

# 加熱調理による食物繊維の性状変化

大場君枝, 山中なつみ, 小川宣子

家政学部健康栄養学科

(2005年11月9日受理)

## Changes in Properties of Dietary Fiber by Cooking

Department of Health and Nutrition, Faculty of Home Economics,  
Gifu Women's University, 80 Taromaru, Gifu, Japan (〒501 - 2592 )

OHBA Kimie, YAMANAKA Natsumi and OGAWA Noriko

( Received November 9 , 2005 )

### ・ 緒 言

食品は生で食べるだけでなく、組織の軟化などの目的で加熱調理が必要な食品も多い。加熱調理は食品に含まれる糖質、蛋白質、脂質、ビタミンなどの栄養素の性質や量を変化させる<sup>1,2,3,4)</sup>。性質の変化にはタンパク質の熱変性、量の変化にはビタミンの破壊などが上げられる<sup>3,4)</sup>。これらの栄養素の性状変化は加熱調理後の食品を摂取したときの栄養価に影響すると考えられる。食物繊維においても食品の加熱調理により食物繊維の量や性質が変化する可能性があるのではないかと推定した。

食物繊維は水への溶解性の違いによって水溶性食物繊維（以下SDF）と不溶性食物繊維（以下IDF）とに分けられ、各々の持つ性質の違いから生理作用も異なるとされている。SDFはペクチンやアルギン酸などのように水に溶けると高い粘性を示すものが多い<sup>5)</sup>。SDFを摂取することにより消化管内容物は粘度を増し、これにより栄養素や消化酵素の拡散が抑制され、栄養素の消化吸収が緩慢になることで血糖の上昇抑制につながり、インスリンが節約されるなどの生理効果が期

待されている<sup>5,6)</sup>。一方のIDFは保水性を持つことから、消化管内で水分を吸着して消化管内容物のカサを増やすため、食物の消化管通過時間を短縮し、排便回数ならびに便量の増加をもたらすとされている<sup>5,6)</sup>。また、食物繊維の一部は、大腸において腸内細菌による発酵を受け、短鎖脂肪酸に分解されエネルギー源として利用される<sup>7)</sup>。一般的にSDFの方がIDFに比べて腸内細菌による発酵の基質となりやすく、発酵性が高いことが知られている<sup>8)</sup>。

SDFとIDFでは生理作用が異なり、粘性や保水性などの性質は食物繊維の生理作用を大きく左右することから、加熱調理によって食物繊維の生理作用が変化する可能性が考えられる。

そこで、本研究では加熱調理による食物繊維の性状変化を明らかにすることを目的とした。食物繊維を多く含むさつまいもを試料として、加熱調理によるSDF、IDFの量の変化を調べるとともに、SDF、IDFの性質として腸内発酵性について加熱調理に伴う変化を調べた。さつまいもの加熱調理は、調理法の違いによる影響も調べるため、蒸し加熱と電子レンジ加熱で行った。腸内発酵性については

加熱調理したさつまいも及び生さつまいもから抽出したSDF及びIDFを基質とし、豚の盲腸内容物由来の菌体を用いたバッチ培養法により検討した。

## 方 法

### 1. 加熱調理によるSDF, IDF量の変化

#### (1) 試料

さつまいもは各務原産ベニアズマ(平成16年10月31日収穫)を試料とした。

#### (2) 試料の調製

さつまいもを水洗いし水分をふき取った後、厚さ2cmの輪切りにし、クッキー型(4cm)でくりぬいた。これを喫食に適した硬さになるまで、蒸し加熱では100(ガス流量1.81/min)の蒸し器内で12分、電子レンジ加熱では200Wで3.5分加熱した。この結果、加熱後の試料の硬さはクリープメーターの破断強度解析(サンプルサイズ10×10×10mm, プランジャー 40mm円形, 測定速度0.5mm/sec)により、蒸し加熱したさつまいもは $8.88 \times 10^4$ Pa, 電子レンジ加熱したさつまいもは $9.44 \times 10^4$ Paであり、蒸し加熱と電子レンジ加熱のさつまいもの間に有意差は認められなかった。

生、蒸し加熱, 電子レンジ加熱した試料は、さつまいもの個体差による影響を少なくするため、一本のさつまいもより調製した。調製後の試料は、0.5cm角で長さ2cmの拍子切りにし、40の通風乾燥機(ADVANTEC FV 320)で20時間乾燥させた後、乳鉢で粉碎し、ふるい(42メッシュ目幅0.355mm)に通した。

乾燥後の試料重量より、加熱前の生のさつまいも100gに対する乾燥粉末試料の収率を求めた。

### (3) SDF, IDFの定量

SDF, IDFの定量方法は、Prosky変法<sup>9)</sup>を用いた。

#### 1) るつぼ型ガラスフィルターの恒量

ガラスフィルター(Pyrex 1G2)は電気マッフル炉(イズ製作所株式会社 MR 13K)で525 1時間加熱し、室温に冷却後、ろ過補助剤であるセライト(Wako No.545)0.5gを入れ、130 で1時間加熱し、デシケーターで30分放冷後、恒量を0.3mgの精度で秤量した。

#### 2) 酵素処理

1 (2)で調製した試料1g, 0.08Mリン酸緩衝液(pH6.0: Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.40g/l, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 10.94g/l)50mlを、三角フラスコ(200ml)に入れ、耐熱性αアミラーゼ(Sigma A 3306)0.1mlを加え、沸騰水浴中で5分毎に振とうしながら、試料温度を95以上に保って30分間反応させ、デンプンを加水分解した。

処理液は室温で冷却し、0.275N水酸化ナトリウム溶液を約10ml加え、pH7.5±0.1に調整した後、プロテアーゼ(Sigma A 3910)5mgを加え、湯浴中で振とうしながら試料温度を60として30分間反応させ、タンパク質を加水分解した。

タンパク質分解後の処理液は、室温で冷却後、0.325M塩酸溶液約10mlでpH4.5±0.1に調整し、アミログルコシダーゼ(Sigma A 9913)0.3mlを加え、湯浴中で振とうしながら試料温度60で30分間反応させ、デキストリン、マルトースを加水分解した。

#### 3) 水溶性, 不溶性画分の分画

2)の酵素反応液は、1)であらかじめ恒量にしておいたガラスフィルターに流し込み、吸引ろ過して、水溶性画分(ろ液)と不溶性画分(残渣)とに分画した。

#### 4) SDF の定量

3) で得た水溶性画分（ろ液）は，65 に加温した95%エタノール280ml（ろ液の約4倍量）を加え，60分間静置してろ液中のSDFを沈殿させた。このSDFの沈殿を含む溶液は，恒量済みの別のガラスフィルターに流し込み吸引ろ過した。ろ過後の残渣は78%エタノール20mlで3回，95%エタノール10mlで2回，アセトン10mlで2回洗浄した。

洗浄後，残渣入りのガラスフィルターは，SDF画分を定量するため，110 の乾熱機（東洋製作所株式会社 TS-TYPE OVEN）で3時間乾燥させた後，デシケーター内で30分間放冷，1時間乾燥を繰り返し恒量にした。

乾燥後恒量にしたSDF画分は，SDF量を算出するため，525 で灰化して灰分を定量し，SDF量は，SDF画分からこの灰分を差し引いた値とした。Prosky 変法では，SDF画分に含まれるタンパク質を定量し，これも差し引いた値をSDF量とするが，本実験では非消化性タンパク質も食物繊維とみなし，SDF画分中のタンパク質を差し引かず，下記の式により生さつまいも100gに対するSDF量（%）を求めた。

SDF 量（%）

$$= \{(W_2 - W_1) / S \times 100\} \times (100 - C) / 100$$

W<sub>1</sub>: ガラスフィルターの恒量値 (g)

W<sub>2</sub>: 定量後のガラスフィルターの恒量値 (g)

S: 生さつまいも重量 (g)

$$= \text{乾燥粉末試料 (g)} / \text{収率} \times 100$$

C: 生さつまいも重量100g に対するSDF画分中の灰分重量 (g)

#### 5) IDF の定量

3) で得た不溶性画分（残渣）は，95%エタノール溶液10mlで2回，アセトン10mlで2回洗浄した後，SDF画分と同様にIDF画分を乾燥，定量した。さらにIDF画分の灰分を定量し，SDF量と同様の算出式でIDF

量を求めた。

## 2. 加熱調理による腸内発酵性の変化

### (1) 基質

パッチ培養法で用いる基質は，蒸し加熱，レンジ加熱後および生のさつまいもより

1と同様の方法により抽出したSDF画分とIDF画分とした。

### (2) 培養方法

培養は外狩ら<sup>10)</sup>の報告に準じ，基質濃度2%，培養時間12時間で行った。培養に用いたブタ盲腸内容物は，愛知県農業総合試験場において屠殺直後のブタより採取した。

### (3) 測定項目

培養前ならびに培養12時間後における培養液中の全糖量はフェノール硫酸法により測定した。全糖量の変化からSDF，IDFが腸内細菌によりどれだけ分解されたかを調べ，発酵性を推測した。

## ・結果及び考察

### 1. 加熱調理によるSDF，IDF量の変化

加熱調理後ならびに生のさつまいもに含まれるSDFとIDFを定量した結果を図1に示した。

SDF量は，生のさつまいも（以下，生と略す。）に含まれる量が1.82%であったのに対し，蒸し加熱したさつまいも（以下，蒸し加熱と略す。）では2.20%であった。生に比べ蒸し加熱のSDF量がやや高かったが，有意差は認められなかった。電子レンジ加熱したさつまいも（以下，レンジ加熱と略す。）のSDF量は1.80%と生とほぼ同じ値であった。これらの結果から，さつまいものSDF量は加熱調理によって変化しないことが示された。

IDF量は生2.13%に比べ，蒸し加熱3.32%，

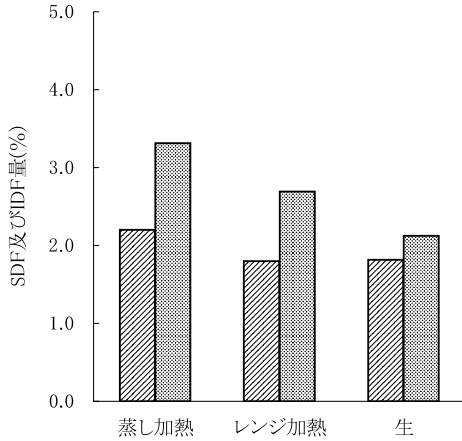


図1 加熱調理したさつまいもに含まれる SDF 及び IDF 量

■ 水溶性食物繊維(SDF) ■ 不溶性食物繊維(IDF)  
 ・値は3回測定した平均値を示す。

レンジ加熱2.69%であった。これより IDF 量は、各試料の IDF 量に有意差は認められなかったが、加熱調理により増加する傾向がみられた。野菜やいも類、穀類などデンプンを含む食品においては、加熱調理によってデンプンの一部が不溶化し、不溶性デンプンが増加するという報告<sup>11)</sup>もある。よって、さつまいもの IDF 量は加熱調理の影響を受け増加することが考えられた。また、IDF 量は、加熱時間の短いレンジ加熱に比べて、加熱時間の長い蒸し加熱で多くなる傾向がみられたことから、IDF 量の変化には加熱方法の違い

が影響を与え、加熱時間の長い調理方法の方が IDF 量を増加させる可能性が考えられた。

## 2. 加熱調理による腸内発酵性の変化

SDF, IDF の発酵性を培養液中の全糖量の変化から調べた結果を表1に示した。結果は培養前の全糖量を100%とした時の培養12時間後の全糖量の割合で示した。

生のさつまいもに含まれる SDF を基質とした場合は、培養12時間後の全糖量は培養前の49.9%であった。培養後の全糖量が培養前より減少していたことから、生のさつまいもに含まれる SDF は腸内細菌による発酵を受け、分解されることが明らかとなった。

加熱調理したさつまいもの場合は、蒸し加熱では44.7%、レンジ加熱では71.9%と、いずれも培養前に比べて全糖量が減少しており、生の場合と同様、腸内細菌による発酵を受け分解されることが示された。

加熱調理による SDF の発酵性への影響を調べた結果、蒸し加熱した場合は、44.7%と生の場合の49.9%と全糖量の割合に有意差は認められなかったことから、さつまいもに含まれる SDF の発酵性は蒸し加熱によっては変化しないことが示された。しかし、レンジ加熱した場合は、培養12時間後の全糖量が培養前の71.9%と、生ならびに蒸し加熱した場

表1 調理法の異なる IDF, SDF を基質としたバッチ培養における全糖量の変化 (%)

	蒸し加熱	レンジ加熱	生
SDF	44.7 ± 8.8 <sup>c</sup>	71.9 ± 3.2 <sup>b</sup>	49.9 ± 4.7 <sup>c</sup>
IDF	83.0 ± 17.3 <sup>ab</sup>	79.0 ± 1.8 <sup>ab</sup>	74.2 ± 5.8 <sup>b</sup>

・ 値は培養0時間の全糖量を100%としたときの培養12時間後における全糖量の割合を示す。

・ 値は3回測定した平均値を示す。

・ 異なるアルファベットは、5%以下の危険率で各調理法並びに SDF, IDF における全糖量の割合に有意差があることを示す。

・ SDF は水溶性食物繊維, IDF は不溶性食物繊維を示す。

合に比べて有意 ( $p < 0.01$ ) に高い値であり、多くの SDF が培養12時間後においても分解されずに残っていることが示された。これより、電子レンジで加熱したさつまいもの SDF は蒸し加熱した場合よりも腸内細菌による分解を受けにくく発酵性が低いことが示され、調理法の違いが SDF の発酵性に影響を与えることが明らかとなった。調理法の違いによる加熱条件について加熱時間に伴う試料中心温度の変化や加熱前後の水分含量の変化を調べた結果、試料中心温度の変化は、蒸し加熱では4分間で試料中心温度が71.2 となったのに対し、電子レンジ加熱では3.5分間で99.7 まで上昇した。加熱後の試料重量は、蒸し加熱では加熱前の102.5%，レンジ加熱では83.9%であったことから、試料の水分含量は、蒸し加熱により増加、レンジ加熱により減少することが示され、調理法の違いによる加熱条件に大きな違いがみられた。また、野菜などに含まれる SDF 成分であるペクチンなどのような粘性多糖類の水溶液は調製時の温度や pH などの条件の変化によりゲルを形成し、弾性を増すなど物理的な性質が変化するとされている<sup>12)</sup>。よって、電子レンジ加熱における食品の急激な温度上昇や水分含量の変化がこのような SDF の持つ物理的な性質を変化させる要因となり、発酵速度を抑制するなどの SDF の発酵性に影響を与えている可能性が考えられた。今後、加熱調理条件の異なる試料から抽出した SDF の水溶液の粘度などを調べ、加熱調理条件の違いが食物繊維の物理的性質の変化に与える影響を検討する必要があると考える。

一方、IDF を基質とした場合、培養12時間後の全糖量は、生では74.2%，蒸し加熱では83.0%，レンジ加熱では79.0%であり、いずれも培養前に比べ減少していた。これより IDF は SDF と同様に腸内細菌により分解さ

れることが明らかとなった。しかし、SDF と IDF の発酵性を比較すると、培養12時間後における全糖量はいずれの基質においても IDF の方が SDF より高い傾向を示し、蒸し加熱、生では有意 ( $p < 0.01$ ) に高かったことから、IDF は SDF より腸内細菌により分解されにくく発酵性が低いことが示された。

加熱調理による IDF の発酵性への影響は、蒸し加熱、レンジ加熱の培養12時間後の全糖量と、生の全糖量との間に有意差は認められず、IDF の発酵性は加熱調理及び調理法の違いによる影響を受けないことが示された。

以上の結果より、さつまいもに含まれる食物繊維の腸内発酵性は加熱調理の影響により変化することが明らかとなった。その影響は調理法の違いによって異なり、蒸し加熱は発酵性に影響を与えないが、電子レンジ加熱は SDF の発酵性を低下させることが示唆された。

## 要 約

加熱調理したさつまいもの SDF と IDF の含量及び腸内発酵性から、加熱調理による食物繊維の性状変化について検討した。

調理法は調理法の違いによる影響も調べるため、蒸す方法と電子レンジで加熱する方法とした。腸内発酵性は、生及び加熱調理したさつまいもから抽出した SDF、IDF を基質とし、豚盲腸内容物由来の洗浄菌体を加え培養し、培養前後の全糖量の変化から調べた。

その結果、加熱調理したさつまいもの SDF 量は生と有意差はなく、加熱調理は SDF 量に影響しないことが示された。しかし、IDF 量は有意差はみられなかったが、SDF と異なり加熱調理により IDF 量が増加する可能性を示唆した。

SDF の腸内発酵性を調べた結果、レンジ加熱が蒸し加熱に比べ全糖量の割合が高く、

レンジ加熱した SDF は発酵性が低いことが示され、調理法の違いが SDF の発酵性に影響を与えたと考えられた。IDF の発酵性は全糖量の変化に調理法の違いによる差はみられず、加熱調理及び調理法の違いに影響を受けないと考えられた。

．謝 辞

本研究を行うにあたり、実験試料をご提供いただきました各務原商工会議所、愛知県農業総合試験場豚育種研究室の皆様には深く感謝致します。

．参考文献

- 1) 太田伸輔：「食品学総論」，加藤保子編，33 34 (1990)
- 2) 福田靖子，申七郎，内島幸江：「食品学総論」，加藤保子編，57 (1990)
- 3) 申七郎：「食品学総論」，加藤保子編，81 82 (1990)
- 4) 内島幸江：「食品学総論」，加藤保子編，102 (1990)
- 5) 辻啓介：「食物繊維の科学」，辻啓介，森文平編，6，12 (1997)
- 6) 武田秀敏，桐山修八：「食物繊維」，印南敏，桐山修八編，64，68 69 (1990)
- 7) 坂田隆，市川宏文：短鎖脂肪酸の生理活性．日本油化学学会誌，46，1207 1208 (1997)
- 8) 森文平：「食物繊維」，印南敏，桐山修八編，95 97 (1990)
- 9) 綾野雄幸：「食物繊維」，印南敏，桐山修八編，50 53 (1990)
- 10) 外狩なつみ，小川宣子：ブタ盲腸内容物を利用したバッチ培養法による食品の栄養生理学的評価．岐阜女子大学紀要，24，27 28 (1994)
- 11) 小巻利章：「食品工業と酵素」，一島英治編，41 43 (1983)
- 12) 武田秀敏，桐山修八：「食物繊維」，印南敏，桐山修八編，70 71 (1990)