スケトウダラから魚肉タンパク濃縮物の製造^{*1}

鈴木たね子・神名孝一・八木武郎

(1978年2月3日受理)

Manufacture of Meat-textured Fish Protein Concentrate from Alaska Pollack

Taneko SUZUKI,^{*2} Koichi KANNA,^{*2} and Takeo YAGI^{*3}

A processing method of the fish protein concentrate (FPC) possessing the texture characteristic of livestock meat was developed both on the laboratory and the pilot plant scale. The fresh flesh of the Alaska pollack *Theragra chalcogramma* was minced, washed lightly with water, and adjusted to pH 7.4-7.8 with solid NaHCO₃. To the mince was added solid NaCl to a final concentration of 1-2%, and the mixture was well kneaded, resulting in a viscous paste. The paste was extruded from small holes into ethanol at 5-10°C. After being stirred for 15 min, the suspension was centrifuged and the sediment obtained was air-dried. The meat-textured (MT)-FPC thus produced was pale brownish granules with little fishy odor. The yield of MT-FPC (moisture, 8%) was about 14%, in a pilot plant processing automatically 100 kg fillet/h. The general composition of MT-FPC was: moisture, 6.3-11.6%; crude protein, 86.1-91.8%; crude fat, less than 0.3%; ash, 1.9-4.4%. Its amino acid composition was comparable to that of the original fish flesh. The texture profile of rehydrated MT-FPC was almost the same as that of ground beef. The microscopic observation showed that muscle fibers in MT-FPC adhered together irregularly, forming an aggregate. The results of sensory evaluations revealed that MT-FPC can be used as a new food material, e.g. as a partial substitute of livestock meat, as much as 70% on a wet basis.

魚肉のタンパク質は栄養的に優れているが変質しやすくそのため魚の品質を保持しつつ輸送、貯蔵するには低温によらざるをえない。先進国と発展途上国の間の食糧、とくに動物タンパク質供給のギャップの解決を目的として、魚類タンパク質を世界中に容易に流通させるため1950年代よりアメリカ、カナダ、ヨーロッパ諸国においてFPC(魚類タンパク濃縮物)が開発された¹⁻³⁾。このFPC開発計画は国連によつて推進され、今日まで迂余曲折を経てきたが、未だ商業的にその生産に成功したとはいえない。それはFPCが栄養的に優れてはいるが親水性や加工適性に問題があり、利用方法に制約があつたためである。したがって近年加工適性を持った種々の改良FPCの製造に関する研究が盛んである⁴⁻¹⁰⁾。

著者らはこれまで親水性があり、種々の食品に混入して調理できるようなFPCの開発を目的に、製造条件をタンパク化学的に研究してきた。すでに実験室規模ながら親水性のあるFPCを作り、その性質を検討し、報告した¹¹⁻¹³⁾。今回は、スケトウダラを白身魚のモデル原料

に選び、水で戻せば鳥獣肉のひき肉と同様に調理できる新しいタイプのFPC(Meat-textured FPC、以下MT-FPCと略記する)の開発を試みた。

実験材料および方法

実験材料 種々の鮮度のスケトウダラ(*Theragra chalcogramma*)の水蔵魚を用いた。K値¹⁴⁾は30~80の範囲にあつた。

タンパク濃縮物(MT-FPC)の製法 実験室では次のようにして製造した。魚肉(通常1kg)を肉ひき器にかけた後、約5倍容の水で1回汚物を洗う程度に洗浄し、布袋に入れてしぼる。この脱水肉にNaHCO₃を肉のpHが微アルカリ性になるまで加えよく混合する。次に食塩を0.5~3.0%になるように加え、よく混合すると肉は粘稠となる。この肉糊を3~5mmの目の肉ひき器を通し、肉重量の3倍容の5~10°Cエタノール中に投入し、15分間かきまぜ、エタノールを遠心脱水機で除くか、または布等で濾別する。このエタノール処理肉を

^{*1} 東海区水産研究所業績B第650号。1977年6月8日IFT年会(フィラデルフィア市、米国)にて講演。

^{*2} 東海区水産研究所(Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, Kachidoki, Chuo-ku, Tokyo)。

^{*3} 株式会社新潟鉄工所(Nigata Engineering Co., Ltd. Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo)。

新食品素材としての魚肉タンパク濃縮物の開発—I (Meat-textured Fish Protein Concentrate as a New Food Material—I)。

再び 3~5 mm の目の肉ひき器にかけ、1 回目のエタノール処理の場合と同容の 5~10°C のエタノール中に投入し、15 分間かきまぜる。エタノールを同様に除去し、25~35°C で通風乾燥したものを最終製品とする。

上記の製造条件を基に、後述のように 1 時間 200 kg の魚肉の処理能力をもつ試験工場を建設し、同様に MT-FPC の製造を試みた。

各成分の分析 水分、粗タンパク質、灰分は常法によつた。粗脂肪はソックスレー法によつた。アミノ酸分析中トリプトファンは常法により純粋の水酸化バリウム水溶液を調製し、これを *Leuconostoc mesenteroides* を使用する微生物定量法に付して測定した。シスチンは常法により試料をまず過硫酸酸化後、20 時間 6 N 塩酸で分解したものにつき測定した。他のアミノ酸は試料を 6 N 塩酸中 110°C 24 時間の水解に付し、この水解物を用いて分析した。これらの分析は日本電子製アミノ酸自動分析計 JLC-6AS 型によつた。

復水性の測定 MT-FPC の試料を 5 倍量の純水に浸漬し、5°C で 1 時間放置後、660×g にて 1 分間遠心脱水した後、膨潤した試料の重量を測定しこの値を試料の初重量で除して復水性 (Rehydration capacity) を求めた。

テクスチャーの測定 MT-FPC を 5 倍量 (重量) の純水に 1 時間浸漬した後、布で軽くしぼり水分含有量 75~77% とした試料を種々の割合に、畜肉のひき肉に混合した。澱粉 1% を加え、10 g のミートボールに成形し、サランラップに包み電子レンジで 45 秒間加熱し、放冷後レオロメーター (飯尾電機製 RMT-1300 型) を用いその硬さ、付着性などテクスチャーを測定した。MT-FPC の代りに、スケトウタラ鮮肉の落し身、牛肉のひき肉をそれぞれ用いて作ったミートボールについても同様に測定し、比較した。

顕微鏡による組織の観察 乾燥品および水でもどした MT-FPC の表面を反射光により光学顕微鏡 (NIKON AFM) で観察した。また乾燥試料を金で真空蒸着し、走査電子顕微鏡 (日立・明石製作所製 MINISEM-2) によつて観察した。その他、水にもどした試料をホルマリンで固定し、ゼラチンに包埋して冷凍薄切をし、エオジンで染色して光学顕微鏡で観察した。以上いずれも試料には実験室で製造したものを供した。

官能検査 試験工場で製造した MT-FPC を水でもどし畜肉に代替して調理し官能検査を行つた。対照区 (A) に畜肉 100% (肉材料中)、試験区 (B) に試料を混入して、Table 1, 2 に示すような処方方でそれぞれハンバーグステーキおよびシューマイを調理した。そのテクスチャーと風味を 20 人のパネルによる 5 段階評点法で評価した。またアメリカ某社から提供された大豆タンパク濃

Table 1. Recipes of usual (A) and MT-FPC containing (B) Hamburg steaks used for sensory evaluation

Materials	A	B
Minced beef	1400 g	350 g
Rehydrated MT-FPC*	0	800
Beef tallow	0	250
Onion	250	250
Bread crumb (ml)	150	150
Butter	80	80
Salt	15	15
Pepper	0.5	0.5
Monosodium glutamate	0.5	0.5
Beef extract	0	5
Beef flavor	0	some

* Prepared by soaking 200 g of MT-FPC in water for 30 min.

Table 2. Recipes of usual (A) and MT-FPC containing (B) Chinese dumplings ("shumai") used for sensory evaluation

Materials	A	B
Minced pork	1350 g	350 g
Rehydrated MT-FPC*	0	800
Beef tallow	0	200
Onion	300	300
Salt	12	12
Soy sauce (ml)	20	20
Sugar	20	20
Starch	70	70
Monosodium glutamate	0.5	0.5
Beef extract	0	5
Beef flavor	0	some

* Refer to the footnote in Table 1.

Table 3. Recipes of usual (A) and MT-FPC containing (B) Hamburg steaks used for sensory evaluation

Materials	A	B
Minced meat (pork and beef)	75 g	75 g
Rehydrated MT-FPC*	0	175
Soy bean protein	175	0
Onion	125	125
Bread	50	50
Egg	125	125
Salt	8.3	8.3
Pepper	some	some
Masking flavor	0	0.875

* Refer to the footnote in Table 1.

縮物 (畜肉フレーバーがすでにつけられているもの) を水でもどして同じく畜肉に代替混入したハンバーグステーキと MT-FPC 混入のハンバーグステーキに対する嗜

好を 19 人のパネルによる 9 段階評点法で比較した。検査に用いたハンバーグの組成を Table 3 に示す。

結果および考察

製造方法および収量 製造工程の中で、魚肉に添加する食塩濃度を 0.5~3.0% まで変えて製造（肉の pH は 7.4）し、製品のテクスチャーを測定すると Fig. 1 に示すように食塩濃度が高い程硬くなり、1~2% のときもつとも畜肉の硬さに近かった。魚肉の pH は復水性に

Fig. 1. Relationship between concentration of NaCl and hardness of product prepared from MT-FPC.

Hardness = $H/\text{sensitivity}$ (volt), H : height of the peak of texture profile on the rheolometer.

* Minced beef.

関係し、Table 4 に示すように pH が高いほど復水性が良くなるが、エタノールによる脱水が悪くなることと pH 8 以上ではえご味を生ずることから pH は 7.4~7.8 の範囲が適当と考えられた。

Fig. 2 は前記実験室規模での製造結果をもとに設計、建設した、連続自動的に MT-FPC を製造する試験工場内の工程を示したものである。このようにして製造される MT-FPC の収量はスケトウダラのフィラーを出発原料としたとき約 14%（製品の水分含量を 8% として）であつた。エタノールは回収して再使用するが蒸留法によつて 96% 回収できた。試験工場で製造された MT-FPC は Fig. 3A に示したような淡褐色円筒形の顆粒である。

成分およびテクスチャー 試験工場で製造した MT-FPC の一般組成は Table 5 に、アミノ酸組成は Table 6 に示した。タンパク質含有量は、かつて開発された

Table 4. Relationship between pH and rehydration capacity of MT-FPC

pH	Rehydration capacity*
6.8	2.4
7.0	2.4
7.2	3.0
7.4	3.5
7.8	3.5
8.0	4.0

* W_{II}/W_0 , W_0 : The weight (g) of MT-FPC.

W_{II} : The weight of MT-FPC rehydrated as following. W_0 grams of MT-FPC was suspended in 5 volumes of water. The suspension was adjusted to each indicated pH, left for 1 h, and centrifuged at $660 \times g$ for 5 min, and the weight (g) of sediment weighed.

Fig. 2. Flow sheet for preparation of MT-FPC at a pilot plant.

1; additive blending, 2; kneader, 3 and 4; ethanol treatment tanks, 5; dryer.

Fig. 3. A. MT-FPC (products from the pilot plant) derived from Alaska pollack flesh. Line bar=1 cm.

B. Optical microscopic views by reflective light. Line bar=100 μ m.

1. Rehydrated MT-FPC, 2. MT-FPC, 3. Kamaboko, 4. Bologna sausage.

Table 5. General composition of several batches of MT-FPC made from Alaska pollack

	Batch 1	Batch 2	Batch 3	Batch 4
Moisture	6.8%	6.3%	7.6%	11.6%
Protein ^a	89.8	90.7	90.8	86.1
Fat ^b	trace	trace	trace	0.3
Ash	4.4	3.2	2.6	1.9

^a Nitrogen $\times 6.25$ ^b Soxhlet extraction method.

Table 6. Amino acid spectra of Alaska pollack muscle and MT-FPC

Amino acid	mg Amino acid/100 mg protein	
	Muscle	MT-FPC
Essential:		
Lysine	11.7	11.3
Tryptophan	1.3	1.4
Threonine	4.6	4.9
Valine	4.9	4.8
Methionine	3.1	3.5
Isoleucine	6.2	7.2
Leucine	10.6	8.5
Phenylalanine	3.8	3.6
Histidine	2.5	2.3
Total	48.7	47.5
Nonessential:		
Arginine	7.0	6.5
Aspartic acid	11.6	11.0
Serine	5.2	6.0
Glutamic acid	18.9	18.4
Proline	4.5	5.2
Glycine	3.6	3.8
Total	50.8	50.9
Total essential and nonessential	99.5	98.4
Ratio; % $\frac{\text{Essential}}{\text{Total}}$	48.9	48.2

FPC また大豆タンパク濃縮物より高い¹⁷⁾。アミノ酸組成は原料魚肉とよく似ている。

Fig. 4A は、スケトウダラ鮮肉の落し身、牛肉のひき肉でそれぞれ作ったミートボールのレオロメーターによるテクスチャーパターンを比較したものである。レオロメーターによる硬さが魚肉は牛肉よりも著しく小さく、また付着性も小さかった。しかし MT-FPC を水にもどしたものの 70%、牛ひき肉 30% で作ったミートボールは Fig. 4B にみられるように、牛ひき肉のみのミートボールと類似したテクスチャーパターンを示した。しかし付着性は、牛肉のみのものよりも劣っていた。

顕微鏡による組織学的観察 Fig. 3 B₁, B₂ はそれぞ

Fig. 4. Texture profiles on the rheolometer for meat balls respectively, made of minced beef, minced Alaska pollack meat, and a mixture of minced and rehydrated MT-FPC (30 : 70).

power; 3V, plunger: tooth shape (10 mm in diameter).

H; hardness, S; stickiness.

れ反射光によつて乾燥試料および水もどした試料の表面をみたものであるが、どちらも繊維状のものが方向性なくからまつているのが観察された。かまぼこおよび魚肉ソーセージを同様に観察すると同図 B₃, B₄ に示すように全く繊維状のものはみられなかった。すなわち MT-FPC は組織学的に水産ねり製品とは全く異なることが明らかである。さらに走査電子顕微鏡によつて観察すると繊維状のものが凝集物によつて結合しているようにみえる (Fig. 5A)。ホルマリン固定して光学顕微鏡でみると Fig. 5 B₁ に示すように筋繊維の横断面と思われる部分がある。さらにこれを縦断面でみると同図 B₂ に示すように横紋が観察され、筋繊維が存在することは明らかである。また同図 B₃ にみられるごとくタンパク質の凝集物と思われる部分も多く存在した。反射光、走査電子顕微鏡でみられた繊維状のものは処理工程で 2 次的に形成されたものではなく、残存している筋繊維である。魚肉に食塩を 1~2% 添加してすりまぜる工程では筋繊維は完全に崩壊せず、かなり残存したまま溶出タンパク質によつてはりつけられた形となりエタノール中で凝固するものと考えられる。このような構造が水にもどした時たまたま畜肉と類似のテクスチャーを与えるのであろう。食塩濃度を 3% 以上にして充分すりまぜると、筋繊維の残存がみられず、これをエタノールで処理して製造すると、弾力があり、ねり製品に類似した食感となることをしばしば経験している。

Fig. 5. A. Scanning electron micrograph of MT-FPC. Line bar=100 μ m.

B. Optical microscopic views of MT-FPC.

1. Showing transverse section of muscle fibers.
2. Showing longitudinal section of muscle fibers.
3. Showing protein aggregates.

Line bars, 1; 20 μ m, 2; 10 μ m, 3; 100 μ m.

官能検査 畜肉のみで作ったハンバーグと水にもどした MT-FPC を畜肉に代替して作ったハンバーグを比較すると、テクスチャーおよび風味とも両者に差が認められなかった。Table 7, 8 はハンバーグのテクスチャーと風味の評点につき分散分析を行った結果である。シューマイの風味の評点平均は畜肉のみのものでも MT-FPC 混入のものでも 4.35 と、全く差が認められなかった。シューマイのテクスチャーについて Table 9 に評点の分散分析表を示すがやはり両者間に差はみられない。Table 10 に、MT-FPC 混入ハンバーグと大豆タンバ

Table 7. Results of variance analysis (SE-1a)

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	Variance ratio
Sample	0.40	1	0.40	$F=1.14$
Panel	16.10	19	0.85	$F=2.43$
Error	6.61	19	0.35	
Total	23.11	39		

SE-1a: Sensory evaluation for texture of Hamburg steak.

Table 8. Results of variance analysis (SE-1b)

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	Variance ratio
Sample	0.63	1	0.63	$F=1.00$
Panel	7.48	19	0.39	$F=0.63$
Error	11.88	19	0.63	
Total	19.98	39		

SE-1b: Sensory evaluation for flavor of Hamburg steak.

Table 9. Results of variance analysis (SE-2)

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	Variance ratio
Sample	0.23	1	0.23	$F=0.68$
Panel	15.48	19	0.81	$F=2.47$
Error	6.28	19	0.33	
Total	21.98	39		

SE-2: Sensory evaluation for flavor of Chinese dumpling.

Table 10. Results of variance analysis (SE-3)

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	Variance ratio
Sample	5.92	1	5.92	$F=8.471^{**}$
Panel	28.47	18	1.58	$F=2.263$
Error	12.58	18	0.70	
Total	46.97	37		

^{**} Significant difference at 1% level.

SE-3: Sensory evaluation for taste of Hamburg steak.

ク混入ハンバーグにつき嗜好性の評点の分散分析表を示す。1% の危険率で、MT-FPC 混入の方が優れているという結果が得られた。

以上のように、官能検査から畜肉の少なくとも 70% を MT-FPC で代替しても、テクスチャー、風味ともに畜肉のみのハンバーグ、シューマイに劣らないものを作ることができるが、ミートボール、ミートソースなど他の肉料理の場合にも、MT-FPC による代替が可能であろう。

経済性 試験工場において充分使用可能な品質の MT-FPC を生産する可能性を得たが、商業規模での生産を目指して、鮮魚を 1 時間 5 t (フィレーとして 1.75 t)、水分 8% の製品を 1 時間 245 kg の割で自動連続的に生産できる規模の工場を目下計画中である。本報では試験的にスケトウダラを用いたが低利用、未利用の種々の白身魚を原料として試験工場の工程を改変せずに製造できることを予備的ながらみている。

MT-FPC の価格は、原料魚の価格に左右されるが商業規模の工場で生産し、かつ原油価格を 1 kg 50 円とすれば、水にもどしたひき肉状の形態と比較し、畜肉の 1/5~1/10 となるであろう。また MT-FPC を主材料(肉材料の 70% 以上)として種々のひき肉加工品を製造できるので、大豆タンパク濃縮物と同等あるいはそれ以上の市場性があると推定される。なお、イワシ、サバのような多脂肪赤身魚からの MT-FPC 製造については目下検討中である。

終りに臨み、本研究の遂行に当りご理解とご鞭撻をいただいた新技術開発事業団の関係各位、終始ご協力いただいた(株)新潟鉄工所帯広実験場の諸氏、分析および官能検査を分担した岡崎恵美子、守田典子両嬢、官能検査の統計処理につきご指導いただいた東海区水研鉄健司技官に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 村山繁雄: 日水誌, 35, 479-486 (1969).
- 2) M. N. MOORJANI and M. S. VASANTHA: *J. Food Sci. Technol.*, 10, 3-8 (1973).
- 3) 衣巻豊輔: さかな, 10, 1-10 (1973).
- 4) B. COBB III and K. HYDER: *J. Food Tech.*, 37, 743-750 (1972).
- 5) D. ROBBINS: PB-21420, U.S. Dept. of Commerce, 1-8 (1972).
- 6) J. SPINELLI, B. KOURY, and R. MILLER: *J. Food Sci.*, 37, 599-603 (1972).
- 7) J. SPINELLI, B. KOURY, and R. MILLER: *J. Food Sci.*, 37, 604-608 (1972).
- 8) D. L. DUBROW, A. KRAMER, and A. D. MCPHEE: *J. Food Sci.*, 38, 1012-1015 (1973).
- 9) G. M. DREOSTI: in "Fishery Products" (ed.

- by R. KREUZER), Fishing News, Ltd., England, 1974, pp. 105-106.
- 10) L. KNUTSON: Astra protein letter, 4, 1-4 (1974).
- 11) 鈴木たね子・大橋治陸・神名孝一・松宮弘幸: 東海水研報, 72, 43-58 (1972).
- 12) 鈴木たね子・三好宇史・有馬郷司: 東海水研報, 72, 59-62 (1972).
- 13) 鈴木たね子: 東海水研報, 78, 67-72 (1974).
- 14) 木村良和・小田美千子・大橋治陸・鈴木たね子: 東海水研報, 78, 73-78 (1974).
- 15) 農林水産技術会議事務局編: 蛋白質の高度利用技術および資源の開発に関する総合研究, 研究成果 (89), 農林省, 1976, pp. 81-97.
- 16) 内山均・小林宏: 水産生物化学・食品学実験書 (斉藤恒行ら編), 恒星社厚生閣, 東京, 1974, pp. 269-273.
- 17) G.M. KNOBL and J. NOAA: *Offshore Technology Conference*, Tex. OTC, (1975), 399-404 (1973).