リジンおよびスレオニンの添加効果におよぼす米の炊飯の影響

Modification of Supplementary Effects of L-Lysine and L-Threonine by
Pre-gelatinization of Polished Rice

国立栄養研究所応用食品部(Division of Food Processing, The National Institute of Nutrition)

見 目 明 継 (Akitsugu Kenmoku) 岩 尾 裕 之 (Hiroyuki Iwao)

The effects of pre-gelatinization of polished rice on the supplementary effects of L-lysine or L-threonine in the growing rats were studied.

Pre-gelatinization was highly effective in the growth of weanling rats fed the diet supplemented without any amino acid. The pre-treatment of rice protected the unfavorable effects of 0.4% L-lysine hydrochloride fortification on body weight gain, food efficiency, weight of organs and of retroperitoneal fat, and fatty acid composition of the adipose fat, whereas the same treatment of rice showed almost no influences in the rats fed the diet supplemented with L-lysine and L-threonine. The influences of either L-lysine or L-lysine and L-threonine were noticeable in the rats fed the raw-polished rice diets. From the results obtained, it was demonstrated that the pre-gelatinization of rice improved the nutritive value in the growing rats.

精白米たん白質の栄養価および必須アミノ酸補足の効果に関し、これまで多くの研究がなされてきた。これらの報告によれば、米は必須アミノ酸のうちリジン含有量が特に低い¹⁾²⁾にもかかわらず、この単独添加による改善効果については、Rosenberg および Culik の報告³⁾以外ほとんど否定的な報告^{4)~6)}である。

Pecora および Hundly⁴⁾ は米にリジンおよびスレオニンを同時に添加すると、添加効果が顕著であることを示した。これらの研究結果はほとんど精白米を用いて得られたものであり、飯についてはわずかに Rosenberg および Culik の乾飯³⁾に関する報告がみられるのみである。乾飯は飯を通風乾燥して製するので、精白米にくらべ水分含有率が低く、相対的に水以外の他成分の含有率が高い。また、ゼラチン様に硬い。この理由によるためか、Rosenberg らは精白米と乾飯を直接同時に比較していない。

このように米および米にたいする必須アミノ酸補足効果に関し、精白米と炊飯したものを同時に相互比較した報告がみあたらない。そこで今回は精白米の水分含有量と等しくなるよう調製した凍結乾燥飯を用い、炊飯の影響ならびに精白米と凍結乾燥飯にたいするリジンおよびスレオニン添加の影響を比較検討し、得られた結果を報告する。

実 験

精白米：山形県産「ささにしき」種の玄米を標準精米したもの。飼料調製にあたっては精白米をうす型粉碎機で粉碎し、20メッシュのふるいを通した部分を用いた。

凍結乾燥飯：精白米を市販の圧力式自動ガス炊飯器により点火前の浸漬30分間、むらし30分間の条件で炊飯した。なお、炊き水には蒸留水を用いた。この飯を凍結乾燥処理して凍結乾燥飯を得た。飼料調製にあたっては精白米の場合に準じて凍結乾燥飯を粉碎機で粉末化し、水分含有量が下記のように精白米に等しくなるよう調整して用いた。凍結乾燥飯粉に必要な量の蒸留水を噴霧器で徐々に噴霧しつつ良く攪拌してから、ポリエチレ

ン製袋につめて1日放置した。このものを乳鉢で良く砕き20メッシュのふるいを通して飼料調製に用いた。

飼料：表に示した材料を良く混合して実験に用いた。飼料に添加した必須アミノ酸は L-リジン塩酸塩および L-スレオニンの2種に限定した。添加量は飼料100 g に対し L-リジン塩酸塩0.1および0.4 g, ならびに L-スレオニン 0.1 g と L-リジン塩酸塩 0.4 g の同時添加の3種類とした。

実験動物および飼育方法：生後3週間のウィスター系雄シロネズミを日本ラット株式会社より購入し、乳カゼイン15%、大豆油10%、アルファコーンスターチを主体とし、ビタミンおよび無機質を十分含む予備飼育飼料で7日間飼育した後、1群6匹ずつの8群に分け実験に供した。なお、各群の平均体重ならびに予備飼育期間中の体重増加量はほぼ等しくなるよう配慮した。

動物の飼育は室温 23°C、相対湿度55%に保持しており、昼12時間、夜12時間に自動設定してある飼育室で予備飼育7日間、実験飼育14日間行なった。

飼料および水は自由に摂取させた。体重は隔日毎に、飼料の投与、残量、こぼし量の測定は毎日一定時刻に行なった。

臓器重量測定：実験飼育終了後、動物を断首して殺し、肝臓、睪丸ならびに後腹壁脂肪を摘出し直ちに重量を測定した。

脂肪酸組成の算出：後腹壁脂肪については、脂肪酸をガスクロマトグラフィーにより分離⁷⁾し、面積比較法により組成の算出を行なった。

実験結果の推計学的処理：実験値は平均値ならびに標準誤差の算出を行なうと同時に t 検定を行なった。

実験結果ならびに考察

はじめにリジンおよびスレオニン無添加、L-リジン塩酸塩0.1%および0.4%、L-スレオニン0.1%ならびに L-リジン塩酸塩0.4%の同時添加の4種につき、精白米と凍結乾燥飯を相互比較し、それぞれの場合における炊飯の影響を(A)体重増加および飼料摂取量、(B)臓器および後腹壁脂肪重量、(C)後腹壁脂肪の脂肪酸組成について検討した。次いで精白米にたいするリジンあるいはリジンおよびスレオニンの同時添加の際認められる影響が、凍結乾燥飯の場合にも同様に認められるか否か検討した。

A) 体重増加および飼料摂取量

1) 炊飯の影響：アミノ酸無添加ならびにL-リジン塩酸塩0.4%添加飼料を投与した2種の群で、凍結乾燥飯が精白米よりも体重増加量、体重増加率および飼料摂取量、飼料効率において優る結果を示した。しかし、L-リジン塩酸塩0.1%添加、およびL-スレオニン0.1%とL-リジン塩酸塩0.4%を添加した飼料で飼育した場合には、前述のごとき炊飯の影響は明らかでなかった(表2, 3)。

Table 1. Composition of the test diets

Constituent	Diet (g)			
	I	II	III	IV
Rice powder ^{a)}	90	90	90	90
Soybean oil ^{b)}	5	5	5	5
Salt mixture ^{c)}	4	4	4	4
Vitamin mixture ^{d)}	0.85	0.85	0.85	0.85
Choline chloride	0.15	0.15	0.15	0.15
L-Lysine HCl		0.1	0.4	0.4
L-Threonine				0.1

a) Raw-polished or pregelatinized rice powder.

b) Mixed with vitamin A palmitate, vitamin D and dl- α -tocopheryl acetate dispersed in water to provide 6000 I.U. and 600 I.U. and 100 mg/kg of the diet, respectively, prior to preparation of the diet.

c) This was identical with Harper's mixture (A. E. Harper: *J. Nutr.*, 68, 405 (1959)).

d) This was also identical with Harper's mixture, but lactose was used as a bulking agent.

Table 2. Body weight gain and the gain ratio of weanling rats fed on raw-polished or pre-gelatinized-freezed-dried rice diet supplemented with or without L-Lysine hydrochloride and L-Threonine for 14 days

Supplement	Number of rats	Body weight					
		Initial (g/rat)		Gain (g/rat)		Gain ratio (gain/initial body weight/rat)	
		Raw	Gelatinized	Raw	Gelatinized	Raw	Gelatinized
None	6	66.0±1.00 ^{a)}	66.5±0.96	11.4±0.81	19.3±1.20	0.17±0.013	0.29±0.018
0.1% L-Lys HCl	6	66.6±2.42	66.5±0.96	14.6±1.75	16.5±2.45	0.22±0.031	0.24±0.033
0.4% L-Lys HCl	6	67.2±1.72	66.5±0.92	6.0±0.95	12.3±0.92	0.09±0.015	0.18±0.029
0.4% L-Lys HCl+ 0.1% L-Thr	6	66.5±1.18	66.5±0.96	62.2±4.74	59.3±6.27	0.94±0.072	0.91±0.104

^{a)} Standard error of the mean.

2) リジンおよびスレオニン添加の影響：精白米飼料群についてみると、L-リジン塩酸塩 0.1% 添加は、Rosenbergら³⁾が報告したとき著明な体重増加をもたせなかった。L-リジン塩酸塩添加量を 0.4% に高めたところ、

Table 3. Food consumption and efficiency of weanling rats fed on raw-polished or pre-gelatinized-freezed-dried rice diet supplemented with or without L-Lysine hydrochloride and L-Threonine for 14 days

Supplement	Food intake (g/rat)		Food efficiency (g food intake/g gain/rat)	
	Raw	Gelatinized	Raw	Gelatinized
None	125.8±3.85 ^{a)}	148.0±3.23	11.2±0.56	7.8±0.39
0.1% L-Lys HCl	131.7±2.70	134.8±8.02	9.5±0.91	8.7±0.75
0.4% L-Lys HCl	111.8±3.86	125.6±4.16	20.4±3.05	10.4±0.62
0.4% L-Lys HCl+ 0.1% L-Thr	216.9±9.05	215.0±14.4	3.5±0.11	3.7±0.20

^{a)} Standard error of the mean.

ろ、体重増加量は無添加群のそれよりも劣る結果を示した。L-リジン塩酸塩 0.4% および L-スレオニン 0.1% の同時添加飼料を投与したところ、L-リジン塩酸塩 0.4% 添加時にみられた低い体重増加は改善され、Pecora および Hundley⁴⁾ の示したごとくいちじるしい体重増加が認められた (表 2)。飼料摂取量は L-リジン塩酸塩 0.1% 添加によりいくぶん増加する傾向を示したが、添加量を 0.4% に高めたところ無添加のそれよりも少なくなった。しかし、L-リジン塩酸塩 0.4% に加えて L-スレオニン 0.1% を添加したところ、L-リジン塩酸塩 0.4% 添加時に認められた影響はなくなり、摂取量のいちじるしい増加が認められた。飼料効率はリジンおよびスレオニンの同時添加群が最も良好で、次いで L-リジン塩酸塩 0.1% 添加群、無添加群となり、L-リジン塩酸塩 0.4% 添加群が最低値を示した (表 3)。

凍結乾燥飯飼料群において得られた結果 (表 2, 3) は、L-リジン塩酸塩 0.1% 添加群の体重増加量、飼料摂取量が無添加群のそれよりいくぶん少なかったことを除き、すべて精白米飼料の場合に類似していた。しかしアミノ酸添加の影響は精白米飼料の場合より小さかった。

飯のでん粉はアルファ化度が高い⁵⁾ ことにより精白米といちじるしく異なっている。体重増加量および飼料摂取量にたいし米の炊飯の影響が明らかに認められたことは、アルファでん粉がベータでん粉より優っていることを示しているものと考えている。この点に関しては別に報告する予定である。

一方、精白米たん白質の消化吸収率は良好⁹⁾¹⁰⁾であることから、たん白質の消化吸収率が米の炊飯により改善されたのではないかということに関しては、特に考慮しなくても良いのではないか。

B) 臓器および後腹壁脂肪重量

肝臓、睪丸および後腹壁脂肪重量を体重 100 g 当りに算出し、この値を用いて、炊飯ならびにリジンおよびスレオニン添加の影響をみた。

1) 炊飯の影響：アミノ酸無添加飼料群間では、凍結乾燥飯飼料群の肝臓および後腹壁脂肪重量が、精白米飼料群のそれより大なる傾向を示した。しかし睪丸重量に差はみられなかった。L-リジン塩酸塩 0.1 % 添加群間では肝臓、睪丸および後腹壁脂肪重量のいずれにおいても、米の炊飯の影響が明らかでなかった。L-リジン塩酸塩 0.4 % 添加群間では精白米群の肝臓重量が大きく、睪丸重量に差がなく、後腹壁脂肪重量は凍結乾燥飯群が高値を示した。L-リジン塩酸塩 0.4%, L-スレオニン 0.1% の同時添加群間では肝臓、睪丸および後腹壁脂肪重量のいずれにおいても、炊飯の影響が認められなかった (表 4)。

Table 4. Tissue weights of rats 14 days after being fed the diet of raw-polished or pre-gelatinized and freeze-dried rice supplemented with or without L-Lysine hydrochloride and L-Threonine (g/100 g Body weight)

Supplement	Liver		Testicles		Retroperitoneal fat	
	Raw	Gelatinized	Raw	Gelatinized	Raw	Gelatinized
None	3.66±0.17 ^{a)}	4.39±0.33	0.77±0.08	0.91±0.13	1.08±0.06	1.25±0.10
0.1% L-Lys HCl	4.79±0.22	4.42±0.14	0.84±0.12	0.74±0.06	0.89±0.12	1.00±0.09
0.4% L-Lys HCl	5.02±0.20	4.36±0.15	1.02±0.09	0.94±0.11	0.51±0.10	0.91±0.06
0.4% L-Lys HCl+ 0.1% L-Thr	4.28±0.07	4.29±0.08	0.84±0.07	0.85±0.07	1.32±0.08	1.24±0.06

a) Standard error of the mean. Figures are represented the average of 6 rats.

2) リジンおよびスレオニン添加の影響：米にたいするL-リジン塩酸塩添加の影響は肝臓重量の場合精白米群に認められ、後腹壁脂肪重量の減少は精白米および凍結乾燥飯群の双方で認められた。またL-リジン塩酸塩 0.4%および L-スレオニン 0.1% の同時添加の影響は、精白米群の場合肝臓および後腹壁脂肪重量に、凍結乾燥飯群の場合は後腹壁脂肪重量にのみ認められた。以上のごとくリジン単独あるいはリジンとスレオニンの同時添加の影響は、精白米群において凍結乾燥飯群よりいちじるしく、後腹壁脂肪重量が米へのリジン単独添加で減少することを示した (表 4)。この結果は精白米飼料にリジンを添加しても肝臓脂肪含有量は減少しないが、リジンと共にスレオニンを添加すれば減少する⁹⁾ことと対照的である。リジン単独添加の場合にみられた後腹壁脂肪重量の減少傾向は、リジン添加量を増したとき飼料摂取量の減少する傾向がいちじるしかった精白米群においても大であった (表 4)。

飼料摂取量と後腹壁脂肪重量との関係 (図 1) および体重増加率と後腹壁脂肪重量との関係 (図 2) は、リジンおよびスレオニンの同時添加群を除いたとき、後腹壁脂肪重量の多少が体重増加率の高低すなわち飼料摂取量の多少と密接に関係していることを示している。なお、リジンおよびスレオニンの同時添加が精白米飼料ならびに凍結乾燥飯飼料の両者において、いちじるしい飼料摂取量の増加をもたらした体重増加率も高くなった (図 1) にもかかわらず、後腹壁脂肪重量アミノ酸無添加飼料群の示した値と変りなかったことは、飼料たん白質のアミノ酸バランスが劣るときにのみ飼料摂取量の多少、体重増加率の高低が後腹壁脂肪重量の多少に影響

Fig. 1 Relationships between food intake and body weight gain ratio, and between food intake and weight of retroperitoneal fat.

... Body weight gain ratio, — weight of retroperitoneal fat. ○ : Raw-polished rice, × : pre-gelatinized-freezedried rice. 1 : Without fortification, 2 : 0.1% L-Lys HCl, 3 : 0.4% L-Lys HCl, 4 : 0.4% L-Lys HCl and 0.1% L-Thr.

Fig. 2 Relationship between body weight gain ratio and weight of retroperitoneal fat.

○ : Raw-polished rice, × : pre-gelatinized-freezedried rice. 1 : Without fortification, 2 : 0.1% L-Lys HCl, 3 : 0.4% L-Lys HCl, 4 : 0.4% L-Lys HCl and 0.1% L-Thr.

響することを示しているのではないだろうか。

C) 後腹壁脂肪の脂肪酸組成

1) 炊飯の影響: アミノ酸無添加, L-リジン塩酸塩0.1%あるいは0.4%, およびL-リジン塩酸塩0.4%ならびに L-スレオニン0.1%の同時添加の4種の飼料群において, 精白米群および凍結乾燥飯群から得られた後腹壁脂肪の脂肪酸組成に顕著な差はなかった(表5)。

Table 5. Fatty acid composition of retroperitoneal fat in the rats after 14 days feeding diets of raw-polished or pre-gelatinized-freezedried rice supplemented with or without L-Lysine hydrochloride and L-Threonine

Supplement	C ₁₄	C ₁₆	C _{16:1}	C ₁₈	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}
Raw-polished rice (%)							
None	2.19±0.13 ^{a)}	32.51±0.53	10.85±0.30	2.99±0.17	30.58±0.59	19.01±0.77	1.87±0.11
0.1% L-Lys HCl	1.77±0.09	29.84±1.18	9.94±0.39	3.02±0.23	33.47±0.79	20.16±0.78	1.81±0.08
0.4% L-Lys HCl	1.93±0.14	28.02±0.78	8.85±0.41	3.45±0.31	33.83±0.74	21.99±0.79	1.93±0.20
0.4% L-Lys HCl+ 0.1% L-Thr	1.52±0.17	32.58±0.60	10.82±0.47	3.27±0.04	34.45±0.70	15.50±0.58	1.85±0.06
Pre-gelatinized-freezed-dried rice (%)							
None	1.79±0.07	31.55±0.77	11.32±0.75	2.75±0.10	30.18±0.50	20.29±0.64	2.12±0.05
0.1% L-Lys HCl	1.74±0.15	30.83±0.93	10.49±0.56	2.71±0.12	31.51±0.30	20.59±0.46	2.13±0.12
0.4% L-Lys HCl	1.83±0.09	30.57±0.55	10.34±0.50	2.76±0.15	31.96±0.97	20.69±0.84	2.02±0.15
0.4% L-Lys HCl+ 0.1% L-Thr	1.59±0.09	32.78±0.65	10.04±0.47	3.65±0.37	34.48±1.01	15.50±0.72	1.97±0.14

^{a)} Standard error of the mean.

2) リジンおよびスレオニン添加の影響：精白米飼料にL-リジン塩酸塩0.1%あるいは0.4%添加した場合、後腹壁脂肪の C_{16} および $C_{18:1}$ 脂肪酸はリジン添加量の多いほど低値を示した。これに反し、 $C_{18:1}$ 、 $C_{18:2}$ 脂肪酸はリジン添加量を増すと高くなる傾向を示した。L-リジン塩酸塩0.4%にL-スレオニン0.1%をさらに添加すると、リジン単独添加時にみられた C_{16} および $C_{18:1}$ 脂肪酸値の低下は認められず、アミノ酸無添加時の値とはほぼ等しい値となった。 $C_{18:1}$ 脂肪酸値はL-リジン塩酸塩0.4%添加時よりさらに高くなる傾向を示したが、 $C_{18:2}$ 脂肪酸値はアミノ酸無添加時よりも低値となった(表5)。

凍結乾燥飯飼料に L-リジン塩酸塩0.1%および0.4%添加した場合は、精白米飼料へリジンを同様に添加したときと異なり脂肪酸組成に顕著な変化がみられなかった。しかし、L-リジン塩酸塩0.4%とL-スレオニン0.1%を同時に添加すると精白米飼料へこの2種のアミノ酸を添加したときと同様、 C_{18} 、 $C_{18:1}$ 脂肪酸値はアミノ酸無添加時の値より高くなり、 $C_{18:2}$ 脂肪酸値はアミノ酸無添加時の値より低くなった(表5)。

さきに記したように投与飼料の脂肪源ならびに含有量を等しくした飼料を摂取していたにもかかわらず、体脂肪量の多少を示す目安¹¹⁾となる体重 100 g 当りの後腹壁脂肪重量が、米の炊飯および飼料へのアミノ酸添加で変化すると同時にその脂肪酸組成も変化したことは、体成分組成が飼料の種々なる因子の影響を受けて変化することを示している。

今回の実験でアミノ酸無添加凍結乾燥飯飼料群の肝臓、睪丸ならびに後腹壁脂肪重量が、リジンおよびスレオニンの同時添加飼料群の示した値に近似であったこと、リジン単独あるいはリジンとスレオニン同時添加による体重増加、臓器重量、後腹壁脂肪重量およびその脂肪酸組成の変化が小さかったこと、またアミノ酸無添加群間では凍結乾燥飯飼料群の体重増加および飼料効率が精白米飼料群より優れていたことなどから、炊飯は精白米の栄養価を向上させたものとする。なお、人間は食品を通常調理して食することを考慮するなら、今回の実験結果からも食品の栄養価測定に際し、可能なかぎり水と共に加熱した試料を用いるべきであろう。

要 約

1) 幼シロネズミを用い精白米およびこれと水分含有量を等しく調製した凍結乾燥飯にリジン単独あるいはリジンとスレオニンの両者を同時に添加し、無添加および添加時における米の炊飯の影響、ならびに精白米と凍結乾燥飯にたいする添加の影響を体重増加量、飼料効率、臓器重量、後腹壁脂肪重量ならびにその脂肪酸組成を測定して比較検討した。

2) 炊飯の影響はアミノ酸無添加時と L-リジン塩酸塩0.4%添加時に特に明らかであったが、L-リジン塩酸塩0.4%とL-スレオニン0.1%を同時に添加した場合には、炊飯の影響が明らかでなかった。

3) 飼料にリジン単独あるいはリジンとスレオニンの同時添加時にみられる影響は、凍結乾燥飯より精白米において顕著であった。

4) 結果を総合すると炊飯は米の栄養価を向上させると判断する。

文 献

- 1) H. H. Mitchel, R. J. Block: *J. Biol. Chem.*, **163**, 599 (1946)
- 2) 科学技術庁資源調査会編：日本食品アミノ酸組成表 (1966)
- 3) H. R. Rosenberg, R. Culik: *J. Nutrition*, **63**, 477 (1957)
- 4) L. J. Pecora, J. M. Hundly: *J. Nutrition*, **44**, 101 (1951)
- 5) A. E. Harper, M. E. Winje, D. A. Benton, C. A. Elvehjem: *J. Nutrition*, **56**, 187 (1955)
- 6) 吉田, 芦田：栄養と食糧, **20**, 432 (1968)
- 7) H. H. Hofstetter, N. Sen, R. T. Holman: *J. Amer. Oil Chemist Soc.*, **42**, 537 (1965)
- 8) 高居, 細川, 岩尾, 宇野, 和田：国立栄養研究所研究報告, 昭和38年度, 49 (1963)
- 9) 小柳, 鷹鷲, 及川：栄養と食糧, **19**, 256 (1966)
- 10) 見目, 岩尾：準備中
- 11) 高居：私信

(受付：昭和48年8月21日)