

Original article

Effects of varieties and cooking on the glycative stress inhibitory effect of eggplant

Masayuki Yagi¹⁾, Kanako Baba¹⁾, Cshieko Sakiyama¹⁾, Mari Ogura^{1,2)},
Wakako Takabe³⁾, Yoshikazu Yonei¹⁾

- 1) Anti-Aging Medical Research Center and Glycative Stress Research Center,
Graduate School of Life and Medical Sciences, Doshisha University, Kyoto, Japan
- 2) Department of Food and Nutrition, Kyoto Bunkyo Junior College, Kyoto, Japan
- 3) Department of Materials and Life Science, Faculty of Science and Technology,
Shizuoka Institute of Science and Technology, Shizuoka, Japan

Glycative Stress Research 2022; 9(2): 55-62
(c) Society for Glycative Stress Research

(原著論文：日本語翻訳版)

糖化ストレス抑制食材としてのナスの品種と調理法の影響

八木雅之¹⁾、馬場可奈子¹⁾、崎山智恵子¹⁾、小椋真理^{1,2)}、高部 稚子³⁾、米井嘉一¹⁾

- 1) 同志社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) 京都文教短期大学食物栄養学科
- 3) 静岡理工科大学理工学部物質生命科学科

抄録

糖化ストレス (glycative stress) による体内での終末糖化産物 (advanced glycation end products; AGEs) の蓄積は、老化や生活習慣病の進展や発症要因となる。酸化はAGEsの生成を促進することから糖化ストレスの加速因子の一つである。一方、糖化ストレス抑制には食後の高血糖抑制、AGEsの生成抑制、AGEsの分解排泄などがある。既に様々な野菜やハーブには抗糖化作用が報告されている。本研究では糖化ストレス抑制素材の有用性検証を目的に、身近な食品として摂取可能な野菜としてナス (eggplant) 果実に着目し、抗糖化作用 (antiglycative effect) と抗酸化作用 (antioxidative effect) を検証した。

試料には市販のナス7品種の果実を使用した。試料はナス品種間と4種類の調理 (焼き、揚げ、茹で、ぬか漬け) 後の作用変化を検証した。またナスの主要成分であるクロロゲン酸 (chlorogenic acid) とアントシアニン (anthocyanin) 量を測定し、抗糖化作用、抗酸化作用との関係を検証した。検証した全てのナス品種には抗糖化作用、抗酸化作用が認められた。品種間における作用は抗糖化作用で3.5倍、抗酸化作用で4.9倍の差異が認められた。ナスの調理後の作用変化は焼き、揚げで小さく、抗糖化作用で5%未満、抗酸化作用で15%未満の変化であった。一方、ナスの茹で、ぬか漬け調理後は抗糖化作用で35%以上、抗酸化作用で60%以上

連絡先：教授 八木雅之
同志社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
〒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：馬場可奈子 bmq2003@mail4.doshisha.ac.jp;
崎山智恵子 csakiyam@mail.doshisha.ac.jp; 小椋真理 m-ogura@po.kbu.ac.jp;
高部稚子 takabe.wakako@sist.ac.jp; 米井嘉一 yyonei@mail.doshisha.ac.jp

Glycative Stress Research 2022; 9(2): 55-62
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

低下した。ナスの抗糖化作用、抗酸化作用の違いはクロロゲン酸量の影響が大きいと推定された。糖化ストレスに着目したナスの利用には品種と調理法の選択が重要であると考えられた。

KEY WORDS: 抗糖化作用、抗酸化作用、クロロゲン酸、アントシアニン、ナス (*Solanam melongena*)

はじめに

糖化ストレスによる終末糖化産物 (advanced glycation end products; AGEs) の生成、蓄積は老化や糖尿病合併症、骨粗鬆症、認知症などの疾患を促進する危険因子となる¹⁾。AGEsの生成は酸化や紫外線暴露によっても促進される²⁾。このため酸化は糖化ストレスの加速因子の一つとなる。糖化ストレス抑制には食後の高血糖抑制、AGEsの生成抑制、AGEsの分解排泄などがある³⁾。我々はAGEsの生成を抑制する天然物として茶⁴⁾、野菜、ハーブ⁵⁾、フルーツ⁶⁾、発酵食品⁷⁾などを報告した。187種類の野菜やハーブ抽出液を対象としたAGEs生成抑制作用の検証では、蛍光性AGEs (fluorescent AGEs; F-AGEs) 生成抑制作用がナス (eggplant) (*Solanam melongena*)、トマト (tomato) (*Solanum lycopersicum*)、トウガラシ (chile pepper) (*Capsicum annuum*)、パプリカ (paprika) (*Capsicum annuum var. grossum*) などのナス科 (Solanaceae) の野菜を含む様々な野菜に認められた⁵⁾。

ナスは古来より世界中の国や地域でその果実が食用とされている作物である。日本には中国を経て伝わり、8世紀 (奈良時代) 頃から栽培されていたと考えられている⁸⁾。ナスは日本国内に果実の大きさ、形、色などが異なる170以上の品種 (variety) があり、地域の気候や風土に適合した特徴的な品種が栽培されている⁹⁾。またナスは日本国内で消費量の多い作物として農林水産省から指定野菜の一つに指定されており、食生活との関係が深い身近な野菜である¹⁰⁾。

本研究では糖化ストレス抑制素材の有用性検証を目的に、身近な食品として摂取可能なナスに着目し、抗糖化作用 (antiglycative effect) および抗酸化作用 (antioxidative effect) を検証した。作用は市販のナス7品種を比較するとともに、4種類の調理 (焼き、揚げ、茹で、ぬか漬け) 後の変化を検証した。さらにナスの主要成分であるクロロ

ゲン酸 (chlorogenic acid) とアントシアニン (anthocyanin) 量を測定し、抗糖化作用、抗酸化作用との関係を検証した。

材料と方法

1) 試薬

使用した試薬は以下のメーカーから購入して使用した。ヒト血清アルブミン (human serum albumins; HSA, lyophilized powder, $\geq 96\%$, agarose gel electrophoresis) は Sigma-Aldrich Japan (東京都目黒区)。アミノグアニジン (aminoguanidine hydrochloride; AG)、(\pm)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (trolox)、クロロゲン酸、(-)-キニーネ硫酸塩二水和物 ((-)-quinine sulfate dihydrate)、トリフルオロ酢酸 (trifluoroacetic acid: TFA) は富士フィルム和光純薬工業 (大阪府大阪市)。2-(N-モルホリノ) エタンスルホン酸 (MES) は同仁化学研究所 (熊本県上益城郡)。1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) は Cayman CHEMICAL (Ann Arbor, Michigan, USA)。デルフィニジン (delphinidin) は常盤植物化学研究所 (千葉県佐倉市)。その他の試薬は特級または HPLC グレードのものを富士フィルム和光純薬工業またはナカライテスク (京都府京都市) から購入して使用した。

2) 試料

試料に用いたナスは長ナス (Naga-nasu) (A)、大長ナス (Oonaga-nasu) (B)、小ナス (Ko-nasu) (C)、丸ナス (Maru-nasu) (D)、水ナス (Mizu-nasu) (E)、米ナス (Bei-nasu) (F)、白ナス (Shiro-nasu) (G) の7品種の果実を使用した (Table 1)。ナス果実はヘタ (hull) と萼 (calyx) を取り除いて使用した。ナスは京都府内のスーパーマーケットで購入した。

Table 1. Characteristics of eggplant samples.

Sample	variety	general shape	color of skin	color of calyx
A	Naga-nasu	long ovoid	violet	violet
B	Oonaga-nasu	cylindrical	violet	violet
C	Ko-nasu	ovoid	violet	violet
D	Maru-nasu	globular	violet	violet
E	Mizu-nasu	pear shaped	violet	violet
F	Bei-nasu	obovate	violet	green
G	Shiro-nasu	pear shaped	white	green

Purchased at several supermarkets in Kyoto prefecture.

3) 調理方法

ナス試料は一般的に家庭で行われている方法に準じて調理した。

a) 焼き

ナスの果実を縦半分にカット後、フライパンで果皮面から強火(100℃以上)で焼いた。焼き色が付いたら反転し、果肉面から全体に火が通るまで合計約5分間焼いた。

b) 揚げ

ナスの果実を輪切りし、両面に格子状の切れ目を入れた後、キッチンペーパーで水分を取り、電気フライヤーあげあげ(象印マホービン、大阪府大阪市)にキャノーラ油(味の素、東京都中央区)を800 mL注ぎ、170℃で3~5分間揚げて、きつね色になったタイミングで取り出した。

c) 茹で

ナスの果実を約3 cm角に切り、800 mLの沸騰水中で4分間茹でた。

d) ぬか漬

ナスの果実を縦半分にカット後、発酵ぬかどこ(無印良品、東京都豊島区)を使用し、製品の使用方法に従って4℃で24時間漬け込んだ。

4) 試料抽出液の作成

生ナスおよび調理後のナスは、スライス後、温風乾燥機 Petit Mini (大紀産業、岡山県岡山市)を使用し65℃、100時間乾燥させた後、フードプロセッサーで粉末化した。揚げ調理後のナスは以下の通り脱脂処理を行った。揚げたナスは温風乾燥後の粉末12 gを30 mLブタノール中に20分間浸漬後、遠心分離により上清を除去し、さらに18 mLアセトンを加え20分間浸漬後、遠心分離により上清を除去した。この脱脂処理は2回繰り返した。その後、脱脂処理後の粉末は風乾して乾燥粉末とした。

試料抽出液は乾燥粉末2 gを70%エタノール40 mL中に入れ、50℃で4時間抽出後、遠心分離した上清を回収して得た。試料抽出液の固形分濃度(mg/mL)は抽出液5 mLを120℃で2時間乾燥させた後の重量から算出した。

5) 抗糖化作用の測定

抗糖化作用の検証は既報¹¹⁾を参考にHSA-グルコース糖化反応モデルを使用し、試料抽出液の固形分濃度0.3 mg/mLにおける蛍光性AGEs (fluorescent AGEs; F-AGEs)抑制作用を検証した。F-AGEsはAGEs由来蛍光(励起波長370 nm/蛍光波長440 nm)を測定した。F-AGEsはインキュベート後の反応液中の濃度を5 µg/mL硫酸キニーネ0.1 N硫酸水溶液の蛍光値を1,000としたときの相対値として算出した。糖化反応抑制作用のポジティブコントロール物質はAGを使用した。F-AGEsの生成阻害率(%)は既報¹¹⁾に従って算出した。

6) 抗酸化作用の測定

抗酸化作用は既報⁷⁾を参考に、Troloxで作成した回帰直線の傾きを用いて、試料溶液(固形分濃度1 mg/mL)に相当するDPPHラジカル消去活性を測定した。

DPPHラジカル消去活性の測定は、固形分濃度1 mg/mLの試料抽出液(25~100 µL)、200 mmol/L MES緩衝液(pH 6.0) 50 µL、800 µmol/L DPPH溶液50 µL、50%エタノール水溶液(0~75 µL)をマイクロプレートのウェルに総量200 µLとなるように添加混合し、室温で20分間反応後、520 nmの吸光度を測定した。その後、試料抽出液添加量と吸光度との一次回帰直線の傾きを求めた。DPPHラジカル消去活性値は、試料と同時に反応させた0~16 nmol/L Trolox溶液の反応液から得られた吸光度の一次回帰直線の傾きを、試料抽出液の回帰直線の傾きで除し、固形分濃度1 mg/mLの試料抽出液のTrolox当量(trolox equivalent) (µmol-TE/L)として算出した。

7) クロロゲン酸の測定

抽出液のクロロゲン酸濃度は既報⁹⁾を参考にUV吸光度法で測定した。クロロゲン酸濃度は試料抽出液200 µLと1% TFAを50 µLを混合後、マイクロプレートのウェルに添加混合し、330 nmにおける吸光度を測定した。抽出液のクロロゲン酸濃度(µg/mL)はクロロゲン酸の検量線から算出した。

8) アントシアニンの測定

抽出液のアントシアニン濃度は既報を参考にUV吸光度法で測定した¹²⁾。アントシアニン濃度は試料抽出液200 µLと1% TFAを50 µLを混合後、マイクロプレートのウェルに添加し、540 nmにおける吸光度を測定した。アントシアニン濃度は同時に測定したデルフィニジンの検量線からデルフィニジン当量(delphinidin equivalent) (µg-DE/mL)として算出した。

統計解析

測定値は3回測定の平均値±標準偏差(standard deviation; SD)で示した。測定値の比較にはテューキー多重比較検定(Tukey's test)またはダネット多重比較検定(Dunnett's test)を用いた。相関性の解析はピアソンの積率相関係数を用い、 $0.7 < |r| \leq 1.0$ を高い相関性、 $0.4 < |r| \leq 0.7$ を相関性あり、 $0.2 < |r| \leq 0.4$ を低い相関性ありとした。統計解析結果は危険率5%未満($p < 0.05$)を有意とした。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)を使用した。

結果

1) 抗糖化作用と抗酸化作用

抽出液固形分濃度はナス7品種 (A~G) で 25.2 ± 2.2 mg/mLであった。固形分濃度0.3 mg/mLにおけるF-AGEs生成抑制率はCが最大値 ($88.7 \pm 0.9\%$) を示し、Bが最小値を ($25.4 \pm 1.2\%$) 示した (Fig. 1)。同様にDPPHラジカル消去活性はCが最大値 ($165 \mu\text{mol-TE/L}$) を示し、GとDが同値で最小値 ($33.7 \mu\text{mol-TE/L}$) を示した。

AのF-AGEs生成抑制率は調理前 ($74.6 \pm 2.6\%$) から、揚げ ($75.5 \pm 1.4\%$) で最大値を示し、ぬか漬 ($36.4 \pm 3.4\%$) に低下した (Fig. 2)。同様にDPPHラジカル消去活性は調理前 ($117.8 \mu\text{mol-TE/L}$) から、焼き ($134.7 \mu\text{mol-TE/L}$) で最大値となり、茹で ($47.1 \mu\text{mol-TE/L}$) で最小値を示した。

抽出液のF-AGEs生成抑制率とDPPHラジカル消去活性は正の高い相関性を示した ($y = 1.8413x - 13.598$, $r = 0.756$, $p < 0.05$) (Fig. 3)。

2) クロロゲン酸量と糖化ストレス抑制作用

ナス7品種の抽出液1 mg/mL中に含まれるクロロゲン酸量は最高値が $86.5 \pm 1.8 \mu\text{g}$ (C)、最低値が $15.5 \pm 0.2 \mu\text{g}$ (B)で、5.7倍の差異が認められた。Aの抽出液中のクロロゲン酸は調理前 ($46.5 \pm 0.4 \mu\text{g}$) と比べて、焼き ($51.2 \pm 1.4 \mu\text{g}$) で最高値を示し、ぬか漬 ($11.1 \pm 0.1 \mu\text{g}$) で最低値を示した。クロロゲン酸の調理による差異は4.6倍であった。全試料抽出液のクロロゲン酸濃度は抗糖化作用 ($y = 0.2846x - 5.5247$, $r = 0.900$, $n = 11$, $p < 0.05$)、抗酸化作用 ($y = 0.3393x + 4.8972$, $r = 0.784$, $n = 11$, $p < 0.05$) とともに正の高い相関性が認められた (Fig. 4)。

3) アントシアニン量と糖化ストレス抑制作用

ナス7品種の抽出液1 mg/mL中のアントシアニン量は最高値が $0.722 \pm 0.015 \mu\text{g-DE}$ (B)、最低値が $0.106 \pm 0.006 \mu\text{g-DE}$ (G)で、6.8倍の差異が認められた。Aの抽出液中のアントシアニンは調理前 ($0.673 \pm 0.017 \mu\text{g-DE}$) と比べて、揚げで最も高値 ($1.374 \pm 0.029 \mu\text{g-DE}$) を示し、ぬか漬で最も低値 ($0.070 \pm 0.002 \mu\text{g-DE}$) を示した。アントシアニン量の調理による差異は19.6倍であった。全試料抽出液のアントシアニン濃度は抗糖化作用に正の弱い相関性 ($y = 0.002x + 0.0236$, $r = 0.353$, $n = 11$, $p < 0.05$)、抗酸化作用に正の相関性 ($y = 0.0033x + 0.1543$, $r = 0.429$, $n = 11$, $p < 0.05$) が認められた (Fig. 5)。

考察

1) ナスの糖化ストレス抑制作用

ナス果実中の特徴成分にはクロロゲン酸とアントシアニンがある¹³⁾。クロロゲン酸は多くの植物に含まれるポリフェノールでカフェ酸 (caffeic acid) とキナ酸 (quinic acid) のエステル化合物である。クロロゲン酸には抗酸化作用、抗糖化作用が報告されている¹⁴⁾。ナス果実の皮に含まれる紫色成分はアントシアニンで、ナスニン (nasunin) (delphinidin 3-(p-coumaroylrutinoside)-5-glucoside)、delphinidin 3-rutinoside、delphinidin 3-rutinoside-5-glucosideがあり、これらの含有率や量は品種によって異なる¹⁵⁾。これらのアントシアニンは抗酸化作用を有する^{16,17)}。検証したナス7品種の70%エタノール抽出液には抗糖化作用と抗酸化作用の両方が認められた。しかし作用の強さ

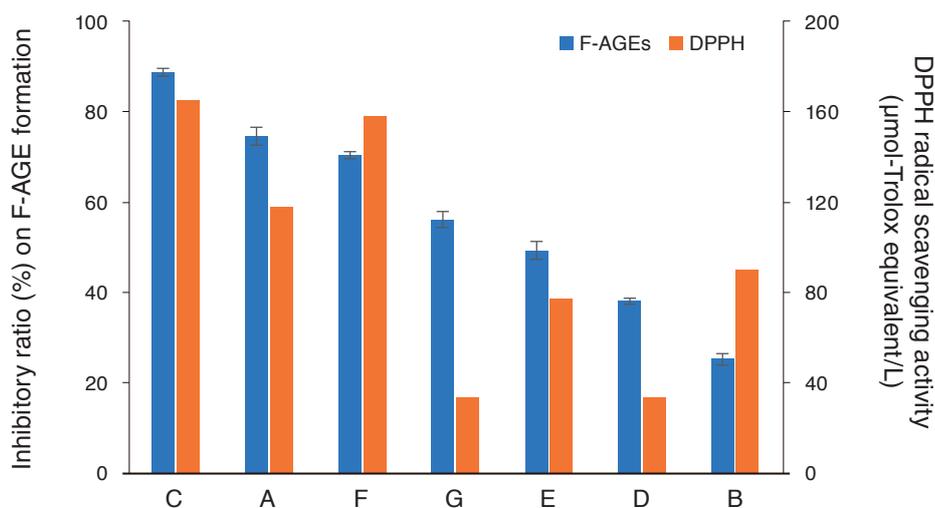


Fig. 1. Antiglycative and antioxidative effects of eggplant varieties.

Data are expressed as mean \pm SD, $n = 3$ (F-AGEs) or mean, $n = 2$ (DPPH). The concentration of extract, 0.3 mg/mL (inhibitory ratio of F-AGE formation), 1 mg/mL (DPPH radical scavenging activity); A–F, Eggplant varieties are shown Table 1. F-AGEs, fluorescent advanced glycation end products; DPPH, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl; SD, standard deviation.

ナスの糖化ストレス抑制作用

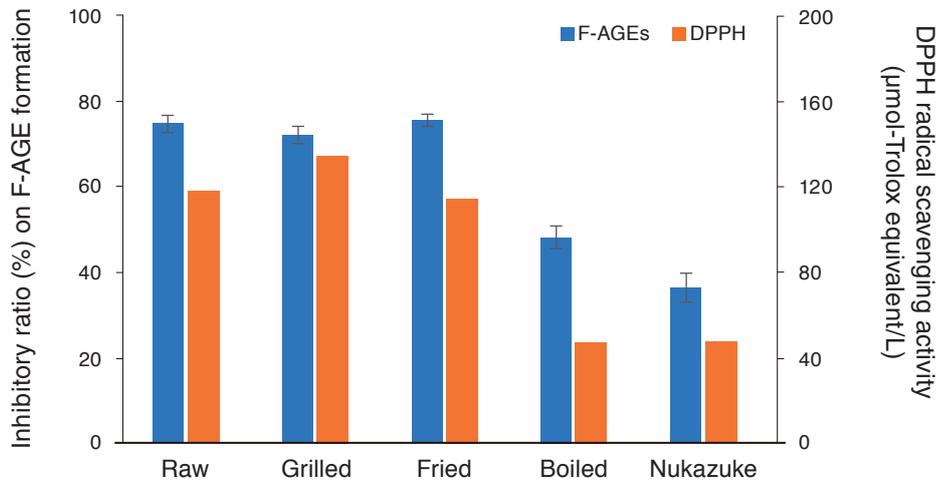


Fig. 2. Post-cooking antiglycative and antioxidative effects of eggplant.

Data are expressed as mean \pm SD, $n = 3$ (F-AGEs) or mean, $n = 2$ (DPPH). The concentration of extract, 0.3 mg/mL (inhibitory ratio of F-AGE formation), 1 mg/mL (DPPH radical scavenging activity); Eggplant varieties; A. F-AGEs, fluorescent advanced glycation end products; DPPH, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl; SD, standard deviation.

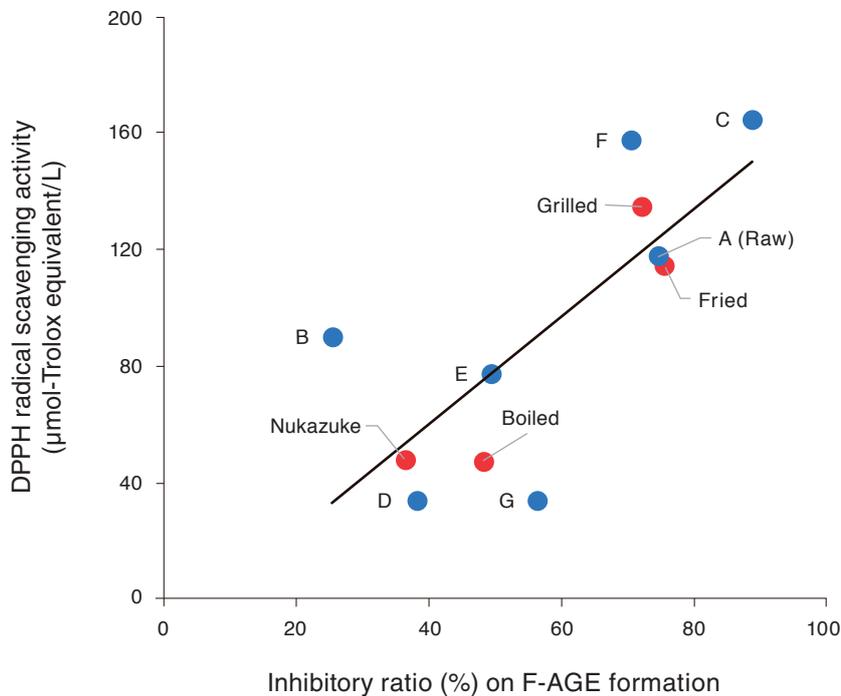


Fig. 3. Relationship between antiglycative and antioxidative effects.

$y = 1.8413x - 13.598$, $n = 11$, $r = 0.756$, $p < 0.05$. The concentration of extract, 0.3 mg/mL (inhibitory ratio of F-AGE formation), 1 mg/mL (DPPH radical scavenging activity); A – F, Eggplant varieties are shown [Table 1](#); Cooked eggplant varieties was A. F-AGE, fluorescent advanced glycation end product; DPPH, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl.

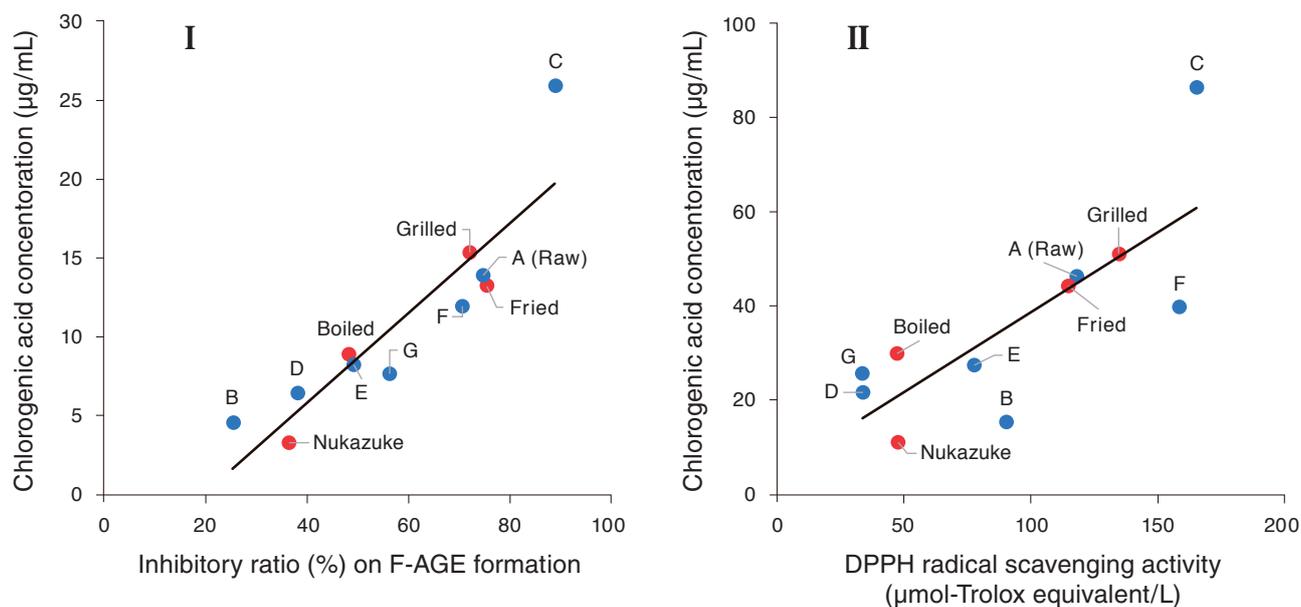


Fig. 4. Relationship between chlorogenic acid concentration and antiglycative or antioxidative effect of eggplant extract.

I, Antiglycative effect, $y = 0.2846x - 5.5247$, $n = 11$, $r = 0.900$, $p < 0.05$;

II, Antioxidative effect, $y = 0.3393x + 4.8972$, $n = 11$, $r = 0.784$, $p < 0.05$;

The concentration of extract, 0.3 mg/mL (inhibitory ratio of F-AGE formation), 1 mg/mL (DPPH radical scavenging activity); A – F, Eggplant varieties are shown [Table 1](#); Cooked eggplant varieties was A. F-AGE, fluorescent advanced glycation end product; DPPH, 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl.

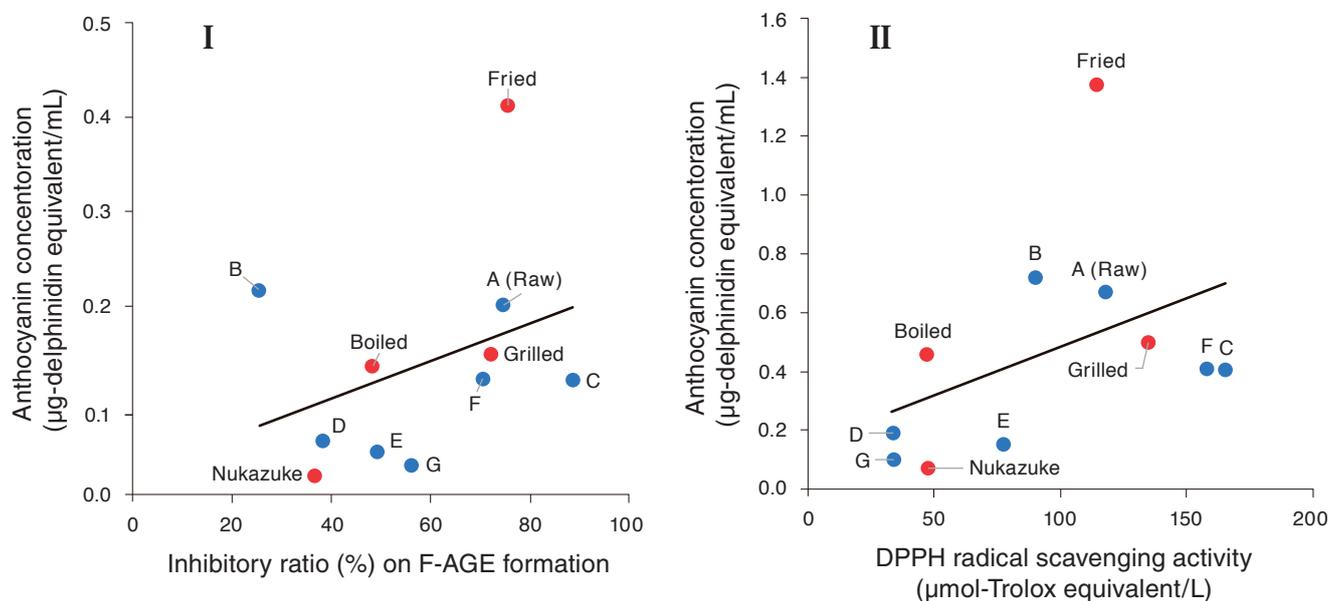


Fig. 5. Relationship between anthocyanin concentration and antiglycative or antioxidative effect of eggplant extract.

I, Antiglycative effect, $y = 0.002x + 0.0236$, $n = 11$, $r = 0.353$, $p < 0.05$;

II, Antioxidative effect, $y = 0.0033x + 0.1543$, $n = 11$, $r = 0.429$, $p < 0.05$;

The concentration of extract, 0.3 mg/mL (inhibitory ratio of F-AGE formation), 1 mg/mL (DPPH radical scavenging activity); A – F, Eggplant varieties are shown [Table 1](#); Cooked eggplant varieties was A. F-AGE, fluorescent advanced glycation end product; DPPH, 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl.

には品種間に差異が認められた。7品種間の抽出液中クロロゲン酸とアントシアニン濃度の差異は、それぞれ5.7倍と6.8倍であった。抽出液のクロロゲン酸濃度は抗糖化作用、抗酸化作用と高い相関性を示した。しかし抽出液のアントシアニン濃度は抗糖化作用よりも抗酸化作用との相関性が高かった。一方、各抽出液に含まれるクロロゲン酸はアントシアニンよりも21~242倍高濃度であり、抗糖化作用、抗酸化作用にクロロゲン酸量の違いが考えられた。野菜やハーブにはさまざまなポリフェノール成分が含まれる。187種類の野菜やハーブ抽出液のポリフェノール濃度と抗糖化作用の関係を調査した結果、抗糖化作用の強さは総ポリフェノール濃度と相関しなかった¹⁸⁾。この結果は植物抽出液の抗糖化作用がポリフェノール以外の成分にも関与があることを示している。また抗糖化作用はカテキン類において分子内水酸基の数や位置によって異なることが報告されている¹⁹⁾。ナスの抗糖化作用、抗酸化作用は、果実に含まれる成分の種類や量が品種ごとに異なるものの、クロロゲン酸量の影響が大きいと考えられた。

2) ナスの調理による糖化ストレス抑制作用の影響

ナスの品種Aを4種類の方法で調理した後の抽出液には、全て抗糖化作用、抗酸化作用が認められた。調理における抗糖化作用の変化は調理前と比べて、焼き、揚げで5%未満の増減であった。しかし茹で、ぬか漬けでは抗糖化作用が35%以上減少した。同様に抗酸化作用は焼き、揚げで15%未満の増減、茹で、ぬか漬けで60%減少した。茹で、ぬか漬けは茹で汁、ぬか床中にナス成分が浸出したことが抗糖化・抗酸化作用減少の一因と考えられた。ぬか漬けでは、果皮の退色が認められたことから、ぬか床中の乳酸菌等によるナス成分の分解も推定された。クロロゲン酸とアントシアニンは調理時の熱によって影響を受ける可能性がある。しかし、ナス中のクロロゲン酸は生と比べて焼きで10%増加、揚げで5%低下と変化が小さかった。またアントシアニンは生と比べて焼きで26%減少、揚げで104%増加した。調理によるクロロゲン酸やポリフェノールの増加はジャガイモ²⁰⁾、ケール²¹⁾で報告されている。調理による抽出液中の成分の増加は、加熱によりナス果実の組織が壊れたことによる抽出率の変化に起因する可能性がある²²⁾。野菜やハーブの加熱調理による抗糖化作用の変化を検証した報告はない。調理前後の抗酸化作用をβカロテン退色法で測定した結果は、生と比べてハウレンソウの蒸し、ナスの電子レンジ、ニンジン焼き加熱で活性が上昇した²³⁾。一方、ポリフェノール含量は生と比べてハウレンソウ、ナス、葉ネギの茹で低下し、ナスの電子レンジ、ニンジン焼き加熱で増加した。タマネギの調理時は電子レンジでケルセチン、アスコルビン酸量の変化が小さかった²⁴⁾。タマネギの揚げではケルセチン量の変化も小さかった。一方、茹でではタマネギ中に含まれるケルセチンの30%が茹で汁に浸出した。ナス4品種のぬか漬けでは、水分率の低下と果糖量の増加した²⁵⁾。ナスに含まれるクロ

ロゲン酸、アントシアニン量は調理によって変化した。しかし、ナスの焼き、揚げ調理は他の調理と比べて抗糖化作用、抗酸化作用が減弱しにくい可能性があった。

3) 糖化ストレス対策としてのナスの利用法

ナスは世界で5,000万トン以上生産される果菜類の作物で、さまざまな国や地域で食用にされている野菜である¹³⁾。ナス果実は水分率が約90%で、ビタミン、フェノール類、カロテノイド等が含まれる²⁶⁾。ナスは抗酸化作用を有することからファイトケミカル食品とされる。本研究で試料に用いたナスは7品種で一般のスーパーマーケット等で入手可能なものである。ナスには抗糖化作用と抗酸化作用が認められた。しかしその作用は品種によって差異が認められた。ナス品種C、A、FはF-AGEs生成阻害率が70%以上、DPPHラジカル消去活性が120 $\mu\text{mol-TE/L}$ で抗糖化作用、抗酸化作用ともに高値であった。一方、BはF-AGEs生成阻害率が25.4%で最低値を示した。G、DはDPPHラジカル消去活性が最低値(33.7 $\mu\text{mol-TE/L}$)を示した。糖化ストレス抑制に着目としたナスの選定には品種が重要であると考えられた。ナス品種Aの調理による抗糖化作用、抗酸化作用は生と比べて焼き、揚げで抗糖化作用、抗酸化作用の変化が小さかった。特に揚げではF-AGEs生成阻害率の変化率が1.1%、DPPHラジカル消去活性の変化率が2.9%で最も小さかった。ナスに含まれるクロロゲン酸やポリフェノール類は渋み成分の一つである。ナスおよびクロロゲン酸の渋みの強さは食用油の添加によって減少することが報告されている²⁷⁾。渋みの低下要因は渋み成分の食用油への移行や食用油による舌面との接触抑制などが推定されている。またナスは加熱調理により、うま味成分であるグアニル酸の増加が報告されている²⁸⁾。一方、茹で調理では茹で汁に成分が浸出した可能性が高かった。このためナスの抗糖化作用、抗酸化作用の減弱を補う食べ方としては茹で汁ごと摂取する味噌汁やスープなどが好ましいと考えられた。ぬか漬けは生と比べて抗酸化作用と抗糖化作用が50%以上低下、クロロゲン酸が76%減少、アントシアニンが90%減少した。このため糖化ストレス抑制に着目した調理には適さない可能性があった。一方、ぬか漬けはこめ糠に含まれるビタミンB1、 γ オリザノール、フェルラ酸などの付与²⁹⁾、乳酸菌による腸内フローラバランス改善機能があり、糖化ストレス抑制以外の作用を付与する有用な調理法と考えられた。

研究限界

本研究で検証したナスの品種および調理法の違いにおける抗糖化作用、抗酸化作用は*in vitro*での試験結果である。ヒトが継続摂取したときの有用性は更なる検証が必要である。

結語

ナス果実には抗糖化作用、抗酸化作用が認められた。これらの作用はナスの品種間で異なった。ナスの抗糖化作用、抗酸化作用は生と比べて焼き、揚げ調理後も変化が小さかった。一方、茹で、ぬか漬調理後はこれらの作用が低下した。ナスの抗糖化作用、抗酸化作用にはクロロゲン酸量の変化が推定された。糖化ストレスに着目したナスの利用には品種と調理法の選択が重要である。

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。

謝辞

論文出版に際し、公益財団法人 医食同源生薬研究財団より論文掲載支援を受けた。

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: 1. What is glycative stress? *Glycative Stress Res.* 2016; 3: 152-155.
- 3) Yagi M, Yonei Y. Glycative stress and anti-aging: 13. Regulation of Glycative stress. 1. Postprandial blood glucose regulation. *Glycative Stress Res.* 2016; 6: 175-180.
- 4) Hori M, Yagi Y, Nomoto K, et al. Inhibition of advanced glycation end product formation by herbal teas and its relation to anti-skin aging. *Anti-Aging Med.* 2012; 9: 135-148.
- 5) Ishioka Y, Yagi M, Ogura M, et al. Antiglycation effect of various vegetables: Inhibition of advanced glycation end product formation in glucose and human serum albumin reaction system. *Glycative Stress Res.* 2015; 2: 22-34.
- 6) Parengkuan L, Yagi M, Matsushima M, et al. Anti-glycation activity of various fruits. *Anti-Aging Med.* 2013; 10: 70-76.
- 7) Okuda F, Yagi M, Takabe W, et al. Anti-glycative stress effect of yogurt whey. *Glycative Stress Res.* 2019; 6: 230-240.
- 8) Weese TL, Bohs L. Eggplant origins: Out of Africa, into the Orient. *TAXON.* 2010; 59: 49-56.
- 9) 立山千種, 五十嵐喜治. ナス果菜の栽培品種・部位別のアントシアニン量, クロロゲン酸量およびラジカル消去活性. *日本食品科学工学会誌.* 2006; 53: 218-224.
- 10) 米安 晟. 日本の野菜. *日本食生活学会誌.* 1996; 7: 7-14.
- 11) Hori M, Yagi M, Nomoto K, et al. Experimental models for advanced glycation end product formation using albumin, collagen, elastin, keratin and proteoglycan. *Anti-Aging Med.* 2012; 9: 125-134.
- 12) 小河拓也, 池上 勝, 三好昭宏, 他. 紫黒米「むらさきの舞」アントシアニン色素の特性. *兵庫農技総研報(農業).* 2006; 53: 13-16.
- 13) Gürbüz N, Uluişik S, Frary A, et al. Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chem.* 2018; 268: 602-610.
- 14) Kim J, Jeong I, Kim C, et al. Chlorogenic acid inhibits the formation of advanced glycation end products and associated protein cross-linking. *Arch Pharm Res.* 2011; 34: 495-500.
- 15) Ichiyanaagi T, Kashiwada Y, Shida Y, et al. Nasunin from Eggplant Consists of Cis-Trans Isomers of Delphinidin 3-[4-(p-Coumaroyl)-1-rhamnosyl (1→6)glucopyranoside]-5-glucopyranoside. *J Agric Food Chem.* 2005; 53: 9472-9477.
- 16) Azuma K, Ohyama A, Ippoushi K, et al. Structures and antioxidant activity of anthocyanins in many accessions of eggplant and its related species. *J Agric Food Chem.* 2008; 56: 10154-10159.
- 17) Noda Y, Kneyuki T, Igarashi K, et al. Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels. *Toxicology.* 2000; 148: 119-123.
- 18) Ishioka Y, Yagi M, Ogura M, et al. Polyphenol content of various vegetables: Relationship to antiglycation activity. *Glycative Stress Res.* 2015; 2: 41-51.
- 19) Otake K, Yagi M, Takabe W, et al. Effect of tea (*Camellia sinensis*) and herbs on advanced glycation endproduct formation and the influence of post-fermentation. *Glycative Stress Res.* 2015; 2: 156-162.
- 20) Blessington T, Nzaramba MN, Scheuring DC, et al. Cooking methods and storage treatments of potato: Effects on carotenoids, antioxidant activity, and phenolics. *Am J Potato Res.* 2010; 87: 479-491.
- 21) Murador CD, Mercadante AZ, Rosso VV. Cooking techniques improve the levels of bioactive compounds and antioxidant activity in kale and red cabbage. *Food Chem.* 2016; 196: 1101-1107.
- 22) Reeve RM, Hautala E, Weaver ML. Anatomy and compositional variation within potatoes II. Phenolics, enzymes and other minor components. *American Potato Journal.* 1969; 46: 374-386.
- 23) 久保田 朗, 山下純隆. 加熱処理が野菜抽出物の抗酸化活性に及ぼす影響. *福岡県農業総合試験場研究報告.* 2000; 19: 81-84.
- 24) Ioku K, Aoyama Y, Tokuno A, et al. Various cooking methods and the flavonoid content in onion. *J Nutr Sci Vitaminol.* 2001; 47: 78-83.
- 25) 大西浩之, 宮澤大介, 吉岡弘毅. 糠漬けに伴うナスの物性変化と品種間差. *大阪夕陽丘学園短期大学紀要.* 2019; 62: 53-60.
- 26) Niño-Medina G, Urías-Orona V, Muy-Rangel MD, et al. Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena*): A review. *South African Journal of Botany.* 2017; 111: 161-169.
- 27) 黒澤祝子. ナスの渋味におよぼす食用油の影響. *調理科学.* 1986; 19: 119-124.
- 28) Horie H, Ando S. Eating-quality characteristics of eight eggplant cultivars. *Bull Nat Inst Veget Tea Sci.* 2014; 13: 9-18.
- 29) 松岡寛樹. 漬物の健康有益性. *日本海水学会誌.* 2017; 71: 246-251.