

画像解析によるロース芯断面内脂肪割合の正確な算出法の開発

口田圭吾・栗原晃子・鈴木三義・三好俊三

**Development of an Accurate Method for Measuring
Fat Percentage on Rib-Eye Area by Computer
Image Analysis**

Keigo KUCHIDA, Teruko KURIHARA,
Mitsuyoshi SUZUKI and Shunzo MIYOSHI

日本畜産学会報 第68巻 第9号 別刷

1997 (平9) 年9月

Reprinted from

Animal Science and Technology, Vol. 68, No. 9

September 1997

画像解析によるロース芯断面内脂肪割合の正確な算出法の開発

口田圭吾・栗原晃子・鈴木三義・三好俊三

帯広畜産大学, 帯広市 080

(1997. 1. 13 受付)

要 約 ロース芯断面内の脂肪割合を画像解析により客観的に測定する方法について検討した。脂肪交雑の2値化は、粒子ごとに閾値を決定する多重閾値法により行った。使用した入力機器はデジタルビデオカメラ、デジタル静止画キャプチャーボードおよびカラーイメージスキャナーである。これらの装置を使うことにより、フルカラー(255³色)の画像をコンピュータに取り込むことが可能となる。測定対象は畜試式牛標準脂肪交雑(BMS)の標準模型および黒毛和種去勢牛5頭のロース芯断面の写真である。ロース芯断面の写真は、カラーイメージスキャナーで、ビデオイメージはデジタル静止画キャプチャーボードでそれぞれコンピュータに取り込んだ。Visual C++で作成したプログラムで脂肪交雑粒子と赤肉部分とを多重閾値法により2値化し、その面積比から脂肪割合を算出した。画像解析による算出値と比較するための基準となる脂肪割合は、BMSをデジタルコピー機で、黒毛和種去勢牛のロース芯断面の写真をカラーレーザープリンターでそれぞれ拡大出力し、ロース芯と脂肪交雑の紙片の重量を測定することで算出した。多重閾値を基にした画像解析により算出した脂肪割合と、重量比により算出したそれとの差はBMS No. 2, No. 4, No. 7, No. 10 および No. 12 でそれぞれ0.2%, 0.5%, 2.1%, 0.6% および4.6% 以内であった。また、脂肪割合の範囲が13.6~24.4%であった黒毛和種去勢牛の画像解析による脂肪割合と重量比によるそれとの差は2% 以内であった。画像解析に用いる画像の解像度の影響は、低解像度において脂肪割合を低く算出する傾向が認められた。本研究で開発した方法を用いることで、ロース芯断面内脂肪割合の客観的で精度の高い計測が可能となった。

日畜会報, 68 (9) : 853-859, 1997

枝肉格付における脂肪交雑評点を決定しているロース芯断面内脂肪割合は、和牛の改良においてもっとも重要視される形質の一つである。したがって、育種改良を進めていく上で、それを客観的かつ正確に評価する手法の開発が望まれる。

これまで、口田ら^{4,5)}は画像解析によるロース芯断面に占める脂肪交雑の面積比(以下、脂肪割合とする)の算出法を提案した。しかし、使用した入力機器(CCDカメラ等)からのアナログ信号を、コンピュータで扱えるデジタル信号へ変換する際に画質の劣化が生じるため、ロース芯内部の複雑な形状をした脂肪交雑を正確に筋肉と分離する、すなわち2値化することが困難であった。近年の情報処理機器の進展により、高解像度のデジタル画像を劣化させずに直接コンピュータに取り込むことが可能となり、正確な画像解析を行う環境が整いつつある。

ロース芯断面内を単一の閾値で2値化する際に、照明むらやカメラの光電面感度むらなどは、脂肪割合算出の際の誤差の原因となる。その誤差を解消するために、ロース芯断面を小領域に分割し、それぞれの領域について閾値を算出する適応2値化処理が提案²⁾され、Kuchida *et al.*⁵⁾の手法の中で用いられている。しかしながら、適応2値化処理を行ったとしても、ロース芯の境界は認識可能であるが、脂肪交雑粒子の正確な2値化は困難であった。なぜなら、一般に粒子の大きい脂肪交雑は明るく、小さなそれは暗い傾向にあり、適応2値化処理の同一処理領域に大きさの異なる、すなわち、明るさの異なる脂肪交雑粒子が存在した場合、どちらかの粒子を過大評価あるいは過小評価する可能性がある。

これまで、画像解析によるロース芯断面内脂肪割合の算出に関する研究が複数の研究者によりなされているが^{1,3-5,7,10)}、その測定精度について論じた報告は少ない。

そこで、本研究では、脂肪交雑粒子ごとに閾値を決定し、多重閾値を基にした2値化により、ロース芯断面内脂肪割合を算出する方法を開発することと、得られた値の算出誤差について検討することを目的とした。

材料および方法

今回用いた画像解析のための機器類は、デジタルビデオカメラ (SONY : DCR-VX 1000), デジタル静止画キャプチャーボード (SONY : DVBK-1000), カラーイメージスキャナ (EPSON : GT-8500) およびパーソナルコンピュータ (Pentium 133 MHz+32 MB RAM) である。これらの装置を使うことにより、フルカラー (255³色) の画像をコンピュータに取り込むことが可能となる。画像解析用のプログラムは32ビットアプリケーション開発言語である Visual C++ (Microsoft) により Windows NT 上で動作可能なものを作成した。

測定対象として畜試式牛標準脂肪交雑 (BMS) の No. 2 (脂肪交雑評点: 0+), No. 4 (1), No. 7 (2), No. 10 (3) および No. 12 (5) の標準模型ならびに北海道立新得畜産試験場で実施している北海道優良黒毛和種育成改良事業で用いられた去勢肥育牛5頭の枝肉断面の写真を供試した。

BMS および黒毛和種去勢牛それぞれのロース芯断面内脂肪割合を算出するために、まず、BMS をデジタルコピー機 (FUJI XEROX : ABLE 1321) の写真モードで3倍に拡大コピーし、ロース芯とそれを囲む脂肪の境界部分で切り取り、ロース芯の紙片の重量を最小目盛り 0.1 mg の電子天秤で測定した。つぎに、ロース芯内の脂肪交雑をその境界部分で切り取り計量した。脂肪交雑の紙片重量をロース芯の紙片重量で除し、それぞれの標準模型の脂肪割合とした。この作業を2回繰り返して行った。同様の処理を黒毛和種去勢牛についても実施した。その際、生肉を直接コピーすることができなかったため、プリントされたカラー写真をイメージスキャナーを用いて取り込み、その画像をカラーレーザープリンター (Canon : LBP-2030 PS) により出力したものについて作業を行った。これを重量比による手法とする。

撮影時に照明などの角度ならびに距離に制約があると、汎用性が損なわれる。そこでBMSの撮影では、暗室内で20 Wのハロゲンランプを光源とするビデオ用ライト (SONY : HVL-20 DW) を用いた。ライトはBMSの表面で反射しないよう約1 mの距離から斜めの任意の角度で照射された。BMSのほぼ垂直方向よりロース芯が画面全体になるようデジタルビデオカメラを用い撮影を実施した。このビデオカメラを用いた場合のコン

ピュータに取り込まれる画像の解像度は640×480画素である。撮影はそれぞれのBMSに対して3回実施した。

黒毛和種去勢牛の撮影は、第6～第7肋骨間を切開した枝肉断面に対して、格付時にロース芯の垂直方向より一眼レフカメラ (フィルム感度: ISO 100) を用い実施した。撮影時の照明としてストロボを用いたが、ロース芯の表面で反射しないよう留意した。なお、黒毛和種去勢牛の撮影において一眼レフカメラを用いたが、ストロボ光の反射に留意すれば、測定精度上の問題はないと考えられる。撮影した写真をL版にプリントし、カラーイメージスキャナーを用いコンピュータに取り込んだ。画像のサイズは、約600×560画素である。BMSの縦横比との相違は、ロース芯の形状の相違によるものであるが、画像のサイズはほぼ同程度 (双方とも約1 MB) である。

取り扱う画像の解像度が高ければ測定精度が向上すると考えられる。今回用いたデジタルビデオカメラの最大取り込み画素は640×480画素であり、これより高解像度の画像を取り込むことができない。そこで、一眼レフカメラを用いて撮影したBMSならびに黒毛和種去勢牛のロース芯断面の写真を、カラーイメージスキャナーで取り込み、それに対する画像解析も同時に行った。取り込んだ画像の解像度は、120 DPI, 300 DPI および 480 DPI の3段階であり、それぞれの解像度における画像のサイズはBMSでそれぞれ約280×200画素、約670×480画素および約1100×770画素であり、黒毛和種去勢牛でそれぞれ約300×280画素、約600×560画素および約900×840画素である。

画像解析手法 I

脂肪割合を算出するにあたり、カラー画像を白と黒の2値画像に変換する必要がある。この2値化の処理は、脂肪割合を正確に算出するためにもっとも重要な作業である⁹⁾。2値化を自動的に行う手法として、判別分析法⁸⁾が多く使われているが、ロース芯全体を一つの閾値で2値化した場合、照明などの影響により領域によって過大評価あるいは過小評価する可能性がある。その誤差を解消するために、ロース芯を機械的に小領域に分割し、それぞれの領域ごとの閾値を基に2値化する適応2値化処理²⁾が提案されている。しかしながら、脂肪交雑粒子の輝度は、粒子の大きさなどにより異なり、領域分割では十分正確な2値化が不可能な場合がある。そこで、本研究では脂肪交雑粒子ごとに閾値を定め、それにより2値化を行うことで、2値化による誤差をより少なくすることを試みた。

画像解析による脂肪割合の算出

脂肪交雑ごとに閾値を算出する方法として、画面上に入力したフルカラー画像を表示したまま、指定した脂肪交雑について閾値を1ずつ変化させて2値化し、その輪郭を描画した。描画した輪郭線とフルカラー画像の輪郭線がもっとも一致した時の閾値を、その脂肪交雑粒子の閾値とした。この際、輪郭線の一致の程度の確認は、肉眼により行った。この作業をすべての脂肪交雑粒子について行い、ロース芯断面内の脂肪割合を算出した。なお、本研究で用いたシステムでは、1画素について赤 (R) 成分、緑 (G) 成分および青 (B) 成分それぞれが0から255までの輝度情報を持つ。今回の撮影条件において、これらの3成分の中でもっともばらつきが大きい、すなわち、2値化にふさわしい成分はG成分であったため、2値化はG成分を用いて行った。

なお、画像上のノイズを除去する目的で、面積が0.01 cm²未満の微小な粒子は分析から除外した。その際、黒毛和種去勢牛の場合、格付時に計測されたロース芯面積をもとに脂肪交雑粒子の面積を算出した。BMSのロース芯面積は黒毛和種去勢牛との比較を単純にするために50 cm²と仮定した。

画像解析手法Ⅱ

画像解析手法Ⅰを簡略化するため、それぞれの脂肪交雑粒子について判別分析法により閾値を決定した。すなわち、脂肪交雑粒子を指定し、その粒子を完全に含むが、他の脂肪交雑を含まない小領域について判別分析法により閾値を決定し、2値化を実施した。これにより、脂肪交雑粒子ごとに閾値を算出する方法を自動的に行うことが可能となる。プログラムの手順は以下の通りである。① 全画面のG成分を用いて適応2値化処理により閾値を決定し、ロース芯を抽出する。② さらにロース芯断面のG成分を用いて適応2値化処理を実施する。これにより脂肪交雑粒子がおおまかに2値化される。③ 脂肪交雑粒子のそれぞれについてそれを完全に囲む領域を決定し、その領域について判別分析法により2値化する。付近の

脂肪交雑粒子がその領域に含まれた場合には、そこを除外して2値化する。これらの処理は、すべて自動的に行うことができるため、画像解析手法Ⅰに比較し、大幅な省力化が期待される。

結果および考察

3倍に拡大コピーしたBMSのロース芯部分と脂肪交雑部分の紙片重量により算出した脂肪割合、画像解析手法Ⅰにより算出した脂肪割合を表1に示した。重量比による方法で用いたコピーの出力が鮮明であったことより、2回の試行の間に大きな差が認められなかった。そこで、それらの平均をそれぞれのBMSのロース芯断面内脂肪割合の基準値とした。画像解析手法Ⅰにより算出した脂肪割合と基準値との差は、BMS No. 12で4.6%以内と大きかった。しかしながら、No. 2, No. 4, No. 7およびNo. 10でそれぞれ0.2%, 0.5%, 2.1%, 0.6%以内であり、基準値との差が相対的に小さかった。

カラーレーザープリンターで出力した黒毛和種去勢牛のロース芯部分と脂肪交雑部分の紙片重量により算出した脂肪割合、画像解析手法Ⅰにより算出した脂肪割合を表2に示した。黒毛和種去勢牛の場合も、重量比による方法の2回の試行の間に大きな差が認められなかったことから、それらの平均をそれぞれのロース芯断面内脂肪割合の基準値とした。黒毛和種去勢牛における画像解析手法Ⅰにより算出した脂肪割合と基準値との差は、脂肪割合が比較的高い個体(牛番号5, 基準値24.4%)で0~1.5%であり、BMSにおける誤差と同程度であり、画像解析による本方法が正確であることが示された。

図1にBMS No. 4におけるそれぞれの脂肪交雑粒子の閾値(G成分)を例示した。それぞれの脂肪交雑粒子の閾値は、画像解析手法Ⅰにより描画した輪郭線とフルカラー画像の輪郭線がもっとも一致した時の閾値である。閾値の幅は、40~59であり、単一閾値による2値化では正確な値が算出されないことを示している。また、

Table 1. Fat percentage in rib-eye area of each beef marbling standard (BMS) by weight ratio method and image analysis method

BMS No.	Weight ratio method			Image analysis method			
	Trial 1	Trial 2	Average	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average
2	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.7%	2.7%	2.6%
4	10.2	10.1	10.1	10.6	10.2	9.7	10.2
7	24.9	23.8	24.3	23.6	23.3	22.2	23.0
10	32.2	33.6	32.9	33.4	33.5	33.3	33.4
12	49.2	48.7	48.9	45.3	44.3	47.7	45.8

Table 2. Fat percentage in rib-eye area of Japanese Black steers by weight ratio method and image analysis method

Cattle No.	Weight ratio method			Image analysis method			
	Trial 1	Trial 2	Average	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average
1	13.1%	14.1%	13.6%	15.4%	14.0%	14.3%	14.6%
2	13.0	14.8	13.9	13.5	13.5	14.6	13.9
3	17.7	18.0	17.8	16.9	17.3	17.7	17.3
4	18.2	19.7	19.0	19.1	18.5	17.0	18.2
5	25.0	23.8	24.4	25.7	24.4	25.9	25.3

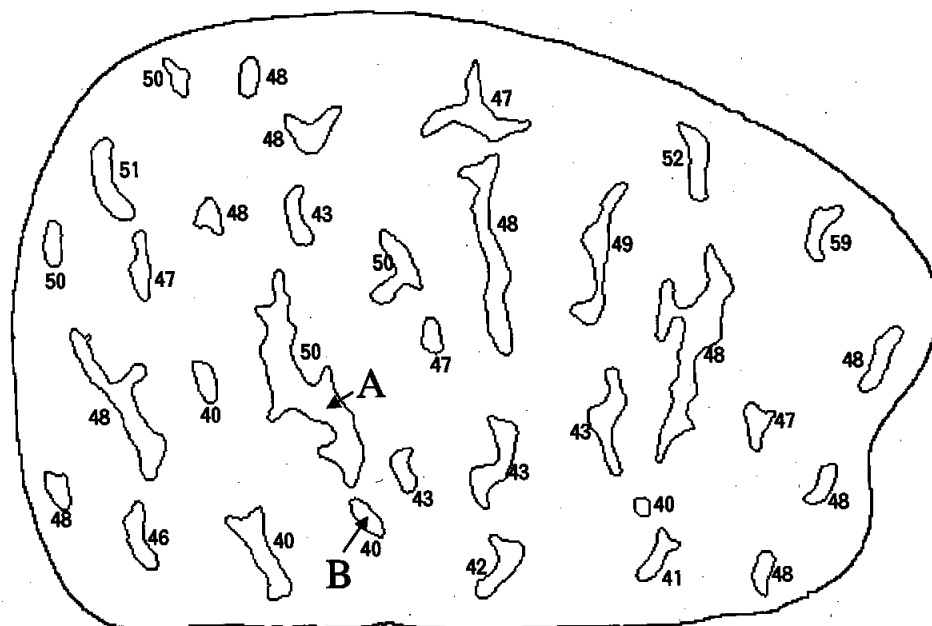


Fig. 1. Threshold value (G-component) of each marbling for BMS No. 4.

脂肪交雑粒子 A (閾値: 50) と B (閾値: 40) は隣接しているにもかかわらず、閾値が大きく異なり、小領域に分割し、閾値を算出する適応 2 値化処理による脂肪割合算出も困難であることを示唆している。

画像解析手法 I における作業時間は、脂肪交雑粒子の数に比例して増加し、BMS No. 2 では 1 分以内で完了するが、No. 12 では 20 分程度を要する。そこで、作業手順の省力化を図る画像解析手法 II による脂肪割合を BMS に対して適用した結果を表 3 に示した。この方法は適応 2 値化処理と異なり、脂肪交雑粒子それぞれの小領域について判別分析法により 2 値化を行うため、図 1 における脂肪交雑粒子 A と B のような場合にも、適正な 2 値化が可能である。しかも、自動的に閾値を算出す

るため、脂肪割合を簡略に算出することができる。画像解析手法 II で算出した脂肪割合は、重量比および画像解析手法 I によるそれに比較すると低い傾向 ($P < 0.01$) にあったが、その差は BMS No. 2~No. 10 までは大きくなかった。

画像解析手法 II による脂肪割合を黒毛和種去勢牛に適用した結果を表 4 に示した。BMS の結果と同様、重量比および画像解析手法 I による脂肪割合と比較すると画像解析手法 II のそれは低い傾向にあった ($P < 0.01$)。また、脂肪割合が同程度である牛番号 3 (17.8%) と牛番号 4 (19.0%) とを比較すると、牛番号 4 の基準値と画像解析手法 II による脂肪割合との差が大きいことが認められる。このことは、画像解析手法 II の精度が、脂肪交雑粒

画像解析による脂肪割合の算出

Table 3. Fat percentage in rib-eye area of each beef marbling standard (BMS) by discriminant analysis method

BMS No.	Standard value ^a	Discriminant analysis method			
		Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average
2	2.5%	2.4%	2.3%	2.4%	2.4%
4	10.1	9.6	9.1	9.2	9.3
7	24.3	22.5	20.9	21.2	21.5
10	32.9	31.1	30.7	30.3	30.7
12	48.9	41.8	39.1	44.3	41.7

^a: Mean of two trail values be weight ratio method.

Table 4. Fat percentage in rib-eye area of Japanese Black steers by discriminant analysis method

Cattle No.	Standard value ^a	Discriminant analysis method			
		Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average
1	13.6%	12.2%	12.5%	11.7%	12.1%
2	13.9	12.2	13.2	12.7	12.7
3	17.8	15.7	14.9	15.6	15.4
4	19.0	15.3	14.2	12.4	13.9
5	24.4	23.0	24.1	21.1	22.7

^a: Mean of two trail values by weight ratio method.

Table 5. Fat percentage in rib-eye area of each beef marbling standard (BMS) by image analysis method for three resolutions

BMS No.	Standard value ^a	120 DPI ^b	300 DPI ^b	480 DPI ^b
2	2.5%	2.6%	2.6%	2.7%
4	10.1	10.8	10.5	11.0
7	24.3	21.4	22.4	22.7
10	32.9	34.8	34.8	36.5
12	48.9	41.0	49.3	47.7

^a: Mean of two trail values by weight ratio method.

^b: Mean of three trial values by image analysis method.

Table 6. Fat percentage in rib-eye area of Japanese Black steers by image analysis method for three resolutions

Cattle No.	Standard value ^a	120 DPI ^b	300 DPI ^b	480 DPI ^b
1	13.6%	12.8%	14.7%	15.8%
2	13.9	13.1	13.5	14.8
3	17.8	16.2	17.9	18.3
4	19.0	14.6	18.8	17.1
5	24.4	23.6	25.0	26.4

^a: Mean of two trail values by weight ratio method.

^b: Mean of three trial values by image analysis method.

子の形状や大きさなどによる影響を受けることを示唆している。

画像解析手法Ⅱにより2値化した画像に対して、肉眼で2値化の程度をチェックし、過小評価している脂肪交雑粒子のみ閾値を修正することで、簡便かつ正確に脂肪割合が算出可能となる。本研究で行った一連の作業を市販の汎用画像解析ソフトウェアで行うことは困難であ

り、正確な脂肪割合算出のためには、専用に開発されたソフトウェアを使用する必要がある。

解像度を120 DPI, 300 DPI および 480 DPI の3段階に変化させ、画像解析手法Ⅰにより算出したBMSおよび黒毛和種去勢牛の脂肪割合をそれぞれ表5および表6に示した。BMSではNo.12において低解像度の画像から算出した脂肪割合が、他の解像度のそれに比較し低かっ

たが、その他の標準模型では解像度の影響が認められなかった。黒毛和種去勢牛では牛番号4において低解像度の画像から算出した脂肪割合が、他の解像度のそれに比較し低かった。この原因として、画像解析手法Ⅱの結果と同様に、脂肪交雑粒子の形状や大きさが影響していることが示唆された。

近赤外分光光度計では粗脂肪含量だけでなく水分やタンパク質などの理化学的項目を非破壊的に推定可能であり、測定精度も高いことが報告⁶⁾されている。すなわちこの装置を用いることにより、脂肪交雑評点と強く関連する筋肉中の脂肪含量の測定が可能となる。しかしながら、非線形処理が容易である画像解析を用いることで、脂肪交雑粒子の大きさや形状などが数値化可能であることが報告されている⁹⁾。したがって、画像解析による肉質評価法は、近赤外分光光度計で測定できない脂肪交雑の度合い（大ザシ、小ザシ）などを客観的に判定する手段としてふさわしいものと考えられる。

今回開発した脂肪交雑粒子ごとの多重閾値による2値化を実施することにより、脂肪割合が極端に高い個体を除き、正確に脂肪割合を算出することが可能となった。本研究において開発したアプリケーションソフトウェアは、今回論じた脂肪割合の他に、脂肪交雑粒子それぞれの面積、形状、重心ならびに長径等の算出が可能である。肉用牛の育種改良や各種の肥育試験における肉質の判定において、画像解析による手法を適用し、脂肪割合だけでなく脂肪交雑粒子の面積や形状なども含めた調査を行うことで、望ましい肉質がどのようなものであるかについて客観的な検討が可能になると考えられる。

文 献

- 1) Hoshino T. An evaluation of fat content via image analysis of carcass of three different beef steer breeds. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 59 : 152-160. 1988.
- 2) 河田 聡・南 茂夫. 科学計測のための画像データ処理 (パソコン/EWS 活用による画像計測&処理技術). 第1版. 95-118. CQ出版社. 東京. 1994.
- 3) 小西一之・撫 年浩・前田正志・内山美智子. 画像解析装置による牛ロース芯の粗脂肪含量の推定. *日畜会報*, 66 : 548-554. 1995.
- 4) 口田圭吾・八巻邦次・山岸敏宏・水間 豊. カラー画像解析装置を用いた牛ロース芯断面の脂肪割合の推定. *日畜東北支部会報*, 40 : 36-38. 1990.
- 5) Kuchida K, Yamaki K, Yamagishi T, Mizuma Y. Evaluation of meat quality in Japanese beef cattle by computer image analysis. *Anim. Sci. Technol. (Jpn.)*, 63 : 121-128. 1992.
- 6) Lanza E. Determination of moisture, protein, fat and calories in raw pork and beef by near infrared spectroscopy. *J. Food Sci.*, 48 : 471-474. 1983.
- 7) 中井博康. 食肉の理化学的特性による品質評価基準の確立. *農林水産技術会議事務局研究成果*, 193 : 106-122. 1987.
- 8) 大津展之. 判別および最小二乗基準に基づく自動閾値選定法. *電子通信学会論文誌*, J63-D : 349-356. 1980.
- 9) 斉藤泰一・山田博三. 判別閾値選定法の一改良. *情報処理学会論文誌*, 22 : 596-599. 1981.
- 10) 八巻邦次. カラー画像解析装置を用いた牛肉質評価の可能性の検証. 昭和63年度食肉に関する助成研究調査成果報告書, 7 : 275-280. 1989.

Development of an Accurate Method for Measuring Fat Percentage on Rib-Eye Area by Computer Image Analysis

Keigo KUCHIDA, Teruko KURIHARA,
Mitsuyoshi SUZUKI and Shunzo MIYOSHI

Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine,
Obihiro-shi 080

This paper presented a method of computer image analysis for measuring fat percentage on rib-eye area. The method was based on multiple threshold values which were determined for each marbling particle. A digital video camera, a digital still image capture board and a color image scanner were used to capture a full color image (255³ colors) into computer memory without image quality degradation. The measurement objects were a standard model of Beef Marbling Standard (BMS) and pictures on rib-eye area of 5 Japanese Black steers. The photograph and the video image of rib-eye area were taken into computer with the color image scanner and the digital still image capture board, respectively. Fat percentage was calculated from the area ratio of lean and fat which were determined by the computer program based on the method of multiple threshold values. The standard fat percentages were calculated basing on weight ratio of copy paper of rib-eye and marbling which were amplifiedly copied by digital copy machine for BMS and by color laser printer for Japanese Black steers. The range of threshold values for all marbling particles of BMS No. 4 was 40~59, indicating that it is impossible to thresholding by single threshold value. The differences between fat percentages by weight ratio and image analysis methods for BMS were within 0.2% for No. 2, 0.5% for No. 4, 2.1% for No. 7, 0.6% for No. 10 and 4.6% for No. 12. The differences between those for Japanese Black steers (range of fat percentage was 13.6~24.4%) were within 2%. The calculated fat percentage for low resolution of image tended to be lower than that for high resolution. The current method of computer image analysis gave an objective calculation of fat percentage in rib-eye.

Anim. Sci. Technol. (Jpn.) 68 (9) : 853-859, 1997

Key words : Image analysis, Beef marbling standard, Fat percentage