

# 肉中的功能性成分及其营养调控

陈雪君<sup>1</sup>, 刘建新<sup>2</sup>

(1. 杭州师范大学 生命与环境科学学院, 浙江 杭州 310036; 2. 浙江大学 动物科学学院, 浙江 杭州 310009)

**摘要:** 近年来人们越来越重视生产具有功能性作用的肉及肉制品, 作者综述了肉中的  $n-3$  多不饱和脂肪酸、共轭亚油酸、维生素 E、硒等 4 种功能性成分, 以及通过营养手段对肉中这些功能性成分进行调控。

**关键词:** 功能性成分; 营养调控; 肉品

**中图分类号:** S 879.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1689(2012)03-0253-06

## Study on Functional Compounds in Meats and Their Dietary Manipulation

CHEN Xue-jun<sup>1</sup>, LIU Jian-xin<sup>2</sup>

(1. College of Life and Environmental Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China; 2. College of Animal Science, Zhejiang University, Hangzhou 310009, China)

**Abstract:** In recent years, much attention has been paid to meat and its products with special functions to promote human-being health and prevent the risk of diseases. This manuscript reviewed the functional compounds such as  $n-3$  polyunsaturated fatty acids, conjugated linoleic acid, vitamin E and selenium in animal meats. The dietary manipulation strategies to improve the above functional compounds were also discussed.

**Key words:** functional compounds, dietary manipulation, animal meat

功能性食品(Functional foods)的概念目前仍处于发展和不断完善的状态, 至今没有确切的定义, 日本、欧洲、美国以及我国对功能性食品有不同的规定。一般认为功能性食品是指含一种或多种功效成分, 具有调节人体生理功能或促进身体健康作用(而非仅仅营养功能)的食品<sup>[1]</sup>。Jimenez-Colmenero 等<sup>[2]</sup>认为作为功能性食品应具有 3 个基本特性: 一是天然成分, 二是食品, 三是对人体具有延缓衰老、预防疾病和提高免疫等作用。流行病学的研究认为, 威胁人类健康的许多慢性非传染性疾

病如肥胖、糖尿病、高血压、骨质疏松、恶性肿瘤等大多与饮食有关<sup>[3]</sup>。因此, 食物中的功能性成分以及其促进人类健康和预防疾病的作用越来越受消费者关注。

肉类是人类膳食的重要组成部分, 为人体提供蛋白质、脂类、矿物质、维生素等重要营养素, 肉中的一些成分如  $n-3(\omega-3)$  长链多不饱和脂肪酸(长链 PUFA)、共轭亚油酸(CLA)、维生素 E、微量元素硒等, 不仅是营养成分, 同时具有重要的调节生理功能作用<sup>[2]</sup>, 是食品中的功能性成分。以传统方式生

收稿日期: 2011-04-04

基金项目: 浙江省科技厅公益项目(2010C32069); 浙江省自然科学基金项目(Y2100719)。

作者简介: 陈雪君(1970-), 女, 浙江台州人, 农学博士, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事动物营养方面的研究。

E-mail: chen-shl@163.com

产、加工的肉及肉产品中往往含过多的饱和脂肪酸(SFA)、胆固醇、盐分和能量,如果消费量超过推荐水平可能有增加心血管疾病及大肠癌的风险。目前有两方面的途径可改善肉类的营养价值及功能性成分:一是在肉品加工过程中直接添加(如植物蛋白、膳食纤维、中草药、益生菌等)或产生(如发酵、化学反应、酶等作用)功能性成分<sup>[3]</sup>;二是通过控制原料肉生产过程中动物日粮成分和饲养方式,改变动物的胴体组成和肉质(如调整脂肪酸比例、降低胆固醇、增加抗氧化性等)。总体上我国对功能性肉及肉制品的开发研究尚处于起步阶段,且以前一种方法生产的产品为主,但加工过程添加涉及添加剂安全性、稳定性以及对产品风味、口感的影响、消费者接受程度等问题,而营养调控在这些方面具有优势<sup>[2]</sup>。因此,如何通过营养调控生产出既富含功能性成分又安全稳定的肉品,已成为目前畜牧业和食品行业共同关注的重要课题。作者就肉中存在的  $n-3$  多不饱和脂肪酸,共轭亚油酸、维生素 E、硒等主要功能性成分及其营养调控手段作一综述。

## 1 多不饱和脂肪酸(PUFA)

### 1.1 肉中的 PUFA

肉中的脂肪不仅为人们提供能量和必需脂肪酸,其中的 PUFA 还可作为有关脂质代谢中的关键酶(如脂肪合成酶,脂肪氧化酶)基因的核受体和转录因子的配体,调节酶基因的表达,对机体脂肪代谢具有重要的调节作用<sup>[4]</sup>;摄入高水平的 SFA 会提高人体血浆中的低密度脂蛋白(LDL),增加患心血管疾病的风险,而  $n-3$ PUFA 中的  $\alpha$ -亚麻酸、二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳五烯酸(DPA)、二十二碳六烯酸(DHA)等则有减少这种风险的作用<sup>[5-6]</sup>。因此,肉中脂肪酸的组成与人类脂肪代谢、血脂水平和心血管疾病的形成等有直接关系。

单胃动物肌肉脂肪中 SFA 含量比植物油高,相应 PUFA/SFA(P/S)值低,反刍动物由于瘤胃微生物对日粮不饱和脂肪酸的加氢作用,使其肉中脂肪酸的饱和度比单胃动物高,P/S 则更低。据 Enser 等<sup>[7]</sup>报道,猪肉的 P/S 为 0.58,牛肉为 0.11,羔羊肉为 0.15,而 WHO/FAO<sup>[8]</sup>的推荐值为 0.4。从 P/S 角度考虑,猪肉脂肪酸组成比牛、羊等反刍动物

肉更接近人类健康的需要。

衡量脂肪酸平衡性的另一指标为 PUFA 中的  $n-3/n-6$ ,膳食  $n-3$  与  $n-6$  比例不平衡对人类健康有负面的影响,WHO/FAO<sup>[8]</sup>推荐  $n-6/n-3$  比例为 5:1 或更低。Wijendran 和 Hayes<sup>[9]</sup>认为从保护心血管系统的角度考虑,两者的合适比例为 6:1,而目前西方国家典型的饮食中这个比例高达 15~20<sup>[6]</sup>。猪、禽等单胃动物基础日粮多以含  $n-6$  PUFA 高、 $n-3$  PUFA 低的精料为主,日粮脂肪经消化道消化、吸收后可直接合成胴体脂肪,肉中脂肪酸与日粮脂肪酸有较好的相关性,反映在肉中  $n-6/n-3$  比值较高,猪肉为 6.4,鸡肉 5.0<sup>[10]</sup>。反刍动物以草食为主,尽管牧草较精料含  $n-3$  PUFA 较高,但大约 92%的亚麻酸被瘤胃微生物加氢,使到达小肠吸收有限;即使没有被氢化的部分被吸收后或进一步被代谢,真正能转入肌肉的比例则更低<sup>[11]</sup>,尽管如此,不同精粗比饲料对反刍动物的  $n-6/n-3$  构成有影响,如 Raes 等<sup>[12]</sup>报道,给羔羊饲喂草料时  $n-6/n-3$  为 1.28;而喂精料时  $n-6/n-3$  为 7.11。

EPA 和 DHA 是两种对人体非常重要的长链 PUFA,是构成中枢神经系统磷脂的重要成分,并具有调节免疫、抑制肿瘤等作用。一般深海鱼类脂肪和海藻等海产品中其质量分数较高,像鲭鱼中质量分数高达 2.2%,而陆生动物含量较低。EPA + DHA 的推荐量为 250~500 mg/d<sup>[13]</sup>,不同国家和地区人群由于经济水平及饮食习惯的不同,这类脂肪酸的摄入量有很大的差距,如美国、澳大利亚为 140 mg/d 和 190 mg/d,而日本由于鱼类消费量大,平均每天摄入量达 1600 mg<sup>[14]</sup>。

### 1.2 PUFA 的营养调控

PUFA 的营养调控主要是通过日粮添加各种油脂或改变基础日粮组成(如反刍动物日粮精粗比)来调节动物产品中功能性脂肪酸的含量及各类脂肪酸的比例。根据脂肪酸组成的特点,日粮油脂分为含亚油酸丰富的豆油、菜籽油、葵花籽油等植物油,含亚麻酸丰富的亚麻油或亚麻籽,含 EPA、DHA 丰富的鱼油或海藻油等。考虑到油脂的稳定性、反刍动物瘤胃微生物对脂肪酸的异构化及氢化作用以及油脂成本等因素,除直接添加外,一些研究者尝试添加保护油脂,如用甲醛处理包被蛋白、油籽高温处理使脂肪与壳中的糖类发生美拉德反应、选择高熔点饱和脂肪酸作为包被、脂肪酸与钙

皂化等,以提高日粮添加脂肪的利用率<sup>[15]</sup>。

单胃动物肌肉脂肪酸易受日粮影响,日粮添加油脂是增加肌肉 PUFA 的有效途径。肉鸡日粮添加 4% 鱼油喂养 38 d,肉中 EPA、DPA、DHA 含量可分别提高 5.56、6.75 和 23.2 倍<sup>[16]</sup>。日粮添加 10% 亚麻油,肉鸡脂肪中亚麻酸质量分数由对照的 1.29% 增加到 35.28%,同时 EPA、DHA 含量也有显著提高<sup>[17]</sup>。猪日粮添加 1.2% 亚麻油或鱼油,可增加背最长肌亚麻酸,亚麻油可使 DHA 少量增加,而鱼油使其显著增加<sup>[15]</sup>。亚麻酸是 DHA 和 EPA 的重要前体物,在肝脏亚麻酸可以通过碳链延长和去饱和作用转变为 EPA 和 DHA,但转化效率比较低,在人转变为 EPA 大约为 8%,DHA 转化率小于 4%<sup>[18]</sup>;在猪中 40% 日粮亚麻酸能沉积到肌肉中,其中有 28.5% 可转变为 EPA,仅有 0.9% 转变为 DHA<sup>[19]</sup>。尽管鱼油 *n*-3 长链 PUFA 含量高,对单胃动物肉产品功能性成分改善明显,但存在肉质和风味等问题,如其脂肪酸的高不饱和性会使肉质变软,膜磷脂易氧化,影响货架期;鱼油特殊的气味会影响肉的风味和消费者的接受程度。

反刍动物日粮添加油脂可增加肌肉 PUFA 含量,减少 SFA,使 P/S 增加(降低脂肪酸饱和度)。Mach 等<sup>[20]</sup>给荷斯坦公牛日粮添加 0、0.4、0.8、1.2 kg/d 的亚麻油,饲养 48 d 后,牛肉脂肪饱和度和 *n*-6/*n*-3 之比随亚麻油添加量的增加而线性下降。Chen 等<sup>[21]</sup>给湖羊饲喂添加 3% 玉米油和大豆油的日粮,10 周饲养期后显著降低了羊肉脂肪酸的饱和度。

日粮精粗比会影响反刍动物脂肪酸的组成,放牧能降低反刍动物 *n*-6/*n*-3 之比,精料喂养时 *n*-6/*n*-3 之比在 6-10 之间,而放牧时该比值约为 2 或更低。Nuernberg 等<sup>[11]</sup>比较了放牧(牧草)与舍饲(精料)西门塔尔牛肌肉的脂肪酸构成,发现放牧组 *n*-6/*n*-3 之比为 1.3,精料组为 13.7;肌肉中总 *n*-3 PUFA 含量精料组为 24.6 mg/100 g,放牧组为 108.6 mg/100 g。Lorenz 等<sup>[22]</sup>发现,放牧牛总 *n*-3 脂肪酸比精料饲喂牛增加 6 倍,其中亚麻酸、EPA、DHA 分别增加 6.5、2.3 和 3 倍。

## 2 共轭亚油酸(CLA)

CLA 是亚油酸的一组位置和几何异构体的混

合物,从理论上讲 CLA 至少存在 14 种同分异构体,天然食物中以 *cis*-9, *trans*-11 和 *trans*-10, *cis*-12 两种异构体含量最为丰富,是 CLA 中最主要的活性成分<sup>[12]</sup>。CLA 对促进人类健康作用包括抗癌,降低血液总胆固醇和低密度脂蛋白、甘油三脂等,抗动脉硬化,降低体脂预防肥胖等<sup>[3]</sup>。

反刍动物肉和奶及其制品是人类膳食 CLA 的主要来源,牛肉、羊肉的 *cis*-9, *trans*-11 CLA 含量占肌间脂肪量为 0.2~1 g/100 g,普通牛奶脂肪中 CLA 含量仅为 3~6 mg/dL(Raes 等,2004)<sup>[12]</sup>。据估计美国人每天从天然食物中摄取 CLA(*c*-9, *t*-11 CLA)的量平均为 151 mg/d(女性)、212 mg/d(男性),英国人为 97.5 mg/d<sup>[23-24]</sup>。

反刍动物产品 CLA 有两方面来源,一是来自日粮亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸瘤胃不完全氢化的中间产物,瘤胃中的溶纤维丁酸弧菌(*Butyrivibrio fibrisolvens*)分泌异构化酶,作用于亚油酸,使其异构化为 *c*-9, *t*-11 CLA: 2,其中一部分 *c*-9, *t*-11 CLA 被吸收进入各种组织,成为反刍动物肉、奶等产品中 CLA 的主要来源;另外来源包括肝脏、乳腺、皮下脂肪、肌肉等组织利用反 11-油酸(*Trans*-11 vaccenic acid, TVA),在  $\Delta 9$  去饱和酶的作用下内源合成,而作为合成底物的 TVA 同样来自于瘤胃对亚油酸、亚麻酸不完全氢化的中间产物。因此,从理论上推测,增加日粮亚油酸或亚麻酸,可以增加反刍动物产品中 CLA<sup>[12]</sup>。

植物油或油料籽实的亚油酸、亚麻酸含量丰富(玉米油、大豆油亚油酸含量在 50% 以上),是调控反刍动物 CLA 的主要原料。在肉牛日粮添加植物油可增加牛肉中 TVA 和 *cis*-9 *trans*-11 CLA 含量,肌间脂肪组织 TVA 和 *cis* 9 *trans* 11 CLA 之间存在正相关,牛肉中超过 86% 的 CLA 来自 TVA<sup>[25]</sup>;日粮中短期(32 d)添加过瘤胃保护 CLA 或玉米油,可以使牛肉脂肪组织中 CLA 增加;更长时间(60 d)的添加,由于  $\Delta 9$  去饱和酶活性受抑制,减少 TVA 向 *cis*-9 *trans*-11 CLA 的转变,可使 CLA 减少<sup>[25]</sup>。Chen 等<sup>[26]</sup>给湖羊饲喂添加 3% 玉米油和豆油的日粮,肌肉、肝脏  $\Delta 9$  去饱和酶 mRNA 转录受抑制,羊肉 TVA 与 CLA 的含量增加,但增加幅度有限。日粮添加亚油酸、亚麻酸,一方面增加了合成 CLA 的底物(如 TVA),使脂肪组织 CLA 合成有增加的可能;另一方面,PUFA 对  $\Delta 9$  去饱和酶基



因表达起抑制作用,减少了 TVA 向 CLA 的转变,但总体日粮不饱和脂肪酸提供的底物效应高于其对关键酶基因表达的一种作用,所以添加不饱和脂肪酸的最终效果是导致 CLA 有限的增加<sup>[26]</sup>。

提高肌肉中功能性脂肪酸 CLA 含量的另一有效途径是在日粮中直接添加合成的 CLA。Ostrowska 等<sup>[27]</sup>用保护 CLA 对猪试验,使到达十二指肠的 CLA 量增加,皮下脂肪中 CLA 含量增加,胴体脂肪比例降低,肌肉比例增加。Wynn 等<sup>[28]</sup>给绵羊喂保护 CLA(由等量的 cis-9 trans-11 CLA 和 trans-10 cis-12 CLA 组成),发现到达十二指肠的 CLA 增加,肌肉中 CLA 含量增加,但胴体脂肪没有变化。由于 CLA 的促进脂肪代谢作用,不仅使动物肌肉中 CLA 含量增加,还减少了脂肪沉积。

### 3 抗氧化维生素

抗氧化剂对提高人体免疫能力、预防心脏病和癌症有积极作用,维生素 A、维生素 C、维生素 E 都有抗氧化功能,是人类膳食中主要的抗氧化维生素,但一般膳食中摄入量均低于推荐量,所以有必要通过功能性食物或其他补充剂强化膳食的不足。新鲜蔬菜、水果是维生素 C 的主要来源,一般肉中含量低。 $\beta$ -胡萝卜素是作为维生素 A 的前体物主要来自植物性食物,除禽肉外,其他肉中含量不高。肉和植物油是维生素 E 的重要来源,维生素 E 是一组化学结构近似的酚类化合物,又称生育酚,自然界中存在 8 种具有活性的生育酚,其中  $\alpha$ -生育酚活性最高、分布最广、最具有代表性,所以一般所谓的维生素 E 都是指  $\alpha$ -生育酚或其醋酸盐<sup>[29]</sup>。维生素 E 作为抗氧化剂,不仅可以直接作为电子供体存在于细胞表面,拦截具有强氧化能力的自由基,使细胞不被氧化而达到保护作用;另一方面,维生素 E 还可以通过影响组织的抗氧化酶活性和非酶系统途径影响脂质过氧化反应,如增加超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)等抗氧化酶活性,使组织谷胱甘肽(GSH)浓度升高<sup>[29]</sup>。

肉中的维生素 E 由于阻止膜磷脂氧化而保护肌细胞完整性,抑制肌浆外渗,减少水分和营养物质损失,可以提高肌肉系水力,进一步影响肉的营养价值和货架期;延缓氧合肌红蛋白氧化,从而发挥保护肉色作用;此外,日粮添加维生素 E 还可以

起到保护饲料来源的 PUFA,减少瘤胃微生物对其加氢,从而有更高比例的 PUFA 进入动物产品中。通过对动物日粮添加维生素 E,对提高肉质和肉中维生素 E 含量两方面都有作用<sup>[3]</sup>。

已有的研究对日粮单独添加维生素 E 或添加油脂同时添加维生素 E 对提高肉质作用的结果较一致。在肉牛日粮添加维生素 E,降低牛肉剪切力;猪日粮添加维生素 E,降低失水率;在家禽维生素 E 能减轻热应激导致的 PSE 肉的产生;在反刍动物比较牧草(含维生素 E、 $\beta$ -胡萝卜素等抗氧化维生素高)和精料饲养牛肉的肉色和脂质氧化,牧草饲养的肉色好,脂肪酸氧化少<sup>[14-15]</sup>。但日粮维生素 E 是否显著提高肉中的维生素 E 还不确定,因为肉中的维生素 E 在贮存过程容易被氧化分解,也很少有这方面的研究成果。

### 4 微量元素硒

硒是人体必需的微量元素,以硒蛋白的形式参与多种生化反应。在哺乳动物硒以谷胱甘肽过氧化物酶和硫氧还蛋白还原酶的形式存在,对清除机体氢过氧化物和脂质过氧化物起到重要作用;硒不足会导致人体免疫力降低,增加患癌症、白内障、心脏病、关节炎等多种疾病的机会<sup>[14]</sup>。硒的膳食推荐量为 55  $\mu\text{g}/\text{d}$ (美国)、75  $\mu\text{g}/\text{d}$ (英国男性)或 60  $\mu\text{g}/\text{d}$ (英国女性),膳食中的硒约有 50% 左右由肉类食物提供。由于世界各地土壤含硒分布不均匀,食物中硒的含量跟地域有关,如英国、新西兰、澳大利亚和美国产的 100 g 牛肉硒含量分别为 3.0~3.6, 2.2~8.3, 7.2~12.1, 13.4~19.0  $\mu\text{g}$ <sup>[14]</sup>,目前世界上很多地区存在硒地方性缺乏症,补充硒的措施包括食物直接加硒或生产富硒食品<sup>[30]</sup>。

动物日粮中添加硒可以使动物组织及肌肉中硒含量增加,为解决缺硒地区居民补硒问题提供有效的途径。Kim 和 Mahan<sup>[31]</sup>报道,猪日粮添加 5% 的无机硒(亚硒酸钠)或有机硒(富硒酵母),肌肉硒含量由对照组的 0.154  $\mu\text{g}/\text{g}$  提高到 0.333  $\mu\text{g}/\text{g}$ (无机硒)和 3.375  $\mu\text{g}/\text{g}$ (有机硒)。在韩国用富硒酵母饲养的猪“Selen Pork”已作为功能性肉产品投入市场,“Selen Pork”与传统猪肉相比硒含量增加 10 倍。羊日粮添加 5% 富硒酵母,腰肌和背最长肌硒含量由对照的 0.29  $\mu\text{g}/\text{g}$  和 0.30  $\mu\text{g}/\text{g}$  提高到 7.02

和  $7.82 \mu\text{g/g}^{[3, 14]}$ 。

## 5 展 望

综上所述,多不饱和脂肪酸,共轭亚油酸、维生素 E、硒等是肉中原有的重要营养成分,同时又是对人体具有重要生理调节作用的功能性成分,通过营养手段,可以调节这些成分在肉产品的含量,更好的发挥促进人类健康及预防疾病的作用。尽管目前已有大量的试验证明营养调控的可行性,但离制

定可操作的肉类食品生产标准和产品评价体系还有距离,还存在诸如日粮调节成分的选择、添加量及添加持续时间、产品中功能性成分含量等问题;另外,现有的试验多注重饲料与产品两端,而任何日粮成分都要经动物消化、吸收、代谢才起作用,注重中间过程的机理研究,如何提高转化效率、节约成本,开辟新的功能性成分营养调控原料等应成为将来营养调控研究的重点。

## 参考文献(References):

- [1] Roberfroid M B. An European consensus of scientific concepts of functional foods[J]. **Nutr**, 2000, 16: 689—691.
- [2] Jimenez-Colmenero F, Carballo J, Cofrades S. Healthier meat and meat products; their role as functional foods[J]. **Meat Sci**, 2001, 59(1): 5—13.
- [3] Decker E A, Park Y. Healthier meat products as functional foods[J]. **Meat Sci**, 2010, 86: 49—55.
- [4] Yoshikawa T I T, Shimano H, Yahagi N, et al. Cross-talk between peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) alpha and liver X receptor (LXR) in nutritional regulation of fatty acid metabolism. I. PPARs suppress sterol regulatory element binding protein-1c promoter through inhibition of LXR signalling[J]. **Mol Endocrinol**, 2003, 17: 1240—1254.
- [5] Harris W S. International recommendations for consumption of long-chain omega-3 fatty acids[J]. **J Card Med**, 2007;8 (Sup 1): S50—S52.
- [6] Simopoulos A P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids[J]. **Biomed Pharmacother**, 2002, 56(8): 365—379.
- [7] Enser M, Hallett K G, Hewett B. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition[J]. **Meat Sci**, 1998, 49: 329—341.
- [8] WHO. Diet, nutrition and the prevention of chronic disease[A]. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation[C]. Geneva, 2003.
- [9] Wijendran V, Hayes K C. Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health[J]. **Annu Rev Nutr**, 2004, 24: 597—615.
- [10] Wood J D, Richardson R I, Nute G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review[J]. **Meat Sci**, 2003, 66: 21—32.
- [11] Nuernberg K, Dannenberger D, Nuernberg G, et al. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds[J]. **Livest Prod Sci**, 2005, 94: 137—147.
- [12] Raes K, Smet S D, Demeyer D. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review[J]. **Anim Feed Sci Tech**, 2004, 113: 199—221.
- [13] European Food Safety Agency (EFSA). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol[J]. **EFSA J**, 2010, 8: 1461.
- [14] Zhang W, Xiao S, Samaraweera H, et al. Functional value of meat products[J]. **Meat Sci**, 2010, 86: 15—31.
- [15] Woods V B, Fearon A M. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review[J]. **Livest Sci**, 2009, 126: 1—20.
- [16] Lopez-Ferrer S, Baucells M D, Barroeta A C, et al. n-3 enrichment of chicken meat. 1. Use of very long-chain fatty acids in chicken diets and their influence on meat quality: Fish oil[J]. **Poul Sci**, 2001, 80: 741—752.
- [17] Crespo N, Esteve-García E. Nutrient and fatty acid deposition in broilers fed different dietary fatty acid profiles[J]. **Poul**

- Sci**, 2002, 81: 1533—1542.
- [18] Burdge G C, Jones A E, Wootton S A. Eicosapentaenoic and docosapentaenoic acids are the principal products of alpha-linolenic acid metabolism in young men[J]. **Brit J Nutr**, 2002, 88: 355—363.
- [19] Kloareg M, Noblet J, Milgen J. Deposition of dietary fatty acids, de novo synthesis and anatomical partitioning of fatty acids in finishing pigs[J]. **Brit J Nutr**, 2007, 97: 35—44.
- [20] Mach N, Devant M, Diaz I, et al. Increasing the amount of n-3 fatty acids in meat from young Holstein bulls through nutrition[J]. **J Anim Sci**, 2006, 84: 3039—3048.
- [21] Chen X J, Mao H L, Liu J X. Effects of supplemental soybean oil and vitamin E on carcass quality and fatty acid profiles of meat in Huzhou lamb[J]. **Acta Agr Scand A-An**, 2008, 58: 129—135.
- [22] Lorenz S, Buettner A, Ender K, et al. Influence of keeping system on the fatty acid composition in the longissimus muscle of bulls and odorants formed after pressure-cooking[J]. **Euro Food Res Technol**, 2002, 214: 112—118.
- [23] Ritzenthaler K L, McGuire M K, Falen R, et al. Estimation of conjugated linoleic acid intake by written dietary assessment methodologies underestimates actual intake evaluated by food duplicate methodology[J]. **J Nutr**, 2001, 131(5): 1548—1554.
- [24] Mushtaq S, Heather Mangiapane E, Hunter K A. Estimation of cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid content in UK foods and assessment of dietary intake in a cohort of healthy adults[J]. **Brit J Nutr**, 2009, 99: 1—9.
- [25] Gillis M H, Duckett S K, Sackmann J R. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle[J]. **J Anim Sci**, 2004, 82: 1419—1427.
- [26] Chen X J, Mao H L, Liu J X. Effects of dietary corn oil and vitamin E supplementation on fatty acid profiles and expression of acetyl CoA carboxylase and stearoyl-CoA desaturase gene in Hu sheep[J]. **Anim Sci J**, 2010, 81: 165—171.
- [27] Ostrowska E, Muralitharan M, Cross R F, et al. Dietary conjugated linoleic acid increases lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs[J]. **J Nutr**, 1999, 129: 2037—2042.
- [28] Wynn R J, Daniel Z C T R, Flux C L. Effect of feeding rumen-protected conjugated linoleic acid on carcass characteristics and fatty acid composition of sheep tissues[J]. **J Anim Sci**, 2006, 84: 3440—3450.
- [29] Mustacich D J, Bruno R S, Traber M G. Vitamin E[J]. **Vit Horm**, 2007, 76: 1—21.
- [30] Fisinin V I, Papazyan T T, Surai P F. Producing selenium-enriched eggs and meat to improve the selenium status of the general population[J]. **Crit Rev Biotech**, 2009, 29: 18—28.
- [31] Kim Y Y, Mahan D C. Comparative effects of high dietary levels of organic and inorganic selenium on selenium toxicity of growing-finishing pigs[J]. **J Anim Sci**, 2001, 79: 942—948.