

## 日常生活条件下における希少糖D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用

松尾 達博\*・路 暢

香川大学農学部

(2011年5月26日受付 2011年6月24日受理)

### The suppression effect of rare sugar D-psicose for postprandial glycemic response on healthy young subjects in the normal lifestyle — Note —

Tatsuhiro Matsuo\* and Chang Lu (*Faculty of Agriculture, Kagawa University, 2393 Ikenobe, Miki-cho, Kita-gun, Kagawa 761-0795*) *Seibutsu-kogaku* **89**: 401-403, 2011.

D-psicose, a C-3 epimer of D-fructose, is a “rare sugar” present in nature products. Examining the effects of D-psicose on glucose metabolism, we found that supplemental D-psicose, a sweet monosaccharide, can lower plasma glucose levels in the previous animal and clinical studies. We investigated whether or not D-psicose suppresses glycemic response after ingestion of various foods in healthy subjects under the normal lifestyle. Fifteen male and 29 female subjects were fed the normal lunches selected by the subjects (energy: 636 kcal, carbohydrate: 87.6 g for males; energy 513 kcal, carbohydrate: 18.9 g for females) with 6 g of D-psicose or D-fructose. The blood glucose concentrations before and after a meal were determined. The postprandial glycemic response was significantly lower after intake of an experimental meal with D-psicose than with D-fructose. These results suggest that D-psicose suppresses glycemic response after ingestion of the normal lunch under daily life style. D-Psicose may be useful in preventing postprandial hyperglycemia in type 2 diabetic or obese patients.

[**Key words**: D-psicose, blood glucose, normal life style, healthy subjects]

D-プシコースはD-フルクトースのC-3エピマーであり、自然界に非常にわずしか存在しない希少糖の一つである<sup>1)</sup>。しかし、近年、酵素反応を利用したD-プシコース大量生産法が確立され、これまでにさまざまな生理作用が確認されている<sup>2)</sup>。食後血糖値上昇抑制作用は、D-プシコースの代表的な機能性の一つであり、2型糖尿病や肥満の予防・改善のための優れた機能性食材として期待されている。D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用は、D-プシコースが小腸粘膜上皮における二糖分解酵素を阻害すること<sup>3)</sup>、およびD-プシコースが肝グルコキナーゼの核から細胞質への移行を促進し、それに続くグルコキナーゼの活性化が肝糖代謝を亢進することに起因すると考えられている<sup>4)</sup>。

D-プシコースは砂糖の約70%の甘味と高い溶解性、

保水性を示すために、シヨ糖の代替糖として食品加工に適する性質を持つ<sup>5)</sup>。そのために、まずD-プシコースをテーブルシュガーや菓子素材として利用することを試みた。筆者らはこれまでに、D-プシコースをシヨ糖の代替糖として飲料に混合し菓子類と共に摂取した場合や菓子素材として添加した場合（いずれも総炭水化物量の10%）、食後の血糖値上昇が有意に抑制されること、その抑制率は加熱度の少ない調理でより顕著であることを報告してきた<sup>6)</sup>。しかし、日本人の平均的な炭水化物摂取量は、朝、昼、夜の食事（おもにコメ、パン、麺などの主食）から圧倒的に多く、菓子類からの炭水化物摂取量はそれらに比べればわずかである<sup>7)</sup>。そこで本研究では、D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用が、日常的な食事の場合でも有効か否かについて健常者を対象と

\*連絡先 E-mail: matsuo@ag.kagawa-u.ac.jp

して検討した。

被験者は健康な成人男性15名（年齢 $20.3 \pm 0.2$ 歳，身長 $167.8 \pm 1.1$  cm，体重 $62.8 \pm 1.9$  kg，体格指数 $22.1 \pm 0.7$  kg/m<sup>2</sup>）および成人女性29名（年齢 $20.2 \pm 0.1$ 歳，身長 $158.7 \pm 1.3$  cm，体重 $52.1 \pm 1.3$  kg，体格指数 $20.7 \pm 0.5$  kg/m<sup>2</sup>）とした。本実験の実施にあたっては，被験者全員へのインフォームド・コンセントを行い，全員から署名入りの実験参加同意書を得た。また，実験計画については香川大学医学部倫理委員会の承認を受けた（受付番号20-33）。

実験食についてはあらかじめ各被験者に日常的な昼食（500–600 kcalを目安）を設定させた。実験食の栄養成分を把握するために，外食（大学食堂あるいは近隣の食堂）や市販食品などで栄養成分がパッケージに記載されているものについてはその値を用い，栄養成分が不明な食品や自炊の場合には，食品材料を記録した後で食品成分表<sup>8)</sup>により栄養価計算を実施した。実験食の組成は男性：エネルギー $636 \pm 37$  kcal，炭水化物 $87.6 \pm 7.4$  g，脂質 $19.3 \pm 2.2$  g，タンパク質 $24.4 \pm 6.6$  g（エネルギー比C/F/P=55.1/27.3/17.6）および女性：エネルギー $513 \pm 44$  kcal，炭水化物 $66.8 \pm 6.2$  g，脂質 $18.9 \pm 3.0$  g，タンパク質 $16.9 \pm 5.4$  g（エネルギー比C/F/P=52.1/33.1/14.8）であった。

実験日当日，各被験者に8時までに朝食を摂取させ，実験開始の13時まで水以外の飲食および激しい運動を禁止した。各被験者に実験食とともにD-ブシコース6 gあるいは対照としてD-フルクトース6 gを市販無糖紅茶（ジャワティーストレート300 mlボトル缶，大塚製薬，東京）に添加した飲料を摂取させた。実験食の摂取時間はおおむね10分とした。D-ブシコースの対照糖として一般的なショ糖ではなくD-フルクトースを用いたのは，両糖とも同じケトースであること，インスリン分泌を刺激しないこと，グリセミック指数が低いこと，などからである。飲用に際してはブラインド試験として，被験者にはD-ブシコースあるいはD-フルクトースのどちらを摂取しているか分からないものとした。実験食を市販食品や自炊（弁当）とした場合には実験室で飲食させ，近隣での外食の場合には食後速やかに実験室に帰還させた。実験食と飲料の摂取前および摂取開始後30，60，90，120分に小型血糖測定器（GT-1820，アークレイ，京都）で血糖値を測定した。実験終了後，1週間以上の間隔をあけて，D-ブシコース飲料とD-フルクトース飲料を入れ替えて，初回と同じ実験食とともに摂取させ2回目の実験を実施した。

実験結果については，データを平均値と標準誤差で示した。実験食とD-ブシコースあるいはD-フルクトース飲料摂取後の血糖値の差を，対応のあるStudent's *t*-test（エクセル統計2008，社会情報サービス，東京）で比較した。統計的有意水準を $p < 0.05$ とした。

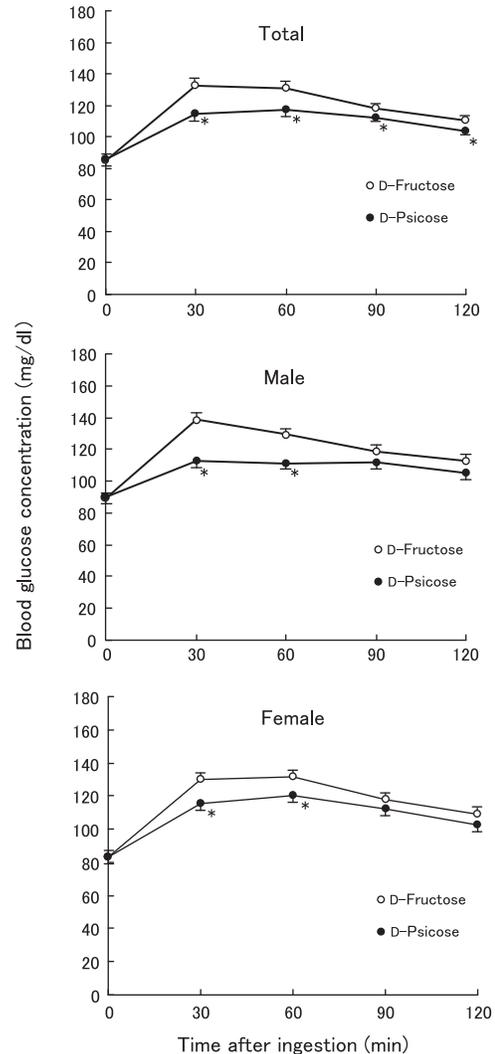


Fig. 1. Blood glucose concentrations after ingestion of test meals with D-psicose or D-fructose. The compositions of test meals were shown in the text. Values are means and SE for 15 males or 29 females. \* $p < 0.05$ , vs. D-fructose (Student's *t*-test).

全体および男女別の実験結果をFig. 1に示した。どちらの飲料を実験食とともに摂取した場合でも，摂取後30–60分で血糖値はピークとなり，その後120分にかけて減少した。全体および男女別のいずれについても，被験者の食後血糖値はD-フルクトース飲料を摂取した場合に比べて，D-ブシコース飲料を摂取した場合で低く，120分までその傾向が持続した。全体で表した場合，食後のどの採血ポイントでも有意な差が認められ，男女別で表した場合では，食後30および60分でそれらの差は有意であった。

本研究結果から，D-ブシコースの食後血糖値上昇抑制作用は，日常生活条件下における食事の場合でも有効であることが明らかになった。本研究では，実験食をあえて規定食としなかったが，それによってD-ブシコースを甘味料として日常生活で利用しても食後血糖値上昇抑

制効果を確認できた。また、本実験で使用した飲料は糖質濃度が2% (6 g/300 ml) であり、食事とともに摂取してもほとんど違和感のない甘さである。このレベルでD-プシコースの食後血糖値上昇抑制効果を確認できたことは実用性を考えた場合、非常に意味があることである。

本研究におけるD-プシコースの摂取量は、実験食の炭水化物量と比較して、男性で6.8%、女性で9.0%であった。Iidaら<sup>9)</sup>は、健康者にD-プシコースをマルトデキストリンとともに経口投与した実験で、マルトデキストリン投与量に対してD-プシコースを6.7-10.0%投与した場合、血漿グルコース濃度および血漿インスリン濃度上昇抑制効果が確認されたことを報告している。実験条件に違いがあるものの、本研究結果はIidaら<sup>9)</sup>の先行研究を支持するものである。

一方、D-プシコースがタンパク質、ペプチド、アミノ酸成分とアミノカルボニル反応によって機能性食材を作り出すことが報告されている。Sunら<sup>10,11)</sup>はD-プシコースにより糖化された卵白タンパク質が優れた加熱ゲル形成性、粘弾性、保水性を示すことを明らかにした。さらに、D-プシコース付加タンパク質が強いDPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) ラジカル消去能を有することも報告されている<sup>12)</sup>。しかし、アミノカルボニル反応によって生成するメラノイジンは難消化性であり、アミノカルボニル化したD-プシコースが代謝系で機能することは考えにくい。そのため、D-プシコースを食品素材として用いた場合、食品タンパク質の存在下に高温で加熱することにより、D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用が影響を受けることは十分予想される。D-プシコースがタンパク質とアミノカルボニル反応を起こすことによってこれらの食品化学的諸性質を持つことは重要であるが、D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用がアミノカルボニル反応によって抑制されることは、栄養生化学的にはデメリットが大きい。筆者らの先行研究でも、D-プシコースをショ糖の代替糖として菓子素材として添加し高温焼成した場合、D-プシコースの血糖値上昇作用が減弱することが示唆されている<sup>6)</sup>。D-プシコースは、加熱調理に用いることなく、本研究のように飲料に添加して食事と共に摂取させるのが最も有効な使用方法であると考えられる。

D-プシコースは安全性の高い糖であり、緩下作用発現の最大無作用量は男性で0.5 g/kg体重、女性で0.6 g/kg体重である<sup>13)</sup>。本研究で用いた6 gの摂取はまったく問題ない量である。今後、D-プシコースの血糖値上昇抑制作用に関して、ヒトを用いた規定食での実験や、D-プシコースをパンやうどんなどの加工食品の素材として用いた場合の実験などさまざまな応用実験が必要であり、またアミノカルボニル反応とD-プシコースの生体内代謝についても詳細を明らかにする必要がある。本研究は、D-プシコースを機能性食品として応用するための第一歩であると捉えて今後のさらなる研究を期待したい。

## 要 約

D-プシコースはD-フルクトースのC-3エピマーであり、自然界に非常に僅かしか存在しない希少糖の一つである。これまでに動物実験やヒト経口糖負荷試験において、D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用が報告されている。本研究では、日常生活条件下におけるD-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用について、健康な成人男性15名および成人女性29名を対象として検討した。実験食として予め各被験者に日常的な昼食(男性:636 kcal, 炭水化物量87.6 g, 女性:513 kcal, 炭水化物量18.9 g)を設定させた。実験当日、各被験者に実験食とともにD-プシコース6 gあるいはD-フルクトース6 gを市販無糖紅茶に添加した飲料を摂取させた。摂取前および摂取開始後30, 60, 90, 120分に小型血糖測定器で血糖値を測定した。全体および男女別のいずれの場合でも、被験者の食後血糖値はD-フルクトース飲料を摂取した場合に比べて、D-プシコース飲料を摂取した場合で有意に低値であった。日常的な食事とともにD-プシコース飲料を摂取した場合でも食後血糖値上昇抑制効果が確認されたことから、D-プシコースが2型糖尿病や肥満の予防・解消に有効な機能性食材である可能性が示唆された。

本研究は文部科学省、都市エリア産学官連携促進事業の一環として実施された。関係各位に感謝する。

## 文 献

- 1) Green, G. M. and Perlin, A. S.: *Can. J. Biochem.*, **46**, 765-770 (1968).
- 2) Granström, T. B., Takata, G., Tokuda, M., and Izumori, K.: *J. Biosci. Bioeng.*, **97**, 89-94 (2004).
- 3) Matsuo, T. and Izumori, K.: *J. Clin. Biochem. Nutr.*, **45**, 202-206 (2009).
- 4) 豊田行康, 森 茂彰, 梅村展子, 二村由里子, 井上博貴, 秦 毅司, 三輪一智, 村尾孝児, 西山 成, 徳田雅明: 薬理と治療, **38**, 261-269 (2010).
- 5) 早川 茂: 生物工学, **86**, 434-436 (2008).
- 6) 路 暢, 松尾達博: 日本栄養・食糧学会大会講演要旨集, p.167 (2010).
- 7) 厚生労働省: 国民栄養の現状, p.238-271, 第一出版 (2007).
- 8) 香川芳子: 五訂増補食品成分表, p.1-304, 女子栄養大学出版社 (2010).
- 9) Iida, T., Kishimoto, Y., Yoshikawa, Y., Hayashi, N., Okuma, K., Tohi, M., Yagi, K., Matsuo, T., and Izumori, K.: *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **54**, 511-14 (2008).
- 10) Sun, Y., Hayakawa, S., and Izumori, K.: *J. Food Sci.*, **69**, C427-C434 (2004).
- 11) Sun, Y., Hayakawa, S., and Izumori, K.: *J. Agric. Food Chem.*, **52**, 1293-1299 (2004).
- 12) Sun, Y., Hayakawa, S., Ogawa, M., and Izumori, K.: *Food Control.*, **18**, 220-227 (2006).
- 13) 飯田哲郎, 岸本由香, 吉川裕子, 大隈一裕, 八木加奈子, 松尾達博, 何森 健: 日本食品新素材研究会誌, **10**, 15-19 (2006).