

黒大豆添加強飯摂取が人体に及ぼす影響

加賀谷 みえ子*・内 藤 通 孝*

Effect of Boiled Black Soybeans Added to Glutinous Rice

Mieko KAGAYA and Michitaka NAITO

I. 緒 言

黒大豆煮汁の摂取は耐糖能障害，および糖尿病予防に有効であることが検証されている¹⁾。また黒大豆は強い抗酸化性を示す²⁾³⁾など，健康維持機能にとどまらず，生活習慣病の治療食素材としての活用性も考えられている。しかし，黒大豆の煮汁は糖代謝改善作用¹⁾，ラジカル消去能⁴⁾を有し，食物繊維，オリゴ糖，アントシアニン，水溶性タンパク質などの機能性成分が溶出している⁵⁾⁶⁾にも関わらず，多くが調理過程で多量に廃棄されている。呼気中水素ガスは食物繊維の分解物や未消化の炭水化物から産生される。仮説として黒大豆は食物繊維を豊富に含むことから，白飯より多量に呼気中水素を検出するであろうと考えた。また，食物繊維のうち特に水溶性食物繊維（SDF）では粘性，拡散阻害作用により，血糖値の急上昇を抑制すること⁷⁾⁸⁾が知られている。さらに，黒大豆煮汁は α -グルコシダーゼ阻害活性，小腸での輸送を阻害する作用を持つサポニンを含むことから，未消化の炭水化物が大腸に到達し，呼気中水素濃度がさらに増す可能性があると考えた。ヒトでは，水素ガスは自らの細胞によっては生成されず，大腸に住む大量の腸内細菌によって炭水化物が発酵を受け，水素ガスは二酸化炭素・メタンなどとともに産生される。水素の発生は前日の夜に摂取した食事の成分や食物繊維の量が影響する⁹⁾と言われている。先行研究において，食品中の食物繊維量と，呼気中水素が関係していることがわかってきた¹⁰⁾。

著者らは先行研究¹¹⁾において，強飯の食味特性と保存性に及ぼす煮熟黒大豆及び煮汁添加の影響について化学的・物理的性状および保存性を解明し，好適な調理条件を見出し，弱酸性の黒大豆添加強飯が各種測定，保存性，官能検査で良好であったことを既に報告した。そこで，本研究では開発した黒大豆添加強飯を日常摂取に近い試験食として作成し，実際に試験食の人体に及ぼす影響を調べる目的で負荷試験を行い，呼気中水素濃度や生化学検査値，自覚症状の変動を調べ，若干の知見を得たので報告する。

* 生活科学学部 管理栄養学科

II. 対象および方法

1. 対象

被験者は、健康若年女性で非喫煙者 9 名を対象（年齢 21.4 ± 0.5 歳（平均 \pm SD）身長 156.5 ± 4.6 cm，体重 48.9 ± 4.6 kg，BMI 19.9 ± 1.7 kg/m²）とした。本研究は梶山女学園大学生活科学部倫理委員会の承認を得た。被験者には、本研究の目的・実験方法について事前に説明を行い、文書による同意を得て実験を行った。

2. 実験条件

実験前日の夕食には水素を多く発生する可能性のある食品，すなわち，牛乳・乳製品，大豆・大豆製品，繊維食（ごぼう，こんにゃくなど）とアルコールの摂取を禁止した。夕食の食事内容・時刻は一定用紙に記入してもらった。12時間以上の絶食を確保するために前日21時までに食事を摂り，その後は水以外絶食とした。また，夕食後すぐには就寝せず，3時間以上は起きていてもらった。就寝時刻及び実験当日の起床時刻には呼吸を採取するよう求め，各時刻を用紙に記入してもらった。実験当日の朝は，ミネラルウォーター（520ml）のみ自由摂取とし朝食摂取は控えてもらった。また，排便状況を確認するため，同紙に前日・当日の排便の有無を記入してもらい，さらに排便があった場合は便の状態を“軟便・ふつう便（バナナ状）・コロコロ便・便秘気味”の4項目のいずれかに○をつけてもらった。実験前日から受動喫煙を避けるよう求めた。実験開始直前にはミネラルウォーター（520ml）を配布し，以降自由摂取とした。

3. 試験食

(1) 食材料

乾燥黒大豆，（いわい黒豆，北海道十勝産），精米（北海道きさら397，北海道産），食塩（財団法人塩事業センター），食酢（穀物酢，ミツカン酢），超純水（Elix 純水製造装置：日本ポリミアで製造されたものを使用）を用いた。

(2) 試験食の調製方法

試験食は黒大豆添加強飯（以降“黒大豆添加食”と称する）と黒大豆無添加強飯（以降“黒大豆無添加食”と称する）とした。なお黒大豆添加強飯の調整は，あらかじめ乾燥黒大豆60gを500mlの超純水に7時間浸漬後，浸漬液は黒大豆の2倍重量になるよう調整し圧力鍋で強火で加熱し，ピンが2本上がったら弱火にし，さらに3分間加熱を続けた。加熱終了後すぐに蓋に水をかけ圧力鍋を冷やし，煮熟黒大豆と煮汁を分けて放冷した。放冷後，煮汁の重量を確認し，220～230mlになるように超純水で調整し，塩2.9g（全重量の0.5%），食酢3.5g（全重量の0.6%）で調味した。洗米した精米250gは水をよく切った後，調味した煮汁に米を加え一昼夜（約16時間）浸漬した。炊飯器に米，浸漬液，黒大豆を入れ，普通モード（白米用）で炊飯した。炊飯後，黒大豆添加強飯を黒大豆と米飯に分け，黒大豆と米飯をそれぞれ2分割した。試験食1人当たりの強飯重量は炊飯後黒大豆約70g，米飯約220gとした。対照として黒大豆無添加強飯約220gを調製した。

4. 自覚症状の測定方法

「空腹感」、「満腹感」、「吐き気」、「頭痛」、「眠気」、「疲労感」、「ガスが出る」、「腹が張る」、「腹痛がある」、「腹が鳴る」、「便意を感じる」の11項目について自覚症状を記録した。記録は実験開始0分から360分間で、15分毎に記録した。なお、自覚症状は被験者が測定時に感じたままの強さを10cmのスケール（Visual analogue scale（VAS））上に○をつけてもらった。VASは0cmでは自覚症状がなく、10cmでは自覚症状がもっとも強いとし、0cmから○をつけた中心までの長さを測定時の自覚症状の強さとした。

5. 呼気中水素の測定

(1) 呼気サンプル採取法

終末呼気を採取する際、呼吸方法の違いで死腔の大きさが変化し、呼気中水素濃度に差異が出る。そこで、本研究では“普通呼吸をしながら、10秒間息をこらえた後、息を吐き出す”方法を採用した。呼気は市販の呼気採集バックで採集し、試験食摂取前を0分とし、15分間隔で6時間まで採集した。呼気採集は自覚症状の記録と同時に行った。また、呼気中水素濃度は呼気水素・メタン分析装置 Breath Gas Analyzer BGA-1000D（株式会社呼気生化学栄養代謝研究所製）で呼気採集後直ちに分析を行った。その間、被験者には実験中は激しい運動はせず安静座位でできるだけリラックスした状態で過ごし、眠らないように求めた。

(2) 口盲腸通過時間の測定

ヒトでは、水素ガスは自らの細胞によっては生成されない。しかし、大腸に住む大量の腸内細菌によって炭水化物が発酵を受け、水素ガスは二酸化炭素・メタンなどとともに産生される。この水素は即座に結腸上皮を通して血中に拡散し、肺に運ばれて呼気として排出される。この呼気中水素濃度を測定することにより、未消化の炭水化物（食物繊維も含む）が大腸に到達するまでの時間、すなわち口盲腸通過時間を知ることができる。口盲腸通過時間は呼気中水素が3回連続して3ppm以上上昇が見られるまでの時間とした。

(3) 呼気中水素総排出量

一定時間内の呼気中水素総排出量は、累積面積（AUC：Area under the curve）を算出した。呼気中水素総排出量は、大腸内の腸内細菌叢による糖類の発酵の総量に比例し、糖類の発酵・吸収を表す指標となる。本研究ではこの数値を呼気中水素濃度の経時変化から時間×呼気中水素濃度により総面積として求めた。

6. 生化学検査

採血は臥位の安静状態で、肘静脈で行った。試験食摂取後を0分とし、試験食摂取前（空腹時）、摂取後30分、60分、120分、180分の計5回採血し、血糖・インスリン・トリグリセライドの3項目の分析は株式会社エスアールエルに依頼した。試験食は試験食摂取前の採血が終了後約10分間で完食してもらい、その5分後を呼気では“試験食摂取後15分”採血では“試験食摂取後0分”とした。

7. 統計学的検討

結果は平均値±標準誤差で示した。統計は結果の有意性について、繰り返し測定の下

元配置分散分析で行間変動（黒大豆添加食・黒大豆無添加食の2群間変動）と列間変動（時間的変動）を検出した。さらに経過時間ごとに Student's paired t-test を行った。いずれも危険率5%未満を有意差があると判定した。

III. 結 果

1. 試験食

2種類の試験食の栄養成分値を表1に示した。黒大豆添加食は黒大豆無添加食に比べて、炭水化物は約1.1倍、たんぱく質は約2.1倍、脂質は約4.2倍、食物繊維総量は約3.8倍で、大豆添加による栄養成分値がいずれも高値であった。

表1 試験食の栄養成分値

栄養成分		試験食	
		黒大豆 添加食	黒大豆 無添加食
エネルギー	kcal	664	529
たんぱく質	g	20.0	9.5
脂質	g	7.5	1.8
炭水化物	g	121.7	113.2
ナトリウム	mg	570	5
水溶性食物繊維	g	0.5	0
不溶性食物繊維	g	6.4	1.8
食物繊維総量	g	6.9	1.8

2. 自覚症状

自覚症状の結果は、図1に示した。2群ともに試験食摂取後の「空腹感」・「満腹感」の推移をみると満腹感はいずれの試験食も、摂取から15分で最大となり、時間経過に伴い症状は減少し、空腹感の症状は逆に推移し、2群間に有意差はみられなかった。そこでそれぞれの試験食の満腹感と空腹感が交叉する時間を比較すると黒大豆添加食は255～270分であり、黒大豆無添加食は225～240分であったことから、黒大豆添加食では空腹を訴える時間が約30分間長かった。2群間をt検定したところ、空腹感のみ黒大豆無添加食で150分後、165分後、180分後で有意差に高値となった ($p<0.05$)。「吐き気」、「頭痛」、「眠気」、「疲労感」、「腹が鳴る」、「便意を感じる」、「ガスが出る」、「腹が張る」の症状の出現はいずれもわずかで2群間で有意差は見られなかった。

3. 呼気中水素濃度

(1) 呼気中水素濃度の推移

呼気中水素濃度の結果は、図2に示した。二元配置分散分析において行間変動（2群間変動）では有意差はみられず、列間変動（時間的変動）においてはいずれの時間でも有意差がみられた ($p<0.05$)。黒大豆添加食は時間経過に伴い210分以降、呼気中水素濃度が

黒大豆添加強飯摂取が人体に及ぼす影響

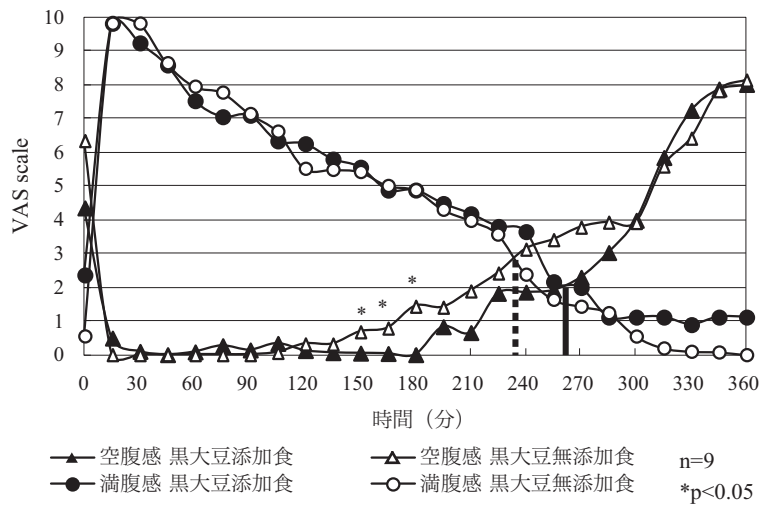


図1 自覚症状の経時推移

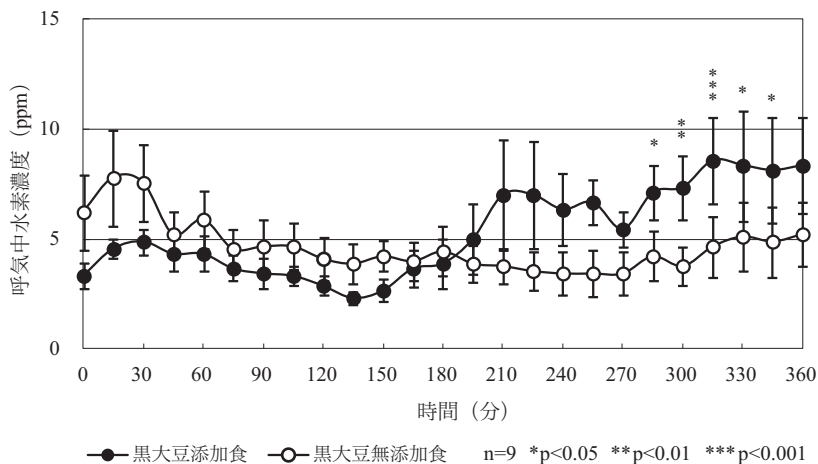


図2 呼気中水素濃度の経時推移

徐々に上昇し、360分では黒大豆添加食と黒大豆無添加食の値の差は3.1ppmであった。黒大豆添加食は285～345分で有意に増加が認められ、238分を口盲腸通過時間と判定できたが、黒大豆無添加食では呼気中水素濃度の上昇はなく、360分まで判定できなかった。

(2) 呼気中水素総排出量の比較

呼気中水素総排出量の結果は、図3に示した。呼気中水素総排出量は、黒大豆添加食が 1901 ± 188 ppm、黒大豆無添加食が 1664 ± 376 ppm で、その差は237ppmであり、2群間で5%の危険率で有意差がみられた。

4. 生化学検査

生化学検査の結果は図4に示した。空腹時血糖値は両群で72～99mg/dlの範囲であり、

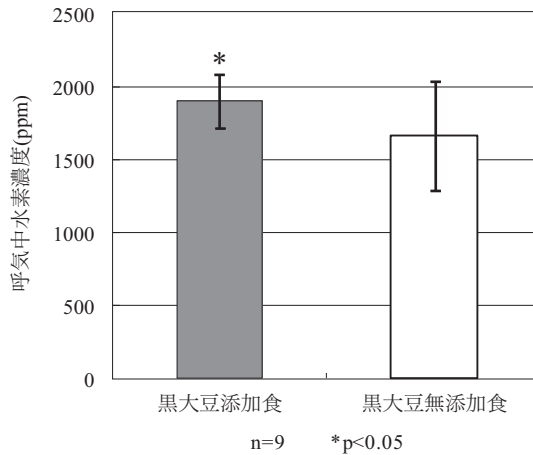


図3 呼気中水素総排出量

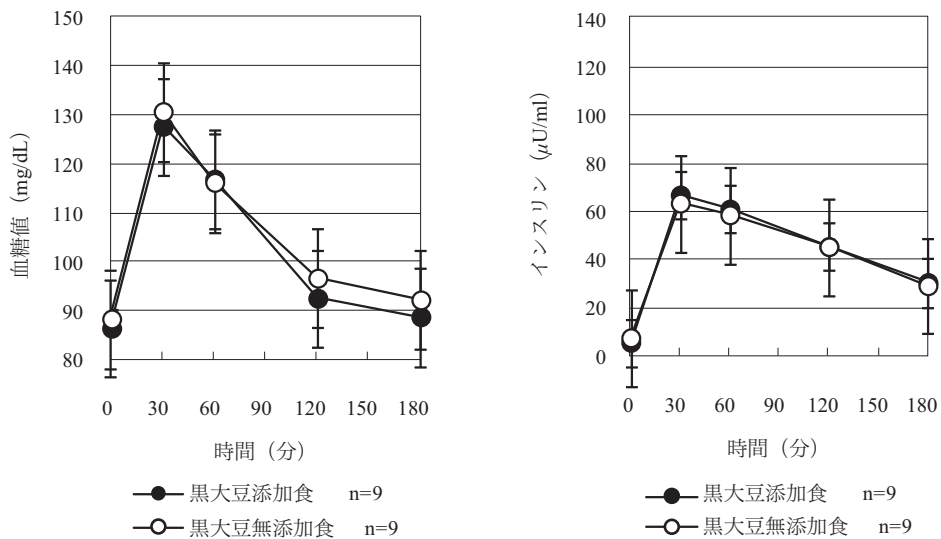


図4 血糖・インスリンの経時推移

食後30分で黒大豆添加食は $127.7 \pm 6.0 \text{ mg/dl}$ 、黒大豆無添加食は $130.7 \pm 9.1 \text{ mg/dl}$ に増加し、180分後の血糖値は黒大豆添加食で $88.8 \pm 3.3 \text{ mg/dl}$ 、黒大豆無添加食で $92.2 \pm 4.3 \text{ mg/dl}$ となり、ほぼ元の値に戻った。インスリン値は食後も血糖値と同様に推移した。2群間変動(行間変動)では有意差はみられず、時間的変動(列間変動)においては有意差がみられた(いずれも $p<0.05$)。トリグリセライドは黒大豆添加食で空腹時の 48.3 mg/dl から180分後の 40.0 mg/dl 、黒大豆無添加食で空腹時の 54.2 mg/dl から180分後には 38.7 mg/dl に若干減少したが、時間経過に伴う2群間の時間的変動にはほとんど差がみられなかった。

IV. 考 察

1. 自覚症状

試験食摂取による自覚症状との関係では、黒大豆添加食は黒大豆無添加食に比べて黒大豆70gを摂取したことによる食物繊維の影響が大きいと考えた。試験食摂取後15分で、「満腹感」は、黒大豆添加群、黒大豆無添加群とも共にVASは約95%まで上昇した。一方「空腹感」は黒大豆無添加群が60分早く上昇し始め、150分後、165分後、180分後では有意に症状は強くなったことから黒大豆の食物繊維量による影響があったと考えられる。食物繊維に富んだ食品は咀嚼回数が多くなることで唾液の分泌量が増し、胃腸内へ流入する食粥の容量が増大する¹²⁾。体積の増加した黒大豆添加食が胃腸に刺激を与えることで満腹感が持続し、空腹感上昇までに時間がかかったのではないかと考えられる。

「吐き気」、「頭痛」、「眠気」、「疲労感」、「腹が鳴る」、「便意を感じる」、「ガスが出る」、「腹が張る」において、黒大豆添加食は食物繊維量が多く、食物繊維の保水作用により胃腸内で膨潤し早く満腹を感じたこと、試験食を10分間という定められた短時間で摂取する必要があったことから、多くの被験者が苦痛を訴えた。本実験の試験食は頭痛に関与せず、「眠気」「疲労感」をもたらずとは考えにくいことがわかった。

「腹が鳴る」では両群共に試験食摂取後210分頃から緩やかに上昇し始め、「ガスが出る」「腹が張る」の低下と入れ替わって上昇がみられた。腹鳴は腸管内の空気が移動する際に発せられる音であり、本実験の結果から要因を判断することは難しい。「便意を感じる」では個人差や胃結腸反射の強度により、試験食間で大差はなかったと考えた。

「ガスが出る」と訴えた者は黒大豆添加食で44%、黒大豆無添加食で11%であったが、経過時間ごとと比較しても有意差はみられず、試験食摂取後210分以前は試験食の発酵分解によるものとは考えにくかった。ただし試験食摂取後120分以降に「ガスが出る」と訴えた者では、黒大豆の食物繊維で強い胃結腸反射が起こったために、大腸内に溜まっていたガスが移動したのと考えられる。豆類の摂取ではガス排出量が10ml/時から176ml/時に急速に増量するという報告¹³⁾があり、ガスの成分は水素だけでなくCO₂も関与することも知られている。そこで、360分以降の呼気採取において高濃度の呼気中水素が認められなくとも、腹部に関する自覚症状の値は再度上昇する可能性が考えられる。

「腹が張る」では「ガスが出る」と同様、口盲腸通過時間に達する以前に上昇の山がみられたので、黒大豆添加食中の食物繊維による体積の増大作用が腸管を伸展させ、「腹が張る」に寄与したのではないかと考えた。

2. 呼気中水素濃度

一般的に食物は液体より固体の方が消化管通過に時間を要するとされている。食物を摂取して排泄されるまでの時間は、食後3～5時間のうちに胃から十二指腸に移送され、4～6時間で回盲部に、12～16時間でS状結腸に到達し、24～72時間で排泄される。消化管通過時間は食物の量と質や大腸の運動機能や吸収能力、その他の要因でも影響を受ける。先行研究の各種呼気ガス実験においては、呼気中水素排出動態を検討する場合、被験者の苦痛を考慮して呼気採集を360分で終了したものが多かった。そこで、本研究において試験時間を延長した場合、黒大豆添加食は黒大豆、若しくはもち米の物理的性質により、

360分以後も上昇の持続が認められたことから、黒大豆添加食は360分以降も呼気採集を行う必要性が指摘された。試験食摂取後の呼気中水素総排出量のAUCは、黒大豆添加食は黒大豆無添加食の1.14倍となり、2群間で有意な差がみられた。黒大豆の炭水化物の50～60%は食物繊維¹⁴⁾で、3～4%の大豆オリゴ糖を含む¹⁵⁾。食物繊維の種類によっては腸内フローラにより発酵・分解を受けるが、その程度は同様に発酵・分解を受けるオリゴ糖、糖アルコールに比べ顕著でない¹⁶⁾。黒大豆添加食摂取により、食物繊維を含む未消化の炭水化物が影響して呼気中水素濃度上昇に関与したと考える。

3. 生化学検査値

黒大豆添加群の血糖値は、黒大豆に含まれる食物繊維、 α -グルコシダーゼ阻害活性、サポニンの作用により、血糖上昇抑制が期待された。食物繊維は水溶性食物繊維(SDF)、不溶性食物繊維(IDF)と分けられ、それぞれが化学的・物理的性質を有する。特に糖代謝に関与する性質として水溶性食物繊維の拡散阻害作用がある。これは水溶性食物繊維が粘度の高いゲルマトリックスを形成し、食品成分の拡散速度と消化吸收を遅延させる。また、黒大豆の有する α -グルコシダーゼ阻害活性は、小腸でマルトースを分解する α -グルコシダーゼ(マルターゼ)の活性を阻害し、サポニンは小腸でのグルコースの輸送を阻害し、糖吸収を抑制する。おからケーキの研究¹⁷⁾において、おからケーキの食物繊維の大部分は不溶性食物繊維量が多く、摂取後の血糖値上昇抑制効果が確認されている。本研究での調理過程において乾燥黒大豆に含まれる食物繊維の多くが煮汁にも移行するため、煮汁を全て炊飯に使用した。また、黒大豆が有する α -グルコシダーゼ阻害活性、サポニンも煮汁に溶け出ることから、この炊飯方法はいずれの機能成分を摂取するにも、この炊飯方法は効果的であると考えた。呼気中水素濃度では食物繊維が腸内細菌の基質となる以外に、 α -グルコシダーゼ阻害活性、サポニンにより分解を阻害された未消化の炭水化物による値の上昇も考えた。しかし、今回、血糖値・インスリン値の推移から2群間を比較すると、血糖値では黒大豆添加食は無添加食に比べて若干低値を示し、インスリン値はほぼ同等であり有意差はみられなかった。黒大豆に含まれる食物繊維の大部分が不溶性であったこと、摂取した食物繊維量も起因し、本研究条件下での黒大豆添加強飯摂取による血糖上昇抑制作用、インスリンの影響は確認できなかった。

V. 結 論

本研究では、先行研究¹¹⁾において調理科学的分析と官能検査で良好と評価された条件の試験食を調製し、試験食摂取後の人体に及ぼす影響を探る目的で、黒大豆添加の有無の比較を行った。そこで摂取前後の自覚症状、呼気中水素ガス濃度、血糖値、インスリン値、トリグリセライド値を測定し、血糖上昇の遅延、抑制に影響を及ぼすかどうか検討した。

自覚症状では、黒大豆添加食は黒大豆無添加食に比べて空腹感を訴えるまでの時間が長かったことから、生活習慣病予防、糖尿病食に應用できると考えられた。一方、耐糖能に有用と思われた黒大豆添加食は、黒大豆無添加食に比べて、呼気中水素濃度の上昇がみられたものの、血糖値・インスリン値の上昇抑制は顕著に現れなかった。今回は単回試験を行った結果であったことから、今後は食物繊維の質と量を考慮して長期摂取試験を行うな

ど実験期間の延長を検討したい。

謝辞

研究の遂行に際し、ご協力いただきました松田彩加氏、大林加奈氏、小木曾愛氏、被験者の皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 石原万里名, 鍋野(埴山)由佳, 木村友子, 内藤通孝: 黒大豆煮汁の糖代謝改善作用に関する研究. 日本食生活学会誌, Vol. 19, pp. 232-238 (2008)
- 2) Haba R, Watanabe S, Arai Y, and Chiba H.: Suppression of Lipid-hydro-peroxide and DNA-Adduct Formation by Isoflavone-Containing Soy Hypocotyl Tea in Rats. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 7, pp. 64-73 (2002)
- 3) Takahata Y, Ohnizhi-Kameyama M, Furuta S, Takahashi M, and Suda I.: Highly Polymerized Procyanidins in Brown Soybean Seed Coat with a High Radical-Scavenging Activity. *J Agric Food Chem*, 49, pp. 5843-5847 (2001)
- 4) 荒川彰彦, 長谷俊治: 加工食品のラジカル補足活性. 近畿中国四国農業研究成果情報, Vol. 2001, pp. 329-330 (2002)
- 5) 古田正範, 樋口智子: 食品関連未利用資源の素材化に関する調査研究. 大豆蒸煮液を利用した乳酸菌発酵食品の試作. 福岡県工業技術センター研究報告, 14, pp. 39-42 (2004)
- 6) 米安実: 黒大豆の有効利用を考える. 広島文教食物栄養研究会誌, 23, pp. 36-37 (2006)
- 7) Jenkins D, Wolever T, Leeds A, Gassull M, Hasiman P, Dilawari J, Goff D, Metz G, and Alberi K.: Dietary Fibers, Fiber Analogue and Glucoses Tolerance; Important of Viscosity. *Brit. Med. J*, 1, pp. 1392-1394 (1978)
- 8) Holt S, Heading R, Carter D, Prescott L, and Tothill R.: Effect of Gel Fiber on Gastric Emptying, and Absorption of Glucose and Paracetamol. *The Lancet*, 1, pp. 636-639 (1979)
- 9) Neale R.: Dietary Fiber and Health: The Role of Hydrogen Production. *Medical Hypotheses*, 27, pp. 85-87 (1988)
- 10) 加賀谷みえ子, 松谷康子, 堀部博, 高開井, 近藤孝晴: 日常的な食物の腸内発酵と消化吸収. *Nagoya J. Health, physical Fitness, Sport*, 23, pp. 1-6 (2000)
- 11) 加賀谷みえ子, 木村友子, 内藤通孝, 菅原龍幸: 強飯の食味特性と保存性に及ぼす煮熟黒大豆および煮汁添加の影響. 日本調理科学会誌, 44, pp. 31-38 (2011)
- 12) Leeds A, Bolster N, Andrews R, and Truswell A.: Meal Viscosity, Gastric Emptying and Glucose Absorption in the Rat. *Proc. Nutr. Soc.*, 38, 44A (1979)
- 13) 光岡知足編: 腸内細菌学, pp. 394-395 (1997), 株式会社朝倉書店, 東京
- 14) 大畑秀穂: 日本食品大辞典, 杉田浩一, 田島眞, 平宏和, 安井明美編, p. 78, 医歯薬出版株式会社, 東京 (2008)
- 15) 平春江, 田中弘美, 斎藤昌義: 国産大豆の全糖・遊離型全糖および遊離糖類の含量. 日本食品科学工学会誌, 36, pp. 969-980 (1989)
- 16) 中村禎子, 奥恒行: ヒトにおける呼気水素ガス試験による発酵分解評価の有効性とそれに基づく各種食物繊維素材のエネルギー評価の試み. 日本食物繊維学会誌, 9, pp. 34-36 (2005)
- 17) 船津保浩, 西村由紀子, 石下真人, 上馬場和夫, 西尾由紀夫, 寺島晃也, 真船直樹: おからケーキの血糖上昇抑制効果と官能特性. 日本食品科学工学会誌, 55, pp. 367-372 (2008)