

不同贮藏方式对手抓藏羊肉风味物质的影响

方婕, 孙万成*, 罗毅皓, 孙扬
(青海大学农牧学院, 青海西宁 810000)

摘要: 以藏羊羊排为原料制作手抓藏羊肉, 探讨不同贮藏温度和贮藏时间对手抓藏羊肉食用品质和风味衰减的影响, 发现冷冻贮藏能最大程度地减少手抓藏羊肉食用品质的劣变。利用顶空固相微萃取 (SPME) 和气相色谱-质谱法 (GC-MS) 的检测方法, 对手抓藏羊肉中的挥发性风味物质进行检测。检测结果表明最佳工艺方法制作的手抓藏羊肉共检测出 23 种风味物质, 主要为醛类、烷烃、酯类、酮类、醇类、烯烃、呋喃等; 各贮藏条件对手抓藏羊肉的食用品质和风味衰减的影响顺序为: 贮藏温度: 常温 (25 °C) > 冷藏 (4 °C) > 冷冻 (-20 °C), 贮藏时间: 72 h > 48 h > 24 h。说明冷藏和冷冻可有效减缓风味物质在贮藏期间发生的劣变贮藏时间的延长。为手抓藏羊肉在加工和贮藏过程中的风味保存提供了理论依据。

关键词: 手抓藏羊肉; 食用品质; 固相微萃取; 气相色谱; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2024)09-316-324

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.9.1034

Effect of Different Storage Methods on the Flavor Substances of Hand-pulled Tibetan Mutton

FANG Jie, SUN Wancheng*, LUO Yihao, SUN Yang

(College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810000, China)

Abstract: Tibetan mutton chops were used as the raw materials to make hand-pulled Tibetan mutton. The effects of different storage temperatures and storage times on the edible quality and flavour attenuation of hand-pulled Tibetan mutton were investigated. It was found that frozen storage could minimize the deterioration of the edible quality of hand-pulled Tibetan mutton. Headspace solid-phase microextraction (SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to detect the volatile flavour substances in the hand-pulled mutton. The analysis results showed that a total of 23 flavour substances were detected in the hand-pulled mutton made by the optimal process, mainly aldehydes, alkanes, esters, ketones, alcohols, olefins and furans. The effects of storage conditions on the edible quality and flavour attenuation of the hand-pulled mutton were in the following order: storage temperature, ambient temperature (25 °C) > refrigeration (4 °C) > freezing (-20 °C); storage time, 72 h > 48 h > 24 h. These results show that refrigeration and freezing can effectively slow down the deterioration of flavour substances during storage and prolong the storage time. It provides a theoretical basis for the preservation of the flavour of hand-pulled mutton during processing and storage.

Key words: hand-held tibetan mutton; edible quality; solid phase microextraction; gas chromatography; flavouring substances

引文格式:

方婕,孙万成,罗毅皓,等.不同贮藏方式对手抓藏羊肉风味物质的影响[J].现代食品科技,2024,40(9):316-324.

FANG Jie, SUN Wancheng, LUO Yihao, et al. Effect of different storage methods on the flavor substances of hand-pulled tibetan mutton [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(9): 316-324.

收稿日期: 2023-08-31

基金项目: 青海省优势特色产业集群项目 (2022-09)

作者简介: 方婕 (1999-), 女, 学士, 研究方向: 肉制品品质研究, E-mail: 1010562909@qq.com

通讯作者: 孙万成 (1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 932146238@qq.com

手抓羊肉是西北地区的特色菜肴, 口感鲜嫩、汁水充盈, 距今已有 100 多年的历史^[1]。藏羊肉的特点是高蛋白、低脂肪、低胆固醇, 营养价值高, 并含有丰富的磷、钠、铁、钙等矿物质和硒、钴、钼、镁等微量元素^[2]。然而, 具有青海传统特色的手抓羊肉制品大多以堂食方式供给消费者, 熟肉制品的保质期短, 消费方式局限性大。随着保鲜和物流技术的发展, 新鲜藏羊肉就地运输加工, 消费者直接消费新鲜加工的羊肉产品, 保证了产品的新鲜度^[3]。虽然产品不经运输和贮藏的损耗, 但风味和口感仍与西北地区新鲜加工的手抓羊肉有较大差异, 这制约了手抓羊肉市场的发展。赵冰等^[3]用不同区域的水煮制手抓羊肉, 发现不同的水煮制的羊肉滋味差异较大, 其中以超纯水煮制的手抓羊肉鲜味强度最高; 张同刚等^[4]研究了香辛料对手抓羊肉挥发性风味成分的影响, 发现在添加了天然香辛料之后, 手抓羊肉的整体品质都得到了较大的提升。这均说明风味对手抓羊肉食用品质有很大的影响^[4], 风味既能让人们在感官上得到愉悦, 又能促进对营养物质的消化吸收。研究表明, 有很多因素会对羊肉风味产生影响, 其中最为常见的有水分含量、蛋白质、脂肪。因此, 本研究通过对青海手抓藏羊肉的制作方法和风味变化进行单因素及响应面试验, 优化手抓藏羊肉的最佳加工工艺, 并采用顶空固相微萃取和气相色谱法对不同贮藏条件下手抓藏羊肉中主要挥发性风味物质进行检测分析, 为手抓藏羊肉在加工和贮藏过程中的风味保存提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

1.1.1 试验原料

藏羊排: 采集 2023 年 4 月份屠宰的来自青海省青海海晏县的藏羊肉, 挑选 7 月龄的 3 头外观健康、无病害症状、雌性的藏羊, 收集其羊脊排部位; 盐、花椒、生姜、桂皮、八角、香叶; 青海西宁北京华联超市。

1.1.2 主要仪器设备

-80 °C 超低温冰箱, 美国 THERMO 公司; GC-5977B 气相色谱与质谱仪联用仪, 安捷伦科技有限公司; CT3 1000 质构仪, 美国阿美特克-博勒飞公司; PHS-3C pH 计, 上海越平科学仪器制造有限公司; Series 3000 肉质食品分析仪, 北京天翔飞域科技有

限公司; ADCI-60-C 全自动测色色差计, 北京辰泰克仪器技术有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 手抓藏羊肉的制作工艺

藏羊排→解冻→分割→清洗→预煮→清洗→煮制→浸泡→真空包装→成品→-80 °C 冰箱贮藏

1.2.2 质构测定

参考王振宇等^[5]的方法略加改动, 硬度、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性、恢复性测定: 将每组羊肉分别切割成 1×1×1 cm 大小, 用 TPA 质构分析仪测定相应指标, 在常温下 (25 °C), 选用 TA36 探头进行检测, 参数设置如下: 测试速度为 5 mm/s, 测定间隔时间为 5 s, 压缩比为 30, 触发力为 20 g。每组样品平行测量三次, 结果取平均值。

1.2.3 色差测定

参考徐玉玲等^[6]的方法略加改动, 将手抓藏羊肉切割成 1.5×1.5×0.5 cm 大小, 利用色差仪对藏羊肉进行亮度 (L^*)、红度 (a^*) 和黄度 (b^*) 的测定, 每组样品平行测量三次, 结果取平均值。

1.2.4 pH 值测定

将煮制好的手抓藏羊肉绞碎, 称取 5 g 样品, 加入 9 倍体积的生理盐水, 均质后进行测定, 每组样品平行测量三次, 结果取平均值。

1.2.5 水分、脂肪、蛋白质的测定

将手抓藏羊肉绞碎, 铺满样品盘, 进行水分、蛋白质、脂肪的测定, 每组样品平行测量三次, 结果取平均值。

1.2.6 挥发性风味物质的测定

参考杨文婷等^[7]的方法。

1.2.7 数据处理

运用 IBM SPSS Statistics 26.0 对数据进行方差分析和标准误差计算; Origin 2022 绘制点线图; Design-Expert 13.0 进行响应面优化。

2 结果与讨论

2.1 不同贮藏条件对手抓藏羊肉食用品质及风味的研究

2.1.1 不同贮藏条件对手抓藏羊肉质构的影响

肉类制品货架期的长短主要与微生物生长、脂

肪氧化酸败和肌红蛋白变性有直接关系^[8]。研究发现^[9], 贮藏温度对肉品质有一定的影响, 贮藏温度越低, 肉的感官品质和卫生指标越好。同时冷冻冷藏时间也会影响肉品质^[10], 结果表明, 冷冻时间延长, 羊肉嫩度下降, 原因是冷冻时间延长导致羊肉中蛋白质发生变性后又被降解, 肌纤维破坏, 肌肉的完整性受到影响^[11]。由表 1 可知: 随着贮藏时间的延长, 羊肉的硬度、弹性和回复率有降低的趋势, 这可能是由于随着贮藏时间的延长, 在肌肉组织中酶和微生物的作用下, 骨骼蛋白和肌原素被分解, 导致原肌纤维被分解, 原肌纤维周围的网状结构变得松散^[12], 从而导致肌肉硬度下降, 贮藏 24 h 时, 各组硬度、弹性和回复性均达到最低值, 而冷冻组硬度、弹性和回复性值高于常温和冷藏组, 说明冷冻可以减缓肌原纤维的断裂^[13], 延缓肉品质的下降; 随着贮藏时间的延长, 手抓藏羊肉的内聚性和咀嚼性呈上升趋势, 原因可能是肌球蛋白粗丝细丝交联形成肌动球蛋白, 使得肌肉肌原纤维产生较高的紧张度^[14]。随着贮藏时间的延长, 手抓藏羊肉的胶黏性呈先下降后上升的趋势, 原因是贮藏过程中微生物会在肉表面大量繁殖后, 形成菌落并分解蛋白质使肉体表面有粘状物质^[15]产生。牛佳等^[7]对手抓羊肉进行贮藏, 发现随着贮藏时间的延长, 其硬度和弹性减小, 这与本研究结果相似。

2.1.2 不同贮藏条件对手抓藏羊肉食用品质的影响

肉类的主要成分包括蛋白质、脂肪、水分等物

质, 其含量受到贮藏条件的影响会有一些的变化^[16]。研究表明, 相同贮存温度时, 冷冻时间延长时, 羊肉中粗脂肪的含量有所下降, 原因是冷冻时间延长, 使脂肪被氧化^[17]。结果由表 2 可知: 手抓藏羊肉的脂肪及蛋白质均随着贮藏时间的延长而降低, 这是因为随着贮藏时间的延长, 羊肉中的脂肪和蛋白质会发生氧化分解^[18], 而氧化分解会受到温度的影响, 温度越低, 反应越慢, 因此冷冻条件下贮藏的羊肉脂肪、蛋白质含量变化最低; 随着贮藏时间的延长, 水分含量逐渐降低, 同时温度不同, 水分含量变化的速度不同, 冷冻条件下, 水分含量下降最慢, 可能因为冷冻条件下细胞间自由水开始产生冰晶, 脂肪与水以物理形态相结合, 导致迁移速度下降^[19]。肉色由肌肉中的肌红蛋白和血红蛋白所占的比例决定。张玉斌等^[20]研究发现, 冷冻时间延长, 羊肉肉色 (L^* 值、 b^* 值) 呈下降趋势, 原因是温度高时, 羊肉氧化的速度加快, 氧合肌红蛋白被氧化为高铁肌红蛋白, 且贮存条件不同也会加速组织内氧化反应速度。由表 2 可知, 手抓藏羊肉的肉色 (L^* 值、 a^* 值、 b^* 值) 随贮藏时间的延长呈下降趋势, 其中 L^* 值和 b^* 值变化量最为显著, 冷冻条件下, 肉色变化差值最小, 原因是较低的环境温度氧化反应速度较慢, 使得冷冻贮藏下羊肉的高铁肌红蛋白含量低于常温和冷藏组^[21]。综上所述, 冷冻贮藏对肉制品的食用品质影响最小, 可以有效延缓肉的品质劣变, 是短期贮藏肉制品贮藏的最佳方式。

表 1 不同贮藏条件对手抓藏羊肉质构的影响

Table 1 Influence of different storage conditions on the texture of hand-caught lamb meat

温度	贮藏时间/h	质构					
		硬度/g	弹性/mm	内聚性	胶黏性/g	咀嚼性/mJ	恢复性
对照组	0	2 520 ± 3.54 ^a	2.50 ± 0.03 ^a	0.45 ± 0.02 ^h	824 ± 1.41 ^g	23.2 ± 0.4 ^g	0.24 ± 0.03 ^a
	24	1 823 ± 3.54 ^g	2.33 ± 0.04 ^e	0.58 ± 0.04 ^d	660 ± 2.12 ^h	43.9 ± 0.2 ^b	0.17 ± 0.03 ^c
常温	48	1 711 ± 1.41 ⁱ	1.70 ± 0.05 ^g	0.63 ± 0.02 ^c	1 768 ± 4.95 ^c	56.8 ± 0.1 ^b	0.12 ± 0.01 ^c
	72	1 676 ± 4.24 ^j	1.05 ± 0.01 ^h	0.76 ± 0.03 ^a	2 958 ± 4.95 ^a	61.5 ± 0.7 ^a	0.07 ± 0.01 ^f
	24	2 304 ± 2.35 ^e	2.28 ± 0.01 ^e	0.53 ± 0.02 ^f	636 ± 4.95 ^j	38.2 ± 2.1 ^j	0.20 ± 0.01 ^b
冷藏	48	1 969 ± 2.83 ^d	2.04 ± 0.02 ^d	0.61 ± 0.03 ^d	1 500 ± 3.54 ^d	46.3 ± 0.4 ^d	0.16 ± 0.01 ^c
	72	1 750 ± 2.12 ^h	1.74 ± 0.01 ^e	0.67 ± 0.04 ^b	2 478 ± 4.24 ^b	52.5 ± 1.8 ^e	0.12 ± 0.04 ^e
	24	2 311 ± 4.01 ^b	2.48 ± 0.03 ^g	0.49 ± 0.03 ^g	648 ± 4.24 ⁱ	28.4 ± 1.2 ⁱ	0.22 ± 0.01 ^b
冷冻	48	1 909 ± 3.54 ^e	2.39 ± 0.04 ^b	0.55 ± 0.02 ^c	1 329 ± 3.54 ^f	31.9 ± 0.8 ^f	0.17 ± 0.02 ^c
	72	1 887 ± 3.06 ^f	1.95 ± 0.01 ^f	0.59 ± 0.04 ^d	1 471 ± 4.95 ^e	39.8 ± 0.4 ^e	0.14 ± 0.02 ^d

注: 表中数值以平均数 ± 标准差表示, 纵列字母不同代表差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

表 2 不同贮藏条件对手抓藏羊肉食用品质的影响

Table 2 The effect of different storage conditions on the eating quality of lamb in hand-held stores

温度	贮藏时间/h	水分	脂肪	蛋白质	色差		
					L*	a*	b*
对照组	0	61.55 ± 0.07 ^a	24.2 ± 0.14 ^c	15.55 ± 0.07 ^a	59.28 ± 0.01 ^d	10.05 ± 0.16 ^e	16.68 ± 0.44 ^b
	24	60.35 ± 0.21 ^b	25.15 ± 0.21 ^a	15.15 ± 0.07 ^d	59.82 ± 0.17 ^b	9.66 ± 0.31 ^h	15.82 ± 0.54 ^d
常温	48	58.3 ± 0.14 ^f	24.35 ± 0.21 ^d	14.95 ± 0.07 ^c	56.85 ± 0.02 ^h	8.94 ± 0.75 ⁱ	14.13 ± 0.40 ⁱ
	72	57.1 ± 0.28 ⁱ	23.10 ± 0.28 ⁱ	13.65 ± 0.07 ⁱ	54.78 ± 0.09 ^j	8.68 ± 0.21 ^j	12.11 ± 0.17 ^j
差值 (Δ _{72h} - Δ _{24h})		-3.25	-2.05	-1.5	-5.04	-0.98	-3.71
冷藏	24	59.75 ± 0.21 ^c	24.5 ± 0.28 ^c	15.45 ± 0.07 ^b	59.32 ± 0.13 ^c	10.98 ± 0.42 ^a	16.95 ± 0.93 ^a
	48	57.80 ± 0.14 ^h	23.95 ± 0.35 ^f	15.15 ± 0.07 ^d	58.84 ± 0.63 ^c	10.51 ± 0.20 ^d	15.11 ± 0.16 ^f
冷冻	72	56.65 ± 0.35 ^j	22.7 ± 0.28 ^j	14.45 ± 0.07 ^e	56.63 ± 0.16 ⁱ	10.07 ± 0.19 ^f	14.43 ± 0.62 ^h
	差值 (Δ _{72h} - Δ _{24h})		-3.1	-1.8	-1	-2.69	-0.91
冷冻	24	59.5 ± 0.14 ^d	24.55 ± 0.07 ^b	15.25 ± 0.07 ^c	59.84 ± 0.87 ^a	10.90 ± 0.48 ^b	16.56 ± 0.52 ^c
	48	58.54 ± 0.14 ^c	23.83 ± 0.07 ^e	14.85 ± 0.07 ^f	58.66 ± 0.33 ^f	10.66 ± 0.06 ^c	15.15 ± 0.66 ^c
冷冻	72	58.2 ± 0.28 ^e	23.20 ± 0.14 ^h	14.05 ± 0.07 ^h	58.01 ± 0.95 ^e	10.36 ± 0.63 ^c	14.56 ± 0.46 ^e
	差值 (Δ _{72h} - Δ _{24h})		-1.3	-1.35	-1.2	-1.83	-0.54

注:表中数值以平均数 ± 标准差表示,纵列字母不同代表差异显著 (P<0.05)。

表 3 手抓藏羊肉中挥发性风味物质种类的相对含量 (%)

Table 3 The relative content of volatile flavor substances in hand-caught Tibetan mutton (%)

种类	对照	常温			冷藏			冷冻		
	0 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
醛类	25.34	35.55	39.5	57.49	31.08	35.47	40.99	29.01	33.79	39.42
烷烃	2.07	1.7	1.03	0.42	1.87	1.67	1.48	1.77	1.66	1.54
酯类	0.58	1.22	1.22	1.83	1.11	1.31	1.78	1.69	2.18	2.39
酮类	24.61	20.65	17.19	13.8	19.54	18.59	15.55	21.66	19.33	17.49
醇类	33.29	25.92	21.09	15.92	29.86	22.99	19.87	31.7	29.58	25.19
烯烃	10.65	8.8	6.64	1.66	9.58	5.64	3.47	11.19	8.46	4.83
呋喃	0.15	0.26	0.29	0.99	0.13	0.25	0.55	0.15	0.26	0.33

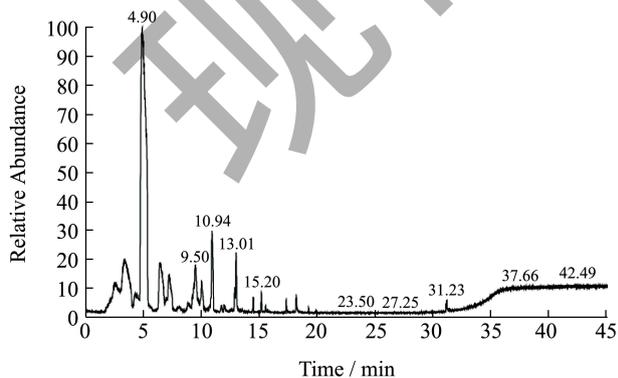


图 1 未贮藏手抓藏羊肉的挥发性风味成分总离子流图

Fig.1 Total ion flow diagram of volatile flavour components in unstored hand-caught cached mutton

2.1.3 手抓藏羊肉中的挥发性风味物质种类分析

手抓藏羊肉中共定性出 23 种化合物,其中醛类 7 种,烷烃 1 种,酯类 2 种,酮类 4 种,醇类 4 种,烯烃 4 种,呋喃类 1 种,见图 1 和表 3,对照组即贮藏 0 h 时的手抓藏羊肉中醛类、酮类、醇类和烯烃为主要挥发性化合物,相对含量分别为 25.34%、24.61%、33.29% 和 10.65%,原因是羊肉在贮藏过程中,其蛋白质和氨基酸会发生美拉德反应,产生醇类、呋喃等化合物^[22],其中的油酸和亚油酸,会生成醛类、酮类等羰基化合物^[23],随着贮藏时间的延长,烷烃、醇类、酮类和烯烃含量下降,醛类、酯类和呋喃类化合物含量上升,在贮藏期间脂肪的

氧化, 产生了大量的醛类物质, 导致手抓藏羊肉中的脂肪组织在贮藏期间形成异味^[24]。张伟艺等^[25]检测出手抓羊肉的挥发性风味物质共 54 种, 其中烷烃类含量最高, 张蓝月等^[26]对青海不同地区的羊肉的特征风味物质进行分析, 发现特征风味物质主要为醛醇类物质, 这与本研究结论相似。

2.1.4 手抓藏羊肉中的具体挥发性风味物质分析

具体挥发性风味物质见表 4, 未经贮藏的手抓藏羊肉主要挥发性风味物质有: Hexanal (正己醛) 13.39%、Octanal (辛醛) 4.41%、Propanal (丙醛) 5.96%、Acetone (丙酮) 19.08%、1-Hexanol (正己醇) 13.31%、butanol monomer (1-丁醇) 13.43%、Pentanol monomer (1-戊醇) 4.22% 和 Beta-pinene (β -蒎烯) 4.94%。在手抓藏羊肉的煮制过程中, 脂肪的氧化降解和美拉德反应是产生挥发性风味物质的主要途径^[25]。

经过不同贮藏方式贮藏的手抓藏羊肉的挥发性化合物种类与未经贮藏的基本一致, 但在相对含量上存在差异。由表 4 可知: 所有醛类物质在不同贮藏条件下贮藏时, 随着贮藏时间的延长, 其含量逐渐升高; 如正己醛在未贮藏时含量为 13.39%, 经过常温贮藏后, 上升到 23.45% 左右, 其中冷藏和冷冻可以适当减缓其上升的趋势, 结果表明, 所有的醛类物质在常温贮藏下会出现大幅度的上升; 冷藏和冷冻可以延缓其上升趋势; 烷烃类物质仅检测出一种, 为氯代异戊烷, 其含量经贮藏后含量有所下降, 但差值并不明显, 室温贮藏条件下的变化量大于冷藏和冷冻; 酯类物质相对含量较小, 经贮藏后均呈上升趋势; 酮类物质在贮藏后也呈现大幅度的下降, 如丙酮在酮类物质中相对含量占比最高, 经常温贮藏后其从 19.08% 含量下降到 8.45%, 冷藏和冷冻可适当延缓其的下降, 2,3-丁二酮的含量则在贮藏 48 h 时出现较为明显的上升, 但随着贮藏时间的延长, 其含量又呈下降趋势; 所有的醇类物质相对含量均呈下降趋势, 其中以 1-丁醇和正己醇含量下降最为明显, 1-丁醇的含量在室温贮藏下 48 h 内下降的变化量最大, 冷藏和冷冻条件下则在 72 h 时变化量最大, 可能是因为温度较高会加快 1-丁醇的挥发, 而随着时间的延长, 挥发量以达到阈值, 因而下降趋势变缓, 而冷藏和冷冻的温度较低, 导致其缓慢挥发; 烯烃类物质均呈

下降趋势, 室温下其下降的变化量要大于冷藏和冷冻; 呋喃类物质为 2-戊基呋喃, 含量较小, 未贮藏时仅为 0.15%, 但随贮藏时间的延长其含量在缓慢增加。

醛类物质中正己醛、辛醛、正庚醛、丙醛的含量相对较高, 同时在全挥发性物质中醛类占比也较高^[24]; 冷藏和冷冻组在贮藏 72 h 后醛类含量低于常温组, 可能是由于温度降低了脂肪氧化降解和蛋白质脱羧速度导致的^[27]; 不同的贮藏温度挥发性物质含量变化较大, 常温组同对照组相比挥发性含量下降量最大, 其次是冷藏组, 冷冻组变化最小, 而呈上升变化的挥发性物质含量变化呈现: 常温组 > 冷藏组 > 冷冻组。

综上所述, 冷冻 (-20 °C) 对手抓藏羊肉风味物质变化影响最小, 影响风味衰减依次为: 贮藏温度: 常温 (25 °C) > 冷藏 (4 °C) > 冷冻 (-20 °C), 贮藏时间: 72 h > 48 h > 24 h。

2.1.5 手抓藏羊肉中的具体挥发性风味物质 PCA 分析

对定性出的 23 种化合物进行 PCA 分析, 结果见图 2。图中的每个点代表一组样品, 同一组样品贮藏时间相同, 由图可知, PC1 和 PC2 的累计贡献率超过 60%, 同一贮藏时间样品相互靠拢, 不同贮藏时间样品可被分离, 对照组即贮藏 0 h 的样品与经过贮藏的样品明显分离, 说明贮藏时间对手抓藏羊肉风味具有显著影响, 其中常温贮藏 24 h 的样品与冷冻贮藏 48 h 的样品接近, 常温贮藏 72 h 的样品与其他贮藏时间分散开来, 说明常温贮藏 72 h 的样品风味物质含量与其他组别差异较大, 原因是其贮藏过程中温度较高加速了脂肪的氧化^[28], 产生了不愉快的气味, 导致其风味的劣变, 冷藏和冷冻可有效减缓风味物质在贮藏期间发生的劣变^[29]; 在贮藏 24 h 时, 不同贮藏温度的样品差异不大说明 24 h 时贮藏温度对手抓藏羊肉风味成分的影响不大, 但当贮藏时间延长至 48 和 72 h 时, 不同贮藏温度的样品差异较大说明随着贮藏时间的延长, 贮藏温度对手抓藏羊肉风味成分的影响较为显著。

综上所述, 防止风味劣变的贮藏方式排序为: 冷冻 > 冷藏 > 常温, 防止风味劣变的贮藏时间排序为: 24 h > 48 h > 72 h。

表 4 手抓藏羊肉中挥发性风味物质的相对含量 (%)

种类	挥发性 风味物质	保留 指数	保留 时间/s	迁移时 间/ms	对照/%			4 °C			-20 °C			
					0 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
	Hexanal (正己醛)	791.4	259.84	1.562 9	13.39 ± 0.36	14.08 ± 0.08	14.95 ± 0.14	23.45 ± 0.24	14.35 ± 0.87	14.41 ± 0.12	16.21 ± 0.57	13.90 ± 0.17	14.23 ± 0.03	14.61 ± 0.24
	Benzaldehyde (苯甲醛)	957.2	487.46	1.151 2	0.39 ± 0.29	0.52 ± 0.14	0.46 ± 0.18	1.22 ± 0.27	0.53 ± 0.20	0.60 ± 0.25	1.02 ± 0.16	0.59 ± 0.37	0.69 ± 0.18	0.81 ± 0.19
	Heptanal (正庚醛)	900.6	386.94	1.325 3	0.39 ± 0.32	0.79 ± 0.26	0.59 ± 0.36	5.21 ± 0.13	1.17 ± 0.09	0.89 ± 0.12	0.63 ± 0.20	1.96 ± 0.23	1.48 ± 0.23	1.31 ± 0.13
醛类	Butanal (丁醛)	598.3	137.28	1.295 0	0.58 ± 0.38	1.46 ± 0.26	2.35 ± 0.15	2.95 ± 0.31	1.34 ± 0.19	1.24 ± 0.18	2.42 ± 0.08	0.98 ± 0.26	1.57 ± 0.17	2.00 ± 0.14
	Nonanal (壬醛)	1 106.7	771.89	1.473 0	0.22 ± 0.08	2.07 ± 0.24	2.36 ± 0.02	3.41 ± 0.29	1.89 ± 0.03	2.23 ± 0.05	2.85 ± 0.53	0.71 ± 0.18	0.20 ± 0.04	2.46 ± 0.24
	Octanal (辛醛)	1 008.6	580.72	1.402 6	4.41 ± 0.25	7.68 ± 0.26	8.84 ± 0.26	9.98 ± 0.35	5.76 ± 0.47	6.89 ± 0.25	7.38 ± 0.37	4.19 ± 0.15	6.78 ± 0.16	8.25 ± 0.27
	Propanal (丙醛)	509.1	98.327	1.057 2	5.96 ± 0.19	8.95 ± 0.62	9.95 ± 0.32	11.27 ± 0.33	6.04 ± 0.77	9.21 ± 0.52	10.48 ± 0.23	6.68 ± 0.42	8.84 ± 0.31	9.98 ± 0.43
烷 烃	Butane,1-chloro -3-methy (氯代异戊烷)	696.4	428.45	1.354 2	2.07 ± 0.31	1.70 ± 0.21	1.03 ± 0.31	0.42 ± 0.42	1.87 ± 0.14	1.67 ± 0.15	1.48 ± 0.27	1.77 ± 0.18	1.66 ± 0.16	1.54 ± 0.07
酯 类	methyl acetate (乙酸甲酯)	526.7	106.00	1.184 4	0.19 ± 0.05	0.47 ± 0.24	0.46 ± 0.08	0.91 ± 0.14	0.38 ± 0.08	0.52 ± 0.10	0.45 ± 0.53	0.38 ± 0.24	0.42 ± 0.23	0.49 ± 0.13
	Isoamyl butyrate (丁酸异戊酯)	1 050.1	661.52	1.408 3	0.39 ± 0.23	0.75 ± 0.22	0.76 ± 0.20	0.92 ± 0.17	0.73 ± 0.27	0.79 ± 0.29	1.33 ± 0.23	1.31 ± 0.13	1.76 ± 0.31	1.90 ± 0.12
	2,3-butanedione (2,3-丁二酮)	623.9	148.47	1.173 4	2.71 ± 0.24	6.94 ± 0.23	4.29 ± 0.20	4.21 ± 0.30	5.74 ± 0.53	5.25 ± 0.43	4.78 ± 0.02	6.57 ± 0.38	6.00 ± 0.27	5.58 ± 0.28
酮 类	2-pentanone (2-戊酮)	685	175.14	1.122 6	2.50 ± 0.32	1.40 ± 0.22	1.06 ± 0.12	0.82 ± 0.13	1.15 ± 0.23	1.22 ± 0.33	0.84 ± 0.23	1.16 ± 0.45	0.90 ± 0.39	0.64 ± 0.20
	Acetone (丙酮)	529.2	107.10	1.122 3	19.08 ± 0.63	11.89 ± 0.75	11.53 ± 0.30	8.45 ± 0.63	12.35 ± 0.59	10.77 ± 0.44	9.64 ± 0.56	13.56 ± 0.48	12.13 ± 0.29	10.92 ± 0.38
	Cyclohexanone (环己酮)	899.3	384.65	1.152 8	0.32 ± 0.02	0.42 ± 0.01	0.31 ± 0.21	0.32 ± 0.05	0.30 ± 0.32	0.35 ± 0.03	0.29 ± 0.05	0.37 ± 0.13	0.30 ± 0.09	0.35 ± 0.23

续表 4

种类	挥发性 风味物质	保留 指数	保留 时间/s	迁移时 间/ms	对照/%			常温			4 °C			-20 °C		
					0 h	24 h	72 h	0 h	24 h	48 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
醇	1-Hexanol (正己醇)	887.8	367.18	1.634 4	13.31 ± 0.23	12.81 ± 0.03	9.85 ± 0.28	7.40 ± 0.05	12.50 ± 0.13	9.49 ± 0.31	8.23 ± 0.32	12.98 ± 0.20	12.44 ± 0.04	12.00 ± 0.10		
	butanol monomer (1-丁醇)	672.6	169.73	1.180 7	13.43 ± 0.14	8.30 ± 0.13	7.73 ± 0.42	6.45 ± 0.21	11.67 ± 0.12	8.76 ± 0.32	7.84 ± 0.13	12.54 ± 0.24	11.84 ± 0.57	8.69 ± 0.10		
	Pentanol monomer (1-戊醇)	771.5	242.89	1.251 9	4.22 ± 0.05	3.10 ± 0.23	2.14 ± 0.05	1.12 ± 0.04	3.67 ± 0.34	2.95 ± 0.13	2.26 ± 0.09	4.05 ± 0.13	3.39 ± 0.34	2.74 ± 0.03		
烯	penten-3-ol (1-戊烯-3-醇)	692.5	179.82	0.945 3	2.33 ± 0.24	1.71 ± 0.15	1.37 ± 0.83	0.95 ± 0.37	2.02 ± 0.34	1.79 ± 0.32	1.54 ± 0.43	2.13 ± 0.03	1.91 ± 0.14	1.76 ± 0.42		
	p-Mentha-1, 4-diene (γ -松油烯)	1 053.5	934	1.698 0	1.13 ± 0.19	0.83 ± 0.19	0.77 ± 0.28	0.47 ± 0.27	1.36 ± 0.29	0.96 ± 0.23	0.65 ± 0.14	1.42 ± 0.36	1.22 ± 0.24	1.16 ± 0.23		
	Anethole (茴香烯)	1 265.2	182.15	0.875 9	2.19 ± 0.14	1.81 ± 0.23	1.55 ± 0.02	0.80 ± 0.05	1.60 ± 0.34	1.40 ± 0.64	1.16 ± 0.68	1.93 ± 0.19	1.61 ± 0.34	1.30 ± 0.17		
炔	Sabinene (桉烯)	974.38	923	1.065 8	2.39 ± 0.35	1.90 ± 0.33	1.49 ± 0.29	0.21 ± 0.23	1.89 ± 0.10	1.09 ± 0.39	0.99 ± 0.14	2.14 ± 0.28	1.65 ± 0.25	1.07 ± 0.19		
	Beta-pinene (β -蒎烯)	981.73	934	1.507 6	4.94 ± 0.29	4.26 ± 0.44	2.83 ± 0.24	0.18 ± 0.29	4.73 ± 0.24	2.19 ± 0.29	0.67 ± 0.15	5.70 ± 0.32	3.98 ± 0.04	1.30 ± 0.18		
呋喃	2-Amylfuran (2-戊基呋喃)	994	552.79	1.254 3	0.15 ± 0.57	0.26 ± 0.28	0.29 ± 0.06	0.99 ± 0.30	0.13 ± 0.24	0.25 ± 0.58	0.55 ± 0.39	0.15 ± 0.23	0.26 ± 0.27	0.33 ± 0.39		

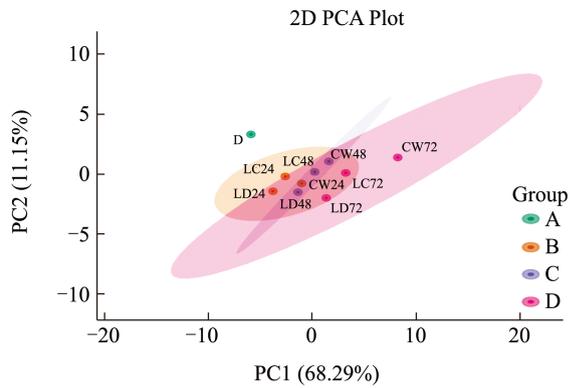


图2 不同贮藏条件下风味物质 PCA 结果

Fig.2 Results of PCA of flavour substances under different storage conditions

对定性出的 23 种化合物进行聚类分析, 结果见图 3, 贮藏方式被分为两大类, 未贮藏和常温贮藏 72 h 与其他组别有明显差异, 这与上述 PCA 结果相一致, 未贮藏、常温贮藏 24 h、冷冻贮藏 48 h、冷藏贮藏 24 h 和冷冻贮藏 24 h 聚为一类, 常温贮藏 72 h、常温贮藏 48 h、冷藏贮藏 48 h、冷藏贮藏 72 h、冷冻贮藏 72 h 聚为一类。由此可知, 贮藏时间对风味物质含量的影响要大于贮藏温度, 原因是随着贮藏时间的延长, 肉中的蛋白质和脂肪发生氧化, 产生了大量的醛类物质^[30,31], 这也是肉类产生异味的主要原因; 同时, 冷冻贮藏后的样品与未贮藏的样品风味物质较为接近, 说明冷冻可以延缓风味物质的变化。

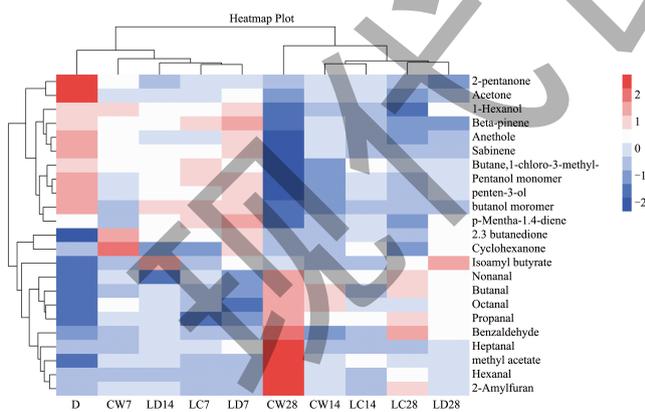


图3 不同贮藏条件下风味物质聚类分析谱系图

Fig.3 Spectral map of cluster analysis of flavour substances under different storage conditions

3 结论

本研究利用不同贮藏方式即常温、冷藏和冷冻分别贮藏 24、48、72 h, 结果发现不同贮藏方式和时间对手抓藏羊肉的质构、色差、pH 值及食用品

质有显著影响, 其中冷冻组的硬度、弹性和回复性值高于常温和冷藏组, 水分和脂肪的损失量低于常温和冷藏组, 蛋白质损失量要低于常温组, 亮度值、红度和黄度值均有下降, 且下降幅度最小; 同时利用 GC-MS 技术测定了不同贮藏方式和时间下手抓藏羊肉的挥发性风味物质的含量, 共定性出 23 种化合物, 其中醛类 7 种, 烷烃 1 种, 酯类 2 种, 酮类 4 种, 醇类 4 种, 烯烃 4 种, 呋喃类 1 种; 对具体挥发性风味物质进行 PCA 分析和聚类分析, 结果表明冷藏和冷冻可有效减缓风味物质在贮藏期间发生的劣变; 且随着贮藏时间的延长。综上所述, 短期的冷冻贮藏是手抓藏羊肉的最佳贮藏方式, 在此贮藏条件下, 手抓藏羊肉的硬度、弹性和恢复性等质构指标均处在较好水平, 水分和脂肪损失量较小, 色差值变化较小, 不良风味物质含量上升幅度最低, 说明短期冷冻贮藏可以延缓脂肪及蛋白质的氧化从而减缓风味在贮藏期间发生的劣变。

参考文献

- [1] 张同刚,刘敦华,周静.手抓羊肉加工工艺优化及挥发性风味物质检测[J].食品与机械,2014,30(2):192-196.
- [2] 张同刚,刘敦华,周静.顶空固相微萃取气质联用检测手抓羊肉挥发性风味成分[J].中国调味品,2014,39(9):111-115.
- [3] 赵冰,张玉玉,王守伟,等.不同区域水对宁夏手抓羊肉滋味特性的影响[J].食品科学,2022,43(8):52-58.
- [4] 张同刚,刘敦华,周静,等.香辛料对手抓羊肉挥发性风味成分的影响[J].中国调味品,2014,39(10):45-49.
- [5] 王振宇,纪建新,张德权.欧拉型藏羊肉的炖煮加工特性[J].肉类研究,2017,31(5):1-4.
- [6] 徐玉玲,韩玲,余群力,等.部位肉与肌肉纤维走向对牛肉色泽的影响[J].甘肃农业大学学报,2013,48(5):137-140.
- [7] 杨文婷,柏霜,牛佳,等.不同杀菌方式对手抓羊肉挥发性风味物质的影响[J].中国调味品,2017,42(6):109-113,127.
- [8] 牛佳,尤丽琴,柏霜,等.无菌包装滩羊肉冷拼菜肴在冷藏过程中品质的变化[J].食品工业科技,2017,38(22):220-225.
- [9] 董阳阳.水煮羊肉在贮藏期风味物质变化及工艺优化[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
- [10] GAO X, ZHAO G, YANG J, et al. Effect of temperature on the quality of high temperature ham sausage [J]. Meat Industry, 2019, 5: 19-24.
- [11] 范碧琴,刘少伟,周士琪,等.不同冻藏条件对鸡胸肉品质特性的影响[J].食品工业科技,2018,39(15):291-297.
- [12] 李媛,张晓洁,马良,等.兔皮明胶/迷迭香酸复合膜在猪肉冷藏保鲜中的应用效果[J].食品科学,2019,40(19):281-287.
- [13] 李银.蛋白氧化对肌肉保水性的影响机制研究[D].北京:中国农业科学院,2014.

- [14] 刘纯友,付春婷,殷朝敏,等.低温贮藏过程中水牛肉质特性的变化[J].食品与机械,2019,35(10):88-92.
- [15] 刘泽龙.蛋白质氧化对肉及肉制品持水与水合特性的影响机理研究[J].无锡:江南大学,2012.
- [16] 李斌.浅谈肉类加工的腌制工艺[J].肉类工业,2016,3:8-10,13.
- [17] 帕提姑·阿布都克热,周光宏,李瑾瑜,等.冻藏时间对不同部位羊肉品质的影响[J].食品科学,2012,33(24):325-329.
- [18] 毕永昭.手抓羊肉品质变化对冻结方式的响应[D].银川:宁夏大学,2022.
- [19] ZHAO Q, LIAO M, LIU S, et al. Research on the change of lipid oxidation and meat color of bluefin tuna [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(7): 79-86.
- [20] 张玉斌,邵晶晶,刘金鑫,等.天然抗氧化剂对冷却藏羊肉贮藏过程中脂质氧化影响的研究[J].肉类工业,2017,12:13-18.
- [21] 宋永,李冲伟,马长伟.温和条件下的美拉德反应对干腌肉品风味的贡献[J].食品工业科技,2008,7:69-71.
- [22] 赵娟红.基于蛋白质组学分析不同贮藏温度下猪肉的品质变化机制[D].长沙:中南林业科技大学,2019.
- [23] PEREZ J M, FLORES M, TOLDRA F. Effect of pork meat proteins on the binding of volatile compounds [J]. Food Chemistry, 2008, 108(4): 1226-1233.
- [24] 李伟,罗瑞明,李亚蕾,等.宁夏滩羊肉的特征香气成分分析[J].现代食品科技,2013,29(5):1173-1177.
- [25] 张伟艺,王元,杨静玲,等.手抓羊肉风味物质及理化指标检测[J].中国调味品,2017,42(1):135-138,141.
- [26] 张蓝月,孙万成,罗毅皓.基于气相色谱-离子迁移谱分析不同地区羊肉的挥发性风味化合物[J].食品与发酵工业,2023,49(10):265-272.
- [27] GRABNER G F, XIE H, SCHWEIGER M, et al. Lipolysis: cellular mechanisms for lipid mobilization from fat stores [J]. Nature Metabolism, 2021, 11: 3.
- [28] GU X, SUN Y, TU K, et al. Evaluation of lipid oxidation of Chinese-style sausage during processing and storage based on electronic nose [J]. Meat Science, 2017, 133: 1-9.
- [29] CHEN Y, LI G H, XUAN S, et al. Effects of Storage Temperature on the Flavor of Portunus trituberculatus Meat [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 8: 1115-1124.
- [30] XIANG Y C, HUANG J Q, YANG Z J, et al. Effect of different freezing methods on the ice crystals and quality of white shrimp (*Penaeus vannamei*) in the storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(5): 280-286.
- [31] 李静.不同氧化程度的脂肪对四川香肠成熟过程中品质影响的研究[D].成都:四川农业大学,2016.