

アカモク加工品が米飯摂取時の血糖動態に及ぼす影響

齋藤 義之 (山口県立大学 大学院健康福祉学研究所, y.saitou@shimonoseki-jc.ac.jp)

森田 捺美 (山口県立大学 看護栄養学部)

平田 修弥 (山口県立大学 看護栄養学部)

小柳 藍衣 (山口県立大学 看護栄養学部)

徳田 和央 (山口県立大学 看護栄養学部, ktokuda@yamaguchi-pu.ac.jp)

内田 耕一 (セントヒル病院 消化器内科, uchida@sthill-hp.or.jp)

人見 英里 (山口県立大学 大学院健康福祉学研究所, hitomi@yamaguchi-pu.ac.jp)

The effect of consuming processed Akamoku (*Sargassum horneri*) products with rice on blood glucose dynamics

Yoshiyuki Saito (Graduate School of Health and Welfare, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

Natsumi Morita (Faculty of Nursing and Nutrition, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

Shuya Hirata (Faculty of Nursing and Nutrition, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

Ai Koyanagi (Faculty of Nursing and Nutrition, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

Kazuhiro Tokuda (Faculty of Nursing and Nutrition, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

Koichi Uchida (Department of Gastroenterology, St. Hill Hospital, Japan)

Eri Hitomi (Graduate School of Health and Welfare, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

要約

アカモク (*Sargassum horneri*) は北海道東部を除く日本沿岸に広く分布する褐藻で、一部の地域を除いて食用とされていなかったが、近年全国的に食されるようになってきた。本種は茹で加工をすることで鮮やかな緑色に変化するとともに特有の粘りのある食感となる。本研究では、市販の茹で加工済みアカモクやこれに電子レンジ加熱処理を施し粘性を低減させた加熱アカモクを、米飯とともに朝食もしくは昼食として摂取することが食後の血糖動態に及ぼす影響について調べた。実験では米飯、吸い物およびふりかけからなる基本食、基本食に市販の加工済みアカモクを加えたアカモク食、基本食に加熱アカモクを加えた加熱アカモク食の3種の試験食を用い、これらの試験食を摂取した際の血糖動態について、健康な成人男女を対象に連続血糖値測定器「FreeStyle リブレ®」を用いて測定し比較した。その結果、アカモクもしくは加熱アカモクの摂取は食後最大血糖値、血糖上昇値、血糖上昇時間、血糖下降時間および血糖値曲線下面積を低下または遅延させる効果は認められないものの、血糖上昇速度を抑制する効果を持つことが示唆された。したがって、アカモクや加熱アカモクの摂取は食後の血糖値の急激な上昇を抑制する働きがあるものの、体内に吸収される糖質量は抑制されず、栄養素の吸収を阻害しないと考えられた。

Abstract

Akamoku (*Sargassum horneri*) is brown algae widely distributed along the coast of Japan except in eastern Hokkaido. Although it is traditionally considered inedible in many regions, it has gained popularity nationwide as a food source. When boiled, this species turns vibrant green and develops a distinctive sticky texture. We aimed to explore the effect of incorporating commercially available boiled Akamoku or microwave-boiled Akamoku into breakfast or lunch meals along with rice on postprandial blood glucose dynamics. The experiment included three distinct test meals: a standard meal comprising rice, soup, and seasoning; an Akamoku-enriched meal incorporating commercially available processed Akamoku with standard components; and a microwave-boiled Akamoku meal with standard meal components. The blood glucose dynamics in these three dietary conditions were compared among healthy adult male and female participants using the FreeStyle Libre® flash glucose monitoring system. The results suggested that both boiled Akamoku and microwave-boiled Akamoku exhibited a notable effect in suppressing the rate of blood glucose increase. However, no significant influence on the reduction or delay in the maximum postprandial blood glucose level, rise value, rise and fall times, or incremental area under the curve was observed. These findings indicate that while the ingestion of boiled or microwave-boiled Akamoku effectively attenuates the rapid postprandial rise in blood glucose levels, it does not impede bodily absorption of sugars or nutrients.

キーワード

褐藻, アカモク, 水溶性食物繊維, 血糖値, 食後高血糖

1. 緒言

アカモク (*Sargassum horneri*) はヒバマタ目ホンダワラ科に属する一年生の褐藻で、日本では北海道東部を除く全国に

分布している。高い生産力を持つ海藻であり (谷口・山田, 1988) 藻場を形成することから魚類などの産卵場や幼稚魚の成育場として重要な役割を持つ (Umezaki, 1983)。秋田県では「ぎばさ」、新潟県では「ながも」と呼ばれ食用として採取されているが (海老名, 2009; 福田他, 2005)、枯死し流れ藻となったアカモクが漁船のスクリューや養殖筏に絡まるなど漁

業の邪魔にもなることから、多くの地域では敬遠され食用とされずに廃棄されていた（谷原他, 2019）。アカモクは生の状態では褐色を帯びているが、熱湯で茹でることで鮮やかな緑色に変化し、特有の強い粘り気のある食感となる（村上, 2011）。その粘り成分は水溶性食物繊維のフコイダンとアルギン酸であるが、春先（山口県日本海沿岸においては2月から3月）にアカモクが成熟し、生殖器床が出現するとフコイダン量が急増する（木村他, 2007）。フコイダンには抗血液凝固活性（Church et al., 1989）やコレステロール低下作用（上原他, 1996）、抗腫瘍効果（松田他, 2005; 山下他, 2017）などの生理活性があることが知られている。

一方、厚生労働省（2020）によれば「令和元年国民健康・栄養調査」において、20歳以上で「糖尿病を強く疑われる者」の割合は男性19.7%、女性10.8%とされており、糖尿病に罹患すると、神経障害や腎症、網膜症、心疾患などの合併症の発症リスクが高まることから、糖尿病の予防は日本人の健康にとって重要な課題であると言える。糖尿病の予防には食事を含む生活習慣の改善が重要であり、中でも食物繊維の十分な摂取は糖尿病の予防に有効であることがReynolds et al. (2019) によるメタ解析により示されている。食物繊維の中でも粘性の高い水溶性食物繊維は、糖質の輸送や消化吸収を抑制あるいは遅延し、これによって血糖の上昇は抑制され、インスリン分泌も減少すると考えられている（Blackburn et al., 1984; Jenkins et al., 1977; 1978; Morgan et al., 1985）。最近では、水溶性食物繊維におけるこれらの機能性から、食物繊維を多く含む食品の摂取により血糖動態の変化を観察する研究がマウスや人を対象に行われている。海藻類については、Kim et al. (2023) によるメタ解析により、アカモクと同じ褐藻類の海藻やその抽出物の摂取が食後血糖値を低下させることが報告されているが、これまで食用としては敬遠され、利用度が高くなかったアカモクを用いて人を対象とした同様の研究はまだない。

また、アカモクはフコキサンチンを多く含んでおり、その含量は同じ褐藻類のマコブやホンダワラより多いことが報告されている（金沢, 2012; 西川他, 2016）。フコキサンチンにはがんの予防作用、抗肥満作用、脂質代謝改善作用、高血糖改善効果など多くの機能性が期待されている（金沢, 2012）。アカモクを副菜として摂取することは、水溶性食物繊維だけでなく、フコキサンチンの摂取も可能となることから、これらの機能性についても期待できる可能性がある。

そこで本研究では、粘性の高い水溶性食物繊維に富むアカ

モクを用いて、血糖上昇の抑制に関与しているとされる粘性の有無にも着目し、アカモクおよび粘性を低減させるために電子レンジにより加熱したアカモクそれぞれを米飯とともに摂取した際に血糖動態に及ぼす影響を調べた。

2. 材料と方法

2.1 被験者

本研究は、山口県立大学生命倫理委員会の承認を得たのち実施した（承認番号2019-26, 2019-46, 2020-17, 2020-24）。被験者は、本研究への参加に同意の得られたA大学に所属する40～65歳までの教職員男女25名とした。なお、直近の検診時や病院受診時に糖尿病等の耐糖能異常や血糖値異常に関する指摘を受けておらず、かつ本研究で試験食として摂取する食品（アカモク以外の海藻も含む海藻類、ポン酢、米飯、吸い物、ふりかけ、それぞれに含まれる成分）に対する食物アレルギーの無い者を被験者とした。

2.2 試験食

試験食は、包装米飯（ふっくらつや炊きたきたてご飯、TableMark）180g、インスタント吸い物（松茸の味お吸い物、永谷園）3g、ふりかけ（タナカの〈ふりかけ〉ミニパック、田中食品株式会社）2.5gを基本食とした。基本食に市販のアカモク加工品（ポン酢たれ付き山口県産アカモク、株式会社EVAH）70gと付属のポン酢10gを加えたものをアカモク食とした。また、基本食に粘性を低減させるため電子レンジ（500W）で5分間加熱した前述の市販アカモク加工品と付属のポン酢（10g）を加えたものを加熱アカモク食とした。水については、ペットボトル入り飲用水（麒麟のやわらか天然水310mL、麒麟ビバレッジ株式会社）を1食につき1本配布した（表1）。

本研究で用いた市販のアカモク加工品は、加工業者が原料のアカモクを一度ボイルし、ミートチョッパーを用いて細切した状態で販売されているものを用いた。35gの個包装で冷凍あるいは冷蔵流通しており、解凍後は強い粘性を有しているが、電子レンジ加熱により水分を蒸発させることで粘性を低減することができる。用いたアカモク加工品の栄養成分を表2に示した。

2.3 使用機器

血糖値測定には、連続血糖値測定器「FreeStyle リブレ®」（アボットジャパン）を用いた。

表1：各試験食の構成

①基本食	②アカモク食	③加熱アカモク食	分量
包装米飯	包装米飯	包装米飯	180g
インスタント吸い物	インスタント吸い物	インスタント吸い物	1袋
ふりかけ	ふりかけ	ふりかけ	1袋
	アカモク	アカモク (粘性を低減させるため 電子レンジで5分加熱)	70g
	ポン酢	ポン酢	10g
水	水	水	310mL

表2：アカモクの栄養成分

エネルギー (kcal)	14.4
たんぱく質 (g)	0.8
脂質 (g)	0.0
炭水化物 (g)	3.7
糖質 (g)	2.0
食物繊維 (g)	1.7
食塩相当量 (g)	1.0

注：アカモク 35 g、ボン酢 10 g あたりの値(製造会社調べ)。

2.4 試験デザイン

試験は最長 14 日間行い、被験者は血糖値測定器を装着してから 3 日目以降に 1 日 1 食、朝食または昼食として試験食を摂取した。

朝食に摂取する場合は前日 22 時以降、水のみを摂取可とした。昼食の場合は、朝食後 2 時間以上空けて昼食を摂取し、かつ、昼食まで水以外摂取しないよう指示した。試験食はできるだけ食事開始から 15 分以内に完食するよう指示した。試験食摂取時の飲水については、配布したペットボトル入り飲用水で必要な量を摂取するように指示し、飲水量の指定はしなかった。試験食を摂取後 3 時間以降は 22 時までには自由摂食とし、試験期間内を通してできるだけ通常通りの食事や生活を行うよう指示した。

14 日間の試験期間中に各試験食を摂取する日は被験者自身で設定した。

2.5 血糖値測定および評価方法

血糖値測定は最長 14 日間行い、最初の 2 日間は、試験食を摂取しない通常生活時の血糖動態を測定し、3 日目以降に朝食または昼食の代わりに試験食を摂取した場合の血糖動態を測定した。測定は摂取後 2 時間まで行った。測定に用いた「FreeStyle リブレ®」は 15 分間隔で血糖値を自動測定するが、血糖動態を正確に把握するため、試験食摂取直前、摂取直後 (0 分)、摂取後 15 分、30 分、45 分、60 分、90 分および 120 分に手動での測定もあわせて行った。

測定された血糖値から①食後最大血糖値、②血糖上昇値、③血糖上昇時間、④血糖下降時間、⑤血糖上昇速度、⑥血糖値曲線下面積を求めて比較検討した。②血糖上昇値は、食後

最大血糖値から摂取直前の血糖値をひいた値、③血糖上昇時間は、食事開始から食後最大血糖値となるまでの時間、④血糖下降時間は、食後最大血糖値から食事開始時の血糖値に戻るまでの時間をそれぞれ表す。また⑤血糖上昇速度は、②血糖上昇値を③血糖上昇時間で除した値であり、⑥血糖値曲線下面積はグルコースの吸収量を表す。

2.6 統計解析

統計解析にはエクセル統計 2019 (株式会社社会情報サービス) を用いた。評価方法の項で示した各評価項目における 3 種の試験食間の差について一元配置分散分析および Tukey-Kramer の多重比較を行った。有意水準は 5 % とした。

3. 結果

3.1 被験者の基本情報

被験者は男性 8 名、女性 17 名の計 25 名であった (表 3)。年齢は 52.5 ± 7.3 歳で、身長は男性 172.3 ± 4.3 cm 女性 159.8 ± 3.6 cm、体重は男性 71.5 ± 6.3 kg、女性 58.5 ± 7.2 kg (平均値 ± 標準偏差) であった。

表3：被験者の属性

	男性 (n = 8)	女性 (n = 17)
年齢 (歳)	53.1 ± 5.6	52.2 ± 8.4
身長 (cm)	172.3 ± 4.3	159.8 ± 3.6
体重 (kg)	71.5 ± 6.3	58.5 ± 7.2
BMI (kg/m ²)	24.1 ± 2.3	22.9 ± 2.7

注：値は平均値 ± 標準偏差で示した。

3.2 試験食摂取の基本データ

それぞれの試験食について、朝食・昼食別の食事回数、食事に要した時間、摂食量・飲水量が 100 % 未満であった回数、服薬がある人数、サプリメントを摂取した人数を表 4 に示した。

試験食は延べ数として、朝食として摂取された回数が 59 回、昼食として摂取された回数が 91 回であった。また、平均食事時間は試験食間で大きな差はなかった。アカモク食において摂食量が 100 % に満たない者が 3 名いたが、いずれも味付け用のふりかけ摂取量の差であり血糖動態に及ぼす影響は少ないと考えデータを利用した。

表4：試験食摂取の基本データ

	基本食 (n = 51)	アカモク食 (n = 51)	加熱アカモク食 (n = 49)
食事回数 (回)	朝食	20	19
	昼食	31	30
食事時間 (分)	11.2 ± 4.1	11.8 ± 3.7	12.0 ± 3.3
摂食量 100 % 未満 (回)	0	3	0
飲水量 100 % 未満 (回)	16	16	13
服薬あり者 (人)	5	5	7
サプリメント摂取者 (人)	1	2	1

3.3 血糖値データ

被験者の血糖動態を表5および図1に示した。各試験食間で比較した結果、食後最大血糖値、血糖上昇値、血糖上昇時間、血糖下降時間および血糖値曲線下面積についてはいずれも有意な差は認められなかったが、血糖上昇速度において、アカモク食摂取時および加熱アカモク食摂取時は普通食摂取時と比較して有意に低値を示した。

本研究では試験食の摂取のタイミングを朝食と昼食のいずれ

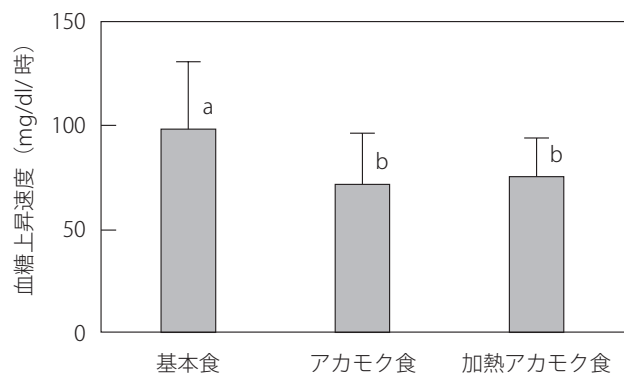


図1：各試験食の血糖上昇速度

注：値は平均値±標準偏差で示した（基本食n = 51、アカモク食n = 51、加熱アカモク食n = 49）。試験食間の比較はTukey-Kramerの多重比較により行い、異なるアルファベット間で有意差(p < 0.01)があると示した。

れかとし、ひとつに指定していない。そこで、試験食を朝食として摂取した場合（以下朝食群）と昼食として摂取した場合（以下昼食群）とで群分けし比較検討した。

比較方法は各評価項目について、①朝食群における試験食別3群間、②昼食群における試験食別3群間、③各試験食群における朝食群と昼食群の2群間の比較をそれぞれ一元配置分散分析により行った。

摂取タイミング別に比較した結果を表6に示した。①の朝食群における試験食別3群間の比較では、血糖上昇速度以外の評価項目では試験食群間に有意な差は認められなかった。有意差の認められた血糖上昇速度についてTukey-Kramerの多重比較検定を行った結果、アカモク食群は基本食群と比較して血糖上昇速度が遅くなる傾向が見られた (p = 0.058, 図2 (a))。②の昼食群における試験食別3群間の比較では、全ての評価項目で試験食群間に有意な差は認められなかったが、血糖上昇速度については有意差傾向が見られたため (p = 0.068)、Tukey-Kramerの多重比較検定を行った結果、アカモク食群は基本食群と比較して血糖上昇速度が遅くなる傾向が見られた (p = 0.074, 図2 (b))。③の各試験食群における朝食群と昼食群の2群間の比較では、食後最大血糖値および血糖上昇速度については全ての試験食群において朝食群と昼食群との間に有意な差は認められなかった。一方、血糖上昇値、血糖上昇時間、血糖下降時間および血糖値曲線下面積については、血糖下降時間の加熱アカモク群を除き、昼食群は朝食

表5：各試験食別の食後血糖動態

	基本食	アカモク食	加熱アカモク食
食後最大血糖値(mg/dl)	168.2 ± 34.6	155.5 ± 33.8	155.1 ± 30.5
血糖上昇値(mg/dl)	83.3 ± 28.8	70.3 ± 26.2	71.2 ± 23.8
血糖上昇時間(時間)	0.92 ± 0.27	1.06 ± 0.32	0.99 ± 0.29
血糖下降時間(時間)	2.10 ± 0.69	2.15 ± 0.75	2.35 ± 0.93
血糖値曲線下面積(mg · min/dl)	6,761 ± 3,599	6,341 ± 3,508	6,859 ± 3,588

注：値は平均値±標準偏差で示した（基本食n = 51、アカモク食n = 51、加熱アカモク食n = 49）。各測定項目の試験食間の比較はTukey-Kramerの多重比較により行った。

表6：各試験食別・摂取タイミング別の血糖動態

		基本食	アカモク食	加熱アカモク食
食後最大血糖値(mg/dl)	朝食群	151.4 ± 23.9	143.4 ± 24.8	144.8 ± 24.2
	昼食群	175.4 ± 38.3	163.6 ± 36.4	163.3 ± 31.6
血糖上昇値(mg/dl)	朝食群	64.3 ± 11.9	56.5 ± 14.6	56.3 ± 13.2
	昼食群	92.7 ± 31.6 *	79.9 ± 27.9 *	81.0 ± 23.7 **
血糖上昇時間(時間)	朝食群	0.70 ± 0.18	0.82 ± 0.19	0.76 ± 0.15
	昼食群	1.05 ± 0.22 **	1.21 ± 0.29 **	1.12 ± 0.25 **
血糖下降時間(時間)	朝食群	1.69 ± 0.49	1.69 ± 0.65	2.02 ± 1.00
	昼食群	2.40 ± 0.66 **	2.46 ± 0.64 **	2.59 ± 0.77
血糖値曲線下面積(mg · min/dl)	朝食群	3,875 ± 1,784	3,574 ± 1,765	4,636 ± 2,502
	昼食群	8,360 ± 3,340 **	8,186 ± 3,151 **	8,409 ± 3,461 **

注：値は平均値±標準偏差で示した（朝食群：基本食n = 20、アカモク食n = 20、加熱アカモク食n = 19、昼食群：基本食n = 30、アカモク食n = 29、加熱アカモク食n = 29）。各行の試験食3群間の比較を一元配置分散分析により行った。各列の測定項目ごとの朝食群vs.昼食群の比較を一元配置分散分析により行い、有意に高値を示した群を* : p < 0.0、** : p < 0.01で示した。

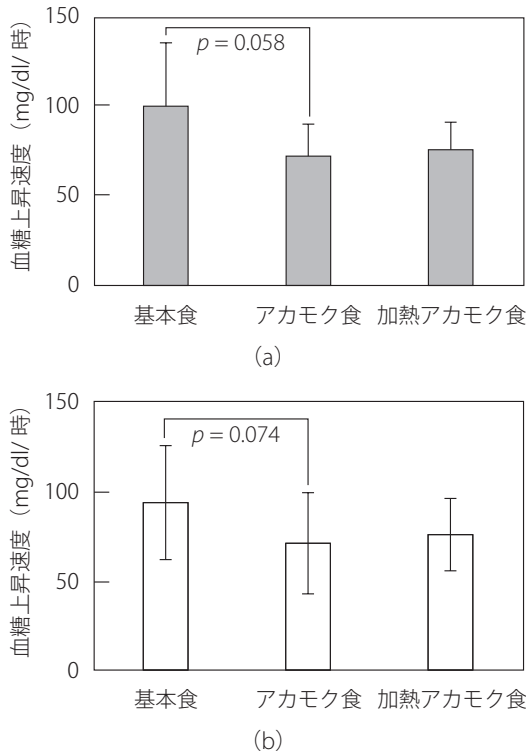


図2：朝食および昼食における試験食別血糖上昇速度

注：値は平均値±標準偏差で示した（朝食群：基本食 $n = 20$ 、アカモク食 $n = 20$ 、加熱アカモク食 $n = 19$ 、昼食群：基本食 $n = 30$ 、アカモク食 $n = 29$ 、加熱アカモク食 $n = 29$ ）。一元配置分散分析で有意差の認められた朝食群 (a)、および有意差傾向のあった昼食群 (b) それぞれについて試験食群間の比較を Tukey-Kramer の多重比較検定により行った結果を示した。

群と比較して有意に高値を示した。

4. 考察

本研究では、水溶性食物繊維であるフコイダンを含むアカモクの血糖値上昇抑制効果について、通常の食事を想定し米飯とともに副菜として摂取した際の血糖動態を把握し検討した。水溶性食物繊維の血糖値上昇抑制効果は、主にその粘性によるグルコースの消化管内滞留時間の延長と小腸での吸収阻害の2つの要因によるものであると考えられている (海老原, 2008)。穀類では、モチ性の大麦混合米飯摂取により、 β グルカン量に依存した血糖値の上昇抑制効果があることや (青江他, 2018a)、小麦全粒粉配合パンの摂取により小麦粉と比較して食後の最大血糖値上昇を抑制することが報告されている (青江他, 2018b)。また、日本沿岸に分布する海藻においてはワカメの摂取が食後血糖値を低下させることや (Zaharudin et al., 2021)、マウスへのエゴノリ抽出物の前投与が、グルコースによる血糖値の上昇を抑制することが報告されている (村上他, 2020)。本研究では、食後最大血糖値、血糖上昇値のいずれの結果からも血糖値上昇抑制作用は確認できなかった。また、グルコースの消化管内滞留時間に関する指標として血糖上昇時間を算出したが、アカモクおよび加熱アカモクいずれも血糖上昇時間の延長は認められず、グルコースの消化管内滞留時間には影響を及ぼさないと推測された。これらのことから、アカモクまたは加熱アカモクの摂取

は血糖値上昇については影響を及ぼさないと推測された。

一方で、血糖上昇速度については、アカモク食および加熱アカモク食摂取時とともに基本食摂取時と比べて低下することが認められたことから、アカモクおよび加熱アカモクの摂取は血糖値の急激な上昇を抑制する働きがあることが示された。食後血糖値の急激な上昇を繰り返すことは血糖値スパイクとも言われ、空腹時血糖値の上昇にもつながると考えられている (Monnier et al., 2007)。このことから、アカモク食および加熱アカモク食の摂取は、食後の血糖値の急激な上昇を抑制することで高血糖を予防する効果を持つ可能性が示唆された。また、血糖値スパイクは慢性の代謝異常や、これにより引き起こされる生活習慣病と関連すると考えられている (赤嶺, 2021; 市川, 2011) ことから、アカモク食および加熱アカモク食は前述のワカメなどと同様に代謝異常や生活習慣病のリスク低減にも有効である可能性が示唆された。

アカモク食および加熱アカモク食摂取時の血糖値曲線下面積は、基本食摂取時と比べ有意な差は認められなかった。これは、血糖値の上昇速度が緩やかになった一方で食後最大血糖値や血糖上昇値は大きく変化しなかったことによるものと推測された。血糖値曲線下面積は人体における糖質の吸収量をあらわす指標であるため、アカモクまたは加熱アカモクの摂取は人体に吸収される糖質量を抑制する働きは持たず、栄養素の吸収を阻害しないことが示唆された。

粘性については、水溶性食物繊維は粘度が大きいほどグルコースの消化管内滞留時間が延長し、吸収量が減少したという報告がある (Ebihara and Kiriya, 1982)。今回用いたアカモクおよび加熱アカモクでは、これらの作用は確認されなかったが、いずれにおいても血糖上昇速度の低下が認められた。電子レンジ加熱したアカモクは水分が蒸発することで粘性が大幅に減少しているが、減少した量の水分を加えることで、加熱前のアカモクほどではないが粘性が復活することを確認している。このことから、加熱アカモクは加熱直後には粘性を有していないものの、摂食された後に口腔内の唾液や消化管内の消化液によって粘性が回復することで、その粘性がアカモク食と同様に基本食摂取時と比較した血糖上昇速度の低下に影響を与えたと推測された。

試験食を摂取したタイミングにより朝食群、昼食群を分けて比較検討した結果からは、血糖上昇値、血糖上昇時間、血糖下降時間および血糖値曲線下面積のいずれも、ほとんどの比較において昼食群が朝食群より有意に高い値を示したことから、朝食より昼食の方が糖質の消化管内滞留時間が長く、体内吸収量が大きかったことが示された。一方で、血糖上昇速度については朝食群、昼食群の比較では、すべての試験食群で有意差は認められなかったが、試験食群間の比較ではアカモク食群が基本食群と比較して摂食タイミングによらず低くなる傾向が見られた。このことから、朝食、昼食の摂取タイミングに着目すると、アカモク食にはどちらで摂取した場合も血糖値の急激な上昇を抑制する働きがある可能性が示唆された。

一方、朝食の欠食や食事内容の違いは昼食の血糖応答に影響を与えるとされており (Hayashi et al., 2017)、中でも低GIの食事が高GIの食事と比べて次の食事の後の血糖応答をより

低くする現象はセカンドミール効果と呼ばれている (Olever et al., 1988)。本研究では被験者に対して試験食を摂取するタイミングを朝食もしくは昼食と指定しており、全150回の摂取のうち91回で昼食が選択された。そのため、昼食に試験食を摂取した場合、その日の朝食は各自で異なっており、その内容によってセカンドミール効果のように昼食後の血糖動態に影響を及ぼした可能性も考えられる。このことから、より正確なデータを得るためには、試験食の摂取を朝食時に統一するなどの方法が有効であると考えられる。

本研究では、アカモクの粘性に着目して血糖動態に及ぼす影響について検討した。本種を茹で加工した際、特有の粘性を示す成分として水溶性食物繊維のフコイダンやアルギン酸がある。一方、粘性には関与しない成分であるが、海洋性カロテノイドの一つであるフコキサンチンを含んでおり、フコイダン同様にアカモクが成熟する春先に含量が高くなることが報告されている (二村他, 2023)。ワカメやヒジキ、モズクなどの褐藻類に多く含まれるこの3成分は、抗血液凝固活性やコレステロール低下作用、抗腫瘍効果、抗肥満作用、脂質代謝改善作用、抗酸化能など多様な健康効果が期待され、サプリメントも販売されている。これらの成分を多く含むアカモクを通常の食事における副菜として摂取した際の健康効果について、今回は高血糖を予防する効果を持つ可能性が示唆された。他の多様な健康効果についても、さらなる研究が望まれる。

5. まとめ

本研究では、市販の茹で加工済みアカモクと、これを電子レンジで加熱し粘性を低減させた加熱アカモクについて、米飯とともに食事として摂取することが食後の血糖動態に及ぼす影響について検討した。その結果、茹で加工済みアカモクおよび加熱アカモクの摂取はいずれも血糖値の急激な上昇を抑制し、高血糖や血糖値スパイクの予防に有効であると考えられた。一方で、食後最大血糖値や血糖値曲線下面積には影響を与えなかったことから、栄養素の吸収を阻害しないことが示唆された。

引用文献

赤嶺百子 (2021). 食後高血糖および血糖変動とその評価方法についての臨床的研究. 京都女子大学大学院博士論文.

青江誠一郎・小前幸三・井上裕・村田勇・峰岸悠生・金本郁男・神山紀子・一ノ瀬靖則・吉岡藤治・柳沢貴司 (2018a). 配合比率の異なるモチ性大麦混合米飯の摂取が食後血糖値に及ぼす影響. *日本栄養・食糧学会誌*, Vol. 71, No. 6, 283-288.

青江誠一郎・野崎聡美・菊池洋介・福留真一 (2018b). 小麦全粒粉配合パンの食後血糖値上昇抑制効果. *栄養学雑誌*, Vol. 76, No. 1, 20-25.

Blackburn, N. A., Redfern, J. S., Jarjis, H., Holgate, A. M., Hanning, I., Scarpello, J. H., Johnson, I. T., and Read, N. W. (1984). The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. *Clinical Science*, Vol. 66, 329-336.

Church, F. C., Meade, J. B., Treanor, R. E., and Whinna, H. C. (1989).

Antithrombin activity of fucoidan: The interaction of fucoidan with heparin cofactor II, antithrombin III, and thrombin. *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 264, 3618-3623.

Ebihara, K. and Kiriya, S. (1982). Comparative effects of water-soluble and water-insoluble dietary fibers on various parameters relating to glucose tolerance in rats. *Nutrition Reports International*, Vol. 26, 193-201.

海老原清 (2008). 食物繊維の栄養・生理機能に関する研究. *日本栄養・食糧学会誌*, Vol. 61, No. 1, 3-9.

海老名秀 (2009). アカモク凍結乾燥物の性状及びその乾燥物を用いた増粘性に関する研究. *新潟県水産海洋研究所研究報告*, Vol. 2, 63-68.

福田裕・山澤正勝・岡崎恵美子 (監修) (2005). 全国水産加工品総覧. 東京: 光琳.

Hayashi, S., Takabe, W., Ogura, M., Yagi, M., and Yonei, Y. (2017). Effect of breakfast on lunch time postprandial blood glucose. *Glycative Stress Research*, Vol. 4, 124-131.

市川陽子 (2011). 食事の Glycemic Index と生活習慣病一次予防. *日本調理科学会誌*, Vol. 44, No. 4, 259-262.

Jenkins, D. J. A., Leeds, A. R., Gassull, M. A., Cochet, G., and Alberti, G. M. M. (1977). Decrease in postprandial insulin and glucose concentrations by guar and pectin. *Annals of Internal Medicine*, Vol. 80, 20-23.

Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S., Leeds, A. R., Gassull, M. A., Haisman, D., Dilawari, J., Goff, D. V., Metz, G. L., and Alberti, G. M. M. (1978). Dietary fiber analogues and glucose tolerance: Importance of viscosity. *British Medical Journal*, Vol. 1, 1392-1394.

金沢和樹 (2012). 生体内で有効な機能を発揮する褐藻カロテノイドのフコキサンチン. *日本食品科学工学会誌*, Vol. 59, No. 2, 49-55.

Kim, Y. R., Park, M. J., Park, S. Y., and Kim, J. Y. (2023). Brown seaweed consumption as a promising strategy for blood glucose management: A comprehensive meta-analysis. *Nutrients*, Vol. 15, No. 23, 4987.

木村太郎・上田京子・黒田理恵子・赤尾哲之・篠原直哉・後川龍男・深川敦平・秋本恒基 (2007). 福岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* 中に含まれる多糖類の季節変動. *日本水産学会誌*, Vol. 73, No. 3, 739-744.

厚生労働省 (2020). 令和元年度国民健康・栄養調査結果の概要. <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000687163.pdf>. (閲覧日: 2023年1月18日)

松田太一・佐々木甚一・栗原秀幸・羽田野六男・高橋是太郎 (2005). アカモク抽出物の抗腫瘍性. *北海道大学水産科学研究彙報*, Vol. 56, No. 3, 75-86.

Monnier, L., Colette, C., Dunseath, G. J., and Owens, D. R. (2007). The loss of postprandial glycemic control precedes stepwise deterioration of fasting with worsening diabetes. *Diabetes Care*, Vol. 30, 263-269.

Morgan, L. M., Tredger, J. A., Madden, A., Kwasowski, P., and Marks, V. (1985). The effect of guar gum on carbohydrate-, fat-, and protein-stimulated gut hormone secretion. *British*

- Journal of Nutrition*, Vol. 53, 467-475.
- 村上香 (2011). 海藻アカモクの特徴と食品利用. 広島工業大学紀要研究編, Vol. 45, 263-270.
- 村上茂・木村公一・川崎安都紗・小野鮎子・水谷俊貴・杉浦彩香・平澤ちひろ・矢田知美・新木順子・伊藤崇志 (2020). エゴノリの血糖上昇抑制および血管内皮細胞保護作用. 日本食品科学工学会誌, Vol. 67, No. 8, 257-263.
- 西川翔・細川雅史・宮下和夫 (2016). 褐藻由来フコキサンチンの抗肥満・抗糖尿病効果とその機序. 化学と生物, Vol. 54, No. 8, 580-585.
- 二村和視・山崎資之・早川優・高柳正夫・小泉鏡子・石原賢司 (2023). 静岡市駿河区沿岸に生育するアカモクの成熟に伴う粘質多糖およびフコキサンチン含有量の変化. 水産技術, Vol. 15, No. 2, 21-24.
- Olever, T. M., Jenkins, D. J., Ocana, A. M., Rao, V. A., and Collier, G. R. (1988). Second-meal effect: Low-glycemic-index foods eaten at dinner improve subsequent breakfast glycemic response. *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 48, No. 4, 1041-1047.
- Reynolds, A., Mann, J., Cummings, J., Winter, N., Mete, E., and Te Morenga, L. (2019). Carbohydrate quality and human health. *Lancet*, Vol. 393, No. 10170, 434-445.
- 谷口和也・山田秀秋 (1988). 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力. 東北区水産研究所研究報告, Vol. 50, 59-65.
- 谷原 (山田) 亜樹子・栗彩子・佐藤裕子・風見真知子・野口治子 (2019). 産地の異なるアカモクの成分比較とアカモクの食品への利用. 日本家政学会誌, Vol. 70, No. 3, 133-139.
- 上原めぐみ・田幸正邦・川島由次・福永隆生・尚弘子・知念功・本郷富士弥 (1996). オキナワモズクから分離したフコイダンが高コレステロール食給与ラットの血清コレステロール濃度に及ぼす影響. 応用糖質科学, Vol. 43, No. 3, 149-153.
- Umezaki, I. (1983). Ecological studies of *Sargassum horneri* (TURNER) C. AGARRDH in Obama Bay, Japan Sea. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, Vol. 50, No. 7, 1193-1200.
- 山下真路・三木康成・川本仁志・東和生・大崎智弘・岡本芳晴 (2017). フコイダン経口投与による抗腫瘍効果. *Functional Food Research*, Vol. 13, 28-34.
- Zaharudin, N., Tullin, M., Pekmez, C. T., Sloth, J. J., Rasmussen, R. R., and Dragsted, L. O. (2021). Effects of brown seaweeds on postprandial glucose, insulin and appetite in humans—A randomized, 3-way, blinded, cross-over meal study. *Clinical Nutrition*, Vol. 40, No. 3, 830-838.

受稿日：2024年4月7日

受理日：2024年5月20日

発行日：2024年6月30日

Copyright © 2024 Society for Science and Technology



This article is licensed under a Creative Commons [Attribution-