

冷凍メルルーサの解凍に関する研究 (第5報)

— 緩慢解凍法について —

斎藤 貴美子

はじめに

集団給食において、献立作成に際しては種々な制約をうけるが、その中でも経済面、労力面での制約が最も影響を及ぼす。特に価格変動の激しい昨今においてはこの現象が顕著であり、その対処策として、魚においては、生鮮魚と比べ価格安定・省力化にもつながる冷凍魚の使用が一般的となっている。しかし、冷凍魚の場合、解凍という操作が入って利用するため、解凍方法により、味覚上または栄養的損失等にも差異が生じると考える。いわゆる冷凍魚の解凍は解凍条件の影響が大きく、この良否が、鮮度、栄養素の損失、味を決定する重要な要素と思われる。過去に、冷凍食品に関して各施設での実態調査を行ったが、冷凍魚に関しては、大量がゆえに解凍上の問題点があることが明らかとなった。家庭用の場合は、専門店で解凍の段階まで処理されている場合が多いが、大量調理の場合は、購買管理の上から購入後に行うことが多く、各施設でこの段階から調理の前処理作業として扱うことになる。

冷凍魚の解凍法を大別すると、緩慢解凍法と急速解凍法がある。

集団給食の場合、大量処理することから、時間的な制約や解凍設備の有無、労力の大小などが大きく影響し、利用する解凍法の条件として、家庭用と異なり、早くて簡単なことが優先されている場合も多い。従来までの緩慢解凍を良い方法としている理由は、組織の復元に時間的余裕が与えられるとしていたが、

最近の冷凍魚は品質のレベルアップによって短時間でよいという報告もある。現場で利用されている解凍法はどのような方法なのか実験して明らかにし、今後利用しやすい効率的な解凍方法を見いだしたいと考える。

実態調査の結果一番利用率の高かったメルルーサについて、解凍条件の違いにより解凍状況がどう影響をうけるか種々の実験を行い、今回は緩慢解凍法について結果をまとめたので報告する。

解凍後の品質を決定するのは、解凍前品質、解凍速度、解凍温度とされているが、解凍前品質については消費者が判断しにくい条件のため、今回のよい解凍法を判断する条件とし、①解凍速度、②解凍終温度、その結果生じる③ドリップ量によってまとめた。

実験方法

実験材料はチリ産のメルルーサを選び、1切の厚さを2.5cm、幅4cm、重さ50gに調整した身を1~10個合せて1回の試料とし、解凍前の品質を統一するためにpH6.6~6.8のものを使用した。この用意した試料を、常温(10, 20, 30℃)、冷蔵庫、送風、電子レンジ、水中包装(室温20℃)、水中無包装(室温20, 30℃)、温水包装(40, 50℃)解凍法で、さらに魚/水の割合を変えて26条件による解凍実験を行い、ドリップ量、魚肉中心温度、水温変化、終温度、pH、解凍時間、解凍進行状態、形態の変化などを測定した。ドリップの測定は、各条件下で一定時間解凍した試料を

とりだしてナイロン網を張ったシャーレの上のせ、肉の重量の差をドリップ量とした。その際、魚から自然におちる汁を一定条件でしぼるために、100gの荷重を30秒かけて測定した。また、室温は実験中に変化することも多いため、 $\pm 2^\circ\text{C}$ を許容範囲とし、解凍点は、PFNETRO METFRIにより確認した。

結果と考察

1 解凍速度と終温度

今回実施した解凍法の中で比較的解凍進行速度が遅く、解凍時間が長かった方法10

位までを緩慢解凍法とし、結果を表1にまとめた。冷蔵庫、常温、水中包装(外気温 20°C ・魚/水100%)、水中無包装(外気温 20°C ・魚/水100%、70%)解凍法が上位を示した。常温は外気温が低温ほど上位であり、水中包装、水中無包装解凍においては、水に対して魚の量が約100%の高割合のみ含まれた。解凍時間は、75分~13時間と大きく開きがあり、冷蔵庫解凍は12時間前後で約半日の時間を要し、2位以下の方法と比べて大差があった。解凍速度がもっとも緩慢であった冷蔵庫と常温解凍法を通して、解凍進行状態の特徴をつかみたい。

表1. 緩慢解凍法による解凍結果

順位	解凍方法	条件	解凍時間 (min)	ドリップ量 (%)	終温度 ($^\circ\text{C}$)
1	冷蔵庫	包装あり	13 hr	2	2.5
2	冷蔵庫	包装なし	12 hr	1	1.5
3	常温	外気温 10°C	270	4	2
4	常温	外気温 20°C	150	5	5
5	水中包装 (外気温 20°C , 水温 15°C)	魚/水 100%	120	5.8	3
6	水中無包装 (外気温 20°C , 水温 15°C)	魚/水 100%	100	8	5
7	水中無包装 (外気温 20°C , 水温 15°C)	魚/水 70%	90	9	5.5
8	常温	外気温 30°C	80	6	15
8	温水包装 (外気温 20°C , 水温 40°C)	魚/水 100%	80	2.8	4
10	水中包装 (外気温 20°C , 水温 15°C)	魚/水 40%	75	6.5	4

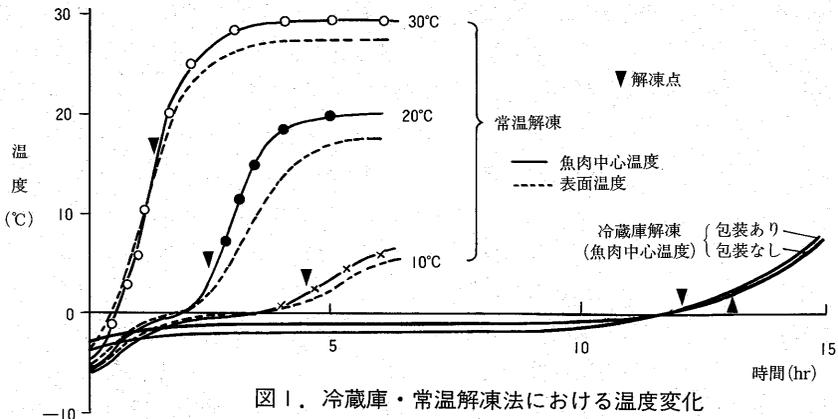


図1. 冷蔵庫・常温解凍法における温度変化

解凍進行時における温度変化を、図1に示した。解凍速度が遅い緩慢解凍は、温度変化にもその関係が現われている。常温解凍は30℃の場合比較的急速度で上昇が見られたが、20℃より10℃、さらに庫内温度5℃の冷蔵庫と、環境温度が低温ほどある時点まで緩慢に上昇し、その時間も長くなり、その後急上昇する形をえがく。温度の急上昇の変化は、いずれも解凍完了点前後でみられた。

そして、いずれも解凍開始時は魚肉の表面より中心温度の方が低温であるが、解凍完了時近くでその高低が入れ替っている。凍結中は、凍っていることによって室温、庫内温度の環境温度に影響を受けないが、解凍が進むと温度がより伝わりやすくなり、環境温度の影響を受けることになる。また、同温度の冷蔵庫内でも、ビニール袋による有包装の方は、無包装よりも魚肉の中心、表面温度共に高い。ビニールで覆われるため、庫内温度の影響を受けるのが間接的になって弱まるのと、解凍が進行して魚肉の熱がビニール内にこもるためではないかと思われる。したがって、食品を覆って冷蔵庫に入れる場合は、覆うものは重ねるよりも1枚で、より薄いものにした方がよいことになる。

緩慢解凍の温度変化で特徴的なことは、冷蔵庫解凍に顕著にみられるように、 $-5 \sim 0^{\circ}\text{C}$ の間で温度上昇が緩慢になり、やや横ばいの曲線をえがくことである。凍結の場合はこの間で肉中の水分の大部分が氷結するので、この域を最大氷結生成帯と呼んでいる。解凍曲線の場合はこの温度内で肉中の氷が最も解けるため、田中はこの温度域を最大氷結融解帯と呼んでいる¹⁾。この現象がおきるのは、氷の温度を 1°C 上昇させるには約 0.5 kcal/kg の熱量で足りるが、氷を水にとかすには約 80 kcal/kg と160倍もの熱量を使用し、いわゆる最大氷結融解帯で最も熱量を必要とする。解凍速度は、ここをどれだけ時間

で通過させるかによってきまり、早く通過させることによって、たん白変性、この域で活動し始める多くの酵素の生化学的変化の働きも抑制される。この点においては急速解凍の方が、解凍中の細菌汚染並びにそれによる変質防止に有効であるといえる。

解凍時の食品の最高温度を解凍終温度と呼ぶが、ここでは試料全体が解凍した時点の中心温度をもって表した(表1)。解凍は品温が 0°C に達すれば終了するはずであるが、部分による解凍速度の違いもあり、一部が 0°C に達した時点にとどまらず、実際にはさらに全体の解凍に向って解凍操作は続けられ、温度も上昇するのである。冷蔵庫、常温(外気温 $10, 20^{\circ}\text{C}$)、水中包装(外気温 20°C ・魚/水 100%)解凍においては、 $1.5 \sim 5^{\circ}\text{C}$ の範囲であった。これは環境温度によって解凍速度が影響され、どの時点で全体の解凍点を迎えるかになるものと考えられる。

緩慢解凍の場合、時間をかけて進行するため、全体的に解凍が同時進行し、試料の部分による温度差は小さい。文献によると²⁾、解凍品の場合は解凍速度よりも解凍終温度の方が、品質に影響すると述べられている。適した終温度は、魚のどの部分でもできるだけ低く、細菌学的見地からは 5°C 以下が望ましく、許容される上限は 10°C であり、かつ短時間にとどめるべきであると指摘している。今回の緩慢解凍の上位にあげた解凍法においては、いずれも適した温度範囲に入っていることが確認できた。しかし魚肉の温度は終温度に達した時点にとどまらず、環境温度が高温であればそれに向けて上昇する。したがって実際に利用する場合、環境温度が 10°C 以上の場合は、細菌学的にみて、早く加熱処理する必要がある。

2. ドリップ量

ドリップとは、冷凍した食品を解凍すると

き分離流出する液汁であるが、本研究では、解凍条件の違いによる解凍結果判定上、最も重視する項目として測定を行った。その理由として、解凍とドリップの関係を次のように考える。ドリップの成因および過程は、いくつかの報告によると、凍結前細胞内に蛋白質等栄養成分と水和した状態で存在していた水が、凍結過程で分離して細胞外に出て氷結する。さらに、解凍の段階で解けた水は細胞や組織に再吸収されて組織学的あるいは形態的復元をし、その後蛋白質の水和による復元がなされるとのことである¹⁾²⁾。解凍時に再吸収されない水分が魚肉外へ流出してくるのがドリップであり、また組織内の水も保水力が弱るとドリップとして流出してくると解釈できる。この一連の過程の中で、解凍時の条件以外にドリップ量を左右する因子としては、主な報告から次の2点がある。凍結食品中の蛋白質が、酸化や脂質の加水分解物や酸化生成物、ホルムアルデヒド、重金属イオンなどが結合して変性すると、氷結によって脱水されたまま凍結後吸水できず、ドリップを生成することになる³⁾⁴⁾。また、死後硬直前に凍結された場合は、解凍時に肉が収縮して多量のドリップを流出する解凍硬直と称する現象をおこす。凍結時における肉中のATP、グリコーゲン、SH含量が多く、解凍時にはこれらの成分が急激に減少し、同時に筋肉の収縮が起こる⁵⁾ということである。これらの点は、凍結、貯蔵過程における化学的、酵素的変化の要素であるが、現在においては、死後硬直をすぎた肉を凍結する方法が採用されているし、保管中の温度管理が規制によって実施されているので、これらの点によるドリップの誤差は少なく、むしろ解凍条件の影響が大きいと考えた。さらに、ドリップの内容に関しては、蛋白質やアミノ酸及びビタミン類などの栄養成分を含んでいるという報告例⁶⁾⁷⁾⁸⁾や、筋肉組織の損傷の程度は圧出ドリップ量の測定に

より判定できるという例⁹⁾の他、解凍時におけるドリップ量は冷凍食品の指標のひとつになるという文献¹⁰⁾¹¹⁾がある。これらの結果により、ドリップの流出は、栄養素の損失、食味低下、重量損失などの食品品質への影響があり、ドリップの多少が解凍結果の良否を決める大きな要因と考える。本研究進行後、メルルーサの品質低下と客観的指標の関係について検討した報告¹²⁾を得、考えの正しさが確認できた。報告内容は、遠心ドリップ量、塩溶性タンパク量、ジメチルアミン量、ホルムアルデヒド量による食感の変化を官能検査により調査した結果、品質低下の有効な指標としては、ドリップ量であることがわかったというものである。

緩慢解凍法の解凍法の違いによるドリップ量の流出状態を示したものが図2であり、冷蔵庫、常温解凍のみを示したものが図3である。

冷蔵庫解凍の場合、解凍進行は他の方法と比較して最も緩慢で、開始後8～9時間後に初めてドリップを生じ、12～13時間を経て解凍完了となる。解凍時のドリップ量は2%にとどまり、ドリップの状態も20時間を経過してお透明状態であった。そして、試料をなにも包装せずに冷蔵庫内で解凍した場合、時間経過とともに表面の乾燥度も高まっていき、ドリップ量より蒸発量の方が多くなる。魚肉を無包装のまま冷蔵庫内で解凍する場合は、全体的に解凍が進んで、内部では細胞内に比較的水を含んだ状態になりながら、一方、表面から水分を多く蒸発して乾燥した状態になるものと思われる。また、同じ庫内温度でもドリップ量はビニールで包装した方が多くなり、蒸発量は逆に少なくなるが、ドリップと蒸発分を合わせた、いわゆる解凍時に失われる水分は無包装の方が少量である。これを温度変化と合わせてみると、有包装の方は初めは低温で解凍の進行が遅いが、ある程度進

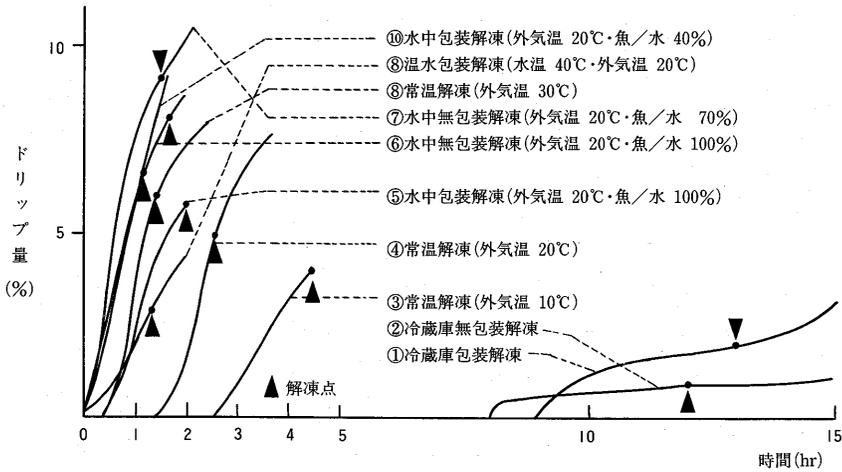


図2. 緩慢解凍法におけるドリップ量の経時変化

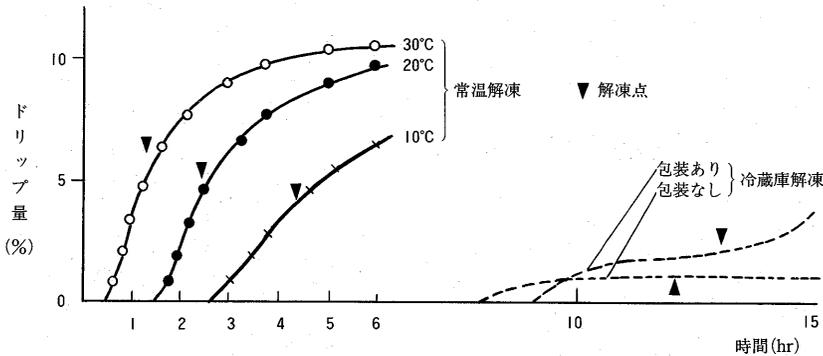


図3. 冷蔵庫・常温解凍法におけるドリップ量の経時変化

行すると、熱がこもって高温になり、より解凍が進行するためと思われる。

常温の場合は、室温が高いほど早く流出開始し、流出量も多い。解凍時における流出量は試料の重量に対して約4～6%の範囲であり、30℃、20℃、10℃の順に多いことを示している。30℃においては、20分以内ですでにドリップを生じはじめ2時間弱で完全に解凍終了となるが、10℃においては2.5時間後に初めてドリップを流出し、4.5時間後に解凍終了

となる。また、30℃ではドリップを生じた時点で中心部に氷のかたまりがあったが、10℃では同時点で氷のかたまりはなかった。このように、高温解凍すると表面から解凍が進行してそこからドリップを生じるが、低温解凍の場合、比較的全体に解凍が進んで水が細胞や組織に再吸収され、水和が十分に行われてそのまま細胞内に水を保てるため、ドリップが少ないのではないかと考える。

解凍時におけるドリップの状態は、30℃の

場合まだ透明であるが、2時間を経過すると白濁沈殿をはじめ、3時間で不透明、6時間経過すると腐敗臭があった。また、10℃の場合は、4時間経過時に少し色づき、6時間たつてうす茶色に呈する程度であった。解凍中の温度によって、鮮度の上でも大部差を生じてくることが示され、これにもなって細菌の汚染度合を含めた衛生状態も悪くなり、味も落ちると思われる。温度管理がないまま放置解凍している例があるが、問題であると思う。

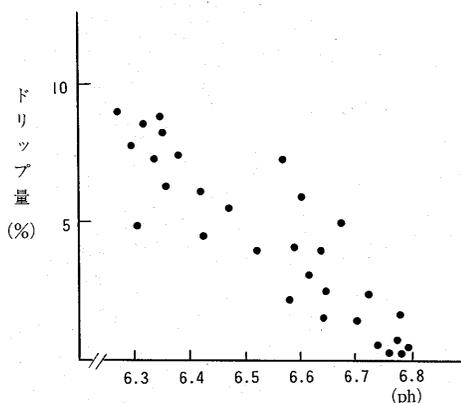


図4. 緩慢解凍法におけるpHとドリップ量

図4は、解凍時に測定した魚肉のpHとドリップ量の関係である。解凍前pH6.6~6.8を示していたものが、解凍進行するにしたがってpHの値がさがり、ドリップ量が増加していった。しかし魚肉の温度が上るにしたがってよりその傾向が現れた。鮮度の低下とともに保水性が低下して、ドリップの流出につながったと考える。先記のようにこの保水性は、冷凍魚の品質を左右する重要な要因である。魚体の保水性が低下すると、解凍時および調理時のドリップ量が多くなる。これは、魚体の水素イオン濃度 (pH) の影響が大きく、魚肉のpHが高いほど、解凍時および過熱調理時のドリップが少なくなる¹³⁾。魚体のpHは体内に

持つグリコーゲン量に比例して生成する乳酸量によって異なり、魚体内にグリコーゲンが多いとpHは低下する。

ドリップの流出状態について、先に最も緩慢な冷蔵庫と常温解凍をとりあげたが、これらを含めて緩慢解凍法全体のドリップ量について、次のようなことがいえる。表1に示すとおり、今回の実験結果で確認できたことは、ドリップ量は解凍時間、いわゆる解凍速度に必ずしも比例しないということである。それよりも解凍点を迎えた時の温度、終温度の関係が大である。従来から緩慢解凍法は、冷蔵庫解凍を例として、解けた氷が細胞や組織に最吸収される時間的余裕が十分与えられてよい解凍法とされてきたが、それは緩慢であることよりも、低温という条件がよいことになる。

解凍時の復元は、まず組織学的復元が、次に蛋白質の水和による復元がなされる。組織学的復元は細胞外でとけた氷が細胞内に再吸収されるが、これは短時間で処理される。さらに細胞内部の蛋白としっかりなじむのが水和であり、どれだけ復元できるかは、この水和にかかっている。品質によってはこの水和に時間が必要ともいわれていたが、最近の冷凍魚は、品質の著しい向上によって、吸水から水和まで、解凍法によって10~20分から2時間でよいという報告がある¹⁴⁾。水和がどこまで十分になされるかは、蛋白の質にかかわり、蛋白が変性すると保水力が低下する。したがって、蛋白の変性防止には、温度を低温に保つことが有効で、終温度の関係が大となったと考察する。

以上の結果をまとめると、緩慢解凍法の特徴は、栄養成分、旨味成分、重量の損失につながるドリップ量が、解凍時間上位10例の平均5.01%で、急速解凍法の平均5.79%より少量である。また、解凍後の品質に影響する終温度は、1例を除いて5℃以下であり、細菌

学的に望ましい範囲内にある。さらに部分による解凍進行速度の差が小さく、解凍ムラがない。これら3点ではよい解凍法の条件を満しているが、利用上の短所として、最大氷結晶融解帯の通過時間が長く、その結果解凍時間がかかるといふ点がある。この点に対する方策としては、最近の冷凍魚は品質のレベルアップによって組織の復元時間短縮により、経過時間を長くとりよりもむしろ大切なのは、品質が低下して蛋白質の変性による保水力低下にならないよう、温度を低温に保ち、 $-5 \sim 0^{\circ}\text{C}$ の最大氷結晶融解帯を速く通過させることである。解凍後の品質への影響は、温度と解凍速度が大である。したがって、よい解凍法を具体的に示すと、①ドリップ量5%以下、②最大氷結晶融解帯を約2時間以下の急速で解凍し、③解凍終温度を 5°C 以下にとどめることである。

環境条件が低温だと当然速度が緩慢になるが、速度を速める手段を利用し、低温で急速に解凍すれば、最良の方法となる。今回の結果から、3条件を満した方法は、温水包装(外気温 20°C ・水温 40°C ・魚/水100%)解凍のみであった。温水によって魚肉温度を高め、解凍速度を速めた方法である。温水の場合、魚/水の割合を小さくすると解凍速度はさらに速くなるが、同時に魚肉の温度を高めドリップ量増量に結びつくため、100%の高割合によって水温を一定以下にとどめた結果である。また、最大氷結晶融解帯の通過時間が2時間以内で、終温度が 5°C 以下の2条件を満した方法は、水中包装(外気温 20°C ・水温 15°C ・魚/水100, 40%)、水中無包装(外気温 20°C ・水温 15°C ・魚/水100%, 70%)解凍であった。水を利用して解凍速度を速める一方、水温が高くなならないよう凍結した魚肉を高割合入れることによって、解凍環境温度を低温に保った方法である。条件のよい解凍方法をあげたが、いずれも魚肉は細分化して厚みを小

さくした上で利用することが、解凍速度を速めるのに有効である。

要 約

冷凍魚の解凍時、条件の違いにより解凍結果がどう影響をうけるか、実験をとおして、今回は緩慢解凍についてまとめた。

1) 解凍時の魚肉の温度上昇において、解凍速度の決めてとなる $-5 \sim 0^{\circ}\text{C}$ の最大氷結晶融解帯の通過時間は、40分~12時間と長く、冷蔵庫解凍は特に長時間で、2位以下の方法と大差があった。

2) 解凍後の品質に影響を与える終温度は、1例を除いていずれも細菌学的に望ましい 5°C 以下であった。

3) 解凍終了時におけるドリップ量は、緩慢に解凍する解凍法10例の平均が5.01%で、急速に解凍する解凍法の5.79%より少量であった。

4) ドリップ量は、解凍速度よりも終温度の影響が大であった。

5) 部分による解凍進行速度の差は小さく、解凍ムラがない。

6) ドリップ量、解凍速度、終温度において、よい解凍法の条件を満したのは、温水包装(水温 40°C ・魚/水100%)解凍であった。

7) よい解凍法は、低温で急速に解凍することであり、速度を速めるために、一定条件のもとで水、温水を利用することは有効である。

<文 献>

- 1) 田中武夫：コールドチェーン研究，2，110-114 (1976)
- 2) Khan, A.W., S Lentz, C.P.: J.Food Sci., 30, 787 (1965)
- 3) 松本重一郎：Chemical deterioration of muscle proteins during frozen storage, Chemical Denaturation of Proteins,

- 95 (1980) American Chemical Society
- 4) Fennema, O. R. ed.: Proteins at Low Temperatures, 233 (1979) American Chemical Society
 - 5) 加藤, 藤巻, 田所編: 冷凍食品ハンドブック, 84 (1976) 光琳書院
 - 6) Khan, A.W., Van den Berg L. & Lentz, C. P.: J.Food Sci., **28** 425 (1963)
 - 7) 難波, 梅本: 大阪女子学園短大紀要, **16** 53 (1972)
 - 8) 駒田, 田村: 三洋電機技報, **20** 116 (1987)
 - 9) 小原哲次郎他編: 最新冷凍食品事典, 114 (1987) 朝倉書店
 - 10) M.C. Aron and A. Cblvelo: Meat Set. **4** 1 (1980)
 - 11) 榊原, 恩田, 中, 吉田: 女子栄養大学紀要, **21**, 91 (1990)
 - 12) D.H. Giannini, A.S. Ciarlo, R.L. Boerianic M.E. Almandos: Food Sci. Tech., **26**, 111 (1993)
 - 13) 稗田福三: 学校給食, **30** 24 (1979)