

投与たん白質と食事中リンレベルが生体に及ぼす影響

EFFECTS OF DIETARY PROTEIN SOURCES AND PHOSPHORUS LEVEL ON LIVING BODY IN RATS

鈴木和春・五島孜郎（東京農業大学農学部）

Kazuharu SUZUKI and Shiro GOTO

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture
Tokyo 156

ABSTRACT

Currently, phosphates are added to a wide variety of processed foods including meats, cheeses, dressing, carbonated beverages and refrigerator bakery products etc. Depending on individual food choice, it appears that such additives may increase the intake of phosphorus. This experiment was conducted to assess the physiological effects of high dietary phosphorus on balance of other nutritional elements with balance method and renal analysis using initial body weight 70 grams male rats of Wistar strain with two sources of protein (casein, SPI) and with three levels of dietary phosphorus concentration. Results: The 1.5% phosphorus diet showed the lowest weight gain compared with other groups and raised the constant stream of mortality. Increasing dietary phosphorus level was accompanied with higher renal concentration of calcium and phosphorus. The retention of nitrogen, calcium, phosphorus and magnesium was enhanced by SPI diet compared with casein diet, especially in 1.5% phosphorus level ration.

近年、手軽に食べられるということで多く利用されるようになった種々の加工食品には食品添加物としてリン酸塩が広く用いられているところより、リンの過剰摂取が生体に何らかの影響を及ぼすのではないかと警戒されている。一方、投与たん白質レベルがカルシウム（以下Ca）やリン（以下P）の利用に影響することは知られているが^{1,2)}たん白質の質の差による影響については未だ明らかではないようである。

そこで食事たん白質源とPレベルの違いが生体に及ぼす影響をラットを用い長期間にわたり観察をおこなうことにした。現在なお観察継続中であり、本稿においては約160日間の途中観察の成績について記載する。

実験方法

被験動物として平均体重70g（4週齢）のWistar系

雄ラット156匹を用い、これを6群に分け、Table 1に示す飼料を投与した。すなわちたん白質源としてカゼインおよび分離大豆たん白質（SPI）を用い、そのレベルを18%とした。P量の変化については基本食（対照食）に食品添加物として許可されている $K_5P_3O_{10}$ の添加によりP量として1.0%および1.5%の高P食、過剰P食を調製した。被験動物は室温 $22 \pm 1^\circ C$ 、湿度60%の環境下でステンレス製の代謝ケージに1匹ずつ入れて観察し、Fig. 1に示すように2回の出納試験をおこなった。2回目の出納試験終了後、各群の一部ラット（6匹）の腎臓を摘出した。ただしP過剰食摂取群は後述のように早期に死亡するものが多く、約160日の観察後（2回目出納観察後）残存ラットを屠殺し腎臓を摘出した。

飼料および飲料水（蒸留水）の摂取は自由とした。

Table 1. Diet composition

	CN	CH	CE	SN	SH	SE
Casein	18	18	18			
SPI*				18	18	18
Starch, corn	72	69.5	66	72	69.5	66
Oil, corn	5	5	5	5	5	5
Mineral mix.**	4	4	4	4	4	4
Vitamin mix.**	1	1	1	1	1	1
K ₅ P ₃ O ₁₀		2.5	6		2.5	6
(Potassium-tripolyphosphate)						

C and S indicate protein source, C: Casein, S: Soy protein isolate.

N, H and E indicate phosphorus level, N: 0.5%P, H: 1.0%P, E: 1.5%P.

* Soy protein isolate

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



Fig. 1 Design of balance test

飼料, 排泄物中の窒素はマイクロ・キエルダール法, Ca およびマグネシウム (以下 Mg) は原子吸光分析法, P は Gomori 法により測定した。また腎臓中ミネラルの分析も上記に準じた。

結果と考察

1. 体重増加

全観察期間を通じての体重曲線を投与たん白質ごとにみると Fig. 2 に示した通り, 飼料中 P レベルが高くなるにしたがい低下現象を示している。とくに過剰 P レベルでは発育がわるく, 観察開始早期より死亡するラットがふえ, [Fig. 2 下段の () 内数値は死亡数を示す] 1 群26匹でスタートしたが飼育158日目にはカゼイン投与で3匹, SPI 投与で5匹が生存しただけである。

ところでカゼイン投与群では観察早期に半数以上の死亡をみたのであるが, Table 2 の数値が示すように過剰 P 食群は他群に比して, 第2回出納期の飼料効率の低いことが誘因と考えられる。また, この飼料効率の低下をみたことは, Table 4 にみられる腎臓中 Ca および P の濃度の高いことより腎機能の低下していることが想像され, このことが引き金になったものと解釈したい。Raines ら³⁾ はマウスで高リン食 (P: 1.2%) が対照食 (P: 0.3%) に比して生存率の低いことを報告している。

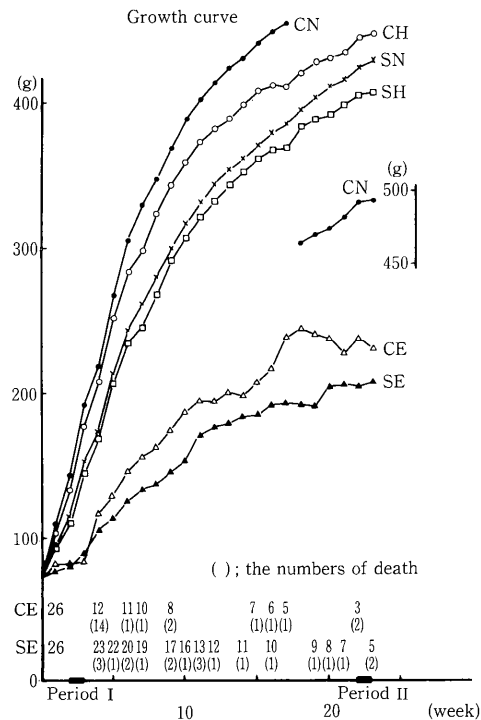


Fig. 2 Growth curve

カゼイン摂取群は SPI 摂取群に比して出納 I, II 期とも P レベル 0.5, 1.0% では体重増加量, 飼料効率とも高値を示した。これは投与たん白質の質の相違によるものであろうが, P 1.5% レベル食では SPI 投与の方がカゼイン投与に比し高い体重増加量, 飼料効率を示した。このことが先記の被験動物の死亡につながったものと解釈するが, 何故にこのような現象を示した

Table 2. Weight gain and food efficiency

Group	1st Balance test			2nd Balance test		
	Weight gain. (g/7 days)	Food efficiency [#]		Weight gain. (g/7 days)	Food efficiency	
CN	51.0±2.3*	0.44±0.02	(6)**	0.88±2.9	0.01±0.03	(6)**
SN	37.0±1.5	0.31±0.01	(6)	0.00±2.9	-0.02±0.04	(6)
CH	42.1±2.3	0.40±0.02	(6)	8.50±1.6	0.07±0.01	(6)
SH	34.6±1.5	0.03±0.01	(6)	-0.93±0.0	-0.02±0.04	(6)
CE	4.6±4.8	0.08±0.09	(6)	-7.60±8.0	-0.19±0.14	(3)
SE	9.9±3.7	0.15±0.07	(6)	-3.20±2.8	-0.06±0.04	(5)

* Mean±SE ** Animal number # Weight gain/food intake×100

Table 3. Retention of nitrogen, calcium, magnesium and phosphorus with different dietary phosphorus level and protein source

	P-level	Casein		SPI	
		I	II	I	II
Nitrogen	N	64.3±1.7*	25.3±1.7	60.2±1.0	25.5±2.2
	H	56.7±2.6	20.2±3.9	49.4±2.4	20.6±5.3
	E	31.4±3.9	-11.8±15.8	40.7±1.8	11.0±5.6
Calcium	N	72.7±1.6 ^b	8.0±3.3	50.0±1.8 ^b	7.9±2.3
	H	66.4±0.9 ^b	10.9±2.6	47.4±1.4 ^b	13.8±5.1
	E	67.8±6.0	3.8±5.9 ^b	62.6±1.3	16.1±4.8 ^b
Magnesium	N	77.6±2.1 ^a	19.1±3.3	67.9±0.7 ^a	24.2±4.6
	H	56.1±1.8 ^a	12.9±3.2	49.2±1.8 ^a	16.3±5.9
	E	33.0±11.6 ^a	-29.8±15.1	36.0±4.8 ^a	0.1±5.6
Phosphorus	N	30.6±2.2 ^b	18.6±2.6	49.2±1.0 ^b	13.3±2.2
	H	30.4±1.1	13.0±1.7	29.0±1.5	12.5±2.2
	E	22.5±2.1	4.8±2.0	22.5±1.1	7.0±2.5

All figures indicate percentage of intake.

* Mean±SE

Matching letters denote significant differences, a, p<0.05 b, p<0.01

か不明である。P過剰の影響は動物性たん白質よりも植物性たん白質で軽減されるのであろうか。

2. 測定元素の体内保留の変化

Table 3に示すように出納I期では飼料中Pレベルの上昇に伴いたん白質源に関係なく窒素の体内保留率の低下傾向を示し、II期では1.5% Pレベルが最低値を示した。次に各Pレベルについて投与たん白質による窒素体内保留への影響をみると推計学的に差はみられないが過剰PレベルではSPIの方がカゼインより正値を示す傾向がみられる。

Caの体内保留とPレベルの関係はカゼイン投与群

では出納I期に0.5% Pレベルが高値を示したが、II期では推計学的に差はみられないが1.5% Pレベルが低値傾向を示した。SPI投与群では出納I期では1.5% Pレベルが高値を示し、II期でも差はみられないが高値傾向を示し、カゼイン投与と逆の様相を呈した。つぎに投与たん白質による差は出納I期ではカゼイン投与がSPI投与に比し高値を示し、この傾向は先にも観察しているところである⁹⁾が、観察期間がすすむにしたがいSPI投与が高値を示し、Mgの場合も似た傾向を示すが、全観察期間を終了した上で論じたいと考える。

Pの体内保留率はカゼイン投与では出納I、II期と

Table 4. Urinary excretion, retention and renal contents

	P-level (%)	Urinary excretion	Retention (mg/7 days)	Kidney (right side) (mg)
Calcium				
Casein	0.5	5	40	0.09
	1.0	8	59	3.20
	1.5	9	15	10.30
SPI	0.5	6	39	0.06
	1.0	10	72	6.64
	1.5	13	50	9.75
Phosphorus				
Casein	0.5	166	98	3.76
	1.0	586	141	7.30
	1.5	668	54	13.52
SPI	0.5	130	65	3.24
	1.0	582	134	10.49
	1.5	751	84	13.30
Magnesium				
Casein	0.5	4	8	0.26
	1.0	2	6	0.36
	1.5	3	-6	0.39
SPI	0.5	4	13	0.24
	1.0	3	10	0.45
	1.5	5	0	0.42

も1.5% Pレベルが最低値を示し、SPI 投与でも同様の傾向がみられた。Mg に関してはカゼイン投与では出納 I, II 期とも Pレベルの上昇とともに低値を示し、SPI 投与でも1.5% Pレベルは最低値を示し、投与たん白質の比較では出納 II 期で SPI 投与がカゼイン投与より高値傾向を示した。食事中 Pレベルを上げることにより Mg の出納が改善されるとする報告⁵⁾があるが、本観察ではこのような傾向はみられず、また先に報告⁶⁾した際にも今回と同様の傾向を得ている。

以上より、SPI 投与は特に P 過剰摂取の状態ではカゼイン投与に比し、観察期間の延長によりどの元素も体内保留の割合が高まる結果が得られた。

3. 腎臓中ミネラル濃度

Ca, P, Mg の腎臓中濃度、そして参考までに尿中排泄量、体内保留量を Table 4 に示した。食事中 Pレベルの上昇とともに腎臓中 Ca, P 濃度のつよい上昇がみられる。Mg も上昇傾向にはあるが Ca, P 濃度のようにつよくはない。この現象から高 P レベル食ではリン酸カルシウムの結石形成が推察でき、これによる腎機能の障害が過剰 P 食における被験動物の死を早めた

のではないかと考えるが、腎の組織学的検索さらには腎機能障害に伴う胃への影響などについて将来検討するつもりである。

要 約

リン酸塩が食品添加物として広く用いられているところより、近年 P の過剰摂取が警戒されている。そこで食事中の P レベルが投与たん白質の違いにより、どのように生体に影響するかをラットを用いて観察した。平均体重 70 g のラットを用い約 160 日間観察をつづけ、その間 2 回の出納試験をおこなった。用いたたん白質源はカゼインと SPI, P レベルはトリポリリン酸カリウムで調整した。結果 1) P 過剰食は投与たん白質に関係なく体重増加量が小さい。2) P 過剰食群は他群に比し死亡率が異常に高く、特にカゼイン食は観察早期に高い死亡率を示した。3) SPI 投与はカゼイン投与に比し概して P レベルの上昇に伴い観察約 160 日目では測定ミネラルの体内保留率の高値傾向を示した。4) 腎臓中の Ca, P 濃度は食事中 P レベルの上昇に伴い特に高値を示した。

文 献

- 1) 五島孜郎, 関博磨 (1968) : ラットの Ca, P 代謝におよぼす食事性タンパク質および Mg レベルの影響. 栄養と食糧, **20**, 382-386.
- 2) 五島孜郎, 鈴木和春, 菅家祐輔, 小石秀夫, 北野隆雄 (1982) : 小児期におけるタンパク質摂取と Ca, P および Mg 出納との関係. 栄養と食糧, **35**, 63-67.
- 3) Bell, R.R., Tzeng, D.Y. and Draper, H.H. (1980) : Long-term effects of calcium, phosphorus and forced exercise on the bone of mature mice. *J. Nutr.*, **110**, 1161-1168.
- 4) Suzuki, K., Kanke, Y. and Goto, S. (1981) : Effect of starches on protein and mineral utilization. *Nutr. Rep. Inter.*, **23**, 645-652.
- 5) Forbes, R.M. (1963) : Mineral utilization in the rat ; Effects of varying dietary ratio of Ca, Mg and P. *J. Nutr.*, **80**, 321-326.
- 6) 鈴木和春, 菅家祐輔, 五島孜郎 (1978) : 食事性 P レベルと Ca, Mg 出納. 栄養学雑誌, **36**, 77-84.