

周阿容, 揭小玲, 杨阳, 等. 电子感官技术结合人工感官评价 3 种食用菌素肉排风味 [J]. 福建农业科技, 2024, 55 (3): 01-07.

优秀学者论坛



林少玲, 1985 年生, 博士, 副教授, 博士生导师, 兼任泰国玛希隆大学 (Mahidol University) 特聘客座教授, 入选“2021 年度中国博士后科学基金资助者选介”、福建省“雏鹰计划”青年拔尖人才 (2023)、福建省高层次人才 (C 类), 现任农业农村部食用菌加工及综合利用技术集成科研基地副主任, 主要从事食品安全和加工研究。主持国家自然科学基金面上项目、国家自然科学基金青年科学基金项目、国家重点研发计划项目子课题、中国博士后科学基金特等资助及一等资助、泰国玛希隆大学国际合作学者资助项目等 10 多项, 获福建省科学技术进步奖二等奖 1 项、三等奖 1 项 (排名第 1), 福建省食品工业协会科技进步一等奖 1 项 (排名第 1), 获国家授权发明专利 7 件, 以第一作者/通讯作者发表学术论文 56 篇。

电子感官技术结合人工感官评价 3 种 食用菌素肉排风味



周阿容^{1,2}, 揭小玲¹, 杨阳², 胡嘉森², 林少玲^{2*}

(1. 福建省微生物研究所, 福建 福州 350007; 2. 福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002)

摘要: 为明确食用菌素肉排气味及滋味的组成成分及差异性, 促进食用菌素食食品的科学开发, 采用电子鼻、电子舌和人工感官评价对 3 种食用菌 (猴头菇、海鲜菇、香菇) 素肉排风味进行分析。结果表明: 3 种食用菌素肉排具有相似的风味组成, 香气成分以有机硫化物为主, 短链烷烃、小分子氮氧化合物和醇醚醛酮类成分为辅, 并且具有明显的咸鲜味和较强的鲜味回味; 电子鼻、电子舌主成分分析总方差贡献均高于 99%, 可显著区分 3 种食用菌素肉排; 电子鼻和电子舌整体风味分析与人工感官评价一致, 海鲜菇素肉排整体风味最佳, 香菇素肉排次之, 猴头菇素肉排较差。综上, 电子感官技术结合传统人工感官评价方式可用于食用菌素肉排风味鉴定。

关键词: 食用菌素肉排; 风味分析; 电子鼻; 电子舌; 感官评价

中图分类号: TS219 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2301 (2024) 03-0001-07

DOI: 10.13651/j.cnki.fjnykj.2024.03.001

收稿日期: 2024-02-18

作者简介: 周阿容, 女, 1993 年生, 硕士研究生, 主要从事食品科学研究。

* 通信作者: 林少玲, 女, 1985 年生, 博士, 副教授, 主要从事食品安全研究 (E-mail: shaoling.lin@fafu.edu.cn)。

Flavor Analysis of Three Kinds of Edible Fungus Plant Steaks by Electronic Sensory Technology Combined with Artificial Sensory Evaluation

ZHOU A-rong^{1,2}, JIE Xiao-ling¹, YANG Yang², HU Jia-miao², LIN Shao-ling^{2*}

(1. Fujian Institute of Microbiology, Fuzhou, Fujian 350007, China; 2. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: In order to clarify the composition and difference of odor and taste of edible fungus plant steak, and promote the scientific development of edible fungus vegetarian food, the flavor of three kinds of edible fungus plant steak (*Hericium erinaceus*, *Hypsizygus marmoreus*, *Lentinula edodes*) was analyzed by using the electronic nose, electronic tongue and artificial sensory evaluation. The results showed that: the three kinds of edible fungus plant steaks had similar flavor composition. The odorous constituents were mainly organic sulfide, supplemented by the shorter train n-alkane, small molecule nitoxides and alcohol ether aldehydes and ketones, with obvious salty umami taste and relatively strong umami aftertaste. The total variance contribution of the principal component analysis of electronic nose and electronic tongue was higher than 99%, which could significantly distinguish the three kinds of edible fungus plant steaks. The whole flavor analysis of the electronic nose and electronic tongue was consistent with the artificial sensory evaluation. The *Hypsizygus marmoreus* plant steak had the best whole flavor, followed by the *Lentinula edodes* plant steak, while the *Hericium erinaceus* plant steak had a poor flavor. In summary, the electronic sensory technology combined with the traditional artificial sensory evaluation method could be used for the flavor identification of edible fungus plant steak.

Key words: Edible fungus plant steak; Flavor analysis; Electronic nose; Electronic tongue; Sensory evaluation

我国素食文化历史悠久，随着近几年素食风潮逐渐兴起，素肉因其口感风味形似肉类，具有高蛋白、低脂等特点，广受消费者喜爱。食用菌种植和食用历史悠久，种类繁多、味道鲜美，具有高蛋白、低脂肪等特点^[1]。此外食用菌还富含多种矿物质元素、氨基酸、多糖及纤维素等，具有提高免疫力、调节胃肠道、保护心血管、抗菌、抗癌、抗肿瘤等功效，是常见的素肉原辅料之一^[2-3]。目前，以食用菌为基料进行精深加工开发的素食产品具有较大研究前景，已有研究学者以香菇柄、猴头菇和竹荪等食用菌为原料制成口感酥脆、风味浓郁的食用菌素肉^[4-6]。

电子鼻（e-nose）作为一种基于传感器微阵列的气味检测技术，可模拟人类嗅觉对气味的不同感知，具有检测成本低、速度快、操作简单等优点，已应用于医疗、环境监测、食品等领域^[7-8]；电子舌（e-tongue）利用多种传感器模拟人类味觉系统检测样品物理、生化特性并转换为电信号进行分析，主要应用于食品品质评价、医学研究、安全评估等领域，具有低成本、稳定性好、敏感度高的特点^[9-10]。近年来，电子鼻电子舌联用的电子感官技术成为食品品质风味分析的重要手段。这两种技术的联合使用可以更加全面地解析食用菌素肉排的风味特性，帮助生产厂家对食用菌素肉排的风味

进行实时监控和评估，确保产品质量的稳定性和一致性。目前基于电子鼻和电子舌技术对食用菌素肉排风味分析的研究尚未见报道。本研究以常温保存的猴头菇、香菇及海鲜菇素肉排为研究对象，通过电子感官技术结合传统人工感官评价方式对其风味进行鉴定，探究不同食用菌素肉排的风味组成，旨在为进一步推动食用菌素食产品的研发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猴头菇素肉排（CH）、海鲜菇素肉排（CHX）、香菇素肉排（CX）3种食用菌素肉排（执行标准 Q/FZZS 0001S—2019）均由福州正昇食品有限公司提供。

电子鼻系统为 PEN3 型电子鼻，德国 AIRSENSE 公司生产；电子舌系统为 TS-5000Z 型味觉分析系统，日本 INSENT 公司生产。

1.2 试验方法

1.2.1 电子鼻感官检测方法 将素肉排剪成小块后称取 40 g 放置于烧杯中并密封，在室温下静置 30 min 后将电子鼻进样针头插入烧杯中进行测定。检测参数为：采样时间 1 s；传感器自清洗时间 80 s；传感器归零时间 5 s；样品准备时间为 5 s；进样流

量 400 mL·min⁻¹；分析采样时间 80 s，平行试验 3 次。

1.2.2 电子舌感官检测方法 将素肉排剪成小块后称取 40 g 与 200 mL 超纯水混合，使用料理机制成匀浆后 3 000 r·min⁻¹ 离心 10 min，取上清液待测。使用 30 mmol·L⁻¹ 氯化钾和 0.3 mol·L⁻¹ 酒石酸配置基准液模拟未进食时人体唾液情况，将其测试结果作为无味点，之后对样品溶液进行测定，检测参

数为：传感器自检时间 30 s，20 次；样品测试时间 30 s；测回味时间 30 s，每次测定结束使用清洗液对负极和正极进行彻底清洁，平行试验 3 次。

1.2.3 人工感官评价 试验在干净、明亮、通风的环境中进行，选择 10 名实验人员进行简单培训后，评测前均使用纯净水清洁口腔避免味道的残留，每种样品重复品尝 2~3 次，记录评分情况并统计各指标评分，评分标准见表 1^[11]。

表 1 食用菌素肉排人工感官评价评分标准

Table 1 Scoring standard of the artificial sensory evaluation for the edible fungus plant steak

指标	评分标准	分值
滋味	有明显酸味，无明显甜味（1~3分）；有明显甜味，无明显酸味（4~6分）；无明显酸味或甜味，滋味适宜（7~10分）。	10
异味	苦涩味越强分数越低，苦涩味越弱分数越高。有明显苦涩味（1~3分）；有轻微苦涩味，但不影响整体风味（4~6分）；无明显苦涩味，味道适宜（7~10分）。	10
咸味	咸味很重或没有咸味（1~3分）；咸味较重或咸味较淡，但不影响整体风味（4~6分）；咸味适中，味道适宜（7~10分）。	10
鲜味	鲜味越弱分数越低，鲜味越强分数越高。鲜味轻微，无明显鲜味（1~3分）；可尝到鲜味，但味感较弱（4~6分）；有明显鲜味，味道适宜（7~10分）。	10
香气	香气越弱分数越低，香气越强分数越高。无明显香气成分，或存在不适宜的气味（1~3分）；香气轻微，无明显异味（4~6分）；有明显香气，味道接近肉制品（7~10分）。	10
色泽	色泽很浅或很深，使人食欲降低（1~3分）；色泽较浅或较深，感官良好（4~6分）；色泽适宜，感官较优（7~10分）。	10
质地	质地极为松散有明显颗粒感，或质地极硬无法咀嚼（1~3分）；质地较松散或质地较硬，口感不佳（4~6分）；质地软硬适中，口感较好（7~10分）。	10

1.2.4 数据处理 数据采用 GraphpadPriam 8 和 Origin 2019b 软件作图，利用电子鼻和电子舌系统自带软件，对不同食用菌素肉排进行主成分分析及载荷分析。

2 结果与分析

2.1 3 种食用菌素肉排电子鼻试验结果

2.1.1 食用菌素肉排对电子鼻传感器响应分析 电子鼻传感器可响应值的高低反映样品在不同传感器上的响应强度，从而确定样品的气味组成及主要的气味成分，见表 2。由图 1A 可知，电子鼻对 3 种食用菌素肉排均有应答，海鲜菇素肉排在 W6S、W1S 及 W1W 传感器上与其他两种素肉排响应值有显著差异，尤其在 W1W 传感器上的响应值远大于其他传感器，说明有机硫化物可能是食用菌素肉排的特征成分。不同种类食用菌素肉排对电子鼻其余传感器的响应值相似，无显著性差异。由图 1B

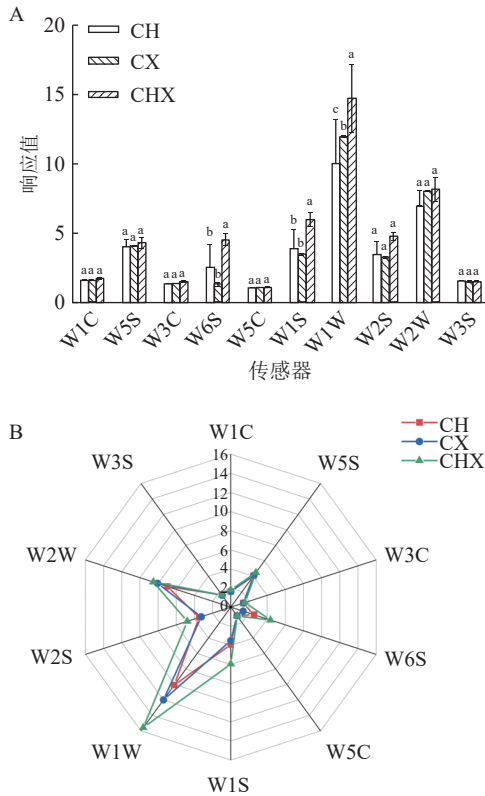
可知，3 种食用菌素肉排气味图谱相似，响应值最强的传感器为 W1W，各样品对 W2W、W1S、W5S

表 2 3 种食用菌素肉排电子鼻传感器响应成分

Table 2 Response components of the electronic nose sensors for the three kinds of edible fungus plant steak

传感器阵列	名称	响应成分
R1	W1C	苯类芳香成分
R2	W5S	氮氧化合物
R3	W3C	氨类芳香成分
R4	W6S	主要对氢气有选择性
R5	W5C	烷烃类芳香成分
R6	W1S	短链烷烃类
R7	W1W	有机硫化物
R8	W2S	醇醚醛酮类
R9	W2W	无机硫化物
R10	W3S	长链烷烃类

及 W2S 也有不同强度的应答, 在其余传感器上的响应强度较弱, 说明 3 种食用菌素肉排具有相似的气味组成, 其中主要气味成分为有机硫化物、无机硫化物、短链烷烃、氮氧化合物和醇醚醛酮类物质。



注：A 为电子鼻传感器响应强度，B 为气味雷达图

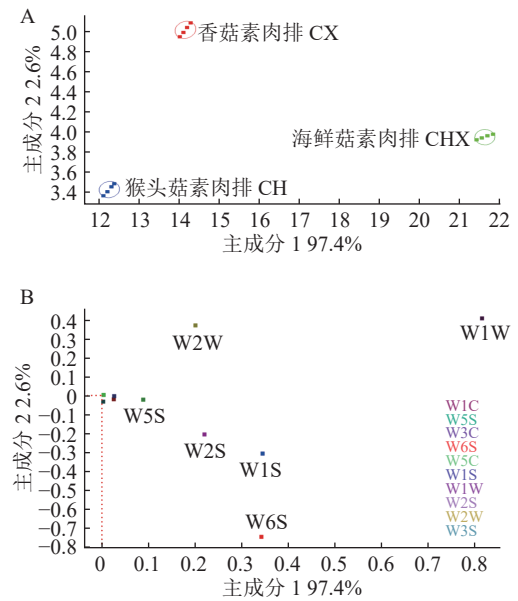
图 1 3 种食用菌素肉排电子鼻试验结果

Fig. 1 Experimental results of electronic nose for the three kinds of edible fungus plant steak

2.1.2 食用菌素肉排电子鼻主成分分析和载荷分析 主成分分析 (Principal components analysis, PCA) 是一种常见的聚类分析方法^[12]。基于所有的气味指标对 3 种样品进行聚类分析, 以横坐标为第一主成分 (PC1)、纵坐标为第二主成分 (PC2) 建立二维图 (图 2A)。PC1 贡献值占比 97.40%, PC2 贡献值占比 2.60%, 两者贡献率之和大于 99%, 说明这两种主成分可以基本反映食用菌素肉排样品的气味检测完整情况。由于 PC1 贡献率远高于 PC2, 则样品间气味差异判别以 PC1 为主。当样品横坐标值越大时气味越强, 在横坐标上差距越大时气味差异越显著。观察 PCA 分析结果可知 3 种样品无重叠且相隔较远, 说明不同食用菌素肉排在整体气味上可明显区分。猴头菇素肉排 PC1 及 PC2 贡献

率均远低于其他两种, 气味较淡; 海鲜菇素肉排的 PC1 贡献率远高于其他两种, 气味差异最为明显, 电子鼻可将其与其他两种食用菌素肉排明显区分。

进一步通过载荷分析 (Loading Analysis) 明确各传感器在样品区分中的贡献率及起主要作用的气味成分。当坐标点越远离 0 时对气味主成分区分的贡献越大, 由图 2B 可知, W1W 在 PC1 和 PC2 贡献率均为最大, 而 W2W 在 PC2 也起到了较大的贡献作用, 说明 W1W 对应的有机硫化物是 PC1 和 PC2 最主要的气味成分, W2W 对应的无机硫化物也对 PC2 起重要贡献。此外, 传感器 W5S、W6S、W1S、W2S 也对主成分提供了一定的贡献率。因此, 3 种食用菌素肉排样品差异性气味成分以 W1W 响应的有机硫化物物质为主。



注：A 为电子鼻主成分分析图，B 为电子鼻载荷分析图

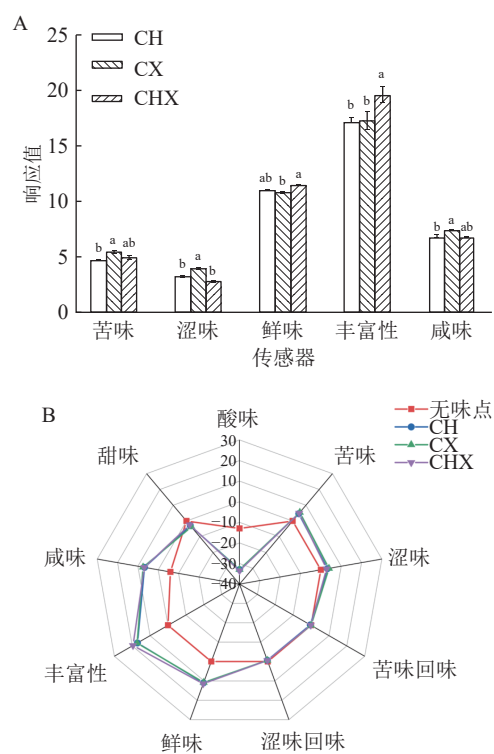
图 2 3 种食用菌素肉排电子鼻主成分分析和载荷分析

Fig. 2 Principal component analysis and load analysis of electronic nose for the three kinds of edible fungus plant steak

2.2 3 种食用菌素肉排电子舌试验结果

2.2.1 食用菌素肉排对电子舌传感器响应 使用电子舌传感器对样品进行味觉物质的识别, 将不同食用菌素肉排各传感器的味觉响应值进行整理分析 (图 3A), 绘制滋味雷达图 (图 3B)。以基准液溶液响应值作为无味点, 低于无味点为无效指标。由图 3B 可知, 酸味、甜味、苦味回味及涩味回味

均低于无味点，因此仅对其余5个有效传感器响应强度进行分析（图3A）。结果表明，3种素肉排对电子舌不同传感器的响应值有明显差异，响应强度为丰富性（鲜味回味）>鲜味>咸味>苦味>涩味，3种食用菌素肉排滋味图谱相似，具有类似的滋味组成。其中，3种样品的滋味丰富性和鲜味指标响应值远大于其余指标，丰富性是作为鲜味回味的判定指标，因此鲜味及其回味是食用菌素肉排的突出味觉指标，尤其海鲜菇素肉排在丰富性上的响应值显著高于其他两种。同时，咸味传感器响应也较为明显，苦味和涩味与其他几种滋味相比响应较弱。从整体上看，食用菌素肉排具有明显的鲜味及较长的鲜味持久性，有一定的咸味，略带苦涩味但味感不明显。

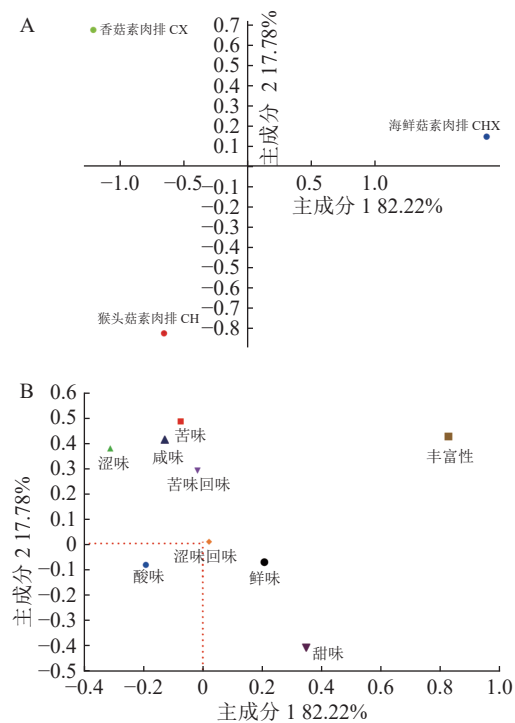


注：A 为电子舌传感器响应强度，B 为滋味雷达图
图3 不同食用菌素肉排电子舌实验结果

Fig. 3 Experimental results of electronic tongue for different edible fungus plant steaks

2.2.2 食用菌素肉排电子舌主成分分析和载荷分析 基于所有的味觉指标平均值对3种样品进行主成分分析（图4A），其中PC1贡献值占比82.22%，PC2贡献值占比17.78%，两者贡献率之和大于99%，说明这两种主成分可以基本反映食用菌素肉

排样品味觉检测的完整情况，且PC1贡献率远高于PC2，以PC1（横坐标）的差异为主。由图4A可知，3种样品无重叠且相隔较远，说明不同食用菌素肉排在整体滋味上可明显区分。其中，海鲜菇素肉排的PC1贡献率远大于其他两种，说明与其余两种食用菌素肉排滋味差异明显，可在味觉上明显区分；猴头菇素肉排PC1贡献率略大于香菇素肉排，但仍与海鲜菇素肉排有较大差距，且PC2贡献率均远小于其他两种；而在香菇素肉排中，尽管其PC1贡献率低于其他两种，但其PC2贡献率最高，在PC2上与其他两种素肉排滋味有明显差异。



注：A 为电子舌主成分分析图，B 为电子舌载荷分析图

图4 不同食用菌素肉排电子舌主成分分析和载荷分析
Fig. 4 Principal component analysis and load analysis of electronic tongue for different edible fungus plant steaks

进一步通过载荷分析确定起主要作用的味觉成分。由图4B可知丰富性（鲜味回味）传感器在第一主成分占据了绝大部分的贡献率，其次是鲜味和甜味，且由于第一主成分贡献率远大于第二主成分，可判断丰富性是区分3种食用菌素肉排的主要味觉成分。而在第二主成分中，贡献率最大的是苦味传感器，其次苦味回味、咸味及涩味也起到了较

大的贡献作用。由图 3B 可知，甜味、苦味回味为无效指标不做讨论，因此 3 种食用菌素肉排在味觉上的差异主要体现在丰富性上，并且在苦味、咸味、鲜味及涩味上也具有一定的差异性。

2.3 3 种食用菌素肉排人工感官评价结果

由图 5A 可知，在咸味和质地评价中，3 种食用菌素肉排评分无显著差异，咸淡较为适中，质地软硬合适无明显颗粒感；在滋味和鲜味评价中，海鲜菇素肉排评分显著高于猴头菇素肉排，海鲜菇素肉排滋味更为适宜，具有明显的鲜味；在异味和色泽评价中，海鲜菇素肉排明显优于其他两种，无明显苦涩味且色泽适宜；在香气评价中，海鲜菇和香菇素肉排的香气均显著强于猴头菇素肉排。

结合人工感官评价雷达图（图 5B）分析样品整体感官评分情况。海鲜菇素肉排整体感官评分优于其他两种，所有指标平均分值均在 7~10 分，整体风味最佳，香气浓郁，具有适宜的咸鲜味，口感软硬适中，色泽诱人；其次为香菇素肉排，香气较强，与海鲜菇素肉排不相上下，在质地、滋味、咸味、鲜味方面的评分略逊于海鲜菇素肉排，存在轻

微苦涩味，且色泽不佳；而猴头菇素肉排整体感官评分均低于其他样品，各指标平均分值均低于 7 分，相比另外两种食用菌素肉排整体风味较为逊色。

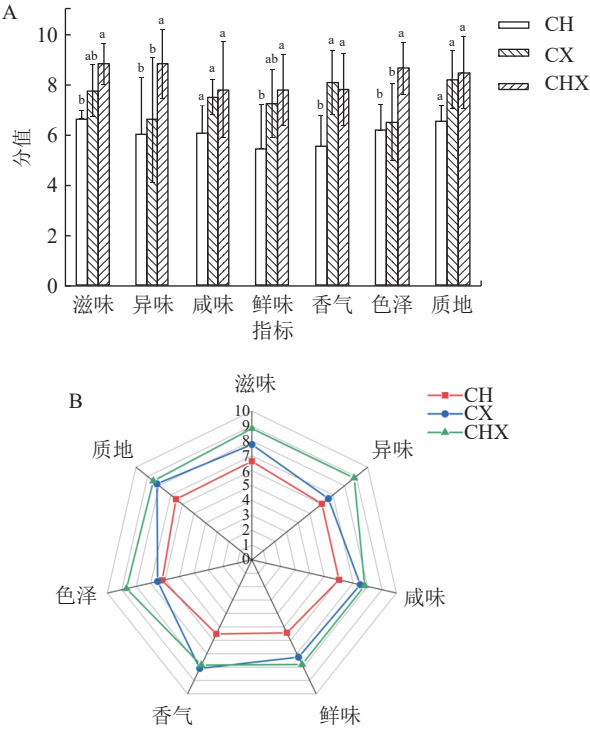
3 结论

人的感官是最精密、常规的风味分析系统，但人工感官评价耗时耗力且无法大规模、快速的检测，因此在食品评估中准确快捷的电子感官技术逐渐替代人工感官评价^[13]。本研究基于电子感官技术对 3 种食用菌素肉排气味和滋味的差异及组成成分进行检测与聚类分析，并结合人工感官评价对其风味进行评估。结果表明，电子鼻对 3 种食用菌素肉排均有应答，不同食用菌素肉排具有相似的气味组成，PCA 聚类分析结果显示 3 种素肉排有明显差异，其中海鲜菇素肉排气味较强且与其他两种素肉排差异较大。3 种食用菌素肉排的主要气味组成为有机硫化物、无机硫化物芳香成分、短链烷烃、氮氧化合物和醇醚醛酮类物质，其中有机硫化物响应最强是最主要的差异成分。李润等^[14]报道含硫化物是食用菌的特征挥发性风味物质，说明食用菌素肉排的关键气味成分可能与食用菌本身的成分相关；电子舌检测结果表明不同食用菌素肉排具有相似的滋味，海鲜菇素肉排滋味较强，与其他两种素肉排形成显著性差异。鲜味、丰富性（鲜味回味）、咸味、苦味及涩味是食用菌素肉排的有效味觉指标。其中鲜味回味是食用菌素肉排滋味区分的主要指标，这可能与食用菌富含多种游离氨基酸有关^[15]。电子鼻电子舌检验结果均表明海鲜菇素肉排的整体气味和滋味均优于其他两种，而在人工感官评价中，海鲜菇素肉排整体感官风味同样最佳，与电子感官技术分析结果一致。

综上所述，电子感官技术确定了不同食用菌素肉排具有相似的风味成分，气味组成上主要以有机硫化物为主，具有明显的咸鲜味并有较强的鲜味回味，其中以海鲜菇素肉排整体风味最佳，风味分析结果与人工感官评价一致。本研究探究不同食用菌素肉排的风味组成，对食用菌休闲食品的开发具有一定的参考意义，有利于进一步丰富食用菌素食食品的种类，推动食用菌产业的发展。

参考文献：

[1] 李泰, 卢士军, 孙君茂, 等. 26 种常见市售食用菌营养成分分析及评价 [J]. 中国食用菌, 2021, 40 (12): 66-72.



注：A 为感官评价评分情况，B 为感官评价雷达图

图 5 不同食用菌素肉排人工感官评价结果

Fig. 5 Artificial sensory evaluation results of different edible fungus plant steaks

- [2] 宋怡, 周州, 罗舒, 等. 食用菌在仿真肉素食的应用现状及发展趋势 [J]. 四川农业科技, 2021 (11): 80-82.
- [3] 张建锋. 食用菌的营养成分和保健功能分析 [J]. 中国食用菌, 2020, 39 (7): 185-187.
- [4] 韩爽, 夏光辉, 郭聪颖, 等. 猴头菇素肉干的制作工艺研究 [J]. 中国调味品, 2018, 43 (3): 94-97.
- [5] 张铂瑾, 徐燕新, 郭颖娜, 等. 香菇素肉干制作工艺的研究 [J]. 保鲜与加工, 2013, 13 (6): 29-31.
- [6] 陈浩, 唐娟, 唐金艳, 等. 休闲竹荪素肉的研制 [J]. 农产品加工, 2019 (8): 5-8.
- [7] BLANCO-RODRÍG A, CAMARA V F, CAMPO F, et al. Development of an electronic nose to characterize odours emitted from different stages in a wastewater treatment plant [J]. *Water Research*, 2018, 134: 92-100.
- [8] GUO Q Y, ADELINA NADYA MARA, HUJT, et al. Comparative analysis of volatile profiles in four pine-mushrooms using HS-SPME/GC-MS and E-nose [J]. *Food Control*, 2022, 134: 108711.
- [9] PODRAŽKA M, BĄCZYŃSKA E, KUNDYS M, et al. Electronic Tongue: A Tool for All Tastes? [J]. *Biosensors*, 2018, 8 (1): 3.
- [10] ROSS CAROLYN F. Considerations of the use of the electronic tongue in sensory science [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 40: 87-93.
- [11] 曾习, 曾思敏, 龙维贞. 食品感官评价技术应用研究进展 [J]. 中国调味品, 2019, 44 (3): 198-200.
- [12] LEVER J, KRZYWINSKI M, ALTMAN N. Points of Significance: Principal component analysis [J]. *Nature Methods*, 2017, 14 (7): 641-642.
- [13] KONG Z Q, LI M M, AN J J, et al. The fungicide triadimefon affects beer flavor and composition by influencing *Saccharomyces cerevisiae* metabolism [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6 (1): 33552.
- [14] 李润, 杨焱, 刘晓风, 等. 食用菌风味影响因素及其评价研究进展 [J]. 食用菌学报, 2020, 27 (4): 202-214.
- [15] TIAN Y T, ZHAO Y T, HUANG J J, et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 714-722.

(责任编辑: 林玲娜)