イカ煮熟肉の“かたさ”について

高橋豊雄・竹井 誠

(東海区水産研究所)

On the Toughness of Boiled Squid Meat

Toyo-o TAKAHASHI and Makoto TAKEI

Squid (*Ommastrephes sloani pacificus*) is one of the important sources of protein for Japanese, and the meat is often served in a boiled form. Despite the fact, however, the cooked meat is peculiarly tough for chewing. The authors tried to obtain some knowledge on the character of the boiled meat with an aim at reducing the toughness.

The breaking strength (F), breaking elongation (r), and elongative behavior (E) were taken as the index of toughness. The test pieces were cut out along the muscle fibre (or the minor axis of the body) from the body meat.

F, r, and E of the meat cooked in boiling water for 1 hour were found higher than those of the raw meat (cf. Fig. 1 and Table 2).

As obvious from Fig. 2 and Table 2, when the boiled meat heated in the solutions of various reagents at 100°C. for 1 hour, F and r of the meats decreased, while E increased. A remarkable increase in E was observed on the boiled meat treated with urea (10M) or alkali (pH 10) solution. When the boiled meat was heated at 108~109°C. (about 9 lbs.) for 1 hour in distilled water or in 3.5% NaCl solution, F and r of the meats, in particular the one immersed in water, decreased, but E remained constant in amount, as shown in Fig. 3 and Table 2. By heating the boiled meat in steam at 108~109°C. for 1 hour, F, r, and E remained almost unchanged.

イカ肉を煮ると、著しく収縮し、ゴムのように固くなるが、これはイカにとって一つの大きな欠点である。著者等は煮熟肉のこのような性質を改善したいと考え、煮熟肉を薬品処理、或るいは加圧・加熱処理等を行い、その“かたさ”の変化を調べた。

イカ煮熟肉が“かたい”といわれるのは、噛切れ難いということであると思われるが、イカ肉の噛切れ難さは、主としてイカ肉の硬さ及びその剪断強さに関係するものと思われる。然し、イカ肉の硬さ或るいは剪断強さを測定することは、極めて困難なことである。物質の硬さということは、常識的概念としては、わかっているが、これについて確かな定義は与えられて居らず、従つて、その測定法も一定の原理に基くものがない。然し、或る物質の硬さは、その物質の他の物理的性質と密接な関係をもつものであり、物質によつてはその引張り強さ、圧縮強さ等を知れば、その硬さを或る程度まで推察出来るといわれる。又一般に引張り強さの大きなもの程剪断強さは大きい。

これらのことから考えて、イカ肉の場合にも硬さ或るいは剪断強さを測定する代りに、比較的容易に行ふことの出来る引張り強さの測定を行い、且つその際に於ける引張り応力と伸びとの関係を求めれば、イカ肉の硬さ或るいは剪断強さの大略を知ることが出来る。噛切れの難易を比較することが出来るであろう。

また、イカ肉の硬さ、剪断強さ或るいは引張り応力と伸びとの関係は肉質の構造に関係があるものと思われる。従つて種々の処理条件によるイカ肉の噛切れの難易を比較し、且つ肉質の構造を推察する一助として、イカ肉について引張り試験を行った。

イカ肉について引張り応力と伸びとの関係を測定することは、破断張力、及び破断伸度を測定するよりも容易であり、更に前者はイカ肉の微細構造を測定するのに、後者よりも便利であるので、主としてこれについて調べた。

実験の部

実験Ⅰ．生肉と煮熟肉との比較

著者等はイカ肉のかたさを調べる手段として、引張り応力と伸びとを測定することとしたが、イカ肉の応力及び伸びは、その組織学的構造⁽¹⁾から考えて、その測定する方向によつて差異がありそうに思われる。著者等の実験⁽²⁾によると、生肉（皮を剥いたもの）に於いては体軸方向の破断張力は、体軸に直角な方向のそれと大約同様であるが、沸騰水中で1時間加熱すると、後者がやや破断張力を増加するのに対し、前者は全くそれを失う。著者等はこのような実験結果から、本研究に於いては体軸に対し直角方向の引張り応力と伸びとを測定することとした。

新鮮なスルメイカ (*Ommastrephes sloani pacificus*) の胴肉の表皮及び腹側の皮を出来るだけとりさり、この胴肉から体軸に対し直角方向に 0.6~0.9 cm 程度の巾に細長く試料を切りとつた。この試料片の測定距離が 2 cm になるように抗張力試験機に装置し、次第に引張り、この際の引張り応力と伸びとの関係及び破断張力（及び伸度）を調べた。得た結果は第1図の如くである。

Fig. 1. Stress-strain curves of raw and boiled squid meats.
△, ▲, and ▲.....Raw meat; ○, ●, and ●.....Boiled meat.

図にみる如く、引張り応力と伸びとの間には、比較的応力の低い場合に直線関係が成り立つように思われる。煮熟肉にては、応力の大なる範囲にても、やや傾斜を異にした直線関係がありそうであるが、このような場合には、肉に縦に裂目が出来たりして、これらの結果は、考察の対象として用いることが不適当のように思われる。

比較的応力の低い場合のこれらの関係を生肉と煮熟肉とについて比較してみると、後者の関係直線の方が傾斜が急である。このことは、煮熟肉の方が生肉よりも伸び易いということを意味しているものと思われる。

破断張力及び破断伸度について著者等の得た測定結果は、余り正確とはいえないが、煮熟肉（破断張力、1500~2200 g/cm²；破断伸度、165~250%）の方が生肉（1100~1050 g/cm²；40~45%）より大である。

実験Ⅱ．煮熟肉を薬品処理した際の影響

前同様に体軸に対し直角に切りとつた細長い胴肉を、先づ沸騰水中にて1時間煮熟した。この煮熟肉 10~15g を種々の薬品溶液 200cc に浸漬し、数日間、0°C の冷蔵庫に放置した後、この液の中で 100°C にて1時間加熱した。

用いた試薬の種類、加熱直前の試薬液の pH 値及び試薬と共に加熱した後の煮熟肉の水分を表記すると、第1表の如くである。表中○印のものは、薬品液中にて加熱処理後、破断張力を殆んど失ひ、測定が不可能であつた。これら○印以外のものについての結果の要を一括して図示すると第2図の如くである。

第1図に見られるように、本実験に於いては測定の初期に、応力が増加しても、伸びがそれにともなわなない場合が多いが、これは試料の性質及び測定方法の不備等によるものと思われる。第2図に於いては応力と伸びとの関係直線の傾斜を比較し易いように、零点を移動して図示した。

第2図の如く 10M 尿素溶液及び pH 10 のアルカリ溶液にて処理すると、非常に伸び易くなり、pH 8 のアルカリ及び M/10 β-ナフタレン・スルホン酸ソーダにてはやや伸び易くなった。酸にて処理すると、pH 4.0 にては伸び易さに変化がなく、pH 5.3 にては寧ろ伸び難くなった。

Table 1. Water content of boiled squid meats treated with various reagents.

Kinds of reagents	pH values of the solutions	Temperature of treatments, °C.	Water content of boiled meats treated, %
10 M Urea	—	100	>90
M/10 Sodium β -naphthalene sulfonate	7	"	77.4
Phosphate buffer (pH 8)	8	"	79.4
Borate buffer (pH 10)	10	"	84.3
○ M/10 Lactic acid	3.3	"	91.3
○ M/100 "	4.0	"	81.8
○ N/10 H_2SO_4	2	"	82.5
○ N/100 "	3.1	"	81.9
○ N/100 HCl	2.9	"	90.7
N/1000 "	5.3	"	69.3
Blank (Boiled meat untreated)			75.3
3.5 % NaCl	—	108~109	75.3
Distilled water	—	"	77.8
Steam	—	"	70.2
Blank (Boiled meat untreated)			76.5

Fig. 2. Stress-strain curves of boiled squid meats treated with the solutions of various reagents at 100°C. ○, □, △, ×, ●, ○, △, ■.....Boiled meat untreated (Blank); □.....Boiled meat treated with urea (10 M); ▲.....with borate buffer (pH 10); ●, ○.....with phosphate buffer (pH 8); ×, ×.....with sodium β -naphthalene sulfonate (M/10); △, △.....with lactic acid (M/100); ■, ■.....with HCl (N/100).

Table 2. Breaking strength and breaking elongation of boiled squid meats treated with various reagents.

Kinds of reagents	Temperature of treatments, °C.	Breaking strength, g./cm. ² (Breaking elongation, %)
10 M Urea	100	250(120)
M/10 Sodium β -naphthalene sulfonate	"	400(75), 500(65), 500(90), 500(95)
Phosphate buffer (pH 8)	"	500(60), 550(115)
Borate buffer (pH 10)	"	100(55), 250(95)
M/100 Lactic acid	"	260(30), 375(30), 400(33)
N/1000 HCl	"	1600(95), 4100(220)
Blank (Boiled meat untreated)	"	{ 750(100), 800(70), 800(125) 900(95), 1100(85)
3.5 % NaCl	108~109	{ 540(80), 770(65), 920(95), 960(130)
Distilled water	"	270(20), 280(20)
Steam	"	{ 730(55), 850(55), 1400(115), 1500(105)
Blank (Boiled meat untreated)	"	1500(200), 1700(175), 2200(230)

破断張力及び破断伸度は、この場合にも余り信頼出来る結果が得られなかったが、一応上記の試料について得られた結果を表記すると、第2表の如くである。

pH 5.3 の酸液にて処理したものは、破断張力が増加したが、これ以外のものは、すべて減少した。

実験Ⅲ. 煮熱肉を加圧・加熱する影響

前同様の煮熱肉を 108~109°C (約 6 lbs) にて1時間、種々の条件下にて加熱した。

得た結果は、第3図の如くである。なお、これらの破断張力及び破断伸度は第2表下段の如くであり、又これらの水分は第1表下段の如くである。

Fig. 3. Changes of the stress-strain curves of boiled squid meats when heated at 108~109°C. under different conditions. ○.....Boiled meat untreated (Blank); △ and ◐.....Heating in 3.5% NaCl solution; △.....in distilled water; ● and ◐.....in steam.

図示の如く、蒸溜水及び 3.5% 食塩水中にて処理したものは、多少伸び易くなるようでもあるが、確かなことは不明である。水中にて加圧・加熱したものは、破断張力は甚しく低下し、食塩水中にて加熱したものも破断張力は低下した。水等の液につけることなく、加圧・加熱すると、水分がやや減少するが、伸び易さ、及び破断張力は変化しない。0.6% 尿素中にて加圧・加熱したものは、第1表の如く多量の水分を含み、破断張力は殆んどなくなっていた。

考 察

得た結果について考察することは、なお早計と思うが、研究の前進への手掛りを得たいと考え、次のような考察を行った。

先に⁽⁴⁾、著者等はイカ肉を水中にて加熱する際の応力の変化を調べ、次のような推察を行った。即ち、イカ肉を構成する繊維性物質(繊維状蛋白質及び単繊維)は、比較的規則正しく一方向に配列し、各々の繊維性物質の間に二次結合(側鎖結合)が存在してその配列がさめえられている。然るに、生肉が水中で熱せられると、繊維性物質間の側鎖結合が次第に切れ、或る温度以上になると、繊維性物質が配列を乱し、その結果、肉が収縮する。この収縮した肉は、ゴム状弾性体である。即ち、その構成物質は三次元的網目構造をなし、この物質は繊維性ではあるが、まつすぐなものではなく、もつれている。なお、この三次元的網目構造の構成に対し、側鎖結合として水素結合や塩類結合が関係している。

上記の推察が妥当であるとすれば、第1図の結果、即ち煮熱肉が生肉よりも伸び易いということは、前者がゴム状弾性体であり、後者の構成物質が比較的引き伸ばされた状態で側鎖結合によつてたばねられているということから説明出来る。又水素結合を切るといわれる尿素或いは塩類結合を切るといわれる β -ナフタレン・スルホン酸ソーダにて、イカ煮熱肉を処理すると、伸び易くなるという第2図の結果は、これら両物質が煮熱肉の構成物質の網目構造を弱めるということに由来するのであろう。即ち網目構造の接合点をささえしている二次結合及びこれら接合点と接合点との間の繊維それ自身に存在して、繊維に比較的規則正しい型ちを与えている二次結合が、前記両物質によつて切れ、その結果、接合点が減少し、繊維は規則性の少い伸び易い型ちとなり、従つて網目構造(煮熱肉)が伸びやすくなるのであろう。

尿素が β -ナフタレン・スルホン酸ソーダよりも煮熱肉の伸びに対し影響が大であるということは、蛋白質に水素結合が塩類結合よりも遙に多く存在することから、ありそうなことと考えられる。

煮熱肉をアルカリ性溶液にて加熱処理すると、伸び易くなり、pH10 には 10 M 尿素溶液と同程度の効果を表わす。このことからアルカリにても多くの二次結合が切れたことが推察される。この程度の pH 価には塩類結合が切れることも考えられるが、 β -ナフタレン・スルホン酸ソーダの場合と比較すると、塩類結合の開裂のみでは、この大きな伸び易さを説明し切れないように思われる。コラーゲンは pH12 程度のアルカリ性溶液で、室温にても水素結合が切れるとのことである⁽⁴⁾。煮熱肉を pH 10、1 時間ではあるが、100°C に加熱したために水素結合が切れて、大きな伸び易さを生じたのではなかろうか。

本実験に於ける破断張力の測定結果は、前記の如く余り正確なものではないが、概して、煮熱肉の破断張

力は、生肉のそれよりも大である。この原因は、生肉が煮熟されて、構成繊維物質が収縮し、この収縮によって繊維間の摩擦が増加したことに原因するとも考えられる。然し一方、HAUROWITZ 等⁽⁶⁾によると球状蛋白質が加熱されると、分子内の二次結合が切れるが、或る温度以上になると、分子間に新に結合が生じることであり、又魚肉のすり身が加熱されてかたまり、又煮熟肉が生肉よりも溶解し難いこと等は、肉が加熱されると、新しい結合が出来ることを裏書するもののように思われる。これが事実であれば、煮熟肉の破断張力が生肉のそれより大である一半の原因は、この新しい結合によるものであろう。

煮熟肉を N/1000 塩酸中に加熱処理した場合に、水分量が低下し、破断張力が大となり、伸び難くなつたのは、この際の pH 値 5.3 が煮熟肉の等電点であつて、分子間結合が強化されたことによるものであろう。

前記のように、イカ煮熟肉を尿素やアルカリにて処理すると、伸び易くなり、破断応力が低下する場合に、この原因がイカ煮熟肉を構成する網目構造に於ける二次結合の開裂と関係ありそうに考えられるが、pH 4 の乳酸にて加熱する場合及び蒸溜水中にて加圧・加熱する場合のように、伸び易さに余り変化がなく、破断応力のみが比較的大きな低下を示す場合については、その原因を説明することは、現在なお出来ない。

著者等は本実験に於いて煮熟肉を比較の基礎にしているが、対照試験を一層厳密にするためには、この煮熟肉を更に蒸溜水中に 1 時間（他の試料と同様に）加熱したものを基礎とする方がよい場合があるように思われる。又著者等は煮熟肉の応力やのびの変化を構成物質の接合点及びもつれの増減という点から考察しているが、前記の如く、繊維間の摩擦の変化という点からも考えることが必要のようにも思われる。

上記のように、本実験の諸結果の生じる原因等を明解に説明することは、現在なお出来ないが、本実験にて行つたような処理により、煮熟肉の性質を変えることが可能で、この種の研究の進展により、イカ肉の加工処理、例えば水煮罐詰等の肉質の改善を計ることが出来そうに思われる。このことは、イカ肉以外の多くの肉についても同様であらう。

終りに臨み、本研究に対し御助言を賜つた東海区水産研究所、源生一太郎所長及び右田正男先生に深謝の意を呈す。

文 献

- 1) 田中武夫：昭和 29 年 5 月，日本水産学会例会にて講演。
- 2) 高橋豊雄，竹井 誠：昭和 29 年 11 月，日本水産学会水産食品分科会にて講演。
- 3) 高橋豊雄，竹井 誠：昭和 27 年 10 月，日本水産学会大会にて講演。
- 4) K.H. GUSTAVSON："Advances in Protein Chemistry" 4, 363 (1949)。
- 5) F. HAUROWITZ："Chemistry and Biology of Proteins" 132 (1950)。