

陕北炖羊肉杀菌方式的比较及产品货架期预测

葛鑫禹, 刘永峰*, 杨广东, 高 帅, 黄 腾
(陕西师范大学食品工程与营养科学学院 西安 710062)

摘要 陕北炖羊肉深受消费者喜爱,然而其缺乏工业化产品。为筛选出适宜的杀菌方式,延长产品货架期,采用巴氏杀菌、沸水浴杀菌、高温杀菌 3 种常见的热杀菌方式对羊肉进行炖制处理,然后对炖羊肉进行感官评价,测定其水分、蛋白质、脂肪、质构特性、色泽等指标,综合评价 3 种炖羊肉品质变化。同时利用零级反应动力学方程和 Arrhenius 方程预测炖羊肉货架期。结果表明:3 种杀菌组感官评分较对照组显著升高($P<0.05$),高温杀菌组评分最高,增加 23.51%;3 种杀菌组的脂肪含量均显著增加($P<0.05$),高温杀菌组水分含量显著增加,蛋白质含量显著降低($P<0.05$);沸水浴和高温杀菌组 L^* 值较对照组显著降低了 4.52%和 8.72%($P<0.05$),3 种杀菌处理后 a^* 值均显著增加了 25.15%~150.00%($P<0.05$);高温杀菌组硬度、咀嚼性、弹性、凝聚力和回复力均显著降低($P<0.05$),巴氏杀菌组的回复力显著增加($P<0.05$),高温杀菌处理对炖羊肉色泽和质构特性影响最大;电子鼻可较好区分不同杀菌方式,高温杀菌组表现出最高的风味响应强度。针对改善色泽、质构和风味的高温杀菌方式,最终预测炖羊肉在 4,25,37 °C 贮藏下货架期分别为 140,86,67 d。结论:3 种杀菌方式均能改变炖羊肉的营养、感官品质与风味,高温杀菌可显著提高炖羊肉的色、香、味和可接受性,适用于陕北炖羊肉的工业化生产。

关键词 炖羊肉; 杀菌方式; 品质; 货架期

文章编号 1009-7848(2022)07-0214-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.07.022

陕北炖羊肉作为陕西特色肉制品之一,在炖制过程中,羊肉的营养成分不仅可以得到很好的保留,还可以减少有害物质的生成^[1-2]。同时,炖制汤料的味道也可以逐渐渗透到羊肉内部,形成肉质细嫩、味道鲜香、风味独特的炖羊肉产品^[3]。目前,陕北炖羊肉仍以传统家庭或餐馆烹饪为主,餐饮烹饪产品也深受消费者喜爱。由于缺乏工业化生产的陕北炖羊肉产品,目前的生产和销售模式的局限性严重制约了陕北羊肉产业的发展。

杀菌是食品加工过程中的重要环节,通过杀菌可以达到钝化酶,杀死微生物以及延长食品保质期的目的^[4]。热杀菌技术因可靠性高、操作简便和投资成本小等特点,而被广泛应用于食品工业中^[5]。热杀菌技术根据杀菌温度可分为低温杀菌(≤ 100 °C)、高温杀菌(100~130 °C)和超高温杀菌(>130 °C)^[6]。超高温杀菌应用范围有限,仅适用于固体颗粒在 1 cm 以下或无固体颗粒的食品,现已

被应用于饮料、乳制品的加工中^[7]。在肉制品生产中常选用高温杀菌和低温杀菌处理,高温杀菌可以较好地延长食品的货架期,操作简单,贮藏期长,安全性高,被广泛应用到实际生产中,而高温杀菌也会对肉制品带来不利影响,如肌肉弹性降低,失去原有的风味和营养价值等^[8-10]。保障食品货架期和营养品质的低温杀菌越来越受到关注,食品加工中常用的低温杀菌包括巴氏杀菌和沸水浴杀菌^[11]。巴氏杀菌能够最大限度地保持食品原有营养成分和固有风味,使肉质结实,富有弹性,然而,不能杀灭食品贮藏过程中生成的芽孢杆菌等微生物^[12]。沸水浴杀菌能较好地保持营养价值和风味,比巴氏杀菌温度高,有利于减少产品基础微生物含量,同时受热均匀^[12-13]。康怀彬等^[14]通过低温水浴(80,90,95 °C,30 min)和微波(900 W,2 min)杀菌两种方式处理烧鸡,发现水浴杀菌能够显著减少烧鸡贮藏期间腐败,抑制贮藏期间脂肪氧化的产生,延长烧鸡保质期。张同刚^[15]研究了超高压杀菌、巴氏杀菌、110 °C 杀菌和 121 °C 杀菌 4 种杀菌方式对宁夏手抓羊肉品质的影响,发现 110 °C 杀菌对手抓羊肉色泽、质构影响最小。赵冰等^[16]通过比较低温巴氏杀菌和高温高压杀菌对熏肉品质的影响,发现高温、高压杀菌使得熏肉的 L^*

收稿日期: 2021-07-04

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2021ZDLNY02-05);
西安市科技计划项目(20NYFF0011);榆林市科学技术项目(2019-155)

作者简介: 葛鑫禹(1998—),男,硕士生

通信作者: 刘永峰 E-mail: yongfeng200@126.com

值、 a^* 值和 b^* 值明显下降,同时质构特性参数都有一定程度的降低。付丽等^[17]研究了 9 种杀菌温度和时间对酱牛肉品质的影响,得出 115 ℃杀菌 30 min 时酱牛肉水分活度、 L^* 值、 a^* 值、咀嚼性、弹性和感官评分均显著优于对照组。综上,为了顺应消费者需求,延长肉制品货架期,杀菌方式对肉制品品质的影响越来越成为研究焦点,然而,关于陕北炖羊肉工业化生产及其相关研究鲜有报道。

鉴于此,本研究采用不同杀菌方式对陕北羊肉进行处理,通过对不同杀菌方式的分析、比较,探究热杀菌对炖羊肉品质的影响。同时,对真空包装炖羊肉产品的货架期进行预测,从而保障陕北炖羊肉产品在具有良好品质的前提下,延长产品的货架期,并解决产品运输范围小,环境条件制约等问题,为陕北炖羊肉的工业化生产提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

陕北横山羊肉、食用盐、红葱、地椒叶、辣椒、花椒、生姜等,西安市朱雀农贸市场;石油醚、硫酸铜、硫酸钾等均为分析纯级,西安晶博有限公司。

1.2 仪器与设备

TA. XT. Plus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;Super Nose 电子鼻,美国 Isenso Group Corporation 公司;色差仪,深圳市三恩时科技有限公司;UV-1200 型紫外可见分光光度计,上海美析仪器有限公司;电热鼓风干燥箱,上海福玛实验设备有限公司;自动凯氏定氮仪,瑞典福斯公司;脂肪测定仪,上海纤检仪器有限公司;真空包装机,上海荣鳌机电有限公司;灭菌釜,山东慧天食品机械有限公司。

1.3 炖羊肉工艺流程

取冷冻的陕北横山羊肉置于冰箱冷藏室 (3 ± 1)℃中解冻 24 h,取出后置于室温下完全解冻,剔除其筋膜和脂肪组织,清洗后将其分割成 2 cm×2 cm×2 cm 的肉块,取分割好的肉块 2 000 g,平均分为 4 组,每组 500 g 约为 25~30 个肉块。本次试验参考风味炖羊肉工艺^[9],经过配方优化和工艺参数摸索,最终确定了炖羊肉加工工艺。

炖羊肉工艺流程:陕北羊肉的切块→放入锅

中加水煮沸去浮沫→锅中加入 2.00%食盐、0.07%地椒叶、0.60%辣椒、0.60%桂皮、0.60%月桂叶、0.20%花椒、2.75%生姜和 5.50%红葱等辅料→小火炖煮 60 min→真空包装→随机分成 4 组,取 3 组分别进行巴氏杀菌、沸水浴杀菌和高温杀菌,形成 4 个试验组→成品冷藏备用。其中,未杀菌组(对照组):真空包装后不做任何杀菌处理;巴氏杀菌组:杀菌过程在灭菌釜中完成,杀菌温度 80 ℃、杀菌时间 30 min;沸水浴杀菌组:杀菌过程在蒸煮锅中完成,在 100 ℃沸水中杀菌 30 min;高温杀菌组:杀菌过程在灭菌釜中完成,杀菌温度 121 ℃、杀菌时间 20 min。

1.4 炖羊肉品质测定方法

1.4.1 感官评价方法 选取 10 名受过培训的食品专业研究生组成感官评分小组,对炖羊肉进行感官评定,感官评价指标和评分标准如表 1 所示。最终计算出 10 名感官人员的感官评分平均值为感官评价结果。

表 1 炖羊肉感官评价标准

Table 1 Stewed mutton sensory evaluation standard

评价指标	评价标准	评分/分
风味	羊肉香气浓郁,无膻味	8~10
	羊肉香气明显,有轻微膻味	6~8
	羊肉香气轻,膻味明显	4~6
	没有羊肉香气,膻味重	≤4
口感	肉质软硬适中,咀嚼感良好	8~10
	肉质稍软或稍硬,咀嚼感稍差	6~8
	肉质较软或较硬,咀嚼感较差	4~6
	肉质过于干硬或过于软烂,咀嚼感差	≤4
颜色	肉色呈棕红色	8~10
	肉色稍微发黄	6~8
	肉色暗淡	4~6
	肉色过浅或过深	≤4
组织状态	肉质结构坚实、细腻	8~10
	肉质结构比较坚实、细腻	6~8
	肉质结构比较松散、粗糙	4~6
	肉质结构松散、粗糙	≤4

1.4.2 水分、脂肪和蛋白质含量测定 按照《食品中水分的测定》(GB 5009.3-2016)^[18],采用直接干燥法对肉样的水分含量进行测定;按照《食品中蛋

白质的测定》(GB 5009.5-2016)^[19],采用自动凯氏定氮仪法对肉样的蛋白质含量进行测定,以总氮含量乘以蛋白质换算系数(6.25)表示;采用脂肪测定仪对肉样粗脂肪含量进行测定。

1.4.3 色泽和肌红蛋白含量测定 采用色差仪对色泽进行测定。色差仪进行黑白板校正后,测定炖羊肉的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

肌红蛋白含量测定参照 Krzywickie^[20]的方法。称取肉样 5 g,加入 20 mL 0.04 mol/L pH 值 6.8 的磷酸钠缓冲液,室温下匀浆 25 s。匀浆液在 4 °C 冰箱中冷藏 1 h,取出后 3 500 r/min 离心 30 min。上清液经过滤后定容至 25 mL,在 525,545,565,572 nm 波长处测吸光度值。计算公式如下:

$$\text{肌红蛋白相对含量 (\%)} = 0.369R_1 + 1.140R_2 - 0.941R_3 + 0.015 \quad (1)$$

$$\text{氧合肌红蛋白相对含量 (\%)} = 0.882R_1 - 1.267R_2 + 0.809R_3 - 0.361 \quad (2)$$

$$\text{高铁肌红蛋白相对含量 (\%)} = -2.514R_1 + 0.777R_2 + 0.800R_3 + 1.098 \quad (3)$$

式中, R_1 —— $A_{572\text{nm}}/A_{525\text{nm}}$; R_2 —— $A_{565\text{nm}}/A_{525\text{nm}}$; R_3 —— $A_{545\text{nm}}/A_{525\text{nm}}$ 。

1.4.4 质构特性(Texture profile analysis, TPA)测定 采用质构仪 TPA 模式测定质构特性指标:硬度、咀嚼性、弹性、凝聚力和回复力。测试参数 P/36R 探头;位移 25 mm;测试时间间隔为 5 s;测前、测试中、测后的速率均为 1 mm/s;触发力为 5 g;数据采集速率为 400 pps;应变量为 75%。

1.4.5 电子鼻测定 采用 Super Nose 电子鼻进行测定。称取 5 g 绞碎肉样于样品瓶中并加盖密封,静止 30 min 后进行测定。电子鼻进样量为 10 mL,冲洗时间 240 s,空气流速 600 mL/min,测试时间 120 s。待传感信号趋于稳定后,对电子鼻进行冲洗,冲洗流速为 2 000 mL/min,每个样品重复 3 次。

1.5 炖羊肉脂质氧化分析及货架期预测模型的建立

综合比较,筛选出最适宜于陕北炖羊肉产品的杀菌方式,开展如下试验。

1.5.1 炖羊肉脂质氧化(TBARS 值)测定 TBARS

值测定参照古明辉等^[21]的方法。称取绞碎肉样 10 g 置于锥形瓶中,加入 50 mL 的 7.5%三氯乙酸(含有 0.1%的 EDTA)振荡 30 min,用真空泵抽滤 2 次。吸取 5 mL 上清液于试管中,加入 5 mL 0.02 mol/L 的 2-硫代巴比妥酸溶液,90 °C 水浴 40 min,冷却后 1 600 r/min 离心 5 min,取上清液加入 5 mL 三氯甲烷,振荡摇匀,待其分层后,取上清液在波长 532 nm 和 600 nm 处测吸光度值并记录。

$$\text{TBARS}(\text{mg/kg}) = \frac{A_{532\text{nm}} - A_{600\text{nm}}}{155} \times \frac{1}{10} \times 72.6 \times 1000 \quad (4)$$

1.5.2 炖羊肉货架期预测模型的建立 大多数食品的品质变化情况都符合零级或一级动力学模型,具体方程如下:

$$\text{零级反应: } A = A_0 + kt \quad (5)$$

$$\text{一级反应: } A = A_0 e^{kt} \quad (6)$$

式中, A ——贮藏第 t 天时品质指标; A_0 ——品质指标初始值; t ——贮藏时间; k ——品质指标的变化速率常数。

将炖羊肉产品贮藏于 4, 25, 37 °C 温度条件下,定期对产品的脂质氧化指标进行测定,产品脂质氧化指标的变化速率 k 与贮藏温度 T 之间符合 Arrhenius 方程,即:

$$k = k_0 e^{(-E_a/RT)} \quad (7)$$

式中, k_0 ——指前因子; E_a ——反应的活化能 (J/mol); T ——绝对温度 (K); R ——气体常数 8.314 J/(mol·K)。

对公式(7)取对数,可得:

$$\ln k = \ln k_0 + \left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (8)$$

由公式(8)可知, $\ln k$ 与 $1/T$ 呈线性关系,求出不同贮藏温度下 k 值后,将 $\ln k$ 与 $1/T$ 作图,即可求得 k_0 与 E_a 。

将 k_0 和 E_a 代入货架期预测模型公式:

$$SL_{(\text{TBARS})} = \frac{\ln(A/A_0)}{k_0 e^{(-E_a/RT)}} \quad (9)$$

1.6 数据处理

试验数据采用 SPSS(25.0)软件处理并进行显著性方差分析(Duncan),每项指标测定均设置 3 个重复。

2 结果与分析

2.1 不同杀菌方式炖羊肉感官品质的比较

不同杀菌方式处理的炖羊肉制品如图 1 所示,其中高温杀菌处理后炖羊肉红色加深,经其它 2 种杀菌方式处理后炖羊肉颜色较未杀菌组也有

略微加深;经高温杀菌处理后炖羊肉的肉质较其它组变得更加松散、易咀嚼,巴氏杀菌和沸水浴杀菌处理炖羊肉之后,肉质比较紧实,具有较高的弹性。

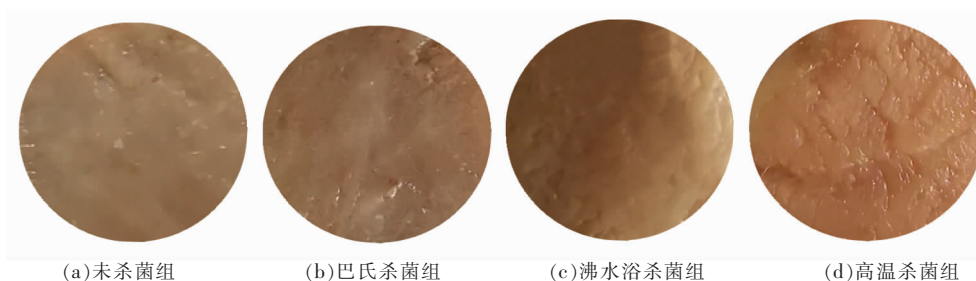


图 1 不同杀菌方式处理后炖羊肉照片

Fig.1 Pictures of stewed mutton with different sterilization methods

通过 10 名受过培训的食品专业研究生对 4 组炖羊肉进行感官评价,评价结果如表 2 所示。3 组杀菌处理组的感官评分显著高于未杀菌组 ($P < 0.05$),可能是因为加热处理可以降低羊肉硬度,赋予其良好的咀嚼性和风味所致。高温杀菌组的

得分最高,可能由于高温处理后炖羊肉的风味物质散发出来,使得羊肉香味和味道更加浓郁,同时经高温杀菌后,羊肉结构较其它组更为松散,具有良好的咀嚼感和适口性,能够满足大多数消费者的感官要求。

表 2 炖羊肉感官评价结果

Table 2 Results of beef sensory evaluation

指标	未杀菌	巴氏杀菌	沸水浴杀菌	高温杀菌
感官评分	27.31 ± 1.19 ^b	31.48 ± 0.69 ^a	30.91 ± 1.17 ^a	33.73 ± 1.32 ^a

注:不同小写字母表示各个组别之间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同杀菌方式炖羊肉蛋白、脂肪和水分的比较

不同杀菌方式对炖羊肉蛋白质、脂肪和水分的测定结果如表 3 所示。经高温杀菌处理后,炖羊肉的水分含量显著增加 ($P < 0.05$),较对照组增加了 15.29%,也显著高于其它 2 种杀菌方式 ($P < 0.05$)。与对照组相比,3 种杀菌方式均能显著提高炖羊肉的脂肪含量 ($P < 0.05$),其中高温杀菌组最高,其次为巴氏杀菌组和沸水浴杀菌组,其脂肪含

量较对照组分别增加了 2.71%,1.51%,1.19%。说明杀菌处理可以显著提高脂肪含量,杀菌温度越高,炖羊肉的脂肪渗出量越高。经高温杀菌处理后,炖羊肉的蛋白质含量显著降低 ($P < 0.05$),较对照组降低了 14.67%。可见,高温杀菌显著增加了炖羊肉的水分和脂肪含量,降低了蛋白质含量。然而巴氏杀菌和沸水浴杀菌条件较温和,对炖羊肉中的高含量营养素影响较小。

表 3 不同杀菌方式对炖羊肉营养品质的影响

Table 3 Effects of different sterilization methods on nutritional quality of stewed mutton

指标	未杀菌	巴氏杀菌	沸水浴杀菌	高温杀菌
水分含量/%	50.87 ± 1.12 ^b	48.47 ± 0.40 ^b	48.72 ± 0.82 ^b	58.64 ± 0.32 ^a
脂肪含量/%	1.34 ± 0.34 ^c	3.36 ± 0.68 ^b	2.94 ± 0.26 ^b	4.97 ± 0.84 ^a
蛋白质含量/%	45.05 ± 0.40 ^a	44.12 ± 0.34 ^a	44.24 ± 0.63 ^a	38.44 ± 0.33 ^b

注:不同小写字母表示各个组别之间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 不同杀菌方式炖羊肉色泽的比较

不同杀菌方式对炖羊肉色泽的影响结果如表4所示。经沸水浴杀菌和高温杀菌处理的炖羊肉 L^* 值较对照组显著降低($P<0.05$)。高温杀菌组的 L^* 值最低,较对照组降低了8.72%;经巴氏杀菌处理后其 L^* 值显著增加($P<0.05$),较对照组增加了3.67%。与对照组相比,3种杀菌处理组的 a^* 值均显著提高($P<0.05$),其中以高温杀菌组的 a^* 值最高,较对照组提高了150.00%,其次为沸水浴杀菌组和巴氏杀菌组。3种杀菌处理组的 b^* 值与对照组相比没有显著变化。

表4 不同杀菌方式对炖羊肉色泽的影响

Table 4 Effects of different sterilization methods on color of stewed mutton

指标	未杀菌	巴氏杀菌	沸水浴杀菌	高温杀菌
L^* 值	50.46 ± 0.12 ^{ab}	52.31 ± 1.15 ^a	48.18 ± 0.80 ^{bc}	46.06 ± 0.79 ^c
a^* 值	3.34 ± 0.17 ^d	4.18 ± 0.01 ^c	5.56 ± 0.03 ^b	8.35 ± 0.19 ^a
b^* 值	12.84 ± 0.87 ^a	13.98 ± 0.69 ^a	13.99 ± 0.51 ^a	14.52 ± 0.43 ^a
肌红蛋白含量/%	52.08 ± 0.03 ^d	52.86 ± 0.03 ^c	54.49 ± 0.05 ^b	56.22 ± 0.04 ^a
氧合肌红蛋白含量/%	5.18 ± 0.03 ^c	5.33 ± 0.04 ^c	5.69 ± 0.03 ^b	5.97 ± 0.09 ^a
高铁肌红蛋白含量/%	26.37 ± 0.10 ^a	25.11 ± 0.13 ^b	22.32 ± 0.02 ^c	19.62 ± 0.08 ^d

注:不同小写字母表示各个组别之间差异显著($P<0.05$)。

2.4 不同杀菌方式炖羊肉 TPA 的比较

不同杀菌方式对炖羊肉 TPA 测定结果如表5所示。在对炖羊肉的硬度、咀嚼性、弹性和凝聚力的分析中,经过巴氏杀菌和沸水浴杀菌处理的炖羊肉与对照组相比均无显著差异($P>0.05$),经高温杀菌处理的炖羊肉显著低于其它处理组($P<0.05$),其中高温杀菌组的硬度、咀嚼性、弹性和凝聚力较对照组分别降低了42.45%,68.02%,

肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白的含量决定着肉制品的色泽。与未杀菌组相比,高温杀菌和沸水浴杀菌能够显著增加肌红蛋白和氧合肌红蛋白含量,降低高铁肌红蛋白含量($P<0.05$)。巴氏杀菌组显著增加了肌红蛋白含量,降低了高铁肌红蛋白含量($P<0.05$),而氧合肌红蛋白与未杀菌组相比无显著变化($P>0.05$)。说明不同杀菌方式所造成的肉色变化可能是由于各种肌红蛋白的含量和存在状态差异造成的,高温杀菌组表现出最高的 a^* 值和氧合肌红蛋白含量。

30.78%,18.89%。不同的杀菌方式,对炖羊肉的回复力产生了不同的影响,其中巴氏杀菌组的回复力显著高于对照组($P<0.05$),而高温杀菌组的回复力显著降低($P<0.05$)。结果说明不同杀菌方式能够明显改变炖羊肉的质构特性,杀菌温度越高,对其质构特性的影响越大,与未杀菌组相比高温杀菌组的质构特性变化最为显著。

表5 不同杀菌方式对炖羊肉质构的影响

Table 5 Effects of different sterilization methods on texture of stewed mutton

指标	未杀菌	巴氏杀菌	沸水浴杀菌	高温杀菌
硬度/g	18 393.43 ± 655.72 ^a	19 289.35 ± 1 132.6 ^a	16 500.53 ± 927.65 ^a	10 585.29 ± 1 889.94 ^b
咀嚼性/g	5 489.48 ± 778.68 ^a	6 154.09 ± 769.96 ^a	4 837.79 ± 386.99 ^a	1 755.69 ± 475.51 ^b
弹性	0.65 ± 0.05 ^a	0.67 ± 0.05 ^a	0.62 ± 0.01 ^a	0.45 ± 0.07 ^b
凝聚力	0.45 ± 0.02 ^a	0.48 ± 0.02 ^a	0.47 ± 0.02 ^a	0.37 ± 0.03 ^b
回复力	0.14 ± 0.01 ^{ab}	0.17 ± 0.02 ^a	0.14 ± 0.01 ^{ab}	0.12 ± 0.01 ^b

注:不同小写字母表示各个组别之间差异显著($P<0.05$)。

2.5 不同杀菌方式炖羊肉电子鼻的结果比较

利用电子鼻分析软件对不同杀菌方式处理的炖羊肉样品的信号数据进行主成分分析,结果如

图2所示。炖羊肉产品 PC1 和 PC2 贡献率分别为73.67%和20.93%,总贡献率为94.60%,大于90%,说明这2个主成分能够很好的反应样品主

要香味物质的信息特征。未杀菌组和杀菌组之间存在显著差异;根据图 2 的第 1 主成分,可以把 4 组炖羊肉产品归结为 3 个区域,分别为未杀菌组、巴氏杀菌组以及沸水浴杀菌组与高温杀菌组。不同杀菌方式对炖羊肉的电子鼻雷达图结果如图 3 所示。电子鼻 14 个传感器中,传感器 S1、S2、S6、S8、S9、S12、S13 对炖羊肉产品的风味响应更加明显,其中 S1、S8、S12 和 S13 响应强度较大,S1 对 4 组炖羊肉产品的响应强度由大到小依次为高温杀

菌组、沸水浴杀菌组、巴氏杀菌组、未杀菌组 ($P < 0.05$),S8 传感器对 4 组炖羊肉的响应强度由大到小依次为高温杀菌组、沸水浴杀菌组、巴氏杀菌组、未杀菌组 ($P < 0.05$),S12 和 S13 对 4 组炖羊肉的电子鼻检测结果没有显著差异 ($P > 0.05$)。结果表明,杀菌温度对炖羊肉香味的总体影响是循序渐进的,随着杀菌温度升高,香味物质的检测值也随之增大,其中高温杀菌组表现出最高的香味物质成分。

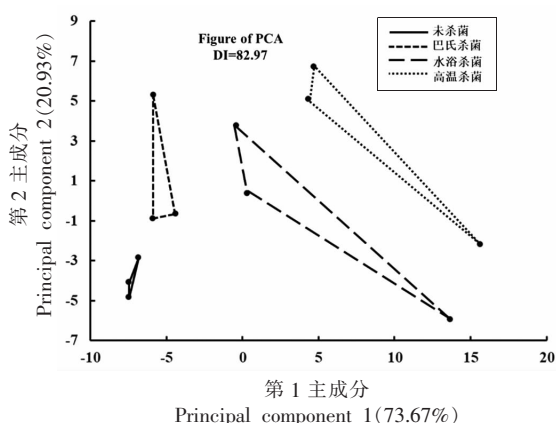


图 2 炖羊肉电子鼻检测 PCA 图谱

Fig.2 PCA plots of E-nose data for stewed mutton

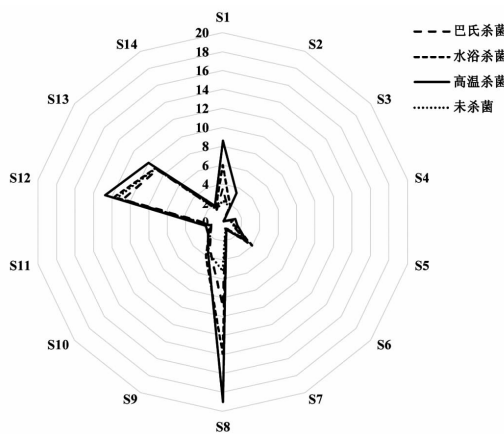


图 3 炖羊肉电子鼻检测雷达图

Fig.3 Radar map of E-nose data for stewed mutton

2.6 陕北炖羊肉产品货架期预测

高温杀菌可以杀灭食品中所有微生物,达到延长货架期的目的。上述研究发现,高温杀菌炖羊肉与其它杀菌组相比具有更高的感官评分,同时高温杀菌使炖羊肉质构特性降低, a^* 值增加,香味物质响应强度增大,能够赋予炖羊肉良好的口感和风味。因此,最终针对高温杀菌炖羊肉开展货架期预测试验。

不同贮藏温度下炖羊肉 TBARS 值结果如表

6 所示。在 3 种贮藏温度下,随着贮藏时间的延长,高温杀菌炖羊肉产品的 TBARS 值均呈上升趋势。不同贮藏温度下,炖羊肉的 TBARS 值由大到小依次为 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 贮藏 $> 25\text{ }^\circ\text{C}$ 贮藏 $> 4\text{ }^\circ\text{C}$ 贮藏。研究表明,当 TBARS 值大于 2.0 mg/kg 时,脂肪氧化酸败会导致肉品风味品质变差^[22]。因此本试验将 TBARS 值超过 2.0 mg/kg 作为炖羊肉货架期终点,根据建立的炖羊肉货架期预测模型对炖羊肉进行货架期预测。

表 6 炖羊肉在不同贮藏温度下 TBARS 值变化

Table 6 The change of stewed mutton about TBARS value at different storage temperatures

指标	贮藏温度/ $^\circ\text{C}$	时间/d				
		0	7	14	21	28
TBARS 值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	4	0.52	0.57	0.62	0.71	0.78
	25	0.52	0.64	0.78	0.89	0.98
	37	0.52	0.70	0.83	0.96	1.07

将 TBARS 值指标代入式(5)和(6),得到零级和一级动力学模型下的反应速率常数及决定系数 R^2 , R^2 越大表明模型准确度越高。动力学模型参数如表 7 所示,其中两种动力学模型的 R^2 均大于

0.9,表明具有较高的精确度。TBARS 值的零级动力学模型的 ΣR^2 大于一级反应动力学模型,因此炖羊肉在贮藏过程中 TBARS 值的变化更符合零级反应动力学模型。

表 7 炖羊肉在不同贮藏温度下品质变化动力学模型参数

Table 7 Parameters of kinetic model of stewed mutton quality at different storage temperatures

品质指标	绝对温度/K	零级动力学方程			一级动力学方程		
		k	R^2	ΣR^2	k	R^2	ΣR^2
TBARS 值	277.15	0.0094	0.9855	2.9714	0.0147	0.9937	2.9313
	298.15	0.0167	0.9943		0.0228	0.9766	
	310.15	0.0194	0.9916		0.0251	0.9610	

对不同贮藏时间的倒数 ($1/T$) 和反应速率对数值 $\ln k$ 作图(图 4),结合公式(8)计算出炖羊肉 TBARS 值的反应动力学活化能 E_a 和指前因子 k_0 分别为 1.61×10^4 J/mol 和 10.48。将 TBARS 阈值 2.0 mg/kg、 E_a 和 k_0 代入公式(9),即可得到以 TBARS 值为指标建立的炖羊肉货架期预测模型,如下:

$$SL_{(TBARS)} = \frac{\ln(2.0/A_0)}{10.48 \times e^{(-1.61 \times 10^4 / RT)}} \quad (10)$$

将测得的炖羊肉 TBARS 的初始值 (A_0) 代入公式(10)获得在确定贮藏温度条件下炖羊肉货架期的预测值。结果如表 8 所示,利用预测模型计算出在 4, 25, 37 °C 下贮藏时,炖羊肉的预测货架期分别为 140, 86, 67 d。

3 讨论

水分、蛋白质、脂肪等指标是评价肉类营养品质的主要指标。本研究发现高温杀菌能够显著提高炖羊肉的水分含量。这可能是由于高温杀菌处理导致蛋白收缩和蛋白膜破裂,使在肌肉内部不易流出的水分析出,同时真空包装导致从肌肉内部析出的水分无法散失,最终存留在炖羊肉表面^[17]。经 3 种杀菌方式处理的炖羊肉,其脂肪含量较未杀菌组均显著增加,高温杀菌组的脂肪含量最高。同样可能是由于高温使肌肉组织结构被破坏,肌间结合脂肪游离所致^[23]。本试验结果显示,经高温杀菌处理的炖羊肉蛋白质含量较未杀菌组明显减少。可能是由于高温加工使肉中的蛋白质受热分解形成小肽、游离氨基酸等物质,导致蛋白

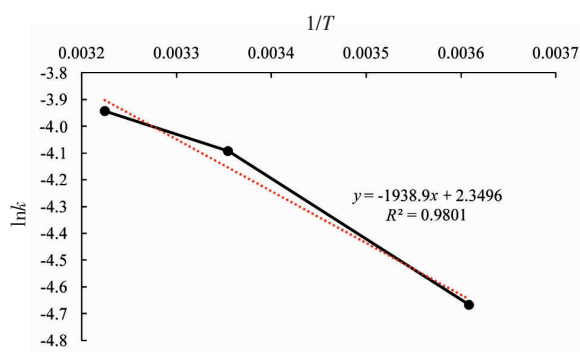


图 4 炖羊肉 TBARS 值变化的 Arrhenius 曲线

Fig.4 Arrhenius curve of TBARS change in stewed mutton

表 8 不同贮藏温度下炖羊肉货架期预测值

Table 8 The prediction of the shelf-life of mutton stew at different storage temperatures

贮藏温度/°C	货架期预测值/d
4	140
25	86
37	67

质降解,含量下降^[24]。吴倩蓉等^[25]的研究也指出,随着杀菌温度的升高,酱牛肉中的蛋白质浓度下降,蛋白质降解指数显著增加,与本试验结果一致。

色泽是影响肉制品可接受性的重要因素。本试验结果显示,不同杀菌处理组之间炖羊肉的 L^* 、 a^* 和 b^* 值存在显著差异,沸水浴杀菌和高温杀菌处理的炖羊肉 L^* 值明显降低,巴氏杀菌组的 L^* 值明显增加,经 3 种杀菌处理后炖羊肉的 a^* 值均明显增加。有研究表明,肉制品颜色的变化与肌红蛋白的存在状态有关,其中肌红蛋白呈紫红色,氧合

肌红蛋白呈鲜红色,高铁肌红蛋白呈褐色^[26-27]。本试验发现高温杀菌组具有最高含量的肌红蛋白和氧合肌红蛋白,以及最低含量的高铁肌红蛋白,因此高温杀菌处理的炖羊肉呈现出了最高的 a^* 值,可能与温度升高加快了肌红蛋白的氧化速率有关^[26]。这与张同刚^[15]采用不同杀菌方式处理手抓羊肉的结果相似,随着杀菌温度的增加,其 a^* 值也随之增大。

加工温度和时间对肉制品的质构特性起着至关重要的作用。与未杀菌组相比,高温杀菌显著降低了炖羊肉的硬度、咀嚼性、弹性、凝聚力和回复力。这可能是由于高温处理导致肌原纤维蛋白降解和结缔组织弱化等,蛋白质网络结构变得脆弱,孔洞增大,从而使蛋白质和水之间水合作用减弱,炖羊肉质地被破坏^[28-29]。同时感官结果表明经过高温杀菌处理后的炖羊肉感官评分最高,这是由于高温杀菌处理的炖羊肉更加软嫩可口、易咀嚼,消费者可接受度最高。然而巴氏杀菌处理的炖羊肉与未杀菌组相比,其回复力显著提高,这可能是由于杀菌过程中水分流失,使肌细胞结构更加紧实,羊肉质构特性增大。在 Krystyna^[30]的报道中也指出,温度在 80 °C 和 90 °C 时加工出的牛肉要比 60 °C 和 65 °C 加工出的牛肉硬,可能是由于温度超过 60 °C 之后肌肉纤维之间的空隙被填充,肌肉细胞变得更加紧密所致,这与本试验中巴氏杀菌组质构特性高于未杀菌组的结果相似。

电子鼻是一种能够模拟动物嗅觉,利用气体传感器对气味进行识别的技术,现如今被广泛应用于食品检测、环境质量检测、医学诊断等多个领域^[31-32]。电子鼻检测结果显示,在 PCA 图谱中未杀菌组与杀菌组之间存在一定距离,并且雷达图结果表明经高温杀菌后,炖羊肉的风味响应强度显著增大。这可能是由于高温处理使炖羊肉中的部分风味物质分解以及发生的美拉德反应使得新的风味物质生成^[33]。结合感官评价结果发现,高温杀菌能够起到提高炖羊肉风味的作用,在一定程度上改善了炖羊肉的口感和风味。

食品货架期是指食品在贮藏过程中,能够保证食品安全和营养品质,保持理想的感官、理化和微生物特性的一段时间^[34]。它是消费者选购食品时的重要参考指标,因此准确预测炖羊肉贮藏过

程中的品质变化和货架期对于炖羊肉产品开发具有重要意义。食品货架期的预测模型主要分为基于化学动力学、基于预测微生物学以及基于温度变化等预测模型^[35]。其中基于化学动力学的预测模型主要通过零级或一级化学反应和 Arrhenius 方程相结合来预测食品货架期,该模型已被广泛应用于酱鸭^[36]、猪肉^[37]、发酵鹿肉^[38]等肉制品的货架期预测。张建友等^[36]以 TBARS 值作为酱鸭的品质变化指标,利用零级化学反应动力学和 Arrhenius 方程建立了货架期预测模型,理论货架期与实际货架期较为符合,可以有效预测酱鸭货架期。本研究利用零级化学反应和 Arrhenius 方程对炖羊肉贮藏过程中 TBARS 值变化进行预测,其动力学方程 R^2 大于 0.9,说明 TBARS 值可以较准确的预测产品货架期。TBARS 值表示脂质氧化程度,其值越大表示氧化程度越高,从而导致产品品质越差^[39]。随着贮藏时间的延长,TBARS 值增大,可能是由于炖羊肉中的脂肪受到微生物、酶等影响,发生氧化反应产生油脂过氧化物,导致 TBARS 值升高^[40]。同时贮藏温度升高,炖羊肉的 TBARS 值也增加,原因可能是温度越高脂肪氧化越剧烈,促进了饱和脂肪酸形成丙二醛的过程^[37]。通过计算得出炖羊肉在 4,25 °C 和 37 °C 下贮藏时,炖羊肉的预测货架期分别为 140,86,67 d。本试验中炖羊肉的预测货架期与市售真空包装肉制品不一致,可能是由于生产工艺、加工器械及环境等差异导致^[41-42]。此外,高温杀菌能够加剧炖羊肉脂质氧化,使其具有较高的 TBARS 初始值,从而导致货架期预测值较短。因此,在肉制品生产过程中合理制定加工工艺,严格控制环境条件及卫生直接影响产品的货架期。

4 结论

通过 3 种热杀菌方式处理羊肉并对其理化品质进行比较研究,其中巴氏杀菌和沸水浴杀菌对炖羊肉水分、蛋白质、脂肪、质构和风味影响较小;3 种杀菌方式均能提高炖羊肉感官评分,以高温杀菌处理炖羊肉口感、风味最佳,高温杀菌炖羊肉表现出高 a^* 值、高风味强度和低质构参数,能够更好地满足消费者对炖羊肉产品的需求。综合筛选得到高温杀菌的炖羊肉进行货架期预测,产品

的TBARS值变化符合零级化学反应,最终推断得出在4,25℃和37℃贮藏温度下,产品的预测货架期分别为140,86d和67d。研究结果为陕北炖羊肉的工业化生产、销售与运输提供了理论参考和技术支撑。

参 考 文 献

- [1] 刘永峰, 申倩. 畜、禽肉影响人类健康的异同性分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2020, 48(1): 114-122.
LIU Y F, SHEN Q. Commonality and difference analysis of the effects of poultry and livestock products on human health[J]. Journal of Shaanxi Normal University Natural Science Edition, 2020, 48(1): 114-122.
- [2] JIAO Y, LIU Y F, QUEK S Y. Systematic evaluation of nutritional and safety characteristics of Hengshan goat leg meat affected by multiple thermal processing methods[J]. Journal of Food Science, 2020, 85(4): 1344-1352.
- [3] 孙钰涵. 风味羊肉干和陕北风味炖羊肉加工技术研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018.
SUN Y H. Research on processing technology of flavored mutton jerky and northern Shaanxi flavored stewed mutton[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2018.
- [4] 吕永平. 包装和杀菌方式对符离集烧鸡货架期影响的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
LÜ Y P. Study on effects of vacuum packing mode and sterilization ways on shelf time of Fuliji roasted chicken[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [5] ROBERT S, BARK F, KLEINSTUECK E, et al. The impact of high pressure thermal sterilization on the microbiological stability and formation of food processing contaminants in selected fish systems and baby food puree at pilot scale[J]. Food Control, 2015, 9(50): 539-547.
- [6] 姜开新, 马丽卿. 杀菌技术在食品加工中的应用进展[J]. 食品安全导刊, 2020, 19(17): 37.
JIANG K X, MA L Q. Application progress of sterilization technology in food processing[J]. China Food Safety Magazine, 2020, 19(17): 37.
- [7] 杨蓓蓓. 食品加工杀菌技术研究综述[J]. 食品安全导刊, 2020, 107(27): 162.
YANG B B. A review of research on food processing and sterilization technology[J]. China Food Safety Magazine, 2020, 107(27): 162.
- [8] 冯璐, 芮汉明. 不同杀菌方式对盐焗鸡翅根品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2006, 28(11): 111-115.
FENG L, RUI H M. Comparative quality of salt heated chicken wing by different means of sterilization[J]. Food and Fermentation Industries, 2006, 28(11): 111-115.
- [9] 周鑫. 红烧牦牛肉加工工艺优化及其品质研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015.
ZHOU X. Study on process optimization and quality of braised yak meat[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2015.
- [10] ARVANITOYANNIS I. Sterilization of food in retort pouches[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43(6): 218.
- [11] 王清波. 杀菌、冷藏及微波复热对红烧牛腩品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
WANG Q B. Study on the effect of sterilization, cold storage and microwave reheating on the quality of stewed beef[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.
- [12] 布丽君, 钟正泽, 林保忠, 等. 不同杀菌方式对卤鹅品质的影响研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(24): 258-260, 264.
BU L J, ZHONG Z Z, LIN B Z, et al. Research of the effect of different sterilization ways quality of spiced goose meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(24): 258-260, 264.
- [13] 刘新然, 李海露, 李学鹏, 等. 杀菌方式对卤制风味四角蛤蜊产品贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(22): 8210-8218.
LIU X R, LI H L, LI X P, et al. Effects of sterilization methods on the storage quality of marinated *Mactra quadrangularis*[J]. Food Safety and Quality Detection Technology, 2020, 11(22): 8210-8218.
- [14] 康怀彬, 肖枫, 徐幸莲. 二次杀菌方式对烧鸡保质期影响的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 174-177.
KANG H B, XIAO F, XU X L. Study on effects of two-stage sterilization on shelf life of roasted chicken[J]. Food Science, 2007, 28(7): 174-177.
- [15] 张同刚. 二次杀菌对宁夏手抓羊肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(4): 7-12.

- ZHANG T G. Effect of secondary sterilization on volatile flavor compounds in Ningxia Hand-Grabbed lamb[J]. *Meat Research*, 2019, 33(4): 7-12.
- [16] 赵冰, 任琳, 张春江, 等. 不同杀菌方式对熏肉的影响[J]. *肉类研究*, 2012, 26(10): 13-17.
- ZHAO B, REN L, ZHANG C J, et al. Effect of different sterilization methods on smoked meat [J]. *Meat Research*, 2012, 26(10): 13-17.
- [17] 付丽, 刘旖旎, 高雪琴, 等. 不同杀菌条件对酱牛肉品质的影响[J]. *肉类研究*, 2019, 33(1): 7-13.
- FU L, LIU Y N, GAO X Q, et al. Effect of different sterilization conditions on quality of spice beef[J]. *Meat Research*, 2019, 33(1): 7-13.
- [18] 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: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-2.
- National Health and Family Planning Commission. National standard for food safety determination of moisture in foods: GB 5009.3-2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-2.
- [19] 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: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-3.
- National Health and Family Planning Commission. National standard for food safety determination of protein in foods: GB 5009.5-2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-3.
- [20] KRZYWICKI K. The determination of haem pigments in meat[J]. *Elsevier*, 1982, 7(1): 29-36.
- [21] 古明辉, 刘永峰, 申倩, 等. 猕猴桃多酚在山羊肉冷藏中延缓氧化和改善品质的作用[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(8): 1643-1654.
- GU M H, LIU Y F, SHEN Q, et al. Improving quality and delaying oxidation in goat meat refrigeration by polyphenols from thinned young kiwifruit[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(8): 1643-1654.
- [22] 张建友, 赵瑜亮, 张梦雨, 等. 不同贮藏温度酱鸭品质变化及其货架期预测[J]. *食品科学*, 2019, 40(5): 250-257.
- ZHANG J Y, ZHAO Y L, ZHANG M Y, et al. Quality changes and predictive modeling of shelf life of sauced duck stored at different temperatures [J]. *Food Science*, 2019, 40(5): 250-257.
- [23] EDWARD T. Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products[J]. *Meat Science*, 2005, 70(3): 493-508.
- [24] 康怀彬, 邹良亮, 张慧芸, 等. 高温处理对牛肉蛋白质化学作用力及肌原纤维蛋白结构的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(23): 80-86.
- KANG H B, ZOU L L, ZHANG H Y, et al. Effect of high temperature treatment on chemical forces of beef proteins and structure of myofibrillar protein[J]. *Food Science*, 2018, 39(23): 80-86.
- [25] 吴倩蓉, 朱宁, 周慧敏, 等. 加工工艺对酱牛肉中蛋白质降解及风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(12): 76-84.
- WU Q R, ZHU N, ZHOU H M, et al. Changes in protein degradation and flavor substance in sauce beef during processing[J]. *Food Science*, 2021, 42(12): 76-84.
- [26] 刘越. 不同理化因素对牛肉肌红蛋白稳定性影响的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- LIU Y. Study on the effect of different physical and chemical factors on the stability of beef myoglobin [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.
- [27] 黄卉, 孙申宇, 魏涯, 等. 红色肉贮藏期间肌红蛋白与肉色变化研究进展[J]. *南方水产科学*, 2020, 16(3): 119-124.
- HUANG H, SUN S Y, WEI Y, et al. Research progress on color transformation of red meat during storage[J]. *South China Fisheries Science*, 2020, 16(3): 119-124.
- [28] ZHANG L L, ZHANG F X, WANG X. Changes of protein secondary structures of pollock surimi gels under high-temperature (100 °C and 120 °C) treatment [J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 25(171): 159-163.
- [29] ROLDÁN M, ANTEQUERA T, MARTÍN A, et al. Effect of different temperature-time combinations on physicochemical, microbiological, textural and structural features of sous-vide cooked lamb loins[J]. *Meat Science*, 2013, 93(3): 572-578.
- [30] KRYSZYNA P. The influence of post-mortem ageing and roasting on the microstructure, texture and collagen solubility of bovine semitendinosus muscle [J]. *Meat Science*, 2003, 64(2): 191-198.
- [31] WU H, YUE T L, XU Z J, et al. Sensor array optimization and discrimination of apple juices according to variety by an electronic nose [J]. *Analytics Methods*, 2017, 9(6): 921-928.
- [32] 王伟静, 张松山, 谢鹏, 等. 电子鼻和电子舌快速

- 检测炖制下牛肉的品质[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(17): 124-128.
- WANG W J, ZHANG S S, XIE P, et al. Quick detection of the quality of stewed beef using E-nose and E-tongue[J]. Food Research and Development, 2017, 38(17): 124-128.
- [33] 吴倩蓉, 潘晓倩, 朱宁, 等. 杀菌温度对羊蝎子风味物质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 184-190.
- WU Q R, PAN X Q, ZHU N, et al. Effect of sterilization temperature on flavor compounds in spiced lamb spine[J]. Food Science, 2020, 41(20): 184-190.
- [34] 陈晓宇, 朱志强, 张小栓, 等. 食品货架期预测研究进展与趋势[J]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 192-199.
- CHEN X Y, ZHU Z Q, ZHANG X S, et al. Research progress and trend of food shelf life prediction[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 192-199.
- [35] 赵瑜亮. 酱鸭贮藏品质控制及其货架期预测研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2018.
- ZHAO Y L. Study on storage quality control and shelf life prediction of sauce duck[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2018.
- [36] 张建友, 赵瑜亮, 张梦雨, 等. 不同贮藏温度酱鸭品质变化及其货架期预测[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 250-257.
- ZHANG J Y, ZHAO Y L, ZHANG M Y, et al. Quality changes and predictive modeling of shelf life of sauced duck stored at different temperatures[J]. Food Science, 2019, 40(5): 250-257.
- [37] 雷会宁, 魏益民, 魏帅, 等. 冷却猪肉货架期预测模型建立及验证[J]. 中国食品学报, 2018, 18(10): 187-194.
- LEI H N, WEI Y M, WEI S, et al. Establishment and verification of shelf life prediction model for chilled pork[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(10): 187-194.
- [38] 马露, 孔维洲, 王丽萍, 等. 响应面法优化发酵鹿肉干工艺及其货架期预测[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(12): 2109-2119.
- MA L, KONG W Z, WANG L P, et al. Optimization of processing conditions for venison jerky fermented by response surface methodology and its shelf life prediction[J]. Acta Agriculture Zhejiangensis, 2019, 31(12): 2109-2119.
- [39] PIGNOLI G, RICARDO B, MARIA T, et al. Suitability of saturated aldehydes as lipid oxidation markers in washed turkey meat[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 412-416.
- [40] 潘成磊. 卤烤鸭贮藏特性及品质改良的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- PAN C L. Study on the quality change rule and improvement method of grilled marinated duck during storage[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [41] 安耀强. 延长低温肉制品保质期的技术及方法[J]. 肉类工业, 2008, 5(4): 10-12.
- AN Y Q. Discussion on the technique and method for extending storage life of low-temperature meat products[J]. Meat Industry, 2008, 5(4): 10-12.
- [42] 刘文营, 王守伟. 羊肉生产及加工工艺对肉及肉制品品质的影响研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 304-311.
- LIU W Y, WANG S W. Recent progress in understanding the effect of mutton production and processing technologies on the quality of meat and meat product[J]. Food Science, 2020, 41(1): 304-311.

Comparison of Sterilization Methods of Stewed Mutton in Northern Shaanxi and Prediction of Shelf Life

Ge Xinyu, Liu Yongfeng*, Yang Guangdong, Gao Shuai, Huang Teng

(College of Food Engineering and Nutrition Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

Abstract Stewed mutton in northern Shaanxi is popular among consumers, but lack of industrialized products, in order to screen out the appropriate sterilization method of products, prolong the shelf life of products. This research adopts pasteurization, boiling water bath sterilization, high temperature sterilization for stewed mutton, through the sensory

evaluation was carried out on the stewed mutton, the determination of the moisture, protein, fat, texture characteristics, color, comprehensive evaluation of the three kinds of stewed mutton quality of change and predict the shelf life of stewed mutton using the zero order reaction kinetics equation and Arrhenius equation to. The results showed that the sensory scores of the three sterilization groups were significantly higher than control group ($P<0.05$), the highest score in the high temperature sterilization group increased by 23.51%. The fat content of the three sterilization groups was significantly increased ($P<0.05$), the moisture content in the high temperature sterilization group was significantly increased, while the protein content was significantly decreased ($P<0.05$). Compared with the control group, the L^* value in boiling water bath sterilization and high temperature sterilization groups were significantly decreased by 4.52% and 8.72% ($P<0.05$), the a^* values were increased significantly by 25.15%–150.00% after three sterilization methods ($P<0.05$). The hardness, chewiness, springiness, cohesiveness and resilience of the high temperature sterilization group were significantly decreased ($P<0.05$), the resilience of pasteurization group was significantly increased ($P<0.05$). High temperature sterilization had the greatest effect on the color and texture characteristics of stewed mutton. The electronic nose could distinguish different sterilization methods well, and the high temperature sterilization group showed the highest flavor response intensity. The shelf life of the high temperature sterilization group was predicted, the final prediction of the shelf life of stewed mutton at 4, 25 °C and 37 °C were 140, 86 d and 67 d, respectively. In conclusion, the three sterilization methods can change the nutrition, sensory quality and flavor of stewed mutton, and high temperature sterilization can significantly improve the color, flavor and acceptability of stewed mutton, which is suitable for industrial production of stewed mutton in northern Shaanxi.

Keywords stewed mutton; sterilization method; quality; shelf life