

# 共轭亚油酸对体外培养的猪骨骼肌肌纤维类型组成的影响

黄金秀, 杨飞云, 刘作华\*, 江山, 肖融

(重庆市畜牧科学院, 重庆 402460)

**摘要:** 旨在研究共轭亚油酸(conjugated linoleic acid, CLA)对体外培养的猪骨骼肌肌纤维类型组成的影响规律。以体外培养的原代猪骨骼肌卫星细胞为材料, 在卫星细胞向肌纤维转化时添加不同水平 CLA(0、50、100、150、200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), 处理后第 4、8 和 12 天, 分别采用相对定量 RT-PCR 测定肌纤维中 MyHC I、MyHC 2a、MyHC 2b 和 MyHC 2x 4 种 MyHC 的基因表达。结果表明, 肌纤维类型的组成随培养时间的延长发生显著变化, 从第 4 到 12 天, MyHC 2b 型肌纤维比例显著上升, 而其余 3 种类型的肌纤维比例均显著下降。添加 50  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA 对肌纤维类型组成无显著影响。添加 100  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA 主要影响第 12 天的肌纤维类型组成, 而添加 150~200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA 则可显著改变第 4~12 天的肌纤维类型组成, 即显著提高 MyHC I 和 MyHC 2a 型肌纤维比例, 显著降低 MyHC 2x 和 MyHC 2b 型肌纤维比例。以上结果提示, 添加 CLA 可使肌纤维类型组成发生变化, 且该作用与添加水平和处理时间密切相关。CLA 对肌纤维类型组成的影响主要表现为提高 MyHC I 和 MyHC 2a 型肌纤维比例, 降低 MyHC 2b 和 MyHC 2x 型肌纤维比例, 这在一定程度上可解释 CLA 提高猪肉品质的原因。

**关键词:** 共轭亚油酸; 肌卫星细胞; 肌纤维类型; 组成; 猪

中图分类号: S828; S816

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2010)03-0295-06

## Effect of Conjugated Linoleic Acid on the Composition of Myofiber Types in Skeletal Muscle Cells of Pigs *in Vitro*

HUANG Jin-xiu, YANG Fei-yun, LIU Zuo-hua\*, JIANG Shan, XIAO Rong

(Chongqing Academy of Animal Sciences, Chongqing 402460, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effect of CLA on the composition of myofiber types in skeletal muscle cells *in vitro*. The primary skeletal muscle satellite cells were used, and when the satellite cells were transformed into muscle cells, different CLA levels (0, 50, 100, 150, 200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) were added into the cells. After D4, D8 and D12 of culture, the ratios of mRNA abundance of four isoforms of myosin heavy chain (MyHC I, MyHC 2a, MyHC 2b and MyHC 2x) were determined by semi-quantitative RT-PCR. The results showed that the composition of myofiber types in skeletal muscle cells changed markedly with culture time. From D4 to D12, MyHC 2b type fiber was increased markedly, but the other three types of muscle fibers were decreased significantly. The addition of 50  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA had no effects on the composition of myofiber types. The effects of 100  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA on the composition of myofiber types appeared mainly on D12, while 150~200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA affected significantly the composition of myofiber types from D4 to D12, with an up-regulation of MyHC I and MyHC 2a type fibers, and a down-regulation of MyHC 2x and MyHC 2b type fibers. The results suggested that the composition of myofiber types in skeletal muscle cells was influenced by CLA, which depen-

收稿日期: 2009-03-23

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2007BAD51B04; 2007BAD51B06); 重庆市自然科学基金重点项目(2008BA1013; 2009BA1078)

作者简介: 黄金秀(1977-), 女, 江西进贤人, 副研究员, 博士, 主要从事动物营养与饲料科学研究, Tel: 023-46792081, E-mail: short00@163.com

\* 通讯作者: 刘作华, E-mail: liuzuohua66@tom.com

ded on its dose and culture time. The effect of CLA on the composition of myofiber mainly was represented by increasing the proportions of MyHC I and MyHC 2a type fibers but decreasing the ratios of MyH 2b and MyHC 2x fibers, which could explain partially why CLA improved pork quality.

**Key words:** conjugated linoleic acid; muscle satellite cell; myofiber type; composition; pig

近些年的研究发现,CLA 在改善猪肉品质方面具有重要功能,既能减少胴体脂肪的沉积,又能增加肌内脂肪含量<sup>[1-3]</sup>。在生长猪饲料中添加 0.125%~1% CLA 使背膘厚呈线性方式降低,添加量达 1% 时的背膘厚降低约 31%;而胴体瘦肉率则呈二次方程式提高,添加量为 0.5% 时的胴体瘦肉率最高,提高约 25%<sup>[4]</sup>。在生长育肥猪饲料中添加 0.75% CLA 使应激型猪的第 10 肋骨和最后肋骨处的背膘厚分别降低了 22.3% 和 5.6%,同时显著提高肌内脂肪含量、大理石纹评分和脂肪硬度<sup>[1]</sup>。肉质主要决定于肌肉本身的形态结构和化学组成。肌纤维作为肌肉组织的主要组成部分,其类型和组成是肌肉生长和肉品质的生化和分子生物学基础。尽管人们对 CLA 在猪肉品质方面的作用进行了大量研究,但对于 CLA 改善肉品质的作用机理目前仍不十分清楚,是否与骨骼肌肌纤维类型的变化有关迄今未见报道。

本试验将采用猪骨骼肌卫星细胞进行原代体外培养,在卫星细胞向肌纤维转化时添加不同水平的 CLA,通过观测不同处理时间的 MyHC I、MyHC 2a、MyHC 2b 和 MyHC 2x 4 种 MyHC 的基因表达,以探讨 CLA 对肌纤维类型组成的影响,为深入揭示 CLA 改善猪肉品质的分子细胞学机制提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验动物

选用 1 日龄未哺乳的太湖×长白×大白三元杂交仔猪。

### 1.2 主要试剂

I 型胶原酶、胰蛋白酶、L-多聚赖氨酸和 HEPES 均购自 Sigma 公司;DMEM/F12 培养基、新生小牛血清和双抗(青霉素、链霉素)均购自重庆百瑞生物工程有限责任公司;反转录酶(M-MLV)、DNA 聚合酶(*Taq*)、RNA 酶抑制剂(RNase inhibitor)、RNA 提取试剂(RNase Reagent)和聚丙烯酰胺均购自日本 TaKaRa 公司。CLA(顺 9,反 11-CLA,纯度≥98%)购自美国 Matreya 公司。

### 1.3 主要仪器

二氧化碳培养箱(Froma series II, Thermo Electron)、纯水系统(Mill-Q)、低速离心机(Fulgor TDL-4A)、倒置显微镜(XDS-1,重庆光学仪器厂)、PCR 仪(Whatman Biometra Tgradient)、电泳凝胶成像系统(Bio-Rad Gel Doc 2000)等。

### 1.4 培养瓶包被

吸取 2.5 mL 的 0.001% L-多聚赖氨酸溶液加入 25 cm<sup>2</sup> 无菌培养瓶内,然后将培养瓶放入 37 °C 干燥箱中烘 24 h 以上。使用前将培养瓶取出,倾去其中液体,并用生长培养基冲洗后备用,整个包被过程均为无菌操作。

### 1.5 原代细胞的获取

参考何波等<sup>[5-6]</sup>的方法。在无菌条件下分离腿部深层肌肉,经 D-Hank's 液清洗后剪碎、移入离心管中,再用冷 D-Hank's 液反复吹打 3 次,静置,弃上清液及漂浮组织;称重后,按每克组织加入 0.1% 胶原酶 I 0.5 mL,37 °C 消化 20~30 min;弃上清液,再加入 0.25% 胰蛋白酶,37 °C 消化 25~35 min;加入生长培养基终止消化,反复用力吹打后依次用 100、200 和 400 目细胞筛过滤,收集滤液;1 200 r·min<sup>-1</sup> 离心 8 min,弃上清液,再用生长培养基重新悬浮细胞。

### 1.6 纯化

采用改良的差速贴壁法<sup>[7-8]</sup>,将细胞悬液加入未包被的培养瓶中培养 2 h,吸出培养基及未贴壁细胞,再加入到新的未包被的培养瓶中培养 4 h,最后把培养基及未贴壁细胞吸出加入到包被的培养瓶中培养。

### 1.7 培养及处理安排

纯化后的细胞先用含牛血清 20% 的生长培养基进行培养,隔天换液 1 次。到完全贴壁后第 8 天即细胞排列成行时,再改用 CLA 处理过的含 10% 牛血清的分化培养基进行培养,每天换液 1 次。每天在倒置显微镜下观察细胞的培养情况,并拍照片。在处理后的第 4、8 和 12 天,每个处理分别取出 3 瓶细胞用以提取总 RNA。

试验设 5 个处理组,分别添加 0、50、100、150、200 μg·mL<sup>-1</sup> CLA。CLA 先用无水乙醇预处理,

再用含 10% 小牛血清的 DMEM/F12 分化培养基稀释至终浓度,且各处理组的乙醇浓度均为 7/10 000。

### 1.8 MyHC I、MyHC 2a、MyHC 2x 和 MyHC 2b mRNA 的 RT-PCR 测定

1.8.1 提取总 RNA 先将细胞培养瓶中的液体彻底弃干净,然后参照 RNArose Reagent 试剂的说明书提取总 RNA。用紫外分光光度计测定 OD<sub>260 nm</sub> 和 OD<sub>280 nm</sub> 值,计算总 RNA 浓度,其 OD<sub>260</sub>/OD<sub>280</sub> 比值均在 1.8 以上。

1.8.2 反转录(RT) 总 RNA 2 μg, 5 μmol · L<sup>-1</sup> MyHC 下游引物 1 μL, 0.5 mol · L<sup>-1</sup> dNTPs 4 μL, 20 U RNA 酶抑制剂(RNase inhibitor) 0.5 μL, 10 U 反转录酶(M-MLV RTse) 1 μL, 5 × RT Buffer 4 μL (含 250 mol · L<sup>-1</sup> Tris-HCl pH8.3, 50 mol · L<sup>-1</sup> MgCl<sub>2</sub>, 250 mol · L<sup>-1</sup> KCl, 50 mol · L<sup>-1</sup> DTT, 2.5 mol · L<sup>-1</sup> Spermidine), 反应总体积 20 μL。先加

RNA 模板和随机引物, 70 °C 水浴 10 min, 迅速置于冰上冷却 5 min, 然后加入其余试剂, 37 °C 反应 60 min, 95 °C 灭活 5 min。

1.8.3 PCR 2 μL RT 产物, 1.25 U Taq DNA 聚合酶, 5 μL 10 × PCR Buffer, 0.2 mmol · L<sup>-1</sup> dNTP Mixture (各 2.5 mmol · L<sup>-1</sup>), 1.6 mol · L<sup>-1</sup> MgCl<sub>2</sub> (25 mmol · L<sup>-1</sup>), 0.4 μmol · L<sup>-1</sup> 目的基因引物。

目的基因引物及分析方法参照 Tanabe<sup>[7]</sup> 和 Zhao<sup>[8]</sup> 等建立的方法。MyHC I、MyHC 2a、MyHC 2b 和 MyHC 2x 有各自的上游引物, 但下游引物相同, 其序列及扩增条件见表 1。同时用 ddH<sub>2</sub>O 和 RNA 样品分别取代 RT 产物作对照, 以检验是否有外源和基因组 DNA 污染, 并用混合样品(待测样品等比例混合)来建立最佳反应条件和校正不同批次间 RT 和 PCR 效率的差异。

表 1 目的基因引物序列及 PCR 条件

Table 1 Forward and reverse primer sequences for target genes and PCR condition

目的基因 Target gene	PCR 产物/bp PCR product	引物序列(5'-3') Primer sequence	PCR 条件 PCR condition
MyHC I	384	F: AGCCTCTTTCTTCTCCCAGGGACATTC	95 °C 预变性 9 min; 94 °C 30 s,
MyHC 2a	375	F: CACTTGCTAAGAGGGACCTCTGAGTTCA	55 °C 30 s, 72 °C
MyHC 2b	398	F: CATCTGGTAACATAAGAGGTACATCTAG	60 s, 30 个循环;
MyHC 2x	429	F: CTTTCCTCATAAAGCTTCAAGTTCTGCC	72 °C 7 min
Antisense		R: ATCCAGGCTGCGTAACGCTCTTTGAGGTTGTA	

1.8.4 电泳及灰度分析 取 6 μL PCR 产物在 8.0% 聚丙烯酰胺凝胶上进行垂直板电泳, 四硼酸钠染色, 用凝胶图像分析系统分析条带灰度。

1.8.5 数据处理与统计分析 根据每条目的基因灰度与 2x 基因灰度之间的比值(2x 值为 1), 求和, 得出每个基因占总和的比例, 即为每个基因所代表的肌纤维类型的比例。利用 SAS 9.0 系统中一般线性模型(GLM)程序进行两因子方差分析, 统计模型中包括 CLA 水平、处理时间及 CLA 水平与处理时间的交互。方差分析显著者, 以 LSD 法比较平均数间的差异显著性。

## 2 结果

### 2.1 培养时间对肌纤维类型组成的影响

由表 2 可知, MyHC I 和 MyHC 2a 型肌纤维比例随培养时间的延长逐渐下降, 且试验所观测的各时间点间差异极显著( $P \leq 0.0032$ )。第 12 与 4 天相比, MyHC I 和 MyHC 2a 型肌纤维比例分别降低

了 76.3% ( $P < 0.0001$ ) 和 44.7% ( $P = 0.0005$ )。对于 MyHC 2x 型肌纤维, 第 8 与 4 天的比例未见显著变化( $P = 0.2795$ ), 但第 12 天的比例显著下降, 降 15%~20% ( $P \leq 0.0029$ )。MyHC 2b 型肌纤维比例随培养时间的延长逐渐增加, 且各时间点间差异极显著( $P < 0.0001$ )。第 12 与 4 天相比, MyHC 2b 型肌纤维比例显著增加了 4 倍多( $P < 0.0001$ )。因此, 肌纤维类型的组成随培养时间的变化显著, 主要表现为 MyHC 2b 型肌纤维增加, 而其余 3 种类型肌纤维减少。

### 2.2 共轭亚油酸对 MyHC I 型肌纤维比例的影响

由图 1 可知, 添加 50 μg · mL<sup>-1</sup> CLA 对第 4~12 天的 MyHC I 型肌纤维比例无显著影响( $P \geq 0.1353$ )。添加 100 μg · mL<sup>-1</sup> CLA 对第 4 天的 MyHC I 型肌纤维比例也无显著影响( $P = 0.9899$ ), 但使第 8 和 12 天的比例分别提高约 22.8% 和 240% ( $P \leq 0.0069$ )。添加 150 和 200 μg · mL<sup>-1</sup> CLA 对第 4~12 天的 MyHC I 型肌纤维比例的影响

响显著( $P < 0.0001$ ),且随CLA添加量的增加,其影响程度增大。200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 处理组与对照组相比,第4、8和12天的MyHC I型肌纤维比例分别提

高了约37.4%、192%和348%( $P < 0.0001$ )。总之,CLA对MyHC I型肌纤维比例的提高作用随添加剂量的增加和培养时间的延长不断增强。

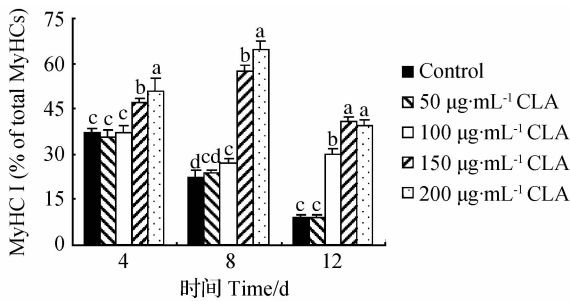
表2 培养时间对肌纤维类型组成的影响

Table 2 Effect of culture time on the composition of myofiber types

指标 Parameter	第4天 D 4	第8天 D 8	第12天 D 12	SEM	P值 P-value
MyHC I	37.1 <sup>a</sup>	22.1 <sup>b</sup>	8.8 <sup>c</sup>	1.1	<0.0001
MyHC 2a	26.6 <sup>a</sup>	21.2 <sup>b</sup>	14.7 <sup>c</sup>	1.0	0.0005
MyHC 2x	26.0 <sup>a</sup>	24.8 <sup>a</sup>	20.9 <sup>b</sup>	1.0	0.0317
MyHC 2b	10.3 <sup>c</sup>	31.9 <sup>b</sup>	55.5 <sup>a</sup>	1.9	<0.0001

<sup>a,b,c</sup>. 同行不同字母肩标者表示差异显著( $P < 0.05$ )

<sup>a,b,c</sup>. Mean with different superscripts within the same row differ significantly ( $P < 0.05$ )



同一时间不同CLA水平间差异显著者用不同字母表示( $P < 0.05$ ),下同

Means with different letters differ significantly among different CLA levels at the same time ( $P < 0.05$ ), the same as below

图1 不同水平的共轭亚油酸对MyHC I型肌纤维比例的影响

Fig. 1 Effects of different conjugated linoleic acid levels on the proportion of MyHC I fiber

### 2.3 共轭亚油酸对MyHC 2a型肌纤维比例的影响

由图2可知,添加50  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA对第4~12天的MyHC 2a型肌纤维比例无显著影响( $P \geq 0.1054$ )。添加100~200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA对第4和8天的MyHC 2a型肌纤维比例的影响也不显著( $P \geq 0.0813$ ),但显著提高了第12天的比例( $P \leq 0.006$ ),且200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 处理组显著高于100和150  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 处理组( $P \leq 0.0032$ ),而其余组间差异不显著( $P = 0.7928$ )。可见,CLA对MyHC 2a型肌纤维比例的影响主要表现在第12天,且以200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的添加效果最佳。

### 2.4 共轭亚油酸对MyHC 2x型肌纤维比例的影响

由图3可知,添加50  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA对第4~12天的MyHC 2x型肌纤维比例无显著影响( $P \geq 0.1521$ )。添加100  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA对第4和8天的MyHC 2x型肌纤维比例的影响也不明显( $P \geq 0.5036$ ),但显著降低了第12天的比例,比对照组约

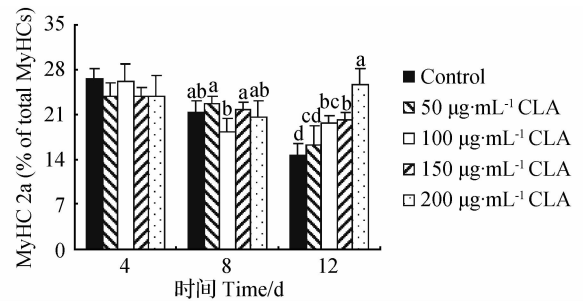


图2 不同水平的共轭亚油酸对MyHC 2a型肌纤维比例的影响

Fig. 2 Effects of different conjugated linoleic acid levels on the proportion of MyHC 2a fiber

低30.8%( $P < 0.0001$ )。添加150和200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的CLA对第4和12天的MyHC 2x型肌纤维比例的影响不显著( $P \geq 0.0762$ ),但明显降低了第8天的比例,比其他处理组约降29.6%~41.0%( $P < 0.0001$ )。可见,CLA对MyHC 2x型肌纤维比例的影响因添加剂量和培养时间的不同而异。

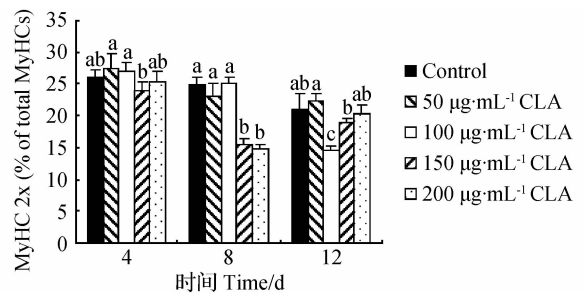


图3 不同水平的共轭亚油酸对MyHC 2x型肌纤维比例的影响

Fig. 3 Effects of different conjugated linoleic acid levels on the proportion of MyHC 2x fiber

## 2.5 共轭亚油酸对 MyHC 2b 型肌纤维比例的影响

由图 4 可知,添加  $50 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA 对第 4~12 天的 MyHC 2b 型肌纤维比例无显著影响( $P \geq 0.06$ )。添加  $100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA 对第 4 和 8 天的 MyHC 2b 型肌纤维比例也无显著影响( $P \geq 0.1779$ ),但第 12 天的比例显著降低,比对照约降 35.4% ( $P < 0.0001$ )。添加 150 和  $200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的 CLA 使第 4~12 天的 MyHC 2b 型肌纤维比例均显著降低( $P \leq 0.0063$ ),且  $200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  处理组的降低幅度大于  $150 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  处理组。在  $200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  处理组,第 4 和 8 天的 MyHC 2b 基因表达极其微弱,以致于用 RT-PCR 未能检测出;到第 12 天的表达量也很低,还不到对照组的 30%,同时显著低于其他处理组( $P < 0.0001$ )。可见,CLA 对 MyHC 2b 型肌纤维比例的作用程度随添加水平的增加而增加,且受处理时间影响。

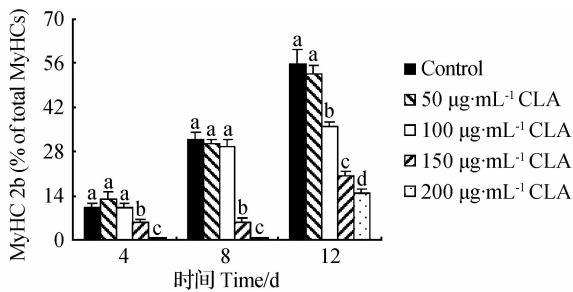


图 4 不同水平的共轭亚油酸对 MyHC 2b 型肌纤维比例的影响

Fig. 4 Effects of different conjugated linoleic acid levels on the proportion of MyHC 2b fiber

## 3 讨论

自 Dugan 等<sup>[9]</sup>发现添加 2% CLA 可显著降低猪皮下脂肪含量和提高胴体瘦肉率以来,人们对 CLA 在猪肉品质方面的作用进行了大量研究。试验表明,CLA 在降低猪皮下脂肪沉积的同时又可提高猪肉肌肉脂肪含量、改善大理石纹评分<sup>[1-2,10]</sup>,增加脂肪组织和肌肉中 CLA 的沉积量、增强肉的营养价值<sup>[11]</sup>,提高脂肪组织中饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸的比例、改善脂肪硬度<sup>[12-13]</sup>。还有研究发现,在生长育肥期饲喂一定剂量 CLA 可提高猪肉色度,降低滴水损失<sup>[10,14]</sup>。关于 CLA 改善肉品质的作用机理,人们也进行了一些研究,但主要从脂肪代谢角度探讨 CLA 影响脂肪沉积的作用机理<sup>[15]</sup>。最近研究发现,肌纤维类型和组成与肉品质密切相关<sup>[16]</sup>。然而,CLA 是否通过影响肌纤维类型组成来改善猪

肉品质迄今未见国内外报道。本试验首次以猪骨骼肌卫星细胞为材料,用体外法在此方面进行了探讨。

本试验结果表明,猪骨骼肌卫星细胞在融合成肌管、出现肌纤维的特性后,随着进一步转化为肌纤维的过程推进,MyHC I、MyHC 2a、MyHC 2x 和 MyHC 2b 4 种类型肌纤维比例发生了显著变化,即表现为氧化型肌纤维减少,而酵解型肌纤维增加,这与杨飞云<sup>[17]</sup>及 Zhao<sup>[8]</sup>等报道的猪肌纤维类型从出生后至成熟分布模式的变化规律相似。本试验还发现,添加 CLA 也可使肌纤维类型组成发生变化,且该作用与添加水平和培养时间密切相关。添加  $50 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA 对第 4~12 天的肌纤维类型组成无显著影响, $100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA 主要影响第 12 天的肌纤维类型组成,而  $150 \sim 200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  CLA 则可显著影响第 4~12 天的肌纤维类型组成。

进一步分析发现,CLA 对肌纤维类型组成的影响主要表现为提高 MyHC I 和 MyHC 2a 型肌纤维的比例,而降低 MyHC 2b 和 MyHC 2x 型肌纤维的比例,这在一定程度上解释了 CLA 改善猪肉品质的原因。MyHC I 和 MyHC 2a 型肌纤维属于氧化型,而 MyHC 2b 型肌纤维属于酵解型,MyHC 2x 型肌纤维介于 MyHC 2a 型与 MyHC 2b 型之间。氧化型肌纤维脂质含量更高,会在一定程度上影响肌肉脂肪含量<sup>[18]</sup>。Hu 等<sup>[19]</sup>对杜洛克和莱芜猪的不同类型 MyHC 基因表达丰度与肉质关系的研究发现,MyHC2b mRNA 水平与肌肉脂肪含量和大理石花纹呈显著负相关,相关系数分别为  $-0.617$  和  $-0.597$  ( $P < 0.05$ )。一般地,氧化型肌纤维含有较高的肌红蛋白,肌肉中若氧化型肌纤维所占比例较高,则肌肉颜色较红润。相反,酵解型肌纤维所含肌红蛋白的量较低,若酵解型肌纤维在肌肉中所占比例高,则肌肉颜色显得苍白。系水力也与肌纤维类型有关,高含量的酵解型肌纤维会导致肌肉保水性能的下降<sup>[20]</sup>。根据上述的肌纤维类型与猪肉品质的关系,综合前人报道的 CLA 对猪肉品质的影响结果及本试验结果,可推测 CLA 对猪肉品质的改善作用有可能是通过影响肌纤维类型的组成来实现的,但该观点尚需进一步研究证实。

## 4 结论

CLA 可改变体外培养的猪骨骼肌肌纤维类型组成,且该作用与添加水平和处理时间密切相关。CLA 对肌纤维类型组成的影响主要表现为提高

MyHC I 和 MyHC 2a 型肌纤维比例,而降低 MyHC 2b 和 MyHC 2x 型肌纤维比例,这在一定程度上可解释 CLA 改善猪肉品质的原因。

### 参考文献:

- [1] WIEGAND B R, PARRISH JR F C, SWAN J E, et al. Conjugated linoleic acid improves feed efficiency, decreases subcutaneous fat, and improves certain aspects of meat quality in stress-genotype pigs[J]. *J Anim Sci*, 2001, 79(8):2187-2195.
- [2] WIEGAND B R, SPARKS J C, PARRISH JR F C, et al. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows[J]. *J Anim Sci*, 2002, 80(3):637-643.
- [3] DUGAN M E R, AALHUS J L, KRAMER J K G. Conjugated linoleic acid pork research[J]. *Am J Clin Nutr*, 2004, 79(6):1212S-1216S.
- [4] OSTROWSKA E, MURALITHARAN M, CROSS R F, et al. Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs[J]. *J Nutr*, 1999, 129(11):2037-2042.
- [5] 何波. 猪骨骼肌卫星细胞的培养、鉴定及猪 MEF2B 和 MEF2C 基因的初步研究[D]. 武汉:华中农业大学,2006.
- [6] R. I. 弗雷谢尼. 动物细胞培养基本技术指南[M]. 章静波,徐存拴译. 第4版. 北京:科学出版社,2004.
- [7] TANABE R, MUROYA S, CHIKUNI K. Expression of myosin heavy chain isoforms in porcine muscles determined by multiplex PCR[J]. *J Food Sci*, 1998, 64(2):222-225.
- [8] ZHAO R Q, YANG X J, XU Q F, et al. Expression of GHR and PGC-1alpha in association with changes of MyHC isoform types in longissimus muscle of Erhualian and Large White pigs (*Sus scrofa*) during postnatal growth[J]. *Anim Sci*, 2004, 79 (NO. Part2):203-211.
- [9] DUGAN M E R, AALHUS J L, SCHAEFER A L, et al. The effect of conjugated linoleic acid on fat to lean repartitioning and feed conversion in pigs[J]. *Can J Anim Sci*, 1997, 77(4):723-725.
- [10] DUGAN M E R, AALHUS J L, JEREMIAH L E, et al. The effects of feeding conjugated linoleic acid on subsequent pork quality[J]. *Can J Anim Sci*, 1999, 79(1):45-51.
- [11] JOO S T, LEE J I, HA Y L, et al. Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition, lipid oxidation, color, and water-holding capacity of pork loin[J]. *J Anim Sci*, 2002, 80(1):108-112.
- [12] THIEL-COOPER R L, PARRISH JR F C, SPARKS J C, et al. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition[J]. *J Anim Sci*, 2001, 79(7):1821-1828.
- [13] RAMSAY T G, EVOCK-CLOVER C M, STEELE N C, et al. Dietary conjugated linoleic acid alters fatty acid composition of pig skeletal muscle and fat[J]. *J Anim Sci*, 2001, 79(8):2152-2161.
- [14] O'QUINN P R, NELSSSEN J L, GOODBAND R D, et al. Effects of modified tall oil versus a commercial source of conjugated linoleic acid and increasing levels of modified tall oil on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs[J]. *J Anim Sci*, 2000, 78(9):2359-2368.
- [15] ZHOU X, LI D F, YIN J D, et al. CLA differently regulates adipogenesis in stromal vascular cells from porcine subcutaneous adipose and skeletal muscle[J]. *J Lipid Res*, 2007, 48(8):1701-1709.
- [16] REHFELDT C, KUHN G. Consequences of birth weight for postnatal growth performance and carcass quality in pigs as related to myogenesis[J]. *J Anim Sci*, 2006, 84(Suppl.):E113-E123.
- [17] 杨飞云,陈代文,黄金秀,等. 猪背最长肌肌纤维类型的发育性变化及品种与营养影响特点[J]. 畜牧兽医学报,2008,39:1701-1708.
- [18] SERRA X, GIL F, PEREZ-ENCISO M, et al. A comparison of carcass, meat quality and histochemical characteristics of Iberian (Guadyrbas line) and Landrace pigs[J]. *Livest Prod Sci*, 1998, 56(3):215-223.
- [19] HU H M, WANG J Y, ZHU R S, et al. Effect of myosin heavy chain composition of muscles on meat quality in Laiwu pigs and Duroc[J]. *Sci China C Life Sci*, 2008, 51(2):127-132.
- [20] OFFER G. Modelling of the formation of Pale, soft and exudative meat: effect of chilling regime and rate and extent of glycolysis[J]. *Meat Sci*, 1991, 30(2):157-184.