D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用は加熱調理によって阻害される

誌名	香川大学農学部学術報告
ISSN	03685128
著者名	松尾,達博 路,暢
発行元	香川大学農学部
巻/号	64巻
掲載ページ	p. 31-34
発行年月	2012年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

香川大学農学部学術報告　第64巻　31～34，2012

D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用は加熱調理によって阻害される

松尾達博・路　　暢

Cooking Abolishes the Inhibitory Effects of D-Psicose on Glycemic Responses

Tatsuhiro Matsuo and Chang Lu

Abstract

The rare sugar D-psicose has inhibitory effects on postprandial glycemic responses. On the other hand, D-psicose is a reduced sugars which results from an amino-carbonyl reaction caused by heating with food proteins. We examined whether or not the inhibitory effects of D-psicose on the postprandial glycemic responses were obstructed by high temperature cooking. Ten healthy males were fed two kinds of cakes and coffees as experiment meals. Their plasma glucose and insulin concentrations before and after meal were measured. The experimental meals were cake with D-psicose and coffee with sucrose (A), and cake with sucrose and coffee with D-psicose (B). The nutrient composition of experimental meals (A) and (B) were the same. The plasma glucose and insulin levels were lower after intake of experiment meal (B) than experiment meal (A). These results suggest that high temperature cooking abolished the inhibitory effects of D-psicose on the postprandial glycemic responses as a result of amino-carbonyl reaction between D-psicose and food proteins.

Key Words : D-psicose, inhibitory effect on glycemic response, high temperature cooking, amino-carbonyl reaction, healthy subjects

緒　　言

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[1]．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，これまでに様々な生理作用が確認されている[2]．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るが，これは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[3]，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[4]．

一方，D-プシコースは還元糖であり，食品成分であるタンパク質，ペプチドおよびアミノ酸と共に加熱することによりアミノカルボニル反応（メイラード反応）を起こし，その反応性はD-グルコースやD-フルクトースよりも高いことが明らかにされている[5]．アミノカルボニル反応によるタンパク質への糖付加は，食品に多くの機能性を付与することが知られており[6-8]，D-プシコース付加タンパク質においても抗酸化性（in vitro），粘弾性，保水性の向上などが報告されている[5]．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．そこで本研究では，高温加熱により作成されたパウンドケーキを実験食に用いて，健常者にD-プシコース入りのパウンドケーキおよびコーヒーを摂取させ，高温加熱調理がD-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用を阻害するか否かについて検討した．

実　験　方　法

被験者は健康な成人男性10名（年齢22.8±0.7歳，身長174.5±1.2cm，体重70.5±3.5kg，体脂肪率17.8±2.1%）

表１　実験食組成（１人分）

	実験食A	実験食B
パウンドケーキ		
無塩バター（g）	25	25
小麦薄力粉（g）	25	25
全卵（g）	25	25
グラニュー糖（g）	20	25
D-プシコース（g）	5	0
インスタントコーヒー[2]		
コーヒー粉末（g）	2	2
グラニュー糖（g）	5	0
D-プシコース（g）	0	5
栄養素組成[1]		
タンパク質（g）	5.2	
脂質（g）	23.3	
炭水化物（g）[3]	50.1	
エネルギー（kcal）	412.8	

[1]食品成分表による。
[2]熱湯150mlにインスタントコーヒー粉末と糖を溶解した。
[3]D-プシコースを含む。

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）．

実験食についてはパウンドケーキとインスタントコーヒーとして，素材組成の違いにより実験食AおよびBとした（表１）．実験食AとBの違いは，D-プシコースをパウンドケーキの材料として用いるか（A），コーヒーの甘味料として用いるか（B）であり，いずれもショ糖（グラニュー糖）と置換することで，実験食AとBの栄養素組成を同一とした．実験食中のD-プシコースの添加量については，総炭水化物量の10％とした．実験食のタンパク質，脂質，炭水化物量およびエネルギー価の算出については，食品成分表[9]を用いた．

パウンドケーキの作成についてはレシピに従い，オーソドックスな小麦粉，ショ糖，全卵，バターを等重量用いる方法とした[10]．一度に４人分（20cmパウンド型１台）をオーブン（MRO-N55，日立製作所，東京）で焼成（180℃，50分）した．インスタントコーヒーについては，市販のコーヒー粉末２gとショ糖あるいはD-プシコース５gを熱湯150mlに溶解したものとした．

各被験者においては，実験日前日より食事をコントロールした．前日の夕食（19：00-19：30，840kcal）と当日の朝食（7：00-7：30，550kcal）を規定食とし，実験室で摂取させた．当日は12：00より実験を開始し，それまで各被験者には水以外の摂食を禁止し安静状態を保たせた．各被験者に実験食AあるいはBを，飲料と菓子が一口ずつ交互になるように摂取させ，摂取前および摂取後30，60，90，120分に指先を穿刺器（ナチュラレットEZデバイス，アークレイ株式会社，京都）で穿刺後，血糖用キャピラリー（VC-C110FH，テルモ株式会社，東京）２本分の全血約300μLを採取し，遠心分離（2500g×15 min）により血漿を得た．実験終了後，１週間以上の間隔をあけて，実験食AおよびBを入れ替えて同様に実験を実施した．血漿グルコースおよびインスリン濃度の測定には、市販検査キット（グルコースCⅡ―テストワコー，和光純薬工業株式会社，大阪；Mercodia Insulin ELISA，Mercodia Inc.，Sweden）用いた．

データを平均値と標準誤差で示した．実験食AとB摂取前後の血漿グルコースおよびインスリン濃度の差の検定については，２元配置反復測定分散分析（実験食×時間）および対応のあるStudent's *t*-test（エクセル統計2008，株式会社社会情報サービス，東京）で比較した．統計的有意水準を$p<0.05$とした．

結果および考察

血漿グルコース濃度について，分散分析により実験食要因および時間要因のいずれについても有意性が確認された．血漿グルコース濃度は実験食摂取後30分でピークとなり，その後120分にわたって減少した（表２）．実験食B摂取後の血漿グルコース濃度は，実験食A摂取後の濃度に比べて低値であり，摂取後60，90分で有意であっ

表２　実験食摂取後の血漿グルコースおよびインスリン濃度の経時変動

（分）	0	30	60	90	120
グルコース（mg/dL）					
実験食A	76.8 ± 2.7	114.6 ± 4.6	104.4 ± 2.7	88.2 ± 2.5	80.5 ± 5.6
実験食B	72.9 ± 1.7	109.2 ± 3.6	94.3 ± 3.9*	80.8 ± 2.0*	77.1 ± 2.1
インスリン（mU/L）					
実験食A	3.2 ± 1.0	17.3 ± 2.9	11.5 ± 1.2	9.3 ± 1.2	7.0 ± 0.8
実験食B	3.4 ± 1.0	14.6 ± 2.1	9.3 ± 0.9	7.1 ± 1.1	6.3 ± 0.7

データを平均値±標準誤差で示す（n=10）．
*$p<0.05$, vs. 実験食A（Two way ANOVA with repeated measures and Student's paired *t*-test）．

た（表２）．血漿インスリン濃度については，分散分析により時間要因のみに有意性が確認された．血漿インスリン濃度も血漿グルコース濃度と同様に30分でピークとなり，その後120分にわたって減少した（表２）．実験食B摂取後の血漿インスリン濃度は，実験食A摂取後の濃度に比べて低値で推移したが，有意差は見られなかった（表２）．実験食AとBの栄養素組成が同一であるにも関わらずこれらの差違が確認されたことから，D-プシコースを他の食品成分と共に高温加熱調理した場合（実験食A），D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用が阻害されることが示唆された．

これまでにD-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用については，動物実験[3, 11, 12]およびヒト経口糖負荷試験[13]で明らかにされてきた．このことからD-プシコースを，食後血糖値上昇を緩やかにする機能性食品素材として利用することが検討されてきた．また，D-プシコースが甘味（ショ糖の約70%）[5]を持った糖であることから，菓子類への添加を最初に考えることは妥当である．本研究は，D-プシコースの菓子食品への利用可能性を調査する過程で実施されたものである．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[14, 15]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-Dipheniyl-2-picryl-hydrazyl）ラジカル消去能を有することも報告されている[16]．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相殺されてしまうことは，栄養生化学的にはデメリットが大きい．

本研究での高温加熱調理（実験食A）によって添加したD-プシコースのうち，どの程度アミノカルボニル反応を起こしているのか，またその反応物がどの程度消化管から吸収されずに排泄されたかは不明である．しかし，本研究で見られた摂取後の血糖値上昇率を実験食Aと実験食Bとで比較すると，D-プシコースを高温加熱しない実験食Bは，高温加熱する実験食Aに比べて約14%低い（Δ血糖値曲線下面積：実験食A，2360 mg/dL·min；実験食B，2031 mg/dL·min）．これは，先行研究[13]で報告されているマルトデキストリン（75g）を用いた経口糖負荷試験におけるD-プシコース（7.5g）の血糖値上昇抑制率（約32%）と比較するとほぼ半減しており，このことからD-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用は高温加熱調理によって高率に影響を受けていると考えてよい．

これまでにも我々の研究室では，D-プシコースを菓子素材として用いた場合，加熱をあまり必要としない杏仁豆腐や生チョコレートなどでは，D-プシコースの食後血糖値上昇抑制作用が見られるものの，クッキー，ケーキ，かりんとうなど高温加熱が必要なものでは，それが確認されにくいという結果を報告してきた[17]．今後，加熱の程度とD-プシコースの機能性について詳細に検討すると共に，この現象のメカニズムがD-プシコースと食品タンパク質とのアミノカルボニル反応によるものであることを証明する必要がある．

本研究で見られた結果からD-プシコースを，食後血糖値上昇抑制作用を有する機能性食品素材として利用する際には注意が必要であることが明らかになった．D-プシコースは甘味料として，あまり加熱せずショ糖の代替糖としての利用を優先すべきであると思われる．

謝　　辞

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ました．関係各位に感謝いたします．

引　用　文　献

(1) Green, G.M. and Perlin, A.S.: O-Isopropylidene derivation of D-allulose (D-psicose) and D-erythrohexopyranose-2, 3-diulose. Can. J. Biochem., 46, 765-770 (1968).

(2) Granstrom, T.B., Takata, G., Tokuda, M. and Izumori, K.: Izumoring: A novel and complete strategy for bioproduction of rare sugar. J. Biosci. Bioeng., 97, 89-94 (2004).

(3) Matsuo, T. and Izumori, K.: D-Psicose inhibits intestinal α-glucosidase and suppresses the glycemic responses after ingestion of carbohydrates in rats. 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：糖尿病ラットへのグルコース負荷試験におけるD-プシコースの血糖低下作用．薬理と治療，38，261-269（2009）．

(5) 早川茂：希少糖D-プシコースの食品への利用．生物工学，86，434-436（2008）．

(6) Wijewickreme, A.N. and Kitts, D.D.: Oxidative reactions of model maillard reaction products and α-tocopherol in a flour-lipid mixture. J. Food Sci., 63, 466-471 (1998).

(7) Chevalier, F., Chobert, J.M., Genot, C. and Haertle, T.: Scavenging of free radicals, antimicrobial, and cytotoxic activities of the maillard reaction products of β-lactoglobulin glycated with several sugars. J. Agric. Food Chem., 49, 5031-5038 (2001).

(8) Ric, h M. and Foegeding, E.A.: Effects of sugars on whey protein isolate gelation. J. Agric. Food Chem., 48, 5046-5052 (2000).

(9) 香川芳子：五訂増補食品成分表2010本表編．女子栄養大学出版部，東京（2010）.

(10) 横溝春雄：お菓子とケーキ，美味しい生地の基本．成美堂出版，東京（2010）

(11) 松尾達博：ラットにおけるD-プシコースの血糖値上昇抑制作用．日本栄養・食糧学会誌，59，119-121（2006）.

(12) Matsuo, T. and Izumori, K.: Effects of dietary D-psicose on diurnal variation in plasma glucose and insulin concentrations in rats. Biosci. Biotechnol. Biochem., 70, 2081-2085 (2006).

(13) Iida, T., Kishimoto, Y., Yoshikawa, Y., Hayashi, N., Okuma, K., Tohi, M., Yagi, K., Matsuo, T. and Izumori, K.: Acute D-psicose administration decreases the glycemic responses to an oral maltodextrin tolerance test in normal adults. J. Nutr. Sci. Vitaminol., 54, 511-514 (2008).

(14) Sun, Y., Hayakawa, S. and Izumori, K.: Antioxidative activity and gelling rheological properties of dried egg white glycated with a rare keto-hexose through the maillard reaction. J. Food Sci., 69, C427-C434 (2006).

(15) Sun, Y., Hayakawa, S. and Izumori, K.: Modification of ovalbumin with a rare ketohexose through the maillard reaction: Effect on protein structure and gel properties. J. Agric. Food Chem., 52, 1293-1299 (2004).

(16) Sun, Y., Hayakawa, S., Ogawa, M. and Izumori, K.: Antioxidant properties of custard pudding dessert containing rare hexose, D-psicose. Food Control, 18, 220 - 227 (2006).

(17) 路暢，松尾達博：希少糖D-プシコースの食品への応用．第64回日本栄養・食糧学会大会講演要旨集．p.167．徳島（2010）.

（2011年10月31日受理）