

女子大学生における米飯の食後血糖上昇に及ぼす 大豆製品の血糖上昇抑制効果

末田 香里* 奥田 みゆき*

【目的】 食後高血糖抑制の観点より、大豆製品の種類や摂取量を比較し、どの大豆製品をどの程度摂取すれば血糖上昇を抑制できるのか、さらにその機序について検討した。

【方法】 被験者は健常な本学女子学生10名とした。年齢は21~22歳、体格指数 (BMI) は 20.2 ± 1.2 (Mean \pm SD) であった。基準食はサトウのごはん 150g (サトウ食品：糖質50g 相当) を用いた。検査食は有機豆乳 (めいらく：200ml, 400ml), 納豆 (ミツカン：45g, 90g), 木綿豆腐 (サンデイリー：400g), きなこ (横関食糧工業：15g), おから (京都タンパク：50g, 150g) を用い、糖質合計 50 g となるように、サトウのごはんの量を調節し摂取した。血糖値測定は自己血糖測定器 (グルテスト Neo スーパー：三和化学研究所) を用い、被験者自身が負荷前、負荷後15, 30, 45, 60, 90, 120分後の計7回測定し、血糖上昇曲線下面積 (Area Under Curve；以下 AUC と略) を算出した。

【結果と考察】

1. 基準食の AUCmg/dl・120min (307 ± 129) に対して検査食の AUC は、①有機豆乳200ml 食 (234 ± 86), 400ml 食 (83 ± 80) ②納豆45g 食 (251 ± 112), 90g 食 (232 ± 100) ③木綿豆腐400g 食 (133 ± 68) ④きなこ15g 食 (255 ± 57) ⑤おから50g 食 (295 ± 105), 150g 食 (192 ± 66) であった。食後血糖上昇抑制効果が認められたのは、有機豆乳400ml 食、木綿豆腐400g 食、おから150g 食であった。2. 食後の血糖上昇抑制効果が認められた有機豆乳400ml 食と木綿豆腐400g 食はたんぱく質・脂質含有量が多く、おから150g 食は不溶性食物繊維含有量が他の検査食より多かった。以上から、食後の血糖上昇を抑制させるには大豆製品中に含まれる一定量の脂質・たんぱく質、または不溶性食物繊維の存在が有効であると推測された。

キーワード：食後血糖, 大豆製品, 食物繊維 インスリン, インクレチン, グリセミックインデックス, たんぱく質, 脂質

I. はじめに

わが国の糖尿病の患者数は増加傾向にあり、平成19年の厚生労働省の国民健康・栄養調査結果によると推定患者数 (糖尿病が強く疑われる人) は約890万人であり、その予備群 (糖尿病の可能性が否定できない人は約1320万人存在する。60歳以上で糖尿病推定患者数は67%に達する。食後高血糖は2型糖尿病に先んじて生じ、糖尿病では食後高血糖がごく一般的にみられる。また、食後高血糖は、空腹時血糖よりも、心臓血管病と高い相関があると報告されている¹⁾。食

後高血糖を抑制することが糖尿病、心臓血管病の予防に重要である。

食後の血糖上昇は、糖質の量のみでなくその質によっても左右される。食物中の糖質の「質」を比較するために、Jenkinsら²⁾により考案された指標がGIである。これは、ある種類の食物を摂取した後の血糖上昇曲線下面積 (Area Under the Curve: AUC) を同量のブドウ糖摂取時に得られる AUC と比較した割合である。通常の食事として利用しやすくするために、欧米では基準食として白パンを用い、日本では米飯を基準食として食品の組み合わせなどの報告されている³⁾。

* 愛知学院大学心身科学部健康栄養学科
(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 E-mail: sueda@dpc.agu.ac.jp

前報「日常の食事におけるグリセミック・インデックスの検討」において⁴⁾、米飯（糖質50g）を基準食として、米飯と共に食物繊維、酢、バター、大豆製品、乳製品を日常的に摂取する分量をプラスした検査食を摂食した。今回は、糖質量を50gと一定にし、大豆製品の食後血糖上昇抑制効果を検討した。1) 納豆、豆乳、おからの大豆製品に血糖上昇抑制作用に容量依存性があるのか、2) どのようなメカニズムによって血糖上昇を抑制しているのかを検討した。

II. 方法

1. 被験者

女子大学生10名を被験者とした、年齢は21-22歳、体格指数 (BMI) は $20.1 \pm 2.4 \text{ kg/m}^2$ であった。被験者は口頭ならびに文書で実験計画についての説明を受け、被験者になることに同意しかつ同意書を提出した。本実験は愛知学院大学心身科学部の「ヒトを対象とする研究に関する委員会」の承諾を得て行なった。

2. 実験計画

被験者は1) 実験前日に過激な運動・夜更かし・暴飲暴食を避ける、2) 実験前日の夕食後から10時間以上の絶食を遵守した。実験当日午前10時台に開始し、基準食あるいは検査食の摂食は10分以内に完了し、飲み物200mlはお茶（伊右衛門：サントリー京都福寿園）とした。

血糖値の測定、血糖上昇曲線下面積 (GAUC) の算出：血糖値の測定は自己血糖測定器グルテストエース

(三和科学研究所) を用いて、摂食前、基準食および検査食摂食後15, 30, 45, 60, 90, 120分後の計7回測定し³⁾、その血糖値を用いて血糖上昇曲線下面積 (GAUC) を算出した。

3. 基準食・検査食

基準食は、米飯150g（包装米飯サトウのごはん150g：サトウ食品、糖質50g）とし、栄養成分表示がある同一ロットを用いた。

検査食は米飯+検査食品で、糖質が50gになるように米飯量を調節した。検査食品は有機豆乳 200ml, 400ml（めいらく）、納豆 45g, 90g（ミツカン）、木綿豆腐400g（サンデイリー）、黄粉15g（横関食品工業）、おから50g, 150g（京都たんぱく）を用いた（表1）。

4. 計算方法および統計処理

データは平均値±標準偏差で表した。2群間の比較はpaired t-testを用い、群間比較は一元配置分散分析 (ANOVA) の後、Scheffeの多重比較にて検討し、有意水準は5%以下とした。

III. 結果

1. 有機豆乳

食後血糖値は、基準食、豆乳200ml食および豆乳400ml食いずれも食後45分にピークを示し、その後緩やかに低下した（図1）。基準食の血糖値と比較して、有機豆乳200mlでは食後30分の血糖値が低かった、有機豆乳400mlの血糖値は食後90分で低かった。

表1 基準食および検査食中栄養成分

食品名	炭水化物 (g)	エネルギー (kcal)	タンパク質 (g)	脂質 (g)	水溶性 食物繊維 (g)	不溶性 食物繊維 (g)
基準食（米飯）	50	217	3.0	0.6	0	0
検査食（米飯+）						
豆乳200ml	50	310	12.8	6.5	0.4	0
豆乳400ml	50	403	22.6	12.5	0.8	0
納豆45g	50	281	9.8	4.9	1.0	2.0
納豆90g	50	344	16.7	8.6	2.0	4.0
木綿豆腐400g	50	471	33.0	15.6	0.4	1.2
きなこ15g	52	300	11.6	6.4	0.5	3.8
おから50g	50	244	5.7	2.3	0.2	4.7
おから150g	50	294	11.0	5.7	0.5	14.1

食品成分表五訂増補参照

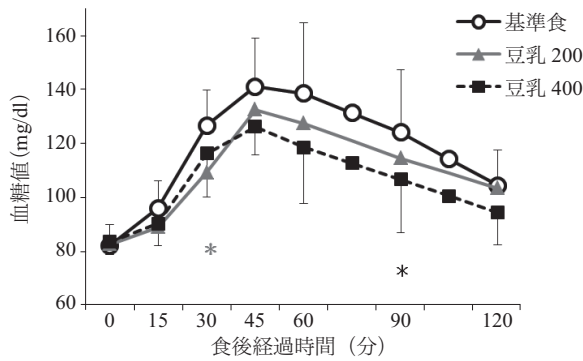


図1 豆乳200ml食, 豆乳400ml食の血糖反応: n=10, 平均±SDを示す, *P<0.05(vs. 基準食).

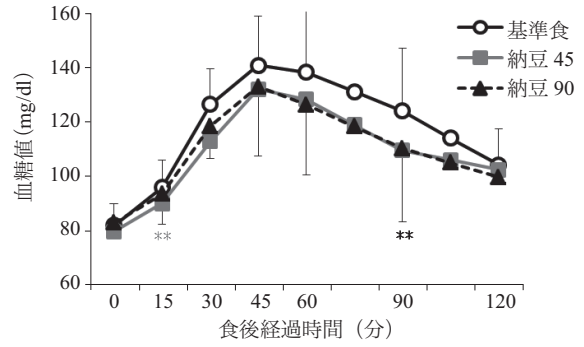


図3 納豆45g食, 納豆90g食の血糖反応: n=10, 平均±SDを示す.

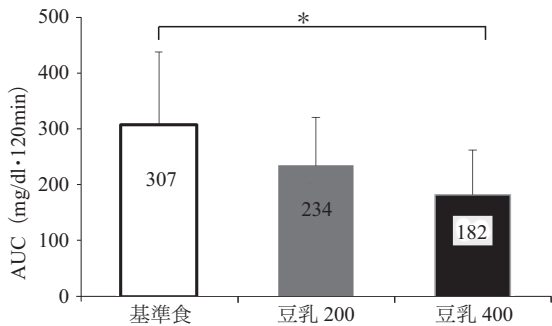


図2 豆乳200ml食, 豆乳400ml食のAUC: n=10, 平均±SDを示す, *P<0.05(vs. 基準食).

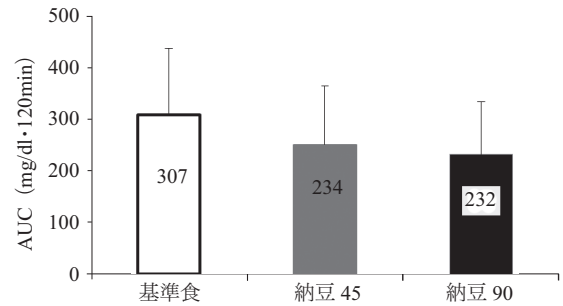


図4 納豆45g食, 納豆90g食のAUC: n=10, 平均±SDを示す.

血糖上昇曲線下面積 (Area Under Curve;AUC) は基準食, 有機豆乳200ml食および有機豆乳400ml食ではそれぞれ307, 234, 182 mg/dl・120 minであった. 基準食 AUC に対して, 豆乳400ml食 AUCでは有意に低下した. 豆乳400ml食 AUCと豆乳200ml食 AUCの間に差はなかった (図2).

2. 納豆

納豆45g食および納豆90g食の血糖値は食後45分にピークを示し, その後緩やかに低下した. 基準食と比較して, 納豆45g食の血糖値は食後30分で有意に低く, 納豆90g食の血糖値は摂食後90分で低かった (図3). 基準食, 納豆45g食, 納豆90g食のAUCはそれぞれ307, 250, 232mg/dl・120 minであった, 三群間に差はなかった (図4).

3. 木綿豆腐

木綿豆腐400g食の血糖値は食後45分後にピークを示した. 基準食と比較して, 木綿豆腐400g食の摂食後のいずれの時点においても低かった (図5).

基準食, 木綿豆腐400g食のAUCはそれぞれ307,

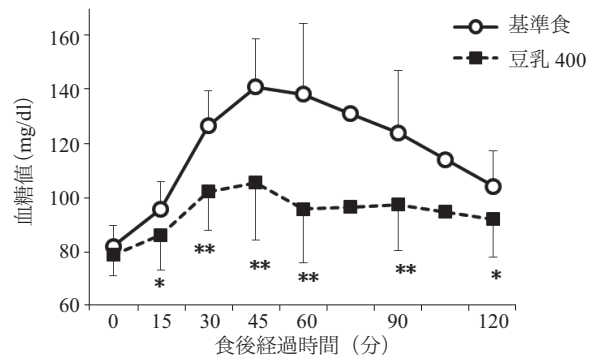


図5 豆腐400gの血糖反応: n=10, 平均±SDを示す, *P<0.05, **P<0.01 (vs. 基準食).

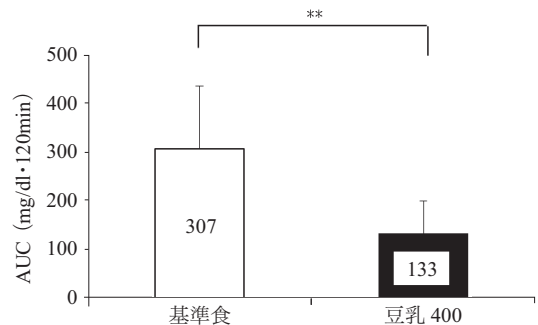


図6 豆腐のAUC: n=10, 平均±SDを示す, **P<0.01 (vs. 基準食).

133 mg/dl・120 min で、木綿豆腐400gを米飯と同時に摂食することにより、血糖上昇が顕著に抑制された ($p < 0.01$) (図6)。

4. きなこ

きなこ15g食の血糖値は、食後45分にピークを示し、その後緩やかに低下した。基準食の血糖値と比較して、きなこ15g食の血糖値は、食後15、30分で高かった ($p < 0.05$) (図7)。

きなこ15g食のAUCは基準食AUCと差はなかった (図8)。

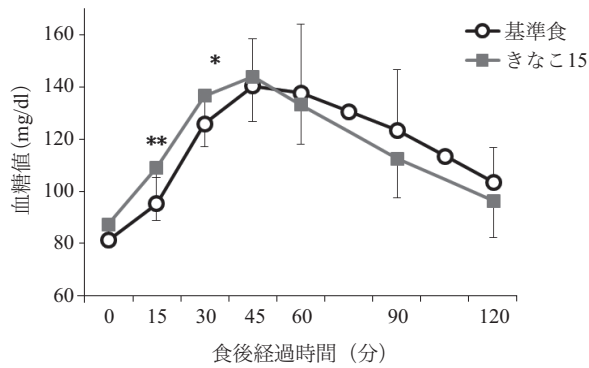


図7 きなこ15g食の血糖反応：n = 10, 平均±SDを示す。

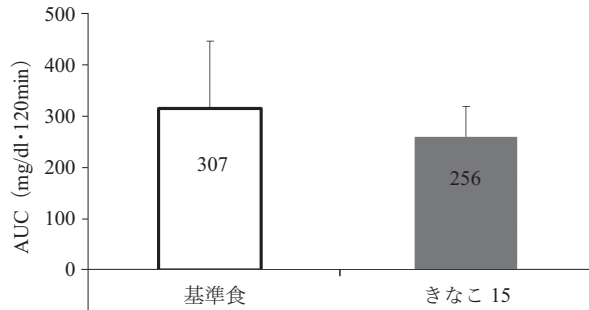


図8 きなこ15gのAUC：n = 10, 平均±SDを示す。

5. おから

おから50g食は、食後45分にピークを示し、その後緩やかに低下した、基準食とほぼ同じ血糖上昇曲線を示した。一方おから150g食は、基準食と比較して30分、45分の血糖値が低く、血糖のピークは60分であった (図9)。

基準食、おから50g、150gを摂取したときのAUCはそれぞれ307、294、192 mg/dl・120 minであった。基準食AUCに対しておから150g食AUCは低かった

($p < 0.05$)、さらにおから50g食に対して、おから150g食は有意に低かった ($p < 0.01$)。

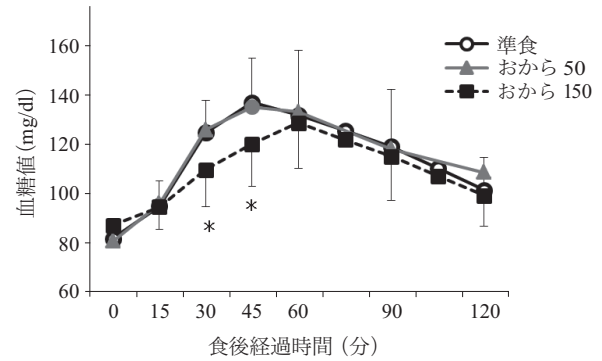


図9 おから50g食、おから150g食の血糖反応：n = 10, 平均±SDを示す、* $P < 0.05$ (vs. 基準食)。

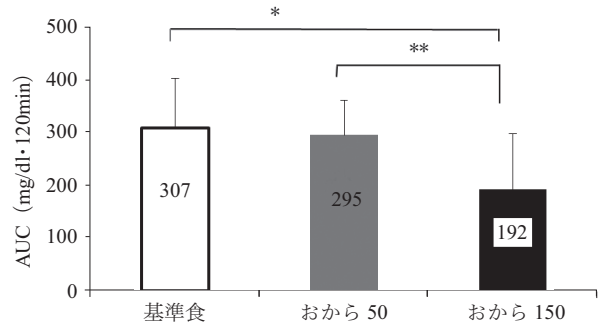


図10 おから50g食、おから150g食のAUC：n = 10, 平均±SDを示す、* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ (vs. 基準食)。

IV. 考 察

1. 今回の結果

今回検査食の糖質が50gになるように米飯を調節して検討した。大豆製品食のうち、基準食に対して、豆乳400ml食、豆腐400g食およびおから150g食が血糖上昇を抑制する効果があった。通常の食事で摂取される豆乳200mlと400ml、納豆45と90gおよびおから50gと150gの間に用量依存効果は認められなかった。ある一定量以上を摂取すると血糖上昇抑制効果があるのではないかと推察された。

前報告において米飯150g (糖質50g) + 大豆製品食の血糖のAUCは、調整豆乳200ml、豆腐200g、大豆水煮120gをプラスした食事は、基準食 (米飯150g) AUCと差がなかった⁴⁾。今回糖質を50gと一定にした

ときも同じ傾向であった。普通の食事を取る量よりも比較的多めの大豆製品を摂取して、初めて食後血糖上昇を抑制する効果が認められた。豆腐400gの血糖上昇抑制効果は大きかった、摂取する食品が、固形と液体との違いがあるのかもしれない。大豆製品が胃からの内容物の排泄をゆっくりするなら、液体より固体の法がその効果は大きい⁵⁾可能性も考えられる。豆腐は豆乳から作られ、両者の成分が相似していたので、豆腐200g食は今回行わなかったが、豆腐200g食と豆腐400g食の効果を比較しておけばよかったと反省した。

2. 血糖上昇抑制効果の要因は？

大豆製品の食後の血糖上昇を抑制する主要因として含有するたんぱく質・脂質量、食物繊維を検討した。

1) 検査食中の蛋白質・脂質含有量

血糖上昇の抑制があった有機豆乳400ml食・木綿豆腐400g食と、その他の大豆製品食を比較すると、たんぱく質・脂質の含有比率は同じであるが、両含有量は血糖上昇が抑制した前2群で高い。たんぱく質摂取量20g、脂質10g以上を摂取した場合、基準食に対して、血糖上昇抑制効果が認められた。

糖質単独の場合と比較して、脂質やたんぱく質を同時に摂取すると、食後の血糖上昇が抑制されることが知られている⁶⁻⁸⁾。脂質とたんぱく質の血糖低下作用に機序の詳細はよくわかっていないが、胃腸の通過遅延、消化管ホルモン（インクレチン）分泌によるインスリン分泌促進などが、推測されている。食後血糖を抑制する作用は、脂質とたんぱく質は異なる機構で作用し、たんぱく質の方が脂質より同じ摂取量では2～

3倍効果が大きいとの報告⁹⁾もあり、またたんぱく質の種類によりその効果にも差があるとも報告¹⁰⁾されている。

2) 食物繊維

血糖上昇が抑制されたおから150g食の成分含有量は、たんぱく質・脂質がほぼ同量である有機豆乳200ml、納豆45g、きなこ15gに比べて不溶性食物繊維量が多い。血糖上昇の抑制には、大豆製品中のある一定量の不溶性食物繊維が有効であると推察された。

食物繊維の食後血糖上昇抑制作用の作用機構として、食物繊維の持つ粘性による胃内容物の排出遅延効果や拡散の阻害による腸管からの吸収遅延などが考えられている¹¹⁾。この血糖上昇の抑制効果は水溶性食物繊維のほうが効果があり、水溶性食物繊維の粘性が関与していると報告されている¹²⁾。大豆の殻、おからには不溶性食物繊維が多く、10gを超えていた。食物繊維には消化機能・消化通過時間にも影響を与えており、今後の検討が必要である。

3. 大豆製品摂取の有用性

健康上の理由から西欧でも大豆製品の消費がふえている、またFAD (Food and Drug Administration) は1日に25gの大豆を摂取することを奨励している¹³⁾。日本では味噌、納豆、豆腐、最近では豆乳などの大豆製品を日常的に摂取している、食後高血糖予防の観点から大豆製品は心がけて摂取するのが望ましい。

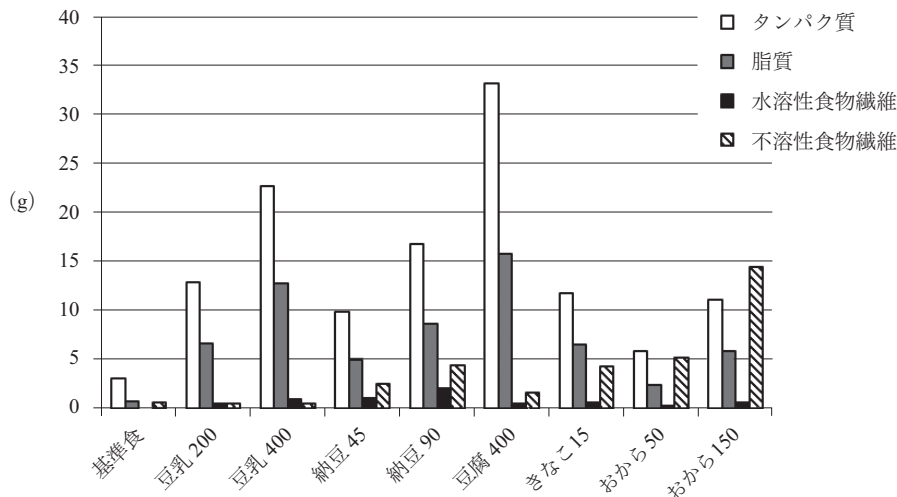


図11 検査食の蛋白質、脂質、水溶性食物繊維および不溶性食物繊維含有量

V. まとめ

食後高血糖抑制の観点より, 大豆製品の種類や摂取量を比較し, どの大豆製品をどの程度摂取すれば血糖上昇を抑制できるのか, さらにその機序について検討した。

被験者は健常な本学女子学生10名とした。年齢は21~22歳, 体格指数 (BMI) は 20.2 ± 1.2 (Mean \pm SD)であった。基準食はサトウのごはん150g(サトウ食品: 糖質50g相当)を用いた。検査食は有機豆乳(めいらく: 200ml, 400ml), 納豆(ミツカン: 45g, 90g), 木綿豆腐(サンデイリー: 400g), きなこ(横関食糧工業: 15g), おから(京都タンパク: 50g, 150g)を用い, 糖質合計50gとなるように, 調整した。

その結果

1. 基準食のAUC mg/dl \cdot 120min (307 \pm 129) に対して検査食のAUCは, ①有機豆乳200ml食 (234 \pm 86), 400ml食 (182 \pm 80) ②納豆45g食 (234 \pm 86), 90g食 (232 \pm 100) ③木綿豆腐400g食 (133 \pm 75) ④きなこ15g食 (255 \pm 57) ⑤おから50g食 (295 \pm 105), 150g食 (192 \pm 81)であった。食後血糖上昇抑制効果が認められたのは, 有機豆乳400ml食, 木綿豆腐400g食, おから150g食であった。用量依存効果は認められなかった。

2. 食後の血糖上昇抑制効果が認められた有機豆乳400ml食と木綿豆腐400g食はたんぱく質・脂質含有量が多く, おから150g食は不溶性食物繊維含有量が他の検査食より多かった。

以上, 食後の血糖上昇を抑制させるには大豆製品中に含まれる一定量の脂質・たんぱく質, または不溶性食物繊維の存在が有効であると推測された。

付 記

本研究は平成23年度科学研究費補助金費の補助を受けて実施した。

本実験は平成22年度卒業論文研究臨床栄養学ゼミ生, 井口真季子, 泉 麻那, 大島由加里, 串上早季, 柴田有加里, 竹島 唯, 夏目さやか, 並河樹恵, 細田若葉, 前谷典子によって行われた。

引用文献

- 1) Greg Collier BS and Kerin O'Dea. The effect of coingestion of fat on the glucose, insulin, and gastric inhibitory polypeptide responses to carbohydrate and protein Am J Clin Nutr 1983; 37: 941-4.
- 2) Jenkins DJA, Wolever TMS, Leeds AR, Gassull MA, Haisman P, Dilawari J, Goff DV, Metz GL, Alberti KGM; Dietary fibers, fiber analogues, and glucose tolerance: importance of viscosity. Br Med J; 1978: 1392-4.
- 3) M Sugiyama, AC Tang, Y Wakai and W Koyama: Glycemic index of single and mixed meal foods among common Japanese foods with white rice as a reference food. Eur J Clin Nutr 2003; 57: 743-52.
- 4) 末田香里, 奥田みゆき, 山田真紀子; 健常女子大学生における米飯の食後血糖に及ぼす食物繊維, 酢, 油, 大豆製品, 牛乳・乳製品の影響, 愛知学院大学心身科学研究所紀要心身科学 2008; 1, 23-30.
- 5) Xianomiao Lan-Pidhainy and Thomas MS Wolever. The hypoglycemic effect of fat and protein is not attenuated by insulin resistance. Am J Clin Nutr 2010; 91; 98-105.
- 6) Collier G, O'Dea K. The effect of coingestion of fat on the glucose, Insulin, and gastric inhibitory peptide responses to carbohydrate and protein. Am J Clin Nutr 1983; 37: 941-4
- 7) Brand-Miller JC, Colagiuri S, Gan ST. Insulin sensitivity predicts glycemia after a protein load. Metabolism 2000; 49: 1-5.
- 8) Pi-Sunyer FF. Glycemic index and disease. Am J. Clin Nutri 2002; 76(Supple): 290S-8S.
- 9) Moghaddan E, Vogt JA, Wolever TMS. The effects of fat and protein on glycemic responses in nondiabetic humans vary with waist circumference, fasting plasma insulin and dietary fiber intake. J Nut 2006; 136: 2506-11.
- 10) Veldhorst MA, Nieuwenhuizen AG, Hochstencach-wheelen A, van Vught AJ, Westerterp KR, Engelen MP, Brummer RJ, Deuts NE, Westerterp-Plantenga MS. Dose-dependent satiating effect of whey relative to casein or soy. Physiol Behav. 2009 Mar 23; 95 (4-5): 675-82.
- 11) Malkki A. Physical properties of dietary fiber as keys to physiological functions. Cereal Foods World. 2001; 46 : 196-9.
- 12) Jenkins DJA, Wolever TMS, Jenkins AL, Taylor RH, Dietary fiber, carbohydrate metabolism and diabetes. Molec Aspects Med 1987; 9: 97-112.
- 13) Torres y Torres N, Palacios-Gonzales B, Noriega-Lopez L, Tovar-Pa; acop AR. Glycemic, insulinemic index, glycemic load of soy beverage with low and high content of carbohydrate. Rev Invest Clin. 2006 Sep-Oct; 58(5): 487-97.

1) Greg Collier BS and Kerin O'Dea. The effect of coingestion

最終版平成23年12月28日受理

Effect of Soybean Products on Postprandial Changes in Blood Sugar in Healthy Female Students.

Kaori SUEDA, Miyuki OKUDA

Abstract

Objective: The objectives were to examine how much the postprandial blood glucose level of white rice was decreased, with soybean products. We examined dose dependent hypoglycemic effects of soybean products and compared the contents of protein, fat and dietary fibers.

Subjects: A total of 10 females, non-diseased subjects, aged 21~22 years and mean BMI 20.2 ± 1.2 kg/m² were examined.

Design: The subjects were served a total 50g carbohydrate of white rice alone, or together with soybean products. Soybean products tested were cooked soybean juice (200ml, 400ml), fermented soybean (45g, 92g), tofu 400g, soybean flour 15g and bean-curd refuse (50g, 150g).

The plasma glucose response was determined over the subsequent two hours. The plasma glucose area above the baseline (AUC) following a glucose meal was calculated.

Results:

1) Soybean products on hypoglycemic effect : White rice administration increased plasma glucose, which peaked at 45 min. Soybean products with white rice showed almost the same pattern of the reference curve. AUC with white rice only was 307 ± 129 mg/dl·2h, while AUCs with tested meal were soybean juice 200ml (234 ± 86 mg/dl·2h)/ 400ml (182 ± 80 mg/dl·2h), fermented soybean 45g (234 ± 86 mg/dl·2h) / 90g (232 ± 100 mg/dl·2h), tofu 400g (133 ± 75 mg/dl·2h), soybean flour 15g (255 ± 57 mg/dl·2h) and bean-curd refuse 50g (295 ± 105 mg/dl·2h)/150g (192 ± 81 mg/dl·2h). Among them, fermented soybean 90g meal, tofu 400g meal and bean-curd refuse 150g meal had significantly suppressed postprandial glucose increase. There was no dose dependency within soybean juice, fermented soybean and bean-curd refuse, respectively.

2) Protein/fat and dietary fiber contents on hypoglycemic effect: Among tested soybean products, meals containing the same 50g of carbohydrate, soybean juice 400ml and tofu 400g meal contained higher protein/fat (above 20g/10g more, respectively), while bean-curd refuse 150g meal contained the highest dietary fiber, above 10g more.

Conclusion: The protein/fat and dietary fiber in soybean products were thought to suppress the postprandial increase in blood sugar.

Key words: postprandial blood glucose, rice, milk, insulin, incretin, glycemic index, protein, fat