

シマグワ葉パウダーを配合したパンの血糖値上昇抑制効果

久米大祐^{*1}, 喬穎², 中山珠里², 保川清²,
島尻佳典³, 伊東昌章⁴

(2020年8月27日受付: 2020年12月7日受理)

要旨: 本研究では, シマグワ (*Morus australis*) 葉から製造したパウダーを配合したパン (シマグワパン) の血糖値上昇抑制効果を検証することを目的とした。実験1では, シマグワパンの機能性解析として, 1-デオキシノジリマイシン (1-DNJ) 含有量, α -アミラーゼ [3.2.1.1] およびマルターゼ [3.2.1.20] 阻害活性を評価した。実験2では, 健常成人を対象として同パンの食後血糖値上昇に対する抑制効果を検証した。実験1の結果, 製パン時に1-DNJ含有量は減少するものの, シマグワパンには1-DNJが残存していることが示された。シマグワ葉パウダーに α -アミラーゼ阻害活性は認められなかった。シマグワパンは, シマグワ葉パウダーそのものよりもマルターゼに対する50%阻害濃度は高値を示すものの, マルターゼ阻害活性を保持していた。実験2の結果, シマグワパンを摂取した後は, 通常のパンを摂取した後よりも, 血糖値およびインスリン値の上昇が抑制された。本研究の結果から, シマグワパンの血糖値上昇抑制効果が明らかとなった。

キーワード: シマグワ, 1-デオキシノジリマイシン, α -アミラーゼ, マルターゼ, 血糖値

食後高血糖は, 糖尿病患者のみならず非糖尿病患者においても, 心血管疾患発症の危険因子となる¹⁾。疾病予防の観点から, 食後の血糖値を適切に管理することは大変重要である。

桑葉には1-デオキシノジリマイシン (1-DNJ) およびその誘導体が含まれており²⁾, 1-DNJは小腸に存在する二糖類分解酵素 (マルターゼ, スクララーゼ等) に対する阻害活性を有する³⁾。先行研究において, 桑葉エキスを摂取することにより, スクロース負荷後あるいはスクロースを主成分とする菓子類 (水羊羹, 大福餅) 摂取後の血糖値の上昇を抑制できることが明らかとなっている⁴⁻⁶⁾。

現在, 沖縄県浦添市では, 南西諸島周辺に分布する桑品種であるシマグワ (*Morus australis*) を利活用した地域振興事業を進めている。本事業の一環として我々は, シマグワ葉の機能性解析および食品開発に関する研究を行ってきた。その成果として, シマグワ葉の1-DNJ含有量およびマルターゼ阻害活性が本土産桑品種よりも高いことを見出した (未発表データ)。また, シマグワ葉を原料とした風味の良い茶パウダーの製造方法を開発し⁷⁾, これに準じて製造したシマグワ葉パウダーを製品化した。さらに, シマグワ葉パウダーがスクラーゼ阻害活性を十分に保持していることを示すと同時に, シマグ

ワ葉パウダーを事前に摂取することによって, 75 g スクロース負荷後の血糖値およびインスリン値の上昇を抑制できることをヒト試験から明らかにした⁸⁾。

一方で, 中村・橋口 (石黒) は, 桑葉エキスが α -アミラーゼ阻害活性を有すること, ならびに, 米飯・カレーライスを桑葉エキスと同時に摂取した場合, 食後の血糖値およびインスリン値の上昇が顕著に抑制されたことを報告している⁹⁾。この知見は, 桑葉成分が高分子であるデンプンに対しても消化を阻害することによって, 血糖値の上昇を抑制可能であることを示唆する。これを参考に我々は, 米飯と並びよく食される代表的なデンプン食品であるパンに着目し, シマグワ葉パウダーを配合したパン (シマグワパン) を新たに作製した。このパンの血糖値上昇抑制効果が明らかとなれば, 食後の血糖管理に有用な新規食品を提案できるとともに, 桑葉利活用の更なる拡大が見込める。

本研究では, 我々が作製したシマグワパンの血糖値上昇抑制効果を検証することを目的とした。実験1では, シマグワパンの機能性解析として, 1-DNJ含有量, α -アミラーゼおよびマルターゼ阻害活性を評価した。次に実験2では, ヒト試験により同パンの血糖値上昇抑制効果の検証を行った。

* 連絡者・別刷請求先 (E-mail:kome_dai_128@yahoo.co.jp)

¹ 沖縄大学人文学部健康スポーツ福祉専攻 (902-8521 沖縄県那覇市国場 555 番地)

² 京都大学大学院農学研究科食品生物科学専攻 (606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町)

³ 医療法人太平洋会キナー前クリニック (901-2126 沖縄県浦添市宮城 1-29-1)

⁴ 沖縄工業高等専門学校生物資源工学科 (905-2192 沖縄県名護市辺野古 905 番地)

実験方法

1. 実験 1

1.1 材料 シマグワ葉パウダーは、同パウダーの製造元である（公社）浦添市シルバー人材センター（沖縄）から入手した。パンの種類はロールパンとし、シマグワ葉パウダーを配合するもの（シマグワパン）とコントロールとして同パウダーを配合しないもの（コントロールパン）を作製した。それぞれのパンの組成は表1に示した通りである。パンの生地玉重量は35 gとし、シマグワパン1個あたりのシマグワ葉パウダー配合量は1 gとした。シマグワ葉パウダーのパンへの配合量は、製パン時に同パウダー中の1-DNJが損失すると予想し、我々の先行研究⁸⁾よりも糖質に対する同パウダーの割合が高くなるよう設定した。この際、パンとしての嗜好性も考慮に入れた。それぞれのパンの栄養成分を（一財）日本食品分析センター（東京）にて分析し、パン1個あたりの栄養成分値を表2に示した。パンの製造は、沖縄製粉（株）（沖縄）にて行った。焼成工程は、200-230℃、7分間であった。製造後、直ちに冷凍保存し、実験に使用する際は予め自然解凍した。

表1 パンの組成

原材料名	配合 (BK%)	
	コントロールパン	シマグワパン
強力粉	100	94.1
シマグワ葉パウダー	0	5.9
小麦グルテン	2	2
イースト	3	3
生地改良剤	0.2	0.2
上白糖	12	12
精製塩	1.8	1.8
脱脂粉乳	2	2
マーガリン	15	15
全卵	15	15
水	55	55
計	206	206

表2 パン1個あたりの栄養成分値

栄養成分	コントロールパン	シマグワパン
タンパク質 (g)	3.3	3.3
脂質 (g)	2.8	2.8
炭水化物 (g)	14.5	14.2
糖質 (g)	13.9	13.3
食物繊維 (g)	0.6	0.9
エネルギー (kcal)	95	94
ナトリウム (mg)	135	134
食塩相当量 (g)	0.34	0.34
水分 (g)	9.5	9.5

1.2 1-DNJ含有量の測定 シマグワ葉パウダー、シマグワパンの全体部およびコントロールパンの全体部を前処理した後、それぞれの1-DNJ含有量を液体クロマトグラフィータンデム質量分析法によって測定した。分析操作条件は、我々の先行研究と同様であった⁸⁾。本測定は、日本食品分析センターにて行った。

1.3 α -アミラーゼ阻害活性の測定 抽出液の調製に関して、シマグワ葉パウダー500 mgに沸騰水100 mLを加え、5分間熱水抽出を行った。その後、吸引濾過し、濾液を凍結乾燥した。凍結乾燥した粉末全量を5 mL水と混合し、超音波処理を5分間行った。4℃、15,000×gで15分間遠心分離を行い、得られた上清を抽出液とした。

酵素溶液に関して、市販ヒト唾液 α -アミラーゼ (Sigma-Aldrich 社, セントルイス, アメリカ) 溶液5 mgと純水0.5 mLを混合し、0.1 mg/mLに希釈したものを酵素溶液として用いた。

阻害活性の測定に関して、37.5 mg/mLデンプン (20 mMリン酸緩衝液 (pH 6.0) に溶解) 溶液80 μ Lに、各濃度に希釈したシマグワ葉パウダー抽出液検体 (~40 mg/mL) 10 μ Lを混合した。これらを37℃で10分間プレインキュベートした後、0.1 mg/mL酵素溶液10 μ Lを添加して反応を開始し、37℃でインキュベートした。一定時間後、反応液を採取し、直ちに100 μ L 3,5-ジニトロサリチル酸 (DNS) 試液 (1.6% (w/v) NaOH, 0.5% (w/v) DNS, 30% (w/v) 酒石酸ナトリウムカリウム) を加えて反応を停止させた。100℃で15分間インキュベートして発色させた後、EnSight (PerkinElmer 社, ウォルサム, アメリカ) により反応液の540 nmにおける吸光度を測定した。得られた値は、マルトース (純度97%, 富士フィルム和光純薬(株), 大阪) を用いて作成した同検量線によって、マルトース濃度に換算した。さらに、マルトース濃度の単位時間あたりの変化を反応初速度とした。なお、上記測定において、シマグワ葉パウダー抽出液に α -アミラーゼ阻害活性が示されなかったため (詳細は図1を参照)、シマグワパンを対象とした同測定は実施しなかった。

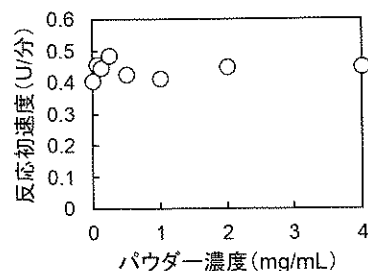


図1 シマグワ葉パウダー抽出液存在下での α -アミラーゼによるデンプン加水分解の反応初速度を示した。 $n=3$, 平均値で示した。反応条件 (最終濃度): 0.01 mg/mL ヒト唾液 α -アミラーゼ, 30 mg/mL デンプン, pH 6.0, 37℃。

1.4 マルターゼ阻害活性の測定 抽出液の調製に関して、コントロールパンの全体部、シマグワパンの全体部、表皮部および中心部を凍結乾燥させた後、固形分を採取した。それぞれの固形分 14.4 g と沸騰水 100 mL を混合し、懸濁した。懸濁液を一晩凍結乾燥し、乳棒と乳鉢を用いて乾固物をすりつぶし、粉末状にした。粉末 1 g と沸騰水 5 mL を混合し、10 分間熱水抽出を行った。次に、4℃、20,000×g で 10 分間、混合液の遠心分離を行った。上清を回収した後、純水と混合した。シマグワパン製造時に使用した同等量のシマグワ葉パウダーも測定サンプルとし、同パウダーをそのまま熱水抽出し、以後、同様の処置を行った。

酵素溶液の調製に関して、遠沈管にラット腸管アセトンパウダー（佐々木化学薬品(株)、京都）0.5 g と純水 5 mL を加え懸濁し、氷冷しながら 1 分間の超音波処理を 3 回繰り返した。懸濁液を 4℃、20,000×g で 15 分間遠心して沈殿を除去し、上清を回収して酵素溶液として用いた。

阻害活性の測定に関して、500 mM マルトース溶液 10 μL と 0.1 M マレイン酸塩緩衝液 (pH 6.0) 70 μL に、各濃度に希釈したシマグワ葉パウダー抽出液検体 (~1 mg/mL) またはパン抽出液検体 (~20 mg/mL) 10 μL を混合し、試料溶液とした。対照溶液は、抽出液検体の代わりに 0.1 M マレイン酸緩衝液 (pH 6.0) 10 μL を加えた。これらを 37℃ で 10 分間プレインキュベートした後、酵素溶液 10 μL を加えて反応を開始し、37℃ でインキュベートした。ブランクには、0.1 M マレイン酸緩衝液 (pH 6.0) 10 μL を添加した。混合液を 5 分間煮沸して反応を停止させた。遊離したグルコースの定量にはグルコース C II テストワコーを用い、EnSight によって反応液の波長 505 nm における吸光度を測定した。阻害率 (%) を次式により算出した。

$$\text{阻害率 (\%)} = \{[(A-B) - (C-D)] / (A-B)\} \times 100$$

A : 対照溶液の吸光度 B : 対照溶液のブランクの吸光度

C : 試料溶液の吸光度 D : 試料溶液のブランクの吸光度

各濃度の試料溶液の阻害率から阻害曲線を作成し、50% 阻害濃度 (IC₅₀) の値を求めた。

2. 実験 2

2.1 対象者 健康成人 12 名 (男性 8 名, 女性 4 名) を対象とした。対象者の年齢, 身長, 体重および体格指数は, 34±5 歳, 168.3±9.8 cm, 66.4±16.1 kg および 23.1±3.7 kg/m² (平均値±標準偏差) であった。また, 収縮期血圧, 拡張期血圧およびヘモグロビン Alc は, 112.9±7.3 mmHg, 71.0±7.7 mmHg および 5.5±0.2% であった。本実験では, 同一対象者が異なる 2 条件下, すなわち, シマグワ条件およびコントロール条件下で測定を行うクロスオーバーデザインを採用した。全ての対象者には予め, 本実験の目的や実験内容等を口頭および書

面にて十分に説明した上で, 研究参加の同意を得た。本実験は, ヘルシンキ宣言の趣旨に則るとともに, キンザー前クリニック倫理審査委員会の承認 (承認番号: 2019-01) を得た研究実施計画書を遵守して行った。対象者には, 実験前日からのアルコール類の摂取, 実験当日のカフェイン類の摂取および激しい運動を禁じた。また, 実験前日午後 9 時以降からの水以外の飲食を禁止した。

2.2 実験進行 本実験は, キンザー前クリニックにおいて医師の管理の下で実施した。対象者は, 午前 8 時 30 分にクリニックに来院した。身体計測および血圧測定を実施した後, 空腹時採血 (Baseline) を行った。その後, 試験食として対象者に, シマグワパン (シマグワ条件) もしくはコントロールパン (コントロール条件) を 3 個摂取させた。試験食は, ミネラルウォーター 285 mL (い・ろ・は・す天然水, 日本コカ・コーラ(株), 東京) と併せて提供し, 10 分以内に摂取するよう指示した。試験食摂取後 30 分, 60 分および 120 分において, 採血を行った。採血は, 看護師が担当した。コントロール条件およびシマグワ条件の実施順序は対象者間で釣り合うよう振り分け, 約 1 週間の間隔を空けて 2 条件下での測定を行った。血液サンプルの分析項目は, ヘモグロビン Alc (初回測定の Baseline のみ, LA 法), 血糖値 (ヘキソキナーゼ UV 法) およびインスリン値 (CLIA 法) とし, 分析は(株)ビー・エム・エル (東京) に依頼した。

2.3 解析 血糖値およびインスリン値の経時変化から, それぞれの最高値を求めた。また, 血糖値およびインスリン値の Baseline の値を基点とする上昇曲線下面積を台形法によりそれぞれ算出した。

2.4 統計処理 各条件における血糖値およびインスリン値の経時変化は, 2 要因 (時間×条件) の反復測定分散分析により解析した。有意な交互作用が認められた場合は, Bonferroni 法を用いて多重比較検定を行った。血糖値およびインスリン値の最高値, 最高値到達時間および上昇曲線下面積の条件間の比較には, 対応のある *t* 検定を用いた。以上の統計処理は SPSS ver. 23.0 (IBM 社, シカゴ, アメリカ) を用いて行い, 有意水準はいずれも 5% 未満 (*p*<0.05) とした。

実験結果

単位重量あたりのシマグワ葉パウダーおよびシマグワパンの 1-DNJ 含有量は, 2.15 mg/g および 0.06 mg/g で

表 3 シマグワ葉パウダーおよびシマグワパンの 1-DNJ 含有量

	シマグワ葉 パウダー	シマグワパン
1-DNJ 含有量 (mg)	2.15	1.69

シマグワ葉パウダー 1 g (シマグワパン 1 個分の配合量) およびシマグワパン 1 個あたりの測定値を示した。*n*=3, 平均値で示した。

あった。シマグワ葉パウダー1g(シマグワパン1個分の配合量)およびシマグワパン1個あたりの1-DNJ含有量を表3に示した。コントロールパンからは、1-DNJは検出されなかった。シマグワ葉パウダー抽出液は、いずれの試料溶液濃度でも α -アミラーゼ阻害活性を示さなかった(図1)。シマグワ葉パウダー抽出液およびシマグワパン抽出液のマルターゼに対するIC₅₀値を表4に示した。コントロールパン(全体部)抽出液は、いずれの試料溶液濃度でもマルターゼを阻害しなかった。

血糖値およびインスリン値の経時変化を図2に示した。血糖値(A)およびインスリン値(B)ともに、試験食摂取後30分では、シマグワ条件の方がコントロール条件よりも有意に低かった。血糖値およびインスリン値の最高値および上昇曲線下面積の結果を表5に示した。血糖最高値は、シマグワ条件の方がコントロール条件よりも有意に低かった。血糖値およびインスリン値上昇曲線下面積はともに、シマグワ条件の方が低値を示す

傾向がみられた。

考 察

実験1において、製パン時に1-DNJ含有量は減少するものの、シマグワパンには1-DNJが残存していることが示された。我々は先に、シマグワ葉を原料として、製造工程中に160℃で7分間、さらに170-180℃で7分間焙煎を行った焙煎茶中の1-DNJ含有量は、原料葉のその1/3以下であったことを確認している(未発表データ)。この結果は、高熱をかけることでシマグワ葉中の1-DNJが損失することを示唆する。そのため、本研究においても、製パン時の200-230℃、7分間の焼成工程において、熱による1-DNJの損失が生じたものと推察する。ただし、本研究で観察された1-DNJ含有量の低下は、上記未発表データよりも小さいものであった。この点に関しては、加熱条件の相違に加えて、焼成中のパンの中心部付近の温度が水の沸点を超えないことが影

表4 シマグワ葉パウダー抽出液およびシマグワパン抽出液のマルターゼに対するIC₅₀値

	シマグワ葉パウダー抽出液	シマグワパン全体部抽出液	シマグワパン表皮部抽出液	シマグワパン中心部抽出液
IC ₅₀ 値 (mg/mL)	0.5	9.3	10.6	5.2

n=3, 平均値で示した。

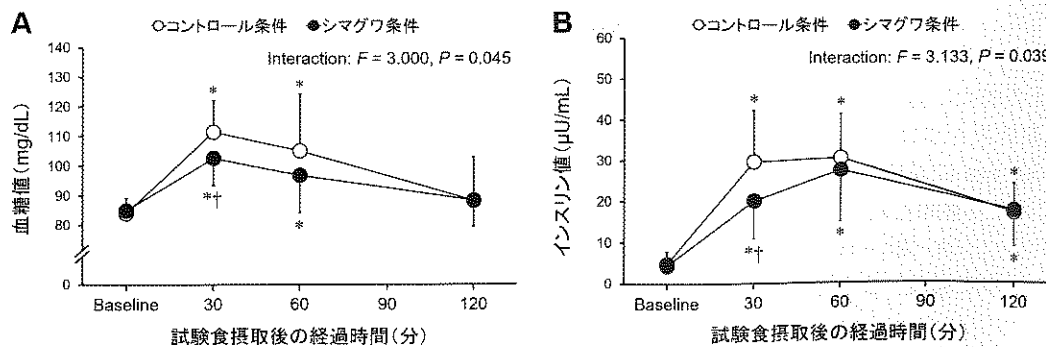


図2 試験食摂取後の血糖値(A)およびインスリン値(B)の経時変化を示した。n=12, 平均値±標準偏差で示した。^{*}p<0.05, Baselineと比較して有意差あり。[†]p<0.05, コントロール条件と比較して有意差あり。

表5 試験食摂取後の血糖値およびインスリン値の最高値, 最高値到達時間および上昇曲線下面積

	コントロール条件	シマグワ条件	p値
血糖最高値 (mg/dL)	117 ± 11	106 ± 10	0.007
血糖値上昇曲線下面積 (mg/dL × 分)	1,983 ± 1,174	1,293 ± 576	0.068
インスリン最高値 (μU/mL)	36 ± 16	30 ± 12	0.586
インスリン値上昇曲線下面積 (μU/mL × 分)	2,524 ± 1,168	1,976 ± 886	0.098

n=12, 平均値±標準偏差で示した。

響していると考えられる。

シマグワパンは全体部として、シマグワ葉パウダーそのものよりもマルターゼに対する IC₅₀ 値が高値を示すものの、マルターゼ阻害活性を保持していることが示された。コントロールパンはマルターゼを阻害しなかったことから、シマグワパンで認められたマルターゼ阻害活性は、配合されたシマグワ葉パウダーに由来するものであった。先行研究において、桑葉成分によるマルターゼ阻害作用のほとんどは、1-DNJ に由来することが明らかとなっている¹⁰⁾¹¹⁾。これらのことから、シマグワパンのマルターゼ阻害活性の大部分は、残存する 1-DNJ に由来するものだと推測する。この推測は、熱の影響をより強く受ける表皮部の方が中心部よりもマルターゼに対する IC₅₀ 値が明らかに高かったという実験結果からも支持される。しかしながら、1-DNJ 以外の阻害物質¹²⁾ の関与の可能性も考えられ、今後更なる検討が望まれる。

シマグワ葉パウダーに α -アミラーゼ阻害活性は認められなかった。この結果は、桑葉成分の α -アミラーゼ阻害活性を観察した中村らおよび阿部らの研究結果⁹⁾¹⁰⁾ とは異なるものであるが、その一方で、阻害作用はなかったという研究結果も報告されている¹³⁾。このような研究結果の不一致の原因は不明であるが、少なくとも後述のヒト試験（実験 2）で確認された血糖値上昇抑制に α -アミラーゼ阻害作用は関与しなかったものと推察する。

実験 2 において、シマグワ条件ではコントロール条件と比較して、試験食摂取後 30 分における血糖値およびインスリン値は有意に低く、血糖最高値も有意な低値を示した。また、統計学的有意水準には達していないものの、血糖値とインスリン値の上昇曲線下面積についても低い値を示す傾向がみられた。これらの結果から、シマグワ葉パウダーをパンに配合することによって、食後の血糖値上昇を抑制でき、それに伴い、インスリン分泌を節減できる可能性が示された。シマグワパンの血糖値上昇抑制効果の主な作用機序に関しては、実験 1 の結果を踏まえると、1-DNJ によるマルターゼ阻害を介した糖吸収の遅延が推定される³⁾。

本研究の血糖値の上昇幅はコントロールパン摂取後であっても比較的小さく、そのため、シマグワパンによって血糖値上昇を抑制できる余地は限られていた。このことは、本研究の対象者が若年 (34±5 歳) で耐糖能が良好であったためだと考えられる。今後、耐糖能が低下している中高齢者を対象に同様の実験を行うことによって、シマグワパンのより顕著な効果が示されるものと期待する。

パンは米飯と並びよく食される代表的なデンプン食品であり、その市場は極めて大きい。今後、シマグワパンの普及や類似食品の開発を進めることで、食後の血糖管理に有用な食品を提供でき、人々の健康増進に貢献できると考える。また、桑葉の利活用の拡大にも繋がり、地域の産業振興にも貢献でき得る。

利益相反

本論文発表内容に関連して以下の申告すべき COI 状態がある。

伊東昌章：受託研究・共同研究費（公益社団法人 浦添市シルバー人材センター）。

本研究を遂行するにあたり、御協力を頂いた浦添市役所 大塚京平氏、公益社団法人浦添市シルバー人材センター 比嘉秀三氏に心より感謝いたします。また、パンの作製に御協力頂いた沖繩製粉株式会社 横田雄輔氏、実験 2 の測定補助として御協力頂いた公益社団法人浦添市シルバー人材センター 井上吾一氏、浦添市役所 仲田和矢氏、そして、実験 2 の対象者として御協力して頂いた方々に深謝いたします。

文 献

- 1) O'Keefe JH, Bell DS (2007) Postprandial hyperglycemia/hyperlipidemia (postprandial dysmetabolism) is a cardiovascular risk factor. *Am J Cardiol* 100: 899-904.
- 2) Asano N, Oseki K, Kizu H, Matsui, K (1994) Nitrogen-in-the-ring pyranoses and furanoses: structural basis of inhibition of mammalian glycosidases. *Med Chem* 37: 3701-6.
- 3) 木村俊之 (2010) α グルコシダーゼ阻害作用を有する桑葉の糖尿病予防食素材への可能性. 日本食品科学工学会誌 57: 57-62.
- 4) Kimura T, Nakagawa K, Kubota H, Kojima Y, Goto Y, Yamagishi K, Oita S, Oikawa S, Miyazawa T (2007) Food-grade mulberry powder enriched with 1-deoxynojirimycin suppresses the elevation of postprandial blood glucose in humans. *J Agric Food Chem* 55: 5869-74.
- 5) Mudra M, Ercan-Fang N, Zhong L, Furne J, Levitt M (2007) Influence of mulberry leaf extract on the blood glucose and breath hydrogen response to ingestion of 75 g sucrose by type 2 diabetic and control subjects. *Diabetes Care* 30: 1272-4.
- 6) Nakamura M, Nakamura S, Oku T (2009) Suppressive response of confections containing the extractive from leaves of *Morus Alba* on postprandial blood glucose and insulin in healthy human subjects. *Nutr Metab (Lond)* 6: 29.
- 7) 普天間樹, 伊東昌章, 藏屋英介 (2017) 桑茶の製造方法. 特許第 6096546 号.
- 8) 久米大祐, 深水愛理沙, 藏屋英介, 島尻佳典, 伊東昌章 (2019) シマグワ葉パウダーの血糖値上昇抑制効果. 日本食品科学工学会誌 66: 52-6.
- 9) 中村まり子, 橋口 (石黒) 美智留 (2010) α -グルコシダーゼ阻害作用をもった桑葉エキス末添加デンプン食品のヒトにおける食後血糖上昇抑制効果. 栄養学雑誌 68: 351-8.
- 10) 阿武尚彦, 田村幸一, 大野弘美, 富 裕孝 (2004) 桑 (*Morus alba* L.) 葉エキスのマルターゼ, スクラールゼおよび α -アミラーゼ阻害作用について. 日本食品

- 保蔵科学会誌 30: 223-9.
- 11) Qiao Y, Nakayama J, Ikeuchi T, Ito M, Kimura T, Kojima K, Takita T, Yasukawa K (2020) Kinetic analysis of inhibition of α -glucosidase by leaf powder from *Morus australis* and its component iminosugars. *Bio-sci Biotechnol Biochem* 84: 2149-56.
- 12) Asano N, Oseki K, Tomioka E, Kizu H, Matsui K (1994) N-containing sugars from *Morus alba* and their glycosidase inhibitory activities. *Carbohydr Res* 259: 243-55.
- 13) Raimbaud E, Buléon A, Pérez S (1992) Molecular modelling of acarviosine, the pseudo-disaccharide moiety of acarbose, and other inhibitors of alpha-amylases. *Carbohydr Res* 227: 351-63.

J Jpn Soc Nutr Food Sci 74: 15-20 (2021)

Research Note

Inhibitory Effect of Bread Containing Powdered *Morus australis* Leaves on Postprandial Elevation of Blood Glucose

Daisuke Kume^{*.1}, Ying Qiao², Juri Nakayama², Kiyoshi Yasukawa²,
Yoshinori Shimajiri³, and Masaaki Ito⁴

(Received August 27, 2020; Accepted December 7, 2020)

Summary: The present study investigated the inhibitory effect of bread containing powdered *Morus australis* leaves on postprandial elevation of the blood glucose level. First, we assessed the 1-deoxynojirimycin (1-DNJ) content and α -amylase- and maltase-inhibitory activities of bread containing powdered *M. australis* leaves. Second, we investigated the inhibitory effect of this bread on blood glucose elevation in healthy individuals. Although the level of 1-DNJ was reduced during the bread-making process, 1-DNJ was still present in the bread containing powdered *M. australis* leaves. The powdered leaves exhibited no α -amylase-inhibitory activity. Although the median maltase-inhibitory concentration was higher in the bread containing the powdered leaves than in the powdered leaves alone, this bread retained its maltase-inhibitory activity. Moreover, consumption of the bread containing powdered *M. australis* leaves suppressed postprandial elevation of the blood glucose and insulin levels to a greater degree than consumption of bread without the powdered leaves. These findings demonstrate that bread containing powdered *M. australis* leaves has an inhibitory effect on postprandial blood glucose elevation.

Key words: *Morus australis*, 1-deoxynojirimycin, α -amylase, maltase, blood glucose

* Corresponding Author (E-mail: d-kume@okinawa-u.ac.jp)

¹ Department of Health, Sports and Welfare, Faculty of Humanities, Okinawa University, 555, Kokuba, Naha, Okinawa 902-8521, Japan

² Division of Food Science and Biotechnology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

³ Shimajiri Kinsermae Diabetes Care Clinic, 1-29-1, Miyagi, Urasoe, Okinawa 901-2126, Japan

⁴ Department of Bioresources Engineering, National Institute of Technology, Okinawa College, 905, Henoko, Nago, Okinawa 905-2192, Japan