

Original article

Effect of *Yokan* intake on postprandial blood glucose

Masayuki Yagi¹⁾, Akari Yoshimura¹⁾, Takuya Yokoi²⁾, Yutaka Aoyama²⁾,
Kaoru Masuda²⁾, Chieko Sakiyama¹⁾, Mari Ogura¹⁾, Yoshikazu Yonei¹⁾

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

2) Toraya Confectionery Co. Ltd., Tokyo, Japan

Glycative Stress Research 2022; 9 (3): 118-125

(c) Society for Glycative Stress Research

(原著論文：日本語翻訳版)

羊羹の摂取が食後血糖値に及ぼす影響

八木雅之¹⁾、吉村明里¹⁾、横井琢也²⁾、青山 泰²⁾、増田かおる²⁾、
崎山智恵子¹⁾、小椋真理¹⁾、米井嘉一¹⁾

1) 同志社大学大学生命医科学部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) 株式会社 虎屋

抄録

食後高血糖状態の持続は糖化ストレス増大の一因となる。このため食品に含まれる炭水化物が食後の血糖値上昇に及ぼす影響を把握することは糖化ストレス対策として重要なポイントとなる。本研究では砂糖、小豆、寒天を主原材料とする和菓子のひとつである羊羹摂取の糖化ストレスに対する影響を評価することを目的に羊羹、砂糖水、米飯を摂取した後の血糖値変化を比較検証した。

被験者は事前に開催した試験説明会に参加し、試験への参加の同意が書面で得られた健康な20～30歳男女16名とした。試験食品は基準食として米飯(A)、試験食として羊羹(B, C, D)、砂糖水(E)を炭水化物量として50gに揃えて摂取し、その後の血糖値推移を検証した。試験にはFreeStyleリブレProを使用し、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。血糖値は試験食品の摂取前から120分後まで収集した。結果の評価は、血糖変化値(ΔBG)、最高血糖変化値(ΔC_{max})および血糖上昇曲線下面積($iAUC$)によって行った。試験結果はBonferroni法による多重検定を用いて解析した。

試験は有害事象がなく、解析対象除外基準に該当する被験者もなかった。被験者16名の食品摂取後の血糖値変化曲線は、試験食品E > A > B, C, Dの順に高値を示した。試験食品A摂取後の ΔBG はB, C, Dと比べて、

連絡先：教授 八木雅之
同志社大学大学生命医科学部 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: 0774-65-6394 e-mail: myagi@mail.doshisha.ac.jp
共著者：吉村明里 ctuh2036@mail4.doshisha.ac.jp;
横井琢也 t.yokoi@toraya-group.co.jp; 青山 泰 aoyama@toraya-group.co.jp;
増田かおる kaoru.masuda@toraya-group.co.jp; 崎山智恵子 csakiyam@mail.doshisha.ac.jp;
小椋真理 m-ogura@po.kbu.ac.jp; 米井嘉一 yyonei@mail.doshisha.ac.jp

Glycative Stress Research 2022; 9(3): 118-125
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

いずれも90分後、120分後で高値であった。試験食品 **B** 摂取後の ΔBG は45分後に **E** よりも低値であった。試験食品 **C** 摂取後の ΔBG は45分後に **E** よりも低値傾向が認められた。試験食品の $iAUC$ は **A** > **E** > **B** > **C** > **D** の順に高値で、**A** と比べて **B**, **C**, **D** で有意に低値であった。試験食品 **D** の $iAUC$ は **E** と比べて低値傾向が認められた。試験食品の $\Delta Cmax$ は試験食品 **E** > **D** > **A** > **B**, **C** の順に高値であった。試験食品 **B** と **C** の $\Delta Cmax$ は **E** と比べて低値傾向が認められた。

試験食品 **B**, **C**, **D** の ΔBG 、 $iAUC$ 、 $\Delta Cmax$ が **A**, **E** と比べて低値であった要因には、羊羹に含まれる小豆成分および寒天の影響、食品の加工における構造や機能の変化が推定された。GI 値の観点から羊羹の摂取における糖質の影響は一般的な食品と同等と考えられた。羊羹は適切な摂取量であれば米飯や砂糖の摂取と比べて糖化ストレスに対する影響が小さく、機能性を有する食品である可能性がある。

KEY WORDS: 糖化ストレス、食後血糖値、羊羹、小豆

はじめに

糖化ストレス (glycative stress) は糖化による終末糖化産物 (advanced glycation end products; AGEs) の生成や蓄積によって起こる生体への負の影響のひとつである¹⁾。糖化ストレスは老化や様々な疾病に関与し、皮膚老化、糖尿病合併症、骨粗鬆症、認知症などの進展要因となる。糖化ストレスの軽減には高血糖状態の抑制、糖化反応の抑制、AGEsの分解や排泄促進などの方法がある^{2,3)}。健康な人であっても食後の急激な高血糖は血中アルデヒドの上昇要因となり糖化ストレスを増大させる^{4,5)}。このため食品に含まれる炭水化物が食後の血糖値上昇に及ぼす影響を把握することは糖化ストレス対策として重要なポイントとなる。食後高血糖の抑制には炭水化物の摂取量を減らすこと、食後の血糖値上昇が緩やかな低グリセミックインデックス (glycemic index; GI) 食品を選択すること⁶⁾、炭水化物と共に蛋白質、脂質、酢酸、食物繊維を多く含む食品を併食すること⁷⁾、炭水化物よりも野菜を先に食べる食事法⁸⁾などがある。菓子類は主に間食またはデザートとして摂取される食品で、砂糖を多く含み、甘味の強いものが多い。砂糖を多く含む食品の過剰摂取は、う蝕、肥満、メタボリックシンドロームの進展要因となる⁹⁾。一方、間食としての菓子の摂取は注意機能、記憶力を向上させる^{10,11)}。さらに菓子は集団生活におけるコミュニケーションの活発化や創

造性向上に繋がることも報告されている¹²⁾。本研究では砂糖、小豆、寒天を主原材料とする和菓子のひとつである羊羹を摂取した後の糖化ストレスに対する影響を評価することを目的に、炭水化物量を50 gに統一した試験食品として、羊羹、砂糖水、米飯を摂取した後の血糖値変化を比較検証した。

方法

被験者

被験者は以下の選択基準に合致した16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を被験者自身で調査票に記入すると共に、血液検査を受けた (Table 2)。試験はFreeStyleリブレ Pro

Table 1. Subjects profile.

	Unit	Total	Male	Female
Number of subjects		16	8	8
Age	years	22.5 ± 0.9	22.6 ± 0.7	22.4 ± 1.0
Body height	cm	166.0 ± 10.1	174.4 ± 4.1	157.6 ± 6.6
Body weight	kg	58.9 ± 11.6	67.9 ± 9.2	49.8 ± 4.6
BMI		21.2 ± 2.8	22.3 ± 2.6	20.2 ± 2.5

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

羊羹摂取後の血糖値変化

(Abbott Laboratories, Chikago, 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¹³⁾。

試験プロトコル

本試験は既報¹⁴⁻¹⁸⁾と同様に日本 Glycemic Index (GI) 研究会による統一プロトコル¹⁹⁾を参考に試験を実施した。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な運動を禁止する。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の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日以上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に試験食品を10分間で摂取した。その後、被験者は座位でビデオを鑑賞し、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。

試験食品の摂取は一口30回以上咀嚼してから嚥下した。血糖値は試験食品を摂取する前（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。

試験食品

本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、一食あたりの炭水化物摂取量を50 gに統一した（Table 3）。本研究では、市販の包装米飯、ふりかけ、羊羹製品、砂糖水を使用した。包装米飯は「サトウのごはん、新潟産コシヒカリ150 g」（佐藤食品工業、新潟県新潟市）を用いた。ふりかけは「のりたま」（丸美屋食品工業、東京都杉並区）を用いた。羊羹製品は3

Table 2. Result of the blood chemistry test.

Test item	Unit	Measured value	Reference range
FBG	mg/dL	83.6 ± 4.9	≤ 99
HbA1c	%	5.1 ± 0.2	≤ 5.5
IRI	μU/mL	5.3 ± 1.5	—
Total cholesterol	mg/dL	181.5 ± 24.3	—
HDL-C	mg/dL	61.3 ± 13.8	≥ 40
LDL-C	mg/dL	103.6 ± 19.8	60 – 119
TG	mg/dL	75.4 ± 62.6	30 – 149
AST	U/L	17.8 ± 5.8	≤ 30
ALT	U/L	15.8 ± 18.4	≤ 30
γ-GT	U/L	17.3 ± 9.3	≤ 50

Results are expressed as mean ± standard deviation, n = 16, FBG, fasting blood glucose; IRI, immunoreactive insulin; HDL, high-density lipoprotein; LDL, low-density lipoprotein; TG, triglyceride; AST, aspartate transaminase; ALT, alanine transaminase; γ-GT, γ-glutamyltransferase.

Table 3. Nutrition facts of test food.

Test food	Serving unit (g)	Energy (kcal)	Protein (g)	Fat (g)	Carbohydrate (g)	Sodium chloride amount (g)
A	152.5	220	3.5	0.6	50	0.23
B	71	210	3	0	50	0
C	73	215	3	0	50	0.03
D	73	213	3	0	50	0
E	50	194	0	0	50	0

A, rice 150 g + sprinkle 2.5 g; B, small Yokan Yoru no Ume; C, small Yokan Sora no Tabi; D, small Yokan Omokage; E, sugar water 150 mL.

種類の「小形羊羹：夜の梅、空の旅、おもかげ」（虎屋、東京都港区）を用いた。砂糖はグラニュー糖（三井製糖、東京都中央区）を使用した。炭酸水はウィルキンソン炭酸水（アサヒ飲料、墨田区）を使用した。試験食品は**A**～**E**とし、摂取量は以下の通りとした。

A（基準食）：包装米飯 150 g + ふりかけ 2.5（総炭水化物量：50 g）

B（試験食）：小形羊羹「夜の梅」71 g（炭水化物量：50 g）

C（試験食）：小形羊羹「空の旅」73 g（炭水化物量：50 g）

D（試験食）：小形羊羹「おもかげ」73 g（炭水化物量：50 g）

E（試験食）：砂糖水（炭酸水を約 10 % 含む水 150 mL に 50 g の砂糖を溶解）（総炭水化物量：50 g）

試験食品は**A**～**E**ともに試験開始後10分間で摂取した。

安全性解析対象者の選択

安全性解析対象者は試験食品を一度でも摂取した被験者とした。

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、以下に記載の解析対象除外基準に該当する被験者を除外した人とした。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。

統計解析

試験の安全性評価と解析は安全性解析対象者とし、有害事象および副作用について症状、程度、頻度などを集計して評価した。

試験結果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変化値（ 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¹⁹⁾。統計解析には統計解析ソフト BellCurve for Excel（社会情報サービス、東京都新宿区）を用いた。血糖値は平均値 $\pm$ 標準誤差 (standard error; SE) で示した。試験結果の群間比較には Bonferroni 法による多重検定の後、両側検定で危険率 5 % 未満 ($p < 0.05$) を有意差あり、 $0.05 \leq p < 0.1$ を有意傾向ありとした。

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。本研究は一般社団法人糖化ストレス研究会「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の審議・承認のもとに実施した（承認番号：GSE#2021013）。また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登録して実施した（試験 ID：UMIN#000045927）。

結果

安全性の評価

本試験において有害事象の報告はなかった（データ未掲載）。

有効性の評価

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16名全員を有効性解析対象者とした。

有効性の解析

・全体解析

各試験食品摂取前の被験者の血糖値は83.8～91.9 mg/dLで、試験開始45分後に最高値となり、その後低下した（Table 4）。試験食品**A**摂取後の血糖値変化（ Δ BG）は**B**、**C**、**D**と比べて、いずれも90分後（ $p < 0.001$ ）、120分後（ $p < 0.001$ ）で高値、**E**と比べて30分後で低値（ $p = 0.032$ ）、45分後で低値傾向（ $p = 0.053$ ）、90分後（ $p = 0.002$ ）、120分後（ $p < 0.001$ ）で高値であった（Fig. 1）。試験食品**B**摂取後の Δ BGは45分後に**E**よりも低値であった（ $p = 0.032$ ）。試験食品**C**摂取後の Δ BGは45分後に**E**よりも低値傾向が認められた（ $p = 0.086$ ）。試験食品**B**、**C**、**D**摂取後のその他の測定時間における Δ BGには差異が認められなかった。

試験食品のiAUCは**A** > **E** > **B** > **C** > **D**の順に高値で、**A**と比べて**B**（ $p = 0.018$ ）、**C**（ $p = 0.008$ ）、**D**（ $p = 0.004$ ）で有意に低値であった（Fig. 2-a）。また試験食品**D**のiAUCは**E**と比べて低値傾向が認められた（ $p = 0.094$ ）。

試験食品の Δ Cmaxは試験食品**E** > **D** > **A** > **B**、**C**の順に高値であった（Fig. 2-b）。また試験食品**B**（ $p = 0.064$ ）と**C**（ $p = 0.062$ ）の Δ Cmaxは**E**と比べて低値傾向が認められた。

・サブクラス解析

サブクラス解析では全被験者16名を基準食である試験食品**A**摂取時におけるiAUCをもとに、高値上位8名（高値群）、低値下位8名（低値群）に分け、試験食品（**B**、**C**、**D**、**E**）摂取後のiAUCと Δ Cmaxの違いを検証した（Fig. 3）。試験食品**A**摂取時のiAUC、 Δ Cmaxは高値群が低値群よりもそれぞれ1.75倍（ $p < 0.001$ ）、1.47倍（ $p = 0.0046$ ）高値であった。さらに高値群のiAUCは試験食品**B**で1.74倍（ $p = 0.02$ ）、**C**で1.69倍（ $p = 0.003$ ）低値群より高値で

Table 4. Blood glucose level fluctuation after test food intake.

Time (min)	A	B	C	D	E
0	85.6 ± 3.0 (5.8)	83.8 ± 1.8 (3.5)	91.9 ± 2.6 (5.0)	88.3 ± 2.1 (4.1)	83.8 ± 2.5 (4.9)
15	98.5 ± 3.2 (6.2)	102.1 ± 3.4 (6.6)	112.9 ± 3.6 (7.0)	103.4 ± 3.0 (5.9)	105.2 ± 4.2 (8.3)
30	126.4 ± 3.8 (7.5)	130.9 ± 4.7 (9.2)	142.8 ± 4.6 (9.1)	131.7 ± 4.3 (8.4)	140.7 ± 5.4 (10.6)
45	139.8 ± 5.1 (10.0)	136.9 ± 4.7 (9.1)	147.1 ± 5.4 (10.7)	143.8 ± 4.9 (9.7)	154.4 ± 5.0 (9.8)
60	133.1 ± 6.0 (11.7)	122.9 ± 5.4 (10.6)	130.4 ± 6.2 (12.2)	132.4 ± 7.3 (14.2)	137.3 ± 5.3 (10.4)
90	125.0 ± 4.9 (9.6)	99.5 ± 5.0 (9.7)	103.8 ± 4.2 (8.3)	99.7 ± 5.4 (10.5)	102.4 ± 3.9 (7.6)
120	125.0 ± 4.5 (8.9)	89.3 ± 4.9 (9.5)	91.0 ± 3.3 (6.4)	87.2 ± 4.0 (7.8)	88.1 ± 4.8 (9.4)

Results are expressed as mean ± standard error (95 %CI), n = 16, A-E; details of the test food are shown in **Table 3**.

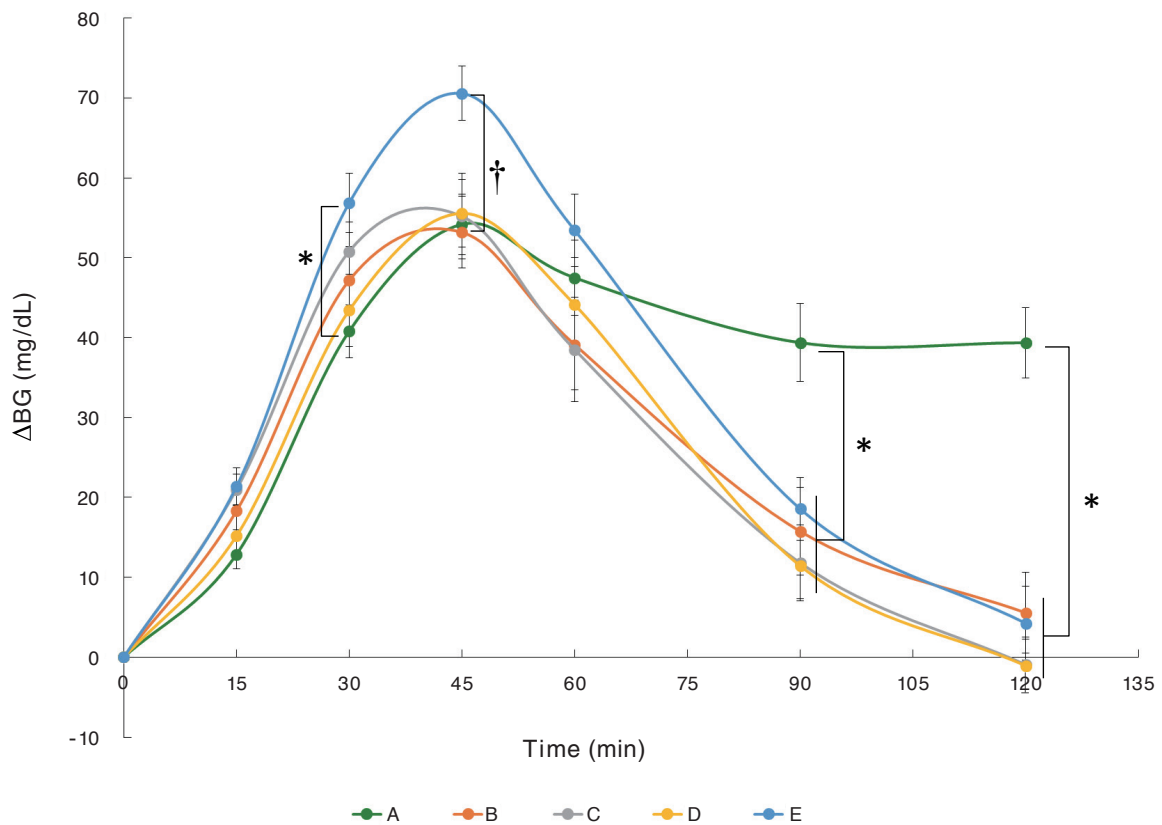


Fig. 1. Fluctuation of the ΔBG level at the time of test food intake.

Results are expressed as mean ± standard error, n = 16, † p < 0.1, * p < 0.05 vs standard food (A), Bonferroni test, A~E; details of the test food are shown in **Table 3**.

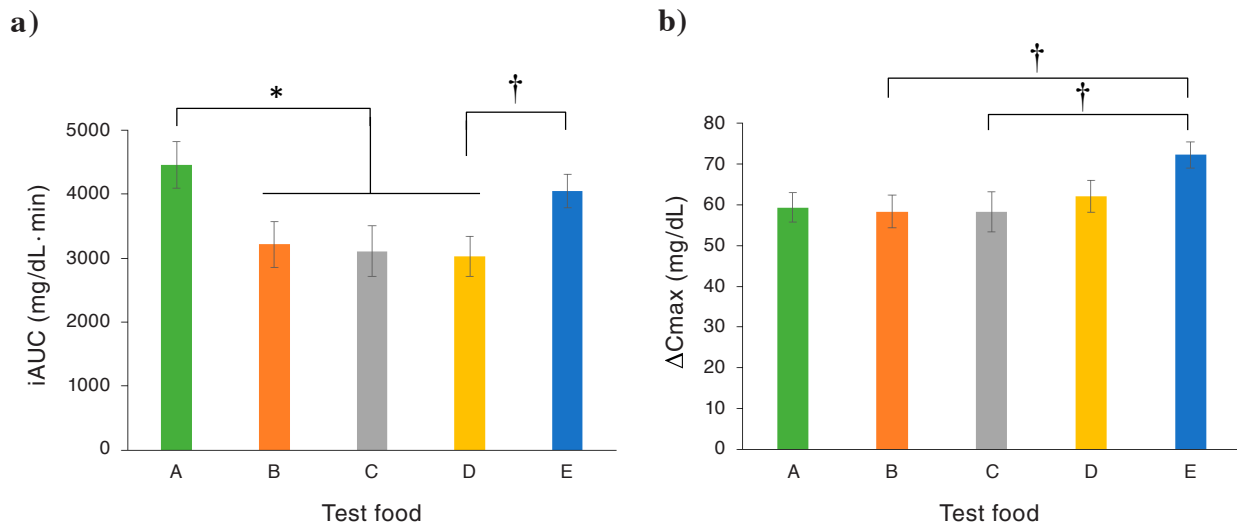


Fig. 2. The amount of iAUC and ΔCmax after test food intake.

a) iAUC, **b)** ΔCmax. Results are expressed as mean ± standard error, n = 16. † p < 0.1, * p < 0.05, Bonferroni test. ΔCmax, maximum blood glucose change; iAUC, incremental area under the curve of blood glucose change. A ~ E; details of the test food are shown in Table 3.

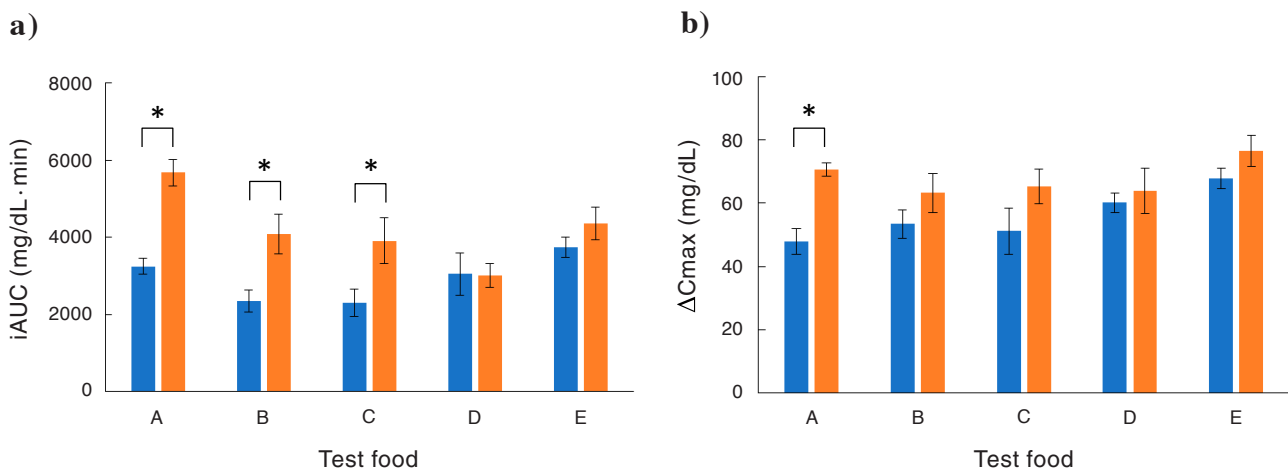


Fig. 3. Subclass analysis of iAUC and ΔCmax after test food intake.

a) iAUC, **b)** ΔCmax. ■, higher group (n = 8); ■, lower group (n = 8). Results are expressed as mean ± standard error, * p < 0.05, Bonferroni test. ΔCmax, maximum blood glucose change; iAUC, incremental area under the curve of blood glucose change. A ~ E; details of the test food are shown in Table 3.

あったが、D、Eで差異が認められなかった。試験食品B、C、D、EのΔCmaxは高値群と低値群に差異が認められなかった。

考察

羊羹摂取後の血糖値変化

本試験では試験食品の炭水化物量を50 gに統一して摂取した。試験食品B、C、Dは羊羹であり砂糖と小豆等の豆

類と寒天を主原材料として加工された食品である。これらは、砂糖水（試験食品E）のみの摂取と比べて、Bで45分後のΔBGが低値（p = 0.032）、ΔCmaxが低値傾向（p = 0.064）、Cで45分後のΔBG（p = 0.086）、ΔCmaxが低値（p = 0.062）、DでiAUCが低値傾向（p = 0.094）を示した。

米に1.7～2.5%寒天を添加して炊飯した米飯を摂取した試験では、寒天が米の熱的变化を抑制し、消化管内でグルコース生成が抑制された結果、食後高血糖が抑制された²⁰⁾。また米飯と50%キサンタンガム溶液の同時摂取は、胃内での食塊形成による滞留時間の延長および米飯とキサ

ンタンガムのゾル形成による消化阻害によって食後血糖値上昇を抑制した²¹⁾。さらに小豆抽出液に含まれるフラボノイド²²⁾、カテキン配糖体²³⁾は α グルコシダーゼ阻害作用が報告されている。これらのことから試験食品 **B**, **C**, **D** の Δ BGの低さには羊羹に含まれる小豆、寒天の作用が推定された。

試験食品 **A** (米飯) の Δ BGは60分以降、他の試験食と比べて低下が緩慢であった。試験食品中の主な炭水化物は **A** が米由来澱粉、**B**, **C**, **D** が砂糖と小豆由来澱粉、**E** が砂糖である。食品摂取における血糖値上昇への影響は摂取した炭水化物の排出速度、腸管における消化吸收速度、インクレチンによるインスリン分泌刺激などがある²⁴⁾。試験食品 **A** 摂取後の Δ BGの違いは米飯中の澱粉と砂糖の消化吸收の違いが関与する可能性がある。湿熱処理ハイアミロースコーンスターチ (heat-moisture-treated high-amylose corn starch; HMT-HAS) を配合したパン摂取後の血糖値上昇抑制作用は大学生 (22.6 $\pm$ 1.3歳、n = 13) よりも企業従事者 (平均年齢: 36.9 $\pm$ 9.3歳、n = 19) が顕著であり、その要因として被験者の年齢やインスリン抵抗性の違いが推定されている⁵⁾。本検証におけるサブクラス解析の結果、試験食品 **A** (米飯) 摂取におけるiAUC高値群と低値群の差異は**B**, **C**でのみ認められ、**D**, **E**に認められなかった。試験食品 **B**, **C**, **D**は羊羹であり、その主原材料は同様である。小豆を加熱調理して得られた餡は、加熱工程や保存中に澱粉や蛋白の構造や機能が変化する²⁵⁾。よって食品摂取後の血糖値変化には食品の加工や調理方法も関与する可能性がある。

試験食品のGI値

GI値は糖質を多く含む食品・食事の食後血糖上昇能で、糖質の生理的機能の質を評価するために開発された指標である⁶⁾。GI値の算出法には米飯またはグルコースを基準食とする方法がある。グルコースを基準食とした場合70以上を高GI、69～56を中程度GI、55以下を低GIと定義されている。また、米飯を基準食とした場合は、GI値の区分の定義に1.2倍を乗じた83以上の食品を高GI食品、82～65の間の食品を中GI食品、64以下の食品を低GI食品とされている²⁶⁾。本試験結果で得られたiAUCを日本GI研究会が推奨するプロトコル (統一手法)¹⁹⁾に基づき試験食品 **A** (米飯) を100としたGI値を算出したところ、GI値は**B** が72.1、**C**が69.8、**D**が68.0、**E**が90.9となった (Fig. 2-a)。従って、GI値の観点から本試験食品は**E**が高GI食品、**B**, **C**, **D**が中GI食品と推定された。また日本人女性が摂取する食事の平均GI値 (グルコースを基準食とした場合) は67とされている²⁷⁾。このためGI値の観点から羊羹 (試験食品 **B**, **C**, **D**) の摂取における糖質の影響は一般的な食品に近似すると考えられた。一方、羊羹は主食ではなく嗜好品である。このため主食、主菜、副菜の揃った複合食としてのGI値低下作用は期待できない。しかし羊羹や和菓子は茶や抹茶と同時に摂取する習慣が一般的である。茶に

はカテキンによる α アミラーゼ、 α グルコシダーゼ阻害作用が認められている^{28,29)}。このため日本人の一般的な羊羹の食べ方におけるGI値は、さらに低値となることが推定される。

羊羹の摂取が糖化ストレスに及ぼす影響

糖化ストレスは食後の血糖値上昇、酸化ストレスおよび精神ストレスでも増大する¹⁾。一般に甘味の強い菓子類は砂糖の含有量が多く、食後の血糖値上昇の観点から糖化ストレスを増大させる食品とされる。炭水化物量を50 gに統一した本試験において、羊羹のiAUC (試験食 **D**) または Δ Cmax (**B**, **C**) は砂糖水よりも低値を示した。羊羹の糖化ストレス抑制作用は原材料である寒天の血糖上昇抑制作用²⁰⁾の他に、小豆に含まれる成分の影響も推定される。小豆には15種類のフラボノイドが含まれ³⁰⁾、抗酸化作用³¹⁾、 α アミラーゼ、 α グルコシダーゼ阻害作用^{22,23)}が認められている。また小豆を加熱調理して得られる餡には70種類の香り成分が含まれ³²⁾、特徴的な甘い香り成分としてマルトール (maltol) の関与が推定されている³³⁾。餡の香り成分は食品摂取における美味しさの満足感付与に関与する³³⁾。羊羹は宇宙食としても開発されており、長期保存性や摂取時の飛散性の低減食品としての適性のみならず、宇宙飛行士の精神ストレス緩和食品として機能している³⁴⁾。これらのことから羊羹の摂取は適切な摂取量であれば糖化ストレスに及ぼす影響が米飯や砂糖水と比べて小さく、機能性を有する食品と考えられた。

研究限界

本研究の被験者は健康な20～30歳男女を対象とした。羊羹摂取における血糖値上昇の加齢変化、間食として摂取した後の食事摂取への影響は未検証である。これらの影響は引き続き検証が必要である。

結語

羊羹摂取後の血糖値変化を検証した結果、羊羹は適切な摂取量であれば米飯や砂糖の摂取と比べて糖化ストレスに対する影響が小さく、機能性を有する食品である可能性がある。

利益相反申告

本研究の遂行にあたり、株式会社虎屋 (東京都港区) より研究支援を受けた。

参考文献

- 1) Ichihashi M, Yagi M, Nomoto K, et al. Glycation stress and photo-aging in skin. *Anti-Aging Med.* 2011; 8: 23-29.
- 2) Yagi M, Yonei Y. Glycative stress and anti-aging: 13. Regulation of Glycative stress. 1. Postprandial blood glucose regulation. *Glycative Stress Res.* 2019; 6: 175-180.
- 3) Yagi M, Yonei Y. Glycative stress and anti-aging: 14. Regulation of Glycative stress. 2. Inhibition of the AGE production and accumulation. *Glycative Stress Res.* 2019; 6: 212-218.
- 4) Maessen DE, Hanssen NM, Jean L et al. Post-glucose load plasma α -dicarbonyl concentrations are increased in individuals with impaired glucose metabolism and type 2 diabetes: The CODAM study. *Diabetes Care.* 2015; 38: 913-920.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 金本郁男, 井上 裕, 守内 匡ら, 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.
- 8) Uenaka S, Yagi M, Takabe W, et al. The effects of food materials on postprandial hyperglycemia. *Glycative Stress Res.* 2020; 7: 220-231.
- 9) Ruxton CHS, Gardner EJ, McNulty HM, Is sugar consumption detrimental to health? A review of the evidence 1995-2006. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2010; 50: 1-19.
- 10) Mahoney CR, Taylor HA, Kanarek RB. Effect of an afternoon confectionery snack on cognitive processes critical to learning. *Physiol Behav.* 2007; 90: 344-352.
- 11) Busch CR, Taylor HA, Kanarek RB, et al. The effects of a confectionery snack on attention in young boys. *Physiol Behav.* 2002; 77: 333-340.
- 12) 飛田操. 菓子が集団による創造的パフォーマンスに及ぼす効果. 福島大学人間発達文化学類論集. 2017; 25: 39-48.
- 13) 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.
- 14) Yagi M, Shimode A, Yasui K, et al. Effect of a vinegar beverage containing indigestible dextrin and a mixed herbal extract on postprandial blood glucose levels: A single-dose study. *Glycative Stress Res.* 2014; 1: 8-13.
- 15) Ogura M, Yagi M, Nomoto K, et al. Effect of grapefruit intake on postprandial plasma glucose. *Anti-Aging Med.* 2011; 8: 60-68.
- 16) Yagi M, Kishimura Y, Okuda F, et al. Effect of yogurt on postprandial blood glucose after steamed rice intake. *Glycative Stress Res.* 2018; 5: 68-74.
- 17) Matsushima M, Yagi M, Hamada U, et al. Prevention of postprandial hyperglycemia by the combination of a staple food and a side dish. *Glycative Stress Res.* 2014; 1: 53-59.
- 18) 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.
- 19) 日本Glycemic Index 研究会. プロトコル (統一手法) <http://www.gikenkyukai.com/protocol.html>
- 20) 森高初恵, 中西由季子, 不破眞佐子, 他. 米飯の熱特性: 感覚特性とグリセミックインデックスに及ぼす寒天の影響. *日本調理学会誌.* 2012; 45: 115-122.
- 21) 佐川敦子, 中西由季子, 小野仁志, 他. 増粘剤添加が米飯の消化性および米飯食塊の力学特性に及ぼす影響. *日本食品科学工学会誌.* 2013; 60: 387-396.
- 22) Yao Y, Cheng X, Wang L, et al. A determination of potential α -glucosidase inhibitors from azuki beans (*Vigna angularis*). *Int J Mol Sci.* 2011; 12: 6445-6451.
- 23) Kuriya K, Nishio M, Ono N, et al. Isolation and characterization of antihyperglycemic compounds from *Vigna angularis* extracts. *J Food Sci.* 2019; 84: 3172-3178.
- 24) Riccardi G, Rivellese AA, Giacco R. Role of glycemic index and glycemic load in the healthy state, in prediabetes, and in diabetes. *Am J Clin Nutr.* 2008; 87: 269S-274S.
- 25) Yousif AM, Kato J, Deeth HC. Effect of storage on the biochemical structure and processing quality of adzuki bean (*Vigna angularis*). *Food Reviews International.* 2007; 23: 1-33.
- 26) 市川陽子. 食事のGlycemic Index と生活習慣病一次予防. *日本調理学会誌.* 2011; 44: 259-262.
- 27) Murakami K, Sasaki S, Takahashi Y, et al. Dietary glycemic index and load in relation to metabolic risk factors in Japanese female farmers with traditional dietary habits. *Am J Clin Nutr.* 2006; 83: 1161-1169.
- 28) Xiao J, Ni X, Kai G, et al. A review on structure-activity relationship of dietary polyphenols inhibiting α -amylase. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2013; 53: 497-506.
- 29) Gao J, Xu P, Wang Y, et al. Combined effects of green tea extracts, green tea polyphenols or epigallocatechin gallate with acarbose on inhibition against α -amylase and α -glucosidase *in vitro*. *Molecules.* 2013; 18: 11614-11623.
- 30) Liu R, Cai Z, Xu B. Characterization and quantification of flavonoids and saponins in adzuki bean (*Vigna angularis* L.) by HPLC-DAD-ESI-MSⁿ analysis. *Chem Cent J.* 2017; 11: 93.
- 31) 神谷 育, 藤岡宏樹, 鎌田美乃里, 他. 小豆餡のポリフェノール量, SOD 様活性および培養細胞における活性酸素の産生抑制. *日本食品科学工学会誌.* 2015; 62: 349-353.
- 32) 時友裕紀子, 小林彰夫. 国産アズキの煮熟臭に関する研究. *日本農芸化学会誌.* 1988; 62: 17-22.
- 33) 田澤英二郎, 加野博之, 松本苗緒, 他. どら焼きの小豆餡の美味しさに寄与する香気成分について. *日本食生活学会誌.* 2018; 29: 45-52.
- 34) 岡村優徳, 細谷 誠. 宇宙日本食「羊羹」の開発. *日本食品科学工学会誌.* 2008; 55: 402-404.