

基于电子舌的穿心莲水煎液的掩味效果评价研究

刘瑞新¹, 李慧玲², 李学林^{1*}, 张杏芬², 仇继玺²

1. 河南中医学院第一附属医院 药学部, 河南 郑州 450000

2. 河南中医学院, 河南 郑州 450008

摘要: **目的** 探讨电子舌用于评价穿心莲掩味效果的可行性, 为药物掩味研究提供参考。**方法** 以穿心莲为苦味中药模型药, 选择醋酸钠 (NaAc)、甜蜜素 (SC)、腺苷-5'-磷酸 (AMP)、2, 4-二羟基苯甲酸 (DA) 作为掩味剂, 通过电子舌进行测试, 所得数据用主成分分析法进行分析, 并进行不同维度数据空间内欧氏距离计算, 以苦距大小作为评价指标评价掩味效果, 并与口尝结果比较。**结果** 电子舌对 SC、AMP、DA 3 种掩味剂的掩味效果的区分与口尝法的评价结果基本一致, 但对 NaAc 的评价结果与口尝评价结果不一致, 提示使用电子舌评价中药掩味效果需要满足一定的条件。**结论** 电子舌在满足一定的条件下, 可以用于中药掩味效果的评价。利用电子舌进行药物味觉信息评价, 应运用药理学、化学专业知识及相关学科的知识加以分析, 逐步完善这种评价方法和模式。

关键词: 电子舌; 苦味; 穿心莲; 掩味; 主成分分析; 苦距

中图分类号: R283.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2013)16-2240-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2013.16.009

Evaluation on taste-masking effect of *Andrographis Herba* by electronic tongue

LIU Rui-xin¹, LI Hui-ling², LI Xue-lin¹, ZHANG Xing-fen², QIU Ji-xi²

1. Department of Pharmacy, The First Affiliated Hospital of Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China

2. Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450008, China

Abstract: Objective To evaluate the feasibility of taste-masking by electronic (E)-tongue and provide a reference for the drug taste-masking study. **Methods** *Andrographis Herba* was used as the carrier of bitter Chinese materia medica (CMM), sodium acetate (NaAc), sodium cyclamate (SC), adenosine-5'-monophosphatedisodium malt (AMP), and 2, 4-dihydroxybenzoic acid (DA) as the taste-masking agents. The data obtained by the E-tongue were analyzed through principal component analysis (PCA), and Euclidean distance in the data space of different dimensions was calculated. Regarding the distance of bitterness (*D*) as the evaluation index, then whether the data analyzed by the E-tongue and volunteers were the same or were not investigated. **Results** The evaluation results of the taste-masking agents by E-tongue were similar to the taste by volunteers except NaAc, suggesting that some conditions should be required to evaluate the effect of CMM taste-masking. **Conclusion** This study shows that E-tongue could be used for evaluating the effect of CMM taste-masking under certain conditions. To evaluate the gustation information by E-tongue, we should use the professional knowledge of pharmacy, chemical and other related disciplines to analyze and improve this evaluation method and model gradually.

Key words: electronic tongue; bitterness; *Andrographis Herba*; taste-masking; principal component analysis; distance of bitterness

中药是中医治疗疾病的重要武器, 然而苦味中药在常用中药中所占的比例较高。作为味觉感受, 苦很难让人接受, 人们甚至谈“苦”色变。为了提

高患者用药的顺应性, 常常需要采用各种方法对其掩味。掩味定义为降低对实际存在的不良口味的感觉^[1]。传统的掩味效果的评价是采用人群口尝试验,

收稿日期: 2013-03-05

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (81001646)

作者简介: 刘瑞新, 博士, 副主任药师, 从事中药制剂及分析研究。Tel: (0371)66233562 E-mail: liuruixin7@163.com

*通信作者 李学林, 硕士生导师, 主任药师, 从事中药应用形式研究。Tel: (0371)66245142 E-mail: xuelinli450000@163.com

网络出版时间: 2013-07-05 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/12.1108.R.20130705.1552.014.html>

即通过志愿者口尝苦味药物, 确定其苦度 (intensity of bitterness, I), 再口尝经过掩味后的药物, 根据其掩味前后的 I 变化来判断掩味效果^[2-6]。这种方法的缺点在于具有很强的主观性, 且该法操作繁琐费时, 不适合大量、快速地筛选样品; 若药物存在潜在的毒性, 就不适合用人群实验。

近年来发展起来的电子舌 (electronic tongue, E-tongue) 是模仿人体味觉机制研制出来的一种智能识别电子系统。早期应用于食品^[7-8]和环境检测^[9], 近几年引入到药学领域中, 用于掩味评价^[10-12]、处方研发和质量控制。目前国内外用于苦味研究的电子舌主要有日本 Kiyoshi Toko 的多通道类脂膜传感器电子舌系统和法国 Alpha MOS 的 Astree 电子舌系统^[13-14]。

为研究电子舌用于不同掩味剂对苦味中药穿心莲的掩味效果的评价方法, 本实验利用法国 Alpha MOS 公司生产的 α -Astree II 电子舌, 以穿心莲为苦味中药模型, 分别对其加入几种不同的掩味剂后的味觉信息进行测定, 所得数据进行主成分分析 (principal component analysis, PCA)、不同维度数据空间内样品之间的欧氏距离计算, 以期对各种掩味剂的掩味效果进行评价, 并应用口尝法对电子舌所得结果进行验证, 探索电子舌用于中药掩味效果评价的可行性, 为中药掩味规律研究及中药掩味效果评价体系的建立奠定基础。

1 仪器与材料

法国 Alpha MOS 公司研发的 α -Astree II 电子舌检测装置, 该装置由 7 根传感器 (ZZ5801-05002504-17A、BB5801-05002249-17A、JE25104-07006086-37A、GA5605-05002361-17B、DA29201-05002522-18A、AB26801-04010010-20B、CA26005-07006189-37B) 和 1 个 Ag/AgCl 参比电极、16 位自动进样器、数据采集系统及 Alpha soft V12 工作站软件组成; Sartorius BSA224S—CW 分析天平 (0.1 mg, 德国 Sartorius 仪器有限公司); JXJ—II 台式离心机 (上海安亭科学仪器厂)。

穿心莲 (*Andrographis Herba*, ADH, 河南中一药业公司, 批号 20110224), 为爵床科植物穿心莲 *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees 的干燥地上部分, 经河南中医学院第一附属医院药学部陈天朝主任鉴定为正品。

掩味剂: 醋酸钠^[10] (sodium acetate anhydrous, NaAc, 批号 30881)、腺苷-5'-磷酸^[15-16] (adenosine-5'-

monophosphate disodium salt, AMP, Sigma-Aldrich 公司, 批号 BCBF7727V)、2, 4-二羟基苯甲酸^[17] (2, 4-dihydroxybenzoic acid, DA, 批号 37034) 购于庄萌生物有限公司, 甜蜜素 (环氨酸钠, sodium cyclamate, SC, 批号 120306) 购于金田企业 (南京) 有限公司。

2 方法与结果

2.1 电子舌评价方法的建立

2.1.1 饮片水煎液的制备 取《中国药典》2010 年版穿心莲“用法与用量”项下的用量范围平均值 (穿心莲用量为 6~9 g, 取 7.5 g) 制备样品, 将其置适宜容器中加水 200 mL, 浸泡 30 min, 置于电磁灶上加热, 功率 2 100 W, 待沸腾后, 功率改为 600 W, 煎煮 20 min; 滤出, 二煎时加水 200 mL, 沸腾后煎煮 10 min, 余同一煎; 合并滤液, 混匀, 冷至室温, 4 000 r/min 离心 15 min, 取上清液, 定容至 400 mL, 100 mL 棕色玻璃瓶灌装, 压盖, 110 °C 流通蒸汽灭菌 30 min, 备用。

电子舌测试样品的制备 因电子舌传感器对药物浓度要求较高, 制备样品时, 穿心莲水煎液及所加掩味剂皆等比稀释 10 倍。具体方法为分别取穿心莲水煎液 10 mL 4 份, 根据课题组前期预实验结果, 分别加入 NaAc 82 mg (8.2 g/L)、DA 5 mg (0.5 g/L)、AMP 20 mg (2 g/L)、SC 30 mg (3 g/L) 溶解, 加纯化水定容至 100 mL, 作为电子舌的测试样品, 每 1 个样品都设置 1 个空白对照, 即不加苦味物质。

2.1.2 电子舌测试 将上述样品分别倒入电子舌专用烧杯中, 每杯样品量约为 80 mL。在室温下进行数据采集。由于不同的传感器吸附分子不同, 当传感器对样品进行测定时, 不同的传感器选择性地吸附样品溶液中的游离分子, 从而得到不同样品的响应信号也不同。数据采集前, 电子舌系统需要经过自检、诊断和矫正等步骤, 以确保采集得到的数据可靠和稳定。

当电子舌进入样品溶液中即开始采集样品信号, 每个样品的采集时间为 120 s, 清洗时间为 10 s, 每秒采集 1 个数据, 采用第 120 s 所得的数据作为输出值。本实验每杯样品重复测定 7 次, 测定完 1 个样品后, 电子舌进入相应的清洗烧杯中进行清洗, 重复清洗 6 次。传感器刚开始测量时, 信号强度会上下波动, 测定 2~3 次后, 趋于稳定。故选取后 3 次的测量数据作为 PCA 和欧氏距离分析的原始数据。

2.1.3 PCA 本实验采用多元统计分析中的 PCA 方法,对电子舌采集的数据进行分析。利用统计软件,可将 PCA 结果以图形的形式表现出来。从 PCA 图上,可以对加入掩味剂后的苦味样品与空白对照样品进行直观地辨识。本研究利用 MatlabR2011b 进行 PCA。

对电子舌采集得到的数据,先利用 Matlab 软件的 Zscore 命令进行标准化处理,然后进行 PCA。前 3 个主成分所解释的变异分别为 56.54%、24.99%、14.25%,累积总变异为 56.54%、81.53%、95.78%。图 1 所示为前 3 个主成分所代表的 3 维空间的 PCA 图。

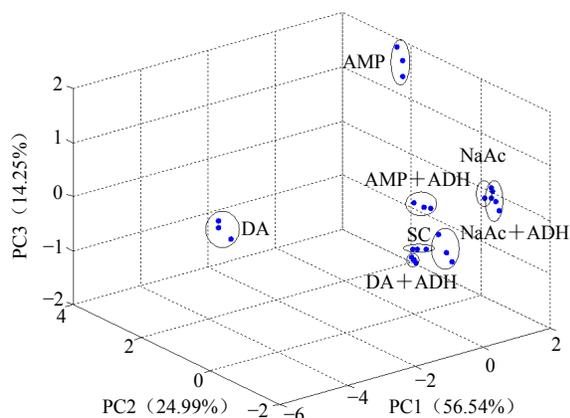


图 1 穿心莲中加入不同掩味剂后的 3 维 PCA 图

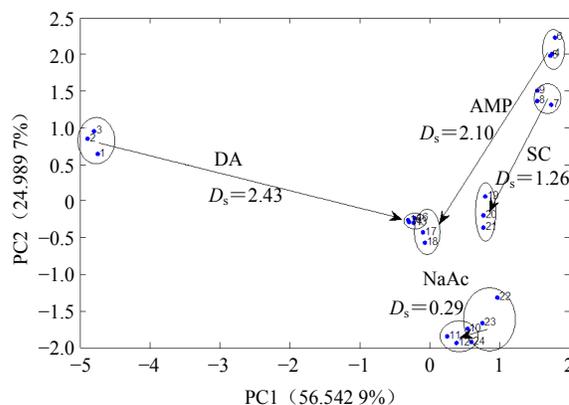
Fig. 1 Three-dimensional PCA map of *Andrographis Herba* after adding different taste-masking agents

2.1.4 欧氏距离 (苦距) 计算 不同维度数据空间内,不同 I 样品间的欧氏距离可以认为是其苦味程度的差异,即“苦距”(distance of bitterness in E-tongue, D)。对于掩味剂而言,其使得苦味样品的 I (苦距)降低或抑制的绝对度量可以称为“ I 降低距”(ΔD),用公式表示为 $\Delta D = D_0 - D_s$, D_0 为苦味样品 A 与纯化水的距离; D_s 为样品 A+BS 与 BS 之间的距离 (A 为苦味物质,BS 为掩味剂)。 D_s 越小, ΔD 越大,则说明掩味效果越好。

因本实验研究的是同一个苦味体系,所以选择 D_s 这个指标来评价掩味剂对苦味物质的掩味效果。

针对本研究而言,实验得到的是由 7 根传感器所获取的 7 维数据,可以对其进行必要的标准化处理后计算其在原始 7 维空间中的欧氏距离。另一方面,由于该 7 维数据中包含有一定的系统误差和冗余信息,因此有必要进行必要的降维,PCA 就是一种良好的降维方法:从 PCA 图上,还可以在降维后

的前几个主成分所表示的样品空间内计算各样品间的欧式距离。由于每 1 个测试样本是 3 次平行测定,计算 1 个样本的 3 个平行样本与另 1 个样本的 3 个平行样本之间的距离,两两计算距离后计算算术平均数 ($n=9$)。本研究利用 MatlabR2011b 进行欧氏距离计算。本实验计算了在降维后的 2 维空间中,各样品之间的平均欧氏距离,见图 2。



1-3-0.5 g/L DA 4-6-2 g/L AMP 7-9-3 g/L SC 10-12-8.2 g/L NaAc 13-15-0.5 g/L DA+ADH 16-18-2 g/L AMP+ADH 19-21-3 g/L SC+ADH 22-24-8.2 g/L NaAc+ADH

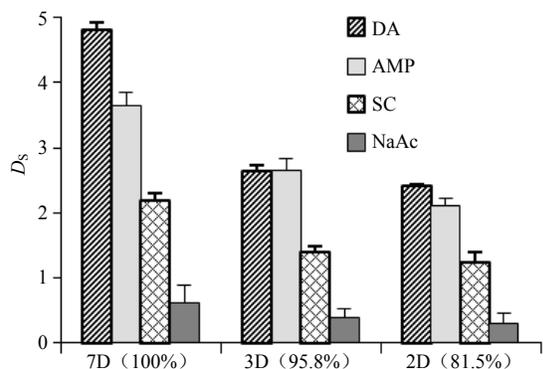
图 2 穿心莲中加入不同掩味及不同掩味剂的 2 维 PCA 及欧氏距离图

Fig. 2 Two-dimensional PCA and Euclidean distance map of *Andrographis Herba* after adding different taste-masking agents

图 2 中同一个样品的 3 个点离散度较小,而不同样品之间互相干扰较少,存在一定的差异,说明该电子舌可以很好地区分不同的样品。从图中各样品与其对照样品之间的距离的长短可以很明显看出,NaAc 的苦距 D_s 最小,为 0.29。其余各掩味剂的 D_s : DA 为 2.43、AMP 为 2.10、SC 为 1.26,从苦距的大小推断,几种掩味剂对穿心莲的掩味效果由强到弱分别为 NaAc>SC>AMP>DA。

本实验又计算降维后的 3 维空间及原始 7 维空间中各样品间的平均欧氏距离,所得结果与 2 维空间中的平均欧氏距离进行对比,见图 3。可以看出,不同的空间中,同 1 个样品的 3 个平行样品之间的离散度均较小;DA、AMP、SC 及 NaAc 的 D_s 均呈逐渐减小的趋势,由此推断上述各掩味剂对穿心莲水煎液的掩味效果呈现由弱到强的趋势。

综合上述结果,推测 NaAc 对穿心莲水煎液的掩味效果最优,其次为 SC、AMP,DA 的掩味效果最差。



7D-七维空间 (累积总变异: 100%) 3D-三维空间 (累积总变异: 95.8%) 2D-二维空间 (累积总变异: 81.5%)
 7D-seven-dimensional space (cumulative variance: 100%)
 3D-three-dimensional space (cumulative variance: 95.8%)
 2D-two-dimensional space (cumulative variance: 81.5%)

图3 7维空间、3维空间及2维空间欧氏距离比较 (n=9)
 Fig. 3 Comparison on seven-, three-, and two-dimensional Euclidean distances (n=9)

2.2 口尝实验验证

对电子舌结果进行验证, 将穿心莲原液稀释 2 倍, 按相同的方法加入掩味剂后, 对样品溶液分别进行了口尝实验。

2.2.1 I 值的判定标准 这里引入 I 的概念, 是为了将药物的苦味进行定量而人为规定的反映药物苦味程度的量化指标。参照文献方法^[4,6], 确定药物的 I 级别为 5 级, 每 1 个级别下又赋予具体的分值, 见表 1。

2.2.2 志愿者入选标准 志愿者为成年健康人群, 无严重过敏、遗传病史、无胆囊炎、无不良嗜好及近期无疾病史。

2.2.3 志愿者培训 首先取盐酸小檗碱 5 份, 分别为由小到大的 5 个浓度等级, 纯化水溶解, 分别赋予 5 个值 (1、2、3、4、5), 作为参比溶液。21 名志愿者分别对上述样品进行口尝, 告知其 I 值, 然

表 1 中药 I 的定性描述、等级及定量范围

Table 1 Qualitative description, grade, and quantitative range of bitterness intensity of CMM

序号	I 的口感描述	赋予 I 的等级	I 的可取值范围
1	几乎没有苦味或味淡	I	[0.5, 1.5]
2	略有苦味	II	[1.5, 2.5]
3	可接受的 I	III	[2.5, 3.5]
4	很苦, 但是仍然可以忍受	IV	[3.5, 4.5]
5	不能忍受的苦味	V	[4.5, 5.5]

后再口尝待测样品, 与参比溶液比较, 记录待测样品的 I 值。

2.2.4 口尝测试 经河南中医学院第一附属医院伦理委员会批准并签订知情同意后, 选择 19 名志愿者进行口尝评价。志愿者分别含 20 mL 样品于口中, 计时 15 s, 此间做漱口动作, 吐出, 漱口 5 次, 至口腔内无苦味, 记录样品的 I, 15 min 后测定另 1 个样品溶液。对所有志愿者口尝 I 结果进行算术平均数及标准差的计算。

得到穿心莲的 I 值为 3.25 ± 0.92 。加入 NaAc、SC、AMP、DA 4 种掩味剂后的 I 值分别为 3.04 ± 0.76 、 2.27 ± 0.76 、 2.77 ± 0.84 、 2.84 ± 0.88 ($n=19$), I 均较穿心莲低。4 种掩味剂的 I 降低值分别为 0.21、0.98、0.48、0.41。经过 t 检验发现, 除 NaAc 外, 穿心莲加入其他 3 种掩味剂前后的 I 值均有显著性差异 ($P < 0.05$)。

与电子舌测试所得结果对比, 结果见图 4。可以看出, 除了 NaAc 外, 电子舌结果与口尝结果基本一致, 2 种方法对 SC、AMP、DA 3 种掩味剂的掩味效果的区分基本等效。

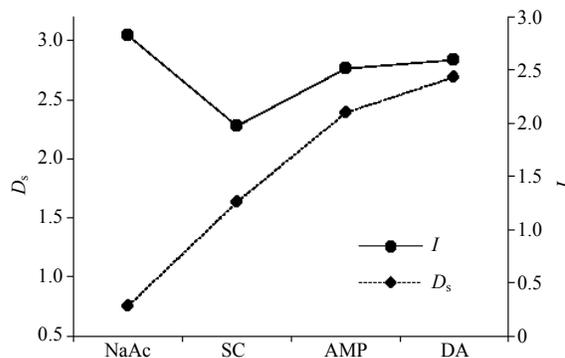


图 4 电子舌与口尝评价对比图
 Fig. 4 Comparison of evaluation between E-tongue and tasting

3 讨论

建立科学、规范的掩味效果评价方法, 是进行掩味研究的前提和基础。电子舌被用来对掩味效果进行评价, 是一种新兴的手段。Zheng 等^[10]曾做过用 α -Astree 电子舌进行测定, 将所得的味觉信息进行距离计算, 以评价掩味剂的掩味效果。然而, 此文献中所应用的苦味药物模型皆为化学药, 对中药并未涉及。本实验在此基础上, 基于代表性苦味中药穿心莲, 初步研究了电子舌用于掩味效果评价的可行性, 为以后中药的掩味效果评价提供了一定的参考。

穿心莲性寒、味苦，具有清热解毒、凉血消肿的功效，被广泛用于治疗细菌性痢疾、急性扁桃体炎、流行性感风和毒蛇咬伤等^[18]。其主要含有二萜类、黄酮类等成分，二萜类成分中的穿心莲内酯是穿心莲的主要有效成分之一^[19]，也是其苦味的主要来源。穿心莲是极苦类中药的一个代表，中医药的五行学说认为苦入心，命名为“穿心莲”，其苦味程度由此可见一斑。本实验选取穿心莲作为研究对象，具有一定的代表意义。

在实际口尝试验之前，本实验采用穿心莲原液进行了预试验，得到穿心莲的 I 值为 3.43 ± 0.81 。加入 NaAc、SC、AMP、DA 4 种掩味剂后的 I 值分别为 2.94 ± 1.16 、 2.65 ± 0.84 、 3.22 ± 0.96 、 3.38 ± 0.74 ($n=21$)， I 值均较穿心莲原液更低。但是，经过 t 检验发现，除了 SC 以外，穿心莲加入其他 3 种掩味剂前后的 I 值无显著性差异 ($P>0.05$)，考察其原因可能为穿心莲原液 I 比较大，加入掩味剂后的效果不明显。因此选择了易于被观察的低浓度，此时，对某些效果较好的掩味剂而言，与原液相比，尽管整体上 I 降低的数值不大 (0.98、0.48、0.41)，但相比原液均有显著性差异 ($P<0.05$)，且 SC 降低了将近 1 个 I 级别。当然，从应用研究角度看，这对于较苦的苦味中药而言，可能实际的掩味意义不大，但作为一种评价方法却是可行的。

本实验结果表明，电子舌对 SC、AMP、DA 3 种掩味剂的掩味效果的区分与口尝法的评价结果基本一致，但对 NaAc 的评价结果与口尝评价结果不一致，分析其原因，可能是由于适用于电子舌评价的模型药物需要满足一定的条件。本实验所研究的掩味后的苦味样品与空白对照样品之间的距离被称为“苦距”，而不是“酸距”或“甜距”等，事实上是需要满足一定的条件的，即：①被研究的药物是“苦”的；②加入的掩味剂本身没有味道或具有淡味或其他非不良口味，能被接受；③药物加入掩味剂后应变得“更苦”，或与原来一样“苦”，或 I 降低同时伴有其他非不良口味如甜味；而不得变成“甜味”或变成其他强烈的不良口感如酸味、咸味、碱味等却完全没有苦味。基于电子舌技术，按照本实验的方法进行中药苦味掩味的评价，理论上应满足上述 3 个条件，否则可能得到不一致甚至是相反的结论。本课题研究中 NaAc 的口尝实验结果与基于电子舌进行评价所得到的结论不一致，与 NaAc 本身不满足上述第②个条件有关：据志愿者的口感描

述，NaAc 本身具有一定的碱味、咸味，这一点不同于其他 3 种掩味剂。提示利用电子舌这种新生事物进行药物味觉信息评价，绝不能完全生搬硬套，不加分析地应用电子舌显示的数据进行掩味效果评价，也不能因为其在某些方面存在不足就弃之不用，而是要合理地使用药理学、化学专业知识及相关学科的专业知识加以分析，逐步完善这种评价方法和模式。不同掩味剂深层次的掩味规律、掩味剂与电子舌传感器之间的相互作用规律以及基于电子舌进行 I 评价的方法学等有待进一步深入研究。

中药药物成分复杂，苦味物质的来源主要有生物碱、萜类、糖苷、苦味肽等，本实验只选择了一种代表性的以萜类成分为主的苦味中药作为研究对象进行研究，要总结、建立、完善基于电子舌进行中药掩味研究的方法学，还需进一步扩大研究对象的范围。另一方面，药品最终是由患者服用的，未经过人群口感验证的结果未必是正确的，因此，应对电子舌的评价结果进行必要的验证。

总之，尽管目前利用电子舌来评价药物掩味效果尚存在某些不足，评价方法也有待于不断完善，传感器的准确性、精密性和稳定性等也有待于进一步提高，评价结果尚需要人群口感实验的验证，但未来随着纳米材料、新型传感器、微细加工、计算机等技术的不断发展和医药学工作者的不懈努力，电子舌技术和基于电子舌技术的掩味评价方法体系必将取得长足的进步，从而有力推动医药事业的发展。

志谢：中国农业大学食品科学与营养工程学院倪元颖教授、杨阳博士在电子舌方面给予的指导和帮助。

参考文献

- [1] 王优杰, 冯 怡, 徐德生. 药物掩味技术的研发进展与应用 [J]. 中国药学杂志, 2006, 41(19): 1444-1448.
- [2] 王优杰, 徐德生, 冯 怡. 中药及其制剂苦味评价方法的建立 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(15): 1511-1514.
- [3] Apetrei C, Apetrei I M, Villanueva S, *et al.* Combination of an e-nose, an e-tongue and an e-eye for the characterisation of olive oils with different degree of bitterness [J]. *Anal Chim Acta*, 2010, 663(1): 91-97.
- [4] 李学林, 吴子丹, 刘瑞新, 等. 口尝法评价中药汤剂苦味的研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(23): 11-13.
- [5] Li L, Naini V, Ahmed S U. Utilization of a modified

- special-cubic design and an electronic tongue for bitterness masking formulation optimization [J]. *J Pharm Sci*, 2007, 96(10): 2723-2734.
- [6] Kawano, Y, Ito A, Sasatsu M, *et al.* Preparation of orally disintegrating tablets with taste-masking function: masking effect in granules prepared with correctives using the dry granulation method and evaluation of tablets prepared using the taste-masked granules [J]. *Yakugaku Zasshi*, 2010, 130(1): 81-86.
- [7] Lvova L, Legin A, Vlasov Y, *et al.* Multicomponent analysis of Korean green tea by means of disposable all-solid-state potentiometric electronic tongue microsystem [J]. *Sens Actuators B: Chem*, 2003, 95(1/3): 391-399.
- [8] Legin A, Rudnitskaya A, Seleznev B, *et al.* Electronic tongue for quality assessment of ethanol, vodka and eau-de-vie [J]. *Anal Chim Acta*, 2005, 534(1): 129-135.
- [9] 黄星奕, 张春霞. 应用电子舌技术识别水体的水华污染程度 [J]. *江苏大学学报: 自然科学版*, 2010, 31(5): 506-509.
- [10] Zheng J Y, Keeney M P. Taste masking analysis in pharmaceutical formulation development using an electronic tongue [J]. *Int J Pharm*, 2006, 310(1/2): 118-124.
- [11] 李小芳, 何倩灵, 杨红, 等. 电子舌在评价大黄颗粒矫味效果中的应用 [J]. *成都中医药大学学报*, 2011, 34(2): 80-82.
- [12] Takagi S, Toko K, Wada K, *et al.* Quantification of suppression of bitterness using an electronic tongue [J]. *J Pharm Sci*, 2001, 90(12): 2042-2048.
- [13] 唐慧敏, 任麒, 沈慧凤. 苦味评价方法的国内外研究进展 [J]. *中国新药杂志*, 2009, 18(2): 127-131.
- [14] 杨小兰, 杨俊锋, 张美霞. 电子舌在食品加工在线检测中的应用研究 [J]. *饮料工业*, 2007, 10(9): 6-9.
- [15] 徐文平, 李大祥, 宛晓春. 茶叶中 AMP 的苦味掩盖效果评价及其含量的测定方法 [J]. *安徽农业大学学报*, 2010, 37(4): 682-687.
- [16] 李学林, 仇继玺, 刘瑞新, 等. 苦味抑制剂的研究进展 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2012, 18(21): 335-338.
- [17] 王伟江, 郑建仙. 天然苦味抑制剂的研究与应用 [J]. *中国调味品*, 2006(2): 14-16.
- [18] 靳鑫, 时圣明, 张东方, 等. 穿心莲化学成分的研究 [J]. *中草药*, 2012, 43(1): 47-50.
- [19] 杨静. 穿心莲内酯的研究进展 [J]. *中草药*, 2009, 7(7): 1168-1170.