

日粮中添加罗格列酮和梧桐子油对绵羊脂代谢 相关酶活性的影响

史晓雪¹ 牛占宇¹ 幸超¹ 张三润² 闫婉姝¹ 张润厚^{1*}

(1. 内蒙古农业大学 动物科学学院, 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古医科大学 基础教研部, 呼和浩特 010110)

摘 要 为研究日粮中添加硬脂酰辅酶 A 去饱和酶(SCD)的活性促进剂(罗格列酮)和抑制剂(梧桐子油)对绵羊背最长肌及皮下脂肪组织中的脂肪酸合成酶(FAS)、脂蛋白脂酶(LPL)、乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)以及 SCD 酶活性的影响,选 18 只体重为 27.71 ± 2.64 kg、生理状态相似的杂交公羊(美利奴♂×小尾寒羊♀),将其随机分为 3 组,每组 6 只,单栏饲养。对照组饲喂基础日粮,梧桐子油组饲喂基础日粮+15 g/d 梧桐子油,罗格列酮组(L 组)饲喂基础日粮+8 mg/d 罗格列酮。结果表明:1)与对照组相比,罗格列酮可以显著提高绵羊背最长肌中 LPL、SCD 和皮下脂肪中 FAS 酶的活性($P < 0.05$),然而,对背最长肌和皮下脂肪中 ACC 酶的活性没有影响。2)与对照组相比,梧桐子油抑制了绵羊背最长肌中 ACC 和 SCD 酶的活性,但对皮下脂肪中的 ACC、FAS、LPL 和 SCD 酶活性没有影响。本试验表明罗格列酮可以通过增强机体对胰岛素的敏感性,进而提高 SCD 和 FAS 的活性,另外罗格列酮还可以通过激活 PPAR- γ ,进而提高组织中 LPL 的活性;富含不饱和脂肪酸的梧桐子油可以通过抑制 ACC 的基因表达而影响组织中其酶活性的变化,SCD 的活性受到梧桐子油中苯婆酸和其他多不饱和脂肪酸的抑制作用而表现出活性降低的结果。

关键词 硬脂酰辅酶 A 去饱和酶; 脂肪酸合成酶; 脂蛋白脂酶; 乙酰辅酶 A 羧化酶; 梧桐子油; 罗格列酮; 酶活

中图分类号 S826.9+5

文章编号 1007-4333(2018)05-0060-07

文献标志码 A

Effects of dietary supplementation of rosiglitazone and phoenix tree seed oil on the activities of lipase-related enzymes in sheep

SHI Xiaoxue¹, NIU Zhanyu¹, XING Chao¹, ZHANG Sanrun², YAN Wanshu¹, ZHANG Runhou^{1*}

(1. College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Department of Basic Education, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, China)

Abstract The objectives of this study were to investigate the effects of dietary supplementation of the SCD accelerator (rosiglitazone) and inhibitor (phoenix tree seed oil) on the activities of FAS, LPL, ACC and SCD in longissimus muscle and subcutaneous adipose tissues in fattening sheep. Eighteen crossbreed ram (Merino sheep ♂ × Han sheep ♀), similar in body weight (27.71 ± 2.64 kg) and birth date, were randomly divided into three groups with six animal each: Animals in the first group (C group) were fed with control diet; Animals in the second group (L group) were fed with control diet plus rosiglitazone at the rate of 8 mg/d; the third group (W group) were fed with control diet plus phoenix tree seed oil at the rate of 15 g/d. The results showed that: 1) Compared to animals in control diet, animals in L group had significantly higher LPL and SCD activities in longissimus muscle and significantly higher FAS activity in subcutaneous fat ($P < 0.05$) in sheep while no significant effects were observed on the ACC activity in the longissimus

收稿日期: 2017-09-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360560)

第一作者: 史晓雪, 硕士研究生, E-mail: shixiaoxue1994@163.com

通讯作者: 张润厚, 教授, 主要从事反刍动物营养学研究, E-mail: runhouzhang@hotmail.com

muscle and subcutaneous fat. 2) Compared to animals in control diet, animals in W group had lower ACC and SCD activities in longissimus muscle, but no significant effects on the activities of ACC, FAS, LPL and SCD in the subcutaneous fat were observed. This study showed that rosiglitazone can increase the activities of SCD and FAS by improving body sensitivity to insulin. In addition, rosiglitazone can also enhance the activity of LPL in tissue by activating PPAR- γ . The phoenix tree seed oil, which is rich in unsaturated fatty acids, can affect enzyme activity in the tissues by inhibiting the expression of ACC gene, the activity of SCD was reduced by sterculic acid and other polyunsaturated fatty acids in phoenix tree seed oil.

Keywords stearyl CoA desaturase; fatty acid synthase; lipoprotein lipase; acetyl-CoA carboxylase; phoenix tree seed oil; rosiglitazone; enzyme activity

近年来,我国内蒙古等边疆少数民族地区肉羊业迅速发展,羊肉在肉类消费中的比重不断增加。但是羊肉中含脂肪量较高,且40%的脂肪为饱和性脂肪,而饱和性脂肪与肥胖症、高血压、冠心病及各种癌症有关。因此,降低羊肉脂肪含量,增加脂肪中共轭亚油酸(CLA)等功能性脂肪酸的比例,对于促进消费者健康具有重要意义。已有研究表明乳脂中64%~78%的CLA是由反式油酸(TVA)经SCD脱氢生成的^[1-2],牛肉中86%的CLA是由TVA经SCD脱氢生成的^[3]。CLA具有许多对人体有益的生物学功能,包括抗肿瘤、抗动脉粥样硬化、预防糖尿病、增强机体免疫、促进骨骼发育与健康、降低机体脂肪含量、预防肥胖症等功能^[4]。而反刍动物产品是人类膳食中最主要的CLA来源。目前,关于CLA的内源生成及体内脂肪代谢和转换机理的研究报道非常有限,以绵羊作为试验动物的研究还未见报道。因此,本试验拟通过在绵羊日粮中添加SCD的促进剂(罗格列酮)及抑制剂(梧桐子油)来探究对脂肪代谢的几种主要酶(FAS、LPL、ACC和SCD)在绵羊背最长肌及皮下脂肪中活性的影响,以期CLA等功能性脂肪酸在不同体组织中的代谢机理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在优牧特公司土左旗内蒙古农业大学养殖基地进行(2016年11月—2017年1月)。试验动物由优牧特公司提供,试验动物约4月龄、遗传背景一致、平均体重为 27.71 ± 2.64 kg、健康状况良好的杂交公羊(美利奴 σ ×小尾寒羊 ρ)。试验期间所用的基础日粮为商品育肥料(由优牧特公司提供)。采用亚临界低温萃取法提取的梧桐子油,购于陕西森弗天然制品有限公司。罗格列酮购于呼和浩特市国大药房。

1.2 试验设计及饲养管理

1.2.1 试验设计

采用单因素随机试验设计,将18只羊随机分成3组:对照组(C组)、梧桐子油组(W组)、罗格列酮组(L组),每组6只,实行单栏饲养(2.0 m长×1.2 m宽)。三个处理组所对应的试验日粮设计如下:1)C组饲喂基础日粮;2)W组饲喂基础日粮+15 g/d梧桐子油;3)L组饲喂基础日粮+8 mg/d罗格列酮。试验羊每天7:00和17:00饲喂,自由饮水。试验期为50 d,包括:过渡期10 d、预饲期5 d、正式试验期为35 d。试验基础日粮精粗比为60:40(质量比),日粮组成及营养水平见表1。

1.2.2 饲养管理

试验开始前用聚维酮碘喷洒消毒羊舍及周边环境,严格的清洗消毒试验用具。所有试验羊在试验开始前统一进行驱虫和注射疫苗。

1.3 样品采集

饲养试验结束后,所有试验动物拉到屠宰场屠宰,宰前试验羊禁食12 h,自由饮水。试验羊宰杀放血后,去头、蹄及睾丸,剥离皮毛,去内脏(保留肾脏及肾周脂肪)后首先用于屠宰性能测定。随后立即从第十二肋骨处采皮下脂肪及背最长肌各100 g左右,迅速置于液氮中冷冻,待转移回实验室后于-80℃下保存,用于脂肪代谢相关酶活性的测定。

1.4 测定指标及方法

测定指标包括绵羊背最长肌及皮下脂肪中的脂肪酸合成酶(FAS)、脂蛋白脂酶(LPL)、乙酰辅酶A羧化酶(ACC)以及硬脂酰辅酶A去饱和酶(SCD)的活性。采用苏州卡尔文生物科技有限公司ELISA试剂盒进行测定,操作程序严格按照试剂盒要求进行。

1.5 数据分析

数据采用Excel进行初步整理,后用SAS统计软件ANOVA进行方差分析,Duncan氏法进行多重比较。 $P < 0.05$ 作为差异显著的判断标准。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(干物质基础)
Table 1 Composition and nutrition in the basal diet (dry matter basis)

原料 Ingredient	配比/% Ratio	营养水平 Nutritrnt level	含量 Content
玉米 Corn	32.00	代谢能 ^② /(MJ/kg)	8.23
玉米胚芽粕 Corn germ meal	8.00	粗蛋白质/% CP	13.26
葵花壳 Sunflower shell	16.00	粗脂肪/% CF	5.82
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	24.00	中性洗涤纤维/% NDF	34.23
酒糟 DDGS	5.00	酸性洗涤纤维/% ADF	18.90
豆粕 Soybean meal	8.00	钙/% Ca	1.19
麸皮 Bran	2.50	总磷/% P	0.41
预混料 ^① Premix	2.00		
石粉 Stone powder	1.40		
盐 NaCl	0.60		
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.50		

注:①每千克预混料中各营养成分分别为:碘 55 mg、锰 1 750 mg、钴 25 mg、硒 22.5 mg、铁 3 000 mg、锌 2 000 mg、维生素 A 400 000 IU、维生素 D 30 000 IU、维生素 E 3 000 IU。
②代谢能是计算值,其他营养水平均为实测值。
Note:The nutrient levels per kilogram premix are:I 55 mg,Mn 1 750 mg,Co 25 mg,Se 22.5 mg,Fe 3 000 mg,Zn 2 000 mg,VA 400 000 IU,VD 30 000 IU,VE 3 000 IU. ② All values are measured values except metabolizable energy.

2 结果与分析

2.1 对绵羊背最长肌中脂代谢相关酶活性的影响

日粮中添加罗格列酮和梧桐子油对绵羊背最长肌中 FAS、LPL、ACC 和 SCD 酶活性的影响测定结果见表 2。与对照组相比,W 组 FAS、ACC 和 SCD 酶的活性分别降低了 4.83%、14.63% 和 32.94%,其中

FAS 酶活性的降低未达到显著水平($P>0.05$),而 ACC 和 SCD 酶活性显著低于对照组($P<0.05$);但 W 组中 LPL 酶的活性比对照组高 11.34%,且未达到显著水平($P>0.05$)。与对照组相比,L 组 FAS、LPL、ACC 和 SCD 酶活性分别提高了 2.65%、58.42%、4.88% 和 25.88%,其中 LPL 和 SOD 酶活性显著高于对照组($P<0.05$),其余酶活性变化均不显著($P>0.05$)。

表 2 日粮中添加罗格列酮和梧桐子油对绵羊背最长肌中脂代谢相关酶活性的影响
Table 2 Effects of dietary supplement of rosiglitazone andphoenix tree seed oil on the activity of lipid metabolism related enzymes in the longissimus muscle of sheep

测定指标 Index	组别 Group			标准误 SEM	P 值 P-value
	对照组 C	梧桐子油组 W	罗格列酮组 L		
脂肪酸合成酶/ (U/mg) FAS	20.51	19.52	21.05	0.92	0.506 5
脂蛋白脂酶/ (U/g) LPL	2.91 b	3.24 b	4.61 a	0.44	0.035 0
乙酰辅酶 A 羧化/ (U/g) ACC	0.41 a	0.35 b	0.43 a	0.02	0.008 5
硬脂酰辅酶 A 去饱和酶/ (U/g) SCD	0.85 b	0.57 c	1.07 a	0.06	<0.000 1

注:同行数字不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:Values with different letters within same row represent significantly differences ($P<0.05$). The same below.

2.2 对绵羊皮下脂肪中脂代谢相关酶活性的影响

日粮中添加罗格列酮和梧桐子油对绵羊皮下脂肪中 FAS、LPL、ACC 和 SCD 酶活性的影响测定结果见表 3。与对照组相比，W 组 FAS、ACC 和 SCD 酶的活性分别降低了 3.31%、7.69% 和 10.20%，但均未达到显著水平 ($P>0.05$)，W 组

中 LPL 酶的活性比对照组高 11.15% 但未达到显著水平 ($P>0.05$)。与对照组相比，L 组 FAS、LPL、ACC 和 SCD 酶活性分别提高了 15.78%、5.00%、5.23% 和 6.12%，其中 FAS 酶活性显著高于对照组 ($P<0.05$)，其余酶活性变化均不显著 ($P>0.05$)。

表 3 日粮中添加罗格列酮和梧桐子油对绵羊皮下脂肪中脂代谢相关酶活性的影响
Table 3 Effects of dietary supplement of rosiglitazone andphoenix tree seed oil on lipid metabolism related enzymes in subcutaneous fat of sheep

测定指标 Index	组别 Group			标准误 SEM	P 值 P-value
	对照组 C	梧桐子油组 W	罗格列酮组 L		
脂肪酸合成酶/ (U/mg) FAS	22.68 b	21.93 b	26.26 a	0.58	0.000 2
脂蛋白脂酶/ (U/g) LPL	2.60	2.89	2.73	0.40	0.322 6
乙酰辅酶 A 羧化/ (U/g) ACC	0.39	0.36	0.41	0.03	0.495 3
硬脂酰辅酶 A 去饱和酶/ (U/g) SCD	0.49	0.44	0.52	0.03	0.161 1

3 讨 论

脂肪代谢受酶活性直接调控，脂肪酸合成酶 (FAS)、脂蛋白脂酶 (LPL)、乙酰辅酶 A 羧化酶 (ACC) 和硬脂酰辅酶 A 去饱和酶 (SCD) 是动物体内脂肪代谢的关键酶。这些酶的含量直接影响了动物体内脂肪堆积及不饱和脂肪酸的含量。

3.1 罗格列酮对绵羊背最长肌及皮下脂肪中相关酶活性的影响

罗格列酮是噻唑烷二酮类胰岛素增敏剂，主要通过与其氧化物酶体增殖物激活受体 γ (PPAR- γ) 结合而发挥作用，罗格列酮与 PPAR- γ 结合后激活 PPAR- γ ，激活的 PPAR- γ 与维甲类 X 受体结合形成异二聚体，并调节某些特定基因的转录，最终导致血中甘油三酯 (TG) 分解，增加脂肪组织 TG 合成，刺激脂肪细胞分化，增强胰岛素敏感性，改善胰岛素抵抗，最终降低血糖。有研究表明，噻唑烷二酮类药物主要是增加胰岛素的敏感性，仅在存在胰岛素时才发挥作用^[5]。绵羊口服噻唑烷二酮类药物后，瘤胃微生物几乎没有对其产生降解^[6]。FAS 是体组织脂肪酸合成过程中的主要限速酶，有研究发现

FAS 活性的高低对控制动物体脂沉积具有重要的意义^[7]。在猪皮下脂肪前体细胞中添加罗格列酮，结果发现罗格列酮可以显著上调 FAS 基因的表达^[8]。外源添加胰岛素可以上调奶牛乳腺上皮细胞中 FAS 的基因表达量^[9]。胰岛素可诱导人脂肪细胞和肝癌细胞中 FAS mRNA 含量的增加^[10]。Teruel 等^[11]发现罗格列酮可预防胰岛素诱导的主要脂质生成酶的上调，从而使 FAS mRNA 表达降低。低浓度的噻唑烷二酮类药物可以提高 FAS mRNA 表达，而高浓度可抑制 FAS mRNA 表达^[12]。本试验表明，日粮中添加罗格列酮可以显著提高绵羊皮下脂肪中 FAS 的活性，这与已有研究结果相一致。在男性非糖尿病人的肌筋膜外侧做开放性肌肉活检，发现与罗格列酮接触的瞬间可以增加 ACC 酶的磷酸化，最大效应为 15 min 并在 60 min 时恢复正常^[13]。可解释本研究中添加罗格列酮对绵羊背最长肌及皮下脂肪中 ACC 的活性无影响的原因。罗格列酮和胰岛素结合时，与 LPL mRNA 表达有协同作用，从而使 LPL 活性提高^[11]。罗格列酮可以使胎儿脂肪组织中 LPL mRNA 的表达量增加，也可以提高骨骼肌中 PPAR- γ mRNA 的表

达^[14]。给患有肾病的大鼠用罗格列酮治疗后,发现罗格列酮可提高大鼠肾皮质 PPAR- γ 的表达,从而缓解肾脏的病理损伤^[15]。用 PPAR- γ 基因转染诱导骨髓间充质干细胞,结果显示,PPAR- γ 基因可促进其 LPL 基因的表达^[16]。本研究表明,日粮中添加罗格列酮可以显著提高绵羊背最长肌中 LPL 的活性,这一结果是由于罗格列酮激活了绵羊背最长肌中的 PPAR- γ ,进而引起 LPL 活性的增强。SCD 的调控作用与脂质代谢密切相关,在体外培养犊牛肝细胞的试验中发现:SCD mRNA 的基因表达量随着胰岛素浓度的增加,促进作用不断增强,呈现出剂量依赖效应。相反,SCD mRNA 的基因表达量随着胰高血糖素浓度的增加,抑制作用不断增强,同样呈现出剂量依赖效应^[17]。有研究表明,罗格列酮可以增加人体 SCD 活性指数和基因表达^[18-19]。在体内试验时给患糖尿病的小鼠注射胰岛素,发现对小鼠肝脏的 SCD 基因表达有上调作用^[20]。同时,胰岛素是 SCD 转录的高效促进剂,在不同物种的研究中发现胰岛素对 SCD 基因的转录在体内和体外均有促进作用。本研究中添加罗格列酮能显著提高背最长肌中 SCD 的活性,可能是罗格列酮增加了机体对胰岛素的敏感性,从而使背最长肌中 SCD 的表达量增加,进而引起组织中 SCD 活性的提高。

3.2 梧桐子油对绵羊背最长肌及皮下脂肪中相关酶活性的影响

梧桐树也叫凤凰树,据研究表明,其根皮可治疗风湿病、哮喘、骨折和肿瘤^[21],种子可促进消化治疗胃痛^[22]。梧桐子油由其种子中所提取出来。梧桐子油中含有大量不饱和脂肪酸,如棕榈酸、油酸、亚油酸和苧婆酸等,其中苧婆酸含量占 23.2%^[23-24]。苧婆酸属于环丙烯脂肪酸,可作为 SCD 的抑制剂使用^[25]。有研究发现,不饱和脂肪酸能够抑制大鼠肝脏中 FAS 酶的活性,且不饱和脂肪酸对 FAS 活性的抑制作用,与不饱和脂肪酸的含量、不饱和程度、链的长短以及双键的位置等许多因素有关^[26]。多不饱和脂肪酸可抑制 FAS 的基因表达^[27]。有研究表明,在动物日粮中添加富含不饱和脂肪酸的植物油可以下调组织中 FAS、ACC 和 SCD 的基因表达^[28-30]。但本研究发现,梧桐子油对绵羊背最长肌及皮下脂肪中 FAS 的活性无显著影响,可能是由于不同品种之间的差异所致,也有可能是梧桐子油的添加量问题,确切的原因有待进一步探索。本研究结果显示梧桐子油可抑制背最长肌中 ACC 的活

性,这与已有研究结果基本一致,可能是由于梧桐子油富含多不饱和脂肪酸抑制了 ACC 基因的表达,进而引起 ACC 活性的降低。已有研究将苧婆酸作为 SCD 的活性抑制剂在奶牛饲养试验中运用,并得到较好的抑制效果^[31]。用苧婆酸处理的细胞中超过 90% 的 SCD 活性被抑制^[32]。在反刍动物日粮中添加植物油可降低乳中 SCD 的活性^[33]。奶牛日粮中添加富含亚油酸的大豆油可以抑制乳腺中 SCD 酶的基因表达^[34]。在绵羊日粮中添加富含亚油酸的葵花油,结果显示此添加物对羊的肝脏及背肌中 SCD 酶 mRNA 的表达产生了抑制作用^[35]。本研究结果表明在绵羊日粮中添加梧桐子油可抑制背最长肌中 SCD 的活性。

综上所述,根据日粮中添加罗格列酮和梧桐子油对绵羊背最长肌和皮下脂肪中脂代谢相关酶的影响结果,可为后续的 CLA 等功能性脂肪酸在不同体组织中的含量提供理论依据,现推测罗格列酮可能会提高绵羊背最长肌中 CLA 及其前体物的含量,而梧桐子油可能会降低绵羊背最长肌中 CLA 及其前体物的含量。

4 结 论

1) 罗格列酮可以通过增强机体对胰岛素的敏感性,进而提高 SCD 和 FAS 的活性,另外罗格列酮还可以通过激活 PPAR- γ ,进而提高组织中 LPL 的活性。

2) 富含不饱和脂肪酸的梧桐子油可以通过抑制 ACC 的基因表达而影响组织中其酶活性的变化,SCD 的活性受到梧桐子油中苧婆酸和其他多不饱和脂肪酸的抑制作用而表现出活性降低的结果。

参考文献 References

- [1] Griinari J M, Corl B A, Lacy S H, Chouinard P Y, Nurmela K V V, Bauman D E. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Δ^9 -desaturase[J]. *Journal of Nutrition*, 2000, 130(9): 2285
- [2] Griinari J M, Bauman D E, Yurawecz M P, Mossoba M M, Kramer J K G, Pariza M W. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants[M]. In: Yurawecz M P, Mossoba M M, Kramer J K G, Pariza M W, Nelson G J, eds. *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, 1999: 180-200
- [3] Gillis M H, Duckett S K, Sackmann J R, Keisler D H. Effect of rumen-protected conjugated linoleic acid (CLA) or linoleic acid

- on leptin and CLA content of bovine adipose depots [J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81(2): 12
- [4] 张三润, 汤灵姿, 张润厚. 共轭亚油酸及其生物学功能研究进展 [J]. 中国草食动物科学, 2014, 34(6): 52-55
- Zhang S R, Tang L Z, Zhang R H. Research development on conjugated linoleic acids and their biological functions [J]. *Chinese Herbivorous Animal Science*, 2014, 34(6): 52-55 (in Chinese)
- [5] Chinnala K M, Panigrahy R N, Bantu R, Kallem G R. Formulation and *in vitro* evaluation of sustained release floating matrix tablet of rosiglitazone maleate [J]. *International Journal of Drug Development & Research*, 2015, 7(1): 1-9
- [6] Ghoreishi S M, Rajaian H, Sheykhzade M, Alikhani M, Rahmani H R, Hajipour A R. Pharmacokinetics of pioglitazone, a thiazolidinedione derivative, in male naeini (iranian fat-tailed) sheep [J]. *Journal of Applied Animal Research*, 2012, 40(3): 208-214
- [7] Semenknvich C F. Regulation of fatty acid synthase (FAS) [J]. *Progress in Lipid Research*, 1997, 36: 43-53
- [8] 刘海峰, 张熙, 李明洲, 李学伟. 罗格列酮对猪脂肪前体细胞分化过程中聚脂相关基因表达模式的影响 [J]. 遗传, 2009, 31(7): 719-724
- Liu H F, Zhang X, Li M Z, Li X W. Effects of rosiglitazone on expression patterns of the genes involved in adipogenesis during porcine preadipocytes differentiation [J]. *Hereditas*, 2009, 31(7): 719-724 (in Chinese)
- [9] 王皓宇, 秦彤, 郝海生, 杜卫华, 赵学明, 朱化彬. 胰岛素对体外培养奶牛乳腺上皮细胞乳蛋白、如脂肪合成相关基因 mRNA 表达的影响 [J]. 畜牧兽医学报, 2013, 44(5): 710-718
- Wang H Y, Qin T, Hao H S, Du W H, Zhao X M, Zhu H B. Effects of insulin on mRNA expression of genes related to milk protein and fat synthesis in bovine mammary epithelial cells cultured *in vitro* [J]. *Acta Veterinaria Et Zootechnica Sinica*, 2013, 44(5): 710-718 (in Chinese)
- [10] Claycombe K J, Jones B H, Standridge M K, Guo Y, Chun J T, Taylor J W. Insulin increases fatty acid synthase gene transcription in human adipocytes [J]. *American Journal of Physiology*, 1998, 274(2): 1253-1259
- [11] Teruel T, Hernandez R, Rial E, Martin-Hidalgo A, Lorenzo M. Rosiglitazone up-regulates lipoprotein lipase, hormone-sensitive lipase and uncoupling protein-1, and down-regulates insulin-induced fatty acid synthase gene expression in brown adipocytes of wistar rats [J]. *Diabetologia*, 2005, 48(6): 1180-1188
- [12] Barthel A, Krüger K D, Roth R A, Joost H G. Concentration-dependent stimulatory and inhibitory effect of troglitazone on insulin-induced fatty acid synthase expression and protein kinase b activity in 3T3-L1 adipocytes [J]. *Naunyn Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 2002, 365(4): 290-295
- [13] Skrobuk P, Kuoppamaa H, Hiukka A, Koistinen H A. Acute exposure to rosiglitazone does not affect glucose transport in intact human skeletal muscle [J]. *Metabolism Clinical & Experimental*, 2010, 59(2): 224-30
- [14] Muhlhauser B S, Morrison J L, Mcmillen I C. Rosiglitazone increases the expression of peroxisome proliferator-activated receptor-gamma target genes in adipose tissue, liver, and skeletal muscle in the sheep fetus in late gestation [J]. *Endocrinology*, 2009, 150(9): 4287-4294
- [15] Chen L Q, Gan H, Du X G, Lv Z M. Effects of rosiglitazone on expressions of peroxisome proliferator-activated receptor gamma and TGF- β in rats with *Adriamycin nephrosis* [J]. *Agricultural and Applied Economics Association*, 2010, 24: 955-961
- [16] 刘厂辉, 曾艳辉, 唐海林, 罗怡君, 陈代钦. PPAR- γ 基因修饰对兔骨髓间充质干细胞成脂分化及 ADRP、LPL 表达的影响 [J]. 南华大学学报, 2009, 37(4): 386-389
- Liu C H, Zeng Y H, Tang H L, Luo Y J, Chen D Q. Effect of PPAR- γ transfection on differentiation of rabbit MSCs into adipocytes and expression of ADRP and LPL [J]. *Journal of Nanhua University*, 2009, 37(4): 386-389 (in Chinese)
- [17] 王亚超, 邓俊良, 王利民, 钱辉, 刘国文, 王哲. 胰岛素、胰高血糖素和神经肽 Y 对体外培养犍牛肝细胞硬脂酰 CoA 去饱和酶 mRNA 表达的影响 [J]. 中国兽医学报, 2013, 33(1): 69-73
- Wang Y C, Deng J L, Wang L M, Qian H, Liu G W, Wang Z. Effects of insulin, glucagon and neuropeptide Y on expression of SCD mRNA in monolayer primary cultured neonatal calf hepatocytes *in vitro* [J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2013, 33(1): 69-73 (in Chinese)
- [18] Risérus U, Tan G D, Fielding B A, Neville M J, Currie J, Savage D B. Rosiglitazone increases indexes of stearoyl-CoA desaturase activity in humans; Link to insulin sensitization and the role of dominant-negative mutation in peroxisome proliferator-activated receptor-gamma [J]. *Diabetes*, 2005, 54(5): 1379-84
- [19] Mai K, Andres J, Bobbert T, Assmann A, Biedasek K, Diederich S. Rosiglitazone increases fatty acid $\Delta 9$ -desaturation and decreases elongase activity index in human skeletal muscle *in vivo* [J]. *Metabolism Clinical & Experimental*, 2012, 61(1): 108-116
- [20] Daniel Z C, Richards S E, Salter A M, Buttery P J. Insulin and dexamethasone regulate stearoyl-CoA desaturase mRNA levels and fatty acid synthesis in ovine adipose tissue explants [J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 82(1): 231-237
- [21] Bai H, Li S, Yin F, Hu L. Isoprenylated naphthoquinone dimers firmianones a, b, and c from *Firmiana plataniifolia* [J]. *Journal of Natural Products*, 2005, 68(8): 1159-1163
- [22] Woo K W, Suh W S, Subedi L, Kim S Y, Kim A, Lee K R. Bioactive lignan derivatives from the stems of firmiana simplex [J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2016, 26(3): 730
- [23] Sun S, Li X. Physicochemical properties and fatty acid profile of phoenix tree seed and its oil [J]. *Journal of the American Oil*

Chemists Society, 2016, 93(8): 1-4

[24] 李旭雷. 梧桐子油的提取、成分分析及梧桐子油脂肪酸制备的研究[D]. 河南: 河南工业大学, 2016

Li X L. The extraction of phoenix tree oil, composition analysis and research of preparation fatty acid [D]. Henan: Henan University of Technology, 2016 (in Chinese)

[25] Hou X, Sun S. Enzymatic production of sterculic acid from the novel phoenix tree seed oil: Optimization and kinetic study[J]. *Grasas Y Aceites*, 2017, 68(2): 197

[26] Clarke S D, Armstrong M K, Jump D B. Nutritional control of rat liver fatty acid synthase and S14 mRNA abundance[J]. *Journal of Nutrition*, 1990, 120(2): 218-224

[27] 张力莉, 徐晓锋. 动物脂肪酸合成酶基因表达调控的研究进展[J]. *畜牧与兽医*, 2012, 44(4): 101-103

Zhang L L, Xu X F. Advances in regulation of animal fatty acid synthase gene expression [J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2012, 44(4): 101-103 (in Chinese)

[28] Khatun J, Loh T C, Akit H, Foo H L, Mohamad R. Fatty acid composition, fat deposition, lipogenic gene expression and performance of broiler fed diet supplemented with different sources of oil[J]. *Animal Science Journal*, 2017, (88)9: 1406-1413

[29] Iyer M N, Sarmah B C, Tamuli M K, Das A, Kalita D. Effect of dietary sunflower oil and coconut oil on adipose tissue gene expression, fatty acid composition and serum lipid profile of grower pigs[J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2012, 66(4): 271

[30] Joseph S J, Pratt S L, Pavan E, Rekaya R, Duckett S K. Omega-6 fat supplementation alters lipogenic gene expression in bovine subcutaneous adipose tissue[J]. *Gene Regulation and Systems Biology*, 2010, 4(4): 91

[31] Kay J K, Mackle T R, Auldist M J, Thomson N A, Bauman D E. Endogenous synthesis and enhancement of conjugated linoleic acid in pasture-fed dairy cows[J]. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 2002, 62: 12-15

[32] Gomez F E, Bauman D E, Ntambi J M, Fox B G. Effects of sterculic acid on stearoyl-coa desaturase in differentiating 3t3-l1 adipocytes [J]. *Biochemical & Biophysical Research Communications*, 2003, 300(2): 316-326

[33] Bernard L, Leroux C, Faulconnier Y, Durand D, Shingfield K J, Chilliard Y. Effect of sunflower-seed oil or linseed oil on milk fatty acid secretion and lipogenic gene expression in goats fed hay-based diets[J]. *Journal of Dairy Research*, 2009, 76(2): 241-248

[34] 卜登攀, 王加启, 刘仕军, 刘晓云, 谷俊, 张瑞超. 奶牛日粮添加豆油抑制乳腺硬脂酰辅酶A去饱和酶(SCD)基因mRNA表达水平[J]. *中国畜牧兽医*, 2006, 33(7): 3-4

Bu D P, Wang J Q, Liu S J, Liu X Y, Gu J, Zhang R C. Addition of soybean oil to diets for dairy cows decrease SCD gene expression in mammary gland[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2006, 33(7): 3-4 (in Chinese)

[35] 赵天章. 日粮油脂类型对羊肉脂肪酸和肌内脂肪含量的影响及其机理[D]. 北京: 中国农业大学, 2014

Zhao T Z. Effect and the initial mechanism research of dietary oil sources on fatty acid and intramuscular fat contents of lamb [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东