

# 燕麦 $\beta$ -葡聚糖的物理特性和生理功能研究进展

杨卫东, 吴晖, 赖富饶, 陆玲, 王蓓蓓, 刘志雄

(华南理工大学轻工与食品学院, 广州 广东 510640)

摘要: 本文综述了燕麦  $\beta$ -葡聚糖的特性以及生理功能, 展望了燕麦  $\beta$ -葡聚糖作为一种功能性营养因子的应用前景。

关键词: 燕麦;  $\beta$ -葡聚糖; 膳食纤维; 流变学特性; 热稳定性; 短链脂肪酸

中图分类号: TS202.3; 文献标识码: A; 文章编号: 1673-9078(2007)08-0090-04

## Research on Properties and Physiological Functions of Oat $\beta$ -glucan

YANG Wei-dong, WU Hui, LAI Fu-rao, LU Ling, WANG Bei-bei, LIU Zhi-xiong

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640 China)

**Abstract:** The properties and physiological functions of oat  $\beta$ -glucan were reviewed and the application of the oat-glucan as a functional nutritional factors was prospected.

**Key words:** oat;  $\beta$ -glucan; dietary fiber; rheological properties; heat stability; short-chain fatty acid(SCFA)

燕麦是一种较耐旱、耐寒、耐瘠、喜阴凉、长日照的一年生禾本科作物<sup>[1]</sup>。是世界上主要的农作物之一。燕麦一般分为带稃型和裸粒型两大类, 目前国外燕麦以带稃型为主, 常称为皮燕麦; 我国燕麦以裸粒型为主, 称为裸燕麦<sup>[2]</sup>。燕麦的高营养价值不仅表现在其富含蛋白质、油脂等营养成分, 更主要的是因其含有  $\beta$ -葡聚糖。

$\beta$ -葡聚糖是一种水溶性非淀粉多糖, 主要存在于燕麦籽粒的糊粉层和亚糊粉层中, 燕麦经加工处理后, 主要存在于麸皮中。M.Papageorgiou 等<sup>[3]</sup>研究表明皮燕麦麸皮中  $\beta$ -葡聚糖的干基含量一般为 2.1%~3.9%。它通过  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)和  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)糖苷键把  $\beta$ -D 吡喃葡萄糖单位连接起来而形成的一种高分子无分支线性黏多糖, 其中约含有 70%的  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)键和 30%的  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)键<sup>[4-5]</sup>。无论从营养还是从加工方面来讲,  $\beta$ -葡聚糖溶液都具有其独特的性质, 人们利用它的这一物理特性加工成增稠剂、稳定剂等。经大量的研究证实  $\beta$ -葡聚糖能够降低血糖和胆固醇<sup>[3-5]</sup>、防止便秘、降低直肠癌的发病率, 发酵产生短链脂肪酸(SCFA)能促进肠道有益细菌的繁殖, 并且还能减少心血管疾病、预防糖尿病等生理功能。 $\beta$ -葡聚糖分子量比较大, 溶于水后能形成高黏度的溶液。本文对燕麦  $\beta$ -葡聚糖的物理特性及其生理功能进行了概述。

## 1 燕麦 $\beta$ -葡聚糖的特性

### 1.1 $\beta$ -葡聚糖的流变学特性

$\beta$ -葡聚糖的功能特性, 主要是其在溶于水和进入小肠后所显示出来的独特功能性质。即使在相对比较低的浓度范围内, 它的黏度都很高<sup>[6]</sup>, 当浓度达到 2 g/L 以上时, 具有假塑性流体的特性, 其表观粘度值随剪切速率的增大而减小。这就为其在食品中作为增稠剂和稳定剂奠定了基础。Autio, Myllymaki 等<sup>[4]</sup>研究表明: 浓度低于 1%时候,  $\beta$ -葡聚糖显示出较好的均质特性和黏性流体特性, 如同甘油一样。然而, 当浓度达到 2%时候,  $\beta$ -葡聚糖就会显示出一些异质和黏弹性, 所有这些性质的变化发生在浓度 1%~2%之间的很狭窄的范围内。这种特性的改变可能与  $\beta$ -葡聚糖分子链与链之间在高浓度条件下强烈的相互作用以及聚合有关。从燕麦中提取出  $\beta$ -葡聚糖, 其流变学特性比较复杂, 主要受物料来源、前处理技术和提取液的浓度, 温度和 pH 值的影响。酸对  $\beta$ -葡聚糖稳定性的影响比较小, 但随着温度的上升, 其黏度会发生不同程度的下降。

$\beta$ -葡聚糖溶液的黏度随剪切速率的升高而降低, 表现出非牛顿流体的性质<sup>[7]</sup>。张美莉等人研究表明: 随着剪切速率的增加, 相邻浓度间  $\beta$ -葡聚糖溶液的黏度变化不显著, 但都呈下降的趋势, 在高浓度范围内随着  $\beta$ -葡聚糖溶液浓度的降低, 其溶液的黏度明显下降。这可能是由于溶液中  $\beta$ -葡聚糖分子具有长的线性分子链, 而且分子间存在相互缠绕和交联, 在静止或

收稿日期: 2007-07-11

作者简介: 杨卫东 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为粮油科学工程

通讯作者: 吴晖, 教授

低剪切速率下将保持内部的不规则次序。因此,具有很高的内部阻力阻碍流动,随剪切速率的增大,悬浮于液体中的颗粒将沿顺长轴顺次的方向流动,链状分子沿驱动力方向缠绕、拉伸和取向,排列后的颗粒或分子更容易相互滑过,导致黏度迅速下降。另一个可能的原因是 $\beta$ -葡聚糖分子中含有大量的亲水性基团,静止状态下溶质分子与水分子存在着一种相互包容的关系,剪切速率的加大使得溶解的 $\beta$ -葡聚糖分子脱出一层溶剂,形成溶质分子外膜,于是引起流动阻力分子间的相互作用力减弱,从而导致黏度的下降<sup>[8]</sup>。

### 1.2 $\beta$ -葡聚糖的热稳定性

温度对 $\beta$ -葡聚糖溶黏度的影响很大,温度升高,黏度迅速下降。但其热稳定性的高低与溶液的 pH 值有关。高聚林等人的研究表明<sup>[1]</sup>:在中性条件下, $\beta$ -葡聚糖较其他食用糖具有更好的热稳定性。在不同温度下处理不同 pH 的 $\beta$ -葡聚糖溶液一段时间后,其黏度均有所下降。这是由于 $\beta$ -葡聚糖溶液在酸性条件下很容易发生水解。

### 1.3 $\beta$ -葡聚糖的加工特性

目前,研究的重点主要集中在可溶性膳食纤维上,尤其是用 $\beta$ -葡聚糖生产低脂冰激淋和酸乳酪。 $\beta$ -葡聚糖与其它可溶性纤维一同添加到低脂食品中,可使其爽口,改变其色泽和风味,其感官特性与全脂食品非常相似。这可能与 $\beta$ -葡聚糖凝胶化能力和它能形成一种弹性的酪蛋白-蛋白-葡聚糖糊精有关。

关于 $\beta$ -葡聚糖的加工特性,目前的报道很少。加工过程可改变其分子大小(化学结构和聚合度)、结构(分子间相互作用)、功能特性(黏度,吸水能力和溶解性),而这些反过来影响食品的感官和物理特性,最终会影响对人体的健康程度。加工过程中 $\beta$ -葡聚糖特性的改变可能源于机械加工或高温处理对其造成一定程度的破坏。商业纯化过程中可导致其结构的改变,例如,线性结构的解体,最终导致分子量和黏度的降低。把 $\beta$ -葡聚糖加入到面包中表明增加搅拌和发酵时间导致其分子量的降低。

## 2 生理功能

### 2.1 降低胆固醇

从燕麦中所提取的 $\beta$ -葡聚糖表面带有很多活性基团,可以吸附螯合胆固醇、胆汁酸以及肠道内的有毒物质(内源性毒素)、化学药品和有毒医药品(外源性毒素)等有机化学物,从而可以有效地降低人体内胆固醇的含量。Bell 等<sup>[9]</sup>研究表明:燕麦 $\beta$ -葡聚糖有吸收胆汁和促进胆汁酸排出体外的作用,并且促进胆固

醇向胆汁酸转化,有效抑制血清中胆固醇的上升。同时,燕麦 $\beta$ -葡聚糖的利便作用也有助于肠道中的胆固醇在吸收之前,就被排出体外。Brennan 等<sup>[10]</sup>经过研究发现, $\beta$ -葡聚糖能影响胃肠上部活动,在人体中能形成一种凝胶状的网络结构,并且能够改变胃肠液黏度,这可能是由于在胃酸的作用下,其黏度降低所致。燕麦 $\beta$ -葡聚糖进入人体以后,首先,它取代了饮食中的脂肪和热量。其次,它能从生理功效上降低血液中的胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇,增加高密度脂蛋白,具有双效作用。

Dani e k 等<sup>[11]</sup>人研究也证实了燕麦 $\beta$ -葡聚糖具有降低胆固醇的作用,尤其对低密度脂蛋白(LDL)胆固醇的效果最明显。Kerckhoffs 等<sup>[10]</sup>人进一步把 $\beta$ -葡聚糖添加到橘子汁当中,研究发现,每天饮用此种饮料,人体中低密度脂蛋白(LDL)胆固醇降低了 6.7%,并且低密度脂蛋白(LDL)胆固醇与高密度脂蛋白(HDL)胆固醇的比率降低到 15.4%。FDA 认为: $\beta$ -葡聚糖不仅是人体不可缺少的营养因子,而且还能降低胆固醇的含量,并推荐每天摄入 3 g  $\beta$ -葡聚糖以满足人体对营养物质的需求。Bell 等<sup>[9]</sup>(1997)曾报道坚持每天食用 2.1 g  $\beta$ -葡聚糖,可使胆固醇的含量下降 9.5%。

虽然 $\beta$ -葡聚糖能够降低人体胆固醇含量的机理尚未探明,但已证实,它能增加小肠的蠕动,减少人体对胆固醇的吸收和胆汁酸的重吸收过程。因此它作为一种功能性因子,在食品中的应用前景非常广泛。

### 2.2 调节血糖

$\beta$ -葡聚糖是非淀粉类碳水化合物,本身是低能量、低糖分的。食用富含 $\beta$ -葡聚糖的食品可降低人体血糖含量,尤其是糖尿病患者。研究认为<sup>[12]</sup>,这是由于燕麦 $\beta$ -葡聚糖能提高食物消化物的黏性,从而导致葡萄糖吸收过程的延缓,达到调节血糖的作用。郑建仙<sup>[12]</sup>等指出,燕麦 $\beta$ -葡聚糖制成的药物 Oatrim 对中度胆固醇血糖病人的临床试验过程中发现燕麦 $\beta$ -葡聚糖能够提高机体耐糖能力,长期的观察发现燕麦 $\beta$ -葡聚糖不论对胰岛素依赖型(I型)糖尿病人还是非胰岛素依赖型(II型)糖尿病人都有效地控制其血糖。健康人和糖尿病人食用从燕麦麸皮中提取的 $\beta$ -葡聚糖或燕麦麸皮,都能降低食后血糖和胰岛素水平,且对非胰岛素依赖型(II型)病人的作用最大,其效用与燕麦 $\beta$ -葡聚糖食用量成正比,用量大,其效果越明显。

### 2.3 调节机体免疫功能

对燕麦 $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)(1 $\rightarrow$ 4)-葡聚糖进行的动物试验研究表明燕麦 $\beta$ -葡聚糖具有调节免疫力的功能<sup>[12]</sup>。

Estrada 等<sup>[12]</sup>就燕麦  $\beta$ -葡聚糖作用于感染 *E.vermiformis* 菌的老鼠进行了研究,从感染菌开始前 10 d 到试验结束每天给每只老鼠注射 100  $\mu\text{g}$  的抗炎药地塞米松 (DXM), 试验分为三组, 其中一组每天每只老鼠口服 3 mg 燕麦制剂 (燕麦  $\beta$ -葡聚糖含量 68.2%), 一组皮下注射 500  $\mu\text{g}$  燕麦制剂 (燕麦  $\beta$ -葡聚糖含量 68.2%), 另一组不给予燕麦  $\beta$ -葡聚糖 (对照组), 最后发现与对照组相比, 其它两组几乎没有表现出临床症状、没有死亡, 试验结果说明燕麦  $\beta$ -葡聚糖增强已经感染 *E.vermiformis* 菌地老鼠有抵抗力的效果。

Christof 等<sup>[13]</sup>的研究证实了燕麦  $\beta$ -葡聚糖可与人体免疫系统的巨噬细胞结合, 增强巨噬细胞的活性及吞噬能力, 从而增强动物的抗病能力。Murphy 等<sup>[14]</sup>用 Muis 做试验, 表明燕麦  $\beta$ -葡聚糖能抑制肺肿瘤细胞的转移和扩散, 同时增强了巨噬细胞的抗肿瘤功能。

#### 2.4 改变肠道系统中微生物群落组成

燕麦中的非淀粉可溶性多糖经食道到肠道时不能被唾液淀粉酶等酶分解吸收。但对形成肠道良好的环境有重要的生理作用<sup>[12]</sup>。由于能改善有益细菌的繁殖条件, 使得如双歧杆菌等群落迅速扩大, 这对抑制腐生菌生长, 维持维生素供应、保护肝脏等都是十分重要的。

申瑞铃等<sup>[15]</sup>人研究证实了燕麦  $\beta$ -葡聚糖可减少粪便和肠道中的大肠杆菌而增加乳酸杆菌的数量, 可以在结肠远端发酵产生短链脂肪酸 (SCFA) 被结肠黏膜迅速吸收, 有调节肠道菌群作用, 可以作为人体的益生元。

燕麦  $\beta$ -葡聚糖在结肠发酵产生 SCFA, 双歧杆菌和乳酸杆菌在自身的代谢过程中也产生 SCFA, 这降低了肠道的 pH 值, 肠道酸性环境具有较强的抑菌作用, 能控制病原菌的生长和繁殖, 减少肠道中的需氧菌, 特别是肠杆菌科<sup>[16]</sup>, 同时发酵产生的 SCFA 可作为结肠细胞供能物质, 能够稳定 DNA 和修复结肠上皮细胞的损伤<sup>[17]</sup>。当发酵产生的短链脂肪酸浓度达到 90 mmol/L 时<sup>[18]</sup>, 其能作为结肠粘膜首选的能源底物。SCFA 能增进钠吸收, 促进结肠上皮细胞增殖与粘膜生长, 提供代谢能源, 增加肠血流, 刺激胃肠激素生成, 是结肠粘膜重要的营养素。

#### 2.5 降低血压

膳食纤维化学结构中所包含的羧基、羟基、氨基等侧链基团, 可产生类似弱酸性阳离子交换树脂的作用, 可与阳离子尤其是有机阳离子进行可逆的交换。燕麦  $\beta$ -葡聚糖同样也具有阳离子交换作用<sup>[19]</sup>。它可与

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  等离子进行交换, 这种可逆的交换作用, 不是单纯的结合而减少机体对离子的吸收, 而是改变离子的瞬间浓度, 一般是起稀释作用并延长它们的转换时间, 而影响消化道的 pH 值、渗透压及氧化还原电位, 并出现一个更缓冲的环境以利于消化吸收。更重要的是它能与肠道中的  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  进行交换, 促使尿液和粪便中大量排出  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , 从而降低血液中的 Na / K 比, 直接产生降低血压的作用。

#### 2.6 $\beta$ -葡聚糖抗营养特性

燕麦作为饲料, 和其他饲料混合使用, 其所含有的  $\beta$ -葡聚糖会影响动物对营养物质的消化和吸收。因此被认为是一种主要的抗营养因子。其作用的机理主要有以下几个方面: ①燕麦  $\beta$ -葡聚糖进入动物的肠胃, 会降低食糜通过的速度, 并与酶和底物结合, 降低动物对饲料养分的吸收; ②由于  $\beta$ -葡聚糖所具有的高亲水性, 导致肠粘膜表面水分子层的厚度增加, 这样就不利于饲料中营养物质通过肠粘膜上皮细胞, 降低饲料养分吸收; ③ $\beta$ -葡聚糖还可吸附  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  等离子, 从而影响矿物质代谢。

### 3 结语

随着人们对健康问题的日益关注, 开发低能量、低蛋白含量的食品已经是食品工业发展的一个方向。对富含  $\beta$ -葡聚糖的食品, 需求量日益增大, 加强这一领域的研究具有重要的经济效益和社会效益。尽管国外学者对  $\beta$ -葡聚糖的生理功能已作了一些初步研究并证明其具有降糖、降脂的作用, 但对其作用机理仍缺乏足够的了解, 这无疑阻碍  $\beta$ -葡聚糖的进一步开发与利用。同时,  $\beta$ -葡聚糖分子结构、分子大小及分子构象在其生理功能中所起的作用有待进一步研究, 而这种研究对最大限度的发挥  $\beta$ -葡聚糖的生理功能具有极大的指导意义。

因此, 应加强  $\beta$ -葡聚糖降糖、降脂的作用机理的研究;  $\beta$ -葡聚糖的分子结构、分子大小及构象与生理功能之间关系的研究; 利用生物技术开发含高  $\beta$ -葡聚糖燕麦品种的研究; 进行  $\beta$ -葡聚糖提取工艺及其工业化生产的关键技术研究。加强燕麦  $\beta$ -葡聚糖领域的研究, 不仅能够促进我国燕麦资源的充分利用, 使农副产品增值, 而且可以制造出功能性良好的食品, 提高人们的生活水平。

### 参考文献

- [1] 张美莉, 高聚林. 裸燕麦麸皮  $\beta$ -葡聚糖特性及食用胶的比较研究[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(8): 44-47

- [2] 周建新.大有发展前途的燕麦保健食品[J].食品科技,1996(6):55-56
- [3] M.Papageorgiou, N.Lakhdara. Water extractable (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D glucans from barley and oats :An intervarietal study on their structural features and rheological behaviour [J].Journal of cereal science, 2005(42):213-224
- [4] Autiok, Myllymakio. Flow properties of solution of oat $\beta$ -glucan[J].Food science, 1987,52 (5):564-568
- [5] Jeanlouis Peter,J Wood.Rheological properties of aqueous solution of (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D glucans from oats[J].Cereal chemistry,1995,72(4):442-447
- [6] G.Dongowski,B,Drzikova. Rheological behaviour of  $\beta$ -glucan preparations from oat products[J].Food chemistry, 2005(93): 279-291
- [7] 陈克复,卢晓江.食品流变学及其测量[M].北京轻工业出版社,1989
- [8] 管晓,瑶惠源.燕麦 $\beta$ -葡聚糖流变学特性的测定[J].中国粮油学报,2003,18(3):28-31
- [9] Bell S,Coldmann V M,Bistran B R,et al. Effect  $\beta$ -glucan from oat and yeast on serum lipids[J].Critical reviews in food science and nutrition. 1999,39(2):189-202
- [10] Charles S,Brennan .The potential use of cereal (1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D glucans as functional food ingredients [J].Journal of Cereal Science ,2005,42:1-13
- [11] Gerard H,Ronald P M. Cholesterol-lowering effect of  $\beta$ -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when  $\beta$ -glucan is incorporated into bread and cookies[J].The American Journal of Clinical Nutrition.
- 2003,78:221-229
- [12] 郑建仙.功能型膳食纤维[M].北京:化学工业出版社,2005
- [13] Christof R,Nancy A,Joanne S.Development of a monoclonal antibody based enzyme-linked immunosorbent assay to quantify soluble  $\beta$ -glucan in oats and barley[J].Journal of agricultural and chemistry,2003,51:5882-5887
- [14] Murphy E A, Davis J M,Brown A S,et al.Effects of moderate exercise and oat  $\beta$ -glucan on lung tumor metastases and macrophage antitumor cytotoxicity[J]. J Appl Physiol,2004, 97:955-959
- [15] 申瑞铃,王章存,董吉林,等.燕麦  $\beta$ -葡聚糖对小鼠结肠菌群及其功能的影响[J].营养学报,2006,28(5):430-433
- [16] Byrne CM and Dankert J.Volatile fatty acids and aerobic flora in the gastrointestinal tract of mice under various conditions [J].Infect Immun,1979,23:559-563
- [17] Sakata T.Stimulatory effects of short-chain fatty acids on the epithelial cell proliferation in the rat intestine :a possible explanation for trophic effect of fermentable fiber,gut microbes and luminal trophic factor[J].Br J Nutr,1987,58: 95-103
- [18] Y. MaK Ikki, E. Virtanen. Gastrointestinal Effects of Oat Bran and Oat Gum: A Review[J]. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 2001(34), 337-347
- [19] 周坚,肖安红.功能性膳食纤维食品[M].北京:化学工业出版社,2005
- [20] 张娟,杜先锋.燕麦  $\beta$ -葡聚糖的研究[J].农产品加工学刊, 2006, 7-34-37

## (上接第 89 页)

- [12] 冯治平,黄丹.还原剂对花生分离蛋白膜的保藏性能影响研究[J].食品科技,2007,(3):242-246
- [13] 郭乾初,欧仕益.阿魏酸在大豆分离蛋白制备可食性膜中的应用[J].食品工业科技,2002,23(1):24-26
- [14] 欧仕益,康宇杰,李爱军,等.阿魏酸对可食性大豆蛋白膜理化特性的影响[J].中国粮油学报,2003,3(18):47-50
- [15] 李红.利用谷氨酰胺转氨酶生产大豆蛋白食用保鲜膜的研究[J].食品科学,2001,1(22):73-75
- [16] 罗建锋,田少君.增塑剂对可食性小麦蛋白膜性能的影响[J].郑州工程学院学报,2003,2(24):35-38
- [17] 闫景坤,郭兴凤,田少君.冷藏温度对玉米醇溶蛋白膜的影响[J].食品工业科技,2007,3:178-180
- [18] 刘建,赵宁阳,黄锦辉,等.硬脂酸-海藻酸钠复合薄膜调料包装袋的研究[J].食品科学,1999(6):67-70
- [19] 阐建全,陈宗道,陈水红,等.可食包装膜与合成包装膜综合性质的对比研究[J].食品与发酵工业,1999,25(6):10-13
- [20] 仇厚援,贺利民.可食性木薯淀粉复合膜研究[J].食品科学,200021(7):1921-1925
- [21] Balasubramaniam V M, Chinan M S, Mslikarjunan P, Phillips R D. The effect of edible films on oil uptake and moisture retention of a deep-far fried poultry product[J]. Journal of Food Process Engineering, 1997,20(1):17-29
- [22] 任红,曹兵,杨洋,等.凝胶多糖与大豆分离蛋白可食性复合膜的制备[J].食品研究与开发,2007,3(128):109-111