

# 蔗果低聚糖的研究和生产应用\*

魏远安 姚评佳 谢庆武 梁锦添

(广西大学生物技术实验中心, 南宁, 530004)

**摘 要** 蔗果低聚糖是一类天然存在的碳水化合物。研究证明蔗果低聚糖在消化道不被破坏而直达大肠被双歧杆菌等有益菌群选择性利用, 从而对人体健康产生有益的作用。利用果糖基转移酶, 可以从蔗糖工业化规模地生产蔗果低聚糖, 本文对其合成的酶学研究、酶制剂、生产工艺、产品的应用和市场开发等方面进行了综述。

**关键词** 蔗果低聚糖 果糖基转移酶

蔗果低聚糖 (fructooligosaccharide, FOS), 又译为低聚果糖, 是一类天然存在于许多果蔬中的碳水化合物。由于具有良好的口感, 显著的生理功能, 其研究、生产和应用在国际上日益受到重视。在国内, 自我们首先开发成功并报道后<sup>[1,2]</sup>, 这方面的研究也在逐步升温<sup>[3,4]</sup>。可以预期, FOS 作为国际上新一代功能性甜味剂大规模进入我国大众的日常生活已为时不远。本文拟就国内外目前对蔗果低聚糖的研究, 包括系统命名、有关 FOS 合成的酶学研究、工业生产工艺、质量监控、生理功能及其国内外市场前景等方面作一比较全面的综述。

## 1 果聚糖学及蔗果低聚糖系列的系统命名

自然界许多植物、水果、蔬菜当中天然存在着一大类称为果聚糖 (fructan) 的碳水化合物。研究表明, 菊科植物多积累果聚糖而不是淀粉作为储存的糖类。各种牧草在其生长过程中也在一个时期内形成果聚糖, 它们对植物体内的碳水化合物储运、转移、增强植物的越冬能力、提高牧草的营养价值等方面有直接和重要的影响。国际上果聚糖学的研究已发展成为碳水化合物研究中的一个重要分支<sup>[5]</sup>, 1988 年 7 月, 在德国波恩举行了第一次国际果聚糖研究讨论会, 并提出了有关迄

今已研究发现的各種果聚糖的系统命名规则。由于蔗果低聚糖属于果聚糖中的一种, 这里对这一命名规则作一简要介绍, 并提出今后中文相应译名的一些意见。

果聚糖作为一个总称指任何具有一个或多个果糖基-果糖连结为主体连结形式的化合物。为了更明确, 有时可以在果聚糖前后加上低聚的 (oligomeric)、低聚体 (oligomer) 或多聚的 (polymeric)、多聚体 (polymer) 等来进一步指明, 如低聚果聚糖 (oligomeric fructan) 和果聚糖低聚物 (fructan oligomer)。蔗果低聚糖即属于低聚果聚糖中的一种, 下面主要讨论低聚果聚糖的命名方法。在蔗糖的 3 个伯羟基中的其中一个上再连上一个果糖残基生成三糖时有 3 种可能的产物, 如图 1 所示。

即果糖 1 位上连结得 1-kestose (中译名蔗果三糖), 果糖 6 位上连结得 6-kestose (中译名异蔗果三糖), 葡萄糖 6 位上连结得 neokestose (中译名新蔗果三糖), 新的命名法则分别采用 1-kestotriose, 6-kestotriose 和 6G-kestotriose 为 3 者的名称, 其中 tri- 是希腊词根表示“三”, -ose 是糖的后缀, 名称前面的数字和足标字母表示果糖基的连结位置。

在这 3 种三糖基础上进一步生成的果聚四糖、五糖, 就在这些相应三糖名称的基础上

\* 第一作者: 博士, 教授。  
国家自然科学基金资助项目, 项目批准号: 29772006  
收稿时间: 1998-10-29

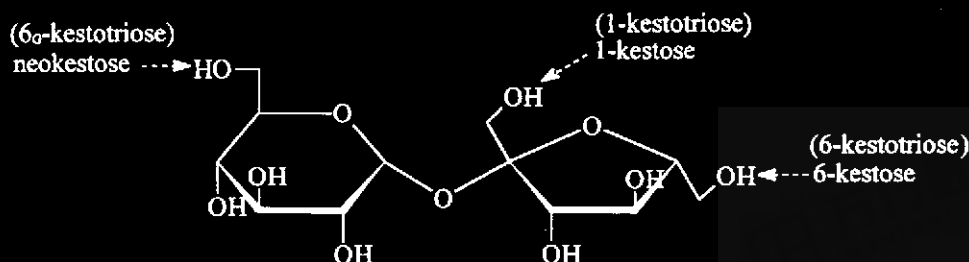


图 1 果糖残基在蔗糖伯羟基上连结生成三糖时的 3 种可能产物

加以衍生而成。其中有关果糖链增长时果糖基取代主体糖链上的位置就在名称前继续添加数字指示出,例如,如果主体糖链上的果糖残基上 1 位碳上的羟基被取代,则在前面添加数字 1 并用逗号分隔表示,而对整个糖链是四糖还是五糖则通过后缀的改变来表示。如 nystose 就被称为 1,1-kestotetraose,其中 1,1-表示果糖链增长时果糖基取代主体糖链上相应的果糖残基 1 位碳上的羟基, tetra-(四)和-ose(糖)的合成后缀表明这是一个四糖。对应的中译名就建议译为蔗果四糖<sup>[2]</sup>。同样的原来英文名为  $1^F$ - $\beta$ -fructofuranosyl nystose 的五糖现在被叫作 1,1,1-kestopentaose,中译为蔗果五糖。考虑到原有的英文俗名已被大家习惯并接受,新的系统命名尚有待熟悉,本文仅作介绍,供大家在查阅国外一些较新的文献时参考。

韩国的 Jae Heung Lee 等建议用 Fructooligosaccharides 专指 1-3 个果糖基以  $\beta$ -2,1 键连接在蔗糖上形成的蔗果三糖,蔗果四糖,蔗果五糖(结构式简写为 GF<sub>n</sub>, G 指葡萄糖基, F 指果糖基, n 为果糖基的个数)<sup>[6]</sup>,以区别其他低聚果聚糖,特别是匀低聚果聚糖,如菊粉低聚糖(inulooligosaccharide, IOS)为一匀果低聚糖,即全部由果糖基以  $\beta$ -2,1 键连结而成的果低聚糖(结构式简写为 Fm)。对于 Fructooligosaccharide (FOS)的中译名,为了也表示特指,并与蔗果三糖(GF<sub>2</sub>),蔗果四糖(GF<sub>3</sub>),蔗果五糖(GF<sub>4</sub>)等一致,作者倾向于译为蔗果低聚糖。蔗果低聚糖在国外已有商业产品,在日本称作明治低聚

糖(Meiologo);在欧美的英文商品名有 Neosugar、Nutra Flora 等,其中的功能性有效成分就是蔗果三糖(1-kestotriose; 1-kestose),蔗果四糖(1,1-kestotetraose; nystose)和蔗果五糖(1,1,1-kestopentaose;  $1^F$ - $\beta$ -fructofuranosyl nystose)。FOS 存在于乳汁、蜂蜜、大麦、香蕉、番茄、大蒜等天然食品中,但含量不高。

## 2 有关 FOS 合成的酶学研究

### 2.1 酶的名称、分类

目前国际上对有关合成 FOS 的酶类的命名仍有争论。一些文献采用“ $\beta$ -D-fructofuranosidase”一词,酶分类号为 EC. 3. 2. 1. 26<sup>[7,8]</sup>,该名称属水解酶类,易令人误解为水解酶;其他的文献则采用“fructosyltransferase”一词,酶分类号为 EC. 2. 4. 1. 9<sup>[6,9~14]</sup>,译为“果糖基转移酶”。作者赞成采用果糖基转移酶的名称,以区别于水解酶类。

### 2.2 酶的来源、反应机理及酶学性质

植物果糖基转移酶已在许多高等植物中发现,目前已发现甜菜(beet)<sup>[12]</sup>、洋蓟(Jarusalem artichoke)<sup>[15~17]</sup>、洋葱(onion)<sup>[18~20]</sup>、芦笋(asparagus)<sup>[9~11,21]</sup>、龙舌兰(agave)及菊苣(chicory)等中都含有该酶类,其中研究较多的是洋蓟和芦笋的酶。洋蓟中 FOS 的合成涉及 2 种酶,即产生三糖(GF<sub>2</sub>)的 sucrose  $1^F$ -fructosyltransferase (SST)[E. C. 2. 4. 1. 99]和产生多聚寡糖(GFn)的 fructan  $1^F$ -fructosyltransferase (FFT)[E. C. 2. 4. 1.

100<sup>[15,16]</sup>。芦笋中 FOS 的形成则涉及到至少 3 种果糖基转移酶,即 sucrose; sucrose 1-fructosyltransferase, 6<sup>G</sup>-fructosyltransferase 和 1<sup>F</sup>-fructosyltransferase<sup>[9~11,21]</sup>。利用从植物中提取的酶生产 FOS,产率低且受季节的限制。

微生物果糖基转移酶在酵母和真菌中都有发现。研究结果表明,许多产果糖基转移酶的微生物,同时产生水解酶,这些水解酶将降解 FOS。这些酶的水解活力可以从终产物的果糖的出现中看出。所以,在通过果糖基转移反应合成 FOS 的同时,酶中的水解活性形成逆反应。由于产果糖基转移酶的微生物有多种,筛选产酶微生物的主要原则为:

(1)酶活力高,酶促反应的区域专一性(regiospecificity)要高,酶选择性催化生成 1-kestose (1-kestotriose)系列的低聚糖,而不生成 6-kestose (6-kestotriose)或 neokestose (6<sub>G</sub>-kestotriose)系列的低聚糖。

(2)微生物产生的水解酶活力要尽可能的低。筛选、比较研究发现,丝状真菌产生的果糖基转移酶比酵母菌产的酶要好。在含有蔗糖的培养基中发酵一些丝状真菌发现,当蔗糖浓度高时,有大量的 FOS 产生;但如果蔗糖浓度低,FOS 则被分解为葡萄糖和果糖,用作能源。可用于工业化生产的酶活力高,区域专一性强的真菌菌株是在 80 年代后期发现的,日本学者 Hidaka 等<sup>[22]</sup>首先研究了高产黑曲霉菌株的果糖基转移酶,然后又成功地应用于工业化生产 FOS 糖浆。其他学者则分别发现了一些可应用于工业化生产的酶活力很高的菌株,例如米曲霉(*A. oryzae*)<sup>[23]</sup>,出芽短梗霉(*Aureobasidium pullulans*)<sup>[6]</sup>,海枣曲霉(*Aspergillus phoenicis*)<sup>[24]</sup>和短梗帚霉(*Scopulariopsis brevicaulis*)<sup>[25]</sup>等。

来源不同的果糖基转移酶的酶促反应机理可能也不同,在植物和某些微生物中,有一系列的酶参与 FOS 的合成反应,但对于大多数的微生物来说,催化反应的酶系相对来说

要简单些,如图 2 所示。



图 2 合成蔗果低聚糖酶促反应机理

其中,G-F:Sucrose; G:Glucose; FTase:Fructosyltransferase GF<sub>2</sub>:1-kestotriose; GF<sub>3</sub>:1,1-kestotetraose; GF<sub>4</sub>:1,1,1-kestopentaose

与植物果糖基转移酶相比,微生物酶一般来说分子质量要大些,耐高温性强一些。微生物酶的最适 pH 为 5~6.5,最适反应温度则是 50~60℃。合成 FOS 的酶促反应可在很高浓度的蔗糖溶液中(700~850 g/L)进行,反应过程受杂菌污染的可能性较小,因此在工业生产上使用起来很方便。短梗霉的果糖基转移酶受 Hg、Cu 及 Pb 抑制<sup>[26]</sup>,但未发现激活剂。酶的专一性主要取决于蔗糖的 β-D-果糖残基。某些末端具果糖基的物质也可作为底物来合成寡糖。

### 3 工业化生产 FOS

#### 3.1 菊糖(inulin)水解生产 FOS 和 IOS

菊苣和洋菊的块根中均含有大量的果聚糖。聚合度大于 30 (degree of polymerisation, DP>30)的果聚糖易于从溶液中结晶出,称为菊粉或菊糖。

菊粉经内切菊粉酶部分酶解后即可制得蔗果低聚糖 FOS(GFn)和菊粉低聚糖 IOS(Fm)的混合物,再经精制处理后得 FOS 和 IOS 产品。比利时的 Rafinerie Tirlemontoise S. A. and Consucra 公司已有以菊粉为原料生产的此类产品,商品名为 Raftilose 和 Fibuline。产品的聚合度范围为 DP2~9。

#### 3.2 微生物酶转化生产 FOS

目前国内外绝大多数都是利用真菌产生的果糖基转移酶来进行 FOS 的工业化生产。发酵生产果糖基转移酶所常用的菌种有黑曲霉、出芽短梗霉和米曲霉等。这些菌种所产生的果糖基转移酶都是胞内酶。生产 FOS 的第一步是通过液体深层发酵来生产含酶量高的菌丝体。尽管不同菌种的发酵过程中的通气、搅拌速度、pH 和温度等重要参数有差别,但

发酵法生产果糖基转移酶的一般条件已得到确定:蔗糖是真菌细胞生长及获取最高酶活力的最佳碳源,维持 pH 5.5 以上很重要<sup>[6,22]</sup>。胞内果糖基转移酶在对数生长期之后有一部分释放到培养基中,这很可能是因为菌体自溶所致。增加  $Mg^{2+}$  浓度可提高胞内酶的活性,这一发现对采用固定化细胞生产 FOS 很重要。菌体通常可采用过滤或离心的方法来收集。如果想提取胞内果糖基转移酶,则必须首先使细胞破壁。

在获得含果糖基转移酶的菌体之后,理论上可采用以下的工艺来生产 FOS:(1)直接用酶液与蔗糖反应;(2)将菌丝体连同培养基一起倒入蔗糖溶液中进行液态深层发酵;(3)固定化细胞法;(4)固定化酶法。

直接用酶液来生产的难点在于必需先将菌体破壁(如使用溶菌酶破壁)。提酶后还需进行简单的纯化后才能使用。这种方法的缺点是酶不能重复利用,生产成本较高。此外,FOS 糖浆含杂质较多,去杂质的难度较大。目前未见用该法进行 FOS 工业化生产的报道。

液态深层发酵法生产 FOS 的第一步是通过发酵产生菌丝体,然后将菌丝体连同培养基一起转入蔗糖溶液(浓度约为 600 g/L)中,在搅拌的同时通入无菌空气,发酵,待 FOS 含量达 50%~55% 左右停止反应。糖浆然后需经过去除杂质、脱色、过滤等工序之后才能得到成品。该方法的难点在于后处理去杂质的难度大,工艺复杂。由中国食品发酵工业研究所承担的“寡果糖开发”课题已于 1997 年通过中试鉴定。所用菌种为黑曲霉,发酵罐达 1500 L,连续 8 批中试所产 FOS 的含量为 45.98%<sup>[27]</sup>。

固定化细胞法可连续生产 FOS,菌体内的酶被反复利用。日本、韩国的商品 FOS 糖浆都是采用该法来生产。日本人是用海藻酸钙凝胶包埋黑曲霉菌体来固定细胞<sup>[5]</sup>;韩国人采用同样方法,但所包埋的菌种是出芽短梗霉<sup>[28]</sup>。固定化细胞通常装在柱状恒温反应塔中。浓度为 600~850 g/L 的蔗糖溶液(温度约为 50℃)流过反应塔后产生 FOS,FOS 糖浆经脱色、脱盐、浓缩等工序后得 FOS 糖

浆。在 50℃ 下固定化细胞的稳定性为 3 个月左右。该生产方法可重复利用细胞内酶,减少了发酵生产菌体的费用,可降低生产成本。但是,保持固定化细胞反应器无菌,增加糖液流速,以及去杂质和脱色脱盐是该生产方法需解决的主要问题。

固定化酶法有 2 个不易突破的技术性难点:(1)是大规模破壁以提取胞内酶;(2)是提高酶固定化的效率,使酶在固定化过程中的失活率低、活性稳定,这是用该法进行工业化生产的前提。可能是这两大技术难点不易解决,目前国内外均未见工业化生产采用固定化酶的报道。但固定化酶法的优点也是非常诱人的,如单位体积生产能力比固定化细胞高,产品避免了细胞其他代谢产物的污染,其产品的杂质少,后处理工艺简单,生产成本降低等。作者的课题组在实验室研究成功的基础上<sup>[2]</sup>,目前已在解决固定化酶工业化生产技术难点方面取得突破性进展,所采用的细胞破壁及酶固定化技术属国际先进技术。中试规模的整个工艺技术已于 1998 年 12 月通过省级鉴定。用该法生产的 FOS 糖浆由于杂质少,反应过程中无色素及其它代谢物产生,因此产品不需脱色、脱盐,可简单到只需用过滤法将糖浆与固定化酶分开即可,FOS 含量稳定在 55% 以上,产品清香、透明、口感好。固定化酶的稳定性很好,可长期保存,需要时再取出用于生产。

高含量 FOS 的生产。用上述方法生产的糖浆,FOS 含量都在 60% 以下,糖浆实际上是由 FOS、未反应的蔗糖、副产物葡萄糖和极少量果糖组成。产品纯度不高,限制了 FOS 的一些重要功能的应用。因此,有必要生产 FOS 含量高的产品。酶法生产高含量 FOS 糖浆,从理论上说可采用果糖基转移酶加上葡萄糖异构酶或葡萄糖氧化酶组成混合酶系来催化反应进行,但韩国学者报道加入葡萄糖异构酶的效果差<sup>[14]</sup>,而在反应体系中加入葡萄糖氧化酶,将葡萄糖氧化为葡萄糖酸,然后再除去葡萄糖酸,可获得 FOS 含量达 98% 的产品<sup>[29]</sup>。我国学者也进行了这方面的研究<sup>[3]</sup>。另外,也有一些作者做过用离子



交换柱层析来纯化 FOS 的实验<sup>[30]</sup>, 结果表明回收率太低而无法用于生产。

#### 4 分析方法及质量监控

对低聚糖的分离分析, 目前高效液相色谱法(HPLC)仍是最有效的手段之一。HPLC 分离测定主要有两种类型, 一种是采用阳离子交换柱或凝胶柱, 以水、醋酸钙溶液或稀酸等为流动相; 另一种是用氨基化学键合固定相柱, 流动相多为乙腈-水的混合溶液<sup>[31]</sup>。

HPLC 测糖大多采用示差折光检测器(RID), 但其灵敏度低, 对糖的检测限一般在  $\mu\text{g}$  级水平, 对温度变化很敏感, 不能采用梯度洗脱, 在分离测定方面受到一定限制。另一方面, 对 FOS, 由于  $\text{GF}_2$ ,  $\text{GF}_3$ ,  $\text{GF}_4$  等都是非还原性低聚糖, 很难采用衍生化后再用灵敏度高的紫外检测器或荧光检测器检测来提高检测的灵敏度。我们采用新型的检测器, 如蒸发式光散射检测器(ELSD)、脉冲电化学检测器, 以及使用高效阴离子交换色谱柱, 使分离更好, 且具有灵敏度高, 快速和可进行梯度洗脱等特点。对碳水化合物(特别是低聚糖)化学结构的分析确认, 一般采用甲基化分析和高分辨核磁共振谱(NMR), 尤其是使用先进的二维谱(2D-NMR)所提供的结构信息是准确的, 令人信服的<sup>[32]</sup>。

### 5 功能和应用

#### 5.1 理化性质和食品加工学特性

表 2 几种常见新型低聚糖的种类和功能

| 序号 | 名 称    | 消化吸收性 | 龋齿性 | 双歧增值因子 | 降低胆固醇作用 | 血糖值 | 参考文献         |
|----|--------|-------|-----|--------|---------|-----|--------------|
| 1  | 蔗果低聚糖  | 难消化   | 低   | 有      | 有       | 无   | [35~37]      |
| 2  | 偶合糖    | 消化吸收  | 低   | 无      | 无       | 上升  | [35, 36, 38] |
| 3  | 异麦芽低聚糖 | 部分消化  | 低   | 有      | 未研究     | 上升  | [35~39]      |
| 4  | 帕拉金糖   | 消化吸收  | 低   | 无      | 无       | 上升  | [35, 36]     |
| 5  | 低聚半乳糖  | 难消化   | 低   | 有      | 未研究     | 未研究 | [35, 36, 40] |
| 6  | 低聚果糖   | 难消化   | 低   | 有      | 未研究     | 难   | [35~38]      |
| 7  | 大豆低聚糖  | 难消化   | 低   | 有      | 未研究     | 难   | [36~38, 40]  |
| 8  | 低聚木糖   | 难消化   | 低   | 有      | 未研究     | 难   | [36]         |

从表 2 中可以看出蔗果低聚糖的生理学功能是比较全面、突出的。这方面的研究 80 年代日本学者进行了很多<sup>[41~43]</sup>, 国内近年来有关译文、综述也有介绍<sup>[35~36]</sup>。90 年代以来, FOS 的研究开发在欧美引起重视。进

纯化后的蔗果三糖(1-kestotriose)为细的白色结晶, 旋光度  $+28.5^\circ\text{C}$ , 熔点  $199\sim 200^\circ\text{C}$ , 纯化后的  $\text{GF}_2$ ,  $\text{GF}_3$  和  $\text{GF}_4$  的甜度分别为等量蔗糖的 31%、22%、16%。作者按中试规模用固定化酶法生产的蔗果低聚糖产品是  $75^\circ\text{Bx}$  的糖浆, 与日本和台湾的同类产品相似, 其固形物中各种糖的成分如表 1 所示。

表 1 商品 FOS 固形物中含各种糖成分

| 产品名称            | 果糖 % | 葡萄糖 % | 蔗糖 %  | 低聚糖 % | 文献   |
|-----------------|------|-------|-------|-------|------|
| 广西大学中试产品        | <1   | 30~34 | 7~12  | 50~55 |      |
| 日本 Neosugar G   | 3    | 30~35 | 10~15 | 50~55 | [33] |
| 台湾 Tsc Oligo-50 | <1   | <21   | <27   | >50   | [34] |

3 种产品的低聚糖含量都在 50%~55%, 其甜度约为蔗糖的 40%~60%, 粘度、水分活性和保温性和蔗糖相似, 具有蔗糖在食品加工学方面的优良特性。

#### 5.2 生理学功能

由于蔗糖在甜味、食品加工学方面具有良好的风味和特性, 故它是至今使用得最多的甜味剂。但近年研究表明, 蔗糖具有龋齿性, 过量摄食容易成为肥胖、糖尿病和心血管疾病的诱因。因此, 开发一种能取代蔗糖的甜味剂很有必要。80 年代以来, 在全球性保健食品的研究热潮中, 涌现了一大批具有生理学功能的新型低聚糖, 对其中常见的几种低聚糖及其功能的比较总结如表 2。

一步的研究, 确认了 FOS 对人类、动物具有十分有益的生理功能, 并提出了 FOS 起作用的途径和机理。概括地说, 由于其独特的结构, FOS 不被消化道的胃酸和酶消化, 而直达大肠, 被双歧杆菌选择性的利用, 使其迅速

增殖,从而产生一系列短链脂肪酸,使肠道内pH值趋向酸性,抑制有害菌群的生长。同时,降低了某些有害还原酶的活性,减少肠道内致癌、有毒代谢物的生成和积累,提高人体对某些疾病的免疫力,对预防大肠癌很有益处。另外,FOS作为一种天然存在的的水溶性膳食纤维,还有降低血清胆固醇,改善脂质的作用。

Howard等报道<sup>[44]</sup>,喂饲添加FOS的小鼠与对照组比较,其肠内双歧杆菌浓度以及双歧杆菌对总厌氧细菌的比率均显著提高( $P<0.05$ )。Gibson等报道<sup>[45]</sup>,8名受试者在45d的控制饮食试验中,在中间的15d中每天服用15g的FOS,与每天服用15g蔗糖的结果相比较,粪便中双歧杆菌数从 $8.8\log(10)/g$ 增加到 $9.5\log(10)/g$ ,而梭菌、腐败菌等减少。Buddington等报道<sup>[46]</sup>,对12个健康成年人的为期42d的控制饮食试验中,在第7~32d,给予日服FOS 4g,发现不仅粪便中双歧杆菌数增加,而且一些有害的还原酶活性下降,其中 $\beta$ -葡糖醛酸糖苷酶( $\beta$ -glucuronidase)和甘氨酸胆酸羟基酶(glycocholic acid hydroxylase)活性分别下降75%和90%。当停止补给FOS后,两者的活性又增加。试验结果表明,日服4g FOS以降低某些还原酶活性的方式改变了粪便的菌群,对人体健康十分有益。另外,有文献报道,FOS在猪精子的冷冻保存,解冻过程中起活性保护作用<sup>[47]</sup>。将FOS加入口服电解质(OES)中应用于治疗腹泻<sup>[48]</sup>、防癌变作用<sup>[49]</sup>等。

FOS还有一种很有价值的应用——作动物饲料中的功能性添加剂。在众多商品化的低聚糖中,迄今,只有FOS及其类似物IOS被美国FDA和日本厚生省等权威机构确认为有效的饲料添加剂。FOS能被动物的双歧杆菌、乳酸杆菌等有益菌群利用。在肠道中占优势后同样起整肠作用;产生有机酸,抑制病原菌及腐败菌的生长,有效地预防下痢,减少肠道中的胺、甲酚、甲基吡啶等腐败物的生成,并减少动物粪便中的臭味;有益菌群的代谢产物可以促进饲料消化,达到促进生长和增重作用并刺激肠道免疫器官生

长,提高巨噬细胞活性,提高动物抗体水平;据报道<sup>[42]</sup>,小猪断乳时,因随母猪而来的免疫消失,自身免疫尚未建立,常患痢疾,生长迟缓,这时投给FOS,与对照组比较,下痢明显减少,体重增加57%,饲料效率提高24%。另外,FOS使肉鸡增重明显,蛋鸡产蛋数由对照组的204.5个提高到FOS试验组的212.2个,饲料报酬1.80优于对照组的2.0,并使试验组的鸡蛋检不出沙门氏菌<sup>[35]</sup>。日本科学技术新闻报道<sup>[50]</sup>,3个星期内,给18头怀孕母猪喂食FOS直至产崽,其产奶量比对照组高出30%。Bunce等<sup>[51]</sup>进行了两组试验。第一组试验:16只7d龄小猪分为两组,同等喂奶条件下,试验组按每升奶添加1.5g FOS的量与对照组进行比较试验。7d后,用大肠杆菌(*E. Coli* K:88)威胁,对照组中,8头小猪就有7头感染大肠杆菌症状,而添加FOS组的8头小猪中只有1头出现同样症状,说明FOS确实能使小猪免受大肠杆菌的感染。第2组试验:给28d龄小猪喂食FOS,结果发现粪便中对甲基苯酚、吡啶、3-甲基吡啶等分泌物大约减少了3倍。

### 5.3 FOS的国内外市场开发

FOS最早是由日本的明治制果(Meiji-Seika)公司研究开发,于1984年进入市场。日本厚生省已于1992年批准FOS为特定保健食品。因此,FOS在日本被认为是食品,而非食品添加剂,已有500种以上的食品使用,80年代末,FOS年产量已达到4000t以上<sup>[52]</sup>,拥有世界上最大的FOS商业市场,1998年预期含FOS的各种产品在日本的销售额将达50亿美元<sup>[53]</sup>。台湾糖业公司和幸贸公司开发的FOS也已经商品化,含FOS的甜食、糕点、软饮料和饼干等在台湾保健食品市场很受欢迎<sup>[34]</sup>。在韩国,有三星集团的长一制糖厂,以及与日本明治制果公司协作生产FOS的厂家,产品已用于饮料食品等。在欧洲,荷兰、比利时、瑞典和英国等国的许多大学、研究机构都竞相开展有关FOS的研究,并且,FOS已被作为控制胆固醇水平的功能性甜味剂而广泛应用于许多食品产品中。在美国,尽管FDA的有关食品分类管理法规和条例中尚未有功能食品(functional

food)的明确定义和界定,但FOS对人体的有益作用正在日益引起美国医药和食品界的认可和重视。从90年代开始,美国国内对FOS的研究激增,日本和欧洲生产的FOS在美国已被作为一种天然存在的营养补剂(nutritional supplement),从1995年开始,由美国科罗拉多州的GTC公司引进,加工后,以片剂、胶囊、粉剂、口服液等形式正式在全美市场上销售<sup>[54]</sup>。

在我国,FOS开发起步较晚,作者的课题组用发酵法工艺生产FOS的技术,已于1994年在国内最早通过省级成果鉴定<sup>[1]</sup>,此后,无锡轻工大学和中国食品发酵工业研究所分别进行类似的研究<sup>[3,28]</sup>。虽然采用菌株不同,但都是液态深层发酵法。目前,在云南和大庆采用该法实现了年产3000t和200t的生产规模。作者的研究小组采用目前国际最新工艺——固定化酶法生产FOS,也已实现年产1000t的工业化规模生产,由于生产成本大幅度降低,因此,大大提高了产品的国内外市场竞争能力。

一些消费数据显示,消费者对于低热量的食物兴趣大增<sup>[55]</sup>。因此,具有生理功能而又不会引起血糖值升高的FOS的消费量可望继续提高。有迹象显示,不久的将来,FOS将被广泛应用于食品、饮料、饲料、卫生防疫、保健等许多领域。

### 参 考 文 献

- 1 魏远安等. 中国科技成果公报, 1995(1):54
- 2 魏远安等. 食品与发酵工业, 1995, 21(4): 12~16
- 3 江波等. 食品与发酵工业, 1996, 22(4): 1~7
- 4 林伟锋等. 食品与发酵工业, 1996, 22(4): 76~80
- 5 Suzuki M, Chatterton N J (Eds.). Science and Technology of Fructans. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A., 1993
- 6 Jung K H et al. Biotechnol. Lett., 1987, 9: 703~708
- 7 Straathof A J J et al. Carbohydr. Res., 1986, 146: 154~159
- 8 Bearing F. J. Biochem., 1953, 55: 93
- 9 Shiomi N et al. Agric. Biol. Chem., 1976, 40: 567~575
- 10 Shiomi N et al. Agric. Biol. Chem., 1979, 43: 1375~1377

- 11 Shiomi N. Carbohydr. Res., 1982, 99: 157~169
- 12 Allen P J, Bacon J S D. Biochem. J., 1956, 63: 200~206
- 13 Bhatia I S, Nandra K S. Phytochem., 1979, 18: 923~927
- 14 Yun J W et al. J. Korean Inst. Chem. Eng., 1993, 31: 846~851
- 15 Edelman J, Dickerson A G. Biochem. J., 1966, 98: 787~794
- 16 Edelman J, Jefford T G. New Phytol., 1968, 67: 517~531
- 17 Praznik W et al. Agric. Biol. Chem., 1990, 54: 2429~2431
- 18 Bhatia I S et al. Biochem. J., 1955, 61: 171~174
- 19 Henry R J, Darbyshire B. Phytochem., 1980, 19: 1017~1020
- 20 Darbyshire B, Henry R J. New Phytol., 1978, 81: 29~34
- 21 Shiomi N, Izawa M. Agric. Biol. Chem., 1980, 44: 603~614
- 22 Hidaka H et al. Agric. Biol. Chem., 1988, 52: 1181~1187
- 23 Pazur J H. J. Biol. Chem., 1952, 199: 217~225
- 24 Van Balken J A M et al. Appl. Microbiol. Biotechnol., 1991, 35: 216~221
- 25 Takeda H et al. J. Ferment. Bioeng., 1994, 77: 386~389
- 26 Hayashi S et al. J. Ind. Microbiol., 1991, 7: 251~256
- 27 广西轻工业编辑部. 广西轻工业, 1997(3): 55
- 28 Yun J W et al. Korean J. Biotechnol. Bioeng., 1993, 9: 35~39
- 29 Yun J W, Song S K. Biotechnol. Lett., 1993, 15: 573~576
- 30 Yun J W et al. Korean J. Biotechnol. Bioeng., 1993, 9: 35~39
- 31 沈小婉主编. 色谱法在食品分析中的应用. 北京: 北京大学出版社, 1992
- 32 魏远安等. 食品与发酵工业, 1997, 23(5): 31~38
- 33 斋藤安弘. New Food Industry, 1989, 31(6)
- 34 杨博文等. 广西轻工业, 1995(2): 44~45
- 35 朱钦龙译. 兽药饲料添加剂, 1996(3): 23~25
- 36 陈瑞娟. 食品与发酵工业, 1993, 19(2): 82~90
- 37 Sakai S. Food Chemical, 1993(2): 21~29
- 38 彭志英等. 中国食品工业, 1995(4): 16~17
- 39 Kohomoto T et al. Biosci. Biotechnol.

(上接第 54 页)

Biochem., 1992, 56: 937~940

40 马延和, 周培瑾. 食品与发酵工业, 1992, 18 (1): 80~82

41 Hidaka H et al. Bifidobacteria Microflora, 1986, 5: 37~50

42 日高秀昌等. Nippon Nogeikagaku Kaishi, 1987, 61(8): 915~923

43 Oku T et al. J. Nutr., 1984, 114: 1574~1581

44 Howard M D et al. J. Nutr., 1995, 125: 2604~2609

45 Gibson G R et al. Gastroenterology, 1995, 108: 975~982

46 Buddington R K et al. Am. J. Clin. Nutr., 1996, 63(5): 709~716

47 Masuda H et al. Japanese Journal of Swine

Science, 1993, 30(1): 11~15

48 Oli M W et al. Abstracts of 95th General Meeting of the American Society for Microbiology, Washington, D. C., USA, May 21~25, 1995: 205

49 Koo M, Rao A V. Nutr. Cancer, 1991, 16 (3~4): 249~257

50 Japan Sci. /Tech. news, 1994, 10

51 Bunce T J et al. 1995 Research Report, National Pork Producers Council (U. S. A.)

52 Food Chemicals (Japan), 1989, 10: 10

53 Bulletin of The Life Extension Foundation (U. S. A.), 1998

54 Bulletin of Golden Technologies (GTC), Inc., Colorado, U. S. A., 1996

55 Stamp J A. Cereal Foods World, 1990, 35: 395~400

## Fructooligosaccharide —— An Overview of Its Enzymatic Research, Industrial Production and Application

Wei Yuanan Yao Pingjia Xie Qingwu Liang Jingtian

(Biotechnology Research Center of Guangxi University, Nanning, 530004)

**ABSTRACT** Fructooligosaccharide (FOS) are naturally occurring carbohydrates that have been reported in a variety of plants. Scientific investigation has proved that FOS is indigestible and pass intact into the colon, where they are selectively utilized by the beneficial bacteria, e. g. bifidobacteria. As a result, FOS has the ability to promote optimal colonic flora, lower colonic pH, and may have the potential for prevention of colon cancer. Using the enzyme, fructosyltransferase, this nature-occurring compound can be produced industrially from sucrose. Current advance and development of fructooligosaccharide (FOS) research and production in China and abroad were reviewed. Focus was placed on the enzyme research and preparation related to FOS synthesis, the process and technology for FOS's industrial production, and the application development of FOS in various areas.

**Key words** fructooligosaccharide, fructosyltransferase