

DNAマーカー選抜技術を利用した新系統の開発 大ヨークシャー種にマーカーアシスト導入した家系の造成

新居 雅宏・山口 智美・松尾 功治*

要 約

日本イノシシ (JWB) 由来のQTLについてDNAマーカーを指標として大ヨークシャー種 (W) に連続的な戻し交配により導入した戻し交配2~4世代 (BC2~BC4) および戻し交配世代同士の交配によるF1 (BCn世代F1) について繁殖性を、また、F1およびF1同士の交配によるF2 (BCn世代F2) について、発育性、産肉性、肉質等の形質を測定した。一方、JWB由来のQTLの効果について第6染色体および第15染色体上のDNAマーカー型によりJWBホモ型、ヘテロ型およびWホモ型に分類し、マーカー型間の差について検証した。

1) 戻し交配4世代 (BC4) の1腹平均総産子数 (ATN) および1腹平均生産子数 (ALN) は、それぞれ11頭および10.73頭で産歴構成のほぼ等しいWの11頭および10頭と同程度の繁殖成績であった。しかしながら、BC4同士の交配によるF1 (BC4F1) のATNおよびALNは8.91頭および8.05頭であった。

2) BC2F1の離乳から出荷までの1日平均増体重 (ADG) は564.9であるのに対し、BC3F1 (573.1g)、BC4F1 (578.1g) となり、2世代の戻し交配による改良効果は15g程度で、改良量は小さかった。一方、F2世代ではBC2F2 (536.2g)、BC3F2 (572.9g) およびBC4F2 (578.0g) となり、BC4世代ではF1とF2で差がなかった。

3) SSC6上のSW1353 (21cM) マーカー型により、表現型をJWB/JWB、JWB/WおよびW/W型に集約した結果、JWBを持つ群でMinolta a*値、ヘマチン含量が高かった。一方で、肉の保水性等が低く、脂肪では飽和脂肪酸割合が高かった。

4) SSC15上のSW1945 (57cM) マーカー型により表現型を集約すると、成長、産肉性ではJWB型を持つことでADGが低く、肉質ではpH、PCSおよびMinolta L*値に差がみられた (P<0.01, P<0.05)

5) SSC15上のSW1989 (42cM) マーカー型により、背脂肪厚、脂肪融点および脂肪酸組成について集約した。結果、背脂肪厚、背脂肪内層の融点、腹腔内脂肪の飽和脂肪酸組成においてW/W型とW/JWB型に差がみられ、JWB型の背脂肪が厚く、融点および飽和脂肪酸割合が高かった (P<0.05)。

これらのことより、JWBとWを祖父母としたF2家系においてSSC6およびSSC15に検出されたQTLは戻し交配を進めた家系においてその効果が認められ、QTLの存在を強く指示する結果となった。また、本研究において導入したJWB由来遺伝子は栄養および品質面からも優れた効果を豚群に付与した。しかしながら、産肉性および繁殖性が劣ることが明らかとなった。特にSSC15の遺伝子領域については、JWBに低い産肉性を有する遺伝子の存在が示唆され、産肉能力向上のためには原因遺伝子の特定が必要である。

目 的

多様化する消費者ニーズに応えることで輸入豚肉あるいは産地間の競争を有利に展開する試みが全国的に行われている¹⁾。このような銘柄豚肉には他との明確な差別化、均一性が求められるとともに市場の要望に素早く応えるスピードも重要と

なる。これらの課題を解決する有効な手段として、有用形質の発現に関わる遺伝子あるいは遺伝子の近傍に位置する特定のDNA配列をマーカーとして用いる新しい育種技術が国内外において実用化されつつある²⁾³⁾⁴⁾。本県においても、日本イノシシを遺伝解析の材料とした量的形質遺伝子座の

マッピングを始め、連続的な戻し交配とマーカー情報にもとづく個体選抜を利用した特定のゲノム領域の効率的な導入法であるMAI (Marker Assisted Introgression) 法について検討した⁵⁻¹⁶⁾。その結果、日本イノシシ由来の遺伝的能力を効率よく導入できることが明らかになった。一方、第15染色体をイノシシ型に固定した個体の発育能力の低いことが示唆された¹⁵⁾¹⁶⁾。また、戻し交配豚 (BC) 同士の産子 (BCF1) に関する母豚として繁殖能力およびBCF2の肉質等能力について未知であった。

銘柄豚として普及するためにはBC同士の交配であるBCF1、更にはBCF1同士の交配によるBCF2を生産することで豚群の拡大と遺伝子の固定を図ることになる。家畜の生産性は、生産現場での経営に直結する重要な経済形質である。そこで、本研究では戻し交配の各世代におけるBCF1の繁殖能力について、また、BCF1とBCF2の産肉性および肉質に関して世代および対立アリルとの相関関係について明らかにし、銘柄豚の素材としての資質を評価する。

材料および方法

1) 形質の測定

日本イノシシ (JWB) と大ヨークシャー種 (W) の交雑豚 (F1) 雄を異なるW雌に交配した産子を戻し交配1世代 (BC1)、BC1にWを交配した産子を戻し交配2世代 (BC2)、同様にWに交配することで戻し交配世代を進めた各世代を戻し交配3世代 (BC3)、戻し交配4世代 (BC4) とした。更に戻し交配世代同士の産子をBC (n世代) F1、BC (n世代) F1同士のBC (n世代) F2とした。

(1) 繁殖性

JWB由来の2カ所の染色体領域を連続的なWへの戻し交配により導入して生産されたBC2～BC4およびそれぞれの世代で交配したF1について、雄13頭と雌34頭をのべ56回分娩させ (平成19年5月～平成22年8月)、産子数等の繁殖能力

を測定した。

(2) 戻し交配世代の産肉能力の測定

(1)の産子349頭について4週齢から出荷前体重測定時までの1日平均増体重 (ADG) を測定した。また、枝肉における背腰長II, ロース芯面積, 背脂肪厚等の形質を測定した。

(3) 肉および脂肪の理化学的性質等の測定は既報⁶⁾ のとおりである。

2) DNAマーカー型の判定

第6染色体はSW1329およびSW1353, 第15染色体はSW964, SW1989, KS158, SW1945, SW2083およびSW2608の合計8個のDNAマーカーについてPCR後の産物をDNAシーケンサー (ABI377) によりPCR産物の大きさを数値化してDNAマーカー近傍における染色体構造を推定した。これらのうち、第6染色体はSW1353 (21cM), 第15染色体は肉質形質についてSW1945 (59cM), 脂肪形質についてSW1989 (42cM) により形質を集約した。

3) 統計処理

各世代あるいは3種類のDNAマーカー型、すなわちイノシシホモ型 (JWB/JWB), イノシシ大ヨークシャーヘテロ型 (JWB/W) および大ヨークシャーホモ型 (W/W) を要因としてStatView (HULINKS, Inc.) により分散分析を行った。要因間の多重比較はScheffeにより検定した。

結果および考察

1) 繁殖性

(1) 世代比較

BC2の1腹平均総産子数 (ATN), 1腹平均生産子数 (ALN) および1腹平均4週齢頭数 (A4N) は11.25頭, 10.75頭および8.75頭, また, BC4のATN, ALNおよびA4Nはそれぞれ11頭, 10.73頭および9.33頭であり, 産歴構成の近いWと同等の成績であった (表1)。一方, BC3のATN, ALNおよびA4Nはそれぞれ8.25頭, 7頭および

5.25頭で少なかった。また、それぞれの世代におけるF1のATNは、BCに比べて全ての世代で少なかった。更に、ALNおよびA4NはBC3以外でF1がBCよりも少なかった。

(2) DNAマーカー間の比較

繁殖に供用した母豚について第6染色体 (Sus scrofa Chromosome:SSC) 上SW1353およびSSC15上SW1945マーカー型により全繁殖豚についてATNを集約した (表2)。結果、SW1353におけるW/W型、JWB/W型およびJWB/JWB型はそれぞれ、7.5頭、9.78頭および7.83頭であった。一方、SW1945はW/W型は存在せず、JWB/W型およびJWB/JWB型は9.09頭および8.44頭であった。いずれのDNAマーカーによる集約も、JWB/W型に比べ、JWB/JWBのATNが少なく、両マーカーともにJWB型ホモのATNは、7.6頭であった。

これらのことは、MAI導入領域にJWBとW間の産子数に影響する遺伝子が存在する可能性を示唆した。一方、BC3においてBCおよびBCF1ともに産子数が少ない傾向にあった。BC4ではWと同等の能力を示したことから、用いるWの能力によっても産子数に差がみられることが示唆された。

2) 産肉形質

各世代間の4週齢から出荷前までの体側日数、出荷体重 (ADG) および1日平均増体重を表3に示した。ADGは、F1世代においてBC2F1 (564.9g)、BC3F1 (573.1g) およびBC4F1 (578.1g) で世代を進めても改良量は小さかった。一方、F2世代ではBC2F2 (536.2g)、BC3F2 (572.9g) およびBC4F2 (578.0g) となり、BC4世代ではF1とF2で差がなかった。

このことは戻し交配世代を進めてからJWB由来QTLを固定することでF2、F3と交配を進めても増体能力がF1に比べ、低下しないことを示唆した。一方で、戻し交配を進めてもADGの改良量は小さく、用いたWのADGが650gであるのに対し、BC4世代では578gとなり、約80gの差がみ

られた。

これらのことより、MAI導入領域にJWB由来の低いADGに関わるQTLが存在することが示唆された。

F2兄妹交配家系インターバルマッピングにおいて、50cM付近にsuggestiveレベルのJWBアリルが負の効果を示す成長に関わるQTLが検出されている¹⁰⁾。これらのことを裏付けるようにSW1945マーカーによって集約した結果、マーカー型間に差がみられ、JWB型のADGが低かった ($P<0.005$) (表4)。MAI系統の産肉性の改良には本領域におけるQTLの位置と効果について詳細に解析する必要がある。

3) 肉質

世代間の肉質を表5に示した。pH、加圧保水性、PCS、肉色、加熱加塩遠心保水性等の形質で世代間に差がみられた。世代間で差のみられた形質についてDNAマーカーとの関連性について表6~10に示した。

第6染色体

F2インターバルマッピングにおいて、SSC6上に検出されたMinolta a*値およびヘマチン含量等の形質について世代毎にSW1353マーカー型で集約した (表6, 7)。Minolta a*値、Minolta a*値 (1時間後) およびヘマチン含量はほとんどの世代でQTLの効果がみられ、全サンプルを集約しても差がみられた。また、JWB/JWBではBCF1に比べBCF2で一貫して肉色の赤さが増すとともにヘマチン含量が増加した。これら一連のQTLは、ヘム量に左右され、その原因遺伝子として nudix (nucleoside diphosphate linked moiety X)-type motif 7 (*NUDT7*) の転写調節領域におけるSNPの関与について報告した¹⁷⁾¹⁸⁾。すなわちJWB由来*NUDT7*はWに比べると発現量が低く、基質としてのsuccinyl-CoAの生合成量が多い。その結果、ヘムの生合成量が増えることが結論づけられた。

一方、本領域について他の肉質形質について集約すると保水性はJWB型が低く、全糖含量が高い結果となった。また、肩脂肪厚、脂肪融点および脂肪酸組成等の脂肪形質に差がみられ、JWB型の背脂肪が厚く、融点および飽和脂肪酸割合が高かった。F2兄妹交配家系インターバルマッピングの結果では、70cM付近に背脂肪厚および脂肪酸組成等のQTLが検出されていた。しかしながら、MAIの指標としたSW1353より約50cM離れていることから、戻し交配を重ねる中でWアリルに置換されることが期待されたが、戻し交配家系繁殖豚の多くがSSC6の広い範囲をJWBアリルを保持していた。その結果がSW1353で集約した今回の結果でも反映されたことが示唆された。

先述のSW1353領域におけるJWB型と低い保水性の関連性について、ヘム量そのものが肉質に影響するのがあるいは、脂肪形質同様他のJWB由来の保水性を低下させるQTLが存在するのかMAIの領域を狭める中で明らかにする必要がある。

第15染色体

F2兄妹家系インターバルマッピングにおけるQTL解析の結果、SSC15に54cM付近をピークとするpHおよびMinolta b*値⁵⁾、37cM付近に脂肪酸組成に関わるQTLが検出された⁶⁾¹³⁾。本試験では、QTLの統計量のピークを示す領域に存在するSW1945マーカー型とpHおよびMinolta b*値等肉質形質、SW1989マーカー型と脂肪形質の関連性について検討した。

pHは、BC2F2以外の世代でJWB/JWB型が最も高く、全頭数について集約すると有意差がみられた ($P<0.01$)。また、Minolta b*値は、JWB/JWB型が最も低く、カット1時間後のMinolta b*値は有意差がみられた ($P<0.01$)。また、豚標準色模型を参考に視覚により判定した肉色を示すPCS (高い数値ほど濃い赤色を示す) もほとんどの世代でJWBアリルを持った群が高くなり、集団全体としても高くなった ($P<0.01$)。

生肉における保水性の指標となる加圧保水性および遠心保水性は、マーカー型間でほとんど差がなかったものの、肉をミンチ後、塩化カリウムを添加、加熱後遠心分離した加熱保水遠心保水性では、JWBアリルを持つことで高くなる傾向がみられた。また、ほとんどの世代で、F1に比べF2の加熱加塩遠心保水性が高くなる傾向がみられた (表9)。

一方、肉中のグリコーゲン等糖類をまとめて測定した全糖含量では、ほとんどの世代でJWBを持つ群が低い傾向がみられ、BC3F2では有意差 ($P<0.05$) がみられた (表10)。

SW1989マーカーは、353頭での比較となった。また、脂肪酸組成については、20頭の測定が終了しておらず、333頭での比較となった。

肩脂肪厚は、全頭数で集約するとJWB/JWB型で最も厚く ($P<0.01, P<0.05$)、ほとんどの世代でF1に比べF2が厚くなる傾向がみられた (表3)。

背脂肪および腹腔内脂肪の融点は、マーカー型間に差はなかったものの、JWBを持つことで高くなる傾向がみられた (表5)。腹腔内脂肪の飽和脂肪酸がJWB/JWB型が最も高かった ($P<0.01, P<0.05$)。

脂肪酸組成については、背脂肪および腹腔内脂肪ともにJWBアリルが飽和脂肪酸割合を高める効果を示した。飽和脂肪酸の中でもステアリン酸 (C18:0) が高く、逆に不飽和脂肪酸であるオレイン酸 (C18:1) が低かった。また、背脂肪よりも腹腔内脂肪でJWBアリルの効果が高かった。

SSC15におけるJWBとW間に検出された形質に関わるQTLの詳細な解析のため、30-40cM付近に組換えの生じた個体を雄親としてQTLの分離を図り、QTLの候補領域を狭める研究において、脂肪酸組成については約10cMの領域に存在する可能性が高いことが明らかになっており、今後の研究において更にQTLの位置が狭められることが期待される。

まとめ

JWB由来のSSC6およびSSC15に存在する特定の遺伝子領域を導入した家系は、肉色、pH、ヘマチン含量および脂肪酸組成等の形質で特徴がみられたものの、産肉性および繁殖性が劣ることが明らかになった。特にSSC15の遺伝子領域については、JWBに低い産肉性に関する遺伝子の存在が示唆され、産肉能力向上のためには肉質に関連する遺伝子との分離が必要である。

文 献

1) 銘柄豚肉ハンドブック. 2005

2) Mikawa S, Sato S, Nii M, Morozumi T, Yoshioka G, Imaeda N, Yamaguchi T, Hayashi T, Awata T. BMC Genet. Jan 14;12(1):5 2011

3) Li HD, Lund MS, Christensen OF, GregersenVR, Henckel P, Bendixen C. J Anim Sci. 88:2904-2912. 2010

4) Dekkers JC, J Anim Sci. 85(9):2104-2114. 2007

5) Nii, M, Hayashi T, Mikawa S, Tani F, Niki A, Mori N, and Awata T J. Anim. Sci. 83:308-315. 2005

6) Nii M, Hayashi T, Tani F, Niki A, Mori N, Awata T and Mikawa S Animal Genetics.37. 342-347. 2006

7) 新居雅宏・林武司・美川智. 動物遺伝育種研究. 34(2): 23-31. 2006

8) 新居雅宏・谷史雄・仁木明人. 徳島県肉畜試験報 27. 29-42. 1999

9) 新居雅宏・谷史雄・仁木明人. 徳島畜研報. 1. 48-53. 2001

10) 新居雅宏・谷史雄・森直樹. 徳島畜研報. 2. 38-48. 2002

11) 新居雅宏・谷史雄・森直樹. 徳島畜研報. 3. 67-. 2003

12) 新居雅宏. 柏岡静. 森直樹 徳島畜研報 4. 27-31. 2004

13) 新居雅宏. 柏岡静. 森直樹 徳島畜研報 5. 18-34. 2005

14) 新居雅宏. 柏岡静. 森直樹 徳島畜研報 6. 28-37. 2006

15) 新居雅宏. 谷 史雄. 森直樹 徳島畜研報 8. 19-24. 2008

16) 新居雅宏. 山口智美. 浅野順司. 徳島畜研報 9. 29-34. 2010

17) Taniguchi M, Hayashi T, Nii M, YamaguchiT, Fujishima-Kanaya N, Awata T, Mikawa SJ. Anim Sci. 88:23-31. 2010

18) Taniguchi M, Hayashi T, Nii M, YamaguchiT, Fujishima-Kanaya N, Awata T, Mikawa S Meat Sci. 86(3). 728-32. 2010

表1. BCおよびBCF1の繁殖成績

世代	分娩腹	ATN ^{*)}	ALN ^{*)}	A4N ^{*)}	育成率 ⁺⁾	生時体重	4週体重
BC2	4	11.25	10.75	8.75	81.40	1.20	5.80
BC2F1	4	8.75	8.50	8.25	97.06	1.07	5.70
BC3	8	8.25	7.00	5.25	76.36	1.15	6.44
BC3F1	5	7.20	7.00	6.20	88.57	1.15	5.16
BC4	15	11.00	10.73	9.33	86.96	1.31	6.73
BC4F1	21	8.91	8.05	6.90	85.80	1.19	5.74
W ^{\$)}	20	11.00	10.00	9.15	91.50	1.31	6.78

*) ATN:1腹平均総産子数, ALN:1腹平均生産子数, A4N:1腹平均4週齢頭数
+) 離乳頭数/生産子数x100(%) \$)1~3産までの大ヨークシャー種の子孫

表2. DNAマーカー型と総産子数

SW1353(SSC6)	SW1945(SSC15)		平均
	JWB/W	JWB/JWB	
W/W	9.00(3)	3.00(1)	7.50(4)
JWB/W	9.88(10)	9.65(8)	9.78(18)
JWB/JWB	8.00(7)	7.60(5)	7.83(12)
平均	9.09(20)	8.44(14)	8.82(34)

表3. 各世代の産肉成績

形質	BC2F1			BC2F2			BC3F1			BC3F2			BC4F1			BC4F2					
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
出荷日数	34	2106	15.99	18	219.3	12.59	51	2142	23.91	69	212.5	12.33	159	209.3	12.73	32	208.1	6.64	363	211.1	14.83
出荷前体重(kg)	34	108.1	7.08	18	106.0	9.33	51	110.6	7.16	69	108.4	7.62	159	111.0	7.77	32	109.7	9.00	363	109.8	7.88
ADG(g)	34	564.9	56.39	18	536.2	40.12	51	573.1	64.53	69	562.9	55.32	159	578.1	58.86	32	578	55.74	363	571.2	58.29
背腰長Ⅱ(cm)	34	69.26 ^A	2.90	18	69.00 ^B	1.82	51	69.84	2.03	69	69.14 ^C	2.55	159	71.07 ^{BD}	2.45	32	71.19 ^P	1.96	363	70.27	2.54
肩脂肪(cm)	34	4.06	0.43	18	4.49 ^{Aa}	0.56	51	4.27 ^C	0.56	69	4.30 ^C	0.67	159	3.84 ^{BD}	0.52	32	3.95 ^b	0.41	363	4.05	0.58
背脂肪(cm)	34	2.35 ^A	0.68	18	1.99	0.35	51	2.25 ^{Ca}	0.42	69	2.16 ^C	0.40	159	1.98 ^{Bb}	0.41	32	1.79 ^{BDi}	0.37	363	2.07	0.46
腰脂肪(cm)	34	3.28	0.48	18	2.97	0.46	51	3.35 ^{Aa}	0.55	69	3.10	0.56	159	3.03 ^B	0.50	32	2.86 ^B	0.54	363	3.09	0.53
ランジル脂肪(cm)	34	2.59 ^A	0.63	18	2.26	0.44	51	2.50 ^A	0.57	69	2.23	0.56	159	2.26 ^a	0.56	32	1.89 ^{Bb}	0.47	363	2.29	0.58
椎骨数	34	20.88	0.69	18	20.61 ^{Aa}	0.61	51	21.06	0.65	69	20.84 ^{Aa}	0.68	159	21.26 ^B	0.58	32	21.28 ^b	0.46	363	21.09	0.64
ロース断面積(cm ²)	34	18.49 ^{Aa}	2.62	18	17.79 ^{Aa}	2.44	51	20.24	3.21	69	20.00	3.04	159	20.46 ^B	2.69	32	21.57 ^B	2.43	363	20.12	2.91

表4. DNAマーカー型と形質 (SSC15:57cM)

マーカー型 世代	W/W			W/JWB			JWB/JWB			n	平均	標準偏差
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
BC2F1	10	576.7	73.23	13	565.0	53.40	11	554.1	44.40	34	564.9	56.40
BC2F2	4	524.4	59.81	2	589.4	55.80	12	531.2	25.20	18	536.2	40.10
BC3F1	6	605.1	28.61	27	576.9	57.00	18	556.7	79.80	51	573.1	64.50
BC3F2	2	551.5	52.07	18	593.0 ^a	47.60	49	552.3 ^b	54.90	69	562.9	55.30
BC4F1	45	592.1 ^a	67.45	85	578.2	57.60	29	556.4 ^b	40.40	159	578.1	58.90
BC4F2				6	609.0	72.50	26	571.3	50.20	32	578.4	55.70
	67	585.7 ^A	66.09	151	580.0 ^A	56.40	145	555.5 ^B	52.90	363	571.20	58.30

表5. 各世代の肉質成績

形質	BC2F1			BC2F2			BC3F1			BC3F2			BC4F1			BC4F2					
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
pH	24	5.58 ^B	0.07	18	5.68 ^{Aa}	0.13	51	5.60 ^B	0.08	69	5.60 ^B	0.07	85	5.57 ^B	0.06	32	5.59	0.07	363	5.59	0.08
加圧保水性(%)	34	78.39 ^B	4.22	18	84.16 ^A	6.85	51	78.21 ^B	3.87	69	76.42 ^B	4.06	159	76.32 ^B	4.39	32	75.92 ^B	3.96	363	77.15	4.69
遠心保水性(%)	34	66.38	4.85	18	65.88	5.30	51	67.52	4.55	69	65.90	4.98	159	66.88	4.42	32	64.38	4.51	363	66.47	4.68
伸展率	34	26.69	2.47	18	26.66 ^a	4.58	51	25.87	3.07	69	24.12 ^b	2.94	159	25.31	3.11	32	25.16	3.54	363	25.35	3.22
水分率(%)	34	74.07	0.85	18	74.08	0.93	51	74.45	0.87	69	74.56	0.83	159	74.53	0.74	32	74.41	0.56	363	74.45	0.80
加熱損失率(%)	34	27.92	2.49	18	27.39	2.21	51	27.92	2.23	69	27.83	2.23	159	27.84	1.94	32	27.54	1.69	363	27.81	2.08
圧搾肉汁率(%)	34	41.80	2.11	18	41.90	1.83	51	38.86	11.77	69	42.85	2.74	159	43.01	2.06	32	43.32	1.65	363	42.26	5.00
剪断力(kg)	34	4.07	1.21	18	4.97	1.94	51	4.26	0.91	69	4.08	1.02	159	4.08	1.06	32	3.91	1.06	363	4.13	1.12
ヘマチン含量(mg/100g)	34	4.22	0.70	18	4.41	0.90	51	4.16	0.84	69	4.37 ^a	0.82	159	3.99 ^{ab}	0.55	32	4.51 ^B	0.55	363	4.17	0.71
PCS	34	4.88 ^a	0.80	18	5.00 ^a	0.73	51	4.34	0.81	69	4.74 ^a	0.79	159	4.34 ^{ac}	0.73	32	4.89 ^d	0.69	363	4.55	0.79
シマリ	34	1.34	0.80	18	1.11	0.47	51	1.58	0.81	69	1.37	1.05	159	1.41	0.94	32	1.38	0.87	363	1.40	0.91
Minolta L*値	34	48.86	2.90	18	47.14 ^c	3.40	51	49.26	3.39	69	49.15	3.22	159	50.07 ^b	3.31	32	48.79	3.05	363	49.41	3.31
Minolta a*値	34	8.51	1.34	18	8.41	1.67	51	8.42	1.71	69	8.88 ^a	1.54	159	8.25 ^b	1.42	32	9.34	1.09	363	8.52	1.50
Minolta b*値	34	2.23	0.90	18	1.85 ^a	0.98	51	2.67	0.93	69	2.41	0.92	159	2.67 ^b	0.92	32	2.39	0.73	363	2.51	0.92
Minolta L*値(1時間後)	34	48.47	3.19	18	46.51 ^{Aa}	2.42	51	49.68 ^b	3.30	69	48.95	3.50	159	49.91 ^B	3.27	32	49.07	2.62	363	49.31	3.31
Minolta a*値(1時間後)	34	10.80	1.59	18	10.31	1.88	51	10.73	2.29	69	11.16	1.95	159	10.44 ^A	1.61	32	11.92 ^B	1.62	363	10.78	1.84
Minolta b*値(1時間後)	34	7.01	1.27	18	6.24 ^c	1.27	51	7.36	1.66	69	7.23	1.55	159	7.30	1.29	32	7.83 ^b	1.20	363	7.26	1.41
加熱加塩遠心保水性(%)	24	75.37	4.60	18	79.22 ^{Aa}	7.15	28	72.10 ^b	7.29	55	74.32	6.81	57	71.61 ^B	7.36	32	73.16	7.13	214	73.66	7.14
全糖(g/100g)	28	1.02	0.49				34	0.80 ^A	0.45	48	0.88 ^A	0.36	157	0.90 ^A	0.42	32	1.32 ^B	0.27	299	0.94	0.43
融点(外層)	34	36.48	3.97	18	34.33	4.84	51	36.99	3.38	61	35.94	3.37	158	35.23 ^a	4.89	32	38.01 ^b	2.34	353	35.93	4.25
融点(内層)	34	42.64 ^{Aa}	2.91	18	38.78 ^b	4.50	51	41.54	2.98	61	40.75	2.69	158	39.89 ^B	4.31	32	41.97	2.30	353	40.67	3.73
融点(腹腔内)	34	47.05 ^c	2.11	18	44.20 ^b	3.78	51	46.75 ^a	1.97	61	46.47	2.45	158	45.76	2.74	32	46.41	2.45	353	46.14	2.64
C16:0(外層)	28	25.28 ^A	1.73	6	24.97	0.49	49	23.50 ^B	1.14	61	23.25 ^B	1.03	158	23.34 ^B	1.27	32	23.79 ^B	1.08	333	23.57	1.34
C18:0(外層)	32	15.36 ^A	2.45	6	15.35	1.57	49	14.64 ^A	1.71	61	14.19	2.03	158	13.49 ^{Ab}	2.26	32	14.57	1.21	333	14.08	2.15
C18:1(外層)	32	41.77 ^A	3.16	6	42.00	1.72	49	43.19	2.85	61	42.40 ^A	2.55	158	44.30 ^{Bc}	2.11	32	41.95 ^D	1.41	333	43.30	2.55
総飽和脂肪酸(外層)	32	42.29 ^{Aa}	3.93	6	42.03	2.02	49	39.68 ^b	2.51	61	39.06 ^B	2.57	158	38.39 ^B	3.29	32	39.97	1.97	333	39.24	3.19
C16:0(内層)	32	26.83 ^A	1.40	6	26.33	0.96	49	25.21 ^B	1.20	61	24.75 ^B	1.17	158	24.68 ^B	1.35	32	24.92 ^B	1.08	333	24.99	1.40
C18:0(内層)	32	18.95 ^A	2.70	6	19.96	0.87	49	18.64 ^A	1.90	61	18.50 ^A	2.02	158	17.17 ^B	2.20	32	18.02	1.36	333	17.92	2.21
C18:1(内層)	32	40.54 ^a	3.06	6	40.33	1.36	49	40.68 ^A	3.01	61	40.52 ^A	2.53	158	42.43 ^{Bb}	2.16	32	40.93	1.58	333	41.47	2.55
総飽和脂肪酸(内層)	32	47.31 ^{Aa}	3.70	6	47.84	1.65	49	45.29 ^c	2.74	61	44.74 ^{Bc}	2.46	158	43.27 ^{Bd}	3.16	32	44.38 ^b	2.13	333	44.37	3.17
C16:0(腹腔内)	32	27.99 ^A	1.18	6	26.95	1.16	49	27.16	1.45	61	26.56 ^{Ba}	1.15	158	26.58 ^{Bc}	1.33	32	27.50 ^{bd}	1.26	333	26.86	1.36
C18:0(腹腔内)	32	22.83	2.60	6	25.14 ^c	1.73	49	23.21 ^A	2.85	61	23.68 ^A	2.44	158	21.38 ^{Bb}	2.24	32	22.81 ^{bd}	1.69	333	22.42	2.56
C18:1(腹腔内)	32	36.22	2.62	6	36.21	1.69	49	35.61 ^A	4.33	61	35.60 ^A	2.94	158	37.97 ^B	2.29	32	36.44	2.21	333	36.84	3.00
総飽和脂肪酸(腹腔内)	32	52.46 ^A	3.35	6	53.58	1.61	49	51.90 ^A	3.70	61	51.78 ^A	2.98	158	49.50 ^B	2.99	32	51.89 ^A	2.49	333	50.83	3.30

表6. 各世代におけるDNAマーカー型とMinolta a*値の相関解析(SSC6:21cM)

マーカー型 世代	W/W			W/JWB			JWB/JWB			n	平均	標準偏差
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
BC2F1	14	8.57	1.57	16	8.37	0.94	4	8.84	2.09	34	8.51	1.34
BC2F2	4	7.05 ^a	0.28	9	8.15	1.42	5	9.99 ^b	1.64	18	8.41	1.67
BC3F1	11	8.46	1.55	31	8.33	1.84	9	8.65	1.60	51	8.42	1.71
BC3F2	8	8.42	1.12	22	8.34	1.24	39	9.29	1.66	69	8.88	1.54
BC4F1	68	7.84 ^{Aa}	1.04	73	8.45 ^b	1.52	18	9.00 ^B	1.85	159	8.25	1.42
BC4F2	9	8.45 ^a	1.02	13	9.56 ^b	0.97	10	9.86 ^b	0.86	32	9.34	1.09
	114	8.05 ^{Aa}	1.19	164	8.48 ^{Ab}	1.48	85	9.25 ^B	1.64	363	8.52	1.50

表7. 各世代におけるDNAマーカー型とヘマチン含量の相関解析(SSC6:21cM)

マーカー型 世代	W/W			W/JWB			JWB/JWB			n	平均	標準偏差
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
BC2F1	14	4.35	0.67	16	4.08	0.66	4	4.28	1.02	34	4.22	0.70
BC2F2	4	3.91	0.43	9	4.43	1.10	5	4.77	0.69	18	4.41	0.90
BC3F1	11	4.10	0.79	31	4.14	0.91	9	4.29	0.74	51	4.16	0.84
BC3F2	8	3.90	1.05	22	4.17	0.57	39	4.58	0.85	69	4.37	0.82
BC4F1	68	3.79 ^A	0.47	73	4.11 ^B	0.54	18	4.28 ^B	0.59	159	3.99	0.55
BC4F2	9	4.12 ^a	0.41	13	4.62	0.45	10	4.73 ^b	0.63	32	4.51	0.55
	114	3.93 ^A	0.60	164	4.18 ^B	0.68	85	4.50 ^c	0.76	363	4.17	0.71

表9. 各世代におけるDNAマーカー型とpHの相関解析(SSC15:57cM)

マーカー型 世代	W/W			W/JWB			JWB/JWB			n	平均	標準偏差
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
BC2F1	7	5.55	0.03	8	5.61	0.10	9	5.57	0.05	24	5.58	0.07
BC2F2	4	5.70	0.11	2	5.61	0.07	12	5.69	0.15	18	5.68	0.13
BC3F1	4	5.58	0.07	14	5.59	0.06	10	5.62	0.10	28	5.60	0.08
BC3F2	2	5.55	0.01	18	5.57	0.06	38	5.61	0.08	58	5.60	0.07
BC4F1	26	5.56	0.07	43	5.56	0.05	16	5.61	0.07	85	5.57	0.06
BC4F2				6	5.60	0.05	26	5.59	0.08	32	5.59	0.07
	43	5.57 ^a	0.08	91	5.57 ^A	0.06	111	5.61 ^{Bb}	0.09	245	5.59	0.08

表8. 各世代におけるDNAマーカー型とMinolta b*値の相関解析(SSC15:57cM)

マーカー型 世代	W/W			W/JWB			JWB/JWB			n	平均	標準偏差
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
BC2F1	10	2.63	0.95	13	1.96	0.82	11	2.19	0.88	34	2.23	0.90
BC2F2	4	1.55	0.94	2	2.42	0.25	12	1.86	1.07	18	1.85	0.98
BC3F1	6	2.83	0.81	27	2.34 ^a	0.95	18	3.12 ^b	0.77	51	2.67	0.93
BC3F2	2	2.47	0.14	18	2.59	1.10	49	2.34	0.86	69	2.41	0.92
BC4F1	45	2.88	1.13	85	2.59	0.79	29	2.55	0.87	159	2.67	0.92
BC4F2				6	2.56	0.98	26	2.36	0.68	32	2.39	0.73
	67	2.74	1.08	151	2.49	0.88	145	2.43	0.89	363	2.51	0.92

表9. 各世代におけるDNAマーカー型と加熱加塩遠心保水性の相関解析(SSC15:57cM)

マーカー型 世代	W/W			W/JWB			JWB/JWB			n	平均	標準偏差
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
BC2F1	7	75.37	4.11	8	77.39	5.01	9	73.57	4.32	24	75.37	4.60
BC2F2	4	76.45	10.04	2	80.85	6.82	12	79.87	6.60	18	79.22	7.15
BC3F1	4	67.81	9.88	14	74.16	5.20	10	70.92	8.46	28	72.10	7.29
BC3F2	2	70.83	1.13	18	73.29	6.16	35	75.05	7.27	55	74.32	6.81
BC4F1	16	70.22	7.39	29	70.43	7.31	12	76.29	5.90	57	71.61	7.36
BC4F2				6	75.72	3.46	26	72.57	7.66	32	73.16	7.13
	33	71.81	7.50	77	73.18	6.59	104	74.61	7.34	214	73.66	7.14

表10. 各世代におけるDNAマーカー型と全糖含量(g/100g)の相関解析(SSC15:57cM)

マーカー型 世代	W/W			W/JWB			JWB/JWB			n	平均	標準偏差
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
BC2F1	10	1.13	0.53	10	0.85	0.48	8	1.10	0.44	28	1.02	0.49
BC2F2												
BC3F1	5	1.19	0.61	19	0.70	0.39	10	0.79	0.40	34	0.80	0.45
BC3F2	2	1.30	0.19	9	1.12 ^a	0.27	37	0.79 ^b	0.35	48	0.88	0.36
BC4F1	44	0.93	0.40	84	0.91	0.44	29	0.81	0.38	157	0.90	0.42
BC4F2				6	1.48	0.22	26	1.29	0.28	32	1.32	0.27
	61	1.00	0.44	128	0.91	0.45	110	0.94	0.41	299	0.94	0.43

表11. 各世代におけるDNAマーカー型とオレイン酸(背脂肪内層)の相関解析(SSC15:42cM)

マーカー型 世代	W/W			W/JWB			JWB/JWB			n	平均	標準偏差
	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差	n	平均	標準偏差			
BC2F1	10	40.02	2.59	14	41.21	3.48	3	39.58	3.34	27	40.54	3.06
BC2F2				2	39.53	0.49	4	40.73	1.53	6	40.33	1.36
BC3F1	12	42.05	3.06	28	40.39	2.90	9	39.74	2.97	49	40.68	3.01
BC3F2				17	41.02	2.73	44	40.71	2.45	61	40.52	2.53
BC4F1	48	42.70	2.00	87	42.44	2.13	23	42.01	2.55	158	42.43	2.16
BC4F2				6	41.55	1.07	26	40.79	1.66	32	40.93	1.58
	70	42.20 ^A	2.44	154	41.72 ^a	2.58	109	40.89 ^{Bb}	2.39	333	41.47	2.55