

発酵大豆たん白質のマウス持久力増強効果に関する研究

渡辺睦行*・作田智美

昭和女子大学生生活科学部

Effect of Dietary Fermented Soybean on Physical Endurance in Mice

Nakamichi WATANABE and Satomi SAKUDA

Department of Food Science and Nutrition, Showa Women's University, Tokyo 154-8533

ABSTRACT

Studies presented at the 6th International Symposium on the Role of Soy, 2005, reported that dietary soybean increased physical endurance because of decreased plasma lipid peroxidation. Our previous studies, performed using assays, such as the balk system, emulsion system, red blood cells ghost system, and plasma system, have shown that the antioxidant activities of tempeh were stronger than that of non-fermented soybean. Therefore, compared to the intake of non-fermented soybean, the intake of fermented soybean products, such as tempeh, was expected to increase physical endurance. In this study, we examined the effect of dietary non-fermented soybean and tempeh on physical endurance and fatigue by subjecting Balb/c mice to a swimming test. Intake of non-fermented soybean decreased the blood lactate levels and plasma creatine kinase activities, but the swimming time was not affected. In contrast, and unfortunately, the intake of tempeh had no effect on physical endurance and fatigue; however, it did cause a decrease in plasma lipid peroxidation. In the mice fed non-fermented soybean, the plasma free fatty acid levels increased and the glycogen content in the skeletal muscles decreased, but the glycogen content in the liver did not decrease. These results suggested that the decrease in fatigue caused by dietary non-fermented soybean might be induced by improved utilization of glycogen in the skeletal muscles and fatty acid in the adipose tissue as energy sources. *Soy Protein Research, Japan* **13**, 154-158, 2010.

Key words : fatigue, physical endurance, soybean, tempeh

*〒154-8533 世田谷区太子堂1-7

大豆たん白質の摂取には運動時の疲労を軽減する効果があることが、6th International Symposium on the Role of Soyにて報告された¹⁾。この効果は、大豆の抗酸化性によるものであることが示されている¹⁾。また、大豆には、骨格筋でのたん白質合成を高めるとの報告もなされている²⁾。

一方、我々は、蒸煮大豆を*Rhizopus*にて発酵させた大豆発酵食品テンペには、バルク系、 β カロテン-エマルジョン系、赤血球膜ゴースト系、および血清を用いた試験にて、未発酵の大豆よりも強い抗酸化性があり、これは発酵中に増加した抗酸化ペプチドやアグリコン型イソフラボンによるものであることを明らかにしている³⁾。よって、テンペを摂取した場合、未発酵の大豆と比較して、運動時の疲労が軽減されることが期待される。

そこで本研究では、マウスにカゼイン、未発酵の大豆、およびテンペを与えた時の持久力増強効果、および疲労軽減効果について、持久的遊泳試験によって明らかにしたい。

方 法

3週齢の雄性Balb/c系マウスを市販の固形飼料(CRF-1, 日本チャールス・リバー)にて2週間予備飼育した後、各群の遊泳時間が等しくなるように、Control群、Soybean群(未発酵大豆群)、Tempeh群(*Rhizopus*発酵大豆群)の3群に分けた(n=6)後、5週間の本飼育を行った。予備飼育の期間中には、2回、15分程度の予備遊泳を行った。試験飼料はAIN-93Gを基本として、たん白質含量、炭水化物含量、脂質含量、食物繊維含量が等しくなるように作製した。たん白質源として、Control群ではカゼインを、Soybean群では脱脂大豆を、Tempeh群では脱脂テンペ(Soybean群

で用いた大豆を*Rhizopus*にて発酵させたもの)を用いた。試験飼料の組成はTable 1に示した。試験期間中は週に1回、体重および摂食量の測定を行った。

試験開始2週目から4週目まで、週に1回、計3回、京大式遊泳装置にて持久的遊泳試験を行い、マウスの鼻先が水面から7秒間沈むまでの時間(遊泳時間)を記録した。水流は19 cm/sec、水温は34-35℃に調節した。

試験開始5週目には、すべてのマウスが遊泳可能と思われる時間(本研究の条件では30分間)遊泳させた後、解剖を行い、採血と、臓器重量(心臓、肝臓、脾臓、腎臓、腎周囲白色脂肪組織、腓腹筋)の測定を行った。採血直後の血液を用いて、乳酸値を、遠心分離後の血漿を用いて、クレアチンキナーゼ活性、血糖値、遊離脂肪酸濃度、MDA濃度(TBA試験)を測定した。また、肝臓および腓腹筋のグリコーゲン含量を測定した。

群間の差は、Tukeyの検定を用いて行い、 $p<0.05$ の時に有意差あり、 $p<0.1$ の時に傾向ありと示した。

結果と考察

体重、摂食量、臓器重量の結果をTable 1に示した。試験開始前および開始後の体重、摂食量、心臓重量、肝臓重量、脾臓重量、腎臓重量、腎周囲白色脂肪組織重量には各群間で有意な差はみられなかった。一方、腓腹筋重量は、Tempeh群で他2群と比較して有意に高値を示した。

本飼育2週目、3週目、4週目におけるマウスの遊泳時間をFig. 1に示した。遊泳時間は、各群間に有意な差は認められなかった。

遊泳後の疲労の指標として、血液乳酸値および血漿クレアチンキナーゼ活性をFig. 2に示した。乳酸値、クレアチンキナーゼ活性ともに、Soybean群で、他2

Table 1. Compositions of experimental diets (%)

	Control	Soybean	Tempeh
Casein	20.0	0	0
Defatted soybean	0	41.8	0
Defatted tempeh	0	0	47.7
Corn starch	40.0	28.7	25.1
α -Corn starch	13.2	13.2	13.2
Sucrose	10.0	10.0	10.0
Soybean oil	7.0	5.65	5.4
Cellulose	11.1	1.97	0
Mineral mix	3.5	3.5	3.5
Vitamin mix	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate	0.25	0.25	0.25

Table 2. Body weight, food intake, and the wights of some organs

	Control	Soybean	Tempeh
Initial body weight (g)	24.1 ± 0.4	23.1 ± 0.7	24.3 ± 0.6
Final body weight (g)	27.1 ± 0.2	26.8 ± 0.4	27.3 ± 0.7
Food intake (g/day)	6.3 ± 0.3	6.3 ± 0.1	5.8 ± 0.2
Heart (g)	0.130 ± 0.003	0.135 ± 0.006	0.134 ± 0.005
Liver (g)	0.962 ± 0.034	0.959 ± 0.020	0.963 ± 0.010
Spleen (g)	0.098 ± 0.001	0.107 ± 0.005	0.114 ± 0.006
Kidney (g)	0.196 ± 0.015	0.180 ± 0.012	0.188 ± 0.004
Perirenal white adipose tissue (g)	0.309 ± 0.027	0.285 ± 0.025	0.285 ± 0.015
Gastrocnemius (g)	0.102 ± 0.006 ^a	0.103 ± 0.008 ^a	0.130 ± 0.009 ^b

Data are mean ± SE of 6 mice.

Values with different superscript letters are significantly different at $p < 0.05$.

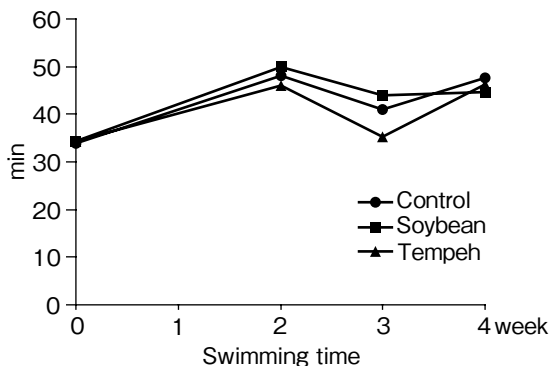


Fig. 1. Mean swimming time of 6 mice.

群と比較して低い傾向を示したことから、大豆の摂取には、疲労を軽減させる効果があることが示唆された。

Fig. 3に、肝臓および腓腹筋のグリコーゲン含量を示した。肝臓グリコーゲン含量は各群間で差はみられなかったが、腓腹筋グリコーゲン含量は大豆群で他2群と比較して低い傾向がみられた。よって、大豆の摂取には、骨格筋でのグリコーゲンの利用性を高める効果があることが示唆された。

Fig. 4に、血漿グルコース濃度および血漿遊離脂肪酸濃度を示した。血漿グルコース濃度は、大豆摂取群で他2群と比較して低い傾向がみられた。血漿遊離脂肪酸濃度は、大豆摂取群で他2群と比較して有意に高い値を示したことから、大豆の摂取には、貯蔵脂肪のエネルギー源としての利用を高める効果があることが

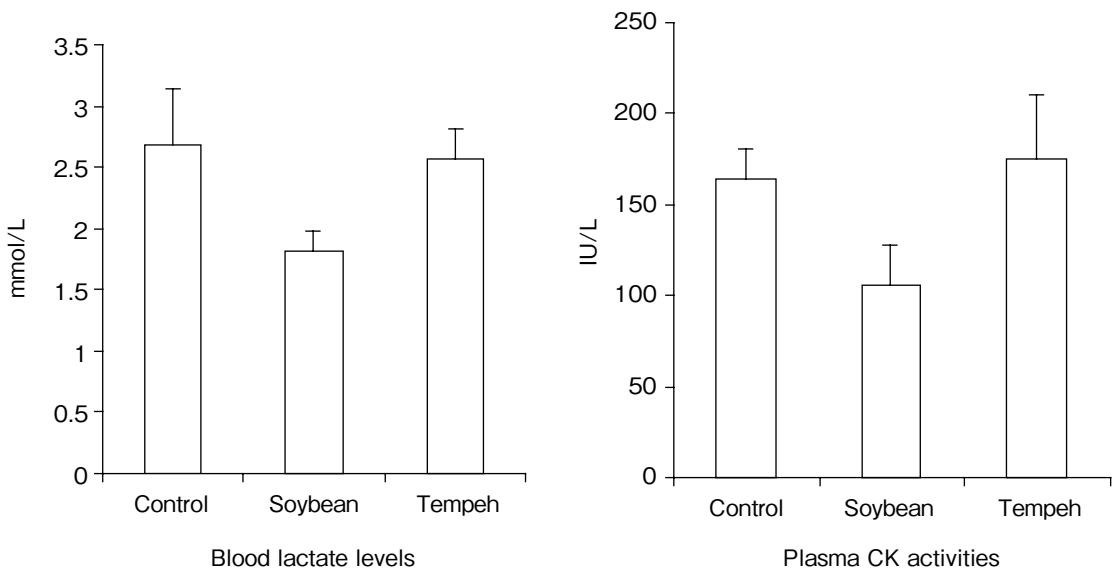


Fig. 2. Blood lactate levels and plasma creatine kinase (CK) activities. Data are mean ± SE of 6 mice.

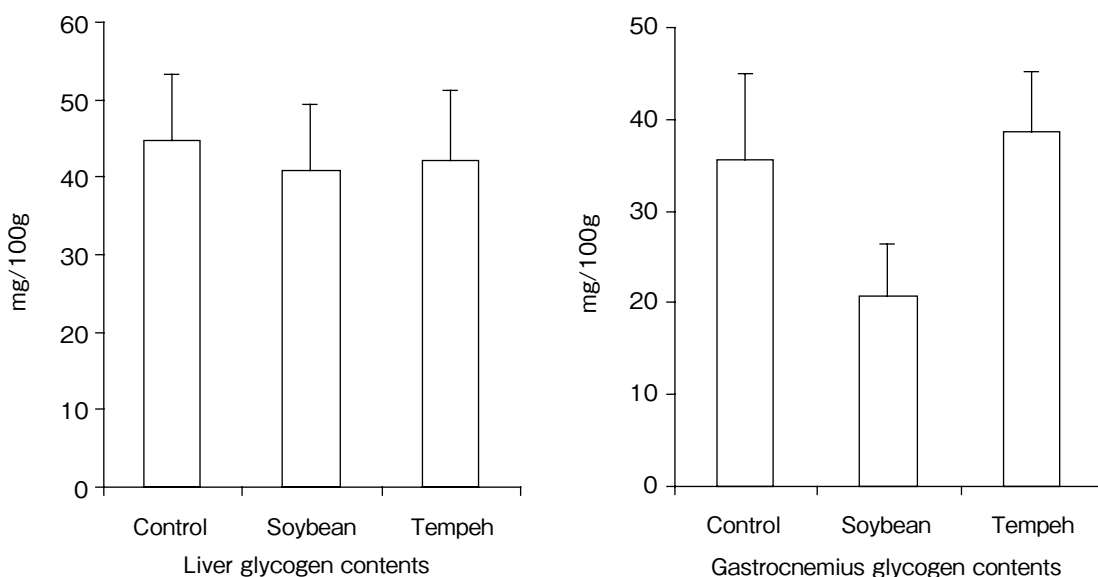


Fig. 3. Glycogen contents in the liver and gastrocnemius. Data are mean $\pm$ SE of 6 mice.

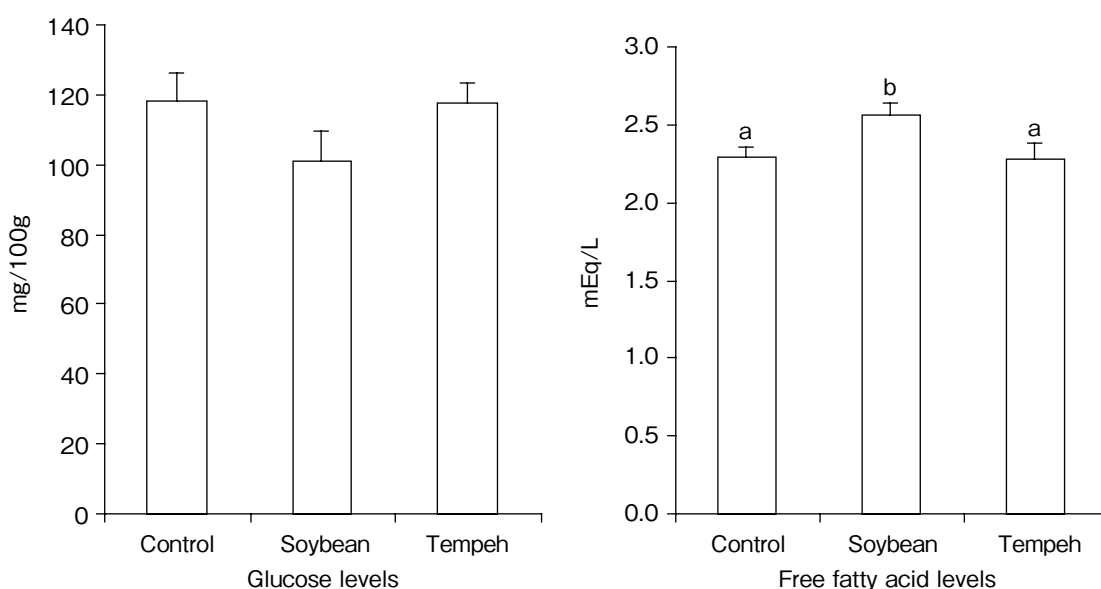


Fig. 4. Plasma levels of glucose and free fatty acid. Data are mean $\pm$ SE of 6 mice. Values with different superscript letters are significantly different at $p < 0.05$.

示唆された。

Fig. 5に、血漿TBA試験の結果を示した。血漿の脂質過酸化は、テンペ群でコントロール群と比較して低い傾向を示した。これまで、我々は、テンペには*in vitro*での様々な系において強い抗酸化性があることを報告してきたが³⁾、本研究によって、*in vivo*においても強い抗酸化性を有することが示唆された。しかし、遊泳後の疲労との関係を明らかにすることは出来な

かった。テンペの摂取によって腓腹筋重量が増加していたことが、遊泳時間や疲労の指標に対しては悪影響を及ぼしていた可能性もある。

大豆の摂取による疲労軽減効果は、アスパラギン酸やアルギニン、分岐鎖アミノ酸を豊富に含む大豆たん白質に起因すると言われている^{4, 5)}。またYUらは、脱脂した大豆粉を枯草菌を用いて発酵させペプチド含量を増やした飼料をマウスに与えると、遊泳時間が延長

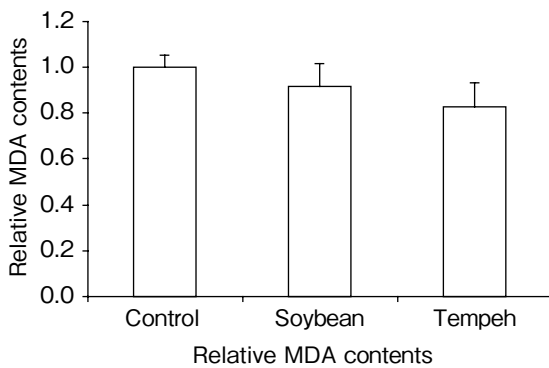


Fig. 5. Plasma relative malondialdehyde (MDA) contents. Data are mean $\pm$ SE of 6 mice.

し疲労も軽減されることを報告している⁶⁾。大豆の持つ疲労軽減効果は、スーパーオキシドやヒドロキシ

ラジカルに対する強い消去活性によるものであることから、大豆を*Rhizopus*にて発酵させ、遊離脂肪酸やペプチド、およびオリゴペプチドの量を増加させ抗酸化性が増強したテンペの摂取には³⁾、持久力増強効果や疲労軽減効果が期待されたが、本研究の条件ではこれらの効果を明らかにすることは出来なかった。しかし、本研究の結果から、大豆の摂取による疲労軽減には、骨格筋中のグリコーゲンおよび貯蔵脂肪の利用性向上が関与している可能性を示すことが出来た。

大豆に含まれる物質で、発酵によって減少すると報告されているのは、イソフラボン配糖体、フィチン酸⁷⁾などである。しかしこれまでに、これらの物質に持久力増強効果や疲労軽減効果は報告されていない。今後、大豆中の疲労軽減物質についての更なる検討が必要である。

要 約

本研究では、カゼイン、未発酵の大豆、および大豆発酵食品テンペを与えたマウスに持続的遊泳試験を行い、これらの摂取が持久力および疲労に与える影響について検討した。カゼイン摂取群、テンペ摂取群と比較して、大豆摂取群で、遊泳終了後の乳酸値、血漿クレアチンキナーゼ活性が低い傾向を示したことから、大豆の摂取には疲労を軽減させる効果があることが示唆された。また、大豆摂取群において、腓腹筋中のグリコーゲン含量が低い傾向にあり、血漿遊離脂肪酸濃度は有意に高かったことから、大豆の疲労軽減効果は、骨格筋のグリコーゲンおよび貯蔵脂肪の利用性を向上させることによるものであることが示された。一方、大豆発酵食品であるテンペの摂取には、血漿中の脂質過酸化を抑制する傾向はみられたものの、疲労を軽減させる効果は認められなかった。

文 献

- 1) R DiSilvestro (2005): Soy protein intake has broad positive interactions with exercise. Symposium Program (6th International Symposium on the Role of Soy), 30.
- 2) T Anthony and M McNurlan (2005): Post-exercise consumption of soy protein promotes general protein synthesis and mRNA translation factor activity in skeletal muscle. Symposium Program (6th International Symposium on the Role of Soy), 30.
- 3) N Watanabe, K Fujimoto and H Aoki (2007): Antioxidant activities of the water-soluble fraction in tempeh-like fermented soybean (GABA-tempeh). *Int J Food Sci Nutr*, **58**, 577-587.
- 4) 石原健吾, 大貫宏一郎, 斎藤真人, 伏木亨 (1997): 大豆たん白質分解ペプチドの体脂肪蓄積抑制効果に関する研究. 大豆たん白質研究会会誌, **18**, 96-100.
- 5) 福井健介 (2000): スポーツフードへの大豆たん白質・ペプチドの利用. 食品と開発, **35**, 54-56.
- 6) YU Bo, LU Zhao-Xin, BIE Xiao-Mei, LU Feng-Xia, and HUANG Xian-Qing (2008): Scavenging and anti-fatigue activity of fermented defatted soybean peptides. *Eur Food Res Technol*, **226**, 415-421.
- 7) Mugula JK (1992): The nutritive quality of sorghum commonbean tempeh. *Plant Food Hum Nutr*, **42**, 247-256.