

豚肉の品質評価方法に関する研究

新居雅宏・飯塚 悟・杓谷洋一・才力慎也

要 約

豚肉の簡易的な品質評価法の確立を目的に肉の理化学検査と簡易肉質検査結果との関連性について検討した。その結果、理化学検査におけるドリップロスと簡易肉質検査によるろ紙吸着水分重 ($r=0.73$) に、また、筋肉内粗脂肪量と水分率及びマーブリングスコア間に高い相関が認められた ($r=-0.84$ 及び 0.75)。これらの結果を受け、簡易肉質検査の頭数を増やして簡易肉質検査間の関連性を検討した。その結果、ろ紙ドリップ重とポータブル分光光度計による 700nm 波長との間に $r=0.76$ の高い相関がみられた。また、官能評価である肉のしまりとの間に $r=0.85$ の高い相関がみられた。

一方、背脂肪内層の脂肪融点及び脂肪酸組成についてポータブル分光光度計による計測値との関連性を解析した。その結果、脂肪融点、C16:0、C18:1 に $r=0.5$ 程度の有意な相関が認められたが実用化するには更なる検討が必要である。

以上のことから、ろ紙吸着水分重、官能評価の肉のしまり、マーブリングスコア及びポータブル分光光度計は、豚肉質の非破壊的な評価法として有効であることが示唆された。

目 的

近年の養豚経営は、飼料価格の継続的な高止まり、輸入豚肉との競合等により経営を圧迫しており、厳しい状況にある中、更なる国際化の動きも加速している。このような状況に対応するため、肉質に特化した新しい銘柄豚を作出し、銘柄豚肉を基点とした国際競争力のある経営体の育成が重要である。本県では、猪の持つ肉質特徴を継承した「阿波とん豚」のブランド確立に取り組んでいる。また、6 次産業化による経営体質の強化を進めている農家もあり、高いレベルでの肉質のばらつきの低減、肉質を追求した育種改良、飼養管理方法の実践が要求されている。

従来、肉質検査は、肉の一部を採材し、研究室に持ち帰り、肉色、硬さ、保水性等物性の測定、遊離アミノ酸、脂肪酸組成等の成分分析を専用の分析機器を用いて行っている。精度の高い結果が得られる反面、時間と労力を要するとともに、肉の採材が必要である。従って、安全かつ非破壊的な測定が条件となる豚肉の品質検査、多頭数の調査豚より親兄弟の能力を推計する育種改良における能力評価には不向きである。

一方、近年非破壊的な検査に関して光学的な手

法を用いた技術の蓄積がみられる¹⁾。本研究では、肉質の中でも特に豚肉で問題となっている PSE 肉に代表される肉のしまり、ドリップ量及び食肉における美味しさとの関連性が示唆されている²⁾脂肪中のオレイン酸割合について、短時間で非破壊的評価が可能となる計測方法の開発について検討する。

材料及び方法

1) 試験期間

平成 27 年 4 月～平成 31 年 1 月に当研究課で飼育した調査豚のうち 2096 頭について、枝肉検査及び簡易肉質検査を実施するとともにそのうち 388 頭については、詳細な理化学検査を実施した。

2) 調査豚の品種及び飼養条件

当研究課で飼育している肥育豚をトラックで約 30 分かけて徳島市内の食肉センターに搬送しと畜し、以下の項目を検査した。

調査豚の品種は、当研究課で飼養している阿波とん豚の途中世代系統、大ヨークシャー、ランドレース、デュロック、WL 及び WLD を供試した。品種別の調査数を表 1 に示す。調査豚は、自由飲水、市販配合飼料を飽食給餌、出荷前 24 時間は絶食し

た。

表 1 調査豚の品種別頭数

	雌	去勢	雄	合計
阿波とん豚系統	472(172)	413(193)	27	912(365)
デュロック	47	39	7	93
ランドレース	52	45	8	105
大ヨークシャー	323(4)	487(16)	4	814(20)
WL	34	86(3)		120(3)
WLD	26	26		52
合計	954(176)	1095(212)	45	2096(388)

()内は、理化学検査を実施した頭数

3) 肉の簡易肉質検査及び理化学検査

冷蔵庫で 1 日冷蔵した枝肉について、第 4-5 胸椎間の胸最長筋を視覚により PCS(Pork Color Standard)、しまり、マーブリングスコア (NPPC marbling standards を基準)³⁾、ポータブル分光光度計 CM600d(KONICA MINOLTA JAPAN, INC.) による肉色の計測及びろ紙を用いたドリップ重量を Kauffman⁴⁾ の方法に準じて測定した。すなわち、4-5 胸椎間で切開して約 10 分後に胸最長筋にろ紙(東洋濾紙, No5A, 55mm)を 5 分間貼り付け、前後のろ紙重からろ紙吸着水分量を計測した。また、しまりについては、肉表面の水分量、乾きの程度、形状の保持性からしまりの良い肉(0)から悪い肉(4)の 5 段階で評価した。

これらの簡易肉質検査を実施後、388 頭については第 4-5 間胸椎より後方に 5cm を採材し、研究室にて各理化学検査を実施した(表 2)。

肉の理化学検査は、既報⁵⁾のとおりである。また、屠畜放血時の血液をラクテート・プロTM2 LT-1730(アークレイ株式会社)を用いて血中乳酸値を測定した。

4) 脂肪の理化学検査

背脂肪内層部の中心部より脂肪を切り出し上昇融点法により、融点の測定を行った。また、同様の部位の脂肪について NaOH メタノールによるケン化、三フッ化ホウ素メタノール水溶液によるエステル化後、脂肪酸をヘキサン層に移行させ、その 1 μ L をガスクロマトグラフィー(島津製作所 GC-2014)に注入した。標準脂肪酸とのリテンションタイムの比較により脂肪酸を同定し、合計した脂肪酸に対する各脂肪酸の割合を百分率により示した。

5) 統計処理

相関係数及び有意性の検討は、市販のソフト StatView (HULINKS[®])により算出した。

結果及び考察

1) 肉の理化学検査

理化学検査の各測定項目の基本統計量を表 2 に

示した。また、各項目の相関係数を表 5 に示した。

項目	n	Ave.	SE.
ろ紙吸着水分重(mg)	388	213.65	5.00
PCS	388	4.57	388.00
マーブリングスコア	388	2.86	1.05
しまり	388	1.38	0.73
Minolta L* (30min)	328	55.29	0.22
Minolta a* (30min)	328	8.87	0.11
Minolta b* (30min)	328	14.00	0.08
Minolta 700nm (30min)	328	40.68	0.33
pH	388	5.63	0.11
加圧保水性(%)	388	76.52	5.13
水分率(%)	388	71.93	1.65
加熱損失(%)	338	29.12	1.51
剪断力価(kg/cm ²)	335	2.50	0.78
ヘマチン(mg/100g)	388	3.82	0.69
ドリップロス(%)	388	3.54	1.71
加熱加塩遠心保水性(%)	388	72.26	8.29
全糖(%)	323	0.88	0.41
筋肉内粗脂肪量(%)	376	6.67	2.63
Tenderness(N/m ²)	242	6367571	145846
Pliability	242	1.37	0.01
Toughness(J/m ²)	242	1726097	46181
Brittleness	242	1.44	0.01

表 2 理化学検査(肉)の基本統計量

ろ紙吸着水分重とドリップロス、マーブリングスコアと筋肉内粗脂肪量、Minolta a*とヘマチン量、剪断力価と Tenderness 及び Toughness 等に 0.7 を超える高い正の相関、水分率とマーブリングスコア及び筋肉内粗脂肪量に-0.7 以下の高い負の相関が認められた(表 5)。

サンプリングを要しないろ紙吸着水分重とサンプリング後のドリップロス間には、 $r=0.73$ の高い正の相関があり、ろ紙吸着水分重は保水性の指標として有用であることが明らかになった(図 1)。Kauffman⁴⁾が 10~15 分間、ろ紙に吸着させたのに対し、本研究では 5 分間の吸着時間であったが理化学検査のドリップロスと高い相関係数が得られた。このことは、より短期間の計測時間で保水性の指標となることが明らかになり、作業の簡素化につながる。その一方で、用いたろ紙の最大吸着量は 400 mg 程度であり、重度にドリップの出る PSE 肉ではろ紙の水分が早い段階で飽和状態に達し、正確なドリップ量の測定は困難である。ドリップ量の多い個体を正確に測定するためには、より吸着性の高いろ紙の使用が必要である。しかしながら、軽度の PSE 肉までの判定は十分に可能である。

最長筋面積とろ紙吸着水分重及びドリップロスにはそれぞれ $r=0.43$ 及び $r=0.31$ の正の相関があった(データ未提示)。最長筋面積と保水性の関連性については複数の報告⁶⁾⁷⁾⁸⁾があり、今回も同様の傾向がみられた。その一方で、ドリップロスに比べろ紙吸着水分重の相関が高くなっており、このことについて Kauffman⁴⁾は、ろ紙の直径について 55mm より 45mm が物理的側面から、適している

としており、本研究においても直径 55 mm のろ紙では、最長筋からろ紙がはみ出す個体もあり、55 mm より小さな直径のろ紙の使用が最長筋面積の小さな個体の測定には望ましい。

枝肉の 4-5 胸椎間の最長筋の筋肉内脂肪を NPPC スコアを基準として視覚により判定したマーブリングスコアと理化学的に分析した筋肉内粗脂肪量との間に $r=0.68$ の高い相関が認められた(図 2)。筋肉内粗脂肪含量の非破壊的かつ客観的な評価手法については、牛肉において安価なスキャナを用いた手法が報告⁹⁾されているが、淡い肉色の豚肉については可視光域のもとでの評価は困難と考えられ、簡易的な手法としては、官能評価が現時点では最適な手法と考えられる。

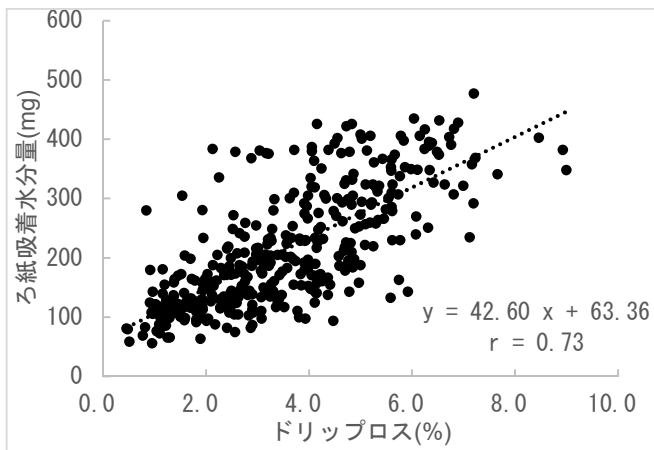


図 1 ドロップロスとろ紙吸着水分重の関連性

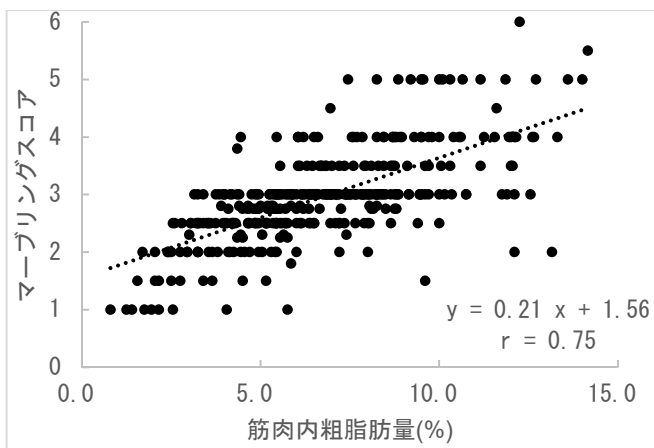


図 2 筋肉内粗脂肪量とマーブリングスコアの関連性

2) 簡易肉質検査

肉の理化学検査と簡易肉質検査であるろ紙吸着水分重及びマーブリングスコアの高い相関関係を受け、簡易肉質検査の例数を増やし、更に肉色との相関について検討した。簡易肉質検査の基本統計量を表 3 に示した。

簡易肉質検査における項目間の相関係数を表 6 に示した。ろ紙吸着水分重としまり、Minolta L*(30min)、Minolta 700nm (30min) に高い相関が認められた ($r=0.85$, $r=0.70$, $r=0.76$)。肉のしま

りは、著者が視覚により判断した値で、高いほどドリップが多くしまりの悪い肉を示す。肉のドリップの滲出は、消費者の購入基準であるとともに物性に伴う美味しさに関わる重要な項目であり、肉眼により一定の判定基準になることが明らかになった。

ろ紙吸着水分重と Minolta L*(30min) 及び Minolta 700nm(30min) に高い相関が認められた ($r=0.67$, $r=0.73$) (表 6, 図 3)。本研究で使用したポータブル分光光度計 CM600d は、360nm~740nm の範囲で 10nm の幅で吸光度を測定可能な機器である。肉を測定したところ、全サンプルともに 360~400nm 及び 700~740nm について同じ結果であったこと、また、ドリップロスとは 700~740nm と最も相関係数が高かったことから、700nm の数値を用いた (400nm: $r=0.27$, 500nm: $r=0.46$, 600nm: $r=0.50$, 700nm: $r=0.54$)。一方、ヘマチン量との相関係数では、400nm 付近が最も高く ($r=-0.51$)、700nm 付近が最も低かった ($r=-0.13$)。

表 3 簡易肉質検査の基本統計量

項目	n	Ave.	S.E.
出荷体重(kg)	2085	113.8	0.21
PCS	2074	3.88	0.02
しまり	2074	1.92	0.02
マーブリングスコア	2074	2.43	0.02
ロース断面積(cm ²)	2052	21.64	0.09
ろ紙吸着水分重(mg)	2078	221.4	2.47
Minolta L*	1867	55.57	0.11
Minolta a*	1867	6.35	0.05
Minolta b*	1867	11.24	0.04
Minolta 700nm	1867	41.30	0.18
Minolta L* (30min)	1845	55.7	0.11
Minolta a* (30min)	1845	8.49	0.05
Minolta b* (30min)	1845	13.39	0.05
Minolta 700nm (30min)	1845	41.57	0.19

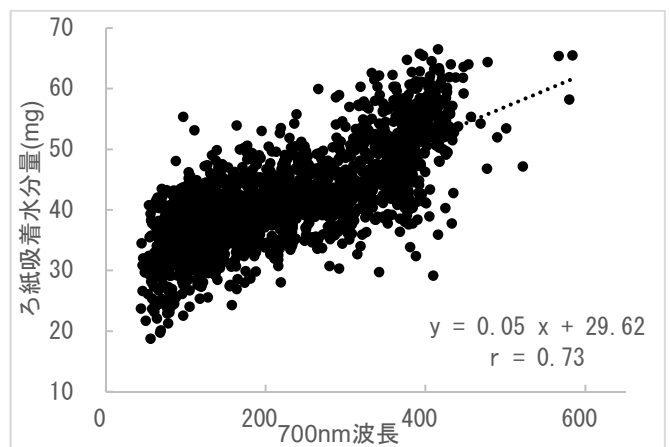


図 3 ろ紙吸着水分重と Minolta700nm(30min) の関連性

Minolta L* (30min) と Minolta 700nm(30min) には $r=0.92$ の非常に高い相関があるが、両者とろ紙

吸着水分重の相関係数は、0.6 程度 Minolta 700nm (30min) が高かった。一方、PCS との相関は、Minolta L*が相関係数で 0.1 ポイント程度高く、このことは L*がより肉の明るさに左右されることを示唆している。

DFD (Dark Firm Dry) 肉と分類される肉は、表面が乾いた暗い肉色であり、ドリップは著しく少なく、これらの肉は L*, b*ともに低い。それに対して PSE (Pale Soft Exudative) 肉は、淡白く、表面にドリップが滲出している。これらのことより、肉色とドリップに高い相関があることが示唆された。しかしながら、肉表面の肉色は淡くても保水性の高い個体がみられ、相関係数のバラツキの原因と考えられた。その中でも、L*よりも 700nm の相関が高いことから、700nm 付近の波長は単純に肉の明るさを示すだけでないことが示唆された。

また、ロースのカット直後と 30 分後では、わずかではあるが L*及び 700nm の係数が高い。これらのことより、肉のドリップ量の判定には、肉の発色後に 700nm の波長で測定することで一定の指標になることが示唆された。

一方、屠畜放血時の血液について、ヒト用のポータブル乳酸計を用いて測定した血中乳酸濃度とろ紙吸着水分重間に弱いながら有意な正の相関 ($r=0.28$) がみられた。このことは、屠畜前の輸送、屠畜時の追い込み等により、豚がいわゆる運動したことにより、血中乳酸の増加、筋肉においてはグリコーゲンを消費し、筋肉中に乳酸が蓄積による pH の低下が生じていることが推察された。

4) 分光光度計による脂肪の品質評価

背脂肪内層の脂肪融点及び脂肪酸組成の基本統計量を表 4 に示した。また、それら値とポータブル分光光度計の結果の関連性について解析した (表 7)。その結果、オレイン酸割合と 700nm 波長とに中程度の相関がみられ ($r=-0.51$)、オレイン酸割合と負の関係にあった。Irie は、挿入型のプローブ装置を使い、本研究で用いたポータブル分光光度計でも測定可能は 660nm において総飽和脂肪酸量等と $r=0.9$ 程度の非常に高い相関を報告¹⁰⁾しており、普及のためには更なる改善が必要である。

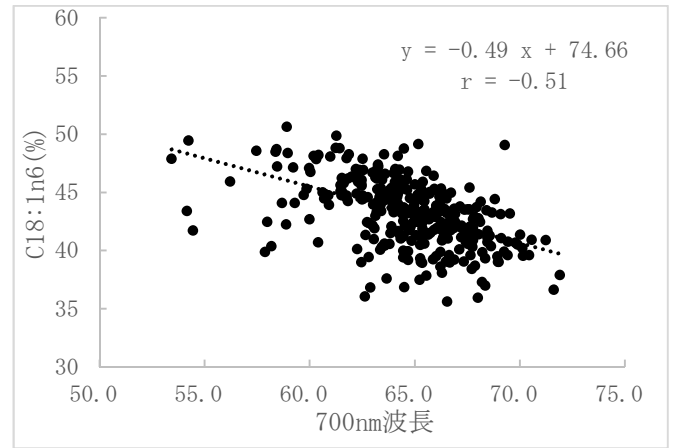


図 4 オレイン酸と 700nm 波長の関連性

文 献

- 1) 入江正和. 日豚会誌. 39(4). 221-254. 2002
- 2) Westerling, D. B., Hedrick, H. B. J. Anim. Sci. 48. 1343-1348. 1979.
- 3) NPPC (National Pork Producers Council). NPPC marbling standards. 1999
- 4) Kauffman, R. G. Meat Science. 18. 191-200. 1986
- 5) 新居雅宏, 山口智美, 浅野順司. 徳島畜研報. 9. 29-32. 2010
- 6) VanderVoort, G., Gibson, J. P. In Proceedings Ontario pork carcass appraisal project symposium symposium. 45-47. 1996
- 7) Moeller, S. J., Baas, T. J., Leeds, T. D. Emnett, R. S., Irvin, K. M. Meat Science. 81. 203-214. 2003
- 8) Otto, G., Roehe, R., Looft, H., Thoelking, L., Kalm, E. Meat Science. 68. 401-409. 2004
- 9) 新居康生, 岡久靖司, 林 和徳. 徳島畜研報. 3. 40-43. 2003
- 10) Irie, M. J. Anim. Sci. 77. 2680-2684. 1999

表 4 理化学検査(脂肪)の基本統計量

項目	n	Ave.	S. E.
融点 (°C)	388	38.99	0.16
C14:0	372	1.27	0.01
C16:0	372	27.88	0.08
C16:1	372	1.51	0.01
C18:0	372	18.01	0.10
C18:1	372	42.81	0.15
C18:2	372	8.10	0.06
T-S*)	372	47.15	0.16

脂肪は、背脂肪内層を用いた。*)飽和脂肪酸の総割合

表 5 理化学検査及び簡易肉質検査測定値間の相関解析結果

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑
①ろ紙吸着水分重(mg)																					
②PCS	-0.40																				
③マーブリングスコア	-0.07	-0.10																			
④しまり	0.68	-0.54	-0.14																		
⑤Minolta L* (30min)	0.47	-0.67	0.31	0.52																	
⑥Minolta a* (30min)	0.20	0.28	-0.06	0.23	0.06																
⑦Minolta b* (30min)	0.45	-0.15	0.08	0.49	0.60	0.05															
⑧Minolta 700nm (30min)	0.56	-0.55	0.29	0.65	0.92	0.41	0.78														
⑨pH	-0.34	0.24	0.15	-0.43	-0.29	-0.15	-0.33	-0.35													
⑩加圧保水性(%)	-0.35	0.42	-0.12	-0.43	-0.49	0.03	-0.22	-0.50	0.17												
⑪水分率(%)	-0.11	0.22	-0.77	-0.11	-0.39	-0.10	-0.28	-0.44	0.13	0.15											
⑫加熱損失(%)	0.17	-0.10	-0.40	0.16	0.07	-0.04	0.01	0.05	-0.21	-0.26	0.49										
⑬剪断力価(kg/cm ²)	-0.17	0.20	-0.42	-0.11	-0.30	-0.01	-0.18	-0.32	-0.05	0.24	0.36	0.08									
⑭ヘマチン(mg/100g)	0.12	0.47	-0.17	0.03	-0.43	0.71	0.33	-0.12	-0.04	0.10	0.07	0.02	0.16								
⑮ドリップロス(%)	0.73	-0.41	-0.15	0.66	0.47	0.20	0.45	0.56	-0.43	-0.48	-0.04	0.38	-0.13	0.06							
⑯加熱加塩遠心保水性(%)	-0.45	0.33	0.07	-0.50	-0.33	-0.26	-0.47	-0.45	0.34	0.40	0.17	-0.23	-0.21	-0.19	-0.50						
⑰全糖(%)	0.23	-0.15	-0.28	0.33	0.12	0.11	0.24	0.17	-0.54	-0.05	0.07	0.17	0.03	0.09	0.38	-0.34					
⑱筋肉内粗脂肪量(%)	0.04	-0.22	0.75	0.07	0.40	0.04	0.21	0.42	0.01	-0.16	-0.84	-0.43	-0.39	-0.15	0.00	-0.07	-0.14				
⑲Tenderness(N/m ²)	-0.28	0.27	-0.42	-0.21	-0.43	-0.01	-0.26	-0.20	0.13	0.28	0.45	0.13	0.79	0.25	-0.26	-0.15	0.02	-0.47			
⑳Pliability	-0.44	0.27	-0.30	-0.37	-0.42	-0.11	-0.33	-0.16	0.34	0.17	0.50	0.16	0.52	0.11	-0.36	0.00	-0.18	-0.42	0.72		
㉑Toughness(J/m ²)	-0.25	0.27	-0.40	-0.19	-0.41	0.03	-0.22	-0.21	0.12	0.28	0.41	0.11	0.77	0.27	-0.26	-0.16	0.04	-0.43	0.98	0.65	
㉒Brittleness	0.39	-0.25	0.30	0.26	0.37	0.03	0.24	0.14	-0.30	-0.11	-0.40	-0.12	-0.57	-0.17	0.30	0.13	0.12	0.35	-0.76	-0.82	-0.76

表 6 簡易肉質検査間の相関解析結果

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
①ろ紙吸着水分重(mg)												
②PCS	-0.55											
③しまり	0.85	-0.61										
④マーブリングスコア	-0.25	0.24	-0.33									
⑤ロース断面積(cm ²)	0.25	-0.03	0.12	0.08								
⑥Minolta L*	0.62	-0.68	0.60	-0.03	0.18							
⑦Minolta a*	0.39	-0.01	0.41	-0.20	-0.14	0.07						
⑧Minolta b*	0.64	-0.55	0.63	-0.15	0.13	0.75	0.53					
⑨Minolta 700nm	0.73	-0.61	0.71	-0.11	0.11	0.91	0.46	0.85				
⑩Minolta L* (30min)	0.67	-0.70	0.65	-0.01	0.17	0.93	0.11	0.71	0.87			
⑪Minolta a* (30min)	0.34	0.04	0.35	-0.14	-0.15	0.01	0.76	0.30	0.34	0.06		
⑫Minolta b* (30min)	0.62	-0.43	0.61	-0.15	0.04	0.54	0.48	0.67	0.69	0.60	0.72	
⑬Minolta 700nm (30min)	0.76	-0.61	0.74	-0.07	0.11	0.92	0.43	0.74	0.93	0.92	0.41	0.78

表 7 脂肪の理化学検査値と分光光度計の相関解析結果

	融点	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	T-S
Minolta L*	0.46	0.43	0.49	0.09	0.37	-0.45	-0.18	0.39
Minolta a*	-0.10	-0.02	-0.20	-0.05	-0.09	0.12	0.14	-0.03
Minolta b*	0.12	0.03	0.07	-0.01	0.11	-0.27	0.37	0.11
Minolta 400nm	0.30	0.31	0.33	0.09	0.21	-0.23	-0.25	0.20
Minolta 500nm	0.46	0.43	0.48	0.08	0.37	-0.44	-0.20	0.44
Minolta 600nm	0.49	0.44	0.50	0.08	0.40	-0.50	-0.14	0.46
Minolta 700nm	0.50	0.40	0.46	0.08	0.38	-0.51	-0.04	0.46