

电子舌对  $\beta$ -环糊精包合荷叶提取物的矫味工艺研究

闫景辉<sup>1</sup>, 余银芳<sup>1,2\*</sup>, 闫 嘉<sup>1</sup>, 马绍龙<sup>2</sup>, 钟地长<sup>2</sup>, 梁艳琴<sup>2</sup>  
(1. 江西中医药大学, 江西 南昌 330004; 2. 江中药业股份有限公司, 江西 南昌 330004)

**摘要:** **目的** 考察电子舌对  $\beta$ -环糊精包合荷叶提取物的矫味工艺。**方法** 采用电子舌对  $\beta$ -环糊精包合矫味工艺进行追踪, 并结合人体口尝评价手段进行验证。**结果** 基于电子舌响应值选择的 NAO 传感器在矫味前后存在明显差异, 可很好地考察  $\beta$ -环糊精包合矫味工艺。人体口尝评价证明, 电子舌在复杂中药成分的矫味中可快速预判矫味终点。**结论** 本实验基于电子舌建立  $\beta$ -环糊精包合荷叶提取物的矫味工艺, 可为对富含多种化合物的其他中药矫味研究提供参考依据。

**关键词:** 荷叶提取物; 矫味工艺;  $\beta$ -环糊精; 电子舌

**中图分类号:** R943      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1001-1528(2023)06-2086-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1528.2023.06.059

荷叶是一味常用的食药同源的中药<sup>[1]</sup>, 含有槲皮素、金丝桃苷等黄酮类化合物及荷叶碱、莲碱等生物碱类化合物, 在降血糖、血脂、胆固醇及癌症预防方面作用显著<sup>[2-4]</sup>, 但这些成分也是造成其苦、酸、涩味的重要因素。

$\beta$ -环糊精包合作为一种应用广泛的矫味技术<sup>[5]</sup>, 是指目标分子包嵌于  $\beta$ -环糊精空穴结构内而形成包合物, 有效成分作为客分子被包合后, 可有效掩盖产品不良气味, 降低其刺激性和不良反应<sup>[6-8]</sup>。电子舌是一种具有较大发展前景的味觉评估技术, 它具有不同功能交叉敏感传感器阵列组成的仿生检测传感器系统, 可感知样品溶液的总特征信号<sup>[9]</sup>, 目前在茶叶<sup>[10]</sup>、蜂蜜<sup>[11]</sup>、酒类<sup>[12]</sup>、药物<sup>[13]</sup>等行业都有广泛应用, 可将味道转化为数据, 不仅能做到客观公正, 还在很大程度上节约了人力物力, 提升了研发效率。本实验首次采用电子舌对荷叶的  $\beta$ -环糊精包合矫味工艺进行追踪, 结合其传感器数据模型跟踪包合矫味的过程, 从而实现快速矫味, 最后采用传统的成分含量测定及人体感官评价进行验证, 同时这也是基于电子舌特性和中药现代化的创新。

1 材料

1.1 仪器 SA402B 电子舌 (日本 Insent 公司); S1000022155 超声机 (德国 ELMA 公司); MSA6.65-CE 电子分析天平 (万分之一, 上海梅特勒-托利多仪器有限公司); YJD20DGL 多功能自动煎煮机 (北京东华原医疗设备有限责任公司); B290 喷雾干燥机 (瑞士步琪公司); HH4 数显恒温水浴锅 (国华电器有限公司); Sigma300 扫描电镜 (德国蔡司公司); Xplore30 能谱仪 [牛津仪器科技 (上海) 有限公司]; Nicolet iS5 傅里叶红外光谱仪 (美国 Thermo 公司); STA2500 同步热分析仪 (德国耐驰公司)。

1.2 试剂与药物 荷叶 (批号 210405) 由江西江中药饮片有限公司提供, 经江西中医药大学付小梅教授鉴定为正品。 $\beta$ -环糊精 (江苏丰园生物技术有限公司, 批号 20220702)。

2 方法与结果

2.1 样品制备

2.1.1 荷叶提取物 对荷叶饮片进行水提、浓缩 (常压浓缩效率低, 并且高温会减少有效成分含量, 故采用减压浓缩)、干燥 (考虑到大生产环境与产品研发的联系, 与冷冻干燥、微波真空干燥相比喷雾干燥更合适), 即得, 混匀后常温放置。其中, 提取条件为液料比 25 : 1, 时间 1 h, 温度 100  $^{\circ}\text{C}$ , 次数 2 次; 浓缩条件为温度 60  $^{\circ}\text{C}$ , 压力 0.8 kPa, 转速 40 r/min, 浓缩至相对密度 1.08 ~ 1.10 g/mL; 干燥条件为进风温度 180  $^{\circ}\text{C}$ , 出风温度 100  $^{\circ}\text{C}$ , 进样速度 14 r/min, 转速 20 000 r/min。

2.1.2 包合物  $\beta$ -环糊精是类似于酶的较为理想宿主分子, 而且本身就具有酶模型的特性<sup>[14]</sup>。本实验采用饱和水溶液法<sup>[15]</sup>, 首先制备饱和  $\beta$ -环糊精溶液, 然后在磁力搅拌下以一定比例加入荷叶提取物, 搅拌充分包合, 在 4  $^{\circ}\text{C}$  下静置过夜, 滤过, 乙醇洗脱 5 次, 干燥, 即得。

2.2 物象鉴定

2.2.1 扫描电镜 参考文献 [16] 报道。在放大 500 ~ 1 000 倍的条件形成了稳定的包合物, 其中  $\beta$ -环糊精 (图 1B) 为表面凸起的块状晶型, 荷叶提取物 (图 1A) 为大小不均的无规则小颗粒状, 而且明显小于  $\beta$ -环糊精;  $\beta$ -环糊精包合物 (图 1D) 表面为凹凸不平整的晶体, 与物理混合物 (图 1C) 相比有显著差异; 物理混合物中可见荷叶碱 (图 1E)、槲皮素 (图 1F) 等小颗粒分布在  $\beta$ -环糊精晶体的周围, 表明它为 2 种成分颗粒的混合。另外, 包合物疏

收稿日期: 2023-01-04

作者简介: 闫景辉 (1998—), 男, 硕士生, 从事中药矫味技术研究。Tel: 18406564223, E-mail: yjh1069117715@163.com

\* 通信作者: 余银芳 (1973—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事中药矫味 (掩味) 技术研究。Tel: 13870691523, E-mail: yyf@crjz.com

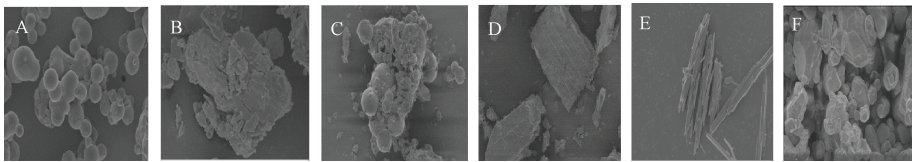


图 1 各样品扫描电镜图

松多孔，偶见小泡状颗粒，其晶粒的物相结构明显不同于物理混合物，表明产生了新构相，即制剂成功形成<sup>[17]</sup>。

2.2.2 红外光谱 将荷叶提取物、β-环糊精、β-环糊精包合物、物理混合物过 200 目筛，分别取 15.0~20.0 mg，KBr 压片，设定扫描范围为 4 000~400 cm<sup>-1</sup>，结果见图 2。由此可知，β-环糊精在 3 376 cm<sup>-1</sup>处有-OH 伸缩振动引起

的大而强的吸收峰，2 929、578 cm<sup>-1</sup>处有-CH 伸缩振动引起的吸收峰，1 080 cm<sup>-1</sup>处表现为 C-C 伸缩振动的吸收峰；β-环糊精包合物吸收峰有适度偏移，表明其形成氢键，并且出现适度红移、蓝移，表明制剂成功形成<sup>[17]</sup>；物理混合物红外谱图基本由 β-环糊精、荷叶提取物叠加形成。

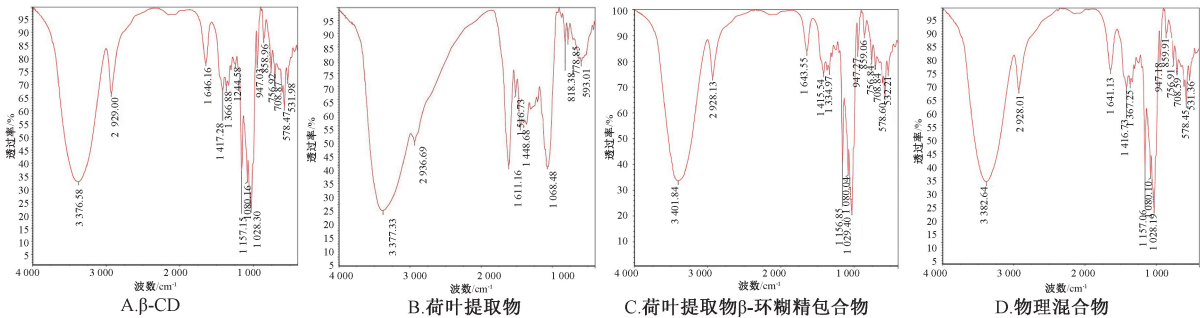


图 2 各样品红外光谱图

2.2.3 差热分析 图 3A 显示，β-环糊精在加热至 75 ℃左右时失去结晶水，215 ℃左右时发生分子重排，310 ℃左右时开始熔融，317 ℃左右时发生热分解。图 3B 显示，荷叶提取物、β-环糊精、β-环糊精包合物、物理混合物吸热变化曲线有明显不同，表明制剂成功形成<sup>[17]</sup>。

2.3 电子舌应用

2.3.1 测试用液制备 电子舌响应信号采用味觉系统，由主机、人工脂膜传感器和操作计算机组成<sup>[18]</sup>，作为工作电极的味觉传感器包括脂质基膜、AgCl 电极、充满 3.33 mol/L KCl 溶液和饱和 AgCl 的内腔，参比电极为陶瓷结 AgCl 电极，内液为 3.33 mol/L KCl 溶液。测试用液配方为基准液，0.3 mmol/L 酒石酸+30 mmol/L KCl；正电极液，0.1 mol/L KCl+0.01 mol/L KOH+30% 乙醇；负电极液，0.1 mol/L 盐酸+30% 乙醇；电极、传感器内部液，3.33 mol/L KCl+10 mg AgCl。

2.3.2 测试浓度选择 一般来说，样品浓度与传感器 CPA 输出呈线性关系，但后者过高时表明大量味觉物质吸附在膜表面，会导致传感器膜快速恶化，故样品应该在相对较低的 CPA 值下进行测试，如 30 mV ANO、-50 mV COO、-50 mV AE1。取荷叶提取物适量，分别制成 0.30、0.60、1.0、3.0、6.0、7.5、10.0、15.0、24.0、30.0、75.0、100.0 mg/mL 溶液各 200 mL，离心后进行测试，发现在预测值 30 mV ANO 的情况下效果最佳，对应的响应值分别为 2.06、7.97、10.18、23.93、36.99、41.08、46.07、52.56、56.81、58.166 7、63.14、69.67 mV。

再将 ANO 传感器响应值在 SPSS22.0 软件中进行线性分

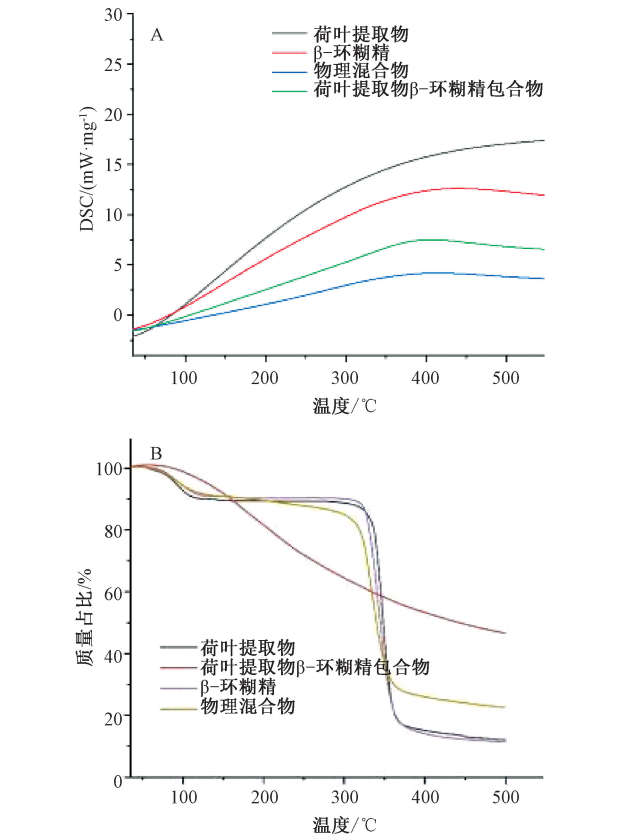


图 3 各样品差热分析图

析，结果见图 4，拟合方程为  $Y = 57.923\ 69 - 56.629\ 31 \times 0.849\ 28X$  ( $R^2 = 0.999\ 7$ )，表明药物质量浓度与响应值为指

数关系，但前者增加至一定程度后后者升高趋势变缓，同时在最理想响应值 30 mV 下的最佳质量浓度约为 5.0 mg/mL。

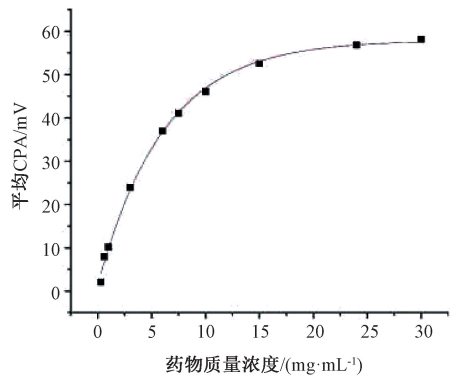


图 4 ANO 传感器响应值 CPA 随药物质量浓度变化的曲线

表 1 不同包合比例下电子舌味觉响应值

包合比例	Sweetness	Sourness	Bitterness	Astringency	Aftertaste-B	Aftertaste-A	Umami	Richness	Saltiness
1 : 0	3.42	-30.6	63.43	-5.97	1.20	0.94	10.1	1.73	2.02
1 : 1	3.48	-29.6	44.17	-5.75	0.73	0.74	8.66	1.08	0.98
1 : 2	3.47	-29.0	42.35	-5.57	0.57	0.63	8.14	1.04	0.56
1 : 3	3.45	-28.9	39.35	-5.51	0.55	0.65	8.05	1.00	0.43
1 : 4	3.56	-28.6	33.18	-5.4	0.47	0.59	8.04	1.08	0.20
1 : 5	3.54	-28.6	33.79	-5.29	0.47	0.60	8.19	1.09	0.27
1 : 6	3.64	-28.5	34.46	-5.28	0.49	0.65	8.36	1.16	0.15
0 : 1	17.18	-13.9	14.78	0.71	-0.25	0.13	1.17	1.19	-13.40

再对上述结果进行主成分分析<sup>[19]</sup>，味觉响应值见表 2，可知苦味对第一、第二主成分贡献率最大；雷达图见图 5，可知苦味传感器变化程度优于其他味觉传感器，表明不同包合比例包合物的味觉差异集中体现在苦味上。

表 2 不同包合比例下味觉响应值

味觉	第一主成分	第二主成分
Bitterness	0.92	-0.33
Sourness	-0.26	-0.39
Astringency	-0.11	-0.08
Aftertaste-B	0.02	0.66
Sweetness	0.01	0.12
Umami	0.13	0.25
Richness	0.00	0.25
Saltiness	0.24	0.40
总贡献值	99.77	0.18

2.3.4 包合比例筛选 在水浴温度 60 ℃、包合时间 2 h 条件下，分别制备不同包合比例（1 : 1、1 : 2、1 : 3、1 : 4、1 : 5、1 : 6、1 : 8）包合物，采用苦味传感器 NAO 平行测试 4 次，取平均值，测得响应值分别为 44.17、42.35、39.35、33.18、33.79、34.46、34.3 mV，可知当包合比例在 1 : 5 后再增加 β-环糊精比例时，响应值基本无变化，故确定为 1 : 4。

2.3.5 包合时间筛选 在包合比例 1 : 4、水浴温度 60 ℃条件下，分别制备不同包合时间（1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、5 h）包合物，采用苦味传感器 NAO 平行测试 4 次，取平均值，测得响应值分别为 38.75、38.44、35.29、

2.3.3 传感器选择 电子舌 6 种味觉传感器阵列（CAO、NAO、AE1、AAE、CTO、GL1）分别对应酸（Sour）、苦（Bitter）、涩（Astringent）、鲜味（Umami）、咸（Salty）、甜（Sweet），并且它不仅可测量 Sour、Bitter、Umami、Salty、Sweet 这 5 个基本口感品质，还能测量涩味回味（Aftertaste-A）、苦味回味（Aftertaste-B）、丰富度（Rich）。分别称取 β-环糊精 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 g，加 200.0 mL 纯水溶解，制成饱和溶液，再精密称取 1.0 g 荷叶提取物，制成 5.0 mg/mL 最佳测试质量浓度溶液，按“2.1.2”项下方法，在水浴温度 60 ℃、包合时间 3 h 条件下制备不同包合比例（1 : 0、1 : 1、1 : 2、1 : 3、1 : 4、1 : 5、1 : 6、0 : 1）的包合物，并采用上述 6 种传感器进行测试，结果见表 1。

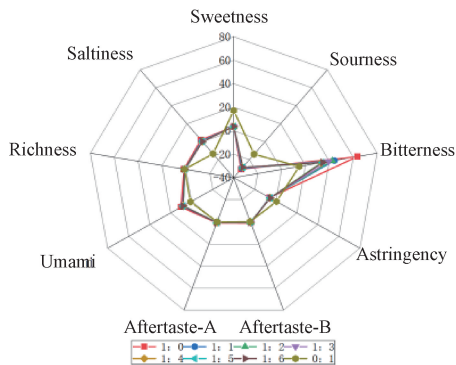


图 5 不同包合比例对味觉变化影响的雷达图

34.63、33.92、29.91、30.40、30.51 mV，可知包合时间在 3.5 h 后再延长时响应值基本无变化，故确定为 3.5 h。

2.3.6 包合温度筛选 在包合比例 1 : 4、包合时间 3.5 h 条件下，分别制备不同包合温度（30、40、50、60、80、100 ℃）包合物，采用苦味传感器 NAO 平行测试 4 次，取平均值，测得响应值分别为 37.09、37.01、36.39、32.06、34.00、35.16 mV，可知当包合温度在 60 ℃后再增加时响应值会有所回升，表明超过 60 ℃后包合物中的一些苦味物质被释放出，故确定为 60 ℃。

## 2.4 人体感官评定法

2.4.1 测试人员筛选 依靠江西省华润江中集团科研中心成立的省重点矫味技术实验室，经江西中医药大学伦理委员会审批后，筛选 20 名辨识能力较高的小组成员（男性、女性各 10 名，平均年龄 28 岁），签署知情同意书后进行实

验。在评定前 4 h，小组成员不得抽烟饮酒，不得食用具有严重气味的食物。

2.4.2 评价指标建立 以苦味、涩味、甜味、鲜味为评价指标，结果按等级排列，其中苦味、涩味评分 1~10 分，1 分最小，10 分最大。基于主成分分析得出的代表性的味觉传感器，选择该味觉代表的味觉基准物质作为参照，例如苦味选择奎宁，甜味选择蔗糖，本实验以硫酸奎宁为基准物质，依照国家标准<sup>[20-21]</sup>设立苦味浓度等级进行评价。结果，不同质量浓度硫酸奎宁对应的苦味评价等级分别为小于 0.10 g/L 1 级，0.10~0.021 g/L 2 级，0.021~0.026 g/L 3 级，0.026~0.033 g/L 4 级，0.033~0.041 g/L 5 级，0.041~0.051 g/L 6 级，0.051~0.064 g/L 7 级，0.064~0.08 g/L 8 级，大于 0.08 g/L 9~10 级。

2.4.3 测试方法 取室温下不同包合矫味工艺所得 β-环糊精包合物溶液各 20.0 mL，置于口尝杯中，在白光灯下由测试人员含于口中，以舌背表面、舌缘为主要感受部位，每份品尝 15 s，随后吐出，漱口 5 次至口腔内无苦味，15 min 后同法测定下一组，根据自己口尝感受，按照味觉评价标准进行评级，结果见表 3~5。

表 3 不同包合比例下感官评分（分）

测试人		包合比例						
员编号	空白对照	1：1	1：2	1：3	1：4	1：5	1：6	1：8
A	9	7	7	5	3	3	3	3
B	9	7	7	5	3	3	3	2
C	9	7	7	5	3	3	3	3
D	9	7	7	6	3	3	3	2
E	8	7	6	5	3	2	3	2
F	9	7	7	5	3	4	4	2
G	9	7	7	5	3	3	3	2
H	9	7	7	5	4	3	3	2
I	9	7	7	5	3	4	4	2
J	8	7	7	5	3	3	3	2
K	9	7	7	5	3	3	3	2
L	9	7	7	6	3	3	3	3
M	9	7	7	6	3	3	3	2
N	10	8	8	5	3	4	3	3
O	9	7	7	5	4	3	3	3
P	9	7	7	5	3	3	3	3
Q	9	7	7	5	3	3	3	2
R	9	7	7	5	3	3	3	2
S	9	7	7	5	4	3	3	2
T	9	7	7	5	3	3	3	2

2.4.4 离群值处理 由于不同测试人员之间可能存在个体差异，导致数据中会有个别异常值，故采用 Grubbs 检验法对其进行循环检验和剔除。本实验选择检出水平为 0.1，剔除水平为 0.05，其中包合比例剔除 N-1：1、D-1：2、F-1：6、I-1：6，包合时间剔除 E-3 h、N-3 h，包合温度剔除 H-40℃，结果见表 6。

2.5 综合分析 将电子舌所得响应值与感官评分进行换算，得到电子舌评分，并采用配对 *t* 检验作统计学分析，结

表 4 不同包合时间下感官评分（分）

测试人		包合时间/h							
员编号	空白对照	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5
A	9	5	5	3	3	3	3	3	3
B	9	6	3	4	3	3	3	3	2
C	9	5	5	3	3	3	2	2	3
D	9	6	3	4	4	3	2	3	3
E	9	5	5	3	3	2	3	3	3
F	9	6	5	4	4	3	3	3	2
G	9	6	3	4	3	3	3	2	3
H	9	5	4	4	3	3	3	2	3
I	9	5	3	4	4	3	2	2	2
J	9	5	3	4	3	3	2	2	3
K	9	5	5	3	3	3	2	3	3
L	9	6	3	4	3	3	2	3	3
M	9	5	4	4	3	3	3	3	2
N	9	5	3	4	2	2	3	3	2
O	9	5	5	4	3	3	3	3	3
P	9	6	5	4	3	3	3	3	3
Q	9	5	4	4	3	3	3	3	2
R	9	5	3	3	2	3	3	3	3
S	9	6	3	4	3	3	2	3	3
T	9	5	4	3	3	3	3	2	2

表 5 不同包合温度下感官评分（分）

测试人		包合温度/℃					
员编号	空白对照	30	40	50	60	80	100
A	9	5	5	4	3	4	3
B	9	5	5	5	4	3	3
C	9	6	5	5	3	3	4
D	9	5	5	4	3	3	4
E	8	5	5	4	4	3	3
F	9	5	5	4	3	4	4
G	9	5	5	4	3	3	3
H	9	5	4	4	3	3	4
I	9	5	5	5	4	3	3
J	9	5	5	4	3	3	3
K	9	5	5	4	3	3	3
L	8	5	5	4	3	3	3
M	9	5	5	5	4	3	3
N	9	5	5	5	3	3	4
O	9	5	5	5	3	3	3
P	9	6	5	4	3	3	4
Q	9	5	5	4	3	4	3
R	9	5	5	4	3	4	3
S	9	6	5	4	3	3	3
T	9	5	5	4	3	3	3

果见表 7~8。由此可知，2 种方法所得结果无明显差异 (*P*>0.05)，表明电子舌可对 β-环糊精包合荷叶提取物矫味工艺进行快速评价。

3 讨论

本实验通过电子舌对 β-环糊精包合荷叶提取物的各阶段工艺进行追踪评价，发现在已形成包合物的同等情况下，其包合矫味评价效果与人体感官评价效果基本一致，表明电子舌味觉分析系统不仅可表征不同阶段包合物的味觉特



表 6 不同包合工艺下感官评分（分）

包合工艺	参数	平均值	包合工艺	参数	平均值	包合工艺	参数	平均值
包合比例	空白	8.95	包合时间/h	1	5.35	包合温度/℃	30	5.15
	1：1	7.00		1.5	3.90		40	5.00
	1：2	7.05		2	3.70		50	4.30
	1：3	5.15		2.5	3.05		60	3.20
	1：4	3.15		3	3.00		80	3.20
	1：5	3.10		3.5	2.65		100	3.30
	1：6	3.00		4	2.70		—	—
	1：8	2.30		5	2.65		—	—

表 7 不同包合工艺下电子舌评分（分）

包合工艺	参数	平均值	包合工艺	参数	平均值	包合工艺	参数	平均值
包合比例	1：1	7.00	包合时间/h	1	5.35	包合温度/℃	30	5.15
	1：2	7.05		1.5	3.90		40	5.00
	1：3	5.15		2	3.70		50	4.30
	1：4	3.15		2.5	3.05		60	3.20
	1：5	3.10		3	3.00		80	3.20
	1：6	3.00		3.5	2.65		100	3.30
	1：8	2.30		4	2.7		—	—
	—	—		5	2.65		—	—

表 8 统计学分析结果

包合工艺	成对差分					<i>t</i>	自由度	<i>P</i> ( 双侧)
	平均值	标准差	平均值标准 误差	差分 95% 置信区间				
				下限	上限			
包合比例	0.345	0.477	0.180	-0.095	0.786	1.918	6	0.104
包合时间	-0.085	0.826	0.292	-0.776	0.606	-0.291	7	0.779
包合温度	-0.177	0.459	0.187	-0.659	0.303	-0.950	5	0.386

征，还能量化其味觉差异，和传统人工口尝感官评价相比更客观准确。结果显示，最优矫味工艺为包合比例 1：4，包合时间 3.5 h，包合温度 60 ℃，经人体口尝验证它可用于 β-环糊精对荷叶提取物包合矫味的快速验证。

前期报道，仇敏等<sup>[22]</sup>采用电子舌结合人体口尝对复杂中药汤剂进行抑苦研究；陆影等<sup>[23]</sup>采用电子舌对中药感冒制剂进行了口感改良；饶智等<sup>[24]</sup>采用电子舌响应数据结合人体感官评价对中医经典名方进行口感调节，均取得了较好的成果，但上述研究只是通过添加矫味剂来进行电子舌、人体感官评价的考察<sup>[25-26]</sup>，在电子舌对包合技术、矫味过程中的口感变化方面未进行细致探讨。本实验采用电子舌对荷叶提取物进行快速矫味时，将其味觉信号作用放大，同时结合人体感官评价进行包合矫味工艺的追踪研究，这在国内外尚未见报道，可为该技术深入应用及中药口感评价拓宽思路。

参考文献：

[ 1 ] 李士骧.《既是食品又是药品》品种名单的认识和建议[J]. 中国自然医学杂志, 2001(4): 232-240; 242.

[ 2 ] Bishayee A, Patel P A, Sharma P, *et al.* Lotus ( *Nelumbo nucifera* Gaertn.) and its bioactive phytochemicals: A tribute to

cancer prevention and intervention [ J ]. *Cancers ( Basel )*, 2022, 14(3): 529.

[ 3 ] 孙佳秀, 夏鹏国, 梁宗锁. 荷叶的药理功效及功能食品开发[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(9): 1874-1881.

[ 4 ] 谭一丁, 邓放明. 荷叶成分与生物学功能研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 193-197.

[ 5 ] 李沁园, 姜丽娜, 龙晓露, 等. β-环糊精及其衍生物用作药物载体的研究进展[J]. 现代盐化工, 2020, 47(4): 1-2.

[ 6 ] Li Z H, Li K, Teng M L, *et al.* Functionality-related characteristics of hydroxypropyl-β-cyclodextrin for the complexation[J]. *J Mol Liq*, 2022, 365: 120105.

[ 7 ] Amy O, Panupong M, Kuakarun K, *et al.* Inclusion complexation of emodin with various β-cyclodextrin derivatives: Preparation, characterization, molecular docking, and anticancer activity[J]. *J Mol Liq*, 2022, 367: 120314.

[ 8 ] Mai N N S, Nakai R, Kawano Y, *et al.* Enhancing the solubility of curcumin using a solid dispersion system with hydroxypropyl-β-cyclodextrin prepared by grinding, freeze-drying, and common solvent evaporation methods[J]. *Pharmacy ( Basel )*, 2020, 8 (4): 203.

[ 9 ] Qiu T, Wang X C, Hu H M, *et al.* Simultaneous vacuum-ultrasonic assisted extraction of bioactive compounds from lotus leaf[J]. *J Food Meas Charact*, 2022, 16(2): 1636-1648.

[ 10 ] Wu S M, Yu Q Y, Shen S, *et al.* Non-targeted metabolomics and electronic tongue analysis reveal the effect of rolling time on the sensory quality and nonvolatile metabolites of congou black tea[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 169: 113971.

[ 11 ] Chen L L, Ning F J, Zhao L, *et al.* Quality assessment of royal jelly based on physicochemical properties and flavor profiles using HS-SPME-GC/MS combined with electronic nose and electronic tongue analyses[J]. *Food Chem*, 2023, 403: 134392.

[ 12 ] Ao L, Guo K, Dai X R, *et al.* Quick classification of strong-aroma types of base Baijiu using potentiometric and voltammetric electronic tongue combined with chemometric techniques[ J ]. *Front Nutr*, 2022, 9: 977929.

[ 13 ] Li S Y, Zhang Y, Rauf Khan A, *et al.* Quantitative prediction of the bitterness of atomoxetine hydrochloride and taste-masked using hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin: A biosensor evaluation and interaction study [ J ]. *Asian J Pharm Sci*, 2020, 15 ( 4 ) : 492-505.

[ 14 ] Lu Y P, Liu S Y, Zhao Y, *et al.* Complexation of Z-ligustilide with hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin to improve stability and oral bioavailability[J]. *Acta Pharm*, 2014, 64(2): 211-222.

[ 15 ] 郑佳成, 李瑞雪, 史 博, 等. 功能化  $\beta$ -环糊精的制备及其应用研究进展[J]. *化工时刊*, 2021, 35(6): 21-24.

[ 16 ] Escobar-Avello D, Avendaño-Godoy J, Santos J, *et al.* Encapsulation of phenolic compounds from a grape cane pilot-plant extract in hydroxypropyl beta-cyclodextrin and maltodextrin by spray drying [ J ]. *Antioxidants ( Basel )*, 2021, 10 ( 7 ) : 1130.

[ 17 ] Ilyich T V, Lapshina E A, Maskevich A A, *et al.* Inclusion complexes of quercetin with  $\beta$ -cyclodextrins; ultraviolet and infrared spectroscopy and quantum chemical modeling [ J ]. *Biophysics ( Oxf)*, 2020, 65(3): 381-389.

[ 18 ] Ren G X, Li T H, Wei Y M, *et al.* Estimation of Congou black tea quality by an electronic tongue technology combined with multivariate analysis[J]. *Microchem J*, 2020, 163: 105899.

[ 19 ] 陈妹姑, 林兴娥, 李新国, 等. 基于主成分分析和聚类分析的榴莲品质综合评价[ J ]. *食品工业科技*, 2023, 44 ( 7 ) : 278-286.

[ 20 ] 叶颖君, 安 琪, 戴前颖. 感官评价分析方法在茶叶中的应用[J]. *茶业通报*, 2021, 43(3): 115-119.

[ 21 ] 李 卿, 马盛凯, 张 悦, 等. 感官评定在新食品开发中的应用[J]. *食品工程*, 2021(2): 42-45.

[ 22 ] 仇 敏, 杨 静, 王晓宇, 等. 中药汤剂伴侣用于经典名方抑苦掩味的适宜性研究[ J ]. *中草药*, 2022, 53 ( 8 ) : 2292-2301.

[ 23 ] 陆 影, 曾敬其, 马金辰, 等. 中药大品种制造关键质量属性表征: 滋味质量属性的小儿感冒口服液口感配方优化策略研究与应用[ J ]. *中国中药杂志*, 2022, 47 ( 13 ) : 3488-3494.

[ 24 ] 饶 智, 陈光宇, 何 群, 等. 基于电子舌技术与人工口尝评价相结合的美活胜湿汤矫味技术研究[ J ]. *中药材*, 2021, 44(3): 658-663.

[ 25 ] 李学林, 康 欢, 田亮玉, 等. 不同类型掩味剂对龙胆、苦参、穿心莲、莲心子 4 种中药水煎液的抑苦效能及抑苦规律评价[J]. *中草药*, 2018, 49(22): 5280-5291.

[ 26 ] 薛婉莹, 李红鑫, 吴婧楠, 等. 基于电子舌技术与人工口尝评价相结合的银杏叶提取物掩味技术研究[ J ]. *中南药学*, 2022, 20(8): 1799-1803.