

牦牛脂肪不同脱腥处理比较及其腥味物质分析

周佳, 徐瑾, 赵文俊, 张丽, 韩广兴, 韩玲, 余群力

(甘肃农业大学 食品科学与工程学院, 兰州 730070)

摘要:旨在提高牦牛脂肪的综合利用,以新鲜的牦牛脂肪为原料,分别采用酵母葡聚糖、活性干酵母、 β -环糊精、茶多酚对牦牛脂肪进行脱腥处理,以牦牛脂肪所炼制的牦牛油腥味值作为评价指标,采用单因素实验优化4种脱腥方法的条件,并采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术对脱腥处理前后牦牛脂肪所炼制的牦牛油的挥发性风味物质组成及含量进行分析,采用相对气味活度值(ROAV)确定牦牛脂肪可能的腥味物质,并对脱腥处理前后牦牛油进行感官评价。结果表明:4种脱腥方法的最佳条件为酵母葡聚糖质量分数1.2%、料液比1:4、浸泡时间2 h,活性干酵母质量分数1.1%、料液比1:4、浸泡时间40 min, β -环糊精质量分数0.6%、料液比1:4、浸泡时间40 min,茶多酚质量分数0.35%、料液比1:3、浸泡时间50 min;经酵母葡聚糖、活性干酵母、 β -环糊精、茶多酚脱腥处理的牦牛油中分别检出63、61、68、65种挥发性风味物质,其中可能的腥味物质含量较未脱腥处理的降低,这些腥味物质可能是(*E*)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、正己酸、庚酸、辛酸、油酸等;经挥发性物质分析和感官评价综合判定,酵母葡聚糖处理对牦牛脂肪的脱腥效果最佳。综上,酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚溶液浸泡处理可降低牦牛脂肪的腥味物质含量,其中以酵母葡聚糖的脱腥效果最佳。

关键词:牦牛脂肪;脱腥;HS-SPME-GC-MS;腥味物质

中图分类号:TS225.2;O657.63 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2025)04-0094-09

Comparison of different deodorization methods for yak fat and its fishy odor substances analysis

ZHOU Jia, XU Jin, ZHAO Wenjun, ZHANG Li,
HAN Guangxing, HAN Ling, YU Qunli

(College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to improve the comprehensive utilization of yak fat, the deodorization of yak fat was carried out with fresh yak fat as raw material by using yeast glucan, active dry yeast, β -cyclodextrin and tea polyphenol, respectively. The fishy odor value of yak oil prepared from yak fat was used as the evaluation index, and the deodorization conditions for the four deodorization methods were optimized by single factor experiment. Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) was used to analyze the composition and content of volatile flavor substances of yak oil produced from yak fat before and after deodorization, the relative odor activity value (ROAV) was used to analyze the possible fishy odor substances, and the sensory properties of yak oil before and after deodorization were compared. The results showed that the optimal conditions for the four

deodorization methods were yeast glucan mass fraction of 1.2%, material-liquid ratio of 1:4, and soaking time of 2 h for yeast glucan deodorization; active dry yeast mass fraction of 1.1%, material-liquid ratio of 1:4, soaking time of 40 min for active dry yeast deodorization; β -cyclodextrin mass fraction of 0.6%, material-

收稿日期:2024-02-02;修回日期:2024-11-28

基金项目:国家重点研发计划(2021YFD1600204-02);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-37);甘肃省自然科学基金(GNJY-ZC-2023-062)

作者简介:周佳(2000),女,硕士研究生,研究方向为畜产品加工(E-mail)648832361@qq.com。

通信作者:韩玲,教授,博士(E-mail)hltgggyx@163.com。

liquid ratio of 1:4, soaking time of 40 min for β -cyclodextrin deodorization; tea polyphenol mass fraction of 0.35%, material-liquid ratio of 1:3, soaking time of 50 min for tea polyphenol deodorization. There were 63, 61, 68 and 65 volatile flavor substances in yak oil deodorized with yeast glucan, active dry yeast, β -cyclodextrin, and tea polyphenol, respectively, in which the contents of possible fishy odor substances were reduced compared with undeodorized yak fat. The fishy odor substances of yak fat could be (*E*)-2-octenal, 1-octen-3-ol, *n*-hexanoic acid, heptanoic acid, caprylic acid, oleic acid and so on. The yeast glucan treatment had the best deodorization effect on yak fat, as determined by the combination of volatile substance analysis and sensory evaluation. In conclusion, yeast glucan, β -cyclodextrin, active dry yeast, and tea polyphenol solution soaking treatment can reduce the content of fishy odor substances in yak fat, and among them, the deodorization effect of yeast glucan is the best.

Key words: yak fat; deodorization; HS-SPME-GC-MS; fishy odor substances

牦牛是我国高海拔地区特有的畜牧品种,2022 年我国牦牛屠宰量约 380 万头,牦牛肉产量接近 48.6 万 t^[1]。牦牛脂肪作为牦牛的副产物之一,占胴体总质量的 15%~25%。牦牛油是由牦牛脂肪组织炼制而成的食用油脂,具有较高的营养价值^[2]。但牦牛脂肪具有腥味^[3],限制了牦牛脂肪精深加工产业的发展。

目前的脱腥方法主要有物理法、化学法、生物法、复合脱腥法等^[4]。物理法主要通过脱腥剂吸附或掩盖腥味物质等方式达到脱腥效果,包括包埋法、吸附法、掩盖法等,如 Xue 等^[5]研究发现酵母葡聚糖对鱼类产品具有很强的除臭潜力。化学法主要通过脱腥剂和腥味物质发生反应脱除腥味^[6],包括酸碱法、抗氧化剂法、臭氧法等,如娄永江^[7]采用 CaCl₂ 和 HCl 组成的脱腥剂,可有效脱除龙头鱼的腥味。生物法主要利用微生物的代谢反应脱除腥味物质,如罗进等^[8]采用面包酵母发酵法对牛肝进行脱腥,脱腥效果较好。目前肉类产品脱腥已有大量研究,但牦牛脂肪腥味物质的脱除尚未有报道。

本研究以新鲜牦牛脂肪为研究对象,分别采用酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚对牦牛脂肪进行浸泡脱腥处理,将脱腥后的脂肪组织炼制成牦牛油,以牦牛油腥味值作为牦牛脂肪脱腥效果的评价指标,采用单因素实验对每种脱腥方法的条件进行优化,并采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术对牦牛油的挥发性成分进行测定,分析脱腥前后样品间挥发性物质的差异,确定牦牛脂肪中可能影响整体风味的腥味物质,以期对牦牛脂肪脱腥方法的选择和深加工利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

新鲜牦牛脂肪,购自青海裕泰畜产品有限公司,为 6 头生长发育良好、健康无病、3 岁、体质量(550±50)kg 的牦牛腹部脂肪。

酵母葡聚糖、活性干酵母,安琪酵母股份有限公司; β -环糊精、茶多酚,上海源叶生物科技有限公司;苯甲醇(≥99.5%),色谱纯,天津百世化工有限公司。

1.1.2 仪器与设备

LH-C20002 电子天平,永康市五鑫衡器有限公司;7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪、OV-1701 色谱柱,美国安捷伦公司;HS-SPME 装置、50/30 μ m 二乙基苯/碳分子筛/聚二甲甲基硅(DVB/CAR/PDM)萃取头,美国默克公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理

新鲜牦牛脂肪去除结缔组织后,切成 1 cm × 1 cm 的块状,放入聚乙烯包装袋内于 -18℃ 贮藏备用。

1.2.2 牦牛脂肪的脱腥

称取一定量预处理的牦牛脂肪,按一定料液比向其中分别加入酵母葡聚糖溶液(质量分数 0.6%~1.4%)、活性干酵母溶液(质量分数 0.8%~1.2%)、 β -环糊精溶液(质量分数 0.3%~0.7%)、茶多酚溶液(质量分数 0.05%~0.45%),常温下浸泡处理一定时间后,取出,沥干水分,得到 4 种脱腥牦牛脂肪。

1.2.3 牦牛油的炼制

使用破壁机将牦牛脂肪粉碎,装入烧杯中并置

于 65℃ 水浴锅中加热 2 h。趁热使用 4 层纱布过滤,滤液(牦牛油)于 -18℃ 贮藏备用。

1.2.4 腥味的测定

参考邢贵鹏等^[9]的方法,将牦牛油在 60℃ 水浴中保持液体状态,由 10 名经过培训的感官评定员根据表 1 评分标准对牦牛油腥味程度进行打分,每个样品评定间隔 5 min 并以蒸馏水清理嗅觉,结果取平均值。

表 1 腥味评分标准

Table 1 Scoring criteria for fishy odor

腥味值(分)	腥味程度
0	无腥味
1~2	略有腥味
3~4	腥味较弱
5~6	腥味一般
7~8	腥味偏重
9~10	腥味很重

1.2.5 挥发性风味物质的组成分析

参考秦雅丽^[10]的方法并稍作修改。称取 5.0 g 牦牛油于 40 mL 顶空瓶中,加入 20 μL 内标苯甲醇(50 μg/mL)及磁转子,于 60℃ 恒温磁力搅拌器中平衡 30 min 后,插入 SPME 萃取头,在 60℃ 下萃取 30 min,将萃取头插入气相色谱仪进样口 250℃ 解吸 5 min,进行 GC-MS 分析。

GC 条件:DB-WAX 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);升温程序为初温 40℃,保持 3 min,以 5℃/min 升至 100℃,再以 12℃/min 升至 230℃,保持 12 min;载气为高纯氮气,流速 1.2 mL/min。MS 条件:接口温度 250℃;EI 源,离子源温度 240℃;电离电压 70 eV;质量扫描范围(m/z)33~450。

通过将所测样品谱图与 NIST 14 谱库检索比对进行定性分析,采用内标法进行半定量分析。风味物质含量计算如公式(1)所示。

$$C = c_0 \times V \times S \times 10^{-3} / (S_0 \times m) \times 100\% \quad (1)$$

式中: C 为风味物质含量,mg/kg; c_0 为内标物质质量浓度,μg/mL; V 为内标物体积,μL; S 为各组分峰面积; S_0 为内标物峰面积; m 为样品质量,g。

1.2.6 相对气味活度值(ROAV)计算

参考马玉琴等^[11]的方法计算挥发性成分的 ROAV,其中 ROAV 大于或等于 1 为关键风味物质,ROAV 大于或等于 0.1 且小于 1 则对整体风味有重要修饰作用^[8]。ROAV 计算如公式(2)所示。

$$V_{ROA} = 100 \times \frac{C_i}{C_{max}} \times \frac{T_{max}}{T_i} \quad (2)$$

式中: V_{ROA} 为 ROAV; C_i 和 C_{max} 分别为各挥发性组分和对样品总体风味贡献最大(含量与对应阈值比值最大)挥发性组分的相对含量; T_i 和 T_{max} 分别为各挥发性组分和对样品总体风味贡献最大挥发性组分的感受阈值,mg/kg。

1.2.7 感官评价

参考郑斐庭^[12]的方法,采用描述性感官分析方法,选取 10 名成员进行油脂风味评价培训。经过文献查阅,确定使用牛肉味、脂香味、腥味、酸臭味和奶香味 5 个描述词对牦牛油进行感官评价,同时对牦牛油的整体风味强度予以评价。这 5 个感官描述词相应参照物见表 2。采取 10 分制法对牦牛油每个感官描述词及总体风味进行强度评价,其中 0 代表无气味,1~3 代表气味较弱,4~6 代表气味强度一般,7~9 代表气味强度较强,10 代表气味强度很强。

表 2 感官描述词相应参照物

Table 2 Corresponding references for sensory

descriptive words

感官描述词	气味描述	参照物
牛肉味	牛肉特征气味	熟牛肉
脂香味	纯净动物脂肪的气味	加热的纯净动物脂肪
腥味	畜禽肉所具有的特殊臭味	牦牛皮毛
酸臭味	油脂酸败气味	己酸
奶香味	一种浓郁的、具有动物性的牛奶气味	奶酪

1.2.8 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 对数据进行均值和标准差的计算;使用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行单因素方差分析(ANOVA),检验数据间差异的显著性;用 Origin 2022 软件绘图。

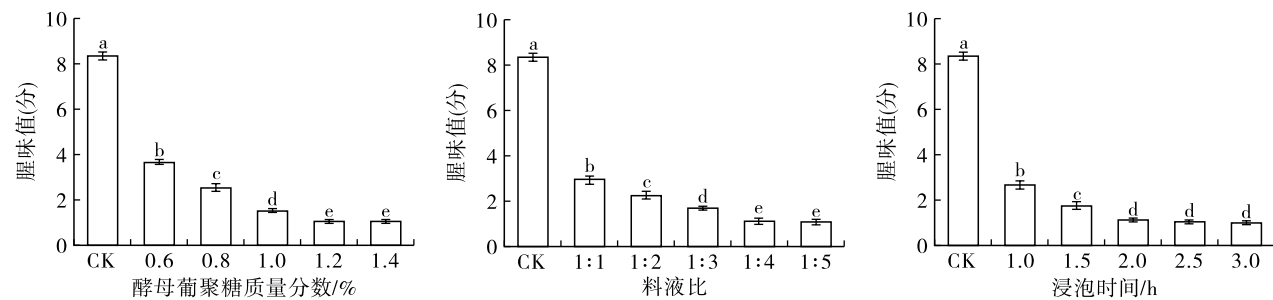
2 结果与分析

2.1 牦牛脂肪不同脱腥处理单因素实验

2.1.1 酵母葡聚糖脱腥处理

酵母葡聚糖处理对牦牛脂肪脱腥效果影响的单因素实验结果见图 1。

由图 1 可知,牦牛油腥味值随酵母葡聚糖质量分数的增大、料液比的减小或浸泡时间的延长呈先下降后平缓的趋势,分别在酵母葡聚糖质量分数 1.2%、料液比 1:4、浸泡时间 2 h 后变化不显著($p > 0.05$)。研究表明,酵母葡聚糖通过较大的比表面积吸附腥味物质^[5],且其自身具有的气味也可以掩蔽腥味^[13]。综上,确定牦牛脂肪酵母葡聚糖脱腥的最佳条件为酵母葡聚糖质量分数 1.2%、料液比 1:4、浸泡时间 2 h。



注:CK. 未脱腥处理(对照);不同字母表示差异显著($p < 0.05$);单因素实验时其他 2 种因素取所选条件范围中值。下同
Note:CK. Undeodorized yak fat (control group); Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$); In single factor experiment, the other two factors were set at the median of their selected range. The same below

图 1 酵母葡聚糖处理对牦牛脂肪脱腥效果影响的单因素实验

Fig.1 Single factor experiment of effect of yeast glucan on the deodorization effect of yak fat

2.1.2 活性干酵母脱腥处理

活性干酵母处理对牦牛脂肪脱腥效果影响的单因素实验结果见图 2。

由图 2 可知,牦牛油腥味值随活性干酵母质量分数的增加或浸泡时间的延长呈先下降后上升趋势,并分别在活性干酵母质量分数 1.1%、浸泡时间

40 min 时达到最低,随后腥味值上升的原因可能是活性干酵母质量分数过大或浸泡时间过长产生了异味^[8]。牦牛油腥味值随料液比的减少逐渐降低,并在料液比 1:4 后不再显著变化($p > 0.05$)。综上,确定牦牛脂肪活性干酵母脱腥的最佳条件为活性干酵母质量分数 1.1%、料液比 1:4、浸泡时间 40 min。

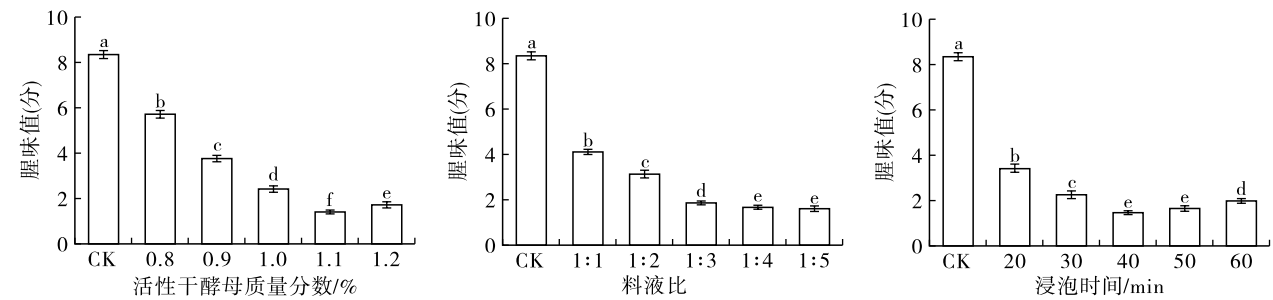


图 2 活性干酵母处理对牦牛脂肪脱腥效果影响的单因素实验

Fig.2 Single factor experiment of effect of active dry yeast on the deodorization effect of yak fat

2.1.3 β -环糊精脱腥处理

β -环糊精处理对牦牛脂肪脱腥效果影响的单因素实验结果见图 3。

由图 3 可知,牦牛油腥味值随 β -环糊精质量分数增加呈逐渐下降的趋势,并在 β -环糊精质量分数 0.6% 时达到最小值,与杨莉莉^[14]的实验结果基本一致(其研究发现 β -环糊精添加量越大,对鱼明胶腥味物质的包埋作用越强)。牦牛油腥味值随

着料液比的减少或浸泡时间的延长呈先下降后上升的趋势。林日高等^[15]研究表明, β -环糊精对鳙鱼水解液的脱腥效果随浸泡时间的延长呈先下降后上升趋势,与本实验结果趋势一致。当浸泡时间为 40 min、料液比为 1:4 时,牦牛油腥味值均达到最小值。因此,确定牦牛脂肪 β -环糊精脱腥的最佳条件为 β -环糊精质量分数 0.6%、料液比 1:4、浸泡时间 40 min。

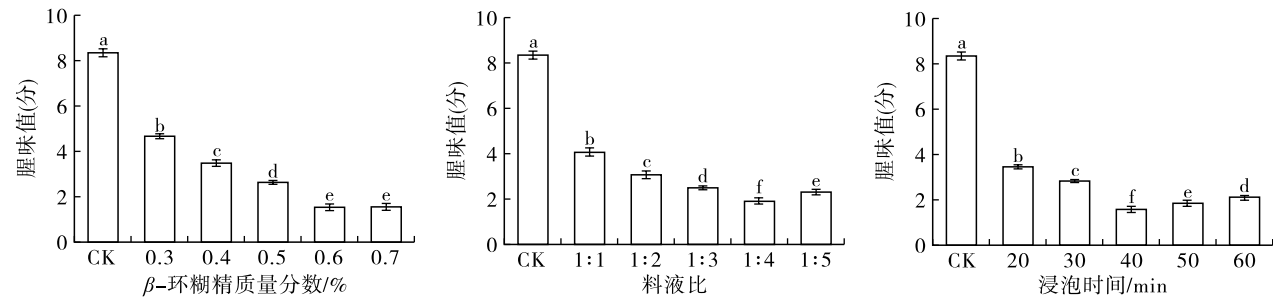


图 3 β -环糊精处理对牦牛脂肪脱腥效果影响的单因素实验

Fig.3 Single factor experiment of effect of β -cyclodextrin on the deodorization effect of yak fat

2.1.4 茶多酚脱腥处理

茶多酚处理对牦牛脂肪脱腥效果影响的单因素

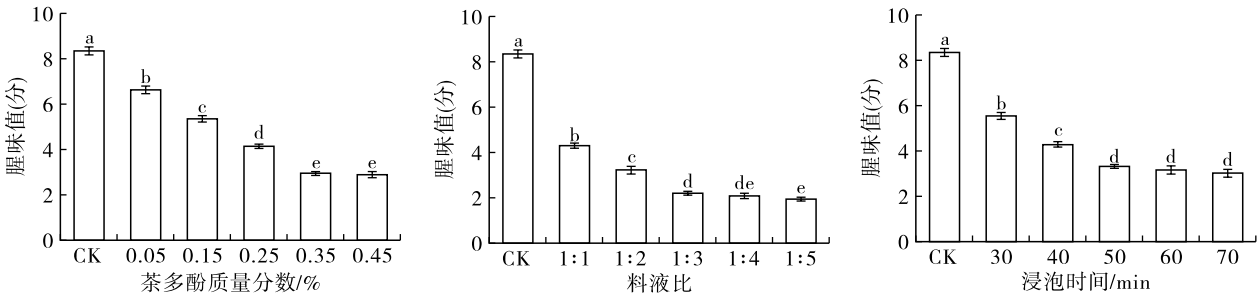


图 4 茶多酚处理对牦牛脂肪脱腥效果影响的单因素实验

Fig.4 Single factor experiment of effect of tea polyphenol on the deodorization effect of yak fat

由图 4 可知,牦牛油腥味值随着茶多酚质量分数的增大、料液比的减少或浸泡时间的延长呈先下降后趋于平缓的趋势。茶多酚对腥味的脱除可能缘于其抗氧化作用^[16]以及自身气味对腥味的掩蔽作用^[7]。牦牛油腥味值分别在茶多酚质量分数 0.35%、料液比 1:3、浸泡时间 50 min 后达到较小且随后无明显变化。由于随着茶多酚质量分数的增大、料液比的减少及浸泡时间的延长,牦牛油的颜色会变深,因此取茶多酚质量分数 0.35%、料液比 1:3、浸泡时间 50 min 为牦牛脂肪茶多酚脱腥的最佳条件。

2.2 脱腥前后牦牛油挥发性风味物质的组成

将未脱腥处理的牦牛脂肪与优化条件下 4 种脱

实验结果见图 4。

腥处理的牦牛脂肪按 1.2.3 方法炼制牦牛油,按 1.2.5 方法分析不同脱腥处理牦牛油的挥发性风味物质,结果分别见图 5 及表 3。

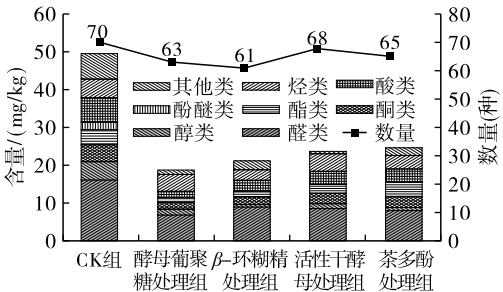


图 5 不同脱腥处理牦牛油中挥发性风味物质种类和数量

Fig.5 Composition and quantity of volatile flavor compounds in yak oil under different deodorization treatments

表 3 不同脱腥处理牦牛油中挥发性成分含量的变化

Table 3 Volatile components contents of yak oil under different deodorization treatments											mg/kg
物质	CK 组	酵母葡聚糖处理组	β-环糊精处理组	活性干酵母处理组	茶多酚处理组	物质	CK 组	酵母葡聚糖处理组	β-环糊精处理组	活性干酵母处理组	茶多酚处理组
醛类						2-乙基癸醇	0.66	-	-	-	-
正己醛	0.57	0.20	0.24	0.47	0.07	2-辛醇	0.35	0.17	0.17	0.17	0.19
正辛醛	2.59	0.67	0.98	0.67	1.11	1-辛烯-3-醇	0.23	-	-	-	0.09
正壬醛	5.73	4.10	5.14	5.19	4.86	反-2-十一烯醇	0.39	-	-	-	-
反-2-壬醛	0.59	0.25	0.22	0.32	0.38	2-乙基己醇	1.90	0.19	0.20	0.31	-
苯甲醛	2.75	0.29	0.34	0.32	0.41	2-壬基醇	0.14	0.03	0.03	0.05	0.05
十四烷醛	0.40	0.11	0.17	0.21	0.08	1-壬醇	0.27	-	-	0.27	-
癸醛	1.90	0.38	0.60	0.54	0.84	正辛醇	0.52	0.14	0.18	0.20	0.24
十一醛	0.36	-	0.17	-	0.26	十六醇	-	0.95	-	-	-
十二醛	0.05	0.04	0.05	0.06	0.04	苯乙醇	-	-	-	0.22	-
正庚醛	0.98	0.76	0.94	0.49	-	正癸醇	-	-	-	-	0.08
(E)-2-辛烯醛	0.05	-	0.01	0.02	0.01	总量	4.73	1.53	0.64	1.29	0.75
反-2-癸烯醛	0.22	0.07	0.05	0.13	0.04	酮类					
2-庚烯醛	-	0.11	0.18	0.10	-	2-辛酮	0.44	0.09	0.12	0.13	0.15
反-2-十一烯醛	-	-	-	0.11	-	甲基庚烯酮	0.94	0.30	0.40	0.45	0.54
4-甲氧基苯甲醛	-	-	-	-	0.06	2-壬酮	1.63	0.98	1.18	1.62	1.37
总量	16.20	6.98	9.09	8.65	8.16	2-十一酮	0.22	0.20	0.14	0.19	0.43
醇类						苯乙酮	0.35	0.11	0.10	0.11	0.37
2-庚醇	0.27	0.05	0.06	0.06	0.10	丙酮	0.34	-	-	-	-

续表 3						mg/kg					
物质	CK 组	酵母葡聚糖处理组	β-环糊精处理组	活性干酵母处理组	茶多酚处理组	物质	CK 组	酵母葡聚糖处理组	β-环糊精处理组	活性干酵母处理组	茶多酚处理组
1-辛烯-3-酮	0.56	0.07	0.12	0.14	0.10	烃类					
总量	4.49	1.75	2.06	2.65	2.96	6-甲基十八烷	0.04	0.04	-	-	0.07
酯类						3,5-二甲基辛烷	0.79	-	-	-	-
己酸苯乙酯	0.21	-	0.06	-	0.06	4-甲基癸烷	0.19	0.06	0.28	0.08	-
乙酸异戊酯	0.77	-	-	-	-	苯乙烯	1.46	0.53	1.11	1.01	1.41
丁酸异丁酯	0.45	0.08	-	0.08	0.14	正十一烷	0.09	0.09	0.10	0.28	0.11
丁酸丁酯	0.36	0.08	0.10	0.12	0.15	正十三烷	0.37	0.04	0.09	0.07	0.08
己酸乙酯	1.09	0.26	0.35	0.44	0.53	十五烷	-	0.22	0.12	0.38	-
异丁酸异戊酯	0.81	0.24	0.28	0.33	0.44	正十四烷	0.41	-	-	-	0.39
辛酸乙酯	0.33	0.21	0.26	0.35	0.37	正十六烷	0.28	0.08	0.36	0.37	0.31
2-乙基己酸乙酯	-	0.10	-	-	0.21	正十七烷	0.19	0.05	-	-	0.13
己酸乙烯酯	-	0.15	0.23	0.67	0.11	正十八烷	-	0.07	0.14	0.37	-
壬酸乙酯	-	0.01	0.02	-	-	正十九烷	-	-	-	0.09	0.29
癸酸乙酯	-	0.10	0.15	0.22	0.22	二十烷	-	0.03	-	0.05	-
丁位十二内酯	-	0.02	-	-	-	二十一烷	0.32	-	-	-	-
δ-癸内酯	0.10	0.08	-	0.12	0.13	二十二烷	0.51	1.77	-	0.05	0.11
丁位十四内酯	-	-	-	0.02	-	二十三烷	-	0.24	-	-	-
棕榈酸乙酯	0.13	-	-	0.10	0.18	二十八烷	-	-	0.36	0.32	-
十一烷酸乙酯	-	-	-	-	0.81	三十一烷	-	0.33	-	-	-
十五酸乙酯	-	-	-	-	0.10	正三十二烷	0.27	-	0.10	-	-
反式肉桂酸乙酯	-	-	-	-	0.23	1-十五炔	0.18	-	-	0.12	-
总量	4.25	1.32	1.45	2.45	3.68	正壬烷	-	0.01	-	0.26	-
酚醚类						正癸烷	-	0.12	0.03	0.02	-
二乙二醇乙醚	0.87	-	-	-	-	环庚三烯	-	0.68	-	1.02	0.17
三甘醇单十二烷基醚	0.16	-	-	-	-	2,6,10-三甲基十四烷	-	0.06	0.13	-	0.44
对甲酚	0.15	-	-	0.10	0.15	3-甲基十三烷	-	-	0.07	0.06	-
乙二醇苯醚	0.16	-	-	-	-	α-甲基苯乙烯	-	-	-	0.08	0.06
苯酚	0.53	-	0.09	0.11	0.10	总量	5.10	4.44	2.89	4.64	3.55
总量	1.88	0.00	0.09	0.21	0.25	其他类					
酸类						三甲胺	0.08	-	-	0.03	-
丙酸	0.34	-	-	-	-	甲苯	1.93	-	0.16	-	-
正己酸	2.62	0.67	0.99	0.67	1.05	乙苯	0.92	0.32	0.41	0.24	0.11
庚酸	0.62	0.13	0.21	0.25	0.16	对二甲苯	2.21	0.27	1.09	0.07	1.42
辛酸	0.96	0.17	0.31	0.29	0.34	3-乙基甲苯	0.30	0.04	0.07	0.07	0.08
正壬酸	1.73	0.67	0.95	1.55	1.53	2-戊基呋喃	0.18	0.04	0.08	0.10	0.09
异辛酸	-	0.03	0.05	0.11	0.07	1,2,4-三甲苯	0.44	0.22	-	-	-
异丁酸	-	-	0.09	-	-	苯并噻唑	0.44	-	-	-	-
17-十八炔酸	-	-	0.02	0.03	-	4-异丙基甲苯	-	0.17	-	-	0.27
十四酸	-	-	0.13	-	-	1,3-二乙基苯	-	0.03	0.05	-	-
3-甲基戊酸	-	-	-	0.39	0.04	三乙胺	0.11	-	0.02	0.02	-
4-乙基苯甲酸	-	-	-	-	0.11	间二甲苯	-	-	0.38	-	-
甲氧基乙酸	-	-	-	-	0.04	总量	6.62	1.10	2.26	0.53	1.95
油酸	0.26	-	-	-	-	总量	49.79	18.80	21.23	23.71	24.67
总量	6.53	1.68	2.75	3.29	3.36						

注：“-”表示未检出。下同
Note: -. Not detected. The same below

由图 5 可知,CK 组和酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚脱腥处理的牦牛油中分别检出 70 种和 63、61、68、65 种挥发性风味物质。4 种脱腥处理后牦牛油的挥发性风味物质种类均少于 CK 组。CK 组牦牛油中检测到的挥发性风味物质总含量为 49.79 mg/kg。酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚脱腥处理后牦牛油的挥发性风味物质总含量分别为 18.80、21.23、23.71、24.67 mg/kg,较 CK 组均有不同程度的降低。相比于 CK 组,4 种脱腥处理的牦牛油中醛类、醇类、酮类、酸类、酚醚类及其他类挥发性物质的含量均大幅降低。

由表 3 可知,5 组样品共检出 108 种挥发性风味物质,其中醛类 15 种、醇类 12 种、酮类 7 种、酯类 18 种、酚醚类 5 种、酸类 13 种、烃类 26 种、其他类 12 种。醛类化合物是脂肪氧化裂解产生的二级产物,其阈值普遍偏低,对肉类产品的腥味影响较大^[17]。研究表明,正壬醛、正己醛、苯甲醛、癸醛为肉制品的主要腥味物质^[18-19]。在 CK 组中正壬醛、苯甲醛、癸醛、正己醛含量分别占挥发性物质总量的 11.51%、5.52%、3.82%、1.14%。在酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚处理组中正壬醛含量分别较 CK 组减少 28.45%、10.30%、9.42%、15.18%,正己醛含量分别减少 64.91%、57.89%、17.54%、87.72%,苯甲醛含量分别减少 89.45%、87.64%、88.36%、85.09%,癸醛含量分别减少 80.00%、68.42%、71.58%、55.79%。

醇类物质主要来源于脂质氧化,其对整体风味具有提升作用,其中饱和醇类阈值相对较大,不易感知,而不饱和醇类阈值较低,对风味具有影响。1-

辛烯-3-醇来源于亚油酸的氧化分解^[9],呈蘑菇味、泥土味和真菌味,是肉类制品的主要腥味成分之一,在酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚处理组中其含量较 CK 组分别减少 100%、100%、100%、61%。大部分酮类物质的阈值较高,对风味影响较小,但酮类物质对腥味物质有增强作用^[20]。在酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚处理组中酮类物质含量较 CK 组分别减少 61.02%、54.12%、40.98%、34.08%。酯类和酚类物质的阈值较高且含量较低,对风味的影响小。酸类物质大部分由碳水化合物和氨基酸分解产生,在 CK 组中检出的丙酸、正己酸、庚酸、辛酸、油酸均呈酸败味、汗(臭)味等不愉快气味^[21-22],4 种脱腥处理后的牦牛油中这 5 种酸含量均降低,且酸类物质总量都减少,其中酵母葡聚糖处理组中酸类物质总量降低幅度最大,降低了 74.27%。烃类物质可能来源于脂肪酸烷氧自由基的断裂,但因其阈值高且无香气或香气弱^[23],对风味的影响不大。此外,三甲胺、甲苯、2-戊基呋喃、苯并噻唑、三乙胺都具有不愉快气味^[24],其含量在 4 种脱腥处理组中都有不同程度减少。其中 2-戊基呋喃是一种呋喃类物质,被认为是典型的脂质氧化标志物^[25],在酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚处理组中其含量较 CK 组分别减少了 77.78%、55.56%、44.44%、50.00%。综上,酵母葡聚糖处理组中腥味物质含量降低幅度最大。

2.3 不同脱腥处理牦牛油中关键风味物质

不同脱腥处理牦牛油中可参考的关键风味物质及对应 ROAV 见表 4。

表 4 不同脱腥处理牦牛油中可参考关键风味物质及对应 ROAV
Table 4 Key flavor compounds and corresponding ROVA for each deodorization treatments group

物质	气味描述 ^[26]	阈值/ (mg/kg) ^[26]	ROAV				
			CK 组	酵母葡聚糖处理组	β -环糊精处理组	活性干酵母处理组	茶多酚处理组
正己醛	青草味,脂肪味	0.19	3.68	4.06	5.05	5.14	1.70
正辛醛	水果味,柑橘味	0.32	9.93	8.08	12.25	4.35	15.99
正壬醛	油脂味,生青味,甜味	0.26	27.05	60.82	79.08	41.46	86.17
反-2-壬醛	油脂味,脂肪味	0.15	4.83	6.43	5.87	4.43	11.68
苯甲醛	坚果味	0.06	56.25	18.64	22.67	11.08	31.50
癸醛	油脂味,生青味,金属味	0.65	3.59	2.25	3.69	1.73	5.96
正庚醛	脂肪味,水果味	0.5	2.41	5.86	7.52	2.04	-
(E)-2-辛烯醛	腥味,鱼腥味	0.004	15.34	-	10.00	10.38	11.52
反-2-癸烯醛	牛肉味,肉味,脂肪味	0.002 7	100.00	100.00	74.07	100.00	68.30
1-辛烯-3-醇	蘑菇味,真菌味,泥土味	0.034	8.30	-	-	-	12.20
正辛醇	草香,水果味,黄油味,脂肪味	0.13	4.91	4.15	5.54	3.20	8.51
丙酸	酸败味,辛辣味	1	0.42	-	-	-	-

续表 4

物质	气味描述 ^[26]	阈值/ (mg/kg) ^[26]	ROAV				
			CK 组	酵母葡聚糖处理组	β -环糊精处理组	活性干酵母处理组	茶多酚处理组
正己酸	汗臭味	0.89	3.61	2.90	4.45	1.56	5.44
庚酸	酸败味	0.022	34.59	22.79	38.18	23.60	33.53
辛酸	汗水味,奶酪味	0.021	56.10	0.01	0.04	0.01	0.05
正壬酸	脂肪味,椰子香	3	0.71	0.86	1.27	1.07	2.35
油酸	酸败味	0.044	7.25	—	—	—	—
苯酚	特殊膻味	2.1	0.31	—	0.17	0.11	0.22
2-戊基呋喃	豆腥味,果香,泥土味,青香	0.1	2.21	1.54	3.20	2.08	4.15
苯乙醇	玫瑰花香	0.564 23	—	—	—	0.81	—
苯乙烯	甜香,花香	0.065	27.57	31.45	68.31	32.27	100.00
棕榈酸乙酯	蜡香,果香,奶油香	1	0.16	—	—	0.21	0.83
十一醛	蜡香,柠檬香,花香	0.14	3.16	—	4.86	—	8.56
十二醛	脂肪味,柑橘味	0.002	30.68	77.14	100.00	62.31	92.20
δ -癸内酯	果香	0.1	1.23	3.09	—	2.49	5.99
丁酸丁酯	甜果香	0.1	4.42	3.09	4.00	2.49	6.91
2-壬酮	黄油味	0.2	10.00	18.90	23.60	16.82	31.58

由表 4 可知,在 CK 组中 ROAV 大于或等于 1 的物质有 22 种,根据描述性气味推断这 22 种关键风味物质中(*E*)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、正己酸、庚酸、辛酸、油酸可能是造成牦牛脂肪具有腥味的物质。在酵母葡聚糖处理组中, (*E*)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、正己酸、庚酸、辛酸、油酸的 ROAV 较 CK 组分别减小了 100%、100%、19.67%、34.11%、99.98%、100%。在 β -环糊精处理组中, (*E*)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、辛酸、油酸的 ROAV 较 CK 组分别减小了 34.81%、100%、99.93%、100%,而正己酸、庚酸的 ROAV 略有增大。在活性干酵母处理组中, (*E*)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、正己酸、庚酸、辛酸、油酸的 ROAV 较 CK 组分别减小了 32.33%、100%、56.79%、31.77%、99.98%、100%。在茶多酚处理组中, (*E*)-2-辛烯醛、庚酸、辛酸、油酸的 ROAV 较 CK 组分别减小了 24.90%、3.06%、99.91%、100%,而 1-辛烯-3-醇、正己酸的 ROAV 有不同程度的增大。综上,酵母葡聚糖对于腥味物质的减弱效果优于活性干酵母、 β -环糊精和茶多酚。

2.4 感官分析

不同脱腥处理牦牛油的感官评价雷达图见图 6。

研究表明,消费者心目中的理想牛油应具有较浓郁的脂香味、奶香味、肉香味,且没有酸臭味、腥味^[27]。由图 6 可看出,CK 组具有强的脂香味、牛肉味,但也存在较强的腥味和酸臭味,且奶香味较弱。与 CK 组比较,茶多酚处理组腥味和酸臭味有一定

减弱,但其他正向感官属性除奶香味外均相应减弱; β -环糊精处理组腥味和酸臭味虽有不同程度减弱,但其他正向感官属性也随之减弱,这可能是 β -环糊精的包埋作用导致各气味强度减弱^[15];活性干酵母处理组表现出弱的腥味和酸臭味,并且奶香味和总体强度增强,其余几种感官属性强度略弱,脱腥的同时对牦牛油的整体风味影响最小;酵母葡聚糖处理组除奶香味外其他感官属性强度均大幅度减弱,这可能是由于酵母葡聚糖的多糖大分子结构对风味物质的吸附导致各气味强度减弱^[5]。不同脱腥处理的牦牛油具有不同的气味强度,4 种脱腥处理组这 6 种感官属性与 CK 组存在差异。4 种脱腥处理中,酵母葡聚糖处理组牦牛油的腥味、酸臭味感知度最低。

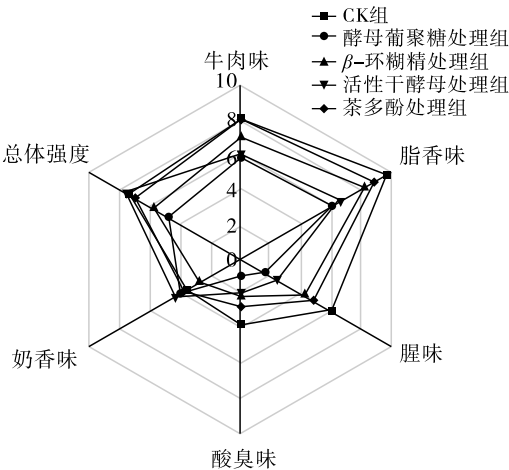


图 6 不同脱腥处理牦牛油的感官评价雷达图
Fig.6 Sensory evaluation radar chart of yak oil under different deodorization treatments

3 结 论

采用酵母葡聚糖、 β -环糊精、活性干酵母、茶多酚分别对牦牛脂肪进行脱腥处理,采用单因素实验优化得到4种脱腥处理最佳条件:酵母葡聚糖质量分数1.2%、料液比1:4、浸泡时间2 h;活性干酵母质量分数1.1%、料液比1:4、浸泡时间40 min; β -环糊精质量分数0.6%、料液比1:4、浸泡时间40 min;茶多酚质量分数0.35%、料液比1:3、浸泡时间50 min。在上述4种最佳条件下以挥发性风味物质分析结合感官评价综合评定4种脱腥处理对牦牛脂肪的脱腥效果,脱腥效果最好的为酵母葡聚糖。通过ROAV和挥发性风味物质含量分析牦牛脂肪的腥味物质可能是(*E*)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、正己酸、庚酸、辛酸、油酸等。

参考文献:

- [1] 曹兵海,李俊雅,王之盛,等. 2022年度肉牛牦牛产业技术发展报告[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(3): 330-335.
- [2] 张娅俐,洪晶,张棚,等. 肃南牦牛不同部位脂肪中脂肪酸组成分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(18): 7168-7174.
- [3] 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.
- [4] 冯怡,汪薇,任文彬,等. 鱼制品脱腥方法的研究进展[J]. 中国酿造, 2014, 33(12): 16-18.
- [5] XUE C, YOU J, ZHANG H, et al. Capacity of myofibrillar protein to adsorb characteristic fishy - odor compounds: Effects of concentration, temperature, ionic strength, pH and yeast glucan addition [J/OL]. Food Chem, 2021, 363: 130304 [2024-02-02]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130304>.
- [6] 刘泽祺,李明霞,杨琳,等. 畜禽副产物腥味形成机制及脱腥方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(16): 86-93.
- [7] 娄永江. 低温真空油炸龙头鱼脆条的研制[J]. 食品与机械, 1999(2): 17-18.
- [8] 罗进,马玉琴,余群力,等. 牛肝不同脱腥方法比较及腥味物质分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(22): 78-85.
- [9] 邢贵鹏,黄卉,李来好,等. 罗非鱼加工副产物脱腥工艺及其腥味物质分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 140-145.
- [10] 秦雅丽. 牛油关键风味物质的鉴定及可控美拉德反应法制备[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2022.
- [11] 马玉琴,韩玲,张锐,等. 天然植物提取物复合脱腥剂对牛胃脱腥效果评价及工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(5): 180-188.
- [12] 郑斐庭. 酶解-温和氧化牛脂风味前体鉴定及其对牛肉特征风味形成影响的研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2022.
- [13] 曾文浩,熊怡婷,熊善柏,等. 酵母葡聚糖对鲢鱼肉挥发性成分的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(3): 94-104.
- [14] 杨莉莉. β -环糊精对明胶挥发性物质的掩蔽及其理化性质的影响研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- [15] 林日高,潘玉华. 鳙鱼蛋白水解液脱腥效果研究[J]. 中国调味品, 2014(6): 5-8.
- [16] 张朝敏,徐永霞,姜程程,等. 茶多酚-海藻糖脱腥液对白鲢鱼贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 321-324, 337.
- [17] MEYNIER A, NOVELLI E, CHIZZOLINI R, et al. Volatile compounds of commercial *Milano salami* [J]. Meat Sci, 1999, 51(2): 175-183.
- [18] PURRIÑOS L, BERMÚDEZ R, FRANCO D, et al. Development of volatile compounds during the manufacture of dry - cured "lacón", a Spanish traditional meat product [J/OL]. J Food Sci, 2011, 76(1): 1955 [2024-02-02]. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01955.x>.
- [19] 周慧敏,赵冰,吴倩蓉,等. 黑白胡椒腊肠贮藏期中气味活性物质演变及异味分析[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 162-171.
- [20] 杨媛丽,沙坤,孙宝忠,等. 不同养殖模式对牦牛背最长肌挥发性风味物质及脂肪酸组成的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(4): 46-52.
- [21] CHA Y J, CADWALLADER K R, BAEK H H. Volatile flavor components in snow crab cooker effluent and effluent concentrate[J]. J Food Sci, 1993, 58(3): 525-530.
- [22] KIM K H, KIM Y H. Composition of key offensive odorants released from fresh food materials [J]. Atmos Environ, 2014, 89: 443-452.
- [23] ZHAN F, SUN L, ZHAO G, et al. Multiple technologies combined to analyze the changes of odor and taste in Daokou braised chicken during processing [J/OL]. Foods, 2022, 11(7): 963 [2024-02-02]. <https://doi.org/10.3390/foods11070963>.
- [24] CAYHAN G G, SELLI S. Characterization of the key aroma compounds in cooked grey mullet (*Mugil cephalus*) by application of aroma extract dilution analysis[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(2): 654-659.
- [25] GUO K, WANG Q, XIA T, et al. Effect of smelting temperatures on the odor compounds of beef tallow through instrumental and sensory techniques [J/OL]. J Food Compos Anal, 2023, 119: 105280 [2024-02-02]. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105280>.
- [26] VAN GEMERT L J. Odour thresholds - compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. Netherlands: Oliemans Punter & Partners BV, 2011: 230-354.
- [27] 王雪梅,王传明,刘鹏. 牛油感官特征分析及关键风味物质鉴定[J]. 中国油脂, 2023, 48(9): 30-36, 59.