

网络出版时间:2019-07-10 10:35 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.01.003
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190710.1033.006.html

夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织脂肪酸组成及含量分析

朱佳冉,胡深强,梁小虎,丁 鹏,贾先波,陈仕毅,王 杰,赖松家

(四川农业大学 畜禽遗传资源发掘与创新利用四川省重点实验室,四川 成都 611130)

【摘 要】 【目的】比较夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织形态及脂肪酸组成与含量的差异。【方法】随机选取 30 头 18 月龄体质量相近的夏西本杂交公牛进行屠宰,采集腹部皮下和肾周脂肪组织,称其质量后制作石蜡组织切片,观测 2 种脂肪的组织学差异;应用 GC-MS 技术测定脂肪酸组成及含量。【结果】(1)肾周脂肪组织质量显著大于皮下脂肪组织($P<0.05$),分别为 (4.58 ± 2.44) 和 (3.42 ± 1.31) kg/头;肾周脂肪细胞体积较大、大小不均、排列疏松,腹部皮下脂肪细胞体积较小、大小均一、排列整齐紧密,肾周和皮下脂肪细胞直径分别为 (104.41 ± 25.97) 和 (101.51 ± 18.79) μm ,两者之间差异不显著($P>0.05$)。(2)皮下和肾周脂肪组织中都检测出 33 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸(SFA)15 种,含量最高的有硬脂酸、棕榈酸;单不饱和脂肪酸(MUFA) 8 种,油酸含量最高;多不饱和脂肪酸(PUFA)10 种,含量最高的为亚油酸。皮下和肾周脂肪组织的脂肪酸组成相似,但其含量有明显差异,SFA 含量分别为 $(68.58\pm2.64)\%$ 和 $(73.16\pm1.71)\%$,MUFA 含量分别为 $(21.45\pm2.14)\%$ 和 $(18.06\pm1.25)\%$,PUFA 含量分别为 $(9.97\pm1.01)\%$ 和 $(8.78\pm1.38)\%$,SFA、MUFA、PUFA 含量在 2 种脂肪组织间差异均极显著($P<0.01$)。对脂肪酸含量进行主成分分析与脂肪组织质量和脂肪细胞直径进行关联分析后发现,肾周脂肪酸主成分 1,2,4,5 和 7 与脂肪组织质量和脂肪细胞直径均具有显著或极显著相关性,而皮下脂肪酸的各主成分与脂肪组织质量和脂肪细胞直径均无显著相关性。【结论】夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织质量和组织学形态具有明显差异,两者脂肪酸组成相似但含量存在显著差异;棕榈酸、棕榈油酸等部分脂肪酸的含量与不同部位脂肪组织的脂质沉积能力有一定的关联性。

【关键词】 夏西本杂交牛;皮下脂肪组织;肾周脂肪组织;组织形态学;脂肪酸组成

【中图分类号】 S823.92

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2020)01-0016-09

Fatty acids composition and content in subcutaneous and perirenal adipose tissues of Charolais×Simmental×Yellow cattle

ZHU Jiaran, HU Shenqiang, LIANG Xiaohu, DING Peng, JIA Xianbo,

CHEN Shiyi, WANG Jie, LAI Songjia

(Farm Animal Genetic Resources Exploration and Innovation Key Laboratory of Sichuan Province,
Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: 【Objective】 This study was conducted to analyze the differences in histomorphology as well as fatty acids composition and contents in subcutaneous and perirenal adipose tissues of Charolais×Simmental×Yellow cattle. 【Method】 Thirty male hybrid cattle at the age of 18 months were randomly selected for sample collection. After slaughter, subcutaneous and perirenal adipose tissues were collected and weighed, and samples were simultaneously collected for preparing paraffin sections to observe the histological differences and measuring fatty acids composition and content using the GC-MS technique. 【Result】 (1)

【收稿日期】 2018-12-05

【基金项目】 四川省科技支撑计划项目(2016NYZ0050);四川农业大学学科建设双支计划项目(03573037)

【作者简介】 朱佳冉(1995—),女,山东菏泽人,在读硕士,主要从事动物遗传育种研究。E-mail:zhujr8413@163.com

【通信作者】 赖松家(1965—),男,四川成都人,教授,博士,主要从事草食动物遗传育种研究。E-mail:laisj5794@163.com

The weight of perirenal adipose tissue (4.58 ± 2.44) kg was significantly higher than that of subcutaneous adipose tissue (3.42 ± 1.31) kg. Perirenal adipocytes had large volume, uneven size, and loose arrangement, while abdominal subcutaneous adipocytes had small volume, uniform size, and close arrangement. The diameters of subcutaneous and perirenal adipocytes were (104.41 ± 25.97) and (101.51 ± 18.79) μm , respectively, without significant difference ($P > 0.05$). (2) A total of 33 fatty acids were detected in both subcutaneous and perirenal adipose tissues, consisting of 15 SFAs, 8 MUFAs and 10 PUFAs. The contents of stearic acid and palmitic acid were the highest among SFAs, content of oleic acid was the highest among MUFAs, and content of linoleic acid was the highest among PUFAs. The composition of fatty acids was similar in both tissues, but the content of each component was significantly different ($P < 0.01$). The contents of SFA, MUFA and PUFA in subcutaneous adipose tissues were (68.58 ± 2.64)%, (21.45 ± 2.14)% and (9.97 ± 1.01)%, respectively, and that in perirenal adipose tissues were (73.16 ± 1.71)%, (18.06 ± 1.25)% and (8.78 ± 1.38)%, respectively. Furthermore, the contents of SFA, MUFA and PUFA were significantly different between the subcutaneous and perirenal adipose tissues ($P < 0.01$). By principle component analysis (PCA) on fatty acids and correlation analysis on PCA values with adipose tissue weight and adipocyte diameter, the principle components 1, 2, 4, 5 and 7 of perirenal adipose tissue were significantly correlated with adipose tissue weight and adipocyte diameter, while the principle components of subcutaneous adipose tissue had no significant correlation with them. 【Conclusion】 Differences were observed in weight and morphology between subcutaneous and perirenal adipose tissues of Charolais $\times$ Simmental $\times$ Yellow cattle. The composition of fatty acids was similar, while the content of each component was significantly different. Such difference may be associated with site-specific fat deposition in adipose tissues of beef cattle.

Key words: Charolais $\times$ Simmental $\times$ Yellow cattle; subcutaneous adipose tissue; perirenal adipose tissue; histomorphology; fatty acid composition

脂肪组织作为动物机体主要的能量储存器官,不仅能供给机体生命活动所需的能量和必需脂肪酸,而且可作为内分泌器官分泌一系列脂肪因子和激素,如瘦素、脂联素等,参与调节一些重要的生理病理过程,与肥胖、糖尿病和心血管疾病等密切相关^[1-2]。在畜牧生产领域,畜体脂肪的含量和分布是影响动物产肉性能和健康状况的重要因素。一般而言,家畜体内大部分脂肪储存于皮下,用于储存能量、调节体温并防止热能散发;剩余部分则主要填充于各内脏间隙,供能的同时具有润滑和保护脏器的作用。家畜脂肪含量过低一般是营养不良的体现,常表现为体质量偏低、产肉性能差、肉品质差等;而皮下和内脏脂肪过度沉积不仅影响胴体美观和肉品质,还易造成家畜肥胖、内脏器官超负荷等,继而导致机体代谢紊乱,诱发多种疾病^[3]。众所周知,动物体内的脂肪由甘油和脂肪酸合成。其中,脂肪酸组成及含量对于机体健康、新陈代谢、储能和供能、神经发育等具有重要的生物学意义。按饱和程度分类,脂肪酸可划分为饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(Polyunsaturat-

ed fatty acid, PUFA)。研究发现,膳食中 SFA 可能会提高血清中低密度脂蛋白胆固醇水平,致使人体易患各种心血管疾病^[4],而另一方面, SFA 作为能量供体是心脏搏动优先动用的一类脂肪酸^[5],部分 SFA 对人体具有潜在的生理作用,如辛酸和癸酸分别具有抗肿瘤和抗艾滋病毒的生物活性^[6]。MUFA (尤其是油酸)具有调节血脂、降低胆固醇和抗血栓的作用^[7]。PUFA 是机体生长发育、脂膜构成必不可少的成分之一,在降压、抗癌、抗抑郁等方面也有重要作用^[8]。MUFA 易发生氧化反应,产生氧化前体物,进而转化形成醛类、内酯类和呋喃类等物质,在牛肉风味形成过程中发挥着重要作用^[9-10]。国内外关于牛脂肪酸组成和含量的研究多集中在肌肉脂肪方面,致力于牛肉品质及风味的改善^[11-13]。Brooks 等^[14]、包音都古荣·金花等^[15]发现,安格斯牛的不同部位肌肉脂肪酸含量具有明显差异,皮下和肌肉脂肪组织脂肪酸含量也有所不同。刘婷等^[16]对比分析了玛曲牦牛和康乐黄牛肠系膜脂肪和肾周脂肪组织中脂肪酸组成及含量差异,发现同一品种不同部位的 SFA、MUFA 和 PUFA 含量差异显著,不同品种的同部位亦是如此。由此可知,

牛脂肪组织脂肪酸组成和含量受到品种、年龄、胴体部位等多种因素的影响。

本课题组自主选育的夏西本杂交牛(夏洛莱牛×西门塔尔牛×本地黄牛)具有较好的肉用性能(大部分屠宰性状均显著或极显著高于本地黄牛),且在肉色、pH 值、嫩度、蒸煮损失和持水力等肉质重要评价指标上表现优良^[17]。然而,目前对夏西本杂交肉牛不同部位脂肪组织的脂肪酸组成和含量及其沉积的潜在分子机制报道较少,亟待进一步加强。本试验对夏西本杂交牛腹部皮下和肾周脂肪组织的形态学差异和脂肪酸组成及含量进行了研究,旨在揭示肉牛不同部位脂肪的沉积规律及其潜在的分子机制,为优质肉牛培育提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与样品采集

选取体质量相近((530±70) kg/头)、饲养管理条件一致的 30 头 18 月龄夏西本三元杂交公牛(夏洛莱牛×西门塔尔牛×本地黄牛),屠宰后分别取腹部皮下脂肪和肾周脂肪组织称其质量,然后各取部分组织用体积分数 4% 的甲醛固定,用于制作石蜡切片,再各取 300 g 放入液氮中保存,用于脂肪酸组成及含量分析。

1.2 脂肪的组织学差异分析

取出固定好的样品,蒸馏水冲洗去除甲醛,依次用体积分数 70%,80%,90%,95% 和 100% 的乙醇脱水后使用二甲苯透明,再将组织块依次浸入低熔点的软蜡和高熔点的硬蜡中充分包埋,冷冻保存。常规方法制备脂肪组织切片,片厚为 5 μm,将切片置于胶板上并放入展片箱烘干。将烘制好的切片用二甲苯、不同体积分数乙醇(100%,95%,90%,80%,70%)和蒸馏水冲洗,用苏木精、伊红染色,依次用不同体积分数乙醇(70%,80%,90%,95%,

100%)和二甲苯冲洗,使用中性树胶封片后镜检。

1.3 脂肪酸测定分析

应用 GC-MS 技术分析各组织脂肪酸组成及含量,具体操作步骤如下:取 100 mg 样品加入到 15 mL 离心管中,继续加入 2 mL 体积分数 5% 的盐酸甲醇溶液,3 mL 氯仿甲醇溶液,100 μL 十九烷酸甲酯内标,85 ℃ 水浴锅中水浴 1 h,冷却至室温,加入 1 mL 正己烷,振荡 2 min,静置 1 h。吸取上清液 100 μL,用正己烷定容到 1 mL,通过 0.45 μm 滤膜过膜后,上机进行气相色谱-质谱(GC-MS)分析。色谱条件:色谱柱 TG-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm);柱箱温度 80 ℃ 1 min,10 ℃/min 升至 200 ℃,5 ℃/min 升至 250 ℃,2 ℃/min 升至 270 ℃,保持 3 min;进样口温度 290 ℃;载气流速 1.2 mL/min;不分流进样,开阀时间 1 min。质谱条件:离子源温度 280 ℃;传输线温度 280 ℃;溶剂延迟 5 min;扫描范围为 30~400 amu;离子源为 EI 源 70 eV。

1.4 数据处理与分析

运用 Image J 图像分析系统测量脂肪细胞直径。使用 EXCEL 对所有数据进行基本处理,然后采用 SPSS 22.0 和 Graphpad Prism 7 进行统计分析,比较 2 种脂肪组织间脂肪酸含量的差异性,并对脂肪酸含量进行主成分分析,探究各脂肪酸主成分与脂肪质量和脂肪细胞直径的相关性。所有数据用“平均值±标准差”表示, $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织质量和组织学差异

组织形态学观察发现,皮下脂肪细胞体积较小、大小均一饱满、排列整齐紧密,而肾周脂肪细胞体积较大、大小不均、形状不规则、排列疏松(图 1)。

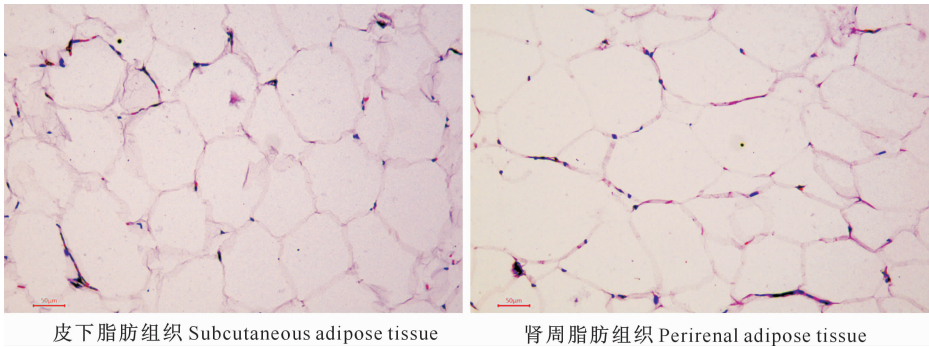


图 1 夏西本杂交牛不同部位脂肪组织的组织形态学观察

Fig. 1 Histological observation of adipose tissues at different sites in Charolais×Simmental×Yellow cattle

夏西本杂交牛屠宰后,其腹部皮下和肾周脂肪组织质量分别为(3.42±1.31)和(4.58±2.44) kg/头,两者差异显著($P<0.05$)。通过 Image J 图像分析系统测量脂肪细胞直径后发现,肾周脂肪细胞直径为(104.41±25.97) μm,而皮下脂肪细胞直径为(101.51±18.79) μm,稍小于肾周脂肪细胞,但两者之间差异不显著($P>0.05$)。

2.2 夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织的脂肪酸组成及含量

脂肪组织中脂肪酸组成及含量受品种、性别、年龄、营养水平和胴体部位等因素的影响。本试验在其他因素相同的情况下,运用 GC-MS 技术检测不同部位脂肪组织中脂肪酸组成及含量,结果见表 1。表 1 表明:夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织均含有 33 种脂肪酸,其中 SFA 15 种,MUFA 8 种,PUFA 10 种。进一步分析发现,肾周脂肪组织中 SFA 含量极显著高于皮下脂肪组织($P<0.01$);SFA 中

硬脂酸、棕榈酸和肉豆蔻酸的含量较高,肾周脂肪组织中硬脂酸含量极显著高于皮下脂肪组织($P<0.01$),而棕榈酸、肉豆蔻酸含量极显著低于皮下脂肪组织($P<0.01$)。皮下脂肪组织中 MUFA 极显著高于肾周脂肪组织($P<0.01$);MUFA 中,油酸、棕榈油酸含量较高,油酸含量在 2 种脂肪组织间无显著差异($P>0.05$),棕榈油酸含量皮下脂肪组织极显著高于肾周脂肪组织($P<0.01$)。皮下脂肪组织中 PUFA 含量极显著高于肾周脂肪组织($P<0.01$);PUFA 中,亚油酸含量最高,其次是 α-亚麻酸,皮下脂肪组织中亚油酸含量显著高于肾周脂肪组织($P<0.05$),而 α-亚麻酸含量极显著高于肾周脂肪组织($P<0.01$)。皮下脂肪组织中 PUFA/SFA 值高于肾周脂肪组织,ω-6/ω-3 值低于肾周脂肪组织,其中 PUFA/SFA 差异极显著($P<0.01$),而 ω-6/ω-3 差异不显著($P>0.05$)。

表 1 夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织中脂肪酸组成及含量的比较

Table 1 Comparison of composition and content of fatty acids in subcutaneous and perirenal adipose tissues of Charolais×Simmental×Yellow cattle

脂肪酸 Fatty acid		碳数及不饱和度 Carbon numbers and unsaturation	脂肪酸含量/% Fatty acids content	
			皮下脂肪组织 Subcutaneous adipose tissue	肾周脂肪组织 Perirenal adipose tissue
SFA	辛酸 Octanoic acid	C8 : 0	0.006 4±0.001 9 a	0.007 3±0.001 7 a
	癸酸 Decanoic acid	C10 : 0	0.055 9±0.016 4 a	0.063 2±0.015 7 a
	十一烷酸 Undecanoic acid	C11 : 0	0.000 9±0.000 3 a	0.000 9±0.000 3 a
	月桂酸 Lauric acid	C12 : 0	0.103 7±0.026 9 a	0.106 1±0.024 9 a
	十三烷酸 Tridecylic acid	C13 : 0	0.024 7±0.006 3 A	0.032 5±0.008 0 B
	肉豆蔻酸 Myristic acid	C14 : 0	5.487 8±0.576 5 A	4.923 8±0.679 7 B
	十五烷酸 Pentadecanoic acid	C15 : 0	1.275 8±0.159 0 a	1.362 7±0.191 6 a
	棕榈酸 Palmitic acid	C16 : 0	30.174 0±1.193 0 A	28.818 8±1.240 5 B
	十七烷酸 Margatic acids	C17 : 0	3.852 0±0.315 3 A	4.064 4±0.229 5 B
	硬脂酸 Stearic acid	C18 : 0	26.976 2±2.173 7 A	32.694 6±2.087 0 B
	花生酸 Arachidic acid	C20 : 0	0.560 6±0.278 3 A	0.938 9±0.187 3 B
	二十一烷酸 Heneicosanoic acid	C21 : 0	0.018 1±0.007 1 A	0.038 2±0.013 0 B
	山嵛酸 Behenic acid	C22 : 0	0.033 3±0.014 7 A	0.082 9±0.031 0 B
	二十三烷酸 Tricosanoic acid	C23 : 0	0.008 5±0.005 0 A	0.017 8±0.010 5 B
	二十四烷酸 Lignoceric acid	C24 : 0	0.007 0±0.005 6 a	0.010 1±0.007 3 a
	小计 Subtotal		68.584 9±2.639 4 A	73.162 3±1.714 8 B
MUFA	肉豆蔻烯酸 Myristoleic acid	C14 : 1	1.037 2±0.596 0 A	0.283 4±0.146 5 B
	顺式-10-十五烯酸 10-Pentadecylenic acid	C15 : 1	0.024 0±0.007 4 A	0.013 3±0.002 5 B
	棕榈油酸 Palmitoleic acid	C16 : 1	5.536 0±1.245 8 A	2.936 0±0.627 6 B
	顺式-10-十七烯酸 10-Heptadecenoic acid	C17 : 1	1.050 7±0.240 0 A	0.539 9±0.138 6 B
	油酸 Oleic acid	C18 : 1n-9	13.197 2±1.606 4 a	13.752 2±1.244 2 a
	顺式-11-二十碳烯酸 11-Eicosenoic acid	C20 : 1	0.526 6±0.130 5 A	0.418 7±0.063 6 B
	芥酸 Erucic acid	C22 : 1n-9	0.072 1±0.073 8 a	0.113 0±0.049 7 b
	神经酸 Nervonic acid	C24 : 1	0.001 8±0.003 3 a	0.000 9±0.000 8 a
	小计 Subtotal		21.445 7±2.135 3 A	18.057 4±1.245 1 B
PUFA	亚油酸 Linoleic acid	C18 : 2n-6	7.926 5±1.027 2 a	7.202 4±1.383 9 b
	α-亚麻酸 α-Linolenic acid	C18 : 3n-3	1.719 6±0.273 2 A	1.392 6±0.149 3 B
	γ-亚麻酸 γ-Linolenic acid	C18 : 3n-6	0.015 8±0.019 4 a	0.008 5±0.004 6 a
	顺式-11,14-二十碳二烯酸 11,14-Eicosadienoic acid	C20 : 2	0.130 6±0.117 5 a	0.074 1±0.013 5 b

表 1(续) Continued table 1

	脂肪酸 Fatty acid	碳数及不饱和度 Carbon numbers and unsaturation	脂肪酸含量/% Fatty acids content	
			皮下脂肪组织 Subcutaneous adipose tissue	肾周脂肪组织 Perirenal adipose tissue
PUFA	顺式-11,14,17-二十碳三烯酸 11,14,17-Eicosatrienoicacid	C20 : 3n-3	0.058 0±0.023 7 A	0.035 9±0.013 1 B
	顺式-8,11,14-二十碳三烯酸 8,11,14-Eicosatrienoicacid	C20 : 3n-6	0.002 8±0.000 9 A	0.003 9±0.001 6 B
	花生四烯酸 Arachidonic acid	C20 : 4n-6	0.073 3±0.033 4 A	0.034 5±0.013 4 B
	顺式-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸 EPA	C20 : 5n-3	0.013 9±0.005 9 A	0.007 5±0.002 7 B
	顺式-13,16-二十二碳二烯酸 Docosadienoic acid	C22 : 2	0.012 9±0.004 7 a	0.014 4±0.004 0 a
	顺式-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸 DHA	C22 : 6n-3	0.016 1±0.013 4 A	0.006 7±0.003 7 B
	小计 Subtotal		9.969 5±1.008 1 A	8.780 4±1.379 3 B
	ω-3		1.807 6±0.278 4 A	1.442 6±0.146 2 B
PUMA/SFA	ω-6		8.161 9±1.026 2 a	7.337 8±1.380 8 b
	ω-7		6.586 7±1.468 6 A	3.475 9±0.760 9 B
	ω-9		13.797 7±1.636 1 a	14.284 8±1.258 1 a
			0.145 9±0.019 5 A	0.120 4±0.021 1 B
	ω-6/ω-3		4.741 2±1.676 7 a	5.139 9±1.098 6 a

注:同行数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。 ω -3= C18 : 3n-3+C20 : 3n-3+C20 : 5n-3+C22 : 6n-3; ω -6=C18 : 2n-6+C18 : 3n-6+C20 : 2+C20 : 3n-6+C20 : 4n-6+C22 : 2; ω -7=C17 : 1+C16 : 1; ω -9=C18 : 1n-9+C20 : 1+C22 : 1n-9+C24 : 1。

Note:Different lowercase letters in each line indicate significant difference at $P<0.05$,and different capital letters indicate significant difference at $P<0.01$. ω -3= C18 : 3n-3+C20 : 3n-3+C20 : 5n-3+C22 : 6n-3; ω -6=C18 : 2n-6+C18 : 3n-6+C20 : 2+C20 : 3n-6+C20 : 4n-6+C22 : 2; ω -7=C17 : 1+C16 : 1; ω -9=C18 : 1n-9+C20 : 1+C22 : 1n-9+C24 : 1.

2.3 夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织中 33 种脂肪酸的主成分分析

对夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织中 33 种脂肪酸进行相关性分析后发现,同一组织中多个脂肪酸间呈显著或极显著相关性,这表明各脂肪酸间存在信息重叠。因此,有必要通过主成分分析将已检测出的 33 种脂肪酸成分简化为一组互不相关但起主导作用的综合指标,进而探讨脂肪酸组成及含量与脂肪组织质量和脂肪细胞直径的关联性。

根据 33 种脂肪酸主成分分析中相关系数矩阵特征值和累计贡献率,按照特征值大于 1 的原则,分别从皮下和肾周脂肪组织 33 种脂肪酸中导出 8 个主成分,分别命名为 SPC1~SPC8 和 KPC1~KPC8。由表 2 可知,皮下和肾周脂肪组织中 8 个主成分的累计贡献率分别为 88.139%和 87.634%,信息损失量均低于 15%,故具有足够的解释力度,能有效反映原有的信息。

表 2 夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织脂肪酸的主成分分析相关系数矩阵特征值和累计贡献率

Table 2 Correlation coefficient matrix eigenvalue and cumulative contribution rate from principle component analysis of fatty acids in subcutaneous and perirenal adipose tissues of Charolais×Simmental×Yellow cattle

类型 Types	主成分 Principal component	特征值 Initial eigenvalues	贡献率/% Contribution	累计贡献率/% Cumulative contribution
皮下脂肪组织 Subcutaneous adipose tissue	SPC1	8.708	26.388	26.388
	SPC2	7.573	22.949	49.337
	SPC3	3.390	10.272	59.609
	SPC4	3.187	9.657	69.266
	SPC5	2.237	6.777	76.043
	SPC6	1.621	4.912	80.955
	SPC7	1.307	3.959	84.915
	SPC8	1.064	3.224	88.139
肾周脂肪组织 Perirenal adipose tissue	KPC1	9.246	28.019	28.019
	KPC2	5.564	16.859	44.878
	KPC3	3.498	10.599	55.477
	KPC4	3.084	9.346	64.824
	KPC5	2.861	8.669	73.493
	KPC6	2.163	6.554	80.046
	KPC7	1.343	4.068	84.115
	KPC8	1.162	3.520	87.634

2.4 33 种脂肪酸主成分值与不同部位脂肪组织质量和脂肪细胞直径的关联性

夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织脂肪酸主成分表达式为: $F=a_1X_1+a_2X_2+\cdots+a_{33}X_{33}$ 。式中, $X_1\sim X_{33}$ 为表 1 中 33 种脂肪酸的含量, $a_1\sim a_{33}$ 为表 3 中各脂肪酸主成分的特征向量值。

分别将 30 个个体的脂肪酸含量代入主成分表达式求得主成分值,分析主成分值与脂肪质量和脂肪细胞直径的相关性,结果见表 4。由表 4 可以看

出,KPC1、KPC7 与肾周和皮下脂肪组织质量呈极显著的负相关关系($P<0.01$),KPC2、KPC5 与肾周和皮下脂肪组织质量呈极显著的正相关关系($P<0.01$);KPC4 与 2 种脂肪组织质量呈显著正相关关系($P<0.05$);SPC1~SPC8 与 2 种脂肪组织质量相关性均不显著($P>0.05$)。KPC5 与皮下脂肪细胞直径显著负相关($P<0.05$),其余 7 个肾周脂肪酸主成分和 8 个皮下脂肪酸主成分与脂肪细胞直径的相关性均不显著($P>0.05$)。

表 3 夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织脂肪酸主成分的特征向量

Table 3 Featured vectors from principle component analysis on fatty acids in subcutaneous and perirenal adipose tissues of Charolais×Simmental×Yellow cattle

脂肪酸 Fatty acid	SPC1	SPC2	SPC3	SPC4	SPC5	SPC6	SPC7	SPC8	KPC1	KPC2	KPC3	KPC4	KPC5	KPC6	KPC7	KPC8	
SFA	C8 : 0	0.26	0.09	-0.12	-0.02	0.02	0.09	-0.01	-0.34	-0.09	0.01	0.20	0.30	-0.23	-0.12	-0.04	-0.34
	C10 : 0	0.29	0.03	-0.10	-0.01	0.01	-0.14	0.03	-0.34	-0.15	0.00	0.40	0.11	-0.08	0.07	-0.09	0.05
	C11 : 0	0.25	-0.03	-0.03	0.03	0.00	-0.38	0.04	-0.10	0.08	0.03	0.30	0.02	0.29	-0.28	0.25	0.13
	C12 : 0	0.27	-0.07	-0.20	0.13	-0.06	-0.20	0.05	-0.05	0.01	-0.02	0.43	-0.04	0.25	0.22	0.10	-0.02
	C13 : 0	0.24	0.09	-0.24	-0.05	-0.10	-0.19	-0.20	0.23	0.23	-0.02	0.13	0.10	0.33	0.05	0.16	-0.04
	C14 : 0	0.13	-0.21	-0.27	0.12	0.01	-0.13	0.08	-0.11	-0.21	-0.01	0.23	0.00	0.12	0.27	-0.19	0.14
	C15 : 0	0.08	0.02	-0.36	0.00	0.17	-0.08	-0.25	0.49	0.15	-0.05	-0.10	0.20	0.34	0.22	0.25	0.00
	C16 : 0	0.00	-0.16	-0.21	-0.05	0.29	0.25	0.03	-0.39	-0.25	0.06	0.08	0.09	0.04	0.22	-0.18	-0.11
	C17 : 0	-0.14	0.17	-0.14	0.13	0.32	0.05	0.22	0.22	-0.07	0.05	-0.37	0.06	0.00	0.25	0.20	0.11
	C18 : 0	-0.17	0.25	-0.20	-0.09	0.16	-0.03	0.04	0.12	0.20	-0.08	-0.02	-0.07	-0.21	0.15	0.37	-0.09
	C20 : 0	-0.14	0.28	0.01	0.27	0.05	0.00	0.03	-0.05	0.29	0.02	-0.02	-0.16	-0.10	0.08	0.18	-0.06
	C21 : 0	0.18	0.27	-0.10	0.11	0.00	0.14	0.11	0.04	0.27	0.09	0.04	-0.07	-0.02	0.12	0.01	-0.01
	C22 : 0	0.14	0.28	-0.14	0.08	-0.06	0.17	0.13	-0.03	0.28	0.07	0.07	-0.14	-0.06	0.13	0.02	-0.03
	C23 : 0	0.24	0.23	-0.01	0.11	0.00	0.13	0.08	0.00	0.24	0.11	0.08	-0.01	0.00	0.12	-0.17	-0.01
C24 : 0	0.27	0.18	0.03	0.09	0.02	0.08	0.07	0.03	0.18	0.13	0.07	0.05	0.02	0.08	-0.26	-0.03	
MUFA	C14 : 1	0.11	-0.26	0.06	0.30	-0.03	0.05	0.03	0.02	-0.23	0.06	0.17	-0.12	0.06	0.03	0.14	-0.09
	C15 : 1	0.13	-0.22	0.02	0.32	-0.03	0.06	-0.12	0.29	-0.13	0.07	-0.10	0.11	0.38	-0.03	0.10	0.17
	C16 : 1	0.05	-0.29	0.17	0.25	0.01	-0.04	-0.02	0.03	-0.25	0.09	0.01	-0.11	0.05	-0.02	0.06	0.19
	C17 : 1	0.02	-0.23	0.21	0.32	0.08	0.07	0.11	0.07	-0.24	0.10	-0.08	-0.09	-0.02	0.01	0.17	0.21
	C18 : 1n-9	0.06	0.14	0.29	-0.24	-0.24	0.00	-0.27	-0.05	0.16	-0.04	0.14	-0.11	-0.11	-0.29	-0.30	0.41
	C20 : 1	0.21	-0.17	0.04	-0.21	0.15	0.19	0.15	0.12	-0.02	0.14	-0.08	-0.14	-0.13	-0.27	0.16	-0.06
	C22 : 1n-9	0.12	0.05	0.02	0.04	-0.16	0.44	-0.41	0.03	0.22	0.12	0.01	-0.07	0.05	-0.05	-0.13	0.13
	C24 : 1	0.22	0.05	-0.01	0.17	-0.20	0.08	0.33	0.11	0.09	0.12	-0.09	0.06	0.03	0.24	-0.22	-0.05
PUFA	C18 : 2n-6	0.05	0.04	0.12	-0.09	-0.50	-0.24	0.21	0.13	0.01	0.01	-0.22	0.19	0.27	-0.36	-0.19	-0.31
	C18 : 3n-3	0.11	-0.30	0.05	-0.16	0.10	0.15	0.06	0.04	-0.24	0.09	-0.03	-0.15	-0.13	-0.08	0.11	0.01
	C18 : 3n-6	-0.13	0.20	0.16	0.32	0.04	-0.11	-0.13	-0.16	0.04	-0.02	-0.30	0.16	0.07	0.03	-0.08	0.41
	C20 : 2	-0.12	0.19	0.20	0.37	0.04	-0.07	-0.04	-0.08	-0.11	0.14	0.02	-0.04	0.01	-0.01	0.22	-0.25
	C20 : 3n-3	0.17	0.10	0.29	-0.15	0.16	-0.25	0.05	0.11	0.13	0.04	-0.01	0.38	-0.03	-0.27	0.08	-0.05
	C20 : 3n-6	0.07	0.06	0.24	-0.17	0.01	0.28	0.40	0.19	0.09	-0.02	-0.12	-0.33	-0.08	0.13	-0.12	-0.17
	C20 : 4n-6	0.23	0.03	0.23	-0.02	0.27	-0.10	-0.18	0.03	-0.03	-0.02	0.10	0.31	-0.36	0.04	0.23	0.11
	C20 : 5n-3	0.15	0.07	0.23	-0.06	0.42	-0.15	-0.16	0.02	0.05	0.05	0.05	0.37	-0.28	0.17	0.06	0.28
	C22 : 2	0.14	0.03	-0.01	0.07	-0.18	0.27	-0.31	0.02	0.13	0.02	0.18	-0.23	-0.03	-0.24	0.19	0.20
	C22 : 6n-3	0.25	0.13	0.23	-0.01	0.17	0.07	0.02	0.01	0.16	0.12	0.06	0.25	-0.04	-0.02	0.01	-0.01

3 讨 论

3.1 肾周与皮下脂肪组织脂肪沉积能力的比较

相比于皮下脂肪组织,夏西本杂交牛肾周脂肪组织脂肪沉积能力较强。前人研究表明,家畜皮下脂肪组织发育相对缓慢,而肾周脂肪组织生长发育

迅速^[18]。本研究发现,18 月龄夏西本杂交牛肾周脂肪组织质量显著高于皮下脂肪组织($P<0.05$),这与前人研究结果基本一致,证实家畜(含肉牛)不同部位脂肪组织的脂肪沉积能力和速度存在一定的差异。进一步对夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织进行组织形态学分析,结果发现,两种组织间脂肪细胞

形态、体积、排列方式具有明显差异,肾周脂肪细胞直径大于皮下脂肪细胞,但差异不显著($P>0.05$)。孟影^[19]对延边黄牛脂肪组织的研究表明,肾周脂肪细胞直径大于皮下脂肪细胞,且两者间差异显著($P<0.05$),这与本研究结果有差异,其原因可能与牛的品种、年龄和性别不同有关。Ibrahim^[20]研究

也发现,与皮下脂肪组织相比,内脏脂肪组织中大脂肪细胞比例较高。以上研究表明,不同部位脂肪组织的脂肪沉积能力可能与脂肪细胞形态、体积和直径大小密切相关。肾周脂肪组织中脂肪细胞排列疏松,直径和体积较大,其脂肪质量也相对较高,故脂肪沉积能力比皮下脂肪组织强。

表 4 夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织脂肪酸主成分值与脂肪组织质量、脂肪细胞直径的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between principal components, adipose tissue weight and adipocyte diameter of subcutaneous and perirenal adipose tissues of Charolais×Simmental×Yellow cattle

类型 Types	主成分 Principal component	肾周脂肪组织质量 Perirenal adipose tissue weight	皮下脂肪组织质量 Subcutaneous adipose tissue weight	肾脂细胞直径 Perirenal adipocyte diameter	皮脂细胞直径 Subcutaneous adipocyte diameter
皮下脂肪组织 Subcutaneous adipose tissue	SPC1	−0.025	−0.121	−0.046	−0.055
	SPC2	−0.038	0.096	−0.006	0.003
	SPC3	0.011	−0.059	−0.094	−0.068
	SPC4	0.123	−0.045	−0.066	−0.070
	SPC5	0.109	0.163	0.190	0.201
	SPC6	0.160	0.161	0.284	0.303
	SPC7	−0.063	−0.133	0.041	−0.033
	SPC8	−0.160	−0.102	−0.267	−0.257
肾周脂肪组织 Perirenal adipose tissue	KPC1	−0.716**	−0.606**	0.130	0.159
	KPC2	0.737**	0.611**	−0.201	−0.231
	KPC3	0.175	−0.003	0.306	0.316
	KPC4	0.405*	0.473*	−0.357	−0.413
	KPC5	0.605**	0.527**	−0.374	−0.428*
	KPC6	−0.071	−0.017	0.266	0.324
	KPC7	−0.673**	−0.512**	0.248	0.341
	KPC8	0.047	−0.172	0.197	0.220

注: * 表示相关性显著($P<0.05$), ** 表示相关性极显著($P<0.01$)。

Note: * and ** indicate significant difference at $P<0.05$ and extremely significant differences at $P<0.01$, respectively.

3.2 皮下和肾周脂肪组织的脂肪酸组成及含量的比较

本试验结果表明,夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织中 SFA 含量均最高(约 70%),其次是 MUFA(约 20%),PUFA 相对较低(约 10%);另外, SFA、MUFA 和 PUFA 含量在皮下和肾周脂肪组织间均呈极显著差异($P<0.01$)。SFA 会提高血液中低密度脂蛋白胆固醇的含量,易引起高血压,增加患冠状动脉硬化等心血管疾病的风险;而不饱和脂肪酸(Unsaturated fatty acid, UFA)则可降低血浆总胆固醇的水平,增强抗氧化酶活性,预防动脉粥样硬化,降低心血管疾病的风险,同时还具有降血压、降血糖和促进生长发育等作用。因此,从健康学角度考虑,牛皮下和肾周脂肪沉积过多不利于牛体健康,尤其是肾脏器官内含有参与体循环的肾动脉,更不宜堆积过多脂肪,以免引起各种生理及代谢疾病。杨春芳等^[21]对猪不同部位脂肪组织的脂肪酸含量进行了分析,结果发现,尾巴油、脖油、奶脯油中 SFA 含量均在 35%左右,板油中 SFA 含量显著高

于前三者($P<0.05$),但也仅为 44%,可见,猪脂肪中 SFA 的含量远小于牛脂肪。造成这种差异的主要原因是牛作为反刍动物,其瘤胃微生物能够将 UFA 氢化为 SFA,空肠后部对长链脂肪酸及饱和脂肪酸的吸收能力强于非反刍动物^[22],故相比于猪等单胃动物,牛脂肪组织中 SFA 含量较高。陈银基^[23]报道,中国黄牛皮下和肾周脂肪组织中 SFA 含量均高于 60%,与本试验结果相近,但中国黄牛 2 种脂肪组织之间含量差异并不显著($P>0.05$),两组织与其他组织如大网膜、肠系膜等的 SFA 含量差异显著($P<0.05$);MUFA 和 PUFA 亦是如此。这说明肉牛脂肪组织 SFA 含量较高,但差异显著与否与品种、年龄和营养水平等有一定的关系。

进一步对夏西本杂交牛皮下和肾周脂肪组织中 33 种脂肪酸含量进行比较分析,结果发现 SFA 以棕榈酸、硬脂酸和肉豆蔻酸为主,棕榈酸和肉豆蔻酸的含量在皮下脂肪中较高,硬脂酸含量在肾周脂肪中较高;MUFA 以油酸和棕榈油酸为主,油酸在肾周脂肪中含量较高,棕榈油酸在皮下脂肪较高;PU-

FA 以亚油酸和 α -亚麻酸为主,两者在皮下脂肪中的含量均高于肾周脂肪。此外,本研究还检测到重要的功能性脂肪酸——EPA 和 DHA,其在皮下脂肪中的含量极显著高于肾周脂肪($P<0.01$)。EPA 和 DHA 可以由 α -亚麻酸经酶催化生成,三者均属于 ω -3 系列脂肪酸, ω -3 多不饱和脂肪酸具有降低血脂、预防心血管疾病、预防肿瘤和抑制肿瘤细胞增殖的作用,在神经、免疫、炎症反应等重要生命代谢过程中具有重要意义^[24-26]。陈银基^[23]、王存堂等^[22]分别对中国黄牛和甘南黑牦牛肾周脂肪进行脂肪酸含量分析,均未检测到 EPA 和 DHA,这说明夏西本杂交牛在品种资源开发和利用上具有一定的优势。本试验结果显示, α -亚麻酸、EPA 和 DHA 在皮下脂肪组织中的含量均极显著高于肾周脂肪组织($P<0.01$),这与刘婷等^[16]对玛曲黄牛的研究结果一致,说明皮下脂肪可能通过 ω -3 系列脂肪酸发挥着特殊的生理功能,脂肪酸含量差异可能是导致皮下和肾周脂肪组织生命代谢及内分泌功能差异的原因之一。

3.3 脂肪酸含量差异与不同部位脂肪组织脂肪沉积能力的关系

夏西本杂交牛肾周脂肪组织 KPC1 主成分贡献值近 30%,与脂肪质量呈极显著负相关关系($P<0.01$),KPC1 中相对重要(特征向量绝对值 >0.25)的脂肪酸为棕榈酸、棕榈油酸、花生酸、二十一烷酸和山萘酸,其中棕榈酸和棕榈油酸含量较高,且其在皮下脂肪组织中的含量均极显著高于肾周脂肪组织($P<0.01$)。研究发现,棕榈酸具有降低血脂的功能^[27],而高血脂与多项肥胖指标正相关^[28],说明降低血脂在一定程度上能抑制脂肪沉积。Cao 等^[29]研究表明,棕榈油酸可以直接调节系统性代谢进而影响脂肪形成,所以棕榈酸和棕榈油酸在 2 种组织之间的含量差异很可能是导致肾周脂肪质量大于皮下脂肪的原因之一。KPC2 各脂肪酸特征向量绝对值均小于 0.20,无主导脂肪酸。KPC5 体现的特征向量绝对值 >0.25 的脂肪酸中,仅十五烷酸含量在 1%以上,但其在皮下和肾周脂肪组织中含量差异并不显著($P>0.05$)。硬脂酸是 KPC7 的主导脂肪酸,其对血清和肝脏胆固醇的作用存在争议,Cowles 等^[30]研究表明,硬脂酸可以降低大鼠血清和肝脏中胆固醇的溶解性,从而降低胆固醇的含量,但 Denke 等^[31]研究认为降低膳食中硬脂酸的含量并不显著影响人体血液中胆固醇的含量,故无法确定硬脂酸在脂肪沉积中的作用,其在 2 种脂肪组织中的含量差异与脂肪沉积是否相关,有待进一步研究。

4 结 论

夏西本杂交牛肾周脂肪组织质量显著高于腹部皮下脂肪组织。尽管皮下和肾周脂肪组织中的脂肪酸组成相同,但 33 种脂肪酸含量却存在较大差异,其中棕榈酸、硬脂酸、 α -亚麻酸等 23 种脂肪酸均呈现显著或极显著的差异,这可能是引起不同部位脂肪组织生命代谢及内分泌功能差异的原因之一。鉴于不同部位脂肪组织中不同类型脂肪酸含量差异与脂肪组织质量及脂肪细胞直径显著相关,推测棕榈酸、棕榈油酸等部分脂肪酸的含量对肉牛不同部位脂肪组织的脂肪沉积能力有一定的影响。

[参考文献]

- [1] 王建平,王加启,卜登攀,等. 脂肪的生理功能及作用机制 [J]. 中国畜牧兽医,2009,36(2):42-45.
Wang J P, Wang J Q, Bu D P, et al. The physiological function and mechanism of fat [J]. China Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2009, 36(2): 42-45.
- [2] Piché M E, Poirier P, Lemieux I, et al. Overview of epidemiology and contribution of obesity and body fat distribution to cardiovascular disease; an update [J]. Progress in Cardiovascular Diseases, 2018, 61(2): 103-113.
- [3] Iacobellis G, Ribaudo M C, Leto G, et al. Influence of excess fat on cardiac morphology and function: study in uncomplicated obesity [J]. Obes Res, 2012, 10(8): 767-773.
- [4] Katerina V, Michelle W, Vandana S, et al. A review of the evidence for the effects of total dietary fat, saturated, monounsaturated and n-6 polyunsaturated fatty acids on vascular function, endothelial progenitor cells and microparticles [J]. British Journal of Nutrition, 2012, 107(3): 303-324.
- [5] Lawson L D, Kummerow F A. Beta-oxidation of the coenzyme A esters of elaidic, oleic, and stearic acids and their full-cycle intermediates by rat heart mitochondria [J]. Biochim Biophys Acta, 1979, 573(2): 245-254.
- [6] 陈银基, 鞠兴荣, 周光宏. 饱和脂肪酸分类与生理功能 [J]. 中国油脂, 2008, 33(3): 35-39.
Chen Y J, Ju X R, Zhou G H. Classification and physiological function saturated fatty acids [J]. China Oils and Fats, 2008, 33(3): 35-39.
- [7] Diederik E, Susan J van D, Els O, et al. A high-fat SFA, MUFA, or n3 PUFA challenge affects the vascular response and initiates an activated state of cellular adherence in lean and obese middle-aged men [J]. Journal of Nutrition, 2013, 143(6): 843-851.
- [8] Tapiero H, Ba G N, Couvreur P, et al. Polyunsaturated fatty acids (PUFA) and eicosanoids in human health and pathologies [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2002, 56(5): 215-222.
- [9] Larick D K, Turner B E, Larick D K, et al. Headspace volatiles and sensory characteristics of ground beef from forage-and

- grain-fed heifers [J]. *Journal of Food Science*, 1990, 55(3): 649-654.
- [10] Brewer M S. Reducing the fat content in ground beef without sacrificing quality: a review [J]. *Meat Science*, 2012, 91(4): 385-395.
- [11] Utama D T, Lee C W, Park Y S, et al. Comparison of meat quality, fatty acid composition and aroma volatiles of Chikso and Hanwoo beef [J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2018, 31(9): 1500-1506.
- [12] 张明, 刘婷, 曾金焱, 等. 安西杂交一代牛肉脂肪酸组成及含量研究 [J]. *畜牧兽医学报*, 2016, 47(5): 1049-1056.
Zhang M, Liu T, Zeng J Y, et al. Comparison of fatty acid profiles in first filial generation from angus and crossbred simmental [J]. *Chinese Journal of Animal & Veterinary Sciences*, 2016, 47(5): 1049-1056.
- [13] Turner T D, Jensen J, Pilfold J L, et al. Comparison of fatty acids in beef tissues from conventional, organic and natural feeding systems in Western Canada [J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2015, 95(1): 49-58.
- [14] Brooks M A, Choi C W, Lunt D K, et al. Subcutaneous and intramuscular adipose tissue stearoyl-coenzyme a desaturase gene expression and fatty acid composition in calf- and yearling-fed Angus steers [J]. *Journal of Animal Science*, 2011, 89(8): 2556-2570.
- [15] 包音都古荣·金花, Mailisi H, 呼格吉勒图, 等. 乌珠穆沁草原饲养黑安格斯肉牛肌肉脂肪酸组成的分析研究 [J]. *中国畜牧兽医*, 2016, 43(2): 394-401.
Jinhua B, Mailisi H, Hujieletu, et al. Analysis of intramuscular fatty acids composition of black angus beef raised in Ujimqin grassland [J]. *China Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016, 43(2): 394-401.
- [16] 刘婷, 吴建平, 张盛贵, 等. 玛曲牦牛与康乐黄牛肠系膜脂肪和肾周脂肪中脂肪酸含量比较分析 [J]. *食品工业科技*, 2010, 31(4): 111-115.
Liu T, Wu J P, Zhang S G, et al. Analysis of mesentery fat and perinephrit fat fatty acid composition of yaks in Maqu and yellow cattles in Kangle [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(4): 111-115.
- [17] 贾先波, 陈仕毅, 王杰, 等. 夏西本三元杂交牛生产性能研究 [J]. *当代畜牧*, 2016(21): 26-28.
Jia X B, Chen S Y, Wang J, et al. Study on the production performance of Charolais×Simmental×Yellow cattles [J]. *Contemporary Animal Husbandry*, 2016(21): 26-28.
- [18] Kouba M, Bonneau M, Noblet J. Relative development of subcutaneous, intermuscular, and kidney fat in growing pigs with different body compositions [J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77(3): 622-629.
- [19] 孟影. 延边黄牛不同部位脂肪组织脂肪酸构成及脂代谢基因的差异表达分析 [D]. 吉林延吉: 延边大学, 2017.
Meng Y. The fatty acid composition and expression on lipid metabolism-associated genes in various adipose tissue of Yanbian yellow cattle [D]. Yanji, Jilin: Yanbian University, 2007.
- [20] Ibrahim M M. Subcutaneous and visceral adipose tissue: structural and functional differences [J]. *Obesity Reviews*, 2010, 11(1): 11-18.
- [21] 杨春芳, 覃小丽, 王永华, 等. 不同部位猪脂的总脂肪酸组成及 Sn-2 位脂肪酸成分分析 [J]. *中国油脂*, 2011, 36(1): 73-76.
Yang C F, Qin X L, Wang Y H, et al. Analysis of total fatty acid and Sn-2 position fatty acid in fat from different parts of pig [J]. *China Oils & Fats*, 2011, 36(1): 73-76.
- [22] 王存堂, 杨丽, 李鹏, 等. 甘南黑牦牛牛肉肌间和肾周围脂肪的脂肪酸 GC-MS 分析 [J]. *江苏农业科学*, 2009, 37(2): 180-181.
Wang C T, Yang L, Li P, et al. The GC-MS analysis of fatty acid in intermuscular and perirenal fat tissue of Gannan Bos gruniens [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2009, 37(2): 180-181.
- [23] 陈银基. 不同影响因素条件下牛肉脂肪酸组成变化研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
Chen Y J. Study on changes of fatty acids profiles of beef under different factors [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007.
- [24] Ferguson J F, Mulvey C K, Patel P N, et al. Omega-3 PUFA supplementation and the response to evoked endotoxemia in healthy volunteers [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2014, 58(3): 601-613.
- [25] Das U N. Long-chain polyunsaturated fatty acids in the growth and development of the brain and memory [J]. *Nutrition*, 2003, 19(1): 62-65.
- [26] 弓剑, 晓敏. 多不饱和脂肪酸代谢及其对炎症的调节 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29(1): 1-7.
Gong J, Xiao M. The metabolism and the effect in regulate inflammation of PUFA [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(1): 1-7.
- [27] Sundram K, Hayes K C, Siru O H. Dietary palmitic acid results in lower serum cholesterol than does a lauric-myristic acid combination in normolipemic humans [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1994, 59(4): 841-846.
- [28] 吴善玉, 全贞玉. 腹型肥胖与高血压和高血脂及高血糖的相关性 [J]. *中国慢性病预防与控制*, 2013, 21(1): 50-52.
Wu S Y, Quan Z Y. Correlation between abdominal obesity and hypertension, hyperlipidemia and hyperglycemia [J]. *Chinese Journal of Prevention and Control of Chronic Non-Communicable Diseases*, 2013, 21(1): 50-52.
- [29] Cao H, Gerhold K, Mayers J R, et al. Identification of a lipokine, a lipid hormone linking adipose tissue to systemic metabolism [J]. *Cell*, 2008, 134(6): 933-944.
- [30] Cowles R L, Lee J Y, Gallaher D D, et al. Dietary stearic acid alters gallbladder bile acid composition in hamsters fed cereal-based diets [J]. *Journal of Nutrition*, 2002, 132(10): 3119-3122.
- [31] Denke M A, Grundy S M. Effects of fats high in stearic acid on lipid and lipoprotein concentrations in men [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1991, 54(6): 1036-1040.