

# 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔风味物质的影响

袁先铃<sup>1</sup>, 彭先杰<sup>1,2\*</sup>, 陈崇艳<sup>1</sup>, 万晓玉<sup>1</sup>, 林洪斌<sup>3</sup>

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 四川自贡 643000) (2. 四川丁点儿食品股份有限公司, 四川成都 611732)  
(3. 西华大学食品与生物工程学院, 四川成都 610039)

**摘要:** 该文探究了高压蒸汽灭菌时间 (15、20、25、30、35 min) 对风味物质理化指标、滋味物质及风味物质的影响。结果表明, 高压蒸汽灭菌的时间对冷吃兔的水分、蛋白质、脂质、pH 及氯化物无明显影响。咸味的呈味效果显著, 灭菌 20 min 时氯化物的滋味活性值 (TAV) 与未灭菌最为相似。总游离氨基酸含量在 15~20 min 明显降低, 后显著增加。Glu 是灭菌后冷吃兔的主要呈鲜味游离氨基酸; Lys 是主要呈甜味游离氨基酸; His 是主要呈苦味氨基酸。35 min 的味精当量 (EUC) 最高, 且在 35 min 时的鲜味更强于未灭菌前的产品。从灭菌过程中共检测出 10 大类 54 种化合物。与未灭菌的冷吃兔特征风味物质相比, 特征挥发性风味物质种类和气味活性值 (OAV) 值均存在差异。除 (E,E)-2,4-癸二烯醛与十六醛的 OAV 相应增加外, 其余都在不断降低。从特征挥发性风味物质再现程度分析, 灭菌 20 min 是对冷吃兔特征风味物质的保留的较好时间。这为冷吃兔工业化生产中使用高压蒸汽灭菌时间提供理论基础。

**关键词:** 冷吃兔; 常温储藏; 滋味物质; 挥发性风味物质; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2022)03-257-265

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.3.0677

## Effect of the Time of High Pressure Steam Sterilization on the Changes of Flavor Substance in Cold-eating Rabbits

YUAN Xianling<sup>1</sup>, PENG Xianjie<sup>1,2\*</sup>, CHEN Chongyan<sup>1</sup>, WAN Xiaoyu<sup>1</sup>, LIN Hongbin<sup>3</sup>

(1. School of Biological Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

(2. Sichuan 'DingDianEr' Food Development Co. Ltd., Chengdu 611732, China)

(3. School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

**Abstract:** The effects of high pressure steam sterilization time (15, 20, 25, 30, 35 min) on the physicochemical indexes of flavor substances, flavor substances and flavor substances were investigated. The results showed that the time of high-pressure steam sterilization has no significant effect on the moisture, protein, lipid, pH and chloride of cold-eating rabbits. The salty taste had a significant effect. Compared with unsterilized cold-eating rabbits, the taste activity value (TAV) of chloride was most similar to that when sterilized for 20 min. The content of total free amino acids decreased significantly within 15~20 min, and then increased significantly. Glu is the main umami-flavored free amino acid of cold-eating rabbits after sterilization; Lys is mainly sweet-flavored free amino acid; His is mainly bitter-flavored free amino acid. The equivalent umami concentration (EUC) at 35 min is the highest, and the umami taste at 35 min is stronger than that of the unsterilized product. A total of 54 compounds in 10 categories were detected during the sterilization process. Compared with the characteristic flavor substances of unsterilized cold-eating rabbits, there are differences in the types of characteristic volatile flavor substances and odor activity value (OAV). Except for the corresponding increase in the OAV of (E,E)-2,4-decadienal and hexadecal, the rest are constantly decreasing. From the analysis of the degree of reproduction of characteristic volatile wind odor substances, sterilization for 20 min is a better time to retain characteristic This provides a

引文格式:

袁先铃,彭先杰,陈崇艳,等.高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔风味物质的影响[J].现代食品科技,2022,38(3):257-265

YUAN Xianling, PENG Xianjie, CHEN Chongyan, et al. Effect of the time of high pressure steam sterilization on the changes of flavor substance in cold-eating rabbits [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 257-265

收稿日期: 2021-06-27

基金项目: 四川省重点研发计划项目 (2020YFN0151)

作者简介: 袁先铃 (1982-), 女, 副教授, 研究方向: 食品安全工程, E-mail: 82745373@qq.com

通讯作者: 彭先杰 (1995-), 女, 硕士, 研究方向: 食品安全工程, E-mail: 1284665667@qq.com

theoretical basis for the use of high pressure steam sterilization time in the industrial production of cold-eating rabbits.

**Key words:** cold-eating rabbit; room temperature storage; taste substance; volatile flavor substances; flavor substance

兔肉具有高蛋白、高消化率、高赖氨酸、高卵磷脂、低热量、低脲酸、低脂肪及低胆固醇“四高四低”的特性<sup>[1]</sup>,富含硒、磷,是维生素 B 的重要来源,具有抗高血压的重要功能<sup>[2]</sup>。2016 年,欧洲的主要进口肉兔国家是,俄罗斯 3305 t、葡萄牙 3103 t、法国 5272 t、德国 5427 t 等<sup>[3]</sup>。中国是肉兔养殖大国,占世界兔肉消费量的 60%<sup>[4]</sup>。兔肉养殖主要以四川、重庆、山东、河南等地为主,占中国兔肉消费的 75%。

优质的肉制品往往会因为腐败等原因导致产品的色泽、质地、营养价值等发生劣变,进而影响产品的风味及食用安全性。针对以上情况,我们往往采用机械灭菌,如高压蒸汽、巴氏灭菌和超高压等。相较于巴氏杀菌存在灭菌不彻底,超高压杀菌容易改变产品的质地及风味等现象,企业往往更多倾向于高压蒸汽杀菌。高压蒸汽杀菌具有灭菌温度低或较高、处理时间短等优点,能防止成分流失,从而有益于将产品中固有的风味及营养成分保留下来,既能达到保鲜的目的,还能起到灭菌、储藏的目的。

冷吃兔是典型地方特色美食,深受大众喜爱。为延长其保质期,使用高压蒸汽灭菌技术,这往往对冷吃兔的风味物质产生影响。因此,以冷吃兔高压蒸汽灭菌的时间为研究对象(15、20、25、30、35 min),对冷吃兔灭菌过程中理化成分、游离氨基酸、核苷酸及其降解产物等滋味物质和挥发性风味物质组分进行研究,了解不同灭菌阶段风味物质的变化规律,为冷吃兔高压蒸汽灭菌工艺参数优化提供数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

兔肉的制备:兔肉切丁、腌制、炒制、冷却、装袋、抽真空,高压蒸汽灭菌蒸气压 0.1 MPa, 121 °C。兔肉、香辛料购买于宜宾市天天购超市。

5'-腺苷酸(5'-AMP)、5'-鸟苷酸(5'-GMP)、5'-肌苷酸(5'-IMP)、5'-二腺苷磷酸(5'-ADP)和次黄嘌呤(HX)5种核苷酸标准品,纯度 100%,上海源叶生物科技有限公司;甘氨酸(Gly)、蛋氨酸(Met)、丙氨酸(Ala)、天冬氨酸(Asp)、异亮氨酸(Ile)、精氨酸(Arg)、谷氨酸(Glu)、组氨酸(His)、苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、苯丙氨酸(Phe)、缬氨酸(Val)、胱氨酸(Cys)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)、赖氨酸(Lys)、脯氨酸(Pro)17种游离氨基酸标准

品,均为分析纯,纯度 100%,西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司;2-乙基丁酸标准品,纯度 99%,罗恩试剂;NA 营养琼脂,海博生物技术有限公司。

kjeltec 8400 自动凯氏定氮仪,中国 FOSS 公司; SoxTec<sup>TM</sup>2055 索式浸提仪,中国 FOSS 公司;1260 Infinity II 高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司;L-8900 全自动氨基酸分析仪,日本日立公司;TRACET<sup>TM</sup>1300-TSQ 8000 Evo 气相色谱-质谱联仪,美国 Thermo Fisher 公司;101-3AB 电热鼓风干燥箱,北京中兴公司;20 mL 顶空进样瓶,美国 Supelco 公司;Polaris5 C18-A 柱(250×4.6 mm),美国 Agilent 公司;VD 无菌操作台,河南秋佐仪器设备有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 冷吃兔常温储藏中理化成分的测定

样品的水分含量测定,参考 GB/T 5009.3-2016<sup>[5]</sup>中的“直接干燥法”;样品的蛋白质测定,参考 GB/T 5009.5-2016<sup>[6]</sup>中的“凯氏定氮法”;样品的脂肪测定,参考 GB/T 5009.6-2016<sup>[7]</sup>。

#### 1.2.2 冷吃兔常温储藏中滋味物质的测定

(1) 氯化物的测定:所有样品的氯化物测定,均参考 GB/T 5009.44-2016<sup>[8]</sup>中的“银量法”进行测定。

(2) 呈味核苷酸的测定:参考 Duan 等<sup>[9]</sup>的方法,将 10 g 捣碎的冷吃兔肉在 50 mL 5% HClO<sub>4</sub> 匀浆 30 s (10000 g/min),在 4 °C 离心 10 min (10000×g),重复一次,合并上清液,使用中速滤纸过滤。用 1 mol/L 和 0.5 mol NaOH 调节 pH 至 6.0,过 0.22 μm 滤膜后待用。样品使用高效液相色谱法检测。设置参数:Polaris5 C18-A 柱(250×4.6 mm),检测波长 254 nm,柱温 30 °C。流动相 A 为 0.05 mol/L K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, B 为 HPLC 级甲醇, A:B=95:5 等梯度进样,流速 0.8 mL/min,进样量 20 μm。

(3) 游离氨基酸 (FAAs) 的测定:参考 GB/T 5009.124-2016<sup>[10]</sup>“食品中氨基酸的测定”:称取 0.1 g 捣碎的冷吃兔肉于装有 10 mL 6 mol/L 盐酸的水解管中,滴 3 滴苯酚。充氮气,抽真空,重复 3 次后封口。将水解管放入电热鼓风干燥箱中 110 °C 水解 24 h 后取出,冷却至室温。打开水解管,中速滤纸过滤,使用蒸馏水定容于 100 mL 容量瓶中。取 200 μL 在干燥箱内减压干燥,加 200 μL 的 pH 2.22 柠檬酸钠缓冲溶液,过 0.22 μm 滤膜,使用高效液相色谱仪检测。

(4) 非挥发性风味物质的测定分析:味精当量

(Equivalent umami concentration (EUC), g MSG/100 g) 是谷氨酸钠浓度 (MSG, g/100 g), 由鲜味氨基酸 (Asp 或 Glu) 和 5'-核苷酸 (IMP、AMP 和 GMP) 协同表示对食品的鲜味值贡献。计算公式如下<sup>[11]</sup>:

$$EUC = \sum \alpha_i \beta_i + 1218 (\sum \alpha_i \beta_i) (\sum \alpha_j \beta_j)$$

式中:

EUC——相当于谷氨酸钠, g MSG/100 g;

1218——g/100 g 协同系数;

$\alpha_i$ ——Asp、Glu 的浓度, g/100 g;

$\beta_i$ ——Asp、Glu 相当于 MSG 的相对鲜度系数 (Asp 为 0.077; Glu 为 1);

$\alpha_j$ ——5'-GMP、5'-AMP、5'-IMP 的浓度, g/100 g;

$\beta_j$ ——5'-GMP、5'-AMP、5'-IMP 相对于 5'-IMP 的相对鲜度系数 (5'-AMP 为 0.18; 5'-IMP 为 1; 5'-GMP 为 2.3)。

滋味活性值 (TAV) 是通过计算冷吃兔中呈味物质且贡献显著的计算值的。即 TAV 值 > 1, 该物质对呈味有贡献; TAV 值 < 1, 该物质对呈味几乎没有贡献, 由此确定呈味物质<sup>[12]</sup>。

### 1.2.3 挥发性风味物质的检测

(1) 顶空固相微萃取气质联用 (HS-SPME/GC-MS) 检测: 参考 Guo 等<sup>[13]</sup>的方法: 将 4 g 冷吃兔捣碎放入 20 mL 顶空进样瓶, 老化后的顶空固相萃取头插入进样瓶, 50 °C 平衡 30 min 后置于进样口 200 °C 解析 5 min。色谱条件: 进样口温度 200 °C, 不分流进样, 色谱柱为 DP-WAX, 载气流速 1 mL/min, 柱温箱初始温度为 40 °C, 最终温度为 200 °C。质谱条件: 离子源温度为 280 °C, 传输线温度为 260 °C, 扫描范围 30~550 *m/z*。

定性分析: 在普库 (NIST11、NIST11s) 对化合物的质谱进行鉴定, 记录匹配度大于等于 80 的化合物。定量分析: 在顶空固相微萃取前加入 40  $\mu$ L 0.2  $\mu$ g/mL 2-乙基丁酸作为内标, 采用面积归一化法计算各化合物的相对浓度。

(2) 气味活性值 (OAV) 的计算分析: 气味活性值能表述风味化合物的贡献大小。通过将测定的浓度除以它们各自的气味阈值来计算关键气味的 OAV<sup>[14]</sup>。公式如下:

$$OAV = C_i / T_i$$

式中:

$C_i$ ——风味物质 *i* 的质量浓度,  $\mu$ g/kg;

$T_i$ ——该风味物质 *i* 的嗅觉阈值,  $\mu$ g/kg。

当  $0 \leq OAV < 1$ , 说明该风味物质对总体风味无实际作用, 对炭烤羊腿风味具有一定的修饰作用;  $OAV \geq 1$ , 说明该风味物质可能对总体风味有直接影响, 被确定

为炭烤羊腿中特征风味物质; OAV 值越大说明该组分对总体风味贡献越大。

## 1.3 统计分析

实验结果通过 Excel 2013 对数据进行统计分析, 将各个指标用 SPSS 进行方差分析 (ANOVA), 用多重比较法分析差异显著性, 其中  $p < 0.05$  表示差异显著<sup>[15]</sup>。使用 Origin 2018 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔理化成分的影响

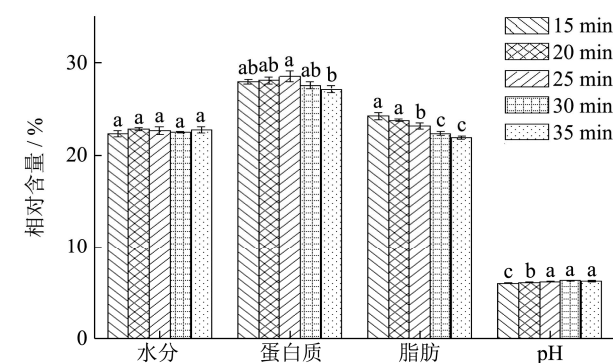


图1 理化指标的相对含量 (%)

Fig.1 Relative content of physical and chemical indicators (%)

食品中的水分含量能有效影响食品的性质, 并且与蛋白质、脂肪等非水组分通过结合的方式相互作用<sup>[16]</sup>。蛋白质能影响肉制品硬度, 并能降解形成多肽及硫氨基酸影响风味物质的产生<sup>[17]</sup>。脂肪在贮藏中发生氧化及水解等反应, 能产生醛类、酮类等风味物质。pH 能影响美拉德反应中半胱氨酸与还原糖反应风味物质的进行<sup>[18]</sup>, 且对微生物的生长环境也具有一定的影响。

冷吃兔在高压蒸汽灭菌过程中的水分、蛋白质、脂肪及 pH 含量如图 1 所示。随着灭菌时间的延长, 水分含量在其过程中无明显变化 ( $p > 0.05$ ), 在 20 min 时含量较高, 达 22.87%。蛋白质含量在 25 min 时较高达到 28.53%, 在 35 min 较低为 27.18%。脂肪一直呈降低趋势, 在 20~30 min 显著降低 ( $p < 0.05$ )。pH 则与脂肪相反, 在 15~25 min 时, 显著增加, 之后无明显变化。总体而言, 高压蒸汽灭菌的时间对冷吃兔的水分、蛋白质、脂肪及 pH 无明显影响。与未进行灭菌的冷吃兔进行比较, 在 15~20 min 的理化指标最为相似。

## 2.2 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔滋味物质的影响

### 2.2.1 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔氯化物的影响

表 1 高压蒸汽灭菌中冷吃兔的氯化物含量及 TAV

Table 1 Chloride content and TAV in rabbits fed cold in autoclave sterilization

时间/min	浓度/(g/100 g)	阈值/(g/100 g)	TAV
0	0.95±0.02	0.036	26.39
15	0.91±0.04		25.37
20	0.96±0.06		26.67
25	0.98±0.03		27.31
30	0.88±0.04		24.54
35	0.92±0.09		25.46

氯化钠在食品中起着提供咸味的作用，除了有改

善风味的特性，还能与其他滋味物质协同作用，且可以抑制微生物的生长。由表 1 可知，在高压蒸汽灭菌的过程中，氯化物浓度无明显的变化 ( $p>0.05$ ) 在 25 min 时，氯化物含量相对较高，为 0.98 g/100 g。结合阈值 0.036 g/100 g 可知，其灭菌过程中，TAV 均>1，咸味的呈味效果依旧显著。与为灭菌的冷吃兔比较，灭菌 20 min 时的 TAV 与其最为相似。

### 2.2.2 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔游离氨基酸的影响

游离氨基酸是挥发性风味物质的主要前体物质，是对食品中呈味影响较大的物质，能直接或间接影响到食品的风味。章银良等<sup>[19]</sup>指出不同的时间、温度、盐浓度及金属离子都能在一定程度上影响游离氨基酸的含量。棘怀飞等<sup>[20]</sup>证明随着美拉德加热时间的增加能使呈味氨基酸的总量增加，鲜味和甜味氨基酸的比例降低，苦味氨基酸增加。

表 2 高压蒸汽灭菌中冷吃兔的游离氨基酸含量

Table 2 Content of free amino acids in rabbits fed cold in autoclave sterilization

FAA	阈值/(mg/100 g)	含量/(mg/100 g)					
		0 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min
Asp	100	46.56±0.20 <sup>d</sup>	49.44±0.37 <sup>a</sup>	47.30±0.58 <sup>cd</sup>	47.44±0.62 <sup>c</sup>	46.99±0.91 <sup>d</sup>	48.56±0.06 <sup>b</sup>
Glu	30	307.85±0.65 <sup>a</sup>	294.34±1.41 <sup>b</sup>	280.55±2.17 <sup>d</sup>	284.86±1.84 <sup>c</sup>	280.82±1.33 <sup>d</sup>	305.03±2.85 <sup>a</sup>
∑UFAA		354.41±0.75 <sup>a</sup>	343.78±0.74 <sup>b</sup>	327.85±1.69 <sup>d</sup>	332.30±2.43 <sup>c</sup>	327.81±0.47 <sup>d</sup>	353.59±2.71 <sup>a</sup>
Thr	260	20.73±0.12 <sup>d</sup>	24.49±0.31 <sup>a</sup>	23.07±0.49 <sup>b</sup>	23.16±0.06 <sup>b</sup>	22.42±0.56 <sup>c</sup>	23.52±0.45 <sup>b</sup>
Ser	150	17.84±0.19 <sup>d</sup>	19.95±0.12 <sup>a</sup>	18.92±0.66 <sup>c</sup>	18.85±0.33 <sup>c</sup>	18.84±0.15 <sup>c</sup>	19.28±0.61 <sup>b</sup>
Gly	130	18.71±0.16 <sup>d</sup>	24.45±0.56 <sup>b</sup>	21.41±0.45 <sup>c</sup>	21.09±0.14 <sup>c</sup>	24.65±0.79 <sup>b</sup>	27.78±0.50 <sup>a</sup>
Ala	60	25.19±0.55 <sup>d</sup>	29.55±0.47 <sup>ab</sup>	28.06±0.32 <sup>bc</sup>	27.70±0.25 <sup>c</sup>	28.99±0.70 <sup>b</sup>	30.38±0.79 <sup>a</sup>
Pro	300	57.14±0.04 <sup>a</sup>	16.02±0.20 <sup>d</sup>	18.16±0.19 <sup>c</sup>	19.68±0.39 <sup>b</sup>	18.30±0.23 <sup>c</sup>	20.47±0.18 <sup>b</sup>
Lys	50	44.86±0.32 <sup>c</sup>	60.73±0.85 <sup>c</sup>	57.53±0.50 <sup>d</sup>	58.33±0.77 <sup>d</sup>	64.97±1.14 <sup>b</sup>	68.24±0.22 <sup>a</sup>
Val	40	23.60±0.47	25.57±0.03	24.85±0.81	25.06±0.24	25.26±0.38	25.71±0.30
∑SFAA		184.50±0.85 <sup>d</sup>	200.75±2.16 <sup>b</sup>	192.00±3.47 <sup>c</sup>	193.86±2.81 <sup>c</sup>	203.44±1.29 <sup>b</sup>	215.38±2.95 <sup>a</sup>
Cys	-	1.37±0.02 <sup>b</sup>	0.98±0.07 <sup>c</sup>	0.84±0.53 <sup>d</sup>	0.88±0.68 <sup>d</sup>	1.90±0.03 <sup>a</sup>	1.10±0.02 <sup>b</sup>
Met	30	12.53±0.10 <sup>c</sup>	14.56±0.14 <sup>a</sup>	13.85±0.56 <sup>b</sup>	13.73±0.32 <sup>b</sup>	13.76±0.11 <sup>b</sup>	13.68±0.68 <sup>b</sup>
Leu	190	36.53±0.51 <sup>d</sup>	43.92±0.55 <sup>a</sup>	41.65±0.39 <sup>c</sup>	41.19±0.67 <sup>c</sup>	41.56±0.35 <sup>c</sup>	42.65±0.36 <sup>b</sup>
Arg	50	28.80±0.34 <sup>d</sup>	33.71±0.36 <sup>a</sup>	31.13±0.82 <sup>c</sup>	31.00±0.08 <sup>c</sup>	31.58±0.42 <sup>c</sup>	32.56±0.71 <sup>b</sup>
Ile	90	20.54±0.80 <sup>c</sup>	24.48±0.14 <sup>a</sup>	23.27±0.77 <sup>b</sup>	23.27±0.32 <sup>b</sup>	23.06±0.58 <sup>b</sup>	23.68±0.25 <sup>b</sup>
Tyr	91	17.29±0.15 <sup>a</sup>	17.68±0.05 <sup>a</sup>	16.74±0.51 <sup>b</sup>	17.20±0.16 <sup>a</sup>	16.77±0.24 <sup>b</sup>	17.36±0.05 <sup>a</sup>
Phe	90	16.27±0.18 <sup>c</sup>	20.11±0.71 <sup>a</sup>	18.86±0.30 <sup>b</sup>	18.50±0.52 <sup>b</sup>	19.41±0.07 <sup>a</sup>	19.93±0.14 <sup>a</sup>
His	20	16.86±0.28 <sup>c</sup>	41.07±0.83 <sup>d</sup>	40.55±0.44 <sup>d</sup>	63.76±0.88 <sup>a</sup>	54.12±0.43 <sup>b</sup>	44.13±0.26 <sup>c</sup>
∑BFAA		150.09±1.33 <sup>c</sup>	196.51±1.78 <sup>c</sup>	186.90±1.95 <sup>d</sup>	209.50±2.13 <sup>a</sup>	202.16±2.60 <sup>b</sup>	195.10±0.79 <sup>c</sup>
TFAA		689.00±0.14 <sup>c</sup>	741.04±4.07 <sup>b</sup>	706.75±7.86 <sup>d</sup>	735.66±8.10 <sup>c</sup>	733.41±0.88 <sup>c</sup>	764.07±5.42 <sup>a</sup>

表3 高压蒸汽灭菌中冷吃兔的呈味核苷酸含量

Table 3 The content of flavorful nucleotide in cold-eating rabbits in autoclave sterilization

核苷酸	呈味	阈值 (mg/100 g)	浓度/(mg/100 g)					
			0 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min
5'-GMP	鲜	12.5	2.59±0.04 <sup>a</sup>	1.95±0.03 <sup>c</sup>	2.39±0.03 <sup>b</sup>	2.00±0.01 <sup>c</sup>	2.57±0.04 <sup>a</sup>	1.41±0.01 <sup>d</sup>
5'-IMP	鲜	25	37.79±0.75 <sup>b</sup>	36.59±0.46 <sup>b</sup>	37.20±0.22 <sup>b</sup>	34.86±0.58 <sup>c</sup>	38.60±0.88 <sup>a</sup>	39.59±0.71 <sup>a</sup>
5'-AMP	鲜/甜	50	35.58±0.54 <sup>a</sup>	23.47±0.97 <sup>c</sup>	24.10±2.36 <sup>c</sup>	24.66±0.46 <sup>c</sup>	24.09±0.37 <sup>c</sup>	33.43±1.25 <sup>b</sup>
5'-ADP	-	-	1.06±0.05 <sup>e</sup>	1.73±0.01 <sup>b</sup>	1.71±0.04 <sup>b</sup>	1.62±0.02 <sup>c</sup>	1.70±0.02 <sup>b</sup>	1.79±0.03 <sup>a</sup>
HX	苦	-	6.14±0.03 <sup>a</sup>	3.37±0.02 <sup>c</sup>	3.41±0.02 <sup>c</sup>	3.73±0.03 <sup>c</sup>	3.15±0.04 <sup>c</sup>	5.10±0.02 <sup>b</sup>

由表2可知,总游离氨基酸的含量在15~20 min明显降低,后显著增加( $p<0.05$ ),在20 min时的含量最低为706.75 mg/100 g,在35 min时的含量最高为764.07 mg/100 g。鲜味氨基酸随灭菌时间的延长,其含量在15~30 min呈波浪式变化,35 min时含量达到最高值,含量增加到353.59 mg/100 g。Glu是冷吃兔的主要呈鲜味游离氨基酸,在灭菌过程中由15 min时的294.34 mg/100 g增加至35 min时的305.03 mg/100 g,较Asp的变化大。

呈甜味氨基酸中,总含量在15~20 min时显著降低,在25~35 min显著增加( $p<0.05$ )。其中Lys的含量在呈甜味氨基酸中最高,结合阈值,TAV在灭菌过程中均 $>1$ ,是冷吃兔灭菌后的主要呈甜味游离氨基酸,且含量变化趋势与SFAA的变化趋势相一致。呈苦味氨基酸的含量先呈降低趋势,在25 min显著增加,之后再明显降低( $p<0.05$ ),Leu与His的含量相对较高,结合相应阈值,His的TAV均 $>1$ ,是冷吃兔灭菌后的主要呈苦味氨基酸。

不同呈味核苷酸的呈鲜味效果不同,其对肉品鲜味的贡献度主要取决于呈味强度值。研究发现,具有鲜味特征的核苷酸及其衍生物为30多种芳香杂环化合物,以5'-肌苷酸、5'-鸟苷酸和5'-腺苷酸三种为代表,当核糖中出现5'位碳原子上具有磷酸基团、嘌呤中6'位碳原子上具有一个羟基或鲜味核苷酸均为嘌呤类时,核苷酸具有呈鲜味的特性<sup>[21]</sup>。

核苷酸中的5'-GMP与5'-IMP是鲜味的主要贡献者,除了本身的贡献外,还能与氯化物或者游离氨基酸等协同作用。由表3可知,鲜味核苷酸中,5'-GMP在30 min时有最大值2.57 mg/100 g,结合阈值12.5 mg/100 g,TAV均 $<1$ 。在灭菌过程中,损失较为严重,且对冷吃兔的滋味无作用或作用效果不明显。5'-IMP是冷吃兔的特征滋味物质,在35 min时具有最大值,与未灭菌时相比,含量增加了1.80 mg/100 g,即高压蒸汽灭菌在35 min使更有益于鲜味的呈现。5'-AMP是呈甜味氨基酸,在25 min时具有较大值。5'-ADP与HX在35 min时的含量较大。

### 2.2.3 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔的味精当量影响

味精当量(EUC)是衡量食品整体鲜味呈现度的重要指标。根据计算,冷吃兔在高压蒸汽灭菌时的EUC如图2所示,35 min的EUC最高,为18.68 g MSG/100 g,显著高于15~30 min(分别为16.75、16.57、15.71、17.21 g MSG/100 g),这是由于灭菌35 min时Asp与Glu的高含量导致。结合MSG的滋味阈值(0.03 g/100 g)得出,冷吃兔高压蒸汽灭菌15~35 min得到的EUC值均大于MSG的滋味阈值,及在灭菌对冷吃兔的鲜味无明显的影响,且在35 min时的鲜味更强于未灭菌前的产品。

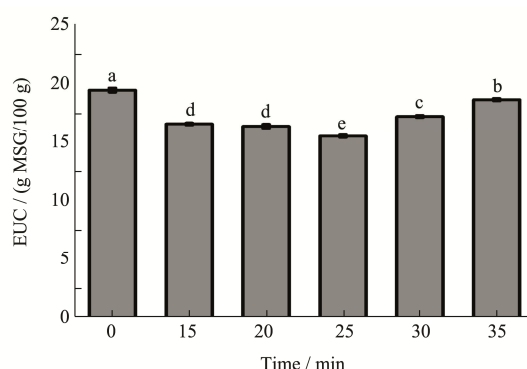


图2 高压蒸汽灭菌中冷吃兔的EUC值

Fig2 EUC value of rabbits fed cold in high pressure steam sterilization

### 2.3 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔风味物质的影响

如图3可知,通过HS-SPME/GC-MS对常温储藏期的冷吃兔的风味进行检测。灭菌过程中检测出10大类54种化合物,其中在15 min时检测出挥发性风味物质45种,20 min检测出43种,25 min检测出45种,30 min检测出50种,35 min检测出40种。15~35 min的灭菌时间中,在30 min时检测到的风味物质种类最多,35 min时的风味物质总含量最高。

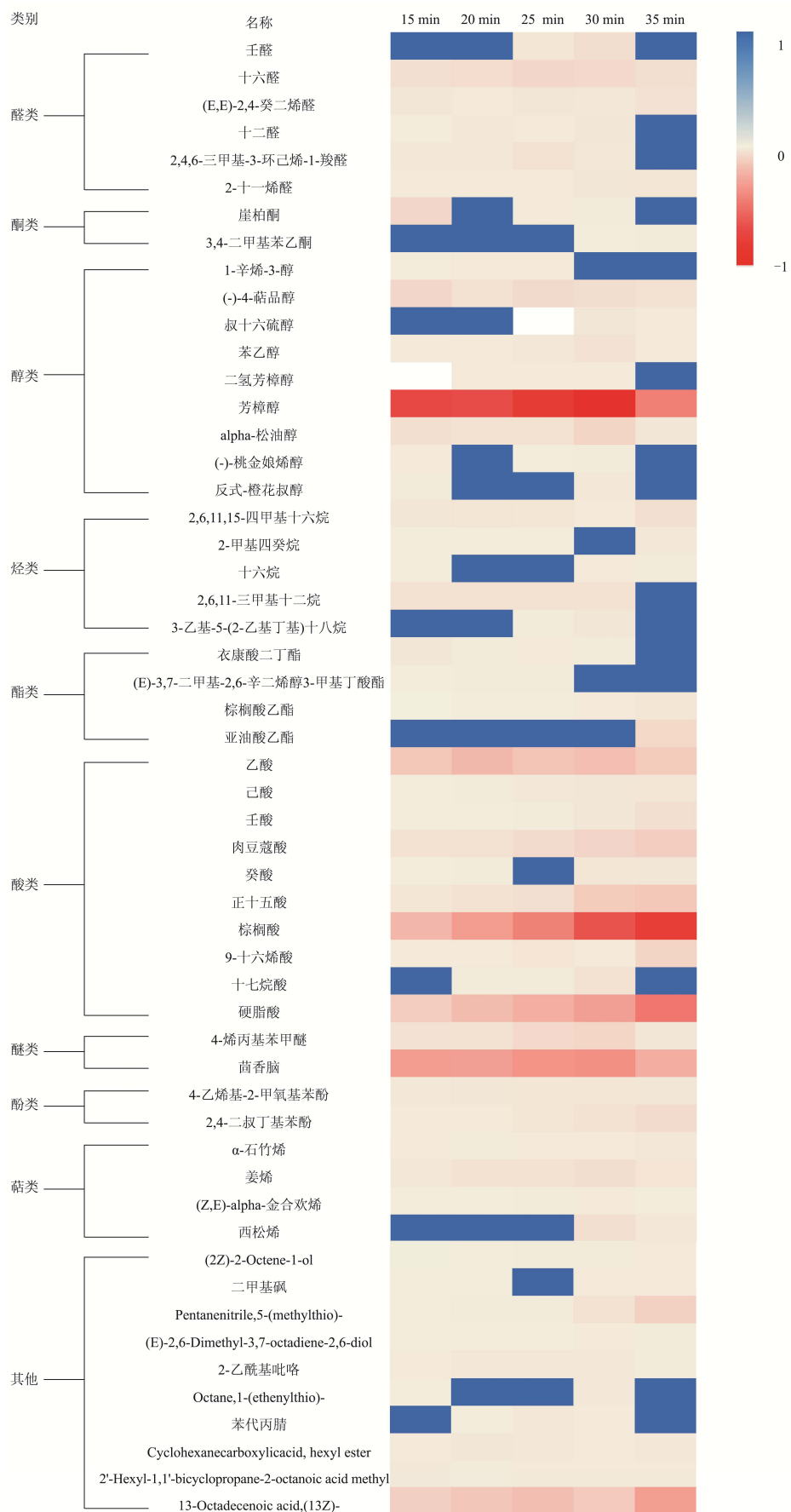


图3 高压蒸汽灭菌中冷吃兔的热风图

Fig.3 High pressure steam sterilization in cold eating rabbit hot figure

表4 高压蒸汽灭菌过程中的特征风味物质分析

Table 4 Analysis of characteristic flavor substances in the process of autoclave sterilization

名称	阈值/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	OAV					
		未灭菌	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min
柠檬醛	3	16.00	-	-	-	-	-
(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.07	1035.29	637.49	458.39	587.14	506.00	997.68
十六醛	0.91	48.41	83.22	117.63	133.62	130.52	94.91
芳樟醇	6	1864.11	572.05	398.03	434.51	693.37	202.49
(-)-4-萜品醇	130	1.53	1.00	0.61	0.79	0.67	0.48
苜醇	2.1	15.4	-	-	-	-	-
苯乙醇	1.2	54.05	20.51	26.89	33.48	57.37	18.65
茴香脑	15	72.79	34.65	33.75	38.33	40.00	25.80
4-乙基-2-甲氧基苯酚	0.75	92.67	48.91	61.54	77.44	77.45	57.40

醛类化合物是脂肪的氧化降解及酶或微生物的氧化所形成<sup>[22]</sup>, 检测出有6种, 15~35 min 分别检测出5、5、6、6、4种。其中十六醛的含量最好, 在15~25 min 显著上升 ( $p < 0.05$ ), 之后显著降低, 十六醛能赋予冷吃兔好的果香味。其次为(E,E)-2,4-癸二烯醛, 是油炸食品中的主要挥发性风味物质, 带有脂肪味和烤肉味。检测出酮类2种, 主要是由氨基酸降解、脂肪氧化及美拉德反应产生。醇类主要由肌肉中的共轭亚油酸被脂肪氧合酶和氢过氧化酶降解产生<sup>[23]</sup>, 检测出有9种, 其中芳樟醇的含量最高, 是冷吃兔的特征风味物质, 是香油中的主要挥发性成分。酸类化合物是一般脂肪氧化降解为低级脂肪酸产生<sup>[24]</sup>。萜类可能是由原材料所提供, 如姜烯是姜粉中为主要挥发性风味物质<sup>[25]</sup>。检测出烃类5种、酯类4种、酸类10种、醚类2种、酚类2种、萜类4种及其他10种。

冷吃兔经过高压蒸汽灭菌15~35 min 所得的特征风味物质的OAV如表4所示。与未灭菌的冷吃兔特征风味物质相比, 特征挥发性风味物质种类和OAV值均存在差异。未灭菌中检测到特征风味物质为9种, 而灭菌15 min 时, 特征风味物质减少到7种, 20~35 min 均检测出6种, 是因为(-)-4-萜品醇随着灭菌时间的延长, 其OAV<1, 对冷吃兔无明显的作用或甚至无作用。

由表4可以看出, 除(E,E)-2,4-癸二烯醛与十六醛随灭菌时间的延长, OAV在相应增加外, 其余都在不断降低, 且均小于未灭菌时的OAV。相对于未灭菌的冷吃兔, 灭菌之后降低了柠檬醛具有的柠檬风味, 苜醇具有的香脂味, 甚至(-)-4-萜品醇所具有的香料味也将一定程度的降低。因此, 从特征挥发性风味物质再现程度分析, 灭菌15~20 min 是对特征风味物质的保留的较好时间。

### 3 结论

3.1 随着灭菌时间的延长, 水分含量、蛋白质、脂质、pH 无明显影响。与未进行灭菌的冷吃兔进行比较, 在15~20 min 的理化指标最为相似。

3.2 氯化物的呈咸味效果显著, 与未灭菌的冷吃兔比较, 灭菌20 min 时的TAV与其最为相似。总游离氨基酸含量先降低后增加。鲜味氨基酸的含量35 min 达最大值。Glu 是冷吃兔的主要呈鲜味游离氨基酸; Lys 是主要的呈甜味游离氨基酸; His 是主要的呈苦味氨基酸。呈味核苷酸中, 5'-IMP 的TAV>1, 是冷吃兔的呈鲜味物质, 与未灭菌时相比, 含量增加了1.80 mg/100 g。计算EUC, 35 min 的EUC最高, 为18.68 g MSG/100 g。结合MSG的滋味阈值(0.03 g/100 g)得出, 冷吃兔高压蒸汽灭菌15~35 min 得到的EUC值均大于MSG的滋味阈值, 具有很好的鲜味呈现效果, 且在35 min 时的鲜味更强于未灭菌前的产品。

3.3 从灭菌过程中共检测出10大类54种化合物, 其中醛类有6种, 酮类2种, 醇类9种, 烃类5种, 酯类4种, 酸类10种, 醚类2种, 酚类2种, 萜类4种及其他10种。与未灭菌的冷吃兔特征风味物质相比, 特征挥发性风味物质种类和OAV值均存在差异。未灭菌中检测到特征风味物质为9种, 而灭菌15 min 时, 特征风味物质减少到7种, 20~35 min 均检测出6种。除(E,E)-2,4-癸二烯醛与十六醛随灭菌时间的延长, OAV在相应增加外, 其余都在不断降低。因此, 从特征挥发性风味物质再现程度分析, 灭菌15~20 min 是对特征风味物质的保留的较好时间。

3.4 综上所述, 冷吃兔在灭菌20 min 时, 所呈现的咸味及特征性风味物质效果最好, 鲜味呈现效果较好。

## 参考文献

- [1] Zefu Wang, Zhifei He, Dong Zhang, et al. Using oxidation kinetic models to predict the quality indices of rabbit meat under different storage temperatures [J]. *Meat Science*, 2020, 162: 108042
- [2] Stachniuk Anna, Sumara Agata, Montowska Magdalena, et al. LC-QTOF-MS identification of rabbit-specific peptides for authenticating the species composition of meat products [J]. *Food Chemistry*, 2020, 329(prepublish): 127185
- [3] Marco Cullere, Antonella Dalle Zotte. Rabbit meat production and consumption: state of knowledge and future perspectives [J]. *Meat Science*, 2018, 143: 137-146
- [4] Katalin Szendrő, Eszter Szabó-Szentgróti, Orsolya Szigeti. Consumers' attitude to consumption of rabbit meat in eight countries depending on the production method and its purchase form [J]. *Food*, 2020, 9(5): 654
- [5] GB 5009.3-2016. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中水分的测定[S]  
GB 5009.3-2016. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China National standard for Food Safety - determination of moisture in food [S]
- [6] GB 5009.5-2016. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S]  
GB 5009.5-2016. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China National Standard for Food Safety - determination of protein in food [S]
- [7] GB 5009.6-2016. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S]  
GB 5009.6-2016. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China National Standard for Food Safety - determination of fat in food [S]
- [8] GB 5009.44-2016. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中氯化物的测定[S]  
GB 5009.44-2016. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China National Standard for Food Safety - determination of chloride in food [S]
- [9] Zelin Duan, Yangen Zhou, Wenjuan Liu, et al. Variations in flavor according to fish size in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2020, 526: 735398
- [10] GB/T 5009.6-2016. Determination of amino acids in foods [S]
- [11] 马建荣, 潘腾, 王振宇, 等. 传统炭烤羊肉特征滋味成分解析 [J]. *食品科技*, 2019, 44(4): 110-116  
MA Jianrong, PAN Teng, WANG Zhenyu, et al. Analysis of characteristic taste components of traditional char roast mutton [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(4): 110-116
- [12] Xing Tian, Zong Jun Li, Yu Zhou Chao, et al. Evaluation by electronic tongue and headspace-GC-IMS analyses of the flavor compounds in dry-cured pork with different salt content [J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109456
- [13] Guo Zengwang, Teng Fei, Huang Zhaoxian, et al. Effects of material characteristics on the structural characteristics and flavor substances retention of meat analogs [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 105: 105752
- [14] Chaojun He, Ziyong Li, Hongxia Liu, et al. Characterization of the key aroma compounds in *Semnostachya menglaensis* Tsui by gas chromatography-olfactometry, odor activity values, aroma recombination, and omission analysis [J]. *Food Research International*, 2019, 131: 108948
- [15] Wang Zehan, Xu Zhe, Sun Liming, et al. Dynamics of microbial communities, texture and flavor in Suan zuo yu during fermentation [J]. *Food Chemistry*, 2020, 332: 127364
- [16] 陈琳莉, 李侠, 张春晖, 等. 低场核磁共振法测定五种肉类中不同状态水分含量[J]. *分析科学学报*, 2015, 31(1): 90-94  
CHEN Linli, LI Xia, ZHANG Chunhui, et al. Determination of moisture content in five kinds of meat by low field nuclear magnetic resonance method [J]. *Chinese Journal of Analytical Science*, 2015, 31(1): 90-94
- [17] 张哲奇, 臧明伍, 张凯华, 等. 国内外肉品品质变化机制机理研究进展[J]. *肉类研究*, 2017, 31(2): 57-63  
ZHANG Zheqi, ZANG Mingwu, ZHANG Kaihua, et al. Research progress on the mechanism of meat quality change at home and abroad [J]. *Meat Research*, 2017, 31(2): 57-63
- [18] 侯莉, 梁晶晶, 赵健, 等. pH 值对"半胱氨酸-木糖-甘氨酸"体系肉香味形成的影响[J]. *食品科学*, 2017, 8: 137-146  
HOU Li, LIANG Jingjing, ZHAO Jian, et al. Effect of pH value on the formation of meat flavor in "cysteine-xylose-glycine" system [J]. *Food Science*, 2017, 8: 137-146
- [19] 章银良, 庞丹洋, 蔡亚玲. 均匀试验优化控制腌制鹅肉游离氨基酸的变化[J]. *中国调味品*, 2017, 42(2): 80-83  
ZHANG Yinliang, PANG Danyang, CAI Yaling. Optimization and control of the change of free amino acids in salted goose meat by uniform experiment [J]. *China Condiment*, 2017, 42(2): 80-83



- [20] 棘怀飞,李晔,张迪雅,等.美拉德反应对金枪鱼红肉酶解液挥发性物质和游离氨基酸的影响[J].食品工业科技,2020,44(4):211-216  
JI Huaifei, LI Ye, ZHANG Diya, et al. Effect of Maillard reaction on volatile compounds and free amino acids in enzymatic hydrolysate of tuna red meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 44(4): 211-216
- [21] 葛倩倩.猪肉中呈味核苷酸变化规律及肌苷酸基体标准样品研制[D].北京:中国农业科学院,2020  
GE Qianqian. Changes of flavor nucleotide in pork and preparation of inosinic acid matrix standard sample [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020
- [22] 朱青云,李玉林,谭亮,等.顶空固相微萃取-气质联用技术分析青海省不同产地牦牛肉中挥发性风味成分[J].动物营养学报,2020,32(6):2831-2849  
ZHU Qingyun, LI Yulin, TAN Liang, et al. Analysis of volatile flavor components in yak meat from different producing areas in Qinghai Province by headspace solid phase microextraction combined with mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(6): 2831-2849
- [23] 郭俸钰,陈文学,陈海明,等.芳樟醇对大肠杆菌的抑菌作用机制[J].现代食品科技,2020,4:113-118  
GUO Fengyu, CHEN Wenxue, CHEN Haiming, et al. Effect of linalol on the antibacterial activity of *Escherichia coli* [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 4: 113-118
- [24] Flores M, Soler C, Aristoy M C, et al. Effect of brine thawing/salting for time reduction in Spanish dry-cured ham manufacturing on proteolysis and lipolysis during salting and post-salting periods [J]. European Food Research and Technology, 2006, 222(5-6): 509-515
- [25] 王强伟,史先振,王洪新,等.鲜姜、姜粉和姜汁饮料中挥发性风味物质分析[J].食品与发酵工业,2015,41(4):174-179  
WANG Qiangwei, SHI Xianzhen, WANG Hongxin, et al. Analysis of volatile flavor compounds in fresh ginger, ginger powder and ginger juice [J]. Food and Fermentation Industry, 2015, 41(4): 174-179

---

(上接第 275 页)

- [28] Yu Z, Ping Z, Tian HL, et al. Insights into the aroma profile in three kiwifruit varieties by HS-SPME-GC-MS and GC-IMS coupled with DSA [J]. Food Analytical Methods, 2021, 14: 1033-1042
- [29] Jrad Z, Oussaief O, Zaidi S, et al. Co-fermentation process strongly affect the nutritional, texture, syneresis, fatty acids and aromatic compounds of dromedary UF-yogurt [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 58(5): 1727-1739
- [30] Li Z, Si M, Ruo-bing L, et al. Evaluation of volatile compounds during the fermentation process of yogurts by *streptococcus thermophilus* based on odor activity value and heat map analysis [J]. International Journal of Analytical Chemistry, 2020, 2020: 3242854
- [31] 高鑫,李博,梅俊.桑椹凝固型酸奶挥发性风味成分的分析[J].食品工业,2018,39(5):215-218  
GAO Xin, LI Bo, MEI Jun. Analysis of volatile flavor components of mulberry solidified yogurt [J]. Food Industry, 2018, 39(5): 215-218
- [32] 桂青,禰小凤.基于 GC-MS 法的离心浓缩椰浆风味成分及脂肪酸组成分析[J].热带农业科学,2016,36(4):77-81  
GUI Qing, XUAN Xiao-feng. Analysis of flavor components and fatty acid composition of centrifugal concentrated coconut milk based on GC-MS method [J]. Tropical Agricultural Sciences, 2016, 36(4): 77-81
- [33] 魏月媛.火麻仁油的安全性及在酸奶中的应用研究[D].广州:华南理工大学,2015  
WEI Yue-yuan. The safety of hemp seed oil and its application in yogurt [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015