

获得植物的染色体并进行遗传。而获得了不同染色体成分就可能致同种内生真菌的异质性^[28]。

2.3 我国植物内生真菌次生代谢产物的研究;我国学者对植物内生真菌化学成分的研究也取得了一些进展,但是由于样品量较少或者其他原因,对所分离化合物的活性报道较少。因此,对植物内生真菌及其次生代谢产物活性筛选方面的工作还需要进一步加强。

References:

- [1] Brady S F, Singh M P, Janso J E, *et al.* Cytoskyrins A and B, new BIA active bisanthraquinones isolated from an endophytic fungus [J]. *Org Lett*, 2002, 2(25): 4047-4049.
- [2] Schulz B, Boyle C, Draeger S, *et al.* Endophytic fungi: a source of novel biologically active secondary metabolites [J]. *Mycol Res*, 2002, 106(9): 996-1004.
- [3] Pelaez F, Cabello A, Platas G, *et al.* The discovery of enfumafungin, a novel antifungal compound produced by an endophytic *Hormonema* species. Biological activity and taxonomy of the producing organisms [J]. *Syst Appl Microbiol*, 2000, 23(3): 333-343.
- [4] König G M, Wright A D, Draeger S, *et al.* A new biologically active diterpene from the endophytic fungus *Geniculosporium* sp. [J]. *J Nat Prod*, 1999, 62(1): 155-157.
- [5] Wagenaar M M, Clardy J D. New antibiotic and cytotoxic dimers produced by the fungus *Phomopsis longicolla* isolated from an endangered mint [J]. *J Nat Prod*, 2001, 64(8): 1006-1009.
- [6] Isaka M, Jaturapat A, Rukserree K, *et al.* Phomoxanthones A and B, novel xanthone dimers from the endophytic fungus *Phomopsis Spec* [J]. *J Nat Prod*, 2001, 64(8): 1015-1018.
- [7] Kongsaree P, Prabpai S, Sriubolmas N, *et al.* Antimalarial dihydroisocoumarins produced by *Geotrichum* sp., an endophytic fungus of *Crassocephalum crepidioides* [J]. *J Nat Prod*, 2003, 66(5): 709-711.
- [8] Strobel G, Ford E, Worapong J, *et al.* Isopestacin, an isobenzofuranone from *Pestalotiopsis microspora*, possessing antifungal and antioxidant activities [J]. *Phytochemistry*, 2002, 60(2): 179-183.
- [9] Harper J K, Arif A M, Ford E J, *et al.* Pestacin: a 1,3-dihydro isobenzofuran from *Pestalotiopsis microspora* possessing antioxidant and antimycotic activities [J]. *Tetrahedron*, 2003, 59(14): 2471-2476.
- [10] Wegner C, Kaminsky R, König G M, *et al.* Ascocalipyrrolidinone A, an antimicrobial alkaloid from the obligate marine fungus *Ascochyta salicorniae* [J]. *J Org Chem*, 2000, 65(20): 6412-6417.
- [11] Li J, Strobel G A, Harper J, *et al.* Cryptocin, a potent tetramic acid antimycotic from the endophytic fungus *Cryptosporiopsis quercina* [J]. *Org Lett*, 2000, 2(6): 767-770.
- [12] Ratnayake A S, Yoshida W Y, Mooberry S L, *et al.* The structure of microcarpalide, a microfilament disrupting agent from an endophytic fungus [J]. *Org Lett*, 2001, 3(22): 3479-3481.
- [13] Wagenaar M M, Corwin J, Strobel G, *et al.* Three new cytochalasins produced by an endophytic fungus in the genus *Rhinochlaeniella* [J]. *J Nat Prod*, 2000, 63(12): 1692-1695.
- [14] Zhang B, Salituro G, Szalkowski D, *et al.* Discovery of a small molecule insulin mimetic with antidiabetic activity in mice [J]. *Science*, 1999, 284(5416): 974-977.
- [15] Hellwig V, Grothe T, Mayer B A, *et al.* Altersetin, a new antibiotic from cultures of endophytic *Alternaria* spp. Taxonomy, fermentation, isolation, structure elucidation and biological activities [J]. *J Antibiot*, 2002, 55(10): 881-892.
- [16] Strobel G A, Miller R V, Miller C M, *et al.* Cryptocandin, a potent antimycotic from the endophytic fungus *Cryptosporiopsis cf. quercina* [J]. *Microbiology*, 1999, 145 (8): 1919-1926.
- [17] Brady S F, Wagenaar M M, Singh M P, *et al.* The cytosporones, new octaketide antibiotics isolated from an endophytic fungus [J]. *Org Lett*, 2000, 2(25): 4043-4046.
- [18] Krohn K, Florke U, John M, *et al.* Biologically active metabolites from fungi. Part 16: New preussomerins J, K and L from an endophytic fungus [J]. *Tetrahedron*, 2001, 57 (20): 4343-4348.
- [19] Zou W X, Meng J C, Lu H, *et al.* Metabolites of *Colletotrichum gloeosporioides*, an endophytic fungus in *Artemisia mongolica* [J]. *J Nat Prod*, 2000, 63(11): 1529-1530.
- [20] Ratnayake A S, Yoshida W Y, Mooberry S L, *et al.* Nomofungin: a new microfilament disrupting agent [J]. *J Org Chem*, 2001, 66(26): 8717-8721.
- [21] Stierle A A, Stierle D B, Bugni T. Sequoiatones A and B: novel antitumor metabolites of a redwood endophyte [J]. *J Org Chem*, 1999, 64(15): 5479-5484.
- [22] Stierle A A, Stierle D B, Bugni T. Sequoiatones C-F, constituents of the redwood endophyte *Aspergillus parasiticus* [J]. *J Nat Prod*, 2001, 64(10): 1350-1353.
- [23] Li J Y, Harper J K, Grant D M, *et al.* Ambuic acid, a highly functionalized cyclohexenone with antifungal activity from *Pestalotiopsis* sp. and *Monochaetia* sp. [J]. *Phytochemistry*, 2001, 56(5): 463-468.
- [24] Li J Y, Strobel G A. Jesterone and hydroxy-jesterone antioomycete cyclohexenone epoxides from the endophytic fungus *Pestalotiopsis jesteri* [J]. *Phytochemistry*, 2001, 57 (2): 261-265.
- [25] Guo B Y, Jin R D, Ng S, *et al.* Cytonic acids A and B: novel tridepside inhibitors of HCMV protease from the endophytic fungus *Cytospora Species* [J]. *J Nat Prod*, 2000, 63(5): 602-604.
- [26] Brady S F, Clardy J. CR377, a new pentaketide antifungal agent isolated from an endophytic fungus [J]. *J Nat Prod*, 2000, 63(10): 1447-1448.
- [27] Strobel G, Daisy B, Castillo U, *et al.* Natural products from endophytic microorganisms [J]. *J Nat Prod*, 2004, 67(2): 257-268.
- [28] Long N E, Smidmansky E D, Archer A J, *et al.* *In vivo* addition of telomeric repeats to foreign DNA generates chromosomal DNAs in the taxol-producing fungus *Pestalotiopsis microspora* [J]. *Fungal Genet Biol*, 1998, 24: 335-344.

植物甾醇及甾烷醇的生理代谢调节功能及其机制研究进展

章 宇,吴晓琴,张 英*

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院,浙江 杭州 310029)

摘要:低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)已成为动脉硬化症的最主要危害因子之一。摄食富含植物甾醇或甾烷醇的食物可能对 LDL-C 的形成有抑制作用。植物甾醇及甾烷醇可以增加 ABC-转运蛋白的表达,因此能够有效地降低胆固醇的吸收;可以降低脂溶性类胡萝卜素的血清脂质浓度,但对维生素 A 和 D 无明显影响。尽管植物甾醇及甾

收稿日期:2004-07-30

作者简介:章 宇(1980—),男,浙江大学生物系统工程与食品科学学院 2003 级食品科学博士研究生,研究方向为天然药物中活性成分的化学研究。 Tel: (0571)86971388 Fax: (0571)86049803 E-mail: y_zhang@zju.edu.cn

* 通讯作者 Tel: (0571)86971388

固醇的吸收率(0.02%~3.5%)明显低于胆固醇(35%~70%),但是这些微量的吸收可能也会对人体其他生理功能产生影响。植物甾醇及甾烷醇能够有效地降低血清 LDL-C 的浓度以及动脉硬化发生的风险性,但对其他癌症、细胞膜的性质以及免疫系统的影响还需更进一步的机制研究。

关键词:甾醇;甾烷醇;生理代谢调节;低密度脂蛋白胆固醇

中图分类号:R285.6

文献标识码:A

文章编号:0253-2670(2005)05-0776-04

Advances in studies on physiological metabolic regulating effects and mechanisms of sterol and stanol from plants

ZHANG Yu, WU Xiao-qin, ZHANG Ying

(College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Key words: sterol; stanol; physiological metabolic regulation; low-density lipoprotein cholesterol

现代医学研究表明,低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)已成为动脉硬化症的最主要危害因子之一,合理改变饮食结构中脂肪酸的摄入形式可以有效地降低 LDL-C 的浓度。近年来营养学家在讨论人体推荐膳食结构时指出,通过摄食富含植物甾醇或甾烷醇的食物可能对 LDL-C 的形成有抑制作用。

植物甾醇存在于植物油、种子、坚果和松树树木中,它是稳定植物细胞膜的必需成分,这与胆固醇在动物体内的作用相类似。目前已经鉴定出 40 多种植物甾醇,其中以 β -谷甾醇、豆甾醇和菜油甾醇最为丰富,它们有同胆固醇一样的环结构,区别仅在于相应的侧链。例如,24 位碳上的侧链区分不同的甾醇,菜油甾醇为甲基取代,谷甾醇为乙基取代;而 22 位碳上的双键是豆甾醇所特有的。植物中还有一类含量较少的甾醇即甾烷醇,存在于油料籽和木浆替代品中,其结构与胆固醇和植物甾醇不同,环上碳-碳双键被氢化成为完全饱和的环结构,通过氢化植物甾醇可以得到植物甾烷醇。这样豆甾醇上 5α 位双键饱和成为豆甾烷醇,同样, α -谷甾醇双键饱和而成为谷甾烷醇^[1]。植物甾醇因其良好的心血管药理活性近年来备受关注。本文结合植物甾醇的代谢机制,主要讨论植物甾醇及甾烷醇的吸收代谢、对 LDL-C 水平的调节以及对动脉硬化危害因子的抑制作用,并对植物甾醇及甾烷醇在人体其他代谢过程中的生理活性作一综述。

1 植物甾醇及甾烷醇的吸收

植物甾醇在人体肠道中的吸收率很低(0.4%~3.5%),植物甾烷醇的吸收率更低,仅为 0.02%~3%。相比较而言,胆固醇的吸收率在 35%~70%。植物甾醇的吸收在性别上存在差异,雌性大鼠对植物甾醇的吸收率要明显高于雄性大鼠;另外在同样条件下,植物甾烷醇的吸收率要低于植物甾醇。Delaney 等^[2]将水溶性植物甾醇(主要含 β -谷甾醇和菜油甾醇)进行微乳化处理,以未经微乳化的植物甾醇和植物甾醇酯的混合物为对照,结果发现,SD 大鼠对微乳化后的植物甾醇的吸收率要明显高于对照组。植物甾醇及甾烷醇吸收率低的原因很可能是由于植物甾醇及甾烷醇未经酯化而使得它们与乙酰辅酶 A 乙酰转移酶(ACAT,一种催化固醇类物质酯化的酶)的亲合力较低。由此看来,植物甾醇及甾烷醇以酯的形式更容易被吸收。由于食物中植物甾醇的含量要高于植物甾烷醇,因此从血清浓度也可以看出,植物甾醇在血清

中的浓度比甾烷醇高出 10~30 倍^[3]。

有报道分析植物甾醇及甾烷醇的吸收程度和速率取决于分子结构中侧链的长度以及饱和程度,另外 ABCG5 和 ABCG8 基因的突变性和多态性可以影响二者的肠道吸收。如 ABCG5 或 ABCG8 基因的突变可引起谷甾醇血症,因为这些非常染色体的隐性异常可导致植物甾醇及甾烷醇在体内的积累,进而使人体在年轻时就患上严重的动脉硬化症^[4]。此外,抑制素的使用可导致血浆胆固醇浓度的升高,其原因究竟是因为植物甾醇吸收量的增加还是胆固醇清除率的降低目前尚不清楚。对于高胆固醇血症的病人来说,在摄食富含植物甾醇或甾烷醇的人造黄油时可能需要适当使用低剂量的抑制素,证明抑制素与植物甾醇/甾烷醇的降胆固醇作用是协同的。Ikeda 等^[5]研究发现,大鼠摄食经植物甾醇强化后的食物可造成其肾上腺、肠内上皮细胞以及卵巢等主要部位植物甾醇含量的积累。类似的研究发现,免摄食经植物甾醇强化后的食物在其大动脉、肌肉组织、皮下组织以及脂肪组织中可检测出痕量的菜油甾醇和谷甾醇。值得注意的是,植物甾烷醇不像植物甾醇那样,它在大鼠上述组织中的堆积可以忽略^[6]。

2 植物甾醇及甾烷醇对心血管系统代谢的影响

2.1 对胆固醇肠道吸收的影响:关于植物甾醇及甾烷醇的降胆固醇作用的机制解释较为复杂:植物甾醇或甾烷醇从混合分子团中取代胆固醇,因为它们比胆固醇分子更具有憎水性,该取代反应导致胆固醇分子团浓度的降低,从而降低了胆固醇的吸收;此外,固醇类物质的酯化主要是在 ACAT 的催化下完成的,植物甾醇及甾烷醇可以降低肠道细胞胆固醇的酯化速率,从而使胆固醇以乳糜微粒的形式排出体外^[7]。

Plat 等^[8]发现植物甾醇对胆固醇吸收的影响从摄食开始可持续数小时,其实验结果表明,每天摄食经植物甾醇酯强化的人造黄油的受试人群,其血清胆固醇水平呈下降趋势;而每天需 3 次以上摄食同样剂量的经植物甾醇酯强化的人造黄油有类似的降血清胆固醇水平的效果。其中一种可能的解释是因为植物甾烷醇在肠道内会停留一段时间,另一种解释是因为植物甾烷醇会进入肠道细胞从而影响肠道内的脂蛋白代谢。在这个方面,Plat 和 Mensink 通过对人结肠癌细胞株(Caco-2)的研究发现植物甾烷醇在肠道细胞

内能增量调节 ABC-转运蛋白的表达,从而通过肠道细胞进入内腔使胆固醇的排泄量增加。但是,通过对 ABCA1 小鼠的实验却表明,在同样实验条件下胆固醇吸收量增加,但可能由于遗传学背景的差异,并非所有的 ABCA1 小鼠实验时都会观察到胆固醇吸收量增加的结果。

2.2 对脂质及脂蛋白代谢的影响:植物甾醇及甾烷醇降低胆固醇的吸收可引发胆固醇合成的比例增加,以及 LDL 受体 mRNA 和蛋白表达的增加,这将增加 LDL 的清除率。Clifton 等^[9]的研究表明,每日摄食 2~2.5 g 植物甾醇或甾烷醇可降低胆固醇的吸收、增加 LDL 受体的表达和提高内源性胆固醇的合成比率,从而使对 LDL-C 的吸收率降低 14%,而总血清胆固醇水平的降低可由 LDL 的降低得到合理的诠释。植物甾醇及甾烷醇对甘油三酯或高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)水平几乎没有影响。但是对于糖尿病患者而言,二者能够提高 HDL-C 水平,从而对动脉硬化起到积极的作用,这种积极作用的原因目前尚未清楚,可能与糖尿病患者脂蛋白代谢的紊乱有关,比如三酰基甘油或极低密度脂蛋白(VLDL)量的增加。

植物甾醇及甾烷醇对人体肝脏 VLDL 水平的影响以及对胆汁代谢的影响目前还不清楚,对于结肠切除患者来说,摄食经植物甾醇酯强化的人造黄油后体内胆固醇、胆汁盐和磷脂的胆汁排泄量几乎没有发生变化。对回肠造口术袋和粪便的检测发现,摄食植物甾醇同样对胆汁盐排泄无显著影响;但是载脂蛋白 E*3-莱顿转基因大鼠摄食植物甾烷醇酯后能降低胆汁中胆固醇饱和度,从而降低胆汁盐的排泄^[10]。

2.3 对动脉硬化的影响:虽然血清 LDL-C 的浓度是衡量动脉硬化危害性的重要生物学指标,对损伤程度的测定能够真实地反映化合物对动脉硬化的作用,但是人体内损伤程度的测定是有难度的。从这个意义上讲,建立小动物模型对于评价食源性化合物对病变形成的影响以及剖析潜在机制的研究更为方便。然而,选择常规的啮齿类动物不是很合适,因为它们的血浆脂蛋白外形与人体不太相近,而且这些啮齿类动物自身对于动脉硬化的形成具有一定的抵抗性。另外,选择脂质及脂蛋白代谢缺陷转基因型小鼠(例如 LDL 受体缺陷型小鼠)也不合适,因为它们体内的脂蛋白浓度随着饮食结构的变化以及在给药处理过程中变化很敏感^[11]。

摄食植物甾醇及甾烷醇酯后降低 LDL-C 水平是否意味着降低人体心血管疾病的危害性,目前并没有得到证实。但是动物实验已经证实植物甾醇或甾烷醇能够减小动脉硬化斑的形成,例如植物甾醇及甾烷醇能够明显减小载脂蛋白缺陷型小鼠动脉硬化的损伤范围以及复杂性。这些作用主要得益于植物甾醇及甾烷醇的降胆固醇活性,而摄食植物甾醇后抑制了动脉硬化斑的形成则主要得益于导致动脉硬化的 β -VLDL 微粒浓度的降低,从而降低了泡沫细胞(在动脉硬化中的脂质膨大细胞)的形成。在对新西兰白兔的实验中发现,谷甾醇也能够减小动脉硬化斑的形成;在对载脂蛋白 E*3-莱顿转基因小鼠的实验中发现,植物甾烷醇酯通过降低血浆 VLDL 以及 LDL 水平来减小动脉硬化斑的形成^[12]。

体外实验表明植物甾醇也可以通过其他机制来减小动脉硬化斑的形成。Awad 等^[13]的研究指出,将血管平滑肌细胞(VSMC)从大鼠中分离出来并在谷甾醇与菜油甾醇存在的条件下离体培养,结果发现能显著降低 VSMC 的增殖。另外,从 VSMC 中释放出来的环前列腺素随着植物甾醇给予量的增加而增加,它能使血管舒张并降低血小板的凝集。

3 植物甾醇及甾烷醇对其他生理代谢的影响

除了对脂质和脂蛋白代谢的影响以外,植物甾醇及甾烷醇也能影响其他代谢途径。尽管血清中菜油甾醇的浓度可达谷甾醇浓度的 3 倍,但是大多数的研究主要集中于谷甾醇对代谢的影响。

3.1 对脂溶性抗氧化剂的影响:由于植物甾醇及甾烷醇可通过降低混合分子团中胆固醇的溶解性来降低胆固醇的吸收,因此研究它们对膳食中脂溶性抗氧化剂吸收的影响具有重要的意义。Plat 等^[14]研究表明,每天摄食 3.8~4.0 g 植物甾醇,连续 8 周后能够显著地降低血清类胡萝卜素和维生素 E 的浓度,将结果标准化为血清脂质浓度后发现类胡萝卜素(包括 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素和番茄红素)确实减少了,原因可能是由于用来运载这些脂溶性抗氧化剂的 LDL 颗粒数目的减少引起的。同时发现,摄食植物甾烷醇酯后亲脂性类胡萝卜素浓度的降低与胆固醇的低吸收率有关,而氧化类胡萝卜素(包括叶黄素、玉米黄质和玉米黄素)以及维生素 E 浓度的变化主要与血清 LDL-C 浓度的降低有关^[14]。此外,连续 8 周的实验还发现,血浆中维生素 A、D 的浓度并没有改变,说明这些脂溶性维生素由于不是经脂蛋白运载,因此它们的吸收与合成不受影响,而维生素 K 的浓度变化尚不清楚^[14]。Plat 等^[15]得到了维生素 K 浓度与植物甾醇的剂量依赖关系,连续 3.5 周摄食 0.8、1.6、3.2 g 植物甾醇后维生素 K 的浓度分别降低 5.4%、7.4% 以及 18%。但是,连续 8 周摄食 3.8 g 富含植物甾烷醇的植物油对维生素 K 依赖性血液凝集因子和纤维蛋白溶解参数无明显影响,进一步分析,连续 8 周摄食 4.5 g 植物甾烷醇酯不会影响抗凝血药华法林的治疗效果。

3.2 对结肠癌和前列腺癌的影响:大豆中含有丰富的植物甾醇,流行病学调查结果显示,经常摄食大豆制品的人群(例如基督复临安息日会教友)癌症的发病率明显较低,尤其是结肠癌与前列腺癌。

胆汁酸有可能会引起结肠癌,植物甾醇通过降低胆汁分泌,间接控制结肠癌的发生。但是体外细胞学研究却表明谷甾醇对结肠上皮细胞的增生具有防护作用,而与胆汁酸的分泌无关。另外,谷甾醇能够抑制人体结肠癌细胞株 HT-29 的生长。体内实验研究表明,小鼠摄食经谷甾醇强化的食物后,患良性结肠肿瘤的比例明显低于对照组,但是患恶性结肠肿瘤的比例却高于对照组^[16]。

另有研究表明谷甾醇能够降低前列腺癌的发病几率。事实表明,患有前列腺增生的男性每天 3 次摄食 20 mg 谷甾醇,其症状获得了明显的改善,临床表现为排尿量的增加,但并没有观察到前列腺体积的缩小。另外,每天摄食 65 mg 谷

甾醇提取物可达到类似的临床效果^[17]。

3.3 对细胞膜性质的影响:植物甾醇及甾烷醇能够进入细胞膜影响细胞膜的性质,尽管谷甾醇对人体角化细胞膜的流动性无明显影响,但是Ratnayake等^[18]对中风倾向的自发性高血压大鼠的研究表明,植物甾醇进入红细胞膜后有可能产生不良反应,并且大鼠的寿命都减短,原因可能是植物甾醇影响胆固醇的吸收,从而取代胆固醇而进入红细胞膜,造成红细胞的变形性减弱,脆性增强,在这种情况下,红细胞在毛细血管中的通透性减弱。而且,高脆性的红细胞膜可能会压迫微血管壁,从而诱发血管壁的损伤,植物甾烷醇也有类似的对红细胞膜性质的影响。对于人体而言,植物甾醇及甾烷醇是否也会改变红细胞膜的变形性目前还尚未清楚。

3.4 对免疫系统的影响:关于植物甾醇及甾烷醇对免疫功能的影响并没有细致地研究,但是有研究表明它们确实对免疫系统有积极的作用。例如马拉松赛跑后适当摄取植物甾醇补充剂能够降低血清白细胞介素-6(IL-6)的浓度和皮质醇/二氢表雄酮硫酸盐(DHEA)比值,从而降低炎症反应^[19]。另外,植物甾醇组白细胞的增幅要小于对照组,这表明植物甾醇对免疫系统不会产生抑制作用。

4 结语与展望

植物甾醇及甾烷醇能有效地降低血清LDL-C的水平,对减少动脉硬化损伤起到积极的作用,但其减少动脉硬化损伤以及抑制动脉硬化斑的确切机制还有待进一步研究。植物甾醇及甾烷醇可以作为膳食补充剂适度添加至高胆固醇血症患者的日常饮食中,或者像抑制素那样作为降胆固醇药物。胆固醇肠道吸收率的降低导致胆固醇合成以及LDL受体表达的增加,但是植物甾醇及甾烷醇对VLDL的作用尚未清楚,许多研究表明它们对HDL-C和三酰基甘油的浓度无明显影响。

从临床实验结果和安全性评价以及长期食用富含植物甾醇和甾烷醇的食物的历史中,可以认为它们是安全的。虽然如此,其对于油性营养素,如维生素和抗氧化剂的吸收的影响仍需加以关注。临床实验发现植物甾醇及甾烷醇酯会使 α -和 β -胡萝卜素(维生素A前体)降低10%~25%,但不影响血清视黄醇、维生素D和维生素K的浓度。因此,由于摄取植物甾醇所导致的类胡萝卜素的降低只是一个低危险性因素,可以通过食用足够的水果和蔬菜加以预防^[20]。植物甾醇及甾烷醇对癌症、细胞膜性质以及免疫系统的影响还需进一步的机制研究,从而合理解释它们的生理代谢调节功能。

美国FDA已经批准,添加了植物甾醇或甾烷醇的食品可以使用“有益健康”的标签。FDA根据研究报告作出声明,每天至少摄入1.3g植物甾醇酯或3.4g植物甾烷醇酯才可以起到降低胆固醇的功效^[21]。总之,从其生理代谢调节功能来看,植物甾醇及甾烷醇作为一种高安全性的功能性食品添加剂,其应用前景十分广阔。

References:

[1] Normén L, Dutta P, Liu Å, et al. Soy sterol esters and β -sitosteranol ester as inhibitors of cholesterol absorption in

human small bowel [J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 71(4): 908-913.

- [2] Delaney B, Stevens L A, Schmelzer W, et al. Oral absorption of phytosterols and emulsified phytosterols by Sprague-Dawley rats [J]. *J Nutr Biochem*, 2004, 15(5): 289-295.
- [3] Ketomaki A, Gylling H, Miettinen T A. Effects of plant stanol and sterol esters on serum phytosterols in a family with familial hypercholesterolemia including a homozygous subject [J]. *J Lab Clin Med*, 2004, 143(4): 255-262.
- [4] Lu K, Lee M H, Hazard S, et al. Two genes that map to the STSL locus cause sitosterolemia: genomic structure and spectrum of mutations involving sterolin-1 and sterolin-2 encoded by ABCG5 and ABCG8, respectively [J]. *Am J Hum Genet*, 2001, 69(2): 278-290.
- [5] Ikeda I, Nakagiri H, Sugano M, et al. Mechanisms of phytosterolemia in stroke-prone spontaneously hypertensive and WKY rats [J]. *Metabolism*, 2001, 50(11): 1361-1368.
- [6] Cifton P M, Noakes M, Ross D, et al. High dietary intake of phytosterol esters decreases carotenoids and increases plasma plant sterol levels with no additional cholesterol lowering [J]. *J Lipid Res*, 2004, 45(8): 1493-1499.
- [7] Ostlund R E. Phytosterols and cholesterol metabolism [J]. *Curr Opin Lipidol*, 2004, 15(1): 37-41.
- [8] Plat S, van Onselen E N M, van Heugten M M A, et al. Effects on serum lipids, lipoproteins and fat soluble antioxidant concentrations of consumption frequency of margarines and shortenings enriched with plant stanol esters [J]. *Eur J Clin Nutr*, 2000, 54(9): 671-677.
- [9] Clifton P M, Noakes M, Sullivan D, et al. Cholesterol-lowering effects of plant sterol esters differ in milk, yoghurt, bread and cereal [J]. *Eur J Clin Nutr*, 2004, 58(3): 503-509.
- [10] Volger O L, van der Boom H, de Wit E C M, et al. Dietary plant stanol esters reduce VLDL cholesterol secretion and bile saturation in apolipoprotein E* 3-Leiden transgenic mice [J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2001, 21(6): 1046-1052.
- [11] Neil H A W, Huxley R R. Efficacy and therapeutic potential of plant sterols [J]. *Atherosclerosis Suppl*, 2002, 3(3): 11-15.
- [12] Volger O L, Mensink R P, Plat J, et al. Dietary vegetable oil and wood derived plant stanol esters reduce atherosclerotic lesion size and severity in apoE* 3-Leiden transgenic mice [J]. *Atherosclerosis*, 2001, 157(2): 375-381.
- [13] Awad A B, Smith A J, Fink C S. Plant sterols regulate rat vascular smooth muscle cell growth and prostacyclin release in culture [J]. *Prostag Leukotr Essent Fat Acids*, 2001, 64(6): 323-330.
- [14] Plat J, Mensink R P. Effects of diets enriched with two different plant stanol ester mixtures on plasma ubiquinol-10 and fat-soluble antioxidant concentrations [J]. *Metabolism*, 2001, 50(5): 520-529.
- [15] Plat J, Mensink R P. Vegetable oil based versus wood based stanol ester mixtures: effects on serum lipids and hemostatic factors in non-hypercholesterolemic subjects [J]. *Atherosclerosis*, 2000, 148(1): 101-112.
- [16] Moreau R A, Whitaker B D, Hicks K B. Phytosterols, phytostanols, and their conjugates in foods: structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses [J]. *Prog Lipid Res*, 2002, 41(6): 457-500.
- [17] Betteridge D J. Plant sterols: from research to practice [J]. *Atherosclerosis Suppl*, 2002, 3(3): 1-3.
- [18] Ratnayake W M N, L' Abbe M R, Mueller R, et al. Vegetable oils high in phytosterols make erythrocytes less deformable and shorten the life span of stroke-prone spontaneously hypertensive rats [J]. *J Nutr*, 2000, 130(5): 1166-1178.
- [19] Bouic P J D, Clark A, Lamprecht J. The effects of β -sitosterol (BSS) and β -sitosterol glucoside (BSSG) mixture on selected immune parameters of marathon runners: inhibition of post marathon immune suppression and inflammation [J]. *Int J Sports Med*, 1999, 20(4): 258-262.
- [20] Hu C, David D K. Plant sterols: a kind of functional factor on lowering the cholesterol [J]. *Chin Health Food (中国保健食品)*, 2002, 15(6): 6-8.
- [21] Sheng Y, Hua W, Gu W Y. Research about the function of phytosterols [J]. *J Cereals Oils (粮食与油脂)*, 2002(12): 25-26.