

機関番号：33910

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500693

研究課題名（和文） 調理加工は食物繊維の生理作用を制御できるか

研究課題名（英文） Is it possible that cooking conditions control the physiological effects of dietary fiber?

研究代表者

山中 なつみ (YAMANAKA NATSUMI)

中部大学・応用生物学部・教授

研究者番号：00257528

研究成果の概要（和文）：食品の調理に伴う食物繊維の量や物理的性質の変化と、その変化が食物繊維の生理作用に与える影響について、米とさつまいもを試料として調べた。飯の食物繊維量は炒めてから炊飯することによって増加し、ラットにおける食後血糖値も低かった。さつまいもの食物繊維量は加熱によって増加し、未加熱のさつまいもよりラットの盲腸組織重量の増加を促進した。食物繊維の生理作用は調理条件によって変化し、調理加工による食物繊維の生理作用制御の可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：The change in the amount and physical property of dietary fiber (DF) during cooking, and the influence of the change on the physiological effect were investigated using rice and sweet potato as samples. The amount of DF in cooked rice increased by panfrying before cooked, and the blood sugar level was suppressed in rats. The amount of DF in sweet potato increased by cooking. The tissue weight of cecum of rats fed cooked sweet potato was heavier than that of rats fed raw sweet potato. These results indicated that the physiological property of DF changes according to cooking conditions. The possibility was suggested that the cooking condition could control the physiological property of DF.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：栄養学

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：米、さつまいも、食物繊維、粘度、保水性、腸内発酵、食後血糖値

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまでの研究において、海藻に含まれる食物繊維の粘度と生理作用との関連を調べ、食物繊維の粘度が栄養素の消化吸収や腸内発酵を左右することを明らか

にしてきた。その作用機序として、粘度の高い食物繊維の存在によって消化管内容物の粘度が上昇し、栄養素の拡散、移動が抑制されることにより、消化吸収の遅延や阻害、腸内発酵の抑制が発現することを示唆した。ま

た、攪拌温度や調味料添加などの調理条件に伴う海藻の食物繊維の粘度変化を調べ、その調理条件に伴う粘度の違いが、血糖値の上昇抑制や腸内発酵に影響を及ぼすという実験結果も得た。実際の食生活において、食物繊維は食品中の成分として様々な調理加工を施された後に摂取される場合がほとんどであり、調理加工は食物繊維の生理作用を左右する重要な要因であることが示された。

食物繊維によって栄養素の消化吸収が抑制されることは糖尿病や肥満の予防には効果的であるが、消化吸収能の低い幼児や高齢者では低栄養の原因となる可能性がある。また、腸内発酵で産生される短鎖脂肪酸には消化管粘膜の増殖、血中脂質濃度の低下など有益な作用が知られているが、乳糖不耐症者においては腸内発酵を抑制することで乳酸産生量を減らし下痢を防ぐことができる。このように食物繊維がもたらす生理作用は摂取する対象者の身体状況により有用性が変化するものであると考えられる。

以上のことから、加熱や調味料の添加など様々な調理加工条件に伴う食物繊維の量と性質の変化を明らかにし、調理加工によってこれらをコントロールすることが可能となれば、摂取する対象者に適した調理加工方法の提案、食物繊維の機能をより生かした食生活の提案が可能になると考えた。

## 2. 研究の目的

食物繊維の摂取に伴う「消化吸収の抑制」や「腸内発酵の促進」などの生理作用は、食物繊維の摂取量ならびに粘度や保水性などの物理的性質によって左右される。従って食品の調理加工条件に伴い食物繊維の含量や物理的性質が変化することによって生理作用も変化するものと考えられる。本研究ではこの調理加工に伴う食物繊維の性状変化に注目し、調理加工によって食物繊維の含量や物理的性質をコントロールすることによってその生理作用を制御する可能性について検討することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1)炊飯と飯の食物繊維

主食として摂取量の多い米について、炊飯方法の違いが飯の食物繊維の量と物理的性質ならびに腸内発酵性に及ぼす影響を調べた。さらにラットを用いた動物実験により、食後血糖値に及ぼす影響を検討した。

#### ①食物繊維の量と性質への影響

岐阜県産コシヒカリ(90%搗精)を洗米し、1.4倍量の水を加え25℃で1時間浸漬した後、間接式電気釜で25分加熱、10分蒸らしたものを白飯試料とした。また、しょうゆを添加

(米重量に対する塩分1.5%)して炊飯したものを味つけ飯試料、洗米後の米をサラダ油(米重量の6%)で3分炒めた後、ガスオーブンで加熱(190℃,15分)したものをピラフ試料とした。各試料を凍結乾燥した後、プロスキー法により総食物繊維(TDF)を定量した。

食物繊維の物理的性質としてTDFの5%水溶液について、回転粘度計(TVE-20H 東機産業株式会社)により試料温度37℃、回転数100rpmにおけるみかけの粘度を測定した。

#### ②腸内発酵性への影響

各試料のTDFの2%溶液に豚盲腸内容物から調製した洗浄菌体を加え、37℃で8時間培養し、短鎖脂肪酸(酢酸,プロピオン酸,酪酸)産生量をHPLCにより測定した。

#### ③食後血糖値に及ぼす影響

6週令Wistar系雄ラット(1群5匹)に固形飼料と水を自由摂取させて1週間予備飼育した。16時間絶食した後、TDFを5%含む10%グルコース水溶液をゾンデで経口投与(1g/体重100g)した。投与前と投与0.5,1,2,4時間後に尾静脈を切開、グルテストセンサー(三和化学自己検査用キット)を用いて血糖値を測定した。凍結乾燥、粉碎した飯についても、10%水溶液を用い同様の方法で投与後の血糖値の変化を調べた。

## (2)加熱とさつまいもの食物繊維

さつまいもは食物繊維含量が高く、摂取する際には必ず加熱が必要な食品である。これまでの研究により、加熱によって不溶性食物繊維が増加し、加熱時間の長い蒸し加熱の方が加熱時間の短い電子レンジ加熱に比べてその影響が顕著であることを明らかにした。本研究では、さつまいもの加熱が食物繊維の物理的性質に及ぼす影響を調べるとともに、加熱方法の違いに基づくさつまいもの食物繊維量の違いが生理作用に及ぼす影響について検討した。

#### ①食物繊維の性質への影響

さつまいもは各務原市産ベニアズマを用いた。加熱調理法として「蒸し加熱」と「電子レンジ加熱」を用いた。直径4cm、厚さ2cmの輪切りにしたさつまいもをできあがりの硬さが同じ(10.92×10<sup>4</sup>Pa,11.69×10<sup>4</sup>Pa)になるように蒸し加熱では強火で12分、電子レンジ加熱では500Wで2.5分加熱した。加熱前ならびに加熱後のさつまいもについて、プロスキー変法の条件に基づき水溶性食物繊維(SDF)と不溶性食物繊維(IDF)を抽出した。

SDFの10%水溶液について、回転粘度計(TVE-20H 東機産業株式会社)を用いて試料温度20℃、回転数20rpmにおけるみかけの粘度を測定した。IDFについては、20倍量の水を加え12時間放置して吸水させた後、遠心分離(8,000×g,20min)して得られた沈殿

物の重量を測定した。吸水前の IDF の重量に対する沈殿物重量の割合を保水性として比較した。

## ②食後血糖値に及ぼす影響

加熱前ならびに加熱後のさつまいもを凍結乾燥後、粉碎し試料とした。6週令の Wistar 系雄ラットに試料を 10%含む 10%グルコース水溶液をゾンデで経口投与し (1g/体重 100g)、投与前と投与 0.5, 1, 2, 4 時間後に尾静脈血の血糖値をグルテストセンサーで測定した。さらに試料よりプロスキー法の条件に基づき抽出した TDF についても、5%水溶液を用い同様の方法で投与後の血糖値の変化を調べた。

## ③消化吸収に及ぼす影響

加熱方法の違いに基づく食物繊維量の違いが消化管の形態や消化吸収機能、腸内発酵性に及ぼす影響について、ラットを用いた動物実験により検討した。さつまいもは茨城県産ベニアズマを用い、未加熱、蒸し加熱、電子レンジ加熱試料を調製した。6週令 Wistar 系雄ラットを用い、AIN-93G 飼料組成のセルロースをコーンスターチに置換した無繊維飼料を摂取させた対照群と、さつまいも摂取群 (未加熱群、蒸し加熱群、レンジ加熱群) の計 4 群 (1 群 7 匹) を設けた。さつまいもは他の飼料組成と混合せずに給与し、さつまいもと他の飼料組成の摂取量が偏らないよう、給与量を予備飼育時の飼料摂取量の 80% に制限し、全量摂取させた。20 日間飼育後、エーテル麻酔下で開腹し消化管組織重量、盲腸内短鎖脂肪酸量 (酢酸, プロピオン酸, 酪酸) を測定した。

## 4. 研究成果

### (1)炊飯と飯の食物繊維

#### ①食物繊維の量と性質への影響

白飯と味付け飯の TDF 量はともに 0.28% であり、炊飯時のしょうゆ添加が飯の TDF 量に与える影響は認められなかった。ピラフの TDF 量は 1.38% で、白飯や味付け飯に比べて有意に高かった。TDF のみかけの粘度は、白飯や味付け飯に比べピラフで有意に低かった。米を炒めてから炊飯するという加熱条件の違いが飯の TDF 量ならびに粘度に影響を及ぼすことが示された。

TDF を一般分析した結果、白飯と味付け飯の TDF はいずれも約 70% がタンパク質であり、次いで糖質が約 22%、灰分が約 8% でほぼ同じ成分組成であった。これに対しピラフではタンパク質が 40% と白飯や味付け飯に比べて低く、糖質が 58% と高かった。この結果から、ピラフの TDF 量が白飯や、味付け飯に比べて増加した要因は、消化酵素によって分解されない糖質、つまりレジスタントスターチがピラフでは多いためであることが示され

た。ピラフでは、洗米後、米を油で炒めてから水を加え、高温で急速に加熱することから、米の中心まで十分に吸水、糊化が行われず、この炊飯方法がレジスタントスターチの増加につながったものと考えられた。

## ②腸内発酵性への影響

基質とした TDF 1mg あたりの短鎖脂肪酸産生量を、酢酸、プロピオン酸、酪酸の合計量として比較すると、白飯、味付け飯、ピラフのいずれにおいても約  $8 \mu\text{mol}$  であった。TDF の腸内発酵性には炊飯方法の違いによる影響は認められなかった。しかし、同量の飯を摂取した場合には、TDF 含量の高いピラフでは白飯や味付け飯に比べ、短鎖脂肪酸産生量が多くなる可能性が考えられた。

## ③食後血糖値に及ぼす影響

TDF とグルコース投与後の血糖値は各群とも 0.5 時間後に最高となった (図 1)。グルコースのみを投与したコントロール群の最高血糖値が 218 mg/dl と最も高く、次いで白飯 TDF 群 200mg/dl、味付け飯 TDF 群 196mg/dl であった。これらの群間には有意差は認められず、白飯ならびに味付け飯の TDF には有意な血糖値の上昇抑制効果は認められなかった。ピラフ TDF 群の最高血糖値は 172mg/dl と最も低く、コントロール群との間に有意差が認められたことから、ピラフの TDF にはグルコースの吸収を抑制し、血糖値の上昇を抑制する効果のあることが示された。さらに、ピラフ TDF 群の最高血糖値は白飯 TDF 群に比べても有意に低く、炊飯方法の違いが飯の TDF の生理作用にも影響を及ぼすことが示された。

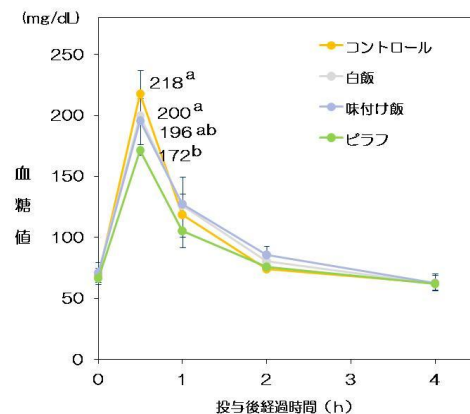


図 1 炊飯方法の違いが飯の食物繊維の血糖値上昇抑制効果に及ぼす影響

飯を投与した場合、投与 0.5 時間後の最高血糖値は、白飯群が最も高く 186mg/dl、次いで味付け飯群の 155mg/dl、ピラフ群が最も低く 139mg/dl であった (図 3)。白飯群とピラフ群の間には有意差が認められ、ピラフは白飯に比べて食後の血糖値が上昇しにくいことが示された。この結果は、TDF 投与後の血

糖値の変化と同様の傾向であり、炊飯方法の違いに基づく TDF の量や性状の違いが、飯を摂取した後の血糖値にも影響を及ぼす可能性が示された。

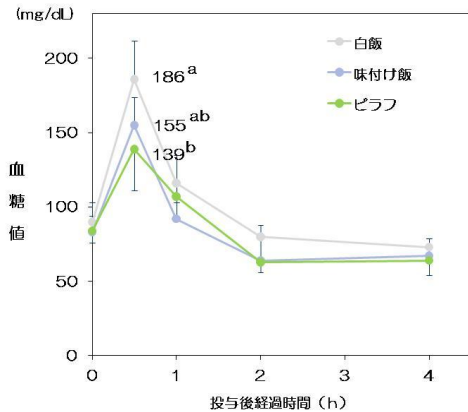


図2 炊飯方法の違いが飯の食後血糖値に及ぼす影響

## (2)加熱とさつまいもの食物繊維

### ①食物繊維の性質への影響

SDFのみかけの粘度は蒸し加熱 48.9cP、電子レンジ加熱 54.4cP であり、加熱方法による違いはなく、未加熱のさつまいもの 51.6cP とも差はなかった。IDF の保水性は蒸し加熱 391%、電子レンジ加熱 420%であり、いずれの加熱調理でも未加熱の 521%に比べて低かった。これまでの研究により、さつまいもは加熱によって IDF が増加し、加熱時間の長い蒸し加熱の方が電子レンジ加熱に比べその影響が顕著であることを明らかにしてきたが、加熱によって IDF は量が増えるとともに性質も変化していることが示された。

### ②食後血糖値に及ぼす影響

TDF とグルコース投与後の血糖値は、各群とも 0.5 時間後に最高となった。未加熱のさつまいもの TDF を投与した群の最高血糖値が 182 mg/dl と最も高く、次いで蒸し加熱 TDF 群 166mg/dl、電子レンジ加熱 TDF 群 161 mg/dl であったが、これらの群間には有意差は認められなかった。さつまいもの TDF の血糖値上昇抑制作用には加熱による影響は認められなかった。

さつまいもを投与した場合における最高血糖値は、蒸し加熱群が 158mg/dl、電子レンジ加熱 141mg/dl であり、未加熱群の 101mg/dl に比べて高かったが、有意差は認められなかった。さつまいもの加熱による IDF 量の増加は、さつまいもを摂取した後の血糖値には影響を及ぼさなかった。

### ③消化吸収に及ぼす影響

飼育 5、10、15、20 日目に測定した体重は、いずれも未加熱群がもっとも高く、次いで対照群、蒸し加熱群、レンジ加熱群の順に低く、

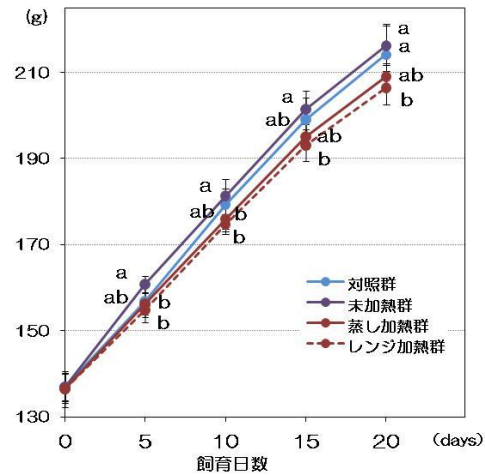


図3 飼育期間中の体重変化

異なるアルファベットは各飼育日数において群間に有意差があることを示す。(p<0.05, n=7)

未加熱群とレンジ加熱群の間には有意差が認められた (図3)。未加熱のさつまいもよりも加熱したさつまいもを摂取したラットの方が、体重が増加しにくいという結果が得られた。さつまいもを加熱することで IDF が増加することや、その IDF によってともに摂取したタンパク質や脂質の消化吸収が抑制されている可能性が考えられた。今後、消化管内容物の粘度や各栄養素の消化吸収率を測定し、未加熱のさつまいもよりも、加熱したさつまいもの摂取によって体重増加が抑制された原因を明らかにする必要がある。

消化管組織重量を測定した結果、胃と小腸組織重量は、いずれの群間にも差は認められなかった。盲腸組織重量は蒸し加熱群が 0.75g で最も大きく、次いでレンジ加熱群の 0.68g、未加熱群の 0.55g、対照群の 0.40g で、いずれの値の間にも有意差が認められた。結腸組織重量は、対照群に比べてさつまいもを摂取した 3 群が有意に大きくなった。これらの組織重量は消化管内容物重量と同様の傾向であり、内容物の嵩が増すことに伴って大腸の組織が発達したと考えられた。食物繊維の嵩形成能がさつまいもの加熱によって高まり、盲腸の組織重量増加という生理作用に影響を及ぼしたことが示唆された。また、蒸し加熱群の方がレンジ加熱群よりも盲腸組織重量が多くなっており、加熱方法の違いによる影響が認められた。

盲腸内容物中の酢酸、プロピオン酸、酪酸量を測定した結果、無繊維飼料を摂取した対照群に比べ、さつまいもを摂取した 3 群の方がいずれの脂肪酸量も有意に多くなった。さつまいも摂取群では、未加熱群に比べて蒸し加熱群、レンジ加熱群の方がいずれの脂肪酸量も多い傾向がみられ、酢酸と酪酸では有意差が認められた。さつまいもの加熱によって食物繊維が増加したことが、盲腸内での発酵

基質の増加につながり、短鎖脂肪酸産生量に影響を及ぼしたことが考えられた。

研究者番号：

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 山中なつみ, 大場君枝, 小川宣子, さつまいもの加熱調理が食物繊維の生理作用に及ぼす影響, 岐阜女子大学紀要, 査読有, 第39号, 2010, 49-58

[学会発表] (計6件)

- ① 山中なつみ, 山田和, 小川宣子, 加熱調理がさつまいものルミナコイドの生理作用に及ぼす影響, 第65回日本栄養・食糧学会大会, 2011.5.15, お茶の水女子大学
- ② 山中なつみ, 山田和, 小川宣子, 炊飯方法の違いが飯のルミナコイドに及ぼす影響, 平成22年度日本調理科学会東海・北陸支部研究発表会, 2010.7.10, 仁愛大学
- ③ 山中なつみ, 大場君枝, 小川宣子, 食物繊維の生理作用に及ぼす調理の影響－さつまいもの加熱調理－, 日本食物繊維学会第14回学術集会, 2009.10.24, 岐阜大学
- ④ 山中なつみ, 調理が消化吸収に及ぼす影響, 日本調理科学会平成20年度大会シンポジウム, 2008.8.29, 椋山女学園大学
- ⑤ 山中なつみ, 大場君枝, 小川宣子, 炊飯条件の違いが飯に含まれる食物繊維の性状に及ぼす影響, 日本調理科学会平成20年度大会, 2008.8.29, 椋山女学園大学
- ⑥ N. Yamanaka, K. Ohba, Y. Itoh, N. Ogawa, Is it possible that cooking conditions control the physiological effects of dietary fiber?, International Federation for HomeEconomics World Congress 2008, 2008.7.29, Lucerne, Switzerland

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山中 なつみ (YAMANAKA NATSUMI)  
中部大学・応用生物学部・教授  
研究者番号：00257528

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )