

刘新, 刘政芳, 张彦, 等. 基于游离氨基酸和感官鲜度评价的复合鲜味产品的呈味特征分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 287–293. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050113

LIU Xin, LIU Zhengfang, ZHANG Yan, et al. Taste Characteristics Analysis of Compound Umami Products Based on Free Amino Acids and Sensory Evaluation of Umami Taste[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 287–293. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050113

· 分析检测 ·

基于游离氨基酸和感官鲜度评价的复合鲜味产品的呈味特征分析

刘 新¹, 刘政芳^{1,*}, 张 彦¹, 付 余^{2,3}, 张宇昊^{2,3}, 张西贝¹, 余 奇¹, 张凤兵¹, 揭 刚¹

(1.安琪酵母股份有限公司酵母功能湖北省重点实验室, 湖北宜昌 443003;

2.西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

3.川渝共建特色食品重庆市重点实验室, 重庆 400715)

摘 要: 目前, 我国复合鲜味产品处于初步发展阶段, 尚未形成系统性研究。因此, 对 12 种市售复合鲜味产品的 17 种游离氨基酸组分进行了测定, 发现谷氨酸 (Glutamic acid, Glu) 滋味强度值 (Taste activity values, TAV) 贡献最大, 为 4.12~228.86。相关性分析表明, 除谷氨酸 (Glu) 外, 其他游离氨基酸之间存在显著正相关; 同时提取了 3 个主成分, 累计方差贡献率达 93.19%, 可以有效反映复合鲜味产品的游离氨基酸组分的大部分信息。偏最小二乘法 (PLS) 分析揭示, 感官鲜度评价和味精当量结果具有一致性。本文对复合鲜味产品的呈味特点进行了系统评价, 为复合鲜味产品研发提供理论参考。

关键词: 鲜味, 游离氨基酸, 感官鲜度评价, 呈味特征, 主成分, 偏最小二乘法

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)07-0287-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050113



本文网刊:

Taste Characteristics Analysis of Compound Umami Products Based on Free Amino Acids and Sensory Evaluation of Umami Taste

LIU Xin¹, LIU Zhengfang^{1,*}, ZHANG Yan¹, FU Yu^{2,3}, ZHANG Yuhao^{2,3}, ZHANG Xibei¹, YU Qi¹, ZHANG Fengbing¹, JIE Gang¹

(1. Key Laboratory of Yeast Function in Hubei Province, Angel Yeast Co., Ltd., Yichang 443003, China;

2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. Chongqing Key Laboratory of Speciality Food Co-Built by Sichuan and Chongqing, Chongqing 400715, China)

Abstract: Currently, compound umami products in China are in the initial stage of development, which have not formed a systematic study yet. Hence, 12 kinds of commercially available compound umami products were analyzed for 17 free amino acids. It was found that the taste activity values (TAV) of glutamic acid (Glu) contributed the most, with TAV ranging from 4.12 to 228.86. The correlation analysis showed a significant positive correlation between other amino acids, except for Glu. Meanwhile, three principal components were extracted, with the cumulative variance contribution of 93.19%, which could effectively reflect most of information on the free amino acids in compound umami products. Partial least squares (PLS) analysis revealed a consistency between evaluation of umami taste and equivalent umami concentrations (EUC). This paper systematically evaluated the taste characteristics of compound umami products and provided a theoretical reference for research and development of compound umami products.

Key words: umami; free amino acids; sensory evaluation of umami; taste characteristics; principal component analysis; partial least squares

收稿日期: 2022-05-11

作者简介: 刘新 (1988-), 男, 硕士, 研究方向: 食品调味技术研究, E-mail: fmliu587@qq.com。

* 通信作者: 刘政芳 (1973-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 食品调味技术研究, E-mail: liuzf@angelyeast.com。

近年来,随着我国居民消费水平的提高,食品消费占比增大,对鲜味的追求不仅满足于味精等单一鲜味物质,而是以酵母抽提物、单体氨基酸制备而成的复合鲜味产品。因此,利用味觉协同相乘的原理,可通过调控氨基酸、呈味核苷酸、风味化合物组成比例以满足消费者对丰富的层次味觉的需求^[1]。

游离氨基酸作为食品一种重要的呈味物质,其含量和种类是评价某一类食品品质的重要指标。但游离氨基酸数量较多,且呈味特点相似,分析难度大,不能较好地得出结论。现多采用主成分分析法实现这一目的。目前,该方法常见于茶叶、菌菇类、肉类等食品原料领域中,例如,魏光强等^[2]分别研究了传统酸水乳饼和发酵型乳饼两类特色食品中的 27 种呈味物质,通过味道强度值判定了 7 种主要呈味物质。唐史杰等^[3]对 6 种沙拉酱的游离氨基酸进行检测并提取两个主成分。孙承锋和施帅等^[4-5]开展了在肉制品加工过程中游离氨基酸的检测分析,对产品的保藏提供一定参考。而柳燕霞等^[6]将卤煮鸡肉和鸡汤所电子舌检测的鲜味、咸味等滋味指标和游离氨基酸间的关系用回归方程高度拟合,优化了卤煮鸡肉的工艺参数。然而,目前缺乏针对复合鲜味产品的鲜味系统性分析,多数停留在产品制备工艺上,导致无法从鲜味呈味机理上去判断这一类产品的实际呈味效果。

因此,本研究采用氨基酸分析仪对 12 种市售复合鲜味产品的游离氨基酸组分进行数据记录,使用滋味强度值(Taste activity value, TAV)评价特征呈味物质;采用 Pearson 相关性分析和主成分(Principal component)分析呈味物质之间的关系,确定每种呈味物质的不同特点;利用偏最小二乘法(PLS)研究感官鲜度评价和味精当量、游离氨基酸组分等指标间的相关性,旨在揭示复合鲜味产品呈味特征之间的关系。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

磺基水杨酸、茚三酮 购自上海国药试剂集团,均为分析纯。12 种复合鲜味产品,从各种流通渠道购买的市场样品。其样品编为 A~L,并放置于阴凉干燥环境内保存(来源地区分别为:山东、上海、湖北宜昌、湖北武汉等),生产日期均为最近 3 个月以内,具体信息见表 1。

TE3102S 电子分析天平(精确到 0.1 mg) Sartorius 公司;8002 电热恒温水浴锅 北京国华医疗器械厂;UV5 紫外可见分光光度计 梅特勒-托利多仪器有限公司;Biochrom30 氨基酸自动分析仪 英国 Biochrom 公司;日立 Chromaster 高效液相色谱仪 日立(中国)科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 游离氨基酸含量测定 参考 GB 5009.124-2016 氨基酸测定方法,样品经磺基水杨酸沉淀蛋白

表 1 复合鲜味样品信息采集表

Table 1 Information on the collected compound umami products

编号	产地	主要配料
A	湖北宜昌	酵母抽提物
B	湖北宜昌	酵母抽提物
C	湖北宜昌	味精、食用盐、麦芽糊精
D	湖北宜昌	味精、食用盐、琥珀酸二钠
E	上海	味精、呈味核苷酸二钠、食用盐
F	山东菏泽	水解植物蛋白、酵母抽提物
G	山东菏泽	味精、食用盐、琥珀酸二钠
H	山东菏泽	水解植物蛋白、酵母抽提物、甘氨酸
I	江苏江阴	酵母抽提物
J	上海	酵母抽提物、麦芽糊精、谷氨酸钠
K	上海	味精、食用盐、白砂糖
L	湖北武汉	味精、食用盐、玉米淀粉

质后,经过氨基酸分析仪的离子交换柱分离后,与茚三酮溶液产生颜色反应,再通过分光光度计比色测定氨基酸含量。

1.2.2 核苷酸的测定 参照 GB/T 23530-2009 的方法,检测 5'-肌苷酸(IMP)、鸟苷酸(GMP)、5'-腺苷酸(AMP)。

1.2.3 滋味强度值 参考 Rainer 等^[7]滋味物质的滋味强度值(Taste activity value, TAV)的公式如下:

$$TAV = \frac{C}{T}$$

式中, TAV 为滋味强度值; C 为滋味物质的绝对浓度值, mg/100 g; T 为滋味物质的阈值, mg/100 g。

1.2.4 味精当量和定量感官分析

a. 味精当量: 味精当量^[8]表示 2 类鲜味物质协同增鲜的强度,即等于单一味精(MSG)所产生的鲜味强度。公式如下:

$$EUC = \sum a_i b_i + 12.18(\sum a_i b_i)(\sum a_i b_i)$$

式中: EUC 代表味精当量, g MSG/g; a_i 代表鲜味氨基酸(天冬氨酸, 谷氨酸)的含量, mg/g; b_i 代表鲜味氨基酸相对于 MSG 的相对鲜度系数(天冬氨酸为 0.077, 谷氨酸为 1); a_j 代表呈味核苷酸(5'-IMP、5'-GMP、5'-AMP)的含量, mg/g; b_j 代表呈味核苷酸相对于 IMP 的相对鲜度系数(5'-IMP 为 1, 5'-GMP 为 2.3, 5'-AMP 为 0.18); 12.18 是常数。国内常用此种方法对鲜味进行量化。

b. 定量感官分析: 感官评价小组由 10 名均为 25~30 岁的食品专业人员(5 男 5 女)组成,无不良嗜好。在特定感官实验室进行评定,具体规则如下:采用定量描述分析法(QDA)对样品味觉属性进行评分^[9]。评分采用 10 分制,即 0~1,无;2~3,微弱;4~6,中等;6~8,较强烈;9~10,强烈。味觉强度评分从 0 到 10 分,0 分代表某种味觉强度不存在,10 分代表味觉强度高。所有样品均随机编号并置于 25 ℃ 水浴锅中保温,避免差异性影响。

1.3 数据处理

采用 Origin 2021 绘制图,并对采集的数据进行相关性分析和主成分分析;定量感官分析方法结果使用平均值±标准差(SD)表示;使用 Unscrambler 9.7 软件运行偏最小二乘法(PLS)。

2 结果与分析

2.1 游离氨基酸的组成与分析

根据游离氨基酸的呈味特征^[10],可大致分为鲜味氨基酸(天门冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、赖氨酸(Lys)、丙氨酸(Ala)),甜味氨基酸(脯氨酸(Pro)、丝氨酸(Ser)、苏氨酸(Thr)、组氨酸(His)),苦味氨基酸(精氨酸(Arg)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu))和芳香族氨基酸(胱氨酸(Cys)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe))。有研究表明^[11],鲜味氨基酸是重要的鲜味剂;苦味氨基酸虽然呈苦味,但能增加厚味;甜味氨基酸可丰富产品口感,协调鲜味。复合鲜味产品作为一种普适性强的增鲜调味品,其入口鲜味强烈、持久,且回味时间长,这与其所含丰富的鲜味氨基酸有很大关系。Glu 呈鲜强度最高,是谷氨酸钠(即味精)合成的重要原料,且能有效促进肝脏新陈代谢^[12]。Gly、Ala 是鲜味氨基酸中偏甜属性的氨基酸,其中 Gly 带有的清香甜味能降低入口苦味,提升鲜味,使人愉悦^[13]。

表 2 显示了 12 种鲜味样品共检测出 17 种游离氨基酸,其中 A、B、I 和 J 这四种鲜味样品含有全部 17 种游离氨基酸;而 F 和 H 其次,含有 16 种游离氨基酸,未检测到脯氨酸(Pro);E、G、K 和 L 含有的游离氨基酸种类最少,且其谷氨酸(Glu)含量较高,这可

能与添加了大量的鲜味物质如味精(谷氨酸钠)有关。鲜味氨基酸含量在 12 种产品中占主导地位,范围为 5.12~68.70 mg/100 g,平均值为 32.83 mg/100 g,占呈味氨基酸总含量的 90.97%,其中 E 含量最高,A 含量最低。苦味氨基酸含量范围为 0~5.94 mg/100 g,平均值为 1.64 mg/100 g,占呈味氨基酸总含量的 4.55%,其中样品 B 含量最高。芳香族氨基酸含量范围为 0.03~3.42 mg/100 g,平均值为 0.97 mg/100 g,占呈味氨基酸总含量的 2.69%,其中 A 含量最高,E 和 K 含量最低。甜味氨基酸含量范围为 0~2.90 mg/100 g,平均值为 0.64 mg/100 g,占呈味氨基酸总含量的 1.78%。

总之,复合鲜味样品的呈味特性与 Asp、Glu 等鲜味氨基酸之间有一定相关性^[15-16]。如样品 E、G、K 和 L 等,其鲜味氨基酸直接来自于配方中的味精(谷氨酸钠)和呈味核苷酸二钠,导致入口鲜度瞬时爆发感强烈;而在以酵母抽提物为主的复合鲜味产品中,如样品 A、B、I 和 J 等,氨基酸分布较为均衡且苦味氨基酸占比较大,原因是酵母抽提物在加工过程中通过酶解、自溶等工艺将大分子蛋白分解为更多的游离氨基酸。虽然苦味氨基酸不具有味觉活性,被甜味和鲜味掩盖,但带来了持久的浓厚味^[17]。

2.2 呈味特征与 TAV 值

游离氨基酸种类和含量增加有助于提高复合鲜味产品鲜味。根据游离氨基酸阈值计算 TAV,TAV 的大小与氨基酸的呈味效果呈正相关。游离氨基酸 TAV 大于 1 则表示对整体呈味有贡献^[18-19]。表 3 显示了不同鲜味样品游离氨基酸的 TAV。其中 Glu 的 TAV 最高,均高于其他游离氨基酸的 TAV,说明

表 2 12 种复合鲜味产品的游离氨基酸组成(mg/100 g)

Table 2 The content of free amino acids of twelve kinds of compound umami products (mg/100 g)

游离氨基酸类别	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Asp	0.58	0.95	0.05	0.06	—	0.33	—	0.83	0.42	0.33	—	—
Thr	0.74	0.92	0.04	0.03	—	0.19	—	0.36	0.06	0.26	—	—
Ser	0.68	1.09	0.05	0.03	—	0.23	—	0.40	0.05	0.37	—	—
Glu	1.24	2.35	20.47	66.28	68.66	27.16	49.25	23.64	2.64	5.02	68.22	35.96
Gly	0.43	0.70	0.02	0.02	—	0.17	0.09	3.54	0.43	0.17	—	—
Ala	1.56	3.79	0.15	0.09	0.04	0.54	0.06	1.16	1.81	0.78	0.05	—
Cys	0.06	0.24	—	0.11	0.03	0.08	—	0.17	0.94	0.11	0.03	0.04
Val	1.13	1.45	0.05	—	—	0.28	—	0.40	0.93	0.55	—	—
Met	0.30	0.37	—	—	—	0.06	—	0.08	0.06	0.18	—	—
Ile	0.93	1.04	0.02	—	—	0.12	—	0.21	0.65	0.52	—	—
Leu	1.82	2.13	0.10	—	—	0.45	0.05	0.69	1.07	0.59	—	—
Tyr	1.81	1.40	0.14	—	—	0.12	—	0.16	0.72	0.37	—	—
Phe	1.55	1.18	0.05	0.03	—	0.12	—	0.22	0.63	1.28	—	—
Lys	1.32	1.05	0.03	0.03	—	0.13	—	0.30	0.79	0.32	—	—
His	0.36	0.24	—	—	—	0.02	—	0.06	0.15	0.08	—	—
Arg	1.04	0.96	—	—	—	0.14	—	0.33	0.80	0.22	—	—
Pro	0.23	0.65	—	—	—	—	—	—	0.21	0.22	—	—
总和	15.78	20.51	21.17	66.68	68.73	30.14	49.49	32.54	12.35	11.37	68.30	35.99
Σ鲜味氨基酸	5.12	8.84	20.72	66.84	68.70	28.33	49.40	29.46	6.09	6.62	68.27	35.96
Σ苦味氨基酸	5.22	5.94	0.17	0.00	0.00	1.06	0.05	1.71	3.50	2.06	0.00	0.00
Σ甜味氨基酸	2.01	2.90	0.09	0.06	0.00	0.44	0.00	0.82	0.47	0.94	0.00	0.00
Σ芳香族氨基酸	3.42	2.83	0.19	0.14	0.03	0.32	0.04	0.56	2.29	1.76	0.03	0.04

注:氨基酸均用英文缩写标注;“—”表示未检测到;表3、表5、图1、图2同。

表 3 12 种复合鲜味产品的游离氨基酸阈值、呈味特性及 TAV 值

Table 3 Thresholds, taste characteristics and TAV of free amino acids of twelve kinds of compound umami products

游离氨基酸类别	味道特征	阈值 ^[14]	TAV											
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Asp	鲜	1.0	0.58	0.95	0.05	0.06	0.00	0.33	0.00	0.83	0.42	0.33	0.00	0.83
Thr	甜	2.6	0.29	0.35	0.02	0.00	0.00	0.07	0.00	0.14	0.02	0.10	0.00	0.14
Ser	甜	1.5	0.45	0.73	0.03	2.00	0.00	0.15	0.00	0.27	0.03	0.25	0.00	0.27
Glu	甜	0.3	4.12	7.84	68.23	220.93	228.86	90.53	164.16	78.79	8.79	16.75	227.41	78.79
Gly	鲜/甜	1.3	0.33	0.54	0.02	0.02	0.00	0.13	0.07	2.72	0.33	0.13	0.00	2.72
Ala	鲜/甜	0.6	2.60	6.32	0.25	0.15	0.07	0.89	0.11	1.93	3.02	1.30	0.08	1.93
Cys	苦	0.02	3.05	12.01	0.00	5.5	1.49	3.98	2.05	8.47	47.16	5.64	1.62	8.47
Val	甜/苦	0.4	2.82	3.62	0.125	0.00	0.00	0.70	0.00	1.01	2.32	1.37	0.00	1.01
Met	甜/苦	0.3	1.00	1.22	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.28	0.18	0.59	0.00	0.28
Ile	苦	0.9	1.04	1.16	0.02	0.00	0.00	0.13	0.00	0.23	0.73	0.58	0.00	0.23
Leu	苦	1.9	0.96	1.12	0.05	0.00	0.00	0.24	0.02	0.37	0.56	0.31	0.00	0.37
Tyr	苦	2.6	0.70	0.54	0.54	0.00	0.00	0.04	0.00	0.06	0.28	0.14	0.00	0.06
Phe	苦	0.9	1.73	1.31	0.06	0.03	0.00	0.13	0.00	0.25	0.70	1.43	0.00	0.25
Lys	甜/苦	0.5	2.63	2.10	0.06	0.06	0.00	0.25	0.00	0.59	1.58	0.63	0.00	0.59
His	甜/苦	0.2	1.81	1.18	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.31	0.75	0.41	0.00	0.31
Arg	苦/甜	0.5	2.07	1.91	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.65	1.59	0.44	0.00	0.65
Pro	甜	3.0	0.08	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00

Glu 可以提供强烈的鲜味, 对所有的鲜味样品呈味有非常显著贡献, 其中样品 E、K、D 处于前三位, 这可能与它们配方中含有大量的鲜味物质(如味精、呈味核苷酸二钠)有关; 样品 I 和 B 的 Cys 的 TAV 较高。RAZA 等^[20] 优化 GC-MS 检测参数对酵母抽提物的挥发性成分进行聚类分析, 研究表明 Cys 是生产肉味香精所必需的原材料, 能延缓鲜味, 增强后味。这也可能是这些样品鲜味持久的原因。总体而言, 对 12 种复合鲜味样品呈味阈值贡献最大的是 Glu, 其 TAV 值范围在 4.12~228.86。

2.3 游离氨基酸组分间的相关性分析

热图(Heat map)^[21] 是一种由多个长方形构成的矩阵图形。一般使用颜色来显示二维图中第三个变量的变化和量级。它以一种渐进色带直观地将结果展现以此看出数据的频率高低程度以及相互间的差异。结果如图 1 所示, 灰色表示正相关, 黑色表示负相关。Glu 与其他 16 种氨基酸均呈负相关; 其他 16 种游离氨基酸之间都呈正相关作用($P<0.05$); 而除偏甜味的 Gly 和呈苦味的 Cys, 其他 14 种游离氨基酸的相关系数的绝对值均大于 0.5, 说明它们之间呈非常显著正相关($P<0.05$)。

2.4 主成分分析

采用 Origin 2021 对 12 种不同复合鲜味样品的游离氨基酸进行 PCA 分析, 得出主成分载荷矩阵和 PCA 图。

由表 4 可知, 前 3 个主成分的特征值均大于 1, 且方差贡献率和 93.19%, 说明前 3 个主成分可反映游离氨基酸指标的大部分信息。因子载荷值是反映各个氨基酸指标对主成分载荷影响的相对大小值和方向, 其中数值反映影响大小, 正负代表变化方向的差别。

表 5 中可知, 第 1 主成分中载荷较高的氨基酸

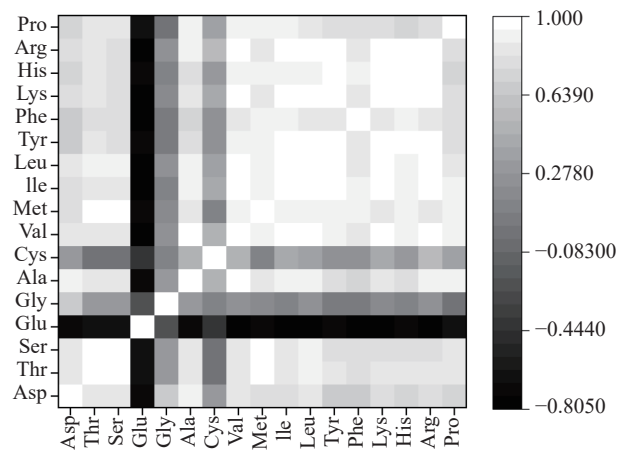


图 1 游离氨基酸相关性热图

Fig.1 Correlation heat map of free amino acids

注: 每个方格表示相关系数值(R), 其中正、负相关分别用灰色和黑色表示。

表 4 方差累计贡献率

Table 4 Total variance explained

成分	初始特征值	方差百分比(%)	累积方差贡献率(%)
1	13.1889	77.58174	77.58174
2	1.34982	7.94015	85.52188
3	1.30301	7.66474	93.18662
4	0.56877	3.34569	96.53231
5	0.40229	2.36642	98.89873
6	0.14714	0.86554	99.76426
7	0.03488	0.20516	99.96942
8	0.00324	0.01904	99.98847
9	0.00168	0.00987	99.99834
10	2.82E-04	0.00166	100
11	4.22E-07	2.48E-06	100
12	5.57E-32	3.28E-31	100

指标有 Asp、Thr、Ser、Ala、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His、Arg 和 Pro 等 14 个指标的变异

信息,载荷值均大于 0.8,均为非常显著正相关且第 1 主成分因子方差贡献率为 77.58%,表明第 1 主成分对复合鲜味产品氨基酸组分含量影响最大,但同时含有载荷值为-0.800 的指标 Glu,有负向影响,说明 Glu 含量应在一定的添加范围内,否则过高容易产生酸涩味、眩晕等令人不愉快的感觉;第 2 主成分主要受 Gly 载荷值影响,方差贡献率为 7.94%;第 3 主成分受 Cys 影响,方差贡献率为 7.66%。

表 5 主成分载荷矩阵
Table 5 Component loading matrix

氨基酸类别	PC1(77.58%)	PC2(7.94%)	PC3(7.66%)
Asp	0.867	0.486	0.019
Thr	0.927	0.130	-0.342
Ser	0.912	0.162	-0.341
Glu	-0.800	-0.024	-0.208
Gly	0.266	0.934	0.085
Ala	0.928	0.119	0.109
Cys	0.371	-0.030	0.917
Val	0.989	-0.042	0.122
Met	0.952	-0.037	-0.287
Ile	0.984	-0.138	0.071
Leu	0.995	0.008	0.006
Tyr	0.944	-0.213	-0.068
Phe	0.892	-0.224	-0.103
Lys	0.961	-0.126	0.095
His	0.937	-0.160	-0.028
Arg	0.960	-0.057	0.191
Pro	0.886	-0.142	-0.039

由图 2(a)可知,横坐标和纵坐标分别代表每个样品在主成分 1、2 上的投影得分值;图 2(b)表明的是各氨基酸组分在其平面上的载荷分布情况。各个样品的空间坐标能直观反映产品的差异性,相对位置越远说明其差异越大。从图 2(a)可知,不同样品分别集中于图的不同区域,且区分效果明显。结合两图分析可得,样品 A、B、I、J 和 H 分布在第 1 和 4 象限,受 Asp、Thr、Ser、Ala、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His、Arg、Pro、Gly 和 Cys 影响较大,即受主成分 1、2 和 3 影响较大;样品 C、D、E、F、G、K 和 L 分布在第 2 和 3 象限,受 Glu 影响较大,即与其有负相关作用。说明正是这些氨基酸组分造成了不同复合鲜味样品有各自的呈味特征。

2.5 味精当量和定量感官评价结果

常见的呈鲜核苷酸物质有腺苷酸(AMP)、鸟苷酸(GMP)、肌苷酸(IMP)、胞苷酸(CMP)及尿苷酸(UMP)。有研究表明^[22],5'-IMP 和 5'-GMP 的风味增强活性比谷氨酸钠(MSG)大 100 倍以上,说明核苷酸与鲜味氨基酸混合具有协同作用,能使鲜味增强,这种协同作用用味精当量(Equivalent umami concentration, EUC)表示。EUC 在水产品和食用菌中应用较为常见,如鱼糜制品^[23]、长江刀鲚^[24]、羊肚菌^[25]。

有研究报道^[26],味精当量(EUC)是体现产品鲜味特征的重要计算结果,并将 EUC 值分为四个等级:>1000 g MSG/g 干基质量,即鲜味非常强烈;100~1000 g MSG/g 干基质量,即鲜味强烈;10~100 g

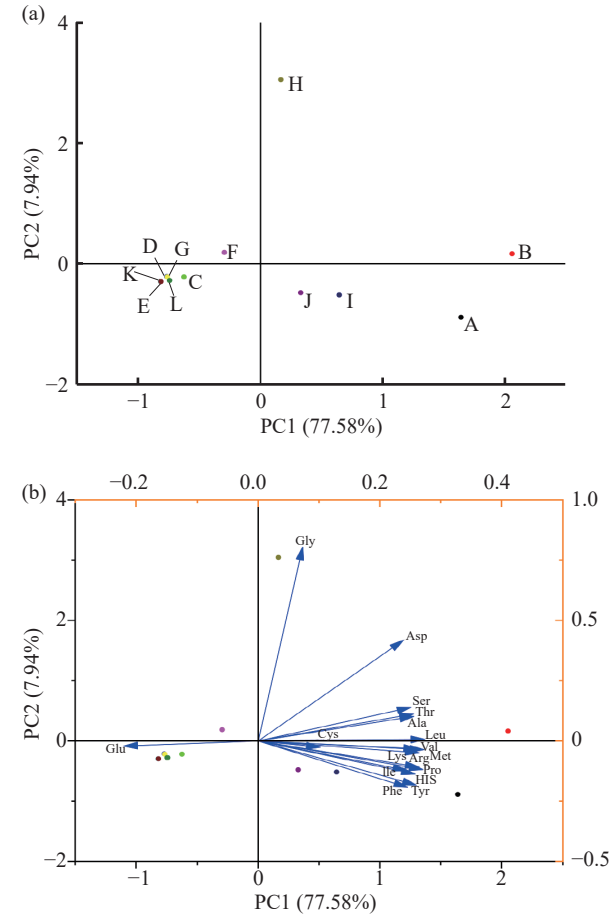


图 2 12 种复合鲜味产品主成分因子得分图(a)和氨基酸载荷图(b)

Fig.2 The scoring diagram (a) and free amino acids loading diagram (b) of PCA of twelve kinds of compound umami products

MSG/g 干基质量,鲜味中等;<10 g MSG/g 干基质量,鲜味一般。12 种不同复合鲜味产品的味精当量值如表 6 所示。

表 6 12 种复合鲜味产品的味精当量和感官鲜味评分结果
Table 6 The equivalent umami concentrations and sensory umami evaluations of twelve kinds of compound umami products

编号	EUC(g MSG/g)	感官鲜味评分(分)
A	44.85	5.19±0.17
B	16.80	4.31±0.35
C	108.40	7.94±0.43
D	83.17	7.12±0.31
E	223.21	8.90±0.23
F	51.83	6.54±0.51
G	197.52	8.14±0.36
H	48.10	5.31±0.14
I	29.79	4.43±0.15
J	23.44	4.16±0.21
K	97.72	7.70±0.50
L	52.32	6.61±0.27

由表 6 可知,样品 E 因由谷氨酸钠和呈味核苷酸二钠复配而成,而谷氨酸钠和呈味核苷酸二钠有协同增鲜的效果^[27],故其 EUC 值最高,为 223.21 g MSG/g,即 1 g 产生的鲜味强度相当于 223.21 g 单

一味精所产生的鲜味强度;样品B的EUC值最低,仅为16.80 g MSG/g,表明其虽具有一定的增鲜效果,但协同增鲜作用较弱。只有C、E和G的味精当量结果属于第二水平,鲜味强烈;其余均为第三水平。

另外,12种复合鲜味产品的鲜味感官评价范围从4.16(J)到8.90(E),其中E和G因配方组成相似,导致两者的鲜味强度相近。整体上看,感官鲜味结果和味精当量计算结果存在一定的正相关。

2.6 鲜味指标间的相关性分析

为了进一步解释所测定的鲜味指标,如感官评价鲜味强度和味精当量、呈味氨基酸组分等检测结果的关系,拟通过偏最小二乘法(PLS)对以上组分进行分析,其结果见表7。相关系数 r -cal表示变量之间线性相关程度, r -cal越接近1,所建模型的拟合效果越好。但为了预防过拟合现象的产生,需结合校正标准差RMSEC(Root Mean Square Error of Calibration)来进行评价,RMSEC值越小,其稳定性越强。田霄艳等^[28]利用PLSR建立了电子舌响应值与感官强度值分析模型,对植物蛋白水解物苦味进行了评价和预测,结果表明所建立的校正模型预测结果完全可以接受,可以替代常规感官评价分析方法。

表7 感官鲜度评价、味精当量结果和游离氨基酸呈味组分的相关性

Table 7 Correlation of sensory umami evaluations, equivalent umami concentrations and free amino acids

变量	R-Square	r -cal	RMSEC
感官鲜度评价和EUC	0.769518	0.875	0.762
感官鲜度评价和鲜味氨基酸	0.661567	0.813	0.917
感官鲜度评价和苦味氨基酸	0.62971	0.794	0.959
感官鲜度评价和甜味氨基酸	0.501058	0.708	1.136
感官鲜度评价和芳香族氨基酸	0.634640	0.800	0.953

注: r -cal:校正模型相关系数;RMSEC:校正模型误差平方根。

从表7可知,感官鲜度评价与味精当量具有较好的相关性,其中校正模型的相关系数 r 大于0.8,且RMSEC值较小,说明所建模型有一定程度的可接受性和预测性;同样的方法分析,感官鲜度评价与鲜味氨基酸、苦味氨基酸、芳香族氨基酸的RMSEC值都大于0.9,说明还需要增加更多样品数量达到更好的预测效果;而与甜味氨基酸之间相关性一般。故通过PLS相关性分析可知,感官鲜度评价结果与味精当量EUC值相关性较强,说明此相关性分析的必要性,为更多样品的配方和工艺选择提供了一定的参考,从而将减少重复实验的麻烦,克服传统感官缺陷,提高产品开发的科学性。

3 结论

研究测定了12种不同复合鲜味产品的游离氨基酸和核苷酸,明确了它们的呈味特征。在氨基酸组分分析和呈味物质组成方面,发现Glu是呈鲜味的主要组分,其TAV为4.12~228.86,但是12种复合鲜味产品的鲜味特征有明显区分:由味精和呈味核苷

酸二钠为主要组成的样品其入口鲜味爆发感强,而以酵母抽提物为主要配方的产品,Cys的TAV也较高,说明这类产品入口鲜味持久,浓厚味突出,带有肉味感;通过Pearson相关性分析表明大多数氨基酸之间都呈显著正相关,说明单一鲜味物质复配后协同呈味作用显著;结合PCA主成分分析提取出3个主成分,累计方差贡献率达93.19%,足以反映复合鲜味样品游离氨基酸的大部分信息,且产品的呈味特点有一定的类聚性:即富含核苷酸、直入鲜味的味精类产品 and 浓郁肉味、厚味的酵母抽提物类产品;通过PLS拟合验证了味精当量(EUC)与定量感官鲜味结果的一致性,为复合鲜味产品感官评价结果的预测提供了一定参考。综上,复合鲜味物质特别是酵母抽提物的添加,能一定程度促进产品的鲜味协同增效。

参考文献

- [1] 孙式兴. 食品工业中的鲜味物质概述[J]. 现代食品, 2021(9): 6-8. [SUN S X. Summary of umami substances in food industry[J]. Modern Food, 2021(9): 6-8.]
- [2] 魏光强, 李子怡, 黄艾祥, 等. 基于游离氨基酸、挥发性组分和感官评价的2种酸化技术加工乳饼的滋味特征差异分析[J]. 食品科学, 2021, 42(22): 263-269. [WEI G Q, LI Z Y, HUANG A X, et al. Differential taste characteristics of rubbing cheese made by two acidification methods revealed by free amino acids, volatile compounds and sensory evaluation[J]. Food Science, 2021, 42(22): 263-269.]
- [3] 唐史杰, 尹明雨, 松冈亮辅, 等. 市售沙拉酱游离氨基酸组成的主成分分析与层次聚类分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 222-228. [TANG S J, YING M Y, RYOSUKE M, et al. Principal component analysis and cluster analysis of free amino acids in market salad dressings[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 222-228.]
- [4] 孙承锋, 周楠, 朱亮, 等. 卤猪肉加工过程中游离脂肪酸、游离氨基酸及核苷酸变化分析[J]. 现代食品科技, 2016, 32(6): 200-206. [SUN C F, ZHOU N, ZHU L, et al. Changes in free fatty acid, free amino acid, and nucleotide content during preparation of stewed pork[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(6): 200-206.]
- [5] 施帅, 陆应林, 徐幸莲. 南京板鸭加工过程中小肽及游离氨基酸变化的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(3): 100-103. [SHI S, LU Y L, XU X L. Research on changes of peptides and free-amino acids during processing[J]. Food Science, 2006, 27(3): 100-103.]
- [6] 柳艳霞, 于家欢, 赵改名, 等. 基于多元统计联合分析的卤煮鸡肉与鸡汤滋味差异研究[J]. 河南农业大学学报, 2022, 56(2): 301-311. [LIU Y X, YU J H, ZHAO G M, et al. Study on taste characteristics differences between braised chicken and its broth based on multivariate statistical analysis[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2022, 56(2): 301-311.]
- [7] RAINER W, HANSANS D B, WERNER G. Evaluation of taste compounds of swiss cheese (Emmentaler)[J]. European Food Research and Technology, 1996, 203(3): 230-235.
- [8] 任佳悻, 翟营营, 黄晶晶, 等. 酵母抽提物滋味成分分析及其复合调味料对鲑鱼风味的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(16):

- 210-217. [REN J Y, ZHAI Y Y, HUANG J J, et al. Analysis of taste components of yeast extract and effect of composite seasoning containing it on the flavor of silver carp[J]. Food Science, 2020, 41(16): 210-217.]
- [9] 丛懿洁, 王磊. Friedman 检验和定量描述分析法 (QDA) 在风味酸奶感官评定中的应用[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(4): 121-127.
- [CONG Y J, WANG L. Application of friedman test and quantitative descriptive analysis (QDA) in sensory evaluation of flavored yogurt[J]. Storage and Process, 2021, 21(4): 121-127.]
- [10] 杨慧, 张帆, 文新年, 等. 卤制小龙虾卤水产品品质变化规律研究[J]. 湖南农业科学, 2020(8): 79-81, 87. [YANG H, ZHANG F, WEN X N, et al. Study on the change rule of brine quality for marinated crayfish (*Procambarus clarkii*)[J]. Hunan Agricultural Science, 2020(8): 79-81, 87.]
- [11] LIN H B, YU X Y, FANG J X, et al. Flavor compounds in pixian broad-bean paste: Non-volatile organic acids and amino acids[J]. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 2018, 23(6): 1299.
- [12] 郇思琪, 刘登勇, 王笑丹, 等. 食品中呈鲜味物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 333-339. [HUAN S Q, LIU D Y, WANG X D, et al. Advances in research on umami substances in food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(21): 333-339.]
- [13] 宋婉莹, 李墨翰, 张秀敏, 等. 牛初乳与牛常乳中游离氨基酸和不溶性蛋白质氨基酸对比研究[J]. 乳业科学与技术, 2021, 44(5): 1-6. [SONG W Y, LI H M, ZHANG X M, et al. Comparative study of free amino acids and insoluble-proteome amino acids in bovine colostrum and mature milk[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2021, 44(5): 1-6.]
- [14] 袁先铃, 彭先杰, 陈崇艳, 等. 高压蒸汽灭菌时间对冷吃兔风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 257-265. [YUAN X L, PENG X J, CHEN C Y, et al. Effect of the time of high pressure steam sterilization on the changes of flavor substance in cold-eating rabbits[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 257-265.]
- [15] 陈佳佳, 朱陈松, 朱文伟, 等. 白茶萎凋过程中氨基酸类物质代谢分析[J]. 茶叶科学, 2021, 41(4): 471-481. [CHEN J J, ZHU C S, ZHU W W, et al. Analysis of the metabolism of amino acids during the withering of white tea[J]. Journal of Tea Science, 2021, 41(4): 471-481.]
- [16] 谷镇, 杨焱. 食用菌呈香呈味物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 363-367. [GU Z, YANG Y. Research progress in flavor components of edible fungus[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(5): 363-367.]
- [17] 刘建彬, 宋焕禄, 李沛, 等. 商品化酵母抽提物中风味活性化合物的综合定量分析及其应用特性研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(7): 1-10. [LIU J B, SONG H L, LI P, et al. Quantitative analysis and comprehensive study of flavor-active compounds and application properties of commercial yeast extract[J]. China Condiment, 2015, 40(7): 1-10.]
- [18] 刘毕琴, 王馨蕊, 赵文华, 等. 不同来源和年份诺邓火腿的理化及呈味性质[J]. 肉类研究, 2021, 35(8): 1-8. [LIU B Q, WANG X R, ZHAO W H, et al. Physicochemical and taste properties of nuodeng dry-cured hams from different pig breeds and of different ages[J]. Meat Science, 2021, 35(8): 1-8.]
- [19] 张宁龙. 养殖河鲢鱼特征性滋味组分及呈味肽的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019. [ZHANG N L. Research on the taste characteristic components and flavor peptides of bred pufferfish[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.]
- [20] RAZA A, BEGUM N, SONG H L, et al. Optimization of headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) parameters for the analysis of pyrazines in yeast extract via gas chromatography mass spectrometry (GC-MS)[J]. *Journal of Food Science*, 2019, 84(8): 2031-2041.
- [21] 徐永霞, 白旭婷, 冯媛, 等. 基于 GC-IMS 和化学计量学分析海鲈鱼肉蒸制过程中风味物质的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(22): 270-275. [XU Y X, BAI X T, FENG Y, et al. Changes of flavor compounds in sea bass during steaming process as analyzed by gas chromatography-ion mobility spectroscopy and chemometrics[J]. Food Science, 2021, 42(22): 270-275.]
- [22] YAMAGUCHI S, YOSHIKAWA T, IKEDA S. Measure of relative taste intensity of some L-alpha-amino-acids and 5'-nucleotides[J]. *Journal of Food Science*, 1971, 36(6): 846-849.
- [23] 翟营营, 黄晶晶, 张慧敏, 等. 酵母抽提物主要滋味成分分析及其对鱼糜制品风味的影响[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(5): 105-113. [ZHAI Y Y, HUANG J J, ZHANG HUI M, et al. Analysis of main taste components of yeast extract and its effect on flavor of surimi products[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(5): 105-113.]
- [24] 阮明杰. 不同月份刀鲚鲜味相关滋味物质变化规律及感官评价模型的初步构建[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019. [RUAN M J. Study on the differences in umami related taste compounds of coilia ectenes in different month and construction of sensory evaluation model[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.]
- [25] 卢琪, 薛淑静, 杨德, 等. 不同加工方式对羊肚菌水提液鲜味及抗氧化性能的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 27-33. [LU Q, XUE S J, YANG D, et al. Effects of different processing methods on umami taste and antioxidant capability of water extracts of *Morchella esculenta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 27-33.]
- [26] MAU J L. The umami taste of edible and medicinal mushrooms[J]. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2005, 7(1): 119-126.
- [27] 俞铮, 葛小通, 张佳汇, 等. 食品中鲜味的来源及其评价方法[J]. 食品科学, 2022, 43(19): 338-347. [YU Z, GE X T, Z J H, et al. The producer and evaluation method of umami taste in food[J]. Food Science, 2022, 43(19): 338-347.]
- [28] 田霄艳, 郑斐庭, 冯涛, 等. 大豆蛋白水解物苦味评价方法[J]. 食品科学, 2022, 43(3): 25-32. [TIAN X Y, ZHENG T F, FENG T, et al. Study on bitter evaluation method of soybean protein hydrolysate[J]. *Food Science*, 2022, 43(3): 25-32.]