

麻辣火锅底料的麻辣风味特性及其与咸度关联分析

钟葵¹, 孙甜甜¹, 胡重霞², 史波林¹, 汪厚银¹, 张丽², 赵镭^{1*}

(1. 中国标准化研究院农业食品标准化研究所感官分析研究室, 北京 102200; 2. 重庆德庄实业集团, 重庆 401336)

摘要: 目的 明确麻辣火锅底料中麻辣风味的物质含量与感官强度的关联性, 构建麻辣风味与咸度之间的数学模型。**方法** 采用理化及感官分析方法对 6 个麻辣火锅底料产品的麻、辣、鲜、咸 4 种主要呈味物质含量及典型感官风味特性展开分析, 结合 Stevens 函数解析 4 种呈味物质的物理量与感官强度的关联性, 最后构建麻辣火锅底料产品麻辣物质含量与咸度的线性回归预测模型。**结果** 火锅底料产品中的辣椒素类物质、酰胺类物质含量分别与产品的辣度和麻度之间存在良好的 Stevens 函数拟合度, 同时构建了火锅底料产品咸度与产品中辣椒素类物质、酰胺类物质和盐含量自然对数值的线性回归预测模型($R^2 \approx 0.96$)。**结论** 麻辣火锅底料中麻辣物质含量与辣度和麻度间的关联性符合心理物理学模型, 同时对产品咸度具有显著影响。研究结果可为麻辣物质在食品复杂体系中减盐相关研究及后期低盐产品研制提供数据支撑和应用思路。

关键词: 麻辣火锅底料; 麻辣风味; 咸度; 关联分析

“Málà” flavor characteristics and correlations analysis with saltiness in spicy hotpot seasonings

ZHONG Kui¹, SUN Tian-Tian¹, HU Chong-Xia², SHI Bo-Lin¹, WANG Hou-Yin¹,
ZHANG Li², ZHAO Lei^{1*}

(1. Food and Agriculture Standardization Institute, China National Institute of Standardization, Beijing 102200, China;
2. Chongqing Dezhuang Agricultural Products Development Co., Ltd., Chongqing 401336, China)

ABSTRACT: Objective To clarify the relationships between the content of “málà” flavor substance and sensory intensity in spicy hotpot seasonings, and establish the mathematics model of “málà” flavor substance and saltiness. **Methods** The content of 4 kinds of main flavor substances of spicy, fresh, salty and typical sensory flavor characteristics of 6 spicy hotpot seasoning products were measured by physicochemical and sensory analysis method, 4 kinds of flavor substances in quantities correlation to the intensity of the senses were analyzed combined with Stevens function analysis, and finally a linear regression model was established to predict the content and saltiness of spicy hotpot seasonings products. **Results** There was a good Stevens function fitting between the content of

基金项目: 国家市场监督管理总局科技计划项目(2019MK117)、公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(562018Y-5983)、国家重点研发计划项目(2017YFD0400101)

Fund: Supported by the Science and Technology Program of China State Administration for Market Regulation (2019MK117), the Special Fundamental Research Fund for the Central Public Scientific Research (562018Y-5983), and the National Key Research and Development Program of China (2017YFD0400101)

*通信作者: 赵镭, 博士, 研究员, 主要研究方向为感官分析。E-mail: zhaolei@cnis.ac.cn

*Corresponding author: ZHAO Lei, Ph.D, Professor, China National Institute of Standardization, No.4, Zhichun Road, Haidian District, Beijing 100191, China. E-mail: zhaolei@cnis.ac.cn

capsaicinoids and amide substances and the spicy and numbing intensity in spicy hotpot seasonings, respectively. Meanwhile, a linear regression prediction model was established for the natural logarithm of the saltiness intensity of spicy hotpot seasonings and the content of capsaicinoids, amide substances and salt ($R^2 \approx 0.96$). **Conclusion** The correlations between the content of spicy substance and spicy intensity and numbing intensity of spicy hotpot seasonings are consistent with the psychophysical model, and have a significant influence on the product saltiness. The research results can provide data supports and application ideas for the research on salt reduction of spicy substances in complex food system and the development of low-sodium food in the later period.

KEY WORDS: spicy hotpot seasonings; “málà” flavor; saltiness; correlation analysis

0 引言

麻辣火锅是川渝地区人民的主要饮食,其独特的“麻辣鲜香”风味是备受全国乃至全世界消费者青睐的中国特色美食。随着现代工业化、方便化饮食习惯和方式的转变和需求,麻辣火锅底料产品推动了麻辣火锅的发展^[1]。麻辣火锅底料产品是火锅感官质量和特色风味的重要来源,不仅影响产品的感官和食用品质,同样是影响消费者的饮食偏好和购买习惯的重要因素^[2-3]。麻辣火锅的特色风味主要由底料产品中的辣椒、花椒及各种香辛料等多种物质提供,最终形成麻辣火锅独特的“麻辣鲜香”^[4]。目前,麻辣火锅底料的风味研究主要集中在各种风味成分含量的检测和配比上,采用高效液相色谱法、气相色谱-质谱法等理化分析方法,对底料中主要呈味物质及挥发性香气成分进行定性和定量检测,研究不同风味物质配比和加工方式对火锅底料产品及火锅煮制过程中典型风味的影响^[5-7]。近年来有关于麻辣火锅感官评价的相关报道主要集中在辣度评价上^[1,8],其他风味感官评价,特别是产品中典型风味物质与感官品质的关联性研究较少。此外,目前市面上麻辣火锅底料中含盐量通常在 660~9479 mg/100 g,含盐量偏高,不利于身体健康^[9]。本团队前期研究发现,麻辣火锅中的典型风味,麻、辣及麻辣同时存在时均能够显著增加 NaCl 溶液的咸度,实现“减盐不减味”^[10-12]。这种效果称为跨膜态效应^[13],但真实食品体系中,麻辣风味如何实现增咸减盐尚需进一步研究。

本研究拟对市面上具有不同麻辣风味强度的麻辣火锅底料产品展开研究,通过理化及感官分析手段对产品中麻辣鲜咸等典型风味的物质含量及感官特性进行分析,进一步采用心理物理学 Stevens 函数对麻、辣、鲜、咸 4 种典型风味物理量与心理量的关联性展开研究,构建麻、辣风味与产品咸度之间的预测模型,旨在为麻辣物质在食品复杂体系中减盐相关研究提供基础理论和数据支撑,为后期低盐产品研发和市场开发提供可能理论策略和应用思路。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

6 种麻辣火锅底料样品,均为重庆德庄实业(集团)有

限公司产品,购自当地超市。产品均为牛油麻辣火锅底料,辣度分别为 12°、36°、45°、52°、65°和 75°。根据辣度从低到高,编码依次为 H1 到 H6。感官评价时采用火锅川粉,购自四川川蜀椒吱食品有限公司。

甲醇、四氢呋喃、乙腈、冰醋酸[色谱纯,飞世尔实验器材(上海)有限公司];无水乙醇(分析纯,河南荣腾食品添加剂有限公司);辣椒素、二氢辣椒素标准品(纯度 98%,安徽酷尔生物工程有限公司);羟基- $\alpha/\beta/\gamma$ -山椒素标准品(纯度 $\geq 98.0\%$,成都麦德生科技有限公司);氢氧化钠、酚酞(分析纯,北京化工厂试剂公司);邻苯二甲酸氢钾(分析纯,阿拉丁化学试剂公司);硝酸银、铬酸钾(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司);花椒油树脂(食品级,韩城市宏达花椒香料有限公司)。

色谱测试中所用水均为超纯水,感官分析用水均为景田纯净水,符合 GB 19298—2014《食品安全国家标准包装饮用水》对饮用纯净水的要求。

1.2 仪器与设备

7890A-5975C 气相色谱质谱联用仪、1200 高效液相色谱仪、ZORBAX 300 SB-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μ m)(美国 Agilent 公司);AL 104-1C 型电子天平(精确度 0.0001 g)、PL2002 型天平(精确度 0.01 g)[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];SC-3610 低速离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司);PC-420D 磁力加热搅拌器(美国 Corning 公司);SK250H 超声提取仪(上海科导超声仪器有限公司);DHG-9070A 型电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);DHG-9023A 型恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司);PHSJ-5T 型 pH 计(上海雷磁科学仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 主要呈味物质含量测定

(1)辣椒素类物质含量测定

辣椒素类物质含量测定参考 NY/T 1381—2007《辣椒素的测定 高效液相色谱法》中酸度计法。

样品处理:取样品 500.00 g(精确到 0.01 g),用组织捣碎机均质化,称取 3.00 g(精确到 0.01 g)置于 100 mL 具塞锥形瓶中,加入 25.00 mL 甲醇-四氢呋喃溶液(1:1, V:V),60 °C 水浴超声提取 30 min,冷却至室温后过滤收集滤液。

滤渣连同滤纸重新提取3次, 合并滤液后70~75 °C减压浓缩至30 mL左右, 用甲醇-四氢呋喃溶液定容至50 mL。取1 mL过0.45 μm滤膜进行高效液相色谱法分析。

高效液相色谱条件: 流动相: 甲醇:超纯水(7:3, *V:V*); 流速1.0 mL/min; 荧光检测器: 激发波长229 nm, 发射波长320 nm; 进样量10 μL; 柱温30 °C。

定量分析: 辣椒素及二氢辣椒素含量按照公式(1)计算:

$$M_1 = \frac{m_1 \times V \times 10}{m_0} \quad (1)$$

式(1)中: M_1 为样品中辣椒素或二氢辣椒素含量, mg/100 g; m_1 为上机测试样品中椒素及二氢辣椒素(依据辣椒素或二氢辣椒素标准曲线计算得到), mg/L; V 为提取液体积, mL; m_0 为样品质量, g; 10 为换算系数, 辣椒素类物质含量以辣椒素和二氢辣椒素含量之和除以系数(0.9)进行计算。

(2) 酰胺类物质含量测定

酰胺类物质含量测定参考方正等^[14]的方法。

样品预处理: 准确称取16.00 g火锅底料(精确到0.01 g)置于250 mL棕色具塞锥形瓶中, 加入75.00 mL无水乙醇, 振荡摇匀。20 °C下超声提取20 min, 混合液于2000 r/min离心5 min, 上清液置于200 mL棕色容量瓶中, 滤渣再用少量乙醇清洗2次, 合并滤液定容, 即为母液。移液器吸取0.5 mL母液溶液于10 mL褐色容量瓶中, 用甲醇定容至刻度线, 吸取1 mL过0.22 μm有机系滤膜, 转移至液相进样小瓶中, 待上机测试(每个样品3个平行样)。

色谱条件: 采用ZORBAX 300 SB-C₁₈色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 乙腈(B)-1%冰醋酸(A); 流速: 0.85 mL/min; 检测波长: 270 nm; 进样量: 10 μL。洗脱条件与方正等^[14]方法中一致。

定量分析: 羟基- $\alpha/\beta/\gamma$ -山椒素物质含量采用溶剂外标法计算, 按照公式(2)计算:

$$N_1 = \frac{n_1 \times V_1 \times 20}{n_0 \times 10} \quad (2)$$

式(2)中: N_1 为样品中羟基- $\alpha/\beta/\gamma$ -山椒素含量, mg/100 g; n_1 为上机测试样品中羟基- $\alpha/\beta/\gamma$ -山椒素浓度(依据标准曲线计算得到), μg/mL; 20 为母液稀释倍数; V_1 为母液体积, mL; n_0 为样品质量, g; 10 为换算系数。

其他酰胺类物质含量以羟基- β -山椒素为内标, 采用基质内标法计算。

(3) 氨基态氮物质和盐含量测定

氨基酸态氮含量参考 GB 5009.235—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定》。盐含量测定参考 GB 5009.42—2016《食品安全国家标准 食盐指标的测定》。

1.3.2 感官分析

(1) 样品制备

样品制备员应符合 GB/T 23470.1—2009《感官分析 感官分析实验室人员一般导则 第1部分: 实验室人员职

责》中的要求。考虑到直接食用火锅底料易引起评价员的不适, 因此选择火锅宽粉作为评价产品, 帮助完成麻辣火锅底料的感官评价。将宽粉切成10 cm长, 用水浸泡待用。将饮用水加热至沸腾后备用, 取整包火锅底料, 按照料:水=1:3 倒入沸腾饮用水, 搅匀沸腾后调至小火档位, 保持微沸20 min, 加入20根沥干水分宽粉, 大火煮制5 min, 中途搅拌防止粘锅。快速捞出所有宽粉, 每碗放2根宽粉和30 mL搅拌均匀的汤, 盖上盖后即刻呈送给评价员。

(2) 评价员筛选

评价员应符合 GB/T 16291.1—2012《感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则 第1部分: 优选评价员》中优选评价员要求。筛选优选评价员16位, 其中男性5名, 女性11名, 平均年龄为28±5岁, 每周食麻辣火锅至少1次, 无嗜烟等不良嗜好, 学历水平大学及以上。所有评价员在实验开展前48 h均不食用具有刺激性味道的食物, 保护口腔, 并签署了实验知情同意书。

(3) 评价员培训

正式实验之前对评价员展开培训。培训内容包括 gLMS (generalized labeled magnitude scale) 标度的使用方法和计算校正因子等。gLMS 标度中有6个语义标度, 即: 1.38 为“几乎无感觉(BARELY detectable)”, 5.76 为“弱(weak)”, 16.22 为“中强(moderate)”, 33.11 为“强(strong)”, 50.12 为“非常强(very strong)”, 95.5 为“所有感觉中可想象的最高强度(strongest imaginable sensation of any kind)”。依据给出的语义标度, 并结合想象顶端最强感觉的分值, 将麻辣火锅底料需测量的感官特性强度给出适宜分值, 用以表征所属感觉强度^[14]。感官分析师在实验开始前, 需要对评价员讲解该标度使用方法, 确保正式实验开始前, 每位评价员能够熟知并熟练应用标度。培训期间, 评价员采用重量强度评分进行感觉校正。评价员需对5个视觉上相同的重量(分别为装有52、294、538、789和1028 g砂砾的不透明容器), 采用 gLMS 标度评分^[15]。通过对每个评价员的平均重量强度除以不同重量水平和评价员的总重量值, 得到标准化因子。

(4) 感官特性强度评价

评价员需要对6个麻辣火锅底料的辣、麻、鲜和咸4个感官强度评价, 每个样品重复3次。为避免高频给样引起评价员感官疲劳, 每个样品评价之间设置10~15 min的休息间隔, 并选择水或无盐饼干作为感觉清零剂协助清除口腔残余味道。保证口腔中无余味后再进行下一个样品品尝。样品以3位随机数编码, 随机呈递给评价员, 入口温度为(35±5) °C, 以 gLMS 标度对每个样品打分。将每个评价员对火锅底料样品宽粉各感官特性强度分值3次重复取均值, 并乘以他们的标准化因子为最终数据。

1.4 数据分析

运用 Microsoft Excel 2016 软件对数据进行汇总, 采用 IBM SPSS Statistics 23.0 进行相关统计分析, 采用 Origin 2020 作图。

2 结果与分析

2.1 主要风味物质含量测定

对 6 种麻辣火锅底料 H1~H6 中提供辣、麻、鲜和咸口味的主要物质含量进行测定, 具体结果如图 1 所示。

麻辣火锅中的辣感主要由辣椒素类物质提供, 辣椒素类物质是以辣椒素和二氢辣椒素为主的一类物质^[16], 其含量通常以辣椒素和二氢辣椒素含量总和除以系数(0.9)进行计算^[17]。如图 1A 所示, 产品中辣椒素含量依次递增, 辣椒素总物质含量分布范围为 1.13~295.48 mg/100 g, 不同产品的辣椒素类物质总含量均具有显著差异($P<0.05$)。

6 种火锅底料产品中共检测出酰胺类物质 17 种。花椒中主要的呈麻酰胺物质包括有羟基- α -山椒素、羟基- β -山椒素、羟基- ϵ -山椒素、羟基- γ -山椒素、羟基- γ -异山椒素、 γ -山椒素和花椒油素 7 种物质^[18]。其中, 羟基山椒素类物质占呈麻酰胺类总物质含量 90%以上。由图 1B 可知, 除产品 H1 外, 其余 5 款产品均含有呈麻酰胺类物质, 7 种呈麻酰胺类物质总含量分布范围为 182.68~459.83 mg/100 g。不同样品中的酰胺

类物质总含量均存在显著差异($P<0.05$), 其中 H5 的含量最高。7 种呈麻酰胺类物质中, 以羟基- α -山椒素含量最高。

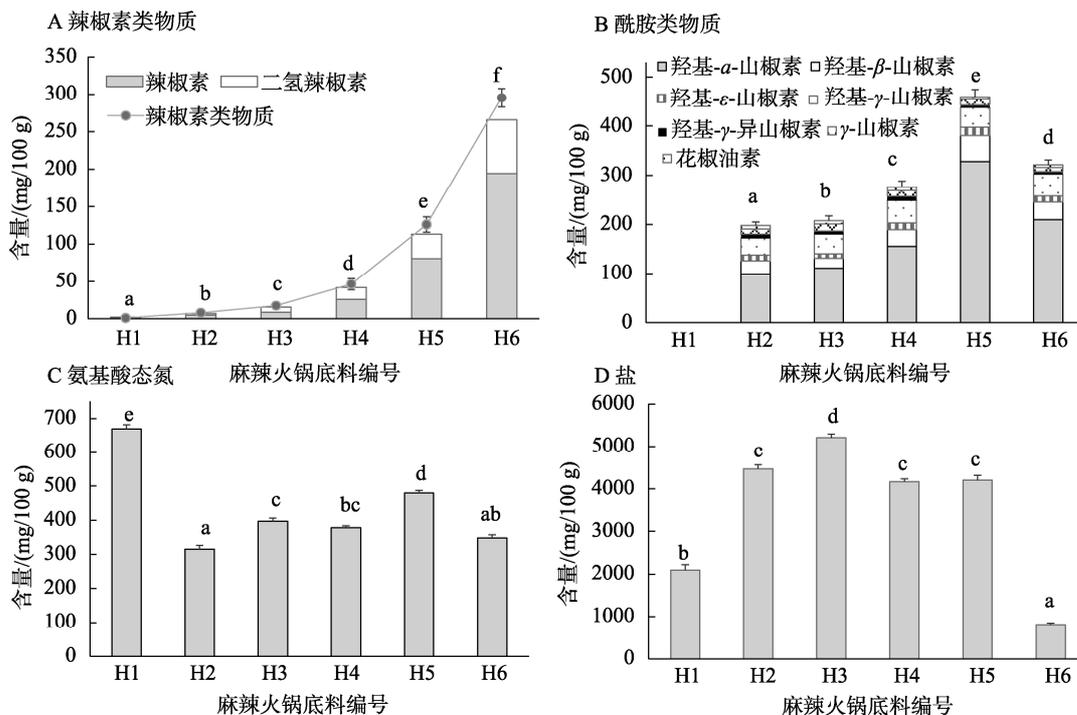
氨基酸态氮是指以氨基酸形式存在的氮元素, 含量越高表明鲜味越强^[19]。由图 1C 可知, 不同样品之间氨基酸态氮含量分布范围为 315.29~668.97 mg/100 g。不同样品间氨基酸态氮含量存在显著差异($P<0.05$), 其中 H1 样品氨基酸态氮含量最高, H2 样品最低。

盐(氯化钠)是产品中呈咸物质的重要指标^[20], 由图 1D 可知, 不同样品之间盐含量分布范围为 813.99~5211.59 mg/100 g。除 H2、H4 和 H5 之间无显著性差异外($P>0.05$), 不同样品间盐含量存在显著差异($P<0.05$), 其中 H3 盐含量最高, H6 盐含量最低。

2.2 典型风味感官评价

采用感官评价小组, 对 6 款麻辣火锅底料产品的主要口味特性强度打分, 采用 gLMS 标度法进行评分。标度法属于数字量化的感官体验, 使得感官评价成为基于统计分析、模型、预测和理论的定量科学^[21]。评价指标包括辣度、麻度、鲜度和咸度, 具体评分值如图 2 所示。

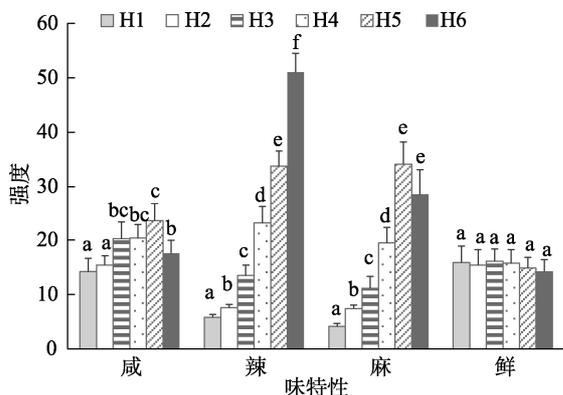
除鲜度外, 6 个产品的麻度、辣度和咸度均存在不同程度的差异。从 H1 到 H6 样品, 产品的辣度显著增加($P<0.05$), 强度从弱(H1 和 H2)到中强(H3)、中强到高强之间(H4)、强(H5), 直到非常强(H6)。麻度整体上随辣度呈现



注: 不同小写字母表示不同样品之间具有显著差异($P<0.05$)。

图 1 麻辣火锅底料产品中主要呈味物质含量($n=3$)

Fig.1 Main flavor substances content of spicy hotpot seasonings products ($n=3$)



注: 不同小写字母表示相同口味下不同产品之间具有显著差异 ($P < 0.05$)。

图 2 麻辣火锅底料产品主要口味特性强度($n=3$)

Fig.2 Intensities of major flavor characteristics of spicy hotpot seasonings products ($n=3$)

逐渐增强的趋势, 但对于辣度分别为强和非常强的 H5 和 H6 产品, 其麻度均为强, H6 的麻度并没有如辣度一样, 到达非常强的程度。鲜度上, 6 个样品的鲜度均属于中强, 且没有显著差异 ($P > 0.05$)。产品的咸度主要集中在中强度到中高范围强度内, 其中 H5 的咸度显著高于 H1 和 H2, 其他产品差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3 风味物质和感官评价的关联性分析

刺激的物理强度和感觉强度之间可以用函数进行拟合,

通常包括 Weber 定律、Fechner 定律、Stevens 定律和 Beidler 定律^[22]。这些称为心理物理学函数, 是研究物理刺激量与心理量之间函数关系的学科^[23]。通过建立心理物理学模型可以很好地了解刺激物理量与感知强度之间的关系^[24]。Stevens 定律认为感觉强度与物理刺激之间呈双对数关系, 即幂函数关系^[25]。本研究根据所得 6 个麻辣火锅底料的感官强度结果与理化结果进行 Stevens 函数关联分析, 函数拟合结果如图 3 所示。

麻辣火锅底料的辣椒素类物质含量与辣度之间存在良好的 Stevens 函数拟合关系, 模型拟合系数 r^2 为 0.9521(图 3A)。H1 样品中不含有呈麻酰胺类物质, 但另外 5 个样品中呈麻酰胺类物质含量与麻度之间同样呈现良好的函数拟合关系, r^2 为 0.9472(图 3B)。本团队前期研究结果表明, 不同浓度的 NaCl 模拟体系(从低咸度到高咸度), 花椒树脂物质含量与麻度、辣椒素类物质含量与辣度之间均呈现良好的幂指数相关性^[10-12]。但目前真实食品体系下, 辣度和麻度与呈味物质含量之间的研究报道较少。

Stevens 函数中, 幂指数 n 代表了物理浓度的变化与感觉强度变化的快慢关系。 $n > 1$ 时表示感觉强度增长快于物理刺激增长, $n < 1$ 刚好相反, $n = 1$ 表示速度一致^[26-27]。不同感觉的 n 值差异很大, 基质不同, 感觉的 n 值也会发生变化^[28]。目前, 大部分报道中辣和麻风味的 n 值均小于 1^[28-29]。本研究结果表明, 辣的 n 值小于 1, 与文献报道较为一致, 但麻的 n 值大于 1, 推测与食品复杂体系有关。

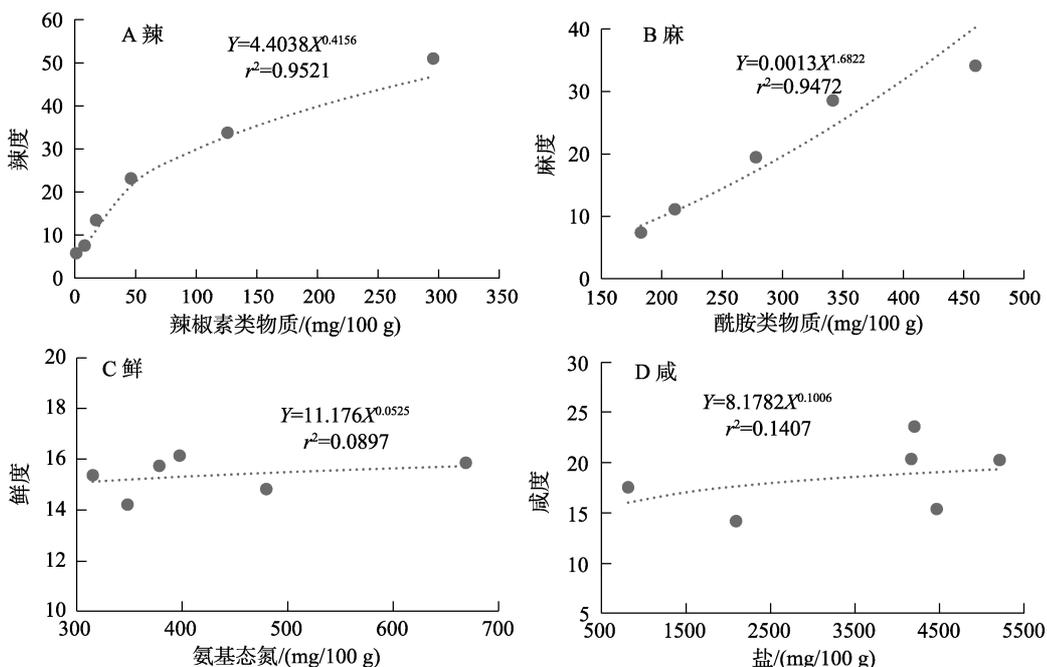


图 3 主要口味物质含量与感官强度的 Stevens 函数拟合曲线

Fig.3 Stevens fitting curves of the main flavor substances content and sensory intensity

图 3C~3D 结果表明, 鲜味物质(氨基态氮)和咸味物质(氯化钠)含量与感觉强度之间并没有呈现良好的幂指数关系。6 款样品氨基酸态氮类物质差异显著, 但鲜度没有显著差异。推测与产品添加香精香料等物质相关。样品咸度与氯化钠物质含量也未呈现良好关联性, 表明样品咸度并非氯化钠含量的独立结果, 感官上人的感受强度并不与理化含量数据保持一致。因此, 后期进一步对影响咸度相关因素展开分析。

2.4 咸度与主要风味物质含量的模型拟合

复杂食品体系和组分会影响产品的咸度, 风味之间的跨膜态效应对体系中的咸味有显著影响, 单独的麻、辣以及麻+辣背景下, 均可以显著增强氯化钠溶液体系的咸度, 降低氯化钠用量^[10-12]。因此, 当存在麻、辣等风味时, 食品体系的咸度不仅受到盐含量的影响, 同样受到辣椒素类物质和花椒酰胺类物质含量的影响。但相关研究主要针对的氯化钠的模型体系, 尚未有真实食品体系的研究结果。本研究也发现, 咸度和盐含量之间并不存在良好的函数关系, 推测与产品体系中的麻辣有关联。进一步对咸度与辣椒素物质、花椒酰胺物质及食盐含量之间进行函数拟合。将辣椒素类物质含量、酰胺类物质含量和盐含量的自然对数值作为自变量, 咸度作为因变量进行线性回归分析。由表 1 可见, 模型方差分析 $F=39.335$ 、 $P=0.025<0.05$, 表明模型构建有意义。

进一步对模型参数进行分析, 如表 2 所示。模型公式为: $Y(\text{咸度})=-29.931+5.722\ln(\text{辣椒素物质含量})-1.687\ln(\text{酰胺物质含量})+3.321\ln(\text{盐含量})$ 。模型拟合系数 $R^2=0.983$ 、调整 $R^2=0.958$, 表明辣椒素类物质含量、酰胺类物质含量和盐含量可以解释咸度至少 95.8% 的变化原因。3 个因素回归系数值的 P 均显著小于 0.05, 表明 3 个物质对于产品

最终咸度均具有显著影响($P<0.05$)。多重共线性检验结果发现, 模型中酰胺类物质和盐的 VIF 值大于 5, 但小于 10, 表明存在一定共线性问题, 但对模型无显著影响^[30]。

表 1 模型方差分析
Table 1 ANOVA of the linear regression model

	平方和	df	均方	F	P
变量	60.057	3	20.019	39.335	0.025
残差	1.018	2	0.509		
总计	61.075	5			

3 讨论与结论

本研究对 6 个麻辣火锅底料样品的辣椒鲜咸 4 种主要风味物质含量及感官特性强度进行测定和分析, 采用 Stevens 函数对风味物质理化数据和感官数据进行了关联分析, 并构建产品咸度与辣椒素类物质、酰胺类物质和盐物质之间的线性回归预测模型。结果表明: 不同产品之间的主要的辣椒素类物质、酰胺类物质、氨基态氮类物质和盐含量上存在显著差异, 感官评价结果同样表明产品的麻、辣和咸风味特性强度差异显著, 鲜度没有显著差异。麻和辣的感官强度与物理量之间存在着良好的 Stevens 函数拟合关系, 表明符合心理物理学理论, 但鲜度和咸度并未发现类似结果。火锅底料样品的咸度与产品中辣椒素类物质、酰胺类物质和盐含量的自然对数值之间有着良好的线性回归关系, 模型拟合度 $R^2=0.958\sim 0.96$, 表明辣椒素类物质、酰胺类物质和盐均对产品的咸度有显著影响。研究结果为后期麻辣物质在食品复杂体系中减盐相关研究及低盐产品的研制和应用等方面提供了数据参考和新思路借鉴。

表 2 模型相关参数

Table 2 Parameters of the linear regression model

	非标准化系数		标准化系数	t	P	95%置信区间	VIF 值
	B	标准误	Beta				
常数	-29.931	5.808	-	-5.153	0.036*	-41.315~18.547	-
辣椒素类物质含量	5.722	0.754	1.161	7.593	0.017*	4.245~7.199	2.807
酰胺类物质含量	-1.687	0.386	-1.121	-4.376	0.048*	-2.443~-0.932	7.879
盐含量	3.321	0.453	1.928	7.335	0.018*	2.434~4.209	8.290

注: -表示无此项, $R^2=0.983$ 、调整 $R^2=0.958$; 方差膨胀系数(variance inflation factor, VIF); *表示有显著性, $P<0.05$ 。

参考文献

- [1] 杨莉, 张森, 贾洪峰, 等. 基于高效液相色谱法的麻辣火锅底料辣度分级模型建立及其在熬煮过程中的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(4): 233-239.
YANG L, ZHANG M, JIA HF, et al. Modeling for pungency grading of spicy hotpot seasonings based on capsaicinoids content determined by HPLC and analysis of its changes during boiling [J]. Food Sci, 2021, 42(4): 233-239.
- [2] 张杰, 薛艳霞, 李昌禹, 等. 火锅底料中两种动物油脂的风味与感官特

性对比研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(8): 16-19.

ZHANG J, XUE YX, LI CY, et al. Comparative study of the flavor and sensory characteristics of two animal oils in hotpot seasoning [J]. China Cond, 2020, 45(8): 16-19.

- [3] JAYASENA DD, AHN DU, NAM KC, et al. Flavors chemistry of chicken meat: A review [J]. Asian-Australas J Anim Sci, 2013, 26(5): 732-742.

- [4] 郭琳, 曹鹤雯, 张漫地, 等. 东北地区火锅底料市场调查与产品开发研究[J]. 大连大学学报, 2019, 40(2): 106-111, 128.

GUO L, CAO HW, ZHANG MD, et al. Market survey and product research and development of hotpot condiments in Northeast China [J]. J

- Dalian Univ, 2019, 40(2): 106–111, 128.
- [5] 杨莉, 贾洪锋, 杨芳, 等. HS-SPME 结合 GC-MS 分析麻辣火锅底料炒制和熬煮过程中挥发性物质的变化[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 52–59.
YANG L, JIA HF, YANG F, *et al.* Analysis of changes in volatile components during parching and boiling of spicy hotpot seasoning by GC-MS combined with HS-SPME [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(19): 52–59.
- [6] 杨瑞香, 马丽娅, 王宇, 等. 基于 SPME/GC-MS 对清油麻辣火锅底料挥发性风味成分分析[J]. 食品工业, 2020, 41(6): 310–313.
YANG RX, MA LY, WANG Y, *et al.* Analysis of volatile flavor components of oily spicy hot pot seasoning based on SPME/GC-MS [J]. *Food Ind*, 2020, 41(6): 310–313.
- [7] 杨莉, 贾洪锋, 宋璐杉, 等. 烫煮后麻辣火锅底料汤底及食材中辣椒素类物质的迁移变化[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 304–309.
YANG L, JIA HF, SONG LS, *et al.* Migration of capsaicinoids from spicy hotpot soup into foodstuffs during cooking [J]. *Food Sci*, 2020, 41(6): 304–309.
- [8] 李德建, 李沿飞, 李洪军, 等. 麻辣火锅底料辣度标准化及李氏辣度研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(9): 167–169.
LI DJ, LI YF, LI HJ, *et al.* Research on the standardization of pungency degree of spicy hotpot seasoning and Li spicy unit [J]. *China Cond*, 2018, 43(9): 167–169.
- [9] SUN TT, ZHAO L, ZHONG K, *et al.* Study of optimizing the formula of low-salt spicy hotpot seasonings by response surface method [J]. *China Cond*, 2021, 46(1): 128–134.
- [10] 孙甜甜, 赵镭, 钟葵, 等. 响应面法优化低盐麻辣火锅底料配方工艺研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 128–134.
SUN TT, ZHAO L, ZHONG K, *et al.* Study of optimizing the formula of low-salt spicy hotpot seasonings by response surface method [J]. *China Cond*, 2021, 46(1): 128–134.
- [11] ZHANG LL, ZHAO L, ZHANG QB, *et al.* The effect of the SPS pungent sensation elicited by Sichuan pepper oleoresin on the sensory perception of saltiness throughout younger and older age groups [J]. *Food Qual Prefer*, 2020, 86: 103987.
- [12] ZHANG QB, ZHAO L, GAO HY, *et al.* The enhancement of the perception of saltiness by Sichuan pepper oleoresin in a NaCl model solution [J]. *Food Res Int*, 2020, 136: 109581.
- [13] WANG Y, ZHONG K, SHI BL, *et al.* Cross-modal effect of capsaicin and pepper oleoresin on the enhancement of saltiness perception in a NaCl model solution [J]. *Food Qual Prefer*, 2022, 98: 104542.
- [14] 方正, 高海燕, 赵镭, 等. 花椒油树脂加速贮藏期间麻味物质组成及麻感变化[J]. 中国调味品, 2019, (8): 1–7.
FANG Z, GAO HY, ZHAO L, *et al.* Changes of pungent substances and pungency characteristics of pepper oleoresin during the accelerated storage period [J]. *China Cond*, 2019, (8): 1–7.
- [15] MARY-JON L, RICHARD DM. Noxious stimuli sensitivity in regular spicy food users and non-users: Comparison of visual analog and general labeled magnitude scaling [J]. *Chemosens Percept*, 2011, 4(4): 113–123.
- [16] JACLYN J, KALVACA, SIMS LA, *et al.* Comparison of the hedonic general labeled magnitude scale with the hedonic 9-point scale [J]. *J Food Sci*, 2014, 79(2): S238–S245.
- [17] 徐彦辉, 刘燕, 丁磊. GPC-HPLC-MS/MS 法测定食用油中天然辣椒素、二氢辣椒素和合成辣椒素含量[J]. 化学分析计量, 2016, 25(5): 72–76.
XU YH, LIU Y, DING L. Determination of capsaicin, dihydrocapsaicin and nonivamide in edible oil by GPC-HPLC-MS/MS [J]. *Chem Anal Met*, 2016, 25(5): 72–76.
- [18] 李杨梅, 张丽, 唐毅, 等. 麻辣火锅底料中辣椒素类物质的检测方法探究[J]. 食品工业, 2018, 39(11): 179–183.
LI YM, ZHANG L, TANG Y, *et al.* The study of detection method of capsaicinoids in spicy hotpot seasoning [J]. *Food Ind*, 2018, 39(11): 179–183.
- [19] 徐珊珊. 汉源花椒麻味特征研究[D]. 上海: 上海大学, 2018.
XU SS. Study on characteristic pungency and aroma of Hanyuan *Zanthoxylum bungeanum* [D]. Shanghai: Shanghai University, 2018.
- [20] 梁寒峭, 陈建国, 刘伟, 等. 酿造酱油中特征氨基酸含量检测及对氨基酸态氮贡献的分析[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 198–203.
LIANG HQ, CHEN JG, LIU W, *et al.* Analysis of amino acids content and contribution to amino nitrogen in fermented soy sauce [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 44(4): 198–203.
- [21] 宋文敏, 匡威, 秦乐蓉, 等. 不同减盐配方下卤鸭和卤汤盐含量测定及变化规律分析[J]. 肉类工业, 2020, (3): 13–20.
SONG WM, KUANG W, QIN LR, *et al.* Determination of salt content of stewed duck and stewed soup and analysis of change law in different salt-reducing formula [J]. *Meat Ind*, 2020, (3): 13–20.
- [22] 张璐璐, 汪厚银, 史波林, 等. 凉感强度参比标度的建立及其时间-强度动态变化[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 38–42.
ZHANG LL, WANG HY, SHI BL, *et al.* Establishment of reference scale for and dynamic temporal change of cooling intensity [J]. *Food Sci*, 2016, 37(3): 38–42.
- [23] 李晶. 心理物理学纲要[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.
LI J. Element of psychophysics [M]. Beijing: China Renmin University Press, 2014.
- [24] BARTOSHUK LM, SNYDER DJ. Psychophysical measurement of human taste experience [M]. Boston: Neurobiology of Food and Fluid Intake, Springer, 2004.
- [25] LAWLESS H, HEYMANN H. Sensory evaluation of food principles and practices [M]. New York: Springer US, 2010.
- [26] 朱滢. 实验心理学(第四版)[M]. 北京: 北京大学出版社, 2016.
ZHU Y. Foundations of experimental psychology (4th Ed) [M]. Beijing: Peking University Press, 2016.
- [27] GOVINDARAJAN VS, SALZER UJ. Capsicum-production, technology, chemistry, and quality. Part III. Chemistry of the color, aroma, and pungency stimuli [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1986, 24(3): 245–355.
- [28] 张璐璐. 椒麻感的心理物理学实验研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019.
ZHANG LL. Psychophysical experimental study of the pungency sensation evoked by Chinese pepper [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2019.
- [29] CHOI JH, CHUNG SJ. Optimal sensory evaluation protocol to model concentration–response curve of sweeteners [J]. *Food Res Int*, 2014, 62: 886–893.
- [30] 邵鸿翔. 线性回归方法在数据挖掘中的应用和改进[J]. 统计与决策, 2012, (14): 76–80.
SHAO HX. Application and improvement of linear regression method in data mining [J]. *Statis Decis*, 2012, (14): 76–80.

(责任编辑: 郑丽 韩晓红)

作者简介



钟葵, 博士, 副研究员, 主要研究方向为感官分析与消费。

E-mail: zhongkui@cnis.ac.cn



赵镭, 博士, 研究员, 主要研究方向为感官分析。

E-mail: zhaolei@cnis.ac.cn