

アキサケの高度利用に関する研究 (2)

産卵回帰シロサケ筋肉タンパク質の栄養評価

誌名	北海道大学水産学部研究彙報
ISSN	00183458
著者名	羽田野,六男 安藤,清一 座間,宏一
発行元	北海道大学水産学部
巻/号	36巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 267-280
発行年月	1985年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



アキサケの高度利用に関する研究—II.
産卵回帰シロサケ筋肉タンパク質の栄養評価

羽田野 六 男・安 藤 清 一・座 間 宏 一*

Effective Utilization of Fall Chum Salmon-II.
Nutritional quality of muscle protein during spawning
migration of chum salmon

Mutsuo HATANO, Seiichi ANDO and Kōichi ZAMA*

Abstract

As part of a series of studies on effective utilization of fall chum salmon, the chum salmon muscles during spawning migration were analyzed for proximate composition and nutritional evaluation. The results obtained are summarized as follows.

1) The moisture content gradually increased, while the ash content gradually decreased during spawning migration.

2) The lipid content significantly decreased at the spawning migration stage, while decreases in muscle protein and astaxanthin were found at the upstream migration stage.

3) The amino acid compositions of muscle proteins closely resembled each other regardless of physiological state of the fish, although the amino acid contents of edible portions gradually decreased during spawning migration.

4) *In vitro* digestibilities of muscle proteins were 85-90%, amino acid score 91(S)-100, essential amino acid index (less Arg and His) 75-79, and calculated protein efficiency ratio (C-PER) 2.7 regardless of physiological state of the fish.

These results suggest that muscles at the spawning and upstream migration stages are as excellent protein sources as those of the feeding migration stage, although the protein content at the upstream migration stage is less than that at the feeding migration stage.

結 言

産卵のためにわが国に來遊するシロサケ(秋サケ)は、ここ数年急激な増加をたどり、昭和59年度には北海道の沿岸、河川への回帰量は2,100万尾を数え、また東北地方の水揚げを含めると3,500万尾に達し、今や安定した水産資源となってきた。産卵期に來遊する秋サケのうち、銀毛と呼ばれる魚は十分に肥満し、脂肪量も多く、したがって嗜好的にも優れ、魚価も高い。しかしながら、成熟が進むにつれて第二性徴が顕著となって体形の変化と婚姻色の発現、いわゆるブナ化が起り、ブナ化に伴って肉色の褪色と体成分の消耗がみられる¹⁾。わが国に回帰する秋サケが確実に増大する一方で、ブナ化し著しく品質が低下したブナサケも増え、特にその利用が品質からも大いに制約されるため今日重大な問題となってきた。

著者らは、これらの点に注目して先に秋サケ筋肉成分の食品化学的性状について報告²⁾したが、本報では、さらに秋サケの高度利用に関する研究の一環として、筋肉タンパク質の人工消化率の

* 北海道大学水産学部食品化学第一講座
(Laboratory of Food Chemistry I, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

測定とアミノ酸組成の分析を行ない、秋サケ筋肉タンパク質の栄養価について検討した。

実 験 方 法

試料

実験には、銀毛シロサケ(北洋索餌回遊期)、海産 A ブナ(北海道上磯町茂辺地沿岸)および遼上 C ブナ(北海道上磯町茂辺地川、青森県奥入瀬川)の成熟度の異なる4種類のシロサケ(*Oncorhynchus keta*)の雌雄をそれぞれ用いたが、その生物学的性状は Table 1 に示す。これらの供試魚は漁獲後直ちに凍結し、実験に供するまで -20°C に保存した。なお、以下の分析には背部の普通肉を使用した。

一般成分の分析

一般成分は常法に従って分析を行なった。ただしタンパク質量は全窒素量からエキステ窒素量を差し引いて求めたタンパク態窒素量に 6.25 を乗じて算出した。脂質量は Bligh-Dyer 法³⁾に従って定量し、またアスタキサンチンとしての総カロテノイド量は前報²⁾に従って求めた。

人工消化率およびアミノ酸分析用としてのタンパク質試料の調製法⁴⁾

普通肉に3倍量のエタノールを加えてホモジナイズした後、遠心分離、残渣を3倍量の80%エタノールで3回処理してエキスを除去した。このエタノール抽出残渣を風乾後、ジエチルエーテルで脱脂処理を行ない、再び風乾、磨碎(80 mesh)して上記の分析試料とした。

多酵素法によるタンパク質の人工消化率の測定

Hsu らの方法⁵⁾を改良した Satterlee らの方法⁶⁾に従って行なった。試料懸濁液(6.25 mg タンパク質/ml H_2O , pH 8) 1 ml にトリプシン(1.6 mg)-キモトリプシン(3.1 mg)-ペプチダーゼ(1.3 mg)の混合酵素水溶液*(pH 8) 1 ml を加え、 37°C , 10 分間、反応させ、ついで細菌プロテアーゼ水溶液*(7.95 mg/ml) 1 ml を加えて、 55°C , 9 分間、加水分解を行なった。その後 37°C に1分間保持し、反応液の pH を測定、次式によって人工消化率を求めた。

$$\text{in vitro digestibility (\%)} = 234.84 - 22.56 (X)$$

X は酵素加水分解終了後の反応液の pH である。

タンパク質のアミノ酸組成の分析

調製したタンパク質試料に既知量のノルロイシンと 4 N メタンスルホン酸を加え、封管中 115°C , 24 時間加水分解後、3.5 N NaOH で中和し、日本電子(株)自動アミノ酸分析計 JLC-6AH によって分析を行なった。なお中和した加水分解液の体積補正係数はアミノ酸分析後のノルロイシン量から求め、この補正係数によって試料タンパク質のアミノ酸含量を補正した。

タンパク質の栄養評価法

(I) 必須アミノ酸指数(EAA index, EAAI)

全卵(鶏卵)タンパク質の各必須アミノ酸(アルギニンとヒスチジンを除く)含量と試料タンバ

* 人工消化率の測定に用いた酵素類はすべて Sigma 社製品であり、トリプシンは Type IX (ブタ膵臓)、キモトリプシンは Type II (ウシ膵臓)、ペプチダーゼは Grade III (ブタ腸管粘膜)、細菌プロテアーゼは Type VI (*Streptomyces griseus*) である。

Table 1. Characteristics of chum salmon samples

Stage	External signs of watermarking* ¹	Sex	Age	Collecting date and locality	Body length (cm)	Body weight (g)	Gonadosomatic index* ²
Feeding migration	S	Male Female	03-04 03-04	June 11-July 31, 1982. Lat. 42°27'N-47°27'N Long. 154°30'E-154°50'E	53 56	2540 2910	1.02 2.71
Spawning migration	A	Male Female	03-04 03-05	Nov. 4, 1982 Moheji coast, Hokkaido	66 68	3810 4540	4.40 17.92
Upstream migration	C	Male Female	03 03	Nov. 4, 1982 Lower reaches (0.2km) of Moheji River, Hokkaido	66 60	3780 3490* ³	3.40 —
	C	Male Female	04 04	Jan. 25-26, 1982. Lower reaches (4km) of Oirase River, Aomori Prefecture	68 65	4030 2630* ³	— —

Values represent the mean of two or three samples

*¹ S, no external signs (silvering) ; A, very faint signs ; C, clearly visible signs*² (Gonad weight/Body weight) × 100*³ Gonad removed weight

ク質の各必須アミノ酸含量とのそれぞれの比率を幾何平均した値が EAA index⁷⁾ であり、この値によってタンパク質の栄養価を推定した。(別記計算法参照)

(2) アミノ酸スコア (AA score)

1973 年に FAO/WHO 合同特別専門委員会から、これまでのアミノ酸基準配合 (Protein score) の算定の基礎に換えて、人のアミノ酸必要量の基準配合 (FAO/WHO (1973) アミノ酸評点パターン)⁸⁾ が示された。このアミノ酸評点パターンと試料タンパク質の必須アミノ酸含量を対比して、最小量の必須アミノ酸 (第 1 制限アミノ酸) 含量の百分率が AA score であり、この値によってタンパク質の栄養価を推定した。(別記計算法参照)

(3) 人工消化率

多種類のタンパク質分解酵素を用いて *in vitro* に測定する人工消化率 (*in vitro* digestibility)⁶⁾ は、ラットでのタンパク質消化吸収率 (*in vivo* digestibility) と良く一致 ($r=0.90$) しており⁵⁾、真の消化吸収率 (True digestibility) を予測するために用いた。

(4) 計算によるタンパク質効率 (C-PER)

最初 Satterlee ら⁹⁾ によって、タンパク質摂取量当たりのラットの体重増加量で示されるタンパク質効率 (PER あるいは Rat-PER) を推定するために、計算によるタンパク質効率 (C-PER) が提案されたが、その後必須アミノ酸含量と多酵素法による人工消化率から C-PER を計算する方法が確立されたので、この方法⁹⁾ に従って算出した。(別記計算法参照)

実験結果および考察

秋サケ筋肉の一般成分

水分、タンパク質、脂質、灰分の一般成分のほか筋肉色素であるアスタキサンチン量の分析結果を Table 2 に示す。水分量は産卵回遊に伴うブナ化の進行によって徐々に増加し、遡上 C ブナでは 79% と高い値を示した。脂質量は海産 A ブナで著しく減少し、北洋索餌回遊期の銀毛魚の

Table 2. Proximate composition of dorsal muscle from chum salmon

Stage	Sex	g/100g muscle				
		Moisture	Protein*	Lipid	Ash	Astaxanthin
Feeding migration	Male	74.37	21.10	2.14	1.34	0.0005
	Female	72.32	21.76	3.78	1.42	0.0007
Spawning migration	Male	74.28	21.09	1.28	1.19	0.0005
	Female	75.37	21.48	1.26	1.20	0.0006
Upstream migration	Moheji River Male	78.80	16.81	1.18	1.09	0.0001
	Moheji River Female	78.74	16.75	1.42	1.12	0.0001
	Oirase River Male	78.63	16.94	1.06	1.11	0.0001
	Oirase River Female	78.73	16.88	1.21	1.14	0.0003

Values represent the mean of two or three samples

* (Total N-Extractive N) $\times$ 6.25

1/3—1/2 程度まで低下したが、ブナ化の進行した遼上 C ブナではそれ以上に減少を示さず海産 A ブナとほぼ同程度であった。一方、タンパク質量は銀毛魚と海産 A ブナでは 21—22% であり、遼上 C ブナに至ると 17% にまで減少を示した。アスタキサンチン量は銀毛魚と海産 A ブナでは 0.5—0.7 mg/100 g とほぼ同程度の値であったが、遼上 C ブナになると 0.1—0.3 mg に低下し、また肉色も褪色した。灰分量はブナ化に伴って若干減少する傾向がみられた。しかし一般成分は茂辺地川の遼上 C ブナと奥入瀬川の遼上 C ブナとの間には有意な差異が認められず、このことから成熟度が同程度であれば捕獲場所あるいは捕獲時期が異なっても体成分には差異がないものと考えられる。また、銀毛魚の脂質量を除いて雌雄間にも一般成分の差異は認められなかった。

これらの結果は海産 A ブナまでの成熟段階では脂質がエネルギー源として消費され、さらに遼上 C ブナに至るとタンパク質までも消費されることを示唆している。

以上の分析結果と先に行なった秋サケの各体成分間の多変量解析(主成分分析)の結果¹⁰⁾とをあわせて考察すると、秋サケ筋肉の一般成分のうち、特に水分、脂質、アスタキサンチンの 3 成分によって成熟度の判定が可能となることが認められた。

秋サケ筋肉タンパク質のアミノ酸組成

筋肉タンパク質 100 g (16 gN) 当たりのアミノ酸組成は Table 3 に示す。この結果、銀毛魚、海産 A ブナ、捕獲場所の異なる 2 種類の遼上 C ブナについて、性別と成熟度からアミノ酸組成を検討すると、性別あるいは成熟度とは関係がなく、いずれもグルタミン酸、リジン、アスパラギン酸、ロイシンの各アミノ酸含量は高く、またその他のアミノ酸含量もきわめて近似していた。この傾向は日本食品アミノ酸組成表に記載のサケ¹¹⁾(漁獲時期、漁獲場所など未記載)のアミノ酸組成ともほぼ一致していた。しかしながら、Table 4 に示す可食部 100 g 当たりのアミノ酸含量は一般成分の分析結果 (Table 2) を反映して、特に遼上 C ブナでは低い値を示した。

以上の結果、シロサケ(秋サケ)の一般成分は成熟度によって量的には著しく変動することがみられるが、筋肉タンパク質のアミノ酸組成には変化がなく、このことからブナ化に伴って秋サケ筋肉タンパク質は量的には減少するものの、質的には何ら変化がないことが明らかとなった。

秋サケ筋肉タンパク質の栄養評価

筋肉タンパク質のアミノ酸組成* から EAA index と AA score を求め、さらにこのアミノ酸組成と人工消化率の測定結果から C-PER を算出し、それぞれを Table 5 に示す。

EAA index は成人の必須アミノ酸ではないアルギニンとヒスチジンを除いて算出した結果、秋サケでは 75—79 (平均 77) の値を示し、食品のアミノ酸含量表¹²⁾に記載の魚肉タンパク質のアミノ酸組成から計算した EAA index の値 77 と一致した。このことから秋サケ筋肉タンパク質は一般の魚類筋肉タンパク質とほぼ同程度の栄養価をもつものと判断された。

AA score は秋サケでは 91(S)—100 の値を示したが、そのうち海産 A ブナ雌魚 91、茂辺地川遼上 C ブナの雄魚 95、雌魚 98 で、これらの第 1 制限アミノ酸はいずれも含硫アミノ酸であった。しかし含硫アミノ酸の内訳は、メチオニンで置き換えることができるシスチンの含量が若干低いだけで、むしろメチオニン含量は FAO/WHO (1973) アミノ酸評点パターン⁸⁾の値よりも高いことが認められる。また最近の FAO/WHO/UNU (1981) の報告(正式には採用されていない)では、含硫アミノ酸含量は FAO/WHO (1973) アミノ酸評点パターン(タンパク質 1 g 当たり 35 mg)よりも低く、25 mg でよいとしている。仮りにこの値を基準にして計算すると秋サケ筋肉タンパク質の AA score は 100 となる。このようなことから秋サケ筋肉タンパク質の栄養価はかなり高いもの

* シスチン (Cys)₂ はアミノ酸分析ではシステイン Cys として定量されるので、システインのすべてがシスチンに由来するものとした。

Table 3. Amino acid composition of dorsal muscle proteins from chum salmon (g/100g protein).

Amino acid	Male				Female			References	
	Feeding migration (2)	Spawning migration (3)	Upstream migration		Feeding migration (2)	Spawning migration (3)	Upstream migration		
			Moheji River (3)	Oirase River (3)			Moheji River (3)	Oirase River (3)	
Asp	10.05	9.98	10.55	9.49	9.85	9.58	10.91	10.03	8.00
Thr	4.47	4.45	4.54	4.45	4.35	4.29	4.76	4.49	4.64
Ser	3.63	3.55	3.96	3.71	3.52	3.36	3.99	3.64	4.00
Glu	14.49	15.16	15.82	14.33	14.01	14.47	17.65	15.01	15.52
Pro	3.57	3.60	3.59	3.84	3.63	3.68	4.60	3.69	3.84
Gly	4.17	4.10	4.23	4.13	3.94	4.13	4.12	4.03	5.44
Ala	5.88	5.73	6.03	5.48	5.48	5.55	6.32	5.67	7.20
Cys**	0.43	0.33	0.36	0.36	0.49	0.36	0.29	0.36	0.82
Val	5.86	5.64	5.30	5.59	5.57	5.47	5.97	5.62	6.40
Met	3.13	3.13	2.96	3.23	2.69	2.84	3.13	3.14	2.88
Ile	5.05	5.03	4.81	4.82	4.79	4.81	5.24	4.90	5.44
Leu	8.07	8.05	8.51	7.87	7.74	7.83	8.65	8.18	7.20
Tyr	4.08	3.62	3.70	3.68	3.53	3.46	3.62	3.74	3.36
Phe	4.05	4.13	4.33	4.13	3.99	3.52	4.12	3.99	3.04
His	2.64	2.48	2.51	2.48	2.64	2.40	2.17	2.43	3.20
Lys	10.24	10.43	10.57	9.84	9.94	10.01	10.37	9.89	10.72
Arg	5.84	5.92	6.50	5.65	5.57	5.81	5.57	6.04	4.96
Trp	1.13	1.23	1.35	1.23	1.23	1.16	1.23	1.23	1.28
Total	96.78	96.56	99.62	94.31	92.96	92.73	102.71	96.08	97.94

Values represent the mean of two or three samples

Values in parentheses represent the number of separate analyses

*1Reported value on the common edible fish⁽²⁾

**Cysteine

Table 4. Amino acid composition of dorsal muscle proteins from chum salmon (g/100g edible portion).

Amino acid	Male				Female			References	
	Feeding migration (2)	Spawning migration (3)	Upstream migration		Feeding migration (2)	Spawning migration (3)	Upstream migration		
			Moheji River (3)	Oirase River (3)			Moheji River (3)	Oirase River (3)	
Asp	2.12	2.10	1.77	1.61	2.14	2.06	1.83	1.69	Salmon ⁽¹⁾ 1.85
Thr	0.94	0.94	0.76	0.75	0.95	0.92	0.80	0.76	0.96
Ser	0.77	0.75	0.67	0.63	0.77	0.72	0.67	0.61	0.83
Glu	3.06	3.20	2.66	2.43	3.05	3.11	2.96	2.53	3.21
Pro	0.75	0.76	0.60	0.65	0.79	0.79	0.77	0.62	0.79
Gly	0.88	0.86	0.71	0.70	0.86	0.89	0.69	0.68	1.13
Ala	1.24	1.21	1.01	0.93	1.19	1.19	1.06	0.96	1.44
Cys ^{*2}	0.09	0.07	0.06	0.06	0.11	0.08	0.05	0.06	0.17
Val	1.24	1.19	0.89	0.95	1.21	1.17	1.00	0.95	1.32
Met	0.66	0.66	0.50	0.55	0.59	0.61	0.52	0.53	0.60
Ile	1.07	1.06	0.81	0.82	1.04	1.03	0.88	0.83	1.13
Leu	1.70	1.70	1.43	1.33	1.68	1.68	1.45	1.38	1.49
Tyr	0.86	0.76	0.62	0.62	0.77	0.74	0.61	0.63	0.70
Phe	0.85	0.87	0.73	0.70	0.87	0.76	0.69	0.67	0.63
His	0.56	0.52	0.42	0.42	0.57	0.52	0.36	0.41	0.66
Lys	2.16	2.20	1.78	1.67	2.16	2.15	1.74	1.67	2.25
Arg	1.23	1.25	1.09	0.96	1.21	1.25	0.93	1.02	1.03
Trp	0.24	0.26	0.23	0.21	0.27	0.25	0.21	0.21	0.26
Total	20.42	20.36	16.74	15.99	20.23	19.92	17.22	16.21	20.42

Values represent the mean of two or three samples

Values in parentheses represent the number of separate analyses

*¹Reported value on the common edible fish⁽²⁾*²Cysteine

Table 5. Nutritional evaluation of dorsal muscle proteins from chum salmon

	Male				Female			References	
	Feeding migration (2)	Spawning migration (3)	Upstream migration		Feeding migration (2)	Spawning migration (3)	Upstream migration		Fish ^{*1}
			Moheji River (3)	Oirase River (3)			Moheji River (3)	Oirase River (3)	
<i>In vitro</i> digestibility (%)	87.5	87.7	87.5	85.9	89.9	87.8	85.3	85.2	
Amino acid score	100	100	95(S) ^{*2}	100	91(S) ^{*2}	91(S) ^{*2}	98(S) ^{*2}	100	100
Essential amino acid index ^{*3}	78	77	78	77	75	75	79	77	77
C-PER	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	

Values represent the mean of two or three samples
 Values in parentheses represent the number of separate analyses
^{*1} Reported value on the common edible fish^{1,2)}
^{*2} Limiting amino acid are the sulfur containing ones (methionine and cysteine)
^{*3} Less arginine and histidine

と考えてよい。

人工消化率は秋サケではいずれも 85-90% と高い値を示し、基準タンパク質となるカゼイン (89-90%)^{5,13)}、Rockfish (*Sebastes* spp) 筋肉タンパク質 (85%)¹³⁾ と比較しても、秋サケ筋肉タンパク質の消化吸収は優れているものと考えられる。

C-PER は秋サケでは 2.7 の値を示し、基準タンパク質となるカゼイン¹³⁾ と鶏卵タンパク質¹⁴⁾ の 2.5、Rockfish (*Sebastes* spp.)¹³⁾ とビンナガマグロ¹⁵⁾ の筋肉タンパク質の 2.6 と比べても遜色は認められなかった。

食品タンパク質の栄養価の良否は、主として必須アミノ酸含量(組成)と消化吸収率によって決定されるが、このうち必須アミノ酸含量は FAO/WHO (1973) アミノ酸評点パターン⁸⁾ により近い組成をもった方がより良質であるとされている。このことから秋サケ筋肉タンパク質は EAA index, AA score も比較的高く、アミノ酸評点パターンに近いアミノ酸組成を有しているものと考えられ、また消化性にも優れ、さらに PER も高いことが推定されることから、きわめて栄養価の高い良質なタンパク質であると判断した。

要 約

産卵回帰秋サケ筋肉の一般成分ならびに筋肉タンパク質のアミノ酸組成と人工消化率の測定を行ない、また秋サケ筋肉タンパク質の栄養価については、食品タンパク質の栄養評価法である必須アミノ酸指数、アミノ酸スコア、人工消化率、計算によって推定したタンパク質効率から検討した。

(1) 秋サケはブナ化の進行に伴って、その体成分は消耗し、水分の増加とタンパク質、脂質、筋肉色素としてのアスタキサンチンが減少することを認めた。

(2) 秋サケはブナ化の進行に伴い、筋肉タンパク質は減少し量的変動が起るが、そのアミノ酸組成には変化が認められなかった。またそのアミノ酸組成は他の一般魚類筋肉タンパク質のそれとほぼ近似していた。

(3) 秋サケ筋肉タンパク質の栄養価は、例えば食品化学的に品質が低下している遼上 C ブナにおいても、北洋生活時の銀毛魚と同等であり、このことから秋サケはきわめて高い栄養価をもつ良質な動物性タンパク質給源となり得ることを明らかにした。

謝 辞

実験魚を提供していただいた本学部練習船北星丸船長山本昭一教授ならびに青森県水産物加工研究所前所長掛端甲一氏、また実験の一部にご協力をいただいた堀(小佐川)清美氏に厚く謝意を表する。

食品タンパク質の栄養評価の計算法

1. 必須アミノ酸指数(EAA index, EAAI)

A. 全卵(鶏卵)タンパク質 100 g 中の 10 種の各必須アミノ酸(EAA)含量(g)と試料タンパク質の各 EAA 含量(g/100 g)との、それぞれの比率を幾何平均した値⁷⁾である。

$$EAAI = \sqrt[10]{\frac{100a}{a_e} \times \frac{100b}{b_e} \times \dots \times \frac{100j}{j_e}}$$

$$\log EAAI = \frac{1}{10} \left(\log \frac{100a}{a_e} + \log \frac{100b}{b_e} + \dots + \log \frac{100j}{j_e} \right)$$

a, b, ……j は試料タンパク質 100 g 当たりの各 EAA の g 数
 a_e, b_e, ……j_e は全卵タンパク質 100 g 当たりの各 EAA の g 数
 B. 銀毛雄魚筋肉タンパク質の EAAI の計算例

Table A

EAA	Whole egg protein (g/100g)	Sample (g/100g)	Sample/egg ratio (%)	log egg ratio	log egg ratio (less Arg + His)
Lys	7.0	10.2	145.7 ^{*1}	2.0000	2.0000
Trp	1.5	1.1	73.3	1.8651	1.8651
Ile	7.7	5.1	66.2	1.8209	1.8209
Val	7.2	5.9	81.9	1.9133	1.9133
Arg	6.6	5.8	87.9	1.9440	—
Met + (Cys) ₂	6.4	3.6	56.3	1.7505	1.7505
Thr	4.3	4.5	104.7 ^{*1}	2.0000	2.0000
Leu	9.2	8.1	88.0	1.9445	1.9445
Phe	6.3	4.1	65.1	1.8136	1.8136
His	2.4	2.6	108.3 ^{*1}	2.0000	—
Σlogs				19.0519	15.1259
1/10 Σlogs				1.9052	1.8907 ^{*2}
EAAI				80	78 ^{*3}

^{*1} Maximum effective egg ratio=100%, minimum effective egg ratio=1%

^{*2} 1/8 Σlogs

^{*3} EAAI, less Arg and His

2. アミノ酸スコア (AA score)

A. 試料タンパク質 1 g 中の各 EAA 含量 (mg) と FAO/WHO (1973) アミノ酸評点パターン (mg/g) とを比較して、試料タンパク質中に最も不足する EAA (第 1 制限アミノ酸) 量の百分率が AA score である⁸⁾。

B. 銀毛雄魚と海産 A ブナ雌魚の筋肉タンパク質の AA score の計算例

Table B

EAA	FAO/WHO (1973) Pattern (mg/g)	Sample I		Sample II		
		mg/g Prot.	Ratio	mg/g Prot.	Ratio	First-limiting amino acid
Ile	40	51	>100	48	>100	Sulfur amino acid (S)
Leu	70	81	>100	78	>100	
Lys	50	102	>100	100	>100	
Met + (Cys) ₂	35	36	>100	32	91	
Phe + Tyr	60	81	>100	70	>100	
Thr	40	45	>100	43	>100	
Trp	10	11	>100	12	>100	
Val	50	59	>100	55	>100	
AA score			100*		91(S)	

* Maximum score=100

3. 計算によるタンパク質効率 (Calculated-PER, Computed-PER, C-PER)⁶⁾

A. 計算法

(1) 試料タンパク質と基準タンパク質 (ANRC カゼイン・ナトリウム*, 以下基準カゼインと略記) について, 多酵素法によって人工消化率を測定する。

(2) 試料タンパク質と基準カゼインについてアミノ酸分析を行ない, それぞれの EAA 含量 (g/100 g タンパク質) を求める。

(3) 次式によって試料タンパク質と基準カゼインの各 EAA% を計算する。

$$\text{EAA, \%} = \frac{\text{EAA content from Step 2}}{\text{FAO/WHO standard for that EAA}} \times \frac{\text{in vitro digestibility (\%)}}{\text{from Step 1}}$$

FAO/WHO standard は FAO/WHO (1973) アミノ酸評点パターン (AA score 計算法参照) を 100 倍して, g/100 g タンパク質として表示した値である。

(4) 上記 (3) で求めた試料タンパク質と基準カゼインの各 EAA% を次のように当てはめる。

EAA ≤ 100% の場合は次の手順に進み, また, EAA > 100% の場合は 100% と見做して次の手順に進む。

(5) 上記 (4) で得られた試料タンパク質と基準カゼインの EAA% について, 次表に従って重みづけをし, また次式によって, X と Y の値を計算する。

$$X = \sum \left(\frac{1}{\text{EAA, \%}} \right) (\text{Associated Weight})$$

$$Y = \sum \text{Weights}$$

Table C

EAA, %*	Weight
100	1
91-99	2
81-90	2.83
71-80	4
61-70	5.66
51-60	8
41-50	11.31
31-40	16
21-30	22.63
11-20	32
0-10	45.25

* Rounded to nearest integer

(6) 次式によって試料タンパク質と基準カゼインの各 EAA score を計算する。

$$\text{EAA score} = \frac{Y}{X}$$

* ANRC (Animal Nutrition Research Council) カゼイン・ナトリウムは, Sheffield Chemical 社, Lyndhurst, N.J. 07071, で販売。

(7) 次式によって試料タンパク質の EAA score と基準カゼインの EAA score との比 (SPC) を計算する。

$$\text{SPC} = \frac{\text{EAA score for sample protein}}{\text{EAA score for reference casein}}$$

(8) SPC を基準カゼインの Rat-PER 値で補正し、その値を Z とする。

$$Z = (2.94 \times \text{SPC}) (2.5/2.94) = \text{SPC} \times 2.5$$

(9) 次式によって C-PER を算出する。

$$\text{C-PER} = -2.1074 + 2.8525 (Z) - 0.4030 (Z^2)$$

B. 銀毛雄魚の筋肉タンパク質の C-PER の計算例

(1) 人工消化率は試料タンパク質が 87.52%, 基準カゼインが 90.03% である。

(2) 試料タンパク質と基準カゼインの EAA 含量は次表のとおりである。

Table D

EAA	g/100g protein		
	FAO/WHO Std.	Sample	Ref. casein
Ile	4.0	5.05	5.01
Leu	7.0	8.07	9.20
Lys	5.5	10.24	7.51
Met+(Cys) ₂	3.5	3.56	2.96
Phe+Tyr	6.0	8.12	9.81
Thr	4.0	4.47	3.45
Trp	1.0	1.13	1.21
Val	5.0	5.86	5.42

(3) 試料タンパク質と基準カゼインの各 EAA% を計算する。一例として試料タンパク質の Lys % について示す。

$$\text{Lys, \%} = \frac{10.24}{5.5} \times 87.52\% = 163\%$$

(4, 5) 試料タンパク質と基準カゼインの各 EAA% について、次表 (Table E) に示すように重みを定め、さらに X, Y を計算する。

(6) 試料タンパク質と基準カゼインの各 EAA score (Y/X) を計算する。

$$\text{EAA score for sample protein} = \frac{11.83}{0.1223} = 96.73$$

$$\text{EAA score for reference casein} = \frac{15.00}{0.1750} = 85.71$$

(7) SPC を計算する。

$$\text{SPC} = \frac{96.73}{85.71} = 1.1286$$

Table E

EAA	Sample			Reference casein			
	EAA %	1/EAA %	Weight	1/EAA % $\times$ Weight	EAA %	1/EAA %	Weight
Ile	111	0.0100	1	0.0100	113	0.0100	1
Leu	101	0.0100	1	0.0100	118	0.0100	1
Lys	163	0.0100	1	0.0100	124	0.0100	1
Met + (Cys) ₂	89	0.0112	2.83	0.0317	76	0.0131	4
Phe + Tyr	119	0.0100	1	0.0100	145	0.0100	1
Thr	98	0.0102	2	0.0204	77	0.0130	4
Trp	99	0.0101	2	0.0202	113	0.0100	1
Val	103	0.0100	1	0.0100	98	0.0102	2
Total			Y = 11.83	X = 0.1223			Y = 15.00
							X = 0.1750

(8) SPC から Z を求め, C-PER を算出する。

$$Z = 1.1286 \times 2.5 = 2.8215$$

$$\begin{aligned} \text{C-PER} &= -2.1074 + 2.8525 \times 2.8215 - 0.4030 \times 2.8215^2 \\ &= 2.73 \approx 2.7 \end{aligned}$$

文 献

- 1) Ando, S., Hatano, M. and Zama, K. (1985). Deterioration of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) muscle during spawning migration—I. Changes in proximate composition of chum salmon muscle during spawning migration. *Comp. Biochem. Physiol.* **80B**, 303-307.
- 2) 羽田野六男・高間浩蔵・小島博文・座間宏一 (1983). アキザケの高度利用に関する研究—I. 採卵後シロサケ筋肉の食品化学的性状. 日水誌 **49**, 213-218.
- 3) Bligh, E.G. and Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* **37**, 911-917.
- 4) 鴻巣章二・松居 隆・福家真也・川崎一平・田中洋美 (1978). 新資源魚類筋肉の一般成分ならびにたん白質のアミノ酸組成. 栄養と食糧 **31**, 597-604.
- 5) Hsu, H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D. and Miller, G.A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *J. Food Sci.* **42**, 1269-1273.
- 6) Satterlee, L.D., Marshall, H.F. and Tennyson, J.M. (1979). Measuring protein quality. *J. Am. Oil Chemists' Soc.* **56**, 103-109.
- 7) Oser, B.L. (1951). Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein. *J. Am. Diet. Assoc.* **27**, 396-402.
- 8) Joint FAO/WHO *Ad Hoc* Expert Committee. (1973). Energy and protein requirements. *WHO Technical Report*. Ser. 522, Geneva. and *FAO Nutrition Meetings Report*. Ser. 52, Rome.
- 9) Satterlee, L.D., Kendrick, J.G. and Miller, G.A. (1977). Rapid in-vitro assays for estimating protein quality. *Food Technol.* **31**, (6) 78-81, 88.
- 10) 羽田野六男 (1985). プナ化と成分変化, 水産学シリーズ 55, 秋サケの資源と利用 (座間宏一・高橋裕哉編), 68 p. 恒星社厚生閣, 東京.
- 11) 科学技術庁資源調査会編 (1966). 第2部日本食品アミノ酸組成表, 第3版食品のアミノ酸含量表 (大儀敏夫訳編, 1982). 36 p., 98 p. 第一出版, 東京.
- 12) FAO 栄養部食糧政策及食品科学課編 (1970). 第1部食品のアミノ酸含量表, 第3版食品のアミノ酸含量表 (大儀敏夫訳編, 1982). 60 p. 第一出版, 東京.
- 13) Morey, K.S., Satterlee, L.D. and Brown, W.D. (1982). Protein quality of fish in modified atmospheres as predicted by the C-PER assay. *J. Food Sci.* **47**, 1399-1400, 1409.
- 14) Hsu, H.W., Sutton, N.E., Banjo, M.O., Satterlee, L.D. and Kendrick, J.G. (1978). The C-PER and T-PER assays for protein quality. *Food Technol.* **32**, (12) 69-73, 68.
- 15) Seet, S.T. and Brown, W.D. (1983). Nutritional quality of raw, precooked and canned albacore tuna (*Thunnus alalunga*). *J. Food Sci.* **48**, 288-289.