

植物甾醇的生理功能及其应用

谢心美, 郝海鑫, 何剑斌

(沈阳农业大学畜牧兽医学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要:植物甾醇在拮抗胆固醇、预防心血管疾病方面表现出良好的效果,同时还具有调节生长、促进蛋白质合成、抗炎、抗氧化、抗癌、免疫调节及类激素等生理功能,对人和动物无毒害,是我国农业部批准的新型功能性饲料添加剂。本文主要对近年来植物甾醇的调节胆固醇代谢、类激素等生理功能,及其在动物生产中降血脂、改善乳用动物乳成分等应用方面进行综述,为其在畜禽饲料中广泛应用提供参考。

关键词:植物甾醇;β-谷甾醇;生理功能;饲料添加剂

中图分类号:Q945 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0629(2013)12-2105-05

* 1
植物甾醇,又称植物固醇(Phytosterols, Plant Sterols),属于具有植物活性成分的甾体类化合物,是植物细胞的重要组成成分,为无臭无味的三萜类白色结晶粉末,不溶于水,易溶于多种有机溶剂,熔点为 130~140 °C。其分子含 28~29 个碳原子, C-3 位羟基是重要的活性基团,可与羧酸化合形成植物甾醇酯而具有比甾醇更好的脂溶性和生物活性。含植物甾醇的饲料添加剂适用于畜禽以及水生生物等动物,能够加快动物生长速度而缩短生产周期,达到降低成本、提高产量的目的。植物甾醇的衍生物包括甾烷醇和甾醇酯两大类,现已可高效制备出多种可控的酶酯化植物甾醇,包括游离型和酯化型两种类型。游离型植物甾醇在各种油料种子中含量最高,而在水果中含量较少,但由于摄入量高,其中的植物甾醇仍可占到总摄入量的 20% 以上。

酯化型植物甾醇以谷类食物中含量最高。植物甾醇种类众多,从植物中已经确认鉴定出了超过 40 种植物甾醇,最常见的植物甾醇包括谷甾醇、谷甾烷醇、菜油甾醇和豆甾醇等,而植物甾醇衍生物更是超过 250 种,如谷甾醇阿魏酸、豆甾醇阿魏酸酯等。β-谷甾醇存在于某些植物的根茎、花、叶、果实、块根及全草中。诸如存在于白花蛇舌草(*Hedyotis diffusa*)的全草、白芥子(*Sinapis alba*)的种子、半夏(*Pinel-lia ternata*)的块茎^[1]、地黄的块根、球兰(*Hoya carnosa*)的叶中^[2]。在蒲黄、桑白皮、罗布麻叶等 68 种中草药中,来源于植物的花、种子、皮等部位的样品中植物甾醇的含量较高,其总含量为 0.52~32.14 mg·kg⁻¹不等(表 1),均含有甾醇单体 β-谷甾醇,且是绝大多数样品中含量最高的。含有挥发油类物质和黄酮类物质的样品中植物甾醇的含量较高^[3]。

表 1 中草药中 β-谷甾醇的含量
Table 1 Content of β-sitosterol in Chinese traditional medicine

植物名称 Plant species	部位 Part	含量 Content/mg·kg ⁻¹	文献 Reference
地黄 <i>Radices rehmanniae</i>	根 Root	0.72	[3]
桑白皮 Root bark of white mulberry	皮 Peel	13.30	[3]
麻黄 <i>Ephdra sinica</i>	全草 Entire plant	5.39	[3]
蒲黄 <i>Cattail pollen</i>	花 Flower	18.12	[3]
罗布麻花 Rob hemp flowers	叶 Leaf	7.45	[3]

* 收稿日期:2013-04-27 接受日期:2013-06-25
基金项目:国家星火计划重大项目(2011GA650001)
作者简介:谢心美(1989-),女(回族),辽宁铁岭人,在读硕士生,主要从事兽医学产科学研究。E-mail:815709466@qq.com
通信作者:何剑斌(1969-),男(仡佬族),贵州道真人,教授,硕导,博士,主要从事临床兽医学研究。E-mail:hejianbin69@163.com

1 植物甾醇的生理作用

1.1 对胆固醇代谢的影响 研究发现,每天从膳食中摄入 2 g 植物甾醇,可降低低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)浓度约 10%,随着植物甾醇摄入的增多,胆固醇的吸收率以及血清中的胆固醇水平也随之降低^[4]。补充植物甾醇和甾烷醇可使血液中总胆固醇(TC)和 LDL-C 的含量降低,而高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和甘油三酯(TG)水平未见变化。

试验表明,二十二碳六烯酸植物甾醇可降低载脂蛋白酶缺失的小鼠血浆胆固醇水平^[5],补充植物甾醇可显著降低血清 TC、LDL-C、HDL-C 以及 TG 含量^[6]。植物甾醇半琥珀酸酯和植物甾醇山梨糖醇琥珀酸酯具有降低血液胆固醇、增加粪便胆固醇含量的作用,并能促进肝 X 受体 α 的表达并增加胆固醇 7 α -羟化酶和粪便总胆汁酸不同程度的表达^[7]。通过植物甾醇与辛伐他汀联合使用可减少外源性胆固醇从肠道进入血液的量^[8]。植物甾醇酯会明显降低血清 TC 和 LDL-C 水平,增加 HDL-C/LDL-C 和 HDL-C/TC 值,降低动脉硬化指数^[9]。将 β -谷甾醇混入雄性红点鲑鱼和金鱼的饲养水中进行试验,发现鱼的 LDL-C 和 TG 水平分别明显降低 43% 和 50%^[10]。按 15~30 mg·只⁻¹·d⁻¹ 的量把植物甾醇添加到牛乳中饲喂小白鼠可减小其腹脂质量、降低血液胆固醇、提高高密度脂蛋白胆固醇水平^[11],添加植物甾醇可以降低肉鸭血浆中 TC 和 LDL-C 的含量^[12],也可降低肉仔鸡血清 TC、LDL-C 水平^[13],减少鸡蛋中蛋黄的胆固醇含量^[14]。在奶牛饲料中加入植物甾醇,可使牛血液中的 TC、LDL-C 降低^[15]。植物甾醇对高血脂症大鼠血脂水平具有显著的降低作用,并且具有抑制脂质过氧化和保护肝脏的作用^[16]。

1.2 抗氧化作用 β -谷甾醇可抑制超氧阴离子并清除羟自由基,在油脂中加入 0.08% 植物甾醇能最大程度降低油脂的氧化^[17],并且其抗氧化能力随着浓度的上升而增强,尤其是与维生素 E 或其它抗氧化药物联合应用时,其抗氧化效果可与之协同,产生更强的叠加效果。植物甾醇的抗氧化作用在煎炸过程的初始阶段最明显,表明其具有良好的热稳定性。因此,添加植物甾醇的高级菜籽油在高温条件下的抗氧化、抗聚合性能增强^[18-19]。

植物甾醇的抗氧化性与其防治心血管疾病作用和抗癌等作用均密切相关^[20]。研究发现,芥子植物甾醇和植物甾醇香草酸盐有较高的抗氧化性,二者相比芥子植物甾醇抗氧化能力更高^[21]。谷甾醇的抗氧化性能随着其含量的增加相应增加,抗氧化性可能与甾醇通过 1,2 键位的脱水转换成甾醇烯类物质有关^[22]。在 β -胡萝卜素-亚油酸测定的乳液模型中,植物甾醇酚盐表现为抗氧化活性增强^[23],在饲料中添加植物甾醇可使肉鸡回肠总抗氧化能力(T-AOC)提高^[24]。

1.3 类激素作用 植物甾醇与合成甾体类激素的肾上腺、肝脏、睾丸和卵巢等组织有高度亲和性,因此认为它可作为甾类激素的前体来合成甾体类激素。 β -谷甾醇可降低鱼的血浆性类固醇激素、胆固醇水平和体外性腺类固醇水平^[10]。在饲料中长期添加 β -谷甾醇,不孕雌性水貂减少,而成功再生的数量显著增加^[25]。植物甾醇能使雄鼠血清睾酮浓度上升,第 3 个世代的雌鼠血清雌二醇的浓度增加^[26]。另外,植物甾醇可诱导甲状腺活动的增加,明显升高血清总甲状腺素、总三碘甲状腺原氨酸和游离三碘甲状腺原氨酸水平^[6]。

1.4 抗炎退热作用 β -谷甾醇有类似于氢化可的松和强的松等皮质类固醇激素的较强的抗炎作用,其对由棉籽酚移植引起的肉芽组织生成和由角叉胶在鼠身上诱发的水肿都表现出了强烈的抗炎作用。谷甾醇的退热镇痛作用与阿司匹林类似,但因其有不会引起溃疡的特点而为不可服用阿司匹林的患者提供了新的治疗替代药物^[27]。豆甾醇、环木菠萝甾醇、菠菜甾醇等都具有明显的抗炎和退热作用,且无传统抗炎退热药物的副作用,因而可作为辅助抗炎药物而长期使用。此外,植物甾醇改善动脉粥样硬化病变的功能也可能与其抗炎作用有关^[28]。

1.5 其它作用 日粮中添加植物甾醇可以提高断奶仔猪的生产性能,降低料肉比^[29]。谷甾醇等植物甾醇与植物生长激素在机体内可于水中形成分子膜的脂质结合,生成植物激素-植物甾醇-核糖核蛋白,使原植物激素对环境温度、动物体温和体内分解的稳定性增加^[30],激发 DNA 的转录活动,生成新的 mRNA,诱导蛋白质合成,影响到激素-受体-靶基因调控方式的作用^[31],从而达到调节生长及相应

的生物效应^[32]。植物甾醇的作用还包括用做肝功能障碍的预防剂,解除奶牛因脂肪肝抑制的卵巢活动^[33];作为免疫调节因子,刺激淋巴细胞和T细胞增殖;对机体乳腺癌、胃癌和肠癌等的发生和发展有一定抑制作用^[34];促进人类前列腺基质细胞生长因子的表达,增强蛋白激酶的活性^[35]等。此外,有6种油菜甾醇及其类似物具有保护神经元PC12细胞,抑制MPP(1-methyl-4-phenylpyridinium, 1-甲基-4-苯基吡啶)毒性的作用^[36],为脑损伤的康复提供了新的研究方向。

2 植物甾醇的应用现状

2.1 在人类生活方面的应用

2.1.1 临床医学 β -谷甾醇可用来治疗高胆固醇、高甘油三酯血症。给高胆固醇病人每天摄入1.84 g 甾醇酯或甾烷醇酯,可使其血浆TC水平和LDL-C水平降低。在阻止回肠造口术病人小肠吸收胆固醇的效果上,甾醇酯和甾烷醇酯的作用基本相同^[37]。

2.1.2 合成药物 植物甾醇可用于合成调节水、蛋白质、糖和盐代谢的甾醇激素,这一特点可用于制做高血压药和口服避孕药等几乎所有的甾体类药物。豆甾醇可用于多种甾体皮质激素药物的制造,由于其具有降胆固醇、抗炎退热及拮抗肠癌、宫颈癌、皮肤癌、肺癌、前列腺癌等的功能而被广泛应用于临床医学^[27]。

2.1.3 保健食品 膳食植物甾醇的摄入量因饮食习惯而异,在巴西每人每天摄入仅180 mg,而其它国家的膳食中植物甾醇含量最高可达400 mg。每天2~3 g的剂量可最大程度地降低胆固醇^[38]。植物甾醇在食品上广泛应用于制备预防心血管疾病的活性成分,以其为主要成分的片剂、咀嚼片等已有出售。现已开发出添加1%植物甾醇的植物油以及0.4%的植物甾醇酯的酸牛奶,以及用配方预乳化油和植物甾醇制成的低脂肪汉堡包也是潜在的功能食品^[39]。

2.2 在畜禽养殖等方面的应用 植物甾醇可能通过抑制LDL的生成而影响肝脏内源性胆固醇的合成进而降低血脂,其抗氧化机制可能与提高机体抗氧化酶的活性有关^[12]。在日粮中添加植物甾醇,可以提高肉仔鸡饲料转化效率^[5]、断奶仔猪的生产

性能,降低料肉比^[29]。泌乳前期奶牛补饲一定量的植物甾醇能够提高产奶量并改善乳成分,使乳脂率、乳蛋白率、非脂固形物分别有不同程度的提高,而体细胞数、乳尿素氮含量分别出现不同程度的下降^[40],同时可以平衡能量和蛋白的摄入,提高奶牛的产奶性能^[15]。植物甾醇能显著上调雄性日本鹌鹑IGF-1水平从而对其生产性能产生潜在影响^[41],使肉鸡回肠总抗氧化能力(T-AOC)得到提高^[24]。

此外,因为植食性昆虫必须通过采食植物当中的甾醇来代谢合成其所需的胆固醇,植物甾醇及其衍生物饲喂夜蛾后第2代幼虫存活的化蛹数明显减少,夜蛾蛹化成功率显著降低,其中以胆甾烷酮作用最明显,为今后杀虫剂开发提供了新的研究方向^[42-43]。

3 展望

近年来,随着国内外对植物甾醇研究的深入,对其生理作用及应用有了进一步的了解。植物甾醇目前已经广泛应用于家蚕养殖,在不同家畜家禽中也有不错的效果。另外,植物甾醇以及氢化植物甾醇等已在化妆品中得到广泛应用,在增溶剂、乳化剂、软化剂、分散剂、调稠剂和护发剂中均已有添加。但植物甾醇在目前的研究中也发现了一些问题,如植物甾醇妨碍类胡萝卜素的生物利用程度^[28]。此外,植物甾醇应用于非洲爪蟾时使其基础代谢率下降,活动减少,肌肉脂肪酶和糖原磷酸化酶的活性降低^[44]、应用于人时可导致组织甾醇浓度增加而促使早期冠心病的发生^[45-46]且可能对动物体内脂肪进行重新分配^[12];植物甾醇酯应用于小鼠时,会损害血管内皮功能,加重缺血性脑损伤,引起小鼠动脉粥样硬化。这些问题需要人们重新开始审视这种药物,今后应该在相关的领域进行深入的研究,以完善其作为新的功能性饲料添加剂的使用方法。

参考文献

- [1] 刘慧琼,郭书好,沈英森,等. 半夏中 β -谷甾醇的抗氧化作用研究[J]. 广东药学院学报, 2004, 20(3): 281-283.
- [2] 魏金婷,刘文奇. 植物药活性成分 β -谷甾醇研究概况[J]. 莆田学院学报, 2007, 14(2): 38-46.
- [3] 胡叶梅,韩军花,王素芳,等. 68种保健食品常用原料植物甾醇含量研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2010, 22(6): 486-489.

- [4] Seppo L, Jauhiainen T, Nevala R, *et al.* Plant stanol esters in low-fat milk products lower serum total and LDL cholesterol[J]. *European Journal of Nutrition*, 2007, 46(2): 111-117.
- [5] Tan Z L, Le K H, Mohammed M, *et al.* Enzymatic synthesis of phytosteryl docosahexaneates and evaluation of their anti-atherogenic effects in apo-E deficient mice [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134: 2097-2104.
- [6] Awaisheh S S, Khalifeh M S, Al-Ruwaili M A, *et al.* Effect of supplementation of probiotics and phytosterols alone or in combination on serum and hepatic lipid profiles and thyroid hormones of hypercholesterolemic rats[J]. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96(1): 9-15.
- [7] He W S, Wang M G, Pan X X, *et al.* Role of plant stanol derivatives in the modulation of cholesterol metabolism and liver gene expression in mice[J]. *Food Chemistry*, 2013, 140: 9-16.
- [8] Sarah F, Ellen J, Wachtel A, Avraham A, *et al.* Solubilization of simvastatin and phytosterols in a dilutable microemulsion system[J]. *Colloids and Surfaces Biointerfaces*, 2013, 107: 35-42.
- [9] 王玉, 刘滨城, 任运宏, 等. 植物甾醇酯对高脂血症小鼠的降血脂作用研究[J]. *食品科学*, 2011, 32(17): 326-329.
- [10] Christine I, Gilman, Frederic D L, *et al.* Effects of a phytosterol mixture on male fish plasma lipoprotein fractions and testis P450_{scc} activity: General and comparative[J]. *Endocrinology*, 2003, 130: 172-184.
- [11] 夏利明. 植物甾醇功能乳的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
- [12] 顾莞婷, 周岩民, 王恬. 植物甾醇对肉鸭生产性能、血液胆固醇含量和胴体品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2007, 22(3): 97-100.
- [13] 贾代汉, 周岩民, 王恬. 植物甾醇对肉鸡血清胆固醇、蛋白质水平和抗氧化酶活性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2007, 22(2): 88-93.
- [14] 王龙昌, 顾莞婷, 周岩民, 等. 植物甾醇对蛋鸡产蛋后期生产性能、鸡蛋胆固醇含量及血清生殖激素水平的影响[J]. *中国粮油学报*, 2008, 23(6): 166-171.
- [15] 金志红. 植物甾醇在奶牛上的应用及其机理初探[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [16] 张泽生, 侯冬梅, 贺伟, 等. 植物甾醇对高血脂大鼠血脂水平的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(11): 306-309.
- [17] 尉芹, 马希汉, 张玲. 七叶树叶提取物抗氧化性能的研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2001, 29(3): 41-44.
- [18] 吴时敏, 吴谋成, 马莉. 植物甾醇在菜籽高级烹调油中的抗氧化作用(I)——常温下抗氧化作用的研究[J]. *中国油脂*, 2003, 28(4): 52-54.
- [19] 吴时敏, 吴谋成, 马莉. 植物甾醇在菜籽高级烹调油中的抗氧化作用(II)——高温下抗氧化作用的研究[J]. *中国油脂*, 2003, 28(5): 32-33.
- [20] 王恬, 周岩民, 顾莞婷. 植物甾醇的生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. *饲料与畜牧*, 2009(1): 9-15.
- [21] Tan Z L, Fereidoon S. Phytosteryl sinapates and vanillates: Chemoenzymatic synthesis and antioxidant capacity assessment [J]. *Food Chemistry*, 2013, 138: 1438-1447.
- [22] Ashutosh S. Sitosterol as an antioxidant in frying oils [J]. *Food Chemistry*, 2013, 137: 62-67.
- [23] Tan Z L, Fereidoon S. Antioxidant activity of phytosteryl phenolates in different model systems [J]. *Food Chemistry*, 2013, 138: 1220-1224.
- [24] 傅梦月, 胡倩, 唐元元, 等. 植物甾醇对肉鸡肠道氧化还原状态的影响[J]. *食品工业科技*, 2013(4): 353-356.
- [25] Petteri N, Ilpo P, Anne M M. Increased reproductive success in the white American mink (*Neovison vison*) with chronic dietary β -sitosterol supplement[J]. *Animal Reproduction Science*, 2010, 119: 287-292.
- [26] Ari R, Ulla R K, Anne M M, *et al.* Multigenerational exposure to phytosterols in the mouse[J]. *Reproductive Toxicology*, 2005, 19: 535-540.
- [27] 贾代汉. 植物甾醇对肉用仔鸡养分利用及生产性能的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
- [28] Jean M L. Phytosterols and cardiovascular risk[J]. *Métabolisme*, 2007, 21(1): 17-27.
- [29] 李伟, 钟翔, 华荣蓉, 等. 植物甾醇对断奶仔猪生产性能和血液生化指标的影响[J]. *家畜生态学报*, 2010(2): 58-63.
- [30] 陈茂彬, 黄琴, 吴谋成. 三种植物甾醇酯预防小鼠高脂血症作用的比较[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(2): 80-88.
- [31] 陈桂勇, 王介东. 甾体激素核受体与辅助调节因子对基因表达的协同调控[J]. *国外医学计划生育分册*, 2004, 23(2): 102-105.
- [32] 张永辉, 李春梅. 植物甾醇的类雌激素功能及其对动物生殖发育的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2011, 43(5):

- 99-103.
- [33] 吕育齐. 植物甾醇类畜禽肝功能改善剂[J]. 中兽医医药杂志, 1997(5):44-45.
- [34] Peter G B, Atif B A. Phytosterols as anticancer compounds[J]. *Molecular Nutrition and Food Research*, 2007, 51:161-170.
- [35] Berger R R, Kassen A, Senge T. Treatment of symptomatic benign prostatic hyperplasia with beta-sitosterol: An 18-month follow-up[J]. *BJU International*, 2000, 85(7):842-846.
- [36] Jihane I, Martin B, Fanny L, *et al.* Brassinosteroids and analogs as neuroprotectors: Synthesis and structure-activity relationships [J]. *Steroids*, 2012, 77: 91-99.
- [37] 盛漪, 华伟, 谷文英. 植物甾醇生理功能及其研究进展[J]. *西部粮油科技*, 2003(2):32-35.
- [38] M-Tasan B, Bilgin Ü, Gecgel A Ş, *et al.* Phytosterols as functional food ingredients [J]. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 2006, 3(2):153-159.
- [39] Pennisi F S C, Ranalli N, Zaritzky N E, *et al.* Effect of type of emulsifiers and antioxidants on oxidative stability, colour and fatty acid profile of low-fat beef burgers enriched with unsaturated fatty acids and phytosterols[J]. *Meat Science*, 2010, 86:364-370.
- [40] 吕润全, 周国波, 陈昊, 等. 植物甾醇对泌乳前期奶牛产奶量及乳成分的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2010, 42(12):13-16.
- [41] 刘凡, 陈景葳, 石放雄, 等. 乳化植物甾醇对雄性日本鹌鹑生长性能及相关激素水平的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36(1):120-124.
- [42] Jing X F, Heiko V, Robert J, *et al.* Dietary sterols/steroids and the generalist caterpillar *Helicoverpa zea*: Physiology, biochemistry and midgut gene expression [J]. *Biochemistry and Molecular Biology*, 2012, 42:835-845.
- [43] Jing X F, Robert J, Grebenok, *et al.* Plant sterols and host plant suitability for generalist and specialist caterpillars[J]. *Journal of Insect Physiology*, 2012, 58: 235-244.
- [44] Petri S, Koponen, Petteri N, *et al.* Postmetamorphic xenopus laevis shows decreased plasma triiodothyronine concentrations and phosphorylase activity due to subacute phytosterol exposure [J]. *Chemosphere*, 2004, 57:1683-1689.
- [45] Oliver W, Dieter I L, Shengbo J, *et al.* Vascular effects of diet supplementation with plant sterols[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2008, 51(16): 1553-1561.
- [46] Gemma B, Miguel I A C, Magda R. Phytosterols: Physiology and metabolic aspects related to cholesterol-lowering properties[J]. *Nutrition Research*, 2008, 28:217-225.

Physiological function and application of phytosterol

XIE Xin-mei, HAO Hai-xin, HE Jian-bin

(College of Veterinary and Animal Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Phytosterol, as a bioactive substance, reduced blood cholesterol and the risk of cardiovascular disease except with other physiological functions such as growth regulation, promotion of protein synthesis, anti-inflammatory, antioxidant, anticancer, immune regulation and hormone-like effects. Phytosterol did not show any toxicity to human and animals, and it is a new functional feed additive and has been approved by the Ministry of Agriculture of China. This article generally reviewed the aspects of the physiological function of phytosterol like the regulation of cholesterol metabolism, antioxidation, hormone-like effects and application on animal production like hypolipidemic and improving the dairy animals' milk composition. The further research in animal feed additive was suggested.

Key words: phytosterol; β -sitosterol; physiological function; feed additive