

冷冻干燥与恒温干燥牦牛肉风味物质对比研究

赵娟红¹, 罗 章², 马美湖³, 辜雪冬², 张素红¹, 杨 林², 孙术国^{1,*}

(1.中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004; 2.西藏农牧学院食品科学学院, 西藏 林芝 860000;
3.华中农业大学食品科学与技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要:为改善西藏牦牛肉的风味, 研究干燥方式对牦牛肉风味的影响。选用固相微萃取技术富集通过不同干燥方式(冷冻干燥、常压恒温干燥)获得的牦牛肉中的风味物质, 利用气相色谱-质谱仪进行分离和检测。结果表明: 冷冻干燥牦牛肉中检测出138种风味物质, 恒温干燥烘干的牦牛肉中检测出157种风味物质; 2种干燥方式获得的牦牛肉的风味物质种类和含量均存在差异; 2种牦牛肉中的主要风味物质为烃类、环烃类、酸类、芳香类、含硫化合物、醇类、酯类、醛类及酮类物质, 牦牛肉风味的形成是上述风味物质综合作用的结果; 2种干燥方式获得的干牦牛肉的风味物质差异主要体现在烃类、酯类和脂肪酸的含量上, 与冷冻干燥相比, 水煮熟后恒温干燥牛肉中烃类物质的含量减少32.50%, 酯类物质增加14.29%, 脂肪酸增加3.60%; 冷冻干燥牛肉的主要风味物质为角鲨烯(67.66%)、庚烷(2.32%)、*D*-柠檬烯(2.15%)、*N*-棕榈酸(13.67%)、2-乙基十四烷基酯(1.70%)、油酸(2.37%)和硬脂酸(2.47%); 水煮熟后恒温干燥牛肉的主要风味物质为*D*-柠檬烯(30.04%)、*N*-棕榈酸(19.30%)、十四烷基酯(5.00%)、乙醛(0.40%)和环十五烷酮(3.05%)。

关键词:牦牛肉; 冷冻干燥; 常压干燥; 固相微萃取; 气相色谱-质谱

Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analysis of Flavor Compounds of Freeze-Dried and Thermostatically Dried Yak Meat

ZHAO Juanhong¹, LUO Zhang², MA Meihu³, GU Xuedong², ZHANG Suhong¹, YANG Lin², SUN Shuguo^{1,*}

(1.College of Food Science and Engineering, Center South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;
2.College of Food Science, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Nyingchi 860000, China;
3.College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The effect of drying methods on the formation of flavor compounds in yak meat was investigated in order to improve the flavor of Tibetan yak meat. The flavor compounds of freeze-dried and thermostatically dried yak meat were analyzed by solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that a total of 138 and 157 flavor compounds were identified from freeze-dried and thermostatically dried yak meat, respectively. Both the types and amounts of flavor compounds in the meat samples, especially the amounts of esters, hydrocarbons and fatty acids were different. The major compounds that contributed to the flavor of the two samples were hydrocarbons, cyclic hydrocarbons, acids, aromatics, sulfur compounds, alcohols, esters, aldehydes and ketones. Water boiling followed by thermostatic drying decreased hydrocarbons by 32.50%, and increased esters by 14.29% and fatty acids by 3.60% compared with freeze drying. The main flavor compounds of freeze-dried yak meat were heptane (2.32%), *D*-limonene (2.15%), squalene (67.66%), *N*-palmitic acid (13.67%), 2-ethyltetradecyl ester (1.70%), oleic acid (2.37%) and stearic acid (2.47%), while those of boiled and dried yak meat were *D*-limonene (30.04%), *N*-palmitic acid (19.30%), acetaldehyde (0.40%) and cyclopentadecanone (3.05%).

Keywords: yak meat; freeze drying; ambient pressure drying; headspace solid-phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry

DOI:10.7506/rlj1001-8123-201803008

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2018) 03-0040-06

收稿日期: 2017-12-16

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(31360367); 国家自然科学基金面上项目(31571911);

西藏自治区重点科研项目(ZD20170014)

第一作者简介: 赵娟红(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品贮藏保鲜。E-mail: 2681470419@qq.com

*通信作者简介: 孙术国(1977—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品贮藏保鲜。E-mail: sshuguo@163.com



引文格式:

赵娟红, 罗章, 马美湖, 等. 冷冻干燥与恒温干燥牦牛肉风味物质对比研究[J]. 肉类研究, 2018, 32(3): 40-45. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201803008. <http://www.rlyj.pub>

ZHAO Juanhong, LUO Zhang, MA Meihu, et al. Gas chromatography-mass spectrometry analysis of flavor compounds of freeze-dried and thermostatically died yak meat[J]. Meat Research, 2018, 32(3): 40-45. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201803008. <http://www.rlyj.pub>

牦牛是主要分布在青海-西藏高原和我国周边地区的稀缺宝贵物种, 被誉为“高原之宝”, 是西藏地区农牧民重要的生活资料、生产工具和交通工具, 具有较高的开发价值^[1]。牦牛肉蛋白质和矿物质含量丰富、脂肪含量低、营养价值高、肉质鲜美^[2-3]。由于西藏远离内陆, 保鲜和运输是限制西藏地区牦牛肉进入内陆地区的主要因素, 内陆的消费者很难吃到这种美味且营养丰富的牛肉。因此在西藏, 人们常将牦牛肉制成肉干等干制品, 既有利于产品保存, 又有利于牦牛肉的长时间、远距离运输。采用冷冻干燥方法得到的牦牛肉产品能够克服自然风干牦牛肉质地紧密、颜色暗沉、营养损失较大等缺点, 最大限度保留牦牛肉原有的色、香、风味和营养成分^[4]。牦牛肉经干燥之后可以提高其安全性和稳定性, 而且不利于有害微生物的生长繁殖。李美君等^[5]研究发现, 经过恒温干燥的羊肉色泽较红润, 生物胺含量较低, 有利于产品贮藏。近年来, 顶空-固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME)已被广泛应用于各类肉制品中风味物质成分的提取, 相比于过去使用较多的蒸馏萃取^[6]和减压蒸馏萃取, HS-SPME法更简单、灵敏度高、减少了人为误差, 且不需要任何有机溶剂, 缩短了繁琐的样品前处理过程^[7]。

通过不同干燥方式获得的干牦牛肉中的风味物质千差万别, 种类繁多, 这些风味物质决定了牦牛肉的风味特征^[8-9]。本研究利用SPME技术对干燥牦牛肉进行挥发性风味物质富集, 用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)法进行组分分析, 准确了解通过冷冻干燥与恒温干燥2种干燥方式获得的牦牛肉的主要风味物质组成与特点, 为牦牛肉制品的加工提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

从西藏林芝地区肉牛屠宰场随机选取生长发育正常、健康无病、2~3岁龄的成年公牦牛进行屠宰, 牦牛平均体质量200~300 kg, 以臀部肉为研究对象。

1.2 仪器与设备

AR 2140分析天平 美国奥豪斯公司; FD-18S冷冻干燥机 北京德天佑科技发展有限公司;

ORW2S-3Z微波干燥器 南京澳润微波科技有限公司; G8023DHL-V8微波炉 广东格兰仕集团有限公司。

1.3 方法

1.3.1 干牦牛肉的制备

冷冻干燥牛肉: 将新鲜牦牛肉在-18℃条件下冻结, 冷冻干燥48 h, 置于4℃的干燥环境条件下存放备用。

水煮后恒温干燥牛肉: 将牦牛肉切成2 cm见方的肉块, 称取约10 g, 置于300 mL饮用水中(每组8块肉), 添加质量浓度为0.5 g/100 mL的食盐, 混合均匀, 采用常压水煮, 使肉块中心温度达到75℃。冷却后, 将样品在60℃恒温干燥箱中烘干至与冷冻干燥产品具有相同的含水量(15%); 取出样品, 于4℃的干燥环境条件下存放备用。

1.3.2 取样

参照GB/T 9695.19—2008《肉与肉制品 取样方法》^[10]。将样品真空包装后置于4℃条件下, 备用, 取样后及时分析, 样品保藏时间不超过7 d。

1.3.3 挥发性风味物质的提取

取熟牛肉样品, 在5~10℃条件下将其迅速斩拌成直径为0.3~0.5 mm的肉糜; 准确称取肉糜8 g, 装入15 mL顶空萃取瓶(15 cm×1 cm)中, 采用静态HS-SPME方法进行风味物质的提取。将复合式碳分子筛/聚二甲甲基硅氧烷(carboxen/polydimethylsiloxane, Car/PDMS)萃取头(美国Supelco公司, 涂膜厚度75 μm, 涂层为Car/PDMS)插入密封的萃取瓶内, 萃取头暴露在瓶内样品上部的顶空中, 于50℃条件下萃取40 min。

1.3.4 风味物质的鉴定

参考罗章等^[11]的方法, 并稍作修改。J&W Scientific DB-5MS毛细管柱, 柱长60 m, 内径0.32 mm, 膜厚1 μm, 涂层为多聚(二甲酯双氧基)多聚(1,4-双(二甲甲基硅氧烷基)次苯基)硅氧烷; 载气为氦气; 进样口温度250℃, 采用不分流进样模式, 不分流时间为2 min; 柱流速2 mL/min, 分流比10:1; 采用三阶段式程序升温: 初始温度40℃, 保持1 min; 从40℃升温至130℃, 升温速率5℃/min; 从130℃升温至200℃, 升温速率8℃/min; 从200℃升温至250℃, 升温速率12℃/min, 并于250℃保持7 min。

MS条件: 电子轰击(electron impact, EI)离子源, 发射电流200 μA, 电子能量70 eV, 接口温度250℃, 离

子源温度200 ℃, 质量扫描范围33~450 m/z , 检测电压350 V。

1.3.5 风味物质的MS分析

利用计算机将样品的MS数据和MAINLIB、NISTDEMO、REPLIB、WILEY 4个标准谱库中的数据进行比对, 以相似指数和反相似指数均大于800作为定性依据, 以环己酮作为内标物进行定量。

1.4 数据处理

利用SPSS软件对实验数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 冷冻干燥和水煮后恒温干燥牦牛肉的风味化合物测定结果

牦牛肉经真空冷冻干燥和恒温干燥后, 获得的产品经GC-MS分析, 结果如图1~2所示, 牦牛肉中共检测出风味化合物138种, 匹配度较高的组分如表1所示。

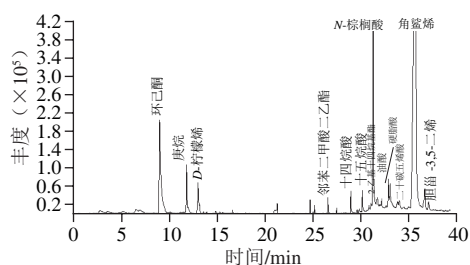


图1 冷冻干燥牦牛肉的总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion current chromatogram for freeze-dried yak meat

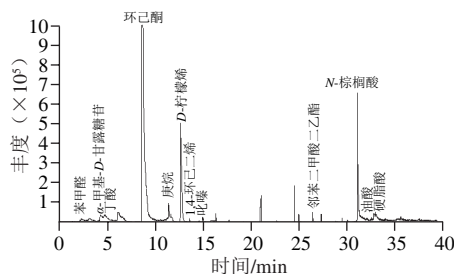


图2 常压水煮后恒温干燥牦牛肉的总离子流色谱图

Fig. 2 Total ion current chromatogram for cooked and dried yak meat

表1 冷冻干燥和常压水煮后恒温干燥牦牛肉的主要风味成分

Table 1 Main volatile compounds in two dried yak meat

风味物质类别	冷冻干燥		恒温干燥	
	风味物质名称	含量/($\mu\text{g/L}$)	风味物质名称	含量/($\mu\text{g/L}$)
烃类	2,4-二烯	0.21	1,2-二甲氧基-乙烯	0.94
	1,3-环戊二烯	0.04	正庚烷	1.64
	1-环辛烯-5-炔	0.11	3-甲基-1-戊烯	0.01
	2-己烯	0.11	D-柠檬烯	12.00
	庚烷	11.30	丁烷	0.04
	2,2,4,4-四甲基戊烷	0.70	1,4-戊二烯	0.15

续表1

风味物质类别	冷冻干燥		恒温干燥	
	风味物质名称	含量/($\mu\text{g/L}$)	风味物质名称	含量/($\mu\text{g/L}$)
环烃类	D-柠檬烯	10.43	丙烷	0.03
	辛烷	0.36	正己烷	0.04
	1-丙烯	0.04	1-丙烯	0.01
	1,5-庚二烯-3-炔	0.11	9-十八烯	0.05
	十六碳烯	1.60	十四烷	0.24
	角鲨烯	328.28	17-三十五烷	0.44
	4-癸烯	0.12	6-十四(碳)烯	0.18
	三十五烯炔	0.26	3-二十碳烯	0.07
	十八烯炔	0.03	7-十四烯	0.04
	总计	353.70	1-癸烯	0.04
			9-二十碳烯	0.02
			9-十八烯	0.01
			十二烷	0.19
			总计	16.14
	苯并[c]吡啶	0.03	1,4-二恶烷	1.28
	3-甲基咪唑	0.13	1H-咪唑	0.05
	吡啶并[2,3-d]嘧啶	0.09	吡啶并[2,3-d]嘧啶	0.16
	4-苯基-3,4-二氢异喹啉	0.20	六氢吡啶	0.02
	甲氧基-3-甲基咪唑	0.01	5H-萘并[2,3-c]咪唑	0.09
	环己烷	0.06	3,6-双(N-二甲氨基)-9-乙基咪唑	0.06
	环庚烷	0.06	4-6-甲基-3-[氨基]-1,2-萘醌	0.04
	乙叉环己烯	0.23	吡啶	0.07
	5H-萘并[2,3-c]咪唑	0.11	4-苯基-吡啶并[2,3-d]嘧啶	0.15
	1-甲基环己-1,3-二烯	0.07	氮丙啶	0.03
	吗啡喃	0.05	双环[1.1.0]丁烷	0.04
	氮杂环丁烷	0.09	环己烯	0.05
	3-萘烯	0.21	1,4-环己二烯	0.37
	咪唑	0.04	吡嗪	0.36
	6H-嘌呤	0.51	环庚烷	0.05
	双环[5.1.0]辛烷	0.01	1-甲基-双(1,2,4)-三唑	0.02
	环十一烷	0.09	3-哌啶	0.01
	丁基甲苯	0.87	三嗪	0.02
	环氧乙烷	0.13	1,1'-环丙烯	0.01
	4,5-二氢三嗪	0.02	胍基吡嗪	0.02
	1,3,5-环庚三烯	0.09	环氧乙烷	0.28
	氮丙啶	0.14	2-哌啶	0.03
	1-丙烯基氮丙啶	0.02	环戊烷	0.04
	1-氮杂双环[3.1.0]己烷	0.05	总计	3.25
脂肪酸	氧杂环丙烷	0.02		
	总计	3.33		
	丁基羧酸	0.06	巴豆酸	0.03
	吡啶-9-羧酸	0.10	戊酸	0.29
	苯乙酸	0.07	丁酸	1.38
	9-十六碳烯酸	0.30	醋酸	0.01
	苯甲酸	0.73	3-巯基丙酸	0.05
	十四烷酸	4.54	2-[P-氟苯基]-6-甲基辛	0.04
	二十碳二烯酸	0.54	可宁酸	0.03
	十五烷酸	4.75	硬脂酸	0.01
	N-棕榈酸	66.31	丙酸	0.24
	十七烷酸	3.19	十四烷酸	0.23
	油酸	11.49	十烷酸	7.71
	硬脂酸	11.97	N-棕榈酸	0.07



续表1

风味物质类别	冷冻干燥		恒温干燥	
	风味物质名称	含量/($\mu\text{g/L}$)	风味物质名称	含量/($\mu\text{g/L}$)
芳香类	乙酸	0.45	11-十四烯酸	0.07
	二十碳五烯酸	4.51	己二酸	0.30
	蒲桃酸	0.41	总计	10.45
	十六碳烯酸	0.06		
	总计	109.48		
	3,5-二甲基苯醛氨基硫羰基胺	0.25	二丁基羟基甲苯	0.20
	苯并吡咯	0.05	4-氨基-5-(4-乙酰苯基偶氮)苯并咪唑	0.15
	4-氨基-5-(4-乙酰偶氮)苯并咪唑	0.08	总计	0.35
	苯并咪唑	0.02		
	苯并氮杂卓	0.07		
含硫化合物	苯并[1,4]噻嗪	0.10		
	总计	0.57		
	硫脲	0.30	环硫乙烷	0.05
	2-环戊烯-1-硫酮	0.13	总计	0.05
	二叔十二烷基二硫化物	0.35		
	总计	0.78		
	1,6-二脱氧半乳糖醇	0.36	环戊醇	0.20
	1,6-二脱氧-1-甘露糖醇	0.15	1-辛醇	0.05
	3-甲基环氧甲醇	0.08	十二烷基异丙醇	0.18
	1,2,3-环己六醇	0.09	1-十六醇	0.17
醇类	2-吡啶甲醇	0.09	环烷甲醇	0.05
	1-丙醇	0.07	2-十二醇	0.02
	1-十九醇	0.10	1-二十四醇	0.04
	环戊基乙醇	0.13	总计	0.71
	十六四烯-1-醇	0.76		
	总计	1.82		
	乙酸乙酯	0.23	辛酯	0.30
	2-乙基丁酸烯丙酯	0.45	邻苯二甲酸二乙酯	0.41
	叔丁基二甲基酯	0.18	环丁基十八酯	0.16
	己酸乙酯	0.49	烯丙基十八烷基酯	0.18
酯类	草酸己酯	0.05	十八烷基酯	1.75
	6-乙基-3-辛酯	0.05	十四烷基酯	2.00
	烯丙基辛酯	0.15	十二烷基酯	0.52
	邻苯二甲酸二乙酯	2.39	十七(烷)酯	1.17
	十五烷基酯	0.07	3-十四烷基酯	0.12
	环丁基十八酯	0.08	十六酯	0.17
	异丁基十四烷基酯	0.22	烯丙十一(烷)酯	0.04
	2-乙基十四烷基酯	8.31	N-十五烷基-1-酯	0.04
	十八烷基酯	0.42	总计	6.87
	辛酯	0.14		
脂族醛	壬酯	0.04		
	十八烷基酯	0.07		
	反-10-十二烯醇乙酸酯	0.53		
	十七(烷)一酯	0.07		
	十四烷基酯	0.03		
	癸酯	0.15		
	总计	14.13		
	苯甲醛	0.37	苯甲醛	0.07
	5-降癸烷-2-羧酸醛	0.10	乙醛	0.16
	乙醛	0.05	1H-吡啶-3-甲醛	0.03
脂族醛	2-己烯醛	0.05	总计	0.26
	乙烯醛	0.20		
	总计	0.77		

续表1

风味物质类别	冷冻干燥		恒温干燥	
	风味物质名称	含量/($\mu\text{g/L}$)	风味物质名称	含量/($\mu\text{g/L}$)
酮类	环己酮(标准品)	50.00	环己酮(标准品)	26.17
	2-癸甲基酮	0.10	2-环戊烯-1-硫酮	0.02
	4-甲氧基二苯甲酮	0.13	环己烷-1,3-二酮	0.01
	4,4-二甲氧基查耳酮	0.03	1,3-二氧杂环戊烯-2-酮	0.13
	1,2,3-三甲苯吡喃酮	0.04	2-咪唑啉酮	0.06
	麝香酮	0.34	[1,2-b]异噻啉-6-一酮	0.07
	总计	0.64	1,3-二氧杂环戊烯-2-酮	0.02
			1H-异吡啶-1,3(2H)-二酮	0.07
			环己烷-1,3-二酮	0.02
			2-硫代咪唑啉酮	0.05
酮类			2-环戊烯-1-硫酮	0.08
			5H-异吡啶[1,2-b][3]苯并氮杂-5-酮	0.07
			噻吩-2,6-二酮	0.01
			环十五烷酮	1.22
			总计	1.87

由图1和表1可知,冷冻干燥牦牛肉含烃类物质15种、环烃类25种、酸类16种、芳香类6种、含硫化合物3种、醇类9种、酯类20种、醛类5种、酮类5种。牛肉在煮熟及干燥过程中经历了脂肪氧化^[12]、蛋白质变性和降解以及非酶褐变^[13],这些过程对牛肉干风味的形成至关重要。由图2和表1可知,经煮熟后恒温干燥得到的牦牛肉中共检测出157种风味物质,包括烃类物质19种、环烃类23种、酸类14种、芳香类2种、含硫化合物1种、醇类7种、酯类12种、醛类3种、酮类13种。

2.2 不同方式干燥牦牛肉的风味物质特点

2.2.1 烃类化合物

牦牛肉中对牛肉风味贡献较大的物质是烃类、脂肪酸、醛类和酯类^[14],经过冷冻干燥之后,这些物质的含量占总风味物质含量的98.52%,经常压煮熟恒温干燥之后占84.40%。从风味物质类别上比较,通过2种干燥方式获得的产品风味物质中,烃类、酯类、酮类物质的相对含量有很大差别。对于烃类物质来说,冷冻干燥干牛肉的烃类物质含量为72.90%,水煮熟恒温干燥干牛肉为40.40%。冷冻干燥干牛肉中角鲨烯含量极高,达328.28 $\mu\text{g/L}$,但是常压煮熟恒温干燥牦牛肉中不含角鲨烯,可以推测,热处理促进了牦牛肉中角鲨烯的降解。角鲨烯一般是从栖息在深海环境中的大型鲨鱼肝脏中提取出的天然活性物质^[15],陆地上其他动物,譬如猪、羊体内虽然也含有,但含量极低($<10.00 \mu\text{g/L}$),西藏高原地区牦牛肉中角鲨烯的高含量能部分解释牦牛在高原缺氧的情况下仍能维持机体正常运转^[16]。冷冻干燥干牛肉中D-柠檬烯的含量为10.43 $\mu\text{g/L}$,D-柠檬烯赋予干牛肉一定的果香味^[17],冷冻干燥之后的牛肉中,D-柠檬烯的含量占2.15%,水煮熟后恒温干燥牛肉中的D-柠檬烯占30.04%。3-萜烯赋予牛肉干松木的香味^[18]。水煮熟后恒温干燥牦牛肉的脂肪烃和脂环烃在干牛肉风味组分中所占

的比例较高,达40%以上,虽然它们的香气阈值较高,但由于其含量高,因此能够促进牦牛肉肉味的产生^[19]。

2.2.2 醛、酯类化合物

醛类物质是牛肉特征风味的来源之一,其来自于脂肪氧化,尽管醛类物质在干牛肉中含量较低,但其香气阈值很低^[20],具有脂肪香味^[21],因此主导了干牛肉的风味,譬如苯甲醛赋予牛肉一定的类似苦杏仁的香气,己烯醛具有绿叶清香和水果香气^[22],常压煮熟恒温干燥牦牛肉的苯甲醛、乙醛相对含量比冷冻干燥牦牛肉高,这几种醛类物质赋予牛肉愉快的甜香味和水果味^[23]。

酸、醇来源于脂肪的氧化降解,脂肪酸和醇缩合形成酯,一般认为除内酯和硫酯以外的酯阈值较高。酯类以油香气息占主导^[24],与冷冻干燥干牛肉相比,水煮熟后恒温干燥牦牛肉的最大变化是脂肪酸含量由109.48 $\mu\text{g/L}$ 降至10.45 $\mu\text{g/L}$,说明脂肪在加热过程中发生氧化反应,生成了其他物质,譬如形成短链脂肪酸、饱和脂肪醛及多不饱和脂肪醛等^[25]。冷冻干燥牦牛肉中的酯类物质含量占总风味化合物含量的2.91%,其中乙酸乙酯具有醚香、甜如菠萝的果香及葡萄、樱桃香韵,同时还有酒味,可能是对牦牛肉干风味有贡献的化合物^[26]。水煮熟恒温干燥牦牛肉的酯类物质的百分含量比冷冻干燥牦牛肉高14.29%,很多酯类物质的风味阈值非常低,虽然其含量不高,但是对风味的贡献很大。

2.2.3 含硫化合物、芳香类化合物

含氮、含硫或杂环类化合物主要来自美拉德反应的产物或氨基酸的热解,阈值较低,是肉品中最重要的呈味物质^[27]。含硫化合物赋予干牛肉类似卷心菜的香气,经过2种方式干燥后的牛肉中含硫化合物种类有很大差别。冷冻干燥牛肉中检测出3种含硫化合物,水煮熟后恒温干燥牛肉中仅检测出1种。

在较高的温度下,糖会发生焦糖化反应,生成糠醛、甲基糠醛,再进一步加热,便会产生具有芳香气味的呋喃衍生物、羰基化合物、醇类、脂肪烃和芳香烃类物质,产生非常强烈的肉香气^[28]。芳香类物质在干牛肉中种类少、含量低,由于其香气阈值较低,因此对肉香风味能起到增效作用^[29]。与冷冻干燥牛肉相比,水煮熟后恒温干燥牛肉中的芳香类物质种类减少,但是其含量提高,比冷冻干燥牛肉高0.76%。

2.2.4 酮、醇类化合物

酮类和醇类风味组分由高温条件下的脂肪氧化产生,这些化合物赋予牦牛肉甜香味、焦糖香味、清香和果香^[30]。与冷冻干燥牛肉相比,水煮熟后恒温干燥牛肉中酮类物质的种类和含量均增加,其中含量增加了4.55%。水煮熟后恒温干燥牛肉中醇类物质的含量比冷冻干燥牛肉高1.59%,但是由于醇类物质的风味阈值较高,其对牛肉风味的贡献并不大^[31]。

3 结 论

选用SPME技术富集通过不同干燥方式(冷冻干燥、常压恒温干燥)获得的牦牛肉中的风味物质,利用GC-MS进行分析。结果表明:冷冻干燥牦牛肉中检测出138种风味物质,恒温干燥烘干的牦牛肉中检测出157种风味物质;2种干燥方式获得的牦牛肉的风味物质种类和含量均存在差异;2种牦牛肉中的主要风味物质为烃类、环烃类、酸类、芳香类、含硫化合物、醇类、酯类、醛类及酮类物质,牦牛肉风味的形成是上述风味物质综合作用的结果;2种干燥方式获得的干牦牛肉的风味物质差异主要体现在烃类、酯类和脂肪酸的含量上,与冷冻干燥相比,水煮熟后恒温干燥牛肉中烃类物质的含量减少32.50%,酯类物质增加14.29%,脂肪酸增加3.60%;冷冻干燥牛肉的主要风味物质为角鲨烯(67.66%)、庚烷(2.32%)、*D*-柠檬烯(2.15%)、*N*-棕榈酸(13.67%)、2-乙基十四烷基酯(1.70%)、油酸(2.37%)和硬脂酸(2.47%);水煮熟后恒温干燥牛肉的主要风味物质为*D*-柠檬烯(30.04%)、*N*-棕榈酸(19.30%)、十四烷基酯(5.00%)、乙醛(0.40%)和环十五烷酮(3.05%);与冷冻干燥相比,水煮熟后恒温干燥的牦牛肉风味物质更加丰富,赋予牦牛肉更特殊的风味。

参考文献:

- [1] TIAN Jiachun, HAN Ling, YU Qunli, et al. Changes in tenderness and cathepsins activity during postmortem ageing of yak meat[J]. Canadian Journal of Animal Science, 2013, 93: 321-328. DOI:10.4141/cjas2012-102.
- [2] 闫忠心, 靳义超, 李升升. 青藏高原牧区风干牦牛肉的营养品质分析[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2017, 47(1): 20-23.
- [3] 郎玉苗, 张睿, 谢鹏, 等. 电刺激和成熟对冷剔剔骨牦牛肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(3): 177-185. DOI:10.16429/j.1009-7848.2017.03.022.
- [4] 姚开, 何强, 贾冬英, 等. 牦牛肉冷冻干燥过程的研究[J]. 食品与发酵工业, 2001(10): 46-48.
- [5] 李美君, 王德宝, 杨帆, 等. 不同干燥方式对羊肉干的影响及其研究[J]. 食品工业, 2015, 36(1): 127-129.
- [6] SONG Shiqi, TANG Qi, FAN Li, et al. Identification of pork flavour precursors from enzyme-treated lard using Maillard model system assessed by GC-MS and partial least squares regression[J]. Meat Science, 2017, 124: 15-24. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.10.009.
- [7] LAMMERS M, DIETZE K, TERNES W, et al. A comparison of the volatile profiles of frying European and Australian wide boar meat with industrial genotype pork by dynamic head space-GC/MS analysis[J]. Journal of Muscle Foods, 2009, 20(3): 255-274. DOI:10.1111/j.1745-4573.2009.00146.x.
- [8] AZIZ N H, MAHROUS S R, YOUSSEF B M. Effect of gamma-ray and microwave treatment on the shelf-life of beef products stored at 5 $^{\circ}\text{C}$ [J]. Food Control, 2002, 13(6/7): 437-444. DOI:10.1016/S0956-7135(01)00049-4.
- [9] 王瑞花, 姜万舟, 汪倩, 等. 烹制方法对猪肉脂质氧化和挥发性风味物质的作用研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(1): 175-182. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.1.028.



- [10] 中国商业联合会商业标准中心, 国家加工食品质量监督检验中心(广州), 广州市产品质量监督检验所. 肉与肉制品 取样方法: GB/T 9695.19—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [11] 罗章, 马美湖, 孙术国, 等. 西藏种萨牦牛与犏牛挥发性风味组分比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 325-328. DOI:10.1080/10408398109527309.
- [12] ZENG Xiaodong, BAI Weidong, LU Changhai, et al. Effects of composite natural antioxidants on the fat oxidation, textural and sensory properties of cantonese sausages during storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(2). DOI:10.1111/jfpp.13010.
- [13] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424. DOI:10.1016/S0308-8146(98)00076.
- [14] HARTMAN G J, JIN Q Z, COLLINS G J, et al. Nitrogen-containing heterocyclic compounds identified in the volatile flavor constituents of roasted beef[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983, 31(5): 1030-1033. DOI:10.1021/jf00119a027.
- [15] SHIBATA Y, OHKO K, SERADA S, et al. Analysis of the major epitope for multiple fish allergy in a patient with atopic dermatitis[J]. Journal of Investigative Dermatology, 2017, 137(10): S280. DOI:10.1016/j.jid.2017.07.710Y.
- [16] APPS P, CLAASE M, YEXLEY B, et al. Interspecific responses of wild African carnivores to odour of 3-mercapto-3-methylbutanol, a component of wildcat and leopard urine[J]. Journal of Ethology, 2017, 35(2): 153-159. DOI:10.1007/s10164-016-0503-7.
- [17] LEGAKO J F, DINH T T, MILLER M F, et al. Consumer palatability scores, sensory descriptive attributes, and volatile compounds of grilled beef steaks from three USDA quality grades[J]. Meat Science, 2016, 112: 77-85. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.10.018.
- [18] GHABRAIE M, VU K D, TATA L, et al. Antimicrobial effect of essential oils in combinations against five bacteria and their effect on sensorial quality of ground meat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 332-339. DOI:10.1016/j.lwt.2015.10.055.
- [19] LORENZO J M, DOMÍNGUEZ R. Cooking losses, lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat as affected by cooking procedure[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2014, 29(4): 240-248. DOI:10.1016/j.lwt.2014.04.006.
- [20] 张丽文, 罗瑞明, 李亚蕾, 等. 响应面法优化固相微萃取-气质联用检测干切牛肉挥发性风味物质[J]. 中国调味品, 2016, 41(7): 122-127.
- [21] KERTH C R, MILLER R K. Beef flavor: a review from chemistry to consumer[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(14): 2783-2798. DOI:10.1002/jsfa.7204.
- [22] JI Siru, GU Saiqi, WANG Xichang, et al. Comparison of olfactometrically detected compounds and aroma properties of four different edible parts of Chinese mitten crab[J]. Fisheries Science, 2015, 81(6): 1157-1167.
- [23] SONG S Q, TANG Q, KHIZAR H, et al. Effect of enzymatic hydrolysis with subsequent mild thermal oxidation of tallow on precursor formation and sensory profiles of beef favours assessed by partial least squares regression[J]. Meat Science, 2014, 96(3): 1191-1200. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.11.008.
- [24] WEE Y J, KIM J N, RYU H W. Biotechnological production of lactic acid and its recent applications[J]. Food Technology and Biotechnology, 2006, 44(2): 163-172.
- [25] WOCHESLANDER S, EISENREICH W, SCHOLZ B, et al. Identification of acyl chain oxidation products upon thermal treatment of a mixture of phytosteryl/-stanyl linoleates[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(48): 9214-9223. DOI:10.1021/acs.jafc.6b04326.
- [26] 周蓓蓓, 杨松, 尤逢, 等. 酱牛肉挥发性风味物质研究[J]. 农产品加工, 2014(12): 47-49. DOI:10.3969/jissn.1671-9646(X).2014.12.014.
- [27] WANG Xiaodan, ZHU Lingtao, HAN Yunxiu, et al. Analysis of volatile compounds between raw and cooked beef by HS-SPME-GC-MS[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 40: e13503. DOI:10.1111/jfpp.13503.
- [28] FRANK D, BALL A, HUGHES J, et al. Sensory and flavor chemistry characteristics of Australian beef: influence of intramuscular fat, feed, and breed[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(21): 4299-4311. DOI:10.1021/acs.jafc.6b00160.
- [29] LU F, KUHNLE G K, CHENG Q. Heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial ready-to-eat meat products on UK market[J]. Food Control, 2017, 73: 306-315. DOI:10.1016/j.foodcont.2016.08.021.
- [30] BILLER E, BOSELLI E, OBIEDZIŃSKI M, et al. Volatile compounds formed under the surface of broiled and frozen minced cutlets: effects of beef to pork ratio and initial pH[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20: 1306-1318. DOI:10.1080/10942912.2017.1343345.
- [31] WANG Jun, SHENG Kuichuan. Far-infrared and microwave drying of peach[J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(3): 247-255. DOI:10.1016/j.lwt.2005.02.001.