

L-アラビノースの生理機能とその食品への応用

Physiological Functions and Food Application of L-Arabinose



山元 英樹

ユニチカ株式会社 生活健康事業部

〒611-0021
京都府宇治市宇治小桜 23

Hideki YAMAMOTO
UNITIKA LTD. Health & Amenity Business Dept.
23 Uji-kozakura, Uji-shi, Kyoto 611-0021 Japan

論文要旨: L-アラビノースは、天然由来の五炭糖の一つで、とうもろこし、甜菜などの植物の細胞壁のヘミセルロースの構成成分として豊富に存在する。食品中には、遊離の状態、味噌、醤油やウイスキーなどの発酵食品に少量ではあるが、含まれている。L-アラビノースは、糖質でありながら、小腸においてスクラーゼを阻害することで、砂糖摂取に伴う血糖値の上昇を抑制することが知られている。動物やヒトでの試験において、L-アラビノースを砂糖に対して2-3%添加することで、砂糖摂取後の血糖値上昇を約50%抑制することが報告されている。本稿では、L-アラビノースの生理機能について解説する。また、食品用途への応用として、食物繊維との配合による相乗効果について紹介する。

Abstract: L-Arabinose is one of the pentose in nature and is a common component of various plant polysaccharides of hemicellulose. Small amount occurs in the free state in several foods, especially fermented foods such as miso, soy sauce, and whiskey. The taste of L-arabinose is quite similar to sucrose and the sweetness is approximately half of sucrose. L-Arabinose has a specific inhibitory effect on intestinal sucrase activity and suppresses the increase of blood glucose level after sucrose ingestion. In animals and humans, it has been reported that the addition of 2-3% L-arabinose to sucrose reduces about 50% elevation of the blood glucose level after sucrose ingestion. In this paper, I will explain the physiology function of L-arabinose mainly and as the application to food use, the synergistic effect of simultaneous intakes of L-arabinose and dietary fiber.

Key words: L-arabinose, pentose, dietary fiber, blood glucose, sucrase

1 はじめに

L-アラビノースは、Izumoringの図に示されている五炭糖の一つで、Fig. 1に示した構造を有している。天然には、とうもろこし、甜菜などの植物の細胞壁のヘミセルロース中にアラビナン、アラビノキシラン、アラビノガラクトランなどの構成成分として豊富に存在することが古くから知られている¹⁾。天然に存在する糖の多くは、D型であるが、ラムノース、フコースなどと同様アラビノースは、天然には珍しいL型で、主としてフラノース型で存在する。

食品添加物のリストにも甘味料として記載されてお

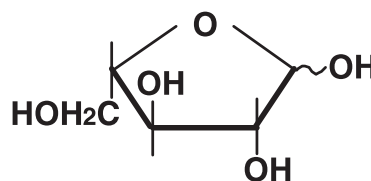


Fig. 1 Chemical structure of L-arabinose

り、良質の甘味を有するものの、製造にコストがかかることから、甘味料としては、非常に高価なものになり、食品にはほとんど利用されてこなかった。1990年代に入って、L-アラビノースが、砂糖の加水分解酵素であるスクラーゼを阻害することによって、砂糖の消化吸収を抑え、血糖値の上昇を抑制することが、実験動物^{2, 3)}やヒト^{4, 5)}で確認された。そして、2000年12月に、L-

連絡者：山元 英樹
E-mail：info@unitika.co.jp

アラビノースを関与成分とした血糖値上昇を抑制する特定保健用食品が認可されたことから、食品への応用が本格的にスタートしたと言える。

本稿では、L-アラビノースの特性、製造方法、スクラーゼ阻害作用、血糖値上昇抑制作用、さらに食品への応用展開として進められている食物繊維との併用の効果に関して解説する。

2 L-アラビノースの特性

L-アラビノースは、砂糖に近い良質の甘味を持ち、その甘味度は砂糖の約半分である⁶⁾。L-アラビノースは、天然には多糖の構成成分として大量に存在するが、針葉樹の赤味の部分である心材に、少量ではあるが遊離の状態が存在することが知られている⁶⁾。食品中では、味噌⁷⁾、醤油^{8, 9)}や酒¹⁰⁾などの発酵食品、インスタントコーヒー^{11, 12)}などに遊離の状態微量含まれていることが知られている。

また、L-アラビノースは、糖質でありながら、砂糖摂取に伴う血糖値の上昇を抑制することから、特定保健用食品における血糖値関連の関与成分の一つでもある。吸収抑制効果を持つ多くの素材が、苦味等を有するのに対して、L-アラビノースは、良質の甘味を有しながら吸収抑制の機能を持つということが大きな特長となっている。

3 製造方法

L-アラビノースは天然に多糖の構成成分として大量に存在することから、L-アラビノースが構成糖として含まれるアラビナン、アラビノキシラン、アラビノガラクトタンなどの天然のヘミセルロースを加水分解させる製造方法が古くから検討されてきた。とうもろこし、甜菜を原料として使用する澱粉工場や甜菜糖工場などの製造工程では、繊維質が副産物として発生する。この繊維質に含まれるヘミセルロースを酸加水分解してL-アラビノースを遊離させ、活性炭による脱色、イオン交換樹脂を用いた脱塩、クロマト分離などの精製工程を経る製造が行われている¹³⁾。

加水分解を酵素により行う方法としては、とうもろこしや甜菜などの原料からヘミセルロースをアルカリ抽出した後、酵素を作用させる製造方法がある^{14, 15)}。また、アルカリ抽出を省略した効率的な方法として、甜菜糖工場から産出される繊維質であるビートパルプを原料に、アラビナンをアルカリ抽出せずに、直接、食品加工用酵素を作用させて、L-アラビノースを遊離させる製造方法も開発され、実用化されている¹⁶⁾。

4 スクラーゼ阻害作用

1974年に、ラットの小腸スクラーゼの研究中にL-アラビノースのスクラーゼ阻害が見出された¹⁷⁾。その後、ラットやブタの小腸スクラーゼをL-アラビノースが、特異的に阻害することが確認され^{2, 3)}、L-アラビノースは、濃度依存的にスクラーゼを阻害し、その阻害様式が不拮抗(uncompetitive)阻害で、阻害定数(Ki)は2.0 mMであることが報告されている。

L-アラビノースの光学異性体であるD-アラビノースは、スクラーゼ阻害を示さないことから、L-アラビノースの立体構造がスクラーゼの阻害作用に関与していると考えられる。小腸粘膜には、スクラーゼの他に、マルターゼ、イソマルターゼ、ラクターゼ等の二糖類加水分解酵素も存在するが、L-アラビノースはこれらの酵素、さらには、アミラーゼに対しても阻害作用を示さないことから、L-アラビノースは小腸スクラーゼに対して選択的であると言える。

5 血糖値上昇抑制効果

L-アラビノースは、小腸において、 α -グルコシダーゼの一種で、砂糖の加水分解酵素であるスクラーゼを阻害し、砂糖の分解・吸収を抑制することから砂糖摂取に伴う血糖値の上昇を抑制する。

L-アラビノースの砂糖摂取に伴う血糖値上昇を抑制する効果は、実験動物やヒトで確認され、L-アラビノースを関与成分として3%含有するテーブルシュガーが、2000年12月に、血糖値分野の特定保健用食品として認可されている。

動物実験では、ラットを用いた糖負荷試験においてL-アラビノースの血糖値上昇抑制効果が確認されている^{1, 3)}。例えば、ラットに体重1kg当たり、砂糖2gとL-アラビノース60mg(砂糖の3%)を投与して、投与後の血糖値の経時変化を見た場合、コントロールに較べて最大血糖値(投与30分後)を有意に抑制し、その上昇抑制率は約50%であった。

ヒトにおける試験結果もいくつも報告されている。40歳以上の健常男性40人に砂糖30gを含むゼリーを摂取させた試験⁴⁾では、摂取後の血糖値上昇はL-アラビノースの添加濃度に依存して抑制されており、砂糖に対して3%及び4%添加の場合の最大血糖値の上昇抑制率は、それぞれ42%、48%と報告されている。摂取から60分間の血糖値曲線下面積(AUC)も、3%及び4%添加で、それぞれ35%、44%の抑制率を示している。また、同様の砂糖30gを含むゼリーを用いて実施された2型糖尿病患者10例を対象とした試験でも、L-アラビノース

を砂糖に対して3%添加した場合、コントロールに対して、摂取後の最大血糖値を有意に抑制することが確認されている。

健常人15人にL-アラビノースを3%含有するテーブルシュガー6gを一日午前及び午後の2回、紅茶と共に2週間摂取させた試験⁵⁾では、コントロールとの比較で、午前、午後とも最大血糖値を有意に抑制し、その上昇抑制率は、それぞれ44%、40%で、さらに、摂取から60分間のAUCは、コントロールに比べ、午前で約31%、午後で約40%であったと報告されている。

6 安全性

L-アラビノースは、多くの植物に多糖として存在している天然由来の糖質である。また、発酵食品などには、微量ではあるものの遊離の状態に含まれており、食経験豊富な安全性の高い糖質といえる。

また、砂糖にL-アラビノースを3%含有させたテーブルシュガーが、2000年12月に血糖値関連の特定保健用食品として認可され、L-アラビノースは、その関与成分となっている。この審査過程では、機能・効果とともに安全性についても十分な議論がなされたと考えられる。ヒトにおける最大無影響量は、L-アラビノース単独で15g以上、L-アラビノースを3%添加した砂糖では150g以上と報告されている¹⁸⁾。L-アラビノースは砂糖に対して2~3%で効果があるため、L-アラビノース単独での15gは、砂糖500~750gに相当し、実用上、安全性は問題ないと考えられる。

実際に、L-アラビノースを3%添加した砂糖を継続摂取させた試験の報告もある。健常人15例を対象に6gを1日2回、2週間連続して摂取させた試験⁵⁾、健常女子学生89例を対象に10gを1日2回、2週間連続して摂取した試験¹⁹⁾、いずれの試験においても摂取期間中の消化器症状等の副作用は認められなかったと報告されている。さらに、健常人男女8例が、L-アラビノースを3%添加した砂糖を1日20g、3週間連続して摂取した場合でも、血液検査値、血清生化学検査値及び尿検査値に異常は認められず、消化器症状も見られなかったと報告されている¹⁸⁾。

7 食物繊維との併用効果

7・1 食物繊維との併用による血糖値上昇抑制効果

L-アラビノースが、砂糖の加水分解酵素であるスクラーゼを特異的に阻害し、砂糖摂取に伴う血糖値の上昇を抑制することが確認されたことで、甘味料としてではなく機能性の糖質と考えることができるようになり、食品への応用検討が活発に進められるようになった。

L-アラビノースは、スクラーゼ特異的であるため、砂糖に対して、その吸収抑制率が40~50%と強いが、他の糖質には作用しない。これは、L-アラビノースの長所でもあり、短所でもある。また、吸収抑制効果を持つ多くの素材が、苦味等を持つものに対して、L-アラビノースは良質の甘味を持つという特長を有している。

L-アラビノースの持つ良質の甘味と砂糖に対して強い効果という長所を十分に生かしつつ、砂糖以外の糖質にも効果の対象を広げる方法として、食物繊維との併用効果が検討され、ヒト試験が実施されている。

ビートパルプから酵素分解により得られたL-アラビノース300mgと、食物繊維として難消化性デキストリン4gを添加した飲料を、昼食時にきつねうどんと一緒に摂取し、食後血糖値の推移を見たヒト摂取試験²⁰⁾では、血糖値上昇抑制効果の強化、AUCの低減効果が確認された。

この試験は、きつねうどんと一緒にお茶を飲むが、このお茶に、難消化性デキストリン5gを添加した場合、L-アラビノース300mgと難消化性デキストリン4gを添加した場合について、食後の血糖値を測定した。なお、お茶に何も添加しない場合をコントロールとしている。Fig. 2に血糖値の推移を、Fig. 3にはその際のAUCの比較を示した。L-アラビノースと難消化性デキストリンの配合では、難消化性デキストリン単独より、1.7倍の最大血糖値の抑制効果が見られている。AUCも、難消化性デキストリン単独より、2.5倍の抑制、コントロールに対しては、45%抑制と約半分になっている。これらの結果は、L-アラビノースと食物繊維を配合することによって、血糖値上昇抑制効果及びAUCの低減効果が相乗的に強化されることが示され、食品のGlycemic Index (GI値)を低減する効果も示唆されたと考えられる。

7・2 L-アラビノースと食物繊維との併用によるGI値低減効果

筆者らは、L-アラビノースと食物繊維との併用について、日本Glycemic Index研究会の「GI研究のための統一プロトコル」に準拠したGI値低減効果の検討を実施した²¹⁾。

この試験は、対照飲料(プラセボ)を用いた二重盲検法によるクロスオーバー試験で、通常の弁当の約半分量の糖質50gに調製したFig. 4の和風弁当を検査食とし、広島大学大学院 医歯薬学総合研究科 臨床評価・予防医学プロジェクト研究センターで行った。健康な男性7名、女性9名の計16名に対して、和風弁当摂取時に一緒に、試験飲料としてL-アラビノース300mgと難消化性デキストリン4gを添加した缶入りウーロン茶、も

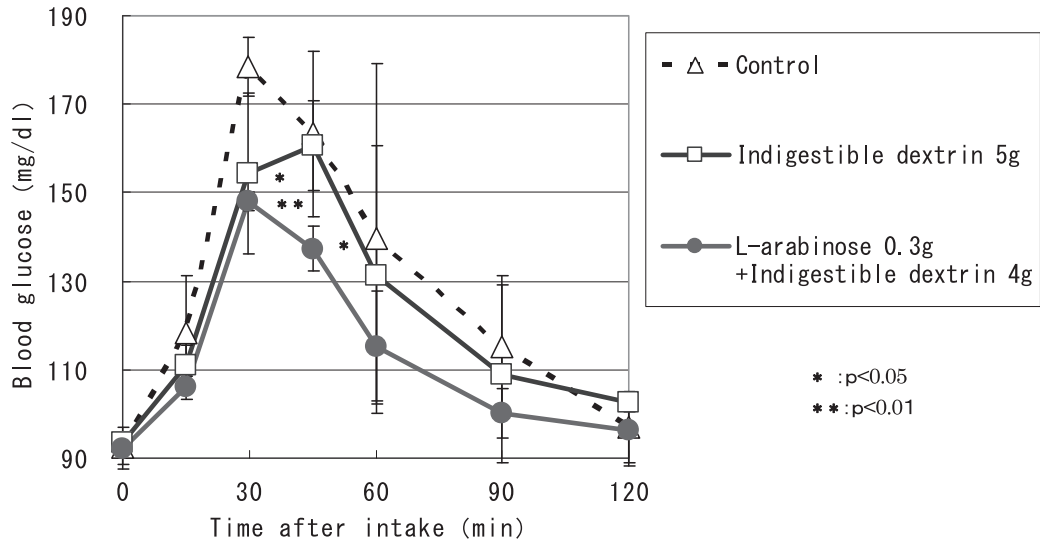


Fig. 2 Effect of L-arabinose on postprandial blood glucose level after intake of Japanese wheat noodle topped with a fried tofu. Fasted healthy volunteers took cups of tea containing each functional ingredient and Japanese wheat noodle topped with a fried tofu.

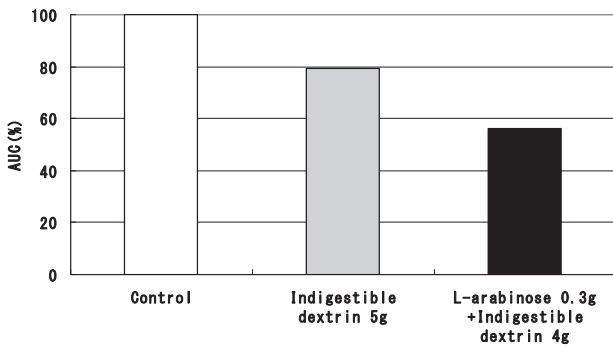


Fig. 3 Effect of L-arabinose on the area under blood glucose curve (AUC) after intake of Japanese wheat noodle topped with a fried tofu. Fasted healthy volunteers took cup of tea containing each functional ingredient with Japanese wheat noodle topped with a fried tofu.



Fig. 4 Japanese style boxed lunch (the test meal). Carbohydrate content is 50 g, about half a normal boxed lunch.

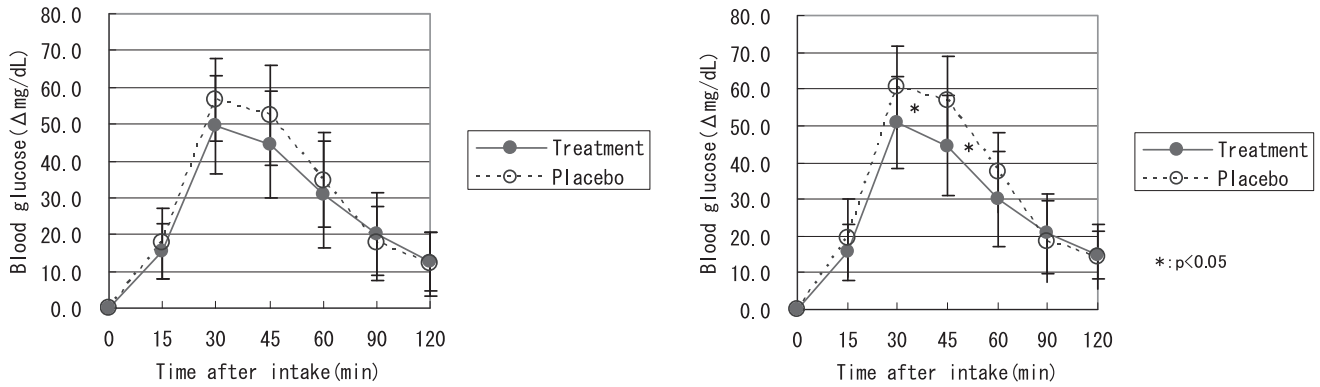
しくは、対照飲料としてL-アラビノース、難消化性デキストリンを添加していない同様のウーロン茶を飲用し、血糖値を測定した。白米摂取時のAUCを基準として、「GI研究のための統一プロトコール」に準拠して、GI値を求めた。

Fig. 5-1)に被験者全員 (n=16), Fig. 5-2)に女性被験者 (n=9) の、空腹時からの血糖値の推移を示した。GI値は、対照と比較して、Fig. 6-1)に被験者全員, Fig. 6-2)に女性被験者の結果を示した。

L-アラビノースと難消化性デキストリンを含有する試験飲料であるウーロン茶を摂取した場合、血糖値の上昇が抑制され、GI値が低下する傾向が示された。試験飲料摂取によるGI値の低下率は9.1%であった。

全被験者の血糖値上昇の推移では、摂取後30分、45分のp値は、それぞれ、0.069, 0.075であった。また、GI値でのp値は、0.068であった。血糖値上昇の推移及びGI値とも、試験飲料と対照飲料間で有意差は認められなかったが、これらのp値が0.1未満であったことから、統計学的には十分ではないものの、一定の血糖値上昇抑制効果及びGI値低減効果は認められた。

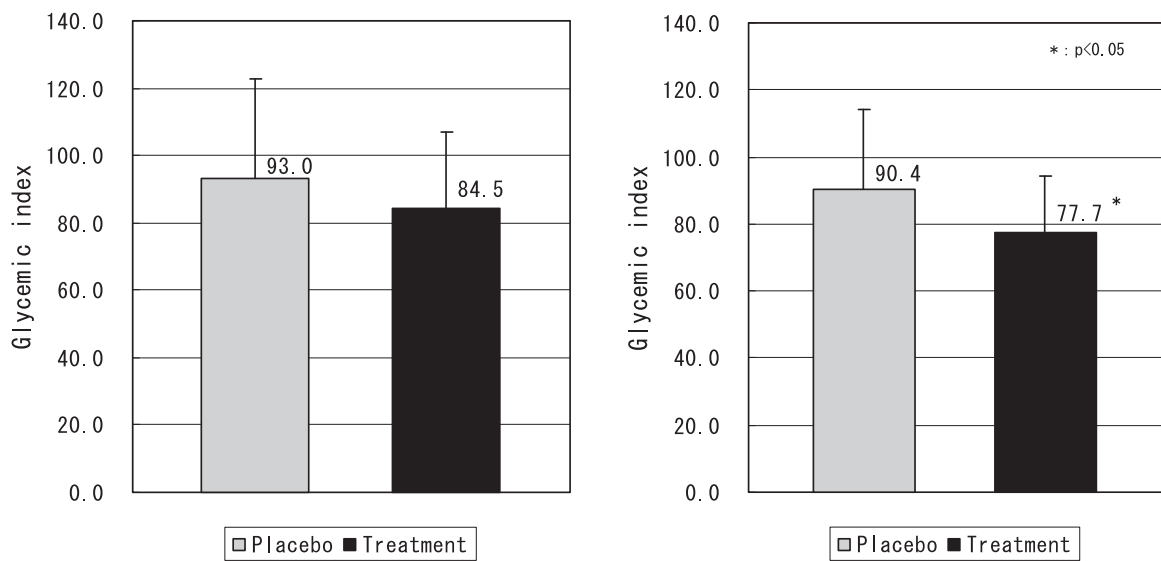
さらに、男女別に同様の解析をしたところ、女性被験者の血糖値上昇の推移では、摂取後30分、45分のp値は、それぞれ、0.026, 0.034で、有意差が認められた。更に、GI値でも、p値が、0.021となり有意差が認められた。女性被験者では、L-アラビノースと難消化性デキストリンを含有するウーロン茶を一緒に摂取すること



1) all volunteers

2) female volunteers

Fig. 5 Elevation of blood glucose level after intake of the boxed lunch.



1) all volunteers

2) female volunteers

Fig. 6 Glycemic index of the boxed lunch.

で、血糖値上昇抑制効果及び一緒に摂取する弁当のGI値を有意に低下する効果が示唆された。

8 食品分野における今後の展望

糖尿病及び肥満は、我国の大きな問題の1つになっている。厚生労働省の平成22年国民健康・栄養調査では、肥満者（BMIが25以上）の割合が、成人男性で30.4%、成人女性で21.1%であり、糖尿病が強く疑われるヒトの割合は、男性17.4%、女性9.6%であった。平成14年の糖尿病実態調査結果では、糖尿病が強く疑われるヒトの割合が、男性13.7%、女性7.0%であり、この8年間で大きく増加しており、今後もこの増加傾向は変わらないと考えられる。男女合わせて、ほぼ4人に1人が肥満で、男性のほぼ5人に1人、女性のほぼ10人

に1人が、糖尿病が強く疑われるという現況は、既に糖尿病が国民病といえる段階にあると言っても過言ではない。肥満の解消には、運動やカロリーコントロールが効果的であるが、運動や食事の制限は、継続がなかなか難しい。そこで、通常の食事をしながらも吸収を抑制する食品が提案されている。多くのダイエット、吸収阻害素材が苦味等を有するのに対して、L-アラビノースは砂糖に近い良質の甘味を有することからも、味覚を重視した食品には好適な素材であると考えられる。

また、L-アラビノースが作用する砂糖は、我々の味覚に最も適した甘味料であり、また、エネルギー源としても重要な糖質である。しかし、先進国では、食生活が豊かになるとともに、過剰摂取による弊害として、肥満や糖尿病などの生活習慣病の誘因になることが指摘さ

れ、アスパラテームやスクラロースなどのノンカロリーの高甘味度甘味料などの代替甘味料が開発されてきた。

しかし、砂糖の国内での需要は、農畜産業振興機構の砂糖の統計資料を見ると、平成3年度の砂糖総需要量が261万トン、一人当りの年間消費量が21kgで、平成23年度は、総需要量が204万トン、一人当りの年間消費量も16kgと減少傾向となっている。しかし、平成23年度の一人当りの年間砂糖消費量16kgは、一人一日当りに換算すると43.8gにもなる。これは、総人口を総需要量で割っていることから、0歳から最高齢者までの平均である。

まだ、これほどの砂糖が使われているのは、砂糖が優れた甘味を持つことに加えて、でんぷんの老化防止、腐敗防止のため水分活性を低下させるといった機能・物性を有することから、砂糖が必須である食品も多くあり、砂糖を代替できない食品・用途も多くあるためと考えられる。これまでの高甘味度甘味料、ダイエット甘味料などが、砂糖に置き換えることを目指してきたのに対して、L-アラビノースは、良質な甘味を持つ砂糖を用いながら、砂糖の吸収を抑制し、砂糖摂取に伴う血糖値の上昇及び摂取カロリーを抑制するという新たなコンセプトを提案できる素材と言える。

一方で、多くの消費者は、砂糖ゼロ、カットといった食品が多く発売されていることから、自分は砂糖をあまり摂取していないと考えているように思われる。確かに、国民健康・栄養調査を見ると、平成23年度の食品群別摂取量では、砂糖・甘味料類として、1人1日当り、6.6gである。この全てが砂糖と考えても、砂糖の年間消費量から計算される一人一日当りの消費量43.8gとは、あまりにも大きな差がある。この差は、多くの砂糖が、加工食品等に使われていることにあると考えられる。特に、菓子類、和風の惣菜等には多くの砂糖が使われており、我々は、知らず知らずのうちに砂糖を摂取していると推察する。このような実情の認識が広がれば、L-アラビノースの利用は、さらに進むことになると考えられる。

合わせて、作用機序から明らかなように砂糖にしか効

果がないL-アラビノースを、食物繊維と配合することで、糖質全般に相乗的な効果を持たせるといった食品用途への応用・工夫を進めることが、L-アラビノースの利用の拡大、認知度の向上には必要と考えている。

9 おわりに

L-アラビノースは、一般の消費者に広く認知されていると言える状況にはないが、健康食品を中心に利用が広まりつつある。今後、さらに食品への応用研究が進み、糖尿病が国民病ともいえる段階にきている我国において、L-アラビノースの認知度の向上とそのコンセプトの広がりとともに一般食品にも広く利用されるようになることを期待している。

文献

- 1) 山元英樹, 応用糖質科学, **51** (2), 195 (2004).
- 2) K. Seri *et al.*, *Metabolism*, **45**, 1368 (1996).
- 3) 讚井和子, 世利謙二, 井上修二, 日本栄養・食糧学会誌, **50** (2), 133 (1997).
- 4) 井上修二, 讚井和子, 世利謙二, 日本栄養・食糧学会誌, **53** (6), 243 (2000).
- 5) 讚井和子, 田中裕子, 世利謙二, 井上修二, 健康・栄養食品研究, **4** (1), 13 (2001).
- 6) 檜作進, 応用糖質科学, **46** (2), 159-165 (1999).
- 7) 本藤智ほか, 日本食品工業学会誌, **26** (11), 469 (1979).
- 8) 西野隆三ほか, 農芸化学会誌, **48** (5), 291 (1974).
- 9) 岡本武ほか, 調味科学, **18** (8), 342 (1971).
- 10) 佐藤乾ほか, 木材学会誌, **38** (6), 608 (1992).
- 11) J. Prodolliet *et al.*, *J. AOAC Int.*, **78**, 749 (1995).
- 12) Qin Hu *et al.*, *Analyst*, **126**, 298 (2001).
- 13) 松作進, 安部淳一, 大崎繁満, 末武周一, 特開平11-313700 (1999).
- 14) 樋渡和寿, 石川弘, 笹塚忠, 柴田和彦, 特開平9-299093 (1997).
- 15) 日下部功ほか, 農芸化学会誌, **49** (6), 295 (1975).
- 16) 田中裕美, 吉川源一, 向井克之, 西川善弘, 森本明美, 特開2001-286294 (2001).
- 17) G. Semenza *et al.*, *Eur. J. Biochem.*, **41**, 149 (1974).
- 18) 世利謙二, 月刊フードケミカル, **17** (12), 19 (2001).
- 19) 大木賢一, 根岸恵則, 健康・栄養食品研究, **2**(4), 1 (1999).
- 20) 山元英樹, 鈍宝宗彦, 科学と工業, **80** (6), 274 (2006).
- 21) 山元英樹, 食品工業, **55** (20), 50 (2012).