

*Original article***Anti-glycative effect and total phenolic content of rice water of different *Japonica* and *Indica* varieties**

Ursula Pasandee Pabasara Wickramasinghe, Masayuki Yagi, Yoshikazu Yonei

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

Glycative Stress Research 2021; 8 (4): 162-170
(c) Society for Glycative Stress Research

(原著論文：日本語翻訳版)

**ジャポニカ種とインディカ種米のライスウォーターの
抗糖化作用と総フェノール含量**

Wickramasinghe Ursula Pasandee Pabasara、八木雅之、米井嘉一

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

抄録

糖化とは、還元糖とアミノ基を持つ蛋白質が非酵素的に反応し、終末糖化産物(AGEs)を形成することである。AGEsの体内蓄積は、老化や生活習慣病の発症の重要な要因である。そこで、本研究では、ライスウォーターによるAGEs生成抑制作用について検討した。ライスウォーターは、美容のために伝統的に使用されている一般的な食材であるが、適切な科学研究が行われていない。ジャポニカ米とインディカ米の14品種を用い、タイプ1、タイプ2、タイプ3の3種類の方法でライスウォーター試料を調製した(n = 42)。ヒト血清アルブミン(HSA)糖化モデルを用いて、ライスウォーターによる蛍光性AGEs生成の抑制作用を評価した。ライスウォーター中の総フェノール量(TPC)はFolin-Ciocalteu法に従って測定した。ライスウォーター42試料すべてに蛍光性AGEs生成抑制作用が認められ、抑制作用とTPCの間には $p < 0.05$ で正の相関が見られた:タイプ1ライスウォーター($r = 0.906$)、タイプ2ライスウォーター($r = 0.918$)、タイプ3ライスウォーター($r = 0.765$)。また、色素米品種から調製したライスウォーターが最も高い抑制率を示し、例えば、タイプ1試料番号1($66.4 \pm 0.4\%$)、タイプ2試料番号1($66.6 \pm 0.7\%$)、タイプ3試料番号12($69.6 \pm 0.8\%$)となることが示された。結論として、ライスウォーターが抗糖化作用を有すること、TPCがその抗糖化作用に関与している可能性があることが示唆された。

連絡先: 教授 米井嘉一
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: yyonei@mail.doshisha.ac.jp
共著者: Wickramasinghe UPP, cygb2502@mail4.doshisha.ac.jp;
八木雅之, myagi@mail.doshisha.ac.jp

Glycative Stress Research 2021; 8 (4): 162-170
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

KEY WORDS: ライスウォーター、糖化ストレス、
終末糖化産物 (advanced glycation end products: AGEs)、総フェノール量

はじめに

米は、アジアを中心に世界の人口の多くが最も広く消費する主食の一つであり、また、重要な美容食材でもある。伝統的に、日本、中国、東南アジアのいくつかの国の女性は、顔、肌、髪を美しくするためにライスウォーターを使用してきた。米 (*Oryza sativa*) は、最も一般的に米と呼ばれる植物種である。粘りがあって粒の短いジャポニカ種と、粘りがなくて粒の長いインディカ種の2つの亜種に大別される¹⁾。また、米には白色、茶色、黒色や紫色、赤色など、様々な色がある。しかし、ライスウォーターは、化粧品メーカーが肌への効用を大きく主張しているものの、十分な科学的裏付けがないのが現状である。

近年、肌の老化を防ぐために、新しい、天然の、そして最も重要な有機生物活性化合物の探索が非常に高まっている。ライスウォーターは天然で経済的かつ扱いが容易であり、スキンケア製品に簡単に取り入れることができる。様々な種類の米が人間の食生活に関わっており、容易に入手可能である。米ぬか油には、フェルラ酸、 γ -オリザノール、フィチン酸などの抗酸化作用のある成分が含まれていることが報告されている²⁾。これらの成分は、化粧品産業や皮膚疾患の管理で確立され、使用されている³⁾。米ぬかの生物活性化合物は、脱毛症の治療に有効であることが判明しており⁴⁾、機能年齢の老化予防・若返り効果 (アンチエイジング効果) を有する可能性もある⁵⁾。米粒の主成分である澱粉は、生体内分解性ポリマーであり、医薬品産業において安全な用途がある。澱粉はアトピー性皮膚炎など掻痒感を伴う皮膚疾患の治療に役立つとされ、浴湯に添加することが推奨されている⁶⁾。ポルトガルで行われた研究では、ライスウォーターが生体内で抗酸化活性とエラスターゼ阻害作用を発揮することが発表された。また、ライスウォーターを96%配合した外用ゲル製剤を用いた臨床試験では、人間の皮膚に生体適合し、適切な化粧品としての特性を示すことが示された⁷⁾。また、米に含まれる生理活性化合物は、抗腫瘍、抗動脈硬化、抗糖尿病、抗アレルギー剤、胆石症の緩和、抗癌作用、抗炎症など多くの健康作用が期待できることが明らかになった⁸⁾。

スリランカで民間伝承薬として用いられているライスウォーターは、製造方法の違いにより3タイプに分類され、原料の米には東南アジア産や日本産など様々な品種が存在する。本研究は、ライスウォーターの新たな機能として抗糖化作用の有無を検証することを主目的とした。糖化とは、アミノ酸や蛋白質と還元糖との非酵素的な化学反応であり、フランスの科学者ルイ＝カミーユ・メイラード博士によって発見され、この反応はメイラード反応とも呼ばれる⁹⁾。糖化蛋白質は、様々な組織や臓器に蓄積される終末

糖化産物 (advanced glycation end products: AGEs) の生成につながる。AGEsは炎症、色素沈着、生理機能の低下などを引き起こし、老化の原因となる¹⁰⁾。このような細胞毒性を持ち、不可逆的に形成された糖由来AGEsが蓄積し、老化や加齢性疾患、糖尿病、癌、腎臓病、眼病、心疾患などの代謝性疾患に関与する現象を糖化ストレスと呼ぶ¹¹⁾。また、米の抗糖化能には総フェノール量 (total phenol content: TPC) が関与していることが報告されていることから、品種や製造方法、TPCによる作用の違いを比較検討する¹²⁾。効率的に抗糖化作用を発揮する品種や製造方法を追求したいと考えた。

材料と方法

試料と試薬

本研究で使用した14種類の米試料は、日本およびスリランカ国内の入手しやすい店舗で無作為に購入した (Table 1)。ヒト血清アルブミン (human serum albumin: HSA) はSigma-Aldrich社 (東京都) より購入した。その他の化学物質はすべて分析グレードで、富士フィルム和光純薬株式会社 (大阪) またはナカライテスク株式会社 (京都) より購入した。

3タイプの方法によるライスウォーターの調製

スリランカでの伝統的な使用法に基づき、以下の3種類のライスウォーターを調製した。

タイプ1

米3gを蒸留水36 mLで100°C、30分間煮沸した。2,500 rpm、10分間、室温で遠心分離した後、ろ過した。

タイプ2

米5gを160°C、30分間オープン乾燥した。乾燥米3gを36 mLの蒸留水で100°C、30分間煮沸した。2,500 rpm、10分間、室温で遠心分離した後、ろ過した。

タイプ3

米3gを蒸留水9 mLに室温で6時間浸漬した。試料を2,500 rpm、10分間、室温で遠心分離し、濾過した。

ライスウォーター3 mLをアルミトレイにのせ、120°C、120分の脱水前後の重量を測定し、固形分濃度 (mg/mL) を求めた。固形分濃度が1 mg/mLになるように蒸留水で濃度を調整し、実験用の試料を調製した。

Table 1. Rice samples used in this study.

Sample number	Sample name	Subspecies	Color	Country of origin and purchase	Additional details regarding source of material
1	Asamurasaki	<i>Japonica</i>	Black	Japan	Purchased from Tomizawa Shoten (TOMIZ), Product No. 00347802
2	Black Kodaimai	<i>Japonica</i>	Black	Japan	Purchased from Asuka Kanko
3	Dik Vee	<i>Indica</i>	Red	Sri Lanka	Purchased from Siriketha Products, Ethkandura
4	Hitomebore	<i>Japonica</i>	Brown	Japan	Purchased from Rice Friend, Takashimaya Osaka store
5	Koshihikari	<i>Japonica</i>	Brown	Japan	Purchased from Rice Friend, Takashimaya Osaka store
6	Kuruluthuda	<i>Indica</i>	Red	Sri Lanka	Purchased from Siriketha Products, Ethkandura
7	Ma Vee	<i>Indica</i>	White	Sri Lanka	Purchased from a local farmer in the Gampaha district
8	Madathavalu	<i>Indica</i>	White	Sri Lanka	Purchased from a local farmer in the Gampaha district
9	Martin Samba	<i>Indica</i>	White	Sri Lanka	Purchased from a local farmer in the Gampaha district
10	Mixed Kodaimai	<i>Japonica</i>	Mixed (black, green, red)	Japan	Purchased from Asuka Kanko
11	Pachchaperumal	<i>Indica</i>	Red	Sri Lanka	Purchased from a local farmer in the Gampaha district
12	Red Kodaimai	<i>Japonica</i>	Red	Japan	Purchased from Asuka Kanko
13	Suduru Hel	<i>Indica</i>	White	Sri Lanka	Purchased from a local farmer in the Gampaha district
14	Yuyakemochi	<i>Japonica</i>	Red	Japan	Purchased from Tomizawa Shoten (TOMIZ), Product No. 00347901

糖化蛋白質の調製

HSA糖化モデル¹³⁾を用いて、タイプ1、タイプ2、タイプ3のライスウォーターが糖化に及ぼす影響を評価した。試料25 µLを125 µLの0.1 mol/Lリン酸緩衝液(pH 7.4)、25 µLの蒸留水、50 µLの40 mg/mL HSA、25 µLの2.0 mol/Lグルコースに加えた(溶液A)。ブランクとして、溶液Aのグルコースの代わりに蒸留水を加えた(溶液B)。同時に、ブランクとして溶液Aの試料の代わりに蒸留水を加えた(溶液C)。また、C液のグルコース溶液の代わりに精製水を加えた混合溶液を調製した(D液)。陽性対照として、AGEs生成阻害剤1 mg/mL aminoguanidine (AG)¹⁴⁾を使用した。反応混合物を60 °Cで40時間反応させた。

蛍光性 AGEs の測定

反応後の蛍光性 AGEs 量は既報の通り測定した¹³⁾。具体的には、反応混合物 200 µL を用い、Varioscan® Flash マイクロプレートリーダー (Thermo Scientific, Waltham, MA) で励起波長 370 nm、発光波長 440 nm で蛍光を測定した。蛍光強度は、5 µg/mL の硫酸キニーネの蛍光強度を 1,000 としたときの相対値として算出した。また、蛍光性 AGEs の生成抑制率 (%) は、以下の式で算出した。
 蛍光 AGEs 生成抑制率 (%) = $[1 - (A - B) / (C - D)] \times 100$

総フェノール量 (TPC) の測定

TPC は Folin-Ciocalteu 法の手順¹⁵⁾に従って、最終結

果を変えない範囲で若干の修正を加えながら測定した。具体的には、反応混合物 50 µL (試料 5 µL、蒸留水 20 µL、エタノール 25 µL) を 0.4 M 炭酸ナトリウム 250 µL と混合し、続いて 50 % Folin-Ciocalteu 試薬 25 µL を添加した。ブランクとして、Folin-Ciocalteu 試薬の代わりに蒸留水を使用した。混合物をよく混合し、30 °C で 30 分間反応させた。その後、さらに 30 分間、室温で静置した。Varioscan® Flash マイクロプレートリーダー (Thermo Scientific, Waltham, MA) を用いて 660 nm で吸光度を測定した。TPC は、カテキンを標準フェノール化合物として同様の手順で作成した検量線によって決定したカテキン当量 (µM catechin eq) で表した¹⁵⁾。

統計解析

測定値は、平均値 ± 標準偏差で示した。群間比較は測定値に対し Tukey's test を用いて行った。測定値間の相関分析は、Pearson 相関係数を用いて行った。p 値 0.05 未満で有意な差とした。

結果

AGEs 生成に対する抑制作用

14 種類の米試料 (n = 42) を用いて調製したタイプ 1、タイプ 2、タイプ 3 ライスウォーターと、AG による AGEs

生成抑制作用をFig. 1に示す。42種類のライスウォーターは、すべて蛍光性AGEs生成を抑制していた。試料番号1は、タイプ1ライスウォーターの中で最も強く蛍光AGEs生成を抑制した ($66.4 \pm 0.4\%$, Fig. 1-a)。また、試料番号1は、タイプ2ライスウォーターの中で最も強い蛍光性AGEs生成抑制作用を示した ($66.6 \pm 0.7\%$, Fig. 1-b)。試料番号12は、タイプ3ライスウォーターの中で最も強く蛍光性AGEs生成を抑制し、ライスウォーター42種類の中で最も強く蛍光AGEs生成を抑制した ($69.6 \pm 0.8\%$, Fig. 1-c)。Fig. 2に示すように、試料番号1を除き、ライスウォーターの種類によって有意な差 ($p < 0.05$) を認めた。タイプ別に比較すると、試料番号2と3はタイプ1ライスウォーターで、試料番号1はタイプ2ライスウォーターで、試料番号5、6、7、8、9、10、11、12、13、14はタイプ3ライスウォーターの中で蛍光AGEs生成抑制作用が最も高かった。米14種類中、すべてのライスウォーター ($n = 42$) でAGより低い抑制率を示した。

ライスウォーターに含まれる総フェノール量 (TPC)

14種類の米試料 ($n = 42$) を用いて調製したタイプ1、タイプ2、タイプ3ライスウォーターのTPCをFig. 3に示す。ライスウォーターはすべてフェノール化合物を含んでいた。試料番号1は、タイプ1ライスウォーター試料 ($94.7 \pm 4.9 \mu\text{M catechin eq}$)、タイプ2ライスウォーター試料 ($124.8 \pm 7.5 \mu\text{M catechin eq}$)、タイプ3ライスウォーター試料 ($176.2 \pm 3.4 \mu\text{M catechin eq}$) で最も高いTPCを示した。タイプ別に比較すると、タイプ1ライスウォーターでは、試料番号3と11が最もTPCが高く、タイプ3ライスウォーターでは、試料番号1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14が最もTPCが高かった。

相関分析

Fig. 4にTPCと蛍光性AGEs生成抑制作用の相関性を示した。タイプ1ライスウォーターではTPCと蛍光性AGEs生成抑制作用に強い正相関があることがわかった ($r = 0.906$, Fig. 4-a)。同様に、タイプ2ライスウォーターにおいてもTPCと蛍光AGEs抑制作用との間に強い正相関が認められた ($r = 0.918$, Fig. 4-b)。また、タイプ3のライスウォーターではTPCと蛍光AGEs生成抑制作用に中程度の正相関が認められた ($r = 0.765$, Fig. 4-c)。

考察

研究背景

本研究では、14種類の米試料を用いて、3つのタイプのライスウォーターの抗糖化作用およびTPCを検討した。14種類の米試料には、黒米2品種、赤米5品種、玄米2品種、白米4品種、および混合米1品種が含まれていた。色の異なる米を選んだ理由は、これまでの研究で、白米と比較して色素のある米の様々な健康上の利点が見出されてきた

からである。白米は、ほとんどのアジア人および世界中のその他の人々のカロリー摂取に大きく貢献しているが、その栄養的品質は、色素米品種のそれに比べて低い¹⁶⁾。色素米は抗酸化物質を含む植物性栄養素を豊富に含み、糖尿病合併症の予防にも効果があることが報告されている^{17, 18)}。色素米は、フェノール酸やフラボノイドを含む様々な生理活性化合物を含んでいる¹⁹⁾。いくつかの疫学的研究により、ポリフェノール含有量の高い食事摂取が、心血管疾患^{20, 21)}や神経変性疾患²²⁾を含む様々な疾患のリスク低下と関連することが示唆されている。また、フェノール化合物の濃度は抗酸化活性と正相関があり、癌の予防に貢献する可能性があることが示されている²³⁻²⁵⁾。

新たな機能性としての抗糖化作用

本研究では、天然で経済的かつシンプルな製品であるライスウォーターを主要な試験試料として使用した。ライスウォーターは、世界各地で様々な方法で調製されているが、米粒を水と接触させることに変わりはない。どの方法でライスウォーターを作れば、より高い抗糖化作用が得られるかを調べるために、スリランカの3つの伝統的な方法を実験室で再現し、この研究でライスウォーターの調製に使用した。タイプ1は煮沸、タイプ2はオープン乾燥と煮沸、タイプ3は水に浸して作成した。日本で行われた研究では、米を洗って得たとぎ汁ですすぐことでヘアケア効果があることが示されており²⁶⁾、この研究のタイプ3ライスウォーターとよく似ている。

ライスウォーターの抗糖化作用は、HSA糖化モデルを用いて蛍光性AGEs生成抑制作用を測定することで確認した¹³⁾。ライスウォーターをHSAとグルコースとともに60°Cで40時間反応させ、抗糖化能を評価した。この糖化反応は、反応温度と時間で制御される非酵素的な反応である。これまでの研究から、60°C、40時間での蛍光AGEs生成は、37°C、約60日の反応時間から得られるものと同様であることが分かっている²⁷⁾。AGEs生成抑制作用を測定する際に使用する陽性対照であるAGは、糖化反応の阻害剤である。AGは糖尿病合併症の治療を目的として開発されたAGEs生成阻害剤である²⁸⁾。AGは、糖化反応の中間生成物の分子中のカルボニル基をブロックする。しかし、日本では副作用が認められているため、国内では医薬品として認可されていない。ライスウォーター42試料すべてに蛍光性AGEs生成抑制作用が認められた。これは、トコフェロール、トコトリエノール、 γ -オリザノールなど、米に確認されているいくつかのフェノール化合物が水に移行しているためと考えられる²⁹⁾。

総フェノール量 (TPC) との関係

ライスウォーター塗布は、美白、肌の弾力アップ、日焼け止めなどの民間療法として親しまれている。本研究では、肌の老化防止の観点から、ライスウォーターの抗糖化作用を検証した。しかし、ライスウォーター製剤の種類、原料となる米の品種と色素の違いによって抑制率に大きな差が

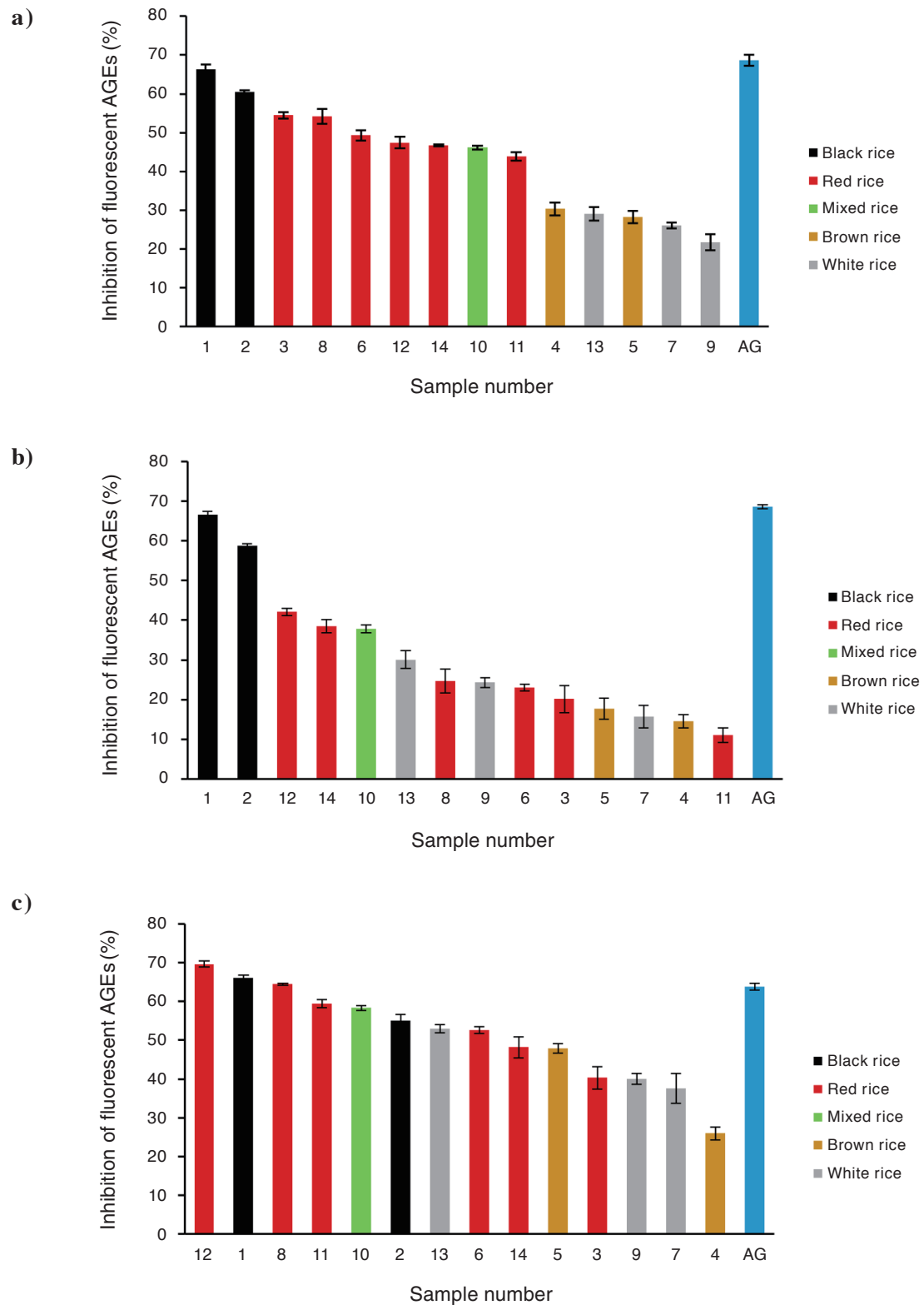


Fig. 1. Inhibition of fluorescent AGE formation by (a) type 1 rice water and AG, (b) type 2 rice water and AG, (c) type 3 rice water and AG.

Rice water samples were introduced into glycation models containing 8 mg/mL HSA and 0.2 mol/L glucose. After 40 hours incubation at 60 °C, fluorescent AGEs were measured at 370/440 nm. The final concentration of samples was 1 mg/mL and that of AG was 0.1 mg/mL. Results are expressed as mean $\pm$ standard deviation, n = 3. Sample number; 1, Asamurasaki, 2, Black Kodaimai, 3, Dik Vee, 4, Hitomebore, 5, Koshihikari, 6, Kuruluthuda, 7, Ma Vee, 8, Madathavalu, 9, Martin Samba, 10, Mixed Kodaimai, 11, Pachchaperumal, 12, Red Kodaimai, 13, Suduru Hel, 14, Yuyakemochi. AGEs, advanced glycation end products; AG, aminoguanidine; HSA, human serum albumin.

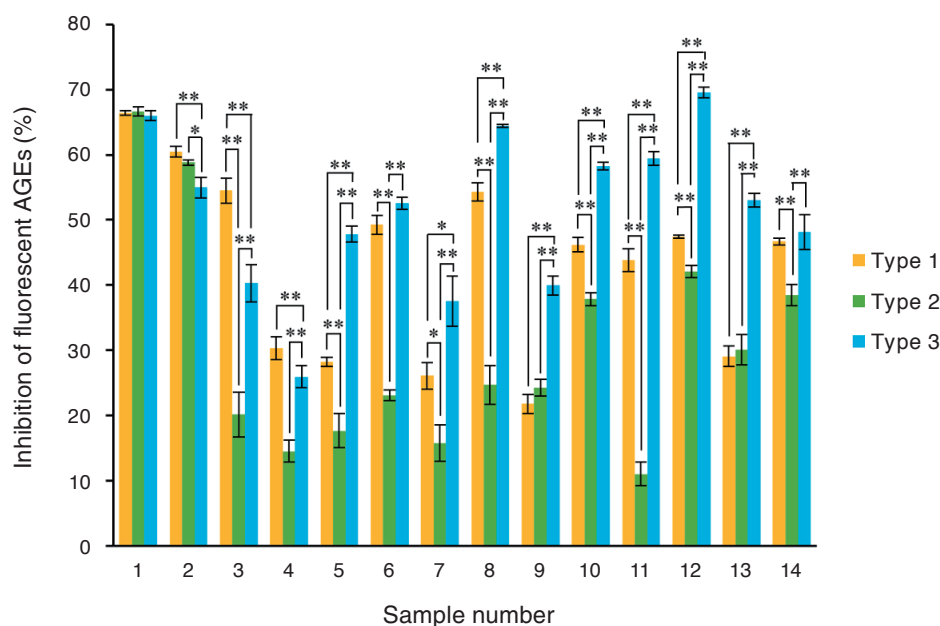


Fig.2. Comparison of the inhibition of fluorescent AGEs formation by the 3 types of rice water.

The final concentration of samples was 1 mg/mL. Results are expressed as mean $\pm$ standard deviation, $n = 3$, $*p < 0.05$, $**p < 0.01$ by Tukey's test. Sample number; 1, Asamurasaki, 2, Black Kodaimai, 3, Dik Vee, 4, Hitomebore, 5, Koshihikari, 6, Kuruluthuda, 7, Ma Vee, 8, Madathavalu, 9, Martin Samba, 10, Mixed Kodaimai, 11, Pachchaperumal, 12, Red Kodaimai, 13, Suduru Hel, 14, Yuyakemochi. AGEs, advanced glycation end products.

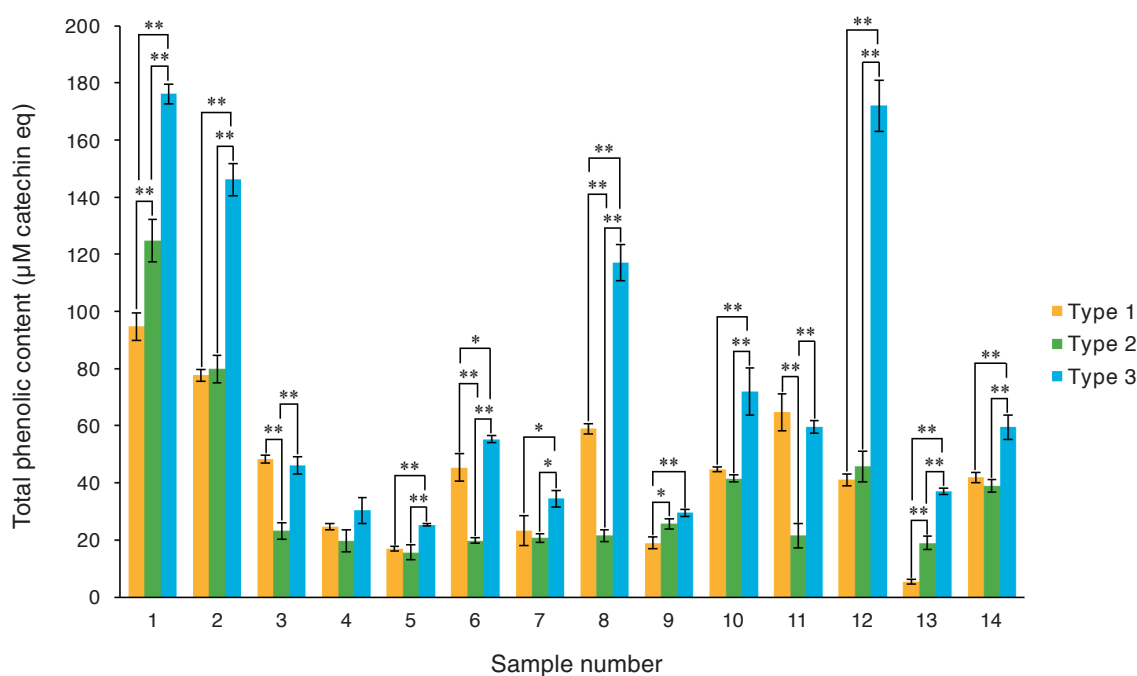


Fig.3. Comparison of the TPC in the 3 types of rice water.

The final concentration of samples was 1 mg/mL. Results are expressed as mean $\pm$ standard deviation, $n = 3$, $*p < 0.05$, $**p < 0.01$ by Tukey's test. Sample number; 1, Asamurasaki, 2, Black Kodaimai, 3, Dik Vee, 4, Hitomebore, 5, Koshihikari, 6, Kuruluthuda, 7, Ma Vee, 8, Madathavalu, 9, Martin Samba, 10, Mixed Kodaimai, 11, Pachchaperumal, 12, Red Kodaimai, 13, Suduru Hel, 14, Yuyakemochi. TPC, total phenolic content.

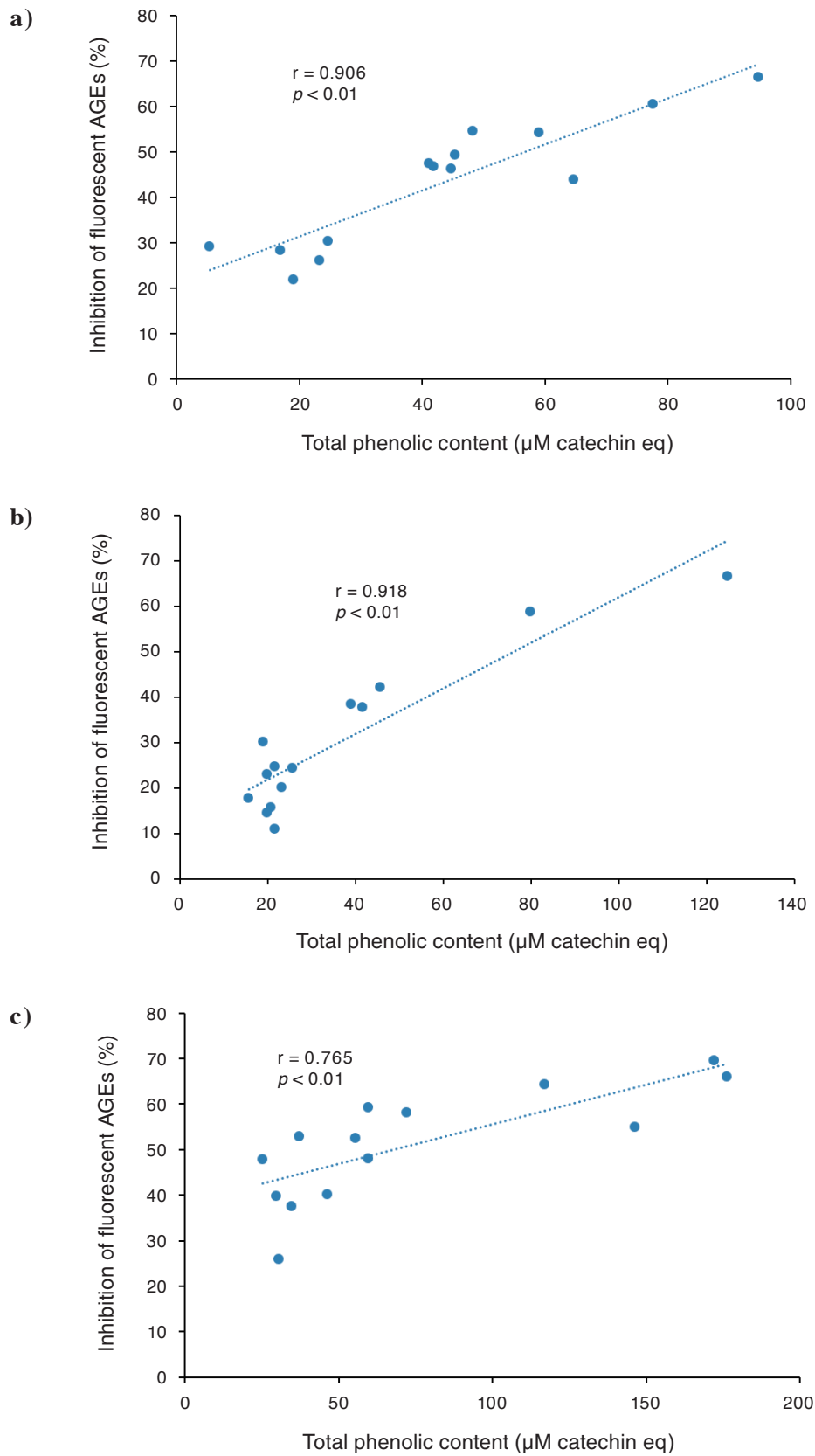


Fig. 4. Correlation of inhibition of fluorescent AGEs formation to TPC of (a) type 1 rice water, (b) type 2 rice water, (c) type 3 rice water.

$p < 0.01$, r = Pearson correlation coefficient. TPC, total phenolic content; AGEs, advanced glycation end products.

あることが示された。タイプ3 ライスウォーターは、タイプ1、タイプ2 ライスウォーターと比較して、平均して高い抑制率を示した。黒米、赤米の品種は、玄米、混合米、白米の品種と比較して、平均して高い抑制率を示した。このことから、米のアリユーロン層にある色素には、アントシアニンなどのフェノール化合物が多量に含まれていることが示唆された¹⁷⁾。以前の研究では、異なる色素を持つタイ米品種のTPCがAGEs生成抑制作用との間に正相関があることが示した¹²⁾。また、これらの結果は、フェノール含有量多い色素米について報告した先行研究^{17, 30)}と一致する。

また、本研究では、3タイプのライスウォーターによるTPCと蛍光性AGEs生成抑制作用の間に強い正相関が見られた。同様の結果は、中国の米豆のTPC、抗酸化活性とAGEs生成抑制作用との間に正相関を示すことが観察されている³¹⁾。さらに、*Garcinia indica*果皮由来のgarcinol³²⁾、*Camellia sinensis*³³⁾でも同様の関係が観察されている。これらの結果から、AGEs生成抑制はTPCに依存する可能性が示唆された。タイプ3 ライスウォーターが高い蛍光性AGEs生成抑制作用を示したのは、タイプ1およびタイプ2 ライスウォーターでは水煮により可溶性フェノール化合物が失われたためであると考えられる。ほとんどの米試料において、タイプ2 ライスウォーターの調製法が抑制率を低下させた。これは、他の2つのタイプのライスウォーターの調製方法と比較して、長時間にわたって米に極端な熱を加えた(160℃で30分、100℃でさらに30分)ためであると考えられる。長時間加熱することで、フェノール化合物の損失や分解が進み、タイプ2 ライスウォーターの抑制能が低下した可能性がある。以前の研究で、米の炊飯により、可溶性フェノール含量が相対的に減少し、アンジオテンシンI変換酵素(ACE)の阻害能の著しい減少をもたらすことが示されている³⁴⁾。これらの結果は煮沸により調製したライスウォーターではTPCが低いとの報告とも一致する⁷⁾。また、熱は他の食品中のフェノール化合物の量に大きく影響することが示されている³⁵⁻³⁷⁾。これらの所見も、タイプ3 ライスウォーターがそのTPCと中程度の正相関を示した理由である可能性がある。また、タイプ3 ライスウォーターのAGEs生成抑制には、TPC以外に別の要因が作用している可能性もある。しかし、これはまだ不明である。今後の研究では、タイプ3 ライスウォーターの抗糖化作用に関与するTPC以外の因子を特定することに焦点を当てる必要がある。

結論

本研究は、色素を有するジャポニカ種とないインディカ種の米を原料とする様々なライスウォーターにおけるAGEs生成抑制作用とTPCの相関に関する最初の報告である。本研究により、ライスウォーターが新規機能

として抗糖化作用(AGE生成抑制作用)を有することが示された。また、色素米品種を用いて製造したライスウォーターは、蛍光性AGE生成抑制率が高いこと、抑制作用とライスウォーターのTPCに強い正相関があることを明らかにした。伝統的な製造方法の中では、米を水に浸して製造するタイプ3 ライスウォーターが最も強い抗糖化作用を有し、品種の中では、試料番号1(アサムラサキ、黒色ジャポニカ種)と試料番号12(紅コウダイ、赤色ジャポニカ種)が強い作用を示した。抗糖化作用とTPC含有量に相関が見られ、TPC(=フェルラ酸など米に含まれるフェノール化合物³⁸⁾)が関与している成分であることが示唆された。以上より、ライスウォーターは、皮膚に局所的に使用した場合、抗糖化機能により美容と健康維持に貢献する可能性が示唆された。

謝辞

本研究の一部は、2018年10月に開催された第18回糖化ストレス研究会(東京)および2021年8月に開催された第23回糖化ストレス研究会講演会(熊本県)にて発表した。また、本研究は2021年9月、IMARS-14(カタール、ドーハ)にて発表されました。本研究は、同志社大学大学院生命医科学研究科で実施された。インディカ米試料を提供していただいたM.C. Wickramasinghe氏T.M.L.K. Thilakaratna氏に感謝します。論文出版に際し、医食同源生薬研究財団より論文掲載支援を受けた(IDF#22002)。

利益相反申告

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構SIP(プロジェクトID:14533567)「次世代農林水産業創造技術」(資金提供機関:生物系特定産業技術研究支援センター(NARO)、医食同源生薬研究財団(IDF#21002))。米井嘉一による資金獲得。資金提供者は、研究デザイン、データ収集と分析、出版の決定、原稿の作成に関与していない。

参考文献

- 1) Garriss AJ, Tai TH, Coburn J, et al. Genetic structure and diversity in *Oryza sativa* L. *Genetics*. 2005; 169: 1631-1638.
- 2) Pal YP, Pratap AP. Rice bran oil: A versatile source for edible and industrial applications. *J Oleo Sci*. 2017; 66: 551-556.
- 3) Lerma-García MJ, Herrero-Martínez JM, Simó-Alfonso EF, et al. Composition, industrial processing and applications of rice bran γ -oryzanol. *Food Chemistry*. 2009; 115: 389-404.
- 4) Choi J-S, Park JB, Moon W-S, et al. Safety and efficacy of rice bran supercritical CO₂ extract for hair growth in androgenic alopecia: A 16-week double-blind randomized controlled trial. *Biol Pharm Bull*. 2015; 38: 1856-1863.
- 5) Kanlayavattanukul M, Lourith N, Chaikul P. Jasmine rice panicle: A safe and efficient natural ingredient for skin aging treatments. *J Ethnopharmacol*. 2016; 193: 607-616.
- 6) De Paepe K, Hachem JP, Vanpee E, et al. Effect of rice starch as a bath additive on the barrier function of healthy but SLS-damaged skin and skin of atopic patients. *Acta Derm Venereol*. 2002; 82: 184-186.
- 7) Marto J, Neves Â, Gonçalves L, et al. Rice water: A traditional Ingredient with anti-aging efficacy. *Cosmetics*. 2018; 5(2): 26.
- 8) Samyor D, Das AB, Deka SC. Pigmented rice a potential source of bioactive compounds: A review. *International Journal of Food Science & Technology*. 2017; 52: 1073-1081.
- 9) Zhang Q, Ames JM, Smith RD, et al. A perspective on the Maillard reaction and the analysis of protein glycation by mass spectrometry: Probing the pathogenesis of chronic disease. *J Proteome Res*. 2009; 8: 754-769.
- 10) Nagai R, Mori T, Yamamoto Y, Kaji Y, et al. Significance of advanced glycation end products in aging-related disease. *Anti-Aging Med*. 2010; 7: 112-119.
- 11) Rowan S, Bejarano E, Taylor A. Mechanistic targeting of advanced glycation end-products in age-related diseases. *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis*. 2018; 1864: 3631-3643.
- 12) Daiponmak W, Senakun C, Siriamornpun S. Antiglycation capacity and antioxidant activities of different pigmented Thai rice. *International Journal of Food Science & Technology*. 2014; 49: 1805-1810.
- 13) 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.
- 14) Hammes HP, Martin S, Federlin K, et al. Aminoguanidine treatment inhibits the development of experimental diabetic retinopathy. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1991; 88: 11555-11558.
- 15) Stevanato R, Fabris S, Momo F. New enzymatic method for the determination of total phenolic content in tea and wine. *J Agric Food Chem*. 2004; 52: 6287-6293.
- 16) Mbanjo EGN, Kretschmar T, Jones H, et al. The genetic basis and nutritional benefits of pigmented rice grain. *Front Genet*. 2020; 11: 229.
- 17) Yawadio R, Tanimori S, Morita N. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*. 2007; 101: 1616-1625.
- 18) Morimitsu Y, Kubota K, Tashiro T, et al. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses. *International Congress Series*. 2002; 1245: 503-508.
- 19) Wongs P. Phenolic compounds and potential health benefits of pigmented rice. *Recent Advances in Rice Research*. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.93876.
- 20) Lo LMP, Kang MY, Yi SJ, et al. Dietary supplementation of germinated pigmented rice (*Oryza sativa* L.) lowers dyslipidemia risk in ovariectomized Sprague–Dawley rats. *Food Nutr Res*. 2016; 60: 30092.
- 21) Ling WH, Cheng QX, Ma J, et al. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. *J Nutr*. 2001; 131: 1421-1426.
- 22) Vargas CG, Da Silva Junior JD, Rabelo TK, et al. Bioactive compounds and protective effect of red and black rice brans extracts in human neuron-like cells (SH-SY5Y). *Food Res Int*. 2018; 113: 57-64.
- 23) Hu C, Zawistowski J, Ling W, et al. Black rice (*Oryza sativa* L. indica) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *J Agric Food Chem*. 2003; 51: 5271-5277.
- 24) Hyun JW, Chung HS. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyee mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G2/M phase and induction of apoptosis. *J Agric Food Chem*. 2004; 52: 2213-2217.
- 25) Chen P-N, Kuo W-H, Chiang C-L, et al. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. *Chem Biol Interact*. 2006; 163: 218-229.
- 26) Inamasu S, Ikuyama R, Fujisaki Y, et al. The effect of rinse water obtained from the washing of rice (YU-SU-RU) as a hair treatment. *International Journal of Cosmetic Science*. 2010; 44: 29-33.
- 27) Yagi M, Yonei Y. Glycative stress and anti-aging: 4. The evaluation of glycative Stress: Evaluation for anti-glycative effect. *Glycative Stress Res*. 2017; 4: 87-92.
- 28) Bolton WK, Cattran DC, Williams ME, et al. Randomized trial of an inhibitor of formation of advanced glycation end products in diabetic nephropathy. *Am J Nephrol*. 2004; 24: 32-40.
- 29) Walter M, Marchesan E. Phenolic compounds and antioxidant activity of rice. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2011; 54: 371-377.
- 30) Itani T, Tatemoto H, Okamoto M, et al. A comparative study on antioxidative activity and polyphenol content of colored Kernel rice. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*. 2002; 49: 540-543.
- 31) Yao Y, Cheng X-Z, Wang L-X, et al. Major phenolic compounds, antioxidant capacity and antidiabetic potential of rice bean (*Vigna umbellata* L.) in China. *Int J Mol Sci*. 2012; 13: 2707-2716.

- 32) Yamaguchi F, Ariga T, Yoshimura Y, et al. Antioxidative and anti-Glycation Activity of garcinol from *Garcinia indica* fruit rind. *J Agric Food Chem*. 2000; 48: 180-185.
- 33) Ho S-C, Wu S-P, Lin S-M, et al. Comparison of anti-glycation capacities of several herbal infusions with that of green tea. *Food Chemistry*. 2010; 122: 768-774.
- 34) Massaretto IL, Madureira Alves MF, Mussi De Mira NV, et al. Phenolic compounds in raw and cooked rice (*Oryza sativa* L.) and their inhibitory effect on the activity of angiotensin I-converting enzyme. *Journal of Cereal Science*. 2011; 54: 236-240.
- 35) Ghafoor K, Ahmed IAM, Doğu S, et al. The effect of heating temperature on total phenolic content, antioxidant activity, and phenolic compounds of plum and mahaleb fruits. *International Journal of Food Engineering*. 2019; 15(11-12).
- 36) Xu G, Ye X, Chen J, et al. Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *J Agric Food Chem*. 2007; 55: 330-335.
- 37) Maghsoudlou Y, Asghari Ghajari M, Tavasoli S. Effects of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of quince fruit and its tisane's sensory properties. *J Food Sci Technol*. 2019; 56: 2365-2372.
- 38) Tian S, Nakamura K, Kayahara H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. *J Agric Food Chem*. 2004; 52: 4808-4813.