

基于动态感官与风味组学方法融合的不同辣条品质特征对比

毛冰冰¹, 王煦松¹, 刘忠思², 李保玲², 李冬梅¹, 秦磊^{1*}

(1. 大连工业大学食品学院, 辽宁大连 116034) (2. 漯河市卫龙生物技术有限公司, 河南漯河 462005)

摘要: 探究了不同辣条产品的动态感官特征及风味成分与消费者喜好度的关系, 为辣条产品的口感与风味品质优化提供参考。通过对市售 12 种辣条产品的感官评价, 筛选了 4 种在质地与风味方面具有代表性特征的辣条产品作为研究对象, 分别进行动态感官分析 (TDS), 质构分析、油分布情况解析, 以及采用电子鼻 (E-nose) 和顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用技术 (HS-SPME-GC-MS) 对挥发性物质进行区分和比较。结果表明, 辣条产品 B 质地紧实、含油量显著且分布均匀; 同时, 在辣条产品检测出的挥发性物质中, 辣条产品 B 中芳樟醇 (12.58%) 和茴香脑 (12.71%) 的相对含量较高, 作为花椒和茴香中重要的挥发性物质, 提供了更为突出的风味特征, 相较于其他品牌辣条更受消费者喜爱。在检测到的 52 种挥发性物质, 吡嗪类、醇类、烯烃类以及酯类为辣条产品中最主要的挥发性物质。其中乙酸芳樟酯 (6.71%~14.11%)、 γ -萜品烯 (6.58%~10.75%) 和芳樟醇 (3.78%~12.58%) 等在样品中的含量相对较高。该研究可为辣条新产品开发及品质调控提供理论参考。

关键词: 调味面制品; 辣条; 感官评价; 质构; 风味

文章编号: 1673-9078(2025)03-329-339

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.3.0252

Comparison of Quality Characteristics of Different Spicy Strip Products Based on Temporal Dominance of Sensation and Flavoromics

MAO Bingbing¹, WANG Xusong¹, LIU Zhongsi², LI Baoling², LI Dongmei¹, QIN Lei^{1*}

(1. School of Food Science, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

(2. Luohe Weilong Biotechnology Co. Ltd., Luohe 462005, China)

Abstract: The dynamic sensory characteristics and flavor components of different spicy strip products were identified, and their relationships with consumer preferences were clarified to provide a reference for optimizing the taste and flavor quality of spicy strip products. Through sensory evaluation of 12 commercially available spicy strip products, four products with representative differences in texture and flavor were selected as the research objects. Temporal dominance of sensation, texture analysis, oil-distribution analysis, electronic nose, and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry were used to distinguish and compare the volatile compounds in the four products. The results showed

引文格式:

毛冰冰,王煦松,刘忠思,等.基于动态感官与风味组学方法融合的不同辣条品质特征对比[J].现代食品科技,2025,41(3):329-339.

MAO Bingbing, WANG Xusong, LIU Zhongsi, et al. Comparison of quality characteristics of different spicy strip products based on temporal dominance of sensation and flavoromics [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(3): 329-339.

收稿日期: 2024-03-01

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD2100100)

作者简介: 毛冰冰 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: bingbingmao0715@163.com

通讯作者: 秦磊 (1984-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品风味与品质调控技术, E-mail: qinlei@dlpu.edu.cn

that the spicy strip product B had a firm texture, rich oil content, and uniform oil distribution. Among the volatile compounds detected in the products, the amounts of linalool (12.58%) and anethole (12.71%), which are characteristic volatile substances in pepper and fennel, were relatively high in spicy strip product B, imparting more prominent flavor characteristics. Therefore, product B was more popular with consumers than the other brands of spicy strips tested. Among the 52 volatile compounds detected, pyrazines, alcohols, olefins, and esters were the main volatile compounds in spicy strip products. Particularly, linalyl acetate (6.71%~14.11%), γ -terpinene (6.58%~10.75%), and linalool (3.78%~12.58%) were relatively abundant in the samples. This study can provide a theoretical reference for the development and quality control of new spicy strip products.

Key words: extruded flavoring noodles; spicy strip; sensory evaluation; texture; flavor

调味面制品是以小麦或是其它谷物、豆类为主要原料, 搭配多种添加剂, 经过加工、挤压熟制、成型、调味而成的即食食品^[1-3]。调味面制品作为休闲食品重要细分品种之一, 已经从最初的商超销售模式, 发展到现在的线上线下模式相结合, 随着移动互联网影响的持续加深, 线上购买渠道逐渐成为调味面制品的重要分销渠道之一, 其消费群体数以百万计。辣条作为具有代表性的一种调味面制品, 口味多样, 传统的口味主要有甜辣味和麻辣味, 而现在逐渐出现了多种新口味, 再加之价格比较便宜, 所以在市面上, 辣条受到了很多青少年, 尤其是中小学生的喜欢^[4]。调味面制品企业的发展非常迅速, 根据调查显示, 2018~2022年市场规模从 568.61 亿元增长到 863.03 亿元, 预计 2027 年将达到 1 290.68 亿元^[5]。伴随着调味面制品产业的快速发展, 规模化效应逐渐显现, 一批行业规模企业相继出现, 但仍有很大一部分调味面制品生产企业规模较小、经营粗放^[6]。在行业发展前期, 由于统一的生产标准和规范, 导致了产品品质良莠不齐, 也造成了全国调味面制品生产和消费市场的混乱。但调味面制品的行业新标准已经发布并已于 2022 年 10 月 1 日起开始实施。标准对调味面制品的定义、原料要求、污染物限量等做了明确规定, 这意味着调味面制品正在向健康休闲食品的方向迈进。

鉴于休闲面制品新标准的出台以及在市场的快速发展, 本文从消费市场出发, 通过对辣条消费市场进行调查研究, 选取不同品牌的辣条进行初步的感官评价, 再进一步选取具有代表性的辣条产品进行暂时性感官支配分析, 并结合气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS) 探究不同品牌之间的风味差异, 期望为辣条产品的品质提升及风味调控提供研究方法及理论参考。

1 材料与方法

1.1 原料

根据 685 份调查问卷结果, 结合辣条在中国最主要的两家休闲食品电商平台的销售量以及辣条十大品牌排行榜单, 最终选取以小麦粉为主要原料制作的 12 种不同品牌的辣条作为研究对象, 样品配料表详情见表 1。

1.2 仪器与设备

MesoQMR23-060H 核磁共振成像分析仪, 上海纽迈电子科技有限公司; 7890B-5977A 气相色谱-四级杆质谱联用仪, 安捷伦科技(中国)有限公司; AirsensePEN3 33 电子鼻, 德国 Airsense 公司; DHG-9070A 电热鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司; TA.XT.Plus 物性测试仪, 英国 SMS 公司。

1.3 主要研究方法

1.3.1 辣条产品感官评定

感官评价小组由 25 名在校食品专业学生组成, 年龄 18~25 岁, 感官评价人员根据 GB/T 22210-2008^[7]进行培训, 并将 12 种不同品牌的辣条剪切成 2 cm×2 cm 的方块, 编号后进行感官评定。感官评定人员在每次品尝样品前用质量分数 0.2% 淡盐水漱口, 去除口中残留异味。感官评定的标准参考表 2。

1.3.2 辣条产品的动态感官分析

首先, 感官评价人员通过品尝辣条样品, 记录感官描述词, 并结合文献集体讨论确定描述词, 描述词如表 3 所示。在进行动态感官分析 (Temporal Dominance of Sensations, TDS) 时, 以此描述词作为基础进行实验。本实验由感官评价组筛选的 10 名具有较高味觉敏感度的评定者参加。使感官评价人员了解 TDS 的基本理论和小程序的使用。

表 1 辣条产品配料表
Table 1 Ingredient list of spicy strip products

序号	样品编号	配料
1	A	小麦粉、大豆油、水、丙三醇、食用盐、大豆膳食纤维粉、浓缩甘蔗汁、味精、辣椒、香辛料、食用香精香料
2	B	小麦粉、大豆油、水、丙三醇、食用盐、大豆膳食纤维粉、白砂糖、味精、辣椒、香辛料、食用香精香料
3	C	小麦粉、非转基因菜籽油、饮用水、食用盐、味精、辣椒、甘油、结晶果糖、大豆蛋白、香辛料、酿造酱油、酿造食醋、白砂糖、鸡精调味料、酵母抽提物、食用香精香料
4	D	小麦粉、饮用水、食用植物油、食用盐、辣椒、芝麻、谷氨酸钠、食用香辛料、食用香精
5	E	小麦粉、饮用水、植物油、食用盐、白砂糖、辣椒、花椒、香辛料(辐照)、食用香精
6	F	小麦粉、饮用水、植物油、食用盐、白砂糖、辣椒、花椒、香辛料
7	G	小麦粉、食用植物油、饮用水、食用盐、甘油、白砂糖、辣椒、香辛料、芝麻、味精
8	H	小麦粉、大豆油、饮用水、食用盐、白砂糖、辣椒、香辛料
9	I	小麦粉、饮用水、植物油、食用盐、辣椒、可可粉、食用香辛料、食用香精
10	J	优质小麦粉、淀粉、水、食用盐、辣椒、植物油、甘油、香辛料、食用香精香料
11	K	优质小麦粉、淀粉、水、食用盐、辣椒、植物油、甘油、香辛料、食用香精香料
12	L	小麦粉、植物油、饮用水、丙三醇、食用盐、香辛料、白砂糖、味精、酵母提取物、食用香精香料

表 2 辣条产品感官评价标准
Table 2 Sensory evaluation standards for spicy strips

评价指标	评分标准		
	10~8	7~4	3~1
色泽	色泽过深或稍深	色泽红亮适中	色泽稍淡或过淡
硬度	硬度过硬或偏硬	硬度适中	硬度偏软或过软
弹性	有嚼劲, 富有弹性	嚼劲及弹性一般	咬劲差或弹性不足
气味	香味过重或稍重	香气诱人适中	香气稍淡或不明显
含油量	油量过重或稍重	油量适中	油感不足或稍轻
咸味	咸味过重或稍重	咸味适中	咸味过淡或稍淡
辣味	辣味过重或稍重	辣味适中	辣味过轻或稍轻
甜味	甜味过重或稍重	甜味适中	甜味过淡或稍淡
综合喜好度	很喜欢	一般	不喜欢

实验条件参照 Fiches 等^[8]的方法: 实验在 25 °C 室温的避光条件下进行, 取剪切成长宽为 2 cm×2 cm 的辣条样品放于一次性品评杯中, 进行随机编号后, 再由评定人员进行品尝。在实验前 1 h 内, 评定者不得进食, 并且用清水进行漱口。每个辣条样品的测试时间为 60 s。在样品入口时开始计时, 实时记录当前时刻的最主要的感官描述词及对应的感官特性强度, 此部分实验数据通过电脑小程序进行记录, 直到最后不再有任何感受, 结束实验。感官评定人员在每次品尝样品前用 0.20% 淡盐水漱口, 去除口中残留异味。每人每个辣条样品重复 3 次。

表 3 辣条描述词
Table 3 Spicy strip descriptor

序号	感官描述词	描述词定义
1	甜	甜味
2	辣	刺激口腔和鼻黏膜感知的刺激感或痛感
3	咸	氯化钠引起的咸味
4	油脂味	植物油的气味
5	鲜	由谷氨酸钠水溶液产生的一种基本味感
6	筋道	指产品入口咀嚼时感受到的韧性和耐咀嚼性
7	多汁	咀嚼时, 产品汁液丰富的感觉
8	刺痛感	指由于化学刺激导致的舌、口、喉等部位的蜇刺、疼痛的感觉。(痛感强于辣)

1.3.3 辣条产品质构特性的测定

将辣条剪切成宽为 2 cm×2 cm 的小方块，放置在质构仪探头中心部位下面测试。测试参数为测前速率 2.00 mm/s，测中速率 1.00 mm/s，测后速率 2.00 mm/s，2 次压缩的间隔时间为 5.00 s，压缩程度 50%，接触点数值 10 gf，触发力 5 gf；记录样品的硬度。每组样品重复实验 10 次。

1.3.4 辣条产品低场核磁的测定

采用低场核磁测定辣条样品中的油分布情况，将样品用保鲜膜包裹后置于核磁共振管中心处，采用多脉冲回波序列 Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) 采集样品的自旋-自旋弛豫时间 T₂，并利用反演软件得到 T₂ 的反演图谱及峰面积占比。采用多自旋回波 (Multiple Spin Echoes, MSE) 成像序列获得质子密度图像。MRI 参数如下：重复时间 (Repetition Time, TR) = 500 ms，回波时间 (Echo Time, TE) = 20 ms。MRI 图像为灰度图像，用 Osiris 软件进行伪彩处理并保存成 BMP 格式。

1.3.5 辣条产品电子鼻的测定

将不同品牌的辣条样品剪碎，称取 1 g，装入容量为 20 mL 的顶空瓶中，拧紧瓶盖，确保密封完全，在常温下放置 12 h 进行平衡，待测，每个样品 3 次平行。E-nose 传感器编号及对应敏感物质信息见表 4^[9]。

表 4 电子鼻 10 个传感器对应性能

Table 4 Corresponding performance of 10 sensors in electronic nose

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分，苯类
2	W5S	氮氧化合物
3	W3C	芳香成分，氨类
4	W6S	氢化物
5	W5C	短链烷烃，芳香成分
6	W1S	甲基类
7	W1W	无机硫化物
8	W2S	醇类、醛酮类
9	W2W	芳香成分，有机硫化物
10	W3S	长链烷烃

1.3.6 辣条产品挥发性成分的测定

将不同品牌的辣条样品剪碎，称取 1 g 左右，然后将其放入 20 mL 的顶空瓶中，在常温下放置 12 h 进行平衡，并且添加内标溶液环己酮 10 μL (50 μg/mL)；

气相条件：初始温度 35 °C，保持 3 min，温度以 5 °C/min 的速度升温至 250 °C，保持 10 min；进样口温度 250 °C；载气流量 (He) 1.0 mL/min；

质谱条件：电子轰击 (EI) 电离模式，电子能量 70 eV，质量扫描范围 35~500 *m/z*，离子源温度 230 °C；四极杆检测器温度 150 °C。

1.3.7 数据分析

利用 Origin 9.0、Excel 2010 软件进行数据的整理、分析和作图。采用 SPSS 22.0 软件进行显著性分析 ($P < 0.05$ 表示具有显著性差异)。利用质谱数据库对挥发性成分进行鉴定，使用面积归一化法计算各成分的相对百分含量。

2 结果与讨论

2.1 不同辣条产品的感官差异解析

2.1.1 辣条产品感官评定

表 5 为辣条产品感官指标测定结果，并根据 12 种辣条产品的感官评定结果，绘制成雷达图，其结果如图 1a 所示；根据前期的调查问卷可知，口感与风味是辣条的重要指标，从口感方面来看，产品 H 在硬度和弹性方面的评分最高，而产品 E 在这两方面的评分相对较低；从风味方面来看，产品 B 在气味、咸味和甜味的评分最高，在辣味方面，产品 G 和产品 A 的评分相对较高，而产品 B 的辣味性相对较低，但整体产品间无显著性差异。除此之外，丰富的含油量也能够为辣条带来满足的爆汁感，产品 B 的含油量最丰富，其次是产品 L，而产品 E 由于质地较为紧实，含油量并不多。辣条的色泽也影响着产品的受欢迎程度结果显示，产品 C 的色泽较深，产品 E 的色泽在不同产品中较浅。根据感官评定的综合喜好度，产品 B 是最受喜爱的辣条，产品 K 则相反。

在 12 种辣条产品中，选择四种辣条产品 (产品 B、产品 E、产品 H、产品 L) 进行后续实验，选取依据如下：如上图 1b，产品 B 的整体喜好度为最优；产品 E 在九项指标评分中，有四项评分最低，且整体喜好度也相对较低；此外，辣条作为中国特色的休闲食品，虽起源于湖北，但由于南北方人的口味不同，导致辣条的风味也有一定差异，因此，又分别选择了两种分别来自南方与北方且整体喜好度相对较高的辣条产品—产品 H 和产品 L 进行后续的暂时性感官支配分析，进而探究辣条产品在食用过程中的风味感知变化。

表 5 辣条感官评价结果

Table 5 Sensory evaluation standards for spicy strips

编号	色泽	硬度	弹性	气味	含油量	咸味	辣味	甜味	综合喜好度
A	6.04 ± 1.86 ^{bcd}	5.79 ± 1.69 ^{def}	5.96 ± 1.79 ^{cd}	6.46 ± 1.67 ^{bcd}	6.36 ± 1.73 ^{abc}	6.57 ± 1.73 ^{ab}	6.46 ± 1.69 ^a	5.79 ± 2.08 ^{abc}	6.39 ± 1.75 ^{bc}
B	7.18 ± 2.11 ^{ab}	7.50 ± 1.75 ^{ab}	7.36 ± 2.02 ^{ab}	7.64 ± 1.13 ^a	6.89 ± 1.03 ^a	7.39 ± 1.57 ^a	5.86 ± 2.07 ^a	6.64 ± 1.68 ^a	7.64 ± 1.87 ^a
C	7.32 ± 1.63 ^a	7.07 ± 1.78 ^{abc}	7.14 ± 1.56 ^{ab}	6.43 ± 1.75 ^{cd}	6.29 ± 1.54 ^{abc}	6.39 ± 1.79 ^{ab}	6.36 ± 2.04 ^a	3.96 ± 2.08 ^d	6.32 ± 1.76 ^{bc}
D	6.68 ± 1.61 ^{abc}	5.39 ± 1.50 ^{efg}	5.00 ± 1.96 ^d	5.54 ± 1.69 ^{de}	5.75 ± 1.58 ^{cd}	6.54 ± 1.67 ^{ab}	6.00 ± 1.54 ^a	4.75 ± 1.92 ^{cd}	5.93 ± 1.84 ^c
E	5.39 ± 2.10 ^d	4.57 ± 1.75 ^g	5.11 ± 2.47 ^d	5.18 ± 1.74 ^c	5.21 ± 1.83 ^d	6.86 ± 1.21 ^{ab}	6.25 ± 1.69 ^a	4.71 ± 1.84 ^{cd}	6.00 ± 1.87 ^c
F	6.32 ± 1.63 ^{abcd}	6.36 ± 1.70 ^{cde}	6.43 ± 1.35 ^{bc}	6.07 ± 1.80 ^{cde}	5.93 ± 1.49 ^{abcd}	6.64 ± 1.59 ^{ab}	6.36 ± 1.75 ^a	4.79 ± 1.91 ^{cd}	6.07 ± 1.84 ^c
G	7.04 ± 1.86 ^{ab}	6.71 ± 1.41 ^{bcd}	6.54 ± 1.64 ^{bc}	6.14 ± 1.35 ^{cde}	6.21 ± 1.60 ^{abcd}	6.86 ± 1.65 ^{ab}	6.50 ± 1.55 ^a	5.39 ± 2.02 ^{bc}	6.32 ± 1.63 ^{bc}
H	7.14 ± 1.84 ^{ab}	7.75 ± 1.00 ^a	7.68 ± 0.94 ^a	6.86 ± 1.41 ^{abc}	6.64 ± 1.89 ^{abc}	6.54 ± 1.71 ^{ab}	6.18 ± 1.81 ^a	6.21 ± 1.71 ^{ab}	7.25 ± 1.35 ^{ab}
I	6.32 ± 1.74 ^{abcd}	5.89 ± 2.22 ^{def}	5.89 ± 2.39 ^{cd}	6.21 ± 1.66 ^{cd}	5.82 ± 2.29 ^{bcd}	6.79 ± 1.57 ^{ab}	6.43 ± 1.29 ^a	6.32 ± 1.85 ^{ab}	6.18 ± 1.81 ^c
J	5.57 ± 2.25 ^{cd}	5.00 ± 2.14 ^{fg}	5.71 ± 2.39 ^{cd}	6.04 ± 1.84 ^{cde}	6.00 ± 1.74 ^{abcd}	6.21 ± 1.93 ^b	6.21 ± 1.97 ^a	5.39 ± 2.31 ^{bc}	5.82 ± 2.16 ^c
K	6.07 ± 1.78 ^{bcd}	4.75 ± 1.92 ^g	5.14 ± 2.21 ^d	6.14 ± 1.56 ^{cde}	5.61 ± 1.85 ^{cd}	6.43 ± 1.62 ^{ab}	6.07 ± 1.63 ^a	5.50 ± 2.38 ^{abc}	5.64 ± 1.71 ^c
L	6.64 ± 1.87 ^{abc}	6.39 ± 2.17 ^{cde}	7.21 ± 1.89 ^{ab}	7.36 ± 1.68 ^{ab}	6.82 ± 1.52 ^{ab}	6.46 ± 1.84 ^{ab}	6.43 ± 1.91 ^a	6.32 ± 1.93 ^{ab}	7.36 ± 1.89 ^{ab}

注：同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)。

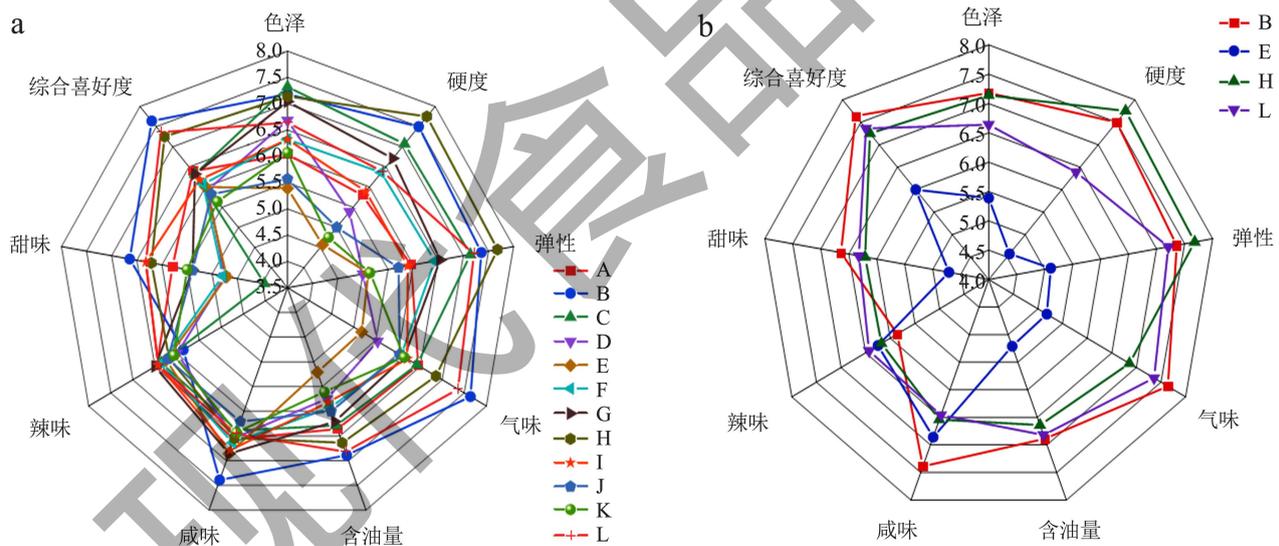


图 1 辣条产品感官评定雷达图

Fig.1 Sensory evaluation radar image of spicy strips

2.1.2 辣条产品的动态感官评价分析

通过感官评定结果，选取了四种具有代表性的产品进行了动态感官评定，TDS 法巧妙的把辣条产品的风味特性与人的感知结合在一起，可以模拟真实的食用条件下的感官状态^[10]。本实验通过记录实时的感官变化来评估辣条产品，并且在绘制曲线的时候加入了 2 条水平线，分别为显著水平线 (P_s) 和偶然水平线 (P_0)，显著水平线表示

属性优势率显著高于偶然水平优势率所必须达到的最小值^[11]，高于此线且优势率最高的属性被认为占据主导属性^[12]。

四种辣条产品的 TDS 动态感官结果如图 2 所示。

图 2 是四种最具代表性辣条产品的 TDS 结果。由图 2a 可以看出，在咀嚼过程中，产品 B 的口腔感知层次丰富，具有多重强势感官特性，在咀嚼前期时，多汁和筋道这两种感官属性占据主导地位，

多汁是品尝过程中辣条内部的油“爆”出来的一种多汁感；在咀嚼中期时，甜和咸成为了显著的感官属性，随着咀嚼时间的增加，咸和甜这两种感官属性在后期感受既持久又强烈，并且和上述感官结果相同。由图 2b 可以看出，在咀嚼过程中，产品 E 的强势感官特性依次是：筋道、咸、辣和刺痛感；产品 E 的辣味的整体感知比较强，在咀嚼中期，感官评价人员能够感知到明显的辣味，并且随着咀嚼时间的进行，辣味感知越来越强烈，优势率可高达 43.30%；也正因为辣味感知过于强烈，在后期演变成了刺痛感这一感官属性，带来不好的味觉体验，推测是导致在感官结果中喜好度较低的原因之一。由图 2c 可以看出，在咀嚼过程中，产品 H 的强势感官特性依次为：多汁、筋道和辣，在咀嚼前期，产品 H 的多汁属性比较突出，优势率可达到 35%，推测是由于该辣条产品的坯体比较厚，因此具有较好的持油能力；在咀嚼的中后期，产品 H 的辣味逐渐变为强势感官属性，优势率高达 43.30%，与产品 E 的辣味强势值相同，但产品 H 的辣味更为柔和，

不产生强烈的刺痛感。由图 2d 可以看出，产品 L 的感知比较丰富，在咀嚼过程中，评价员可以感知到多种感知属性，如甜、多汁、筋道、咸、辣、鲜、油脂味等，在咀嚼前期时，甜味是最显著的感官属性，在咀嚼中期，多种味道被逐渐感知，除了甜味外，仅咸味和辣味短期超过显著水平线。

TDS 优势曲线的的数据表明，辣条的多汁与筋道在咀嚼前期占据主导属性，随着咀嚼时间的持续，辣条的辣味与咸味等感官属性在咀嚼后期占据主导属性。

2.1.3 辣条产品的质构特性

质构特性是评价辣条的重要指标。四种辣条产品的质构特性如图（硬度、弹性、咀嚼性），由图 3 可以看出，辣条产品在硬度和咀嚼性上具有显著性差异，而弹性方面并没有显著性差异。其中，产品 E 的硬度和咀嚼性最大，相应的在感官评定时，其质地的评分相对较低；而产品 B 和产品 L 的硬度和咀嚼性保持一致，两种产品的外观基本一致，因此在硬度和咀嚼性方面比较相似。

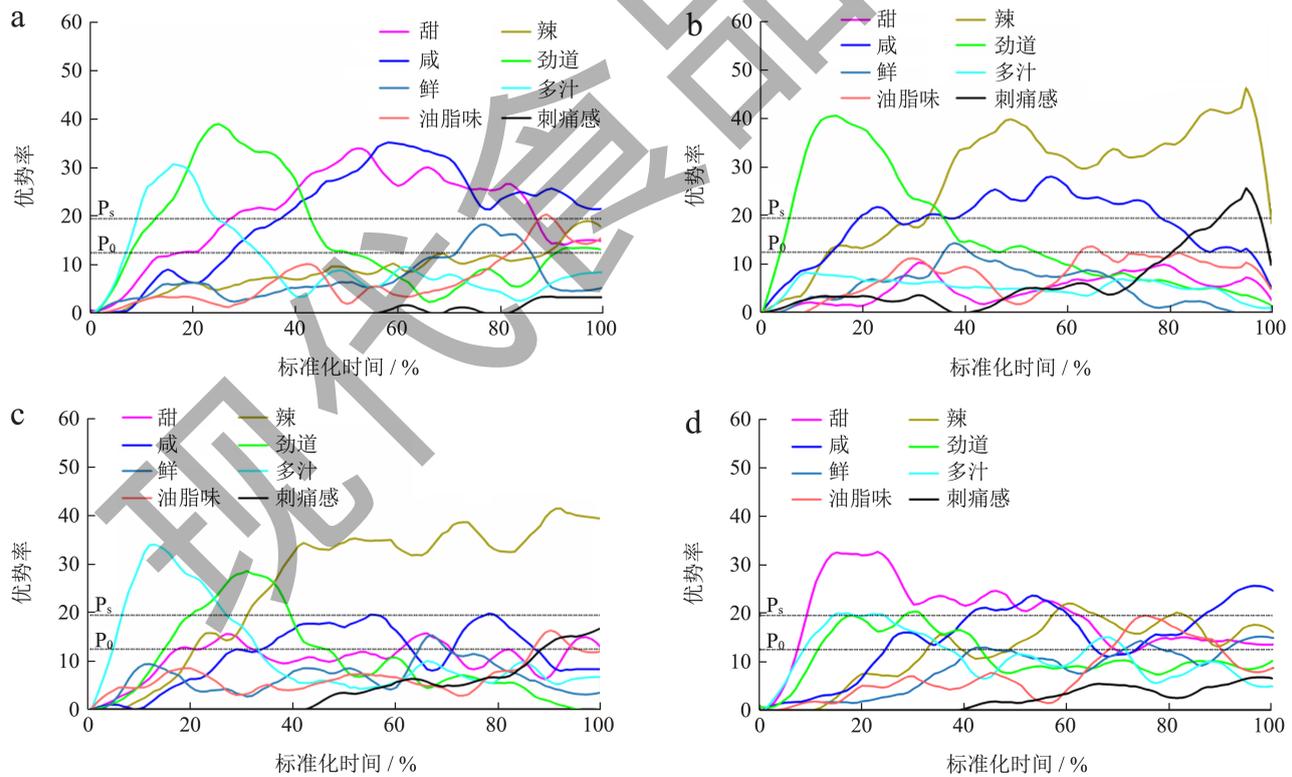


图 2 辣条产品 TDS 优势曲线

Fig.2 TDS advantage curve of spicy strips

注：(a) 产品 B；(b) 产品 E；(c) 产品 H；(d) 产品 L。图 4 同。

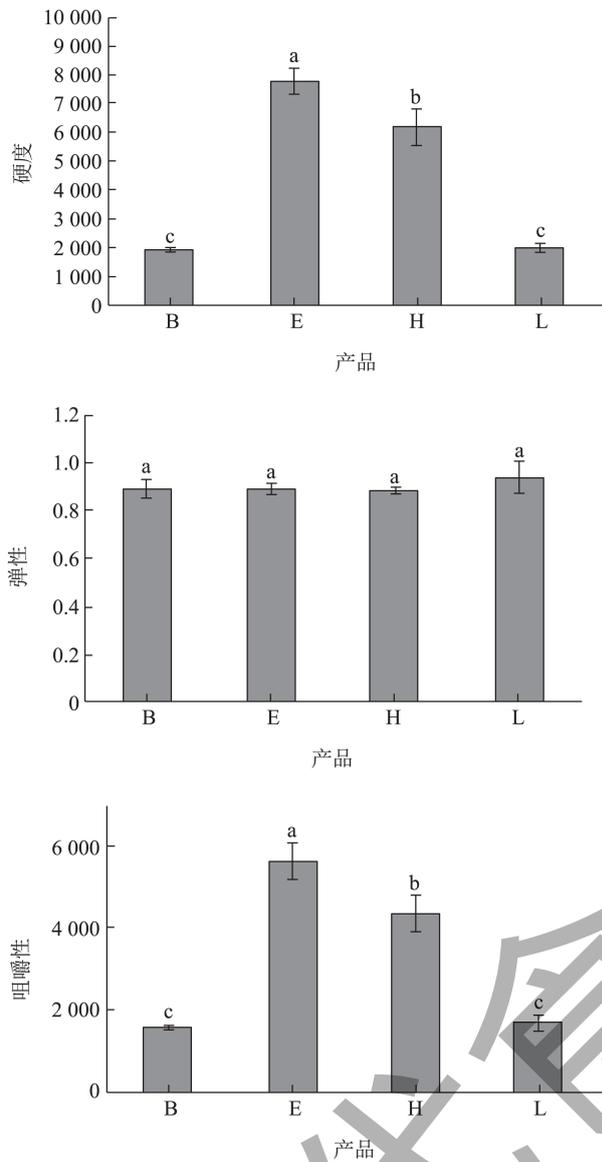


图3 辣条产品的质构特性

Fig.3 The texture characteristics of spicy strips

注：柱上不同字母表示组别之间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.1.4 辣条产品油分布情况

磁共振成像技术不仅可以从微观角度有效分析食品的水分迁移情况，还可以从微观角度有效分析食品内部的油分布情况，信号强度的强弱能直接反映食品组分的质子密度^[13,14]。一般来说，样品中油含量越高，质子密度图像的信号越强，红色区域表示核磁信号最强、质子密度最高；蓝色区域表示核磁信号最弱、质子密度最低；黄色、绿色介于红色和蓝色之间^[15]。图4是辣条产品的磁共振成像(MRI)伪彩图，根据测定结果，可以看出产品B呈现红色区域最多，且分布比较均匀，含油量最为

显著；其次是产品L，红色区域比较集中，但分布略有些不均匀；而产品H的油分布也比较均匀，红色区域零星分布，产品整体以黄色、绿色区域为主，虽产品E也以黄色、绿色区域为主，但是整体的密度较低，油含量最低；同感官评定中含油量这一指标结合分析，与其他三种产品相比，产品E的含油量并不突出，这也与产品的形状有关，其余三种产品的孔隙分布明显，产品蓬松，可以更好的吸附住油脂，而产品E的表观质地紧密，吸附油脂的能力并不突出。

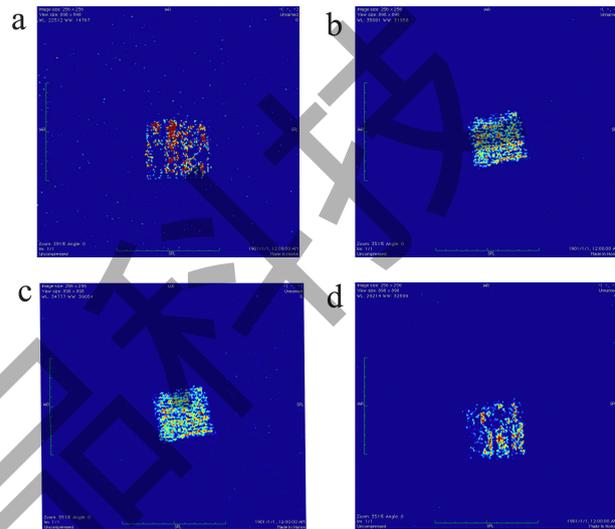


图4 辣条产品的油分布情况

Fig.4 Oil distribution of spicy strips

2.2 辣条产品风味解析

2.2.1 辣条产品电子鼻的测定

通过图5a雷达图可以看出，四种产品辣条对W5S（对氮化合物灵敏）、W1W（对无机硫化物灵敏）、W2W（对芳香成分和有机硫化物灵敏）这三种传感器比较敏感；其中，氮化合物是区分产品H与其他产品辣条主要依据，而无机硫化物是区分产品B与其他三种产品的主要依据；由图5b PCA图可知：主成分一的贡献率是86.17%，主成分二的贡献率是12.67%，两者之和是98.84%，说明了分析效果良好，通过PCA图可以得知不同辣条产品之间存在差异，而产品E与产品L有交集，说明了两者之间挥发性成分相似。

2.2.2 辣条产品挥发性物质解析

表6为四种辣条产品检测到的挥发性成分，总共检测到了52种挥发性风味物质，包括5种吡嗪类、6种醇类、2种酮类、13种烷类、5种醛类、12种烯类、3种酯类和6种其他类。

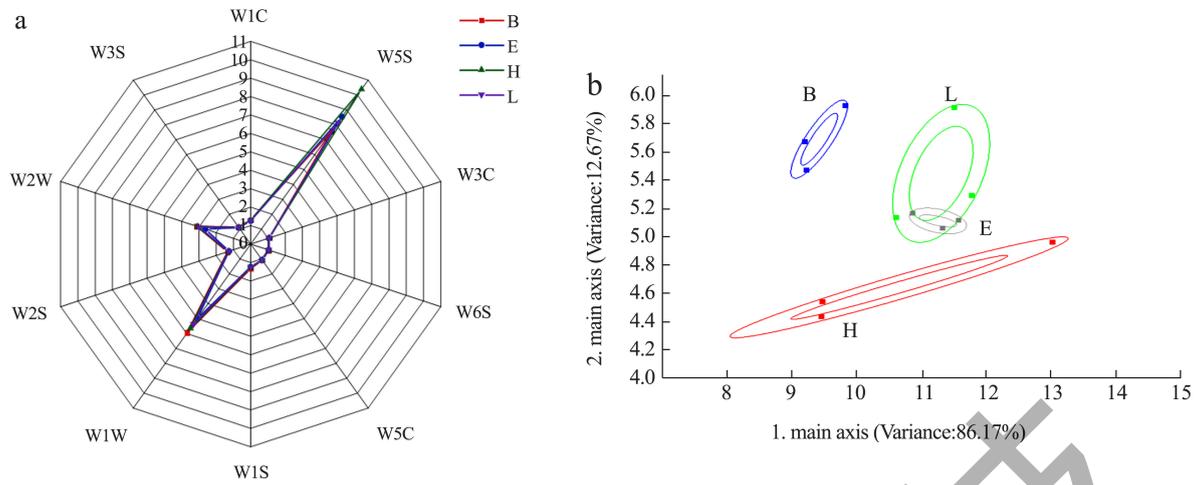


图5 辣条产品雷达图以及 PCA 图

Fig.5 Radar and PCA images of spicy strips

表6 辣条产品中的挥发性成分

Table 6 Volatile components in spicy stick product

种类	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%			
			产品 B	产品 E	产品 H	产品 L
吡嗪	7.07	甲基吡嗪	—	0.62	0.96	—
	15.41	四甲基吡嗪	0.44	9.99	13.02	0.35
	12.71	三甲基吡嗪	1.28	14.22	20.20	—
	9.95	2,3-二甲基-吡嗪	—	6.00	9.47	—
	13.41	2-乙酰基-吡嗪	0.01	0.14	0.37	0.01
醇	19.97	2-甲基-3-苯基丙醇	16.61	19.87	18.84	18.58
	7.65	二丙酮醇	—	0.03	0.05	0.01
	15.00	辛醇	0.03	0.03	0.02	0.02
	1.95	2-甲氧基乙醇	1.22	1.19	1.38	2.01
	18.56	γ -萜品醇	0.18	0.07	0.05	0.14
	15.85	芳樟醇	12.58	3.78	4.67	9.67
	16.00	侧柏酮	0.05	—	0.01	—
烷类	10.78	4-巯基-4-甲基-2-戊酮	—	0.08	0.14	0.01
	24.23	十四烷	0.22	0.20	0.21	0.22
	23.47	3-甲基十五烷	0.06	0.06	0.06	0.06
	19.22	2,5-二甲基十一烷	0.10	0.11	0.11	0.18
	17.77	2-甲基十一烷	0.07	0.07	0.08	0.12
	17.96	3-甲基十一烷	0.15	0.14	0.14	0.15
	17.53	5-甲基十一烷	0.04	0.04	0.05	0.06
	21.60	十三烷	0.30	0.33	0.32	0.48
	16.37	2,5-二甲基癸烷	0.05	0.05	0.06	0.08
	16.68	3,7-二甲基癸烷	0.02	0.03	0.03	0.04
	21.07	2,6,11-三甲基十二烷	0.04	0.04	0.04	0.17
	18.81	十二烷	0.90	0.89	0.85	0.99
	20.61	4-甲基十二烷	0.05	0.06	0.06	0.09
12.71	癸烷	0.18	0.06	0.06	0.03	

续表6

种类	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%				
			产品 B	产品 E	产品 H	产品 L	
醛	18.99	癸醛	0.06	0.06	0.06	0.07	
	6.42	己醛	0.03	0.03	0.02	0.05	
	12.80	水茴香醛	0.36	0.22	0.14	0.29	
	11.43	苯甲醛	0.63	—	—	1.29	
	15.98	壬醛	0.37	0.31	0.32	0.34	
烯	13.59	柠檬烯	9.45	2.90	3.95	12.62	
	22.98	萜澄茄油烯	0.02	0.01	0.01	0.02	
	13.93	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯	0.78	0.21	0.22	1.55	
	13.48	4-甲基-3-(1-甲基亚乙基)-环己烯	0.18	0.22	0.05	0.27	
	13.21	α -蒎烯	0.86	0.44	0.36	0.58	
	23.68	古巴烯	0.08	—	—	0.03	
	25.18	反式- α -佛手柑烯	0.04	0.01	0.01	0.01	
	14.56	γ -蒎品烯	8.14	10.75	6.58	9.82	
	12.43	月桂烯	5.27	1.99	2.00	9.00	
	10.50	α -蒎烯	0.09	0.11	0.04	0.16	
	11.87	β -蒎烯	3.18	4.26	1.80	4.45	
	14.26	β -罗勒烯	0.90	0.29	0.29	1.99	
	酯	22.94	乙酸松油酯	0.36	0.18	0.10	0.28
		23.85	乙酸香叶酯	0.22	0.08	0.05	0.17
		20.40	乙酸芳樟酯	14.06	8.96	6.71	14.11
其他	18.87	草蒿脑	0.26	0.02	0.01	0.04	
	15.19	二烯丙基二硫化物	0.26	0.09	1.20	0.03	
	13.46	伞花烃	7.13	10.45	3.92	9.30	
	14.68	呋喃诺	—	—	0.11	—	
	21.24	茴香脑	12.71	0.05	0.06	0.06	
	13.29	2-乙酰基-噻唑	—	0.25	0.77	—	

吡嗪类化合物多数呈现烤香,类似坚果和烘焙的风味特征^[16],通常是美拉德反应的中间产物。由表6可知,在吡嗪类物质中,仅有四甲基吡嗪(0.35%~13.02%)和2-乙酰基-吡嗪(0.01%~0.37%)是四种辣条产品所共有的物质,其中四甲基吡嗪在产品E和产品H中的相对含量较高,分别为9.99%和13.02%。

醇类物质主要来源于脂肪的氧化分解或羰基化合物的还原作用^[17]。其中2-甲基-3-苯基丙醇(16.61%~19.87%)和芳樟醇是所有辣条产品均存在且相对含量较高的物质,芳樟醇在辣条产品中的相对含量在3.78%~12.58%之间,而芳樟醇作为花

椒中重要的挥发性物质^[18],花椒的来源很可能来自于辣条的加工过程,其中,产品B和产品L中花椒的添加量可能较多一些;辣条产品中共有的醇类挥发性物质还有辛醇、2-甲氧基乙醇以及 γ -蒎品醇,但相对含量都较低。

由于酮类物质和烷烃类化合物的气味阈值一般都比较高,所以,这两类物质可能对辣条整体的风味影响不大,一般不认为是食品中主要的风味物质,但它们的存在也会影响食品风味的层次感和丰满感。

醛类化合物形成的主要原因一般是食品中脂肪的不饱和脂肪酸氧化及Strecker降解^[19],它们

的气味阈值通常较低。醛类化合物在辣条产品中的相对含量非常低。己醛和壬醛属于直链脂肪醛，来源于脂肪酸的氧化降解，呈现青香和脂肪的风味^[20]。这些醛类赋予了不同品牌脂肪香味。苯甲醛（杏仁和焦糖香）通常由苯丙氨酸降解产生^[21]，仅在产品 B 和产品 L 中被检出，在产品 L 中的相对含量最高（1.29%）。

烯烴化合物气味阈值普遍较高，而萜烯作为一类特殊的烯烴，具有萜环结构，萜烯是许多天然产物的基础，在辣条中检测到的萜烯类物质都是花椒中最为常见的挥发性风味物质^[22-24]，其中， γ -萜品烯（6.58%~10.75%）、月桂烯（1.99%~9.00%）和 β -蒎烯（1.80%~4.45%）在四种辣条产品中都存在，并且相对含量较高，因此，在辣条加工过程中添加的花椒是影响辣条风味的重要物质。

酯类化合物通常是由脂质代谢或者酸类和醇类通过酯化反应生成的^[25]，具有花果香味。在四种辣条产品中共检出 3 种酯类，其中，乙酸芳樟酯（6.71%~14.11%）在四种产品中都被检出，且相对含量较高，其气味阈值较低，具有柑橘香、花香和木香等香气，为花椒叶主要的香气成分^[26,27]。

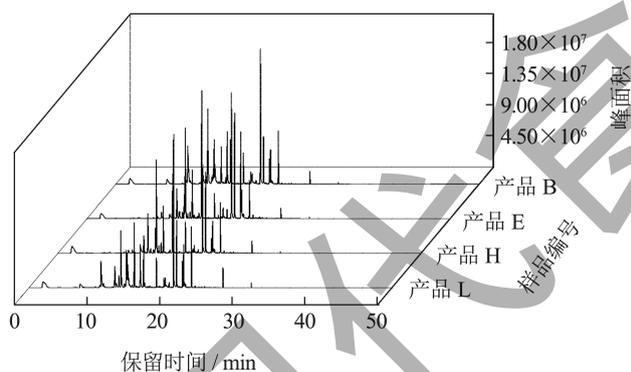


图 6 辣条产品挥发性成分的总离子流图

Fig.6 Total ion flow spectra of volatile components of spicy strips

在其他类物质中，伞花烯（3.92%~10.45%）在所有辣条产品中的相对含量较高，具有柑橘的香气，而茴香脑也是 GB 2760-2014《食品添加剂使用标准》中允许添加的天然香料，茴香脑在产品 B 的相对含量比较高（12.71%），具有茴香的风味特征。不同辣条产品的离子图谱见图 6。

3 结论

本文对 12 种不同品牌的辣条产品进行感官评价，并进一步选取了四种不同品牌的辣条产品进行

了动态感官分析，结合辣条的质构特性、油分布情况，对辣条产品进行了综合的品质分析。研究表明，产品的喜好程度与产品的质地及含油量息息相关，产品 B 较其他品牌的辣条产品更受消费者的喜爱，产品 B 具有甜辣的口感风味，含油量显著且分布均匀，产品喜好度评分最高，为 7.64 分；此外，南北方辣条差异明显，作为南方辣条的产品 H 在动态感官评价中，辣味明显，而北方辣条产品 L 则甜味为最主要的感官属性；此外，结合电子鼻与 GC-MS 的方法对四种辣条产品的挥发性物质进行了检测，可以看到辣条产品之间挥发性物质种类和含量都具有差异性。辣条产品中主要的几类挥发性物质是吡嗪类、醇类、烯烴类以及酯类，其中在辣条样品中含量相对较高的挥发性物质包括乙酸芳樟酯（6.71%~14.11%）、 γ -萜品烯（6.58%~10.75%）和芳樟醇（3.78%~12.58%）等，是辣条中最关键的几种挥发性物质。由此推断，消费者对于辣条产品的喜好度选择主要与辣条的质地、油分布情况、风味物质以及整体动态感知密切相关，其中，挥发性物质主要包括吡嗪类、醇类、烯烴类以及酯类。本研究期望为辣条产品的品质优化及风味调控提供研究方法以及理论参考。

参考文献

- [1] 杨恒,王学东,丁贝贝,等.不同糖醇对辣条坯体品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(13):190-197.
- [2] 张倩勉,卢燕霞.综合标准化在辣条质量控制体系中的应用研究[J].农业与技术,2021,41(4):56-59.
- [3] 李梦洁.ICP-OES法测定辣条中的多种金属元素[J].食品工业,2020,41(4):285-288.
- [4] 侯宇豪,蒋书歌.辣条的市场现状及发展方向[J].现代食品,2017,18:30-32.
- [5] 共研研究院.一文带你详细了解2023年调味面制品行业发展现状及前景[EB/OL].[2023-11-02]. <https://caifuhaio.eastmoney.com/news/20231101170229279619320>.
- [6] 人民网.“麻辣王子”走出网红辣条“晋升路”[EB/OL].[2019-02-22]. <http://hn.people.com.cn/n2/2019/0222/c356883-32673068.html>.
- [7] 朱静,吕飞.食品感官分析的研究进展[J].中国调味品,2009,34(5):29-32.
- [8] FICHES G, EVE S A, JOURDREN S, et al. Temporality of perception during the consumption of French grape brandies with different aging times in relation with aroma compound release [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2016, 31(1): 31-40.
- [9] WEI Z, WANG J, ZHANG W. Detecting internal quality of peanuts during storage using electronic nose responses

- combined with physicochemical methods [J]. Food Chemistry, 2015, 17789-17796.
- [10] ISABELLE D, ANNE S, YILIN G, et al. Impact of swallowing on the dynamics of aroma release and perception during the consumption of alcoholic beverages [J]. Chemical Senses, 2011, 36(8): 701-13.
- [11] 张宇,孙波,马艺荧,等.利用TDS法研究保藏时间对辣白菜感官品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(11):83-88.
- [12] PINEAU N, SCHLICH P, CORDELLE S, et al. Temporal dominance of sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time-intensity [J]. Food Quality and Preference, 2009, 20(6): 450-455.
- [13] ZHU Z, ZHOU Q, SUN D. Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments [J]. Trends in Food Science Technology, 2019, 9013-25.
- [14] 吴立根,王岸娜,屈凌波.低场核磁(LF-NMR/MRI)在面粉制品水分分布和超微结构测定中的应用[J].粮食与油脂, 2020,33(6):7-10.
- [15] 刁华玉,林松毅,梁瑞,等.南极磷虾肉冻融循环过程水分的迁移及微观结构变化[J].中国食品学报,2022,22(6): 242-250.
- [16] 马雪婷,尹文婷,李诗佳,等.炒籽温度对芝麻油香气活性组分和感官品质的影响[J].中国油脂,2021,46(8):6-11.
- [17] 司昕蕾,蔡秀荣,曹瑞,等.基于GC-MS技术对甘肃陇南大红袍花椒挥发油柠檬烯芳樟醇含量的测定[J].中国现代中药,2019,21(2):173-175,193.
- [18] 王铁儒,郭丽,马曼,等.SPME-GC-MS与电子鼻结合分析不同酵母混菌发酵猕猴桃酒的挥发性香气物质[J].食品工业科技,2021,42(16):119-128.
- [19] BREWER M. Irradiation effects on meat flavor: A review [J]. Meat Science, 2008, 81(1): 1-14.
- [20] XU L R, CHANG J R, MEI X, et al. Comparative analysis of aroma compounds in French fries and palm oil at three crucial stages by GC/MS-Olfactometry, odor activity values, and aroma recombination [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 102(7): 2792-2804.
- [21] HU Y, ZHANG L, LIU Q, et al. The potential correlation between bacterial diversity and the characteristic volatile flavour of traditional dry sausages from Northeast China [J]. Food Microbiology, 2020, 91(3): 103505.
- [22] 刘发光,肖艳辉,何金明,等.韶关野生竹叶花椒挥发油含量与组分分析[J].河南农业科学,2013,42(2):46-49.
- [23] 杨峥,公敬欣,张玲,等.汉源红花椒和金阳青花椒香气活性成分研究[J].中国食品学报,2014,14(5):226-230.
- [24] 吴素玲,张锋伦,孙晓明,等.杀青等处理对云南昭通青花椒挥发性成分变化的影响[J].中国野生植物资源,2016, 35(2):19-21,53.
- [25] GAO P, WANG W, JIANG Q, et al. Effect of autochthonous starter cultures on the volatile flavour compounds of Chinese traditional fermented fish (Suan yu) [J]. International Journal of Food Science Technology, 2016, 51(7): 1630-1637.
- [26] 何莲,易宇文,彭毅秦,等.基于电子鼻和气质联用分析不同生长期茂县花椒叶挥发性风味物质[J].南方农业学报, 2019,50(3):641-648.
- [27] 王仲,高宇,高洪福,等.不同产地薰衣草花中精油化学成分分析[J].北方园艺,2017,6:140-143.