第 14 卷 第 2 期
无锡轻工大学学报
JOURNAL OF WUXI UNIVERSITY OF LIGHT INDUSTRY
Vol. 14 1995 No. 2

综　述

低聚果糖——一种具有优越生理学特性的新型食品甜味剂

江　波　　王　璋

（食品科学与工程系）

糖与蛋白质、脂肪一起被合称为生命的三大基础物质[1]。在人体内，糖起着提供热量、维持营养和组成人机体的碳架的重要作用。随着科学技术的发展及社会的进步，人们对食品有了新的要求，从单纯摄取营养成分为目的转变到摄取对健康有益、对防病有效的成分，防止摄取食物中对人体需要来说过量的成分和有害成分等多种目的。目前，鉴于消费者对高糖高热量兴趣转向低糖低热量，寻求开发对人体健康有益的新型糖已成为食品行业的新课题。

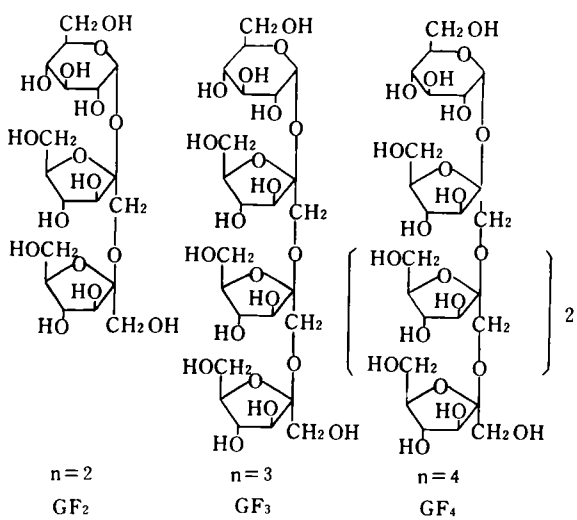


图 1　低聚果糖化学结构

低聚果糖，又称寡果糖或蔗果三糖族低聚糖，结构式见图 1，分子式为：G−F−F_n；$n=1\sim3$（G 为葡萄糖，F 为果糖），它是由蔗糖和 1～3 个果糖基通过 β-2,1 键与蔗糖中的果糖基结合而成的蔗果三糖、蔗果四糖和蔗果五糖及其混合物。它是利用微生物或植物中具有果糖转移活性的酶作用于蔗糖而得到的，反应过程可用以下反应式表示：

$$G-F(蔗)\xrightarrow{酶}G(葡)+G-F(蔗)+G-F-F(蔗果三糖)+G-F-F(蔗果四糖)+G-F-F-F-F(蔗果五糖)$$

1950 年，Bacon，Edelman[2]，Blanchard 和 Albon[3]在研究酵母转化酶（invertase）时，分

收稿日期：1994-10-19

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

别独立地发现了该转化酶除了具有水解作用外，还具有转移作用。蔗糖水解时除产生不等量的葡萄糖和果糖外，还生成一些低聚糖，这些低聚糖的结构后来得到了进一步确定，并被命名为蔗果三糖(kestose)族低聚糖。1952年Whalley等[4]用酵母转化酶作用于蔗糖，首先得到蔗果三糖。1953年Bacon和Bell[5]用高峰淀粉酶作用于蔗糖，产生了一系列聚糖，从中析出异蔗果三糖(isokestose)．1954年Gross等[6]从中又析出新蔗果三糖(neokestose)．这三种蔗果三糖及其同系物，已在龙舌兰属(*Agave*)，紫苑科(*Asteraceae*)，风铃草科(*Campanulaceae*)和百合目(*Liliales*)等植物中发现[7]。到目前为止，在植物中研究的较多是菊芋(*Jarusalem artichoke*)和芦笋(*Asparagus*)块根中低聚果糖及其转移酶。

β-D- 呋喃果糖苷酶[8]，又称蔗糖酶或转化酶(*E.C.* 3.2.1.26)．它们广泛分布于生物界，其中能催化蔗糖合成低聚果糖的是具有转移果糖基活性的*β-D-*呋喃果糖苷酶。

经研究发现[7]能转移果糖基的微生物有：*Aspergillus oryzae* 米曲霉(最广泛)。*Penicillium* 青霉属、*Aspergillus niger* 黑曲霉、*Aureohasidium pullulans* 茁芽短梗菌和yeast酵母等多种微生物。这些微生物产生转移酶的时候，必须具有伯醇基作为转移果糖基的受体，除蔗糖外，还有棉子糖、甘露糖、半乳糖等糖类以及山梨糖醇、甘露糖醇等羟基糖类。甲醇、乙醇、丙醇等含有伯醇基也可接受转移的果糖。

1966年，Seott等[9]利用菊芋中的一种酶系，称为蔗糖：蔗糖-1-果糖基转移酶(Sucrose：sucrose 1-fructosy ltranferase)(SST)，酶法合成异蔗果三糖：

$$\text{蔗糖}+\text{蔗糖}\longrightarrow\text{异蔗果三糖}+D\text{-葡萄糖}$$

这种酶与转移酶不同，它不能从蔗糖中释放*D-*果糖，不能利用三糖或高级低聚糖为受体。然而，在菊芋中还存在另一种酶，称为*β*-(2-1)果聚糖-1-呋喃果糖基转移酶(F－F－T)，能将一个糖分子的末端*β-D-*呋喃果糖基转移到其它分子的同样位置上，如下所示：

$$\text{蔗糖-}F_n+\text{蔗糖-}F_m\longrightarrow\text{蔗糖-}F_{n-1}+\text{蔗糖-}F_{m+1}$$

这里n代表1～35个果糖受体。这种高级的低聚糖果糖同系物的合成，必然是利用异蔗糖果三糖为供体的受体，作为启始的步骤，如下所示：

$$\text{异蔗果三糖}+\text{异蔗果三糖}\longrightarrow\text{果糖基-异蔗果三糖}+\text{蔗糖}$$

这就是说：在高等植物中存在着果糖转移酶。除此以外，对洋葱、烟草、莴苣等植物中的酶的研究也多起来了。

近年来，盐见德夫[7]经过对芦笋块根中低聚果糖及其生物合成的详细研究，发现了与*β-*呋喃果糖苷酶(*β*-fructofuranosidase)不同的三种酶。即：SST蔗糖：蔗糖-1-果糖基转移酶(*E.C.* 2.4.1.99)，6-果糖基转移酶6-FT(6-fructosyltransferase)以及1-果糖基转移酶1-FT(1-fructosyltransferase)等三种，并把它们分离出来，明确了它们的作用和性质，并分别合成了异蔗果三糖(1-kestose)，新蔗果三糖(neokestose)和果聚糖。

1988年，Hirayama等[10]研究了黑曲霉中*β-D-*呋喃果糖苷酶和性质，利用离子交换色谱和凝胶过滤色谱分离提纯了该酶，并用聚焦色谱测定该酶的纯度和等电点。1990年Fujita等[11]用DEAE-Toyopearl 650M柱和butyl-Toyopearl 650M柱分离该酶得到了三个同功酶。以上诸学者在*β-*呋喃果糖苷酶分离纯化的基础上，对诸如酶的分子量、最适pH、最适温度等酶的性质也进行了研究。结果表明，*β-*呋喃果糖苷酶的来源不同，在酶的性质方面表现出较大差异。

近年来，研究发现低聚果糖具有优异的生理学特性[12]：1）在大肠内能被对人体有保健

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

作用的一种菌——双岐杆菌有选择性地利用,摄取低聚果糖后,体内双岐杆菌数量可增加100～1000倍;2) 很难被人体消化道唾液酶和小肠消化酶水解,是一种低热量糖;3) 可认为是一种水溶性食物纤维,能降低血脂,改善脂质代谢,病人服用后,其胆固醇、甘油三酯、游离脂肪酸都降低;4) 适用于糖尿病患者服用;5) 防龋齿,低聚果糖不能用来作为*Streptococcus mutans*菌形成基质,也没有菌体凝结作用,它被龋齿作用生成的乳酸含量仅为蔗糖的10%～50%以下;6) 抑制肠内沙门氏菌和腐败菌的生长,促进肠胃功能。因而该糖可作为一种新颖的食品甜味剂和健康食品的原料。

由于发现低聚果糖具有优越的生理学特性,可作为一种新颖的食品甜味剂和健康食品的原料。1982年日本明治制果株式会社[13,14]首次利用含有果糖转移酶的微生物进行工业化生产,推出了商品名为"Neosugar"的低聚果糖产品,其主要成分为蔗果三糖、四糖和五糖的混合物,年产量达3300t,可用于乳制品、乳酸菌饮料、固体饮料、糖果、饼干、果冻和冷饮等多种食品的保健甜味剂,应用范围多达200余种食品,市场规模超过400亿日元,日本市场价为1800日元/kg.

因此,低聚果糖可作为健康食品的新型甜味剂和食品加工的新原料,可广泛用于糖果、果冻、饼干、点心和面包等食品加工中。刚断乳幼猪容易患肠胃消化不良症或下痢,发育迟缓,体量增加很少。喂食混有低聚果糖的饲料后,下痢显著减少,生长加快。另外,低聚果糖也可作为化妆品的原料,抑制脸部及皮肤表面有害菌的生长。

无锡轻工业学院[15]率先在国内利用酶法及固定化微生物生产低聚果糖,它是利用筛选得到的具有高度果糖转移酶活性的黑曲霉作用于蔗糖生产低聚果糖,其工艺如下:

生产菌经液体培养,而后将菌体分离,悬浮于海藻酸钠溶液中。将悬浮液滴入氯化钙溶液中,得到固定化细胞,将其充填入柱中。在温度50～60℃下通入50%蔗糖溶液,利用酶转移反应生产低聚果糖。再而后,经脱色、脱盐、浓缩等工艺,即可生产出浆状低聚果糖。

表1　低聚果糖成分

	葡萄糖	蔗　糖	低聚果糖			
	G	GF	GF_2	GF_3	GF_4	GF_n
反应生成物	36～33	10～12	21～28	21～24	3～6	51～53

表2　低聚果糖与蔗糖特性比较

	蔗　糖	低聚果糖
本质	β-1,2结合的二糖类	$G\text{-}F_n$的混合物
商品形态	粉状	液体(75%)
能量	易利用	难消化
甜度	1	0.5～0.6
甜味性质	上等品质甜味	上等品质的清爽甜味
防龋齿性	差	好
非胰岛素依赖性	差	一般
促进双岐杆菌生长	差	好
溶解性	好	好

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2 低聚果糖与蔗糖特性比较

	蔗 糖	低聚果糖
非吸湿性	好	差
非着色性	差	好
耐酸性	差	差
赋形性	好	好

当前，生产低聚果糖中存在的主要问题是由于产品中存在着大量的副产物葡萄糖，葡萄糖不仅影响了产品中低聚果糖的含量，而且它是果糖转移酶的竞争性抑制物，因而，产品中低聚果糖的含量只能达到50%左右。如何降低葡萄糖的含量生产高纯度低聚果糖是目前遇到的一大问题。

由于低聚果糖具有在食品、医药等方面应用的极大潜力，目前在日本开发低聚糖的努力和竞争已处于白热化程度，围绕低聚糖而生产的新商品源源不断地投入市场。而我国目前研究生产的低聚糖主要是以淀粉水解的低聚麦芽糖，易为人体消化吸收，而很少研究各种不易被人体消化吸收及促进人体内大肠中双岐杆菌增殖的各种低聚糖如异构麦芽糖、低聚果糖等，无疑低聚果糖的研究将促进我国低聚糖工业向一个新的方向发展。由于今后的社会趋向于高龄化，在饮食方面要求保健的呼声日高，而能促使双岐杆菌增殖的低聚果糖的介入，将是关系到人类健康极为重要的因素，因而新型低聚糖源的开发研究将进一步促进保健食品、功能食品的发展，有益于人民身体健康和国民经济的发展。

参 考 文 献

1 江苏省糖业食品科技情报站. 新糖源及其应用. 轻工业出版社，1991.8
2 Bacon J S D. Edelman J. J. Arch. Biochem. 1950.28:467
3 Blanchard P H, Albon N. Arch. Biochem. 1950,29:220
4 De Whalley. Int. Sugar J. 1952.54:127
5 Bacon J S D, Bell D J. J. Chem. Soc. 1953. 2528～2530
6 Gross D, Blanchard P H, Bell D J. J. Chem. Soc. 1954. 1927～1730
7 盐见德夫. 北海道大学农学部农艺化学科学食品营养学讲座. 昭和 1957
8 吴东儒. 糖类的生物化学. 高等教育出版社. 1987. 239
9 Scott R W, et al. Biochem. J. 1966,100:23～21
10 Hirayama M, Sumi N, Hidaka H. Agric. Biol. Chem. 1989,53(3):667～673
11 Fujita K, et al. Agric. Biol. Chem. 1990.54(4):913～919
12 日高秀昌，荣田利章. Bio Industry. 1984.1(6):5～13
13 细谷宪政. 第1回ネオシエガ-研究会报告. 明治制果. 东京. 1982.10
14 细谷宪政. 第2回ネオシエガ-研究会报告. 明治制果. 东京. 1985.3
15 江波. 固定化黑曲霉生产低聚果糖的研究:[博士学位论文]. 无锡轻工业学院食品科学与工业系

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net