

講 座

蛋白質と調理(Ⅳ)

— 肉の加熱による変化(1) —

右 田 正 男

肉を熱するといろいろの変化が目につく。このうち調理の面から関心のもたれるのは、(1)肉汁の流れ出ること、(2)肉がしまつて硬くなること、ただし肉の性状などによっては軟らかにもなる、(3)肉の収縮がおこって容積の小さくなること、(4)生肉とちがった匂と味のでることなどであろう。

肉汁の流出、肉の硬化、容積の減少は主として凝固収縮など肉蛋白質の物理的状態の変化によるものであるが、味の変化には肉蛋白質と脂肪がいずれも関係しており、かつ複雑である。すなわち新しい味のでる原因の1つは、肉蛋白質や脂の部分的分解によって、生肉とちがった匂や味をもった物質の生ずるためであるが、このほか熱による肉蛋白質や脂の状態の変化によって、肉の物理的性質が変り、触感を通じて味に与える効果も大きい。蛋白質の及ぼす効果はこの場合も熱による凝固収縮に基づくものであって、肉組織をしめ咀嚼くに快適なかたさを与えることにあるのだろう。脂は生肉中ではコラーゲン性の膜に包まれた脂肪細胞内に蓄積されているが、熱によってとけ、これも熱によって結合組織が破れたり、ゼラチン化したところからしみ出し肉中にまわる。脂(グリセライド)そのものは弱い甘い味をもっているが、脂が肉中にまわるようになると、その固有の味のほか、肉組織に油性を与え口あたりを滑らかにし、かつ油のもつ被覆性によって口腔内を覆い味に持続性を与えるのではないかと考えられる。

このように熱による肉の変化は、肉蛋白質や脂肪組織の変化に基づくものといえるが、とくに蛋白質の変化の果す役割は大きい。

食肉の蛋白質

食肉といわれるのは主として骨骼筋の部分であって、筋センイからできている。筋センイは細胞であって、その中には容積の大半を占めるほど多数の筋原センイが走っており、その間を筋原質がみたしている。筋原センイには筋肉の運動に重要な役割をしている収縮性をもった蛋白質が含まれており、筋原質蛋白質には解糖作用に与

かる全酵素、および赤身の肉には色素蛋白質ミオグロビンが含まれている。この個々の筋センイを包み、さらにそれを束ねて筋肉組織を支え、強靱性を与えているのが結合組織である。その蛋白質のおもなものは、熱により収縮したり、水と長く熱せられると部分的に分解しゼラチンを生ずるコラーゲンである。

各肉蛋白質の特徴をまとめると第1表のようになる。表に示すように肉の主要蛋白質である筋原センイ蛋白質と筋原質蛋白質とは溶解性が異なり、筋原質蛋白質は水にも溶けるが、筋原センイ蛋白質は水にとけず、塩溶液にとけるが完全に溶かすには0.6モルの濃度を必要とする。一方筋肉には大体75~80%の水分が含まれており、これに K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 塩などがとけているが、その全濃度はKClに換算して大体0.16Mに等しい。したがって水にも溶ける筋原質蛋白質はもちろんこの中にとけるが、この濃度は筋原センイ蛋白質をとかすには足りない。すなわち肉の中で筋原センイ蛋白質はゲル、筋原質蛋白質はゾルの形で存在していると考えられる。

肉蛋白質の大半を占め、筋肉の構造蛋白質ともいわれる筋原センイ蛋白質がゲルの形で存在し、しかもそれが規則正しい組織を作っていることと、熱収縮する特性をもっていることは、加熱による肉の変化を複雑にしている大きな原因であろう。

第1表 筋肉タンパク質の性状

	形状	溶解性			熱による変化	含量(全タンパク質の%)	
		水	塩溶液(0.6モル)	希酸、希アルカリ		畜肉	魚介肉
筋原センイタンパク質(ミオシン区タンパク質)	糸状	—	+	+	凝固、収縮	40~50	60~70
筋原質タンパク質(非ミオシン区タンパク質)	球状	+	+	+	凝固	30~40	15~25
肉基質タンパク質(コラーゲン)	糸状	—	—	—	収縮分解(→ゼラチン)	20~30	3~5(サメ、10)

蛋白質と調理(Ⅳ)

肉の熱凝固

筋原質蛋白質の凝固は 55°C ではじまり、62°C で完了する。ただしこれは分離した蛋白質の溶液について測られたものである。前にのべたように蛋白質の凝固点は共存するいろいろの物質の影響をつよく受ける。ところが肉の中では蛋白質は脂肪、糖、塩と結合したり共存したりしている。それで肉としての凝固は 65°C 附近で起こるとされる(これはビフテキの rare と medium の境にあたる温度である)。このときゾルの形で含まれている筋原質蛋白質は豆腐状にかたまり、ゲル状の筋原センイ蛋白質は凝固の度がすすみ、ゲルの構造がしまるとともに収縮をおこす。

凝固がおこったり、凝固がすすめば当然肉の物理的性状がちがってくる。たとえば肉を煮るとかたくなる原因の 1 つは蛋白質の凝固である。しかし同じく凝固によって肉をかたくするにしても、収縮を伴う筋原センイ蛋白質の場合と、ゾルからゲルにかわる筋原質蛋白質の場合では、自らちがった効果を示すにちがいない。たとえば、筋原質蛋白質にはつなぎの役を期待できるのではないだろうか。カツオなどの肉は煮ると身がしまっかたくなる。だからカツオ節ができるわけである。しかしスケトウタラなどの肉は煮てもかたならず、むしろセンイがほぐれるようになる。すなわちでんぷになりやすい。このちがいの原因は全蛋白質中筋原質蛋白質の占める割合のちがい、たとえば、カツオ 35~39%、スケトウタラ 13~18% が関係しているのではないかといわれる。肉が熱せられると、ゲル状の筋原センイ蛋白質の凝固の度がすすむが、筋原質蛋白質は 60°C 近くまではまだゾルの形で筋センイの内外に充満しており、さらに高温になると筋原質蛋白質も凝固するが、そのさい豆腐状に固まり、筋センイ相互の接着を強め、肉全体をかたくするつなぎの役をするのであろう。したがって筋原質蛋白質の割合の多い肉は身がしまりかたくなるのではないかと考えられる。この考えは、筋原質蛋白質の多いカツオと、少いコガネガレイの煮熟肉の顕微鏡的観察によって裏付けられる。すなわち水煮したカツオ肉の筋センイの内外には熱凝固した蛋白質が充満しているが、コガネガレイの煮熟肉では、筋センイの内部にも、筋センイ間にも多数の空隙の存在が認められ、カツオの場合にみられた熱凝固蛋白質による組織の強化の不十分なことを示している。

サケ、マスの缶詰の肉にときどき見られる豆腐(curd)とよばれる現象がある。豆腐状にかたま肉蛋白質の凝固物が肉の表面にかぶさるようになつたものである。これもゾルの形で存在し、凝固点の高い筋原質蛋白質の凝固の仕方に関係があり、ゲル状の筋原センイ蛋白質の

凝固がすすみ収縮しはじめると、筋原質蛋白質はゾルのまま肉の内部から表面に押し出され、高温になるとそこで凝固するのがおもな原因と考えられる。そこでこの対策の 1 つとして、なるべく速かに缶内の温度を 50°C 以上とし、表面の凝固を促がし、内部から筋原質蛋白質の表面に押し出されるのを防ぐことが提案されている。

高温に熱し肉のまわりをまず凝固させることは、肉汁の流出を防ぎ肉のうま味を逃さぬための焼肉調理の常法でもある。

肉の熱収縮

肉が 60°C 以上に熱せられ凝固がはじまると、収縮してかさが小さくなる。この熱収縮といわれる現象は、すべての蛋白質に共通な性質ではない。たとえば卵の蛋白質は熱凝固のさい縮むということはない。

肉の収縮は温度によって収縮の速さも度合もちがう。牛肉を 40°C に熱したときは短くはなるが、かさは減らないといわれる。60°C になってはじめて収縮がおこる。肉の収縮といっても、こまかくみるとはじめはあらゆる方向に縮むのではなく、長さとは縮むが、充分温度の上るまでは厚さはかえって増す。たとえば肉の内部温度が 90°C になると容積は 17% 近く減るが、肉の厚さはかえって 8% 増しており、この温度に 1 時間保つと容積の減少は 25% 以上になるが、厚さは加熱前にくらべなお 3.5% の増加となっている。肉が 3 方向とも縮むのは、極端に熱せられた場合、焼調理でいう well done の極端な場合にかぎる。

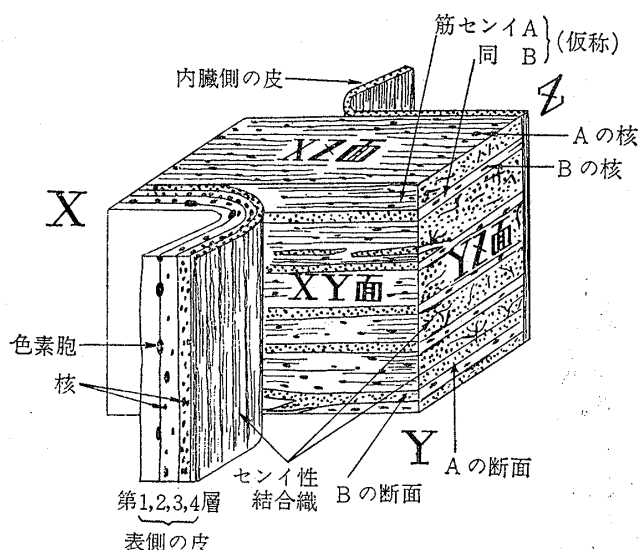
肉蛋白質のうち熱収縮性をもつものは筋原センイ蛋白質とコラーゲンであるが、コラーゲンは強い熱収縮を示し、60°C で正常の長さの $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ に縮むことが知られている。しかし畜肉や魚肉の筋原センイ蛋白質がどの程度の熱収縮を示すかを知るとはむづかしい。それは畜肉や魚肉では、コラーゲンの太いセンイが肉組織中に入りこみ、筋センイを包み、かつ束ねているからである。この点イカ肉は特異な構造をもっている所以この種の実験の好試料とされ、肉の熱収縮についていろいろ興味のある結果がえられている。

イカ肉の構造の特徴は、第 1 に筋センイの並び方に方向性のあることで、細長いセンイの大部分が層をなしてほぼ平行に並び胴部をとりまいた形になって、体軸と直角の方向に走っている。第 2 に畜肉や魚肉では筋センイを包みかつ束ねて骨につないでいた太いはっきりしたセンイ性の結合組織がイカ肉の内部には認められない。センイ性結合組織は筋肉に接し体の表側と内臓側にある皮の中にありそのセンイは体軸の方向に走っている(第 1 図)。すなわち筋センイとコラーゲンセンイとはほぼ独立

に存在し、かつその走っている方向が互に直角である。したがって実験結果にあいまいな所が少なく、その解析が比較的容易である。

イカ肉がセンイの方向に裂けやすいことや、熱するときまった1つの方向に縮むことは、このような筋肉の構造と関係があると思われる。

第1図 スルメイカ胴部の肉組織および皮組織



筋センイおよびコラーゲンの熱収縮

イカ肉の切片を 100°C に熱すると、筋センイの方向（体軸に直角の方向）に約 30%，コラーゲンセンイの方向（体軸の方向）に約 60% 収縮する。

イカ肉を焼いたり熱湯につけると、そりかえったり巻き上ったりする。この場合いつも表皮のついている面が内側となる。体表面の皮を完全に除くと、内面（内臓と接している側）の皮のついている面が内側となるようにそりかえる。表面および内面の皮を完全に除くと、筋センイの方向に約30%，これと直角の方向に約 18% 縮むが、切片がまき上ったり、そりかえったりすることはない。この実験では皮、ことに表皮は完全にそぎとることが必要である。なぜならば、イカの表皮は4層からなり、第1、第2層ははぎやすいが、第3、第4層ははぎにくい。しかも第4層だけが典型的なセンイ性結合組織で、コラーゲンが体軸の方向に走っている。したがって表皮の第1、第2層しか除けなかったものは、表皮を全く除かなかったものと同じになるからである。

これらのことから、筋原センイ蛋白質も熱収縮するが、コラーゲンにくらべるとはるかに弱く、イカ肉の示すいちじるしい縮みは、表皮コラーゲンの収縮にひきつられて肉がそりかえったり、巻き上ったりするもので、内面の皮にもこの力はあるが、表皮にくらべるとはるかに弱いといえる。

したがってイカの松笠焼を作るには、イカを開いて内側の皮の面に切れ目をいれねばならぬこともわかる。また仕上りの色をよくするために表皮をむくことがあるが、上述のようにたやすくむけるのは第2層までである。しかし都合のいいことに色素細胞はむけやすい第1、第2層の間にあり、また普通皮をむく程度では第4層は必ず残る。したがって焼いて肉を望む方向にそりかえらせるには差支えないわけである。

熱収縮のしくみ

ごく新鮮なイカ肉から筋センイの方向に細長く切りとり、体表面および内臓側の皮をできるだけ除いたものを試料とすると、実験中におこる伸縮は主として筋原センイ蛋白質によるものとなる。

この肉片に張力をかけ少しひっぱってほぼ 10% くらい伸ばし、このときの長さを l とする。これを水中で徐々に熱し 1 分間に 1°C の割合で温度をあげていく。ただし実験中は肉片の長さをいつも l に保てるよう張力 p は自動的に調節されるようにしておく。そうすると肉片が伸びれば p は小さくなり、縮めば大きくなる。すなわちこの装置では肉片の伸縮を長さのかわりに、長さを常に l に保つに必要な張力ではかるようになっている。伸縮をみるのになぜ長さの変化をはからず、このようなまわりくどい方法を用いるかという、実際に長さを変化させてしまうような実験では、ただ何度でどの位伸びたか、縮んだかというだけで、その結果からどういうしくみで伸びたり縮んだりするのかを理論的に導き出すことができないのである。

実験結果は第2図に示すように、初めのうちは温度が上るにしたがって、試料の長さを一定に保つに必要な張力は減っていき（図の曲線の OA 部）、 65°C 近くなると急に増加しはじめる（BC 部）。すなわち温度が上るにしたがい、一度伸びた後 65°C 近くで急に縮みはじめる。この収縮しはじめる温度は、イカ肉の鮮度が落ちるにしたがって低くなり（第3図）冷凍や乾燥後戻した肉の場合は高くなる。

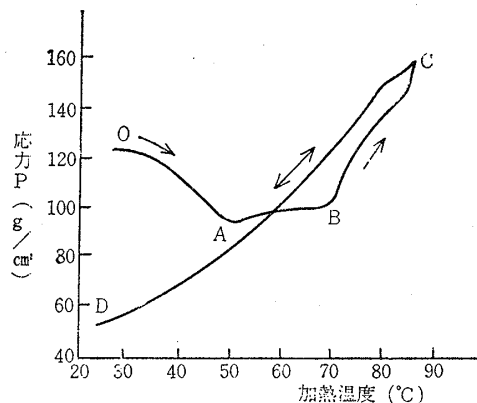
次に 80°C 近くまで熱した後徐々に温度を下げていくと、ほぼ直線的に p は減っていく（第2図の曲線 CD 部）、すなわち肉は伸びていく。常温に達した後再び温度をあげていくと、生肉の場合と異なり、はじめ一度伸びることなく縮む一方である。しかも 80°C に熱した肉を冷やしていったときと同じ道を逆にたどって縮んでいく。温度の上げ下げをくりかえすと、この可逆的な伸び縮みは何回もくりかえすことができる。

このように温度を上げれば縮み、下げると伸び、しかもこの伸び縮みが温度の上下によって直線的にかつ同じ

蛋白質と調理(Ⅳ)

道を通って行われるのは、ゴムの特徴として知られており、かつこのときゴムを作っている分子はどういう状態になっているかも理論的に推察されている。

第2図 イカ肉の加熱による伸縮

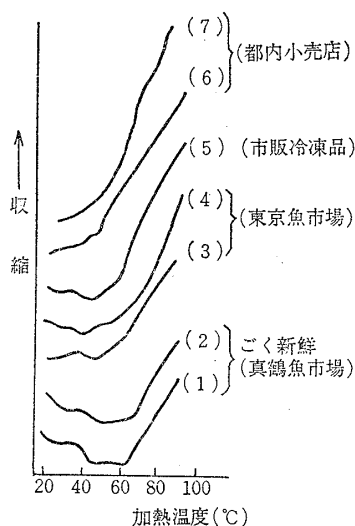


それでは上の実験で明らかにされたイカ肉の加熱のさいみられる2つのいちじるしい変化、すなわち、(1)イカ肉を熱すると、はじめ伸びてから縮む、(2)80°C 近く熱せられ縮んだイカ肉はゴムと同じような性質を示すことはどのように解釈されるであろうか。

(1) イカ肉を熱すると一度伸びてから縮む

この説明のために細い糸状分子の集ったセンイのようなものを考えてみよう。これをひっぱると、多い少ないはあってもとにかく伸びる。これはセンイを作っている

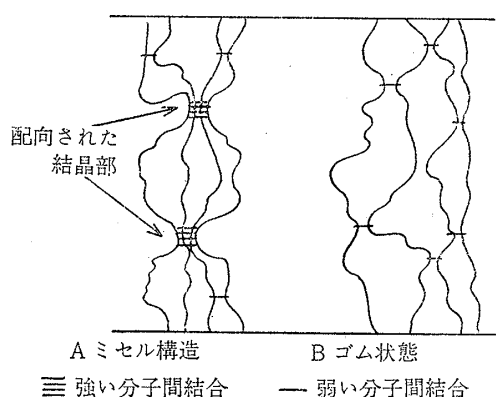
第3図 イカ肉の鮮度と熱収縮



糸状の分子どうしが互に滑りあっていくためであって、個々の分子を作っている原子と原子の間隔が伸びるのではない。一寸ひっぱった位で原子と原子の間隔をひき伸ばすことはとうていできないのである。したがってセンイの伸びやすさをきめるものは、分子間に働く結合力の大小である。分子が互にひき合う力の元となるものは、

分子間にできる橋かけ結合である。そこで強い橋かけ結合を作りうるような反応基を多数もっている分子ほど分子間結合が強く、ひき伸ばされにくいだろうということは想像できる。しかし実際にはただそういう反応基があるというだけではだめで、それが実力を発揮できるような状態にあること、それにはとまり合う各分子が充分接近していることが必要である。すなわち分子の並び方配向性が大切である。糸状の分子がところどころで規則正しく並ぶミセル構造(第4図A)といわれるものを作っていることが必要である。このことは澱粉とセルロース

第4図 ミセル構造とゴム状態



はいずれもグルコースの縮合体でありながら、分子の配向性のすぐれているセルロースは、澱粉の10倍以上の分子間結合力を示していることからわかる。

さて糸状の分子がところどころで規則正しくならんだミセル構造をもったものが熱せられると、その結晶部分がゆるむ。これは普通の結晶のとけるのに似た現象である。結晶部分が弱まると張力のかかっている場合はセンイ同志の間にずれがおこりセンイは伸びる。これがイカ肉を65°C 近くまで熱するときみられた現象の説明である。すなわち生のイカ肉では分子がミセル構造をとっているといえる。

次に結晶部分がゆるんで比較的自由になった糸状分子をなお熱していると、分子の運動が烈しくなり、その結果分子が互にふれあい引きあって新しい橋かけ結合ができ、ついに1種の網目構造ができる(第4図B)。このときできる橋かけ結合は生肉のときのミセル構造の場合とちがひ、数も少なくまた各分子を身動きもできないような状態にひきつけているのでもない。したがって新しくできた網目構造のあしに相当する部分は、のびきったものではなく、もつれたり輪になったり自由に運動している。天然および合成ゴムはちょうどこういう状態にある。それは、ゴムは長い糸状の分子が緻密に凝集したものであるが、その分子は炭素と水素だけからできている、

したがってしっかりした分子間結合を作れるような反応基がなく、ごく弱い力でところどころ結ばれているにすぎないからである。そしてこれはゴムがきわめて伸びやすい特異な弾性をもっている原因と考えられ、こういう状態をゴム状態(第4図B)とよんでいる。

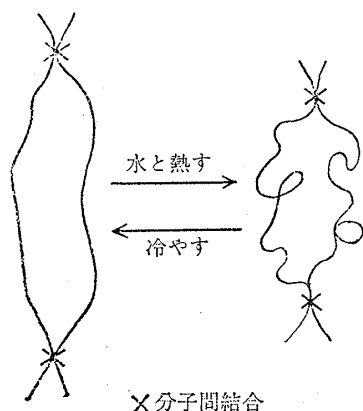
ゴム状態にある糸状分子の部分的なまがりくねり運動は温度が高くなるとはげしくなる。まがりくねり運動が烈しくなれば、橋かけ結合と橋かけ結合の間隔は短くなる。すなわち温度が上ると、ゴム状態にあるセニイは短くなる。これがイカ肉を熱していくと、65°C 近くから肉片が縮む理由である。

(2) 80°C に熱したイカ肉の温度を下げると伸び、再びあげると可逆的に縮む

80°C に熱せられたイカ肉では、ゴム状態に凝集した分子が烈しく自由にまがりくねったりしている。これを冷していくと、温度が下るにしたがって、ゴム状態にある分子の運動は弱まり、もつれたり、輪になったりする度合が少なくなる。したがって橋かけ結合の間の距離は長くなる、すなわち肉片は伸びていく(第5図参照)これが第2図の曲線のCからDに到る変化である。

Dまで冷したものを温めると、また分子の運動が盛んになっていき肉片は縮む。しかし上にのべたように、一度80°Cまで熱せられた肉はゴム状態にあって、ミセル構造をもっていないから、生肉の場合とことなり、一度伸びてから縮むということではなく、直ちに縮んでいく。第2図のCD部がほぼ直線となり、かつ温度を上げ下げすると同じ道を通って縮んだり伸びたりするのは、ゴム状態にあるセニイの伸び縮みは主として分子の熱運動のつよさによってきまり、熱運動のつよさは温度と直線関係にあることから説明できる。

第5図 ゴム状セニイの伸縮



ここに注意しなければならないのは、65°C 以上に熱せられたイカ肉の伸び縮みが分子の熱運動の弱い強いによってきまるのは、イカ肉がゴム状態にあること、すな

わちところどころを結んでいる結び目に相当するところがあるためであって、もし結び目がなかったら分子の熱運動によってセニイの伸縮がきまるということにはならない。このことは第5図から常識的にもわかると思う。

要するに生イカの肉はミセル構造をもち、煮た肉はゴム状態にあるといえる。イカ肉を煮ると生のときよりも伸びやすくなるのもこのあらわれである。

鮮度のおちたイカ肉は前にのべたように、加熱しても伸びることなく直ちに縮みだす。これは肉の糸状分子のところどころを密着させていたミセル構造がすでにゆるんでおり、肉片にはじめ張力をかけたとき、それに相当するだけすでに伸ばされた状態にあったためと考えられる。それを凍結したり、乾燥すると加熱による伸びの現われるのは、凍結や乾燥により分子間結合ができたためと考えられ、凍結や乾燥による筋肉蛋白質の変性のしくみを暗示するものである。

コラーゲンの分解

コラーゲンは水にはおろか、希酸、希アルカリにも溶けず、酵素にも分解されない安定な蛋白質であるが、水と熱に敏感である。コラーゲンを60°C以上に熱するとはじめ収縮するが、長く熱していると部分的に分解してゼラチンとなり水にとけてくる。冬の頃煮魚のまわりにできる煮こごりは、皮や骨のコラーゲンの分解してできたゼラチンのゼリーである。

魚肉の食用とされる最も重要な部分は、魚体の両側にあり脊椎骨についている筋肉であって、うすい隔膜で大体脊椎骨と同数の筋節に分れている。魚を輪切りにすると、筋節は背部と腹部でそれぞれ同心円状に配列されているのがわかる。魚を煮ると肉は筋節ごとに離れやすくなる。これは筋節と筋節を接合している隔膜のコラーゲンがゼラチン化するためである。

強靱なコラーゲンが熱によってゼラチンとなればコラーゲン含量の多い肉は当然軟らかくなる。すじの多い肉が煮こみに主として使われるわけである。サザエの壺焼きを注意して食べると、硬い肉と軟らかい肉のまじっているのが気がつく。硬くて歯切れのわるい肉は内臓に近いところにある白色の肉であるが、生でたべるとあまり硬くなく、歯切れもいい。一方軟らかい壺焼肉はいわゆる足の肉で朱肉色をしている。生のときは噛み切れないほどかたい。またちょうどこの2つの中間の硬さの肉がある。これは貝蓋についていて、蓋のあけたてをする肉である。

この3種の肉は、第2表に示すようにその蛋白質組成に大きなちがいがあある。内臓近くの肉は筋原セニイ蛋白質が全蛋白質の60~75%を占め、コラーゲンは9~21%

蛋白質と調理(VI)

第2表 サザエ肉のタンパク質組成

部 位	筋原センイ タンパク質	筋 原 質 タンパク質	肉 基 質 タンパク質
内臓近くの肉	60~75	14~28	9~21
足 肉	37~42	2~12	54~62
蓋 肉	53~67	8~12	23~26

(全タンパク態窒素に対する各タンパク態窒素の%)

にすぎないが、足肉はコラーゲンが全蛋白質の54~62%を占め、筋原センイ蛋白質は40%程度にすぎない。したがって足肉は生のときは硬く、70°Cに熱するとコラーゲンのゼラチン化のために軟らかになる。内臓近くの肉が煮ると硬くなるのは、肉蛋白質の熱凝固と収縮によるもので、コラーゲン含量は小さいから、そのゼラチン化の影響は現われない。中間の硬さを示す蓋肉の蛋白質

組成はちょうど足肉と内臓近くの肉の間であるのも面白い。

コラーゲンがゼラチン化すると煮汁の方に溶け出してくる。ゼラチンのような親水性コロイドが溶け出してくると煮汁の物理的性質が大きくかわり、味に「コク」と持続性を与え、味をまとめ引き立てる効果が生ずるとされている。そこで潮汁のように香りよりも汁味に出た「コク」を賞するものは、味のいい魚介類を水で煮出し、肉からでるエキス分のほか、皮や骨からゼラチンの溶け出すようにするのがコツとされる。親水性コロイドの示す呈味効果の1つは、その大きな粘性によって煮汁のレオロジー的性質をかえ、触感を通じて味感にはたらくものと一応考えられるが、なお今後の研究をまつ重要な課題である。

新 刊 紹 介

山西 貞編 著 「食品学」 (お茶の水女子大学家政学講座第7巻)

(A5判 210 ページ 定価 650 円 光生館発行)

◆本書はお茶の水女子大学家政学講座として15冊刊行されるシリーズの一つとして書かれたもので、お茶の水女子大山西貞教授、同大学木原芳次郎、右田正男、小林彰夫講師がそれぞれ専門の部分を受持たれ、家政学における食物学という立場から書かれたものである。

◆一読して感ずることは、これだけの頁数に食品化学の面と食品各論とを実に簡潔に、しかも要点をつかんでまとめているという点である。内容は新しい知識を豊富に盛りこまれ、参考書としあるいは教科書として優れた著書と思う。

◆内容は、①食品成分の化学、②食品各論、③食品の貯蔵と加工にわかれ、化学の部分は糖質が木原講師、タンパク質が右田講師、脂質、色、味、香りが小林講師とそれぞれ専門のところを受持たれている。食品各論は4人の著者がそれぞれ専門を、食品の貯蔵と加工は木原講師が受持たれている。

◆このように、それぞれの専門の部門を、しかも実際に教壇で講義を行なった結果、家政学ではこれだけは知っておかなくてはならないという点だけを取上げてまとめているという点で、われわれとしても利用価値の多い著書と思うわけである。(元山 正)