

총 설

신규 기능성당 L-아라비노스: 생리활성, 이용, 생산방법

윤향식¹ · 김정호² · 김태집 · 금인경 · 한남수*

¹충청북도농업기술원 식품개발팀, ²서원대학교 식품영양학과,
충북대학교 식품공학과 생물건강산업개발연구센터(RCBH)

Novel Functional Sugar L-Arabinose: Its Functionality, Uses and Production Methods

Yoon, Hyang-Sik¹, Kim, Chung Ho², Kim, Tae-Jip, Keum, Inkyung and Han, Nam Soo*

¹Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services

²Department of Food Nutrition, Seowon University

Department of Food Science and Technology, Research Center for Bioresource and Health (RCBH),
Chungbuk National University

L-Arabinose inhibits intestinal sucrose in an uncompetitive manner and, consequently, inhibits the absorption of sucrose from the small intestine. The addition of 3~5% L-arabinose to sucrose causes about a 60% reduction in the digestion of sucrose in the small intestine. In addition, it reduces the increase of the levels of blood sugar, insulin, triglycerides, and cholesterol caused by the ingestion of sucrose. The taste of L-arabinose is quite similar to that of sucrose, with approximately 50% the sweetness of sucrose. Naturally occurring arabinose is an L-form and a noncaloric sugar that is not metabolized in animals. L-Arabinose is a common component of plant cell walls and is widely distributed in the plant kingdom. It is the main component of cereal hemicellulose, such as corn, wheat, and rice, pectic substances of beet, apple pulps, and some plant gums. L-Arabinose can be produced by either the acid hydrolysis or the enzymatic hydrolysis of some plant gums, corn fiber, and beet pulps. This novel sugar has a potential to be used as a food additive for improving obesity and maintaining good health.

Key words: L-arabinose, obesity, cholesterol, functional sugar, sucrose

서 론

L-아라비노스가 비만, 당뇨병과 고지혈증 등의 성인병 예방에 효력이 있는 것으로 알려지면서 이에 관한 관심이 급증하고 있다⁽¹⁾. L-아라비노스는 소장에서 sucrose(sucrose- α -glucosidase)를 저해하여 설탕이 분해되지 않고 배출되어 과잉 설탕섭취로부터 초래하는 비만, 당뇨병의 부작용을 예방할 수 있다. 또한 L-아라비노스를 정기적으로 섭취한 쥐에서 혈중 중성지방의 농도가 현격히 낮아지는 결과가 보고되면서 고지혈증 예방효과도 기대되어 진다. 기존의 다이어트 식품소재는 팽만감을 주면서 칼로리가 낮은 화합물이거나 설탕대용으로 이용되는 저칼로리 감미료가 대부분이고 식욕을 감퇴시키는 약제화합물도 이용되고 있다. 당뇨병 환자용 식

품은 총섭취 칼로리를 제한한 식품이 이용되는데, 이 경우 일반적으로 기호도가 낮아 환자가 장기적인 섭취를 기피하고 혈당치 상승을 억제하는 주사제와 약제를 함께 사용해야 하는 문제점이 있다. L-아라비노스는 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 기능성 당 중의 하나로 여겨진다. 설탕은 여러 가지 미각에 가장 적합한 감미료이고 에너지원으로도 중요한 당질이다. 하지만 식생활이 풍요로워지면서 설탕의 소비가 증대하고 선진국에서는 과잉섭취에 의한 폐해가 지적되고 있다. 설탕은 소장의 sucrase에 의해서 포도당과 과당으로 분해되어 흡수되므로 설탕의 과다섭취는 혈당치의 상승과 혈중 인슐린의 농도를 상승시키며 비만을 초래하게 된다. L-아라비노스의 맛은 설탕에 가깝고 소량의 첨가로는 미질의 변화를 감지하기 어렵다. 따라서, 설탕이 주성분으로 이용되는 식품군에 L-아라비노스를 소량 첨가하면 종래의 감미성을 변화시키지 않고 건강에 좋은 제품을 제공할 수 있다. 커피, 주스 등의 각종 드링크, 아이스크림, 사베트 등의 얼음 과자와 요쿠르트등의 유제품, 생과자, 초코렛, 케익, 카스테라 등에 폭넓게 적용될 수 있다. L-아라비노스는 D-xylose와 더불어 식물체 구성 다당류인 헤미셀룰로스의 구성당으로 자연계에

*Corresponding author : Nam Soo Han, Department of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Gaesindong, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea
Tel: 82-43-261-2567
Fax: 82-43-271-4412
E-mail: namssoo@chungbuk.ac.kr

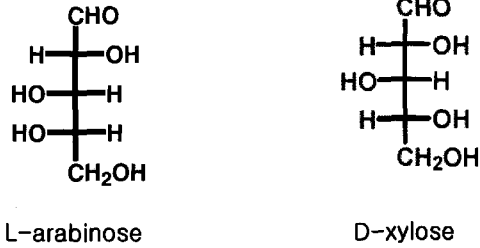


Fig. 1. Chemical structure of L-arabinose and D-xylose.

방대한 양이 존재하는데 식물체 조직으로부터 헤미셀룰로스를 추출 분리하여 산가수분해 또는 효소가수분해 방법으로 생산한다(Fig. 1). 본 총설은 지금까지 보고된 L-아라비노스의 생리활성, 이용, 생산방법에 대해 소개하고자 기술하였다.

L-아라비노스의 성인병 예방 효과

칼로리 과다 흡수 방지: 1974년에 Semenza 등⁽²⁾은 쥐 소장의 sucrase 작용 기작을 연구하던 중에 이 효소가 L-아라비노스와 D-자일로스에 의해 저해되는 것을 발견하였다. 그 후 Seri 등^(3,4)도 L-아라비노스와 D-자일로스가 쥐와 돼지 소장의 sucrase를 특이적으로 강하게 저해한다는 것을 확인하였다. 반면 비천연형인 D-아라비노스와 L-자일로스에서는 저해현상이 확인되지 않아 식물자원을 구성하는 천연형만 sucrase를 저해하는 것은 흥미로운 사실이다. 하루 저녁 절식시킨 쥐에 설탕(2.5 g/kg)을 주면 15~30분 후에 혈당치가 현저히 상승하는 반면, L-아라비노스(50~250 mg/kg)를 함께 주면 혈당치와 혈중 인슐린 농도의 상승은 현저히 억제되었고 이 억제효과는 농도 의존적이었다(Fig. 2)^(3,4). 분해되지 않은 설탕은 소장엔 잔존 후 맹장에 까지 이르는데, 쥐에게 ¹⁴C-설탕 투여 2시간 후 대조구에서는 위에서 잔존율이 1.9%, 소장에서는 7.7%의 ¹⁴C이 잔존한 반면, L-아라비노스(50 mg/kg)를 함께 투여한 실험구에서는 소장에 28.7%의 ¹⁴C이 잔존하였고 맹장에서도 ¹⁴C의 방사능이 증가하는 것이 관찰되었으며 잔존량은 설탕 섭취 6시간에 가장 현저하였다. Inoue 등⁽⁵⁾은 건강한 사람과 제2형 당뇨병환자를 대상으로 혈중당 농도 반응(glycemic response)에 미치는 L-아라비노스의 효과를 조사하였다. 8명의 지원자에게 2 g L-아라비노스를 첨가한 것과 첨가하지 않은 50 g의 설탕을 투여한 결과, 혈장 포도당과 혈중 인슐린의 증가가 L-아라비노스와 설탕을 모두 먹은 사람들에게서 현저하게 낮았다. L-아라비노스의 함량의존도를 평가하고자 40세 이상의 건강한 40명의 지원자에게 30 g의 설탕에 L-아라비노스를 0, 2, 3, 4%(w/w)를 첨가하여 투여하였을 때, L-아라비노스 3%와 4% 시험구에서 섭취 30분 후에 일어나는 혈장 포도당 증가가 유의적으로 억제되는 것을 관찰하였다. 또한 제2형 당뇨병 환자에게서도 L-아라비노스는 설탕 섭취 후 혈장 포도당의 증가를 억제시킴을 알 수 있었다. 본 실험 결과 L-아라비노스는 장내 sucrase 활성을 저해하여 정상인과 당뇨병 환자 모두에게 설탕으로 유도된 혈당 상승현상(sucrose induced hyperglycemia)를 완화시킨다는 것을 나타낸다⁽⁶⁾. 섭취된 설탕은 소장 점막의 sucrase의 작용에 의해서 포도당과 과당으로 분해되어 흡수되지만 L-아라비노스가 존재하면 소장에서의 분해가 방해되어 그 결과 흡수되지 않

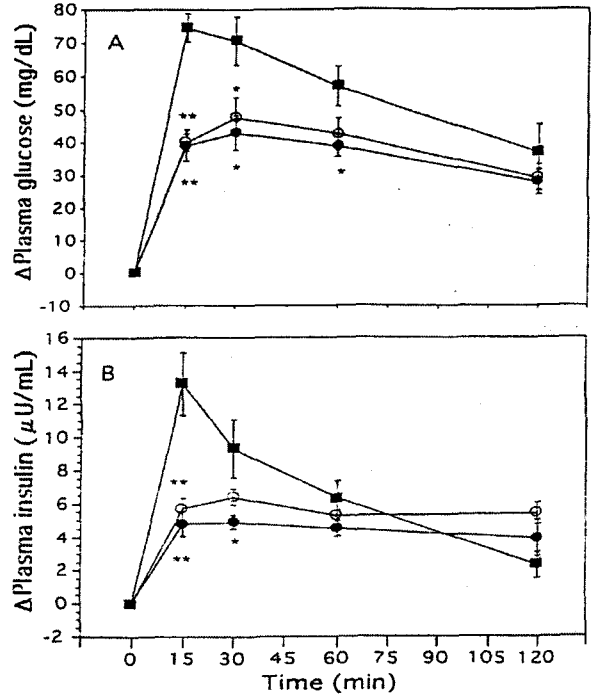


Fig. 2. Effect of L-arabinose on plasma glucose (A) and insulin (B) after sucrose loading in rats.

Overnight-fasted Wistar were given 2.5 g/kg sucrose (■), and blood samples were taken at 0, 15, 30, 60, and 120 minutes after the loading to determine plasma glucose and insulin. L-Arabinose (○, 50 mg/kg; ●, 100 mg/kg) was administered simultaneously with sucrose⁽³⁾.

고 대장에 도달한다. 소장에서 분해가 안된 설탕이 대장에서 장내세균의 작용에 의해 단쇄 지방산으로 전환되든지 그대로 배설되는 것으로 보인다.

혈중 콜레스테롤, 중성지방 저하 효과: L-아라비노스 섭취가 지방합성(lipogenesis)에 미치는 영향을 조사하기 위해 아라비노스(0~1 g/100 g)를 포함하는 식이(diet)(0~30 g/100 g)를 10일 동안 쥐에게 섭취시켰을 때, 간에서의 지방합성(lipogenic) 효소활성과 triacylglycerol 농도가 설탕 섭취에 의해 현저히 증가하고 아라비노스 섭취에 의해 억제됨을 관찰하였다(Fig. 3)⁽⁶⁾.

L-아라비노스 섭취는 지방조직(adipose tissue)의 양을 감소시키고 혈중 인슐린과 triacylglycerol 농도를 현저하게 감소시켰다. 즉, L-아라비노스가 설탕의 이용도를 낮추어 결과적으로 지방합성 반응을 감소시키는 것으로 보인다. 건강한 사람과 제2형 당뇨병환자를 대상으로 glycemic response에 관한 L-아라비노스의 효과를 조사한 결과, L-아라비노스와 설탕을 함께 투여한 시험구에서 포도당과 혈중 인슐린의 증가가 현저하게 낮았다⁽⁵⁾.

쥐에게 옥수수 외피와⁽⁷⁾ 소맥 밀기울의 수용성 헤미셀룰로스를 투여하였을 때 혈중 콜레스테롤의 상승억제 작용이 확인되고 있다^(8,9). 옥수수 외피와 소맥 밀기울의 헤미셀룰로스에는 L-아라비노스가 풍부하게 함유하고 있어 위 결과에 L-아라비노스가 직접 관여하고 있을 가능성이 높다. 이를 입증하는 결과로, 밀기울의 헤미셀룰로스(식물섬유)가 쥐의 소화관을 통과한 후 분변 중의 헤미셀룰로스의 L-아라비노스와

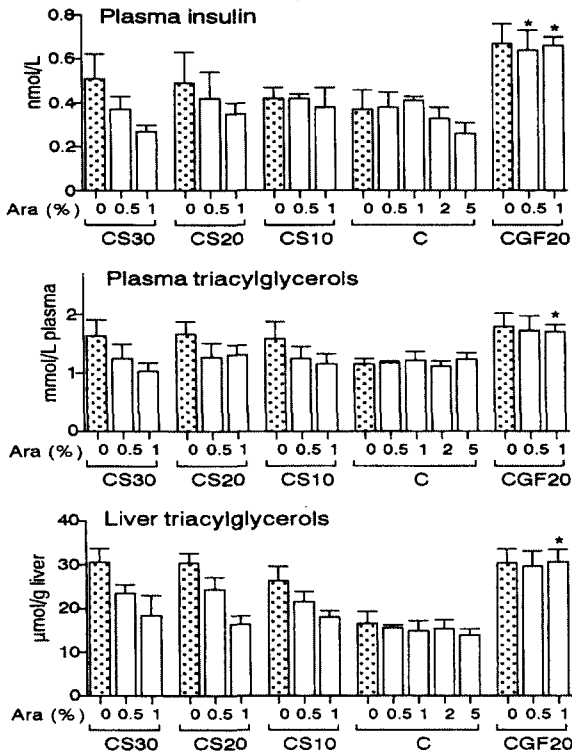


Fig. 3. Effects of L-arabinose feeding on concentrations of plasma insulin and of plasma and liver triacylglycerols in rats fed CS30, CS20, CS10, C or CGF20 diet.

CS10, CS20 and CS30 diets contained 10, 20 and 30 % (by weight) sucrose, respectively. C diet contained pregelatinized cornstarch. CGF20 diet contained 10% glucose and 10% fructose. Values are means \pm SD, $n=4$. Two-way ANOVA was followed by inspection of data in each figure for C, CS10, CS20 and CS30 diets containing 0~1 g L-arabinose/100g. ANOVA ($P<0.05$): Suc, sucrose main effect; Ara, Suc \times Ara, interactions. Plasma insulin: Ara, Suc \times Ara; plasma triacylglycerols: Ara; liver triacylglycerols: Suc, Ara, Suc \times Ara. In C diets containing 0~5 g L-arabinose/100 g, not different from no arabinose by t test. In CGF20 diets containing 0~1 g L-arabinose/100 g, * different from the CS20 diet containing the same amount of L-arabinose ($P<0.05$); not different from no arabinose by t test⁽⁶⁾.

D-자일로스 함량이 감소한 사실이다⁽¹⁰⁾. 지금까지 식이섬유의 기능으로써 혈당 상승억제, 혈중 중성지방과 콜레스테롤 농도 감소, 장내 비피더스균의 증식 효과 등이 알려져 왔으나 구체적인 작용기작이 규명되지 못하였다. 그러나 위에서 소개한 L-아라비노스의 기능이 식이섬유와 공통되는 점과 L-아라비노스가 헤미셀룰로스의 가지에 분포하여 약산처리에도 쉽게 해리되는 특성을 고려하면, 식이섬유의 기능은 위장을 통과하면서 해리된 L-아라비노스 잔기의 역할에 크게 기인할 가능성이 높다.

Sucrase 저해 메커니즘

L-아라비노스와 D-자일로스의 sucrase 저해는 농도의존적 이고 50 mM의 농도에서 각각 56%와 52%의 저해를 나타낸다. 양자의 저해 형식은 uncompetitive 방식이고 L-아라비노스의 저해상수(K_i)는 2.0 mM이다^(3,4). 한편 설탕에 대한 K_m 은 쥐와 토끼에서 8~10 mM, 쥐 소장의 효소에서는 23.6 mM의

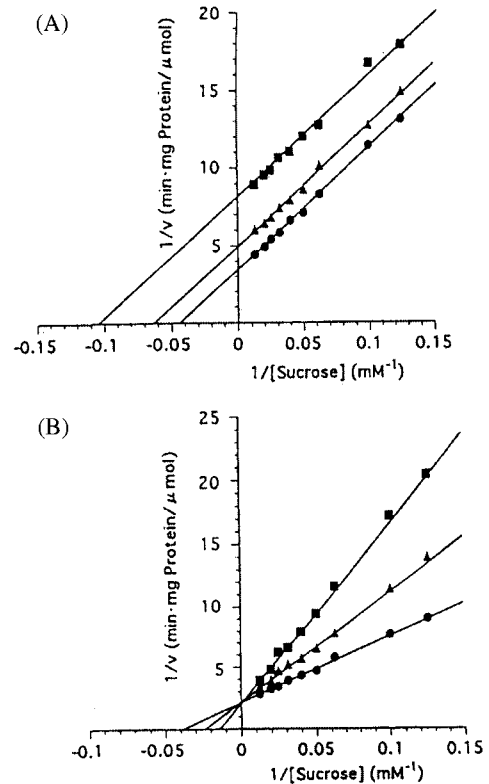


Fig. 4. Kinetic analysis of sucrase inhibition by L-arabinose (A) and acarbose (B).

Mucosal homogenates prepared from porcine intestine were incubated with increasing concentrations of sucrose in the absence and presence of inhibitor: (A) L-arabinose (▲) 1 mmol/L or (■) 3 mmol/L and (B) acarbose (▲) 0.62 μ mol/L or (■) 1.55 μ mol/L. (●) assays without inhibitor. Results are plotted according to Lineweaver-Burk⁽³⁾.

높은 값이 보고되고 있다. 이러한 값은 L-아라비노스가 sucrase 에 대하여 기질인 설탕보다 4~5배 높은 친화성을 보임을 나타낸다. α -Glucosidase의 강력한 저해제로는 acarbose가 알려져 있지만 그 저해형식은 경쟁적($K_i=1.1 \mu$ M)이어서 L-아라비노스와는 전혀 다른 메커니즘을 보인다(Fig. 4). Acarbose 는 sucrase의 기질결합부위에 결합하여 설탕의 결합을 방해 하는 반면, L-아라비노스와 D-자일로스는 효소기질 결합체 (enzyme-substrate intermediate)에 작용하여 sucrase가 설탕의 과당을 해리한 후 포도당과 공유결합한 중간상태에 결합하여 저해하는 것으로 생각된다.

대사

L-아라비노스는 곡류의 헤미셀룰로스의 주성분이다. 지금까지 식량과 사료로의 가치, 즉 에너지원으로서의 유효성이 검토되어 왔는데, 그 결과 섭취한 L-아라비노스는 소장에서 흡수되기 어렵다는 것이 쥐^(11,12), 닭^(13,14), 돼지⁽¹⁵⁾ 등의 실험에서 보고되고 있다. 다량의 L-아라비노스를 돼지에게 줄 경우 섭취된 양의 13%는 그대로 소변으로 배출되고 30%는 대장으로 들어가서 장내 세균에 의해 발효되고 단쇄 지방산과 유기산 등을 생성한다. 소장에서 행방불명된 57%는 소장에서 흡수되어 에너지로 되는지 단쇄 지방산으로 발효되는지에 관

한 것은 밝혀지지 않았다. 사람의 경우는 위 동물의 경우와 차이가 있는데 ^{14}C -L-아라비노스를 사람에서 투여한 경우 6 시간 후에 호기중으로 회수한 양은 겨우 0.8%이지만 24시간 내에 소변중에서 회수된 양은 85%이었던 것으로 나타나 섭취한 대부분이 흡수되지만 대사되지 못하고 소변으로 배출되는 것으로 보고되었다⁽¹⁶⁾. 한편 D-자일로스는 호기중에 16%, 뇨중으로 35% 회수된다. 이 사실은 L-아라비노스는 인체에서 거의 이용되지 않지만 D-자일로스는 약간 에너지화 된다는 것을 나타내고 있다. 따라서 L-아라비노스는 0 칼로리 diet sugar로 평가된다.

감미도와 식품에서의 용도

설탕은 여러 가지 미각에 가장 적합한 감미제이며 에너지 원으로도 중요한 당질이다. L-아라비노스의 감미도는 설탕의 50%에 해당하고 미질(quality of taste)이 설탕에 가까워 소량의 첨가로는 미질의 변화를 감지하기 어렵다. 따라서 설탕을 감미제로 하는 여러 가지 식품군에 L-아라비노스를 약 3~5% 첨가하여 종래의 감미성을 변화시키지 않고 건강에 좋은 제품을 제공할 수 있다. 커피, 주스 등의 각종 드링크, 아이스크림, 사베트 등의 얼음 과자와 요쿠르트 등의 유제품, 생과자, 초코렛, 케익, 카스테라 등에 폭넓게 적용될 수 있다. L-아라비노스는 설탕과는 달리 환원당이므로 가열에 의한 갈변이나 maillard 반응을 이용한 meat flavor의 생성에도 이용될 수 있다. 이 당은 빵, 맥주, 녹차, 홍차 등에 소량 존재하며 옛날부터 식물로서 섭취하여 온 물질이다. 적극적으로 각종 식품에 L-아라비노스를 강화하는 것에 의해 식품기능을 크게 높일 수 있으며 효과는 약하지만 D-자일로스에도 같은 작용이 있으므로 혼합하여 사용하거나 식이섬유와 아라비노스가 혼합된 것을 식품에 응용하는 것도 가능하다⁽¹⁷⁾.

자연계의 분포

자연계에 존재하는 일반 당질은 광학이성체가 보통 D-형이지만 아라비노스는 L-형으로 대부분 furanose형태로 존재하지만 예외적으로 pyranose형의 존재도 보고되고 있다⁽¹⁸⁾.

단당류의 L-아라비노스는 침엽수의 심재에 소량 존재하는 것으로 알려져 있지만⁽¹⁹⁾ 그 외에는 보고된 바가 없다. 결합

Table 1. Components of hemicellulose fractions from cereal brans⁽²⁰⁾

Component	Rice	Wheat	Corn
Cellulose	0.3	0.2	nd.
Non-cellulose polysaccharides	72.8	80.6	90.7
Glucose	3.5	5.7	2.5
Arabinose	28.9	26.4	24.2
Xylose	27.5	43.7	42.8
Galactose	4.0	1.5	5.8
Mannose	nd.	nd.	nd.
Uronic acids	9.1	1.5	17.5
Lignin	1.9	2.3	0.7
Total nitrogen	3.3	2.3	0.7
Ash	5.4	4.2	1.6
Arabinose/Xylose	1.05	0.60	0.56

상태로는 육상식물의 세포벽을 구성하는 헤미셀룰로스로서 다당류인 arabinan, arabinoxylan, 그리고 arabinogalactan 등의 구성당으로 존재한다. L-아라비노스를 포함하는 헤미셀룰로스는 옥수수외피, 옥수수 수축, 쌀, 보리 등의 곡류, 사탕무, 사과 등의 식물 세포벽에 분포되어 있다(Table 1)⁽²⁰⁾. 또한 벚나무, 복숭아나무 껍질의 주성분이며, 양배추, 강낭콩 등의 야채에도 비교적 많이 함유되어 있다(Table 2)^(21,22). Fig. 5에는 옥수수 섬유질의 헤미셀룰로스 구조를 보여주며⁽²³⁾, Fig. 6에는 사탕무의 펙틴구조를 나타낸다⁽²²⁾. 옥수수의 헤미셀룰로스(arabinoxylan)는 주쇄가 β -1,4-D-xylan이고 자일로스 2번 탄소 혹은 3번탄소에 L-아라비노스가 결합하고, 그 61%가 비환원 말단에 존재한다⁽²³⁾. 쌀, 보리 등 곡류의 헤미셀룰로스도 유사한 구조이다. 사탕무와 사과의 펙틴은 주쇄의 β -1,4-결합의 D-galacturonic acid 사이에 있는 rhamnose의 3번, 혹은 4번탄소, 혹은 rhamnose에 결합한 galactose의 측쇄 3번 탄소에 α -1,5 결합의 L-아라비노스의 oligomer가 결합하고 그 2번, 혹은 3번, 혹은 그 양자의 위치에 L-아라비노스가 측쇄로 결합하여 아라비노스가 뺨뺨하고 털 모양의 arabinan 영역을 형성하고 있다. 이와 같이 아라비노스는 기존에 활용도

Table 2. Major components of non-starch polysaccharides in plant products^(21,22)

	Non-starch polysaccharides (Dry, %)	Components (%)				
		Cellulose	Arabinose	Xylose	Uronic acids	Others
Haricot bean	19.5	4.6	7.3	2.2	3.2	2.2
Cabbage (Red)	32.5	12.0	6.4	1.7	7.8	4.6
Cauliflower	21.5	5.5	4.3	1.2	5.7	4.8
Brussels sprouts	29.8	8.6	7.1	1.3	6.5	6.3
Rye flower	13.5	1.4	3.6	5.7	0.2	2.6
Wheat flower	9.4	1.6	2.7	3.7	0.2	1.2
Wheat bran	41.4	8.2	9.9	17.7	1.2	4.4
Wheat germ	17.9	3.1	5.1	6.8	0.7	2.2
Sweet corn	6.0	1.7	1.2	1.7	0.4	1.0
Soy bean bran	74.4	39.4	5.7	9.4	10.2	9.7
Pea	14.8	5.8	4.1	1.4	2.2	1.3
Sweet potato	8.1	3.3	0.7	0.3	2.0	1.8

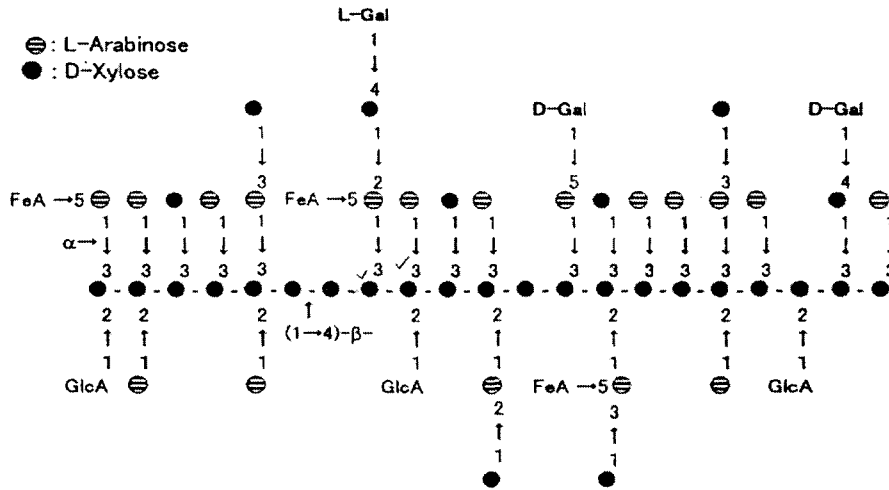


Fig. 5. Schematic structure of maize heteroxylan⁽²³⁾.

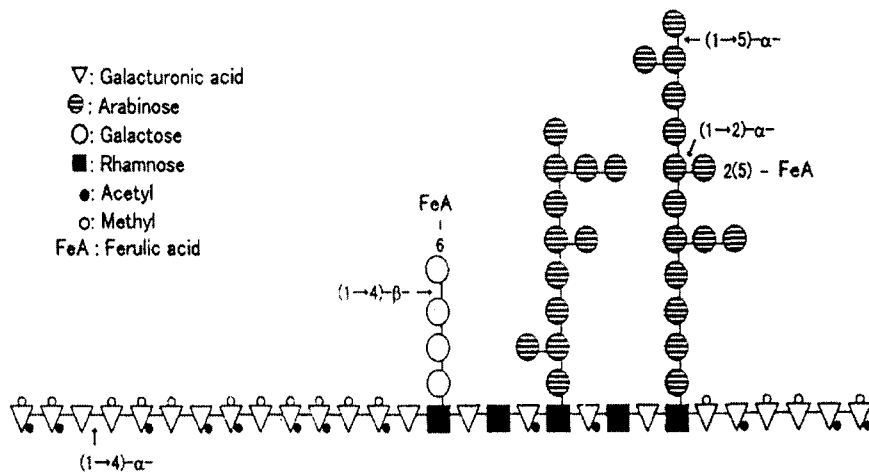


Fig. 6. Hypothetical structure of sugar beet pectin⁽⁴⁷⁾.

가 낮은 농립부산물인 오렌지 화이버(orange fiber), 미강(rice bran), 사과주스박, 사과식이섬유, 사탕무우 화이버(beet fiber), 사탕무우 펄프(beet pulp), 낙화생박, 옥수수박(corn bran) 또는 대두박(soybean bran) 등에 arabinan, arabinoxylan, arabinogalactan의 형태로 존재하므로 그 활용가치가 더욱 높을 것으로 생각된다.

식물자원으로부터 회수방법

L-아라비노스를 생산하는 방법은 식물자원으로부터 산가수분해법과 효소가수분해법으로 회수 후 정제하는 방법이 있다. 산가수분해법은 생산성이 높고 생산단가가 낮은 반면 산가수분해 용액으로부터 아라비노스를 분리하기가 어렵다는 단점이 있다. 반면 효소적인 방법은 기질에 대한 높은 특이성, 온화한 반응조건, 부반응에 의한 당의 손실이 없다는 장점은 있으나 반응시간이 길어 생산성이 낮고 원료를 전처리해야 하는 단점이 있다⁽²³⁾.

산가수분해법

L-아라비노스를 생산하는 방법에 관한 연구로는 산가수분해에 의한 방법으로 mesquite(콩과식물)⁽²⁴⁾, 옥수수외피⁽²⁵⁾와

corn fiber⁽²⁶⁾ 등에 관한 연구가 있으며 Shibamura 등⁽²⁶⁾은 100°C에서 3시간동안 0.2 N oxalic acid 또는 0.1 N sulfuric acid를 처리하여 전분이 제거된 corn fiber로부터 50~60%의 L-아라비노스를 선택적으로 유리시킬 수 있다고 보고하였다⁽²⁷⁾. 현재 결정화된 L-아라비노스는 corn fiber나 beet arabinan을 산가수분해 하여 얻고 있으나, 20% 이상의 D-자일로스나 혼입되어 있다. 고순도의 L-아라비노스를 얻으려면 이온크로마토그래피를 이용한 다단계 정제과정을 거치거나, 아라비노스를 이용하지 않는 효모를 배양하여 자일로스를 제거하여 농축시킴으로써 결정화하는 방법이 있다⁽²⁸⁾.

효소가수분해법

사탕무우 펄프(beet pulp)⁽²⁹⁾와 arabinoxylan에서 L-아라비노스를 효소적인 방법으로 생산하기 위해서는 아라비노스를 가수분해하여 유리시키는 효소(arabinofuranosidase)가 필요하다. Arabinofuranosidase를 생성하는 미생물로 지금까지 보고된 바로는 곰팡이⁽³⁰⁻³⁹⁾, 세균⁽⁴⁰⁻⁴³⁾, 효모⁽⁴⁴⁾ 그 외 기타 균주⁽⁴⁵⁻⁵⁰⁾가 있다. 최근 열안정성 효소에 관한 관심이 증가하고 있는데 이는 오염에 대한 위험성의 감소와 기질의 용해도 증가 및 확산속도의 증가, 변성제와 단백질 가수분해 효소들에 대한

효소의 높은 안정성, 냉각비용의 감소 등으로 인하여 산업적 효소의 바람직한 특성으로 인식되기 때문이다⁽⁵¹⁻⁵⁴⁾. Debeche 등⁽⁵⁴⁾이 클로닝한 호열성 arabinofuranosidase는 90°C와 4~12 범위의 pH에서 매우 안정한 것으로 보고되었으며 열에 안정한 *Bacillus subtilis*⁽⁴¹⁾, *Clostridium stercorarium*⁽⁴³⁾과 *Bacillus stearothermophilus*⁽⁴²⁾와도 계통발생학적으로 유사한 부분이 있다고 하였다. 본 그룹은 최근에 *Thermotoga maritima*에서 효소의 반응최적온도가 100°C 부근인 초고온성 arabinofuranosidase 유전자를 클로닝하였고 대장균에서 발현시켜 효소특성을 조사한 결과 다양한 기질에 대해 높은 효소활성을 보임을 관찰하였다^(55,56).

결 론

비만 인구는 1984년이래 세계적으로 급속히 증가하여 왔고 비만으로 초래되는 각종 성인병은 의료비를 대폭 상승시켜 사회의 큰 부담으로 여겨진다. 비만의 원인으로 칼로리의 과잉섭취가 문제가 되면서 식품의 과잉섭취를 일으키는 인자와 반대로 섭취한 칼로리를 효과없이 만드는 대사기구에 관한 연구가 진행되고 있다. L-아라비노스의 섭취는 그 문제 해결의 중요한 해결수단이 될 것으로 기대된다. 자연계에 널리 분포되어 있는 L-아라비노스는 설탕과 유사한 감미를 갖는 당으로 산이나 효소적인 방법으로 생산이 가능하다. L-아라비노스는 설탕과 함께 섭취시 sucrase의 활성을 억제함으로써 혈당치의 상승을 억제하고 이로 인한 지방 합성량을 감소시킴으로써 비만, 당뇨, 고혈압과 고지혈증 등의 예방에 이용될 수 있다. 이와 같은 기능을 갖는 L-아라비노스는 설탕을 감미제로 사용하는 과자류, 아이스크림 및 음료 등에 폭넓게 이용될 것이다. L-아라비노스와 관련하여 아직까지 규명되지 않았거나 장차 보완 연구가 필요한 분야로는, 분해되지 않은 설탕과 L-아라비노스가 소장과 대장에서 다른 화합물로의 전환(transformation)형태, 장내미생물에 미치는 영향, 지방합성 저해기작의 생리적 연구, 과잉섭취가 인체에 미치는 안전성 평가, 그리고 식물자원으로부터 L-아라비노스를 경제적으로 분해, 회수하는 고효율의 가수분해 공정개발 등이 있다.

감사의 글

본 연구는 충북대학교 발전재단기금, 농림기술개발연구센터(ARPC)의 농림기술개발사업 및 과학기술부·과학재단지원 생물전장산업개발연구센터(RCBH)의 지원으로 수행되었습니다.

문 헌

1. Hizukuri, S. Nutritional and physiological functions and uses of L-arabinose. *J. Appl. Glycosci.* 46: 159-165 (1999)
2. Semensa, G. and von Balthazar, A.K. Steady-state kinetics of rabbit intestinal sucrase: kinetic mechanism, Na⁺ activation, inhibition by Tris (hydroxymethyl) aminomethane at the glucose subsite. *Eur. J. Biochem.* 41: 149-162 (1974)
3. Seri, K., Sanai, K., Matsuo, N., Kawakubo, K., Xue, C. and

- Inoue, S. L-Arabinose selectively inhibits intestinal sucrase in an uncompetitive manner and suppresses glycemic response after sucrose ingestion in animals. *Metabolism* 45: 1368-1374 (1996)
4. Sanai, K., Seri, K. and Inoue, S. Inhibition of sucrose digestion and absorption by L-arabinose in rats. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 50: 133-137 (1997)
5. Inoue, S., Sanai, K. and Seri, K. Effect of L-arabinose on blood glucose level after ingestion of sucrose-containing food in human. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 53: 243-247 (2000)
6. Osaki, S., Kimura, T., Sugimoto, T., Hizukuri S. and Iritani, N. L-Arabinose feeding prevents increases due to dietary sucrose in lipogenic enzymes and triacylglycerol levels in rats. *J. Nutr.* 131: 796-799 (2001)
7. Fruichi, Y., Taniguchi, A., Horibe, A., Umekawa, H., Takahashi, T., Katsuro, M. and Imai, T. Effect of water-soluble dietary fiber prepared from corn hull on lipid metabolism in rats. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 47: 29-34 (1994)
8. Oda, T., Aoe, S., Sanada, H. and Ayano, Y. Effects of soluble and insoluble fiber preparations isolated from oat, barley and wheat on liver cholesterol accumulation in cholesterol-fed rats. *J. Nutr. Sci. Vit.* 39: 73-79 (1993)
9. Oda, T., Aoe, S., Sanada, H. and Ayano, Y. Effects of oat, barley and wheat on liver and plasma cholesterol concentrations in cholesterol-fed rats. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 45: 560-563 (1992)
10. Egashira, Y., Kubota, H., Okuda, Y., Takeuchi, M., Ohta, F. and Ayano, Y. Effect of cereal bran hemicellulose on growth rate, digestibility and gastrointestinal transit time in rats. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 45: 71-77 (1992)
11. Arnal-Peyrot, F. and Adrian, J. Metabolism of cereal pentosans in rat. *Int. J. Vita. Nutr. Res.* 44: 543-552 (1974)
12. Cori, F. The fate of sugar in the animal body. 1. The rate of absorption of hexoses and pentoses from the intestinal tract. *J. Biol. Chem.* 66: 691-715 (1925)
13. Bonger, P.H. Alimentary absorption of reducing sugars by embryos and young chicks. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 107: 263-267 (1961)
14. Wagh, P.V. and Waibel, P.E. Alimentary absorption of L-arabinose and D-xylose in chicks. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 124: 421-424 (1967)
15. Schutte, J.B., de Jong, J., van Weerden, E.J. and Tamminga, S. Nutritional implications of L-arabinose in pigs. *Br. J. Nutr.* 68: 195-207 (1992)
16. Segal, S. and Foley, J.B. The metabolic fate of C¹⁴ labeled pentoses in man. *J. Clin. Invest.* 38: 407-413 (1959)
17. Yoshihiro, N. and Katsuyuki, M. Diet food, food for diabetes and method for producing the foods. Japan patent publication number 2002-136-272 (2000)
18. Colquhoun, I.J., Ralet, M.-C., Thibault, J.-F., Faulds, C.B. and Williamson, G. Structure identification of feruloylated oligosaccharides from sugar-beet pulp by NMR spectroscopy. *Carbohydr. Res.* 263: 243-256 (1994)
19. Pigman, W. The Carbohydrates, Chemistry, Biochemistry, Physiology. Academic Press, New York, USA (1957)
20. Ayano, Y. Dietary fiber in cereals: Nutritional and physiological aspect. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 45: 209-219 (1992)
21. Englyst, H.N., Bingham, S.A., Runswick, S.A., Collinson, E. and Cummings, J.H. Dietary fibre (non-starchpolysaccharides) in fruit, vegetables and nuts. *J. Human Nutr. Diet.* 1: 247-286 (1988) 2: 253-271 (1989)
22. Englyst, H.N. and Kingman, S.M. Dietary Fiber. Plenum Publishing Corporation, New York, USA (1990)
23. Saulnier, L., Marot, C., Chanliaud, E. and Thibault, J.-F. Cell wall polysaccharide interactions in maize bran. *Carbohydr. Polym.* 26: 279-287 (1995)
24. Cramer, F.B. Improved isolation of L-arabinose from mesquite gum. *J. Franklin Inst.* 256: 93-94 (1953)
25. Osborn, D. and Chen, L.F. Corn hull hydrolysis using glucoamylase and sulfuric acid. *Starch* 36: 393-395 (1984)

26. Shibamura, K., Takamine, K., Maeda, S., Osaki, S., Abe, J. and Hizukuri, S. Partial acid hydrolysis of corn fiber for the production of L-arabinose. *J. Appl. Glycosci.* 46: 249-256 (1999)
27. Hizukuri, S., Abe, J., Ohsaki, S. and Suetake, S. Process for producing L-arabinose by acid hydrolysis method, PCT-international Patent application (1999)
28. Park, N.H., Yoshida, S., Takakashi, A., Kawabata, Y., Sun, H.J. and Kusakabe, I. A new method for the preparation of crystalline L-arabinose from arabinoxylan by enzymatic hydrolysis and selective fermentation with yeast. *Biotechnol. Lett.* 23: 411-416 (2001)
29. Kusakabe, I., Yasui, T. and Kobayashi, T. Some properties of arabinan degrading enzymes produced by microorganism and enzymatic preparation of arabinose from sugar beet pulp. *Nippon Nogeikagaku Kaishi.* 49: 295-305 (1975)
30. Kormelink, F.J.M., Searle-Van Leewen, M.J.F., Wood, T.M. and Vorgen, A.G.J. Purification and characterization of a (1,4)- β -D-arabinoxylan arabinohydrolase from *Aspergillus awamori*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 35: 753-758 (1991)
31. Filho, E.X.F., Puls, J. and Coughlan, M.P. Purification and characterization of two arabinofuranosidase from solid-state cultures of the fungus *Penicillium capsulatum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 168-173 (1996)
32. Ioannes, P.D., Peirano, A., Steiner, J. and Eyzaguirre, J. An α -L-arabinofuranosidase from *Butyrivibrio fibrisolvens* GS113. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 1082-1088 (2000)
33. Kaneko, S., Arimoto, M., Ohba, M., Kobayashi, H., Ishii, T. and Kusakabe, I. Purification and substrate specificities of two α -L-arabinofuranosidases from *Aspergillus awamori* IFO 4033. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 4021-4027 (1998)
34. Luonter, E., Beldman, G. and Tenkanen, M. Substrate specificities of *Aspergillus terreus* α -arabinofuranosidases. *Carbohydr. Polym.* 37: 131-141 (1998)
35. Kimura, I., Yoshioka, N., Kimura, Y. and Tajima, S. Cloning, sequencing and expression of an α -L-arabinofuranosidase from *Aspergillus sojae*. *J. Biosci. Bioeng.* 89: 262-266 (2000)
36. Tajana, E., Fiechter, A. and Zimmermann, W. Purification and characterization of two α -L-arabinofuranosidases from *Streptomyces diastaticus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 1447-1450 (1992)
37. Matsuo, N., Kaneko, S., Kuno, S., Kobayashi, H. and Kusakabe, I. Purification, characterization and gene cloning of two α -L-arabinofuranosidases from *Streptomyces chartreusis* GS901. *Biochem. J.* 346: 9-15 (2000)
38. Komae, K.S. and Sato, M. An α -L-arabinofuranosidase from *Streptomyces purpurascens* IFO 3389. *Agric. Biol. Chem.* 46: 1899-1905 (1982)
39. Manin, C., Shareek, F., Morosoli, R. and Kluepfel, D. Purification and characterization of an α -L-arabinofuranosidase from *Streptomyces lividans* 66 and DNA sequence of the gene(abfA). *Biochem. J.* 302: 443-449 (1994)
40. Hespell, R.B. and O'Bryan, P.J. Purification and characterization of an α -L-arabinofuranosidase from *Butyrivibrio fibrisolvens* GS113. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 1082-1088 (1992)
41. Kaneko, S., Sano, M. and Kusakabe, I. Purification and some properties of α -L-arabinofuranosidase from *Bacillus subtilis* 3-6. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 3425-3428 (1994)
42. Gilead, S. and Shoham, Y. Purification and characterization of α -L-arabinofuranosidase from *Bacillus stearothermophilus* T-6. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 170-174 (1995)
43. Schwartz, W.H., Bronnenmeir, K., Krause, B., Lottspeich, F. and Staudenbauer, W.L. Debranching of arabinoxylan: properties of the thermoactive recombinant α -L-arabinofuranosidase from *Clostridium stercorarium* (ArfB). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 43: 856-860 (1995)
44. Uesaka, E., Sato, M., Raiju, M. and Kaji, A. α -L-Arabinofuranosidase from *Rhodotorula flava*. *J. Bacteriol.* 133: 1073-1077 (1978)
45. Kim, K.S., Lilburn, T.G., Renner, M.J. and Breznak, J.A. *arf I* and *arf II*, two genes encoding α -L-arabinofuranosidases on *Cytophaga xylanitica*. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 1919-1923 (1998)
46. Hata, K., Tanaka, M., Tsumuraya, Y. and Hashimoto, Y. α -L-Arabinofuranosidase from radish (*Raphanus sativus* L.) seeds. *Plant Physiol.* 100: 388-396 (1992)
47. Beldman, G., Schols, H.A., Pitson, S.M., Searl-van Leeuwen, M.J.F. and Voragen, A.G.J. Arabinans and arabinan degrading enzymes. *Adv. Macromol. Carbohydr. Res.* 1: 1-64 (1997)
48. Kormelink, F.J.M. and Voragen, A.G.J. Degradation of different [(glucurono)arabino] xylans by a combination of purified xylan-degrading enzymes. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 38: 688-695 (1993)
49. Weinstein, L. and Albersheim, P. Structure of plant cell walls. IX. Purification and partial characterization of a wall degrading endo-arabinase and an arabinosidase from *Bacillus subtilis*. *Plant Physiol.* 63: 425-432 (1979)
50. Saha, B.C. and Bothast, R.J. Effect of carbon source on production of α -L-arabinofuranosidase by *Aureobasidium pullulans*. *Cur. Microbiol.* 37: 337-340 (1998)
51. Ng, T. and Kenealy, W. Industrial applications of thermostable enzymes, pp. 197-215. In: *Thermophiles: General, Molecular and Applied Microbiology*. Brock, T.D. (ed.). Wiley-Interscience, New York, USA (1986)
52. Yankov, D., Dobrea, E., Beschkov, V. and Emanuilova, E. Study of optimum conditions and kinetics of starch hydrolysis by means of thermostable α -amylase. *Enz. Micro. Tech.* 8: 665-667 (1986)
53. Sunna, A. and Antranikian, G. Growth and production of xylanolytic enzymes by the extreme thermophilic anaerobic bacterium *Thermotoga thermarum*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 45: 671-676 (1996)
54. Debeche, T., Cummings, N., Connerton, I. Debeire, P. and O'Donohue, M.J. Genetic and biochemical characterization of a highly thermostable α -L-arabinofuranosidase from *Thermobacillus xylanilyticus*. *Appl. Env. Microb.* 66: 1734-1736 (2000)
55. Yoon, H.-S., Han, N.S. and Kim, C.H. Molecular cloning and characterization of arabinofuranosidase gene from hyperthermophilic microorganism *Thermotoga maritima*, p. 96. In: *The Proceedings of the Korean Society of Agricultural Chemistry and Biotechnology 2002 Annual Meeting*. KSACB, Seoul, Korea (2002)
56. Keum, I. Yoon, J.-H., Kim, T.-J., Yoon, H.-S., Lee, W.-J. and Han, N.S. Characterization of recombinant α -L-arabinofuranosidase from the hyperthermophile *Thermotoga maritima*, p. 587. In: *Proceedings of the Korean Society for Biotechnology and Bioengineering 2003 Annual Meeting*, KSBB, Seoul, Korea (2003)