

基于多元统计分析不同品牌牛肉汤的水溶性 滋味物质差异对比

王琳^{1,2}, 韩森森³, 李聪^{1,2}, 蔡克周^{1,2}, 周辉^{1,2*}, 徐宝才^{1,2}

(1. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230009) (2. 农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽合肥 230009) (3. 蒙城预制菜产业发展研究院, 安徽亳州 236000)

摘要: 为了探明牛肉汤中主要滋味物质及不同品牌牛肉汤之间的滋味差异, 选取七个品牌的牛肉汤作为研究对象, 采用液相色谱、氨基酸分析仪和电子舌等测定样品中的滋味物质。结果表明: 七个品牌的牛肉汤共鉴定出 17 种游离氨基酸和 5 种呈味核苷酸, 主要滋味为酸味、苦味、咸味、鲜味、Kokumi 和后味。不同的加工工艺导致牛肉汤中固形物、盐和水溶性蛋白含量都有着显著的影响, 进而影响牛肉汤的滋味。偏最小二乘分析 (PLS-DA) 表明肌苷 (Inosine, I)、谷氨酸 (Glutamic acid, Glu)、丝氨酸 (Serine, Ser)、次黄嘌呤 (Hypoxanthine, HX) 和苯丙氨酸 (Phenylalanine, Phe) 是这七种牛肉汤中主要滋味差异物质, 偏最小二乘回归 (PLSR) 确定了影响牛肉汤口感的 17 种滋味物质。该研究为进一步改善牛肉汤品质和滋味定向调控提供了基础。

关键词: 牛肉汤; 滋味特征; 电子舌; 感官评价; 多元统计分析

文章编号: 1673-9078(2024)03-272-280

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.3.0238

Comparison of Water-soluble Flavor Compounds in Beef Soup of Different Brands Based on Multivariate Statistical Analysis

WANG Lin^{1,2}, HAN Sensen³, LI Cong^{1,2}, CAI Kezhou^{1,2}, ZHOU Hui^{1,2*}, XU Baocai^{1,2}

(1. School of Food and Biological Engineering, Hefei Normal University, Hefei 230009, China) (2. Engineering Research Center of Bio-process of Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China) (3. Mengcheng Prefabricated Vegetable Industry Development Research Institute, Bozhou 236000, China)

Abstract: To explore the major flavor substances in beef soup and the flavor differences between different brands of beef soup, seven brands of beef soup were selected, and their flavor substances were determined using liquid chromatography, amino acid analyzers, and electronic tongues. Seventeen free amino acids and five flavor nucleotides were identified in seven brands of beef soup, with the main flavors being sourness, bitterness, saltiness, umami, Kokumi, and aftertaste. The contents of solids, salt, and water-soluble proteins in beef soup are influenced by the processing techniques, which in turn affects the flavor of the beef soup. The five main substances causing flavor differences are I, Glu, Ser, HX, and Phe, according to

引文格式:

王琳, 韩森森, 李聪, 等. 基于多元统计分析不同品牌牛肉汤的水溶性滋味物质差异对比 [J]. 现代食品科技, 2024, 40(3): 272-280.

WANG Lin, HAN Sensen, LI Cong, et al. Comparison of water-soluble flavor compounds in beef soup of different brands based on multivariate statistical analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(3): 272-280.

收稿日期: 2023-02-28

基金项目: 安徽省重大科技专项 (202003b06206020023); 安徽省现代农业工业技术体系专项基金 (AHCYJSTX-05-18)

作者简介: 王琳 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: wanglin_llzz@163.com

通讯作者: 周辉 (1972-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: zhouhui@hfut.edu.cn

the partial least squares discriminant analysis (PLS-DA). Seventeen flavor substances affecting the texture of beef soup were determined by partial least squares regression (PLSR). The results provide a basis for further study on the directional regulation of the quality and flavor of beef soup.

Key words: beef soup; flavor characteristics; electronic tongue; sensory evaluation; multivariate statistical analysis

牛肉汤作为一种深受人们喜爱的美食，已经有几千年的历史，世界各国都有着喝汤的习惯，例如俄罗斯的罗宋汤、日本的味增汤以及中国的牛肉汤等。汤类饮食种类繁多，味道丰富，制作简单，并且汤中营养丰富，富含多种水溶性营养物质^[1]，如游离氨基酸、B族维生素、小肽、肌酸和其他容易被人体吸收和利用的物质。不同的加工工艺对于肉汤的营养成分和滋味都有着不同程度影响，Li等^[2]研究了槲皮素和肉桂醛对牛肉汤炖煮过程中营养成分和化学特征物质变化的影响，研究发现，槲皮素降低了牛肉汤中总糖和蛋氨酸的含量，增加了固体物质、不饱和脂肪酸和锌的含量。肉桂醛降低了牛肉汤中的总糖、天冬氨酸和锌含量，但增加了总脂肪酸。Wang等^[3]研究了炖煮过程对牛肉汤中化合物含量的影响，并且利用高效液相色谱法测定了牛肉汤中的氨基酸、核苷酸和有机酸，发现不同的炖煮工艺的牛肉汤中营养物质有着显著差异。目前肉汤的研究主要集中于加工工艺对于肉汤的营养物质和风味成分的影响以及加工工艺的优化。Yang等^[4]考察了加盐方式对于鸡汤呈味方式的影响，结果发现，煮制前加盐鸡汤中的氨基酸、核苷酸和有机酸的含量要显著高于其他两种加盐方式煮制的鸡汤。Dong等^[5]通过酶解预处理鸡肉，结果发现鸡汤中可溶性蛋白和呈味核苷酸有着显著增加。然而，对于肉汤中的特征滋味物质研究较少。

淮南牛肉汤是苏豫鲁皖沪一带的特色小吃，以江淮一带的黄牛为原料，如牛肉、牛骨等，再添加几十种滋补药材和卤料按照一定的比例熬制而成。与多数传统小吃一样，淮南牛肉汤通常以小作坊形式进行生产，生产规模小，缺乏集体商标和规模性品牌效应，因此难以形成统一的产品标准与规范。明确淮南牛肉汤的特征滋味物质，优化牛肉汤熬煮工艺、标准化牛肉汤加工和营养配方，对实现牛肉汤的商品化具有重要意义。

滋味物质的分析主要采用色谱法。Sun等^[6]通过高效液相色谱法测定了不同蒸煮方式下的蘑菇汤中的呈味游离氨基酸和呈味核苷酸，发现烹饪通过增加释放常量营养素和微量营养素来提高蘑菇的营

养价值。Dong等^[5]通过氨基酸自动分析仪和高效液相色谱分别测定了酶解预处理后的鸡汤中的游离氨基酸和呈味核苷酸。电子舌是一种利用多传感阵列感测液体样品的特征响应信号，通过信号模式识别处理及专家系统学习识别，对样品进行定性或定量分析的一类新型分析测试技术设备。与传统的方法如色谱法、光谱法、毛细管电泳法不同的是，电子舌技术获得的不是被测样品中某一种或几种成分的具体性质和含量信息，而是被测样品的所有组分的一个整体的综合信息，如同食品的“指纹图谱”。Hu等^[7]发现电子舌可以有效区分不同地域的鱼汤。

本文主要基于多元统计分析，测定7种不同品牌的牛肉汤的滋味，确定淮南牛肉汤的特征滋味和七种牛肉汤的滋味差异。

1 材料与方法

1.1 样品采集

通过前期市场调研，筛选出7个市场知名度较高的本土品牌，分别为小段(XD)、汤贝仙(TBX)、花蜜(HM)、缘久(YJ)、白蓝(BL)、老李(LL)、百味陈(BYC)，样品在-80℃下保存，一周内完成测试。7个样品的加工工艺均参照安徽地方标准(DB34/T929-2020)，对配料和烹饪过程进行了轻微修改。

牛肉汤的制备工艺如下：将洗净的牛骨、牛肉、葱和鲜姜片按一定质量比(100:30:20:1.5:1.5)混合，加入香料A大火煮沸，转小火微沸4h。去除香料A，恢复水位。加入香料B和盐(0.16:1.2)，将混合物煮沸，得到牛肉汤。香辛料主要有八角、花椒、桂皮、小茴香、白芷、草果、陈皮、肉蔻和丁香等，不同品牌添加的含量有所不同。

1.2 化学试剂

牛血清白蛋白，北京索莱宝科技有限公司；无水硫酸铜、酒石酸钾钠、氢氧化钠、三乙胺、高氯酸、磷酸分析纯，中国阿拉丁公司；腺苷二磷酸(Adenosine Diphosphate, ADP)、磷酸腺苷(Adenosine Monophosphate, AMP)、鸟苷酸

(Guanosine Monophosphate, GMP)、肌苷 (Inosine, I)、肌苷酸 (Inosine Monophosphate, IMP), 次黄嘌呤 (Hypoxanthine, Hx) 标准品, 中国阿拉丁公司; 甲醇色谱纯, 中国阿拉丁公司; 17 种氨基酸标准品 2.5 $\mu\text{mol/mL}$ 、茚三酮, 德国 SYKAM 公司。

1.3 仪器与设备

ME204E-02 型电子分析天平, 瑞士梅特勒一托利多仪器有限公司; Synergy H1 酶标仪, 美国佛蒙特州 BioTek 仪器公司; 氨基酸自动分析仪, 德国 SYKAM 公司; SA402B 电子舌系统, 日本 INSENT 公司; S6000 高效液相色谱仪, 中国华谱科仪有限公司。

1.4 方法

1.4.1 理化指标

固形物: 取 7 种品牌 10 g 牛肉汤样品于称量瓶后, 置于 100 $^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重; 盐含量: 使用 ISM-146 Na 全钠测量系统 (美国洛杉矶 Lazar 研究实验室有限公司) 测定盐含量, 测量前用溴化钾校准, 每个样品测量三次; 可溶性蛋白: 测定前先用牛血清蛋白绘制标准曲线, 然后取解冻完成的肉汤样品 0.5 mL 于试管中, 加入蒸馏水将溶液总体积补充至 1 mL, 混匀, 每个比色管中加入双缩脲试剂 4 mL, 摇匀, 室温下反应 30 min, 在 540 nm 波长处测定吸光值, 根据标准曲线, 计算肉汤蛋白浓度。

1.4.2 感官评价

通过描述性剖面分析, 研究了 7 个品牌牛肉汤样品滋味的差异。20 名经过培训的评估人员 (10 名女性和 10 名男性, 年龄在 18 至 30 岁之间) 根据国际标准 (ISO6658: 2017-07) 中的定量描述和感官轮廓测试方法, 在感官实验室评估牛肉汤样品。牛肉汤样品通过描述性分析进行评估。根据培训团队的评估结果, 确定了以下滋味感官指标: 酸味、苦味、咸味、鲜味、kokumi、后味。该组成员被给予 50 mL 牛肉汤, 滋味强度在 1 (非常弱) 到 9 (非常强) 之间。并且提供天然产品为对照, 包括结晶柠檬酸 (酸味, 0.43 g/L)、苯酸苯铵酰胺 (苦味, 0.022 mg/L)、无水氯化钠 (咸味, 0.19 g/L)、蔗糖 (甜味, 5.76 g/L) 和谷氨酸钠 (鲜味, 0.595 g/L)。将样品放入 100 mL 无味透明塑料杯中, 并用三个随机数字编号。在评估过程中, 评估人员在评估每组样本后休息 5 min。对所有样本重复该过程五次^[8,9]。

1.4.3 电子舌

牛肉汤样品先用滤纸过滤去除油脂, 将滤液稀释 100 倍后取 50 mL 进行检测。电子舌系统设定为两次清洗法, 第一次清洗溶剂: 90 s, 第二次清洗溶剂: 120 s, 第三次清洗溶剂 120 s, 调解溶剂: 30 s, 样品液 30 s, 第四次清洗溶液 3 s, 第五次清洗溶液 3 s, 清洗标准溶液 30 s。使用的电子舌传感器为: AAE、CT0、CA0、C00、AE1, 传感器所代表的相应特征为鲜味、咸味、酸味、苦味、涩味。

1.4.4 游离氨基酸

取 2 mL 牛肉汤样品与离心管中, 加入 4 mL 体积分数为 4% 的磺基水杨酸溶液, 超声浸提 30 min, 每 5 min 上下颠倒一次, 浸提结束后静置 10 min。将上清液转移至 2 mL 离心管中, 4 $^{\circ}\text{C}$ 下以 12 000 r/min 离心 30 min。离心后, 用 1 mL 注射器转移 1 mL 上清液 (过 0.22 μm 水系滤膜) 于注射瓶中待用, 用氨基酸自动分析仪测量。

1.4.5 呈味核苷酸

取 5 mL 牛肉汤, 加入 20 mL 体积分数为 5% 的高氯酸溶液, 离心 (4 $^{\circ}\text{C}$, 12 096 g, 10 min)。上清液用 KOH 溶液调节 pH 值至 4.5, 离心 (4 $^{\circ}\text{C}$, 12 096 g, 10 min), 过 0.45 μm 水相滤膜。将 10 μL 滤液注入高效液相色谱 (安捷伦 1100)。

高效液相色谱 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) (waters, F695) 配 2998 PDA 检测器; 色谱柱为 X Bridge C18 柱 (5 μm , 4.6 mm \times 250 mm), 柱温为 25 $^{\circ}\text{C}$; 紫外检测器 (254 nm)。流动相: 洗脱液 A 为 0.05 mol/L 磷酸二氢钾缓冲液 (pH 值 4.5), 洗脱液 B 为甲醇; 流动相经 0.45 μm 滤膜过滤后使用。洗脱程序: 梯度洗脱, 0 min 时洗脱液 A 98%, 保持 14 min, 15 min 时降至 85% 保持 7 min, 在 22 min 时再升至 98%, 保持 9 min, 流速: 1 mL/min。核苷酸的定量是通过外标法确定。所测核苷酸包括: 5'-鸟苷酸 (GMP)、5'-肌苷酸 (IMP)、5'-腺苷酸 (AMP)、次黄嘌呤 (Hx) 和肌苷 (I)。

1.5 数据处理

所有数据均以三个平行的平均值 \pm SD (标准差) 值表示。使用 SPSS 软件包 (SPSS 22.0, 美国伊利诺伊州芝加哥) 进行单向方差分析 (ANOVA)。使用 Duncan 多范围检验比较平均值, $P < 0.05$ 被定义为显著差异。Metabo Analyst 5.0 用于执行主成分分析

(PCA) 和偏最小二乘判别分析 (PLS-DA), 分析滋味成分的差异, 并确定 7 个样本中的差异标记化合物。采用 Unscrambler X 10.4 对牛肉汤中的滋味成分和感官属性进行 PLSR 分析。

2 结果与分析

2.1 理化指标

7 种品牌牛肉汤的理化指标如图 1 所示。固形物包含了汤中的各种营养成分和风味物质, 是检验汤类食品品质的一个重要的指标。从图 1a 可以看出, 7 种品牌牛肉汤的固形物含量存在显著差异 ($P < 0.05$), 其中 XD 样品的固形物含量最高 (4.58 g/100 g), YJ 样品的固形物含量最低 (1.87 g/100 g), BL、HM 和 TBX 的固形物含量相近且含量较高, LL 和 BYC 样品的固形物含量相近。固形物的含量显著高于现有报道的牛肉汤 (0.5~1 g/100 g)^[1]。固形物含量的差异可能是由于在加工过程中添加的香料和烹饪温度导致的形成的风味物质含量的不同^[1]。

盐含量主要指的是食品中所含有的钠离子的含量, 高浓度的盐会导致样品咸味过重, 甚至发苦, 影响样品的食用。从图 1b 可以看出, 7 种品牌牛肉汤样品的盐含量有着显著差异 ($P < 0.05$), 其中 HM 样品盐含量最高, YJ 样品盐含量最低, HM、BL 和 XD 样品的盐含量类似且较高, LL 和 TBX 样品盐含量类似。牛肉汤中的盐主要来源于加工过程中添加的食盐和原料中所含的盐分迁移到牛肉汤中^[10]。

水溶性蛋白主要指的是指的一些溶于水 and 低浓度盐的蛋白质, 热处理在蛋白质氧化和变性过程中起着重要作用, 因为它不仅影响氨基酸残基的化学结构 (蛋白质或多肽中发现的氨基酸), 还影响蛋白质的微形态和聚集, 在烹饪的过程中会有少部分的水溶性蛋白的损失^[11]。从图 1c 可以看出, 7 种品牌牛肉汤样品的水溶性蛋白含量有着显著差异 ($P < 0.05$), 其中 BL 样品的水溶性蛋白含量最高, LL 样品水溶性蛋白含量最低, HM、TBX 和 YJ 样品的含量类似且较高, XD 和 BYC 样品含量类似, 显著低于其他牛肉汤中的水溶性蛋白含量 (40~60 mg/mL)^[1]。由于传统加工工艺没有统一的加工温度标准, 各个品牌牛肉汤的热加工温度不同, 导致了牛肉汤中水溶性蛋白存在着显著差异。Zhang 等^[12]研究表明加热能够显著提高水溶性蛋白的表面疏水性和电负性, 从而降低蛋白质的溶解度。

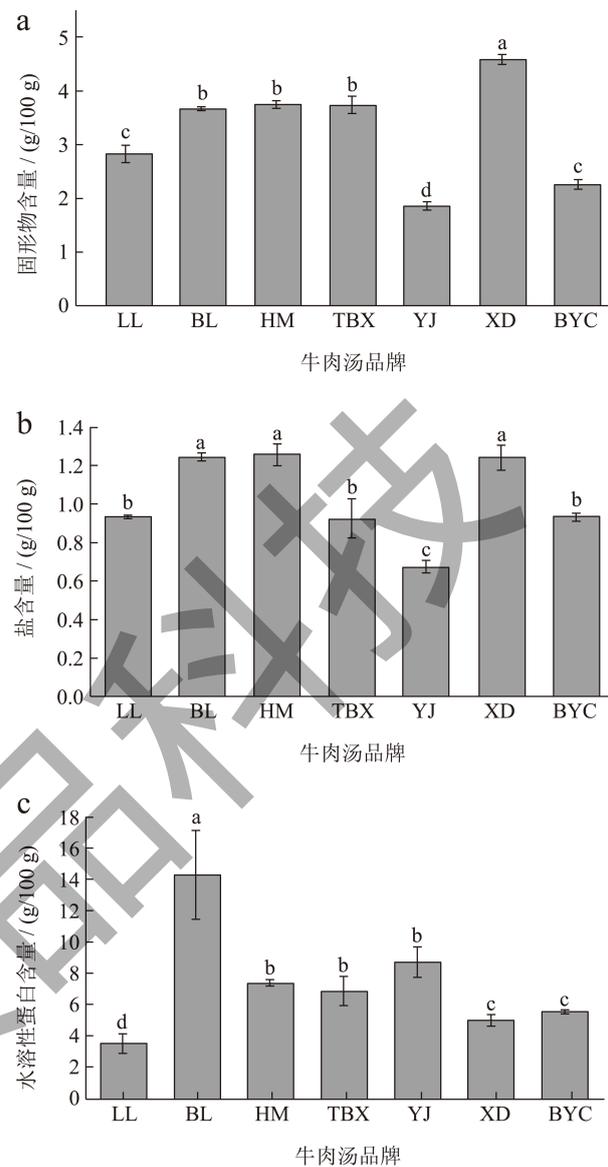


图 1 理化指标

Fig.1 Physical and chemical indexes

2.2 感官评价

牛肉汤因其鲜味和香味而广受欢迎, 深受消费者的喜爱, 因此, 通过感官评价来评估 7 种品牌牛肉汤的味道变化 (表 1)。六种滋味属性的评价结果表明, 牛肉汤的鲜味和咸味分数较高, 这一结果表明牛肉汤主要呈现一个咸鲜味, BYC、TBX 和 XD 样品的鲜味评分较高, 与其他样品有着显著差异 ($P < 0.05$), 而 LL 样品的鲜味评分最低, 牛肉汤中的鲜味主要和原料肉、香辛料和调味料释放到汤中的鲜味氨基酸和核苷酸有关。XD 样品的咸味分数最高, 而 TBX 样品的咸味评分最低, 汤中的咸味主要来源于添加的调味料中的氯化物^[13]。牛肉汤中后味和 Kokumi 评分也较高, BL 样品的后味评

分最高, XD 样品的后味评分最低, 说明 BL 样品牛肉汤滋味醇厚, 回味久。BYC 样品的 Kokumi 评分最高, HM 样品的 Kokumi 评分最低, 说明 BYC 样品味道的延续性较好, 而 HM 样品的滋味则不够浓厚。这七种品牌牛肉汤的苦味和酸味

的评分较低, 苦味和酸味也是影响牛肉汤滋味的一个重要因素, LL 样品的苦味评分最高, 而 BL 样品的苦味评分最低, XD 样品的酸味评分最高, BYC 样品酸味评分最低, 这两种味道主要来源于添加的香辛料。

表 1 样品的感官评价
Table 1 Sensory evaluation

感官描述	LL	BL	TBX	BYC	HM	XD	YJ
酸味	1.46 ± 0.17 ^a	0.65 ± 0.16 ^c	1.31 ± 0.27 ^b	0.39 ± 0.15 ^d	1.26 ± 0.25 ^b	1.48 ± 0.2 ^a	1.28 ± 0.24 ^b
苦味	3.36 ± 0.36 ^a	0.98 ± 0.30 ^b	1.26 ± 0.23 ^b	1.10 ± 1.20 ^b	1.19 ± 0.25 ^b	1.39 ± 0.26 ^b	1.09 ± 0.37 ^b
咸味	5.68 ± 0.57 ^d	5.98 ± 0.55 ^{cd}	5.22 ± 0.53 ^c	6.16 ± 0.49 ^c	5.63 ± 0.48 ^d	7.36 ± 0.56 ^a	6.89 ± 0.78 ^b
鲜味	5.09 ± 0.50 ^d	5.47 ± 0.36 ^c	6.51 ± 0.57 ^b	6.92 ± 0.63 ^a	5.66 ± 0.52 ^c	6.71 ± 0.45 ^{ab}	5.66 ± 0.53 ^c
Kokumi	3.76 ± 0.54 ^d	3.85 ± 0.47 ^d	4.86 ± 0.61 ^{cb}	5.94 ± 0.53 ^a	2.68 ± 0.33 ^c	5.18 ± 0.61 ^b	4.68 ± 0.57 ^c
后味	5.40 ± 0.34 ^a	5.49 ± 0.42 ^a	4.81 ± 0.59 ^b	4.93 ± 0.57 ^b	4.63 ± 0.60 ^b	4.52 ± 0.59 ^b	4.74 ± 0.94 ^b

注: 同行不同的上标字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 电子舌

人的味觉由五种基本的味觉组成, 包括甜、酸、苦、咸和鲜味。感官小组 (经过培训或未经培训) 已被用于对许多食品进行味道评估。然而, 感官评估相对耗时且昂贵。在某些情况下, 如果小组成员没有受过良好的训练, 感官小组可能会对味道产生偏差。因此, 许多研究人员采用了电子舌, 这是一种快速感知、没有主观因素影响且价格低廉的人类舌头替代品^[14]。

7 个品牌牛肉汤样品的味觉雷达图如图 2a 所示, 本实验中余味 A、余味 B、涩味传感器的响应值在无味点上; 酸味传感器的响应值在无味点以下; 鲜味的传感器响应值都较高, 样品之间差别不明显, 鲜味的形成可能与氨基酸、核苷酸有关, 根据氨基酸的数据可以看出鲜味氨基酸相比其他氨基酸含量较高; 咸味和苦味传感器响应值差异较大, HM 样品苦味响应值最大, 苦味的增加可能是由于氨基酸以及加工过程中添加的香辛料导致。XD, BL, HM 的咸味传感器响应值较高, 可能由于盐含量较高, 与盐含量数据结果一致。

为了进一步分析 7 个样品间滋味的差异, 我们使用主成分分析对电子舌数据进行分析, 主成分分析用于可视化样本属性和样本之间的变量关系。主成分分析处理后, 将多变量数据转换为两个分量: PC1 (73.6%) 和 PC2 (14.9%)。这两个成分的总贡献率为 88.5%, 能够准确地代表电子舌的整体结果。主成分分析将七个样品分为四组, 四组样品的滋味有着显著差异, BYC、TBX、YJ 和 HM 位于坐标

轴的右边, 与 PC1 高度正相关, 在滋味方面有着一定的相似形。BL 样品位于坐标轴的上方, 与 PC2 高度正相关。XD 和 LL 样品分别与 PC1 和 PC2 高度负相关。

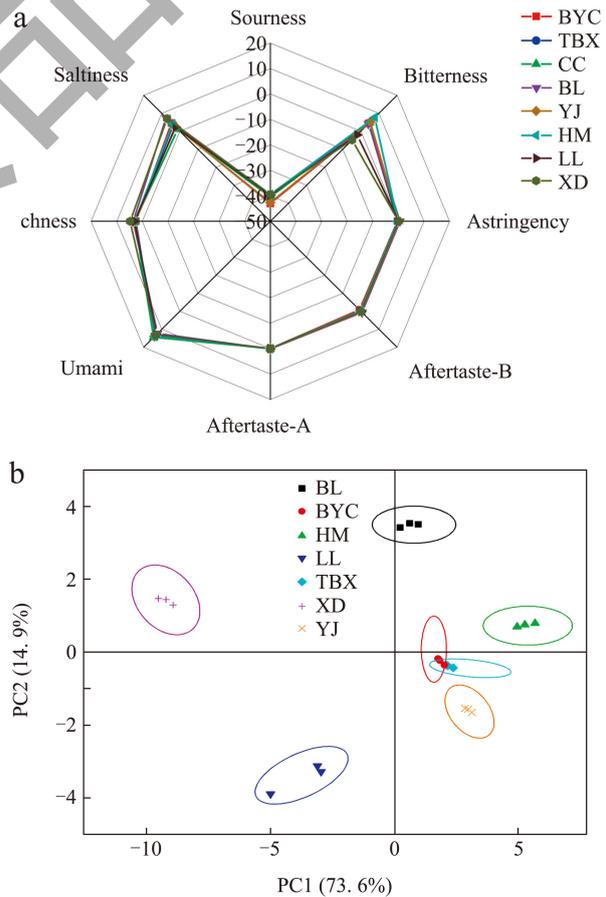


图 2 7 个样品的电子舌数据图

Fig.2 Electronic tongue data of seven samples

注: (a) 雷达图; (b) 主成分图。

2.4 呈味游离氨基酸

7种不同品牌的牛肉汤样品的游离氨基酸的含量如表2所示,从表中可以看出,这7种牛肉汤样品中HM样品的总游离氨基酸含量最高,YJ样品的总游离氨基酸含量最低,感官评价和电子舌的结果也显示YJ样品的味道评分较低。其中BYC、LL和HM总游离氨基酸含量接近,BL和TBX总游离氨基酸含量接近,YJ样品与其他样品的总游离氨基酸含量有着较大差异。

从表中可以看出7种品牌的游离氨基酸的含量有着显著差异($P < 0.05$),BYC甜味氨基酸和鲜味氨基酸的含量较高,而YJ样品的甜味氨基酸和鲜味氨基酸的含量都较低,两个样品的鲜味评分有着显著差异($P < 0.05$),这也与感官评价和电子舌的结果一致。LL样品的苦味氨基酸含量最高,YJ样品的苦味氨基酸含量最低,感官评价也表明LL样

品的苦味最重,这可能是由于各个品牌加工工艺,如炖煮时间、温度和添加的香辛料等的不同。汤中的游离氨基酸的来源有两种可能的方式,一种是肉中原有的游离氨基酸迁移到汤中,另一种是肉中蛋白质和多肽的降解。但也有研究报道,长时间炖煮肉汤,肉中的蛋白质没有显著分解产生氨基酸,因此,汤中的氨基酸可能主要来源于肉中氨基酸的迁移和添加的调料^[15]。

这7种牛肉汤样品中主要的游离氨基酸为Glu、Gly、Ala和Phe,甜味氨基酸的含量较高,这与在其他汤中测定的结果一致^[13,16]。牛肉汤中的谷氨酸主要来源于加工中添加的味精,主要呈现鲜味,是汤中的主要鲜味物质。其中BYC的谷氨酸含量最高,感官评价和电子舌结果都表明BYC的鲜味最高。其他氨基酸主要呈现甜味,主要来源于牛肉中蛋白质水解后形成的氨基酸,这也是汤中游离氨基酸的主要来源^[17]。

表2 7种品牌游离氨基酸含量
Table 2 Free amino acid content of seven brands

游离氨基酸/(mg/100 g)	LL	BL	TBX	BYC	HM	XD	YJ
Asp	0.33 ± 0.01 ^c	0.21 ± 0 ^f	0.36 ± 0.01 ^d	0.54 ± 0.00 ^b	0.39 ± 0.01 ^c	0.84 ± 0.00 ^a	0.20 ± 0.01 ^f
Thr	1.07 ± 0.01 ^c	0.62 ± 0 ^f	1.56 ± 0.01 ^b	1.88 ± 0.01 ^a	1.16 ± 0.01 ^d	1.38 ± 0.01 ^c	0.55 ± 0.01 ^g
Ser	2.71 ± 0.03 ^b	1.61 ± 0.01 ^e	1.39 ± 0.03 ^d	6.63 ± 0.04 ^a	0.71 ± 0.03 ^e	2.73 ± 0.03 ^b	0.18 ± 0.01 ^f
Glu	1.34 ± 0.01 ^c	1.48 ± 0.01 ^d	2.09 ± 0.02 ^c	5.41 ± 0.03 ^a	2.87 ± 0.06 ^b	2.14 ± 0.01 ^c	0.45 ± 0.02 ^f
Gly	2.3 ± 0.02 ^a	1.25 ± 0.01 ^d	2.19 ± 0.01 ^b	1.49 ± 0.02 ^c	2.22 ± 0.09 ^{ab}	1.32 ± 0.01 ^d	0.94 ± 0.02 ^c
Ala	4.22 ± 0.06 ^b	2.54 ± 0.02 ^f	3.3 ± 0.19 ^d	3.57 ± 0.02 ^c	4.55 ± 0.03 ^a	3.12 ± 0.05 ^e	1.55 ± 0.02 ^g
Cys	2.07 ± 0.05 ^a	1.24 ± 0.07 ^b	1.24 ± 0.02 ^b	0.71 ± 0.06 ^d	1.06 ± 0.01 ^c	1.16 ± 0.00 ^b	0.68 ± 0.02 ^d
Val	0.41 ± 0.01 ^c	0.15 ± 0.00 ^f	0.29 ± 0 ^d	1.11 ± 0.01 ^a	0.96 ± 0.01 ^b	0.14 ± 0.02 ^f	0.19 ± 0.01 ^c
Met	0.71 ± 0.03 ^a	0.42 ± 0.01 ^b	0.41 ± 0.06 ^b	0.29 ± 0.00 ^c	0.46 ± 0.01 ^b	0.30 ± 0.01 ^c	0.20 ± 0.01 ^d
Ile	1.73 ± 0.04 ^a	0.96 ± 0.01 ^c	1.14 ± 0.06 ^b	0.55 ± 0.01 ^d	0.56 ± 0.13 ^d	0.65 ± 0.01 ^d	0.59 ± 0.01 ^d
Leu	0.68 ± 0.01 ^c	0.36 ± 0.01 ^{de}	0.38 ± 0.01 ^d	0.92 ± 0.01 ^b	1.34 ± 0.21 ^a	0.3 ± 0.02 ^{de}	0.19 ± 0.00 ^c
Tyr	0.87 ± 0.01 ^c	0.48 ± 0 ^e	0.29 ± 0.00 ^f	1.08 ± 0.01 ^a	0.94 ± 0.01 ^b	0.75 ± 0.01 ^d	0.18 ± 0.00 ^g
Phe	8.66 ± 0.17 ^b	7.13 ± 0.03 ^c	5.52 ± 0.45 ^d	6.64 ± 0.17 ^c	13.44 ± 0.51 ^a	3.00 ± 0.10 ^e	1.85 ± 0.02 ^f
His	1.18 ± 0.11 ^a	0.1 ± 0.03 ^d	0.07 ± 0.00 ^d	0.16 ± 0.01 ^{cd}	0.21 ± 0.02 ^{bc}	0.17 ± 0.01 ^{cd}	0.27 ± 0.01 ^b
Lys	1.49 ± 0.02 ^a	0.75 ± 0.01 ^c	1.06 ± 0.00 ^b	0.76 ± 0.02 ^c	1.03 ± 0.03 ^b	0.63 ± 0.01 ^d	0.44 ± 0.01 ^c
Arg	2.4 ± 0.02 ^a	1.24 ± 0.01 ^c	1.73 ± 0.02 ^d	2.14 ± 0.21 ^b	2.33 ± 0.01 ^a	1.92 ± 0.01 ^c	0.20 ± 0.00 ^f
甜味氨基酸	11.48 ± 0.03 ^b	6.12 ± 0.01 ^e	8.51 ± 0.06 ^d	13.73 ± 0.01 ^a	8.86 ± 0.01 ^c	8.72 ± 0.01 ^{cd}	6.12 ± 0.01 ^f
鲜味氨基酸	3.15 ± 0.00 ^c	2.44 ± 0.00 ^f	3.51 ± 0.01 ^d	6.71 ± 0.01 ^a	4.29 ± 0.02 ^b	3.61 ± 0.01 ^c	1.09 ± 0.00 ^g
苦味氨基酸	5.93 ± 0.01 ^a	3.12 ± 0.00 ^d	3.95 ± 0.01 ^c	5.01 ± 0.07 ^b	5.66 ± 0.01 ^a	3.31 ± 0.01 ^d	1.37 ± 0.00 ^c
总氨基酸	32.17 ± 0.04 ^b	20.52 ± 0.01 ^d	23.02 ± 0.08 ^d	33.87 ± 0.03 ^a	34.25 ± 0.12 ^a	20.55 ± 0.01 ^c	8.65 ± 0.00 ^e

注:同行不同的上标字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。甜味氨基酸:Thr、Ser、Ala、Gly和Lys;鲜味氨基酸:Asp和Glu;苦味氨基酸:Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、His、Arg和Cys。

表 3 7种品牌呈味核苷酸含量

Table 3 Nucleotide content of seven brands

核苷酸	LL	BL	TBX	BYC	HM	XD	YJ
GMP	—	4.5 ± 0.19 ^c	—	—	—	1.68 ± 0.07 ^b	5.03 ± 0.03 ^d
IMP	1.05 ± 0.05 ^c	6.54 ± 0.2 ^e	—	2.59 ± 0.08 ^e	0.71 ± 0.03 ^b	1.83 ± 0.09 ^d	6.54 ± 0.06 ^e
XMP	1.69 ± 0.05 ^f	1.22 ± 0.04 ^d	0.2 ± 0.00 ^a	1.45 ± 0.07 ^c	0.66 ± 0.03 ^b	0.84 ± 0.78 ^a	0.89 ± 0.02 ^c
I	0.29 ± 0.01 ^b	2.63 ± 0.09 ^e	0.23 ± 0.02 ^b	2.53 ± 0.13 ^e	2.04 ± 0.08 ^f	0.54 ± 0.18 ^c	1.45 ± 0.06 ^d
HX	—	4.92 ± 0.15 ^d	—	4.19 ± 0.18 ^{cd}	—	—	2.43 ± 0.05 ^b
总	3.03 ± 0.11 ^c	19.81 ± 0.67 ^a	0.43 ± 0.02 ^f	10.76 ± 0.43 ^c	3.41 ± 0.14 ^e	4.89 ± 1.12 ^d	16.34 ± 0.22 ^b

注：同行不同的上标字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.5 呈味核苷酸

7种不同品牌的牛肉汤的呈味核苷酸含量如表3所示，从表中可以看出，这7种牛肉汤样品中BL样品的总呈味核苷酸的含量最高，TBX样品的总呈味核苷酸含量最低，LL、HM和XD样品的总呈味核苷酸的含量接近，含量都较低。这7种牛肉汤样品的主要呈味核苷酸是IMP和GMP，这也与在其他汤中测到的结果一致^[18,19]。IMP具有令人愉快的味道，并提供味道的复杂性和甜味。IMP与许多甜味氨基酸（包括丝氨酸、甘氨酸和丙氨酸）的相互作用增强鲜味作用。与鲜味氨基酸共存时，可以增强食品的鲜度和改善食品的醇厚感。GMP和IMP对鲜味有近30倍的助鲜作用^[20]。

从表中可以看出7种品牌牛肉汤样品的呈味核苷酸含量有着显著差异 ($P < 0.05$)，只有BL、XD和YJ三个样品有GMP，说明这三个样品的鲜味较重。BL和YJ样品的IMP含量最高，并且GMP的含量也较高，因此这两个样品的鲜味较足，滋味较好。HM样品没有GMP，且IMP含量最低，说明这个样品的滋味较差，鲜味不足。LL和XD样品也存在鲜味不足的问题。汤中的核苷酸主要来源于肉和添加的香辛料，并且通过核苷酸的热降解产生^[13]。因此，汤中核苷酸的差异主要来源于原料、炖煮时间和温度等因素。

2.6 多元统计分析

2.6.1 PLS-DA分析

为了进一步的了解7种品牌牛肉汤滋味成分的差异，引入了偏最小二乘判别分析(PLS-DA)用于样品间滋味物质的分析，结果如图3a所示，PLS-DA将样品分为了七个清晰的组别，分别对应LL、BL、BYC、HM、XD、TBX和YJ样品。PLS-DA将多变量转变为两个变量：成分1(41.1%)，成分

2(34.7%)，TBX和XD样品位于第一象限，这两种样品中主要的滋味物质是Cys、Ile、His、Met和Asp，这几种滋味成分可以较好的区分这两种样品。HM和LL样品位于第二象限，这两种样品主要滋味物质是Phe、Ala、Arg、Gly、Leu、Tyr和Val等物质，滋味物质较丰富，这与之前测到的氨基酸和核苷酸结果一致。BYC和BL样品位于第三象限，这两种样品的主要滋味物质是Glu、Ser、XMP、I和HX，核苷酸的含量较高。YJ样品位于第四象限，主要的滋味物质GMP和IMP，均为核苷酸。

投影中的变量重要性(VIP)是考虑到每个维度中解释的Y变化量的PLS-DA载荷的加权平方和。VIP值用于进一步了解7种样品滋味物质含量的差异。通常，VIP值大于1的物质被定义为主要差异滋味物质^[21]。从图3c可以看出，主要差异滋味物质为I、Glu、Ser、HX和Phe，这些滋味物质主要呈现甜味和鲜味，这表明这7种牛肉汤之间的滋味差异主要来源于鲜味和甜味，因此在加工过程中控制好牛肉汤的鲜味和甜味可以在一定程度上调控牛肉汤的滋味。

2.6.2 PLSR分析

通过基于感官和滋味物质的PLSR分析，可以用于这7种品牌牛肉汤滋味成分与感官品质的相关性分析^[21]。以牛肉汤滋味物质为X变量，感官属性和样品为Y变量，采用PLSR对7种牛肉汤样品的滋味物质与感官属性进行多自变量多因变量(PLS2)分析。PLSR提供了一个双因素模型，解释了40%的X方差(滋味物质)和29%的Y方差(感官属性和牛肉汤样品)。如图4所示，它生成了滋味物质、滋味感官指标和样品的相关负荷图。内部和外部椭圆分别代表解释方差的50%和100%。牛肉汤的感官特性和滋味物质在两个椭圆之间的位置得到了表示，PLSR模型可以很好地解释它们之间的相关性^[22]。

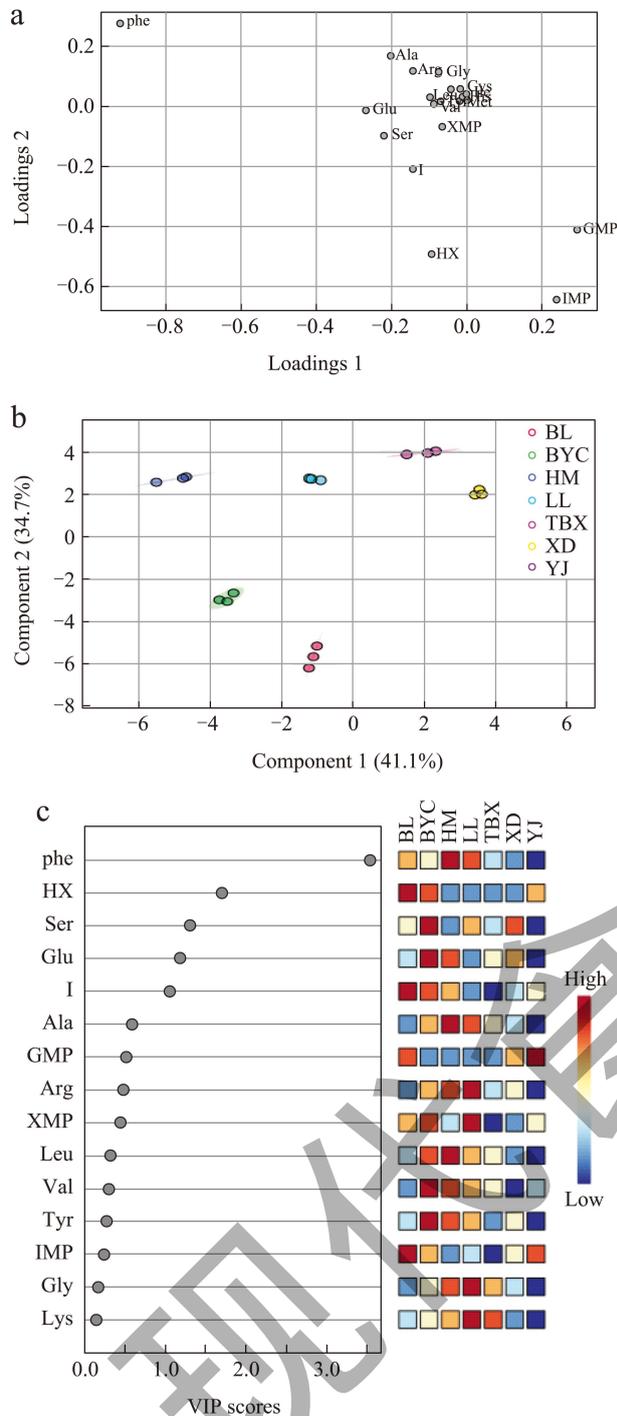


图3 PLS-DA 分析图

Fig.3 PLS-DA analysis chart

如图4所示，共有1个感官属性和17种滋味物质位于内部和外部椭圆之间，感官属性与一些滋味物质显著相关。其中LL样品与苦味属性显著相关，这与感官评定结果一致。苦味与Ile、Cys、His、Met等游离氨基酸相关。YJ样品与GMP和IMP相关，与PLS-DA的结果一致。BYC样品与Glu和Ser显著相关，这两种氨基酸主要呈鲜味和甜味。其他4个样本位于内椭圆内，其中BL样品

与鲜味相关性较高，XD和TBX样品与鲜味和后味相关，HM样品与感官相关性较低。鲜味和Kokumi与HX和I两种核苷酸相关。这一结果表明大多数牛肉汤的滋味与游离氨基酸有着显著相关，牛肉汤中的苦味主要来源于蛋白质和多肽分解产生的苦味氨基酸，核苷酸对于牛肉汤鲜味有着一定的增强作用。

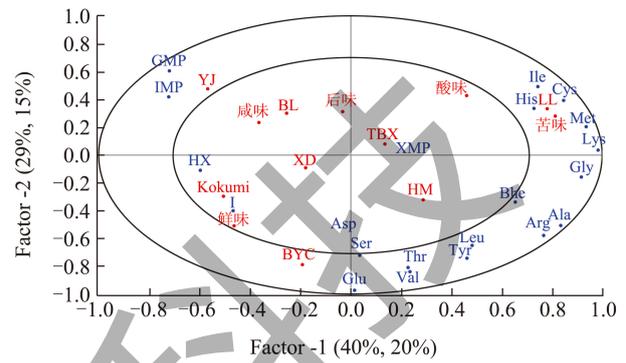


图4 PLSR 分析图

Fig.4 PLSR analysis chart

3 结论

本研究通过对7种品牌牛肉汤中游离氨基酸和呈味核苷酸含量的测定，描述了7种牛肉汤的滋味特征和关键滋味物质，确定了Glu、Gly、Ala和Phe是牛肉汤中主要的游离氨基酸，IMP和GMP是牛肉汤中主要的呈味核苷酸。通过电子舌和感官评价分析，牛肉汤的滋味被描述为酸味、苦味、咸味、鲜味、Kokumi和后味，其中鲜味和咸味是牛肉汤中主要的特征滋味。根据PLS-DA分析的结果，7个样品的滋味物质存在显著差异，主要差异滋味物质有为I、Glu、Ser、HX和Phe。最后通过PLSR分析，确定了七种品牌牛肉汤滋味成分与感官品质的相关性，PLSR模型结果显示提取的17个滋味物质变量能够解释牛肉汤滋味变化的69%的信息，说明此17个滋味物质决定了牛肉汤的滋味特征。本研究揭示了牛肉汤的关键滋味成分，扩大了对牛肉汤滋味的理解，为传统牛肉汤的标准化生产提供了依据。

参考文献

[1] 李云龙,赵月亮,范大明,等.表儿茶素对牛肉汤营养成分和风味的影响[J].食品科学,2021,42(16):125-132.
 [2] LI Y, FAN D, ZHAO Y, et al. Effects of quercetin and cinnamaldehyde on the nutrient release from beef into soup during stewing process [J]. LWT - Food Science and

- Technology, 2020, 131: 109712.
- [3] WANG L, QIAO K, DUAN W, et al. Comparison of taste components in stewed beef broth under different conditions by means of chemical analyzed [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(2): 955-964.
- [4] YANG X, KONG Y, DING Q, et al. Analysis on the influence of salt adding methods on the flavor substance in chicken soup [J]. Fine Chemical Industry, 2018, 35(7): 1196-1200, 1260.
- [5] DONG H, LIU J, ZENG X, et al. Enzymatic hydrolysis pretreatment for enhancing the protein solubility and physicochemical quality of *Cordyceps militaris* chicken soup [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(5): 2436-2444.
- [6] SUN Y, LV F, TIAN J, et al. Domestic cooking methods affect nutrient, phytochemicals, and flavor content in mushroom soup [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(6): 1969-1975.
- [7] HU Z, TONG Y, MANYANDE A, et al. Effective discrimination of flavours and tastes of Chinese traditional fish soups made from different regions of the silver carp using an electronic nose and electronic tongue [J]. Czech Journal of Food Sciences, 2020, 38(2): 84-93.
- [8] PU D, ZHANG H, ZHANG Y, et al. Characterization of the oral breakdown, sensory properties, and volatile releaseduring mastication of white bread [J]. Food Chemistry, 2019, 298: 125003.
- [9] PU D, ZHANG H, ZHANG Y, et al. Characterization of the key aroma compounds in white bread by aroma extract dilution analysis, quantitation, and sensory evaluation experiments [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(5): e13933.
- [10] ZHU C, ZHAO G, CUI W, et al. Utilization of i-TRAQ technology to determine protein modifications in pork soup in response to addition of salt [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2020, 88: 103453.
- [11] DASHDORJ D, AMNA T, HWANG I. Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: an overview [J]. European Food Research and Technology, 2015, 241(2): 157-171.
- [12] ZHANG F, JIANG S, FENG X, et al. Physicochemical state and *in vitro* digestibility of heat treated water-soluble protein from pacific oyster [J]. Food Bioscience, 2020, 100528: 2212-4292.
- [13] QI J, LIU D Y, ZHOU G H, et al. Characteristic flavor of traditional soup made by stewing Chinese yellow-feather chickens [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(9): 2031-2040.
- [14] TAN J, XU J. Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review [J]. Artificial Intelligence in Agriculture, 2020, 4(2020): 301-302.
- [15] KRASNOW M, BUNCH T, SHOEMAKER C, et al. Effects of cooking temperatures on the physicochemical properties and consumer acceptance of chicken stock [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(1): S19-S23.
- [16] MENG Q, ZHOU J, GAO D, et al. Desorption of nutrients and flavor compounds formation during the cooking of bone soup [J]. Food Control, 2022, 132(2022): 108408.
- [17] KONG Y, YANG X, DING Q, et al. Comparison of non-volatile umami components in chicken soup and chicken enzymatic hydrolysate [J]. Food Research International, 2017, 102: 559-566.
- [18] LIANG L, ZHOU C, ZHANG Y, et al. Effect of welsh onion on taste components and sensory characteristics of porcine bone soup [J]. Foods, 2021, 10: 2968.
- [19] LI X, MENG H, ZHU Y, et al. Correlation analysis on sensory characteristics and physicochemical indices of bone broth under different processing methods [J]. Food Chemistry Advances, 2022, 1: 100036.
- [20] KAWAI M, OKIYAMA A, UEDA Y. Taste enhancements between various amino acids and IMP [J]. Chemical Senses, 2002, 27(8): 739-745.
- [21] LAN Y-B, XIANG X-F, QIAN X, et al. Characterization and differentiation of key odor-active compounds of 'Beibinghong' icewine and dry wine by gas chromatography-olfactometry and aroma reconstitution [J]. Food Chemistry, 2019, 287: 186-196.
- [22] AKKÖSE A, ÜNAL N, YALINKILIÇ B, et al. Volatile compounds and some physico-chemical properties of pastırma produced with different nitrate levels [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2017, 30(8): 1168.