

基于SPME-GC-MS法比较新疆哈萨克族不同居住区奶酪风味差异

郑晓吉^{1,2}, 刘 飞², 任全路³, 李宝坤², 李开雄², 诸葛斌^{1,*}

(1.江南大学生物工程学院, 江苏 无锡 241112; 2.石河子大学食品学院, 新疆 石河子 832003;

3.石河子大学生命科学学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要: 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术, 对采集自新疆哈萨克族不同居住地区20种奶酪样品中挥发性风味组分进行研究。结果表明: 20种奶酪样品中共检测出52种主要挥发性化合物, 其中主要特征风味包括酸类(乙酸、丁酸、庚酸、辛酸)、醇类(乙醇、苯乙醇、3-甲基丁醇)、酯类(乙酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、丁二酸二甲酯)、酮类(2-壬酮、2-庚酮、乙偶姻)、醛类(正己醛、庚醛、壬醛)等。主成分分析显示不同地区奶酪的挥发性风味组分差别较大, 和地区相吻合, 其中伊犁地区和哈密地区奶酪风味物质差异显著, 得到明显区分。阿勒泰和塔城地区奶酪风味成分相似度较高, 归为一类。伊犁地区样品主要风味物质乙酸、乙酸乙酯、3-甲基-1-丁醇乙酸酯、己酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、3-羟基-2-丁酮、2-丁醇、2-羟基丙酸乙酯和2-甲基丙醇含量较高, 区别于其他地区样品。哈密地区样品中, 巴里坤(H1)风味物质良好, 明显区别于同地区其他样品, 其中醛类(己醛、2-庚醛、壬醛、苯甲醛)、酯类物质(丙酸乙酯、乙酸丁酯、丙酸丁酯、2-丙烯酸丁酯、丁酸丁酯)和2-壬酮含量较高。

关键词: 奶酪; 风味化合物; 固相微萃取-气相色谱-质谱联用 (SPME-GC-MS)

Comparative Analysis of Volatile Compounds in Kazak Cheeses from Different Regions of Xinjiang by SPME-GC-MS

ZHENG Xiaoj^{1,2}, LIU Fei², REN Quanlu³, LI Baokun², LI Kaixiong², ZHUGE Bin^{1,*}

(1. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 241112, China; 2. College of Food Science, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 3. College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) was used to analyze the volatile compounds in 20 Kazak cheese samples collected from different regions of Xinjiang, China. A total of 52 volatile flavor compounds were detected in the cheese samples, and the major characteristic flavor compounds included acids (acetic acid, butyric acid, heptanoic acid, and octylic acid), alcohols (ethanol, phenyl ethanol and 3-methylbutanol), esters (ethyl acetate, ethyl hexanoate and ethyl octanoate), ketones (2-nonanone and 2-heptanone), aldehydes (hexanal, heptanal and nonanal), and terpene compounds. Principal component analysis showed that the flavor compounds of cheese from different areas were different, and discrimination between cheeses from Ili and Hami was excellent with clear distinctions. Cheeses from Altay and Tacheng showed a high degree of similarity in their volatile flavor composition and belonged to the same group. The main flavor compounds of Ili cheese were acetic acid, ethyl acetate, 3-methyl-1-butanol acetate, ethyl caproate, 2-methyl ethyl butyrate, 3-hydroxy-2-butanone, 2-butyl alcohol, 2-hydroxy ethyl propionate and 2-methyl propyl alcohol, and were different from those from other regions. The flavor of Barkol sample (H1) from Hami was better than that of other samples from the same region, with the dominant compounds being aldehyde (hexanal, 2-heptanal, benzaldehyde and nonanal), esters (ethyl propionate, butyl acetate, butyl propionate, 2-butyl acrylate, butyl butyrate) and 2-nonanone.

Keywords: cheese; flavor compounds; solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201808014

中图分类号: TS252

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 08-0083-07

收稿日期: 2017-05-18

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目 (31660453; 31460007); 石河子大学应用基础研究项目 (2015ZRKXYQ11)

第一作者简介: 郑晓吉 (1982—), 男, 副教授, 博士研究生, 研究方向为新疆传统发酵乳制品微生物资源开发及应用。

E-mail: zhengxj1982@163.com

*通信作者简介: 诸葛斌 (1969—), 男, 教授, 博士, 研究方向为发酵工程、微生物。E-mail: bzhuge@163.com

引文格式:

郑晓吉, 刘飞, 任全路, 等. 基于SPME-GC-MS法比较新疆哈萨克族不同居住区奶酪风味差异[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 83-89. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201808014. <http://www.spkx.net.cn>

ZHENG Xiaoji, LIU Fei, REN Quanlu, et al. Comparative analysis of volatile compounds in Kazak cheeses from different regions of Xinjiang by SPME-GC-MS[J]. Food Science, 2018, 39(8): 83-89. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201808014. <http://www.spkx.net.cn>

我国新疆地区地域广袤、少数民族众多。丰富的养殖业造成多样乳品的出现, 如干酪、半成熟干酪、奶豆腐等加工产品。新疆哈萨克族主要分布在伊犁哈萨克自治州、阿勒泰、塔城及木垒哈萨克自治县和巴里坤哈萨克自治县等。奶酪是哈萨克族传统发酵乳制品之一, 风味独特, 营养丰富。与西方奶酪相比, 哈萨克族奶酪属于传统自然发酵, 因地域、气候条件、制作工艺的不同, 奶酪风味迥异。奶酪的风味主要来源于大多数挥发性化合物如酸类、醇类、酯类、酮类、醛类、萜烯类化合物等, 而且不同奶酪具有独特的挥发性组分^[1-3]。目前, 西方不同奶酪风味物质的研究较多^[4-5], 在特征风味分析方面已形成了系统的研究体系^[6]。Uregehe等^[7]采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)联用技术对一种意大利奶酪中挥发性成分进行检测, 发现其风味成分主要由羧酸、酯、酮和醇等一些小分子化合物组成。张硕等^[8]研究地区添加内源性脂肪酶奶酪中挥发性成分物质增加, 风味也得到改善。衣宇佳^[9]研究干酪不同成熟期的风味组分变化, 干酪成熟至90 d时, 2,3-丁二酮、3-羟基-2-丁酮、2-庚酮、2-壬酮、异丁酸、戊酸和癸酸为其特征风味组分贡献较大的化合物。目前我国传统奶酪风味方面的研究工作已经初步开展^[10-15], 但对于新疆哈萨克族少数民族不同地区传统奶酪风味组分方面的研究较少。新疆哈萨克族奶酪产品风味物质形成机制不清晰、风味品质不稳定等科学问题已成为产品标准化生产的瓶颈, 严重制约了手工制作向产业化加工转化的进程。本实验以新疆不同地区的哈萨克族奶酪为研究对象, 采用SPME-GC-MS解析形成奶酪风味的特征化合物, 为开发适合于新疆哈萨克族民族奶酪的加工制作提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

二氯苯(色谱纯)、正构烷烃($C_6 \sim C_{30}$, 色谱纯)美国Sigma-Aldrich公司。

奶酪样品(表1)取自新疆北疆主要的哈萨克居住地区, 如伊犁、阿勒泰、塔城和哈密地区。所有样品贴上标签后置于车载的 -4°C 冰箱内冷藏, 12 h之内运回实验室, 于 4°C 保存。

表1 不同哈萨克族居住区奶酪样品采集信息

Table 1 Information about different Kazak cheese samples

地区	地点	编号
伊犁	昭苏	Y1
	特克斯	Y2
	伊宁	Y3
	那拉提	Y4
	巩留	Y5
阿勒泰	布尔津	A1
	切木尔切克乡	A2
	可可托海	A3
	吉木乃	A4
	阿勒泰	A5
塔城	托里多拉特乡	T1
	和丰	T2
	和布克赛尔	T3
	托里	T4
	额敏	T5
哈密	巴里坤1	H1
	巴里坤2	H2
	伊吾县	H3
	口门子	H4
	盐池乡	H5

1.2 仪器与设备

SCION SQ 456 GC-MS联用仪、DB-WAX毛细管柱($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm}$, $0.25\text{ }\mu\text{m}$) 美国Bruker公司; $65\text{ }\mu\text{m}$ PDMS/DVB、 $75\text{ }\mu\text{m}$ CAR/PDMS、 $50\text{ }\mu\text{m}/30\text{ mm}$ DVB/CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 SPME条件^[16-17]

第1次使用GC萃取头时, 需对进样口进行 250°C 老化1~2 h。第2次使用老化15~20 min, 去除可吸附的挥发性物质。取20 mL顶空瓶加入5 g样品, 将 $75\text{ }\mu\text{m}$ CAR/PDMS萃取头老化后插入样品瓶顶空部分, 50°C 吸附30 min, 将萃取头吸附后取出, 插入GC进样口, 于 250°C 解吸3 min, 同时开启仪器收集数据。

1.3.2 GC-MS检测条件

载气: 高纯氦气; 恒流模式 0.8 mL/min ; 自动进样器: 无分流进样 $1\text{ }\mu\text{L}$; 色谱柱: DB-WAX毛细管柱; 程序升温: 40°C 保持3 min, 以 5°C/min 升温至 90°C 加热1 min, 以 10°C/min 升温至 230°C 加热7 min; 离子源温度 230°C , 电子电离源; 采用多离子监测扫描模式, 电子能量 70 eV 。

1.3.3 挥发性化合物定性

GC-MS测定的数据由仪器自带的系统软件(Xcalibur)进行分析处理,将奶酪样品中挥发性成分经计算机检索并与商业计算机谱库WILEY和NIST分析比对后,只记录匹配度不小于800的挥发性物质^[16-19]。

1.3.4 挥发性化合物的定量

对挥发性物质鉴定进行半定量分析,按下式进行计算:

挥发性化合物质量浓度/(mg/L) = (挥发性化合物峰面积/内标物峰面积) × 内标物质量浓度

1.4 数据分析

采用SPSS软件进行数据统计分析,聚类分析采用R语言软件处理。

2 结果与分析

2.1 GC-MS检测结果

SPME能有效地吸附样品中的挥发性组分,新疆北部20种不同哈萨克主要居住地区奶酪样品中,经SPME-GC-MS中共检测出52种主要的挥发性风味成分,其中酸类8种,醇类14种,酯类16种,醛类6种,酮类4种,萜烯类2种,其他类化合物2种。各类风味物质种类和相对含量见表2。

20种奶酪样品中挥发性风味物质种类多且复杂,不同地区样品的风味物质种类和含量存在一定的差异。从挥发性风味物质种类分析,其中伊犁地区昭苏县奶酪(Y1)中鉴定出52种化合物,以酯类、酸类和醇类化合物为主;特克斯县(Y2)中得到46种化合物,酯类和醇类物质相对含量较高。阿尔泰地区可可托海、吉木乃以

及塔城地区奶酪风味物质相似度较高,其中脂肪酸类化合物含量居多,其次是酯类化合物。塔城地区托里奶酪主要含酸类、酯类和醇类化合物;塔城和布克赛尔奶酪中含有48种挥发性化合物,脂肪酸类化合物、酯类化合物相对含量较高,酮类化合物含量明显高于其他样品。阿勒泰地区布尔津样品(A1)挥发性化合物种类和含量较低,因其样品硬度较高,可能影响了取样后的萃取效果。

2.2 挥发性风味物质主成分分析和聚类分析

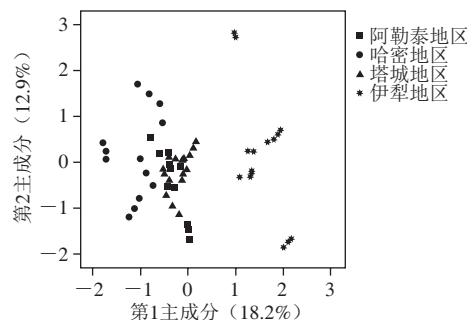


图1 不同地区奶酪主成分分析图

Fig. 1 Principal component analysis of flavor compounds in Kazak cheeses

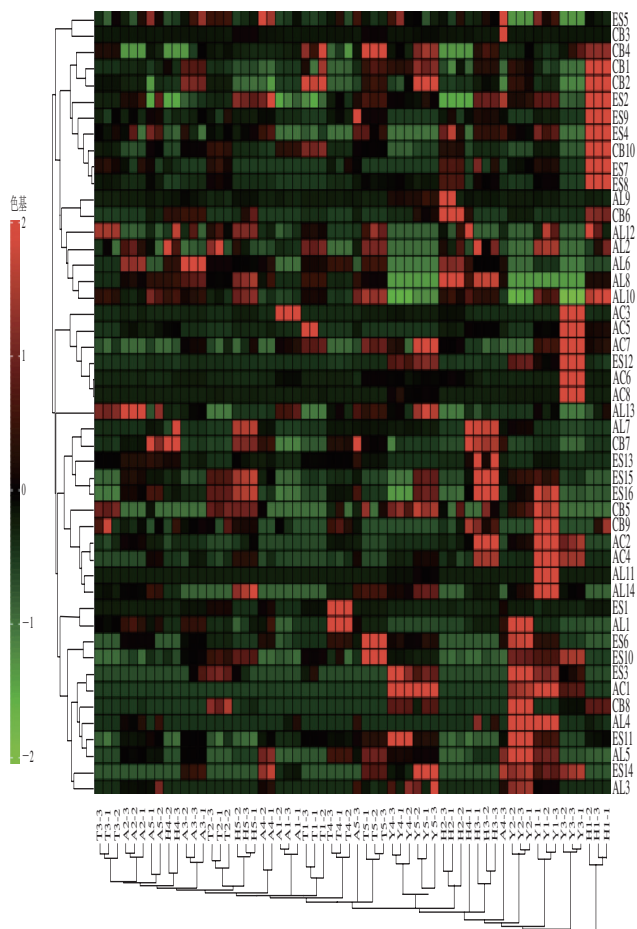
对新疆哈萨克族主要居住区20种奶酪中52种挥发性风味成分进行主成分分析。由图1可知,20种不同地区奶酪通过风味物质差异可以分为3组,伊犁地区(昭苏、特克斯县、伊宁、那拉提和巩留)和哈密地区(巴里坤、伊吾县、口门子镇和盐池乡)奶酪风味物质差异显著,得到明显区分。阿勒泰(布尔津、切木尔切克乡、可可托海、吉木乃和阿勒泰)和塔城地区(托里多拉特乡、和丰、和布克赛尔、托里和额敏)奶酪风味成分相似度较高,归为一类。

表2 新疆不同哈萨克族居住区奶酪样品中挥发性组分质量浓度
Table 2 Relative concentrations of volatile components from different Kazak cheese samples

mg/L																						
编号	保留 时间/min	风味物质	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	A1	A2	A3	A4	A5	T1	T2	T3	T4	T5	H1	H2	H3	H4	H5
酯类																						
E1	3.05	乙酸乙酯	0.014±0.010 ^B	0.023±0	0.014±0.003 ^B	0.014±0.001 ^B	0.012±0	0	0.021±0.001 ^C	0.035±0.002 ^D	0.068±0.007 ^E	0.022±0.001 ^C	0.039±0	0.073±0.001 ^F	0.025±0.001 ^D	0.596±0	0.027±0.002 ^D	0.029±0.001 ^B	0.012±0.004 ^B	0.014±0.002 ^B	0.013±0.004 ^B	0
E2	4.43	丙酸乙酯	0.027±0	0.021±0.001 ^{BC}	0.008±0.001 ^{BC}	0.017±0.001 ^{EF}	0.018±0.002 ^{EF}	0.004±0.004 ^{AB}	0.021±0.002 ^{BCD}	0.010±0.002 ^{CD}	0.035±0.005 ^E	0.016±0.014 ^{DE}	0.003±0.003 ^{AB}	0.014±0 ^{DE}	0.015±0.002 ^{DE}	0.015±0.002 ^{DE}	0.024±0.001 ^F	0.043±0.001 ^F	0	0.028±0.000 ^{AB}	0	0.03±0.002 ^{DE}
E3	6.09	2-甲基丁酸乙酯	0.013±0.001 ^C	0.021±0.002 ^D	0.006±0.002 ^C	0.020±0.006 ^D	0.011±0.001 ^B	0	0	0.005±0.005 ^A	0	0	0.003±0.003 ^{AB}	0.012±0.001 ^A	0	0	0	0	0	0	0.0025±0.003 ^A	0
E4	6.57	乙酸丁酯	0.030±0.004 ^F	0.017±0.002 ^{DE}	0	0	0	0	0.015±0.015 ^{BC}	0.011±0.011 ^{BC}	0.026±0.002 ^{EF}	0.031±0.003 ^F	0.004±0.004 ^{AB}	0.015±0.001 ^{CD}	0.017±0.002 ^{DE}	0	0.023±0.006 ^F	0.065±0.003 ^F	0.032±0.011 ^F	0.023±0.0003 ^{DEF}	0.002±0.002 ^{AB}	0.015±0.002 ^{CD}
E5	7.33	2-甲基-1-烯醇甲酯	0.009±0.002 ^D	0	0	0.009±0.003 ^D	0.005±0.002 ^{AB}	0.004±0.001 ^{AB}	0.005±0.002 ^{CD}	0.009±0.004 ^D	0.021±0.008 ^F	0.009±0.003 ^D	0.004±0	0.009±0	0.004±0.002 ^{BC}	0.005±0.002 ^{BCD}	0.005±0.001 ^{BCD}	0.005±0.001 ^{BD}	0.006±0.002 ^{AC}	0.006±0.001 ^{BCD}	0.0038±0.003 ^{BC}	0.005±0.009 ^A
E6	7.88	3-甲基-1-丁烯醇乙酯	0.009±0.002 ^F	0.151±0.005 ^D	0.016±0.001 ^B	0.054±0.005 ^{DE}	0.058±0.008 ^{EF}	0.010±0.010 ^{AB}	0.049±0.001 ^{DE}	0.044±0.002 ^C	0.060±0.001 ^{EF}	0.028±0.025 ^C	0.022±0	0.029±0.001 ^C	0	0.070±0.002 ^F	0.240±0.006 ^F	0	0	0	0	0.018±0.003 ^{BC}
E7	8.36	丙酸丁酯	0.014±0.001 ^{BC}	0.008±0.001 ^{BC}	0	0	0	0	0.008±0.008 ^{BC}	0	0	0.007±0.006 ^{BC}	0	0.015±0.003 ^{CD}	0.014±0.002 ^{BC}	0.006±0.006 ^{AB}	0	0.081±0.002 ^E	0.022±0.001 ^B	0.015±0.015 ^{CD}	0.0026±0.003 ^A	0
E8	9.37	2-丙烯酸丁酯	0.087±0.002 ^F	0.032±0.003 ^{BC}	0.022±0	0.078±0.006 ^{DE}	0.065±0.004 ^F	0.027±0.002 ^{AB}	0.045±0.002 ^F	0.043±0.004 ^D	0.041±0	0.068±0.008 ^{EF}	0.029±0	0.092±0.006 ^F	0.064±0.002 ^E	0.043±0.002 ^F	0.075±0.004 ^F	0.538±0.016 ^F	0.157±0.001 ^F	0.089±0.006 ^F	0.024±0.003 ^{AC}	0.04±0.001 ^D
E9	10.5	丁酸丁酯	0.01±0.001 ^A	0	0	0	0	0.005±0	0.010±0.005 ^A	0.011±0.007 ^A	0.015±0	0.087±0.113 ^B	0	0.014±0.014 ^B	0.009±0.009 ^A	0.012±0.003 ^A	0.021±0	0.107±0.004 ^B	0.012±0.012 ^A	0.025±0.001 ^A	0.0075±0.007 ^A	0.01±0.006 ^A
E10	10.94	己酸乙酯	0.195±0	0.232±0.008 ^F	0.294±0.004 ^F	0.096±0.004 ^{AC}	0.084±0.002 ^{BCD}	0.013±0.012 ^{AB}	0.024±0.023 ^{BCD}	0.114±0.006 ^F	0.002±0.002 ^C	0.059±0.013 ^D	0.122±0.003 ^F	0.173±0.013 ^F	0	0.070±0.001 ^B	0.0484±0.012 ^F	0.046±0.002 ^{AC}	0.012±0.012 ^A	0.017±0.017 ^{AB}	0.036±0.036 ^{AC}	0.213±0.006 ^{BC}
E11	14.08	2-羟基丙酸乙酯	0.160±0.006 ^F	0.423±0.009 ^F	0.040±0.002 ^C	0.291±0.002 ^F	0.127±0.004 ^F	0.066±0.004 ^F	0.089±0.002 ^F	0.100±0.002 ^F	0.091±0.006 ^F	0.107±0.006 ^F	0.101±0.002 ^F	0.030±0.030 ^{BC}	0.019±0.019 ^{AB}	0.091±0.002 ^{EF}	0.135±0.002 ^F	0.092±0.003 ^F	0.0193±0.011 ^{AB}	0.019±0.005 ^{AB}	0.006±0.006 ^A	0.008±0.008 ^A
E12	16.28	辛酸乙酯	0.055±0.011 ^C	0.133±0.007 ^F	0.399±0.013 ^F	0.118±0.010 ^F	0.154±0.005 ^F	0.009±0.001 ^{AB}	0.005±0	0.015±0.001 ^B	0.007±0.001 ^{AB}	0.011±0.001 ^{AB}	0.009±0.001 ^{AB}	0.012±0.001 ^{AB}	0.005±0	0.002±0.002 ^A	0.014±0	0.008±0.001 ^A	0.003±0.001 ^A	0.004±0.001 ^A	0.004±0.004 ^{AB}	0.008±0.004 ^{AB}
E13	18.31	乙二酸二乙酯	0.090±0.003 ^A	0	0	0	0	0.034±0.002 ^A	0.220±0.011 ^F	0.052±0.029 ^A	0.070±0.023 ^A	0.240±0.017 ^F	0.119±0.001 ^A	0	0.131±0.006 ^A	0.134±0.002 ^A	0.095±0.001 ^A	0	0.022±0.001 ^A	1.186±0.09 ^F	0.19±0.003 ^A	0.101±0.033 ^A

																						mg/L
编号	保留 时间/min	风味物质	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	A1	A2	A3	A4	A5	T1	T2	T3	T4	T5	H1	H2	H3	H4	H5
E14	22.06	乙醇-2-苯基乙酯	0.050±0.005 ^B	0.070±0.005 ^E	0.07±0.006 ^E	0.018±0.004 ^A	0.098±0.005 ^F	0.017±0.004 ^D	0	0.039±0.004 ^C	0.072±0.006 ^F	0	0	0	0	0	0.049±0.001 ^{AB}	0	0	0	0	0
E15	20.62	戊二酸二甲酯	0.512±0.049 ^F	0.481±0.032 ^F	0.193±0.022 ^{EF}	0.020±0.005 ^A	0.633±0.015 ^A	0.068±0.012 ^F	0.419±0.017 ^F	0.136±0.020 ^D	0.306±0.045 ^F	0.3±0.005 ^C	0.188±0.021 ^F	0.581±0.009 ^F	0.061±0.005 ^{AB}	0.229±0.011 ^F	0.150±0.001 ^{BE}	0.094±0.006 ^{BC}	0.140±0.006 ^F	1.3687±0.051 ^F	0.28±0.028 ^B	0.85±0.043 ^C
E16	19.15	丁二酸二甲酯	0.706±0.047 ^F	0.346±0.036 ^{AB}	0.164±0.015 ^D	0.050±0.002 ^A	0.535±0.016 ^F	0.114±0.010 ^D	0.351±0.015 ^F	0.259±0.005 ^F	0.226±0.020 ^F	0.461±0.004 ^F	0.191±0.015 ^D	0.511±0.005 ^F	0.107±0.004 ^F	0.299±0.006 ^F	0.232±0.004 ^{EF}	0.162±0.010 ^{CD}	0.134±0.005 ^{BC}	0.7986±0.017 ^F	0.301±0.030 ^A	0.66±0.020 ^A
醇类																						
A1	3.7	乙醇	0.141±0.002 ^D	1.024±0.055 ^E	0.057±0.002 ^{AB}	0.069±0.002 ^{AB}	0.071±0.002 ^{BC}	0.048±0.001 ^F	0.376±0.037 ^F	0.367±0.003 ^A	0.322±0.009 ^F	0.269±0.050 ^{BE}	0.126±0.002 ^{BC}	0.150±0.012 ^{DEF}	0.240±0.012 ^{DEF}	0.979±0.006 ^E	0.168±0	0.040±0.001 ^A	0.082±0.001 ^{AB}	0.18±0.001 ^C	0.142±0.001 ^C	0.106±0.094 ^{AB}
A2	3.83	2,3-己二醇	0.030±0.001 ^E	0	0	0	0	0.007±0.001 ^{AB}	0.020±0.004 ^{AB}	0.002±0.002 ^A	0.004±0.001 ^A	0.007±0.006 ^{AB}	0.024±0.001 ^{EE}	0.027±0.024 ^{EE}	0.006±0.006 ^{AB}	0	0.025±0	0.015±0.010 ^{AC}	0.015±0.006 ^A	0.025±0.013 ^D	0.020±0.013 ^D	0.0097±0.006 ^{AC}
A3	7.19	2-甲基丙醇	0.023±0.001 ^{AB}	0.087±0.005 ^{BC}	0	0.047±0.038 ^{AB}	0.142±0.183 ^C	0	0.015±0	0	0.031±0.005 ^{AB}	0.045±0.029 ^{AB}	0	0	0	0	0.007±0.007 ^A	0	0	0	0	0
A4	9.04	(R)-2-丁醇	0.019±0.001 ^D	0.028±0.003 ^E	0	0	0	0.003±0.004 ^{AC}	0.004±0.001 ^{AC}	0	0	0.004±0.004 ^{AC}	0	0	0	0	0	0.001±0.001 ^{AB}	0	0.006±0.006 ^B	0	0
A5	10.22	3-甲基丁醇	0.544±0.006 ^F	1.209±0.010 ^F	0.043±0.001 ^D	0.296±0.004 ^A	0.271±0.003 ^A	0.013±0.012 ^{AB}	0.243±0.011 ^F	0.244±0.002 ^F	0.582±0.026 ^{AB}	0.217±0.001 ^A	0.035±0	0.024±0.001 ^{AC}	0.068±0.001 ^E	0.417±0	0.536±0.005 ^F	0.008±0.008 ^{AB}	0	0.129±0.001 ^F	0.0494±0.001 ^D	0.091±0.001 ^F
A6	13.3	2-庚醇	0.123±0.005 ^E	0.026±0.001 ^A	0	0	0	0.022±0.001 ^{AB}	0.456±0.008 ^{AB}	0.789±0.010 ^F	0.245±0.020 ^F	0.058±0.001 ^F	0.235±0.002 ^F	0.224±0.025 ^F	0.123±0.001 ^E	0.298±0.004 ^F	0.310±0.004 ^F	0.081±0.001 ^A	0.438±0.006 ^F	0.209±0.001 ^F	0.29±0.004 ^F	0.201±0.006 ^F
A7	14.29	正己醇	0.076±0.004 ^A	0.281±0.007 ^A	0	0.175±0.010 ^A	0.161±0.015 ^A	0.032±0.002 ^F	0.082±0.003 ^A	0.072±0.005 ^A	0.191±0.006 ^F	0.178±0.011 ^A	0.064±0.004 ^A	0.049±0	0.086±0.003 ^A	0.178±0.002 ^A	0.192±0.007 ^F	0.038±0.001 ^A	0.044±0.002 ^A	0.908±0.001 ^F	1.123±1.118 ^F	0.84±0.012 ^F
A8	16.62	1-辛醇-3-醇	0.006±0.003 ^A	0.012±0 ^A	0	0	0.016±0 ^A	1.047±0.013 ^F	1.593±0.083 ^F	2.339±0.089 ^F	1.667±0.354 ^F	1.872±0.008 ^F	1.970±0.001 ^A	1.421±0.022 ^F	1.035±0.006 ^F	1.108±0.020 ^F	1.536±0.020 ^F	1.688±0.014 ^F	3.609±0.005 ^F	3.311±0.017 ^F	1.96±0.089 ^F	2.83±0.22 ^F
A9	17.35	2-乙基己醇	0.010±0.002 ^A	0.009±0	0	0.035±0.002 ^A	0.045±0.008 ^A	0.006±0.004 ^A	0.007±0.001 ^A	0.015±0.004 ^A	0.004±0.001 ^A	0.010±0.003 ^A	0.008±0.003 ^A	0.002±0.002 ^F	0.005±0.002 ^A	0.009±0.002 ^A	0.005±0.001 ^A	0.004±0.002 ^A	0.226±0.003 ^A	0.0119±0.001 ^A	0.013±0.001 ^A	0.152±0.152 ^A
A10	17.87	2-壬醇	0.003±0.000 ^{AK}	0.009±0.002 ^{AB}	0	0.010±0.001 ^{AB}	0.020±0.001 ^{AB}	0.041±0.003 ^F	0.050±0.003 ^F	0.067±0.004 ^{AC}	0.042±0.004 ^F	0.088±0.006 ^{AL}	0.063±0.001 ^F	0.049±0.004 ^F	0.071±0.003 ^F	0.043±0.001 ^{BE}	0.102±0.002 ^F	0.116±0.007 ^F	0.069±0.005 ^{AC}	0.007±0.001 ^F	0.077±0.004 ^F	0.093±0.093 ^F
A11	18.25	2,3-丁二醇	0.215±0.001 ^D	0	0	0.007±0 ^F	0.014±0.002 ^F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A12	26.6	异戊醇	0.116±0.073 ^{BC}	0	0	0	0	0.016±0.017 ^F	0.004±0.003 ^A	0.053±0.061 ^{BC}	0.039±0.005 ^{AC}	0.024±0.019 ^A	0.076±0.004 ^{AC}	0.084±0.026 ^{AB}	0.171±0.001 ^{EF}	0.023±0	0.133±0.031 ^D	0.130±0.088 ^{CD}	0.054±0.045 ^{AC}	0	0.19±0.161 ^F	0.15±0.002 ^A
A13	22.76	苯甲醇	0.015±0.003 ^F	0.009±0.002 ^{AB}	0	0.014±0.004 ^{AB}	0.040±0.003 ^F	0.026±0.002 ^{EF}	0.060±0.001 ^F	0.014±0.002 ^F	0.009±0.001 ^F	0.022±0.016 ^C	0	0	0.033±0.001 ^D	0.014±0.003 ^F	0.023±0.001 ^F	0.012±0.007 ^{AB}	0	0.008±0.003 ^F	0.0107±0.001 ^F	0.009±0.001 ^F
A14	23.14	2-苯乙醇	1.335±0.103 ^F	0.322±0.055 ^F	0.273±0.027 ^{AB}	0.319±0.011 ^F	0.579±0.012 ^F	0	0.270±0.008 ^{BE}	0	0	0.437±0.011 ^F	0	0	0.233±0.019 ^D	0.206±0.011 ^{AC}	0.480±0.004 ^F	0	0	0.213±0.009 ^{CD}	0.164±0.008 ^F	0.8±0.001 ^F
醛类																						
Q1	6.78	己醛	0.053±0.014 ^{AB}	0.116±0.011 ^D	0.022±0.001 ^A	0.124±0.003 ^F	0.182±0.011 ^F	0.059±0.002 ^{AB}	0.072±0.003 ^{AB}	0.153±0.003 ^{AB}	0.027±0.003 ^{AB}	0.066±0.008 ^{AB}	0.111±0.092 ^D	0.064±0.003 ^{AB}	0.064±0.001 ^{AB}	0.031±0.002 ^{AB}	0.141±0.011 ^F	0.344±0.010 ^F	0.046±0.037 ^{AB}	0.119±0.001 ^F	0.067±0.037 ^{AB}	0.45±0.0028 ^{AB}
Q2	9.58	庚醛	0.131±0.008 ^{BEF}	0.222±0.024 ^F	0.028±0.001 ^A	0.120±0.047 ^{DEF}	0.448±0.015 ^F	0.107±0.003 ^F	0.143±0.004 ^F	0.325±0.009 ^F	0.027±0.027 ^F	0.076±0.006 ^{AC}	0.431±0.022 ^F	0.149±0.001 ^F	0.161±0.001 ^F	0.065±0.001 ^{AB}	0.238±0.003 ^F	0.442±0.005 ^{CD}	0.113±0.007 ^D	0.159±0.009 ^F	0.12±0.001 ^{EE}	0.054±0.003 ^A
Q3	15.35	壬醛	0.087±0.004 ^A	0.081±0.003 ^A	0.098±0.007 ^F	0.150±0.005 ^A	0.312±0.009 ^A	0.069±0.006 ^F	0.117±0.005 ^A	0.164±0.013 ^A	0.025±0.001 ^F	0.085±0.008 ^A	0.108±0.002 ^A	0.060±0.004 ^F	0.072±0.001 ^A	0.158±0.03 ^A	0.719±0.022 ^F	0.097±0.007 ^{AB}	0.132±0.017 ^A	0.081±0.001 ^A	0.167±0.011 ^A	0.77±0.006 ^A
Q4	18.03	苯甲醛	0.024±0.002 ^{AC}	0.028±0.004 ^{CD}	0.043±0.013 ^F	0.030±0.003 ^F	0.067±0.004 ^{AC}	0.027±0.002 ^D	0	0.018±0.017 ^{AC}	0.025±0.002 ^{EF}	0.029±0.002 ^{BE}	0.066±0.020 ^F	0.030±0.001 ^{DE}	0.040±0.003 ^F	0.011±0.011 ^{AB}	0.098±0.012 ^F	0.066±0.004 ^F	0	0.045±0.005 ^F	0	0.03±0.001 ^D
Q5	19.83	(Z)-2-癸醛	0.036±0.004 ^F	0.019±0.003 ^{BE}	0	0.026±0.004 ^F	0.032±0.002 ^F	0	0	0	0.007±0.001 ^A	0.007±0.006 ^A	0	0.024±0.002 ^F	0.025±0.001 ^F	0.009±0.009 ^{AC}	0.015±0.015 ^{AC}	0	0.012±0.002 ^F	0.014±0.001	0	0.026±0.001 ^A
Q6	18.18	(E)-2-壬醛	0.021±0.006 ^{AB}	0.069±0.002 ^F	0.023±0.004 ^{AB}	0.042±0.004 ^{AB}	0.157±0.024 ^F	0.003±0.004 ^{AB}	0.006±0.001 ^{AB}	0.228±0.002 ^{AB}	0.005±0.001 ^{AB}	0.063±0.011 ^{AB}	0.033±0.003 ^{AB}	0.013±0	0	0	0.011±0.003 ^{AB}	0.376±0.002 ^F	0.965±0.031 ^F	0.006±0.001 ^{AB}	0.202±0.009 ^D	0.176±0.141 ^D
酮类																						
K1	9.5	2-庚酮	0.084±0.0002 ^D	0.062±0.005 ^{AC}	0.026±0.004 ^{AB}	0.052±0.045 ^{BC}	0.075±0.003 ^C	0	0.120±0.002 ^{BE}	0.074±0.007 ^F	0.196±0.005 ^F	0.386±0.087 ^F	0.042±0.002 ^{AC}	0.066±0.004 ^{AC}	0.084±0.005 ^{CD}	0.172±0.005 ^F	0.147±0.005 ^{EF}	0.079±0.003 ^F	0.055±0.001 ^{AC}	0.332±0.013 ^F	0.452±0.01 ^F	0.28±0.005 ^F
K2	12.39	3-庚基-2-丁酮	0.008±0.0001 ^{2A}	0.470±0.016 ^F	0.046±0.001 ^E	0.152±0.004 ^D	0.108±0.067 ^F	0	0.007±0.002 ^F	0	0.01±0.001 ^A	0	0	0.201±0.023 ^F	0	0	0.155±0.001 ^A	0.004±0.001 ^A	0	0	0.011±0.011 ^A	
K3	12.41	环己酮	0.207±0.001 ^E	0	0	0	0	0.018±0.019 ^{ABC}	0.025±0.007 ^{AB}	0.036±0.004 ^A	0	0.022±0.019 ^{ABC}	0	0.038±0.008 ^{AB}	0.07±0.0581 ^F	0.063±0.011 ^D	0	0.055±0.053 ^{CD}	0.137±0.137 ^F	0.071±0.025 ^F	0.06±0.053 ^{CD}	0.046±0.002 ^{AB}
K4	15.24	2-壬酮	0.214±0.005 ^F	0.106±0.009 ^F	0.079±0.005 ^F	0.070±0.003 ^A	0.127±0.007 ^F	0.343±0.009 ^F	0.107±0.010 ^F	0.265±0.002 ^F	0.150±0.009 ^F	0.264±0.001 ^F	0.504±0.018 ^F	0.352±0.011 ^F	0.209±0.009 ^F	0.176±0.005 ^F	0.258±0.003 ^F	1.0024±0.001 ^F	0.316±0.008 ^F	0.178±0.004 ^F	0.117±0.002 ^{AC}	0.178±0.178 ^F
酸类																						
S1	16.73	乙酸	1.819±0.002 ^D	1.453±0.097 ^F	0.958±0.038 ^F	1.0872±0.060 ^{BE}	1.902±0.070 ^F	0.007±0.006 ^A	0.012±0.002 ^A	0.016±0.001 ^A	0.016±0.002 ^A	0.021±0.002 ^A	0	0.10±0	0.006±0.001 ^A	0.016±0.001 ^A	0.034±0	0.0148±0.001 ^A	0.008±0.003 ^A	0.019±0.001 ^A	0.006±0.006 ^A	0.008±0.008 ^A
S2	18.75	2-甲基丙酸	0.308±0.005 ^F	0.070±0.006 ^F	0.164±0.022 ^F	0.020±0.001 ^{AC}	0.021±0.001 ^{AC}	0.002±0.002 ^A	0.063±0.003 ^F	0.021±0.003 ^{BC}	0	0.035±0.001 ^{CD}	0	0.014±0.014 ^{AB}	0.042±0.003 ^D	0	0	0.033±0.008 ^{AC}	0.27±0.003 ^F	0.026±0.026 ^{CD</}		

别于其他地区样品。由图2可知,伊犁地区奶酪乙酸含量明显高于其他地区样品,而1-辛烯-3-醇含量明显低于哈密地区和其他奶酪样品,而哈密地区样品醇类物质3-甲基-1-丁醇明显低于其他地区。哈密地区(巴里坤、伊吾县、口门子和盐池乡)样品中,巴里坤(H1)风味物质良好,明显区别于同地区其他样品。主要区别在醛类(己醛、2-庚醛、壬醛、苯甲醛)、酯类物质(丙酸乙酯、乙酸丁酯、丙酸丁酯、2-丙烯酸丁酯、丁酸丁酯)和2-壬酮。



ES1.乙酸乙酯; ES2.丙酸乙酯; ES3. 2-甲基丁酸乙酯; ES4.乙酸丁酯; ES5. 2-甲氧基-丁烯酸甲酯; ES6. 3-甲基-1-丁醇乙酸酯; ES7.丙酸丁酯; ES8. 2-丙烯酸丁酯; ES9.丁酸丁酯; ES10.己酸乙酯; ES11. 2-羟基丙酸乙酯; ES12.辛酸乙酯; ES13.乙二酸二乙酯; ES14.乙酸-2-苯乙酯; ES15.戊二酸二甲酯; ES16.丁二酸二甲酯; AL1.乙醇; AL2. 2,3-己二醇; AL3. 2-甲基丙醇; AL4. 2-丁醇; AL5. 3-甲基丁醇; AL6. 2-庚醇; AL7.正己醇; AL8. 1-辛烯-3-醇; AL9. 2-乙基己醇; AL10. 2-壬醇; AL11. 2,3-丁二醇; AL12.异戊醇; AL13.苯甲醇; AL14. 2-苯乙醇; CB1.己醛; CB2.庚醛; CB3.壬醛; CB4.苯甲醛; CB5. (Z)-2-癸烯醛; CB6. 2-壬烯醛; CB7. 2-庚酮; CB8. 3-羟基-2-丁酮; CB9. 环己酮; CB10. 2-壬酮; AC1.乙酸; AC2. 2-甲基丙酸; AC3.丁酸; AC4. 3-甲基丁酸; AC5.戊酸; AC6.己酸; AC7.庚酸; AC8.辛酸。

图2 不同地区风味物质聚类分析热图

Fig. 2 Heat map obtained from clustering analysis of flavor compounds in different Kazak cheeses

2.3 不同挥发性物质的风味分析

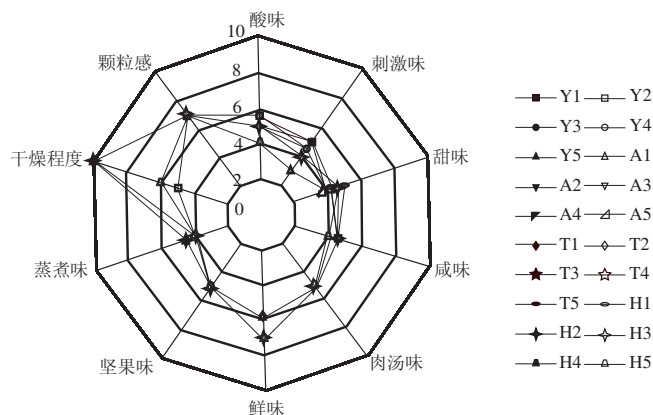


图3 不同地区样品感官分析结果

Fig. 3 Sensory analysis of cheeses from different regions

对20种不同地区奶酪进行10个指标(酸味、刺激味、甜味、咸味、肉汤味、鲜味、坚果味、蒸煮味、颗粒感和干燥程度)进行感官评价,由图3可知,不同地区奶酪感官分析主要差异在于酸味、刺激味和干燥程度。

2.3.1 脂肪酸类化合物

脂肪酸类物质对于奶酪的风味具有重要影响,奶酪发酵和成熟过程中乳脂肪或氨基酸降解形成一系列的中、短碳链的脂肪酸(碳原子数大于4),是奶酪最典型的特征风味组分,也是评价奶酪成熟程度的重要标志之一^[20-21]。奶酪成熟过程中,脂肪酸类化合物主要来源于3个主要的生化途径:1)脂肪水解(甘油三酯水解成脂肪酸);2)蛋白质降解(酪蛋白降解成小分子肽和氨基酸);3)乳糖发酵。其中乳糖经过微生物的代谢形成奶酪的主要风味物质如乙酸和丙酸^[13]。丁酸、戊酸、己酸、庚酸、辛酸、壬酸、癸酸等与脂肪水解有关。此外,2-甲基丙酸和3-甲基-丁酸经氨基酸代谢形成。乙酸是大多数奶酪的特征风味之一,给予奶酪、胡椒、水果和花的气味。伊犁地区奶酪乙酸含量明显高于其他地区样品,伊犁地区伊宁市(Y3)样品酸类物质如己酸、丁酸、辛酸和庚酸含量较高。己酸具有刺激味,是奶酪发酵过程中乳脂肪降解产生的。此外丁酸在不同地区奶酪中相对含量也较高,是原料乳中固有的脂肪酸,常常赋予奶酪特殊的酸臭味。阿尔泰地区布尔津(A1)风味物质检测结果显示,丁酸含量明显高于其他样品,在感官评定中酸臭味较高,和GC-MS数据分析一致。

2.3.2 酯类化合物

奶酪中酯类物质是乳脂肪降解产生的短链脂肪酸及中长链脂肪酸与发酵过程中乳糖发酵或氨基酸代谢产生的伯醇及仲醇发生酯化反应产生^[22]。奶酪中的酯类化合物赋予奶酪甜味、水果香和花香,因而该类化合物对奶酪特征香气的形成具有重要作用。酯类化合物如乙酸乙

酯能够赋予奶酪发酵香气,减少由脂肪酸类化合物赋予的刺激气味,使奶酪更加柔和^[23-27]。辛酸乙酯赋予奶酪酯香和酒香,己酸乙酯能够增强奶酪的果香和酒香。

20种奶酪样品中,共有的酯类物质有乙酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯等,是哈萨克族奶酪中的特征风味组分。此外乙酸-2-苯乙酯和3-甲基-1-丁醇乙酸酯为不同地区奶酪中相对含量较高成分,为奶酪中脂肪酸与相应的醇类发生酯化反应的产物。伊犁地区不同样品中辛酸乙酯含量明显高于其他地区奶酪样品,与奶酪感官特性结果相吻合。

2.3.3 醛类化合物

奶酪中醛类化合物的形成途径通过脂肪酸代谢、氨基酸转氨基作用或Strecker降解^[1,11]。醛类化合物易被还原成相应的醇,因此在奶酪中的含量相对都不高。20种不同地区奶酪中,醛类物质主要以庚醛、己醛和壬醛为主,已有研究表明奶酪中较常见的直链醛类如己醛、壬醛,一般具有青草味和霉腐味,其含量一旦超过某个阈值就会产生令人不愉快的气味,影响奶酪感官品质^[22]。哈密巴里坤(H1)样品中醛类物质如壬醛、庚醛和己醛相对含量明显高于其他地区。

2.3.4 酮类化合物

酮类化合物风味独特,其中甲基酮类物质在脂肪酸 β 氧化的过程中形成,为乳制品中特征风味组分。酮类化合物赋予奶酪水果味、花香味及霉腐味^[23,25]。20种不同地区奶酪中挥发性风味分析结果表明,奶酪中酮类物质相对较少,主要以2-庚酮、2-壬酮和乙偶姻居多。哈密地区奶酪中的酮类化合物的含量明显高于其他地区,以2-壬酮和2-庚酮为主,这类化合物可以赋予奶酪微甜的脂蜡香气,使其风味变得更为丰满,与感官分析结果相吻合。

2.3.5 醇类化合物

奶酪中醇类化合物的形成主要通过甲基酮和醛类还原、乳糖代谢、氨基酸代谢以及脂肪酸的降解^[23]。不同地区哈萨克族奶酪中,醇类物质所占比例最高也是最普遍的风味成分。乙醇、3-甲基-1-丁醇、苯乙醇、正己醇、2-庚醇和1-辛醇在大部分哈萨克族奶酪中均能检测到,其中伊犁地区特克斯县(Y2)样品乙醇和3-甲基丁醇相对含量最高。

3-甲基-1-丁醇为新疆哈萨克族不同地区奶酪中共有的含量较高的醇类之一,奶酪成熟过程中蛋白质分解形成的亮氨酸通过Strecker降解,经转氨、脱羧、还原形成^[1]。3-甲基-1-丁醇也是马苏里拉奶酪和其他羊奶奶酪中主要醇类物质^[21,24,28]。苯乙醇在不同奶酪样品中广泛存在,尤其伊犁昭苏(Y1)样品含量最高。苯乙醇是由苯丙氨酸经酵母菌代谢形成^[29-30],赋予奶酪的玫瑰香和发酵香,对新疆哈萨克族奶酪风味贡献较大。

3 结 论

不同地区20种奶酪样品中经感官分析结合SPME-GC-MS显示,20种奶酪样品中共检测出52种主要挥发性化合物,共有的风味物质包括酸类(乙酸、丁酸、庚酸、辛酸),醇类(乙醇、苯乙醇、3-甲基丁醇),酯类(乙酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、丁二酸二甲酯),酮类(2-壬酮、2-庚酮、乙偶姻),醛类(正己醛、庚醛、壬醛)等。因地域、气候条件、制作工艺的不同,奶酪风味迥异。其中主成分分析显示不同地区奶酪的挥发性风味组分差别较大,和不同地区相吻合,其中伊犁地区(昭苏、特克斯县、伊宁、那拉提和巩留)和哈密地区(巴里坤、伊吾县、口门子和盐池乡)奶酪风味物质差异显著,得到明显区分。阿勒泰(布尔津、切木尔切克乡、可可托海、吉木乃和阿勒泰)和塔城地区(托里多拉特乡、和丰、和布克赛尔、托里和额敏)奶酪风味成分相似度较高,归为一类。伊犁地区样品主要风味物质为乙酸、乙酸乙酯、3-甲基-1-丁醇乙酸酯、己酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、3-羟基-2-丁酮、2-丁醇、2-羟基丙酸乙酯和2-甲基丙醇,相对含量高于其他地区样品。哈密地区样品中,巴里坤(H1)风味物质良好,明显区别于同地区其他样品。其醛类(己醛、2-庚醛、壬醛、苯甲醛)、酯类物质(丙酸乙酯、乙酸丁酯、丙酸丁酯、2-丙烯酸丁酯、丁酸丁酯)和2-壬酮的相对含量高于其他地区样品。

参考文献:

- [1] FOX P F, GUINEE T P, COGAN T M, et al. Fundamentals of cheese science[M]. 2nd ed. New York: Springer, 2017.
- [2] AYANA I A A, EL-DEEB A M. Quality enhancement of edam-like cheese made from goat's milk[J]. American Journal of Food Technology, 2016, 11: 44-53. DOI:10.3923/ajft.2016.44.53.
- [3] OZTURKOGLU-BUDAK S, GURSOY A, AYKAS D P, et al. Volatile compound profiling of Turkish Divle Cave cheese during production and ripening[J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(7): 5120-5131. DOI:10.3168/jds.2015-10828.
- [4] CÉCILE C, CÉLINE D, FRÉDÉRIQUE D. Application of SSCP-PCR fingerprinting to profile the yeast community in raw milk Salers cheeses[J]. Systematic and Applied Microbiology, 2006, 29(2): 172-180. DOI:10.1016/j.syapm.2005.07.008.
- [5] SØRENSEN L M, GORI K, PETERSEN M A, et al. Flavour compound production by *Yarrowia lipolytica*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Debaryomyces hansenii* in a cheese-surface model[J]. International Dairy Journal, 2011, 21(12): 970-978. DOI:10.1016/j.idairyj.2011.06.005.
- [6] NOGUEIRA M C L, LUBACHEVSKY G, RANKIN S A. A study of the volatile composition of Minas cheese[J]. Lebensmittel Technology, 2005, 38(5): 555-563. DOI:10.1016/j.lwt.2004.07.019.
- [7] URGEGHE P P, PIGA C, ADDIS M, et al. SPME/GC-MS characterization of the volatile fraction of an Italian PDO sheep cheese to prevalent lypolitic ripening: the case of Fiore Sardo[J]. Food Analytical Methods, 2012, 5(4): 723-730. DOI:10.1007/s12161-011-9302-5.

- [8] 张硕, 王玉田, 孟鑫. 内源性脂肪酶对奶酪风味的作用及风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 100-104. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.06.054.
- [9] 衣宇佳. 国产类契达干酪的风味研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 6-26.
- [10] 郭萌萌. 硬质干酪加工工艺及风味物质的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2014: 15-45.
- [11] 王蓓, 张国华, 王娟, 等. SPME-GC-MS分析内蒙古地区传统奶豆腐中挥发性风味组分[J]. 现代食品科技, 2015, 31(12): 378-386. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.12.056.
- [12] 马艳丽, 曹雁平, 杨贞耐, 等. SPME-GC-MS检测不同中西方奶酪的挥发性风味物质及比较[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 103-107. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201320020.
- [13] DELGADO F J, GONZÁLEZ-CRESPO J, CAVA R, et al. Formation of the aroma of a raw goat milk cheese during maturation analysed by SPME-GC-MS[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 1156-1163. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.05.096.
- [14] 江丽红, 周颖喆, 洪青. 市售陈年切达奶酪风味特征及消费者喜好度研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 275-279. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.23.050.
- [15] 马艳丽, 曹雁平, 郑福平, 等. 奶酪的风味组分研究进展[J]. 中国乳品工业, 2013, 41(5): 36-39.
- [16] ZHENG X J, LI K X, ZHUGE B, et al. Potential characterization of yeasts isolated from Kazak artisanal cheese to produce flavoring compounds[J]. Microbiologyopen, 2018, 7(1): e00533. DOI:10.1002/mbo3.533.
- [17] ZHENG X J, LIU F, ZHUGE B, et al. Dynamic correlations between microbiota succession and flavor development involved in the ripening of Kazak artisanal cheese[J]. Food Research International, 2018, 105: 733-742. DOI:10.1016/j.foodres.2017.12.007.
- [18] ZHU J C, CHEN F, WANG L Y, et al. Evaluation of the synergism among volatile compounds in Oolong tea infusion by odour threshold with sensory analysis and E-nose[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 1484-1490. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.11.002.
- [19] LI N, ZHENG F P, CHEN H T, et al. Identification of volatile components in Chinese Sinkiang fermented camel milk using SAFE, SDE, and HS-SPME-GC/MS[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 1242-1252. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.03.115.
- [20] XU E, LONG J, WU Z, et al. A characterization of volatile flavor compounds in Chinese rice wine fermented from enzymatic extruded rice[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(7): 1476-1489. DOI:10.1111/1750-3841.12935.
- [21] DRAKE M A, MIRACLE R E, MCMAHON D J. Influence of fat on flavour and flavour development in Cheddar cheese[J]. Australian Journal of Dairy Technology, 2010, 65(3): 195-199.
- [22] ORDIALES E, MARTÍN A, BENITO M J, et al. Role of the microbial population on the flavor of the soft-bodied cheese Torta del Casar[J]. Journal of Dairy Science, 2013, 96(9): 5477-5486. DOI:10.3168/jds.2013-6587.
- [23] CURIONI P M G, BOSSET J O. Key odorants in various cheese types as determined by gas chromatography-olfactometry[J]. International Dairy Journal, 2002, 12(12): 959-984. DOI:10.1016/S0958-6946(02)00124-3.
- [24] MCSWEENEY P L H. Biochemistry of cheese ripening[J]. International Journal of Dairy Technology, 2004, 57(3): 127-144.
- [25] MOLIMARD P, SPINNLER H E. Review: compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses-origins and properties[J]. Journal of Dairy Science, 1996, 79(2): 169-184. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(96)76348-8.
- [26] FOX P F, MCSWEENEY P L H, UNIACKE-LOWE T, et al. Dairy chemistry and biochemistry[M]. Switzerland: Springer, 2015: 499-545.
- [27] CASTILLO I, CALVO M V, ALONSO L, et al. Changes in lipolysis and volatile fraction of a goat cheese manufactured employing a hygienized rennet paste and a defined strain starter[J]. Food Chemistry, 2007, 100(2): 590-598. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.09.081.
- [28] NOGUEIRA M C L, LUBACHEVSKY G, RANKIN S A. A study of the volatile composition of Minas cheese[J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(5): 555-563. DOI:10.1016/j.lwt.2004.07.019.
- [29] PLUTOWSKA B, WARDENCKI W. Aromagrams-aromatic profiles in the appreciation of food quality[J]. Food Chemistry, 2007, 101: 845-872. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.12.028.
- [30] MARTIN N, BERGER C, SPINNLER H E. Sensory and instrumental flavor analyses of cheese curd cocultured with selected yeast and bacteria[J]. Journal of Sensory Studies, 2002, 17(1): 1-17. DOI:10.1111/j.1745-459X.2002.tb00328.x.