

乌珠穆沁羊、杜泊羊和萨福克羊脂肪酸 指纹图谱的建立

苏馨¹, 车天宇¹, 谢遇春¹, 赵存¹, 郭俊涛¹, 王志新¹, 包永泉², 李金泉^{1*}, 刘志红^{1*}

(1. 内蒙古农业大学动物科学学院, 内蒙古自治区动物遗传、育种和繁殖重点实验室, 农业部肉羊遗传育种重点实验室, 内蒙古自治区山羊遗传育种工程技术研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010018;
2. 东乌珠穆沁旗动物疫病预防控制中心, 内蒙古 锡林郭勒 026000)

摘要: 挑选内蒙古地区相同饲养条件下的乌珠穆沁羊、杜泊羊和萨福克羊各6只, 取背最长肌, 通过气相色谱-质谱进行脂肪酸检测, 构建指纹图谱, 利用中药色谱指纹图谱相似度评价系统软件进行指纹图谱相似度分析和主成分分析。结果表明: 杜泊羊和萨福克羊背最长肌脂肪酸指纹图谱相似度为0.991, 杜泊羊和乌珠穆沁羊背最长肌脂肪酸指纹图谱相似度为0.987, 萨福克羊和乌珠穆沁羊背最长肌脂肪酸指纹图谱相似度为0.994。3种羊背最长肌脂肪酸指纹图谱中共存在12个共有峰, 以硬脂酸(C_{18:0})色谱峰为参比峰, 对12个共有峰的保留时间和相对峰面积进行主成分分析, 可准确鉴别以上3个品种羊。

关键词: 脂肪酸; 指纹图谱; 乌珠穆沁羊; 杜泊羊; 萨福克羊; 相似度

Fatty Acid Fingerprinting of Wuzhumuqin, Dorper and Suffolk Sheep

SU Xin¹, CHE Tianyu¹, XIE Yuchun¹, ZHAO Cun¹, GUO Juntao¹, WANG Zhixin¹, BAO Yongquan², LI Jinquan^{1*}, LIU Zhihong^{1*}
(1. The Inner Mongolia Autonomous Region Goat Genetics and Breeding Engineering Technology Research Center, Key Laboratory of Mutton Sheep Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Animal Genetics, Breeding and Reproduction in Inner Mongolia Autonomous Region, College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Eastern Wuzhumuqin Animal Disease Prevention and Control Center, Xilingol 026000, China)

Abstract: In this experiment, six Wuzhumuqin, Dorper and Suffolk sheep raised under the same conditions in Inner Mongolia each were selected and slaughtered. *Longissimus dorsi* muscles were taken for fatty acid fingerprinting by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Similarity analysis of the developed fingerprints was carried out using the software of similarity evaluation system for chromatographic fingerprint of traditional Chinese medicine (TCM) and principal component analysis (PCA) was performed as well. The results showed that the similarity in the fatty acid fingerprint of *Longissimus dorsi* was 0.991 for Dorper versus Suffolk sheep, 0.987 for Dorper versus Wuzhumuqin sheep, and 0.994 for Suffolk versus Wuzhumuqin Sheep. A total of 12 peaks were common to the fatty acid fingerprints of *Longissimus dorsi* of the three breeds. Based on the retention times of the 12 common peaks and the relative peak areas, PCA accurately discriminated these breeds using stearic acid (C_{18:0}) as the reference peak.

Keywords: fatty acids; fingerprint; Wuzhumuqin sheep; Dorper sheep; Suffolk sheep; similarity

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210312-068

中图分类号: TS251.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123(2021)08-0037-05

收稿日期: 2021-03-12

基金项目: 内蒙古自治区关键技术攻关计划项目(2020GG0030); 内蒙古自治区科技重大专项(2020ZD0004); 国家自然科学基金地区项目(32060742); 内蒙古自治区双一流建设项目青年基金项目(QN202001)

第一作者简介: 苏馨(1995—)(ORCID: 0000-0002-1204-3804), 女, 硕士研究生, 研究方向为羊肉品质研究与遗传。

E-mail: 454597773@qq.com

*通信作者简介: 李金泉(1957—)(ORCID: 0000-0001-9159-5916), 男, 教授, 博士, 研究方向为绒山羊遗传育种原理与方法。

E-mail: lijinquan_nd@126.com

刘志红(1977—)(ORCID: 0000-0002-4859-9556), 女, 副教授, 博士, 研究方向为羊功能基因组与育种。

E-mail: liuzh7799@163.com

引文格式:

苏馨, 车天宇, 谢遇春, 等. 乌珠穆沁羊、杜泊羊和萨福克羊脂肪酸指纹图谱的建立[J]. 肉类研究, 2021, 35(8): 37-41.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210312-068. <http://www.rlyj.net.cn>

SU Xin, CHE Tianyu, XIE Yuchun, et al. Fatty acid fingerprinting of Wuzhumuqin, Dorper and Suffolk sheep[J]. Meat Research, 2021, 35(8): 37-41. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210312-068. <http://www.rlyj.net.cn>

气相色谱-质谱指纹图谱联用技术是将样品质谱图进行相似性分析, 将具有代表性的图谱进行提取, 以为后期样品掺假鉴别和产地溯源提供帮助, 该方法在肉品中应用较少, 但在药品及其他食品中应用较为广泛。陈学敏等^[1]通过顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用法研究欧拉羊肉熟制时的挥发性风味物质, 并构建相应指纹图谱。Han Jingtao等^[2]通过气相色谱技术确定4种蟹中7种特征性脂肪酸, 建立我国4种主要经济蟹的脂肪酸指纹图谱。马瑜璐^[3]利用气相色谱-质谱联用技术构建指纹图谱对猪肉新鲜度进行评价, 结果表明, 所得指纹图谱可对9个猪肉样品进行新鲜度等级划分。李吉光等^[4]利用气相色谱-质谱技术构建不同产地黑果枸杞脂肪酸指纹图谱, 并分析各地黑果枸杞的主要脂肪酸含量和差异脂肪酸。Fang Guihua等^[5]通过气相色谱指纹图谱技术和化学计量学方法实现对油脂掺假的分类、预测和检测; 王琼芬等^[6]利用脂肪酸指纹图谱对48批天然鱼肝油样品进行掺假检验, 共检出3批掺假鱼肝油; Lu^[7]通过气相色谱-质谱技术建立鱼腥草注射液标准指纹图, 能够对不同生产厂家进行区分; 唐芳^[8]建立了7种植物油的标准指纹图谱, 可用于定性鉴别植物油脂掺假问题; 钟丹^[9]通过气相色谱指纹图谱对多批不同产地茶油和植物油进行鉴别, 并评价茶油品质, 为茶油品质评价和质量把控标准的制定提供基础。刘雪娇^[10]构建黑龙江不同品种大豆气相色谱指纹图谱, 结合一系列技术合成大豆品种条形码和二维码。Esteki等^[11]建立伊朗本地6个不同区域核桃油的脂肪酸指纹图谱, 并通过主成分分析和线性判别进行验证, 确定脂肪酸指纹图谱技术可以用于不同区域核桃油品种的鉴别。

内蒙古地区羊肉因纯天然的地理优势, 深得大众喜爱^[12]。乌珠穆沁羊产自内蒙古锡林郭勒盟乌珠穆沁草原, 适应性强, 适于天然草场四季大群牧饲, 具有生长发育快、成熟早、肉质细嫩、肉脂产量高等优点, 是一种肉脂兼用粗毛羊品种, 适于肥羔生产。羊肉中脂肪酸含量对其营养价值有重要影响。杜泊羊和萨福克羊均为我国引进用于杂交的优秀肉羊品种。杜泊羊原产自南非^[13], 是一种肉用绵羊品种, 杜泊羔羊生长迅速, 断奶体质量大, 具有早期采食的能力, 平均日增体质量200 g以上, 3.5~4月龄的杜泊羊体质量可达36 kg^[14-15], 屠宰胴体质量约为16 kg, 且胴体肉质细嫩、多汁、色鲜、瘦肉率高^[16], 品质优良。杜泊羊与小尾寒羊、大尾寒羊和洼地绵羊相

比, 生长速率和出肉率均有显著优势。萨福克羊原产自英国, 成熟时间早、出肉率高、肉质好、瘦肉率和繁殖率高且适应性强^[17], 是世界公认的用于终端杂交的优良父本品种^[18]。

本实验通过气相色谱技术建立内蒙古地区乌珠穆沁羊、杜泊羊和萨福克羊的脂肪酸标准指纹图谱, 对3个肉用绵羊品种间差异进行相似度分析, 为后期肉用绵羊的掺假鉴别提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

乌珠穆沁羊(6月龄、胴体质量约15 kg)产自内蒙古乌珠穆沁原种场; 杜泊羊和萨福克羊均为去势公羊, 产自赛诺国家级核心育种场。3个品种样各采集6只, 取第6~8肋间背最长肌, 放于液氮中运输至实验室, 于-80℃冷冻保存备用。

甲醇、正己烷(均为质谱级) 美国Thermo Fisher公司; 丙酮(色谱级) 天津大茂化学试剂厂; 氢氧化钾、浓硫酸(均为分析纯) 天津市富宇精细化工有限公司。

1.2 仪器与设备

GC-5977B气相色谱质谱仪 美国Agilent公司; QL-901涡旋仪 海门市其林贝尔仪器制造有限公司; DK-8D水浴锅 上海一恒科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 气相色谱质谱分析肌间脂肪酸

参考刘志红等^[16]的方法, 采用气相色谱质谱联用仪对羊肉中37种脂肪酸进行检测。取5 g羊肉样品充分研磨后放于水解管中, 加入0.7 mL 10 mol/L氢氧化钾溶液和5.3 mL甲醇, 密封后水浴加热1.5 h, 加入0.58 mL 24 mol/L硫酸溶液, 混匀, 继续水浴加热1.5 h, 加入正己烷, 涡旋, 取上清液, 待测。

气相色谱条件: Agilent 112-88A7 HP-88色谱柱(100 m×0.250 mm, 0.20 μm), 压力33.373 Pa, 总流量13 mL/min, 进样口温度220℃, 采用9:1分流模式进样, 载气氦气, 上样量1 μL。升温程序: 起始柱温120℃, 保持5 min, 然后以3℃/min升温至150℃, 保持28 min, 最后以1.5℃/min升温至220℃, 保持10 min。

质谱条件：全扫描模式，溶剂延迟时间5 min，增益10，离子源温度230 ℃（最高250 ℃），四极杆温度150 ℃（最高200 ℃）。

1.3.2 脂肪酸质谱处理

通过Qualitative Analysis B.07.00软件对质谱图进行前期积分、提取保留时间和相对峰面积处理，提取文件以Excel格式导出，对上机运行时间、信号、保留时间、峰高和峰面积进行整合，将得到的图谱文件在中药色谱指纹图谱相似度评价软件（2012.13072版）中生成该物质的对照指纹图谱。再通过该软件将3个品种的对照指纹图谱输入，选择3个品种的共有峰进行相似度分析，然后将硬脂酸（C_{18:0}）设为参比峰，计算12个可识别共有峰的相对峰面积和保留时间，并进行主成分分析。

1.3.3 方法学分析

选取同一样品按照1.3.1节方法提取脂肪酸并进行检测，连续上样6次，计算各特征峰峰面积的相对标准偏差（relative standard deviation, RSD），进行仪器精密密度、稳定性和重复性分析。

2 结果与分析

2.1 方法精密密度、稳定性、重复性分析结果

表1 方法的精密度和稳定性

Table 1 Precision and stability of the method

脂肪酸	保留时间RSD/%	峰面积RSD/%
十四烷酸	0.50	2.16
棕榈酸	0.69	2.64
棕榈油酸	0.63	3.56
十七烷酸	0.55	2.94
硬脂酸	0.42	2.72
反-油酸	0.39	3.22
油酸	0.33	3.82
亚麻酸	0.28	4.77
二十碳三烯酸	0.22	4.65

表2 重复性实验结果

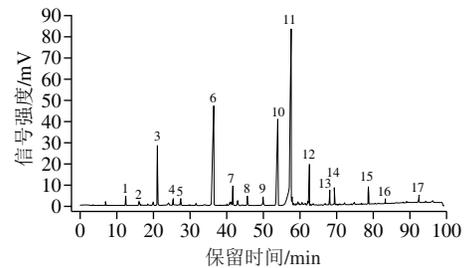
Table 2 Repeatability of the method

脂肪酸	保留时间RSD/%	峰面积RSD/%
十四烷酸	0.46	2.41
棕榈酸	0.55	1.69
棕榈油酸	0.57	1.04
十七烷酸	0.53	1.52
硬脂酸	0.39	1.08
反-油酸	0.68	0.89
油酸	0.31	0.31
亚麻酸	0.27	1.93
二十碳三烯酸	0.19	1.93

取实验中的杜泊羊背最长肌为样品，由于每个样品检测需要1.6 h，因此每个样品稳定性需要在10 h内按照精密密度实验的方法，计算其特征峰保留时间和峰面积的

RSD，由表1可知，保留时间RSD为0.22%~0.69%，均小于2%，而峰面积RSD均小于5%，说明实验方法精密度和稳定性均良好。按照重复性实验的方法，计算特征峰保留时间和峰面积的RSD，由表2可知，保留时间和峰面积RSD均小于5%^[19]，说明实验重复性良好。

2.2 不同品种羊背最长肌指纹图谱的建立



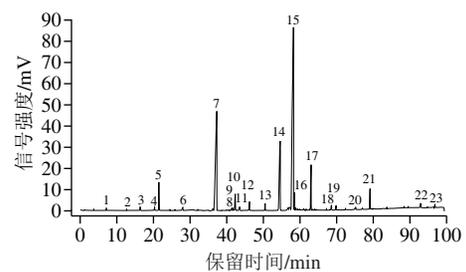
1.十二烷酸；2.十三烷酸；3.十四烷酸；4.肉豆蔻烯酸；5.十五烷酸；6.棕榈酸；7.棕榈油酸；8.十七烷酸；9.十七碳烯酸；10.硬脂酸；11.油酸；12.亚油酸；13.亚麻酸；14.芥子酸；15.二十三烷酸；16.二十二碳二烯酸；17.不可识别峰。

图1 乌珠穆沁羊背最长肌脂肪酸指纹图谱

Fig. 1 Fatty acid fingerprint of *Longissimus dorsi* of Wuzhumuqin sheep

经GC-MS检测定性得到乌珠穆沁羊背最长肌脂肪酸甲酯组成，积分后经中药色谱指纹图谱相似度评价系统匹配分别得到17个共有峰，其中可识别峰16个，同时保证谱图中非共有峰面积之和均小于其相对应谱图总峰面积的10%，符合标准指纹图谱建立的技术要求^[20]，图1为乌珠穆沁羊背最长肌脂肪酸的标准指纹图谱。

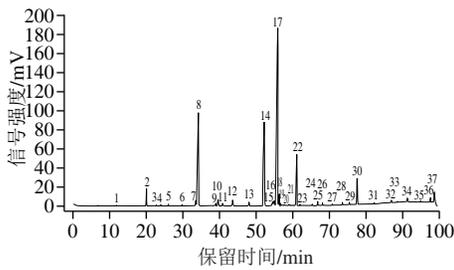
将萨克福羊、杜泊羊背最长肌脂肪酸甲酯GC-MS谱按照相同方法进行匹配，分别得到23个和37个共有峰，其中可识别峰分别为19个和26个，非共有峰面积均小于10%，符合标准指纹图谱建立的技术要求。萨福克羊、杜泊羊背最长肌脂肪酸标准指纹图谱分别如图2~3所示。



1.癩酸；2.十一烷酸；3.十二烷酸；4.十三烷酸；5.十四烷酸；6.十五烷酸；7.棕榈酸；10.棕榈油酸；12.十七烷酸；13.十七碳烯酸；14.硬脂酸；15.油酸；16.反-油酸；17.亚油酸；18.亚麻酸；19.二十碳烯酸；20.二十碳二烯酸；21.二十碳三烯酸；22.二十二碳六烯酸；8、9、11、23.均为不可识别峰。

图2 萨福克羊背最长肌脂肪酸指纹图谱

Fig. 2 Fatty acid fingerprint of *Longissimus dorsi* of Suffolk sheep



1.十三烷酸; 2.十四烷酸; 4.肉豆蔻烯酸; 5.十五烷酸; 8.棕榈酸;
10.棕榈油酸; 12.十七烷酸; 13.十七碳烯酸; 14.硬脂酸; 15.反-
油酸; 17.油酸; 20.反-亚油酸; 22.亚油酸; 23.γ-亚麻酸; 24.花
生酸; 25.亚麻酸; 26.二十碳烯酸; 27.二十一烷酸; 28.二十碳
二烯酸; 29.二十碳三烯酸; 30.二十碳三烯酸; 31.花生四烯酸;
32.二十三烷酸; 33.二十四烷酸; 34.神经酸; 35.二十二碳六烯酸;
3、6、7、9、11、16、18、19、21、36、37.均为不可识别峰。

图3 杜泊羊背最长肌脂肪酸指纹图谱

Fig. 3 Fatty acid fingerprint of *Longissimus dorsi* of Dorper sheep

2.3 3个品种羊肉标准脂肪酸指纹图谱相似度分析结果

对3个品种羊背最长肌脂肪酸标准指纹图谱进行相似性检验,得到12个可识别共有峰,分别是十三烷酸、十四烷酸、十五烷酸、棕榈酸、棕榈油酸、十七烷酸、十七碳烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、二十碳烯酸。

表3 3个品种羊背最长肌标准脂肪酸指纹图谱相似度检验结果

Table 3 Similarity in fatty acid fingerprint of *Longissimus dorsi*

项目	among three sheep breeds		
	杜泊羊	萨福克羊	乌珠穆沁羊
杜泊羊	1		
萨福克羊	0.991	1	
乌珠穆沁羊	0.987	0.994	1

由表3可知,杜泊羊和萨福克羊背最长肌脂肪酸指纹图谱相似度为0.991,杜泊羊和乌珠穆沁羊背最长肌脂肪酸指纹图谱相似度为0.987,萨福克羊和乌珠穆沁羊背最长肌脂肪酸指纹图谱相似度为0.994。

2.4 3个品种羊背最长肌脂肪酸共有峰保留时间和相对峰面积的主成分分析

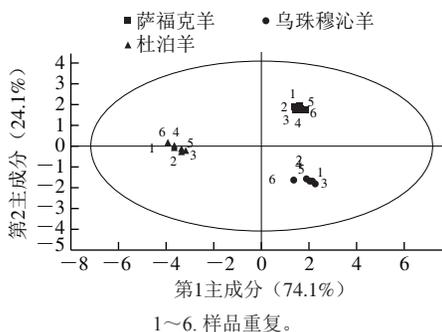


图4 3个品种羊背最长肌脂肪酸主成分分析结果

Fig. 4 PCA plot of fatty acid fingerprints of *Longissimus dorsi* in three sheep breeds

在3个品种羊背最长肌脂肪酸标准指纹图谱中,硬脂酸($C_{18:0}$)色谱峰分离较好且峰面积较大,因此将其设为参比峰,计算12个可识别共有峰的相对峰面积和保留时间,将所得数据导入SIMCA 13.0软件中进行主成分分析。由图4可知,第1主成分贡献率为74.1%,第2主成分贡献率为24.1%,累计贡献率达到95%以上,表明模型具有可行性,通过背最长肌脂肪酸标准指纹图谱中可识别共有峰的相对峰面积和保留时间可以明显区分3个品种羊。

3 讨论

肌肉中脂肪酸主要为硬脂酸、油酸、棕榈酸和亚油酸等^[16,21-22],与本实验中所得3个品种羊背最长肌共有脂肪酸基本相似。杜泊羊和萨福克羊作为优秀的引进品种,在国内主要用于育种^[23-24]。目前,指纹图谱技术应用广泛,特别在中药的产地溯源和掺假鉴别方面^[25],如王宇光等^[26]通过对17份白木香沉香样品进行GC-MS分析,通过比较所含物质相对含量发现其组成成分与奇楠沉香相似;Yan Xiaomin等^[27]通过构建奥克兰草和川木香GC-MS指纹图谱并结合化学成分分析研究二者的差异。本实验中杜泊羊和萨福克羊背最长肌脂肪酸指纹图谱相似度为0.991,而主成分分析结果表明杜泊羊和萨福克有一定差异,说明单纯依靠指纹图谱技术并不能十分准确进行物种鉴别,还应该结合其他方式共同鉴别。卜凡艳^[28]通过GC分析建立3种鸡肉中挥发性成分指纹图谱,该方法可用于鸡肉品质的鉴定。白婷等^[29]通过构建黑水凤尾鸡中微量元素指纹图谱进行产地溯源研究;杜超等^[30]基于炖煮过程中鸡肉风味物质的变化规律构建指纹图谱,可明显区分不同炖煮次数的鸡肉样品;朱文政等^[31]通过顶空萃取提取红烧肉中的挥发性物质,再结合GC-MS定性分析建立挥发性物质指纹图谱;Wang Fang等^[32]建立了羔羊风味物质指纹图谱。

4 结论

本实验通过GC-MS技术建立内蒙古地区乌珠穆沁羊、杜泊羊和萨福克羊3个品种羊脂肪酸标准指纹图谱,其中乌珠穆沁羊共检出17个色谱峰,其中可识别峰16个;杜泊羊共检出37个色谱峰,可识别峰26个,萨福克羊共检出23个色谱峰,其中可识别峰19个。3个品种羊背最长肌脂肪酸标准指纹图谱进行相似性检验,得到12个可识别共有峰,萨福克羊与乌珠穆沁羊和杜泊羊羊背最长肌脂肪酸指纹图谱具有较高的相似性(相似度大于0.99),杜泊羊和乌珠穆沁羊相似度最低(相似度小于0.99),通过对共有峰相对峰面积和保留时间进行主成分分析可以很好地对3个品种肉羊进行区分。



参考文献:

- [1] 陈学敏, 朱国茵, 罗海玲, 等. 基于指纹图谱的欧拉羊肉挥发性风味物质定量分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(5): 349-355. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.05.038.
- [2] HAN Jingtao, LIU Xianghua, JIANG Zhengyi. The establish of four kinds of Chinese primary economic crab species fatty acid fingerprints[J]. Advanced Materials Research, 2014, 3226: 1083-1091. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.1083.
- [3] 马瑜璐. 气相色谱-质谱指纹图谱技术分析猪肉新鲜度的应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [4] 李吉光, 周艳芬, 王蓉. GC-MS指纹图谱结合主成分分析法评价不同产地黑果枸杞脂肪酸的质量[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2017, 38(4): 365-370.
- [5] FANG Guihua, GOH G Y, TAY M J, et al. Characterization of oils and fats by ¹H NMR and GC/MS fingerprinting: classification, prediction and detection of adulteration[J]. Food Chemistry, 2013, 138(2/3): 1461-1469. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.09.136.
- [6] 王琼芬, 刘婷, 张梦奇, 等. 天然鱼肝油脂肪酸指纹图谱研究及掺假鉴定[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(22): 5968-5974.
- [7] LU H M, LIANG Y Z, CHEN S, et al. Identification and quality assessment of *Houttuynia cordata* injection using GC-MS fingerprint: a standardization approach[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 105(3): 436-440. DOI:10.1016/j.jep.2005.11.018.
- [8] 唐芳. 植物油脂肪酸指纹图谱的建立及掺假识别方法的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
- [9] 钟丹. 茶油的质量标准和气相指纹图谱的初步研究[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2012.
- [10] 刘雪娇. 黑龙江省主栽大豆脂肪酸指纹图谱的构建研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2017.
- [11] ESTEKI M, B FARAJMAND B, AMANIFAR S, et al. Classification and authentication of Iranian walnuts according to their geographical origin based on gas chromatographic fatty acid fingerprint analysis using pattern recognition methods[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2017, 171: 251-258. DOI:10.1016/j.chemolab.2017.10.014.
- [12] 董轩. 羊肉品质评价指标、影响因素及不同烹调方式对品质的影响[J]. 现代食品, 2020(23): 16-19.
- [13] 王世泰, 韩芙蓉, 高静, 等. 澳洲白绵羊与杜泊绵羊在甘肃中部高寒地区生产性能比较研究[J]. 畜牧兽医学报, 2020, 39(1): 1-3.
- [14] 张林. 七个绵羊群体微卫星DNA的遗传多样性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [15] 韩战强, 李鹏伟, 赵秀敏, 等. 引进肉用绵羊品种的杂交利用研究进展[J]. 中国草食动物科学, 2021, 41(1): 52-56.
- [16] 刘志红, 马丽娜, 米璐, 等. 杜泊羊背最长肌中脂肪酸种类与含量分析[J]. 家畜生态学报, 2019, 40(12): 50-54.
- [17] 于跃武, 张新梅. 萨福克羊与哈萨克羊小尾寒羊杂交一代产肉性能测定[J]. 当代畜牧, 2005(9): 26-28.
- [18] 杨东贵. 澳系白萨福克羊在甘肃景泰地区引种适应性观测[J]. 中国畜牧兽医, 2008, 35(7): 134-135.
- [19] 王家明, 王智民, 高慧敏, 等. 预知子指纹图谱的初步研究[J]. 中国药理学杂志, 2007(13): 978-980.
- [20] 屠鹏飞. 中药材指纹图谱的建立及技术要求实例解说[J]. 中国药品标准, 2000, 1(4): 22-29.
- [21] 罗建学. 羊肉脂肪酸的研究概况[J]. 肉类研究, 2010, 24(1): 12-15.
- [22] 沙玉柱, 徐振飞, 刘秀, 等. 陇东黑山羊肉品质及脂肪酸特征研究[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(10): 67-70.
- [23] 采复拉·大木拉, 陶卫东, 叶尔达·乌兰巴依尔, 等. 黑头杜泊羊与和丰本地绵羊杂交后代羔羊生产性能及肉质研究[J]. 中国草食动物科学, 2021, 41(1): 69-72.
- [24] 李佳蓉, 贾超, 姜怀志. 萨福克羊种质特性及利用状况[J]. 中国草食动物科学, 2017, 37(3): 51-55.
- [25] 白上圆. 金银花及其近缘种金银忍冬的鉴别研究[D]. 郑州: 河南大学, 2020.
- [26] 王宇光, 王军, 杨锦玲, 等. 白木香品种‘热科2号’沉香化学成份的GC-MS分析[J]. 热带农业科学, 2020, 40(7): 79-89. DOI:10.12008/j.issn.1009-2196.2020.07.013.
- [27] YAN Xiaomin, WANG Wenjun, CHEN Ziqiang, et al. Quality assessment and differentiation of *Aucklandia Radix* and *Vladimiria Radix* based on GC-MS fingerprint and chemometrics analysis: basis for clinical application[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2020, 412(7): 1535-1549. DOI:10.1007/s00216-019-02380-2.
- [28] 卜凡艳. 鸡肉香气特征指纹图谱研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2008.
- [29] 白婷, 蔡浩洋, 邓银华, 等. 基于微量元素指纹图谱对黑水凤尾鸡进行产地溯源的研究[J]. 中国测试, 2018, 44(9): 57-62; 74.
- [30] 杜超, 戚军, 姚文生, 等. 基于气相-离子迁移谱分析反复炖煮过程中鸡肉风味物质的变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(9): 265-271. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022999.
- [31] 朱文政, 严顺阳, 徐艳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同烹制时间红烧肉挥发性风味成分[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(02): 247-253.
- [32] WANG Fang, GAO Yaqin, WANG Hongbo, et al. Analysis of volatile compounds and flavor fingerprint in Jingyuan lamb of different ages using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)[J]. Meat Science, 2021, 175: 108449. DOI:10.1016/j.meatsci.2021.108449.