

# 不同杀菌方式对即食胡萝卜片品质影响的比较分析

刘俊梅<sup>1</sup>, 米瑞芳<sup>2</sup>, 胡小松<sup>1</sup>, 吴继红<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 国家果蔬加工工程技术研究中心, 农业部果蔬加工重点开放实验室, 北京 100083) (2. 北京食品科学研究院, 北京 100068)

**摘要:** 本研究将胡萝卜片为代表的中式菜肴半成品(即食胡萝卜片)作为研究对象, 研究不同杀菌方式对即食胡萝卜片品质的影响, 采用电子舌技术结合感官评价分别对未杀菌胡萝卜片和经巴氏杀菌、超高压杀菌(High hydrostatic Pressure, HHP)、热辅助超高压杀菌(pressure-assisted thermal sterilization, PATS)处理的即食胡萝卜片及贮藏期间(4℃, 60 d)的品质进行了对比分析。试验结果表明: 主成分分析(principal component analysis, PCA)和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)结合电子舌技术能将不同贮藏时间不同杀菌方式的胡萝卜有效地区分开, 并且可以观察不同样品的品质差异, 三种杀菌方式相比较, 在15 d内HHP杀菌即食胡萝卜片的品质最好且与未杀菌组品质接近; 感官评价结果显示, HHP处理能最大限度地保持胡萝卜的色、香、味、形, 感官品质与未杀菌胡萝卜片接近。综上, 在贮藏初期, HHP杀菌较PATS和巴氏杀菌能够更好地保持胡萝卜的品质。

**关键词:** 即食胡萝卜片; 超高压杀菌; 热辅助超高压杀菌; 巴氏杀菌; 电子舌技术

文章编号: 1673-9078(2020)06-97-104

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.6.1269

## Comparative Analysis of Different Sterilization Ways on Quality of Prepared Carrot Slices

LIU Jun-mei<sup>1</sup>, MI Rui-fang<sup>2</sup>, HU Xiao-song<sup>1</sup>, WU Ji-hong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Fruits and Vegetables Processing, Ministry of Agriculture, National Engineering & Technology Research Centre for Fruits & Vegetable Processing, College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China) (2. Beijing Academy of Food Sciences, Beijing 100068, China)

**Abstract:** The purpose of this work was to study the effects of three different sterilization methods on the quality of prepared carrot slices from raw materials during cold storage at 4°C. The samples were pretreated by pasteurization (90°C, 30 min), high hydrostatic pressure (HHP 550 MPa, 25°C), pressure-assisted thermal sterilization (PATS 550 MPa, 50°C) and stored at 4°C for 60 d. The control group was unsterilized carrot slices. Smartouge combined with sensory evaluation were used to determine the differences among different samples during storage. Results showed that principal component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA) techniques combining with smartouge could distinguish carrot slices treated with different sterilization methods. Quality differences could be observed from the PCA and LDA figures in shelf life of 60 d. The quality of HHP sterilized carrot slices was close to that of unsterilized samples' in 15 days. Results of sensory evaluation showed that the carrot slices treated with high hydrostatic pressure were similar to control samples in color, smell, taste and shape. In conclusion, comparing with the carrot slices samples treated by different sterilization processing, HHP sterilized carrot slices had best quality, and was close to the control group within 15 days of storage.

**Key words:** prepared carrot slices; high hydrostatic pressure; pressure-assisted thermal sterilization; pasteurization; smartouge

引文格式:

刘俊梅,米瑞芳,胡小松,等.不同杀菌方式对即食胡萝卜片品质影响的比较分析[J].现代食品科技,2020,36(6):97-104

LIU Jun-mei, MI Rui-fang, HU Xiao-song, et al. Comparative analysis of different sterilization ways on quality of prepared carrot slices [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(6): 97-104

收稿日期: 2019-12-24

基金项目: 北京市科技计划项目(Z131100003113001); 国家科技支撑计划项目(2014BAD04B04)

作者简介: 刘俊梅(1990-),女,研究方向: 食品风味化学及新型食品杀菌技术

通讯作者: 吴继红(1964-),女,教授,研究方向: 果蔬食品风味化学方面

中式菜肴不同于现代食品,没有现代食品的理论基础、智能生产装备和标准化的工艺制作技术,是一种以师承经验型技艺支撑的加工食品,致使中式传统菜肴品质一致性和稳定性得不到保障。传统的食品热杀菌技术会使新鲜产品失去其原有的新鲜度、营养价值也明显降低,无法适用于中式调理食品加工。超高压技术(High hydrostatic Pressure, HHP)对维生素、色素和风味物质等小分子化合物的共价键无明显影响,从而可以较好的保持食品原有的营养、色、香、味、形<sup>[1-3]</sup>,从而提高中式菜肴方便营养餐的质地和口感。热辅助压力杀菌工艺(pressure-assisted thermal sterilization, PATS)能够破坏食品中的耐压菌,从而使食品达到商业无菌的状态,还可以消除低酸食品中的单增李斯特菌、肉毒杆菌及其毒素的污染<sup>[4-8]</sup>。中温协同超高压处理可以有效地增加对芽孢的杀灭效果,还可以降低超高压设备的压力<sup>[9-12]</sup>。与此同时,温压技术也能较好的保持消费者追求的食品的原汁原味以及营养<sup>[7,13-18]</sup>。米瑞芳<sup>[19]</sup>等人比较研究了超高压(550 MPa, 25 °C)、热辅助超高压杀菌(550 MPa, 50 °C)和巴氏杀菌(90 °C, 30 min)技术对胡萝卜片挥发性芳香组分的影响以及产品贮藏期间(4 °C, 60 d)香气成分的变化,实验结果表明,在短期(20~30 d)内,超高压杀菌即食胡萝卜片萜烯类风味物质的含量最高,即食胡萝卜片风味品质较好,其次是热辅助压力杀菌组,而巴氏杀菌组即食胡萝卜片的萜烯类物质含量最低,即食胡萝卜片的风味品质相对较差。

食品滋味是评价食品品质的一个重要指标。传统的食品滋味综合评价主要依靠专业人员的感官评价,这种评价方式极易受到主观、客观等诸多因素的干扰,从而影响评价的准确性<sup>[20-23]</sup>。电子舌是模仿生物的味道感受机制研制出来的,不会出现感官疲劳,重复性较好,测量精度更精确。将其应用于食品的感官风味分析,能够解决人的感官所不能解决的诸多问题,并且与专业人员感官评价结合起来,能够综合的更加全面的分析食品的感官特征。姚月凤<sup>[24]</sup>等人将电子舌技术结合专家人工感官审评应用于工夫红茶甜纯滋味特征评价中,结果表明,电子舌结合多元数据分析手段可有效区分滋味甜纯或非甜(纯正、欠纯)工夫红茶。基于电子舌对不同杀菌方式(特别是HHP和PATS)对即食胡萝卜片品质的影响研究尚未见报道。

本研究以中式菜肴调理半成品为研究对象,基于电子舌技术及多元数据分析技术,并且结合感官评价对PATS杀菌、HHP杀菌与传统热杀菌前后及货架期的产品品质进行比较分析,从而为新型食品杀菌技术(PATS、HHP)在中式菜肴加工领域的应用提供理论

依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料与试剂

菜包(胡萝卜片):新鲜胡萝卜,购于农大家属区菜市场,品种为红芯三号,外观整齐,可作鲜食与加工用。胡萝卜的预处理参照米瑞芳<sup>[19]</sup>等的研究,原料经挑选、清洗、去皮、50 mg/L的二氧化氯消毒5 min,切成3~4 mm的薄片,开水烫漂15 s,快速冷却,L-抗坏血酸溶液(0.05%~0.1%)护色5 min,沥干,透明蒸煮袋分装,真空包装。

蔬菜包杀菌处理:真空包装的胡萝卜片采用压力550 MPa,温度为50 °C和25 °C,保压时间为10 min;巴氏杀菌(90 °C/30 min)杀菌,之后置于4 °C冷库中贮藏60 d。分别在贮藏第0、10、15、20、30、40、60 d分别进行品质分析。

试验主要试剂:氯化钠(分析纯),配成饱和氯化钠溶液;氯化钾(分析纯),配置0.01 mol/L的氯化钾溶液,作为传感器活化液,备用;所有实验用水为去离子水。

### 1.2 实验仪器与设备

超高压设备,型号HHP-650,包头科发新型高技术食品机械有限责任公司;EY-300A分析天平,日本松下电器公司;电子舌,是由浙江工商大学开发研制的,主要由电极组阵列、多频脉冲扫描仪和计算机3部分构成,电极组阵列采用标准的三电极系统分别选用6种非修饰金属电极:铂、金、钯、钛、钨和银作为工作电极,辅助电极是直径为2 mm的铂电极,以银/氯化银Ag/AgCl作为参比电极,电极均由天津艾达科技发展有限公司提供。

所有样品分别在脉冲频率为1 Hz、10 Hz、100 Hz的3种频率下平行测定5次,记录其在不同频段下的响应特征数据。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 实验样品准备

将货架期胡萝卜片从冷库中取出,分别于打浆机中打成泥状。分别取15.0 g样品,蒸馏水于100 mL容量瓶中定容值100 mL,静置20 min,11000 r/min离心10 min取上清液过滤,收集滤液待测。其中未杀菌处理的即食胡萝卜片作为对照组,进行品质分析。

#### 1.3.2 电子舌分析预处理参数

电子舌参数:传感器每秒采集一个数据,采集时

间共 120 s, 选取每根传感器第 120 s 的响应值进行分析(此时传感器信号已趋于稳定); 每种样品做 5 个平行。

样品均在常温下进行检测, 不同样品之间, 传感器清洗采用电化学清洗方法, 蒸馏水清洗 1 min。

### 1.3.3 感官评价

根据 GB/T 14195-93 筛选 12 人组成感官评价小组, 进行感官评价培训, 之后展开感官评定实验, 样品采用三位数随机码, 随机呈递给每一位评价员, 评价员综合考虑即食胡萝卜片的质地、颜色、风味进行评价打分, 满分 10 分, 按性质强弱进行打分。

## 1.4 数值统计分析

电子舌分析结果, 采用仪器自带软件进行主成分分析和线性判别分析并作图, 所有实验重复 5 次。

主成分分析 (principal component analysis, PCA), 它是利用降维的原理, 在保留原始数据主要信息的条件下, 将多个变量转换成几个少数综合指标的方法。经过变换的新变量根据方差大小排列, 方差最大的是第一主成分, 其次为第二主成分, 以此类推。每个主成分都是原始变量的线性组合。第一主成分 PC1 所保留的原始信息最多, 之后是 PC2, 依次类推。PCA 是一种最古老的多元统计分析方法, 不需要先验证知识, 电子鼻和电子舌用于对不同样品之间的区分, 还可以判断样品之间的相似性<sup>[25]</sup>。PCA 方法得到的特征是原变量的最佳描述特征而非最佳分类特征<sup>[26]</sup>。

与 PCA 不同, 线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA) 是一种有监督的降维技术, 且可以用来分类。LDA 的主要思想就是, 在投影后类内数据的投影点尽可能接近, 类间的中心距离尽可能大, 从而得到最优的投影方向以产生最好的分类结果<sup>[26]</sup>。

通过计算两个样品组的重心之间的相对距离得到 DI 值 (Discrimination Index), 它是用来表示电子舌技术区分类间样品的程度以及类内样品离散度的, DI 值最大值为 100%<sup>[26]</sup>。当样品区分较好且无类间重叠时, DI 呈正值; 当样品间区分不明显, 类间样品出现重叠时, DI 值呈现负值, 且类间距离越远、类内样品越聚拢, DI 值越大, 样品组间的区别越大; 类内样品越离散、类间重叠越严重, DI 值越小, 样品间区别越小<sup>[26,27]</sup>。

感官评价结果使用感官评价雷达图表示, 用 Excel 2007 进行数据统计并作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同杀菌处理胡萝卜贮藏期 PCA 分析结果

图 1 是不同杀菌方式胡萝卜贮藏期间主成分得分图。根据优化后的最佳传感器组合, 进行 PCA 分析, 得到主成分 PC1 和主成分图 PC2 的得分图。

通过图上不同样品间的距离也可以区分样品间品质的差异。从图 1 中可以看出, 不同杀菌处理的样品在不同贮藏时间的分布区域有明显的差异。从 0 d 到 15 d, 根据各处理组在主成分得分图的距离, HHP 处理组和对照组距离较近, PATS 杀菌胡萝卜和巴氏杀菌杀菌胡萝卜的距离较近, 且相比 HHP 杀菌组, 距离对照组较远, 尤其是贮藏第 10 d、15 d 时, DI 值分别 -12.0% 和 -32.5%, HHP 处理组与对照组间、PATS 处理组与巴氏杀菌组间区分不明显, 在 PCA 得分图上, 距离较近、有类间重叠现象, 且各组内分散, 说明在贮藏 15 d 内 HHP 杀菌对胡萝卜的品质保持较好, 其口感与对照组的相近, PATS 处理和巴氏杀菌处理胡萝卜的品质相对接近。

随着贮藏时间的延长, HHP 杀菌胡萝卜的品质与对照组之间也开始产生较大的差异。从图 1 可以看出, 贮藏 20 d 时, HHP 杀菌组同对照组间的距离变大, 三组实验组之间的距离变小, 位置靠近, 且有类间重叠严重, DI 值呈现负值为 -15.3%, 说明随着时间的延长 HHP 杀菌处理的胡萝卜片的品质也在下降, 与其他两种杀菌的胡萝卜片的品质差异变小, 不好区分。

贮藏到 30 d 时, 三者 PCA 得分图上的相对位置又发生变化, PATS 处理组和巴氏杀菌组的胡萝卜样品位置依然很接近, 但与 HHP 处理组的距离变远, 三者与未杀菌的贮藏对照组距离都比较远。说明贮藏 30 d PATS 和巴氏杀菌的胡萝卜的品质仍很接近, 但二者同 HHP 杀菌的胡萝卜片的品质差异又变大, 而且随贮藏时间的延长三者与对照组之间也产生了较大的品质差异。

贮藏到第 40 d、第 60 d, DI 值分别为 91.8%、97.2%, HHP、PATS、巴氏杀菌胡萝卜片以及对照组在 PCA 图上表现为, 距离都较远, 主成分得分值分布不同的区域, 且各区域间互不干扰, 三组样品的各自之间品质差异都较大, 样品间区分较好。

总体来看, 在贮藏初期 (15 d), HHP 杀菌较 PATS 和巴氏杀菌能够更好地保持胡萝卜的品质。米瑞芳<sup>[19]</sup>等的研究表明 HHP 杀菌则较热杀菌和 PATS 杀菌在一定程度上较好地保留了胡萝卜原有的风味, 从而保持胡萝卜较好的风味品质。刘兴辰<sup>[28]</sup>等发现同高温短时 (110 °C/8.6 s) 相比, 超高压 (600 MPa/10 min) 处

理对胡萝卜汁中总酚含量无显著性影响 ( $p>0.05$ ), 褐变度显著降低, 且保留了更多的总类胡萝卜素, 超高压技术有利于保持胡萝卜汁的品质。

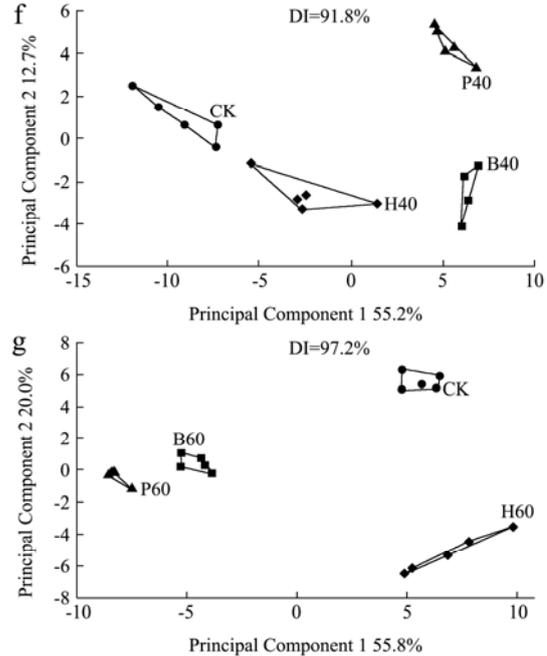
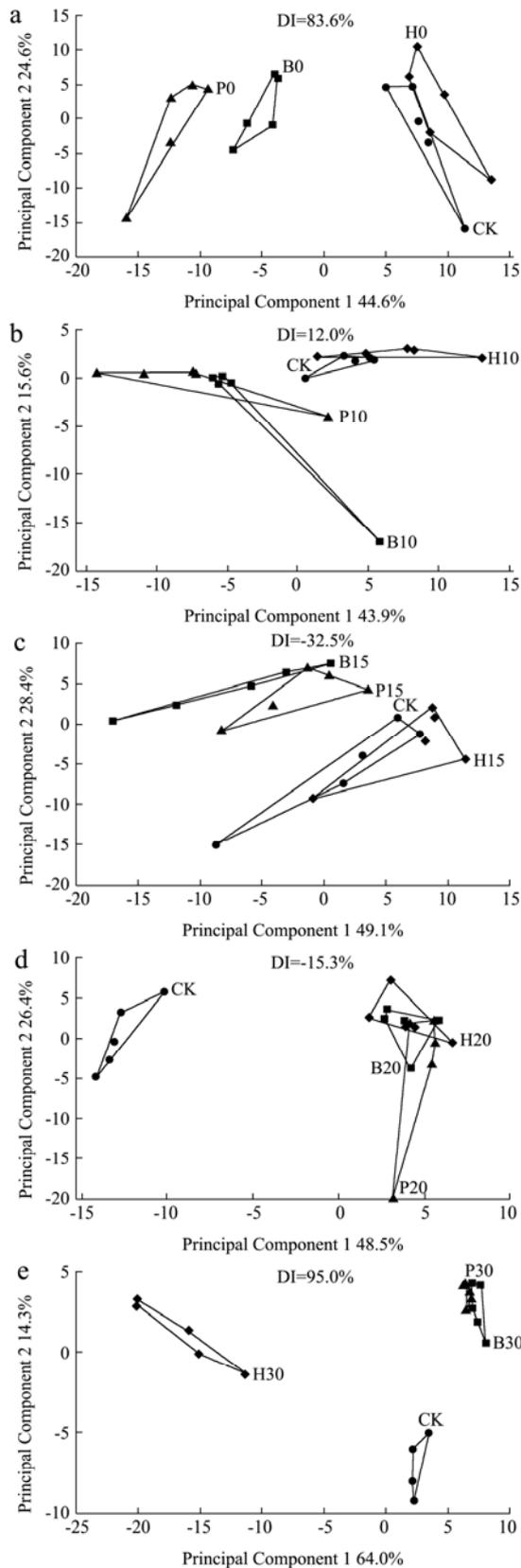


图1 三种不同杀菌处理胡萝卜样品在不同贮藏时间的 PCA 图

Fig.1 PCA of carrot slices produced by three different sterilization methods during refrigerated storage

注: a: 0d; b: 10d; c: 15d; d: 20d; e: 30d; f: 40d; g: 60d; H 代表 HHP, 超高压杀菌技术; P 代表 PATS, 热辅助超高压杀菌技术; B 代表巴氏杀菌; H0-H60 代表贮藏 0d 至 60d 内的 HHP 杀菌胡萝卜; P0-P60 代表贮藏 0d 至 60d 内的 PATS 杀菌胡萝卜; B0-B60 代表贮藏 0d 至 60d 内的巴氏杀菌胡萝卜; CK 是对照组, 代表未杀菌胡萝卜, 下同。

## 2.2 不同杀菌处理胡萝卜贮藏期 LDA 分析结果

图 2 是经传感器优化对不同杀菌处理的胡萝卜在贮藏期的数据进行 LDA 分析的结果。从图中可以看出, 同 PCA 相比较, LDA 分析可以将贮藏期间不同杀菌处理的胡萝卜有效的区分开, 除第 0、30d, 其余贮藏时间内不同杀菌方式处理的胡萝卜片在 LDA 图上表现出类间没有重叠的现象且距离较远, 类内聚拢, 不同样品能很好的区分开, 分类效果较好。贮藏 0d 时, HHP 杀菌组与对照组有类间重叠, 说明 HHP 杀菌的胡萝卜片同未杀菌胡萝卜片的品质接近。贮藏 30d 时 PATS 杀菌组同巴氏杀菌组类间重叠, 说明此时, 两组胡萝卜片的品质较接近, 不好区分。通过 LDA 图上, 样品之间的相互距离, 也可以判别出样品之间的品质差异, 图 2 反映出的不同杀菌处理的样品在贮藏期间的变化规律同 PCA 图中反应出的规律是一致的。曹静等<sup>[26]</sup>采用智舌及 PCA 和 LDA 技术对不同炒制温度、时间以及不同贮藏期的苦荞茶进行品质辨识,

发现 PCA 和 LDA 二者在苦荞茶滋味品质鉴别上的区分结果趋势一致，但 LDA 的区分效果更为精确。

为探讨每种杀菌的胡萝卜在贮藏期间，随着时间的延长，其品质的变化规律，对每种处理贮藏期间 0~60 d 内的数据做主成分分析和判别函数分析。图 3 是每种杀菌处理的胡萝卜在贮藏期间(0~60 d)的 PCA 图和 LDA 图。从图 3 中可以看出，PCA 对每种杀菌处理在不同贮藏时间的样品的整体区分度不理想，没有完全区分开，大多数有类间样品重叠现象。而从 LDA 分析结果中可以看出，LDA 对不同贮藏时间的样品基本能够完全分离开，类内聚拢，类间没有发生重叠，只是个别样品距离较近。从 LDA 图中还可以反映出不同时间的样品品质差异的大小。从 HHP 杀菌胡萝卜片的 LDA 图中可以看出，贮藏时间在 0~15 d 的样品距离未杀菌对照样品最近，且相互间的距离也较近，说明 HHP 杀菌胡萝卜贮藏 15 d 品质变化不大，这与图 1 和图 2 反映出的变化规律是一致的。从图 3 还可以看出，随着贮藏时间的延长，胡萝卜片的品质也逐渐变差，在 LDA 图上表现出随着时间的延长，三种杀菌处理样品与对照组的距离也逐渐变远，说明 LDA 能够很好地反应出贮藏期间样品的品质变化。

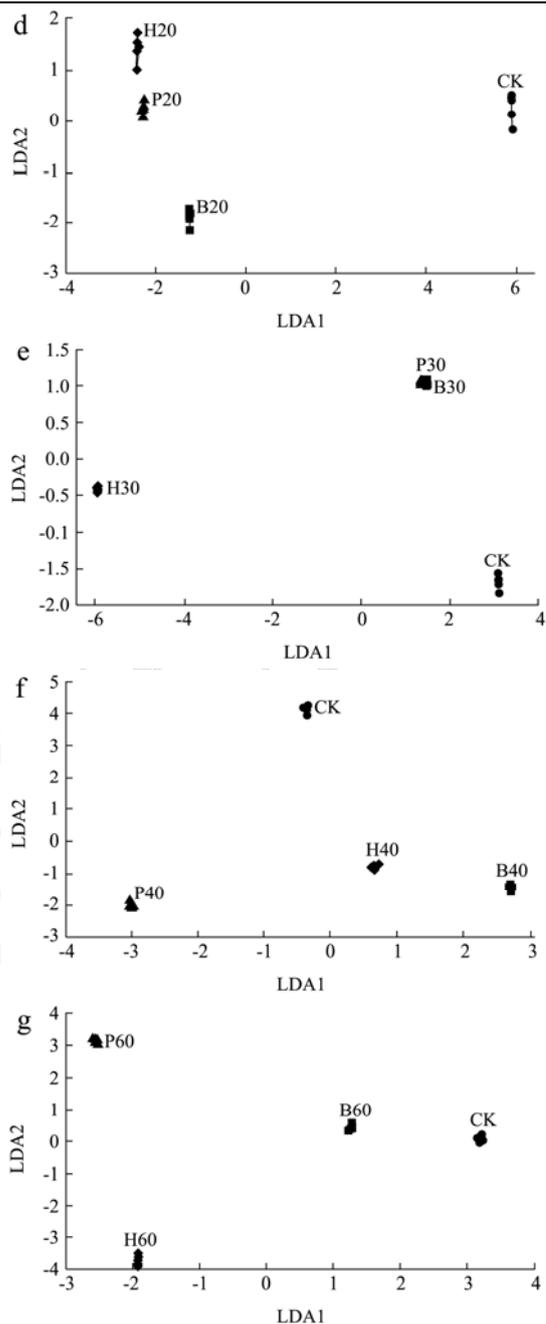
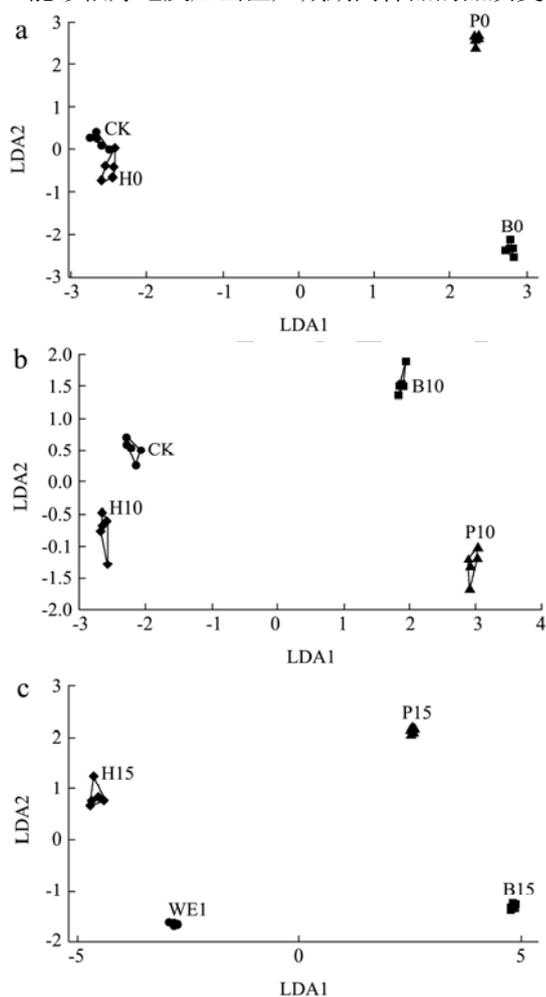
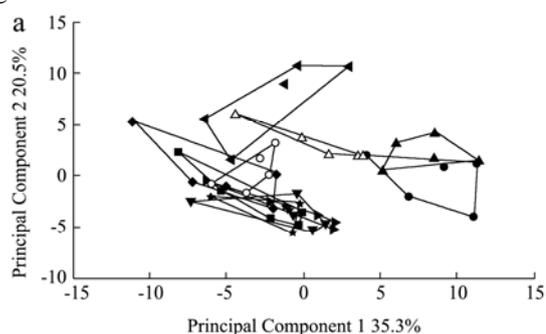


图 2 三种不同杀菌处理胡萝卜样品在不同贮藏时间的 LDA 图

Fig.2 LDA of carrot slices produced by three different sterilization methods during refrigerated storage

注：a: 0 d; b: 10 d; c: 15 d; d: 20 d; e: 30 d; f: 40

d; g: 60 d.



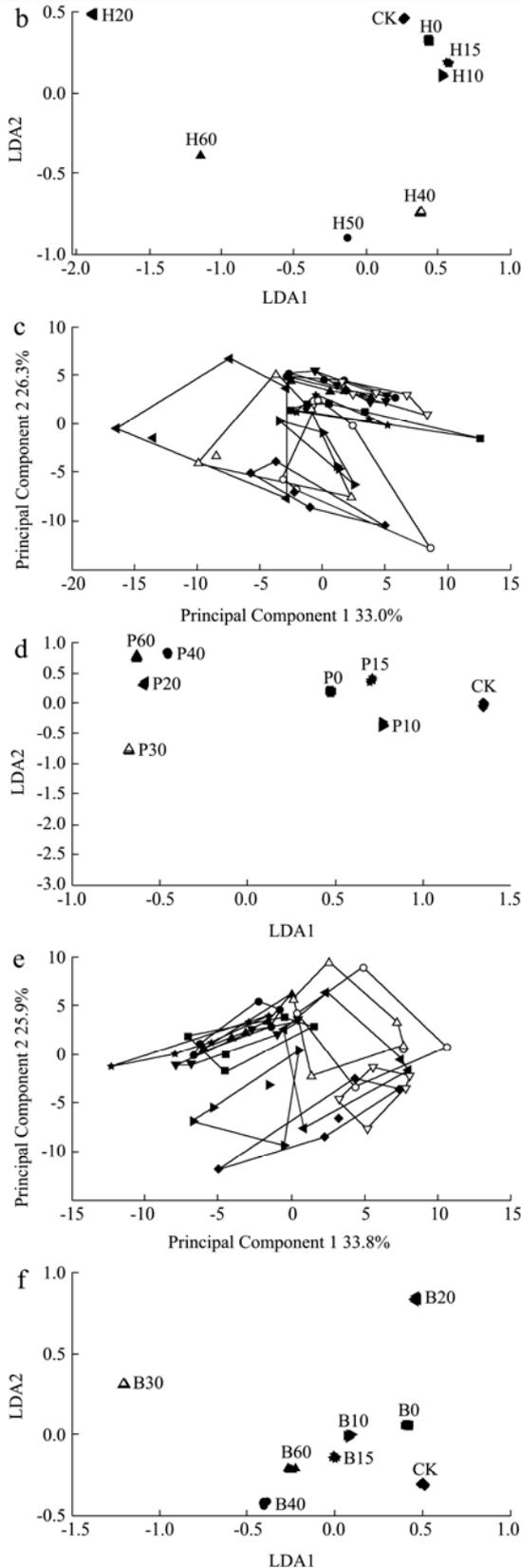


图3 不同贮藏时间胡萝卜样品的PCA和LDA图

Fig.3 PCA and LDA of carrot slices produced by three different sterilization methods during refrigerated storage

注: a: HHP 杀菌胡萝卜片 PCA 图; b: HHP 杀菌胡萝卜片 LDA 图; c: PATS 杀菌胡萝卜片 PCA 图; d: PATS 杀菌胡萝卜片 LDA 图; e: 巴氏杀菌胡萝卜片 PCA 图; f: 巴氏杀菌胡萝卜片 LDA 图。

萝卜片 LDA 图; e: 巴氏杀菌胡萝卜片 PCA 图; f: 巴氏杀菌胡萝卜片 LDA 图。

### 2.3 不同杀菌处理胡萝卜 LDA 分析结果

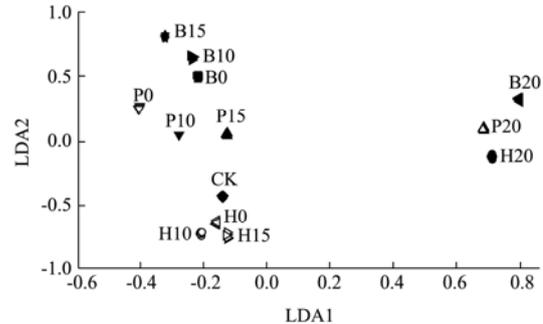


图4 三种不同杀菌处理胡萝卜样品的LDA图

Fig.4 LDA of carrot slices produced by three different sterilization methods

图4是将贮藏时间为0~20 d 三种杀菌处理的胡萝卜片样品综合进行 LDA 分析的结果。从图中可以看出,在贮藏 15 d 内, HHP 杀菌胡萝卜片距离未杀菌对照组最近, 其次是 PATS 杀菌样品, 距离最远的是巴氏杀菌的胡萝卜片; 贮藏到第 20 d 时, HHP 组与对照组间的距离变远, 与 PATS 组和巴氏杀菌组的距离变近。说明三种杀菌方式比较, HHP 处理在 15 d 内的口感最好且与未处理样品接近, 其次是 PATS 杀菌胡萝卜片, 最差的是巴氏杀菌胡萝卜片; 随着贮藏时间的延长, 胡萝卜片的口感都会变差, 且到第 20 d 时, HHP 杀菌胡萝卜片与 PATS 和巴氏杀菌胡萝卜片的口感接近, 这与图 1 反应出的变化规律一致。

### 2.4 半成品菜肴感官评价结果

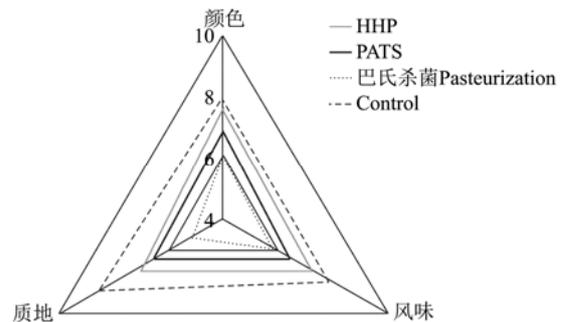


图5 即食胡萝卜片的感官评价图

Fig.5 Sensory profiles of prepared carrot slices

表 1 是贮藏第 15 d 的即食胡萝卜片的感官评价得分表, 图 5 是贮藏第 15 d 的即食胡萝卜片的感官评价图, 对照组为未杀菌贮藏初始的胡萝卜片。从图 5 中可以看出, 三种不同的杀菌方式对胡萝卜片的色泽、风味以及质地等综合印象等感官特性产生不同的影响。对照组颜色、风味、质地的得分分别为 8.0、7.8、

8.5, 对照组三种杀菌方式相比较, HHP 处理的胡萝卜片质地、色泽、风味的得分与对照组最接近, 分别为 7.6、7.2、7.0, 表现为硬度适中, 咀嚼性良好, 与对照组的色泽和风味接近; 而热处理的蔬菜硬度太软, 咀嚼性较差, 有蒸煮味, 各项指标的得分均最低, 分别是 6.1、5.8、5.1, 综合印象最差, 尤其是质地明显变差; PATS 杀菌的胡萝卜片各项指标得分都在巴氏杀菌和 HHP 胡萝卜片之间, 在质地、颜色和风味方面的综合印象略差于 HHP 处理胡萝卜片。说明, 同 PATS、巴氏杀菌相比, HHP 杀菌能最大限度地保持蔬菜的色、香、味、形。

表 1 即食胡萝卜片感官评价得分表

Table 1 Sensory evaluation score label of prepared carrot slices

杀菌方式	颜色	风味	质地
HHP	7.6	7.2	7.0
PATS	6.9	6.4	6.5
巴氏杀菌 Pasteurization	6.1	5.8	5.1
Control	8.0	7.8	8.5

### 3 结论

PCA 和 LDA 结合电子舌技术, 对贮藏不同时间的 HHP、PATS、巴氏杀菌的胡萝卜可以有有效的区分开, 且能将同一种杀菌处理在不同贮藏时间的的胡萝卜片有效的区分开。通过 PCA 和 LDA 分析还可以判别出同一时间不同杀菌处理的胡萝卜的品质差异。三种杀菌方式相比较, 贮藏期 15 d 内 HHP 杀菌处理样品的品质最好, 与未处理样品品质接近。感官评价结果显示, 热处理使得胡萝卜片的质地下降, 颜色变化, 产生令人不愉快的风味。而 HHP 处理能最大限度地保持胡萝卜的色、香、味、形, 感官品质与不杀菌胡萝卜接近。综合分析电子舌、感官评价结果, 超高压杀菌的即食胡萝卜片的整体品质最好, 其次是 PATS 组, 最差的是巴氏杀菌即食胡萝卜片。研究结果可为新型杀菌技术 (HHP、PATS) 在即食产品领域的应用提供参考。

### 参考文献

- 贾蒙, 成传香, 王鹏旭, 等. 超高压技术在果蔬汁杀菌中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(12): 257-264
- JIA Meng, CHENG Chuan-xiang, WANG Peng-xu, et al. Application of ultra-high pressure in sterilizing fruit and vegetable juices [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(12): 257-264
- 马亚琴, 贾蒙, 成传香, 等. 超高压诱导食品中微生物失活的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 268-275
- MA Ya-qin, JIA Meng, CHENG Chuan-xiang, et al. Review on inactivation of microorganisms in foods induced by high pressure processing [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(22): 268-275
- 李楠楠, 贾蒙, 马亚琴. 杀菌方式对柑橘汁品质影响的研究进展[J]. 农产品加工, 2019, 18: 63-67
- LI Nan-nan, JIA Meng, MA Ya-qin. Advances in the effects of sterilization methods on quality of *Citrus* juice [J]. Farm Products Processing, 2019, 18: 63-67
- 章中, 胡小松, 廖小军, 等. 温压结合超高压处理对芽孢杀灭作用的研究进展[J]. 高压物理学报, 2013, 27(1): 147-152
- ZHANG Zhong, HU Xiao-song, LIAO Xiao-jun, et al. Review on sterilization effects of high pressure thermal sterilization on bacterial spores [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2013, 27(1): 147-152
- Mills G, Earnshaw R, Patterson M F. Effects of high hydrostatic pressure on *Clostridium sporogenes* spores [J]. Letters in Applied Microbiology, 1998, 26(3): 227-230
- Reddy N R, Solomon H M, Fingerhut G A, et al. Inactivation of *Clostridium botulinum* type E spores by high pressure processing [J]. Journal of Food Safety, 1999, 19(4): 277-288
- 万斌, 段振华, 罗姗姗, 等. 中温协同超高压处理对椰肉原浆品质影响和杀菌效果的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(9): 222-229
- WAN Bin, DUAN Zhen-hua, GUO Shan-shan, et al. Effect of ultrahigh-pressure and mild-temperature processing on quality and sterility of coconut puree [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(9): 222-229
- Reddy N R, Solomon H M, Tetzloff R C, et al. Inactivation of *Clostridium botulinum* type A spores by high-pressure processing at elevated temperatures [J]. J Food Prot, 2003, 66(8): 1402-1407
- 王标诗, 李汴生, 曾庆孝, 等. 热压协同处理对接种于鸡腿菇中的细菌芽孢灭活效果的影响[J]. 高压物理学报, 2010, 2: 136-142
- WANG Shi-biao, LI Bian-sheng, ZENG Qing-xiao, et al. Inactivation effects of coprinus comatus inoculated with bacterial spores by high-pressure thermal processing [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2010, 2: 136-142
- Okazaki T, Kakugawa K, Yoneda T, et al. Inactivation behavior of heat-resistant bacterial spores by thermal treatments combined with high hydrostatic pressure [J]. Food Science and Technology Research, 2000, 6(3): 204-207
- Ananta E, Heinz V, Schlüter O, et al. Kinetic studies on high-pressure inactivation of *Bacillus stearothermophilus*

- spores suspended in food matrices [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2001, 2(4): 261-272
- [12] 尹琳琳,杨建涛,刘海涛,等.中温协同超高压处理对草莓汁贮藏品质的影响[J].*食品与机械*,2016,32(7): 106-111  
YIN Lin-lin, YANG Jian-tao, LIU Hai-tao, et al. Effect of ultra-high pressure combined with mild-temperature processing on quality of strawberry juice during storage [J]. *Food and Machinery*, 2016, 32(7): 106-111
- [13] Stewart C M, Dunne C P, Sikes A, et al. Sensitivity of spores of *Bacillus subtilis* and *Clostridium sporogenes* PA 3679 to combinations of high hydrostatic pressure and other processing parameters [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2000, 1(1): 49-56
- [14] Hoover D. Minimally processed fruits and vegetables; Reducing microbial load by nonthermal physical treatments [J]. *Food Technol.*, 1997, 51(6): 66-71
- [15] 高瑀琰,鞠兴荣,吴定.微热协同超高压处理杀灭芽孢杆菌芽孢效果的研究[J].*食品科学*,2007,3:59-63  
GAO Yu-long, JU Xing-rong, WU Ding. Study on synergetic killing Effects of mild heat treatment and high hydrostatic pressure on bacillus spores [J]. *Food Science*, 2007, 3: 59-63
- [16] Roberts C M, Hoover D G. Sensitivity of *Bacillus coagulans* spores to combinations of high hydrostatic pressure, heat, acidity and nisin [J]. *Journal of Applied Bacteriology*, 1996, 81(4): 363-368
- [17] Lee S Y, Chung H J, Kang D H. Combined treatment of high pressure and heat on killing spores of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice concentrate [J]. *Journal of Food Protection*, 2006, 69(5): 1056-1060
- [18] 邱伟芬,汪海峰,陶婷婷.超高压协同中温处理对番茄汁中番茄红素和总 Vc 含量的影响[J].*食品科学*,2010,31(23):93-95  
QIU Wei-fen, WANG Hai-feng, TAO Ting-ting. Effect of combinatorial treatment between ultra-high hydrostatic pressure and moderate temperature on lycopene and vitamin C in tomato juice [J]. *Food Science*, 2010, 31(23): 93-95
- [19] 米瑞芳,刘俊梅,胡小松,等.杀菌方式对即食胡萝卜片挥发性风味物质的影响[J].*农业工程学报*,2016,32(9):264-270  
MI Rui-fang, LIU Jun-mei, HU Xiao-song, et al. Effect of sterilization methods on volatile flavor compounds of instant carrot slices [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(9): 264-270
- [20] 张凡,李书田,王显瑞,等.不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J/OL].*食品科学*:1-12[2019-10-30]  
ZHANG Fan, LI Shu-tian, WANG Xian-rui, et al. Quality evaluation and analysis on the cooking and eating quality of different foxtail millet varieties [J/OL]. *Food Science*: 1-12[2019-10-30]
- [21] Berna A Z, Lammertyn J, Saevels S, et al. Electronic nose systems to study shelf life and cultivar effect on tomato aroma profile [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2004, 97(2): 324-333
- [22] Beullens K, Mészáros P, Vermeir S, et al. Analysis of tomato taste using two types of electronic tongues [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008, 131(1): 10-17
- [23] 李文欣,赵文婷,王宇滨,等.基于电子舌评价不同品种番茄制备番茄酱的滋味品质[J].*食品工业科技*,2019,40(19):209-215  
LI Wen-xin, ZHAO Wen-ting, WANG Yu-bin, et al. Taste profile characterization of tomato paste prepared from different tomato varieties by electronic tongue[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(19): 209-215
- [24] 姚月凤,王家勤,滑金杰,等.电子舌在工夫红茶甜纯滋味特征评价中的应用[J].*食品科学*,2019,40(18):236-241  
YAO Yue-feng, WANG Jia-qin, HUA Jin-jie, et al. Application of electronic tongue in the evaluation of sweet taste quality of congou black tea [J]. *Food Science*, 2019, 40(18): 236-241
- [25] 易宇文,胡金祥,刘阳,等.电子鼻和电子舌联用技术在评价酱油风味中的应用[J].*食品研究与开发*,2019,40(14):155-161  
YI Yu-wen, HU Jin-xiang, LIU Yang, et al. Application of electronic nose and electronic tongue in soy sauce flavor differentiation [J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(14): 155-161
- [26] 曹静,王敏,张珍,等.不同炒制方式及贮藏时间对苦荞茶滋味影响的智舌辨识研究[J].*食品科学技术学报*,2014,32(6): 29-35  
CAO Jing, WANG Min, ZHANG Zhen, et al. Research of smartongue on quality identification of tartary buckwheat tea with different roasting condition and storage period [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 32(6): 29-35

(下转第 284 页)