した。TaqMan プローブの配列、遺伝子名等を表 4 に示した。反応試薬は、THUNDER BIRD qPCR Mix (TOYOBO Life Science) を用い、反応条件は、95°C20 秒、95°C1 秒 -60°C20 秒を 40 サイクル、25°C30 秒で行った。

5) 統計処理

ハプロタイプを組合せたディプロタイプ間における差の検定を市販のソフト StatView (HULINKS®) により行った。

結果および考察

potassium voltage-gates channel subfamily C member 2 (*KCNK2*), solute carrier family 22, member 5 (*SLC22A5*), tryptophan-tRNA ligase, mitochondrial 1-like (*LOC100737714*) の 3 個の SNP には多型がなかった。また、protease, serine, 55 (*PRSS55*) は、ほとんどが T/T 型に固定されていた (T/T=160 頭, T/G=2 頭)。

異常値を除いた繁殖成績の実測値である表型値について、SNP の組み合わせによるディプロタイプ間の TNB、NBA、LP21 および LW21 を集約した (表 5)。また、同様に育種価で集約した結果を表 6 に示した。

(TNB' , NBA' , LP21' および LW21')。以下、ディプロタイプ間で有意差のみられた DNA マーカーについてそれぞれ記述する。

ArfGAP with SH3 domain, ankyrin repeat and pH domain 1 (*ASAP1*)は TNB, NBA, TNB' , NBA' および LW21' について G/A が G/G よりも高い結果となった ($P<0.01, P<0.05$)。 *ASAP1* は、卵巣で広く発現されているとともに細胞間シグナル伝達に関与し、牛肉の硬さとの関連性が報告¹⁰⁾されているが、繁殖性については報告されていない。また、TNB についてデュロック種に限定した場合 $A/A=8.16 \pm 0.42 (n=3)$, $A/G=10.02 \pm 0.44 (n=10)$, $G/G=11.69 \pm 0.42 (n=5)$ となり、G/G が最も多くなり ($A/A-G/G:P<0.01$) , 戻し交配家系と逆の効果がみられた。

pleckstrin homology and RhoGEF domain containing G7 (*PLEKHG7*)は、表型値および育種価ともにディプロタイプ間に差がみられ、C アリルが A アリルに対して優れており、TNB' では A/A-A/G-G/G 間に差がみられた ($P<0.01$)。

glycogen synthase 1(*GYS1*)は、LW21 と育種価の全形質で差がみられ、T アリルが C アリルに対して優れた効果を示した。系統内では C/C 型は 5.6%(9 頭)に過ぎないことから、繁殖能力の改良に関して積極的な利用は必要ないと考察された。その一方、*GYS1* は、筋肉におけるグリコーゲンの生合成に関与している遺伝子であり、他の経済形質との関連性を明らかにすることは興味深い。

spalt like transcription factor 2(*SALL2*)は、表型値では A/A アリルが A/G および G/G アリルに対して高い傾向を示し、TNB に差がみられた ($P<0.05$)。育種価では TNB' , NBA' および LW21' に差がみられた ($P<0.01, P<0.05$)。BCDF1 家系では、 $A/A=9.08 \pm 0.43 (n=12)$, $A/G=7.51 \pm 0.33 (n=50)$, $G/G=7.41 \pm 0.42 (n=31)$ で A/A 型とそれ以外で差がみられた ($P<0.05$)。また、デュロック種でも有意ではないものの A/G(10.84 ± 1.04 , $n=5$)型が G/G 型(9.17 ± 0.39 ,

$n=13$)に比べ、総産子数が多い傾向が示唆された。

progesteron receptor(*PGR*)の育種価では、T/C 型が T/T 型に比べ TNB' が少なかった ($P<0.05$) , LW21' では、T/C アリルが高い傾向を示した。プロゲステロンは乳腺細胞の発育に関与していることから、本 SNP あるいは近接する領域にプロゲステロン量に関与する PGR 遺伝子の存在が示唆された。

Rs81427175 は、表型値および育種価ともに産子数について G アリルが A アリルに対し相加的に高い効果を示した ($P<0.01, P<0.05$)。優良アリルである G アリルの頻度が少ないことから改良効果が期待された。

Rs81308910 の表型値は、すべての形質で G アリルが A アリルに対し、優れた効果を示し、特に離乳数 8.51 頭および腹離乳総重量 40.51kg は本試験において最も高い値を示した。その一方、育種価の TNB' は G/G アリルが A/A および A/G アリルに対し、低い逆の結果となった ($P<0.01, P<0.05$)。この矛盾する結果については、更に例数を増やして検証する必要がある。

leukemia inhibitory factor(*LIF*)は、表型値および育種価ともに T アリルが C アリルに対して産子数について優れた効果を示した ($P<0.01, P<0.05$)。その効果は T アリルの保持数に対して相加的に寄与していた。また、離乳数および腹総体重もアリル間に差がみられ、分娩時の頭数が離乳数および腹離乳子豚総重量に影響することが示唆された。

leukemia inhibitory factor(*LIF*)は、白血病阻止因子として IL-6 ファミリーのサイトカインの一種であり、細胞の分化を阻害する機能がある。その一方、人では着床率との関連性が報告¹¹⁾されており、本試験で用いた SNP と遺伝子の機能について詳細に解析することにより、更なる有用な SNP の検出につながる可能性が示唆された。

prolactin receptor(*PRLR*)について、A/A アリルが G/G に比べ、LP21 および LW21' に比べて優れていた

($P<0.05$)。 *PRLR* は、妊娠期における乳腺の発達、授乳などの母性行動に影響するプロラクチンの受容体であることから *PCR* 同様、乳量に関与する可能性が示唆された。

phosphodiesterase 6C(*PDE6C*)は、TNB, NBA および LW21 について G/A アリルと G/G アリル間に差がみられた ($P<0.01, P<0.05$)。仮に G アリルが A アリルに対して優れた効果を持つ場合、A/A 型が最も総産子数が多くなると見込まれるが本試験においては G/A 型よりも少ない結果となったが例数を増やして検証する必要がある。

protein kinase, AMP-activated, gamma 3 non-catalytic subunit(*PRKAG3*)も *PDE6C* と同様ヘテロアリルの時に最も高い繁殖成績を示した。*PRKAG3* は、グリコーゲン産生能の多様性に関する遺伝子として検出されたが、繁殖成績との関連性も報告⁷⁾されており、本試験でも表型値においてアリル間に差がみられた。

Rs80990013 は表型値において G/A 型と G/G 型に差がみられ、G/G 型の繁殖成績が高かった ($P<0.05$)。

fucosyltransferase 1(*FUT1*)は、育種価で C/C および C/T 型間に差がみられ、C/C 型が育種価の全形質で優れていた ($P<0.01, P<0.05$)。*FUT1* は、フコース転移酵素の 1 つで F18 線毛保有大腸菌に対する抵抗性の原因であることが明らかにされた¹²⁾が、近年になり繁殖性との関連性も報告¹³⁾されている。本研究では、T/T 型の個体はおらず C/T/C/C であることから、本家系での繁殖能力の改良は期待できない。

leptin receptor (LEPR) も TNB' について C/T と T/T 間に差がみられ、T/T 型が多かった ($P<0.01$)。レプチンは、食欲や脂肪の蓄積に関与する他に体内における栄養バランスや代謝の変化が繁殖機能に変化をもたらすことが報告¹⁴⁾されている。

complement factor B (*CFB*) は、A アリルの頻度が高く、A/A および A/G のみで G/G の個体はいなかった。TNB, NBA および LP21 で 2 つのディプロタイプ間

に差がみられ ($P<0.01$)、A/G 型の繁殖成績が高かった。

adiponectin receptor 1(*ADIPOR1*)は、育種価の全形質で A/G 型と G/G 型に差がみられ、G/G 型が高かった ($P<0.05$)。有意ではないものの A/A 型は、A/G 型よりも育種価が低く、遺伝子の相加的効果であることが示唆された。アディポネクチンは、脂肪細胞から分泌される分泌タンパク質であり、糖の取り込み、脂肪酸の燃焼等に関与している一方で、繁殖性との関連性も報告¹⁵⁾されている。本領域の遺伝子は、G/G, A/G および A/A と相加的な効果であることが示唆された。

chemokine (C-C motif) receptor 7(*CCR7*)は、LP21 および LW21 で差が見られ、T アリルが優良な効果を示した。*CCR7* は、サイトカインの一種であり白血球等の遊走を引き起こし炎症の形成に関与しており、受精、着床、妊娠に関与することも示唆される。

mucin 4, cell surface associated(*MUC4*)は、TNB のみ A/A および A/G に対して G/G が 0.4~0.5 程度少なかった ($P<0.05$)。ムチンは、上皮細胞等から分泌される粘液の主成分であり、*MUC4* は、膜結合型ムチンの遺伝子をコードしている。粘膜の主要な構成要素である梅山豚とイベリア豚の交雑家系を用いた QTL 解析の結果、*MUC4* が多産性の原因遺伝子であることを報告¹⁶⁾した。

繁殖能力の遺伝率は、低いことが知られているが、その原因として繁殖能力はポリジーンにより支配されていることが推察される。阿波とん豚の繁殖成績の低さの原因としてまず、卵巣中の卵母細胞数について調査した。その結果、西洋種に比べ 1 つの卵巣から採取される卵母細胞数が少ないとともに、体外受精後の胚盤胞形成率も低かった。また、抗ミュラー管ホルモン (AMH) 濃度について西洋豚と比較した結果、阿波とん豚は有意に低いことが明らかになった¹⁷⁾。現在、血中 AMH 測定値を改良の指標として、

あるいは遺伝解析の対象としての利用を検討している。

本研究により実用化に有用な DNA マーカーを選定した。今後、これらのマーカーによる選抜効果を検証する。

文 献

- 1) Nii, M., T. Hayashi, S. Mikawa, F. Tani, A. Niki, N. Mori and T. Awata, J. Anim. Sci. 83:308-315. 2005
- 2) Nii, M., T. Hayashi, F. Tani, A. Niki, N. Mori, T. Awata and S. Mikawa, Animal Genetics. 37:342-347. 2006
- 3) Chen, P., T. J. Baas, J. W. Mabry, K. J. Koehler and J. C. M. Dekkers, J. Anim. Sci. 81:46-53. 2003
- 4) 江口祐輔, 田中智夫, 吉本正, 日本畜産学学会報, 72:49-54. 2001
- 5) Johnson, R., Pig News Infor. 13. 59-61. 1992
- 6) 富山雅光, All about SWINE. 51. 38-39. 2017
- 7) Sato, S., T. Kikuchi, Y. Uemoto, S. Mikawa and K. Suzuki, Anim. Sci. J. 87:1455-1463. 2016
- 8) Verardo1, L. L., F. F. Silva1, M. S. Lopes, O. Madsen, J. M. Bastiaansen, E. F. Knol, M. Kelly, L. Varona, P. S. Lopes and S. E. F. Guimarães, Genet. Cel. Evol. 48:9 DOI 10.1186/s12711-016-0189-x, 2016
- 9) Zhang, Z. Z. C. Shaopan, Y. Yingting, S. Huang, X. Yuan, Z. Chen, H. Zhang and J. Li, Animals. 9:732 DOI 10.3390/ani9100732, 2019
- 10) Tizioto, P. C., Meirelles, S. L. Veneroni, G. B. Tullio, R. R. Rosa, A. N. Alencar, M. M. Medeiros, S. R. Siqueira, F. Feijo and L. C. A. Regitano, Meat Sci. 92:4. 855-857. 2012
- 11) Aghajanova, L. Annals New York Acad. Sci. 1034: 176-83. 2004
- 12) Meijerink, V. P., E. R. Fries, S. Neuenschwander, N. Vorländer, G. Stranzinger and H. U. Bertschinger, Immunogenetics 52:129-136. 2000
- 13) Horák, P., T. Urban, J. Dvořák, J. Animal. Breed. Genet. 122, 210-213. 2005
- 14) Hausman, G. J., C. R. Barb and C. A. Lents, Biochim. 94: 2075-2081. 2012
- 15) Houde, A. A., B. D. Murphy, O. Mathieu, V. Bordinon, M. F. Palin, Animal. Genet. 39, 249-257. 2008
- 16) Balcells, I., A. Castelló, A. Mercadé, J. L. Noguera, A. Fernández-Rodríguez, A. Sánchez and A. Tomàs, BMC Genet. 12:93. 2011
- 17) Tanihara, F. M. Hirata, S. Iizuka, S. Sairiki, M. Nii, N. T. Nguyen, Q. A. Le, T. Hirano, T. Otoi, Anim. Sci. J. 90:712-718 2019

表 2 各世代における繁殖能力の表型値

世代	TNB			NBA			LP21			LW21		
	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.
デュロック	18	10.17	0.46	18	9.63	0.43	18	8.1	0.39	18	39.61	2.35
戻し交配	52	8.98	0.27	52	8.28	0.29	52	7.27	0.29	52	35.39	1.33
戻し交配 F1	93	7.68	0.24	93	7.31	0.28	91	6.3	0.26	91	29.39	1.24
総計	163	8.37	0.18	163	7.88	0.18	161	6.81	0.19	161	32.47	0.91

表 3 各世代における繁殖能力の推定育種価

世代	TNB'			NBA'			LP21'			LW21'		
	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.
デュロック	7	0.63	0.04	7	0.54	0.02	7	0.97	0.09	7	4.59	1.04
戻し交配	46	-0.51	0.18	46	-0.2	0.14	46	-0.06	0.09	46	1.07	0.51
戻し交配 F1	82	-0.57	0.07	82	-0.44	0.07	82	-0.26	0.05	82	0.23	0.41
総計	135	-0.48	0.08	135	-0.3	0.07	135	-0.12	0.05	135	0.74	0.32

表 4 遺伝子 (SNP) 名と TaqMan プローブの配列情報

SSC	Gene/ SNP	Primer sequence (5'-3')		Reporter sequence (5'-3')	
		Forward / reverse		Reporter 1 / 2	
1	<i>ESR2</i>	GGAGGAGGGTGGGTATGCT/ GCCGCACTTGGTCGTACA		CAGGCTTCGTGGAGCT/ CAGGCTTCATGGAGCT	
2	<i>EPOR</i>	CCCTCGCTGGCTCCTC/ CAGCGAGCACCAAGAAACG		CCATGCCACCTGCATC/ ATGCCGCTGCATC	
2	<i>SLC22A5</i>	GCGACGGCAGCTGTGA/ TGGCGCAACCACAGTCT		TCCTGCAACCGCAGCG/ CTGCAGCCGCAGCG	
4	<i>LOC100737714</i>	CGACCCAACCTGTAAAACCTTCTCT/ CTGTGATTGAGAGATTTGCACCAA		TCCTCTTCAGTTTTTC/ TTCCTCTTTAGTTTTTC	
4	<i>ASAP1</i>	GCGCTAAAGACACAGGTATGTTTT TGAGGGTGCGCTGTGTT		CCCAGGAGGGCATG CCCAGGAGAGCATG	
5	<i>KCNC2</i>	GTTGAGGTTAGAAGTCCTTCTGGTT/ TTGTGTTGAGGAGAGAAGGGAGTA		CCAAGATGCCTGAGTTGA/ CAAGATGCCCGAGTTGA	
5	<i>PLEKHG7</i>	CCATCTGCTGTCATGAAAAGAAAGTAG GAGGAGTGGTGAGTGTTATTGTCTT		AAGCTAGGAAAAGTAAGAAA AAGCTAGGAAAATAAGAAA	
6	<i>FUT1</i>	CCGATTCTGTCCCAAGCAT/ CGGCCATCCGGGTAAATAGTC		CTGCCTCCTTTTCCG/ TGCCTCCCTTTCCG	
6	<i>GYS1</i>	GCAGTAATCTGAGACACGGTAGT/ CTATCACCGCTACTGCATGGA		CCCACTGTGCTCATG/ CCACTGCGCTCATG	
6	<i>LEPR</i>	CTGCTGGAATCTCAAAGAACACTTC/ TTCCTCACTCCAAAAGCAACAGT		CAGTTGTTGAAATGGAAGT/ AGTTGTTGAAACGGAACT	
7	<i>CFB</i>	TGCCTCCTCCACGATAGTAC/ GGGCGAGGGAGCACATAC		CCAGTTCCTCGGGCTG/ CAGTTCCCCGGGCTG	
7	<i>Rs80970797</i>	CTGTGCTCTCCTTAGCTTCGT CCCTCTTCAGCTAGTGTCTTACTT		CTGGTGTGCCACCCA CTGGTGTACACACCCA	
7	<i>SALL2</i>	CCTCATCTCTGCAGTGACCTAAGA ACAGGGCTGGAACACAGGTTT		CACCAAGACACAGTCTG ACCAAGACGCAGTCTG	
8	<i>MAN2B2</i>	GCTGCAGCTGCGTCAG/ GTCCCTGTTACACGCTACAT		CTGCCCCGCCGTTT/ CTGCCCCACGGTTC	
9	<i>PGR</i>	GCATTTGAGTGGAATCTGCACCTA/ GCAGCCCTACATTTCTTAGCA		CGTTTCGTCCCCTCCGG/ CGTTTCGTCTCTCCGG	
10	<i>ADIPOR1</i>	TCTGTGCTCTGGGCACTTCTG/ GTGCTTAGGAGTGGCAAACC		TCCCACTGCGCCACAA/ TCCCACTGTGCCACAA	
10	<i>Rs81427175</i>	CTGGCCCAGCACCTCA CACCAAAGACTTTCCTGAAGGA		CCTGTGAGTTTTCACCCC CTGTGAGTTTCCACCCC	
12	<i>ACE</i>	CTGCACAAGTGTGACATCTACCA/ ACGACAGCCAGAGAAGACTCA		CCTCCAGCTTCCT/ CTCCCGGCTTCCT	
12	<i>CCR7</i>	CGCTACGTGGCCATCGT/ CAGGAGAGCTTGCTGATGAGAAG		CCACCGTGCCCGC/ CACCGCGCCCGC	
13	<i>MUC4</i>	ACTCAGAAGCTGGAAGTCACTCT/ TCCACCCCTTACCCTTATATGGTTT		CTCTCCACGTCCCCTG/ CTCTCCACATCCCCTG	
13	<i>Rs81308910</i>	GGTGACCCCAAGTGTGTTGCA GGCAGCCCTTCTACCC		CTGCTCTGGGCTGTAG CTGCTCTGGACTGTAG	
14	<i>LIF</i>	CCCGGGCCTTCTAGATGGA/ CACAGTTTGAGAGTACCTAAGTCT		ACCCCGGACCTGA/ CACCCGTGACCTGA	
14	<i>MBL2</i>	TGCAACTCTCCAGGAATCAATGG/ CTGTACCTGGTTCTCCCTTTTCTC		CACCGTCATGCC/ CACCGTCGTGCC	
14	<i>PRSS55</i>	GCTATGATGCCTGCCAGGTAAG/ TTGGGTGTATCCCCC/		TTGGGTGTATCCCCC/	

		CTGGCAGCTCCAAGAGGAT	TTGGGTGTCTCCCCC
14	<i>PDE6C</i>	CCCCTGTCTGGTTGCT	CTCACCCAGGGCAGAA
		AGGGCCCTGGTGAAGTCT	CTCACCCAAGGCAGAA
15	<i>PRKAG3</i>	CCGGCGCTCAGATCAAGAA/	CCAACGGCGTCCGAG/
		TTCTTGCTGTCCACAAAGGT	CAACGGCATCCGAG
15	<i>Rs80925998</i>	CGGGACCCTGCTATTCTGT	CATTCTGCTAGGGTTT
		GTAGATTCTTGGAGCATGAAAAGCA	TCCTGCCAGGGTTT
16	<i>PRLR</i>	CCGGCCGCAGAATCCA/	CCTGGCCAGCTTCA/
		AGCGGGTGTCTGCAGTG	CTGGCCGGCTTCA
17	<i>Rs80990013</i>	AGCGCTGGTTTTCACCTAGTAG	AATGCAGTGCCAAACG
		CATCTCTGTGTTGTGTAATCTTTAAATTATCAGT	AATGCAGTACCAAACG
18	<i>LEP</i>	ACTTCATCCCTGGGCTCCAT/	CTGTCCTGAGTTTGTCCAA/
		GCCAGGGTCTGGTCCAT	TGTCCTGAGTCTGTCCAA

ESR2 = estrogen receptor 2; *EPOR* = erythropoietin receptor; *SLC22A5* = solute carrier family 22, member 5; *LOC100737714* = tryptophan--tRNA ligase, mitochondrial-like; *ASAP1*=ArfGAP with SH3 domain, ankyrin repeat and PH domain 1; *KCNC2* = potassium voltage gated channel, 2; *PLEKHG7*=pleckstrin homology and RhoGEF domain containing G7; *FUT1*=fucosyltransferase 1 (galactoside 2-alpha-L-fucosyltransferase, H blood group); *GYS1* = glycogen synthase 1; *LEPR* = leptin receptor; *CFB* = complement factor B; *SALL2*=spalt like transcription factor 2; *MAN2B2* = mannosidase, alpha, class 2B, member 2; *PGR* = progesteron receptor; *ADIPOR1* = adiponectin receptor 1; *ACE* = angiotensin I converting enzyme; *CCR7* = chemokine (C-C motif) receptor 7; *MUC4* = mucin 4, cell surface associated; *LIF* = leukemia inhibitory factor; *MBL2* = mannose-binding lectin (protein C) 2, soluble; *PRSS55* = protease, serine, 55; *PDE6C*=phosphodiesterase 6C; *PRKAG3* = protein kinase, AMP-activated, gamma 3 non-catalytic subunit; *PRLR* = prolactin receptor; *LEP* = leptin

表 5 SNP 型による表型値の集計

	SNP	TNB				NBA			LP21			LW21		
		n	Ave.	S.E.		n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.
<i>ASAP1</i>	A/A	16	8.45	0.52	A	16	8.05	0.57	16	6.87	0.65	16	34.25	3.15
	G/A	45	9.25	0.29		45	8.61	0.30	44	7.35	0.28	44	35.11	1.34
	G/G	101	7.96	0.25		101	7.52	0.24	101	6.58	0.25	101	31.01	1.21
<i>PLEKHG7</i> ^{*)}	A/A	20	8.91	0.44	a	20	8.44	0.46	20	7.16	0.36	20	33.64	1.70
	G/A	78	8.72	0.25		78	8.25	0.25	77	7.20	0.28	77	34.22	1.27
	G/G	63	7.76	0.32		63	7.27	0.32	63	6.29	0.29	63	30.11	1.60
<i>GYS1</i> ^{*)}	C/C	9	8.04	0.47	a	9	7.55	0.62	9	7.52	1.27	9	25.83	3.41
	T/C	82	8.19	0.26		82	7.68	0.26	81	6.62	0.26	81	31.50	1.33
	T/T	70	8.63	0.29		70	8.16	0.29	70	6.98	0.25	70	34.62	1.28
<i>SALL2</i>	A/A	28	9.22	0.39	b	28	8.67	0.41	27	7.24	0.46	27	34.59	2.32
	A/G	78	8.21	0.28		78	7.72	0.29	78	6.58	0.25	78	32.17	1.27
	G/G	56	8.15	0.30		56	7.68	0.28	56	6.93	0.33	56	31.83	1.56
<i>PGR</i>	C/C	2	7.00	2.00	A	2	6.67	1.67	2	5.17	0.17	2	33.15	0.20
	T/C	30	8.99	0.46		30	8.40	0.49	30	7.39	0.50	30	37.35	2.35
	T/T	130	8.24	0.20		130	7.77	0.20	129	6.71	0.20	129	31.28	0.96
<i>Rs81427175</i>	A/A	127	8.13	0.21	a	127	7.71	0.21	126	6.71	0.22	126	32.04	1.06
	G/A	24	9.02	0.41		24	8.16	0.44	24	6.95	0.42	24	32.18	2.04
	G/G	11	9.72	0.70		11	9.24	0.71	11	7.81	0.51	11	38.09	2.71
<i>Rs81308910</i> ^{*)}	A/A	106	7.93	0.23	b	106	7.48	0.23	105	6.48	0.23	105	30.42	1.13
	G/A	45	9.09	0.33		45	8.52	0.35	45	7.24	0.33	45	35.46	1.67
	G/G	10	9.83	0.29		10	9.33	0.36	10	8.51	0.45	10	40.51	1.80
<i>LIF1</i>	C/C	38	7.29	0.32	A	38	6.85	0.31	38	5.92	0.33	38	28.16	1.77
	C/T	82	8.63	0.27		82	8.15	0.27	82	6.96	0.24	82	33.31	1.32
	T/T	42	8.82	0.35		42	8.27	0.34	41	7.35	0.42	41	34.77	1.61
<i>PDE6C</i>	A/A	2	7.70	0.70	A	2	7.60	0.60	2	7.40	0.40	2	32.60	4.20
	G/A	20	9.72	0.41		20	8.95	0.51	20	7.85	0.47	20	35.93	1.99
	G/G	140	8.19	0.20		140	7.73	0.20	139	6.66	0.20	139	31.97	1.01
<i>PRKAG3</i>	A/A	1	8.60	-	a	1	7.80	-	1	7.40	-	1	35.32	-
	G/A	18	9.63	0.40		18	9.22	0.36	18	8.10	0.43	18	39.86	2.29
	G/G	143	8.21	0.20		143	7.71	0.20	142	6.65	0.20	142	31.52	0.96
<i>PRLR</i>	A/A	20	8.54	0.45	a	20	7.97	0.45	20	7.04	0.54	20	34.55	3.13
	G/A	84	8.57	0.27		84	8.03	0.27	83	6.81	0.26	83	32.89	1.28
	G/G	58	8.01	0.30		58	7.63	0.30	58	6.75	0.31	58	31.12	1.35
<i>Rs80990013</i>	A/A	27	8.65	0.36	a	27	8.09	0.36	27	7.66	0.49	27	34.81	1.77
	G/A	88	7.95	0.26		88	7.45	0.26	87	6.32	0.23	87	30.27	1.20
	G/G	47	8.98	0.35		47	8.54	0.34	47	7.27	0.35	47	35.20	1.83
総計		161	8.37	0.18		161	7.88	0.18	160	6.82	0.19	160	32.47	0.91

*) 欠測値あり A-B<P0.01, a-b<0.05 (SNP 間)

表6 SNP型による育種価の集計

	SNP	TNB'			NBA'			LP21'			LW21'		
		n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.	n	Ave.	S.E.
EPOR ⁹⁾	A/A	3	-0.72	0.11 ^a	88	-0.25	0.07	88	-0.06	0.06 ^A	88	1.14	0.38 ^A
	A/G	45	-0.57	0.09	44	-0.37	0.15	44	-0.22	0.10 ^a	44	0.23	0.51 ^A
	G/G	86	-0.44	0.10 ^b	2	-1.29	0.00	2	-1.29	0.01 ^{Bb}	2	-8.43	0.25 ^B
ASAP1	A/A	15	-0.59	0.21 ^a	15	-0.17	0.12	15	-0.01	0.11	15	1.02	0.70
	G/A	35	-0.05	0.20 ^{Ab}	35	0.13	0.18 ^A	35	0.27	0.12	35	2.16	0.47 ^A
	G/G	85	-0.65	0.06 ^B	85	-0.51	0.06 ^B	85	-0.31	0.05	85	0.11	0.43 ^B
PLEKHG7 ⁹⁾	A/A	15	0.27	0.19 ^A	15	0.28	0.20 ^{Aa}	15	0.41	0.14	15	2.59	0.48 ^A
	G/A	68	-0.39	0.11 ^B	68	-0.20	0.10 ^b	68	-0.02	0.07	68	1.53	0.41 ^A
	G/G	51	-0.85	0.09 ^C	51	-0.62	0.08 ^B	51	-0.43	0.07	51	-0.85	0.55 ^B
FUT1	C/C	101	-0.36	0.08 ^a	101	-0.20	0.08 ^A	101	-0.04	0.06 ^A	101	1.23	0.38 ^A
	C/T	34	-0.85	0.14 ^b	34	-0.61	0.10 ^B	34	-0.38	0.09 ^B	34	-0.70	0.51 ^B
GYS1 ⁹⁾	C/C	8	-0.98	0.17 ^a	8	-0.82	0.13 ^A	8	-0.59	0.14 ^A	8	-2.24	1.13 ^A
	T/C	68	-0.70	0.08 ^A	68	-0.52	0.06 ^A	68	-0.29	0.06 ^A	68	-0.06	0.43 ^B
	T/T	58	-0.17	0.13 ^{Bb}	58	0.03	0.12 ^B	58	0.13	0.09 ^B	58	2.10	0.45
LEPR	C/C	2	-0.56	0.10	2	-0.13	0.02	2	-0.14	0.02	2	-1.22	0.39
	C/T	20	-1.01	0.19 ^A	20	-0.54	0.13	20	-0.33	0.11	20	0.18	0.60
	T/T	113	-0.39	0.07 ^B	113	-0.26	0.08	113	-0.09	0.06	113	0.87	0.36
CFB	A/A	128	-0.54	0.07 ^A	128	-0.35	0.07 ^A	128	-0.17	0.05 ^A	128	0.63	0.33
	A/G	7	0.56	0.11 ^B	7	0.51	0.10 ^B	7	0.71	0.17 ^B	7	2.69	1.16
SALL2	A/A	25	0.04	0.27 ^{Aa}	25	0.30	0.25 ^A	25	0.26	0.14	25	2.04	0.62 ^a
	A/G	68	-0.68	0.07 ^B	68	-0.48	0.06 ^B	68	-0.28	0.05	68	0.03	0.39 ^b
	G/G	42	-0.49	0.09 ^b	42	-0.37	0.10 ^B	42	-0.11	0.10	42	1.11	0.69
PGR	C/C	2	-0.51	0.03	2	-0.11	0.00	2	-0.03	0.09	2	1.09	1.92
	T/C	29	-0.73	0.13 ^a	29	-0.28	0.09	29	-0.08	0.07	29	1.85	0.65
	T/T	104	-0.42	0.08 ^b	104	-0.31	0.08	104	-0.14	0.06	104	0.43	0.36
ADIPOR1	A/A	4	-0.99	0.24	4	-0.82	0.19	4	-0.53	0.22	4	-2.19	1.55
	A/G	43	-0.62	0.09 ^a	43	-0.51	0.08 ^a	43	-0.27	0.08 ^a	43	-0.16	0.59 ^a
	G/G	88	-0.40	0.10 ^b	88	-0.18	0.09 ^b	88	-0.04	0.06 ^b	88	1.31	0.37 ^b
Rs81427175	A/A	113	-0.69	0.05 ^A	113	-0.48	0.05 ^A	113	-0.25	0.05 ^A	113	0.47	0.35
	A/G	15	0.25	0.22 ^B	15	0.30	0.19 ^B	15	0.41	0.14 ^B	15	2.27	0.82
	G/G	7	1.19	0.72 ^C	7	1.32	0.66 ^C	7	0.74	0.34 ^B	7	1.80	0.84
CCR7 ⁹⁾	C/C	9	-0.88	0.17	9	-0.68	0.18	9	-0.50	0.18 ^a	9	-2.14	1.36 ^{Aa}
	T/C	65	-0.55	0.12	65	-0.29	0.11	65	-0.15	0.07	65	0.50	0.40 ^b
	T/T	59	-0.34	0.08	59	-0.25	0.08	59	-0.04	0.08 ^b	59	1.52	0.51 ^B
MUC4	A/A	41	-0.43	0.07 ^a	41	-0.39	0.07	41	-0.12	0.07	41	1.10	0.53
	A/G	66	-0.35	0.11 ^a	66	-0.21	0.11	66	-0.10	0.08	66	0.79	0.47
	G/G	28	-0.87	0.17 ^b	28	-0.40	0.15	28	-0.19	0.13	28	0.10	0.73
Rs81308910 [*]	A/A	95	-0.49	0.08 ^A	95	-0.35	0.09	95	-0.21	0.06 ^a	95	0.23	0.38 ^A
	G/A	31	-0.34	0.13 ^a	31	-0.13	0.09	31	0.10	0.09 ^b	31	2.19	0.59 ^B
	G/G	8	-0.99	0.35 ^{Bb}	8	-0.39	0.27	8	0.03	0.30	8	1.10	1.47
LIF1	C/C	36	-0.92	0.09 ^A	36	-0.73	0.10 ^A	36	-0.53	0.11 ^A	36	-1.82	0.63 ^A
	C/T	65	-0.41	0.06 ^B	65	-0.30	0.05 ^B	65	-0.05	0.05 ^A	65	1.69	0.43 ^B
	T/T	34	-0.17	0.22 ^B	34	0.14	0.20 ^C	34	0.15	0.11 ^B	34	1.64	0.42 ^B
PRLR	A/A	16	-0.19	0.22	16	-0.14	0.23	16	0.10	0.17 ^a	16	1.99	0.97
	G/A	70	-0.49	0.11	70	-0.27	0.10	70	-0.09	0.07	70	0.77	0.43
	G/G	49	-0.57	0.09	49	-0.41	0.09	49	-0.25	0.08 ^b	49	0.30	0.52
総計		135	-0.48	0.07	135	-0.30	0.07	135	-0.13	0.05	135	0.74	0.32

*) 欠測値あり A-B-C<P0.01, a-b<0.05(SNP間)