

藏式风干牦牛肉模拟加工过程中理化特性与挥发性风味物质的变化

马国丽,唐善虎*,李思宁,刘慧伦,任 然

(西南民族大学生命科学与技术学院,四川成都 610041)

摘 要:本试验研究了牦牛背最长肌在模拟藏式风干肉加工过程中先在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻结6 h,后在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 风干20 h、 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 风干10 h或 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 风干5 h条件下风干肉的水分活度(water activity, Aw)、pH、色差值、硫代巴比妥酸值(Thiobarbituric acid value, TBA)以及挥发性风味物质的变化。结果表明,随着风干温度升高, Aw的下降速率增加。pH先升高后下降,升高速率 $60\text{ }^{\circ}\text{C} > 40\text{ }^{\circ}\text{C} > 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。 L^* 值先下降,经过3次冻结-风干后升高,其升高速率 $60\text{ }^{\circ}\text{C} > 80\text{ }^{\circ}\text{C} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; a^* 值和 b^* 值呈显著下降的趋势($P < 0.05$),下降速率 $40\text{ }^{\circ}\text{C} > 80\text{ }^{\circ}\text{C} > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。TBA值显著性增加($P < 0.05$),增加速率 $60\text{ }^{\circ}\text{C} > 40\text{ }^{\circ}\text{C} > 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。藏式风干牦牛肉中共检出7类挥发性风味物质,通过主成分分析得到三个主成分,累计贡献率达到76.117%, PC1 38.565%,由酸类、醛类、醇类、烯烃类以及含硫化合物组成; PC2 22.198%,由酸类和酮类组成; PC3 15.354%,由杂环类组成。不同风干温度时间点的挥发性风味物质在PC1、PC2、PC3上的得分是具有差别的, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 风干至12 h时在PC1和PC2上的得分最高; $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 在风干至第8 h时在PC1上的得分最高; $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 在风干3 h时在PC1中得分最高。综上,不同风干温度下的藏式冻结-风干对牦牛肉的理化性质与挥发性风味物质的变化有不同的影响。

关键词:风干牦牛肉,理化性质,挥发性风味

Changes of Physicochemical Properties and Volatile Flavor Substances in Tibetan Air-dried Yak Meat Jerky during the Simulated Processing

MA Guoli, TANG Shanhu*, LI Sining, LIU Huilun, REN Ran

(College of Life Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdou 610041, China)

Abstract: The changes of water activity (Aw), pH, color, thiobarbituric acid value (TBA value), and volatile flavor substances of yak longissimus dorsi during simulated Tibetan air-dried yak meat jerky processing were studied under the conditions of freezing $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 6 h, and then $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ air-dried 20 h, air-dried at $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 10 h, or air-dried $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 5 h. The results showed that as the air-dried temperature increasing, the rate of descent in Aw increased. The pH was increased first and then decreased, and the rising rate was $60\text{ }^{\circ}\text{C} > 40\text{ }^{\circ}\text{C} > 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. The L^* value decreased first and then increased after three times of freeze-drying cycles, the rising rate was $60\text{ }^{\circ}\text{C} > 80\text{ }^{\circ}\text{C} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. The a^* value and b^* value significantly decreased ($P < 0.05$), and the rate of decline was $40\text{ }^{\circ}\text{C} > 80\text{ }^{\circ}\text{C} > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. The TBA values were significantly increased ($P < 0.05$), the increasing rate was $60\text{ }^{\circ}\text{C} > 40\text{ }^{\circ}\text{C} > 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Seven kinds of volatile flavor compounds were detected in Tibetan air-dried yak meat jerky. Three principal components were obtained by principal component analysis, and the cumulative contribution rate reached 76.117%. PC1 was 38.565% and consists of acids, aldehydes, alcohols, olefins and sulfur compounds. PC2 was 22.198% and consists of acids and ketones. PC3 was 15.354% and consists of heterocycles. The scores of volatile flavor substances on PC1, PC2, and PC3 at different air-dried time points were different. The highest scores was obtained on PC1 and PC2 when air-dried at $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to 12 h. The highest scores on PC1 at $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ after air-dried to 8 h. The highest scores in PC1 at $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ after air-dried for 3 h. Comparing Tibetan freeze-drying at different air-drying temperatures had different effects on the physical and chemical properties of yak and changes in volatile flavor substances.

Key words: air-dried yak meat jerky; physicochemical properties; volatile flavors

中图分类号: TS251.52

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)02-0019-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.20200301018

引文格式: 马国丽,唐善虎,李思宁,等.藏式风干牦牛肉模拟加工过程中理化特性与挥发性风味物质的变化[J].食品工业科技,2021,42(2):19-25.

收稿日期:2020-03-10

作者简介: 马国丽(1995-),女,硕士研究生,研究方向:畜产品加工与安全, E-mail: 2895974596@qq.com。

* **通信作者:** 唐善虎(1964-),男,博士,教授,研究方向:动物性食品加工与安全, E-mail: stang01@126.com。

基金项目: 国家重点研发项目(2018YFD0400101); 研究生创新项目(CX2019SZ120)。

MA Guoli, TANG Shanhu, LI Sining, et al. Changes of Physicochemical Properties and Volatile Flavor Substances in Tibetan Air-dried Yak Meat Jerky during the Simulated Processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(2): 19-25. (in Chinese with English abstract) <http://www.spgykj.com>

风干牦牛肉是西藏、内蒙古、甘肃等地区的民族特色肉制品,具有营养丰富、风味独特、耐咀嚼、耐储存的特点。传统的藏式风干牦牛肉是利用西藏、甘肃等地低温、低气压、高风速的气候使鲜牦牛肉中的水分快速冻结,形成冰晶后再升华而成,它的感官特征明显,呈红棕色、有独特香味、组织疏松多孔、肌纤维明显^[1-2]。

关于风干牦牛肉在加工过程中品质变化的研究已有较多的报道。雷虹^[3]报道称牛肉自然风干至第40 d到达风干终点,此时风干肉的 A_w 降至0.32, pH从5.37升至5.65, TBA值从0.13 mg/kg升高到0.48 mg/kg。张丽等^[4]报道牦牛肉在60 d的自然冷冻风干过程中pH、硬度、咀嚼性升高, A_w 显著降低。有报道称牦牛肉在藏式风干过程中TBA值显著上升^[2,5],说明在自然冷冻风干过程中牦牛肉会发生脂质氧化^[6]。自然冷冻风干工艺形成了藏式风干牦牛肉独特的风味,王惠惠等^[7]采用顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)与气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)来定性、定量分析牦牛肉在60 d的自然风干过程中形成的挥发性风味物质,试验发现41种挥发性风味物质的主要来源是美拉德反应、其次是脂肪氧化。沙坤等^[8]从新疆风干牛肉中检出并定量了48种挥发性风味物质。陈海涛等^[9]利用蒸馏、气相-质谱-嗅闻(GC-MS-O)联用和香气活性值(odor activity value, OAV)的方法在蒙古风干牛肉中提取并鉴定出了8类59种挥发性风味物质。因此可通过研究牦牛肉在藏式风干过程中理化性质和挥发性风味物质的变化来探索风干牦牛肉感官特性和理化品质的形成特点。

传统的藏式风干牦牛肉产品加工方式比较落后,效率较低,生产时间受季节的限制、生产周期长、产品质量缺少标准和规范化,因此通过模拟藏式风干牦牛肉的工艺来改善传统生产模式的劣势是非常必要的。参照罗章^[1]和高媛^[2]等报道中的工艺流程来模拟生产藏式风干牦牛肉,即进行反复的冻结(-20℃)-风干(40、60、80℃)使牦牛肉中的水分降低至风干肉的标准。

目前分析模拟藏式风干牦牛肉在风干过程中品质的变化和区别尚未见报道。本研究模拟改进传统的藏式风干牦牛肉工艺,旨在探讨冻结(-20℃)-不同风干(40、60、80℃)温度下藏式风干牦牛肉在风干过程中理化性质与风味变化的区别。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

牦牛肉 选择四川省阿坝州红原县自然放牧的3岁半健康无病公牦牛,牦牛在红原县本地屠宰场屠宰后,取其背最长肌冻结在-20℃下,-4℃运回实验室后,自然解冻,剔除脂肪和筋膜,将牦牛肉切割成

长宽高为10 cm×5 cm×1 cm大小的肉条,修整切割好的肉条放于-20℃的环境中进行冻结备用;三氯乙酸、乙二胺四乙酸、2-巯代巴比妥酸、1,1,3,3-四乙氧基丙烷等化学试剂 均为分析纯。

LDO-9240A 电热恒温鼓风干燥箱 上海龙跃实验仪器有限公司;FSH-2A型可调高速组织匀浆机 金坛市华城海龙实验仪器厂;CR-400 色彩色差仪 日本柯尼卡美能达公司;紫外分光光度计 龙尼柯仪器有限公司;Centrifuge 5804R 高速冷冻离心机 德国 Eppendorf 公司;MP511 型 pH 计 上海三信仪表厂;Trace DSQ 型 GC-MS 联用仪 美国 Thermo 公司;PL30 型分析天平 梅特勒-托利多(上海)股份有限公司;HD-3A 型智能水分活度仪 无锡市华科仪器仪表有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 藏式风干牦牛肉的加工 将于-20℃的环境中冻结6 h的肉条分别悬挂于温度为40、60、80℃的电热恒温鼓风干燥箱中,悬挂的肉条与肉条之间的间距是5 cm。根据表1中不同温度和不同时间点对牦牛肉条进行反复的冻结-风干,在每个风干时间点结束后对牦牛肉条取样测定相关指标,然后将剩余的风干牦牛肉条重新放入-20℃的环境中冻结6 h,等待下一个时间点的风干。最后得到藏式风干牦牛

表1 不同风干温度下藏式风干牦牛肉的冻结-风干次数与风干时间点

Table 1 Freezing-drying times and dry time points of Tibetan air-dried yak meat jerky at different air-drying temperatures

冻结(-20℃)- 风干温度	冻结-风干次数 (次)	风干时间点 (h)
冻结-40℃风干	0	0
	1	4
	2	8
	3	12
	4	16
	5	20
冻结-60℃风干	0	0
	1	2
	2	4
	3	6
	4	8
	5	10
冻结-80℃风干	0	0
	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
	5	5

肉成品的色泽呈现红棕色或者浅枣红色,用手掰成品的时候能够感受到明显的酥脆感;水分含量降至20%以下, Aw 降至0.2左右。

1.2.2 指标测定方法

1.2.2.1 Aw 测定 使用水分活度仪进行测定,每组重复测定三次取平均值。

1.2.2.2 pH 测定 参照张坤等^[10]的方法稍作修改,准确称取1.00 g切碎的风干肉,放于50 mL的离心管中,加入9 mL水,摇匀静置30 min后使用pH计测定肉样的pH,每组测定三次取平均值。

1.2.2.3 色差值测定 取表面较平整的风干肉用色差仪检测色差值,每个样品的正反面均重复测定三次,记录其 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

1.2.2.4 TBA 值测定 参照马骋等^[11]的方法稍作修改,准确称取2.00 g切碎的风干肉放入50 mL的离心管中,加入30 mL 7.5%的三氯乙酸,匀浆后静置30 min,以4000 r/min 冷冻离心10 min,取上清液2 mL,加入0.02 mol/L的2-硫代巴比妥酸溶液2 mL,旋涡混匀后置于95℃的水浴锅中反应30 min,取出流水冷却至室温,记录波长在532 nm处的吸光值,每个样品重复测三次平行试验,同时做空白试验,结果以mg丙二醛(MDA)/kg样品表示。按照标准曲线(标准曲线: $y = 0.9123x - 0.0334$, $R^2 = 0.9963$)和公式(1)计算TBA值;

$$\text{TBA}(\text{mg 丙二醛/kg}) = \frac{c \times V \times 1000}{m \times 1000} \quad \text{式(1)}$$

式中: c 表示2-硫代巴比妥酸溶液的浓度, mol/L; V 表示所取上清液的体积, mL; m 表示称取的切碎的风干牦牛肉质量, g。

标准曲线的绘制:参照丁希等^[12]的方法稍作修改。

1.2.2.5 挥发性风味物质测定 结合吴倩蓉等^[13]、王元等^[14]的方法稍作修改,称取1.50 g切碎的样品放入顶空瓶,50℃下平衡30 min,然后将已老化好的SPME针头插入顶空瓶中萃取30 min,再插入到GC/MS进样器,进样口温度220℃,解吸时间5 min,收回纤维头,拔出萃取头。

GC 条件:色谱柱 DB-5MS (30 m × 25 mm × 0.5 μm),载气 He, 色谱柱起始温度50℃,保持2 min,先以15℃/min升至100℃,保持2 min,再以5℃/min升至220℃,恒定流速为1.0 mL/min。

MS 条件:GC-MS接口温度220℃,质荷比扫描范围45~450 amu。

定性、定量分析:所有的化合物经Nist 11 谱库检索,选择正反向匹配值均大于800的化合物进行定性分析;根据峰面积的相对含量(%)对化合物进行定量分析。

1.3 数据处理

所有试验重复3次,采用SPSS 25.0 软件(IBM 公司)对Aw、色差值、pH、TBA 值进行ANOVA 方差分析、Duncan 多重比较和显著性检验($P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著, $P > 0.05$ 为差异不显著),利用Microsoft Excel 2016 软件对处理后的数据做图表。采用SPSS 25.0 软件(IBM 公司)对挥发性

风味物质进行PCA 主成分分析,利用origin 2019 软件(Origin Lab 公司)对处理后的数据做三维散点图。

2 结果与分析

2.1 风干过程中藏式风干牦牛肉 Aw 的变化

由图1看出,在风干过程中藏式风干牦牛肉的Aw 都显著下降($P < 0.05$)。Aw 下降至0.2左右时每组所需时间的长短依次为冻结-40℃ > 冻结-60℃ > 冻结-80℃。三组藏式风干牦牛肉样品的冻结温度和时间均为-20℃和30 h。牦牛肉在冻结过程中,肌肉中结合蛋白质的疏水/亲水的化学键被破坏,使本来与蛋白质结合紧密的那部分水变成游离水流出,增加了蛋白质中羧基和氨基的亲水机会,蛋白质发生凝聚变性,持水能力降低,进而使牦牛肉中的Aw 降低^[15]。牦牛肉在高温风干过程中,肌肉的肌纤维纵向收缩,水分逐渐流失^[16]。而当风干温度越高时,肌纤维的收缩速度和程度越大,水分流失的速度越快, Aw 下降至0.2左右时所需的时间就越少。

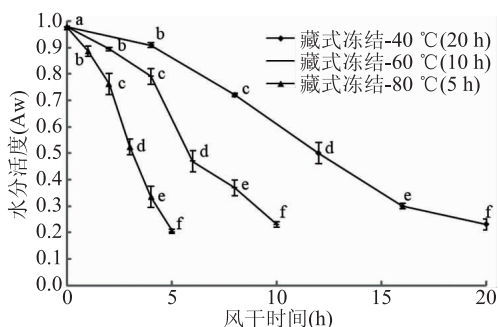


图1 风干牦牛肉在风干过程中Aw 的变化

Fig.1 Changes in Aw of air-dried yak meat during air drying

注:同一条曲线上的小写字母不同表示差异性显著($P < 0.05$)。

根据Aw 的变化可得藏式风干牦牛肉的风干过程分为三个阶段。风干初期Aw 从0.997降至0.8左右,主要流失的是自由水。Aw 从0.8降低至0.3是风干中期,消耗的是不易流动水,在该阶段几乎所有的微生物都停止了生命活动,有利于风干牦牛肉后续的储藏^[17]。风干后期消耗的主要是结合水,它是利用分子表面的极性基团与水分子之间的静电吸引力形成,不易受高温的影响而蒸发^[18],所以风干后期Aw 的下降速率最小。

2.2 风干过程中藏式风干牦牛肉 pH 的变化

由表2可知,藏式风干牦牛肉的pH 是随着冻结-风干次数的增加呈先升高后降低的趋势。在风干前期样品pH 上升的原因有三个,第一,肌肉中的蛋白质逐渐开始降解变成碱性的胺类化合物,造成pH 的升高^[19];第二,80℃的高温还会引起蛋白变性,进而破坏蛋白中稳定的化学键,而使蛋白质中的酸性基团减少,碱性基团增多;同时,高温还会造成脂质氧化,生成一些碱性或者中性的分解物,使肉的pH 升高^[20];第三,牦牛肉经过低温冷冻-高温风干的循环后蛋白质变性降解生成氨基酸,当生成的碱性氨基酸含量高于酸性氨基酸时,pH 就会

升高^[21]。

表2 藏式风干牦牛肉在风干过程中 pH 的变化

Table 2 Change of pH of Tibetan air-dried yak meat jerky during air drying

冻结-风干次数 (次)	藏式冻结 -40 ℃	藏式冻结 -60 ℃	藏式冻结 -80 ℃
0	5.50 ± 0.04 ^e	5.55 ± 0.04 ^e	5.40 ± 0.02 ^e
1	5.72 ± 0.02 ^e	5.90 ± 0.07 ^d	5.45 ± 0.03 ^d
2	5.75 ± 0.01 ^{bc}	6.33 ± 0.03 ^a	5.51 ± 0.02 ^e
3	5.87 ± 0.02 ^a	6.06 ± 0.01 ^b	5.62 ± 0.03 ^a
4	5.80 ± 0.02 ^{ab}	6.00 ± 0.01 ^b	5.56 ± 0.01 ^b
5	5.63 ± 0.02 ^d	5.87 ± 0.03 ^d	5.52 ± 0.01 ^e

注:表2中同一列不同的小写字母表示差异性显著($P < 0.05$)。

在风干后期,藏式风干牦牛肉的 pH 随着冻结-风干次数的增加开始降低。藏式冻结-40 ℃与冻结-80 ℃是经3次冻结-风干后 pH 开始降低,藏式冻结-60 ℃经2次冻结-风干后 pH 开始降低,这与李婉竹^[22]的研究结果一致。造成 pH 下降的原因是由于随着冻结-风干次数的增加,肌肉中肌纤维和基质中的部分蛋白变性,肌动蛋白收缩,脂肪溶解,打破了肌肉组织内的酸碱平衡,造成 pH 显著下降($P < 0.05$)^[23]。另外,冻结-风干时肌肉中的中性脂肪和磷脂酶解生成的游离脂肪酸也会引起 pH 的下降^[24]。

藏式风干牦牛肉在不同的温度条件下风干时, pH 的上升速率是不同的,依次为冻结-60 ℃ > 冻结-40 ℃ > 冻结-80 ℃。不同的温度会引起肌肉中不同程度的蛋白质变性和脂肪氧化现象的发生,造成蛋白质表面酸碱基团的动态变化^[25],进而造成 pH 升高速率的差别。

表3 藏式风干牦牛肉在风干过程中色差值的变化

Table 3 Changes in color of Tibetan air-dried yak meat jerky during air drying

色差值	冻结-风干次数(次)	藏式冻结-40 ℃	藏式冻结-60 ℃	藏式冻结-80 ℃
L^*	0	29.80 ± 0.26 ^a	30.93 ± 2.05 ^a	28.12 ± 2.44 ^a
	1	24.01 ± 0.27 ^e	23.94 ± 1.76 ^{bc}	20.62 ± 1.85 ^e
	2	25.75 ± 1.82 ^b	20.67 ± 0.36 ^c	20.78 ± 0.72 ^c
	3	26.01 ± 0.37 ^b	21.02 ± 0.93 ^c	21.63 ± 0.89 ^{bc}
	4	26.43 ± 0.76 ^b	22.01 ± 1.35 ^{bc}	23.65 ± 1.52 ^{bc}
	5	26.69 ± 0.41 ^b	25.23 ± 3.20 ^b	24.20 ± 1.98 ^b
a^*	0	15.89 ± 2.20 ^a	15.74 ± 0.76 ^a	13.03 ± 3.28 ^a
	1	11.12 ± 0.34 ^b	13.19 ± 0.19 ^b	9.39 ± 1.23 ^b
	2	10.34 ± 0.86 ^b	11.93 ± 0.44 ^c	8.09 ± 0.25 ^{bc}
	3	8.18 ± 0.53 ^c	8.04 ± 0.84 ^d	6.68 ± 0.28 ^{cd}
	4	7.45 ± 0.53 ^c	7.46 ± 0.56 ^d	6.07 ± 0.37 ^{cd}
	5	6.22 ± 0.69 ^e	7.04 ± 0.78 ^d	5.26 ± 0.24 ^d
b^*	0	10.22 ± 0.94 ^a	10.3 ± 1.16 ^a	10.24 ± 0.97 ^a
	1	8.66 ± 0.44 ^b	9.77 ± 0.67 ^{ab}	9.28 ± 0.93 ^{ab}
	2	7.24 ± 0.58 ^c	7.92 ± 1.70 ^{bc}	8.34 ± 0.83 ^{bc}
	3	6.04 ± 0.20 ^d	7.13 ± 1.65 ^c	7.33 ± 0.47 ^{cd}
	4	5.43 ± 0.33 ^{de}	6.33 ± 1.28 ^c	6.72 ± 1.05 ^{de}
	5	5.02 ± 0.34 ^e	5.82 ± 0.70 ^c	5.61 ± 0.21 ^e

注:表3中同一色度值的同一列不同的小写字母表示差异性显著($P < 0.05$)。

2.3 风干过程中藏式风干牦牛肉的色差值变化

从表3可以看出,藏式风干牦牛肉的 L^* 值在风干过程中呈先下降后上升的趋势。肉品中 L^* 值一般随着肌肉的结构特性、肌肉中的水分分布以及位置的变化而变化。因此在风干前期, L^* 值下降是由于牦牛肉中的水分含量逐渐降低使得肌肉中的肌红蛋白等色素的浓度升高,降低了光线的透射率^[26]。随后,藏式风干牦牛肉经过3次冻结-风干后 L^* 值逐渐升高。这是因为随着反复冻结-风干次数的增加,风干后期风干温度与冻结温度的巨大落差破坏了肌肉中肌纤维的结构,肌间和肌肉内的水分大量流出至肉的表面。但由于风干前期牦牛肉的表面形成了一层较坚硬的外壳,流至牦牛肉表面的水分不能全部蒸发出去,就会在肉的表面堆积,提高肉对光线的散射程度,从而使得 L^* 值升高^[27]。不同风干温度下藏式风干牦牛肉的升高速率依次为冻结-60 ℃ > 冻结-80 ℃ > 冻结-40 ℃,说明牦牛肉在60 ℃风干时形成的色泽最明亮,该结果为控制藏式风干牦牛肉色泽的变化提供了理论基础。

藏式风干牦牛肉中的 a^* 值在整个风干过程中呈现显著下降的趋势($P < 0.05$)。但不同风干温度下,其 a^* 值的下降速率有差异,依次为冻结-40 ℃ > 冻结-80 ℃ > 冻结-60 ℃。肉品中 a^* 值的变化与肌红蛋白的类型以及化学状态有关^[28]。风干过程中藏式风干牦牛肉 a^* 值下降的主要原因有以下三个。一,风干过程中的高温、光照、氧气等促进了肌红蛋白和氧合肌红蛋白被氧化成高铁肌红蛋白,而高铁肌红蛋白使肉呈现褐色;二,风干过程中脂质氧化生成的自由基和某些氧化产物可以促进肌红蛋白的氧化,加快褐色素的形成^[29];三,反复的冻结-风干会

使蛋白质氧化生成羰基,加速了高铁肌红蛋白的沉积^[30]。

从表 3 中可知,藏式风干牦牛肉的 b^* 值在整个风干过程中呈显著下降的趋势 ($P < 0.05$)。不同风干温度下各组 b^* 值的下降速率依次是冻结-40℃ > 冻结-80℃ > 冻结-60℃。 b^* 值的高低与肉中脂质的氧化程度呈正相关^[31]、与蛋白质的降解程度有关^[32]。本研究中 b^* 值呈下降的原因可能是由于反复的冻结和高温风干共同作用而使肉中的呈色物质进一步发生反应。

肉制品色泽的变化与肌红蛋白有密切的关系,风干温度、脂质氧化、pH、O₂ 等都会影响肌红蛋白的含量和状态。冻结-40℃ 组所需风干时间长达 20 h,因此以上因素对该组风干牦牛肉的影响时间最长, a^* 值和 b^* 值下降速率最大。当温度高于 80℃ 时,肌红蛋白开始变性,所以冻结-80℃ 组的 a^* 值和 b^* 值的下降速率大于冻结-60℃ 组。

2.4 风干过程中藏式风干牦牛肉的 TBA 值变化

脂肪氧化的初级产物能够快速的转化成次级产物如丙二醛。硫代巴比妥酸法是通过测定肉制品中含有的丙二醛含量来衡量脂肪氧化的程度,进而评价肉制品的品质。从表 4 中可以看出,藏式风干牦牛肉在风干过程中 TBA 值都显著升高 ($P < 0.05$)。说明在风干的过程中,持续的高温、充足的光线以及氧气不断地促使藏式风干牦牛肉发生脂质氧化,并生成次级产物。而且反复的低温冻结-高温风干工艺会加速次级产物的生成。当牦牛肉中还存在大量水分,冻结使水分快速形成冰晶,坚硬的冰晶能够戳破肌肉内的细胞,细胞器中流出的促氧化剂和酶促进了脂肪氧化,加速形成次级产物提高 TBA 值^[33]。三组风干牦牛肉 TBA 值的升高速率依次为冻结-60℃ > 冻结-40℃ > 冻结-80℃,这可能是因为 在 40~60℃ 时,肌球蛋白最先变性,加快脂肪的氧化速度。

表 4 藏式风干牦牛肉在风干过程中 TBA 值的变化

Table 4 Change of TBA value of Tibetan air-dried yak meat jerky during air drying

冻结-风干次数 (次)	藏式冻结 -40℃	藏式冻结 -60℃	藏式冻结 -80℃
0	0.35 ± 0.03 ^f	0.35 ± 0.03 ^f	0.32 ± 0.04 ^d
1	0.60 ± 0.03 ^e	0.78 ± 0.02 ^e	0.48 ± 0.02 ^e
2	0.85 ± 0.03 ^d	0.95 ± 0.05 ^d	0.52 ± 0.04 ^e
3	1.04 ± 0.03 ^c	1.21 ± 0.03 ^c	0.92 ± 0.07 ^b
4	1.23 ± 0.03 ^b	1.48 ± 0.03 ^b	1.07 ± 0.03 ^b
5	1.60 ± 0.03 ^a	1.68 ± 0.05 ^a	1.35 ± 0.21 ^a

注:表 4 中同一列不同的小写字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。

脂肪的氧化在一定范围内可以为肉制品提供香味,但根据 Wood 等^[34]的研究可知,当肉中的 TBA 值超过 1 mg/kg 的时候,肉品就会出现酸败味,影响产品的整体感官。比较表 4 中的数据可得,冻结-40℃ 的 TBA 值从 0.35 mg/kg 升高至 1.60 mg/kg;冻结-60℃ 的从 0.35 mg/kg 升高至 1.68 mg/kg;冻结

-80℃ 从 0.32 mg/kg 升高至 1.35 mg/kg。虽然 TBA 值均超过了 1 mg/kg,但是没有明显的酸败味出现,可能与采用的原料肉以及加工处理方式有关。

2.5 风干过程中藏式风干牦牛肉的挥发性风味物质变化

牦牛肉在风干过程中生成挥发性风味物质的主要途径是脂肪氧化、美拉德反应^[7]。由表 5 可得藏式风干牦牛肉中共检出 7 类挥发性风味物质,包括酸类(3 种)、醛类(12 种)、酮类(6 种)、醇类(26 种)、烯烃类(27 种)、含硫化合物(2 种)、杂环类(2 种)。

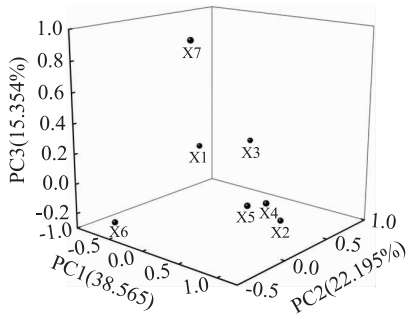


图 2 挥发性风味物质的因子载荷分析图

Fig.2 Factor load analysis chart of volatile flavor substances

由于构成挥发性风味物质变量较多,不能对其进行系统的分析,因此采用主成分分析法来简化数据,以得到不同变量之间的关系^[35]。将酸类、醛类、酮类、醇类、烯烃类、含硫化合物、杂环类分别由变量 X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7 表示,根据表 5 不同处理组中的 18 个风干时间点和 7 类挥发性风味物质成分构成 18 × 7 的矩阵,采用 SPSS 25.0 和 Origin 2019 软件对其进行主成分分析,一般当特征根 > 1 和累计贡献率 > 70% 时就能做为主成分^[36]。由图 2 可知,构成藏式风干牦牛肉挥发性风味物质的有三个主成分,第一主成分(PC1)贡献率是 38.565%,第二主成分(PC2)贡献率是 22.198%,第三主成分(PC3)贡献率是 15.354%。每个主成分的特征值均大于 1,累计贡献率达到 76.117%,因此这三个主成分能够较好的反映藏式风干牦牛肉在风干过程中挥发性风味物质相对含量的变化。

根据挥发性风味物质的因子载荷分析图可以判断出每一个变量(X1...X7)对该主成分的贡献度的大小,当它的载荷绝对值越大时,表明该变量对该主成分的贡献率越大,本次研究中载荷的绝对值采用大于 0.6 为判断依据^[37]。由图 2 可知构成 PC1 的是酸类、醛类、醇类、烯烃类以及含硫化合物;酸类和酮类对 PC2 的贡献最大;形成 PC3 的是杂环类。

由图 3 可知,样品在不同主成分上的得分是具有差异的,结合表 5、图 2 以及图 3 可知藏式冻结-40℃ 风干至 12 h 时在 PC1 和 PC2 上的得分最高,构成该时间点的挥发性风味物质主要是酸类、醛类、醇类、烯烃类、含硫化合物、酮类;当到达风干终点 20 h 时,风干牦牛肉的得分主要在 PC1,说明藏式风干牦牛肉成品的挥发性风味物质有酸类、醛类、醇类、烯烃类、含硫化合物。

表5 风干过程中挥发性风味物质类别及相对含量变化

Table 5 Changes in the types and relative contents of volatile flavor substances during air drying

组别	序号	风干时间点 (h)	相对含量(%)						
			酸类 (3)	醛类 (12)	酮类 (6)	醇类 (26)	烯烃类 (27)	含硫化化合物 (2)	杂环类 (2)
藏式冻结-40 ℃	1	0	0.76	1.81	0.47	1.25	1.92	2.85	-
	2	4	0.53	4.01	1.62	17.83	10.14	3.8	-
	3	8	-	1.47	-	8.03	18.34	4.61	-
	4	12	0.13	4.96	0.98	23.24	21.4	-	-
	5	16	-	5.74	-	18.65	10.7	-	-
	6	20	-	3.94	0.82	20.55	35.66	-	-
藏式冻结-60 ℃	7	0	0.76	1.81	0.47	1.25	1.92	2.85	-
	8	2	-	2.12	-	8.92	0.4	-	-
	9	4	1.69	3.75	3.91	3.47	14.53	0.73	-
	10	6	0.12	3.64	-	3.03	24.23	3.91	-
	11	8	0.1	3.43	-	17.21	25.96	-	-
	12	10	0.09	2.59	0.19	10.12	19.93	-	-
藏式冻结-80 ℃	13	0	0.76	1.81	0.47	1.25	1.92	2.85	-
	14	1	0.21	1.63	1.04	14.81	17.75	2.93	-
	15	2	0.1	3.52	0.67	14.16	25.85	-	-
	16	3	0.26	5.94	-	16.15	11.43	-	-
	17	4	0.88	1.84	-	13.34	16.27	3.41	0.15
	18	5	0.17	2.52	0.6	14.26	16.58	-	1.62

注:表中的“-”代表未检出。

藏式冻结-60 ℃风干至第8 h时在PC1上的得分最高,主要的挥发性风味物质就是酸类、醛类、醇类、烯烃类及含硫化化合物;而到风干终点第10 h时,PC2占风干牦牛肉挥发性风味的比例较大。即酸类和酮类是形成藏式冻结-60 ℃风干牦牛肉成品的挥发性风味物质。

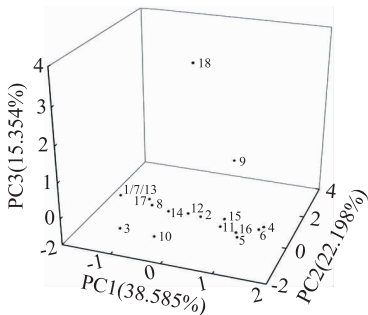


图3 样品在不同主成分上的得分散点图

Fig.3 Scattered dot plots of samples on different principal components

注:图3中样品的序号与表5中的序号相同。

藏式冻结-80 ℃在风干3 h时,PC1中的酸类、醛类、醇类、烯烃类、含硫化化合物对该时间点挥发性风味物质的形成贡献值最大,PC2中的酸类和酮类对风干4 h时的挥发性风味贡献值最大。而到达风干终点时,PC3中的杂环类主要形成成品风干牦牛肉的挥发性风味物质。

3 结论

模拟藏式风干牦牛肉加工过程中,A_w下降至0.2时各组样品所需时间是冻结-40 ℃风干>冻结

-60 ℃风干>冻结-80 ℃风干。不同处理组中,藏式风干牦牛肉的pH均先降低后升高;但冻结-60 ℃风干组样品的pH上升速度最快。冻结-60 ℃风干组样品的L*值经过3次冻结-风干后升高的速率最快,且a*值与b*值在风干过程中下降的速率最慢。冻结-80 ℃风干组藏式风干牦牛肉的TBA值的升高速率最小。对7类挥发性风味物质进行主成分分析得到三个主成分,累计贡献率达到76.117%,且得到不同风干温度和风干时间点的挥发性风味物质是由不同的主成分组成的,而在接近风干终点时,构成冻结-60 ℃风干组的挥发性风味物质种类最多,包括酸类、醛类、醇类、烯烃类、含硫化化合物、酮类。综合分析三个风干温度下牦牛肉的理化特性和挥发性风味物质的变化,藏式冻结-60 ℃风干制得的藏式风干牦牛肉品质最佳,研究结论对于改善传统藏式风干牦牛肉的生产劣势有一定参考价值,今后建议进一步探索模拟工艺对藏式风干牦牛肉质构、水分迁移、营养物质以及安全性的影响。

参考文献

[1]罗章,小巴桑,米玛巴吉,等.西藏自然风冻干牦牛肉加工工艺与微生物菌相分析[J].西北农业学报,2009,18(6):373-376.
[2]高媛,衣文正,张荣,等.风干牦牛肉品质形成与微生物变化规律研究[J].中国农业科技导报,2013,15(2):125-130.
[3]雷虹.传统风干肉在风干和贮藏过程中品质及风味物质的变化研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.
[4]张丽,马纪兵,王妍,等.甘肃牧区风干牦牛肉加工过程中

- 的品质变化[J].食品工业科技,2017(21):8-13,18.
- [5] 宋艳艳,马纪兵,王惠惠,等.传统风干牦牛肉加工过程中新鲜度的变化[J].食品与发酵科技,2019,55(1):19-23.
- [6] 曾静瑜.自然冷冻风干牛肉品质形成与微生物变化规律的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [7] 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.
- [8] 沙坤,李海鹏,张杨,等.固相微萃取-气质联用法分析五种新疆风干牛肉中的挥发性风味成分[J].食品工业科技,2014,35(21):310-315.
- [9] 陈海涛,孙杰,蒲丹丹,等.OAV和GC-MS-O法鉴定内蒙古风干牛肉风味活性物质[J].食品工业科技,2016,37(15):304-308,312.
- [10] 张坤,王道营,张森,等.超声对鹅胸肉嫩度及品质的影响[J].食品科学,2018,39(15):122-127.
- [11] 马骋,文鹏程,梁琪,等.不同含氧包装方式对牦牛肉保鲜效果的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(6):187-192.
- [12] 丁希,唐善虎,李思宁,等.恒温发酵温度对发酵牦牛肉灌肠理化性质的影响[J].食品工业科技,2019,40(5):42-47.
- [13] 吴倩蓉,周慧敏,李素,等.风干肠贮藏过程中挥发性风味物质的变化及异味物质分析[J].食品科学,2019,40(20):208-216.
- [14] 王元,张伟艺,刘雨杨,等.超高压处理对重组复合肉干感官及风味的影响[J].中国调味品,2017,42(2):63-68,74.
- [15] 包建强,路昊.不同冻藏温度下黄鳍金枪鱼背部肌肉实用冷藏期的研究[C].中国水产学会渔业制冷专业委员会学术年会,2007.
- [16] Mora B, Curti E, Vittadini E, et al. Effect of different air/steam convection cooking methods on turkey breast meat: Physical characterization, water status and sensory properties [J]. Meat Science, 2011, 88(3): 489-497.
- [17] Harper N M, Getty K J K, Boyle E A E. Evaluation of sample preparation methods for water activity determination in jerky and kippered beef: A research note [J]. Meat Science, 2010, 86(2): P.527-528.
- [18] 翁航萍,徐雄新.肉类保藏技术(十六)肉与肉制品的水分活度[J].肉类研究,2009(5):67-70,83.
- [19] Olaoye O A. Changes in physicochemical properties and volatiles of pork b alangu as possible indicators of spoilage during ambient temperature storage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016, 40(3): 473-482.
- [20] Huang Y, Li H, Huang T, et al. Lipolysis and lipid oxidation during processing of Chinese traditional smoke-cured bacon [J]. Food Chemistry, 2014, 149: 31-39.
- [21] 童今柱.加热方式对鸭肉肌原纤维蛋白结构和功能性质及肉品质形成的影响研究[D].合肥:合肥工业大学,2019.
- [22] 李婉竹.多次冻融对牦牛肉品质及其蛋白质氧化的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2017.
- [23] 阿依木古丽,蔡勇,陈士恩,等.冻融对早胜牛肉品质及微细结构的影响[J].畜牧兽医学报,2011,42(3):375-380.
- [24] 韩敏义,刘志勤,刘岳,等.反复冻融对鸡肉品质的影响[J].江苏农业学报,2013,29(1):167-171.
- [25] 程珂萌,周昌瑜,潘道东,等.低温风干型酱鸭加工过程中脂质氧化特性[J].食品科学,2018,39(12):219-225.
- [26] Molinero C, Martinez B, Rubio B, et al. The effects of extended curing on the microbiological, physicochemical and sensorial characteristics of Cecina de Leon [J]. Meat Science, 2008, 80(2): 370-379.
- [27] Hopkins D L, Lamb T A, Kerr M J, et al. Examination of the effect of ageing and temperature at rigor on colour stability of lamb meat [J]. Meat Science, 2013, 95(2): 311-316.
- [28] 饶伟丽,王振宇,辛建增,等.热风干温度对风干肉品质和加工能耗的影响[J].肉类研究,2017,31(01):13-18.
- [29] Suman S P, Hunt M C, Nair M N, et al. Improving beef color stability: Practical strategies and underlying mechanisms [J]. Meat Science, 2014, 98(3): 490-504.
- [30] Cheng S S, Wang X H, Li R R, et al. Influence of multiple freeze - thaw cycles on quality characteristics of beef semimembranous muscle: With emphasis on water status and distribution by LF-NMR and MRI [J]. Meat science, 2019, 147 (JAN.): 44-52.
- [31] Qian S, Li X, Wang H, et al. Effect of sub-freezing storage (-6, -9 and -12 °C) on quality and shelf life of beef [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53 (9): 2129-2140.
- [32] 陈丽艳,潘道东,曹锦轩,等.超声波处理对鹅肉蛋白结构及品质的影响[J].核农学报,2018,32(12):2363-2372..
- [33] Chen Q M, Xie Y F, Xi J Z, et al. Characterization of lipid oxidation process of beef during repeated freeze-thaw by electron spin resonance technology and Raman spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2018, 243 (MAR.15): 58-64.
- [34] Wood J D, Enser M, Fisher A V, et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review [J]. Meat ence, 2008, 78(4): 343-358.
- [35] Sasan K, Shahidan M Abdullah, Azizah A Manaf, et al. An overview of principal component analysis [J]. Journal of Signal & Information Processing, 2013, 4(3B): 173-175.
- [36] 刘登勇,赵志南,吴金城,等.基于SPME-GC-MS分析熏制材料对熏鸡腿挥发性风味物质的影响[J].食品科学,2019,40(24):220-227.
- [37] 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.
- [34] 张焕新,张伟,徐春仲.糯小麦粉添加量对配粉流变学特性及馒头品质的影响[J].食品科学,2014,35(3):80-84.
- [35] 范会平,吴丹,王娜,等.紫薯全粉面配方及制备工艺的优化[J].食品与发酵工业,2017,43(9):155-161.

(上接第18页)

42-47.

[33] 刘锐,武亮,张影全,等.基于低场核磁和差示量热扫描的面条面团水分状态研究[J].农业工程学报,2015,31(9):288-294.