

奶山羊品种和养殖区对羊乳支链脂肪酸组成的影响

张佳欣¹, 崔政盈¹, 赵家源¹, 郑亚平¹, 满朝新¹, 侯艳梅², 钟瑾璟², 姜毓君^{1*}

(¹东北农业大学食品学院 乳品科学教育部重点实验室 哈尔滨 150030

²海普诺凯营养品有限公司 长沙 410219)

摘要 支链脂肪酸作为新兴生物活性物质备受关注。羊乳营养价值丰富,其支链脂肪酸组成和含量与母乳最为接近,分析影响羊乳中支链脂肪酸组成的因素对羊乳资源高值化利用具有重要的研究意义。本研究采用气相色谱-质谱法对萨能奶山羊、关中奶山羊 2 个品种和山东、陕西地区 4 个养殖区奶山羊的羊乳支链脂肪酸组成进行比较分析。结果表明:萨能奶山羊的羊乳中支链脂肪酸成分组成较关中奶山羊的羊乳中支链脂肪酸成分组成丰富,山东萨能奶山羊 *anteiso*-C17:0 显著高于陕西省 3 个养殖区,陕西省 3 个养殖区羊乳的异构支链脂肪酸占比存在显著差异性($P<0.05$)。本文从支链脂肪酸组成角度揭示了萨能奶山羊的乳营养更丰富,陕西地区萨能山羊乳和山东地区关中山羊乳中支链脂肪酸组成更加贴近母乳。

关键词 山羊乳; 支链脂肪酸; 气相色谱-质谱法(GC-MS)

文章编号 1009-7848(2023)05-0322-08 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.05.032

母乳是婴儿的最佳营养来源^[1]。1959 年 Inshall 等^[2]首次从母乳中检测出支链脂肪酸(Branch-chain fatty acids, BCFAs),BCFAs 在母乳中的含量高达 1.5%,其具有抗炎、抗肿瘤、维持能量平衡等对人体有益的作用^[3]。然而,受到生活方式、社会压力以及个人身体条件等多方面因素的影响,我国母乳喂养率低于其它国家^[4]。市场上对母乳替代品的需求在不断扩大。羊乳营养丰富,含有人体所需的多种营养素,且与牛乳相比,脂肪球更大(3.19~3.50 μm)^[5],在胃肠中与脂肪酶的接触面积更大、更易被人体吸收,它的酪蛋白含量较低,组成与母乳更相似,减少了羊乳致敏现象的发生^[6]。这些特点使得羊乳在乳品行业占领优势地位,在我国发展迅速,市场规模不断扩大。羊乳中 BCFAs 的含量为 2%左右,富含食品中常见的 9 种 BCFAs (*iso*-C13:0、*anteiso*-C13:0、*iso*-C14:0、*iso*-C15:0、*anteiso*-C15:0、*iso*-C16:0、*iso*-C17:0、*anteiso*-C17:0 和 *iso*-C18:0)^[7]。从总 BCFAs 组成来看,羊乳脂与母乳脂中 BCFAs 结构一样既含有末端单 BCFAs 也含有中间 BCFAs^[8],因此羊乳是更为理想的母乳替代品。

BCFAs 是一类在脂肪酸烷基链上带有一个或一个以上支链烷基或其它官能团的脂肪酸。支链

烷基位于烷基端第 2 个碳原子上,称为异构或异(*iso*)脂肪酸;位于烷基端第 3 个碳原子上,称为反异构或反异(*anteiso*)脂肪酸^[9]。BCFAs 作为一类新兴的生物活性物质,因其生物学效应和潜在的健康益处,在科学界引起越来越多的关注。BCFAs 混合物饲养幼鼠组与普通饲养幼鼠组相比,坏死性小肠结肠炎的患病率降低了 50%^[10]。Yu 等^[11]发现 BCFAs 可立即缓解脑缺血/再灌注损伤,刺激碱性成纤维细胞生长因子和血管内皮生长因子的上调,发挥神经保护作用,能够显著减轻炎症相关疾病;Yan 等^[12]使用脂多糖诱导建立人肠道上皮细胞株细胞炎症模型,发现 BCFA 通过抑制 NF- κ B 信号通路激活和促炎因子白细胞介素 8 的表达,首次证明 BCFA 对人肠上皮细胞具有显著的抗炎作用。BCFAs 具有明显的抗癌作用活性,可通过抑制细胞癌的生长,抑制脂肪合成酶和诱导癌细胞凋亡来表达^[13-14]。BCFAs 还可以对血管生成产生有益的位置特异性的影响^[11,15]。此外,BCFAs 在能量平衡中发挥重要作用,有助于维持体重^[16]。通过对 BCFAs 功能特性的研究可看出 BCFAs 的各种生理功能对改善某些疾病十分有益,在未来的研究中具有很大的发展空间。

目前关于羊乳脂肪酸的研究集中于饮食干预对羊乳脂肪酸组成的影响^[17],而对不同奶山羊品种及养殖区中羊乳 BCFAs 含量的差异分析极少。本研究选取中国奶山羊重点养殖省份——陕西省

收稿日期: 2022-05-24

第一作者: 张佳欣,女,硕士生

通信作者: 姜毓君 E-mail: yujun_jiang@163.com

和山东省 4 个养殖区的萨能奶山羊和关中奶山羊的新鲜羊乳,通过提取、分离、检测,比较不同奶山羊品种和养殖区新鲜羊乳中的 BCFAs,分析其差异性,为羊乳资源高值化利用提供思路。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

氨水(25%)、无水乙醇、无水乙醚、石油醚、甲醇均为分析纯级,天津市富宇精细化工有限公司;浓硫酸(分析纯级),天津市科密欧化学试剂有限公司;尿素(分析纯级),阿拉丁试剂(上海)有限公司;氯化钠(分析纯级),天津市天大化学试剂厂;正己烷(色谱纯级),天津星马克科技发展有限公司。

1.2 仪器与设备

XPR 精密天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;ThermoFisher 高速冷冻离心机,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;HH-6 型电热恒温水浴锅,上海精密仪器仪表有限公司;SHB-III 循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司;Rotavapor R-210 旋转蒸发仪,瑞士 Buchi 公司;7000D 三重四级杆气质联用仪,美国安捷伦公司。

1.3 方法

1.3.1 取样 本研究所用的羊乳样品源于中国陕西省和山东省 4 个养殖区天然牧场中采用定时放牧、自然放养的模式养殖的萨能奶山羊和关中奶山羊,样品收集时间均为 4 月中旬早上 8:00,取样后通过冷链运输及时送到实验室中进行检测。具体样品信息见表 1。

表 1 样品信息

Table 1 Samples information

样品编号	养殖区	品种
1	陕西杨凌	萨能奶山羊
2	陕西杨凌	关中奶山羊
3	陕西宝鸡	萨能奶山羊
4	陕西宝鸡	关中奶山羊
5	陕西富平	萨能奶山羊
6	陕西富平	关中奶山羊
7	山东临沂	萨能奶山羊
8	山东临沂	关中奶山羊

1.3.2 羊乳的总脂肪提取 取羊乳 10 mL 于烧瓶中,加入氨水 2 mL,混匀。将烧瓶放入 70~80 °C 水浴中水解 40 min。每 10 min 振荡一下烧瓶。水解完成后,取出烧瓶冷却至室温,加入 10 mL 乙醇,混合后转移至离心管中,加入 30 mL 等量混合的乙醚:石油醚溶液冲洗锥形瓶,冲洗液也倒入离心管中,加盖,在低温摇床中 100 次/min 振荡 10 min,然后以 5 000 r/min 转速离心 5 min,收集上层有机相,使用等量混合的乙醚:石油醚溶液提取 3 次。合并 3 次提取收集的有机层,65 °C 温度下真空旋转蒸干,脱除有机溶剂。

1.3.3 BCFAs 标准品溶液的配制 准确称取标准品 BCFAs (*iso*-C13:0、*anteiso*-C13:0、*iso*-C14:0、*iso*-C15:0、*anteiso*-C15:0、*iso*-C16:0、*iso*-C17:0、*anteiso*-C17:0 和 *iso*-C18:0)各 0.4 mg,混合并用正己烷定容至 2 mL,配制成 200 μg/mL 的 BCFAs 标准溶液。

1.3.4 总脂肪酸甲酯化 总脂肪酸甲酯化方法参考李秋桐等^[8]的浓硫酸法:取 2 mg 脂肪酸于 15 mL 离心管中,加入 0.5 mL 甲醇,在涡旋振荡仪上振摇 2 min 充分混匀,再加入 50 μL 浓硫酸置于 80 °C 恒温水浴箱中反应 1 h。取出冷却至室温后,加入 5 mL 正己烷充分混匀,静置分层,移取上层的正己烷层,加入 5 mL 的超纯水与正己烷层充分混匀,最后分取出正己烷层,用氮气吹至近干,用正己烷定容至 2 mL,过 0.22 μm 有机滤膜,转入进样瓶中,待测定。

1.3.5 脂肪酸组成的定性分析 选用 DB-5 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.10 μm)。设定条件为:进样口温度:280 °C。升温程序:初温 150 °C,保持 5 min 后以 3 °C/min 升至 170 °C,保持 5 min 后再以 3 °C/min 升至 210 °C,保持 2 min 后再以 10 °C/min 升至 260 °C,最后以 260 °C 保持 5 min。载气:He。流速:1.2 mL/min。分流比:1:30。

质谱条件:传输线温度为 250 °C,离子源温度为 230 °C,电子能为 70 eV,质量扫描范围为 50~500 u,溶剂延迟为 6.5 min。

1.4 数据处理

本试验原始数据用 Excel 整理出同一样品重复 3 次检测得到不同 BCFAs 比例,用 SPSS Statistics 26.0 软件对数据进行单因素方差分析

(ANOVA)、LSD 多重比较, $P < 0.05$, 差异显著, 并应用 Origin 2021 对数据进行作图和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种羊乳中 BCFAs 组成比例

在同一养殖区的条件下, 分析奶山羊品种对羊乳 BCFAs 的影响。从表 2 中可以看出, 9 种羊乳的 *iso*-BCFAs 均为 *iso*-C18:0 最高 (9.26%~30.00%), *anteiso*-BCFAs 均为 *anteiso*-C17:0 最高 (55.06%~81.75%), 且 *anteiso*-C17:0 所占比例高于其它 8 种 BCFAs, *iso*-C13:0 和 *anteiso*-C13:0 所占比例最低或者未检出。就整体而言, 萨能奶山羊乳中 BCFAs 组成较关中奶山羊乳中 BCFAs 组成丰富。

表 2 不同品种羊乳中 BCFAs 的比例 (%)

Table 2 Proportion of BCFAs in different breeds of goat milk (%)

	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>iso</i> -C13:0	0.27 ± 0.02 ^b	—	0.46 ± 0.03 ^a	—	0.23 ± 0.02 ^c	—	—	—
<i>anteiso</i> -C13:0	1.21 ± 0.06 ^b	2.33 ± 0.13 ^a	0.26 ± 0.03 ^c	—	0.50 ± 0.04 ^d	—	0.90 ± 0.10 ^c	—
<i>iso</i> -C14:0	8.28 ± 0.01 ^a	—	0.62 ± 0.03 ^d	—	0.81 ± 0.01 ^b	0.10 ± 0.01 ^e	0.69 ± 0.04 ^c	—
<i>iso</i> -C15:0	0.96 ± 0.04 ^c	0.47 ± 0.02 ^e	1.31 ± 0.03 ^c	0.31 ± 0.02 ^b	0.69 ± 0.03 ^f	1.03 ± 0.03 ^d	3.25 ± 0.05 ^a	2.98 ± 0.13 ^b
<i>anteiso</i> -C15:0	4.17 ± 0.15 ^d	5.95 ± 0.05 ^a	4.78 ± 0.12 ^c	5.12 ± 0.16 ^b	4.02 ± 0.03 ^e	4.99 ± 0.01 ^b	5.00 ± 0.05 ^b	4.75 ± 0.06 ^c
<i>iso</i> -C16:0	0.93 ± 0.03 ^f	1.42 ± 0.03 ^c	1.51 ± 0.1 ^d	0.74 ± 0.01 ^g	2.39 ± 0.04 ^a	0.97 ± 0.04 ^f	2.19 ± 0.01 ^b	1.79 ± 0.08 ^c
<i>iso</i> -C17:0	0.87 ± 0.02 ^e	1.19 ± 0.02 ^c	0.94 ± 0.03 ^d	1.61 ± 0.03 ^b	0.93 ± 0.03 ^d	0.51 ± 0.02 ^e	0.70 ± 0.02 ^f	2.15 ± 0.05 ^a
<i>anteiso</i> -C17:0	55.06 ± 1.03 ^f	79.35 ± 1.00 ^b	60.12 ± 1.13 ^c	79.23 ± 1.00 ^b	62.88 ± 0.11 ^d	81.75 ± 0.25 ^a	66.58 ± 1.05 ^c	61.91 ± 2.10 ^b
<i>iso</i> -C18:0	28.25 ± 0.58 ^b	9.26 ± 0.28 ^g	30.00 ± 0.64 ^a	12.96 ± 0.11 ^e	27.57 ± 0.42 ^b	10.64 ± 0.12 ^f	20.68 ± 0.36 ^d	26.42 ± 0.28 ^c
∑ <i>iso</i> -BCFAs	39.56 ± 1.05 ^a	12.34 ± 0.45 ^b	34.84 ± 1.03 ^b	15.62 ± 0.06 ^f	32.62 ± 0.96 ^d	13.25 ± 0.04 ^g	27.51 ± 0.53 ^c	33.34 ± 1.01 ^e
∑ <i>anteiso</i> -BCFAs	60.44 ± 1.05 ^b	87.63 ± 2.34 ^a	65.16 ± 2.05 ^g	84.35 ± 2.35 ^e	67.40 ± 1.45 ^c	86.74 ± 2.03 ^b	72.48 ± 1.00 ^d	66.66 ± 0.95 ^f

注: 表格中“—”表示未检测到该 BCFAs; 同一行中不同字母表示样本间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.2 不同养殖区羊乳中 BCFAs 组成

2.2.1 不同养殖区萨能奶山羊乳中 BCFAs 的组成比例 从图 1 和图 2 中可以看出, 萨能奶山羊乳 BCFAs 构成丰富, 除山东临沂牧场饲养的萨能奶山羊未检出 *iso*-C13:0 外, 其它养殖区的萨能奶山羊乳中均检出 9 种 BCFAs。山东临沂萨能奶山羊乳中 *iso*-BCFAs 与陕西省 3 个养殖区均存在显著差异性。对比陕西省 3 个养殖区 6 种 *iso*-BCFAs 发现, 有 5 种 *iso*-BCFAs 均存在显著的差异性, 而 *iso*-C17:0 在陕西宝鸡和陕西富平养殖区的萨能奶山羊乳中无显著差异。山东临沂萨能奶山羊乳中 *anteiso*-C17:0 显著高于陕西省 3 个养殖区。陕西省 3 个养殖区萨能奶山羊乳中 *anteiso*-

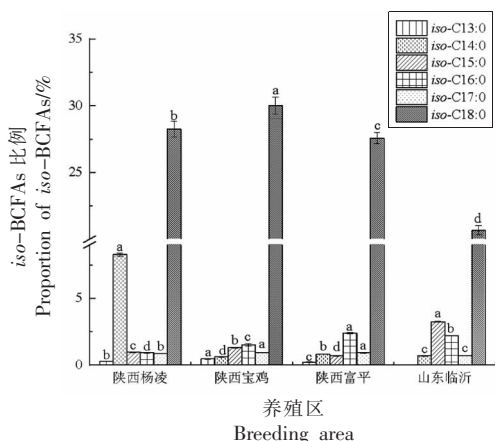
陕西养殖区萨能奶山羊乳中 *anteiso*-C15:0 与 *anteiso*-C17:0 均显著低于该养殖区关中奶山羊乳中两者的占比, 而山东养殖区萨能奶山羊乳中 *anteiso*-C15:0 与 *anteiso*-C17:0 的占比情况与陕西养殖区相反。9 种 BCFAs 中, 陕西省 3 个养殖区萨能奶山羊乳中 *iso*-BCFAs 的比例总和均显著高于关中奶山羊乳, *anteiso*-BCFAs 的比例总和均显著低于关中奶山羊乳; 而山东养殖区 2 个品种山羊乳中 *iso*-BCFAs 及 *anteiso*-BCFAs 情况与陕西养殖区山羊乳相反, 即山东养殖区萨能奶山羊乳中 *iso*-BCFAs 的比例总和显著低于关中奶山羊乳, *anteiso*-BCFAs 的比例总和显著高于关中奶山羊乳。

BCFAs 均存在显著性差异。

2.2.2 不同养殖区关中奶山羊乳 BCFAs 的组成比例 从图 3 和图 4 中可以看出, 关中奶山羊乳中碳链短的 BCFAs 较少, 除陕西杨凌养殖区的关中奶山羊乳中检出 *anteiso*-C13:0 和陕西富平养殖区的关中奶山羊乳中检出 *iso*-C14:0 外, 其它养殖区的关中奶山羊乳中均未检出 *iso*-C13:0、*anteiso*-C13:0 和 *iso*-C14:0。4 个养殖区关中奶山羊乳中各 *iso*-BCFAs 均存在显著性差异, 且山东临沂关中奶山羊乳中含有的 *iso*-BCFAs 均显著高于陕西省 3 个养殖区。山东临沂关中奶山羊乳中 *anteiso*-C15:0 和 *anteiso*-C17:0 均显著低于陕西省 3 个养殖区, 陕西杨凌关中奶山羊乳中 *anteiso*-C15:0 与

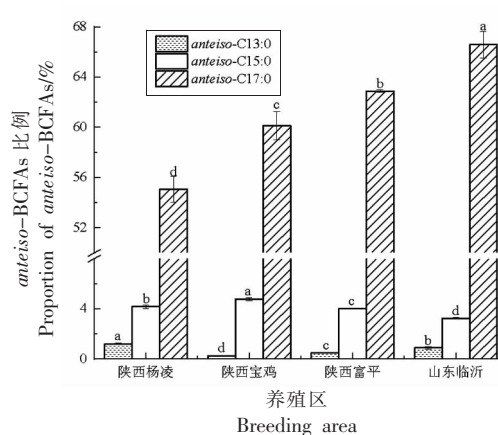
陕西省其它两个养殖区存在显著性差异, 陕西富平关中奶山羊乳中 *anteiso*-C17:0 与陕西省其它 2

个养殖区存在显著性差异。



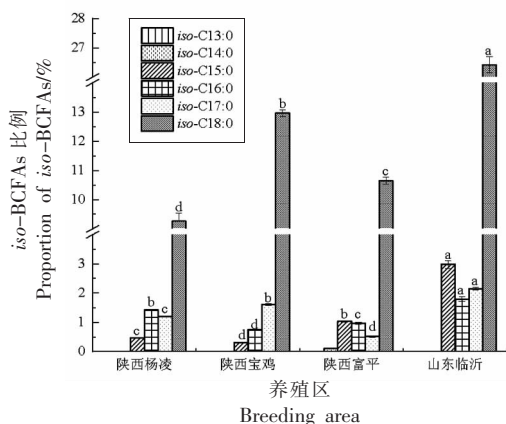
注: 不同字母表示样本间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图 1 萨能奶山羊乳中 *iso*-BCFAs 比例
Fig.1 Proportion of *iso*-BCFAs in milk of Saanen dairy goats



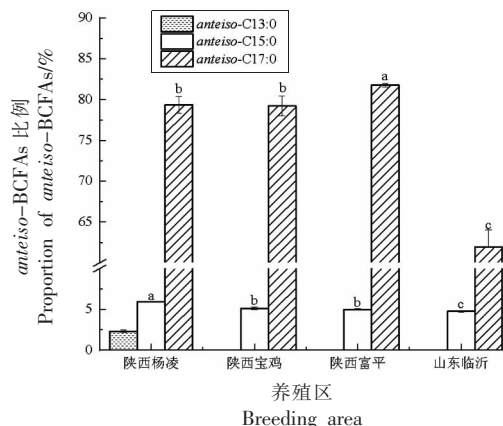
注: 不同字母表示样本间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图 2 萨能奶山羊乳中 *anteiso*-BCFAs 比例
Fig.2 Proportion of *anteiso*-BCFAs in milk of Saanen dairy goats



注: 不同字母表示样本间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图 3 关中奶山羊乳中 *iso*-BCFAs 比例
Fig.3 Proportion of *iso*-BCFAs in milk of Guanzhong dairy goats



注: 不同字母表示样本间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图 4 关中奶山羊乳中 *anteiso*-BCFAs 比例
Fig.4 Proportion of *anteiso*-BCFAs in milk of Guanzhong dairy goats

2.3 品种和养殖区对羊乳 BCFAs 的交互作用

为了考察羊乳中常见 9 种 BCFAs 组成差异与品种以及养殖区之间的相互关系, 对羊乳中常见 9 种 BCFAs 的组成进行系统聚类分析。结果如图 5 所示: 上侧树状为羊乳样品间聚类, 左侧树状为 BCFAs 的聚类, 中间部分颜色填充的深与浅, 表现出各样品中 BCFAs 所占比例的低与高。从左侧脂肪酸的聚类来看, 图中多数的 *iso*-BCFAs 与 *anteiso*-BCFAs 被区分开来。对照图中部填充颜色

来看, 蓝色系越浅, 则含量越高。8 种羊乳样品中 *iso*-C13:0、*anteiso*-C13:0、*iso*-C15:0、*iso*-C17:0 的蓝色颜色较深, 说明羊乳中这 4 种 BCFAs 在常见的 9 种 BCFAs 中占比较小, 含量较低。而 *anteiso*-C17:0 的填充色块最浅, 说明其比例最高, 其中关中奶山羊 *anteiso*-C17:0 的填充色块接近于色度卡最高值。从上侧树状的聚类来看, 陕西杨凌萨能奶山羊、陕西宝鸡萨能奶山羊、陕西富平萨能奶山羊、山东临沂关中奶山羊、山东临沂萨能奶山羊被

聚为一组,陕西杨凌关中奶山羊、陕西宝鸡关中奶山羊、陕西富平关中奶山羊被聚为一组,说明奶山

羊品种对羊乳 BCFAs 含量影响较养殖区而言影响较大。

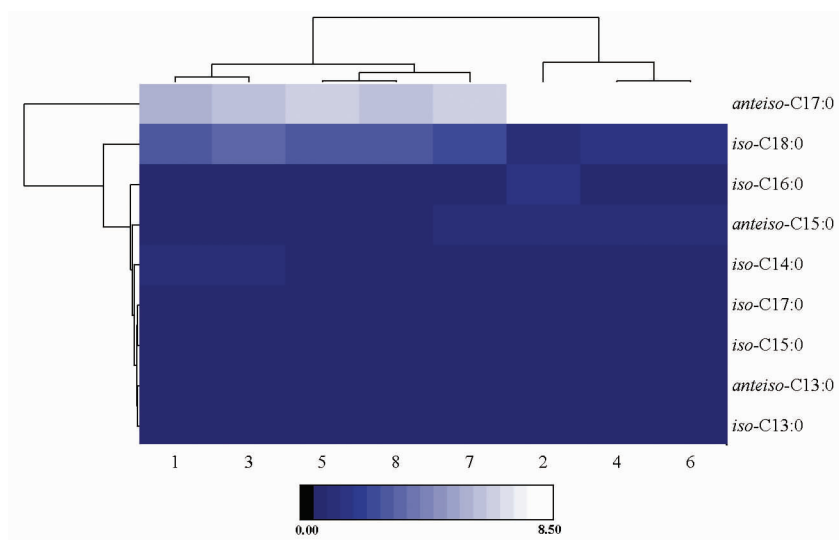


图5 羊乳 BCFAs 聚类分析热图

Fig.5 Heat map of goat milk BCFAs cluster analysis

3 讨论

乳脂中生物活性脂肪酸的含量和组成不是恒定的,而是不断变化的,其组成可以通过动物遗传^[19]、环境^[20]、泌乳期^[21]和饮食^[22]等因素而改变。奶山羊乳中的 BCFAs 主要由 *iso*-BCFAs (*iso*-C13:0、*iso*-C14:0、*iso*-C15:0、*iso*-C16:0、*iso*-C17:0 和 *iso*-C18:0) 和 *anteiso*-BCFAs (*anteiso*-C13:0、*anteiso*-C15:0 和 *anteiso*-C17:0) 组成,其中 *anteiso*-C17:0 和 *iso*-C18:0 占羊乳 9 种 BCFAs 的 80% 以上,是羊乳中主要的 BCFAs, 相较而言,*iso*-C13:0、*anteiso*-C13:0 和 *iso*-C14:0 在羊乳 BCFAs 中的比重很小。

本研究样品来源于中国饲养量最多的两种奶山羊——萨能奶山羊和关中奶山羊^[23]。萨能奶山羊是当今世界上乳用山羊的代表种, 现已遍布各国, 是分布最广的山羊品种, 其原产于瑞士西北部伯尔尼奥伯兰德的萨能山谷地带。当地气候适宜、牧草丰美以及拥有丰富培育经验的居民进行育种工作。萨能奶山羊产奶量高, 奶质好, 且繁殖快, 抗病能力强, 并具有较强的消化能力, 能充分吸收各种青绿饲料。关中奶山羊与萨能奶山羊具有血缘关系, 是用西农萨能奶山羊为父本, 陕西当地高产山羊为母本进行经过级进杂交选育出来的

奶山羊品种, 同时也是陕西省的优良地方品种之一, 该品种具有适应性广、耐粗饲、繁殖率高、适于放牧或圈舍养殖、乳用性能好等优势。通过比较同一养殖区两个品种奶山羊, 可以发现萨能奶山羊乳中 BCFAs 组成比关中奶山羊乳中 BCFAs 组成更丰富。在反刍动物中, 单甲基 BCFAs 是由瘤胃内的微生物合成的, 特别是细菌和原生动物, 它们利用膳食支链氨基酸, 即缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸, 形成 BCFAs^[24]。Zhang 等^[25]同时从中国关中地区同一放牧区的 3 只萨能奶山羊和 3 只关中奶山羊中采取乳样测定萨能和关中奶山羊生羊乳的微生物多样性, 观察到萨能奶山羊乳的微生物 Alpha 多样性显著高于关中奶山羊乳。萨能奶山羊乳中丰富的 BCFAs 组成可能与微生物丰富度有关, 因为大多数与氨基酸代谢有关的细菌属 (如马赛菌属、拟杆菌属和溶杆菌属) 都能在萨能奶山羊乳中富集。

陕西关中平原气候适宜、农业发达、青贮饲料丰富、繁育条件优越, 成为奶山羊主产区。陕西省现拥有 2 个我国著名的奶山羊培育品种, 即“西农萨能奶山羊”和“关中奶山羊”。奶山羊主要分布在渭南、咸阳、宝鸡、西安养殖区, 其中以富平、临潼、三原、蒲城、渭南、泾阳数量最多^[26]。目前, 陕西省

奶山羊存栏量约 250 万只。除陕西养殖区以外,山东是我国奶山羊养殖业的另一大省^[27]。山东临沂与陕西杨凌、陕西宝鸡和陕西富平同处于暖温带,与陕西省 3 个养殖区不同的是,山东临沂属季风区大陆性气候,气温年较差和日较差较大,降水分布很不均匀,导致饲草料纤维素含量不同,进而影响奶山羊瘤胃微生物种类,当纤维素降解菌升高时能够导致异构脂脂肪酸的比例提高^[28]。这可能使山东临沂关中奶山羊乳中 *iso*-BCFAs 比例显著高于陕西 3 个养殖区同品种羊乳中 *iso*-BCFAs 比例。

就目前研究可知,*iso*-BCFAs 较 *anteiso*-BCFAs 与抗癌^[29]、缓解肥胖^[30-31]等功能更相关。根据本研究发现,陕西省 3 个养殖区萨能奶山羊乳中 *iso*-BCFAs 的比例总和均显著高于关中奶山羊乳,而山东临沂关中奶山羊乳中总 *iso*-BCFAs 含量(33.34%)居 4 个养殖区最高。因此,不同养殖区饲喂奶山羊品种时,应综合考虑品种差异性以及品种与养殖区的交互作用,科学培育奶山羊品种,使羊乳营养品质更佳。

4 讨论

本研究通过对 4 个养殖区(陕西杨凌、陕西富平、陕西宝鸡和山东临沂)的 2 个品种(萨能奶山羊和关中奶山羊)的羊乳 BCFAs 的组成进行检测,分析奶山羊品种和养殖区对羊乳 BCFAs 组成的影响,并从支链脂肪酸组成角度揭示了萨能奶山羊的乳营养更丰富,陕西地区萨能山羊乳和山东地区关中山羊乳中支链脂肪酸组成更加贴近母乳。

参 考 文 献

- [1] GEORGE A, GAY M, WLODEK M, et al. The fatty acids species and quantity consumed by the breastfed infant are important for growth and development[J]. *Nutrients*, 2021, 13(11): 4183.
- [2] INSULL W, AHRENS E. The fatty acids of human milk from mothers on diets taken *ad libitum*[J]. *The Biochemical Journal*, 1959, 72(1): 27-33.
- [3] 黄梦瑶, 姜华, 程明, 等. 支链脂肪酸的食源性分析及活性机理研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(23): 364-369.
- [4] 王玉英, 司向, 于冬梅, 等. 利用 2021 年世界卫生组织新指标评价中国婴幼儿喂养状况[J]. *卫生研究*, 2021, 50(6): 882-886.
- [5] WANG Y Y, SI X, YU D M, et al. Status of infant and young child feeding using World Health Organization 2021 indicators in China[J]. *Health Research*, 2021, 50(6): 882-886.
- [6] MARTINI M, SALARI F, ALTOMONTE I. The macrostructure of milk lipids: The fat globules[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 56(7): 1209-1221.
- [7] GALLIER S, TOLENAARS L, PROSSER C. Whole goat milk as a source of fat and milk fat globule membrane in infant formula[J]. *Nutrients*, 2020, 12(11): 3486.
- [8] TAORMINA V, UNGER A, SCHIKSNIS M, et al. Branched-chain fatty acids - An underexplored class of dairy-derived fatty acids[J]. *Nutrients*, 2020, 12(9): 2875.
- [9] YAN Y Y, WANG Z, WANG X G, et al. Branched chain fatty acids positional distribution in human milk fat and common human food fats and uptake in human intestinal cells[J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 29: 172-177.
- [10] 王秀文, 韦伟, 王兴国, 等. 支链脂肪酸的来源与功能研究进展[J]. *中国油脂*, 2018, 43(12): 88-92.
- [11] WANG X W, WEI W, WANG X G, et al. Progress in source and function of branched-chain fatty acids[J]. *China Fats and Oils*, 2018, 43(12): 88-92.
- [12] RAN -RESSLER R, KHAILOVA L, ARGAN-BRIGHT K, et al. Branched chain fatty acids reduce the incidence of necrotizing enterocolitis and alter gastrointestinal microbial ecology in a neonatal rat model[J]. *PLoS One*, 2011, 6(12): e29032.
- [13] YU J, YANG L N, WU Y Y, et al. 13-Methyltetradecanoic acid mitigates cerebral ischemia/reperfusion injury[J]. *Neural Regeneration Research*, 2016, 11(9): 1431-1437.
- [14] YAN Y, WANG Z, GREENWALD J, et al. BCFA suppresses LPS induced *IL-8* mRNA expression in

- human intestinal epithelial cells[J]. Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids, 2017, 116: 27-31.
- [13] YANG Z, LIU S, CHEN X, et al. Induction of apoptotic cell death and *in vivo* growth inhibition of human cancer cells by a saturated branched-chain fatty acid, 13-methyltetradecanoic acid[J]. Cancer Research, 2000, 60(3): 505-509.
- [14] WRIGHT K, YANG P, VAN PELT C, et al. Evaluation of targeted arterial delivery of the branched chain fatty acid 12-methyltetradecanoic acid as a novel therapy for solid tumors[J]. Journal of Experimental Therapeutics & Oncology, 2005, 5(1): 55-68.
- [15] COLE N, HUME E, JALBERT I, et al. Effects of topical administration of 12-methyl tetradecanoic acid (12-MTA) on the development of corneal angiogenesis[J]. Angiogenesis, 2007, 10(1): 47-54.
- [16] PAKIET A, WILCZYNSKI M, ROSTKOWSKA O, et al. The effect of one anastomosis gastric bypass on branched-chain fatty acid and branched-chain amino acid metabolism in subjects with morbid obesity[J]. Obesity Surgery, 2020, 30(1): 304-312.
- [17] FOUGÈRE H, BERNARD L. Effect of diets supplemented with starch and corn oil, marine algae, or hydrogenated palm oil on mammary lipogenic gene expression in cows and goats: A comparative study[J]. Journal of Dairy Science, 2019, 102(1): 768-779.
- [18] 李秋桐, 苏伟, 母应春. 不同甲酯化方法分析羊肉膻味脂肪酸[J]. 中国调味品, 2019, 44(12): 148-154.
- LI Q T, SU W, MU Y C. Analysis of odor fatty acids in mutton by different methylation method[J]. China Seasoning, 2019, 44(12): 148-154.
- [19] 王云冲, 杨志平, 栾建启, 等. 努比奶山羊、萨能奶山羊品种间羊乳品质比较研究[J]. 中国乳业, 2015(1): 67-69.
- WANG Y C, YANG Z P, LUAN J Q, et al. Comparative study on the quality of goat milk between Nubi and Saanen dairy goat breeds[J]. China Dairy Industry, 2015(1): 67-69.
- [20] FLORES -NAJERA M, VÉLEZ -MONROY L, SÁNCHEZ-DUARTE J, et al. Milk yield and composition and body weight of offsprings of mixed-breed goats on semi-arid rangelands with different rainfall[J]. Tropical Animal Health and Production, 2020, 52(6): 3799-3808.
- [21] ZHANG Y, ZHENG Z J, LIU C H, et al. Lipid profiling and microstructure characteristics of goat milk fat from different stages of lactation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(27): 7204-7213.
- [22] DION S, BRASSARD M, LÉVESQUE J, et al. Potassium carbonate as a supplement to improve milk fat concentration and yield in early-lactating dairy goats fed a high-starch, low-fiber diet[J]. Journal of Dairy Science, 2021, 104(7): 7794-7807.
- [23] JIA C L, WEI Z H. The complete mitochondrial genome of Xinong Saanen dairy goat (*Capra hircus*) [J]. Mitochondrial DNA. Part A, DNA Mapping, Sequencing, and Analysis, 2016, 27(5): 3139-3140.
- [24] KANEDA T. *Iso-* and *anteiso-*fatty acids in bacteria: Biosynthesis, function, and taxonomic significance[J]. Microbiological Reviews, 1991, 55(2): 288-302.
- [25] ZHANG F X, WANG Z X, LEI F Y, et al. Bacterial diversity in goat milk from the Guanzhong area of China[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(10): 7812-7824.
- [26] 张芳, 张莉, 尚明玉, 等. 我国奶山羊产业发展现状与措施建议[J]. 中国乳业, 2020(5): 22-24.
- ZHANG F, ZHANG L, SHANG M Y, et al. Current situation of dairy goat industry development in China and suggestions for measures[J]. China Dairy Industry, 2020(5): 22-24.
- [27] 赵启南, 金海, 孟子琪, 等. 关于我国奶山羊产业高质量发展的思考[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(6): 261-264.
- ZHAO Q N, JIN H, MENG Z Q, et al. Reflections on the high-quality development of dairy goat industry in China[J]. Chinese Journal of Animal Husbandry, 2021, 57(6): 261-264.
- [28] 刘鑫, 么恩悦, 郑健, 等. 利用体外培养法研究奶牛瘤胃中奇链支链脂肪酸与微生物菌群的相关性[J]. 中国兽医学报, 2020, 40(2): 393-399, 404.
- LIU X, MO E Y, ZHENG J, et al. Correlation between odd-chain branched-chain fatty acids and rumen microflora of dairy cows *in vitro*[J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2020, 40(2): 393-399, 404.
- [29] VAHMANI P, SALAZAR V, ROLLAND D, et al.

- Iso-* but not *anteiso-*branched chain fatty acids exert growth-inhibiting and apoptosis-inducing effects in MCF-7 cells[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(36): 10042-10047.
- [30] NICOLAIDES N, FU H, ANSARI M, et al. The fatty acids of wax esters and sterol esters from vernix caseosa and from human skin surface lipid[J]. *Lipids*, 1972, 7(8): 506-517.
- [31] MIKA A, STEPNOWSKI P, KASKA L, et al. A comprehensive study of serum odd- and branched-chain fatty acids in patients with excess weight[J]. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 2016, 24(8): 1669-1676.

Effect of Dairy Goat Breed and Breeding Area on the Branched-chain Fatty Acid Composition of Goat Milk

Zhang Jiabin¹, Cui Zhengying¹, Zhao Jiayuan¹, Zheng Yaping¹, Man Chaoxin¹, Hou Yanmei²,
Zhong Jinjing², Jiang Yujun^{1*}

(¹Key Laboratory of Dairy Science, Ministry of Education, College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030

²Hyproca Nutrition Co., Changsha 410219)

Abstract Branched-chain fatty acids are of great interest as emerging bioactive substances. Since goat milk is rich in nutritional value and its composition and content of branched-chain fatty acids are closest to those of breast milk, the analysis of factors affecting the composition of branched-chain fatty acids in goat milk is of great research significance for the high-value utilization of goat milk resources. In this study, the branched-chain fatty acid composition of goat milk was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) in two breeds of Saanen dairy goats, Guanzhong dairy goats and four breeding areas in Shandong and Shaanxi. The results showed that the composition of branched-chain fatty acids in the milk of Saanen dairy goats was richer than that of Guanzhong dairy goats, and the *anteiso*-C17:0 of Saanen dairy goats in Shandong was significantly higher than those in the three breeding areas in Shaanxi Province, and the proportion of isomeric branched-chain fatty acids in the milk of sheep from the three breeding areas in Shaanxi Province was significantly different ($P<0.05$). The article revealed that the milk of Saanen dairy goats was more nutritious from the perspective of branched-chain fatty acid composition, and the composition of branched-chain fatty acids in the milk of Saanen goats in Shaanxi and Guanzhong goats in Shandong was closer to breast milk.

Keywords goat milk; branched-chain fatty acids; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)