

分離大豆たん白質の 制限アミノ酸とその補足効果

● 国立栄養研究所…………… 山口迪夫・岩谷昌子・宮崎基嘉

従来、分離大豆たん白質を用いたラットによる栄養試験では必ずしも良好な栄養価が得られていない¹⁻³⁾。一般に大豆および大豆製品では制限アミノ酸は含硫アミノ酸であり、成長期ラットは人間にくらべて含硫アミノ酸の要求割合が高いことが、その主な理由であると推定される。しかし、他の制限アミノ酸をも含めてこの問題について全般的に検討した報告はない。本研究では成長期ラットを用い、分離大豆たん白質について予想される制限アミノ酸を添加した場合の栄養価の改善を明らかにすることを主目的とした。

実験方法

〔実験1〕では分離大豆たん白質の栄養価について全卵たん白質、カゼインと比較検討した。分離大豆たん白質はフジプロ R (以下 SPI Soy protein isolate, 不二製油) とフジプロ 620 (以下 SPI 620, フジペリュリナプロテイン)、全卵たん白質は精製全卵たん白質“PEP”(オリエンタル酵母工業)、カゼインはビタミンフリーカゼイン(ICN Pharmaceuticals)を使用した。

実験動物は Wistar 系雄ラット(初体重 約70g)を用い各区 6 頭とし28日間の栄養試験を行った。実験飼料の組成は Table 1 に示した。測定項目は増体重、たん白効率 (Protein efficiency ratio, PE R), NPR (Net protein ratio) 真の消化率 (True digestibility, TD), 生物価 (Biological value, BV), NPU (Net protein utilization, たん白正味利用効率), 7 項目の血液成分および肝臓重量とした。血漿成分は、試験期間終了後頸動脈より採血し、一般の臨床検査法⁴⁾に準じて行った。

〔実験2〕では初めに SPI と SPI

620 のアミノ酸分析を行い、次いでこの結果から予想された主要な制限アミノ酸の添加試験を行った。アミノ酸分析は日立アミノ酸自動分析計 KLA-5 型で測定し、Trp のみは DAB 法により行った。実験動物の初体重は約 110g, 各区の頭数は 5, 試験期間は 2 週間とした以外は実験 1 と同様な方法で行った。

アミノ酸添加区は Met, Met+Thr, Met+Thr+Lys の各区とし、飼料中の添加量(%)は必要量を充すように Met 0.3, Thr 0.2, Lys 0.2 とした。測定項目は増体重, PER, 10項目の血漿成分および肝臓重量で、実験 1 と同様な方法で測定した。

〔実験3〕では成長阻害因子の一つとして知られるトリプシンインヒビターの存在の有無を確かめるために SPI とその原料である脱脂大豆について、それぞれ蒸煮した場合としない場合の制限アミノ酸の添加試験を行った。アミノ酸添加区は実験 2 の各区のほかにも全必須アミノ酸を添加した区を設けた。各アミノ酸の添加量は NRC 必要量を 20% 上回るようにした(したがって、この場合は Met 0.4, Thr 0.24, Lys 0.32)。実験動物、飼料組成、試験期間、測定項目は実験 2 に準じて行った。

Table 1. Composition of experimental diets

	(g/100g diet, on dry basis)			
	SPI	SM	Whole egg protein	Casein
Protein source	11.00	17.80	10.72	11.25
α -Corn starch	71.80	65.00	72.08	71.55
Soybean oil			8.00	
Cellulose powder			3.20	
Salt mix.*			5.00	
Vitamin mix.*			1.00 (Containing 0.80 cellulose powder.)	
Total		100.00		

SPI: Soy protein isolate, SM: Soybean meal,

* Identical with A.E. Harper's composition (1959).

結果および考察

Table 2. Body weight gain and nutritive values (Exp. 1)

	SPI	SPI (620)	Whole egg protein	Casein
Body weight gain (g/day)	1.6±0.2 (28)	1.7±0.2 (30)	5.7±0.2 (100)	3.4±0.3* (60)**
PER	1.7±0.2 (44)	1.8±0.2 (46)	3.9±0.0 (100)	2.8±0.1 (72)
NPR	3.8±0.4 (62)	3.8±0.8 (62)	6.1±0.2 (100)	5.4±0.2 (89)
TD (%)	96±0 (101)	95±0 (100)	95±0 (100)	98±0 (103)
BV	61±1	58±1	100±1	78±1
NPU	59±2	55±2	95±2	76±2

PER: Protein efficiency ratio, NPR: Net protein ratio, TD: True digestibility, BV: Biological value, NPU: Net protein utilization.

* Mean±SEM.

** Relative values taken the values for whole egg protein as 100.

〔実験1〕

分離大豆たん白質による成長曲線を全卵たん白質およびカゼインの場合と比較して Fig. 1 に示した。SPI および SPI 620 は類似した結果を示し、それらの成長効果は全卵たん白質に対してはもとよりカゼインに対しても著しく低い値を示した。特に第2週目までの体重増加は僅かであり、それ以後に改善がみられた。この傾向はカゼインについてもみられ、これが含硫アミノ酸の不足に起因するものと推定された。

一般的な栄養価については Table 2 に示した。SPI および SPI 620 の真の消化率はそれぞれ 96, 95% であり、対照のたん白質と同程度に高い値であった。しかし、その他の値では著しく劣る結果を示した。特に生物価が 60 前後であることは、明らかに制限アミノ酸の存在することを示すものである。

血漿成分は Table 3 に示したとおり、全卵たん白質にくらべて、尿素-N およびロイシンアミノペプチダーゼ (LAP) が高い値を示した。このことは体内でのアミノ酸の利用率が低いことを示唆するが、カゼインでも同様な傾向がみられた。トリグリセライド (TG) は対照たん白質にくらべて低い値を示したが、このことは成長効果の低いことと関係があると思われる。しかし、体重当たりで示した肝臓重量では特に異常な値はみられなかった。

以上の結果から、分離大豆たん白質の消化率は極めて高いが、生物価は低いことが明らかにされた。

〔実験2〕

SPI および SPI 620 のアミノ酸分析の結果を Table 4 に示した。両者の値は概ね近似していたが、20%以上の開きのみられたアミノ酸は芳香族アミノ酸とプロリンで、いずれも SPI の方が低い値を示した。

次に、SPI の値を成長期ラットおよび人間の必須アミノ酸必要量パターンに対する割合で表わすと、Table 4 右欄に示すとおりである。アミノ酸スコアは成長期ラットに対しては 40、人間に対しては 57 であり、いずれも第一制限アミノ酸は含硫アミノ酸であることが示された。また、第二制限アミノ酸はいずれも Thr であり、必要量に対する割合は、65%前後で両者に大差はみられなかった。第三制限アミノ酸は、成長期ラットに対してのみ

Table 3. Plasma components and liver weight (Exp. 1)

	SPI	SPI (620)	Whole egg protein	Casein
Hematocrit (%)	42.1±1.3	40.5±1.3	42.9±1.0	43.2±1.1*
A/G ratio	1.21±0.04	1.15±0.04	1.21±0.05	1.25±0.04
Creatinine (mg/dl)	0.59±0.05	0.68±0.05	0.56±0.04	0.58±0.03
Urea-N (mg/dl)	5.2±0.8	5.2±0.8	3.9±0.5	6.1±0.5
LAP (U/l)	74±10	74±7	50±5	72±8
TG (mg/dl)	44±5	60±10	90±12	77±10
T-CHO (mg/dl)	81±4	87±3	82±5	81±4
Liver weight (g/100g B.W.)	3.7±0.1	3.9±0.1	4.0±0.1	3.7±0.1

LAP: Leucine aminopeptidase, TG: Triglyceride, T-CHO: Total cholesterol, * Mean±SEM.

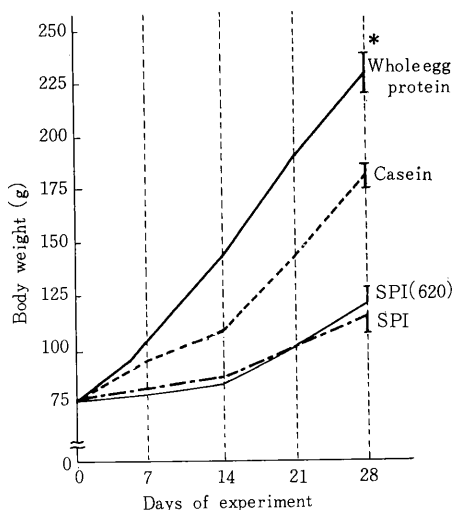


Fig.1 Growth curve of rats (Exp. 1)

* SEM

Lys である可能性が示された。この他にも数値のうえでは制限アミノ酸が2, 3あることが認められたが、い

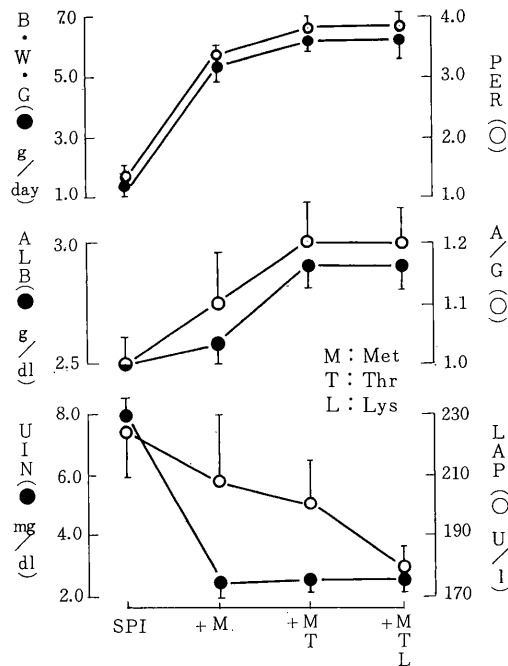


Fig. 2 Body weight gain, PER and plasma components (I) (Exp. 2)

Table 4. Amino acid composition and amino acid score

Amino acid	Composition		Relative values of SPI to requirement	
	SPI	SPI (620)	Growing rat*	Human**
Essential				
	(g/16gN)			
His	2.4	2.2	96	—
Arg	6.4	5.3	128	—
Ile	4.6	5.0	100	115
Leu	6.9	7.7	111	99
Lys	5.8	5.8	77	105
{Met	{1.0	{1.2		
{Cys	{1.0	{1.0		
(Total)	(2.0)	(2.2)	40	57
{Phe	{4.2	{5.0		
{Tyr	{2.7	{3.5		
(Total)	(6.9)	(8.5)	103	115
Thr	2.7	2.9	64	68
Trp	1.5	1.7	115	150
Val	4.6	5.3	92	92
Non-essential				
Asp	11.5	11.0	Amino acid score	
Ser	3.7	3.2		
Glu	17.4	20.6	EAA proportion	
Pro	4.3	5.4		
Gly	3.7	3.8	(EAA / TAA, %)	
Ala	3.5	3.9		
Total	87.9	94.5	SPI (620)	50

* NRC (1972), ** FAO/WHO (1973)

ずれも必要量に対する割合は90%を上回り、実際的には意味をもたないものと考えられる。また、必須アミノ酸を合計し、これを全アミノ酸で割った必須アミノ酸割合(%)では、SPI と SPI 620 の値はほとんど一致し、約50を示した。分離大豆たん白質はこの点では動物性たん白質に匹敵する価値をもつと判断される。

次に、上記3種の制限アミノ酸を SPI に順次追加して添加した試験結果を Fig. 2, 3 に示した。増体重、PER、血清アルブミン (ALB)、A/G 比では明らかに Met と Thr の添加効果が認められ、Lys の効果は認められなかった。特に Met と Thr の添加により、増体重が6.3g/日、PER が3.8を示したことは、現在最高の栄養価をもつとされている全卵たん白質に近い値まで改善されたといえることができる。しかし、尿素-N は Thr の添加で減少せず、LAP は Lys の添加でさらに減少するなど、Met と Thr の添加効果のみでは説明し難い結果もみられた。

脂質成分では、TG は Met の添加で異常に上昇し、Thr の添加で低下した。ホスホリピッド (PL) は Lys 添加でかなり減少したのが特徴的であった。総コレステロール (T-CHO) は Met 添加により減少したが、HDL-CHO は上昇し、さらに Thr 添加で HDL-CHO が若干上昇したのは注目される。クレアチニン (CRE) は各アミノ酸の添加により順次減少する傾向を示したが、こ

の傾向は生理的に異常であるとは考えられない。また、肝臓重量は Met 添加で著しく上昇し、Thr 添加で低下したが、この Met による上昇は従来の数多い研究結果から肝脂質の異常蓄積によるものと推定される。

以上の結果から、実験2においては分離大豆たん白質の栄養価は Met, Thr の添加により著しく改善され、全卵たん白質に匹敵する値を示すことが明らかにされた。

〔実験3〕

この実験では SPI とその原料脱脂大豆を用い、新たに全必須アミノ酸を添加した区を設け、これらを蒸煮した場合としない場合の栄養効果を調べて SPI の栄養価が実験2の値以上に改善されるか否かを検討した。得られた結果は Fig 4, 5, 6 に示した。増体重、PER の値は原料脱脂大豆では明らかに低く、これを加熱することにより著しく改善された。また、SPI は加熱しても、しなくてもほぼ同様の値が得られ、これらが加熱脱脂大豆の場合の値と近似していた。

このことは、SPI は生理的に検出し得る

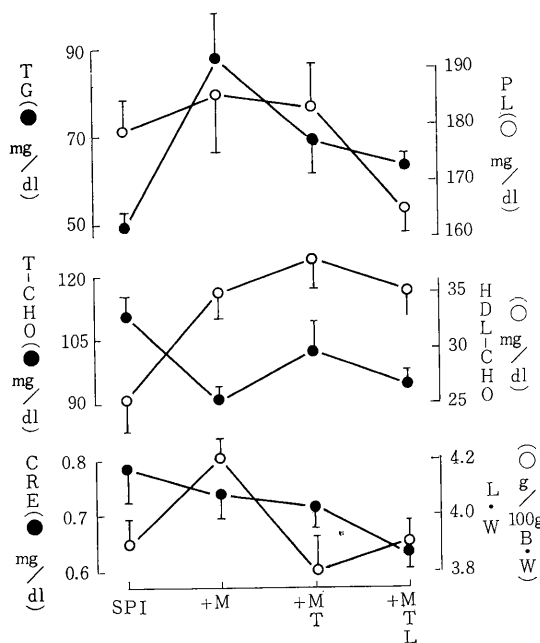


Fig.3 Plasma components(II)
and liver weight (Exp.2)

程度のトリプシンインヒビターを含まないこと、および原料脱脂大豆のたん白質の栄養価をほとんどそのまま保持して調製されたことを示すものである。

さらに、全必須アミノ酸を添加した場合にも特に評価すべき栄養価の改善がみられなかったことは、分離大豆たん白質の制限アミノ酸はほとんど大部分 Met と Thr によって代表されることを示すものである。

次に、血漿成分の結果では ALB は全必須アミノ酸の

添加でなお上昇がみられた点は注目される。A/G 比は SPI と脱脂大豆で明らかに異なる傾向を示したが、Met と Thr の添加ではほぼ最高値に達するものと考えられた。尿素-N は必須アミノ酸の添加により順次著明に減少する傾向がみられた。

なお、加熱しない脱脂大豆でアミノ酸を添加しない場合の尿素-N が著しく低いことはトリプシンインヒビターの存在を示唆するものである。

LAP の値は増体重、PER とは明らかに逆の対応を示し、この点からも Met と Thr の添加効果が裏付けされた。CRE は加熱しない試料でアミノ酸を添加しない場合 (SPI と SM 区) で高い値を示したほかは大きな変化がみられなかった。

次に、脂質成分については、TG は実験 2 と同様に Met 添加で異常に上昇し、Thr 添加で低下した。全必須アミノ酸添加の場合に、この値が加熱した試料と、しない試料で逆の傾向を示したことは興味あることと思われる。

PL についても加熱しない試料では単調に上昇したのに対し、加熱試料では大きな変化がみられなかった。このように、加熱処理はトリプシンインヒビター以外にも何らかの影響因子を含む可能性が示された。

T-CHO は全般を通じてアミノ酸を添加しない場合に高い傾向を示し、HDL-CHO はアミノ酸添加とともに、上昇傾向を示したのは特に注目される。なお、肝臓重量は加熱 SPI の Met 添加区と、脱脂大豆の全必須アミノ酸添加区で異常な上昇がみられたほかは一般的な傾向を示した。

以上の結果から、実験 3 においては分離大豆たん白質の制限アミノ酸は総合的に判断してほとんど大部分が Met と Thr によって代表されること、およびトリプシ

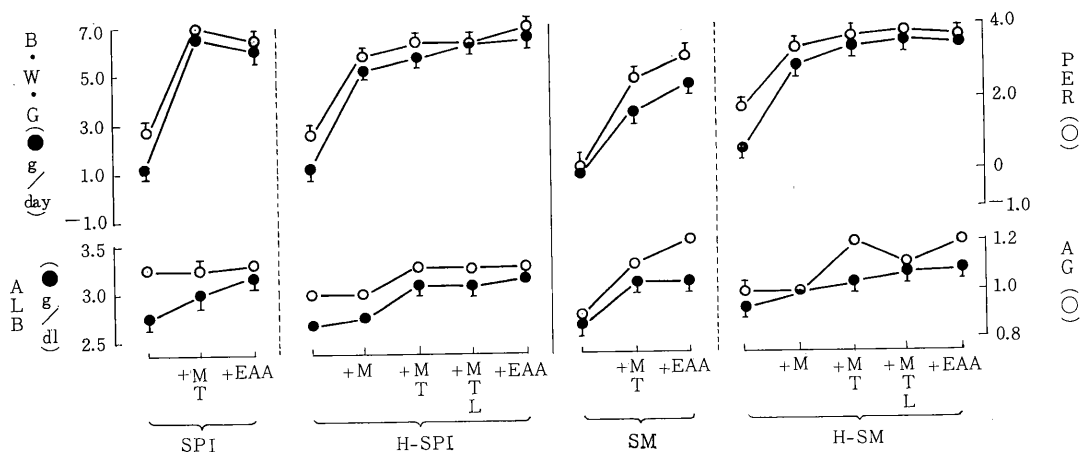


Fig.4 Body weight gain, PER and serum components(I) (Exp.3)

EAA: All essential amino acids, H-:Heated

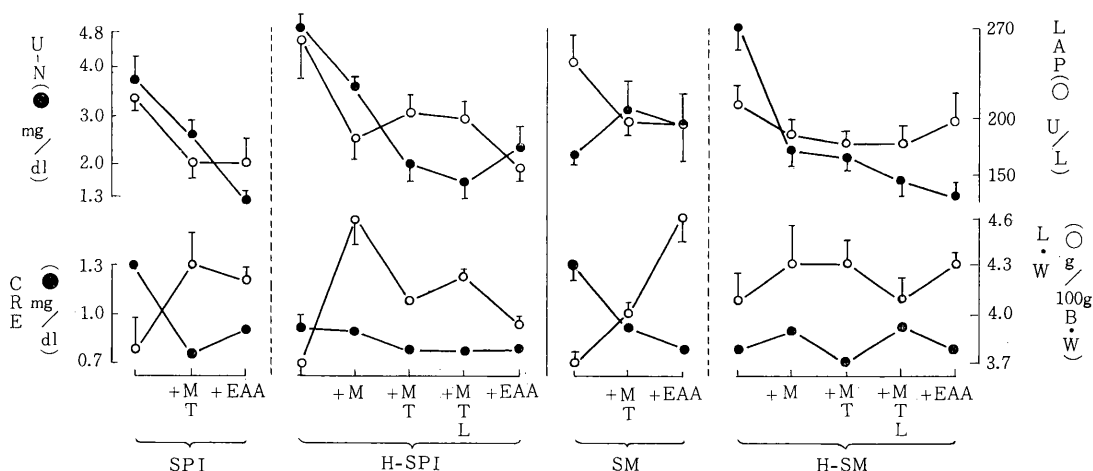


Fig.5 Serum components(II) and liver weight (Exp.3)

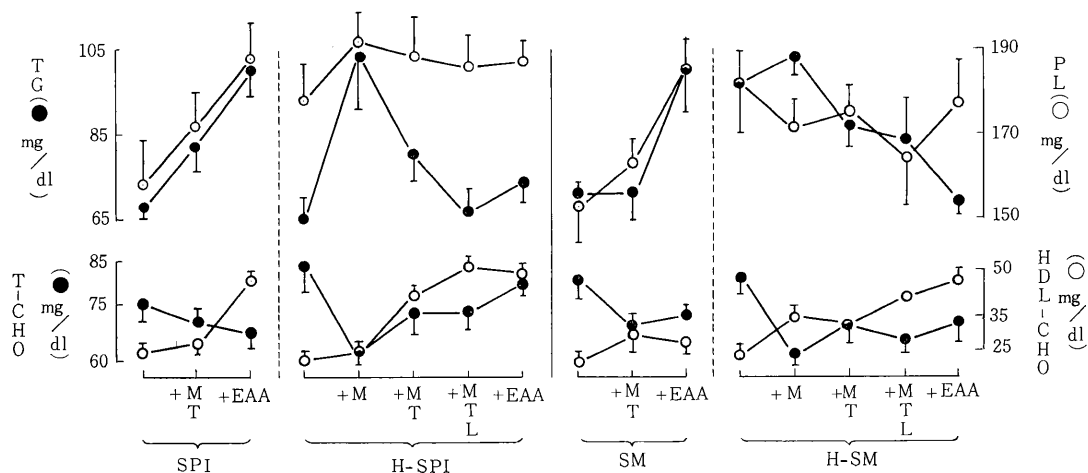


Fig.6 Serum components(III) (Exp.3)

ンインヒビターは生理的に検出し得る程度には含まれず、原料脱脂大豆たん白質の栄養価をほとんどそのまま保持していることが明らかにされた。

また、実験1～3を通じ、分離大豆たん白質は穀類など他の植物たん白質と同様に、それ自体には明らかに制限アミノ酸が存在するが、他の食物たん白質などによってこれが補足されれば極めて優れた栄養価を示すことが結論された。

文 献

1, Castro, C.E., Yang, S.P. and Harden, M.L.

(1976): Supplemental value of liquid cyclone processed cottonseed flour on the proteins of soybean products and cereals. *Cereal Chem.*, **53**, 291-298.

2) 吉田勉, 枝川純子 (1978): ちっ素および無機質の出納に及ぼすカゼインと分離大豆たん白質の影響. 栄養学雑誌, **36**, 245-252.

3) 岩谷昌子, 山口迪夫 (1979): 魚肉たん白濃縮物の栄養価について. 栄養学雑誌, **37**, 247-254.

4) 金井泉, 金井正光 (1975): 臨床検査法提要, 第27版, 金原出版.

LIMITING AMINO ACIDS OF SOY PROTEIN ISOLATE AND THEIR SUPPLEMENTARY EFFECTS

Michio YAMAGUCHI, Masako IWAYA and Motoyoshi MIYAZAKI

National Institute of Nutrition

ABSTRACT

This study dealt with nutritional evaluation of the soy protein isolate (SPI) "Fujipro R" with special regard to supplementary effects of its limiting amino acids for growing rats.

In the first experiment, the nutritive value of SPI was compared with those of whole egg protein and casein. The nutritive value was much inferior to those of the two reference proteins in spite of its high true digestibility, i.e. about 96%. The biological value of SPI was estimated to be about 60.

In the second experiment, the supplements of Met and Thr to SPI improved the body weight gain and protein efficiency ratio (PER) nearly upto the values of whole egg protein. But further improvement was not observed by additional supplement of Lys.

In the third experiment, the supplements of all essential amino acids to SPI did not increase the nutritive value any more. The nutritive values of SPI and the steam-heated SPI were almost identical to that of the steam-heated original soybean meal irrespective of the amino acid supplements. These results indicate that SPI contains no detectable trypsin inhibitor and it was prepared maintaining the nutritive value of the original soy protein.

Biochemical examination on several blood components, which was conducted in the three experiments, gave favourable results to the Met and Thr supplement group on the whole.

From these results it can be concluded that the limiting amino acids of SPI are mostly represented by Met and Thr, and the nutritive value is most highly qualified when its limiting amino acids are supplied by other food proteins.

最近の大豆たん白質栄養研究に関する報告 ①

- Effect of dietary proteins and amino acid mixtures on plasma cholesterol levels in rabbits Huff, M.W./Carroll, K.K. *J. Nutr.* 110 (8) 1676-1685, '80.
- Effect of dietary protein on turnover, oxidation, and absorption of cholesterol, and on steroid excretion in rabbits . Huff, M.W./Carroll, K.K. *J. Lipid Res.* 21 (5) 546-558, '80.
- Comparison of the effect of dietary meat versus dietary soybean protein on plasma lipids of hyperlipidemic individuals. Holmes, W.L./Rubel, G.B./Hood, S.S. *Atherosclerosis* 36 (3) 379-387, '80.