菊粉和低聚果糖可增加钙的吸收利用

孙晓红 Vonk RJ 孙建琴(审校)

菊粉和低聚果糖作为功能性食品成分的开发在国外已作了较多的研究。功能性食品的目的是要维持机体良好健康状况和降低疾病的危险性。通过用益生源、益生菌调节胃肠道活动是发展功能性食品有效的途径之一。

益生菌是通过膳食供给的活的微生物,它们能通过影响肠道而对宿主产生有益的作用。最常用作益生菌的菌株主要是双歧杆菌和乳酸杆菌。目前,益生菌主要被用于发酵奶制品如酸奶中。

益生源是不消化的食品成分,它们通过选择性地刺激一种或有限几种肠道细菌的生长或活力而对宿主产生有益的作用。目前,最常用作益生源的食品成分是菊粉和低聚果糖^[1,2]。

人体大肠是寄生着大量微生物的生态系统。大约有400~500种细菌存在于大肠且数量可达 $10^{11} \sim 10^{12} \cdot \text{g}^{-1}$ 肠内容物。这些细菌大多数是严格的厌氧菌并进行着多种形式的发酵反应。大肠菌群的组成可由膳食类型控制。有些肠道细菌对人体健康有益,例如双歧杆菌和乳酸杆菌,这两种细菌不包含任何明显的致病菌株,双歧杆菌主要存在于母乳喂养婴儿粪便中并认为能提供保护以抵抗感染。在成年人它们可能是负责屏障功能和刺激健康免疫反应的主要菌株。而其他菌株可能对人体不利,例如梭状芽孢杆菌属、产硫杆菌属和发酵氨基酸杆菌属,它们可能产生毒素引起腹泻、造成粘膜损伤及激活致癌物^[3]。因而可通过供给益生源、益生菌调节肠道细菌组成向着有益人体健康的方向发展。

随着对结肠功能的理解和对功能性食品的认识,结肠对钙吸收的作用逐渐受到重视。通常钙吸收主要在小肠,但近年来很多研究发现当机体摄入在小肠不能消化吸收的碳水化合物(如膳食纤维、菊粉和低聚果糖)后,这些碳水化合物能进入大肠,从而改变肠道内环境,增加大肠钙吸收。

1. 菊粉和低聚果糖

(1)菊粉和低聚果糖的营养特性:菊粉和低聚果糖是天然的食物成分,它们以不同的百分比存在于小麦、洋葱、香蕉、大蒜和菊苣中。商业用菊粉是从菊苣根中提取的,其分子具有2~60个糖单位。低聚果糖可来源于菊苣,提取方法很象菊粉,主要区别为提取后用菊粉酶水解使其链长为2~10个糖单位。低聚果糖也可通过转果糖基从蔗糖合成。该步骤由 β -果糖呋喃糖酶加果糖基到蔗糖分子上。这种方式合成的低聚果糖含有2~4个果糖单位并与终端的葡萄糖分子相连^[4]。在欧洲市场上,菊粉和低聚果糖被广泛用作甜味剂、脂肪代用品、膳食纤维和低能量添加剂。

菊粉或低聚果糖是以 $\beta(2,1)$ 糖苷键相连的线性果糖聚合物。这种连接阻止了菊粉或低聚果糖象典型的碳水化合物在小肠分解。有证据表明它们不能被小肠吸收而被命名为不消化的低聚糖。用大鼠和人肠粘膜均质物或纯化酶(蔗糖麦芽糖酶、乳糖酶、淀粉酶)证明与蔗糖和乳糖相比,这些酶对菊粉或低聚果糖的亲合力或活性都是阴性的。体内研究显示在回肠造口术受试者,摄入菊粉后90%~95%又出现在肠液中,表明这些菊粉没有被消化吸收^[5]。

(2)菊粉和低聚果糖的代谢:菊粉和低聚果糖在胃和小肠不能被消化而顺次进入大肠。在大肠它们被细菌代谢产生短链脂肪酸(乙酸、丙酸、丁酸和乳酸)和气(二氧化碳、氢和甲烷)。很多研究已表明摄入菊粉和低聚果糖增加盲肠和粪中短链脂肪酸的量,虽然乙酸仍然是主要的短链脂肪酸,但丁酸相对增加较多。通常,发酵产生的短链脂肪酸的数量和类型依赖于细菌的类型、底物和结肠的环境pH。短链脂肪酸可被迅速吸收(95%),主要在盲肠和升结肠。丁酸是结肠细胞的主要能源材料,其他短链脂肪酸通过门脉循环进入肝。肝脏是主要的利用部位。可是,部分乙酸(20%~25%)可通过循环系统进入外周组织,主要在肌肉代谢^[6]。短链脂肪酸可供给肝和其他重要组织能量,且可调节很多关键的

作者单位:550004 贵阳医学院营养与食品卫生教研室(孙晓红);荷兰格罗林根大学医院儿科系营养与代谢实验室(Vonk RJ);上海第二医科大学医学营养教研室(孙建琴)

代谢途径。在溃疡性结肠炎病人发现有短链脂肪酸利用障碍,提示有能量缺乏状况^[7]。

(3)菊粉和低聚果糖刺激双歧杆菌生长:菊粉和低聚果糖可以作为厌氧菌尤其是双歧杆菌生长和增殖的底物。Gibson等^[8,9]用体外人体粪便细菌培养的方法表明菊粉和低聚果糖能选择性地刺激双歧杆菌的生长而维持潜在性病原菌如大肠杆菌 *E. Coli* 和梭状芽孢杆菌属在较低水平。此后,他们又调查了体内菊粉和低聚果糖对大肠菌群和结肠功能的影响。结果表明低聚果糖和菊粉明显增加粪中双歧杆菌,分别从 $10^{8.8} \cdot g^{-1}$ 到 $10^{9.5} \cdot g^{-1}$ 粪和 $10^{9.2} \cdot g^{-1}$ 到 $10^{10.1} \cdot g^{-1}$ 粪,而受试者食用低聚果糖时粪中类杆菌属、梭状芽孢杆菌属和梭形杆菌属降低,食用菊粉时粪中革兰氏球菌降低^[10]。Buddington 和 Kleessen 也得出了同样的结果^[11]。

2. 菊粉和低聚果糖对钙生物利用率的影响

在生长期大鼠和胃切除、盲肠切除与缺铁性贫血大鼠的疾病模型中研究表明菊粉和低聚果糖有提高肠道钙吸收、钙平衡和骨矿密度的作用,这些结论是根据矿物质平衡试验得出的。大鼠膳食中菊粉和低聚果糖的剂量范围为 5% ~ 20%^[12-15]。Morohashi 等^[16]用⁴⁵Ca 动力学方法检测了真实钙吸收率、机体钙排入肠道及钙从骨中进出的动力学过程。他们的结果肯定了低聚果糖能改善钙吸收和钙平衡。最近一些研究者用菊粉和低聚果糖进行了人体试验。9 个健康年轻人按 3 × 3 拉丁方设计每天被给予对照膳食或同样膳食含 40 g 菊粉或含 40 g 甜菜纤维,实验 28 d,测定膳食及尿、粪中的钙、镁、铁和锌。结果显示菊粉能明显增加表观钙吸收[(从 21.3 ± 12.25 %) 到 (33.7 ± 12.1) %]和钙平衡而不影响其他矿物质的储留^[17]。Van den Heuvel 等^[18]用稳定性同位素方法对 12 个年龄 14 ~ 16 岁的青少年测定了 15 g 低聚果糖对钙吸收的影响,钙吸收的百分率从 (47.8 ± 16.4) % (安慰剂) 上升到 (60.1 ± 17.2) % (低聚果糖)。最近的几个研究注意到菊粉和低聚果糖摄入后增加钙吸收对骨结构的影响。Ohta 等^[19,20]首先调查得出低聚果糖提高骨灰中矿物质浓度和骨矿密度。在此结论的基础上,Takahara 等^[21]用组织形态学和 X 射线微分析方法检测大鼠摄入低聚果糖是否影响股骨结构和骨矿物质浓度,结果显示股骨容量和骨矿物质浓度都有提高。低聚果糖在卵巢切除大鼠对骨矿化的作用受到膳食钙的影响。Scholz-Ahrens 等^[22]报道当没有摄入低聚果糖时,钙摄入从 $5 g \cdot kg^{-1}$ 增加到 $10 g \cdot kg^{-1}$ 不增加股骨钙含

量。可是,当加入低聚果糖时大鼠在高钙摄入时股骨钙含量增加更多($P < 0.01$)。它表明低聚果糖的刺激作用有剂量效应关系。他们也通过微放射图谱的方法证明在大鼠低聚果糖能有效阻止卵巢切除所致的骨小梁结构丢失^[23]。

3. 菊粉和低聚果糖刺激钙吸收的机制

菊粉和低聚果糖不能被胃和小肠消化吸收而顺次到达大肠,在大肠它们被发酵产生短链脂肪酸。它们刺激钙吸收的机制可能是:①发酵引起肠腔内 pH 降低,溶解性钙含量增加且促进被动弥散进入肠细胞。Demigne 等^[24]给予大鼠含 15% 菊粉和不同钙含量的饲料,结果表明给予大鼠 15% 菊粉当钙摄入为 $3 g \cdot kg^{-1}$ 时,盲肠 pH 从 7.0 降到 5.3,盲肠中溶解钙从 $(18 \pm 3) \mu mol$ 增加到 $(122 \pm 10) \mu mol$; 当钙摄入为 $8 g \cdot kg^{-1}$ 时,盲肠 pH 从 7.1 降到 5.9,盲肠中溶解钙从 $(28 \pm 4) \mu mol$ 增加到 $(132 \pm 12) \mu mol$; ②短链脂肪酸直接促进钙吸收,直接作用包括短链脂肪酸弥散进入顶端膜,在细胞内短链脂肪酸分子溶解且 H^+ 分泌出细胞, H^+ 与 Ca^{2+} 交换使钙进入细胞增加,同时肠腔内 H^+ 又可促进短链脂肪酸进入细胞内^[25]。Trinidad 等对 6 个健康成年人进行直肠灌注 $50 mmol CaCl_2 \cdot L^{-1}$ 和乙酸或丙酸,结果表明乙酸和丙酸在人远端结肠提高钙吸收,且丙酸的作用更强。他们解释为丙酸脂溶性比乙酸强能更迅速吸收^[26]; ③短链脂肪酸刺激肠上皮细胞增殖从而增加了吸收面积^[27]。④Ohta 等^[28,29]最近报道低聚果糖增加健康大鼠和胃切除大鼠大肠钙结合蛋白水平。并且这种增加不依赖膳食钙缺乏或血清 1,25 二羟维生素 D 水平。钙结合蛋白增加可增加钙吸收。

菊粉和低聚果糖改善骨结构的机制还不很清楚。需要做进一步的研究以了解菊粉和低聚果糖的作用是增加骨形成还是抑制骨吸收。

菊粉和低聚果糖刺激钙吸收的作用已被认可。很多研究提示摄入含菊粉和低聚果糖的膳食能改善骨矿密度。在动物实验低聚果糖剂量和骨矿密度之间有正相关关系且高钙摄入时更有效。进一步的研究应该阐明菊粉和低聚果糖改善骨结构的机制。以便开发菊粉和低聚果糖作为减轻骨质疏松危险性的功能性食品。

参 考 文 献

- 1 Roberfroid MB. Probiotics and prebiotics: are they functional foods? *Am J Clin Nutr*, 2000, 71 (Suppl): 1682S-1687S.
- 2 Collins MD, Gibson GR. Probiotics, prebiotics, and synbiotics: approaches

- for modulating the microbial ecology of the gut. *Am J Clin Nutr*, 1999, 69 (Suppl): 1052s-1057s.
- 3 Salminen S. Functional food science and gastrointestinal physiology and function. *Br J Nutr*, 1998, 80 (Suppl): S147-S171.
- 4 Ninnes KR. Inulin and oligofructose: what are they? *J Nutr*, 1999, 129: 1402s-1406s.
- 5 Delzenne NM, Roberfroid MR. Physiological effects of nondigestible oligosaccharides. *Lebensm. Wiss Technol*, 1994, 27: 1-6.
- 6 Schumann WC. Metabolism of (2-14C) acetate and its use in assessing hepatic krebs cycle activity and gluconeogenesis. *J Bio Chem*, 1991, 266: 6985-6990.
- 7 Roediger WEW. The colonic epithelium in ulcerative colitis: an energy-deficiency disease? *Lancet*, 1980, 2: 712-715.
- 8 Wang X, Gibson GR. Effects of the *in vitro* fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. *J Appl Bacteriol*, 1993, 75: 373-380.
- 9 Roberfroid MB. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *J Nutr*, 1998, 128: 11-19.
- 10 Gibson GR. Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. *Gastroenterology*, 1995, 108: 975.
- 11 Kleesen B. Effect of inulin on colonic bifidobacteria of elderly man. *FASEB J*, 1994, 8: A185.
- 12 Remesy C. Cecal fermentation in rats fed oligosaccharides (inulin) are modulated by dietary calcium level. *Am J Physiol*, 1993, 264: G855-G862.
- 13 Delzenne N. Effect of fermentable fructo-oligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rats. *Life Science*, 1995, 57: 1579-1587.
- 14 Ohta A. Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium and calcium by cecectomized rats. *Int J Vitam Nutr Res*, 1994, 64: 316-323.
- 15 Ohta A. Effect of fructooligosaccharides and other saccharides on Ca, Mg and P absorption in rats. *J Jpn Soc Nutr Food Sci*, 1993, 46: 123-129.
- 16 Morohaashi T. True calcium absorption in the intestine is enhanced by fructooligosaccharide feeding in rats. *J Nutr*, 1998, 128(10): 1815-1818.
- 17 Coudray C. Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementa-
tion on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *Eur J Clin Nutr*, 1997, 51: 375-380.
- 18 Van Den Heuvel EGHM. Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *Am J Clin Nutr*, 1999, 69(3): 544-548.
- 19 Ohta A. Dietary fructooligosaccharides prevent osteopenia after gastrectomy in rats. *J Nutr*, 1998, 128: 106-110.
- 20 Ohta A. Dietary fructooligosaccharides prevent postgastrectomy anemia and osteopenia in rats. *J Nutr*, 1998, 128: 485-490.
- 21 Takahara S. Fructooligosaccharide consumption enhances femoral bone volume and mineral concentration in rats. *J Nutr*, 2000, 130: 1792-1795.
- 22 Scholz-Ahrens KE, Van Loo J, Schrezenmeir J, et al. Effect of oligofructose on bone mineralization in ovariectomized rats is affected by dietary calcium. *Am J Clin Nutr*, 2001, 73: 498s.
- 23 Scholz-Ahrens KE, Van Loo J, Schrezenmeir J. Long term effect of oligofructose on bone trabecular structure in ovariectomized rats. *Am J Clin Nutr*, 2001, 73: 498s.
- 24 Demigne C, Levrat MA, Younes H, et al. Interactions between large intestine fermentation and dietary calcium. *Eur J Clin Nutr*, 1995, 49 (Suppl 3): 235-238.
- 25 Trinidad TP. Effect of acetate and propionate on calcium absorption in the rectum and distal colon of humans. *Am J Clin Nutr*, 1996, 63: 574-578.
- 26 Grege JL. Nondigestible carbohydrate and mineral bioavailability. *J Nutr*, 1999, 129(7 Suppl): 1434s-1435s.
- 27 Campbell JM. Selected indigestible oligosaccharides affect large bowel mass, cecal and fecal short-chain fatty acids, pH and microflora in rats. *J Nutr*, 1997, 127: 130-136.
- 28 Ohta A. Dietary fructooligosaccharides increase calcium absorption and levels of mucosal calbindin-D9k in the large intestine of gastrectomized rats. *Scand J Gastroenterol*, 1998, 33: 1062-1068.
- 29 Takasaki M, Inaba H, Ohta A, et al. Dietary short-chain fructooligosaccharides increase calbindin-D9k levels only in the large intestine in rats independent of dietary calcium deficiency or serum 1,25 Dihydroxy Vitamin D Levels. *Int J Vitam Nutr Res*, 2000, 70: 206-213.