

肉類の消化におよぼす加熱の影響

II. 食用レバーの消化について

綾野雄幸・大塚慎二郎

(農産製造学研究室)

Effects of Heating Process on the Enzymatic Digestibility of Meats

II. The Digestibility of Edible Liver

Yūkō AYANO and Shinjiro OTSUKA

Laboratory of Food Chemistry and Technology

Abstract

Effects of Heating Process on the Enzymatic Digestibility of Meats. II. The Digestibility of Edible Liver. Y. AYANO and S. OTSUKA, Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Japan. *Tech. Bull. Fac. Hort. Chiba Univ.*, No. 16: 41~47, 1968.

The effects of heating process on the digestibility of the boiled liver (pig), and the effects of removal of fat or reducing sugar from the liver on the improvement of digestibility, were investigated through peptic digestion method in vitro. The method of the removal of fat or reducing sugar from the liver was as follows. Defatting liver was prepared by using ethyl ether from the freeze-dried liver. Desugaring liver was prepared by using glucose-oxidase enzyme, and the amount of reducing sugar (as glucose) removed from raw liver was 59.3%. The digestibility of both raw and boiled livers, at 100° or 120°C for 1 hr., was increased according as prolonged digestion. However, the relative rates of the digestibility of them were lowered in proportion to the elevated degree of heating temperature, during all the period of digestion. The digestibility of them (incubated at 37°C for 24 hrs.), were 89.1% in raw liver, 84.4% in 100°C boiled liver, and 77.6% in 120°C autoclaved liver. By removal of fat or sugar from liver, the digestibility was improved. The degree of the digestibility in the case of defatting liver was 3~4% higher than that of control, in all the heating process at 60°, 100° and 120°C for 1 hr.. The degree of the digestibility in the case of desugaring liver was also about 2% higher compared to control in same condition. From the point of composition of nitrogen components in peptic hydrolysates of the livers, it was recognized that defatting or desugaring liver was hydrolyzed to small molecules in comparison with that of control, in all the heating process. Especially, this phenomenon was observed in the case of livers autoclaved at 120°C. The presence of fat or reducing sugar in the liver was considered as a factor that inhibits the enzymatic digestion. These substances had the pronounced effect in the case of treatment at higher temperature.

肉類蛋白質の消化におよぼす加熱の影響について、大高(1959)は牛肉の蛋白質消化と加熱との関係について実験し、牛肉を60°Cまたは95°Cに1時間水煮したものは生のものに比して、その消化率は変わらないが、120°Cに1時間処理したものは消化率が非常に低下することを報告している。さきに著者(綾野, 1966)は牛肉

・豚肉を加熱条件を変えて水煮し、ペプシンによる人工消化試験を行なった結果、牛肉・豚肉とも100°C以下1時間の加熱では生肉とほとんど変わらない消化率を示したが、120°C1時間の加熱では消化率が低下し、特に肝臓部はもも部や背部の肉にくらべて、その低下が著しかったことを報告した。また著者(綾野, 1961)は市販

の育児食缶詰の畜肉製品（ペースト状のもの）について、その蛋白質の人工消化試験を行なった結果、レバー製品はそれら製品のなかで最も消化の劣ることを報告した。

以上の観点から、本実験は食用レバーを供試材料として、これを種々の温度で水煮処理した場合、加熱が蛋白質の消化にどのように影響するか、また脱脂ならびに脱糖処理をして水煮した場合、消化性がどのように向上するかについて、ペプシンによる人工消化試験を行なった。消化性は消化過程中的消化率の変化、消化生成物中の proteose 窒素, peptone 窒素, α -amino 窒素および α -amino acid 窒素を測定し、あわせ peptide 分子の大きさについて検討を加えた。以下、その結果を報告する。

実験方法

1. 実験材料

と殺3日後の豚のレバーを購入し、直ちにアイスボックスにて凍結し、必要に応じ取り出して使用した。このものの化学的組成は Table 1 のとおりである。

Table 1. Composition of liver (pig)

Moisture %	Crude protein %	True protein %	Reducing sugar %	Fat %	Ash %
72.5	18.5	16.5	2.1	2.6	1.0

2. 試料の調整

レバーはホモブレンダーにかけて磨砕した後、実験によってはそのまま直ちに使用するか、アセトンドライアイス法で凍結乾燥してから用いた。脱脂および脱糖試料は次のようにして処理した。

1) 脱脂処理

凍結乾燥したレバーをソックスレー脂肪抽出器を用

い、エチルエーテルで約16時間脂肪を抽出して脱脂試料とした。

2) 脱糖処理

レバーに glucose-oxidase 剤 (catalase を含む) を作用させ、レバー中の glucose を gluconic acid に酸化して脱糖する方法を用いた。酵素剤は長瀬産業KKの“デオキシン” (30,000 unit/g) を用いた。酵素剤の使用に当り、レバーに対する酵素剤添加量および作用時間は HENRICKSON ら (1956) が牛肉の脱糖処理について行なった方法を参考にして検討した。

まず酵素剤添加量と脱糖率との関係を知るために、磨砕したレバーを基質にして、これに 0.02%, 0.05%, 0.07%, 0.10% および 0.15% の割合で酵素剤を添加し、30°C で1時間 incubate した。なお作用中は 10g のレバーに対し過酸化水素水 (30% H_2O_2 の 0.5ml を 10ml に dilute したもの) 10ml を添加して反応を促進させた。添加方法は最初の 5~10 分間に 3ml を、残りは 5分毎に 1ml ずつを添加した。以上のように作用させたものは、レバー中の glucose 量を HANES (1929) の方法で定量した。その結果は Table 2 のとおりである。

Table 2. Relation between the concentration of enzyme added to liver and the amount of glucose removed from liver

Enzyme % (unit)	Content of glucose in liver (mg %)	Amount of glucose removed from liver (%)
Control	2,070	0
0.02(0.6×10^3)	1,750	15.4
0.05(1.5×10^3)	1,000	51.6
0.07(2.1×10^3)	1,020	50.7
0.10(3.0×10^3)	1,000	51.6
0.15(4.5×10^3)	916	55.7

The liver was incubated at 30°C and hydrogen peroxide was added while reaction was carried out.

Table 3. Relation between reaction time and the amount of glucose removed from liver

Reaction time (hours)	Concentration of enzym			
	0.10%		0.15%	
	Glucose in liver (mg %)	Amount of glucose removed from liver (%)	Glucose in liver (mg %)	Amount of glucose removed from liver (%)
Control	2,203	—	2,203	—
1	778	64.6	792	64.0
2	757	65.6	688	69.2
3	764	65.3	674	69.4

The liver was incubated at 30°C and hydrogen peroxide was added while reaction was carried out.

Table 2 から、酵素剤の添加量が 0.05% 以上になると約 50% 以上の脱糖率を示すことがわかった。次に作用時間と脱糖率との関係を知るために酵素剤添加量を 0.10%, 0.15% とし、作用時間を 1, 2 および 3 時間にして上記と同じ方法で作用させた。その結果は Table 3 のとおりである。

Table 3 によると、酵素剤添加量が 0.10% の場合、作用時間が 1 時間から 3 時間までは約 65% の脱糖率を示して大差なく、0.15% の場合、作用時間が 2 時間と 3 時間の両者が約 69% の脱糖率を示した。

以上の結果から、本実験での脱糖処理は磨砕レバーへの glucose-oxidase 剤の添加量を 0.15% にして、作用時間 2 時間、作用温度 30°C の条件で行なった。なお作用中は前記と同じ要領で過酸化水素水を添加した。脱糖後は直ちにアセトンドライアイス法で凍結乾燥を行なって脱糖試料とした。本試料の脱糖率は 59.3% であった。

3) 加熱処理

生の試料を用いる場合は、ホモブレンダーで磨砕したレバー 2 g を 200 ml 容三角フラスコに精秤し、水 20 ml を加え、所定温度で 1 時間加熱処理した。乾燥試料を用いる場合は、0.5 g を 200 ml 容三角フラスコに精秤し、水 20 ml を加えて同じく処理した。60°C と 100°C の加熱は熱水中で、120°C の加熱にはオートクレーブを用いた。その際加熱中に蒸発した水分は加熱前にあらかじめフラスコを秤量しておき、加熱後重量の差により水分を補った。

3. 人工消化試験法

以上のように加熱処理した各試料は 0.2 N 塩酸溶液で pH 1.8 に調整した後、酵素剤ペプシン 50 mg を加え、全容を 50 ml にして基質の最終濃度を約 1% とした。これを 37°C の恒温器に入れ、ときどき振とうを行ないながら所定時間 incubate した。恒温器から取り出したものは、次の方法によって消化率ならびに proteose 窒素、peptone 窒素、 α -amino 窒素および α -amino acid 窒素を測定した。なお本実験に用いたペプシンは三国製菓製の精製濃ペプシンで、その効力は 1% カゼイン溶液 10 ml を 37°C で 1 時間に消化し得るに 1.5 mg を要した。

1) 消化率の算出法

恒温器から取り出した酵素分解物に 20% トリクロール酢酸 (TCA) 溶液 20 ml を加え、30 分放置後、さらに水で全容を 100 ml とした後、ろ過し、ろ液の一定量について窒素を Micro-Kjeldahl 法により定量し、ペプシン消化により増加する TCA 可溶性窒素の割合を次式によって求め、蛋白人工消化率とした。

$$\text{蛋白人工消化率} = \frac{n_1 - n_2 - B}{N - B} \times 100 (\%)$$

n_1 : ペプシン消化後、除蛋白してろ過したろ液中の窒素量

n_2 : ペプシンのみの遊離窒素量

N: 試料の全窒素量

B: 試料の遊離窒素量

2) proteose 窒素および peptone 窒素の定量

恒温器から取り出した酵素分解物は 1 N 苛性ソーダ溶液で中和してから、直ちに沸とう水中で 20 分間加熱して酵素を不活性化させ、水で全容を 100 ml とした後、ろ紙 (No. 2) でろ過し、ろ液を消化生成物として分析に供した。消化生成物中の全窒素はその一部を取り Micro-Kjeldahl 法で定量した。proteose 窒素および peptone 窒素の定量は WINTON ら (1947) の方法によった。すなわち proteose 窒素は消化生成物に硫酸亜鉛を飽和させた際に生ずる沈殿物をろ別し、その沈殿物の窒素を Micro-Kjeldahl 法により定量した。peptone 窒素は消化生成物に塩化ナトリウム、タンニン酸を加え、一夜 12°C に放置し、一定容にした後、ろ別し、ろ液について窒素を Micro-Kjeldahl 法により定量し、消化生成物中の全窒素から proteose 窒素とともに差引いて求めた。

3) α -amino 窒素, α -amino acid 窒素の定量

消化生成物について、 α -amino 窒素は Pope-Stevens 法 (POPE, 1937) を用い、 α -amino acid 窒素は ninhydrin を作用させ、発生する炭酸ガスを水酸化バリウム溶液で捕そくした後、塩酸で滴定して定量する方法 (VANSLYKE, 1941) を用いた。

4) peptide 分子の平均的大きさの算出法

HOOVER ら (1947) の示した次のような算出法によった。なお potential α -amino 窒素は消化生成物を 6 N 塩酸溶液で 8 時間、加圧下 (1.1 kg/cm²) で分解した後 α -amino 窒素を Pope-Stevens 法により定量した。

peptide 分子の平均的大きさ (average chain length)

$$= \frac{A}{B}$$

peptide 分子の平均アミノ酸数 (average number of

$$\text{amino acids in peptides}) = \frac{A - C}{B - C}$$

A: potential α -amino 窒素

B: α -amino 窒素

C: α -amino acid 窒素

A - C: potential α -amino 窒素 (peptide 中の)

B - C: free α -amino 窒素 (peptide 中の)

結果および考察

1. 消化過程における消化率の変化

生のレバーを試料とし、無加熱、100℃-60分加熱および120℃-60分加熱の3区を作り、ペプシンによる人工消化を24時間行ない、消化過程における消化率の時

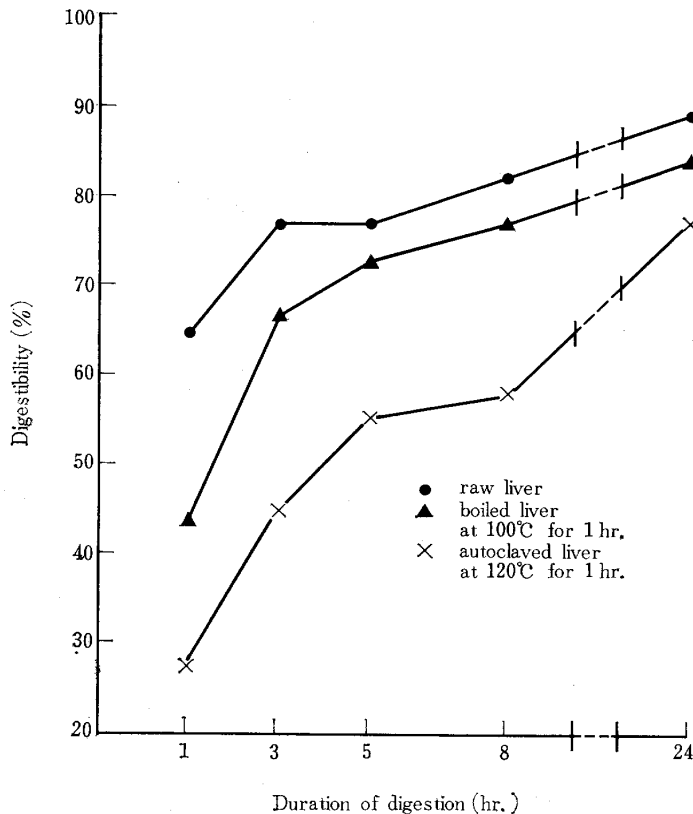


Fig 1. Digestibility of liver with pepsin

間的变化を調べた。その結果は Fig. 1 のとおりである。

Fig. 1 によると、無加熱区、両加熱区とも消化時間が長くなるにつれて消化率は上昇している。消化時間が1時間目のとき無加熱区の消化率は約65%と最も優れているのに対し、100℃加熱区は約43%、120℃加熱区は約27%と加熱処理温度が高いものほど劣っている。

消化時間が3時間以上になっても同じような傾向が続き、24時間消化後でも120℃加熱区は無加熱区に比し、消化率は約11%も劣っている。さらに著者（綾野、投稿中）が牛肉（背部肉）を試料として同様な実験を行なった結果では、消化時間が3時間以上になると無加熱区と加熱区との間の消化率の差は縮まり、24時間消化させると無加熱区と100℃加熱区との差はほとんどなくなり、120℃加熱区は無加熱区に比して約4%劣っていた。しかしレバーは加熱処理温度が高くなると消化時間の長短にかかわらず、その消化性に著しい困難さが認められる。またペプシン消化の場合、基質を塩酸でpH1.8に調整するので、incubate中、塩酸による加水分解が考えられるが、塩酸による分解率は24時間消化で、無加熱のもの2%強、100℃加熱および120℃加熱のもの1%以下であったため、塩酸が原因となって無加熱区の消化率が向上しているとは考えられない。

2. 脱脂ならびに脱糖処理が消化性におよぼす影響

脱脂区（脱脂レバー）、脱糖区（脱糖レバー）お

Table 4. Effects of removal of fat or reducing sugar from liver on the digestibility

Treatments of liver	Heating process (1 hr.)	Total N in substrates (%) [N]	Free N in substrates (%) [B]	N contained free enzymatic N (%) [n ₁]	Free enzymatic N (%) [n ₂]	Digested N (%) [n ₁ - n ₂ - B]	Digestibility (%) $\left[\frac{n_1 - n_2 - B}{N - B} \right]$
Control	raw	9.15	1.26	9.19	1.11	6.82	86.4
	60℃		1.73	9.12		6.28	84.6
	100℃		1.26	8.54		6.17	78.2
	120℃		1.58	8.18		5.49	72.5
Defatting	raw	10.13	1.11	10.20	1.11	7.98	88.4
	60℃		1.47	10.13		7.55	87.1
	100℃		1.15	9.73		7.47	83.1
	120℃		1.47	9.22		6.64	76.6
Desugaring	raw	9.07	1.68	9.26	0.97	6.61	89.4
	60℃		2.13	8.92		5.82	83.8
	100℃		1.80	8.59		5.82	80.0
	120℃		2.25	8.32		5.10	74.7

よび無処理区（凍結乾燥のみを行なったレバー）の3区を設け、各区とも 60°C, 100°C および 120°C で1時間の加熱を行ない、これらを基質にしてペプシンによる人工消化を24時間行なった。

1) 消化率

脱脂ならびに脱糖処理をして加熱した場合、消化率にどのように影響するかを調べた。その結果は Table 4 のとおりである。

Table 4 によると、脱脂区は無加熱、各加熱段階ともその消化率は無処理区より3~4%高くなっている。脱糖区も無処理区より消化率は2%程度よくなっている。

脱脂ならびに脱糖処理が消化率を向上させる理由としては、脱脂した場合は組織中で蛋白質とからんでいる脂肪組織が破壊されるため、ペプシンの作用が受けやすくなるものと考えられ、脱糖した場合は amino-carbonyl 反応が起こりにくく、したがってペプシンの作用を阻害する humin 様物質の生成が少ないためだと考えられる。

2) 消化生成物中の窒素成分

消化生成物中の全窒素, proteose 窒素, peptone 窒素, α -amino 窒素および α -amino acid 窒素を測定し, peptide 分子の大きさについて検討を加えた。その結果は Table 5, Table 6 のとおりである。

Table 5. Fractionation of hydrolysates of liver obtained by 24 hr.'s hydrolysis with pepsin

Treatments of liver	Heating process (1 hr.)	N in hydrolysates, as % of N in substrates	Proteoses		Peptones		Sub-peptones and amino acid, as % of N in substrates
			as % of N in substrates	as % of N in hydrolysates	as % of N in substrates	as % of N in hydrolysates	
Control	raw	95.0	17.2	18.1	38.6	40.6	39.1
	60°C	84.2	7.4	8.8	40.5	48.1	36.2
	100°C	80.0	7.4	9.2	39.2	49.0	33.3
	120°C	74.5	8.1	10.9	40.8	54.8	25.4
Defatting	raw	99.0	15.6	15.7	44.3	44.7	39.1
	60°C	89.5	6.8	7.6	43.5	48.6	39.1
	100°C	83.3	7.1	8.6	40.7	48.8	35.4
	120°C	77.6	7.5	7.7	38.2	49.3	31.7
Desugaring	raw	83.8	6.3	7.6	39.5	47.1	37.9
	60°C	83.5	6.3	7.6	41.2	49.3	35.9
	100°C	79.7	6.3	7.9	39.4	49.4	33.9
	120°C	74.5	6.9	9.2	35.7	47.9	31.8

Table 6. Production of peptides and free amino acids during the process of 24 hr.'s hydrolysis of liver incubating with pepsin

Treatments of liver	Heating process (1 hr.)	α -amino N, as % of N in hydrolysates	α -amino acid N, as % of N in hydrolysates	Average chain length of peptides	Average number of amino acids in peptides
Control	raw	19.8	5.1	3.1	3.8
	60°C	22.0	5.1	3.1	3.7
	100°C	19.8	4.7	3.3	4.1
	120°C	17.7	2.9	3.6	4.1
Defatting	raw	20.4	4.6	3.0	3.7
	60°C	22.2	4.8	2.9	3.5
	100°C	22.2	4.3	3.1	3.6
	120°C	19.0	3.3	3.5	4.0
Desugaring	raw	24.6	5.2	2.7	3.8
	60°C	23.6	5.2	2.8	3.3
	100°C	22.3	5.5	3.0	3.7
	120°C	21.0	5.1	3.3	4.1

Table 5 によると、消化生成物中の全窒素は脱脂区がその生成度が一番高く、脱糖区と無処理区の間にはあまり差が認められない。しかし脱糖区で無加熱のものは他の処理のものより相当低い値を示している。これは脱糖処理により、レバーの組成に何らかの変化を来たしたのではないかと考えられる。protease 窒素の生成度は脱糖区が低く、次に脱脂区、無処理区の順になっている。peptone 窒素は脱糖区のうち、120°C 加熱のものにその生成度の低いのがみられるが、全般的な差はみられない。sub-peptone と amino acid 態の窒素の生成度は、無処理区で 120°C 加熱のものが非常に低い値を示しているほかは、全般的な差はみられない。

脱脂区と無処理区を比べた場合、消化生成物中の全窒素の生成度は各加熱段階とも脱脂区のほうが高いが、protease 窒素の生成度は無処理区のほうが高くなっている。また sub-peptone や amino acid のような小分子への分解は、脱脂区のほうが、その程度が進んでいる。

脱糖区と無処理区の比較では、消化生成物中の全窒素の生成度は無加熱のもの以外は両者ともほとんど変わらないが、protease 窒素の生成度は無処理区のほうが高く、sub-peptone と amino acid 態の窒素の生成度は、脱糖して 120°C に加熱したものが高くなっているが、そのほかは大差がない。

また各区とも加熱処理温度が高いほど、消化生成物中の全窒素の生成度は低いが、protease 窒素の生成度は反対に高く、sub-peptone と amino acid 態の窒素の生成度は低くなっている。これは加熱処理温度が高くなると、それだけ小分子への分解が遅れることを示すものである。この傾向は脱脂ならびに脱糖処理をしたものより無処理のものに顕著である。

Table 6 によると、 α -amino 窒素と α -amino acid 窒素の生成度は各加熱段階とも脱糖区が一番高く、次いで脱脂区、無処理区の順になっている。peptide 分子の平均の大きさは各加熱段階とも脱糖区が一番小さく、次に脱脂区、無処理区の順になっている。つまり脱糖したものが最も小分子まで分解されていることを示している。peptide 分子の平均アミノ酸数は脱脂区が全体的に小さい値を示すが、脱糖区とあまり差がない。

また各区とも加熱処理温度が高くなると、 α -amino 窒素や α -amino acid 窒素の生成度は低く、peptide 分子は大きく、peptide のアミノ酸数も多くなっている。これは加熱処理温度が高くなると分解が遅れることを示している。

以上の実験結果から、レバーを水煮した場合、その消化性は加熱温度が高くなると低下し、120°C に加熱し

た場合は相当低下することがうかがわれる。この低下の原因としては、レバー中の蛋白質の加熱による変性、脂肪の存在、加熱による amino-carbonyl 反応生成物の存在などがペプシン消化を阻害するものと考えられる。これらの観点から、本実験ではレバーの脱脂ならびに脱糖処理を試み、その処理が消化性の向上にどの程度影響するかを検討したものである。その結果、脱脂ならびに脱糖したものの消化率は各加熱段階とも無処理のものより優れており、消化生成物の窒素成分の組成の点からみても、脱脂ならびに脱糖処理を行なったものは、より小分子のものに分解されていることが認められた。特に 120°C に加熱した場合にその傾向が顕著にあらわれた。以上からペプシン消化を阻害する因子として、蛋白質の加熱変性以外に脂肪、還元糖の存在が考えられ、これらは加熱した場合に著しく影響することが分った。

摘 要

食用レバー（豚）を水煮した場合、加熱が蛋白質の消化にどのように影響するか、また脱脂ならびに脱糖処理をして水煮した場合、消化性がどのように向上するかについて、ペプシンによる人工消化試験を行なった。

1. 消化過程における消化率の変化は、生のもの、加熱したもの（100°C および 120°C で 1 時間）両者とも時間の経過にともない上昇した。しかし加熱温度が高いものほど消化率は低かった。37°C で 24 時間消化後の消化率は生のもの 89.1%，100°C で加熱したもの 84.4%，120°C で加熱したもの 77.6% であった。

2. 脱脂（凍結乾燥レバーをエチルエーテルで処理）ならびに脱糖（生レバーを glucose-oxidase で処理した後、凍結乾燥、脱糖率 59.3%）処理により消化率は向上した。脱脂したものの消化率は無処理のものより各加熱段階（60°C，100°C および 120°C で 1 時間）とも約 3～4% 高くなった。脱糖したのも約 2% 高くなった。消化生成物中の窒素成分の組成の点からみても、脱脂ならびに脱糖処理を行なったものは無処理のものより小分子のものに分解されていることが認められた。特に 120°C に加熱したものではその傾向が顕著にあらわれた。

3. レバーの消化を阻害する因子として蛋白質の加熱変性以外に、脂肪や還元糖の存在が考えられ、これらは加熱温度が高い場合に著しく影響することが分った。

文 献

- 1) 綾野雄幸・飯沼寛信 (1961): 缶詰時報 **40**, No. 12: 1-3.
- 2) — (1966): 千大園・学報 No. **13**: 29-34.

- 3) —— (投稿中) : 栄養と食糧
- 4) HANES, C. G. (1929) : Biochem. J. **23** : 99.
- 5) HENRICKSON, R. L., D. E. BRADY, C. W. GEHRKE and R. F. BROOKS (1956) : Food Tech. **10** : 1-3.
- 6) HOOVER, S. R. and E. L. C. KOKES (1947) : J. Biol. Chem. **167** : 199-206.
- 7) 大高文男 (1959) : 栄養と食糧 **12** : 251-253.
- 8) POPE, C. G. and STEVENS, M. F. (1937) : Biochem. J. **33** : 1070.
- 9) VAN SLYKE, D. D., D. A. MACFADYEN, and P. HAMILTON : J. Biol. Chem. **141** : 671-679.
- 10) WINTON, A. L., and K. B. WINTON (1947) : The Analysis of Food, John Wiley & Sons, Inc., (New York) : 798-801.