

共轭亚油酸对草鱼生长、肌肉成分、谷草转氨酶及谷丙转氨酶活性的影响

陈晨 黄峰 舒秋艳 张丽 周艳萍

(湖北省饲料工程技术研究中心, 动物营养与饲料科学湖北省重点实验室, 武汉 430023)

EFFECTS OF DIETARY CONJUGATED LINOLEIC ACIDS ON GROWTH PERFORMANCE, MUSCLE COMPOSITION, AST AND ALT ACTIVITIES IN SERUM IN JUVENILES GRASS CARP (*CTENOPHARYNGODON IDELLUS*)

CHEN Chen, HUANG Feng, SHU Qiu-Yan, ZHANG Li and ZHOU Yan-Ping

(Hubei Key Laboratory of Animal and Science, Hubei Feed Engineering Technology Research Center, Hubei 430023, China)

关键词: 草鱼; 共轭亚油酸; 肌肉成分; 谷草转氨酶; 谷丙转氨酶

Key words: Grass carp; Conjugated linoleic acid; Muscle composition; AST; ALT

中图分类号: S963.73 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)03-0647-05

共轭亚油酸(Conjugated linoleic acid, CLA)是十八碳二烯酸(亚油酸)的同分异构体, 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, 包括 8—10, 9—10, 10—12 和 11—13 等, 其中每个双键又有顺式和反式两种构象。目前证实具有生物活性的异构体主要有两种, 即顺-9, 反-11(cis-9, trans-11)和反-10, 顺-12(trans-10, cis-12)^[1,2]。近年来, 共轭亚油酸在动物营养中的作用受到较大的关注, 并逐渐成为动物营养研究的崭新领域和热点。大量的研究表明, CLA 具有多种生物学功能, 如曹瑞等^[3]研究发现 CLA 可降低大鼠体质量、血脂水平, 并通过影响肝脏脂质代谢起到抗肥胖的作用; Park, *et al.*^[4]的研究表明, CLA 能显著减少老鼠体内的脂肪沉积, 增加瘦肉量; 周杰等^[5]发现添加 CLA 能显著减少肉鸡腹脂率, 增加肌肉脂肪含量, 改善胴体品质。但目前有关 CLA 在鱼虾等水产动物上的研究报道较少。本文研究了共轭亚油酸对草鱼肌肉成分以及血清生化指标的影响, 为共轭亚油酸添加剂在水产饲料上的开发应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以豆粕、菜粕和棉粕等为主要原料, 配制等氮等能

的实用基础饲料。试验基础日粮配方为: 次粉 15.96%、小麦 10.00%、豆粕 33.82%、菜粕 19.00%、棉粕 12.00%、鱼粉 3.00%、豆油 3.00%、食盐 0.30%、磷酸二氢钙 1.50%、氯化胆碱 0.30%、鱼用多矿^[6]0.80%、鱼用多维^[7]0.20%、Vc-酯 0.02%等。分别添加 0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%和 3.0%共轭亚油酸, 以豆油平衡共轭亚油酸配比, 配制 7 组试验饲料, 分别记为对照组、0.5% CLA 组、1.0% CLA 组、1.5% CLA 组、2.0% CLA 组、2.5% CLA 组和 3.0% CLA 组。各试验组饲料的营养组成(表 1)。饲料原料均粉碎、混合均匀后制成 2 mm 粒径配合饲料, 自然风干后, 密封避光阴凉处保存。试验所用共轭亚油酸由青岛澳海生物技术有限公司提供, 共轭亚油酸含量为 80.77%, 其成分组成(表 2)。

1.2 试验鱼和饲养管理

试验用草鱼购自武汉市东西湖渔场, 在暂养池(2 m×1.2 m×1 m)中投喂不含共轭亚油酸的商品饲料驯养。选取体格健壮, 体重接近的草鱼(平均体重 4.0 g)735 尾, 随机分为 7 组, 每组 3 个重复, 每个重复 35 尾, 饲养于 21 个圆形水族缸中(直径 80 cm, 300 L)。试验周期为 8 周。采用室内循环水养殖系统, 24h 充气增氧, 每天投喂 2 次(8:00 和 16:00), 投喂率为体重的 2%—3%。试验期间溶

收稿日期: 2009-01-20; 修订日期: 2009-12-24

基金项目: 湖北省教育厅重点项目(编号: D200718004); 国家“十一五”科技支撑计划项目(编号: 2006BAD03B03); 武汉工业学院研究生教育创新基金项目(07CX011)资助

作者简介: 陈晨(1983—), 男, 汉族, 吉林白山人; 硕士研究生; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: sisterlin521@163.com

通讯作者: 黄峰(1966—), 男, 汉族, 博士, 教授; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: huangfeng0001@yahoo.com.cn

表 1 各试验饲料的营养成分(%，实测值)
Tab. 1 Nutrient content of the experimental diets

成分含量 Nutrient content	试验饲料 Experimental diets						
	对照组	0.5% CLA 组	1.0% CLA 组	1.5% CLA 组	2.0% CLA 组	2.5% CLA 组	3.0% CLA 组
干物质 Dry matter (%)	89.55	90.15	89.57	89.23	89.31	89.65	90.63
粗蛋白 Crude protein (%)	31.56	31.07	30.13	30.32	30.51	30.81	30.51
粗脂肪 Crude fat (%)	3.56	3.47	3.52	3.65	3.64	3.67	3.77
灰分 Ash (%)	8.53	8.36	8.37	8.32	8.39	8.44	8.39
Ca(%)	1.06	1.09	1.07	1.17	1.13	1.12	1.19
P(%)	1.04	1.07	1.21	1.08	0.99	1.04	1.12

表 2 共轭亚油酸脂肪酸组成
Tab. 2 Fatty acid composition of the conjugated linoleic acid (CLA) mixture fed to juveniles grass carp

脂肪酸组成 Fatty acid	棕榈酸 Palmitic acid C16:0	硬脂酸 Stearic acid C18:0	油酸 Oleic acid C18:1	亚油酸 Linoleic acid C18:2	CLA Cis-9, Trans-11 isomer	CLA Trans-10, Cis-12 isomer
含量 Content (%)	1.90	1.00	9.80	1.50	39.00	40.80

氧大于 6 mg/L, NH₃-N 小于 0.2 mg/L, 水温为 25—31℃, pH 为 7.0—7.5, 光照周期为 12h 光照和 12h 黑暗。

1.3 生长性能相关指标

增重率 (Weight Gain, WGR, %)= 100 × (W_t - W₀) / W₀;

特定生长率 (Specific Growth Rate, SGR, %)= 100 × (lnW_t - lnW₀) / t;

饲料系数 (Feed Coefficient, FCR)= F / (W_t - W₀)

上述表达式中, W₀ 为实验开始时鱼体质量(g); W_t 为实验结束时鱼体质量(g); F 为饲料摄入量(g); t 为饲养时间(d)。

1.4 饲料及肌肉成分的测定

饲养试验结束, 饥饿 24h 后, 每箱随机取 3 尾鱼, 在冰盘内解剖鱼体, 取鱼体两侧头盖骨后至尾鳍前的全部肌肉, 细细地剪碎, 混匀后于 -20℃ 保存。饲料、鱼体肌肉的水分含量采用 105℃ 烘干至恒重 (GB6435-86) 测定, 粗蛋白采用凯氏定氮法 (GB6432-86), 粗脂肪采用索氏抽提法 (GB6433-86), 粗灰分采用高温灼烧法 (GB6438-86), 钙含量采用 EDTA 法, 磷含量采用磷钼钼酸比色法 [8] 测定。

1.5 血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性的测定

饲养试验结束, 饥饿 24h 后, 每箱随机取 3 尾鱼, 用注射器从尾静脉处抽血, 4℃ 静置于 1.5 mL 的离心管 3h 后, 6000 r/min 离心 10min, 提取血清, -20℃ 保存。采用赖氏法 [9] 测定血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性。

1.6 统计分析方法

试验所得数据采用 SPSS 软件中的单因素方差分析 (One-way ANOVA) 进行统计分析, 均值间的多重比较采用 Duncan's 检验方法。表中数值为平均值 ± 标准差, 显著性差异水平为 0.05。

2 结果

2.1 共轭亚油酸对草鱼生长的影响

添加 CLA 对草鱼增重率、特定生长率、饲料系数的影响结果 (表 3)。从表中可知, 0.5% CLA 组草鱼增重率与特定增长率稍大于对照组 (P>0.05), 随着添加量的增加, 这两个指标均低于对照组 (P>0.05), 当 CLA 添加量为 3.0% 时, 草鱼增重率与特定增长率显著低于对照组 (P<0.05)。

表 3 共轭亚油酸对草鱼生长性能的影响
Tab. 3 Effects of dietary different levels of CLA on growth performance in Grass Carp

	初始尾均重 Initial weight (g)	终末尾均重 Final weight (g)	增重率 WGR (%)	特定生长率 SGR (%/d)	饲料系数 FCR
对照组 Control	4.00±0.01	13.70±2.64 ^{ab}	242.63±66.68 ^{bc}	2.26±0.37 ^{bc}	1.80±0.45
0.5% CLA 组	4.02±0.06	14.74±0.81 ^b	266.07±15.15 ^c	2.40±0.08 ^c	1.62±0.11
1.0% CLA 组	4.00±0.01	13.31±1.05 ^{ab}	232.74±26.33 ^{abc}	2.22±0.15 ^{abc}	1.66±0.08
1.5% CLA 组	4.01±0.01	13.05±1.07 ^{ab}	225.69±26.95 ^{abc}	2.18±0.15 ^{abc}	1.71±0.11
2.0% CLA 组	4.12±0.20	12.59±1.13 ^{ab}	205.73±24.42 ^{abc}	2.07±0.15 ^{abc}	1.74±0.08
2.5% CLA 组	4.00±0.01	11.74±0.17 ^a	193.60±4.23 ^{ab}	1.99±0.03 ^{ab}	1.70±0.07
3.0% CLA 组	4.00±0.01	11.06±1.28 ^a	176.31±31.73 ^a	1.87±0.21 ^a	1.79±0.22

注: 表中同列中肩注相邻字母表示差异显著 (P<0.05), 相间字母表示差异极显著 (P<0.01), 下同

Note: The adjacent superscript letters in the same row mean significant difference at P<0.05 level, the isolated superscript letters mean significant difference at P<0.01 level. The same below

0.5% CLA 组饲料系数最低(1.62), 对照组饵料系数最高(1.80), 但各试验组的饲料系数无显著差异($P>0.05$)。

2.2 共轭亚油酸对草鱼肌肉成分的影响

如表 4 所示, 各试验组草鱼肌肉脂肪含量均低于对照组, 当 CLA 添加量为 3%时, 肌肉脂肪含量显著低于对照组($P<0.05$); 各试验组草鱼肌肉蛋白质含量均稍高于对照组, 但差异不显著($P>0.05$); 各试验组的草鱼肌肉水

分、灰分含量差异均不显著($P>0.05$)。

2.3 共轭亚油酸对草鱼血清 ALT 和 AST 活性的影响

各试验组草鱼血清中的谷草转氨酶(AST)活性均显著低于对照组, 分别降低了 38.48%、37.25%、33.82%、43.79%、46.57%和 41.01% ($P<0.05$); 谷丙转氨酶(ALT)活性比对照组分别降低了 19.93%、18.66%、24.61%、22.88%、41.54%和 33.05%, 但组间差异不显著($P>0.05$, 表 5)。

表 4 共轭亚油酸对草鱼肌肉成分的影响

Tab. 4 Effects of dietary different levels of CLA on muscle composition (%) in grass carp

组别 Groups	水分 Moisture (%)	干物质 Dry matter (%)		
		蛋白质 Crude protein	脂肪 Crude lipid	灰分 Ash
对照组 Control	80.21±0.66	83.69±1.55	6.99±0.18 ^b	6.14±0.65
0.5% CLA 组	80.42±3.12	83.98±1.99	6.80±0.33 ^b	5.71±0.43
1.0% CLA 组	80.04±0.89	83.71±1.39	6.49±0.12 ^b	6.96±0.89
1.5% CLA 组	79.91±5.32	83.79±2.07	6.58±0.78 ^b	6.10±0.78
2.0% CLA 组	79.41±1.78	83.85±2.06	6.37±1.05 ^{ab}	6.84±0.26
2.5%CLA 组	79.62±1.30	83.71±1.14	5.92±0.69 ^{ab}	5.76±0.68
3.0% CLA 组	79.42±0.94	83.82±2.17	5.30±0.39 ^a	6.81±0.28

表 5 共轭亚油酸对草鱼血清 ALT 和 AST 活性的影响

Tab. 5 Effects of dietary different levels of CLA on serum ALT and AST activities in grass carp

	谷丙转氨酶 ALT (U/L)	谷草转氨酶 AST (U/L)
对照组 Control	19.67±5.32	102.00±25.05 ^a
0.5% CLA 组	15.75±5.87	62.75±26.85 ^b
1.0% CLA 组	16.00±3.85	64.00±8.32 ^b
1.5% CLA 组	14.83±5.49	67.50±35.58 ^b
2.0% CLA 组	15.17±8.75	57.33±29.23 ^b
2.5% CLA 组	11.50±9.91	54.50±40.24 ^b
3.0% CLA 组	13.17±7.11	60.17±31.34 ^b

3 讨 论

3.1 共轭亚油酸对草鱼生长性能的影响

目前, 共轭亚油酸对鱼类生长性能影响的研究结果很不一致。Choi, *et al.*^[10]认为饲料中添加 1% CLA 可提高鲤鱼的增重率, 而高剂量(>2%)却使尼罗罗非鱼和鲤鱼的增重率降低。有些学者研究指出, 饲料中添加共轭亚油酸对虹鳟^[11]、黄金鲈鱼^[12]、斑点叉尾鲷^[13]、大西洋鲑^[14]和罗非鱼^[15]等鱼类的增重率和饲料系数均无显著影响。本试验结果显示, 饲料中添加 0.5% CLA 可使草鱼增重率比对照组稍有提高($P>0.05$), 但随着 CLA 添加量继续增大, 草鱼增重率和特定生长率呈降低趋势, 当饲料中 CLA 添加量达到 3%时, 草鱼增重率与特定增长率均显著低于对照组($P<0.05$), 说明 CLA 对草鱼的促生长作用不明显。其原因可能是由于 CLA 降低了动物对饲料及其能量的摄入, 增加能量的消耗, 减少前脂肪细胞的分化和增殖, 减少

脂肪合成^[16], 从而减缓了鱼体重的增长。

3.2 共轭亚油酸对草鱼肌肉成分的影响

研究证实, 共轭亚油酸可以降低小鼠^[17,18]和猪^[19—21]的体脂肪含量, 提高体蛋白含量。关于 CLA 对鱼体肌肉成分影响的研究报道较少, Michael, *et al.*^[22]认为, 在饲料中添加 4% CLA 可以显著降低大西洋鲑的全鱼脂肪含量, 提高蛋白质含量。本试验结果显示, 饲料中添加 3.0% CLA 可以显著降低草鱼肌肉脂肪含量($P<0.05$)。这可能是由于 CLA 影响鱼体内脂类合成的结果。一般认为, 在葡萄糖合成脂肪酸的过程中, 葡萄糖转运蛋白(GLUT)是葡萄糖向细胞膜内易化扩散转运过程中的一个调控因子, 已知动物体内存在多种同源的不同基因编码的葡萄糖转运蛋白(GLUT1、GLUT5 和 GLUT7), 编码这些蛋白质的基因表达程度决定着葡萄糖进入细胞的数量, 而 GLUT 的基因表达受 CLA 的影响, 从而影响葡萄糖合成脂肪酸^[23], CLA 作为一种多不饱和脂肪酸对乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)

进行抑制调控,也间接影响脂肪酸的合成^[23]。另外 CLA 通过调节脂肪代谢过程关键酶可以影响动物的脂类代谢,而对关键酶的调节又依赖于一类核内转录因子的受体-过氧化物酶体增生生物激活受体(Peroxisome proliferator-activated receptors, PPAR)。PPAR 存在 3 种亚型,即 PPAR α 、PPAR β 和 PPAR γ 。PPAR γ 主要存在于脂肪组织和免疫系统,参与调控脂类代谢相关基因的表达,在控制脂肪储存和释放、维持机体能量平衡及促进脂肪细胞基因表达等方面均有正向调节作用。CLA 是 PPAR γ 的配体,与 PPAR γ 结合后可以降低 PPAR γ 的 mRNA 表达,从而抑制脂肪形成和前脂肪细胞分化。Kang, *et al.*^[24] 用含 5 g/kg CLA 的饲料饲喂雄性 ICR 鼠,ICR 鼠体重减轻,附睾脂肪 PPAR γ 的 mRNA 表达显著降低。Granlund, *et al.*^[25] 的研究结果也证实 CLA 可以降低动物体脂 PPAR γ 的 mRNA 表达。这说明 CLA 的降脂作用可能是通过抑制 PPAR γ 的 mRNA 在脂肪组织中的表达来实现的。

3.3 共轭亚油酸对草鱼血清 ALT、AST 的影响

谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)是氨基酸代谢过程中两个重要的氨基转移酶。ALT 主要在催化 α -酮戊二酸与天冬氨酸生成谷氨酸与草酰乙酸的反应过程中起氨基转移作用,而 AST 主要在催化 α -酮戊二酸与丙氨酸生成谷氨酸与丙酮酸的反应过程中起氨基转移作用^[26]。当动物的生理机能处于正常情况下,ALT 和 AST 主要存在于细胞内,而血清中的活性很低。在各组织器官中,以心肌细胞和肝细胞内的活性最高。但是当这些组织细胞受损时,可能有大量的谷草转氨酶和谷丙转氨酶从细胞内逸出进入血液,使血清中的这两种转氨酶活性升高,因此通常根据血清中这两种转氨酶活性的变化判断肝脏等组织器官的功能状况,这是目前评定肝脏健康与否的最具特异性和最广泛应用的指标。在鱼类的肝功能正常与否的评定方面,也有一些学者采用该两个指标,王媛等^[27] 采用血清中 ALT 和 AST 活力两个指标,研究了高效氯氰菊酯在不同浓度、不同暴露时间的条件下对鲫鱼血清中 ALT 和 AST 活力的影响,认为随着高效氯氰菊酯质量浓度的增高和暴露时间的增长,鱼体表现出烦躁、翻滚扭动、呼吸困难等症状,血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性明显提高。这表明在动物机体健康受损的情况下,血清中 ALT 与 AST 活性均会明显升高。

目前,CLA 对血清 ALT、AST 活性的影响在水产方面还未见相关报道,但 Liu, *et al.*^[28] 在对热应激奶牛的研究表明,给奶牛饲喂 141.6 g/d、283.2 g/d CLA 可以显著降低奶牛血清中谷草转氨酶的含量,缓解炎热环境对奶牛机体的损伤。本试验在饲料中添加共轭亚油酸饲养草鱼 8 周后,结果显示,CLA 可以显著降低草鱼血清谷草转氨酶的活性($P<0.05$),并使血清谷丙转氨酶活性有较大幅度降低(表 5)。

4 结 论

在本试验条件下,在初始体重为 4.0 g 左右的草鱼鱼种日粮中添加 3.0% 共轭亚油酸能够降低肌肉脂肪沉积,同时显著降低血清中谷草转氨酶的活性。

致谢:

本研究过程中得到胡奇伟、严莉、刘辉宇等老师的大力帮助,以及程璐、程诚、袁路、许魁等的热情帮助。在此,向以上各位老师和同学表示诚挚的感谢!另外感谢湖北省饲料工程技术研究中心,动物营养与饲料科学湖北省重点实验室提供的实验环境与帮助。

参考文献:

- [1] Pariza M W, Park Y, Cook M E. Mechanisms of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation [J]. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 2000, **223**: 8—13
- [2] Pariza M W, Park Y, Cook M E. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid [J]. *Progress in lipid research*, 2001, **40**: 283—298
- [3] Cao R, Wang F, Ji A L, *et al.* Effect of conjugated linoleic acid on liver lipid metabolism in obese rats [J]. *Journal of Preventive Medicine of Chinese People's Liberation Army*, 2006, **24**(2): 88—91 [曹瑞, 王枫, 季爱玲, 等. 共轭亚油酸对肥胖大鼠肝脏脂质代谢的影响. 解放军预防医学杂志, 2006, **24**(2): 88—91]
- [4] Park Y K J, Albright M, Storkson, *et al.* Changes in body composition in mice during feeding and withdrawal of conjugated linoleic acid [J]. *Lipids*, 1999, **34**: 243—248
- [5] Zhou J, Shi S Y, Wang J H, *et al.* Effects of conjugated linoleic acid on different adipose tissue deposits and immune function of yellow broiler chickens [J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2008, **28**(4): 425—429 [周杰, 石水云, 王菊花, 等. 共轭亚油酸对黄羽肉鸡脂肪沉积及部分免疫指标的影响. 中国兽医学报, 2008, **28**(4): 425—429]
- [6] Ogino. Nutrient requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture [M]. Taiwan: Fish World Magazine Press. 1979, 275 [荻野珍吉. 鱼类的营养与饲料. 台湾: 养鱼世界杂志出版社. 1979, 275]
- [7] Ma L, Huang F, Wu J K, *et al.* Effects of different rapeseed meal levels on growth, serum biochemical indices and toxins residues in *Ctenoparyngodon idellus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, **6**(29): 798—803. [马利, 黄峰, 吴建开, 等. 不同菜粕水平对草鱼生长、血清生化指标和毒素残留的影响. 水产学报, 2005, **6**(29): 798—803]
- [8] Cui S W, Chen B F. Data of Feed Standard Compilation [S]. Beijing: Standards Press of China. 1991, 254—280 [崔淑文, 陈必芳. 饲料标准资料汇编. 北京: 中国标准出版社. 1991, 254—280]
- [9] Chen J H, Tao L, Li J, *et al.* Biochemical experiments (third

- edition) [M]. Science Press. 2006, 190—210 [陈钧辉, 陶力, 李俊, 等. 生物化学实验(第三版). 科学出版社. 2006, 190—210]
- [10] Choi B D, Kang S J, Ha Y L, *et al.* Accumulation of conjugated linoleic acid (CLA) in tissues of fish fed diets containing various levels of CLA [A]. In: Xiong Y L, Ho C T, Shahidi F (Eds.), Quality Attributes of Muscle Foods [M]. New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers. 1999, 61—71
- [11] Figueiredo-Silva A C, Rema P, Bandarra M L, *et al.* Effects of dietary conjugated linoleic acid on growth, nutrient utilization, body composition, and hepatic lipogenesis in rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2005, **248**: 163—172
- [12] Twibell R G, Watkins B A, Brown P B. Dietary conjugated linoleic acids and lipid source alter fatty acid composition of juvenile yellow perch, *Perca flavescens* [J]. *Journal of Nutrition*, 2001, **131**: 2322—2328
- [13] Twibell R G, Wilson R P. Effects of dietary conjugated linoleic acids and total dietary lipid concentrations on growth responses of juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. *Aquaculture*, 2003, **221**: 621—628
- [14] Berge G M, Ruyter B, Asgard T. Conjugated linoleic acid in diets for juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*); effects on fish performance, proximate composition, fatty acid and mineral content [J]. *Aquaculture*, 2004, **237**: 365—380
- [15] Yasmin A, Takeuchi T, Hayashi M, *et al.* Effect of conjugated linoleic acid and docosahexanoic acids on growth of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* [J]. *Fish Science*, 2004, **70**: 473—481
- [16] Wang Y, Jones P J. Conjugated linoleic acid and obesity control: efficacy and mechanisms [J]. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 2004, **28**(8): 941—955
- [17] Delany J P, Blohm F, Truett A A, *et al.* Conjugated linoleic acid rapidly reduces body fat content in mice without affecting energy intake [J]. *Comparative Physiology*, 1999, **45**: 1172—1179
- [18] West D B, DeLany J P, Camet P M, *et al.* Effects of conjugated linoleic acid on body fat and energy metabolism in the mouse [J]. *American Journal of Pathology*, 1998, **275**: R667—R672
- [19] Ostrowska E, Muralitharan M R F, Cross D E, *et al.* Dietary conjugated linoleic acid increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs [J]. *Journal of Nutrition*, 1999, **129**: 2037—2042
- [20] Cook M E, Jerome D L, Crenshaw T D, *et al.* Feeding conjugated linoleic acid improves feed efficiency and reduces carcass fat in pigs [J]. *The FASEB Journal*, 1998, **125**: 4843—4849
- [21] 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]. *Canadian journal of animal science*, 1997, **77**: 723—725
- [22] Michael J Leaver, Douglas R, *et al.* Effect of dietary conjugated linoleic acid(CLA) on lipid composition, metabolism and gene expression in Atlantic salmon (*Salmo salar*) tissues [J]. *Comparative Physiology*, 2006, **145**: 258—267
- [23] Bi J M. Recent advance in mechanism of conjugated linoleic acid on modulation of lipid metabolism [J]. *Feed Industry*, 2005, **26**(21): 24—30 [毕晋明. 共轭亚油酸对脂肪代谢调控机制的研究进展. 饲料工业, 2005, **26**(21): 24—30]
- [24] Kang K, Liu W, *et al.* Trans-10,cis-12 CLA inhibits differentiation of 3T3-L1 adipocytes and decreases PPAR γ expression [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2003, **303**: 795—799
- [25] Granlund L, Jan I P, *et al.* Impaired lipid accumulation by trans 10, cis 12 CLA during adipocyte differentiation is dependent on timing and length of treatment [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2005, **1687**: 11—22
- [26] Zhou S W, Zou S X, Jiang Y M, *et al.* Animal Biochemistry (Third edition) [M]. China Agriculture Press. 2003, 156—175 [周顺伍, 邹思湘, 姜涌明, 等. 动物生物化学(第三版). 中国农业出版社. 2003, 156—175]
- [27] Wang Y, Yang K J, Wu Z, *et al.* Effect of Beta-cypermethrin on Glutamic-Pyruvic Transaminase and Glutamic-oxaloacetic Transaminase Activities in Crucian Carp [J]. *Fish Science*, 2005, **9**(24): 8—10 [王媛, 杨康健, 吴中, 等. 氰氯菊酯对鲫鱼血清中谷丙转氨酶及谷草转氨酶活力的影响. 水产科学, 2005, **9**(24): 8—10]
- [28] Liu Z L, Chen P, Li J M, *et al.* Conjugated linoleic acids (CLA) moderate negative responses of heat-stressed cows [J]. *Livestock Science*, 2008, **118**: 255—261