

*Original article***The effects of food materials on postprandial hyperglycemia**Shiori Uenaka¹⁾, Masayuki Yagi¹⁾, Wakako Takabe^{1,2)}, Yoshikazu Yonei¹⁾

1) Anti-Aging Medical Research Center/Glycative Stress Research Center, Graduate School of Life and Medical Sciences,
Doshisha University, Kyoto, Japan

2) Department of Materials and Life Science, Faculty of Science and Technology, Shizuoka Institute of Science and Technology,
Shizuoka, Japan

Glycative Stress Research 2020; 7 (3): 220-231

(c) Society for Glycative Stress Research

(原著論文：日本語翻訳版)

様々な食品素材が食後高血糖抑制に及ぼす影響の検討上中詩央里¹⁾、八木雅之¹⁾、高部稚子^{1,2)}、米井嘉一¹⁾

1) 同志社大学大学院生命医科学研究科アンチエイジングリサーチセンター・糖化ストレス研究センター

2) 静岡理工科大学理工学部物質生命科学科

抄録

【目的】糖化ストレス軽減の方法の一つとして、食後高血糖の抑制が挙げられる。本研究では、食後高血糖の抑制に着目し、食後血糖上昇を緩和させる作用が報告された栄養成分（蛋白質、脂質、酢酸、食物繊維）を有する様々な食品素材を用い、米飯摂取時の血糖上昇抑制作用について検証を行った。

【方法】対象は健康な20歳代男女20名（男性8名、女性12名、23.3 ± 1.8歳）とした。試験食は米飯200g（炭水化物：67.8g）＋ふりかけ2.5gを基準食とした。試験食は各栄養成分を多く含むモデル食品としてA：サラダチキン（蛋白質：11.5g/23.0g）（括弧内は低用量（L）/高用量（H）の2条件を示す）、B：オリーブオイル（脂質：14g/28g）、C：穀物酢（酢酸：0.63g/1.26g）、D：難消化性デキストリン（食物繊維：4.2g/8.4g）、E：キャベツ（食物繊維：0.9g/1.8g）を用いた。また、試験食A～Eの各栄養成分を一部、またはすべて含む複合食品としてF：酢飯、G：唐揚げ、H：唐揚げ＋レモン果汁、I：ギョウザ＋ポン酢しょうゆを用いた。試験食の摂取は試験開始後10分間とし、モデル食品または複合食品＋基準食の場合、モデル食品および複合食品を米飯よりも先に摂取した。血糖値の測定にはアボット社のFreeStyleリブレProを使用し、被験者の組織間質液中のグルコース値

連絡先：教授 八木雅之
同志社大学大学院生命医科学研究科アンチエイジングリサーチセンター／
糖化ストレス研究センター
〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷1-3
TEL & FAX: 0774-65-6394 e-mail: myagi@mail.doshisha.ac.jp
共著者：上中詩央里 ctud2025@mail4.doshisha.ac.jp;
高部稚子 takabe.wakako@sist.ac.jp; 米井嘉一 yyonei@mail.doshisha.ac.jp

Glycative Stress Research 2020; 7(3): 220-231
本論文を引用する際はこちらを引用してください。
(c) Society for Glycative Stress Research

を試験期間中継続的に測定した。各栄養成分の食後血糖値への影響は、最高血糖変化量 (ΔC_{max}) と血糖上昇曲線下面積 (incremental area under the curve : iAUC) により評価した。統計解析には2群を比較する場合には、対応のある t 検定を、多群を比較する場合には、Bonferroni 検定 (IBM SPSS Statics 26、IBM Japan、東京都港区) を用いた。本研究は同志社大学倫理審査委員会により承認を得た。

【結果】 基準食摂取前に試験食 A、B、C、E を高用量 (H) 摂取した場合、被験者の iAUC は基準食摂取時よりも低下する傾向が認められた。特に、試験食 C 摂取時の ΔC_{max} 、iAUC は、摂取用量が多いほど有意な低下が認められた ($p < 0.05$)。一方、試験食 D 摂取は食後血糖上昇抑制作用が認められなかった。また、試験食 F 摂取により被験者の ΔC_{max} 、iAUC は基準食摂取時よりも低下する傾向が認められた。さらに複合食品として、試験食 G、H、I 摂取した時、被験者の ΔC_{max} 、iAUC は基準食摂取時よりも有意な低下が認められた ($p < 0.05$)。

【結語】 食後高血糖抑制は食品中の蛋白質、酢酸の影響が強く、脂質、食物繊維の影響が弱かった。複合食品として副菜に血糖上昇抑制を期待する場合、副菜の蛋白質、酢酸の含有量が重要である可能性が示唆された。

KEY WORDS: 食後高血糖、蛋白質、脂質、酢酸、食物繊維

はじめに

生体内でグルコースなどの還元糖が蛋白質と非酵素的に結合し、老化の原因物質である糖化最終生成物 (AGEs) が生成・蓄積することによる影響は「糖化ストレス」と呼ばれている。糖化ストレスは老化因子の一つで、皮膚老化や糖尿病合併症の進展要因になる^{1,2)}。糖化ストレスの軽減には、急激な食後血糖値上昇 (高血糖) の抑制、糖化反応抑制、糖化反応生成物の分解・排泄促進などがある。このうち、食後高血糖の抑制は普段の食生活の中に取り入れ易い対策である。

食後高血糖の抑制方法には、糖質の摂取量を減らすこと (糖質制限)³⁾、低 GI (Glycemic index) 食品の摂取⁴⁾、難消化性デキストリン⁵⁾ やサラシア^{6,7)} を含む特定保健用食品の摂取、野菜を食事の最初に食べることなどがある^{8,9)}。しかし、低 GI 食品や野菜を炭水化物よりも先に食べる食事法 (先行摂取) は、食欲に対する精神的なストレスを受けるため食事の楽しさを軽減させる。また、特定保健用食品を毎日の食事として継続的に取り入れるには、コスト面に課題がある。

既に、牛丼の摂取は食後血糖上昇抑制に効果があることが示され、また、その作用は蛋白質と脂質を含む肉によるものであることが示唆された^{10,11)}。また、レモン果汁の先行摂取は食後血糖上昇を抑制する効果があることが示され、その作用はレモン果汁に含まれるクエン酸およびポリフェノールによるものであることが示唆された¹²⁾。また、食酢の先行摂取¹³⁾ も同様に血糖上昇抑制作用を示し、その作用は食酢中に含まれる酢酸によるものであることが示唆された。しかし、一般的な食品は、様々な素材や栄養成分の複合体であるため、食品摂取がどの程度食後の血糖値上昇に影響を及ぼすのかを推定することが難しい。

これらの事を踏まえ、本研究では蛋白質、脂質、酢酸、食物繊維を多く含む様々な食品を炭水化物と併食することにより、各栄養成分の食後血糖上昇に及ぼす影響を比較評価することを目的とした。各栄養成分の食後血糖値への影響を検証することによって、食事の制限でなく、普段の食事のメニューから、糖化ストレス軽減の提案ができるよう本研究を立案した。

方法

被験者

被験者は以下の選択基準に合致した20名とした (Table 1)。試験参加の同意取得時点での年齢が20歳以上30歳未満の男女。健康な者で慢性身体疾患がない人。本試験の目的、内容について十分な説明を受け、同意能力があり、よく理解した上で自発的に参加を志願し、書面で本試験参加に同意できる人。指定された試験日に来所でき、試験を受けることができる人。試験責任医師が本試験への参加を適当と認めた人。

調査項目と検査内容

被験者は被験者背景調査として、年齢、既往歴、食物アレルギーの有無について、被験者自身で調査票に記入すると共に、血液検査を実施した (Table 2)。試験は FreeStyle リブレ Pro (Abbott Laboratories, Chicago, USA) を使用し、試験期間中に測定した組織間質液中のグルコース濃度を血糖値とした¹⁴⁾。

Table 1. Subject profile.

	Unit	Total	Male	Total
Number of subjects		20	8	12
Age	years	23.3 ± 1.8	24.3 ± 2.0	22.6 ± 1.3
Body height	cm	162.7 ± 9.3	170.4 ± 4.5	157.5 ± 7.9
Body weight	kg	57.0 ± 11.2	65.0 ± 12.1	51.7 ± 7.0
BMI		21.4 ± 2.4	22.3 ± 3.3	20.8 ± 1.4

Results are expressed as mean ± standard deviation. BMI, body mass index.

Table 2. Result of the blood chemistry test.

Test item	Unit	Measured value	Reference range
FBG	mg/dL	80.9 ± 6.0	70 - 109
HbA1c	%	5.3 ± 0.2	4.6 - 6.2
Insulin	μU/mL	6.2 ± 2.1	1.7 - 10.4
Total cholesterol	mg/dL	185.9 ± 33.9	120 - 219
TG	mg/dL	83.2 ± 45.9	30 - 149
HDL-C	mg/dL	63.9 ± 13.5	40 - 85
LDL-C	mg/dL	105.7 ± 31.3	65 - 139

Results are expressed as mean ± standard deviation. FBG, fasting blood glucose; TG, triglyceride; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol.

血糖試験のプロトコル

本試験では既報と同様に¹⁰⁻¹²⁾、日本 Glycemic Index (GI) 研究会による統一プロトコルに従って試験を実施した¹⁵⁾。

被験者には試験期間中、以下の事項を遵守するように指導した。睡眠不足や暴飲暴食など、不規則な生活は避け、普段通りの生活をする。食事、運動、睡眠は本試験参加前と同様な量・質を維持するようにする。新たに、健康食品、サプリメント等の摂取開始は禁止する。その他、試験結果に影響を及ぼすと考えられることは禁止する。

試験前日および当日は以下の事項を遵守するように指導した。事前検査および試験前日は過度の運動を禁止する。試験前日は6時間以上の睡眠をとる。試験前日より試験当日の試験終了まで、アルコールの摂取を禁止する。事前検査および試験の前日の夕食は脂質の多い物を避け、22時以降に水以外の摂取をしない。試験当日は試験終了まで運動および発汗の可能性がある身体活動を禁止する。女性の場合、生理期間中は試験を実施しない。

試験中は座位での安静待機とし、電話、睡眠、過度な頭脳活動（メール、パソコンなど）、身体活動を禁止する。試験食品摂取後、試験終了までは絶食する。

被験者はリブレProセンサーを試験の2日前以前に上腕外側部に自分自身で貼り付けた。リブレProセンサーの装着期間中は入浴、スイミング、運動などの制限をしなかった。試験は10:00に基準食または試験食を10分間で摂取した。その後、被験者は座位でDVDを鑑賞し、試験が終了する12:00までリラックス状態を保てるようにした。

基準食および試験食の摂取は一口30回以上咀嚼してから嚥下した。血糖値は試験食を摂取する前（1回目）、摂取開始15分後（2回目）、30分後（3回目）、45分後（4回目）、60分後（5回目）、90分後（6回目）、120分後（7回目）に収集した測定値とした。

被験食

研究で用いた試験食品の栄養成分は各食品に表示されている数値を用いて計算した（Table 3-5）。

本試験では米飯200 g（サトウのごはん 新潟県産コシヒカリ：佐藤食品、新潟県新潟市）＋ふりかけ2.5 g（のりたま：丸美屋食品工業、東京都杉並区）を基準食とした。

試験食には、食後血糖上昇を緩和させる作用が報告された栄養成分を多く含むモデル食品5品目およびそれらの栄養成分を一部またはすべて含む複合食品4品目と米飯を用いた。

モデル食品には、A：サラダチキン（淡路島藻塩の国産鶏サラダチキン：プリマハム、東京都品川区）B：オリーブオイル（ガルシア エクストラバージンオリーブオイル：富永貿易、兵庫県神戸市）C：穀物酢（穀物酢：ミツカン、愛知県半田市）D：難消化性デキストリン（イージーファイバートクホ：小林製薬、大阪府中央区）E：キャベツ（サラダクラブ千切りキャベツ：サラダクラブ、東京都調布市）を用いた。モデル食品は高用量（H）と低用量（L）摂取を設定した。

また、複合食品には、F：酢飯（サトウのごはん 新潟県産コシヒカリ：佐藤食品、新潟県新潟市、すし酢昆布だし

Table 3. Nutrition facts of test food (Standard food and model foods A-E).

Test food	Serving unit (g)	Energy (Kcal)	Protein (g)	Lipids (g)	Acetic acid (g)	Carbohydrate (g)	Dietary fiber (g)
Standard food	200	294	4.2	0	0	67.8	60.6
AL/AH	255/310	352/410	15.7/27.2	0.95/1.9	uncalculated	68.5/69.2	0.65/0.7
BL/BH	214/228	420/546	4.2/4.2	14/28	0	0/0	0/0
CL/CH	215/230	297.8/301.6	4.25/4.3	0/0	0.63/1.26	68.9/70	0/0
DL/DH	205.2/210.4	298.9 to 301.5/ 303.8 to 309	0/0	0/0	uncalculated	72.4/77	4.8/9
EL/EH	250/300	306/318	4.9/5.6	0/0	0	70.4/73	1.5/2.4

Standard food; cooked rice 200 g, AL; salad chicken 55 g before cooked rice 200 g, AH; salad chicken 110 g before cooked rice 200 g, BL; olive oil 14 g before cooked rice 200 g, BH; olive oil 28 g before cooked rice 200 g, CL; grain vinegar 15 g before cooked rice 200 g, CH; grain vinegar 30 g before cooked rice 200 g, DL; indigestible dextrin 5.2 g before cooked rice 200 g, DH; indigestible dextrin 10.4 g before cooked rice 200 g, EL; cabbage 50g before cooked rice 200 g, EH; cabbage 100g before cooked rice 200 g

Table 4. Nutrition facts of test food (Complex food F, I).

Test food	Serving unit (g)	Energy (Kcal)	Protein (g)	Lipids (g)	Acetic acid (g)	Carbohydrate (g)	Dietary fiber (g)
F	198	290.4	3.7	0	0.6	67.7	0.5
I	282	469.1	12.3	16.2	0.3	67.7	2.6

F, vinegared rice (cooked rice 177 g + sushi vinegar 21 g); I, Japanese dumplings (gyoza) 138 g + ponzu soy sauce 15 g before cooked rice 129 g

Table 5. Nutrition facts of test food (Complex food G, H).

Test food	Serving unit (g)	Energy (Kcal)	Protein (g)	Lipids (g)	Citric acid (g)	Carbohydrate (g)	Dietary fiber (g)
G	284	479.6	20.8	13.4	0	67.8	1.5
H	295	478.7	20.7	13.4	1	67.8	1.5

G, fried chicken 135 g before cooked rice 149 g; H, fried chicken 135 g + lemon juice 15 g before cooked rice 145 g

入り：ミツカン、愛知県半田市）、**G**：唐揚げ（特から：ニチレイフーズ、東京都中央区）、**H**：唐揚げ＋レモン果汁（特から：ニチレイフーズ、東京都中央区＋ポッカレモン100：ポッカサッポロフード&ビバレッジ、東京都渋谷区）、**I**：餃子＋ポン酢しょうゆ（冷凍ギョーザ：味の素、東京都中央区、味ぽん：ミツカン、愛知県半田市）を用いた。また、複合食品を米飯と併食する場合は、総炭水化物摂取量を基準食（米飯200g、炭水化物：67.8g）に合わせた。

被験食の摂取量は以下の通りとした。

- ・基準食：米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食AL（サラダチキン低用量＋米飯）：サラダチキン55g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食AH（サラダチキン高用量＋米飯）：サラダチキン110g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食BL（オリーブオイル低用量＋米飯）：オリーブオイル14g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食BH（オリーブオイル高用量＋米飯）：オリーブオイル28g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g

- ・試験食CL（穀物酢低用量＋米飯）：穀物酢15g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食CH（穀物酢高用量＋米飯）：穀物酢30g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食DL（難消化性デキストリン低用量＋米飯）：難消化性デキストリン5.2g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食DH（難消化性デキストリン高用量＋米飯）：難消化性デキストリン10.4g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食EL（キャベツ低用量＋米飯）：キャベツ50g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食EH（キャベツ高用量＋米飯）：キャベツ100g＋米飯200g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食F（酢飯）：すし酢21g＋米飯177g
- ・試験食G：唐揚げ4個（135g）＋米飯149g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食H：唐揚げ4個（135g）＋レモン果汁15g＋米飯145g＋ふりかけ2.5g
- ・試験食I：餃子＋米飯：餃子6個（138g）＋ポン酢しょうゆ15g＋米飯129g＋ふりかけ2.5g

基準食および試験食の摂取方法はすべて試験開始後10分間で摂取した。試験食はモデル食品または複合食品と基準食を摂取する場合、最初の5分間でモデル食品および複合食品を摂取し、その後に基準食を摂取した。なお穀物酢、難消化性デキストリンは150 mLの水に希釈して摂取した。試験食F(酢飯)は米飯にすし酢を混ぜて調理し、試験開始後10分間で摂取した。

有効性解析対象者の選択

有効性解析対象者は所定の試験スケジュールおよび試験内容を全て終了した被験者のうち、以下の解析対象除外基準に該当する被験者を除外した。検査結果の信頼性を損なう行為が顕著に見られた人。除外基準に該当していたことや、制限事項の遵守ができないことが摂取開始後に明らかになった人。

解析対象除外基準に該当する被験者はなかったため、試験参加者20名全員を有効性解析対象者とした。

統計解析

試験の有効性解析は有効性解析対象者とし、試験食品摂取後の経時的な血糖値から、試験食品を摂取する前(1回目;0分値)を差し引いた値を血糖値変化(Δ blood glucose; Δ BG)、検査開始後120分までの血糖値変化の最高値を、最高血糖変化値(Δ Cmax; maximum blood glucose concentration)とした。血糖上昇曲線下面積(incremental area under curve; iAUC)は日本 Glycemic Index (GI) 研究会の統一プロトコルに従って算出した。

統計解析にはIMB SPSS Statics 26 (IMB Japan, 東京都港区)を用いた。2群を比較する場合には対応のあるt検定を、多群を比較する場合には、Bonferroni検定 (IBM SPSS Statics 26、IBM Japan、東京都港区)を用いた。統計解析は両側検定で危険率5%未満を有意差ありとし、結果は平均 $\pm$ 標準誤差 (standard error mean : SE) で表した。

倫理基準

本研究はヘルシンキ宣言 (2013年WMAフォルタレザ総会で修正) および人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (文部科学省、厚生労働省告示) を遵守して実施した。試験は事前に被験者に対して試験内容を十分に説明し、本人が試験の参加を希望し、自主的な同意書の提出を受けて実施した。本研究は同志社大学の「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会を開催し、試験の倫理性および妥当性について審議を行い、承認のもとに実施した (申請番号: #18039)。本試験は国立大学附属病院長会議 (UMIN) が設置している公開データベースに事前登録して実施した (試験ID: UMIN000034009)。

結果

サラダチキンの摂取量変化に伴う血糖値上昇抑制作用の変化

全体対象者20名のうちの10名 (男性4名、女性6名、 23.3 ± 2.2 歳、身長 161.8 ± 8.0 cm、体重 55.2 ± 11.2 kg、体格指数 [body mass index : BMI] 20.9 ± 2.6 kg/m²) が試験に参加した。モデル食品はサラダチキン (A) とした。

試験開始後の Δ BGの推移をFig. 1-aに示した。被験食摂取前の空腹時血糖値 (0 min) には差異が認められなかった。被験者の血糖値は各被験食の摂取後上昇し、45分後に最高値となり、その後、120分後まで低下した。各測定時間の血糖値は被験食間に多少の違いがあったが、有意でなかった。各測定時間の Δ BGの平均値は試験食AL、試験食AHが基準食摂取時と比べて低値であった。しかしその差異は有意でなかった。

Δ Cmaxは基準食: 62.7 ± 4.3 mg/dL、試験食AL: 54.2 ± 4.2 mg/dL、試験食AH: 46.2 ± 5.7 mg/dLであり、差異が認められなかった (Fig. 2-a)。

iAUCは基準食: $4,690 \pm 433$ mg/dL $\cdot$ min、試験食AL: $3,712 \pm 590$ mg/dL $\cdot$ min、試験食AH: $3,014 \pm 454$ mg/dL $\cdot$ minであった (Fig. 2-b)。iAUCは基準食と比べて試験食AHが1,676 mg/dL $\cdot$ min (35.7%) 低値な傾向が認められた ($p < 0.1$)。

オリーブオイルの摂取量変化に伴う血糖値上昇抑制作用の変化

被験者は、サラダチキン摂取試験参加者と同一であった。モデル食品はオリーブオイル (B) とした。

試験開始後の Δ BGの推移をFig. 1-bに示した。被験食摂取前の空腹時血糖値 (0 min) には差異が認められなかった。被験者の血糖値は各被験食の摂取後上昇し、45分後に最高値となり、その後、120分後まで低下した。各測定時間の血糖値は被験食間に多少の違いがあったが、有意でなかった。各測定時間の Δ BGの平均値は試験食BL、試験食BHが基準食摂取時と比べて低値であった。しかしその差異は有意でなかった。

Δ Cmaxは基準食: 62.7 ± 4.3 mg/dL、試験食BL: 62.8 ± 5.0 mg/dL、試験食BH: 56.0 ± 7.7 mg/dLであり、差異が認められなかった (Fig. 2-a)。

iAUCは基準食: $4,690 \pm 433$ mg/dL $\cdot$ min、試験食BL: $4,085 \pm 400$ mg/dL $\cdot$ min、試験食BH: $3,811.5 \pm 549$ mg/dL $\cdot$ minであり、差異が認められなかった (Fig. 2-b)。

穀物酢の摂取量変化に伴う血糖値上昇抑制作用の変化

被験者は、上述2つの摂取試験参加者と同一であった。モデル食品は穀物酢 (C) とした。

試験開始後の Δ BGの推移をFig. 1-cに示した。被験食

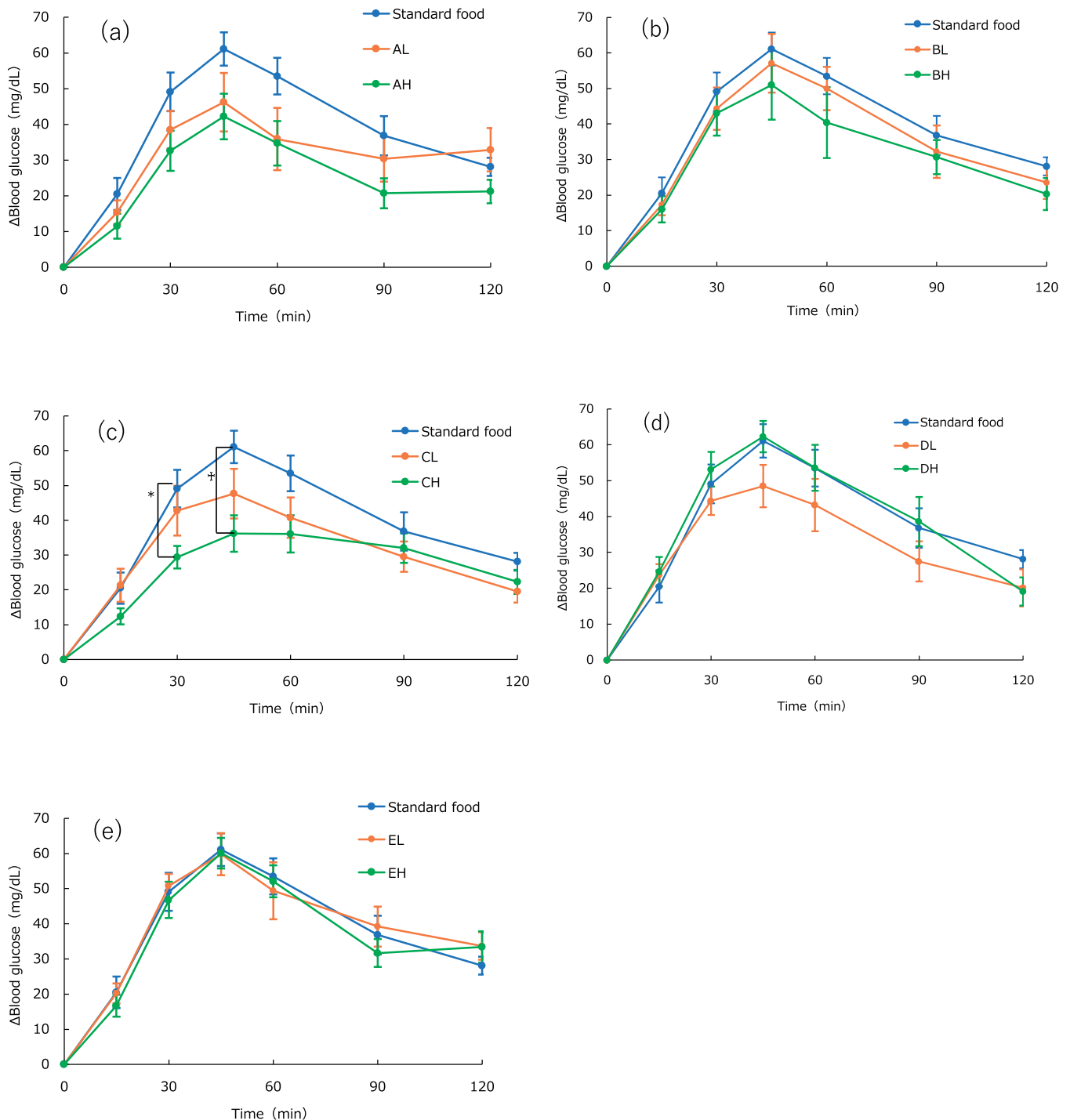


Fig.1. Fluctuation of the blood glucose level at the time of intaking test food ahead of rice.

a) AL and AH, **b)** BL and BH, **c)** CL and CH, **d)** DL and DH, **e)** EL and EH. Results are expressed as mean $\pm$ standard error, $n = 10$, $\dagger p < 0.1$, $* p < 0.05$ vs standard food, Bonferroni test. Standard food, cooked rice 200 g; AL, salad chicken 55 g before cooked rice 200 g; AH, salad chicken 110 g before cooked rice 200 g; BL, olive oil 14 g before cooked rice 200 g; BH, olive oil 28 g before cooked rice 200 g; CL, grain vinegar 15 g before cooked rice 200 g; CH, grain vinegar 30 g before cooked rice 200 g; DL, indigestible dextrin 5.2 g before cooked rice 200 g; DH, indigestible dextrin 10.4 g before cooked rice 200 g; EL, cabbage 50 g before cooked rice 200 g; EH, cabbage 100g before cooked rice 200 g,

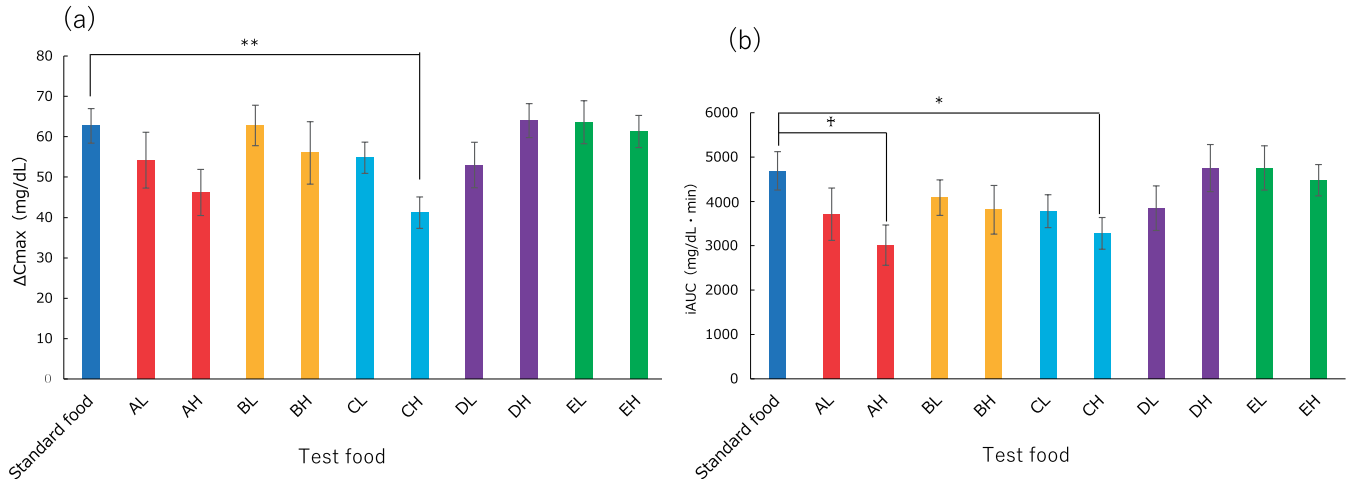


Fig. 2. The amount of ΔC_{max} (a) and iAUC (b) after intaking test food.

Results are expressed as mean $\pm$ standard error, $n = 10$, $\dagger p < 0.1$, $* p < 0.05$, $** p < 0.01$ vs standard food, Bonferroni test. ΔC_{max} , maximum blood glucose level change; iAUC, incremental area under the curve of blood glucose level change. See Figure 1 for group names.

摂取前の空腹時血糖値(0 min)には差異が認められなかった。被験者の血糖値は各被験食の摂取後上昇し、45分後に最高値となり、その後、120分後まで低下した。各測定時間の血糖値は被験食間に多少の違いがあったが、有意でなかった。各測定時間の ΔBG の平均値は試験食BL、試験食BHが基準食摂取時と比べて低値であった。なかでも $\Delta 30$ 分値では試験食BHが 29.0 ± 3.2 mg/dLと、基準食摂取時の 49.1 ± 5.4 mg/dLと比較して20.1 mg/dL低値($p < 0.05$)であった。

ΔC_{max} は基準食: 62.7 ± 4.3 mg/dL、試験食CL: 54.8 ± 3.9 mg/dL、試験食CH: 41.2 ± 3.9 mg/dLであった(Fig. 2-a)。 ΔC_{max} は基準食と比べて試験食CHが21.5 mg/dL(34.3%)低値($p < 0.01$)であった。

iAUCは基準食: $4,690 \pm 433$ mg/dL $\cdot$ min、試験食CL: $3,780 \pm 371$ mg/dL $\cdot$ min、試験食CH: $3,280 \pm 358$ mg/dL $\cdot$ minであった(Fig. 2-b)。iAUCは基準食と比べて試験食CHが1,410 mg/dL $\cdot$ min(30.1%)低値($p < 0.05$)であった。

難消化性デキストリンの摂取量変化に伴う血糖値上昇抑制作用の変化

被験者は、上述3つの摂取試験参加者と同一であった。モデル食品は難消化性デキストリン(D)とした。

試験開始後の ΔBG の推移をFig. 1-dに示した。被験食摂取前の空腹時血糖値(0 min)には差異が認められなかった。被験者の血糖値は各被験食の摂取後上昇し、45分後に最高値となり、その後、120分後まで低下した。各測定時間の血糖値は被験食間に多少の違いがあったが、有意でなかった。各測定時間の ΔBG の平均値は、試験食DLは基準食摂取時とほぼ同値であった。一方、DHは、基準食摂取時と比べて低値であったが、その差異は有意でなかった。

ΔC_{max} は基準食: 62.7 ± 4.3 mg/dL、試験食DL: 63.0 ± 5.6 mg/dL、試験食DH: 64.0 ± 4.2 mg/dLで、差異が認められなかった(Fig. 2-a)。

iAUCは基準食: $4,690 \pm 433$ mg/dL $\cdot$ min、試験食DL: $3,848 \pm 503$ mg/dL $\cdot$ min、試験食DH: $4,694 \pm 407$ mg/dL $\cdot$ minであった(Fig. 2-b)。

キャベツの摂取量変化に伴う血糖値上昇抑制作用の変化

被験者は、上述4つの摂取試験参加者と同一であった。モデル食品はキャベツ(E)とした。

試験開始後の ΔBG の推移をFig. 1-eに示した。被験食摂取前の空腹時血糖値(0 min)には差異が認められなかった。被験者の血糖値は各被験食の摂取後上昇し、45分後に最高値となり、その後、120分後まで低下した。各測定時間の血糖値は被験食間に多少の違いがあったが、有意でなかった。各測定時間の ΔBG の平均値は、試験食EL、試験食DHともに基準食摂取時とほぼ同値であった。

ΔC_{max} は基準食: 62.7 ± 4.3 mg/dL、試験食DL: 63.6 ± 5.3 mg/dL、試験食DH: 61.3 ± 4.0 mg/dLであった(Fig. 2-a)。

iAUCは基準食: $4,690 \pm 433$ mg/dL $\cdot$ min、試験食DL: $4,755 \pm 499$ mg/dL $\cdot$ min、試験食DH: $4,478 \pm 353$ mg/dL $\cdot$ minであった(Fig. 2-b)。

酢飯摂取が食後血糖値に及ぼす影響の検証

全体対象者20名のうちの11名(男性2名、女性9名、 23.1 ± 1.3 歳、身長 159.7 ± 8.9 cm、体重 52.3 ± 7.0 kg、BMI 20.5 ± 1.6 kg/m²)が試験に参加した。複合食品は酢飯(F)とした。

試験開始後の ΔBG の推移をFig. 3-aに示した。被験食摂取前の空腹時血糖値(0 min)には差異が認められな

かった。被験者の血糖値は各被験食の摂取後上昇し、45分後に最高値となり、その後、120分後まで低下した。各測定時間の血糖値は被験食間に多少の違いがあったが、有意でなかった。各測定時間の Δ BGの平均値は、 Δ 45分値、 Δ 60分値で有意差が認められた。具体的には、 Δ 45分値では、試験食Fが 47.5 ± 6.8 mg/dLと、基準食摂取時の 65.3 ± 4.3 mg/dLと比べて17.8 mg/dL (27%) 低値 ($p < 0.05$) であった。 Δ 60分値では試験食Fが 38.1 ± 5.0 mg/dLと、基準食摂取時の 53.2 ± 5.4 mg/dLと比較して15.1 mg/dL (28%) 低値 ($p < 0.05$) であった。

Δ Cmaxは基準食： 66.4 ± 4.4 mg/dL、試験食F： 53.6 ± 4.9 mg/dLであった (Fig. 4-a)。 Δ Cmaxは基準食と比べて試験食Fが12.8 mg/dL (19.3%) 低値 ($p < 0.01$) であった。

iAUCは基準食： $4,593 \pm 437$ mg/dL $\cdot$ min、試験食F： 3686 ± 366 mg/dL $\cdot$ minであった (Fig. 5-a)。iAUCは基準食と比べて試験食Fが907 mg/dL $\cdot$ min (19.7%) 低値な傾向が認められた ($p < 0.1$)。

唐揚げ(+レモン果汁)摂取が食後血糖値に及ぼす影響の検証

全体対象者20名のうちの14名(男性5名、女性9名、 23.0 ± 1.3 歳、身長 162.5 ± 9.9 cm、体重 56.3 ± 10.7 kg、BMI 21.2 ± 2.1 kg/m²) が試験に参加した。複合食品は唐揚げ(G)、唐揚げ+レモン果汁(H)とした。

試験開始後の Δ BGの推移をFig. 3-bに示した。被験食摂取前の空腹時血糖値(0 min)には差異が認められなかった。被験者の血糖値は各被験食の摂取後上昇し、45分後に最高値となり、その後、120分後まで低下した。各測定時間の血糖値は被験食間に多少の違いがあったが、有意でなかった。

各測定時間の Δ BGの平均値は、 Δ 30分値の試験食Gと基準食の間、試験食Hと基準食の間、 Δ 45分値の試験食Gと基準食の間、試験食Hと基準食の間、 Δ 60分値の試験食Gと基準食の間、試験食Hと基準食の間で、それぞれ有意差が認められた。

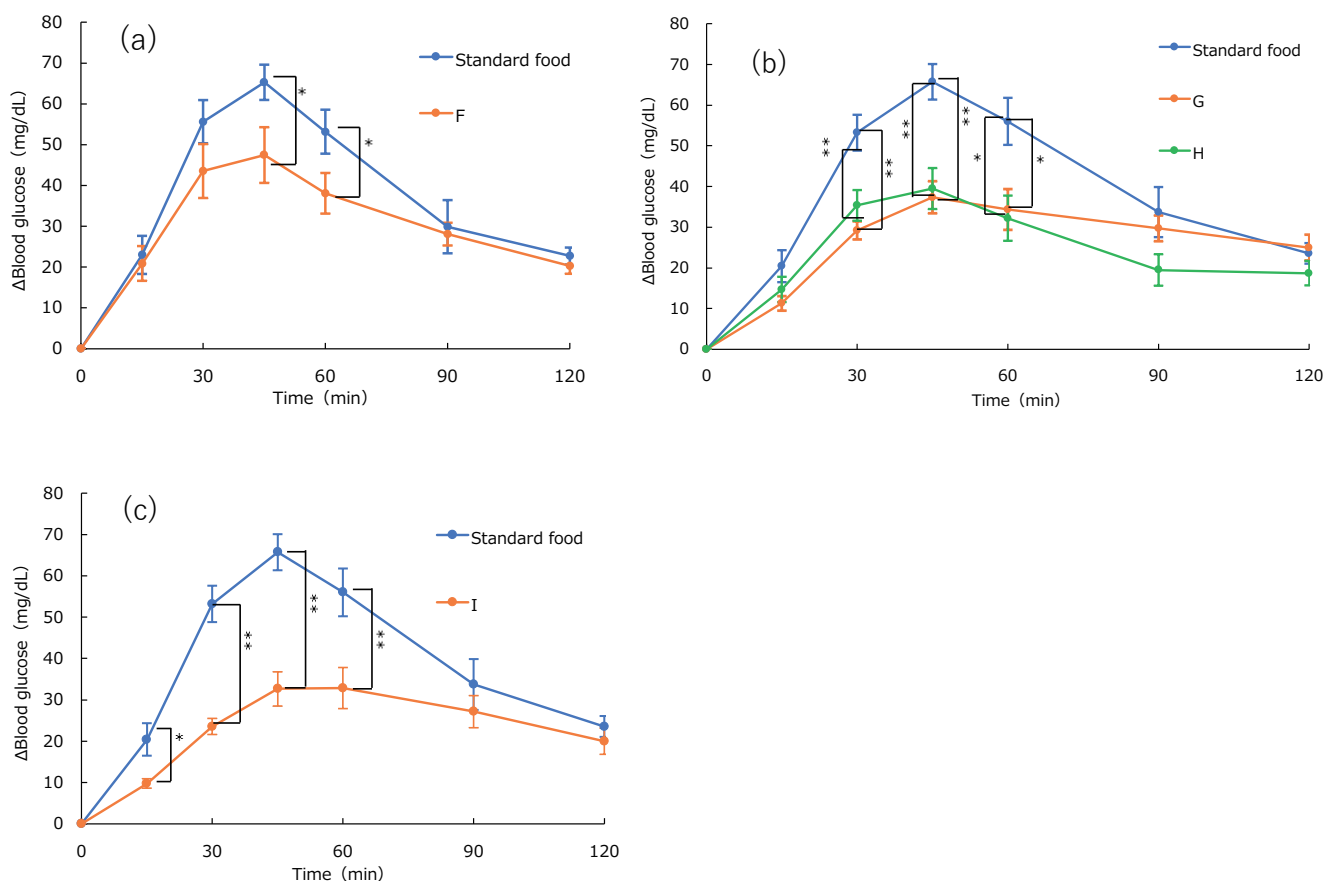


Fig. 3. Fluctuation of the blood glucose level at the time of intaking test food ahead of rice.

a) F. **b)** G and H. **c)** I. Results are expressed as mean $\pm$ standard error, **a)** $n = 11$, paired t-test, **b)** $n = 14$, Bonferroni test, **c)** $n = 14$, paired t-test, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs standard food. Standard food, cooked rice 200 g; F, vinegared rice; G, fried chicken 135 g before cooked rice 149 g; H, fried chicken 135 g + lemon juice 15 g before cooked rice 145 g; I, Japanese dumplings (gyoza) 138 g + ponzu soy sauce 15 g before cooked rice 129 g.

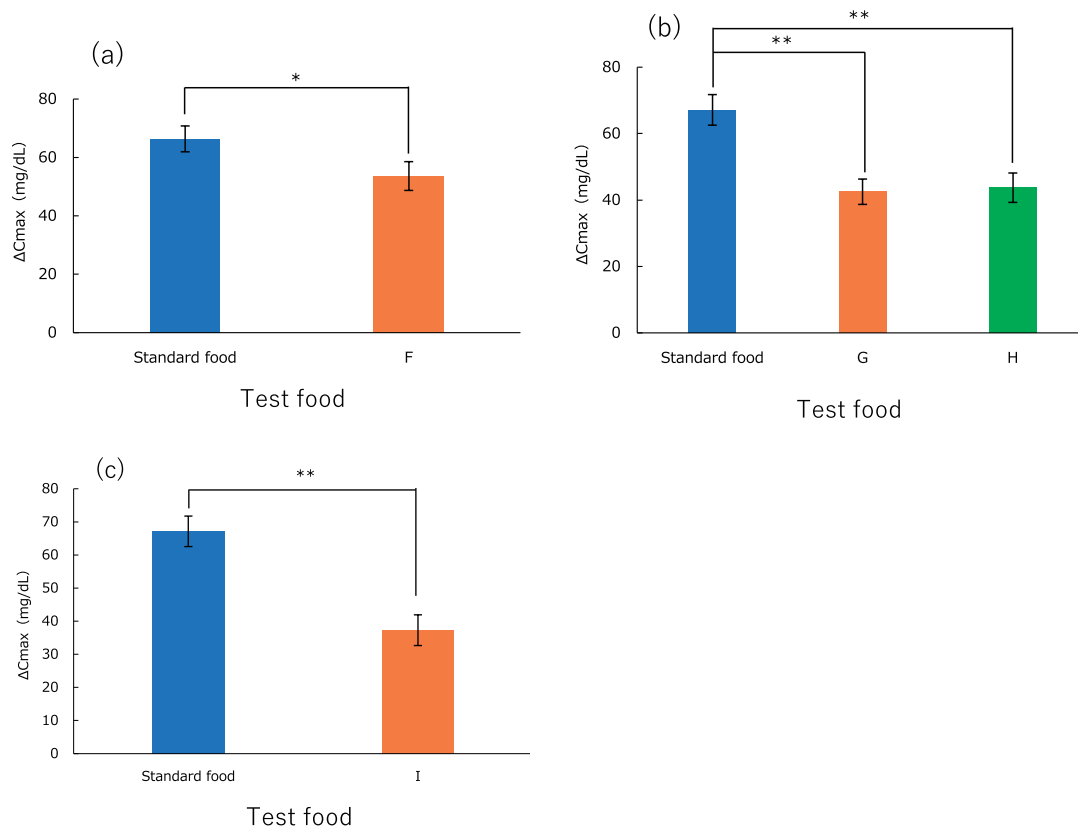


Fig. 4. The amount of ΔC_{max} after intake of test food.

a) F. **b)** G and H. **c)** I. Results are expressed as mean $\pm$ standard error, **a)** $n = 11$, paired t-test, **b)** $n = 14$, Bonferroni test, **c)** $n = 14$, paired t-test, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs standard food. ΔC_{max} , maximum blood glucose level change. See Figure 3 for group names.

具体的には、 $\Delta 30$ 分値では試験食 G が 29.2 ± 2.2 mg/dL、試験食 H が 35.4 ± 3.8 mg/dL と、基準食摂取時の 53.2 ± 4.4 mg/dL と比較してそれぞれ 24.0 mg/dL、17.8 mg/dL (それぞれ 45.1%、33.5%) 低値 ($p < 0.01$) であった。 $\Delta 45$ 分値では試験食 G が 37.4 ± 3.9 mg/dL、試験食 H が 39.5 ± 5.0 mg/dL と、基準食摂取時の 65.7 ± 4.4 mg/dL と比較してそれぞれ 28.3 mg/dL、26.2 mg/dL (それぞれ 43.1%、39.9%) 低値 ($p < 0.05$) であった。 $\Delta 60$ 分値では試験食 G が 34.4 ± 5.0 mg/dL、試験食 H が 32.2 ± 5.6 mg/dL と、基準食摂取時の 56.0 ± 5.8 mg/dL と比較してそれぞれ 21.6 mg/dL、23.8 mg/dL (それぞれ 38.6%、42.5%) 低値 ($p < 0.05$) であった。

ΔC_{max} は基準食: 67.1 ± 4.6 mg/dL、試験食 G: 42.5 ± 3.8 mg/dL、試験食 H: 43.7 ± 4.4 mg/dL であった (Fig. 4-b)。 ΔC_{max} は基準食と比べて試験食 G が 24.6 mg/dL (36.7%)、試験食 H が 23.4 mg/dL (34.9%) 低値 ($p < 0.01$) であった。

iAUCは基準食: $4,715 \pm 429$ mg/dL $\cdot$ min、試験食 G: $3,207 \pm 278$ mg/dL $\cdot$ min、試験食 H: $3,686 \pm 366$ mg/dL $\cdot$ min であった (Fig. 5-b)。iAUCは基準食と比べて試験食 G が 1,508 mg/dL $\cdot$ min (32.0%)、試験食 H が 1,029 mg/dL $\cdot$ min (21.8%) 低値 ($p < 0.05$) であった。

餃子 + ポン酢しょうゆ摂取が食後血糖値に及ぼす影響の検証

被験者は、上述した複合食品 G および複合食品 H の摂取試験参加者と同一であった。複合食品は餃子 + ポン酢しょうゆ (I) とした。

試験開始後の ΔBG の推移を Fig. 3-c に示した。被験食摂取前の空腹時血糖値 (0 min) には差異が認められなかった。被験者の血糖値は各被験食の摂取後上昇し、45分後に最高値となり、その後、120分後まで低下した。各測定時間の血糖値は被験食間に多少の違いがあったが、有意でなかった。

各測定時間の ΔBG の平均値は、 $\Delta 15$ 分値、 $\Delta 30$ 分値、 $\Delta 45$ 分値、 $\Delta 60$ 分値で有意差が認められた。具体的には、 $\Delta 15$ 分値では試験食 I が 9.8 ± 1.1 mg/dL と、基準食摂取時の 20.4 ± 3.9 mg/dL と比べて 10.6 mg/dL (52.0%) 低値 ($p < 0.05$) であった。 $\Delta 30$ 分値では試験食 I が 23.6 ± 1.9 mg/dL と、基準食摂取時の 53.2 ± 4.4 mg/dL と比べて 29.6 mg/dL (55.6%) 低値 ($p < 0.01$) であった。 $\Delta 45$ 分値では試験食 I が 32.6 ± 4.1 mg/dL と、基準食摂取時の 65.7 ± 4.4 mg/dL と比べて 33.1 mg/dL (50.4%) 低値 ($p < 0.01$) であった。 $\Delta 60$ 分値では試験食 I が 32.9 ± 5.0 mg/dL と、基準食摂取時の 56.0 ± 5.8 mg/dL と比較して 23.1 mg/dL

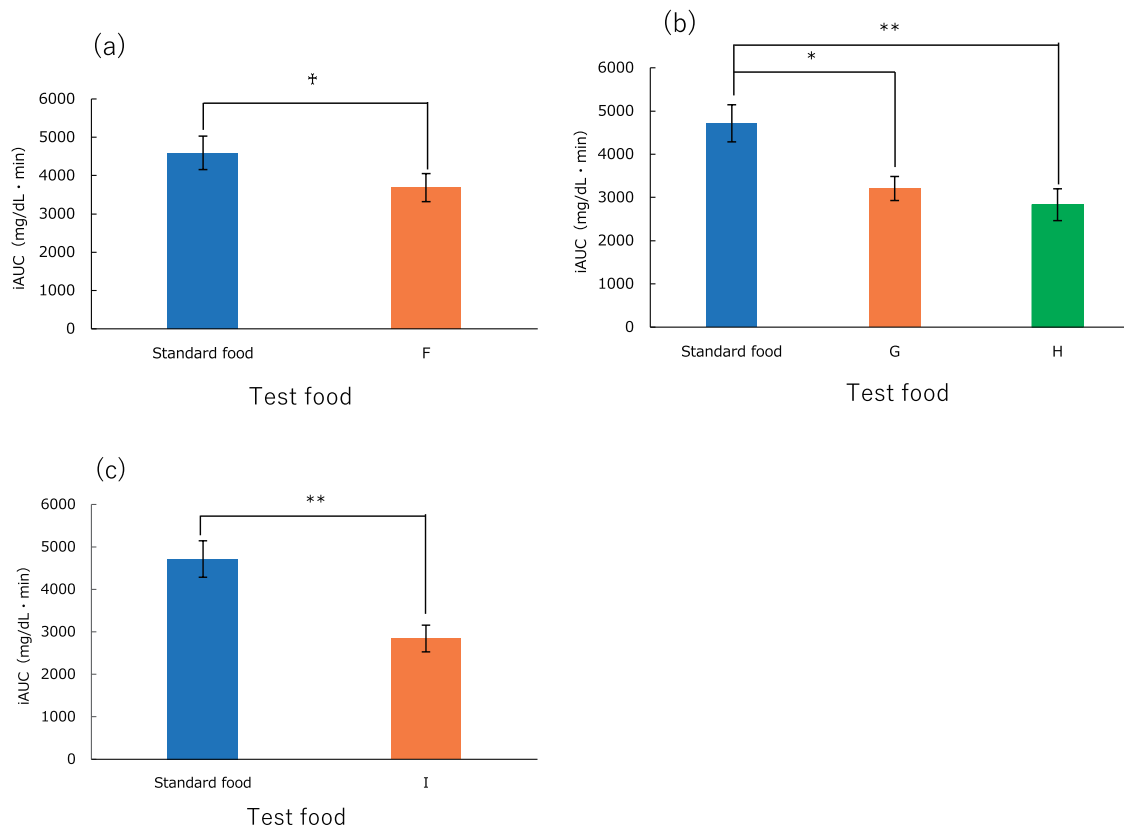


Fig.5. iAUC after intake of test food.

a) F. **b)** G and H. **c)** I. Results are expressed as mean $\pm$ standard error, **a)** $n = 11$, paired t-test, **b)** $n = 14$, Bonferroni test, **c)** $n = 14$, paired t-test, † $p < 0.1$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs standard food. iAUC, incremental area under the curve of blood glucose level change. See Figure 3 for group names.

(41.3%) 低値 ($p < 0.01$) であった。

ΔC_{max} は基準食： 67.1 ± 4.6 mg/dL、試験食 I： 37.3 ± 4.6 mg/dL であった (Fig. 4-c)。 ΔC_{max} は基準食と比べて試験食 I が 29.8 mg/dL (44.4%) 低値 ($p < 0.01$) であった。

iAUC は基準食： $4,715 \pm 429$ mg/dL · min、試験食 I： $2,844 \pm 315$ mg/dL · min であった (Fig. 5-c)。 iAUC は基準食と比べて試験食 I が 1,871 mg/dL · min (39.7%) 低値 ($p < 0.01$) であった。

考察

蛋白質の摂取量と血糖値上昇抑制作用

蛋白質の摂取が血糖値の上昇に与える影響を検証するためにはサラダチキン (モデル食品 A) を用いた。血糖値の上昇はモデル食品 A の摂取量に依存して ΔBG 、 C_{max} 、iAUC の低下が認められた (Fig. 1-a, Fig. 2)。特に、米飯摂取前に試験食 AH を摂取した場合、食後血糖上昇は有意に抑制されたことから、食後高血糖の抑制作用はモデル食品 A に含まれる成分の作用と考えられた。

モデル食品 A の摂取量から算出した試験食中の蛋白質量は試験食 AL：11.5 g、試験食 AH：23 g であった (Table 3)。このため米飯 200 g の摂取時の食後高血糖を抑制するため

に有用な蛋白質量は 23 g と推定された。

モデル食品 A に多く含まれる蛋白質には、インスリン分泌を促進させるグルコース依存性インスリン分泌刺激ポリペプチド (glucose-dependent insulintropic polypeptide：GIP) とグルカゴン様ペプチド-1 (glucagon-like peptide-1：GLP-1) をはじめ様々な消化管ホルモンの分泌を促進する働きがある¹⁶⁾。GLP-1 は、GIP と共にインクレチンとして血糖依存的に膵 β 細胞からのインスリン分泌を促進するほか、胃の蠕動運動に影響し、胃排泄速度を低下させ、血糖上昇を抑制する。本研究からも、蛋白質摂取は血糖上昇を有意に抑制し、またその作用は摂取量を多くするほど強くなるということが示された。

脂質の摂取量と血糖値上昇抑制作用

脂質の摂取が血糖値の上昇に与える影響を検証するためにはオリーブオイル (モデル食品 B) を用いた。血糖値の上昇は米飯摂取前にモデル食品 B を摂取しても、基準食摂取時と比較して有意な血糖上昇抑制作用が認められなかった (Fig. 1-b, Fig. 2)。

モデル食品 B の主成分である脂質は、蛋白質と同様に GLP-1 分泌を促進し、胃運動を抑制することで食後の血糖上昇を抑制する働きがある¹⁷⁾。ただし脂質では GLP-1 濃度上昇に関わらず、インスリンの分泌促進を認めない

という報告¹⁸⁾もあり、脂質摂取では胃運動抑制作用がより強く、血糖値が上昇しないため、インスリン分泌が促進されにくい可能性がある。更に、人において蛋白質摂取は脂質より2～3倍血糖上昇を抑制し、両者の間に相乗効果はないと報告もある¹⁹⁾。本研究では、脂質単独摂取による血糖試験を行ったが、脂質が食後血糖に与える影響が小さかった可能性がある。

酢酸の摂取量と血糖値上昇抑制作用

酢酸の摂取が血糖値の上昇に与える影響を検証するためには穀物酢（モデル食品C）を用いた。血糖値の上昇はモデル食品Cの摂取量に依存して ΔBG 、 C_{max} 、 $iAUC$ の低下が認められた（Fig. 1-c, Fig. 2）。このことから、食後高血糖の抑制作用はモデル食品Cに含まれる成分の作用と考えられた。

モデル食品Cの摂取量から算出した試験食中の酢酸量は試験食CL:0.63 g、試験食CH:1.26 gであった（Table 3）。このため、米飯200 gの摂取時の食後高血糖を抑制するために有用な酢酸量は少なくとも0.63 gと推定された。

食酢中に含まれる酢酸には食品の胃内滞留時間を延長させ、消化・吸収を遅延させる作用があることがラットを対象とした実験において認められている²⁰⁾。また、新たな酢酸の生理作用として、酢酸によるAMPキナーゼの活性化が認められ、糖新生抑制による血糖値低下につながっていることが示唆されている²¹⁾。モデル食品Cを摂取した結果からも、酢酸は血糖上昇を有意に抑制し、またその作用は摂取量を多くするほど強くなった。

水溶性食物繊維の摂取量と血糖値上昇抑制作用

水溶性食物繊維の摂取が血糖値の上昇に与える影響を検証するためには難消化性デキストリン（モデル食品D）を用いた。血糖値の上昇は米飯摂取前にモデル食品Dを摂取しても、基準食摂取時と比較して有意な血糖上昇抑制作用が認められなかった（Fig. 1-d, Fig. 2）。

モデル食品Dの主成分である水溶性食物繊維の血糖上昇抑制作用は、Jenkins DJAら²²⁾をはじめ、土井ら²³⁾や海老原ら²⁴⁾の詳細な研究があり、消化管内で水分を吸収し、その結果胃内容物が粘性を示すことにより消化管通過時間が長くなり血糖値上昇抑制作用を示すと考えられている。しかし難消化性デキストリンが低粘性であるにも関わらず、ラットおよび健常人において耐糖能改善効果を発現し、反復摂取することで肥満など糖質代謝異常の是正が期待できることが見出されている²⁵⁻³¹⁾。難消化性デキストリンの耐糖能改善効果はショ糖、マルトースといった二糖類対して選択的に現れることから、これらの作用が粘性にのみ依存した現象ではないと考えられている^{25, 26, 29)}。

二糖類は消化酵素 α グルコシダーゼにより単糖類に分解され、血管で吸収される。二糖を結合した α グルコシダーゼに難消化性デキストリンが阻害剤として結合すると、加水分解された単糖を二個結合した α グルコシダーゼの血流側への反転が阻止されるので、結合した状態の単糖はやが

て遅延した結合親和性の低下とともに腸壁から消化管側に放出される。この挙動は難消化性デキストリンの血糖値抑制機構の作用メカニズムと推定されている⁵⁾。

デンプン食を負荷した試験では、対照食品摂取における最高血糖値が平均値以上の高値群では、対照食品と被験食品の血糖値に有意差はあるが、平均値以下の低値群については有意差がみられず、一方、ショ糖負荷試験では高値群だけでなく低値群においてより明確に有意差が出るという報告もある⁵⁾。

以上のことから α グルコシダーゼにショ糖が結合した中間体に難消化性デキストリンが阻害剤として結合する親和性は、マルトースが結合した中間体に難消化性デキストリンが結合する親和性より強いと考えられる。本試験で基準食とした米飯はデンプン（マルトース加水分解物）が主成分であり、難消化性デキストリンによる糖吸収抑制作用があまり起こらなかったために、蛋白質、酢酸摂取時のように強力な血糖上昇抑制作用がみられなかったのではないかと考えられる。

食物繊維の摂取量と血糖値上昇抑制作用

不溶性食物繊維と水溶性食物繊維の両方を摂取が血糖値の上昇に与える影響を検証するためにはキャベツ（モデル食品E）を用いた。血糖値の上昇は米飯摂取前にモデル食品Eを摂取しても、基準食摂取時と比較して有意な血糖上昇抑制作用が認められなかった（Fig. 1-e, Fig. 2）。

食品成分表³²⁾によれば、キャベツは可食部100 gあたり水溶性食物繊維が0.4 g、不溶性食物繊維が1.4 g含まれている。一般的に血糖値上昇抑制作用を示すのは水溶性食物繊維であり、不溶性食物繊維は関与しない。水溶性食物繊維は消化管内で水分を吸収し、その結果胃内容物が粘性を示すことにより消化管通過時間が長くなり血糖値上昇抑制作用を示すと考えられている。類似する先行研究として糖尿病患者を対象とした野菜サラダの摂取順序による食後血糖上昇抑制効果を検証した研究⁹⁾があるが、上記の研究は野菜サラダを摂取して10分後に白飯を摂取している。本実験では千切りキャベツと白飯摂取の間に時間を空けていないことから実験条件として差がある。また上記の研究では野菜サラダに米酢、オリーブオイルといった調味料を混ぜたドレッシングをかけて摂取している。そのため、野菜サラダに含まれる食物繊維ではなく、ドレッシングに含まれる酢酸、脂質が血糖上昇の抑制に関与したとも考えられる。さらに健常な若者では白飯の前に野菜サラダ50 gを摂取しても、野菜サラダを摂取しない場合と同様の血糖値推移となり、血糖値上昇は抑制されなかったという報告もある³³⁾。この結果より食物繊維の血糖上昇抑制効果は容量依存であり、血糖値変動を穏やかにする効果を得るには、ある程度の量の食物繊維を摂取する必要があると推測された。

以上より、食物繊維による炭水化物の分解・吸収遅延作用は、食物繊維の摂取タイミングおよび摂取量が重要であると考えられる。

複合食品の摂取による食後血糖変化

本研究では、様々な栄養成分を含む食品を複合食品とし、酢飯（複合食品F）、唐揚げ（複合食品G）、唐揚げ＋レモン果汁（複合食品H）、餃子＋ポン酢しょうゆ（複合食品I）の摂取が血糖値の上昇に与える影響を検証した。その結果、すべての複合食品は血糖上昇を有意に抑制した（Fig. 3-5）。

iAUCに着目すると、複合食品Fは、基準食摂取時と比較して約19.7%減少した。複合食品Gは、約32.0%減少し、複合食品Hは約21.8%減少した。また、複合食品Iは約39.7%減少した。

複合食品Fの調理に用いたすし酢には酢酸が0.6 g含まれている（Table 4）。この酢酸量は試験食CLで検証された米飯200 gの摂取時の食後高血糖を抑制するために有用な摂取量（0.63 g）とほぼ一致している。本研究では複合食品として炭水化物と酢酸を同時に摂取した場合の食後高血糖に与える影響を検討した。類似する先行研究として牛丼が食後高血糖抑制に与える影響を検討した研究があり、牛丼として米飯と蛋白質、脂質を多く含む牛丼の具を同時に摂取しても、米飯単独摂取時と比較して有意な食後高血糖抑制作用が認められている¹⁰⁻¹¹⁾。本研究でも酢飯として米飯と酢酸を同時に摂取すると、牛丼摂取時と同様に食後血糖上昇は有意に抑制された。以上より複合食品として炭水化物と酢酸を同時に摂取しても、酢酸摂取による消化吸収の遅延作用および糖新生抑制作用は先行摂取と同様の効果を示すと考えられる。

基準食摂取時と比較して複合食品Gには蛋白質が16.6 g、脂質が13.4 g多く含まれている（Table 5）。米飯摂取前に試験食AL（蛋白質：11.5 g）および試験食BL（脂質：14 g）をそれぞれ単独で摂取しても、基準食摂取時と比較して食後血糖変化に有意差は認められなかった。しかし、蛋白質および脂質を唐揚げのような複合食品として摂取することで、各栄養成分が相乗効果的に食後高血糖抑制に寄与した可能性がある。一方、複合食品GとHの間で食後高血糖抑制作用に差が認められなかった。既に健康な若者を対象として米飯より先にレモン果汁を15 gもしくは30 g摂取した場合の食後高血糖に及ぼす影響が検証されており、そのとき食後高血糖抑制に有用に働いたレモン果汁の摂取量は30 gであった¹²⁾。レモンにはクエン酸を主体とする有機酸、およびポリフェノール類が豊富に含まれており、これらの作用が食後高血糖抑制に大きく関与した可能性が示唆されている。しかし本研究におけるレモン果汁の摂取による相乗効果的な食後高血糖抑制作用は、レモン果汁15 g摂取であったこと、さらに唐揚げ単独で強い食後高血糖抑制が示されたため認められにくかったのではないかと考えられる。

基準食摂取時と比較して複合食品Iには蛋白質が8.1 g、脂質が16.2 g、酢酸が0.3 g、食物繊維が2 g多く含まれている（Table 4）。唐揚げの先行摂取と同様に各栄養成分を複合食品としてバランスよく摂取することにより、各栄養成分が相乗効果的に食後高血糖抑制に寄与した可能性がある。

血糖値を良好にコントロールするためには食事療法や運

動療法、薬物療法を組み合わせていく必要があるが、なかでも食事療法は2型糖尿病において最も基本となる治療法である。食事療法を長期間継続するためには、個々の食習慣や嗜好性を尊重しながら柔軟な対応をすることが必要である。日本糖尿病学会が糖尿病治療の指針として作成している「糖尿病診療ガイドライン2019」³⁾において、食事療法は摂取エネルギー量と三大栄養素の配分、食塩摂取量、食物繊維摂取量については記述があるが、具体的な食事内容や食品に含まれる各栄養成分が及ぼす相互作用についての記述はほとんど見られない。糖尿病食事療法の目的は血糖値を目標値まで低下させ、また血糖値の日内変動を小さくし合併症を予防することであり、望ましい摂取エネルギーかつ栄養成分のバランスが取れた食事は重要である。本研究で強い食後高血糖抑制がみられた唐揚げ、餃子など様々な栄養成分を含む複合食品は外食などでも取り入れやすく、普段の食事から手軽に食後高血糖抑制が期待できる副菜であると考ええる。

研究限界

本研究は年齢が 23.3 ± 1.8 歳で糖代謝能の血液検査値が基準範囲内の男女を被験者とした。若年者は中高年者と比べて食品による食後高血糖抑制作用が弱かったとの報告がある³⁴⁾。このため本研究評価した食品の作用の強弱は被験者の年齢によって変わる可能性がある。また本研究においては、試験開始前の空腹時のインスリン量のみを測定していたため、被験食摂取の影響によるホルモン分泌量の変化を確認することができなかった。今後、血糖値測定と並行して経時的なホルモン分泌量の変化を測定する必要があると考える。

結語

本研究は健康な若年男女が、米飯（基準食）摂取前に試験食としてサラダチキン、穀物酢を摂取することにより、血糖上昇が有意に抑制された。また、この抑制作用は試験食の摂取量を多くするほど強く表れた。このことから、蛋白質によるインクレチンの分泌促進作用、酢酸による消化吸収遅延作用、糖新生抑制作用は摂取量に依存することが示唆された。一方、米飯摂取前に試験食としてオリーブオイル油、難消化性デキストリン、キャベツを摂取しても、米飯摂取時と比較して血糖上昇抑制作用について有意差は認められなかった。

利益相反申告

本研究を遂行するにあたり利益相反に該当する事項はない。

参考文献

- 1) Nagai R, Mori T, Yamamoto Y, et al. Significant of advanced glycation end products in aging-related disease. *Anti-Aging Med.* 2010; 7: 112-119.
- 2) Ichihashi M, Yagi M, Nomoto K, et al. Glycation stress and photo-aging in skin. *Anti-Aging Med.* 2011; 8: 23-29.
- 3) 日本糖尿病学会 (編). 糖尿病診療ガイドライン 2019. <http://www.fa.kyorin.co.jp/jds/uploads/GL2019-03.pdf>.
- 4) Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, et al. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr.* 1981; 34:362-366.
- 5) 別府秀彦, 渡邊治夫. 難消化性デキストリンの血糖値抑制効果と糖負荷の関係: 特定保健用食品申請ヒト試験デザインの留意点. *生活衛生.* 2011; 55: 3-14.
- 6) 片岡邦三. 健高血糖改善作用と安常者および2型糖尿病患者におけるサラシア・レティキュラータ抽出物 (コトラヒムエキス末) の食後全性についての検討. *日本臨床栄養協会誌.* 2005; 20: 47-53.
- 7) Kajiwaru N, Onodera K, Tsuji T, et al. Safety evaluation of excess or long-term intake of food containing a Salacia extract. *Glycative Stress Res.* 2017; 4: 279-291.
- 8) 金本郁男, 井上 裕, 守内 匡, 他. 低 Glycemic Index 食の摂取順序の違いが食後血糖プロファイルに及ぼす影響. *糖尿病.* 2010; 53: 96-101.
- 9) 今井佐恵子, 松田美久子, 藤本さおり, 他. 糖尿病患者における食品の摂取順序による食後血糖上昇抑制効果. *糖尿病.* 2010; 53: 112-115.
- 10) Kawabata A, Yagi M, Ogura M, et al. Postprandial blood glucose level after intake of a bowl of rice topped with beef. *Glycative Stress Res.* 2015; 2: 67-71.
- 11) Ogura M, Kubo R, Kobayashi T. Influence of beef bowl (gyudon) materials on postprandial blood glucose. *Glycative Stress Res.* 2016; 3: 210-221.
- 12) Yagi M, Uenaka S, Ishizaki K, et al. Effect of the postprandial blood glucose on lemon juice and rice intake. *Glycative Stress Res.* 2020; 7: 174-180.
- 13) 遠藤美智子, 松岡 孝, 中西裕美子. 食後高血糖を抑制する食酢の効果: 食酢および食酢飲料の種類, 摂取方法からみて. ノートルダム清心女子大学紀要 (人間生活学・児童学・食品栄養学編). 2012; 36:1-9.
- 14) Bailey T, Bode BW, Christiansen MP, et al. The performance and usability of a factory-calibrated flash glucose monitoring system. *Diabetes Technol Ther.* 2015; 17: 787-794.
- 15) 日本 Glycemic Index 研究会. プロトコル (統一手法). <http://www.gikenkyukai.com/protocol.html>.
- 16) Von Post-Skagegard M, Vessby B, Karlstrom B. Glucose and insulin responses in healthy woman after intake of composite meals containing cod-, milk-, and soy protein. *Eur J Clin Nutr.* 2006; 60: 949-954.
- 17) Phillips LK, Deane AM, Jones KL. Gastric emptying and glycaemia in health and diabetes mellitus. *Nat Rev Endocrinol.* 2014; 11: 112-128.
- 18) 矢部大介, 桑田仁司, 清野 裕. 食後血糖と栄養素摂取の順番. *糖尿病.* 2016; 59: 30-32.
- 19) Wolever TMS, ed. The Glycemic index: A physiological classification of dietary carbohydrate. Wallingford, United Kingdom: CABI Publishing 2006.
- 20) Ebihara K, Miyada T, Mochizuki S. Comparative effects of various organic acids on glucose-flattening activity in rats fed a glucose solution. *Nutrition Reports International.* 1989; 40: 1041-1046.
- 21) 榎原章二, 岸 幹也, 加賀孝之. 酢酸のAMPキナーゼ活性化による糖・脂質代謝改善. *バイオサイエンスとインダストリー.* 2017; 65: 357-359.
- 22) Jenkins DJA, Wolever TMS, Jenkins A, et al. Dietary fiber, carbohydrate metabolism and diabetes. *Molec Aspects Med.* 1987; 9: 97-112.
- 23) 土井邦紘, 松浦省明, 河原 啓, 他. 食物繊維の糖尿病治療への応用 (第4報): とくに食物繊維の粘度と食後血糖上昇抑制効果. *糖尿病.* 1982; 25: 197-203.
- 24) Ebihara K, Masuhara R, Kiriya S, et al. Correlation between viscosity and plasma glucose- and insulin-flattening action of pectins from vegetables and fruits in rats. *Nutr Rep. Int.* 1981; 23: 935-942.
- 25) Wakabayashi S, Kishimoto Y, Matsuoka A. Effects of indigestible dextrin on glucose tolerance in rats. *J Endocrinol.* 1995; 144: 533-538.
- 26) 若林 茂. 難消化性デキストリンの耐糖能に及ぼす影響 (第I報): 消化吸収試験および糖負荷試験による検討. *日内分泌会誌.* 1992; 68: 623-635.
- 27) 若林 茂, 植田由香, 松岡 瑛. 難消化性デキストリンの耐糖能に及ぼす影響 (第II報): 高ショ糖食飼育ラットに対する連続投与試験. *糖尿病.* 1992; 35: 873-880.
- 28) 若林 茂. 難消化性デキストリンの耐糖能に及ぼす影響 (第III報): 耐糖能障害モデルにおける効果の検討. *日内分泌会誌.* 1993; 69: 594-608.
- 29) 若林 茂, 植田由香, 松岡 瑛. 難消化性デキストリンの耐糖能に及ぼす影響 (第IV報): 各種糖質負荷後のラットの血糖値ならびにインスリン分泌に及ぼす難消化性デキストリンの影響. *栄食誌.* 1993; 46: 131-137.
- 30) 植田由香, 若林 茂, 松岡 瑛. ショ糖負荷後の耐糖能および尿中C-ペプチド値に及ぼす難消化性デキストリンの影響. *糖尿病.* 1993; 36: 715-723.
- 31) 藤原啓子, 松岡 瑛. 低粘性水溶性食物繊維 (難消化性デキストリン) の耐糖能改善効果. *栄食誌.* 1995; 53: 361-368.
- 32) 香川明夫. 七訂 食品成分表 2018. 女子栄養大学出版部 (東京), 2018.
- 33) 古賀克彦. 食事の摂取順序による血糖値への影響 (第2報): 食物繊維が血糖値に及ぼす影響について. *長崎女子短期大学紀要.* 2017; 41: 6-8.
- 34) Yagi M, Takabe W, Wickramasinghe U, et al. Effect of heat-moisture-treated high-amylose corn starch-containing food on postprandial blood glucose. *Glycative Stress Res.* 2018; 5: 151-162.