

蔗糖の過剰摂取によるラット肥満モデルに対する大豆たん白質の効果

EFFECTS OF SOY PROTEIN ISOLATE ON SUCROSE-INDUCED FAT ACCUMULATION IN POST-WEANING AND YOUNG RATS.

原 映子(今治明德短期大学)

嶋津 孝(愛媛大学医学部)

Eiko HARA¹ and Takashi SHIMAZU²

¹Imabari Meitoku Junior College, Imabari 794

²Department of Medical Biochemistry, School of Medicine, Ehime University, Ehime 791-02

ABSTRACT

In experiment 1, effects of dietary soy protein isolate (SPI) on sucrose-induced fat accumulation were examined in 3 weeks-old rats (after-weaning rats) and 7 weeks-old rats (young rats). In both groups of rats, the total energy intake did not increase by sucrose drinking. The increased hepatic content of triglycerides (TG) after sucrose-drinking was higher in young rats than in after-weaning rats. In experiment 2, effects of dietary fat on sucrose-induced fat accumulation were examined using after-weaning rats. The rats were fed 6% lard or soy-bean oil as dietary fat for 2 weeks. Dietary lard further augmented the accumulation of liver TG induced by sucrose drinking and attenuated the suppressive effect of SPI on serum TG concentration. These results indicate that saturated fatty acids affect the interaction of sucrose and SPI on fat metabolism, which may contribute to the development of dietary obesity. *Rep. Soy Protein Res. Com., Jpn.* **14**, 70-75, 1993.

小児成人病のベースになると考えられている小児肥満は、蔗糖や脂肪の過剰摂取がその誘因と考えられる。私共は前年度の報告¹⁾で、離乳直後のラットでは、蔗糖液を強制飲水させても摂取エネルギーの過剰はみられず、体重増加量や血中脂質濃度も対照群と変わらないが、肝臓中のトリグリセリドやコレステロール含量が上昇することを示した。また、大豆たん白質は血液中のトリグリセリド濃度を下げる効果のあることを認めた。今回は、これら脂質代謝に及ぼす蔗糖と大豆たん白質の効果を一層明確にする目的で、異なる週齢のラットを用いた場合の応答性の違い(実験1)、および飼料中の脂肪成分の種類を変えた際に蔗糖や大豆たん白質の効果がどのような影響を受けるか(実験2)を検討

した。

実験方法

実験1

離乳直後および7週齢のウイスター系雄性ラットを各24匹用いた。初体重はそれぞれ平均57gと191gであった。両ラットを一群6匹として4群ずつに分け、Table 1に示した飼料により2週間飼育した。

飼料は標準たん白質としてミルクカゼイン(オリエンタル酵母)、及び粉末SPI(フジプロ-R)を用い、脂肪としては精製ラード(オリエンタル酵母)を用いた。またシュクロース投与群は、15%シュクロース液のみを水分として与える強制飲水とした。

2週間後にラットをネンブータル麻酔下で屠殺し、血液、肝臓、副睪丸脂肪組織(WAT)、肩甲間褐色脂肪組織(BAT)を採取し、重量を測定した。血液中及び肝臓中のトリグリセリド(TG)含量はアセチルアセトン法で²⁾、また総コレステロールとHDLコレステロールは市販のキットを用い、それぞれコレステロールオキシダーゼ・DAOS法とリンタングステン酸・マグネシウム塩沈澱法で測定した。

実験2

離乳直後のウイスター系雌性ラットを48匹用い、1群6匹として8群に分け、飼料中の脂肪成分をラード又は大豆油として、Table 1の成分を基本とする次の8

群とした。① CAS+ラード、② SPI+ラード、③ CAS+SUC+ラード、④ SPI+SUC+ラード、⑤ CAS+大豆油、⑥ SPI+大豆油、⑦ CAS+SUC+大豆油、⑧ SPI+SUC+大豆油。2週間摂食させた後、実験1と同様に体成分の分析を行った。

結果と考察

実験1

離乳直後のラットと7週齢のヤングラットとで、シユクロースならびにSPIに対する応答性の違いを検討した。Table 2、Table 3に示すように、実験期間内の総エネルギー摂取量は、ヤングラットで離乳後ラッ

Table 1. Composition of experimental diets (g/100 g of diet)

Ingredient	Casein	Casein + Sucrose	SPI	SPI + Sucrose
Casein	20	20	—	—
SPI	—	—	20	20
Corn starch	60	60	60	60
Cellulose powder	6	6	6	6
Mineral mixture	6	6	6	6
Vitamin mixture	2	2	2	2
Fat	6	6	6	6
15% Sucrose soln	—	+	—	+

Table 2. Energy intake, body and tissue weights of rats fed different diets

	After-weaning rats			
	CAS	SPI	CAS+SUC	SPI+SUC
Energy intake, kcal/14 days	814±28	886±36	835±27	847±19
Body weight gain, g/14 days	97.7±4.0	85.4±3.7	84.9±3.0	75.0±3.2
Body weight, g	187±8.7	169±3.8	175±5.1	148±5.6
Liver weight, g	8.63±0.55	6.81±0.13	7.39±0.26	5.81±0.39
Liver wt/body wt, %	4.62±0.13	4.03±0.02	4.23±0.10	3.91±0.18
Epididymal WAT wt, g	1.58±0.12	1.67±0.14	1.57±0.06	1.51±0.09
WAT wt/body wt, %	0.843±0.038	0.983±0.062	0.886±0.028	1.01±0.029
Interscapular BAT wt, g	0.26±0.01	0.30±0.02	0.29±0.02	0.34±0.01
BAT wt/body wt, %	0.14±0.009	0.18±0.006	0.17±0.014	0.23±0.012

CAS: casein, SPI: soy protein isolate, SUC: sucrose, WAT: white adipose tissue
BAT: brown adipose tissue

トの約1.4倍であった。またヤングラットの SPI+SUC 群では他の食餌群に比べ有意な上昇が認められた。しかし、体重増加量はヤングラットと離乳後ラットで差は認められなかった。シュクロース投与群では総摂取エネルギー量の約20%に相当する量を飲んでおり、その比率はヤングラット群と離乳後ラット群で有

意差はなかった。副睪丸脂肪組織重量は、ヤングラットで離乳後ラットの2倍以上の値を示した。特に、ヤングラットの SPI+SUC 群では他の群よりも有意な上昇があり、この群で摂取エネルギーが多かったことと対応していた。副睪丸脂肪組織の体重に占める割合は、離乳後ラットで0.8~1%であるのに対し、ヤング

Table 3. Energy intake, body and tissue weights of rats fed different diets

	Young rats			
	CAS	SPI	CAS+SUC	SPI+SUC
Energy intake, <i>kcal/14 days</i>	1194±30	1210±29	1235±20	1373±28
Body weight gain, <i>g/14 days</i>	92.6±9.1	95.4±8.8	88.7±9.6	89.0±13
Body weight, <i>g</i>	284±6.7	275±6.4	277±8.1	285±5.8
Liver weight, <i>g</i>	8.17±0.23	7.66±0.28	7.95±0.31	8.07±0.26
Liver wt/body wt, %	2.88±0.041	2.79±0.051	2.86±0.038	2.83±0.060
Epididymal WAT wt, <i>g</i>	3.77±0.17	3.78±0.16	3.76±0.14	4.61±0.26
WAT wt/body wt, %	1.33±0.049	1.38±0.059	1.35±0.031	1.61±0.073
Interscapular BAT wt, <i>g</i>	0.27±0.02	0.27±0.02	0.26±0.02	0.34±0.03
BAT wt/body wt, %	0.095±0.007	0.097±0.006	0.093±0.005	0.12±0.007

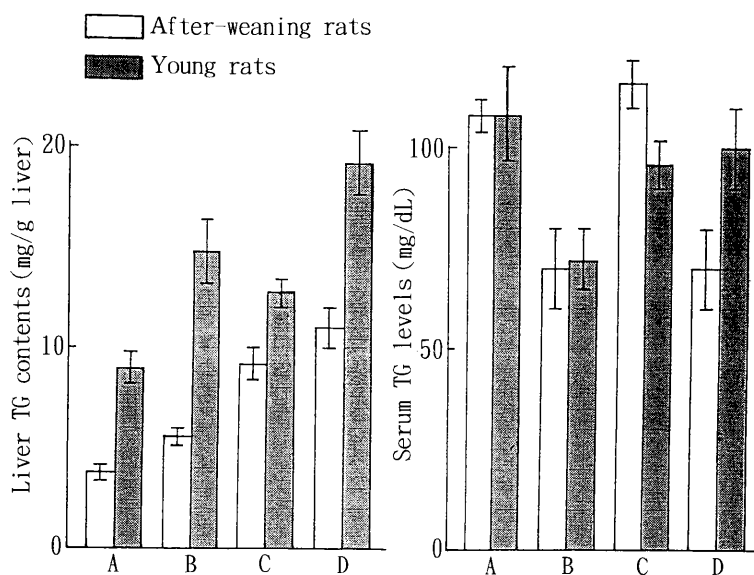


Fig. 1. TG contents in liver and serum of experimental rats fed casein (A), SPI (B), casein+sucrose (C), or SPI+sucrose (D).

ラットでは1.3~1.6%と約1.6倍に増加していた。また肩甲間褐色脂肪組織(BAT)重量はヤングラットと離乳後ラットで差はなかったが、両ラットとも SPI+SUC 群で重量の増加が認められた。このことは SPI やシュクロースが BAT での熱産生を高めるというこれまでの報告^{3,4)}と符合している。

肝臓中の TG 含量はいずれの食餌群に於いてもヤングラットの方が離乳後ラットよりも高い値を示した (Fig. 1)。両ラットとも SPI やシュクロースの摂取で TG 含量が上昇しており、SPI+SUC 群では相加的な上昇を示した。しかし、血液中の TG 値はヤングラットと離乳後ラットで差は認められなかった (Fig. 1)。

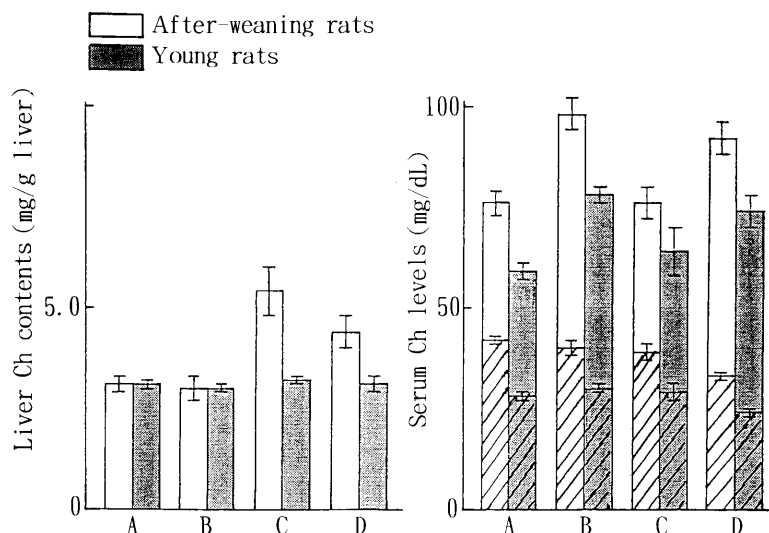


Fig. 2. Cholesterol (Ch) contents in liver and serum of experimental rats fed casein (A), SPI (B), casein+sucrose (C), or SPI+sucrose (D). The hatched bars show HDL cholesterol levels.

Table 4. Energy intake, body and tissue weights of rats fed different diets

	After-weaning rats (fed soybean oil)			
	CAS	SPI	CAS+SUC	SPI+SUC
Energy intake, <i>kcal/14 days</i>	833±30	920±19	824±20	834±15
Body weight gain, <i>g/14 days</i>	106±4.8	89.4±4.3	81.9±4.6	70.4±4.4
Body weight, <i>g</i>	194±6.9	178±7.5	171±7.0	141±6.4
Liver weight, <i>g</i>	9.59±0.50	7.54±0.30	8.03±0.38	5.99±0.34
Liver wt/body wt, %	4.93±0.11	4.25±0.12	4.69±0.09	4.23±0.10
Epididymal WAT wt, <i>g</i>	1.52±0.06	1.55±0.10	1.46±0.06	1.22±0.12
WAT wt/body wt, %	0.786±0.031	0.868±0.023	0.857±0.029	0.856±0.057
Interscapular BAT wt, <i>g</i>	0.27±0.02	0.29±0.03	0.33±0.02	0.29±0.03
BAT wt/body wt, %	0.140±0.007	0.160±0.012	0.192±0.012	0.208±0.015

SPI による血中 TG の抑制効果は、離乳後ラットでは、SPI 群、SPI+SUC 群の両群で認められたが、ヤングラットでは SPI 群のみで認められ、シュクロース添加群では抑制効果は見られなかった。これは、この群で摂取エネルギー量が増加していたことが影響している

のではないかと考えられる。

肝臓のコレステロール含量は離乳後ラットのシュクロース添加群で上昇が認められたが、他の群では両ラットともほとんど変化しなかった(Fig. 2)。血中コレステロール値は離乳後ラットに比べヤングラットで、

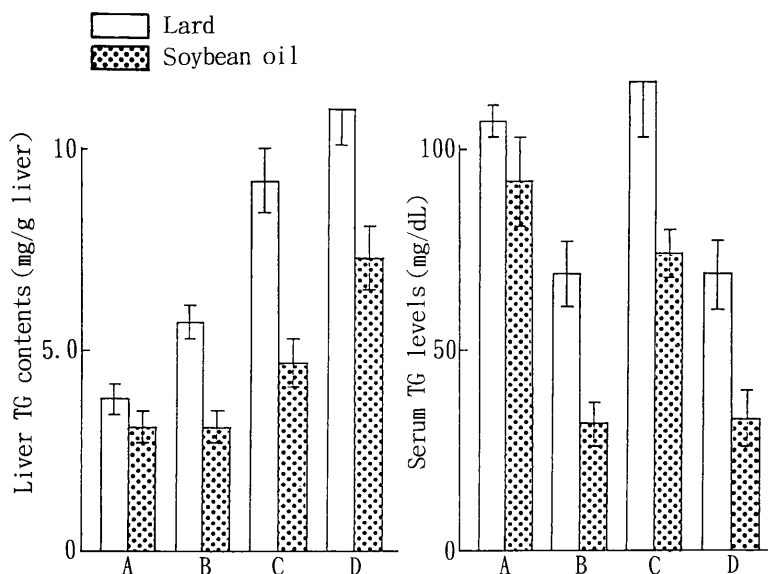


Fig. 3. TG contents in liver and serum of experimental rats fed casein (A), SPI (B), casein+sucrose (C), or SPI+sucrose (D).

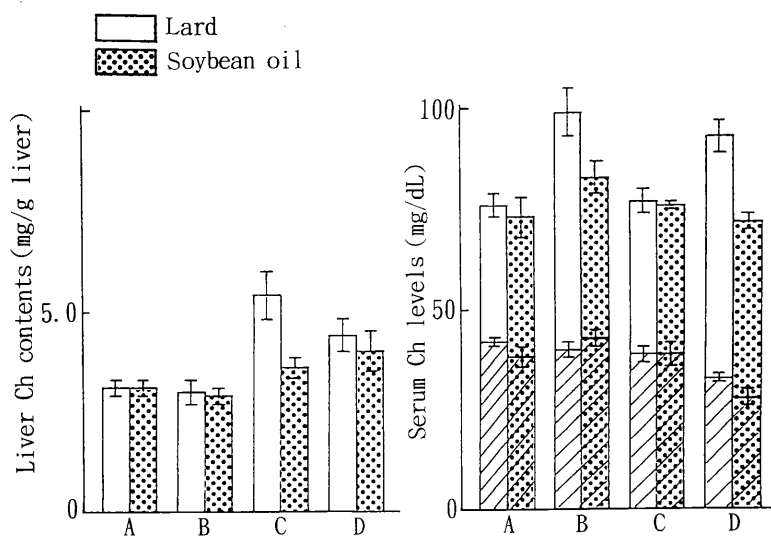


Fig. 4. Cholesterol contents in liver and serum of experimental rats fed casein (A), SPI (B), casein+sucrose (C), or SPI+sucrose (D). The hatched bars show HDL cholesterol levels.

いずれの食餌群においても低下していた。この低下は主として HDL コレステロールの減少によるものである (Fig. 2)。異なる食餌群間では SPI がコレステロールを上げる傾向があった。

以上の結果、ヤングラットにおいては、従来成熟ラットで報告されているような^{5,6)}、シュクロースの過剰摂取による肥満は認められなかったが、SPI+SUC 群ではややその傾向が認められた。また、肝 TG 含量は SPI+SUC 食によって離乳後ラットよりも更に上昇することがわかった。

実験 2

離乳後ラットを用い、食餌中の脂肪成分をラードまたは大豆油として、SPI ならびにシュクロースの摂取効果がどのように修飾されるかを調べた。

総エネルギー摂取量及び体重増加量はラード群と大豆油群で差はなかった (Tables 2 and 4)。しかし、SPI やシュクロース摂取群は、カゼイン群に比べ、体重増加が少なかった。副睾丸脂肪組織重量は、いずれの摂食条件でも大豆油群の方が少ない傾向を示したが有意差はなかった。また BAT 重量はラード群と大豆油群で差はなかった。

肝臓の TG 含量は、ラード群に比べ、大豆油群で低下し、特に SPI やシュクロースの摂取によって著しく減少した。このことは SPI やシュクロースの肝 TG 上昇作用にラードが促進的に働くことを示唆している (Fig. 3)。また血中 TG の SPI による抑制作用は大豆油群の方がラード群よりも一層顕著であった。シュクロースの摂取は TG の血中レベルには影響せず、肝臓の TG 含量を上げることから、肝臓での脂肪合成が高まっていると考えられる。シュクロースの成分であるフラクトースは主として肝臓のフラクトキナーゼによって代謝され、脂肪合成酵素の活性を上昇させたり⁷⁾、グリセロール骨格の供給を高めたり⁸⁾、グルコースのリン酸化を促進する⁹⁾など様々な作用が報告されている。ラードの主成分である飽和脂肪酸が肝における脂肪合成経路のどこに働いて促進作用を示すのか興味を持たれるところである。また SPI は肝臓の脂肪合成酵素活性を下げると報告されているが¹⁰⁾、私共の今回の実験では、SPI の摂取によって血清中の TG 値が低下することから考えて、TG の肝臓よりの放出も抑制されている可能性がある。SPI のこれらの作用に対して飽和脂肪酸は影響を与え、血清 TG 値を抑制する SPI の作用を阻害する働きのあることが示唆される。

肝臓のコレステロール含量はシュクロースの添加で上昇するが、ラード群と大豆油群で差はなかった (Fig. 4)。また血中コレステロールはラード群の SPI 添加で

上昇していたが、大豆油に変えることにより、この上昇は消失した。この時、HDL コレステロール値に差はないことから、ラードと SPI の組合せによるコレステロールの上昇は VLDL または LDL の増加によると思われる。

文 献

- 1) 原 映子, 嶋津 孝 (1992): 蔗糖の過剰摂取による小児肥満モデルに対する大豆たん白質の効果。大豆たん白質栄養研究会会誌, **13**, 46-49.
- 2) Soloni FG (1971): Simplified manual micro-method for determination of serum triglycerides. *Clin Chem*, **17**, 529-534.
- 3) 斉藤昌之 (1991): 肥満モデル動物におけるエネルギー代謝と大豆たん白ペプチド。大豆たん白質栄養研究会会誌, **12**, 91-94.
- 4) Granneman JG and Campbell RG (1984): Effects of sucrose feeding and denervation on lipogenesis in brown adipose tissue. *Metabolism*, **33**, 257-261.
- 5) Konarek RB and Kaufman RM (1979): Developmental aspects of sucrose-induced obesity in rats. *Physiol Behav*, **23**, 881-885.
- 6) Ackroff K and Sclafani A (1988): Sucrose-induced hyperphagia and obesity in rats fed macronutrient self-selection diet. *Physiol Behav*, **44**, 181-187.
- 7) Cohen AM, Briller S and Shafir E (1972): Effect of long-term sucrose feeding on the activity of some enzymes regulating glycolysis, lipogenesis and gluconeogenesis in rat liver and adipose tissue. *Biochim Biophys Acta*, **279**, 129-138.
- 8) Maruhama Y and MacDonald I (1973): Incorporation of orally administered glucose-U-¹⁴C and fructose-U-¹⁴C into the triglyceride of liver, plasma, and adipose tissue. *Metabolism*, **22**, 1205-1215.
- 9) Van Schaftingen E and Davies DR (1991): Fructose administration stimulates glucose phosphorylation in the livers of anesthetized rats. *FASEB J*, **5**, 326-330.
- 10) Iritani N, Nagashima K, Fukuda H, Katsurada A and Tanaka T (1986): Effects of dietary protein on lipogenic enzymes in rat liver. *J Nutr*, **116**, 190-197.