

共轭亚油酸的生物学功能及对猪生产性能和肉品质的影响^{*}

金明玉¹, 申忠宝², 邸桂俐³

(1 哈尔滨松江铜业(集团)有限公司, 宾县 150417; 2 黑龙江省农科院作物育种所, 哈尔滨 150086; 3 黑龙江省生物制品二厂, 哈尔滨 150078)

摘要: 共轭亚油酸(Conjugated Linoleic Acids, 简称 CLA)是一系列含有共轭双键、具有位置和构象异构的十八碳二烯酸的总称, 是必需脂肪酸、亚油酸的异构体。共轭亚油酸具有抗癌、降低脂肪沉积、增强免疫能力等许多生理活性。本文对 CLA 的来源与合成、主要生物学功能、降低动物脂肪沉积的机理以及对猪肉品质的影响等进行了综合论述。

关键词: CLA; 生物学功能; 脂肪沉积; 肉质

中图分类号: S 821.5 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2005)05-0042-04

Biological Function of Conjugated Linoleic Acids and Its Effects on Pork Quality

JIN Ming-yu¹, SHEN Zhong-bao², DI Gui-li³

(Heilongjiang Songjiang Copper Mine, Binxian 150417; 2. The Crop Breeding Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086; 3. No. 2 Factory of Heilongjiang Biological Manufacture, Harbin 150078)

Abstract: Conjugated Linoleic Acids (CLA) comprise a mixture of positional and geometric isomers of octadecadienoic acid with conjugated double bonds. CLA are isomers of essential fatty acid linoleic acid (cis-9, cis-12, octadecadienoic acid). CLA are the fatty acids, which have many important physiological activities, such as anticancer, reducing body fat and strengthening immune function and so on. So this paper was about the source and synthesis of CLA, physiological function, effects mechanism of conjugated linoleic acid on body fat deposition and pork quality

Key words: CLA; Biological function; body fat deposition; pork quality

共轭亚油酸(Conjugated Linoleic Acid, CLA)是一系列含有共轭双键、具有位置和构象异构的十八碳二烯酸的总称, 是必需脂肪酸、亚油酸(顺-9, 顺-12-十八碳二烯酸)的异构体。其共同特征为两个双键直接通过一个碳-碳单键连接, 没有被亚甲基隔开。共轭亚油酸的双键在碳链上有多种位置排列方式, 其中每个双键又有顺式和反式两种构象。因此共轭亚油酸的种类十分丰富, 而且不同异构体的生物活性、生理功能也不同。目前证明具有生物

活性的异构体主要有两种, 即顺-9, 反-11 (c-9, t-11)和反-10, 顺-12 (t-10, c-12)。自从发现 CLA 具有抗突变作用以来, 科学家们对 CLA 进行了一系列的试验, 结果证明 CLA 具有抗癌、抗动脉粥样硬化、增加肌体免疫能力、减肥、促进生长发育等作用。同时 CLA 为天然脂肪酸, 对人体无毒副作用。鉴于其诸多优点, CLA 倍受青睐, 欧洲还成立了有关研究 CLA 的专门委员会, 进行 CLA 的技术交流与合作。所以 CLA 已成为动物营养等研究领域的热点。

* 收稿日期: 2005-04-21

第一作者简介: 金明玉(1971-), 男, 黑龙江省望奎县人, 助理畜牧师, 从事畜禽养殖研究。

1 CLA 的来源及合成

1.1 CLA 的天然来源

天然的共轭亚油酸主要来源于反刍动物的肉制品及乳制品。牛、羊等的肉制品和乳制品中 CLA 含量最高, 脂肪中 CLA 的含量大约为 2.5~4 mg/g, 其异构体主要以具有生理活性的 c9、t11-CLA 为主。这是因为在反刍动物瘤胃及肠道中存在厌氧溶纤维丁酸弧菌的亚油酸异构酶, 该酶能够使游离亚油酸转化成 c9、t11-CLA^[1]。非反刍动物各组织中也存在 CLA, 它们主要存在于各组织的甘油三酯、脂蛋白、细胞膜磷脂中^[2]。其中活性 c-9、t-11 异构体含量达 75% 以上。与反刍动物中 CLA 的产生途径一样, 也是经过生物氢化、酶的催化异构作用将游离亚油酸转化成 CLA。植物油中存在少量的 CLA, 一般植物油中含 0.1~0.7 mg/g CLA, 其异构体的分布状况有别于动物食品, 活性 c-9、t-11 异构体含量不及 50%。而海洋食品中 CLA 的含量更少, 且海洋食品中尚未发现具有生理活性的 c9、t11-CLA。

1.2 CLA 的合成

为了能够在工业上生产 CLA, 通过微生物发酵而获得应该还是比较理想的。乳酸菌微生物可在发酵过程中产生 CLA, 两种丙酸菌适合转换亚油酸成细胞外 CLA, 嗜酸乳酸菌能有效地使亚油酸或甘油亚油酸酯变成 CLA^[3]。乳酸菌微生物中含有亚油酸异构酶^[4], 它能把亚油酸转化为 c9、t11-CLA。有双键在 c6 上的脂肪酸会抑制其活性, 但有双键在 c9 位置上的脂肪酸又可提高其活性, 得到的 CLA 可直接从细胞培养液中提取。

蓖麻醇酸甲酯可用于大量生产 c9、t11 亚油酸甲酯。蓖麻油在二氯甲烷和甲醇溶液中, 钠回流条件下发生酯化反应, 经过分离纯化得蓖麻醇酸甲酯, 将其与甲基磺酰氯反应, 生成 12-甲磺氧基油酸甲酯, 将反应产物在甲苯溶液中加入特定催化剂回流反应, 得到的产物主要是 c9、t11-CLA 甲酯^[5]。

一些人用碱性异构化法合成 CLA^[6]。把含亚油酸的原料溶解于有机溶剂中, 在氮气保护、加热及强碱存在下, 使亚油酸发生异构化。这种方法比较简单, 且得到的产物无毒、易于处理, 因此具有商业应用价值, 可大量用于食品、药物添加剂的生产。缺点是得到一系列具有位置和几何异构的 CLA 混合物, 还存在着环化等副反应。在这些异构体中, c9、t11 及 t10、c12 异构体的量最多, 其分子量、双键数相同, 唯一差别是双键的位置和空间构象不同, 分离非常困难, 其工艺需进一步研究。

2 CLA 的生物学功能

2.1 抗癌作用

CLA 抗癌作用非常显著, 大鼠乳腺癌模型试验表明, CLA 是膳食中已知的最有效的抗癌剂^[7]。在最近的流行病调查中得到证实, 随着乳品消费量的增长, 妇女患乳腺癌的几率已减少。此结果可能归因于牛乳脂中 CLA 的抗癌功能^[8]。

2.2 降低动物体脂

CLA 可影响脂代谢和相关基因表达。c9、t11-CLA 降低血浆甘油三酯和非酯化脂肪酸浓度, 这与减少肝脏甾醇调节因子结合蛋白 1c (SREBP-1c) 的 mRNA 表达, 以及减少膜结合受体水平相关。相反 c9、t11-CLA 提高脂肪组织 SREBP-1c mRNA 表达。t10、c12-CLA 促进胰岛素耐受力, 提高血糖和胰岛素浓度, 引起体重降低, 增加黄色白色脂肪组织 UCP-2 (解偶联蛋白) 和肌肉 UCP-3 的 mRNA 表达。而 t10、c12-CLA 还具有抑制人体脂肪组织基质血管细胞脂质合成的作用。

2.3 提高免疫力

CLA 可以强化某些免疫应答, 减少免疫调节代谢的副作用^[9]。以含 CLA 0.1%、0.3% 和 0.9% 的饲料饲养小鼠 3 周或 6 周, 发现 CLA 促进了脾脏淋巴细胞的增殖及白细胞介素-2 的合成, 使其血清中 IgG 浓度上升。CLA 对于鸡及大鼠由于注射内毒素引起的生长速率降低具有抑制作用, 并能提高大鼠肝脏及肠系膜淋巴结淋巴细胞中的免疫球蛋白 IgG 与 IgA 的含量^[10]。

2.4 其他生物学功能

CLA 可以通过增加肝脏中过氧化酶体来调节小鼠血糖, 从而提高其葡萄糖耐受能力。以饲喂高脂饲料的白兔为试验对象, 将饲料中添加 CLA 的白兔与对照组比较, 前者的血液中总胆固醇、非高密度脂蛋白胆固醇及血清中甘三脂的含量显著降低^[11]。通过小鼠试验证实, CLA 能够促进骨组织的分裂与再生, 促进软骨组织细胞的合成及矿物质在骨组织中的沉积, 对骨质的健康有积极作用。

3 CLA 降低动物脂肪沉积的机理

具有降低脂肪沉积效应的异构体是 t-10、c-12 CLA。尽管其降低体脂肪沉积的效果已得到大量试验证实, 但其作用机理尚未研究清楚。目前提出的几种潜在机制包括加强脂肪酸氧化利用与降低甘油三酯的合成、减少前体脂肪细胞增殖与分化等。

3.1 加强脂肪酸氧化利用与降低甘油三酯的合成

共轭亚油酸是过氧化物酶体增植物激活受体 (PPAR) 的激活剂, 具有与其它过氧化物酶体增植物相类似的结构和特征。给小鼠补饲 CLA 可诱导 PPAR 反应酶的转录和表达, 从而加速了脂肪酸的氧化作用^[12]。CLA 可通过降低硬脂酰-CoA 去饱和酶的活性和表达来抑制脂肪酸去饱和作用和延长作用, 导致饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸比例升高, 从而抑制脂肪酸合成及其酯化, 降低甘油三酯的生成。一些报道指出, 0.5%~1.5%CLA 可提高乙酰辅酶 A 氧化酶(过氧化物酶体 β -氧化作用的限速酶)、脂肪酸结合蛋白 (FABP) 和细胞色素 P450IVA1 的活性^[13], 这些酶均参与过氧化物酶体的增殖过程。而且一些研究表明在猪饲料中添加 CLA 可显著提高血浆非酯化脂肪酸浓度, 这表明脂肪降解速度加快^[14]。

3.2 减少前体脂肪细胞增殖与分化

脂肪沉积增加的途径之一是脂肪细胞数量的增多。已分化的脂肪细胞不能增殖, 但前体脂肪细胞可以增殖并且具有进一步分化然后充盈脂类的潜力。用猪的脂肪组织进行体外培养发现, CLA 降低了相关 DNA 合成, 从而降低猪前体脂肪细胞的增殖^[15]。

有学者使用 3T3-L1 细胞系研究 CLA 对小鼠前体脂肪细胞分化的影响^[16], 结果表明 CLA 使处于增殖阶段的培养细胞的细胞数量减少, 即 CLA 抑制非融合细胞的增殖; 当培养细胞到达融合阶段时, CLA 不使其细胞数量减少而是抑制其分化。其他研究表明能明显抑制脂肪前体细胞的增殖, 并且能促进脂肪的重新合成与脂类在 3T3-L1 脂肪前体细胞的充盈, 表明 CLA 可能通过抑制基质脉管脂肪前体细胞的增殖来降低生长动物整体脂肪的累积^[17]。一些研究表明日粮中添加 CLA 时大鼠体内的小细胞(直径为 40~70 μm)的数量较多, 而大细胞(直径为 70~140 μm)的数量较少, 所以 CLA 对脂肪细胞数量没有产生显著影响, 但对脂肪细胞大小有显著影响^[18]。

关于 CLA 对脂肪沉积的影响和作用机制可能是多方面的, 没有足够的证据表明何种机制是最关键的。但已明确的是在脂肪代谢中, PPAR(过氧化物酶体增植物活化受体)作为关键的转录因子起作用, CLA 通过 PPAR 来影响脂肪的代谢, PPAR 从基因水平影响与脂肪代谢有关的酶表达; PPAR 也可通过调节硬脂酰辅酶 A 脱氢酶影响脂质的构成和改变膜的流动性, 从而影响许多代谢过程; 此外,

一些报道指出 CLA 可以提高代谢率和能量消耗, 但是也有些试验的结果与其不同, 所以在这方面还没有定论。

4 CLA 对猪生产性能和肉品质的影响

CLA 对猪生产性能影响的研究很多, 但是结果不统一, 原因可能由于不同试验中 CLA 添加水平、添加日龄等方面的差异。在 61.5~106 kg 的肥育猪日粮中分别添加 2%的葵花籽油(对照)和 2%的 CLA, 研究结果发现, 两组试验猪的平均日增重没有差别, 而平均日采食量 CLA 组要比对照组低 5.2%, 因而饲料转化效率降低^[19]。有学者在日粮中添加不同水平 CLA, 对 14 日龄断奶仔猪在不同饲养环境下生长性能和免疫指标的影响进行研究, 结果表明, 在断奶后 1~2 周, 日粮中添 CLA 使仔猪日增重降低; 在断奶后 3~5 周, 日粮中添加 0.67%和 1.33%CLA 使仔猪日增重显著提高^[20]。一些学者研究了不同 CLA 饲喂时间对肥育猪生产性能的影响, 结果表明, 前期饲喂共轭亚油酸对猪全期无影响, 而在 57~115 kg 阶段猪日粮中添加会提高猪的生产性能^[21]。

当在猪(61.5~106 kg)日粮中添加 2%CLA 时, 肌内脂肪含量提高了 22%, 眼肌大理石花纹评分提高了 11%, 但是肉色、剪切力、滴水损失、嫩度、多汁性和风味无显著变化^[22]。一些试验研究也表明, 日粮中添加 0.5%的 CLA 对肥育猪(40~106 kg)主观肉色评分无显著影响, 用色度仪测定的肉色评定指标则有影响, 肌肉亮度的 L 值显著提高, 肌肉红度的 a 值无显著变化, 肌肉黄度的 b 值显著提高, 同时提高了眼肌大理石花纹的评分^[23]。

CLA 对肌肉中脂肪酸组成的影响不十分明显, 当日粮中添加较高水平 CLA 时, 肌肉中的硬脂酸含量才显著增加, 同时油酸含量降低。有学者研究了 CLA 不同饲喂时间对生长肥育猪肌肉和脂肪组织脂肪酸组成的影响, 结果表明随着 CLA 饲喂时间延长, 不饱和脂肪酸含量线性降低, 饱和脂肪酸含量线性增加, CLA 在猪肉脂肪中的沉积量与日粮中的添加量成正比, 硬度也会提高。据报道, 屠宰前 4 周肥育猪饲喂 CLA, 未补充 CLA 组猪肉的肌内脂肪氧化作用随贮存时间延长而迅速提高, 随着 CLA 添加水平的增加, 肌内脂肪氧化速度相应下降。综合以上试验结果, 共轭亚油酸可以改善猪肉肉色, 提高肌内脂肪含量及大理石花纹评分, 但是共轭亚油酸对猪肉风味基本没有影响。

在猪日粮中添加 CLA 能明显改善猪的胴体品

质, 具有促进生长、提高饲料利用率、增强机体免疫力等功能, 还能增加猪肉的 CLA 含量, 有益于人类健康, CLA 是一种安全、理想的饲料添加剂, 不存在任何残留问题。鉴于 CLA 对机体脂肪沉积的影响以及其对动物机体的特殊保健作用, CLA 在经济生产和人们生活中的作用将日渐突出。尽管已经作了大量的试验研究, 但是对于 CLA 影响脂肪代谢的机制与各种异构体中最有效的 CLA、CLA 的最佳添加量以及适宜添加的猪生长阶段还不是很清楚, CLA 的纯化过程仍存在一定难度, 所以 CLA 对脂类代谢影响的机制和提高纯度、生产工艺等方面将是今后研究的主题。

参考文献:

- [1] Kepler C R, Hirons K B, McNeill J J, et al.. Intermediates and products of the biohydrogenation of linoleic acid by *Butyrivibrio fibrisolvens*[J]. *Biol. Chem.*, 1966, 41: 1350-1354
- [2] Belury M A. Conjugated dienoic linoleate: a polyunsaturated fatty acid with unique chemoprotective properties[J]. *Nutr. Rev.* 1995, 53: 83-89
- [3] Lin T Y, Lin C W, Wang Y J. Linoleic acid isomerase activity in enzyme extracts from *Lactobacillus acidophilus* and *Propionibacterium freudenreichii* ssp. *shermanii*[J]. *Food Sci.* 2002, 67(4): 1502-1505
- [4] Kim E J, Holthuisen P E, Park H S, et al.. Trans-10, cis-12- conjugated linoleic acid inhibits Caco-2 colon cancer cell growth[J]. *Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 2002, 283(2): 357-367
- [5] Body D R, Shorland F B. The geometric isomers of conjugated octadecadienoates from dehydrated methyl ricinoleate[J]. *Ibid.* 1965, 42: 5-8
- [6] Chin S F, Liu W, Storkson J M, et al.. Dietary Sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens[J]. *Food Compos Anal*, 1992, (5): 185-197
- [7] Kim E J, Holthuisen P E, Park H S, et al.. Trans-10, cis-12- conjugated linoleic acid inhibits Caco-2 colon cancer cell growth[J]. *Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 2002, 283(2): 357-367
- [8] Cook M E, Miller C, Park Y, et al.. Immune modulation by altered nutrient metabolism: nutritional control of immune-induced growth depression[J]. *Poultry Sci.* 1993, 72: 1301-1305
- [9] Sugano M, Tsujita A, Yamasaki M, et al.. Lymphatic recovery, tissue distribution, and metabolic effects of conjugated linoleic acid in rats[J]. *Nutr Biochem.* 1997, (8): 38-43
- [10] Kritchevsky D, Pariza M W. Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits[J]. *Atherosclerosis*, 1994, 108: 19-25.
- [11] Moya-Camarena S. Y., M. A. Belury. Species differences in the metabolism and regulation of gene expression by conjugated linoleic acid[J]. *Nutr. Rev.*, 1999, 57: 336-340.
- [12] Moya-Camarena, S. Y, J. P. Vanden Heuvel, S. G. Blanchard, et al.. Conjugated linoleic acid is a potent naturally occurring ligand and activator of PPAR α [J]. *Lipid Res.*, 1999, 40: 1426-1433.
- [13] Ostrowska, E., M. Muralitharan, R. F. Cross, et al.. Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs[J]. *Nutr.*, 1999, 129: 2037-2042.
- [14] Adams V. L., C. D. Gilbert, H. J. Mersmann, et al.. Conjugated linoleic acid depresses DNA synthesis in porcine preadipocytes[J]. *FASEB* 2001, (15): 300.
- [15] Brodie, A. E., V A. Manning, K. R. Ferguson, et al.. Conjugated linoleic acid inhibits differentiation of pre- and post-confluent 3T3-L1 preadipocytes but inhibits cell proliferation only in pre-confluent cells[J]. *Nutr.*, 1999, 129: 602-606.
- [16] Satory D. L., S. B. Smith. Conjugated linoleic acid inhibits proliferation but stimulates lipid filling of murine 3T3-L1 preadipocytes[J]. *Nutr.*, 1999, 129: 92-97.
- [17] Azain, M. J., D. B. Hausman, M. B. Sisk, et al.. Dietary conjugated linoleic acid reduces rat adipose tissue cell size rather than cell number[J]. *Nutr.*, 2000, 130: 1548-1554.
- [18] Dugan, M. E. R., J. L. Aalhus, A. L. Schaefer, et al.. The effect of conjugated linoleic acid on fat to lean repartitioning and feed conversion in pigs[J]. *Anim. Sci.*, 1997, 77: 723-725.
- [19] Bassaganya-Riera, J., R. Hontecillas-Magaz, K. Bregendahl, et al.. Effects of dietary conjugated linoleic acid in nursery pigs of dirty and clean environments on growth, empty body composition, and immune competence[J]. *Anim. Sci.*, 2001, 79: 714-721
- [20] Wiegand B. R., J. C. Sparks, F. C. Parrish, et al.. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows [J]. *Anim. Sci.*, 2002, 80: 637-643.
- [21] Dugan, M. E. R., J. L. Aalhus, L. E. Jeremiah, et al.. The effects of feeding conjugated linoleic acid on subsequent pork quality[J]. *Anim. Sci.*, 1999, 79: 45-51.
- [22] Wiegand B. R., F. C. Parrish, J. E. Swan, et al.. Conjugated linoleic acid improves feed efficiency, decreases subcutaneous fat, and improves certain aspects of meat quality in Stress-Genotype pigs[J]. *Anim. Sci.*, 2001, 79: 2187-2195.
- [23] Wiegand B. R., J. C. Sparks, F. C. Parrish, et al.. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows [J]. *Anim. Sci.*, 2002, 80: 637-643.