食肉の色調現象の背景と特性化

泉 本 勝 利

帯広畜産大学, 帯広市稲田町 080

The Characterization and Background of Meat Color Appearance

Masatoshi IZUMIMOTO

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

I. は じ め に

畜肉は新鮮時にはあざやかな赤色であるが、経時的に鮮度の低下に伴ない褐色に変化する。その色調と色調変化は品質の信号として目安となり、消費者の選択性と深く関連する。食肉は生肉、凍肉、乾肉、腐肉、煮肉、焼肉に大別され、肉食文化は自然環境と資源環境に左右され、調理法、保存法は民族、地域によって異なる¹⁾。とくに、わが国では魚肉の肉食文化の歴史は深く、生肉のまま調理する習慣があり、魚と同様に畜肉に対しても色調や外観に敏感である。そこで、畜肉の色調は品質管理、評価において重要な項目となっている。

畜肉の色調はヘム色素が主要因であり、ヘム色素の含量と種々の誘導体は可視波長域で特有な吸収スペクトルを示し、これが反射率スペクトルに反映し、感覚量としての色調の多様化をもたらす。また、加熱を伴う加工肉などでは素地の光学的性質が変化する。さらに、光源の種類によっても色調は異なる。これら食肉の色調の多様化現象の特性が感覚量として系統的に整理され、全体像が明らかになれば、視感検査に代る客観的管理、評価、予測、科学的対策ならびに色調現象の解明に寄与すると考えられる。

II. 色調現象の背景と退色

食肉中の主要な色素は筋原線維内のミオグロビン(myoglobin: Mb)および残留血液の赤血球内のヘモグ

ロビン(hemoglobin: Hb)である。

Myoglobin は 1921 年、H. Günter によって命名された²⁾。Mb と Hb は共通してその活性中心にポルフィリンの鉄錯体であるヘム基をもつポリペプチドであり、ヘムタンパク質または色調を呈するのでヘム色素とよばれている。

筋肉中の Hb の大部分は、食肉処理工程の放血によって失われ、Mb がヘム色素の 80~90% になる³⁾。生体筋肉中で Mb は全鉄のわずか 10% であるが、食肉中では 95% 以上の鉄が Mb で占められる⁴⁾。Mb 含量は畜種や筋肉部位で異なる⁵⁾。Götze⁶⁾ は正常放血、緊急放血、死後放血について比較し、筋肉中の Mb 含量は変わらないが、総ヘム色素中の Mb は順に 74.3%, 60.7%, 39.6% であったと述べている。正常放血された食肉の色調は Mb が主要因となる。

1. ミオグロビン

生肉中のミオグロビン、Mb、には酸素型 (O_2Mb)、還元型 (RMb と記し、ミオグロビンの総称としての Mb と区別する)、メト型 (MMb、酸化型ともいう) の 3 種の誘導体が混在する。新鮮肉の内部は紫赤色の RMb で、切断面の RMb は空気中の酸素と結合して O_2Mb が増し、鮮赤色化 (blooming) が発現する。 O_2Mb は自動酸化により褐色の MMb に変化する。MMb の生成防止はよい色調に保つことになる。一般に、加工肉は一酸化窒素型 (NOMb) に誘導した塩漬肉を熱処理して製造される。

Mb, Hb には Soret 帯 (γ 帯) の鋭い吸収がある。Mb は O_2 Mb で 410 nm⁷², RMb で 430 nm⁷², MMb で 408 nm⁷², NOMb で 421 nm⁸³ に吸収ピークがある。 O_2 Mb⁹¹ および NOMb⁸³ の α , β ピークは順に 582, 544 nm, および 580, 546 nm であり, RMb⁹¹ は 555 nm の単一ピーク, MMb⁹¹ は 500 と 630 nm にピークがある。Mb の誘導体の分子吸収スペクトルは種々の家畜などについて報告されている^{8,10-17}。各誘導体の可視部で特有な吸収スペクトルは食肉の反射率スペクトルに反映し, 食肉色調の多様化をもたらす。これらの肉色調に関連する Mb の吸収スペクトルは畜種間で, そして Hb とともにほとんど一致⁹² しているので, 肉色調の多様化は総ヘム色素含量とその誘導体の存在割合が主要因となる。畜種による筋肉色調の差はヘム色素分子の相異に由来¹⁸³ するものではない。同一誘導体でも Mb 濃度によって色調は異なり, Mb 溶液の典型的な色調は 2 mg/ml (透過幅 1 cm) で観察される⁹³。

Mb は 1932 年, THEORELL²⁾ によって初めて馬筋肉から結晶化され, 鉄含量 0.345% で最小分子量約 1.6 万で超遠心法により分子量は約 3.5 万とされた。POLSON¹⁹² は超遠心法で 0.2 M NaCl を含む緩衝液中の Mb について, 約 1.7 万とした。これらの分子量の相異は Hb についても認められ²⁰⁾, 分子の重合解離平衡がイオン強度によって異なると考えられる。Mb は鯨²¹⁾, 馬^{2,9,14)}, 牛²²⁾, 魚類^{23,24)}, 馬の酸素型 Mb¹⁷⁾, ラクダ¹³⁾, 豚¹⁵⁾, 鶏²⁵⁾ など多くの種から結晶化され, その物理化学的諸定数が決定され, その分子量は約 1.8 万とされている。豚 Mb は純化が困難とされ, 吸収スペクトル²⁶⁾, アミノ酸組成²⁷⁾, 自動酸化速度²⁸⁾ などに大きな誤差が認められる。

1960 年, KEMDREW ら^{29,30)} はマッコウ鯨の大型結晶化に成功し, X線回析法によってタンパク質として初めて, その立体構造を明らかにし, 続いて PERUZ³¹⁾ によって Hb の立体構造が明らかにされ, それまでの間接的, 抽象的なタンパク質の構造に代る画期的な分子構造の証明として注目された。Mb は 1 個のヘムをもつ単量体で, 大きさは $45 \times 35 \times 25 \text{ \AA}$ であり³⁰⁾, 約 70% が α -ヘリックスで, きわめて密である²⁹⁾。Hb は Mb と類似したサブユニットの四量体である³²⁾。Mb と Hb の混在する食肉中のヘム色素含量は一般にヘム部分のヘマチンあるいは Mb 換算量として表示される。

Mb, Hb は酸素と親和性が高く, Mb の解離曲線は双曲線になるが, Hb ではシグモイド (S 字型) になる³³⁾。Hb はサブユニットの相互作用 (アロステリック効果) が認められ³⁴⁾, 低酸素分圧である筋肉において Hb から酸素を解離し, Mb は酸素と結合することができ, 生理

的に Hb は酸素運搬体, Mb は酸素貯蔵体として機能している。水 (20°C) には 3.1% の酸素が溶解する³⁵⁾ が, 同一重量の Mb にはその 40 倍の酸素が結合できる。

Mb は 153 個のアミノ酸からなり, 鯨³⁶⁾, 馬³⁷⁾, 牛³⁸⁾, 豚³⁹⁾, 羊⁴⁰⁾, 鶏⁴¹⁾, 兎⁴²⁾ などの家畜の他, 各種哺乳動物⁴³⁻⁵⁸⁾ のアミノ酸配列の相異が明らかにされている。アミノ酸組成の相異で Mb の等電点は異なり, 家禽 (7.99⁵⁹⁾, 7.90⁵⁹⁾, 7.70²⁶³⁾), 馬 (7.76⁶⁰⁾), 羊 (7.21²⁷⁾), 牛 (7.17⁶¹⁾, 7.16⁶²⁾, 7.05⁶³⁾), 豚 (6.82²⁷⁾, 6.49⁶⁴⁾) の順に高い値である。初期には, Mb の電気泳動度の異なる成分は遺伝多型であるとされていたが, HELM ら⁶⁵⁾ はアミノ酸組成に差がないことを明らかにし, 近年, この現象は脱アミノ化による^{68,66-68)} とされている。

2. ミオグロビンのヘム構造

ヘム鉄は一般に 2 価鉄 Fe^{2+} (還元型) あるいは 3 価鉄 Fe^{3+} (酸化型) であり, 6 個の配位座を持ち, 4 個はポルフィリンの N 原子と配位し, ポルフィリン面の上下の第 5, 第 6 配位座には種々の基または分子が配位して, ヘムは安定で対称性の高い正八面体構造である⁶⁹⁾。ヘムは自酸化能が高く酸素の存在で容易に酸化される^{34,69)}。Mb や Hb のヘム鉄の第 5 配位座にはポリペプチドの近位ヒスチジンが結合し, 第 6 配位座の近くには遠位ヒスチジンが位置し, ヘム環境は非極性のアミノ酸で構成され, この環境はヘムを酸化から保護し, 可逆的酸素結合を可能たらしめる要因と考えられている⁷⁰⁾。Mb や Hb が生理的機能をもつのは Fe^{2+} の状態であり³⁴⁾, Fe^{2+} のとき第 6 配位座には O_2 のみならず, 種々の配位子が結合 (結合後は Fe^{2+} とは限らない) できる。また, Fe^{3+} にも種々の配位子が結合し⁷⁰⁾, Mb や Hb には多くの誘導体が存在する。Mb や Hb のヘム鉄は酸化数とスピン状態により, Fe^{2+} , Fe^{3+} でおのおの低スピン (共有結合性) と高スピン (イオン結合性) の四種に大別される。スピン状態は第 6 配位子に依存し, 磁気測定, NMR, MCD, メスバウアー, ラマンスペクトルなどによって測定され³⁴⁾, Mb の各誘導体は以下の酸化数およびスピン状態にあるといわれる。Mb (Fe^{2+}): 還元型, Mb (Fe^{3+}) $\cdot H_2O$: メト型, Mb (Fe^{3+}) $\cdot F^-$ は高スピンの Mb (Fe^{2+}) $\cdot CO$: 一酸化炭素型, Mb (Fe^{2+}) $\cdot NO$: 一酸化窒素型は低スピンであり, Mb (Fe^{3+}) $\cdot OH^-$: アルカリメト型, Mb (Fe^{3+}) $\cdot CN^-$: シアンメト型, Mb (Fe^{3+}) $\cdot N_3^-$: アジド型などは低スピンの温度上昇により高スピン状態が増すといわれている。両スピン状態のエネルギー差は他の鉄化合物に比べて小さく, 変化しやすく, Mb や Hb は環境変化に適応すると考えられている。

酸素型の Mb や Hb のヘムについて, WEISS⁷¹⁾ は

(Fe^{3+})・ O_2^- であることを提唱し、グロビン—(Fe^{2+}) + $\text{O}_2 \rightleftharpoons$ グロビン—(Fe^{3+})・ O_2^- の反応により鉄から酸素に電子が1個移動し、鉄は3価になるとした。また、メスバウアー測定で(Fe^{3+})・ O_2^- に属し、IR測定で結合酸素原子間距離も O_2^- に近いという³⁴⁾。WITTENBERGら⁷²⁾はOxyperoxidaseのヘム鉄は Fe^{3+} であり、PEISACHら⁷³⁾およびBLUMBERG⁷⁴⁾はMb, Hb, Oxyperoxidaseはいずれも同様の電子配置であり、低スピンであるMb(Fe^{3+})・ OH^- との類似性から、WEISSの説を支持している。酸素型のヘムは(Fe^{2+})・ O_2 か(Fe^{3+})・ O_2^- なのか、そして鉄と酸素分子はヘム面に垂直方向(直線または折線)なのか平行なのか論争になっており^{71,75-77)}、ヘム環境は、未知の部分も多いのが現状であり、興味ある研究対象となっている。

還元型Mb(RMb, deoxy Mb)は(Fe^{2+})・ H_2O とされていた^{3,78)}が、FABRYら⁷⁹⁾はNMR法によってヘム鉄の第6配位座には水がないことを明らかにした。メト型Mbは酸性水溶液で(Fe^{3+})・ H_2O 、アルカリ性水溶液で(Fe^{3+})・ OH^- となる酸—アルカリ平衡であり、 $\text{pK} = 8.9(21^\circ\text{C})$ ⁸⁰⁾である。

従来、加熱塩漬肉のMbはnitrosyl-hemochrome⁸¹⁾であるとされていた。LEEおよびCASSENS⁸²⁾は、 ^{15}N -亜硝酸とMbを反応させ、加熱後のヘム結合 ^{15}N は未加熱の2倍になることから、ヘムはグロビンから離れてdinitrosyl-hemochromeになることを指摘し、TARLADGIS⁸³⁾の示唆した構造を支持している。

加熱塩漬肉は光や酸素で退色が速い^{84,85)}。これはグロビンの保護のないヘムは酸化されやすい現象と関連して説明できる。

3. ミオグロビンの自動酸化

CUGHEYら⁸⁶⁾は酸素型では共有結合性の(Fe^{2+})・ O_2 とイオン結合性の(Fe^{3+})・ O_2^- の中間体が酸素型に代表的で、共有結合性は存在しなく、温度上昇によりイオン結合性に平衡がずれるとしている。

プロトン(pHの低下)により、酸素と鉄の結合がさらに弱くなり、 O_2^- が Fe^{3+} から解離すること、そして生理的pHではグロビンとヘムの親和性がきわめて高いが、pHの低下により酸化しやすいヘムが解離すること⁸⁷⁾などから、 O_2Mb からMMbの変化である自動酸化が温度上昇

とpH下降により促進⁶³⁾されることを説明できる。Mbと酸素の結合は低温ほど高い⁸⁸⁾。MbはpH 4.5付近で変性し^{89,90)}、自動酸化はMbがHbの4.25倍である⁹¹⁾。

Mb水溶液の自動酸化は一次反応で進行し、Mb濃度に依存しない⁹²⁻⁹⁴⁾。その速度定数k値は牛Mbで約0.35 hr^{-1} (pH 5.9, 20°C)⁹⁵⁾であり、馬^{91,93)}、牛^{27,65,92,95-99)}、豚^{27,64,97)}、羊^{27,28,97)}、山羊¹⁰⁰⁾、家禽^{59,101)}など畜種によって異なっている。速度定数k値とpH、酸素分圧(pO_2)および温度との関係について、 $\log(k)$ はpH、 $\log(\text{pO}_2)$ ⁹⁵⁾、温度($1/T$)⁹²⁾との間に直線関係が見出される。k値はMb O_2 の半飽和酸素分圧(pO_2 : 1~1.4 mm Hg)で最大となる⁹¹⁾。また、氷点下で最大となり、それは約 -5°C ⁹⁶⁾あるいは、約 -12°C ⁹⁷⁾であるといわれている。イオン強度(塩濃度)の増大でk値は高くなる^{94,98)}、あるいは逆に低くなる^{97,99)}と相反する報告があり、これは測定温度、酸素分圧、動物種に依存するとも考えられるが、詳細は不明である。k値はMbの純化^{95,99,101)}、光^{27,62,102)}、金属イオン^{28,98)}、不飽和脂肪酸¹⁰³⁾、 O_2Mb の調製試薬^{92,94,100)}などによって高くなる。

4. 食肉中のミオグロビンの酸化と還元

生肉のMMbの形成は pO_2 7.5 mm Hg付近で最大になり¹⁰⁴⁾、Mb溶液よりもゆっくり進行する^{104,106)}。しかし、攪拌溶液の場合と異なり、固形の生肉では外部と内部の pO_2 は異なり、挽肉では空気との混和で pO_2 は高く、肉塊では酸素消費で pO_2 は低いと考えられる。Mbが純化されるほど自動酸化速度が速くなる^{95,99,101)}のは筋肉中の還元系の消失によると考えられる。初期の研究で、ROSSI-FANELLIら¹⁰⁷⁾はMMb還元活性(MRA)にスクレオチドなどの関与を明らかにした。STEWARTら¹⁰⁸⁾はpH 5.8以上の中性域で、 3°C より 35°C でMRAが高く、pH 5.4以下あるいは5%食塩で完全に阻害されることから酵素が暗示され、MRAにはLDHとNADが間接的に関与すると述べている。BROWNおよびSNYDER¹⁰⁹⁾はNADHまたはNADPHとFMNの共存下でMRAが強く発現することを見出した。MRAは嫌気条件下で高く¹⁰⁷⁻¹¹⁷⁾、それは生肉中で酸素が消費しつくされるまで発現しないという¹⁰⁸⁾。MRAが残存した生肉では、嫌気包装でMMbに退色したものがRMbに還元され、これが長期間持続してメト化しない¹¹³⁻¹¹⁷⁾。生肉のメト化は高温^{106,118)}、低pH¹¹⁸⁾、光¹⁰⁶⁾、マロン酸¹¹⁴⁾、脂質酸化¹¹⁹⁾、食塩^{119,120)}により促進される。MMb還元酵素の純化の研究はいくつかある。SHIMIZUおよびMATSUURA¹²¹⁾はイルカ筋肉より分子量約2.5万の酵素を結晶化し、AL-SHAIBANIら¹¹³⁾はマグロ筋肉より精製した。両者とも活性化はNADPHを必要とし、嫌氣的

条件下で活性が見出されている。近年、HAGLER ら¹²²⁾は牛心筋より分子量約3万、至適 pH 6.5 の MMb 還元酵素を精製し、酵素活性は NADPH に依存せず、NADH に依存するはか多くの点で、先のイルカ、マグロの MMb 還元酵素と異なること、MHb 還元酵素と性質が類似し、決定的な相異は見当たらないことを見出した。

Mb と亜硝酸塩とのシステムで, RMb から NOMb を急速に形成するが, MMb や O₂Mb は NOMb を形成しなく, MMb からは還元剤との共存下で NOMb を形成する⁸⁾. この反応は酸素の存在で, まず O₂Mb を形成し, 嫌気条件下での反応に比べ, きわめて遅い. O₂Mb は NO₂⁻ によって MMb になり¹²⁸⁾, 酸素は NOMb の形成に好ましくない. MMb に過剰に亜硝酸塩を加えると, Mb は赤色物質となり^{81,124)}, 最終的に緑変する¹⁶⁾. Mb の NO 型の形成能と過剰亜硝酸に対する安定性は Hb よりも高く, アスコルビン酸塩, あるいは亜硝酸塩の過剰で緑変する⁸⁾. REITH および SZAKALY¹²⁵⁾ は NO Mb 形成の最適条件として Mb に対するモル比で亜硝酸塩 1, アスコルビン酸塩 200 であり, FUJIMAKI ら¹²⁶⁾ は亜硝酸塩に対するモル比でアスコルビン酸塩 10 以上で緑変すると述べている. 効率的に NO 型を形成するためには, 充分な放血と嫌気的かつ RMb であることが望ましい.

生肉の Mb と亜硝酸塩の反応は Mb 溶液の場合と異なり、まず MMb となり、続いて NOMb を形成する¹²⁷⁾ のが観察される。この反応機構は、Fox ら^{16,81,124,128)} によると MMb と NO_2^- との反応で $\text{NO}_2 \cdot \text{MMb}$ 、さらに $\text{NO} \cdot \text{MMb}^+$ を形成し、続いて還元系が作用して NOMb を形成する反応経路を提唱した。この経路では MMb から RMb を経ることなく、NOMb が形成される。この反応は酸素が阻害するという。

WALTERS *ら*¹²⁹⁾ は ferro-cytochrome C と亜硝酸に嫌気下で酸化還元系が作用し, nitrosylferri-cytochrome C が形成され, NO 基は MMb に移され NO · MMb⁺ となり, 続いて NOMb に還元されるという機構を示した. この場合も RMb の形成を必要としない.

KOIZUMI および BROWN¹³⁰⁾ は NADH+FMN の還元系において, MMb が RMb となり, RMb が NO を生

成して MMb になり、この過程は還元系によって持続する。この機構では RHb と NO が共存して NOMb を形成する基本的な反応として示される。

いかなる反応機構であるか、先に述べた MMB 還元酵素が NOMb の形成にどの程度関与しているのか、未解明の分野である。Mb の酸化還元機構、退色現象について、WATTS¹⁸¹⁾、GIDDINGS⁸⁷⁾、GIDDINGS¹⁸²⁾、LIVINGSTON および BROWN¹⁸³⁾、WIRTH¹⁸⁴⁾、MACDOUGALL ら¹⁸⁵⁾、CASSENS ら¹⁸⁶⁾、MATHEY¹⁸⁷⁾ の解説がある。

5. 退色劣化と CA 貯蔵

貯蔵中における食肉の劣化抑制法として、真空包装あるいは CA (controlled atmospheres) 貯蔵が行なわれている。食肉の劣化は (1)ヘム色素の酸化による退色 (2)脂質酸化による変敗 (3)微生物による腐敗 (4)ドリップ損失 (5)テクスチャーなどにみられる。CA 貯蔵は 1963 年米国で N_2 置換して貯蔵したのが始まりであり¹³⁸⁾、添加物を使用しないのを特徴とする。真空包装では挽肉の通常の市販されている形状保持ができない。LEE ら¹³⁹⁾ は真空包装と N_2 置換の嫌気包装を比較し、真空包装ではドリップ損失が高く、外観も劣化が大きいことを指摘している。嫌気包装では貯蔵中に乳酸菌が低温性腐敗菌よりも圧倒的に優位になり、腐敗が抑制される^{115, 139, 144)}。この現象は凍結肉においても認められる¹⁴⁵⁾。先に述べたように、嫌気下で MMb 還元活性 (MRA) が強く発現し、加熱しないベーコンは退色したものが良い色調に回復する¹⁴⁶⁾。真空包装したベーコンは数週間もヘム色素が安定であるが、光散乱性が増加する¹³⁵⁾。退色防止、脂質の酸化および腐敗菌の抑制が脱酸素剤を利用した嫌気包装によって確かめられ^{117, 140)}、RMb は開封後 blooming の発現で O_2 Mb となることが認められている。真空包装や N_2 置換は空気 (酸素) の残存が避けられなく、また特別な装置を必要とするが、脱酸素剤によって容易に嫌気包装ができる。

挽肉のヘム色素と脂質の酸化は平行に進行し、挽肉の脂質の酸化は空気中の酸素の影響であり、筋肉脂肪を加えても促進されない¹¹⁹⁾。凍結肉は低凍結速度で赤さは減少するが脂質の酸化には差がない¹⁴⁷⁾。ヘム色素の酸素による酸化は光で促進される¹⁴⁸⁾。生肉¹⁴⁹⁾、ベーコン¹⁵⁰⁾は真空包装で脂質の酸化が抑制される。

初期に, DAUN ら¹⁵¹⁾は酸素分圧を高めることによる自動酸化の抑制と blooming を持続させることを意図して

酸素を充填し、70%MMb に達するまで4日間の延長を認めている。LEDWARD¹⁰⁴⁾はCO₂の部分ガス充填を行ない、MMbの形成は筋肉部位によって抑制あるいは促進されることを見出した。CO₂あるいはN₂充填で棚寿命に差がなく¹⁵²⁾、ドリップ損失は真空包装>CO₂>N₂であり¹⁵³⁾、これらは筋肉部位によって大きく異なるといわれている^{152,153)}。SEIDMANら¹⁵⁴⁾はN₂、CO₂、O₂の包装貯蔵を比較し、CO₂貯蔵で細菌増殖の抑制を認めている。CO₂の細菌抑制効果は菌種によって異なる¹⁵⁵⁾。CO₂はグラム(−)菌に効果があるが、その機構については明らかでない¹⁵⁶⁾。MONOZ-DELGADO¹⁵⁷⁾は、CO₂によって好気性低温菌が抑制されるが、退色が促進されると述べている。O₂/CO₂の比率が4付近(O₂/CO₂貯蔵)で腐敗の抑制¹⁵⁷⁻¹⁶⁵⁾および退色の抑制^{160,162-166)}が認められている。一方、O₂/CO₂貯蔵による退色の抑制効果は真空包装と同程度¹⁶²⁾あるいは効果は認められない¹⁶⁷⁾という報告もある。O₂/CO₂貯蔵で脂質の酸化が抑制される^{160,166)}、逆に促進される¹⁶³⁾という報告がある。脂質の酸化は酸素濃度に依存し、O₂/CO₂貯蔵は空気包装よりも促進する¹⁶⁸⁾といわれている。塩漬肉やファーストフード肉には食塩が加えられ、食塩は脂質の酸化を促進する^{119,120,131,169)}。最近、CO₂の発生を伴う脱酸素剤を封入した包装貯蔵¹⁷⁰⁾において、腐敗が抑制され、ヘム色素は貯蔵開始時よりさらに還元され、かつbloomingの状態で保持されること、脂質酸化は空気包装の30~40%抑制されること、食塩添加で反射率が低下するが、ヘム色素の誘導体変化および脂質の酸化は食塩無添加と同一に推移するなど、鮮度が良好に保持されることが見出されている。食塩が脂質の酸化を促進するのではなく、酸素による酸化を触媒していると考えられ、無酸素下では空気包装、真空包装やN₂置換の空気の残存と著しく異なる環境であることが示唆される。食肉のCA貯蔵に関しては種々の解説¹⁷¹⁻¹⁷⁶⁾がある。より効果的なCA貯蔵の今後の発展が期待される。

III. 色調現象の特性化

色調は主観的な経験であり、観察者の知覚なしにはあり得ない¹⁷⁷⁾。色調は明度(lightness: 明るさ)と色度(chromaticity: 色あい)に分けられ、色度は色相(hue: 可視スペクトルの単色光に相当する。色相はスペクトル帯にはない紫と赤の間にも認められる)と彩度(saturation: 飽和度、あざやかさ)に分けられ、これら明度、色相、彩度の三属性を総合した心理的概念である。色調が視覚される過程は、(1)光源から光が物体に照射され、(2)物体固有の反射率スペクトルあるいは透過率スペク

ルに規定された反射光あるいは透過光が、(3)最終的に目を通して知覚される3段階に大別される。食肉の色調は一般に反射光の色調のことである。可視光は380nm~780nmの限られた波長範囲にある¹⁷⁸⁾。食肉の色調はこの波長範囲の光源のエネルギー分布と食肉の光学的性質に規定される反射率スペクトルのパターンによって異なる。光源によって異なる色調現象は演色性といわれる。

1. ヘム色素と反射率スペクトル

ヘム色素の定量、定性は抽出液について、BEERの法則で分析化学的に測定され、生肉^{93,112,179-182)}、塩漬肉^{8,183)}、加熱塩漬肉¹⁸⁴⁻¹⁸⁷⁾について考案されている。

食肉の反射率スペクトルはヘム色素溶液の透過率スペクトルに比べて平坦であり、彩度が低くなるなどの色調特性が大きく異なる¹⁸⁸⁾ので、ヘム色素溶液の色調を食肉の色調とみなすことはできない。食肉の色調に直接反映しているのは食肉の“反射スペクトル”であってヘム色素は食肉の色調の主要な原因物質(化学量)であり、色調(心理量)に直接関係する反射率(物理量)はヘム色素と色調を媒介する情報と考えることができる。ヘム色素の分析化学的測定では食肉の色調を具体的に表現できない。一方、色調の測定のみでは、ヘム色素の状態が不明なため、管理面上の適確な情報を提供することができない。また、演色性によって色調は異なって感じられる。分光スペクトルが等しければ、物質も等しいし、色も等しい(isomenic)が、条件等色(metameric)といわれる分光スペクトルが等しくなくても色の等しい場合があり得る^{189,190)}。したがって、反射率(物理量)を原因とし、色調(心理量)を結果とするのが妥当であり、反射率スペクトルとヘム色素の関係が食肉の色調現象の基本となる。

肉素地のタンパク質は加熱で凝集し、光散乱性が増すので反射率が高くなる。生肉は40℃で明度とTransmission値の増加が認められている¹⁹¹⁾。熱処理されないベーコンは乾燥によるヘム色素の相対的増加で反射率が低くなる¹⁹²⁾。生肉は低pHで反射率が高くなる¹⁹³⁾。MacDOUGALL¹⁹²⁾によると、生肉の光散乱係数(Smm⁻¹)はと殺後45分にpH>5.9ではSmm⁻¹=0.21であり、pH<5.9では低pHほど高く平均Smm⁻¹=0.46にもなり、この傾向はベーコン製品にも影響する。低pH筋肉は加熱損失が大きい¹⁹⁴⁾。

SCOPES¹⁹⁵⁾、BENDALLおよびWISMER-PEDERSON¹⁹⁶⁾は1時間以内の温と体でpHが著しく低下した筋肉はPSE(Pale, Soft, Exdative)の筋肉性状を示し、筋漿タンパク質の沈殿性を増し、筋原線維タンパク質の溶解性を減少させると述べている。水の遊離とタンパク質の凝集性

は光散乱性を増す。PSE 筋は反射率が高い¹⁹⁷⁾。PSE 筋は“むれ肉”とか“ふけ肉”といわれる¹⁹⁸⁾。SAKATA ら¹⁹⁹⁾は同様の傾向の PSE 筋を人工的に作製し、この場合、ソーセージの発色率は低くなると述べている。CHEAH および CHEAH²⁰⁰⁾、CHEAH ら²⁰¹⁾は好氣的にミトコンドリアからの大量の Ca^{++} の放出が急速な glycolysis のひき金となることを示唆している。異常な Ca^{++} の増加は TAKAHASHI ら^{202, 203)}の提唱している筋原線維の小片化と関係し、PSE 筋の Soft な性状と関係するかもしれない。PSE 筋に関しては BRISKEY²⁰⁴⁾、BENDALL²⁰⁵⁾、深沢²⁰⁶⁾によってまとめられている。

DFD (Dark, Firm, Dry) の筋肉性状は疲労やストレスなどによってグリコーゲンの欠乏した筋肉で発生し、“dark cutting”, “high pH meat”ともいわれる²⁰⁷⁾。DFD 筋は高い極限 pH ($\text{pH} > 6.0$) で硬直期を経過する特徴がある^{207, 208)}。生肉の保水性は pH 5 付近で、柔らかさは pH 6 付近で最低となる²⁰⁹⁾ので、PSE 筋とは対照的な傾向になる。暗い外観は消費者によって老令家畜の肉とみなされる。PSE、DFD 豚肉の消費者の選択率は正常肉の約 1/2 で、PSE の方が DFD より好まれない傾向がある²¹⁰⁾。DFD 筋は中性域 pH のため生菌数が高くなる²⁰⁷⁾。DFD 筋は、(1) PSE 筋と逆にタンパク質の水和により、筋肉は半透明にならず、透明化 (光散乱性の低下) する、と同時に (2) 還元型 Mb (RMb) になり、暗い色調になると考えられる。MacDOUGALL²¹¹⁾は牛肉の光散乱係数 (Smm^{-1}) は 0.2~0.25 であり、“dark cutting beef”では $\text{Smm}^{-1} < 0.1$ であると述べている。“dark cutting beef”の RMb 形成は次のような現象と関連する。すなわち、(1) 酸素の筋肉部への拡散速度が低下する²¹²⁾。pH が筋肉タンパク質の等電点よりも高く、大部分の水が筋線維に結合するので筋線維間がかたく詰まっており、酸素の拡散が阻害され、(2) 高 pH ほど筋肉の酸素消費が増す²¹³⁾ので、筋肉内の酸素濃度がきわめて低くなる。(3) 高い pH の推移と嫌気条件は MMb 還元活性が嫌気下¹⁰⁷⁻¹¹⁷⁾と中性域^{108, 109, 121, 122)}で強く発現する条件と合致し、鮮赤色の O_2Mb は形成されなく、暗い紫赤色の RMb に保持し続けることになる。食肉のへム色素と素地の状態は反射率スペクトルに特徴が反映されることになる。

2. へム色素の直接測定法

食肉の反射率とへム色素の相互関係についての研究は生肉や塩漬肉中のへム色素含量、誘導体変化を非破壊的に測定する必要性から直接測定法として発展してきている。反射率測定には(1)抽出操作が不要であり *in situ* で経時的に追跡でき、抽出過程での誘導体変化がない。(2)

表面測定なので内層の影響を受けない。抽出法では表面層のみの採取は不可能であり、抽出へム色素の測定値は色調と対応しないことが多い。(3)嫌氣的測定、包装のままでの測定が可能である。(4)迅速かつ大量測定ができる。(5)肉素地の光学的性質 (透過性、光散乱性) が反射率に反映するなどの特徴がある。

直接測定法は初期に NAUGHTON ら²¹⁴⁾が R_A 法を提唱し、多くの研究者²¹⁵⁻²²¹⁾に応用されている。 R_A 値は反射率 (R) から算出され、透明溶液の吸光度に相等するものを反射率に適用したものである。

$$R_A = -\log(R)$$

続いて、STEWART ら¹⁹⁸⁾は K/S 法の食肉への応用を提唱した。 K/S は KUBELKA および MUNK²²²⁾が着色層に関する微分方程式を解析した理論に基づいている。JUDD および WISZECKI²²³⁾は塗料の処方のために、KUBELKA-MUNK の理論を詳細かつ体系的に整理し、 K/S と固有反射率 (reflectivity, R_∞ の記号で示される) を変数とする次の関数を導いた。

$$K/S = (1 - R_\infty)^2 / (2 \cdot R_\infty)$$

R_∞ は厚さ ∞ の試料の反射率と定義される。色素が実質的にその試料の光散乱係数 S に影響しなければ、 K/S は色素含量と直線関係を示すことになる²²³⁾。STEWART ら¹⁹⁸⁾は K/S_{525} (525 nm の K/S 値) とへム色素含量に直線関係を認め、 $K/S_{575}/K/S_{525}$ によりメト型の割合を測定し、 R_A 値とへム色素含量の間に直線関係がないことを指摘した。SNYDER および ARMSTRONG²¹⁸⁾は Mb を含むモデル懸濁液について検討し、 K/S 値が Mb 含量および Mb 誘導体の割合との間の直線関係を実証している。最近では R_A 法に代り、 K/S 法は生肉^{108, 224, 225)}や塩漬肉¹¹¹⁾の MMb に対する還元活性の測定やメト型の測定などに多くの研究者^{104, 113-116, 119, 152, 166, 226-228)}に応用され主流になっている。この直接測定法は次のように改良されている。 K/S とへム色素含量 (Ch) の直接関係¹⁹⁸⁾から a, b を定数とする次の式で示される。

$$K/S = a \cdot Ch + b \dots \dots \dots (1)$$

$Ch=0$ のとき、無へム色素の食肉である食肉の素地を意味する。このときの K/S ($Ch=0$) は K/S ($Ch=0$) = $b > 0$ となる。豚生肉の 525~575 nm で、 KS ($Ch=0$) は約 0.4 であり、無視できるほど小さくないので、STEWART ら¹⁹⁸⁾のメト型へム色素を求めるための K/S 関数は次式による方が妥当である¹¹⁶⁾。

$$\frac{K/S_{575} - K/S_{572} (Ch=0)}{K/S_{525} - K/S_{526} (Ch=0)} \dots \dots \dots (2)$$

K/S から R_∞ を求めるには次のどちらかの式によっ

て算出される²²⁸⁾。

$$R_{\infty} = 1 + K/S - (K^2/S^2 + 2 \cdot K/S)^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

または

$$R_{\infty} = 1/[1 + K/S + (K^2/S^2 + 2 \cdot K/S)^{1/2}] \dots \dots \dots (3')$$

これより、先の豚生肉の素地 ($K/S_{525} = 0.4$) の反射率 R_{∞} は 0.42 と推定されている¹¹⁶⁾。この式(3)または(3')に先の式(1)を代入すると、ヘム色素含量から反射率 R_{∞} が求められるが、両者の関係はきわめて複雑となり、その特性は解明し難い。 K/S は主成分として $1/R_{\infty}$ を含み、 $1/R_{\infty}$ は K/S と実質的に同等の数量的性質が認められ^{228, 229)}、 $1/R_{\infty}$ を反射率測定法におけるヘム色素含量と直線関係で対応する記号として $\mathcal{V}$ で示すと次のようになる。

$$d(K/S)/d(\mathcal{V}) = (1 - R_{\infty}^2)/2$$

この関係は R_{∞} が小さいときほど $\mathcal{V}$ と K/S の性質は等しくなることを意味し、全体的に次の関係が認められる²²⁹⁾。

$$K/S \doteq \mathcal{V}/2 - 1$$

これらの関係は波長に依存しない。実際に K/S と $\mathcal{V}$ の性質は生肉よりも反射率の高い加工肉についても可視全域の波長で同等の性質が認められている。したがって、二成分 A, B について示すと、isosbestic point (等反射率点の波長) の $\mathcal{V}$ 値を $\mathcal{V}_{iso}$ とし、それ以外の任意波長の $\mathcal{V}_A, \mathcal{V}_B$ との関係は

$$\begin{cases} \mathcal{V}_A = a_A \cdot \mathcal{V}_{iso} + b_A \\ \mathcal{V}_B = a_B \cdot \mathcal{V}_{iso} + b_B \end{cases}$$

となる。この連立式の $\mathcal{V}_A = \mathcal{V}_B, \mathcal{V}_{iso}$ の解から次のような情報が得られる。(1) この解は成分に依存しないときの値、食肉素地の推定値である。(2) これらは $R < 1$ であるから $\mathcal{V} > 1$ になる。(3) これらの値を原点にすれば、成分割合は吸光度法と同様の手順で算出される。この方法は加工肉に応用され、加工肉の肉素地の反射率は熱処理によって生肉よりかなり高くなり、約 0.7 にも達すると推定されている²²⁹⁾。以上の反射率スペクトルの性質には素地の光学的性質が反映される。反射率におよぼす素地の光学的性質、肉塊と挽肉、挽肉の粗さ、肉組織の“きめ”などはほとんど未解明の分野である。

3. 食肉の色調特性

ヘム色素と色調の対応は一樣ではなく、メト化によって濃い肉は褐色になるが、淡い肉は灰色になり、その色調変化の程度は濃い肉の方がはるかに大きい。色調管理

のためには色調そのものの現象を定量化し、その全体像を明らかにする必要がある。色調の尺度は感覚量であるので、食肉の色調現象の定量化には分析化学的側面と異なる手法を必要とする。

色調を表示する体系である表色系 (color specification system) は混色系 (color mixing system) と顕色系 (color appearance system) に大別され、前者は心理物理色の均等性を、後者は知覚色の均等性を意図する表色系であり、数多くの方法の表色系がある²³⁰⁾。食肉の色調が最終的に品質管理、評価を意図する場合、その表色は感覚的に等歩度である顕色系で表示するのが妥当である。顕色系の色調値は物理的測定値から直接算出されないで、混色系の値を数値変換して算出される。

一般に基本となる混色系は CIE (国際照明委員会) 1931 の XYZ 標準表色系^{230, 231)} である。Hunter の提案した Lab 表色系は顕色系で、食肉や工業製品の色調表示に広く用いられてきたが、最近では CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 表色系²³⁰⁾ に移行しつつある。 L^*, a^*, b^* 値の測色計算法は JIS²³²⁾ で定められ X, Y, Z 値を一次変換して算出される。 $L^*a^*b^*$ 色調空間 (色立体) は L^*, a^*, b^* 軸の三次元直交座標で示され、縦軸は明度で、この L^* 軸に、 a^*, b^* 色度平面が直交する。 a^*, b^* 色度平面の原点は無彩色で原点からの距離は彩度を示し、同心円状の周囲に色相が示される。ヘム色素含量と X, Y, Z 値の関係式が生肉¹⁸⁸⁾、および加工肉²²⁸⁾ について導かれ、XYZ 表色系から顕色系の Lab または $L^*a^*b^*$ 表色系に変換され、以下の生肉、加工肉の色調特性が明らかにされた²¹³⁻²³⁵⁾。色調特性の関数はヘム色素含量を変数とし、生肉、加工肉、ヘム色素誘導体あるいは光源の種類で異なる定数となる。色調特性は素地の色調点から原点 (黒色) に至るラセン形となり、 a^*, b^* 色度平面上に放物線状の軌跡が認められ、食肉のヘム色素に関する色調特性の全体像が明らかになった。色調特性からヘム色素と明度、彩度、色相のいずれとも直線関係ではないことが明らかにされた。

色素含量の変化のもたらす色調変化の主たる属性は明度である。その変化は色素含量が少ないほど大きいので、明度のヘム色素含量の相異による個体差は牛肉よりも豚肉のとくにロースで強く感じられることになる。この傾向は血液を加えた場合も同様である。ヘム色素誘導体の変化による色調変化の主たる属性は色度であり、その変化はヘマチンとして約 150 ppm 付近のヘム色素含量で最大となる。すなわち、濃い食肉ほどメト化による退色は大きくなり、豚肉よりも牛肉の方が著しくなる。生肉のヘム色素が還元型のとき明度が低く、彩度も低い

ので, “dark cutting beef” は容易に濃すぎる肉として感知されるであろうが, これと同じ現象が豚肉で起きたとしても牛肉ほどには気付かれないだろう。一方, 牛肉とは逆に豚肉の場合は PSE 筋のような淡い方向への異常化は目立つことになる。加熱加工肉の明度はもとの原料肉の約 1.3 倍の一定の比率になり, 淡い色調の原料肉ほどより明るい加工肉の色調を呈することになる。演色性はとくに彩度の変化が大きく, 日影に比べ白熱電球下は約 2 倍になり, 光源の種類を特定しておかないと, 色調管理, 評価を誤って判断することになる。これら色調の全多様性のなかで, 実在の肉 (ヘマチン含量 20~200 ppm) はその大半を占め, わずか重量比で 1/5000 のヘムの影響がいかに大きく, かつヘム色素含量が高くなるにつれ, その含量変化による色調変動は急激に減少することが明らかとなる。blooming 肉はトマトの色調特性²³⁶⁾に類似する。

ヘム色素含量とその誘導体の変化による色調特性に関する報告は少ない。MacDOUGALL ら²³⁷⁾は明度, 色相, 彩度のいずれも原料と加工肉の間で直線関係を認めている。しかし, ヘム色素含量の限定された範囲では直線関係が認められるが, 淡い肉と濃い肉の原料肉と加工肉の色調変化は同一ではない。牛肉と羊肉はほとんど同じ色調値で, 豚肉と異なる²³⁸⁾。これはヘム色素含量の相異に起因すると考えられる。JEREMIAH ら²³⁹⁾は X, Y, Z 値とヘム色素含量との間の相関は低いことを認めている。MacDOUGALL ら²⁴⁰⁾は明度と色調の格付評点との間に直線関係を見出している。明度は食肉の品質と相関があり, 種々の携帯型明度測定器が考案されている²⁴¹⁻²⁴⁶⁾。しかし, 明度のみではヘム色素の誘導体について無視したことになる。

食肉の色調管理, 評価には明度, 彩度, 色相の総合的判定が必要である。物質量のヘム色素と感覚量の色調の相互関係は歪んでおり²³⁴⁾, 両者の関係を媒介する物理量の反射スペクトルには食肉色調の合理的な管理と客観的評価のため多くの有用な情報が反映されている。反射率スペクトルの解析と色調の演算は複雑で労力と時間を要するので, これの自動化が行なわれている²⁴⁷⁾。色調の管理, 評価の実施には実時間と大量測定が要求され, このために直接測定と色調特性は有効な情報となるであろう。

文 献

- 1) 向後紀代美・神崎宜武・宮本常一監修, 粉食文化と肉食文化, 182-190. 柴田書店. 東京. 1981.
- 2) THEORELL, A. H. T., *Biochemical Z.*, **251**: 1-7.

1932.

- 3) FORREST, J. C., E. D. ABERLE, H. B. HEDRICK, M. D. JUDGE and R. A. MERKEL, *Principles of Meat Science*. 178-185. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 1975.
- 4) GILLESPIE, E. L., *The Science of Meat and Meat Products*. 88. Reinhold Publishing. New York. 1960.
- 5) GÖTZE, U., *Fleischwirtschaft*, **49**: 901-906. 1969.
- 6) GÖTZE, U., *Fleischwirtschaft*, **54**: 234-239. 1974.
- 7) BEZNAK, M., *Acta Chemi. Scand.*, **2**: 333-342. 1948.
- 8) 泉本勝利, 帯広畜大研報, **11**: 241-252. 1972.
- 9) 中西武雄・泉本勝利, 酪農科学の研究, **20**: A193-204. 1971.
- 10) BOWEN, W. J., *J. Biol. Chem.*, **179**: 235-245. 1949.
- 11) HERWIG, H. L. and D. M. GREENBERG, *J. Biol. Chem.*, **198**: 695-701. 1952.
- 12) HARDMAN, K. D., E. H. EYLAR, D. K. RAY, L. J. BANASZAK and F. R. N. GURD, *J. Biol. Chem.*, **241**: 432-442. 1966.
- 13) AWAD, E. S. and L. KOTITE, *Biochem. J.*, **98**: 909-914. 1966.
- 14) 津島慶三・岡崎太郎, 生化学, **26**: 233-234. 1954.
- 15) NAKANISHI, T. and M. IZUMIMOTO, *Agric. Biol. Chem.*, **36**: 1505-1510. 1972.
- 16) FOX, J. B. and J. S. THOMSON, *Biochem.*, **3**: 1323-1328. 1964.
- 17) YAMASAKI, I., K. YOKOTA and K. SHIKAMA, *J. Biol. Chem.*, **239**: 4151-4153. 1964.
- 18) LAWRIE, R. A., *Meat Science*. 287. Pergamon Press. Oxford. 1974.
- 19) POLSON, A., *Kolloid-Z.*, **87**: 149-180. 1939.
- 20) BRAUNITZER, G., K. HILSE, V. RUDLOFF and N. HILSCHMAN, *Advances in Protein Chemistry*. **19**: 5-8. Academic Press. New York. 1964.
- 21) SCHMID, K., *Biochem. Z.*, **27**: 105-114. 1949.
- 22) LEWIS, U. J. and B. S. SCHWEIGERT, *J. Biol. Chem.*, **214**: 647-655. 1954.
- 23) ROSSI-FANELLI, A. and E. ANTONINI, *Arch. Bio hem. Biophys.*, **58**: 498-500. 1955.
- 24) TOMITA, H. and Y. TSUCHIYA, *Tohoku J. Agric. Research*, **22**: 228-238. 1971.
- 25) ITOH, T., H. SATO and S. ADACHI, *Comp. Biochem. Physiol.*, **55 B**: 559-561. 1976.
- 26) LAWRIE, R. A., R. W. POMEROY and A. CUTHBERTSON, *J. Agric. Sci.*, **60**: 195-209. 1963.
- 27) SATTERLEE, L. D. and N. Y. ZACHARIAH, *J. Food Sci.*, **37**: 909-912. 1972.
- 28) BEMBERS, M., N. Y. ZACHARIAH, L. D. SATTERLEE and R. M. HILL, *J. Food Sci.*, **38**: 1122-1123. 1973.

- 29) KENDREW, J. C., R. E. DICKERSON, B. E. STRANDBERG, R. G. HART, D. R. DAVIES, D. C. PHILLIPS and V. C. SHORE, *Nature*, **185**: 422-427. 1960.
- 30) KENDREW, J. C., *Science*, **139**: 1259-1266. 1963.
- 31) PERUZ, M. F., *J. Mol. Biol.*, **13**: 646-668. 1965.
- 32) ROSSI-FANELLI, A., A. ANTONINI and A. CAPUTO, *Advances in Protein Chemistry*. **19**: 83-89. Academic Press. New York. 1964.
- 33) FRUTON, J. S. and S. SIMMONDS, *General Biochemistry asia ed.* 165-183. Charles E. T. Tokyo. 1960.
- 34) 亘 弘・生越久靖・飯塚哲太郎共編, ヘムタンパク質の化学, 1-240. 化学同人. 東京. 1978.
- 35) 京大農学部農芸化学教室編, 農芸化学実験書第3巻. 977. 産業図書. 東京. 1957.
- 36) EDMUNDSON, A. B., *Nature*, **205**: 883-887. 1965.
- 37) DAUTREVAUX, M., Y. BOULANGER, K. HAN and G. BISERTE, *Eur. J. Biochem.*, **11**: 267-277. 1969.
- 38) HAN, K., M. DAUTREVAUX, X. CHAILA, and G. BISERTE, *Eur. J. Biochem.*, **16**: 465-471. 1970.
- 39) ROUSSEAU, J., M. DAUTREVAUX and K. HAN, *Biochim. Biophys. Acta*, **439**: 55-62. 1976.
- 40) HAN, K., D. TETAERT, Y. MOSCHETTO and M. DAUTREVAUX, *Eur. J. Biochem.*, **27**: 585-592. 1972.
- 41) DECONINCK, M., S. PEIFFER, J. DEPRETER, C. PAUL, A. G. SCHNEK and J. LEONIS, *Biochim. Biophys. Acta*, **386**: 567-575. 1975.
- 42) ROMERO-HERRERA, A. E., H. LEHMANN and O. CASTILLO, *Biochim. Biophys. Acta*, **439**: 51-54. 1976.
- 43) HERMANS, J. Jr. and W. L. LILLIAN, *Arch. Biochem. Biophys.*, **122**: 331-337. 1967.
- 44) BRADSHAW, R. A., and F. R. N. GURD, *J. Biol. chem.*, **244**: 2167-2181. 1969.
- 45) ROMERO-HERRERA, A. E. and H. LEHMANN, *Nature New Biol.*, **232**: 149-152. 1971.
- 46) AIR, G. M., and E. O. P. THOMPSON, *Aust. J. Biol. Sci.*, **24**: 75-95. 1971.
- 47) ROMERO-HERRERA, A. E. and H. LEHMANN, *Biochim. Biophys. Acta*, **317**: 65-84. 1973.
- 48) ROMERO-HERRERA, A. E., H. LEHMANN and W. FAKES, *Biochim. Biophys. Acta*, **379**: 13-21. 1975.
- 49) ROMERO-HERRERA, A. E., H. LEHMANN and O. CASTILLO, *Biochim. Biophys. Acta*, **420**: 387-396. 1976.
- 50) ROMERO-HERRERA, A. E. and H. LEHMANN, *Biochim. Biophys. Acta*, **400**: 387-398. 1975.
- 51) ROMERO-HERRERA, A. E., H. LEHMANN, *Proc. Roy. Soc. Lond. Ser. B*, **186**: 249-279. 1973.
- 52) DARBRE, P. D., A. E. ROMERO-HERRERA and H. LEHMANN, *Biochim. Biophys. Acta*, **393**: 201-204. 1975.
- 53) ROMERO-HERRERA, A. E. and H. LEHMANN, *Biochim. Biophys. Acta*, **393**: 205-214. 1975.
- 54) DUMUR, V., M. DAUTREVAUX and K. HAN, *Biochim. Biophys. Acta*, **420**: 376-386. 1976.
- 55) DARBRE, P. D. and H. LEHMANN, *Biochim. Biophys. Acta*, **453**: 285-288. 1976.
- 56) JONES, L. T., O. CASTILLO and H. LEHMANN, *Biochim. Biophys. Acta*, **493**: 460-464. 1977.
- 57) CASTILLO, O., H. LEHMANN and L. T. JONES, *Biochim. Biophys. Acta*, **491**: 23-28. 1977.
- 58) CASTILLO, O. and H. LEHMAN, *Biochim. Biophys. Acta*, **429**: 232-236. 1977.
- 59) CORNISH, D. G. and G. W. FRONING, *Poultry Sci.*, **53**: 365-377. 1974.
- 60) VESTERBERG, O., *Acta Chem. Scand.*, **21**: 206-216. 1967.
- 61) 石下真人・泉本勝利・三浦弘之, 帯広畜大研報, **10**: 471-483. 1977.
- 62) SATTERLEE, L. D., W. D. BROWN and C. LYCOMETROS, *J. Food Sci.*, **37**: 213-217. 1972.
- 63) QUINN, J. R., *J. Food Sci.*, **38**: 289-293. 1973.
- 64) BEMBERS, M. and L. D. SATTERLEE, *J. Food Sci.*, **40**: 40-43. 1975.
- 65) HELM, H. J., R. TIMMER and T. H. J. HUISMAN, *Nature*, **3**: 240-241. 1957.
- 66) FLATMARK, T., *Acta Chem. Scand.*, **20**: 1487-1496. 1966.
- 67) ROBINSON, A. B., J. H. MCKERROW and P. CARY, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **66**: 753-757. 1970.
- 68) MCKERROW, J. H. and A. B. ROBINSON, *Anal. Biochem.*, **42**: 565-568. 1971.
- 69) 今堀和友・山川民夫監修, 生化学辞典. 1147. 東京化学同人. 東京. 1984.
- 70) 中馬一郎, 蛋白質・核酸・酵素, **14**: 1043-1051. 1969.
- 71) WEISS, J. J., *Nature*, **202**: 83-84. 1964.
- 72) WITTENBERG, J. B., R. W. NOBLE, B. A. WITTENBERG, E. ANTONINI, M. BRUNORI and J. WYMAN, *J. Biol. Chem.*, **242**: 626-634. 1967.
- 73) PEISACH, J., W. E. BLUMBERG, B. A. WITTENBERG and J. B. WITTENBERG, *J. Biol. Chem.*, **243**: 1871-1880. 1968.
- 74) BLUMBERG, W. E., J. P. BEATRICE, A. WITTENBERG and J. B. WITTENBERG, *J. Biol. Chem.*, **243**: 1854-1862. 1968.
- 75) PAULING, L., *Nature*, **203**: 182-183. 1964.
- 76) WEISS, J. J., *Nature*, **203**: 183. 1964.
- 77) VIALE, R. O., G. M. MAGGIORA and L. L. INGRAM, *Nature*, **203**: 183-184. 1964.
- 78) ROSSI-FANELLI, A., A. ANTONINI and A. CAPUTO, *Advances in Protein Chemistry*. **19**: 149. Academic Press. New York. 1964.
- 79) FABRY, T. and H. A. REICH, *Biochem. Bio-*

- phys. Res. Commun., **22**: 700-703. 1966.
- 80) 飯塚哲太郎・森島 積, NMR の生化学への応用. 109-136. 化学同人. 東京. 1976.
- 81) FOX, J. B., J. Agr. Food Chem., **14**: 207-210. 1966.
- 82) LEE, S. H. and R. G. CASSENS, J. Food Sci., **41**: 969-970. 1976.
- 83) TARLADGIS, B. G., J. Sci. Food Agric., **13**: 485-491. 1962.
- 84) REITH, J. F. and M. SZAKARY, J. Food Sci., **32**: 194-196. 1967.
- 85) 橋本吉雄, 安井 勉, 日畜会報, **28**: 267-270. 1957.
- 86) CAUGHEY, W. S., C. H. BARLOW, J. C. MAXWELL, J. A. VOLPE and W. J. WALLACE, Ann. N. Y. Acad. Sci., **244**: 1-9. 1975.
- 87) GIDDINGS, G. G., J. Food Sci., **42**: 288-294. 1977.
- 88) ROSSI-FANELLI, A., A. ANTONINI and A. CAPUTO, Advances in Protein Chemistry. **19**: 154-158. Academic Press. New York. 1964.
- 89) ROSSI-FANELLI, A., A. ANTONINI and A. CAPUTO, Advances in Protein Chemistry. **19**: 198-199. Academic Press. New York. 1964.
- 90) PAN, B. S. and N. SOLBERG, J. Food Sci., **37**: 29-32. 1972.
- 91) GEORGE, P. and C. J. STRATMANN, Biochem. J., **51**: 418-425. 1952.
- 92) SNYDER, H. E. and J. C. AYRES, J. Food Sci., **26**: 469-474. 1961.
- 93) GEORGE, P. and C. J. STRATMANN, Biochem. J., **51**: 103-108. 1952.
- 94) 松浦文雄・橋本周久・黄川田楨・山口勝巳, 日水誌, **28**: 210-216. 1962.
- 95) BROWN, W. D. and L. B. MEBINE, J. Biol. Chem., **244**: 6696-6701. 1969.
- 96) BROWN, W. D. and A. DOLEV, J. Food Sci., **28**: 211-213. 1963.
- 97) ZACHARIAH, N. Y. and L. D. SATTERLEE, J. Food Sci., **38**: 418-420. 1973.
- 98) SNYDER, H. E. and H. B. SKRDANT, J. Food Sci., **31**: 468-473. 1966.
- 99) BROWN, W. D. and A. DOLEV, J. Food Sci., **28**: 207-210. 1963.
- 100) 三浦弘之・泉本勝利・塩見雅志, 帯広畜大研報, **11**: 389-401. 1979.
- 101) FRONING, C. W., Poultry Sci., **51**: 1940-1943. 1972.
- 102) BALA, K. and H. D. NAUMANN, J. Food Sci., **42**: 563-56. 1977.
- 103) KOIZUMI, C. and J. NONAKA, J. Food Sci., **38**: 813-815. 1973.
- 104) LEDWARD, D. A., J. Food Sci., **35**: 33-37. 1970.
- 105) HOOD, D. E., Meat Sci., **4**: 247-265. 1980.
- 106) SOLBERG, M. and W. C. FRANKE, J. Food Sci., **36**: 990-993. 1971.
- 107) ROSSI-FANELLI, A., E. ANTONINI and B. MONDOVI, Arch. Biochem. Biophys., **68**: 341-354. 1957.
- 108) STEWART, M. R., B. K. HUTCHINS, M. W. ZIPSER and B. M. WATTS, J. Food Sci., **30**: 487-491. 1965.
- 109) BROWN, W. D. and H. E. SNYDER, J. Biol. Chem., **244**: 6702-6706. 1969.
- 110) 橋本吉雄・安井 勉, 日畜会報, **26**: 211-213. 1955.
- 111) WATTS, B. M., J. KENDRIC, M. W. ZIPSER, B. HUTCHINS and B. SALLEH, J. Food Sci., **31**: 855-862. 1966.
- 112) AL-SHAIBANI, K. A., R. J. PRICE and W. D. BROWN, J. Food Sci., **42**: 1013-1015. 1977.
- 113) GREENE, B. E., J. Food Sci., **34**: 110-113. 1969.
- 114) ZIMMERMAN, G. L. and H. E. SNYDER, J. Food Sci., **34**: 258-261. 1969.
- 115) PIERSON, M. D., D. L. COLLINS-THOMPSON and Z. J. ORDAL, Food Technol., **24**: 1171-1175. 1970.
- 116) 泉本勝利, 農化, **50**: 55-59. 1976.
- 117) 泉本勝利・岩原良晴・三浦弘之, 日畜会報, **53**: 474-479. 1982.
- 118) CUTAIA, A. J. and Z. J. ORDAL, Food Technol., **18**: 757-760. 1964.
- 119) GOVINDARAJAN, S., H. O. HULTIN and A. W. KOTULA, J. Food Sci., **42**: 571-577, 582, 1977.
- 120) HUFFMAN, D. L., A. M. LY and J. C. CORDRAY, J. Food Sci., **16**: 1563-1565. 1981.
- 121) SHIMIZU, C. and F. MATSUURA, Agric. Biol. Chem., **35**: 468-475. 1971.
- 122) HAGLER, L., R. I. COPPES and R. H. HERMAN, J. Biol. Chem., **254**: 6505-6514. 1979.
- 123) TOTH, L., Fleischwirtschaft, **63**: 208-211. 1983.
- 124) FOX, J. B. and J. S. THOMSON, Biochem., **2**: 465-470. 1963.
- 125) REITH, J. F. and M. SZAKARY, J. Food Sci., **32**: 188-193. 1967.
- 126) FUJIMAKI, M., M. EMI and A. OKITANI, Agric. Biol. Chem., **39**: 371-377. 1975.
- 127) BROOKS, J., Proc. Roy. Soc., B **123**: 368-382. 1937.
- 128) FOX, J. B. and S. A. ACKERMAN, J. Food Sci., **33**: 364-370. 1968.
- 129) WALTERS, C. L., R. J. CASSELDEN and A. McM. TAYLOR, Biochim. Biophys. Acta, **143**: 310-318. 1967.
- 130) KOIZUMI, C. and W. D. BROWN, J. Food Sci., **36**: 1105-1109. 1971.
- 131) WATTS, B. M., Advances in Food Research. **5**: 1-54. Academic Press. New York. 1954.
- 132) GIDDINGS, G. C., CRC Crit. Rev. Food Technol., **5**: 143-173. 1974.

- 133) LIVINGSTON, D. J. and W. D. BROWN, Food Technol., **35**: 244-252. 1981.
- 134) WIRTH, F., Fleischwirtschaft, **55**: 17-20. 1975.
- 135) MACDOUGALL, D. B., D. S. MOTTRAM and D. N. RHODES, J. Sci. Food Agric., **26**: 1743-1754. 1975.
- 136) CASSENS, R. G., M. L. GREESER, T. ITO and M. LEE, Food Technol., **33**: 46-56. 1979.
- 137) MATHEY, R., Fleischwirtschaft, **59**: 1639-1650. 1979.
- 138) KRAMER, A., T. SOLOMOS, F. WHEATON, A. PURI, S. SIRIVICHAYA, Y. LOTEM, M. FOWKE and L. EHRLMAN, Food Technol., **34**: 65-74. 1980.
- 139) LEE, B. H., R. E. SIMARD, L. C. LALEYE and R. A. HOLLEY, J. Food Sci., **48**: 1537-1542. 1983.
- 140) 泉本勝利・梅谷 淳・三浦弘之, 日畜会報, **53**: 672-676. 1982.
- 141) KENNEDY, J. E. Jr., J. L. OBLINGER and P. L. WEST, J. Food Sci., **45**: 1273-1277. 1980.
- 142) SHAW, B. G., C. D. HARDING and A. A. TAYLOR, J. Food Technol., **15**: 397-405. 1980.
- 143) GRAU, G. H., J. Food Sci., **48**: 236-238. 1983.
- 144) HENRY, K. G., J. W. SAVELL, G. C. SMITH, J. G. EHLERS, and C. VANDERZANT, J. Food Sci., **48**: 1735-1740. 1983.
- 145) BEYER, K., Fleischwirtschaft, **63**: 1741-1746. 1983.
- 146) CHEAH, K. S., J. Food Technol., **11**: 181-186. 1976.
- 147) JAKOBSSON, B. and N. BENGTTSSON, J. Food Sci., **38**: 560-565. 1973.
- 148) 橋本吉雄・安井 勉, 日畜会報, **28**: 249-251. 1957.
- 149) IGUBINEDION, J. E., V. R. CAHILL, H. W. OCKERMAN, N. A. PARRETT and B. D. VANSTAVERN, J. Food Sci., **48**: 848-852. 1983.
- 150) AMUNDSON, C. M., J. G. SEBRANEK, A. A. KRAFT, R. E. RUST, M. K. WAGNER and W. H. GEHRKE, J. Food Sci., **47**: 355-358, 362. 1982.
- 151) DAUN, H., M. SOLBERG, W. FRANKE and S. GILBERT, J. Food Sci., **36**: 1011-1014. 1971.
- 152) O'KEEFFE, M. and D. E. HOOD, Meat Sci., **5**: 27-39. 1980.
- 153) O'KEEFFE, M. and D. E. HOOD, Meat Sci., **5**: 267-281. 1980.
- 154) SEIDMAN, S. C., G. C. SMITH, Z. L. CARPENTER, T. R. DATSON and C. W. DILL, J. Food Sci., **44**: 1036-1041. 1979.
- 155) GILL, C. O. and K. H. TAN, Applied Env. Microbiol., **39**: 317-319. 1980.
- 156) TAN, K. H. and C. O. GILL, Meat Sci., **7**: 9-17. 1982.
- 157) MUNOZ-DELGADO, J. A., 5th International Congress Food Science and Technology, Kyoto 1978. 212-220. Kodansya. Tokyo. 1979.
- 158) BALA, K., W. C. STRINGER and H. D. NAUMANN, J. Food Sci., **42**: 743-746. 1977.
- 159) HESS, E., W. ROUSCH and C. BREER, Congress Documentation Vol. 2: 26th European Meeting of Meat Research Workers, 256-260. 1980.
- 160) LOPEZ-LORENZO, P., P. HERNANDEZ, B. SANZ-PEREZ and J. A. ORDONEZ, Meat Sci., **4**: 89-94. 1980.
- 161) HANNA, M. O., C. VANDERZANT, G. C. SMITH and J. W. SAVELL, J. Food Prot., **44**: 928-933. 1981.
- 162) BARTKOWSKI, L., F. D. DRYDEN and J. A. MARCHELLO, J. Food Prot., **45**: 41-45. 1982.
- 163) 岡山高秀・尾崎通昭・源 伸介・伊藤和彦・近藤健次郎, 神大農研報, **15**: 149-154. 1982.
- 164) 富岡芳彦・安田松夫・土屋恵美子・横山理雄, 日食工誌, **30**: 25-32. 1983.
- 165) 永松幹晴・日比 洋, 食肉界, **20**: 75-80. 1983.
- 166) ORDONEZ, J. A. and D. A. LEDWARD, Meat Sci., **1**: 41-48. 1977.
- 167) SAVELL, J. W., G. C. SMITH, M. O. HANNA and C. VANDERZANT, J. Food Prot., **44**: 923-927. 1981.
- 168) 岩原良晴・泉本勝利・三浦弘之, 第75回日畜大会要旨, **65**. 1984.
- 169) OCKERMAN, H. W. and F. L. CRESPO, J. Food Sci., **46**: 1944-1945. 1981.
- 170) 泉本勝利・青山式孝・菅原方見・三浦弘之, 第75回日畜大会要旨, **65**. 1984.
- 171) HESS, E., W. RUOSCH and C. BREER, Fleischwirtschaft, **60**: 1513-1517. 1980.
- 172) WOLFE, S. K., Food Technol., **34**: 55-57, 63. 1980.
- 173) SILLIKER, J. H. and S. K. WOLFE, Food Technol., **34**: 59-63. 1980.
- 174) FURIA, T. E., CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., **14**: 111-134. 1982.
- 175) HAMMES, W. P., A. FISCHER, F. SCHRAMM and A. BAUR, Fleischwirtschaft, **63**: 1715-1725. 1983.
- 176) FISCHER, A., W. P. HAMMES, A. BAUR and A. SCHRAMM, Fleischwirtschaft, **63**: 1593-1602. 1983.
- 177) WYSZECKI, G. and W. S. STILES, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulas: Color Science. 229. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1967.
- 178) 山口昌一郎・川上元郎, 色彩工学入門, 5. オーム社. 東京. 1967.
- 179) DRABKIN, D. L., J. Biol. Chem., **182**: 317-333. 1950.
- 180) 松浦文雄・橋本周久, 日水誌, **20**: 946-950. 1955.
- 181) KRZYWICKI, K., Meat Sci., **7**: 29-36. 1982.
- 182) BROUMAND, H., C. O. BALL and E. F. STIER,

- Food Techol., **12**: 65-77. 1958.
- 183) GINGER, I. D., G. D. WILSON and B. S. SCHWEIGERT, *J. Agric. Food Chem.*, **2**: 1037-1040. 1954.
- 184) ANDERTON, J. I. and D. J. LOCKE, *Nature.*, **175**: 818-819. 1955.
- 185) HORNSEY, H. C., *J. Sci. Food Agric.*, **7**: 534-540. 1956.
- 186) 岡山高秀・永田致治, *日畜会報*, **49**: 866-871. 1978.
- 187) 岡山高秀・永田致治, *日畜会報*, **50**: 15-21. 1980.
- 188) 中西武雄・泉本勝利, *酪農科学の研究*, **21**: A233-240. 1972.
- 189) 山口昌一郎・川上元郎, *色彩工学入門*. 102. オーム社. 東京. 1967.
- 190) 金子隆芳, *色の科学*. 86-102. みすず書房. 東京. 1968.
- 191) 中井博康・安藤四郎・池田敏雄・西尾重光, *日畜会報*, **51**: 411-416. 1980.
- 192) MACDOUGALL, D. B., *J. Sci. Food Agric.*, **21**: 568-571. 1970.
- 193) STEWART, M. R., M. W. ZIPSER and B. M. WATTS, *J. Food Sci.*, **30**: 464-469. 1965.
- 194) HONIKEL, K. O., A. HAMID, C. FISCHER and R. HAMM, *J. Food Sci.*, **46**: 23-25, 31. 1981.
- 195) SCOPES, R. K., *Biochem. J.*, **91**: 201-207. 1964.
- 196) BENDALL, J. R. and J. WISMER-PEDERSEN, *J. Food Sci.*, **27**: 144-157. 1962.
- 197) KATENSCHMIDT, L. L., G. R. BEECHER, J. C. FORREST, W. C. HOESTRA and E. J. BRISKEY, *J. Food Sci.*, **30**: 565-572. 1965.
- 198) 星野忠彦・新妻沢夫・勝倉義璋・山口高弘, *酪農科学の研究*, **22**: A 236-241. 1973.
- 199) SAKATA, R., M. OHSO and Y. NAGATA, *Agric. Biol. Chem.*, **45**: 2077-2081. 1981.
- 200) CHEAH, K. S. and A. M. CHEAH, *J. Sci. Food Agric.*, **27**: 1137-1144. 1976.
- 201) CHEAH, K. S., A. M. CHEAH, A. R. CROSLAND and J. C. CASEY, *Meat Sci.*, **10**: 117-130. 1984.
- 202) 高橋典威, *化学と生物*, **19**: 261-267. 1981.
- 203) TAKAHASHI, K., F. NAKAMURA and M. OKAMOTO, *J. Biochem.*, **92**: 809-815. 1982.
- 204) BRISKEY, E. J., *Advances in Food Research*. 89-178. Academic Press. New York. 1964.
- 205) BENDALL, J. R., *The Structure and Function of Muscle*. vol. II. 2nd ed. (BOURNE, H. ed.) 243-309. Academic Press. New York. 1973.
- 206) 深沢利行, *日畜会報*, **46**: 501-508. 1975.
- 207) NEWTON, K. G. and C. O. GILL, *Meat Sci.*, **5**: 223-232. 1980-81.
- 208) FABIANSSON, S., I. ERICHSEN and A. L. REUTERSWARD, *Meat Sci.*, **10**: 21-33. 1984.
- 209) LAWRIE, R. A., *Meat Science*. 297-306. Pergamon Press. Oxford. 1974.
- 210) WACHHOLZ, D., R. G. KAUFFMAN, D. HENDERSON and J. V. LOCHNER, *J. Food Sci.*, **43**: 1150-1152. 1978.
- 211) MACDOUGALL, D. B., *Food Chem.*, **9**: 75-88. 1982.
- 212) LAWRIE, R. A., *J. Sci. Food Agric.*, **9**: 721-727. 1958.
- 213) BENDALL, J. R. and A. A. TAYLOR, *J. Sci. Food Agric.*, **23**: 707-719. 1972.
- 214) NAUGHTON, J. J., M. M. FRODYMA and H. ZEITLIN, *Science*, **125**: 121. 1957.
- 215) ERDMAN, A. M. and B. M. WATTS, *J. Agric. Food Chem.*, **5**: 453-455. 1957.
- 216) SNYDER, H. E., *J. Food Sci.*, **30**: 457-463. 1965.
- 217) GIDDEY, C., *J. Sci. Food Agric.*, **17**: 14-17. 1966.
- 218) SNYDER, H. E. and D. J. ARMSTRONG, *J. Food Sci.*, **32**: 241-254. 1967.
- 219) FRANKE, W. C. and M. SOLBERG, *J. Food Sci.*, **36**: 515-519. 1971.
- 220) OORD, A. H. A. and J. J. WESDORP, *J. Food Technol.*, **6**: 1-13. 1971.
- 221) KRZYWICKI, K., *Meat Sci.*, **3**: 1-10. 1978.
- 222) KUBELKA, P. and F. MUNK, *Z. Techn. Physik*, **12**, 593-601. 1931.
- 223) JUDD, D. B. and G. WYSZECKI, *Color in Business, Science, and Industry*. 3rd ed. 420-461. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1975.
- 224) HUTCHINS, B. K., T. H. P. LIU and B. M. WATTS, *J. Food Sci.*, **32**: 214-217. 1967.
- 225) LEDWARD, D. A., *J. Food Sci.*, **37**: 634-635. 1972.
- 226) HARRISON, A. R., D. H. KROPF, D. M. ALLEN, M. C. HUNT and C. L. KASTNER, *J. Food Sci.*, **45**: 1052-1053. 1980.
- 227) LEDWARD, D. A., *J. Food Sci.*, **36**: 138-140. 1971.
- 228) 泉本勝利・中西武雄, *酪農科学・食品の研究*, **29**: 169-177. 1980.
- 229) 泉本勝利・三浦弘之, *日畜会報*, **55**: 76-81. 1984.
- 230) 佐藤雅子・日置隆一, *色彩科学ハンドブック (表色系)*. 83-157. 東大出版会, 東京. 1980.
- 231) 岡田喜義・納谷喜信ら, *色彩科学ハンドブック (測定と色比較の方法)*. 183-255. 東大出版会, 東京. 1980.
- 232) 日本工業標準調査会, JIS Z 8729. 日本規格協会. 東京. 1980.
- 233) 中西武雄・泉本勝利, *酪農科学の研究*, **22**: A 71-87. 1973.
- 234) 泉本勝利, *化学と生物*, **13**: 454-457. 1975.
- 235) IZUMIMOTO, M. and H. MIURA, *Jpn. J. Zootech. Sci.*, **53**: 429-437. 1982.
- 236) KOSKITALO, L. N. and D. P. ORMROD, *J. Food Sci.*, **37**: 56-59. 1972.
- 237) MACDOUGALL, D. B., I. BREMNER and A. C.

- DALFARNO, J. Sci. Food Agric., **24**: 1255-1263. 1973.
- 238) HAAS, M. C. and L. J. BRATZLER, J. Food Sci., **30**: 64-68. 1965.
- 239) JEREMIAH, L. E., Z. L. CARPENTER and G. C. SMITH, J. Food Sci., **37**: 476-479. 1972.
- 240) MACDOUGALL, D. B. and D. N. RHODES, J. Sci. Food Agric., **23**: 637-647. 1972.
- 241) STEINHAUF, D., G. H. M. PAHL and J. H. WENIGER, Fleischwirtschaft, **16**: 318-320. 1964.
- 242) LOHSE, B. and D. A. PFAU, Fleischwirtschaft, **16**: 658-659. 1964.
- 243) LOHSE, B., D. A. PFAU and L. J. SCHRODER, Fleischwirtschaft, **45**: 121-124. 1965.
- 244) WENIGER, J. H., Fleischwirtschaft, **45**: 124-126. 1965.
- 245) FLOCK, D., Fleischwirtschaft, **48**: 1362-1365. 1968.
- 246) STEINHAUF, D. and D. F. K. WEISS, Fleischwirtschaft, **46**: 39-40. 1966.
- 247) 泉本勝利, 帯広畜大研報, **12**: 365-371. 1982.