

电子舌在燕窝新品开发配料选择上的应用

许雅楠¹, 连建梅¹, 范群艳^{1*}, 谢加凤¹, 李鸿铭¹, 银小倩¹, 何丽娜¹, 张 怡²

(1. 厦门市燕之屋丝浓食品有限公司, 燕之屋燕窝研究院, 厦门 361100;

2. 福建农林大学食品科学学院, 福州 350002)

摘 要: 目的 基于电子舌探究 14 种食品配料与燕窝搭配呈现的滋味特性, 并与传统感官分析方法比较电子舌在燕窝产品开发上的可实际应用潜力。**方法** 根据 14 种不同食品配料和燕窝的电子舌数据绘制风味图、进行主成分分析(principal component analysis, PCA)、重回归分析等, 并与传统感官评定结果进行对比。**结果** 配料与燕窝的风味雷达图相似时, 二者的适配性通常也较佳。乌龙茶、椰浆与燕窝适配性佳, 陈皮、火腿与燕窝适配性差; 当配料的风味同时满足涩味回味及酸味弱、鲜味及其回味较突出、甜味和咸味适中的特征时, 其与燕窝食品适配性通常较佳。且电子舌的基本味觉评定结果与传感感官评定结果具有较高的一致性; 不同食品适配性的配料在 PCA 中具有一定的聚类趋势。**结论** 电子舌在新品开发配料选择应用中具有巨大的应用潜力。

关键词: 电子舌; 燕窝; 新品开发; 主成分分析

Application of electronic tongue in ingredients selection for bird's nest product development

XU Ya-Nan¹, LIAN Jian-Mei¹, FAN Qun-Yan^{1*}, XIE Jia-Feng¹, LI Hong-Ming¹,
YIN Xiao-Qian¹, HE Li-Na¹, ZHANG Yi²

(1. Yan Palace Seelong Food Co., Ltd., Bird's Nest Research Institute of Yan Palace, Xiamen 361100, China;

2. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT: Objective To explore the taste characteristics of 14 kinds of food ingredients combined with bird's nest based on electronic tongue (E-tongue), and compare the practical application potential of electronic tongue in bird's nest product development with the traditional sensory analysis method. **Methods** Based on the E-tongue data of 14 kinds of different food ingredients and bird's nest, the flavor map was drawn, principal component analysis (PCA) and regression analysis were conducted, and the results were compared with the results of traditional sensory evaluation. **Results** When the flavor profiles of the ingredients and bird's nest were similar, the suitability of the two was generally good. Oolong tea and coconut milk had good adaptability to bird's nest, while tangerine peel and ham had poor adaptability to bird's nest; when the flavor of ingredients simultaneously met the characteristics of astringent aftertaste and weak sour taste, delicate flavor and prominent aftertaste, and moderate sweet and salty taste, their adaptability to bird's nest food was generally good. Besides, the basic taste evaluation results of E-tongue were in

基金项目: 福建省科技创新领军人才基金项目(KRC16002A)、福建省万人计划基金项目(KRC19007A)

Fund: Supported by the Leading Talents of Science and Technology Innovation in Fujian Province, China (KRC16002A), and the Ten Thousand People Program in Fujian Province, China (KRC19007A)

*通信作者: 范群艳, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品科学。E-mail: XMyanzhiwu@126.com

*Corresponding author: FAN Qun-Yan, Ph.D, Senior Engineer, Yan Palace Seelong Food Co., Ltd., No.3, Xiangming Road, Xiangming District, Xiamen 361100, China. E-mail: XMyanzhiwu@126.com

high consistency with the sensory evaluation results; the ingredients with different food suitability showed a certain clustering trend in PCA. **Conclusion** E-tongue has great application potential in new product development, ingredient selection and application.

KEY WORDS: electronic tongue; bird's nest; new product development; principal component analysis

0 引言

电子舌采用与人的舌头相似的识味机制,把各种食品、药品的各项味道数字化。其独特的回味测量技术,可用以表述“丰富度”“浓烈度”“回味悠长”等模糊的感官。作为感官评价领域的一款专业技术工具,强大的测试分析能力适用于各种需要进行客观味觉评估的环节。电子舌克服了传统分析技术存在的操作过程复杂、预处理时间长、主观性强且结果重复性差的缺点,广泛应用于大米^[1]、中药材及农产品^[2]、熏鸡腿^[3]的静态味觉分析,还可应用于跟踪产品不同工艺及开发过程中的动态风味变化,如冻干香菇^[4]、橄榄油^[5]。而在食品开发中,食材间的适配性也是一项意义重大的研究课题,目前大部分是通过传统感官分析方法来完成。

主成分分析(principal component analysis, PCA)是将多个指标转化为少数几个不相关的综合指标的一种多元统计分析方法^[6]。PCA、回归分析方法可为食品的品质综合评价体系的简化提供方便,简化评价过程^[7-9]。在水果^[10]、谷物^[11-12]、油脂^[13]、肉等^[14]品质指标结合评价研究及农作物培育分析^[15-16]中得到广泛应用。

燕窝作为我国传统高端滋补食材,多与冰糖搭配食用。对食用燕窝的研究多为成分提取^[17]、功能活性^[18]、真伪鉴别^[19],而本研究将传统感官分析与电子舌相结合,对不同食品配料与燕窝样品的配伍进行测定,通过 PCA、重回归分析等多元统计学方法对不同食品配料的滋味品质综合评价与分析,以期对燕窝配伍配料质量品质评价体系的构建提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

燕之屋鲜泡燕窝、燕之屋小红碗无糖碗燕(厦门市燕之屋丝浓食品有限公司)。

水果类:冻干果丁[3 mm, 苹果丁:红心火龙果丁:香蕉丁:芒果丁:草莓丁=1:1:1:1:1 (*m:m:m:m:m*), 福建欧瑞园食品有限公司];浓缩桃清汁(Brix: 65%, 山西佳鑫达食品有限公司);丹东久久草莓、猕猴桃(佳沛)、樱桃(JJ)(厦门元初食品股份有限公司)。

茶类:武夷大红袍、龙井(二级)(福建省银芝集团有限公司);乌龙茶浓缩液(Brix: 8%, 仙洋洋有限公司);茉莉花

茶(茉莉香雪)、天仙白茶(头采, EFU15+)、小青柑、白毫银针(特级)、正山小种(特级)(浙江艺福堂茶业有限公司)。

谷物类:红枣(五星大枣, 好想你健康食品股份有限公司);冻干紫薯丁(3 mm, 福建欧瑞园食品有限公司);米酒(米婆婆米酒清汁)。

奶制品:椰浆粉(印度尼西亚 KARA 公司);巴式鲜奶(长富福建长富乳业集团);营养舒化奶、风味发酵乳(原味, 内蒙古伊利实业集团股份有限公司);养乐多(无锡养乐多乳品有限公司);芝士片(原味, 上海妙可蓝多食品科技股份有限公司);丝袜奶茶(兰芳园食品有限公司)。

坚果类:核桃碎(粒径 1~2 mm)、榛子酱、碧绿开心果酱、鲍鱼果酱、松子碎、碧根果碎(粒径 1~2 mm)(杭州善味食品有限公司);桃花姬阿胶膏(山东东阿阿胶保健品有限公司)。

咸味制品:咸蛋黄、咸蛋白(高邮市红太阳食品有限公司);黄焖鸡汤(苏州阿邓食品有限公司);金华火腿(金华火腿股份有限公司)。

苦味制品:抹茶(芋治五十铃, 厦门元初食品股份有限公司);可可粉(美国 HERSHEY'S 公司);新会陈皮(三年, 新宝堂陈皮有限公司)。

海鲜制品:明虾、海参、花胶(厦门元初食品股份有限公司);鲍汁金汤(厦门市燕之屋食品有限公司)。

1.1.2 试剂

电子舌基准液、正极清洗液、负极清洗液、内部浸泡液(分析纯, 日本 INSENT 公司)。

1.2 仪器与设备

LSA402-B 电子舌(日本 INSENT 公司);H1850R 医用离心机(湖南汀仪实验室仪器开发有限公司);AUW220 电子分析天平(精度 0.0001 g, 日本 SHIMADZU 岛津制作所);FA25 剪切机(美国 FLUKE 福禄克电子仪器仪表公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 物料筛选

为扩大燕窝配伍配料新风味方向,对蔬菜、水果、茶、谷物、奶制品、坚果、咸味制品、苦味制品、海鲜制品 9 大类物料约 50 余种进行感官初筛选,选取各类物料中经典风味或风味较优物料共 14 款进行感官评定,感官评定样品制备如下。

鲜泡燕窝预处理:按 2 盏鲜泡燕窝+90 g 沸纯水的比例,进行冲泡,5 min 后搅匀备用。

无糖碗燕预处理: 揭盖, 倒出、混匀备用。

可可燕窝: 取 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝, 冲泡 5 min 后搅匀, 加入 0.3 g 可可粉, 混匀。

抹茶燕窝: 取 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝, 加入 0.07 g 抹茶粉, 混匀。

乌龙燕窝: 取 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝, 加入 1.5 g 乌龙浓缩液, 混匀。

桃汁燕窝: 取 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝, 加入 1.5 g 桃浓缩汁, 混匀。

椰浆燕窝: 取 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝, 加入 0.55 g 椰浆粉, 混匀。

红枣燕窝: 红枣洗净、去核、切丁, 取 2.5 g, 与 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝混匀。

米酒燕窝: 取 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝, 加入 3.5 g 米酒, 混匀。

果丁燕窝: 取 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝, 加入 1.2 g 冻干水果丁, 混匀。

紫薯丁燕窝: 取 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝, 加入 2.5 g 冻干紫薯丁, 混匀。

陈皮燕窝: 陈皮煮沸 30 s, 沥干、切丁, 取 0.8 g 加入 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝。

火腿燕窝: 金华火腿煮沸 1 min, 沥干、去皮、切丁, 取 2.6 g 加入 100 g 无糖碗燕中。

鸡汤燕窝: 鸡汤隔水温热后, 取 15 g, 加入 100 g 无糖碗燕中。

金汤燕窝: 金汤隔水温热后, 取 18 g, 加入 100 g 无糖碗燕中。

阿胶燕窝: 阿胶膏与纯水按 2:1 (V:V) 混合后隔水融化, 取 8.3 g, 加入 100 g 冲泡后的鲜泡燕窝。

1.3.2 感官评定

(1) 感官评定人员及环境

感官品评室参照 GB/T 18797—2012《茶叶感官审评室基本条件》设立, 感官评论小组参照 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》组建。本次测试随机抽取 20 名感官小组成员进行评定, 其中女性 12 人, 男性 8 人, 年龄 20~40 岁内。

(2) 感官评定评分方法

采用 5 分评价法, 从色泽、香气、酸甜感、苦涩感、风味协调度 5 个方面对不同配料与燕窝的搭配进行评价。其中, 苦涩感按苦涩感程度评分, 无苦涩感记为 0 分, 喜好度视为最佳; 其余评价指标分越高表示喜好度越高。总分=色泽+香气+酸甜感+(5-苦涩感)+风味协调度。

(3) 感官评定筛选方法

按物料风味类型进行 9 轮感官评定初筛并对结果进行汇总、排序, 选取各类物料中经典风味或风味较优物料

进行感官评定。共 14 样次, 分 3 轮进行感官评定, 两轮评定间隔 3 h 以上。每次品评量为 10~15 mL, 每次评定结束后用纯化水漱口, 且两次评定间隔 30 s。

第一轮评定样为: 可可燕窝、抹茶燕窝、乌龙燕窝、陈皮燕窝、阿胶燕窝;

第二轮评定样为: 桃汁燕窝、椰浆燕窝、红枣燕窝、果丁燕窝、紫薯丁燕窝、米酒燕窝;

第三轮评定样为: 火腿燕窝、鸡汤燕窝、金汤燕窝。

1.3.3 电子舌评定

样品依次经剪切、离心(6280×g, 8 min)、抽滤, 去除样品中固体及油脂成分, 取滤液进行测定。

酸味、咸味、苦味及其回味、涩味及其回味、鲜味及其回味测定条件: 选用 AAE、CTO、CAO、AE1、COO 味觉传感器及对应 2 个参比传感器, 测定 5 次, 正负极清洗液清洗 90 s, 标准清洗液 2 清洗 120 s, 标准清洗液清洗 120 s, 参比液测定 30 s, 样品测定 30 s、静止 20 s, 标准清洗液 4 清洗 3 s, 标准清洗液 5 清洗 3 s, 参比液测定 30 s。

甜味测定条件: 选用 GL1 味觉传感器及对应参比传感器, 测定 5 次, 正极清洗液清洗 90 s, 标准清洗液 2 清洗 120 s, 标准清洗液 3 清洗 120 s, 参比液测定 30 s、静止 1 s, 样品测定 30 s, 标准清洗液 4 清洗 3 s, 标准清洗液 5 清洗 3 s, 参比液测定 30 s。

1.4 统计方法

实验数据采用 Microsoft Excel 2007 软件统计偏差并绘图, 采用 LSA402-B 对味觉值进行 PCA 及重回归拟合。

2 结果与分析

2.1 感官评定结果

本次感官评定中, 根据风味搭配经验, 火腿、鸡汤、金汤等咸味配料与无糖燕窝搭配, 其余配料与冰糖燕窝搭配。本次共 20 名接受过专业感官评定的人员参与感官评定, 结果按总分升序排列, 见表 1。

由表 1 可知, 关于色泽偏好, 受试者对色泽明亮对比度强的颗粒状配料(如紫薯丁、果丁)或清澈透明浅色素的液态配料(如乌龙茶、米酒)喜好度较高。关于风味偏好, 受试者对于咸味搭配(如火腿、金汤、鸡汤)喜好度低。陈皮与燕窝的搭配喜好度最低, 仅为 11.63; 火腿与燕窝的搭配喜好度较低(总分 11.90), 其酸甜感弱、苦涩感过重。但适当的苦涩感在特定配料与燕窝的搭配中对风味有一定的提升作用, 如乌龙茶与燕窝搭配喜好度最高(总分 19.10), 其次为酸甜感突出的冻干果丁搭配(18.63)。

2.2 电子舌评定

为探究传统感官评定与电子舌评定间的关联性, 测试燕窝、配料、燕窝与配料搭配共 21 个样品的电子舌数据, 并进行对比分析。

表 1 感官评定结果汇总表(n=15)
Table 1 Sensory evaluation results summary table (n=15)

序号	样品	色泽	香气	酸甜感	苦涩感	协调度	总分
1	陈皮燕窝	2.45±0.93	2.91±1.14	2.45±1.13	2.91±1.70	1.73±1.10	11.63±0.84
2	火腿燕窝	2.45±1.29	2.27±1.42	1.27±1.10	0.82±1.25	1.73±0.90	11.90±1.79
3	阿胶燕窝	2.00±0.63	2.64±0.81	2.91±1.14	1.09±1.38	3.18±0.75	14.64±1.48
4	抹茶燕窝	2.91±0.94	2.73±0.90	2.91±0.70	1.64±1.50	3.00±1.00	14.91±0.45
5	金汤燕窝	2.91±0.94	3.73±1.01	2.27±1.68	1.09±1.14	3.18±1.25	16.00±1.14
6	桃汁燕窝	3.09±0.70	3.36±1.12	3.27±0.65	1.00±1.55	3.55±0.69	17.27±0.89
7	紫薯丁燕窝	4.00±0.63	2.73±1.19	3.27±0.47	0.91±1.45	3.27±0.65	17.36±0.89
8	可可燕窝	2.64±1.03	3.45±0.69	3.64±0.50	0.82±1.08	3.55±0.82	17.46±0.89
9	鸡汤燕窝	3.55±0.82	4.18±0.87	2.27±1.56	1.00±1.41	3.64±0.92	17.64±0.89
10	红枣燕窝	3.18±0.87	3.18±0.87	3.55±0.82	0.73±1.27	3.55±0.93	17.73±1.10
11	米酒燕窝	3.27±0.79	3.45±0.69	3.36±1.29	0.73±1.42	3.64±0.67	17.99±0.71
12	椰浆燕窝	2.91±0.83	3.55±0.82	3.64±0.50	0.73±1.42	3.73±0.90	18.10±0.84
13	果丁燕窝	4.36±0.50	3.00±1.18	3.82±0.60	0.91±1.38	3.36±0.81	18.63±1.34
14	乌龙燕窝	4.18±0.60	3.82±0.60	3.55±0.52	1.36±1.63	3.91±0.94	19.10±0.45

2.2.1 电子舌味觉值数据

电子舌数据汇总如表 2。所有数据均是以人工唾液(参比溶液)为标准的绝对输出值。其中, Tasteless 为无味点, 即参比溶液的输出生, 由于参比溶液由氯化钾和酒石酸组成, 故基准液中含有少量的酸和盐, 酸味的无味点为-13.00, 咸味的无味点为-6.00。味觉值在无味点以下的项目, 则认为该样品无此味觉。若样品间在某一味觉的味觉值差值大于 1, 则普通人可通过感官品评分辨其味觉差异^[20]。

对电子舌味觉值数据进行方差分析, 误差用以判定不同传感器的误差率, 反映传感器的区分能力, 值越低传感器对样品的区分性越好。由表 2 可知, 各个传感器误差率均≤28.03%, 即各传感器对样品的区分性均较佳, 数据具有统计学意义。

人体甜味由甜味受体 T1R2 识别甜味成分^[21], 而电子舌甜味传感器(GL1)主要是由脂膜上的羧基识别糖分子中的 2 个邻位羟基^[22]。且羟基及其空间结构显著影响甜味响应信号^[23]。由表 2 可知, 冰糖燕窝与无糖燕窝甜味味觉值分别为 9.04±0.14、7.74±0.23, 甜味味觉值差值大于 1, 普通人可辨识差异, 与感官品评结果一致。而无糖燕窝甜味味觉值高达 7.74±0.23, 原因可能在于燕窝中富含唾液酸, 而唾液酸中亦具有邻位羟基结构, 进而响应甜味传感器的甜味响应。值得注意的是, 甜味剂根据其带电性, 其对应的甜味响应机制有所差异^[24], 甜味味觉值规律与糖及糖醇也不同, 不可套用分析。

苦味的响应与人体味觉受体反应有关^[25], 氯化钠可通过减少疏水作用抑制苦味^[26]。由表 2 可见, 咸味物料(火腿、

金汤)的苦味味觉值均较低, 分别为 6.03±0.12、4.40±0.10; 但苦味味觉值最低的物料为桃汁(2.06±0.17)。结果表明, 咸味与苦味非简单反相关关系, 其响应机制仍有待进一步探究。

金华火腿加工过程中美拉德反应明显, 糖含量下降 0.65%, 醛类(40%)、酮类(20%)等美拉德产物增加^[27]。而美拉德反应可增强产品风味, 改善产品的鲜味^[28-29]。宋加艳等^[30]研究表明, 乌龙茶加工后, 其游离氨基酸相较于鲜叶干茶提升 12.88%。表 2 中数据显示, 火腿的鲜味味觉值最高, 高达 13.45±0.06, 其次为乌龙茶(11.67±0.02), 与前人研究结果一致。

2.2.2 味觉雷达图分析

根据表 2 绘制味觉雷达图, 因物料较多, 本研究中仅体现表 1 感官品评分值最高及最低的 4 款物料, 见图 1。

由图 1a、图 1b 可知, 乌龙茶、椰浆与冰糖燕窝各味觉趋势一致, 味觉雷达图图形相似度高, 其感官评定总分亦分别为第一位、第三位, 即搭配后感官风味佳。由图 1c、图 1d 可知, 陈皮、火腿与无糖燕窝味觉雷达图相似度低。相较于无糖燕窝, 陈皮在苦味回味上显著突出, 火腿在咸味上显著突出, 陈皮感官评定总分为最后一位, 即喜好度最低。

以上结果表明, 当二者味觉雷达图相似度高时, 样品间的食品适配性通常也越高, 电子舌智能感官与传统感官品评具有较高的一致性。可在一定程度上指导食品开发, 但值得注意的是, 茶中的鞣酸与燕窝中的蛋白质可能反应生成不溶性蛋白^[31], 进而影响燕窝蛋白质的吸收且影响产品稳定性。因此, 在新品开发过程中, 除了食品风味适配性外, 研发人员还需关注食品配料自身的特性。

表 2 味觉值数据(n=5)
Table 2 Taste value data (n=5)

序号	样品	酸味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味	鲜味回味	咸味	甜味
1	无味点	-13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.00	0.00
2	可可	-37.46±1.05	16.55±0.51	-0.91±0.08	-4.68±0.04	-0.01±0.03	9.84±0.35	0.02±0.03	-19.52±0.15	22.47±0.80
3	抹茶	-33.28±0.68	17.81±0.50	5.39±0.07	-4.65±0.03	1.90±0.04	8.26±0.25	0.40±0.02	-20.6±0.19	24.02±0.59
4	椰浆	-38.88±0.59	13.32±0.26	-1.30±0.35	-9.18±0.03	-0.09±0.06	11.08±1.18	0.00±0.04	-17.61±0.36	20.49±0.29
5	米酒	-12.19±0.93	14.38±0.32	-3.80±0.25	-2.37±0.03	-0.06±0.04	4.58±0.25	0.05±0.04	-22.99±0.19	17.56±0.82
6	紫薯	-29.42±1.01	9.98±0.29	0.78±0.21	-2.47±0.03	0.49±0.01	9.04±0.33	0.29±0.03	-17.47±0.15	17.86±0.76
7	陈皮	-14.31±1.07	10.79±0.27	-0.08±0.29	-1.79±0.04	0.28±0.02	5.05±0.55	0.26±0.08	-21.42±0.18	15.5±0.51
8	火腿	-34.48±0.14	6.03±0.12	-1.00±0.10	-3.53±0.04	-0.18±0.04	13.45±0.06	0.54±0.09	2.78±0.13	-0.91±0.08
9	阿胶	-24.16±0.08	6.94±0.13	-0.43±0.08	-4.45±0.08	0.51±0.06	8.41±0.06	0.99±0.07	-13.95±0.07	-12.28±0.13
10	冰糖	-27.00±0.04	18.01±0.13	-4.53±0.03	-7.79±0.14	-0.09±0.03	9.20±0.01	1.13±0.02	-22.64±0.03	21.47±0.20
11	桃汁	-8.82±0.05	2.06±0.17	0.44±0.07	-4.26±0.13	0.01±0.00	3.46±0.02	1.99±0.01	-6.63±0.01	-0.49±0.11
12	金汤	-25.26±0.06	4.40±0.10	-1.04±0.02	-7.53±0.13	0.02±0.02	10.85±0.04	1.77±0.03	-1.70±0.04	-3.26±0.23
13	乌龙茶	-27.47±0.06	11.95±0.11	9.36±0.07	-6.74±0.10	5.14±0.01	11.67±0.02	2.81±0.05	-16.67±0.05	9.62±0.18
14	红枣	-21.44±0.15	5.51±0.05	2.18±0.12	-1.68±0.05	0.62±0.02	9.92±0.06	1.63±0.06	-3.19±0.11	3.94±0.08
15	果丁	-18.57±0.06	10.91±0.20	1.47±0.13	0.56±0.45	0.29±0.09	7.51±0.09	0.28±0.11	-10.26±0.07	10.75±0.44
16	冰糖燕窝	-23.26±0.06	11.26±0.25	0.18±0.01	-9.03±0.22	0.07±0.01	6.91±0.03	2.50±0.04	-17.8±0.04	9.04±0.14
17	果丁燕窝	-27.18±0.06	9.13±0.19	1.08±0.04	-2.19±0.15	0.26±0.02	7.72±0.08	2.06±0.10	-8.26±0.03	8.27±0.48
18	椰浆燕窝	-32.84±0.09	0.12±0.30	-1.65±0.07	-4.71±0.09	0.11±0.02	9.65±0.05	-0.23±0.14	-7.51±0.12	8.52±0.58
19	无糖燕窝	-51.05±0.20	3.01±0.32	-11.46±0.01	-0.39±0.07	-0.24±0.04	2.10±0.05	3.13±0.07	5.95±0.05	7.74±0.23
20	乌龙燕窝	-35.93±0.13	6.23±0.24	-1.36±0.03	-1.01±0.13	0.78±0.02	11.76±0.05	1.09±0.09	-2.81±0.13	12.19±0.09
21	火腿燕窝	-32.33±0.06	-1.15±0.17	-3.21±0.45	-2.25±0.08	-0.16±0.21	9.99±0.13	0.43±0.25	-1.68±0.23	4.39±0.13
22	陈皮燕窝	-31.77±0.04	3.26±0.22	-2.08±0.03	-1.80±0.18	0.20±0.03	9.22±0.12	0.58±0.16	-9.62±0.03	8.95±0.57
误差率/%		12.07	5.41	7.15	28.03	6.30	14.20	11.71	3.46	3.46

注: 误差率/%=平均误差÷标准偏差×100%。

2.2.3 电子舌模糊味觉指标分析

除酸、甜、苦、咸、鲜基础味觉指标外,电子舌独特的回味测量技术,还能够表述“丰富度”“浓烈度”“回味悠长”等模糊的感官。回味值除以先味值,为该味觉指标的持久性,持久性越强,则尖锐度越弱^[32]。尖锐度是回味减少速度的指标,持久性则是回味持续的指标。

强调苦涩味的食品中往往关注其口感的尖锐度或持久性。而在对于汤料、调味汁、加工肉制品等来说,丰富性主要表现为鲜味的持久性,可通过鲜味传感器的回味测试所得。基于此,对比涩味食品配料(可可、乌龙茶、抹茶)、鲜味食品配料(金汤、火腿)的模糊感官,如表 3。

由表 3 可知,陈皮的涩味持久性高达-3.50,表明陈皮

的涩味回味长;鲜味食品配料金汤、火腿的鲜味持久性仅为 0.16、0.04,表明其鲜味基本无回味,口感丰富性低;而这三者在感官评定中分值均较低。对于甜涩味配料,抹茶的涩味、涩味回味及涩味持久性均高于可可,结果表明,电子舌的模糊味觉指标与传统感官评定有一定相关性,但规律性待进一步研究。

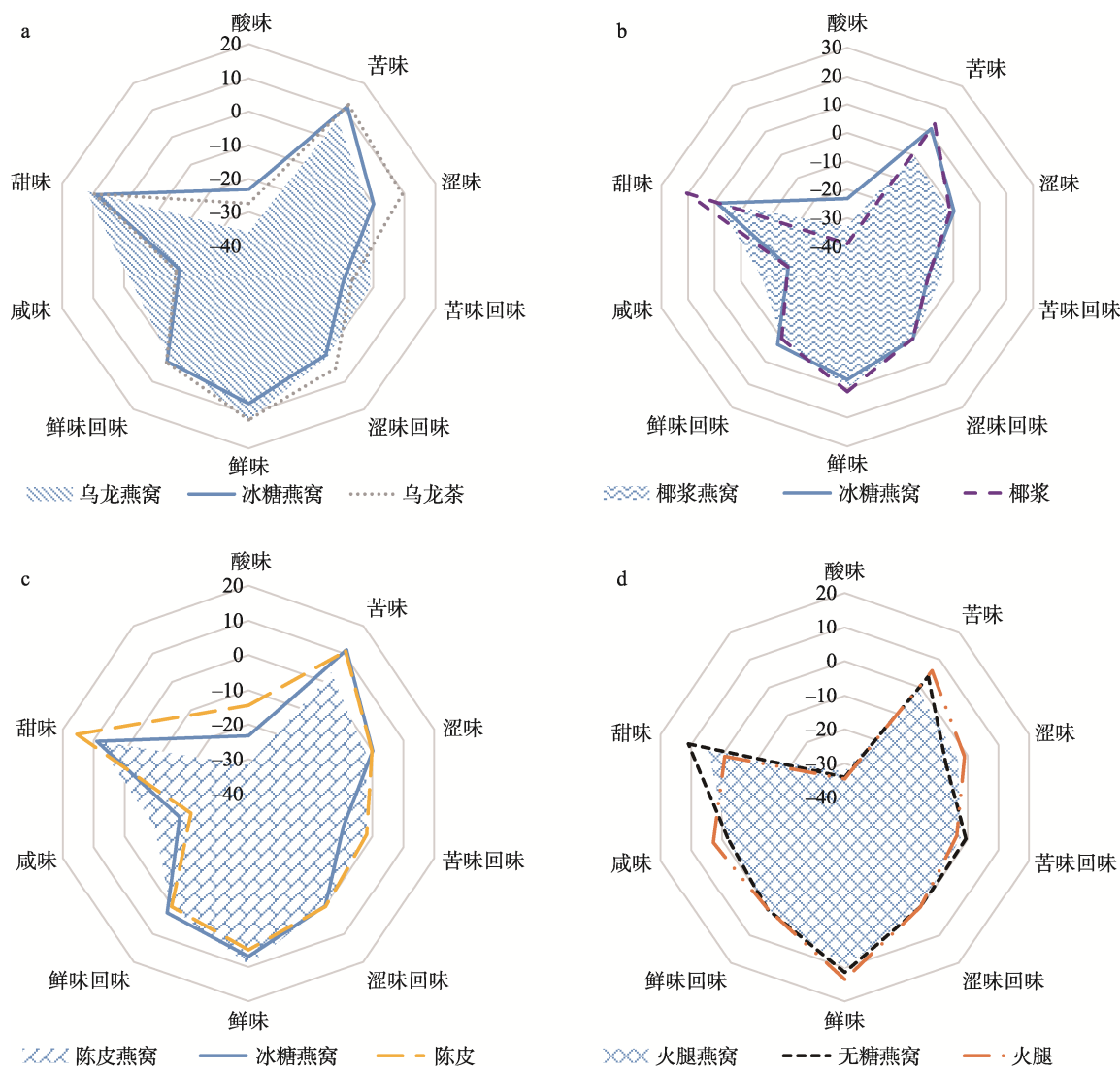
2.2.4 PCA 结果分析

在 PCA 中,贡献率较大,说明主成分可以较好地反映原来多指标的信息。一般情况下,总贡献率超过 70%~85%的方法即可使用。基于所有味觉指标值,将其进行聚类分析,得第一主成分贡献率为 60.91%,第二主成分贡献率为 33.90%,二者总贡献率达 94.81%,足以收集样品的特征性

信息。以第一主成分为 X 轴, 第二主成分为 Y 轴作 PCA。由图 2 可知, 感官评定评分较低的配料主要分布于第一、第三象限, 评分较高的配料主要分布于第四象限。

第一主成分、第二主成分中各滋味贡献值见表 4。由

表 4 可知, 第一主成分中起主要区分作用的是甜味和咸味, 第二主成分中起主要区分作用的是酸味。结合图 1, 与燕窝食品适配性较佳的配料其甜味和咸味适中, 且酸味相对较弱。不同食品适配性的配料在 PCA 中具有一定的聚类趋势。



注: a 为乌龙茶与燕窝的风味雷达图; b 为椰浆与燕窝的风味雷达图; c 为陈皮与燕窝的风味雷达图; d 为火腿与燕窝的风味雷达图。

图 1 配料与燕窝的风味雷达图
Fig.1 Flavor radar chart of ingredients and bird's nest

表 3 模糊感官指标数据
Table 3 Vague sensory index data

	涩味食品配料				鲜味食品配料	
	可可	抹茶	陈皮	乌龙茶	金汤	火腿
苦味持久性	-0.28	-0.26	-0.17	-0.56	-1.71	-0.58
涩味持久性	0.01	0.35	-3.50	0.55	-0.02	0.18
鲜味持久性	0.00	0.05	0.05	0.24	0.16	0.04

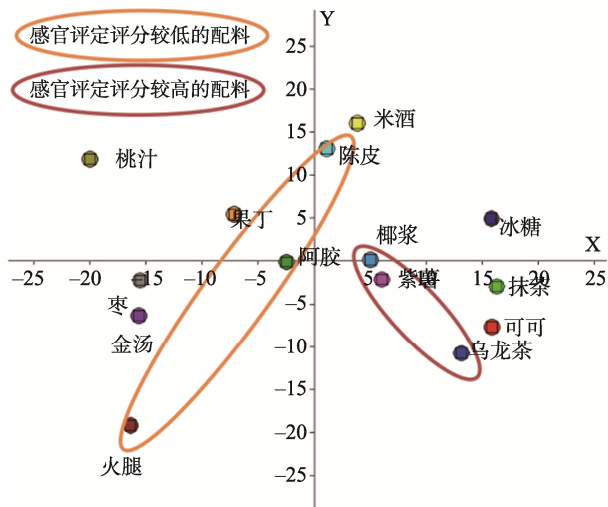


图 2 PCA 图
Fig.2 Diagram of PCA

2.2.5 重回归分析

在配料 PCA 基础上, 结合重回归分析 (heavy regression analysis), 以进一步确定与燕窝食品适配性佳的配料风味规律。采用 INSENT 数据处理系统对表 4 的数据进行处理分析, 以涩味为因变量(Y), 其余味觉指标为自变量, 建立数据回归方程式如下:

$$Y=0.27 \text{ 苦味回味}+2.93 \text{ 涩味回味}-0.74 \text{ 鲜味}-0.56 \text{ 鲜味回味}+0.28 \text{ 咸味}+0.20 \text{ 甜味}-0.21 \text{ 酸味}-0.21 \text{ 苦味}+5.67 \text{ (} r^2=0.97 \text{)}$$

相关系数 r^2 均大于 0.9900, 表明回归方程均有意义且拟合度良好, 可用于预测食品配料与燕窝的适配性。通常地, 配料苦涩味越低, 则其与燕窝搭配后风味协调度越高。而由回归方程可知, 涩味回味对配料涩味影响最大, 其次为鲜味及其回味。即当配料的风味同时满足涩味回味及酸味弱、鲜味及其回味较突出、甜味和咸味适中等特征时, 其与燕窝食品适配性通常较佳。

表 4 味觉指标贡献值 Table 4 Contribution values of taste indexes		
味觉指标	PC1	PC2
酸味	-0.3628	0.8518
苦味	0.3814	0.0170
苦味回味	-0.0660	0.0883
涩味回味	0.0186	0.0024
鲜味	0.0222	-0.2688
鲜味回味	0.0118	-0.0212
咸味	-0.5521	-0.4056
甜味	0.6307	0.1707
贡献率	0.6091	0.3390

3 结 论

本研究将智能感官(电子舌)与传统感官品评相结合, 寻找与燕窝食品适配性良好的配料的风味规律。结果表明,

配料与燕窝的风味雷达图相似时, 二者的适配性通常也较佳。电子舌基本味觉指标趋势与传统感官具有较高的一致性, 电子舌可快速对产品作出科学判断, 数据稳定性佳。虽缺少传统感官中的色泽、香气评价指标, 但其可数字化并建立回归方程, 其 PCA 及聚类分析功能有助于寻找燕窝配伍配料的规律。本研究测定的 14 种食品配料中, 乌龙茶与燕窝适配性最佳, 其次为椰浆、果丁等, 陈皮、火腿等与燕窝适配性差。当配料的风味同时满足涩味回味及酸味弱、鲜味及其回味较突出、甜味和咸味适中等特征时, 其与燕窝食品适配性通常较佳。

综上所述, 电子舌在燕窝及其他食品的配伍配料美食及其新品的开发与评价中, 具有广阔的应用前景及研究空间。

参考文献

[1] LU L, HU ZQ, HU XQ, *et al.* Quantitative approach of multidimensional interactive sensing for rice quality using electronic tongue sensor array based on information entropy [J]. *Sens Actuator B Chem*, 2021. DOI: 10.1016/J.SNB.2020.129254

[2] 冯绘敏, 候一哲, 黄天赐, 等. 电子传感技术在中药材及农产品分析领域的研究应用进展[J]. *分析测试技术与仪器*, 2020, 26(4): 239–248. FENG HM, HOU YZ, HUANG TC, *et al.* Application and research progress in electronic sensing technology in traditional Chinese medicine and agricultural products [J]. *Anal Test Technol Instrum*, 2020, 26(4): 239–248.

[3] ZHANG L, HU YY, WANG Y, *et al.* Evaluation of the flavour properties of cooked chicken drumsticks as affected by sugar smoking times using an electronic nose, electronic tounge, and HS-SPME/GC-MS [J]. *LWT*, 2021. DOI: 10.1016/J.FOODCONT.2021.108613

[4] 卢晓烁, 张毅航, 方东路, 等. 香菇真空冷冻干燥过程中滋味物质动态变化及鲜味评价[J/OL]. *食品科学*: 1–10. [2021-01-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201228.1539.008.html> LU XS, ZHANG YH, FANG DL, *et al.* Dynamic changes of taste compounds and evaluation on umami during vacuum freeze-drying of *Lentinula edodes* [J/OL]. *Food Sci*: 1–10. [2021-01-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201228.1539.008.html>

[5] MARX IMG, RODERIGUE SN, VELOSO ACA, *et al.* Effect of malaxation temperature on the physicochemical and sensory quality of cv. *Cobrancosa* olive oil and its evaluation using an electronic tongue [J]. *LWT*, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110426

[6] GAO BY, LU YJ, SHENG Y, *et al.* Differentiating organic and conventional sage by chromatographic and mass spectrometry flow injection fingerprints combined with principal component analysis [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(12): 2957–2963.

[7] DONG M, QIN L, XUE J, *et al.* Simultaneous quantification of free amino acids and 5'-nucleotides in shiitake mushrooms by stable isotope labeling-LC-MS/MS analysis [J]. *Food Chem*, 2018, 268: 57–65.

[8] SUN LP, LIU QM, BAO CJ, *et al.* Comparison of free total amino acid compositions and their functional classifications in 13 wild edible mushrooms [J]. *Molecules*, 2017, 22(3): 350.

[9] LYU J, LIU X, BI JF, *et al.* Characterization of Chinese white-flesh peach cultivars based on principle component and cluster analysis [J]. *J Food Sci Technol*, 2017, 54(12): 3818–3826.

[10] 冯勇. 基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃品质指标综合评价[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(22): 180–185. FENG Y. Comprehensive evaluation of quality indexes of different cultivars of kiwifruit based on principal component analysis and cluster

- analysis [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2021, 49(22): 180–185.
- [11] 荆瑞勇, 卫佳琪, 王丽艳, 等. 基于主成分分析的不同水稻品种品质综合评价[J]. *食品科学*, 2020, 41(24): 179–184.
JIN RY, WEI JQ, WANG LY, *et al.* Comprehensive quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis [J]. *Food Sci*, 2020, 41(24): 179–184.
- [12] 雷月, 宫彦龙, 邓茹月, 等. 基于主成分分析和聚类分析综合评价蒸谷米的品质特性[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(7): 258–267.
LEI Y, GONG YL, DENG RY, *et al.* Comprehensive evaluation of quality characteristics of parboiled rice based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(7): 258–267.
- [13] 王亚萍, 费学谦, 姚小华, 等. 不同产地油茶籽脂肪酸及甘油三酯的主成分分析和聚类分析[J]. *中国油脂*, 2021, 46(9): 112–119.
WANG YP, FEI XQ, YAO XH, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis of fatty acids and triglycerides in oil-tea camellia seeds from different origins [J]. *China Oils Fats*, 2021, 46(9): 112–119.
- [14] 杨礼, 彭涵, 胡陈明, 等. 大恒优质肉鸡腿肌重与体尺最优回归模型的建立及通径分析[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2021, (21): 63–68.
YANG L, PENG H, HU CM, *et al.* Establishment of optimal regression model and path analysis of leg muscle weight and body size for Dahan high-quality broiler [J]. *Heilongjiang Anim Sci Vet Med*, 2021, (21): 63–68.
- [15] 李永军, 崔雪艳, 张健, 等. 基于多元线性回归的辽宁省中熟玉米品种产量相关性分析[J]. *园艺与种苗*, 2021, 41(4): 80–81, 92.
LI YJ, CUI XY, ZHANG J, *et al.* Correlation analysis of yield of medium maturity maize varieties in Liaoning province based on multiple linear regression [J]. *Hortic Seed*, 2021, 41(4): 80–81, 92.
- [16] 朱雪倩, 何智彪, 乔文杰, 等. 矮秆蓖麻杂交种籽粒性状、品质性状的相关及回归分析[J]. *内蒙古民族大学学报(自然科学版)*, 2019, 34(1): 55–61.
ZHU XQ, HE ZB, QIAO WJ, *et al.* Correlation and regression analysis of grain and quality characteristics of dwarf castor hybrids [J]. *J Inner Mongolia Minzu Univ (Nat Sci)*, 2019, 34(1): 55–61.
- [17] LING JWA, CHANG LS, BABJI AS, *et al.* Recovery of value-added glycopeptides from edible bird's nest (EBN) co-products: Enzymatic hydrolysis, physicochemical characteristics and bioactivity [J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100(13): 4714–4722.
- [18] EUNSON H, JUNG EY, SUL WP. Anti-aging, anti-inflammatory, and wound-healing activities of edible bird's nest in human skin keratinocytes and fibroblasts [J]. *Pharmacogn Magaz*, 2020, 16(69): 336–342.
- [19] 白伟娟, 林素琼, 柳训才, 等. 燕窝真伪鉴别研究进展[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(21): 124–127.
BAI WJ, LIN SQ, LIU XC, *et al.* Research progress for authentication of edible bird's nest [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2020, 26(21): 124–127.
- [20] KOBAYASHI Y, HABARA M, IKEZAKI H, *et al.* Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory [J]. *Sensor*, 2010, 10(4): 3411–3443.
- [21] 宋亚雄. 味蕾组织传感器与甜味受体 T1R2 纳米传感器对照研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2020.
SONG YX. A comparative study of taste bud tissue sensor and sweet receptor T1R2 nanosensor [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2020.
- [22] TLYOTA K, CUI H, ABE K. Sweetness sensor with lipid/polymer membranes: Response to various sugars [J]. *Sensor Mater*, 2011, 23(8): 475–482.
- [23] TAMAMI H, TAKAHIRO U, MIYAKO Y, *et al.* The utility of the artificial taste sensor in evaluating the bitterness of drugs: Correlation with responses of human TASTE2 receptors (hTAS2Rs) [J]. *Chem Pharm Bull*, 2018, 66(1): 71–77.
- [24] MASATO Y, YUSUKE T, HIDEKAZU I, *et al.* Development of a sweetness sensor for aspartame, a positively charged high-potency sweetener [J]. *Sensors*, 2014, 14(4): 7359–7373.
- [25] XU QB, HONG H, YU WL, *et al.* Sodium chloride suppresses the bitterness of protein hydrolysates by decreasing hydrophobic interactions [J]. *J Food Sci*, 2019, 84(1): 86–91.
- [26] 오창환, 정하열. Analysis of sodium content and tastes of ramie on cooked using different recipes [J]. *Korean J Food Cookery Sci*, 2018, 34(5): 450–457.
- [27] 周一鸣, 贺利庆, 蒿婷凤, 等. 金华火腿加工过程中美拉德反应产物的形成与初探[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(7): 170–175.
ZHOU YM, HE LQ, HAO TF, *et al.* Formation and exploration of Maillard reaction products during Jinhua ham production [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2016, 32(7): 170–175.
- [28] HE SD, ZHANG ZY, SUN HJ, *et al.* Contributions of temperature and l-cysteine on the physicochemical properties and sensory characteristics of rapeseed flavor enhancer obtained from the rapeseed peptide and d-xylose Maillard reaction system [J]. *Ind Crop Prod*, 2019, 128: 455–463.
- [29] ZHANG JN, SUN DX, FENG YZ, *et al.* The umami intensity enhancement of peanut protein isolate hydrolysate and its derived factions and peptides by Maillard reaction and the analysis of peptide (EP) Maillard products [J]. *Food Res Int*, 2019, 120(5): 895–903.
- [30] 宋加艳, 何加兴, 欧伊伶, 等. 碧香早夏季鲜叶加工乌龙茶过程中品质成分动态变化[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(2): 238–248, 163.
SONG JY, HE JX, OU YL, *et al.* Dynamic changes in quality and composition of oolong tea made with fresh bixiangzao summer tea leaves during processing [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2021, 37(2): 238–248, 163.
- [31] 张黎君. 银耳多糖的提取工艺及其在口红中的应用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
ZHANG LJ. Extraction process of *Tremella fuciformis* polysaccharides and its application in lipstick [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2020.
- [32] 荆文光, 赵小亮, 张权, 等. 基于电子舌和多成分定量技术的厚朴“苦味”药性物质基础研究[J]. *中国现代中药*, 2022, 24(2): 258–264.
JING WG, ZHAO XL, ZHANG Q, *et al.* Research on material basis of "bitterness" medicinal properties of *Magnoliae officinalis* cortex based on electronic tongue and multi-component quantitative technology [J]. *Mod Chin Med*, 2022, 24(2): 258–264.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



许雅楠, 硕士, 主要研究方向为食品加工与安全。
E-mail: 523407751@qq.com



范群艳, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品科学。
E-mail: XMyanzhiwu@126.com