



动物营养学报

Chinese Journal of Animal Nutrition

ISSN 1006-267X, CN 11-5461/S

《动物营养学报》网络首发论文

题目：顶空固相微萃取-气质联用技术分析青海省不同产地牦牛肉中挥发性风味成分
作者：皮立，李玉林，谭亮，王虹蕾，刘立勇，王环，朱青云
收稿日期：2019-12-07
网络首发日期：2020-03-04
引用格式：皮立，李玉林，谭亮，王虹蕾，刘立勇，王环，朱青云. 顶空固相微萃取-气质联用技术分析青海省不同产地牦牛肉中挥发性风味成分[J/OL]. 动物营养学报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5461.S.20200303.1153.032.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

顶空固相微萃取—气质联用技术分析青海省不同产地牦牛肉中挥发性风味成分

皮立^{1,2} 李玉林¹ 谭亮¹ 王虹蕾¹ 刘立勇³ 王环¹ 朱青云^{3*}

(1.中国科学院西北高原生物研究所,西宁 810001;2.中国科学院藏药研究重点实验室,西宁 810001;
3.青海省产品质量监督检验所,西宁 810008)

摘要：本研究旨在分析青海省不同产地牦牛肉中挥发性风味成分的基础上,用主成分分析法找出牦牛肉中挥发性风味成分中的关键化合物。在青海省 5 个地区选取公母牦牛各 3 头,采用顶空固相微萃取—气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术分析鉴定的牦牛背最长肌、股二头肌和肋间肌中挥发性风味成分。结果显示:从牦牛 3 个部位的肌肉中鉴定出 34 种挥发性风味成分,主要包括醛类、酮类、醇类、酸类、烃类、含氮杂环化合物和含硫化合物。对牦牛肉挥发性风味成分的主成分分析发现,8 种化合物(十六醛、十八醛、壬醛、苯甲醛、正辛醇、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮、己酸)是牦牛肉中关键挥发性风味成分;对牦牛肉产地的主成分分析结果显示,30 份牦牛肉样品可以按照产地和草场类型划分为 3 类。

关键词：牦牛;顶空固相微萃取;气质联用;挥发性风味成分;主成分分析

中图分类号:TS251.52

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)06-0000-00

青海是牦牛的主要产区,现有牦牛约 478.69 万头,占全国牦牛总数的 36%,是牦牛养殖第一大省,也是牦牛资源最集中的地区之一^[1-3]。青海牦牛主要品种是青海高原牦牛,青海高原牦牛是我国青藏高原型牦牛中一个面较广、量较大、质量较好的地方良种,对高寒严酷的高原生态条件有着杰出的适应能力,是雪域高原不可缺少的特种役畜。青海高原牦牛的主要地方类群有大通牦牛、天峻牦牛、甘德牦牛、雪多牦牛和环湖牦牛。大通牦牛是世界上第 1 个人工培育的牦牛品种,而环湖牦牛在 2017 年通过国家畜禽资源品种鉴定,正式成为国家畜禽遗传资源列入保护名录^[4-6]。

对牦牛肉挥发性风味成分的研究过去一直集中在青海周边省份^[7-11],对青海省牦牛肉挥发性风味成分的研究仅见零星报道^[12-13],缺乏系统的

分析和研究,尤其是研究者多不在当地,牦牛肉在长途运输过程中挥发性风味成分难免发生改变。本研究选取产自青海省不同地区(天峻、祁连、大通、刚查、甘德地区)的牦牛肉,采用顶空固相微萃取—气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术分析青海省不同产地牦牛肉中挥发性风味成分,比较在不同海拔和生境条件下,牦牛肉中挥发性风味成分的共同之处和不同之处,探索牦牛肉的品质,为青海高原牦牛品种选育、饲养管理水平的提高以及青海牦牛肉经济价值的提升提供科学依据,并为建立青海高原牦牛肉品质评价标准提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

随机选取自然放牧、发育正常、健康无病、体

收稿日期:2019-12-07

基金项目:原国家质量监督检验检疫总局 2016 年科技项目(2016QK090);青海省重点研发项目(2017-NK-153);青海省应用基础研究项目(2020-ZJ-753)

作者简介:皮立(1972—),男,江西樟树人,副研究员,博士,从事食品品质分析研究。E-mail: pili@nwipb.cas.cn

*通信作者:朱青云,高级工程师,E-mail: zqy7890@163.com

重相近、年龄在3~4岁的大通牦牛(大通回族自治县)、刚查牦牛(海西州刚察县)、天峻牦牛(海西州天峻县)、祁连牦牛(海北州祁连县)、甘德牦牛(果洛州甘德县)公母各3头,每头牦牛屠宰前禁食12 h,禁水2 h,屠宰后在1 h内劈半、剔骨分割。取胴体左侧的3个部位(背最长肌、股二头肌、肋间肌),去除肉样表面的脂肪、筋腱、污血等杂物,称约200 g处理后的肌肉,用铝箔包装后,暂置于放有冰袋的冷藏箱(0~4 °C)保鲜。肌肉样品带回实验室后先切成小块,然后粉碎成肉糜,称取

2 g样品于20 mL顶空瓶中,封口后于-20 °C冰箱保存,待检测,样品信息见表1。2-甲基-3-庚酮标准品购于美国Sigma公司;C5~C25正构烷烃购于美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 试验仪器

DE-203型分析天平:瑞士Mettler Toledo公司;手动SPME进样器:50/30 μm , DVB/CAR/PDMS^[14-16],美国Supelco公司;TG-Wax MS毛细色谱柱:长30 m,内径0.25 mm,膜厚0.25 μm ;Thermo1300/8000Evo气相色谱-质谱联用仪:美国赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

表1 采自青海省不同地区的牦牛肉样品

Table 1 Yak meat samples collected from different regions in Qinghai province

样品编号 Sample No.	地区 Region	地理坐标 Geographic coordinate	海拔 Altitude/m	草地类型 Grassland type
DTG1、DTG2、DTG3 DTM1、DTM2、DTM3	西宁市大通县宝库乡	N37°06'42.59" E101°33'59.07"	3 600	高寒灌丛草甸亚类
QLG1、QLG2、QLG3 QLM1、QLM2、QLM3	海北州祁连县八宝镇	N38°10'58.35" E100°14'36.37"	3 169	高寒草甸亚类
GCG1、GCG2、GCG3 GCM1、GCM2、GCM3	海北州刚察县沙柳河镇	N37°19'17.22" E100°08'43.84"	3 550	高寒草甸亚类
TJG1、TJG2、TJG3 TJM1、TJM2、TJM3	海西州天峻县龙门乡	N37°52'43.31" E98°49'24.93"	3 832	高寒草甸亚类
GDG1、GDG2、GDG3 GDM1、GDM2、GDM3	果洛州甘德县上贡麻乡	N33°51'52.95" E99°39'2.93"	4 020	高寒灌丛草甸亚类

样品编号中的前2个大写字母代表产地汉语拼音缩写,字母“G”代表公牛,字母“M”代表母牛;数字“1、2、3”依次代表牦牛背部最长肌、股二头肌和肋间肌。

The first two capital letters in the sample number represented the Chinese Pinyin abbreviation of the regions, the letter “G” represented the bull, and the letter “M” represented the cow; the numbers “1, 2, 3” in turn represented the intercostal muscle, *longissimus dorsi* muscle and biceps femoris muscle of yak.

1.3 试验方法

1.3.1 牦牛肉中挥发性风味成分测定

1.3.1.1 肉样前处理

将处理好的装有2 g肉样的20 mL顶空瓶从冰箱取出解冻40 min,加入20%的NaCl颗粒和5 μL 的2-甲基-3-庚酮溶液(0.306 $\mu\text{g}/\text{mL}$),摇匀后封口,放入水浴锅中,在90 °C水浴锅中加热60 min,然后转移到另一个60 °C水浴锅中降温冷却至60 °C,在60 °C恒温条件下用手动SPME进样器吸附30 min^[14,16],在气质联用进样口250 °C解吸附5 min。

1.3.1.2 上机条件

检测器:质谱检测器(MSD);不分流进样;进样器温度:250 °C;载气:高纯氦气;柱流量:

1.0 mL/min;程序升温:初温50 °C,保持2 min,以3 °C/min升至220 °C,保持5 min;接口温度:250 °C;电子轰击离子(EI)源,电子轰击能量70 eV;扫描方式:全扫描;离子源温度:230 °C;四极杆温度:150 °C;质量扫描范围:质荷比(m/z)=30~600。

1.3.1.3 挥发性风味成分定性定量

化合物经计算机检索同时与NIST 08标准数据库相匹配,根据匹配度大于800并参考相关文献^[7-10]人工解析鉴定各挥发性风味成分。通过正构烷烃(C5~C25)在相同条件下的保留时间,计算各挥发性风味成分的保留指数(RI),定性得到有效挥发性风味成分,并按已知浓度的2-甲基-3-庚酮(内标)的峰面积进行定量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件对数据进行方差分析,并采用 Duncan 氏法进行多重比较,以 $P < 0.05$ 为差异显著;同时运用该软件对牦牛肉中挥发性风味物质进行主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 牦牛肉中挥发性风味成分的鉴定

对采自青海省 5 个地区、2 种性别、3 个部位的 30 份牦牛肉样品,用 HS-SPME-GC-MS 技术分析挥发性风味成分,共鉴定出 34 种挥发性风味成分。以天峻公牦牛股二头肌中挥发性风味成分的鉴定结果为例,详见图 1 和表 2。

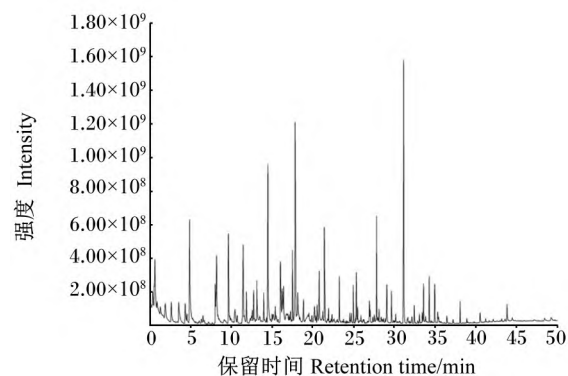


图 1 天峻公牦牛股二头肌中挥发性风味成分的总离子流图

Fig.1 Total ion chromatograms of volatile flavor components in biceps femoris muscle of Tianjun bull

表 2 天峻公牦牛股二头肌中挥发性风味成分鉴定结果

Table 2 Identification results of volatile flavor components from biceps femoris muscle of Tianjun bull

编号 Number	保留时间 Retention time/min	中文名称 Chinese name	英文名称 English name	相对分子质量 Relative molecular mass	分子式 Molecular formula	CAS 号 CAS number	参考保 留指数 Referenced RI	计算出的 保留指数 Calculated RI	含量 Content/ ($\mu\text{g/g}$)
X1	0.33	2-丁酮	2-butanone	74	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	78-93-3	601	620.5	11.66
X2	0.50	2-甲基-丁醛	2-methyl-butanal	86	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	96-17-3	643	650.3	9.85
X3	0.57	3-甲基-丁醛	3-methyl-butanal,	86	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	590-86-3	643	659.7	28.80
X4	3.51	甲苯	Toluene	92	C_7H_8	108-88-3	754	690.1	13.84
X5	4.30	2,3-戊二酮	2,3-pentanedione	100	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	600-14-6	790	708.9	8.20
X6	4.51	二甲基二硫醚	Dimethyl-disulfide	94	$\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_2$	624-92-0	722	715.5	3.09
X7	4.85	己醛	Hexanal	100	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	66-25-1	806	725.5	51.66
X8	6.01	乙基苯	Ethylbenzene	106	C_8H_{10}	100-41-4	893	855.0	3.09
X9	6.29	1,3-二甲基苯	1,3-dimethyl- benzene	106	C_8H_{10}	108-38-3	907	861.2	5.87
X10	6.49	对二甲苯	<i>p</i> -xylene	106	C_8H_{10}	106-42-3	907	865.5	10.38
X11	8.32	吡啶	Pyridine	79	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	110-86-1	674	699.7	38.49
X12	9.61	2-戊基-呋喃	2-pentyl-furan	138	$\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$	3777-69-3	977	939.2	46.01
X13	11.22	辛醛	Octanal	128	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	124-13-0	1 005	982.1	50.00
X14	11.64	3-羟基-2-丁酮	3-hydroxy-2- butanone	88	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	513-86-0	717	692.3	151.90
X15	13.94	二甲基三硫醚	Dimethyl trisulfide	126	$\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_3$	3658-80-8	972	963.1	4.36
X16	14.45	壬醛	Nonanal	142	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	124-19-6	1 104	1 078.0	93.01
X17	15.38	反-2-辛烯醛	(<i>E</i>)-2-octenal	126	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	2548-87-0	1 034	1 005.4	3.16
X18	16.00	1-辛烯-3-醇	1-octen-3-ol	128	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	3391-86-4	969	1 028.7	17.59
X19	16.19	乙酸	Acetic acid	60	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	64-19-7	594	535.6	44.36
X20	17.80	苯甲醛	Benzaldehyde	106	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	100-52-7	982	891.5	153.50
X21	18.12	反-2-壬烯醛	(<i>E</i>)-2-nonenal	140	$\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}$	18829-56-6	1 112	1 102.6	23.38
X22	18.82	正辛醇	1-octanol	130	$\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	111-87-5	1 059	1 132.3	18.77
X23	20.49	丁酸	Butanoic acid	88	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	107-92-6	775	698.9	15.71
X24	20.80	2-乙酰基噻唑	2-acetylthiazole	127	$\text{C}_5\text{H}_5\text{NOS}$	24295-03-2	1 068	1 013.3	8.42

续表 2

编号 Number	保留时间 Retention time/min	中文名称 Chinese name	英文名称 English name	相对分子质量 Relative molecular mass	分子式 Molecular formula	CAS号 CAS number	参考保 留指数 Referenced RI	计算出的 保留指数 Calculated RI	含量 Content/ ($\mu\text{g/g}$)
X25	21.91	3-噻吩甲醛	3-fornylthiophene	112	C ₅ H ₄ OS	498-62-4	983	964.4	5.19
X26	23.23	2-十一碳烯醛	2-undecenal	168	C ₁₁ H ₂₀ O	2463-77-6	1 311	1 225.1	13.68
X27	25.30	己酸	Hexanoic acid	116	C ₆ H ₁₂ O ₂	142-62-1	974	924.6	22.40
X28	27.81	1H-吡咯-2-基-乙酮	1-(H-pyrol-2-yl)- ethanone	109	C ₆ H ₇ NO	1072-83-9	1 035	956.8	25.41
X29	29.63	辛酸	Octanoic acid	144	C ₈ H ₁₆ O ₂	124-07-2	1 173	1 143.3	42.10
X30	31.13	十六醛	Hexadecanal	240	C ₁₆ H ₃₂ O	629-80-1	1 800	1 723.2	175.20
X31	31.64	壬酸	Nonanoic acid	158	C ₉ H ₁₈ O ₂	112-05-0	1 272	1 251.0	3.31
X32	33.56	癸酸	Decanoic acid	172	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	334-48-5	1 372	1 257.1	23.91
X33	34.26	2,4-二叔丁基苯酚	2,4-di-tert- butylphenol	206	C ₁₄ H ₂₂ O	96-76-4	1 555	1 596.1	44.21
X34	34.93	十八醛	Octadecanal	254	C ₁₇ H ₃₄ O	638-66-4	1 999	1 935.0	18.34

2.2 牦牛肉中挥发性风味成分的分类

通过对青海省不同产地牦牛肉中挥发性风味成分进行分类,发现青海牦牛肉中 34 种挥发性风味成分主要由醛类、酮类、醇类、酸类、烃类、含氮杂环化合物和含硫化合物组成,具体统计结果见表 3、表 4 和表 5。青海牦牛背最长肌和股二头肌中 7 类化合物的含量按照醛类、酮类、酸类、醇类、烃类、含氮杂环化合物、含硫化合物由大到小排

列。青海牦牛肋间肌中 7 类化合物的含量按照醛类、含硫化合物、酮类、含氮杂环化合物、酸类、烃类、醇类由大到小排列。不同采样部位的挥发性风味成分中含量最高的化合物都是醛类。构成青海牦牛肉中挥发性风味成分的醛类有 11 种,数量在 7 类化合物中最多。肋间肌中含硫化合物含量比其他 2 类肌肉高,可用于区别其他 2 类肌肉。

表 3 5 个产地牦牛背最长肌中挥发性风味成分统计结果

Table 3 Statistical results of volatile flavor components in *longissimus dorsi* muscle of yaks from five producing areas

项目 Items	天峻 公牛	天峻 母牛	刚查 公牛	刚查 母牛	祁连 公牛	祁连 母牛	大通 公牛	大通 母牛	甘德 公牛	甘德 母牛	平均值 Mean
	<i>Tianjun</i> bull	<i>Tianjun</i> cow	<i>Gangcha</i> bull	<i>Gangcha</i> cow	<i>Qilian</i> bull	<i>Qilian</i> cow	<i>Datong</i> bull	<i>Datong</i> cow	<i>Gande</i> bull	<i>Gande</i> cow	
醛类 Aldehydes	918.55	832.51	486.59	714.11	487.64	935.19	646.70	298.26	662.95	745.68	672.82
酮类 Ketones	18.24	101.57	80.82	53.55	384.32	104.82	115.66	20.90	45.12	36.95	96.20
醇类 Alcohols	118.01	65.07	52.95	94.20	57.62	36.09	88.13	147.63	195.67	63.16	91.85
酸类 Acids	39.71	59.16	130.10	37.90	147.00	85.07	167.44	152.15	45.27	75.30	93.91
含氮杂环化合物 Heterocyclic compounds	14.23	56.96	14.28	24.67	26.67	90.39	54.15	1.25	38.96	26.92	34.85
含硫化合物 Sulfur compounds	1.85	42.26	17.50	1.25	—	20.76	2.41	8.27	6.27	10.08	11.07
烃类 Alkanes	75.26	73.39	44.37	50.24	49.75	32.33	74.59	141.77	200.68	85.13	82.75

表 4 5 个产地牦牛股二头肌中挥发性风味成分统计结果

Table 4 Statistical results of volatile flavor components in biceps femoris muscle of yaks from five producing areas

项目 Items	天峻 公牛	天峻 母牛	刚查 公牛	刚查 母牛	祁连 公牛	祁连 母牛	大通 公牛	大通 母牛	甘德 公牛	甘德 母牛	平均值 Mean
	<i>Tianjun</i> bull	<i>Tianjun</i> cow	<i>Gangcha</i> bull	<i>Gangcha</i> cow	<i>Qilian</i> bull	<i>Qilian</i> cow	<i>Datong</i> bull	<i>Datong</i> cow	<i>Gande</i> bull	<i>Gande</i> cow	
醛类 Aldehydes	635.01	624.48	725.96	816.34	581.31	831.08	712.58	281.49	808.81	784.02	680.11
酮类 Ketones	50.53	204.04	113.99	21.96	166.45	28.72	102.09	10.52	68.87	159.39	92.66
醇类 Alcohols	42.55	95.03	115.04	70.82	101.04	60.45	116.22	23.91	30.22	68.12	72.34
酸类 Acids	38.79	142.40	29.34	72.78	155.92	81.96	91.13	15.64	76.82	116.08	82.09
含氮杂环化合物 Heterocyclic compounds	25.41	49.77	58.49	25.42	46.91	6.32	39.10	3.91	62.10	40.00	35.74
含硫化合物 Sulfur compounds	7.37	9.47	21.95	—	13.54	6.91	1.80	17.75	25.11	7.97	11.19
烃类 Alkanes	54.28	71.43	28.42	73.53	100.45	49.77	97.58	14.53	17.44	53.08	56.05

表 5 5 个产地牦牛肋间肌中挥发性风味成分统计结果

Table 5 Statistical results of volatile flavor components in intercostal muscle of yaks from 5 producing areas

项目 Items	天峻 公牛	天峻 母牛	刚查 公牛	刚查 母牛	祁连 公牛	祁连 母牛	大通 公牛	大通 母牛	甘德 公牛	甘德 母牛	平均值 Mean
	<i>Tianjun</i> bull	<i>Tianjun</i> cow	<i>Gangcha</i> bull	<i>Gangcha</i> cow	<i>Qilian</i> bull	<i>Qilian</i> cow	<i>Datong</i> bull	<i>Datong</i> cow	<i>Gande</i> bull	<i>Gande</i> cow	
醛类 Aldehydes	695.46	717.10	746.42	607.48	523.28	350.21	515.77	572.74	680.57	735.28	614.43
酮类 Ketones	48.57	7.52	89.61	87.37	158.94	80.14	72.78	71.87	97.14	104.80	81.87
醇类 Alcohols	22.56	20.75	7.67	8.42	3.45	36.69	28.27	12.33	11.13	14.59	16.59
酸类 Acids	68.86	44.06	28.87	59.24	57.74	25.86	90.68	87.82	64.20	95.33	62.27
含氮杂环化合物 Heterocyclic compounds	89.17	28.12	76.08	53.22	76.39	12.93	124.95	98.03	91.87	112.77	76.35
含硫化合物 Sulfur compounds	36.23	208.41	57.13	190.80	76.39	222.09	165.40	58.19	73.97	64.50	115.31
烃类 Alkanes	125.41	4.51	59.54	59.54	50.23	93.52	64.95	62.25	41.05	42.10	60.31

2.3 牦牛肉中挥发性风味成分含量的检测结果

青海省不同产地牦牛背最长肌、股二头肌和肋间肌中挥发性风味成分含量检测结果分别见表 6、表 7 和表 8。

醛类是脂类氧化的产物^[17-18],是青海牦牛肉中挥发性风味成分的重要组成部分。这些醛类主要由己醛、庚醛、辛醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛、反-2-壬烯醛、苯甲醛、十六醛组成,其中含量较高的有壬醛、苯甲醛和十六醛。壬醛在背最长肌中含量最高的是天峻公牛(365.27 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。比较股二头肌中壬醛含量发现,最高的是刚查母牛(335.47 ng/

g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。肋间肌中壬醛含量最高的是刚查公牛(369.45 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。环湖牦牛(天峻和刚查牦牛)肋间肌中壬醛含量比其他 2 类肌肉有优势,可以作为区别其他产地牦牛的标志化合物。

背最长肌中苯甲醛含量最高的是甘德母牛(366.22 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。股二头肌中苯甲醛含量最高的也是甘德母牛(343.29 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。肋间肌中苯甲醛含量最高的是大通母牛(284.49 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。甘德母牛背最长肌和股二头肌中苯甲醛含

量均显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$),而且甘德母牛肋间肌中苯甲醛含量与大通母牛的差异不显著($P > 0.05$),表明苯甲醛可以作为甘德母牛的标志化合物,用于区别其他产地的牦牛。

背最长肌中十六醛含量最高的是祁连母牛(527.45 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。股二头肌中十六醛含量最高的是甘德公牛(347.65 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。肋间肌中十六醛含量最高也是甘德公牛(340.73 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。甘德公牛的十六醛含量在股二头肌和肋间肌中均最高,可以作为区别其他产地牦牛的标志化合物。

构成青海牦牛肉中挥发性风味成分的主体化合物除了醛类还有酮类,酮类的阈值比醛类要高,但它也是构成挥发性风味成分的主体之一^[19-20]。青海牦牛肉挥发性风味成分中的酮类主要有2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮、4-苯基-2-丁酮等。3-羟基-2-丁酮具有浓郁的奶香,让肉香味更丰富。背最长肌中3-羟基-2-丁酮含量最高的是祁连公牛(329.58 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。股二头肌中3-羟基-2-丁酮含量最高的是天峻母牛(175.48 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。肋间肌中3-羟基-2-丁酮含量最高的是祁连公牛(106.01 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。祁连公牛的3-羟基-2-丁酮在背最长肌和肋间肌中均显著高于其他产地牦牛,而且祁连公牛股二头肌中3-羟基-2-丁酮含量仅低于天峻母牛,表明3-羟基-2-丁酮可以作为祁连公牛的标志化合物,用于区别其他产地的牦牛。

醇类在构成青海牦牛肉挥发性风味成分中处于次要地位,主要是醇类的阈值较高^[21-22],在牦牛肉中1-辛烯-3-醇和正辛醇含量较高。1-辛烯-3-醇主要来源于脂肪氧化,在低含量下具有蘑菇香、泥土香气^[23]。正辛醇具有浓烈的花香^[24]。这2种醇类为牦牛肉增加了其他香味。背最长肌中1-辛烯-3-醇含量最高的是大通公牛(57.75 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。股二头肌中1-辛烯-3-醇含量最高的是刚查公牛(64.06 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。肋间肌中1-辛烯-3-醇含量最高的是甘德母牛(35.94 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。背最长肌中正辛醇含量最高的是天峻公牛(45.72 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。股二头肌中正辛

醇含量最高的是刚查母牛(47.06 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。肋间肌中正辛醇含量最高的是刚查公牛(56.39 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。

含氮杂环化合物和含硫化合物对肉中挥发性风味成分的贡献也很大^[18,25],尤其是含硫化合物,是形成牦牛肉风味不可或缺的成分。牦牛肉挥发性风味成分中含硫化合物主要有二甲基二硫醚、二甲基三硫醚、2-乙酰基-噻唑、3-噻吩-甲醛等。背最长肌中二甲基二硫醚含量最高的是天峻母牛(7.67 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。股二头肌中二甲基二硫醚含量最高的是甘德母牛(7.97 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。肋间肌中二甲基二硫醚含量最高的是天峻公牛(8.12 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。背最长肌中二甲基三硫醚含量最高的是天峻母牛(34.56 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。股二头肌中二甲基三硫醚含量最高的是甘德公牛(21.05 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。肋间肌中二甲基三硫醚含量最高的是祁连母牛(31.28 ng/g),显著高于其他产地牦牛($P < 0.05$)。天峻母牛背最长肌中二甲基二硫醚和二甲基三硫醚含量均很高,显著高于其他产地牦牛,表明天峻母牛背最长肌的肉香味更浓。

2.4 牦牛肉中挥发性风味成分的主成分分析

主成分分析中以方差大小来衡量变量的变异程度,以方差贡献率来反映其变异信息完整度。主成分分析作为一种常用的化学统计学方法广泛地用于食品代谢组学的数据分析之中^[15-16]。利用软件SPSS 19.0对30份牦牛肉样品的34种挥发性风味成分进行主成分分析,得到主成分的特征值和贡献率见表9,主成分旋转后的载荷矩阵见表10。

主成分确定一般根据因子的累计贡献率、特征值等因素来确定^[26-27]。由表9可知,前6个主成分的特征值分别为98.792、39.184、24.830、19.471、7.227、6.853,均大于1,贡献率分别为45.725%、18.136%、11.493%、9.012%、3.345%、3.172%,其累计贡献率达到90.88%。根据主成分分析一般提取主成分包含80%以上信息原理,前4个主成分包含了34种挥发性香味物质的绝大部分信息,因此取前4个主成分说明34种挥发性风味物质的变化趋势,根据贡献率的大小,依次定为第1、2、3、4主成分。

表 6 5 个产地牦牛背最长肌中挥发性风味成分含量检测结果

项目 Items	Detection results of volatile flavor component contents in <i>longissimus dorsi</i> muscle of yaks from 5 producing areas ($n=3$)										ng/g
	天峻公牛 Tianjun bull	天峻母牛 Tianjun cow	刚查公牛 Gangcha bull	刚查母牛 Gangcha cow	祁连公牛 Qilian bull	祁连母牛 Qilian cow	大通公牛 Datong bull	大通母牛 Datong cow	甘德公牛 Gande bull	甘德母牛 Gande cow	
2-丁酮 2-butanone	8.12 ± 2.11 ^c	20.45 ± 5.81 ^a	16.09 ± 3.59 ^b	5.72 ± 6.64 ^d	19.80 ± 4.51 ^c	4.66 ± 1.51 ^d	2.56 ± 0.66 ^c	—	1.65 ± 0.47 ^e	4.81 ± 1.23 ^d	
2-甲基-丁醛 2-methylbutanal	10.83 ± 2.05 ^c	20.76 ± 6.64 ^b	4.21 ± 6.64 ^d	2.71 ± 0.72 ^d	84.12 ± 12.75 ^a	7.07 ± 2.23 ^c	6.92 ± 1.96 ^c	—	3.01 ± 0.59 ^d	5.72 ± 1.64 ^d	
3-甲基-丁醛 3-methylbutanal	29.43 ± 5.91 ^b	50.38 ± 10.88 ^a	10.98 ± 2.94 ^d	7.37 ± 1.69 ^c	—	14.14 ± 3.24 ^c	14.94 ± 3.66 ^c	8.42 ± 1.96 ^d	8.87 ± 2.38 ^d	8.27 ± 2.26 ^d	
甲苯 Toluene	14.74 ± 3.18 ^d	42.21 ± 8.27 ^a	5.56 ± 1.26 ^f	11.43 ± 2.62 ^d	19.65 ± 4.62 ^c	10.98 ± 2.51 ^d	20.15 ± 4.76 ^c	6.77 ± 1.96 ^f	8.42 ± 1.95 ^f	28.28 ± 6.47 ^b	
2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	5.11 ± 1.30 ^c	18.95 ± 4.47 ^a	2.26 ± 0.65 ^e	2.26 ± 0.55 ^e	8.27 ± 1.91 ^b	4.96 ± 1.67 ^{cd}	4.66 ± 0.98 ^{cd}	2.86 ± 0.79 ^{de}	3.91 ± 1.10 ^d	2.71 ± 0.72 ^e	
二甲基二硫醚 Dimethyl disulfide	1.85 ± 0.41 ^c	7.67 ± 1.98 ^a	—	1.25 ± 0.37 ^a	—	3.01 ± 1.08 ^b	—	—	—	3.31 ± 0.86 ^b	
己醛 Hexanal	58.20 ± 14.26 ^b	53.09 ± 13.32 ^c	18.35 ± 4.88 ^d	65.57 ± 18.36 ^b	76.40 ± 17.19 ^a	9.48 ± 1.89 ^{de}	83.72 ± 15.65 ^a	13.23 ± 2.75 ^{de}	8.02 ± 2.09 ^e	15.49 ± 3.83 ^{de}	
乙基苯 Ethylbenzene	2.96 ± 0.76 ^b	—	2.26 ± 0.63 ^c	1.96 ± 0.63 ^{cd}	2.56 ± 0.63 ^c	1.25 ± 0.24 ^d	5.56 ± 1.61 ^a	1.50 ± 0.42 ^d	1.10 ± 0.33 ^d	2.11 ± 0.52 ^e	
1,3-二甲苯 1,3-dimethylbenzene	3.46 ± 0.99 ^c	—	4.96 ± 1.26 ^b	4.36 ± 1.22 ^b	3.01 ± 0.66 ^c	1.60 ± 0.35 ^d	6.77 ± 1.63 ^a	2.10 ± 0.53 ^d	1.50 ± 0.39 ^d	4.36 ± 1.18 ^b	
对二甲苯 <i>p</i> -xylene	9.93 ± 2.24 ^b	1.10 ± 0.32 ^e	6.77 ± 1.65 ^d	6.32 ± 1.82 ^d	8.27 ± 1.89 ^c	2.86 ± 0.56 ^f	11.73 ± 2.58 ^c	3.61 ± 0.89 ^{df}	2.86 ± 0.82 ^f	4.36 ± 1.02 ^e	
吡啶 Pyridine	9.22 ± 2.95 ^a	5.92 ± 1.75 ^b	5.41 ± 1.16 ^b	5.72 ± 1.25 ^b	—	—	2.86 ± 0.65 ^d	1.25 ± 0.29 ^e	2.56 ± 0.72 ^d	4.51 ± 1.15 ^c	
2-戊基-呋喃 2-pentylfuran	8.17 ± 2.37 ^e	38.50 ± 6.24 ^b	23.76 ± 5.30 ^d	48.28 ± 11.05 ^{ad}	6.92 ± 1.46 ^c	28.17 ± 4.68 ^c	16.84 ± 3.67 ^d	6.31 ± 1.78 ^c	5.72 ± 1.45 ^{de}	11.58 ± 2.56 ^{cd}	
辛醛 Octanal	100.27 ± 17.84 ^a	25.42 ± 5.32 ^c	32.94 ± 7.54 ^d	39.86 ± 9.13 ^c	—	20.15 ± 3.79 ^f	46.77 ± 9.31 ^b	8.27 ± 2.17 ^g	10.23 ± 2.52 ^g	12.93 ± 2.64 ^g	
3-羟基-2-丁酮 3-hydroxy-2-butanone	—	11.13 ± 3.19 ^{de}	62.47 ± 14.74 ^{bc}	45.57 ± 10.16 ^c	329.58 ± 55.37 ^a	4.81 ± 0.97 ^e	67.53 ± 13.45 ^b	18.04 ± 3.96 ^d	3.16 ± 0.85 ^e	16.04 ± 4.29 ^{de}	
二甲基三硫醚 Dimethyl trisulfide	—	34.59 ± 7.92 ^a	6.37 ± 1.49 ^c	—	—	10.23 ± 2.75 ^b	2.41 ± 0.63 ^d	—	6.27 ± 1.78 ^c	6.77 ± 1.26 ^c	

续表 6

项目 Items	天峻公牛 Tianjun bull	天峻母牛 Tianjun cow	刚查公牛 Gangcha bull	刚查母牛 Gangcha cow	祁连公牛 Qilian bull	祁连母牛 Qilian cow	大通公牛 Datong bull	大通母牛 Datong cow	甘德公牛 Gande bull	甘德母牛 Gande cow
壬醛 Nonanal	365.27 ± 53.33 ^a	69.33 ± 14.14 ^d	137.06 ± 26.86 ^b	142.78 ± 29.93 ^b	109.14 ± 20.52 ^c	108.39 ± 13.22 ^c	112.35 ± 15.83 ^c	41.29 ± 8.67 ^e	60.91 ± 12.79 ^d	69.74 ± 7.88 ^d
反-2-辛烯醛 (<i>E</i>)-2-octenal	—	12.78 ± 2.81 ^b	3.16 ± 1.04 ^d	2.41 ± 0.50 ^d	2.86 ± 0.75 ^d	—	9.17 ± 2.35 ^c	—	61.06 ± 10.32 ^a	4.96 ± 1.33 ^d
1-辛烯-3-醇 1-octene-3-ol	28.12 ± 6.36 ^c	23.16 ± 5.72 ^a	9.78 ± 2.74 ^e	45.12 ± 13.08 ^b	25.27 ± 5.71 ^{cd}	11.58 ± 2.99 ^e	57.75 ± 9.02 ^a	13.38 ± 2.74 ^e	—	13.08 ± 2.49 ^e
乙酸 Acetic acid	10.58 ± 3.06 ^f	10.63 ± 2.53 ^f	60.01 ± 14.88 ^b	20.15 ± 4.57 ^e	23.91 ± 5.69 ^b	33.39 ± 5.94 ^d	35.49 ± 7.87 ^d	68.85 ± 15.83 ^a	—	44.92 ± 10.33 ^c
苯甲醛 Benzaldehyde	247.21 ± 46.48 ^b	272.37 ± 50.93 ^b	180.93 ± 46.49 ^{cd}	193.72 ± 38.91 ^c	195.42 ± 39.28 ^c	151.80 ± 25.65 ^d	144.08 ± 15.86 ^d	209.76 ± 23.07 ^c	186.95 ± 25.29 ^{cd}	366.22 ± 43.22 ^a
反-2-壬烯醛 (<i>E</i>)-2-nonenal	6.77 ± 1.79 ^f	9.48 ± 2.72 ^d	33.69 ± 8.35 ^a	14.29 ± 2.72 ^c	14.29 ± 3.11 ^e	9.78 ± 2.82 ^d	23.16 ± 5.46 ^b	—	11.73 ± 2.83 ^{cd}	5.87 ± 1.63 ^e
正辛醇 Octanol	45.72 ± 10.51 ^a	11.83 ± 2.99 ^e	18.35 ± 4.32 ^c	22.91 ± 6.57 ^b	16.09 ± 3.96 ^d	8.87 ± 2.33 ^f	—	6.46 ± 1.48 ^g	8.87 ± 2.37 ^f	4.06 ± 0.96 ^b
丁酸 Butyric acid	—	6.47 ± 1.29 ^d	3.16 ± 1.01 ^d	17.75 ± 3.63 ^b	—	5.11 ± 1.27 ^d	62.87 ± 9.99 ^a	15.79 ± 3.73 ^b	8.27 ± 1.73 ^{cd}	11.13 ± 2.31 ^e
2-乙酰噻唑 2-acetylthiazole	—	—	8.87 ± 2.29 ^c	18.95 ± 3.84 ^a	—	—	10.38 ± 2.59 ^b	—	—	9.02 ± 2.28 ^c
3-噻吩甲醛 3-formylthiophene	—	—	11.13 ± 2.56 ^a	—	—	7.52 ± 2.02 ^b	—	8.27 ± 2.19 ^b	—	—
2-十一碳烯醛 2-undecenal	—	6.47 ± 1.93 ^d	28.88 ± 6.50 ^b	—	5.41 ± 1.18 ^c	6.92 ± 1.93 ^c	49.48 ± 10.24 ^a	—	5.51 ± 1.26 ^c	6.32 ± 1.71 ^c
己酸 Hexanoic acid	—	12.03 ± 2.39 ^c	10.83 ± 2.48 ^c	—	81.22 ± 23.31 ^a	9.17 ± 1.97 ^{cd}	25.72 ± 6.02 ^b	8.42 ± 2.31 ^{cd}	7.07 ± 1.91 ^d	4.36 ± 0.96 ^d
1H-吡咯-2-基-乙酮 1-(<i>H</i> -pyrol-2-yl)-ethanone	5.01 ± 1.40 ^e	51.04 ± 14.58 ^b	—	—	26.67 ± 5.76 ^d	90.39 ± 16.63 ^a	40.91 ± 8.02 ^c	—	36.40 ± 7.08 ^c	13.39 ± 2.92 ^e
辛酸 Octoic acid	—	9.17 ± 2.61 ^e	6.92 ± 1.94 ^d	—	33.59 ± 6.98 ^a	7.37 ± 1.66 ^{cd}	11.88 ± 3.19 ^b	12.53 ± 3.02 ^b	6.47 ± 1.28 ^d	5.26 ± 1.32 ^d
十六醛 Hexadecanal	90.59 ± 22.65 ^e	291.78 ± 80.53 ^b	20.00 ± 4.84 ^f	233.12 ± 36.39 ^c	—	527.45 ± 59.07 ^a	140.77 ± 16.89 ^d	6.61 ± 1.78 ^f	264.55 ± 29.11 ^{bc}	226.95 ± 27.23 ^c

续表 6

项目 Items	天峻公牛 Tianjun bull	天峻母牛 Tianjun cow	刚查公牛 Gangcha bull	刚查母牛 Gangcha cow	祁连公牛 Qilian bull	祁连母牛 Qilian cow	大通公牛 Datong bull	大通母牛 Datong cow	甘德公牛 Gande bull	甘德母牛 Gande cow
壬酸	—	2.86 ±0.92 ^e	4.66 ±1.49 ^c	—	2.26 ±0.49 ^e	5.87 ±1.51 ^b	4.21 ±1.18 ^c	7.02 ±1.96 ^a	3.46 ±1.02 ^d	—
癸酸	29.13 ±6.67 ^c	18.00 ±4.23 ^c	44.52 ±10.19 ^a	—	6.02 ±1.23 ^f	24.16 ±6.89 ^d	27.27 ±7.09 ^{cd}	39.54 ±10.12 ^b	20.00 ±4.56 ^c	9.63 ±2.76 ^f
2,4-二叔丁基苯酚	44.17 ±13.16 ^c	30.08 ±7.76 ^e	24.82 ±6.22 ^d	26.17 ±5.84 ^{ef}	16.26 ±4.52 ^f	15.64 ±3.89 ^f	30.38 ±6.68 ^e	127.79 ±15.82 ^b	186.80 ±22.28 ^a	46.02 ±9.12 ^e
2,4-ditert-butylphenol	9.98 ±2.63 ^{de}	20.65 ±5.53 ^{cd}	5.26 ±1.73 ^c	12.28 ±2.76 ^d	—	72.49 ±12.25 ^a	15.34 ±3.07 ^d	2.41 ±0.54 ^c	42.11 ±11.08 ^b	23.21 ±4.64 ^c

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。表 7 和表 8 同。

Values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same as Table 7 and Table 8.

表 7 5 个产地牦牛股二头肌中挥发性风味成分含量检测结果

项目 Items	天峻公牛 Tianjun bull	天峻母牛 Tianjun cow	刚查公牛 Gangcha bull	刚查母牛 Gangcha cow	祁连公牛 Qilian bull	祁连母牛 Qilian cow	大通公牛 Datong bull	大通母牛 Datong cow	甘德公牛 Gande bull	甘德母牛 Gande cow
2-丁酮	10.68 ±1.08 ^c	5.41 ±0.55 ^e	11.43 ±2.08 ^{bc}	4.96 ±0.64 ^e	12.63 ±2.02 ^b	16.24 ±2.96 ^a	4.51 ±0.74 ^e	8.27 ±1.92 ^d	3.76 ±0.63 ^e	—
2-butanone	14.13 ±1.51 ^b	3.46 ±0.73 ^c	9.02 ±1.07 ^c	—	5.56 ±0.94 ^d	17.59 ±2.62 ^a	3.46 ±0.63 ^c	6.62 ±1.22 ^d	13.38 ±2.26 ^b	—
2-甲基-丁醛	47.82 ±5.38 ^c	15.19 ±2.85 ^e	21.65 ±3.36 ^d	4.96 ±0.84 ^e	9.77 ±1.58 ^e	75.03 ±11.18 ^b	8.12 ±1.43 ^e	9.47 ±1.28 ^e	29.32 ±4.78 ^d	90.97 ±11.09 ^a
2-methylbutanal	16.99 ±2.48 ^{bc}	19.70 ±3.68 ^b	14.13 ±1.74 ^c	24.36 ±0.21 ^a	10.68 ±2.38 ^d	20.00 ±3.36 ^b	7.82 ±1.27 ^d	6.62 ±1.05 ^e	10.22 ±1.69 ^d	18.19 ±3.14 ^b
3-甲基-丁醛	14.44 ±1.71 ^a	5.41 ±1.05 ^c	2.56 ±0.42 ^d	—	1.95 ±0.39 ^d	12.48 ±1.58 ^b	1.50 ±0.26 ^d	1.05 ±0.21 ^d	3.91 ±0.73 ^{cd}	15.19 ±1.12 ^a
3-methylbutanal	3.31 ±0.53 ^b	—	—	—	2.86 ±0.52 ^c	1.80 ±0.41 ^d	—	—	—	7.97 ±1.29 ^a
甲苯	80.30 ±12.64 ^b	97.89 ±14.98 ^a	54.58 ±9.39 ^b	33.08 ±6.29 ^c	23.01 ±3.18 ^c	67.51 ±10.45 ^b	32.03 ±5.28 ^c	25.71 ±4.20 ^c	34.58 ±5.30 ^c	93.83 ±12.75 ^a
Toluene	2,3-戊二酮	2,3-pentanedione	二甲基-二硫化	Dimethyl disulfide	己醛	Hexanal				

Table 7 Detection results of volatile flavor component contents in biceps femoris muscle of yaks from 5 producing areas ($n = 3$)

续表 7

项目 Items	天峻公牛 Tianjun bull	天峻母牛 Tianjun cow	刚查公牛 Gangcha bull	刚查母牛 Gangcha cow	祁连公牛 Qilian bull	祁连母牛 Qilian cow	大通公牛 Datong bull	大通母牛 Datong cow	甘德公牛 Gande bull	甘德母牛 Gande cow
丁酸	13.68 ± 3.11 ^{bc}	35.94 ± 5.36 ^a	11.28 ± 2.08 ^{cd}	—	17.74 ± 3.14 ^b	12.33 ± 2.08 ^c	—	7.37 ± 1.66 ^d	8.72 ± 1.37 ^{cd}	35.64 ± 5.28 ^a
2-乙酰噻唑	—	11.28 ± 2.11 ^b	9.77 ± 1.97 ^b	11.43 ± 2.10 ^b	8.42 ± 1.57 ^c	—	11.28 ± 2.09 ^b	—	18.34 ± 3.16 ^a	—
3-噻吩甲醛	4.06 ± 0.83 ^c	—	13.98 ± 2.10 ^a	—	6.32 ± 0.85 ^b	5.11 ± 1.03 ^c	—	2.71 ± 0.52 ^d	4.06 ± 0.73 ^c	—
2-十一碳烯醛	—	14.44 ± 2.14 ^b	34.58 ± 5.25 ^a	8.57 ± 1.17 ^c	13.68 ± 2.11 ^b	7.67 ± 1.35 ^c	13.68 ± 1.82 ^b	—	6.77 ± 1.36 ^c	—
己酸	—	43.31 ± 5.43 ^a	10.53 ± 2.08 ^{de}	20.45 ± 3.18 ^c	22.40 ± 2.98 ^c	27.07 ± 4.18 ^{bc}	12.63 ± 1.81 ^d	—	5.71 ± 1.05 ^c	29.77 ± 4.24 ^b
1H-吡咯-2-基-乙酮 1-(H-pyrrol-2-yl)-ethanone	25.41 ± 3.20 ^c	17.74 ± 3.18 ^d	44.51 ± 6.32 ^b	10.53 ± 2.09 ^e	—	—	25.11 ± 3.22 ^c	1.20 ± 0.21 ^f	41.20 ± 5.35 ^b	40.00 ± 4.32 ^b
辛酸	—	13.08 ± 1.63 ^c	2.71 ± 0.52 ^d	18.50 ± 1.16 ^b	42.10 ± 5.34 ^a	14.44 ± 3.09 ^c	19.25 ± 3.57 ^b	3.46 ± 0.63 ^d	5.26 ± 0.94 ^d	11.58 ± 2.09 ^c
十六醛	199.99 ± 16.60 ^e	97.74 ± 8.97 ^{cd}	104.81 ± 10.80 ^e	121.95 ± 11.10	150.37 ± 19.20 ^d	65.11 ± 8.43 ^f	275.62 ± 29.40 ^b	77.89 ± 9.02 ^g	347.65 ± 31.30 ^a	197.28 ± 16.60 ^c
壬酸	3.61 ± 0.73 ^b	—	2.11 ± 0.51 ^d	—	3.01 ± 0.42 ^c	—	—	1.65 ± 0.36 ^d	4.51 ± 0.84 ^a	—
癸酸	21.50 ± 3.47 ^c	12.63 ± 2.13 ^d	2.71 ± 4.02 ^e	33.83 ± 5.29 ^a	26.31 ± 4.81 ^b	8.72 ± 1.86 ^d	32.48 ± 4.78 ^a	3.16 ± 4.02 ^e	18.19 ± 3.16 ^c	21.20 ± 3.17 ^c
2,4-二叔丁基苯酚	26.01 ± 4.21 ^d	16.84 ± 3.16 ^c	7.67 ± 1.66 ^f	11.58 ± 2.10 ^{cd}	62.40 ± 1.49 ^b	7.67 ± 1.55 ^f	83.75 ± 8.72 ^a	2.86 ± 1.92 ^f	—	34.89 ± 6.28 ^c
十八醛	—	10.07 ± 2.10 ^d	9.32 ± 1.97 ^d	—	18.34 ± 3.15 ^c	6.32 ± 1.04 ^d	60.15 ± 9.52 ^b	2.71 ± 0.72 ^e	79.24 ± 11.68 ^a	18.80 ± 2.15 ^c

表 8 5 个产地牦牛肋间肌中挥发性风味成分含量检测结果

项目 Items	Table 8 Detection results of volatile flavor component contents in intercostal muscle of yaks from 5 producing areas (n=3)										ng/g
	天峻公牛 <i>Tianjun bull</i>	天峻母牛 <i>Tianjun cow</i>	刚查公牛 <i>Gangcha bull</i>	刚查母牛 <i>Gangcha cow</i>	祁连公牛 <i>Qilian bull</i>	祁连母牛 <i>Qilian cow</i>	大通公牛 <i>Datong bull</i>	大通母牛 <i>Datong cow</i>	甘德公牛 <i>Gande bull</i>	甘德母牛 <i>Gande cow</i>	
2-丁酮 2-butanone	11.43 ± 2.09 ^a	7.52 ± 1.55 ^b	4.81 ± 0.84 ^c	10.98 ± 1.89 ^a	12.33 ± 2.10 ^a	5.71 ± 1.04 ^c	—	3.01 ± 0.53 ^d	5.86 ± 1.05 ^c	—	
2-甲基-丁醛 2-methylbutanal	25.26 ± 4.20 ^a	7.22 ± 1.55 ^d	11.13 ± 2.09 ^c	17.74 ± 2.65 ^b	17.14 ± 3.14 ^b	3.46 ± 0.72 ^e	—	11.13 ± 2.12 ^c	7.37 ± 1.56 ^d	—	
3-甲基-丁醛 3-methylbutanal	76.54 ± 12.61 ^a	19.70 ± 3.14 ^e	29.77 ± 4.24 ^d	43.76 ± 6.38 ^c	61.20 ± 9.49 ^b	8.72 ± 1.06 ^f	—	15.19 ± 2.16 ^{ed}	16.99 ± 2.53 ^d	55.94 ± 9.41 ^b	
甲苯 Toluene	24.96 ± 3.20 ^c	22.71 ± 4.07 ^{ed}	15.94 ± 3.13 ^{de}	31.43 ± 5.27 ^b	37.29 ± 6.30 ^a	19.40 ± 3.13 ^d	7.22 ± 1.07 ^f	13.38 ± 2.14 ^e	9.47 ± 1.67 ^{ed}	23.76 ± 4.17 ^{ed}	
2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	6.01 ± 1.05 ^c	—	8.57 ± 1.27 ^b	9.92 ± 2.08 ^b	8.87 ± 1.57 ^b	2.41 ± 0.52 ^e	2.86 ± 0.43 ^c	5.71 ± 1.06 ^c	3.01 ± 0.62 ^c	17.44 ± 2.13 ^a	
二甲基二硫醚 Dimethyl disulfide	8.12 ± 1.26 ^a	—	1.50 ± 0.35 ^b	1.80 ± 0.32 ^b	1.80 ± 0.29 ^b	1.50 ± 0.25 ^b	2.11 ± 0.42 ^b	7.67 ± 1.38 ^a	1.95 ± 0.52 ^b	—	
己醛 Hexanal	81.05 ± 9.65 ^b	23.76 ± 3.17 ^d	43.61 ± 4.35 ^{ed}	97.74 ± 10.84 ^a	52.48 ± 6.42 ^c	29.32 ± 4.19 ^d	18.95 ± 3.19 ^e	—	32.78 ± 5.26 ^d	95.93 ± 9.70 ^a	
乙基苯 Ethylbenzene	1.80 ± 0.31 ^c	2.71 ± 0.62 ^b	1.2 ± 0.26 ^d	4.51 ± 0.98 ^a	1.80 ± 0.41 ^c	1.35 ± 0.35 ^{ed}	0.90 ± 0.23 ^d	2.26 ± 0.56 ^{bc}	1.80 ± 0.38 ^c	4.96 ± 0.84 ^a	
1,3-二甲基苯 1,3-dimethylbenzene	1.8 ± 0.41 ^d	4.51 ± 0.93 ^b	2.11 ± 0.42 ^d	5.41 ± 1.05 ^a	2.71 ± 0.62 ^{ed}	1.80 ± 0.34 ^d	2.26 ± 0.51 ^d	3.31 ± 0.73 ^c	2.86 ± 0.62 ^{ed}	—	
对二甲苯 <i>p</i> -xylene	1.35 ± 0.31 ^c	9.02 ± 1.27 ^a	3.76 ± 0.73 ^d	4.51 ± 0.94 ^{ed}	4.81 ± 0.92 ^c	3.31 ± 0.62 ^d	3.46 ± 0.73 ^d	6.32 ± 1.07 ^b	3.76 ± 0.73 ^d	—	
吡啶 Pyridine	94.28 ± 11.75 ^a	—	8.57 ± 1.37 ^b	9.77 ± 1.88 ^b	—	1.80 ± 0.25 ^c	—	5.86 ± 0.96 ^b	1.80 ± 0.41 ^c	—	
2-戊基-咪喃 2-pentylfuran	1.95 ± 0.41 ^f	—	23.61 ± 4.19 ^b	10.98 ± 2.09 ^d	6.32 ± 1.05 ^e	2.86 ± 0.62 ^f	28.42 ± 4.28 ^a	17.89 ± 3.19 ^c	—	12.63 ± 1.79 ^d	
辛醛 Octanal	12.33 ± 1.70 ^d	39.70 ± 7.29 ^b	107.81 ± 11.86 ^a	20.75 ± 3.18 ^c	—	26.92 ± 3.69 ^c	—	10.07 ± 1.81 ^d	22.25 ± 3.18 ^c	—	
3-羟基-2-丁酮 3-hydroxy-2-butanone	—	—	25.26 ± 4.20 ^d	39.10 ± 6.34 ^c	106.01 ± 10.85 ^a	5.26 ± 1.03 ^e	10.83 ± 1.67 ^e	18.34 ± 3.19 ^{de}	49.02 ± 7.39 ^b	45.26 ± 8.33 ^{bc}	

续表 8

项目 Items	天峻公牛 <i>Tianjun bull</i>	天峻母牛 <i>Tianjun cow</i>	刚查公牛 <i>Gangcha bull</i>	刚查母牛 <i>Gangcha cow</i>	祁连公牛 <i>Qilian bull</i>	祁连母牛 <i>Qilian cow</i>	大通公牛 <i>Datong bull</i>	大通母牛 <i>Datong cow</i>	甘德公牛 <i>Gande bull</i>	甘德母牛 <i>Gande cow</i>
辛酸	—	—	—	13.23 ± 2.11 ^e	19.85 ± 2.86 ^b	25.71 ± 4.17 ^a	24.21 ± 3.91 ^a	6.32 ± 1.09 ^d	16.24 ± 2.63 ^c	22.86 ± 3.86 ^{ab}
十六醛	76.69 ± 12.62 ^d	312.16 ± 32.28 ^a	—	13.83 ± 2.12 ^e	45.71 ± 6.36 ^{de}	52.18 ± 7.38 ^d	200.74 ± 22.64 ^b	144.50 ± 13.54 ^c	340.73 ± 32.72 ^a	227.35 ± 25.66 ^b
壬酸	4.96 ± 1.09 ^b	10.68 ± 1.88 ^b	9.62 ± 1.78 ^b	123.30 ± 18.07 ^a	4.06 ± 0.83 ^b	3.31 ± 0.72 ^b	9.02 ± 1.89 ^b	—	4.81 ± 0.97 ^b	—
癸酸	13.98 ± 2.11 ^{de}	155.03 ± 16.13 ^a	9.77 ± 1.68 ^c	3.91 ± 0.73 ^c	15.19 ± 2.52 ^{de}	140.74 ± 15.94 ^b	50.52 ± 7.52 ^c	—	26.01 ± 4.28 ^d	5.26 ± 1.04 ^c
2,4-二叔丁基苯酚	38.95 ± 4.31 ^c	5.11 ± 0.84 ^d	5.86 ± 0.75 ^d	13.38 ± 2.15 ^d	11.13 ± 2.09 ^d	—	76.84 ± 8.77 ^a	62.55 ± 7.66 ^b	46.31 ± 6.37 ^c	66.61 ± 9.49 ^b
十八醛	3.91 ± 0.73 ^d	29.77 ± 5.22 ^{bc}	—	28.87 ± 4.25 ^c	3.91 ± 0.73 ^d	4.81 ± 0.63 ^d	35.79 ± 4.36 ^b	27.37 ± 4.29 ^c	59.70 ± 7.48 ^a	25.56 ± 4.19 ^c

表 9 主成分的特征值及其贡献率

Table 9 Eigenvalue and contribution of principal components

主成分 Principal components	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution/%	累计贡献率 Accumulative contribution/%
1	98.792	45.725	45.725
2	39.184	18.136	63.860
3	24.830	11.493	75.353
4	19.471	9.012	84.365
5	7.227	3.345	87.710
6	6.853	3.172	90.881

由表 10 可知,第 1 主成分反映的指标主要有十六醛、十八醛;第 2 主成分反映的指标主要有壬醛、正辛醇;第 3 主成分反映的指标主要有苯甲醛、2,3-戊二酮;第 4 主成分反映的指标主要有 3-羟基-2-丁酮、己酸。4 个主成分反映的 8 种化合物为青海省 5 个产地牦牛肉中关键挥发性风味成分。上述 8 种化合物中,有 4 种醛类,分别是十六

醛、十八醛、壬醛、苯甲醛,其他 4 种化合物分别为 1 种醇类(正辛醇)、2 种酮类(2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮)和 1 种酸类(己酸)。其中壬醛、苯甲醛和十六醛也是牦牛肉挥发性风味成分中含量较高的 3 种醛类。2 种酮类均有浓郁的奶香味,也是牦牛肉挥发性风味成分中的重要组成部分。

表 10 主成分旋转后的载荷矩阵结果

Table 10 Load matrix results after principal component rotation

编号 Number	主成分 Principal components			
	1	2	3	4
X30	-0.992	0.008	0.080	-0.053
X34	-0.805	0.021	0.043	-0.021
X28	-0.323	0.124	0.067	-0.089
X31	0.305	-0.204	0.159	-0.225
X24	0.281	0.228	0.101	-0.026
X8	0.215	-0.154	0.053	0.199
X16	0.091	-0.953	-0.017	-0.143
X22	0.308	-0.743	0.017	-0.151
X13	0.048	-0.666	-0.123	-0.249
X15	0.028	0.411	-0.106	-0.240
X10	0.079	-0.368	-0.027	0.316
X20	-0.133	-0.111	1.010	0.050
X25	-0.226	0.001	-0.438	-0.104
X4	0.141	-0.039	0.434	-0.014
X21	0.208	-0.144	-0.274	0.205
X26	0.059	-0.109	-0.248	0.098
X14	0.046	0.014	0.064	0.989
X27	0.033	0.027	0.016	0.834
X2	0.094	-0.026	-0.012	0.616
X29	0.095	0.203	0.034	0.608
X18	-0.204	-0.118	-0.045	0.360
X1	0.204	-0.034	-0.161	0.318
X6	-0.032	-0.026	0.183	-0.290

续表 10

编号 Number	主成分 Principal components			
	1	2	3	4
X33	-0.142	-0.021	0.139	-0.076
X17	0.037	0.180	-0.113	-0.135
X32	-0.058	0.189	-0.252	-0.137
X7	0.189	0.001	0.236	0.272
X19	-0.024	0.050	0.214	0.227
X3	0.053	0.015	0.342	-0.170
X5	0.002	0.055	0.464	0.020
X12	-0.132	0.013	-0.161	-0.076
X23	-0.034	0.184	0.060	0.228
X11	0.153	-0.342	-0.183	-0.081
X9	0.028	-0.047	-0.006	0.020

将第 1 和 2 主成分分别作为 X 轴与 Y 轴,在二维坐标系内得到主成分因子得分图,即样品分布图,如图 2 所示。从图中可以看出,代表 5 个产地、2 种性别、3 个取样部位的 30 种牦牛肉样品被分为独立的 3 类,在图中从左至右依次命名为 I 类、II 类、III 类,其中 I 类包括 8 份样品,II 类包括 9 份样品,III 类包括 13 份样品。图中样品分布比较分散,在一定程度上反映了 30 份牦牛肉样品中挥发性风味成分存在差异。

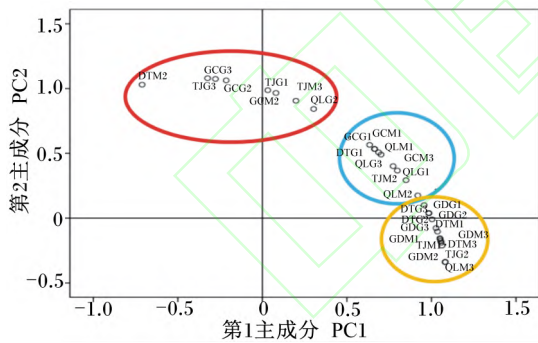


图 2 样品在第 1、2 主成分上的分布

Fig.2 Distribution of the samples at PC1 and PC2

3 讨论

3.1 牦牛背最长肌中挥发性风味成分分析

通过分析青海省 5 个产地的牦牛背最长肌中挥发性风味成分组成和含量可知,在 7 类化合物中醛类含量最高,其中含量最高的祁连母牛达到了 935.19 ng/g,含量最低的大通母牛也有 298.26 ng/g,高于文献报道的牛肉挥发性风味成

分中醛类的含量^[28-31]。背最长肌中酮类含量最高的是祁连公牛,达到 384.32 ng/g,最低的是大通母牛。牦牛背最长肌挥发性风味成分中酮类、醇类、酸类和烃类含量的平均值均高于股二头肌和肋间肌。牦牛背最长肌中醛类、酮类、醇类等含量较高可能是其风味独特的原因之一。

3.2 牦牛股二头肌中挥发性风味成分分析

股二头肌的醛类含量在 7 类化合物中也是最高的,5 个产地牦牛的股二头肌中醛类含量最高的是祁连母牛,测得值是 831.08 ng/g,最低的是大通母牛,测得值是 281.49 ng/g。股二头肌中酮类含量最高的是天峻母牛,测得值是 204.04 ng/g,最低的是大通母牛,测得值是 10.52 ng/g。牦牛股二头肌中醛类含量的平均值略高于背最长肌,是 3 类肌肉中含量最高的。也许正是因为股二头肌中 7 类挥发性风味成分的含量不同,构成了其独有的味道。

3.3 肋间肌中香气成分分析

在构成肋间肌中挥发性风味成分的 7 类化合物中,含量最高的也是醛类。5 个产地牦牛肋间肌中醛类含量最高的是刚查公牛,测得值是 746.42 ng/g,最低是祁连母牛,测得值是 350.21 ng/g。牦牛肋间肌中醛类含量的平均值低于背最长肌和股二头肌。酮类含量最高的是祁连公牛,测得值是 158.94 ng/g,最低的是天峻母牛,测得值是 7.52 ng/g。牦牛肋间肌中含氮杂环化合物和含硫化合物含量高于背最长肌和股二头肌。肋间肌的含硫化合物含量的平均值在 3 类肌肉中最高,且其含硫化合物含量是其他 2 类肌肉的近

10倍,表明肋间肌的肉香味更浓郁,更能体现牦牛的风味,这也是消费者更青睐肋间肌的原因。

3.4 牦牛肉中挥发性风味成分与品种、生存地海拔和草地类型的关系

从3类牦牛肉的产地分析,I类的8份样品有3份来自天峻,3份来自刚查,1份来自大通,1份来自祁连。II类的9份样品有3份来自刚查,4份来自祁连,来自大通和天峻的样品各有1份。III类的13份样品有6份来自甘德,4份来自大通,2份来自天峻,1份来自地祁连。从牦牛肉样品产地的分类来看,I类样品主要来自天峻和刚查,II类样品主要来自刚查和祁连,III类样品主要来自大通和甘德。天峻牦牛和刚查牦牛代表了环湖牦牛,刚查牦牛和祁连牦牛肉中香气成分接近,表明从血缘上这2个地区的牦牛很近。甘德牦牛和大通牦牛肉中风味成分接近,考察5个牦牛产地的生境发现甘德牦牛和大通牦牛的草场类型都是高寒草甸类的高寒灌丛草甸亚类,而其他3个产地的草场类型是高寒草甸类的高寒草甸亚类,这说明牦牛肉中挥发性风味成分不但与基因有关,同时生境也是一个重要影响因素。

牦牛肉的风味成分不但与牦牛的品种有关,也与其生存的环境息息相关。本试验所选的青海省5个地区的牦牛,从品种上可分为大通牦牛和环湖牦牛。环湖的天峻牦牛、刚查牦牛、祁连牦牛从基因上很相近,而且生境(草地类型)上也有很大的相似性。虽然生存地海拔高度有较大的差异,但是主成分分析的结果表明3个不同产地的牦牛肉中挥发性风味成分归为一类。

甘德牦牛和大通牦牛虽然产地相距远,生存地海拔高度不同,但是具有相同的生境(草地类型)。2个地区的高寒灌丛草甸优势种都是由金露梅和嵩草组成^[32-33]。食物来源的相似对牦牛肉中挥发性风味成分的组成可能有更大的影响。在牦牛肉挥发性风味成分中占较大比重的是醛类物质。甘德牦牛和大通牦牛公牛肌肉挥发性风味成分中的苯甲醛和十六醛的含量就显著高于其他3个地区的公牛。

本研究中,对于牦牛肉中挥发性风味成分与海拔的关系没有找到明显的规律。这既可能与采样数据量较少有关,也可能与挥发性风味成分前体物质含量受海拔的影响较小有关。分析牦牛的生境(草地类型)和挥发性风味成分的关系,发现

牦牛肉中挥发性风味成分与生境有关联。这可能是由于食物来源对牦牛肉风味前体物质含量的影响较大。

4 结 论

① 采用HS-SPME-GC-MS技术结合主成分分析,本试验系统地对青海省5种地方牦牛类型大通牦牛、甘德牦牛、祁连牦牛、天峻牦牛和刚查牦牛肉中挥发性风味成分进行了分析,鉴定出34种代表性化合物,对风味成分贡献较大的有醛类、酮类、醇类、酸类、烃类、含氮杂环化合物和含硫化合物,其中醛类占的比重最高,其次是酮类、烃类和酸类。牦牛肉的挥发性风味成分中,醛类主要有己醛、庚醛、辛醛、壬醛、2-辛烯醛、癸醛、2-壬烯醛、苯甲醛、2-癸烯醛、十六醛组成,其中含量较高的是壬醛、苯甲醛和十六醛;酮类主要有2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮、4-苯基-2-丁酮等;醇类中1-辛烯-3-醇和正辛醇的含量较高;含硫化合物主要有二甲基二硫醚、二甲基三硫醚、2-乙酰基-噻唑、3-噻吩-1-甲醛等。

② 对青海省5个产地的30份牦牛肉样品中34种挥发性风味成分进行主成分分析,确定了8种化合物(十六醛、十八醛、壬醛、苯甲醛、正辛醇、2,3-戊二醇、3-羟基-2-丁酮、己酸)是青海省牦牛肉中关键的挥发性风味成分。对牦牛肉产地的主成分分析结果表明,30份样品可以很好地划分为3类,此分类结果说明3类牦牛肉中挥发性风味成分存在差异。I类样品主要来自天峻和刚查,II类样品主要来自刚查和祁连,III类样品主要来自大通和甘德。

参考文献:

- [1] 田甲春,余群力,保善科,等.不同地方类群牦牛肉营养成分分析[J].营养学报,2011,33(5):531-533.
- [2] 张群英,郝力壮,刘书杰,等.河南县和刚察县生长期牦牛肉营养成分分析[J].食品研究与开发,2018,39(6):1-6.
- [3] 孙鹏飞,刘书杰,崔占鸿.牦牛肉产量及其品质特性研究进展[J].食品研究与开发,2015,36(17):169-175.
- [4] 牛璿,张丽,孙宝忠,等.青海高原牦牛肉宰后成熟过程中脂肪酸组成及含量变化分析[J].食品工业科技,2017,38(8):338-345.
- [5] 朱喜艳,曹旭敏,武田博.青海牦牛与日本牛动物性

- 食品脂肪酸含量比较分析[J].青海畜牧兽医杂志, 2005,35(4):16-17.
- [6] 李升升,靳义超,闫忠心.环湖牦牛屠宰性能及肉品质研究[J].食品工业,2016,37(7):172-174.
- [7] 王存堂,蒋玉梅,李鹏,等.天祝白牦牛肉挥发性风味成分的 SPEM/GC/MS 测定[J].甘肃农业大学学报, 2006,41(6):118-121.
- [8] 王惠惠,马纪兵,刘小波,等.甘肃牧区传统风干牦牛肉加工过程中挥发性风味物质变化分析[J].食品与发酵工业,2019,45(4):200-205.
- [9] 丁考仁青,赵元芳,李鹏霞,等.去势牦牛和公牦牛肉挥发性风味物质的对比分析[J].畜牧兽医杂志, 2018,37(6):17-20.
- [10] 牛珺,张丽,孙宝忠,等.西藏‘斯布’牦牛宰后成熟过程中挥发性风味物质差异分析[J].甘肃农业大学学报,2017,52(6):127-133.
- [11] 周恒量.九龙牦牛不同部位肉品质对比研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2016.
- [12] 吕玉,史智佳,曲超,等.气相色谱-嗅闻-质谱联用分析牦牛肉的“膻味”成分[J].食品科学,2014,35(2):209-212.
- [13] 罗毅皓,刘书杰.青海大通牦牛肉氨基酸及风味分析[J].食品科技,2010,35(2):106-110,113.
- [14] MOON S Y, LI-CHAN E C Y. Development of solid-phase microextraction methodology for analysis of headspace volatile compounds in simulated beef flavour[J]. Food Chemistry, 2004, 88(1):141-149.
- [15] BUENO M, RESCONI V C, CAMPO M M, et al. Development of a robust HS-SPME-GC-MS method for the analysis of solid food samples. Analysis of volatile compounds in fresh raw beef of differing lipid oxidation degrees[J]. Food Chemistry, 2019, 281:49-56.
- [16] PAVLIDIS D E, MALLOUCHOS A, ERCOLINI D, et al. A volatilomics approach for off-line discrimination of minced beef and pork meat and their admixture using HS-SPME GC/MS in tandem with multivariate data analysis[J]. Meat Science, 2019, 151:43-53.
- [17] RAMALINGAM V, SONG Z, HWANG I. The potential role of secondary metabolites in modulating the flavor and taste of the meat[J]. Food Research International, 2019, 122:174-182.
- [18] WATANABE A, KAMADA G, IMANARI M, et al. Effect of aging on volatile compounds in cooked beef[J]. Meat Science, 2015, 107:12-19.
- [19] 孙杰,蒲丹丹,陈海涛,等.溶剂辅助风味蒸发-气质联用分析五香牛肉干挥发性物质[J].食品工业科技, 2016, 37(17):281-287.
- [20] 孟一,张玉华,姜沛宏,等.牛肉贮藏过程中的挥发性成分分析[J].食品工业科技, 2016, 37(16):61-66.
- [21] 李素,周慧敏,张顺亮,等.不同加水量腌制酱牛肉中挥发性风味物质变化[J].食品科学, 2019, 40(10):199-205.
- [22] 侯婷婷,南京熙,林墨,等.延边黄牛肉挥发性风味物质[J].食品与机械, 2018, 34(8):45-47, 114.
- [23] 阮鸣,霍光明,张李阳,等.新型与市售平菇香气成分的 GC-MS 分析与比较[J].食品工业科技, 2016, 37(10):72-76, 81.
- [24] 殷朝敏,范秀芝,史德芳,等.HS-SPME-GC-MS 结合 HPLC 分析 5 种食用菌鲜品中的风味成分[J].食品工业科技, 2019, 40(3):254-260.
- [25] 刘雅娜,齐风敏,王定云,等.宰后成熟过程对新疆鹅肉挥发性风味化合物的影响[J].食品科技, 2018, 43(5):138-144.
- [26] 顾赛麒,王锡昌,陶宁萍,等.基于主成分分析和聚类分析评价中华绒螯蟹蟹肉香气品质的研究[J].食品工业科技, 2012, 33(24):120-125.
- [27] 陈德钊.多元数据处理[M].北京:化学工业出版社, 1998:124-142.
- [28] 杜梅,赵丽华,靳焯.犏牛肉营养品质的测定[J].肉类工业, 2018(10):15-19, 22.
- [29] 宋泽,徐晓东,许锐,等.不同部位牛肉炖煮风味特征分析[J].食品科学, 2019, 40(4):206-214.
- [30] 张贤.西藏牦牛肉品质分析与评价[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学, 2017.
- [31] LEGAKO J F, BROOKS J C, O'QUINN T G, et al. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles[J]. Meat Science, 2015, 100:291-300.
- [32] 孙海松.大通种牛场草地类型及其垂直分布的调查研究[J].草业科学, 2004, 21(6):13-16.
- [33] 张来明.甘德县草地资源及利用[J].青海草业, 1995, 4(3):16-18.

Analysis of Volatile Flavor Components in Yak Meat from Different Producing Areas of Qinghai Province by Head-Space Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry Technique

PI Li^{1,2} LI Yulin¹ TAN Liang¹ WANG Honglei¹ LIU Liyong³ WANG Huan¹ ZHU Qingyun^{3*}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2. Key Laboratory of Tibetan Medicine Research, Northwest Institute of Plateau Biology, Xining 810001, China; 3. Qinghai Products Quality Supervision and Inspection Institute, Xining 810008, China)

Abstract: The purpose of this study was to analyze the volatile flavor components in yak meat from different producing areas in Qinghai province, and to find out the compounds of key volatile flavor components in yak meat using principal component analysis method. The volatile flavor components in the *longissimus dorsi*, *biceps flexor cruris* and *intercostal muscles* of yak from three male and three female yaks were selected from 5 different producing areas in Qinghai province were analysis identified by head-space solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) technique. The results showed that 34 volatile flavor components were identified from three parts of muscle of yaks, including aldehydes, ketones, alcohols, acids, alkanes, nitrogen-containing heterocyclic compounds and sulfur-containing compounds. Eight compounds like hexadecanal, octadecanal, nonanal, benzaldehyde, octanol, 2,3-pentanedione, 3-hydroxy-2-butanone and caproic acid were found to be key volatile flavor components in yak meat by principal component analysis (PCA). The results of PCA for producing area show that 30 samples can be divided into three categories according to the producing area and grassland type. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(6)]

Key words: yaks; HS-SPME; GC-MS; volatile flavor components; PCA

* Corresponding author, senior engineer, E-mail: zqy7890@163.com

(责任编辑 菅景颖)