

光学的手法による食肉脂質評価装置の開発

—品質向上を目的とした産官学連携による肉質の客観的評価法—

肉質光学評価グループ

(宮崎大学農学部、(株)相馬光学、大阪府環境農林水産総合研究所)

(代表：入江 正和)

1 研究開発の背景と目的

(1) 研究開発の背景と経緯

肉質の向上は、国際競争のまっただ中にある、わが国畜産にとってきわめて重要な課題である。肉質の中でも特に脂肪の質（脂質）は、肉質等級や経済価値に関連する枝肉格付や、肉の保存性、人への健康、食味にかかわる大切な要因である。

流通市場や食肉店、肉料理店の評価においても脂肪の質は重要であるものの、従来から、現場段階では、脂質は外観や触感の評価—主にしまりとしての軟らかさなどの評価に留まっていた。また、その基準は漠然としており、正確に評価することは難しく、特に、と畜直後の温と体（枝肉）では検査員でも正確な評価はできなかった。そのため、より科学的、客観的な評価法の開発や基準の策定が求められていた。

なお、脂質の価値は一般的に脂肪酸組成に大きく依存している。飽和脂肪酸は健康に関連し、多すぎると良くなく、さらにロウのように硬くなり食感も低下する。また、多価不飽和脂肪酸の多い脂肪は酸化しやすく、保存性に影響するだけでなく、肉の風味にも影響する。さらに最近、注目されているのはオレイン酸などの一価不飽和脂肪酸である。一価不飽和脂肪酸は健康に良く、酸化しにくく、食べた時の舌触りに影響する。これは和牛やイベリコ豚で特徴的に多く、風味にも関連する可能性があるものとして注目されている。

そのため、従来から研究段階では、脂質は脂肪酸組成、融点などの理化学的評価法が多用されている。しかしながら、食肉市場など野外で実用的に評価する客観的な方法はなく、もし、果物の糖度における光センサー技術のように流通段階で迅速かつ非破壊的に評価できるならば、その値は消費者への選択基準やPRとなるだけでなく、データを生産現場へフィードバックすることにより、遺伝の影響や飼養管理の影響を検討し、改善に結びつけることができるため、実際の品質向上にも役立つことになる。

このような状況の中、産官学メンバーからなる本グループは、進展の著しい光工学的手法に着目し、脂質特性の基礎研究、光学装置の試作・改良を繰り返し、そして現場への実証試験という8年にわたる共同研究を経て、食肉ラインで脂質を迅速かつ安全に脂肪酸組成などとして評価できる、小型で安価な光学装置の開発に成功した。

(2) 研究開発の概要と成果

長年にわたる肉質の基礎研究の一環としてさまざまな肉質評価技術を検討してきたが、そのなかで、牛、豚においては現在流通している脂質の実態を把握し、和牛やLWD交雑豚などにおいてもその理化学的性状に幅広い分布があることを見出した(図1、図2)。さらに、脂肪酸組成や融点、屈折率、硬度やテクスチャー、色調(可視波長領域での分光分布)といった理化学的測定値相互の関連性などを明らかにし、脂質にかかわる物性や光学特性の基礎的知見を得た。

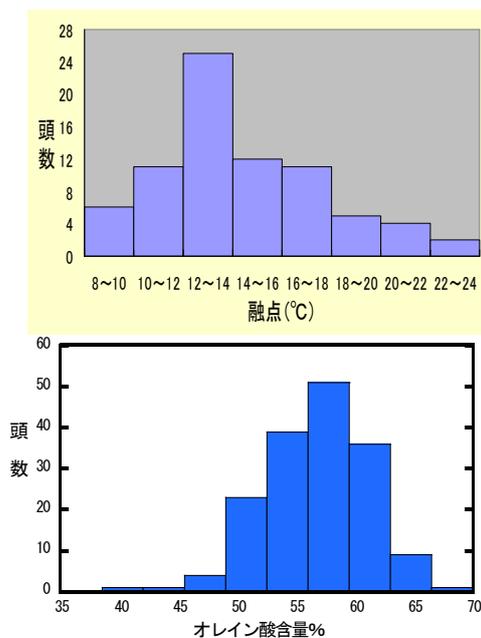


図1 牛脂肪における融点(背)と、オレイン酸含量(筋間)の分布 (融点低く、幅広い分布)

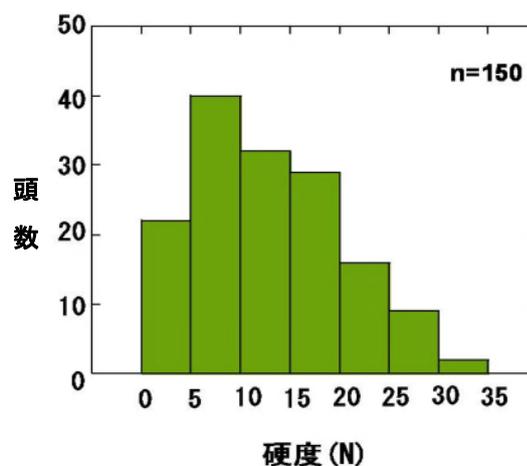


図2 豚(腎臓周囲)脂肪における硬度の分布 (物理的硬さとして最低と最高では30倍位の開き)

この基礎的知見を生かすため、当時、肉色評価やPSE豚肉の評価に用いられ始めていた最先端の可視光・光ファイバ法を、初めて豚や牛の脂肪に応用し、その脂質(融点、屈折率、硬度、飽和脂肪酸含量など)の評価適用性への可能性を見出した。

その原理は、出光用光ファイバを通じて、肉の内部に光を入れ、脂質特性が異なれば光の散乱、屈折、透過、反射等の光学現象も異なることを応用しており(図3)、その光情報を受光用光ファイバで受け、コンピュータで波長ごとの分光解析を行い、さらに数学的な統計解析処理(多変量解析)をして、迅速に推定するものである。

装置は、さらに安価で、迅速な携帯型のものとするために、可視光分光技術と種々の光ファイバ・プローブ(探子)を組み合わせたり、ソフトを改良したりして、ハードとソフト両面から、試作と改良を重ねた。その結果、挿入型プローブから完全非破壊となる接触式プローブへと変遷し、機器も小型化した。

さらに利便性と正確性を追求した結果、可視光の代わりに近赤外分光技術に行き着いた。測定部である光ファイバ・プローブの形状や配列、光学部のノイズの軽減やパーツの選択などに種々の工夫を凝らし、安価で迅速な携帯型光ファイバ装置を開発し、より精度を向上させ(図4)、実用化

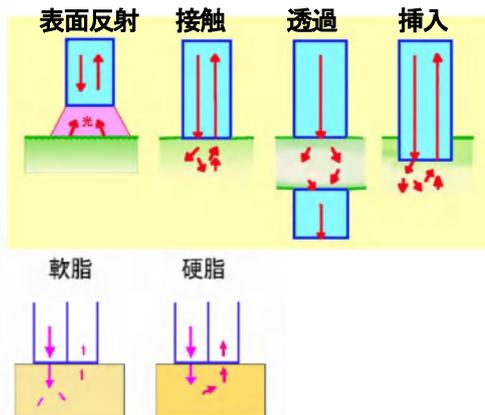


図3 光学測定の実理図
(上:種々の光ファイバプローブタイプ、下:光学現象)

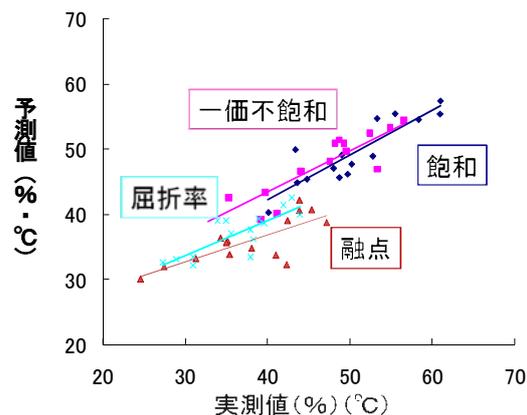


図4 牛脂肪の理化学的実測値と光学予測値のプロット
(概ね直線上に載っており、予測精度が良いことを示す)

に結びつけた。これらは従来の装置を単に小型化、低価格化したのではなく、光学最新技術を導入し、非破壊（枝肉で適用可能。脂肪面に接触させるだけで、アルコール消毒可能）、迅速簡易（スイッチを押すだけで、測定は瞬時、数秒後、モニター画面に脂肪酸組成値（オレイン酸、飽和脂肪酸、一価不飽和脂肪酸、多価不飽和脂肪酸）、融点などの予測値を自動表示し、バッテリー駆動（冷蔵庫内である程度長時間の利用が可能）という特性を有し、さらに最新の機種では畜種ごとの脂質専用プローブ（牛枝肉用、豚枝肉用）などの考案や、脂質評価のためのソフト部の改良（異常値の検出と再測定の指示）など肉質評価専用装置としての工夫を随所に施している（図5）。

最新式装置によれば、各地の県畜産試験場や全国規模の改良団体等が、複数の食肉市場で多数の和牛枝肉に対して適用し、次々とその精度と有効性を実証しつつある。さらに、豚の脂肪においても本法は有効であり、既に食肉販売の養豚生産者が導入している例や格付への導入も検討されている。また、エコフィードの普及によって軟脂が問題となるが、本法によって市場で正確に評価でき、データのフィードバックによって飼料の調整が可能となる。

このように、開発した装置による迅速な評価値は、肉質の一つの経済的指標として役立つのみでなく、消費者へつながる新たな情報としての価値を有し、さらに生産側へフィードバックすることにより、新たな育種指標や栄養管理の指標として実際の肉質向上にも役立つことになる。つまり、本装置の研究成果は、実際の品質向上に結びつくものであり、わが国畜産にとって大きな貢献が期待される。



図5 近赤外型脂質測定装置（左:牛用、中:豚用、右:表示部、いずれも 株相馬光学社製）

2 開発技術の普及と産業への貢献

(1) 研究開発成果の学術的評価

和牛の脂質はオレイン酸含量が高く、その結果、融点がきわめて低く、屈折率が客観的評価値となることを示した。また豚の脂肪が軟化する原因は飼料中のリノール酸量などに起因するが、リノール酸の蓄積自体が軟らかさの主要因となるのではなく、主に飽和脂肪酸が減少することによって軟らかくなることなどを示唆した。さらに、豚脂肪において触感、硬度、粘り等の物性と脂肪酸組成の関係などを明らかにした。

また、脂質と光学特性（分光分布）から、今まで脂肪の白とカロテン(牛)や過酸化脂質(豚)などの色素量によると単純に考えられていた脂肪の色について、組織脂肪は蓄積脂質の白さだけでなく、透明度や結合組織による紫外線蛍光の影響、さらには飼料由来色素だけでなく、遺存するグロビン類が化学的に変化し、色調に大きく影響することを明らかにし、発表論文は肉色に関する複数の国際誌の総説などで引用されている。

さらに、脂質の迅速評価装置は世界初であり、Nature 誌にも News として採り上げられたことから国際的にも注目されている。

(2) 開発技術の普及と畜産業への貢献

最新式の光ファイバ携帯型近赤外装置は、九州～関西～上信越～東北地域にわたる多くの県の食肉市場で多数の和牛枝肉に対してその精度が実証され、その有効性も実証されつつある。さらに牛枝肉への応用では肉用牛の関連団体や県畜産試験場などと数々の実証試験を行い、3年前には全国和牛共進会で試用され、次の共進会では肉質評価値として実用化が予定されている。

すでにさまざまな機関が導入しはじめており、枝肉段階での評価が検討されている(図6)。実用化としては、兵庫県が但馬牛に市場で応用しており、さらに長野県は信州牛の銘柄肉評価方法として市場へ導入し、脂質を採り入れた新たなブランドの作出に成功している。また、豚脂質評価に対しても有効な方法であることが分かっており、すでに食肉販売も行っている先進的な養豚生産者が導入している例もある。



図6 牛枝肉での測定(上)と
豚枝肉での測定(右)

3 今後の展望

和牛肉生産においては、脂肪交雑に偏重しすぎた結果、牛生体への負担、脂肪が多過ぎるなどの弊害が生じており、ほかの肉質形質への期待は大きく、脂肪の質はその一つとなりうるものである。その結果、有力生産県は軒並み脂肪の質を重視しはじめており、既に本装置を導入したり、導入予算を組みはじめたりしている状況にある。さらなる普及が進むであろう。

養豚では、エコフィードが普及、進展しており、その際、問題視される脂肪質が再度重視されるようになっている。また、牛肉の脂質同様、豚肉でも脂質は格付や保存性、見栄え、人の健康、食味に影響する要因でもあり、重要である。本装置は豚の脂質評価にも適している。さらに現在、(社)日本食肉格付協会が豚枝肉格付改正に関する事業として本装置が応用試験段階に入っており、将来、格付にまで導入される可能性さえある。

以上のように、脂質の迅速な評価値は、肉質の一つの経済的指標として役立つのみでなく、消費者へつながる新たな情報としての価値を有し、さらに生産へフィードバックすることにより、新たな育種指標や栄養管理の指標としても役立つものとなるであろう(図7)。

また、近赤外分野まで測定できる本装置に可視波長までの測定機能を追加できれば、その応用範囲は広く、肉色や脂肪色、あるいは脂肪含量といったさらなる肉質情報を付加できる可能性がある。またそれらは肉質のデジタル情報として保存でき、ネットワーク上でもやりとりできるなど、幅広い可能性を秘めている。

なお、本装置に関しては海外でも注目され、問い合わせが相次いでおり、国外での応用も期待される。

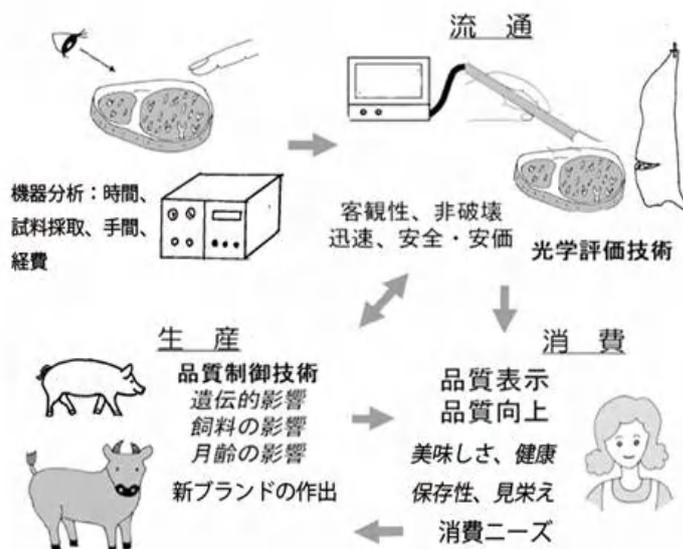


図7 光学的食肉脂質評価装置による肉質情報の応用

4 業績に関する資料

(1) 学術論文 (抜粋)

- 1) Irie, M., Swatland, H. J. (1992) Assessment of porcine fat quality by fiber-optic spectrophotometry. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 5: 753-756.
- 2) Irie, M., Swatland, H. J. (1992) Relationships between Japanese pork color standards and optical properties of pork before and after frozen storage. *Food Res. Int.*, 25: 21-30.
- 3) 入江正和. (1993) 【総説】光ファイバ法と食肉への応用 *日本食品工業学会誌*, 40: 747-754.
- 4) Irie, M. (1999) Evaluation of porcine fat with fiber-optic spectroscopy. *J. Anim. Sci.*, 77: 2680-2683.
- 5) Irie, M. (2001) Optical evaluation for factors affecting appearance of bovine fat. *Meat Sci.*, 57: 19-22.
- 6) 入江正和 (2002) 【総説】豚肉質の評価法. *日本養豚学会誌*, 39: 221-254.
- 7) Irie, M., Oka, A., Iwaki, F. (2003) Fiber-optic method for estimation of bovine fat quality. *J. Sci. Food Agric.*, 83: 483-486.
- 8) Nishioka, T., Irie, M. (2005) Evaluation method for firmness and stickiness of porcine perirenal fat. *Meat Science* 70: 399-404.
- 9) Nishioka, T., Irie, M. (2006) Fluctuation and criteria of porcine fat firmness. *Anim. Sci.*, 82: 929-935.
- 10) 入江正和. (2006) 【ミニレビュー】豚肉の品質と評価. *動物遺伝育種学研究* 34: 33-44.
- 11) 西岡輝美、石塚譲、安松谷恵子、入江正和. (2008) 市場および小売店における牛肉脂肪の嗜好性と理化学的特性の関連. *日本畜産学会報*, 79: 391-401.
- 12) 西岡輝美、石塚譲、安松谷恵子、久米新一、入江正和. (2008) 市場における黒毛和牛の枝肉単価に及ぼす格付項目および脂肪の理化学的特性の影響. *日本畜産学会報*, 79: 515-525.
- 13) 大倉力、朴善姫、西岡輝美、入江正和. (2009) 近赤外分光法による豚肉脂質評価装置の開発. *照明学会誌*, 93: 492-500. 他

(2) マスコミに採り上げられた記事 (抜粋)

- ・ *Nature* (2008) 451 [News] Meat meter measures marbled muscles. pp. 1039.
- ・ 日本経済新聞(2006.6.2)肉の脂肪、手軽に品質測定 装置当てるだけで OK 宮崎大など携帯装置開発
- ・ 日本経済新聞(2008.2.5)牛肉「おいしさ」測ります 但馬牛など評価向上へ
- ・ 宮崎日日新聞(2008.3.2) “味の基準”数値化 宮大教授ら装置開発 肥育農家に強い味方
- ・ 日刊工業新聞(2008.9.25)豚肉のうまみ 装置で評価 “格付け”判定向け
- ・ 日本経済新聞(2008.5.10)「格付け「見た目」で決まるけど脂の「量」より「質」が大事