

4 种苦味抑制剂对 3 种苦味成分的掩味效果

李学林^{1,2,3,4,*}, 田亮玉^{1,3}, 张 耀^{1,3}, 桂新景^{2,3}, 姚 静^{2,3}, 施钧瀚^{2,3}, 王青晓⁵,
刘瑞新^{1,2,3,4,*}

(1. 河南中医药大学, 河南 郑州 450008; 2. 河南中医药大学第一附属医院药学部, 河南 郑州 450000;
3. 国家中医药管理局中药制剂三级实验室, 河南 郑州 450000; 4. 呼吸疾病诊疗与新药研发河南省协同
创新中心, 河南 郑州 450000; 5. 河南省食品药品检验所, 河南 郑州 450000)

摘要: **目的** 探讨 4 种苦味抑制剂 (大豆多糖、HP-β-CD、黄原胶、阿斯巴甜) 对 3 种苦味成分 (穿心莲内酯、芦荟
苷、氧化苦参碱) 的掩味效果。**方法** 采用口尝法, 以苦度降低值为指标, 分析加入不同浓度苦味抑制剂后溶液的苦
度变化规律; 采用电子舌法, 选择大豆多糖、HP-β-CD 作为掩味物质, 比较它们对各苦味成分的掩味效果。**结果** 除
黄原胶对芦荟苷的掩味效果不够理想外, 其余苦味抑制剂均能将各苦味成分的口尝苦度降低至几乎无苦味 (0.5 ~
1.5); 苦度降低值与各苦味抑制剂质量浓度之间满足威布尔分布规律, 模型决定系数 R^2 均在 0.95 以上 ($P < 0.01$,
 $n = 6$)。同时, TS-5000Z 型电子舌对各苦味成分均无良好响应。**结论** 口尝法显示, 4 种苦味抑制剂对 3 种苦味成分
均具有良好的掩味效果, 但电子舌法不适用于该研究。

关键词: 苦味抑制剂; 苦味成分; 掩味效果; 口尝法; 电子舌法

中图分类号: R944 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2018)08-1741-07

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2018.08.014

Taste-masking effects of four bitterness inhibitors on three bitter constituents

LI Xue-lin^{1,2,3,4,*}, TIAN Liang-yu^{1,3}, ZHANG Yao^{1,3}, GUI Xin-jing^{2,3}, YAO Jing^{2,3}, SHI Jun-han^{2,3},
WANG Qing-xiao⁵, LIU Rui-xin^{1,2,3,4,*}

(1. Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450008, China; 2. Department of Pharmacy, The first Hospital Affiliated to Henan University of
Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China; 3. State Administration of Traditional Chinese Medicine Tertiary Laboratory for Chinese Medicine Prepara-
tions, Zhengzhou 450000, China; 4. Henan Provincial Cooperative Innovation Center for Respiratory Disease Diagnosis and Treatment and New Drug
Research and Development, Zhengzhou 450000, China; 5. Henan Provincial Institute for Food and Drug Inspection, Zhengzhou 450000, China)

KEY WORDS: bitterness inhibitors; bitter constituents; taste-masking effects; oral taste method; electronic
tongue method

汤剂是我国应用最早、最广泛的剂型, 可随证
加减中药饮片, 体现了中医治病的精髓^[1], 但其
口感问题却限制相关临床应用^[2-3], 尤其是儿童、
老人、胃纳差的患者^[4]、青年人。目前, 国内外
药物掩味方法主要有两种, 一种是通过添加掩味物
质来达到直接掩味的效果, 如加入甜味剂、芳香

剂、泡腾剂等降低口腔味蕾对苦味的敏感度^[5];
另一种是在制剂制备上实现直接掩味, 如包衣包
合、固体分散体、制成微囊等降低与味蕾接触的药
量或药物浓度, 用于延缓或阻止药物在口腔内的溶
解^[6]。然而, 由于汤剂“大剂量、多成分、非固
体、高苦度”的特殊性, 很多西药的成熟掩味手

收稿日期: 2018-05-06
基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (81001646); 国家自然科学基金面上项目 (81774452); 河南省科技攻关计划项目
(172102310135); 河南省中医管理局中医药科学研究专项课题 (2014ZY02066; 2017ZY02039); 河南中医学院省属高校基本科研业务费优
青培育项目 (2014KYYWF-YQ01)
作者简介: 李学林 (1960—), 男, 主任药师, 博士生导师, 从事中药应用形式研究。Tel: (0371) 66245142, E-mail: xuelinli450000@
163.com
* 通信作者: 刘瑞新 (1980—), 男, 博士, 副主任药师, 硕士生导师, 从事中药药剂及其质控分析研究。Tel: (0371) 66233562,
E-mail: liuruixin7@163.com

段并不适用。

课题组前期发现, 纽甜、甜菊苷等苦味抑制剂对盐酸小檗碱、苦参等成分^[7-9]均有掩味作用。研究表明, 生物碱、萜类、糖苷、内酯、苦味肽均为中药呈苦味的重要因素^[10], 也是其主要成分。在汤剂掩味中, 大豆多糖及黄原胶形成的胶液具有黏稠缓和的性质, 可延缓药物释放, 控制其向味蕾扩散, 干扰味蕾对其感受, 从而达到矫味、降低药物苦味和刺激性的作用^[11]; HP-β-CD 通过将客体药物分子全部或部分包入具有空腔结构的主体分子中^[12], 可避免药物分子与口腔味蕾的直接接触, 从而达到掩味的功效; 阿斯巴甜属于人工合成高倍甜味剂, 可通过增加甜味感应混淆大脑味觉感受, 从而达到掩盖药物苦味的效果^[13]。

穿心莲内酯(内酯类)、芦荟苷(糖苷类)、氧化苦参碱(生物碱类)分别为穿心莲、芦荟、苦参的主要有效成分, 2015 版《中国药典》分别记载其味极苦、苦。本实验将选择这 3 种代表性苦味成分作为研究对象, 基于口尝法和电子舌法探索大豆多糖、HP-β-CD、黄原胶、阿斯巴甜 4 种苦味抑制剂对其的掩味效果, 为苦味中药的掩味研究奠定基础。

1 材料

1.1 仪器 TS-5000Z 型电子舌(日本 Insent 公司); CP225D 型电子天平(十万分之一, 精密度 0.01 mg, 德国 Sartorius 公司); HK250 型台式超声波清洗器(上海科导超声仪器有限公司); AM-5250B 型磁力搅拌器(天津奥特赛恩斯仪器有限公司); HHS 型电热恒温水浴锅(上海百典仪器设备有限公司)。

1.2 试药 穿心莲内酯、芦荟苷、氧化苦参碱均(西安昊轩生物科技有限公司, 批号分别为 CX-LS20160714、LHD20160612、YHKSJ20150717, 含量分别为 98.00%、95.56%、98.50%); HP-β-CD(山东滨州智源生物有限公司, 批号 20150503); 阿斯巴甜(北京维多化工有限公司, 批号 20160424); 黄原胶(山东阜丰集团有限公司, 批号 20150312); 大豆多糖(河北赛亿生物科技有限公司, 批号 20150528)。水为纯化水。

2 方法

2.1 掩味效果评价指标选择

2.1.1 口尝苦度降低值(ΔI)^[14-15] 公式为 $I = \frac{I_1 + I_2 + \cdots + I_n}{n}$ ($n \geq 20$), $\Delta I = I_a - I_b$ 。其中, I_1 、

$I_2 \cdots I_n$ 为每人测试的具体苦度值; I_a 为掩味前苦度; I_b 为掩味后苦度; n 为口尝实验的志愿者人数。

2.1.2 电子舌苦度降低值(ΔI_e) 本实验以电子舌苦度降低值(ΔI_e)为评价指标, 所用电子舌常用指标有先味(RV)、回味(CPA)两种响应信号, 均为电子舌苦度(I_e)。电子舌先味、回味苦度值分别为 $I'_e = RV = V_s - V_r$ 、 $I_e = CPA = V'_r - V_r$, 其降低值分别为 $\Delta I'_e = \Delta RV = RV_a - RV_b$ 、 $\Delta I_e = \Delta CPA = CPA_a - CPA_b$, 其中 V_r 为参比液膜电势; V_s 为样品膜电势; V'_r 为清洗后参比液膜电势; RV_a 、 CPA_a 分别为掩味前电子舌先味、回味信息值; RV_b 、 CPA_b 分别为掩味后电子舌先味、回味信息值。

2.2 口尝法

2.2.1 苦味成分原液制备 精密称取穿心莲内酯 114 mg、芦荟苷 254 mg、氧化苦参碱 146 mg, 加 1 000 mL 水搅拌溶解, 超声后定容至 2 000 mL, 配制成质量浓度分别为 0.057、0.127、0.073 mg/mL 的溶液, 重复 4 次, 制备 8 L, 即得。

2.2.2 含苦味抑制剂样品溶液制备 取“2.2.1”项下 3 种原液各 7 份, 每份 500 mL, 加入不同量苦味抑制剂, 搅拌溶解后倒入 1 000 mL 量瓶中, 相应原液定容, 作为待测样品。以氧化苦参碱为例, 具体配制质量浓度为含 HP-β-CD 0.00、5.00、8.00、12.81、20.50、32.81、52.41 mg/mL; 阿斯巴甜 0.00、0.10、0.20、0.40、0.81、1.60、3.21 mg/mL; 黄原胶 0.00、0.50、0.75、1.13、1.69、2.53、3.80 mg/mL; 大豆多糖 0.00、1.00、1.90、3.61、6.86、13.03、24.76 mg/mL; 其他 2 种苦味成分亦然。

2.2.3 参比溶液制备 精密称取盐酸小檗碱 100 mg, 纯水配制成质量浓度分别为 0.00、0.01、0.05、0.10、0.50 mg/mL 的溶液, 即得。

2.3 操作过程

2.3.1 志愿者筛选 经河南中医药大学第一附属医院伦理委员会审查批准后, 选择 25 名健康志愿者(男性 11 名, 女性 14 名), 对其进行了包括苦味敏感度在内的严格筛选, 实验前均签署知情同意书。

2.3.2 苦味评价标准确定^[16-17] 将苦味分为 5 级, 每级再赋予一定苦度值范围。取“2.2.3”项下参比溶液, 经志愿者预试后, 确定不同质量浓度溶液所对应的苦度级别。见表 1。

表 1 苦味评价标准

Tab. 1 Standards for bitterness evaluation

编号	口感描述	等级	苦度值	参比溶液/ (mg·mL ⁻¹)
1	几乎没有苦味	I	0.5~1.5	0
2	略有苦味	II	1.5~2.5	0.01
3	可接受的苦味	III	2.5~3.5	0.05
4	很苦,但仍然可以忍受	IV	3.5~4.5	0.10
5	不能忍受的苦味	V	4.5~5.5	0.50

2.3.3 样品口尝^[18] 采用评分法+排序法,取25℃下不同质量浓度参比溶液各20 mL于口尝杯中,由志愿者含于口中,计时15 s,此间口腔作漱口动作,以使舌根及舌侧的苦味感受区能充分感受药物苦味,并被告知该参比溶液的苦度分级和具体苦度值,吐出,漱口5次至口腔内无苦味,15 min后同法测定另一质量浓度参比溶液。志愿者根据自己的口尝感受,结合之前参比溶液中的等级,确定待测样品所在的苦度级别,记录于预先设计好的“药物苦味评价表”中(为了保证结果准确性,采用随机、单盲方式进行实验)。

2.3.4 异常值剔除 对口尝数据进行处理,根据国标 GB/T 12315—2008 计算每个评价员的 Spearman 系数^[19],查询其临界值表时发现,当样品数为7时,显著水平 $\alpha=0.05$ 的临界值为0.786,剔除不合格者(小于临界值)。

另外,由于实验对象为生物样本,而且不同受试者之间可能存在个体差异,测试数据中会有个别异常值,但又不能随意取舍。因此,通过 Grubbs^[20] 检验法对数据进行二次异常值的循环检验和剔除,考虑到生物样本的特点,选择检出水平为0.1,剔除水平为0.05。

2.4 电子舌法

2.4.1 清洗液配制

2.4.1.1 正极清洗液 精密称取氯化钾7.46 g,500 mL蒸馏水搅拌溶解,加入300 mL无水乙醇,边搅拌边加入氢氧化钾0.56 g,溶解完毕后,转移到1 000 mL量瓶中定容,即得。

2.4.1.2 负极清洗液 精密量取300 mL无水乙醇,与500 mL蒸馏水振荡混合,加入8.3 mL浓盐酸,搅匀后转移到1 000 mL量瓶中定容,即得。

2.4.2 参比液配制 精密称取氯化钾2.24 g、酒石酸0.045 g,500 mL水溶解后转移到1 000 mL量瓶中定容,即得。

2.4.3 待测样品制备 按“2.2.1”项下方法制备原液,加入7.46 g氯化钾,溶解后原液定容至

1 000 mL,加入不同量苦味抑制剂,搅拌溶解后转移到1 000 mL量瓶中定容,即得(苦味抑制剂质量浓度同“2.2.2”项)。

2.5 操作过程 在清洗液中清洗90 s后,用两组相同的参比溶液各清洗120 s,传感器于平衡位置归零30 s达到平衡条件后开始测试。取“2.2.2”项下待测样品溶液,采集数据30 s得到传感器先味响应值,在上述2组参比液溶中各清洗3 s后,传感器插入新的参比溶液中采集数据30 s得到回味响应值,循环测试4次,去掉第1次循环,取后3次平均值作为传感器先味、回味值(每次清洗、平衡和测试回味的液体均分布在不同样品杯中)。

2.6 掩味效果比较

2.6.1 口尝法 以口尝苦度降低值(ΔI)为指标,采用横向(各苦味抑制剂在不同质量浓度下)、纵向(同一苦味抑制剂在不同质量浓度下)比较考察对3种苦味成分溶液的掩味效果。

然后,根据苦味成分质量浓度与标准表观苦度之间符合韦伯-费希纳定律中关于中等强度刺激条件下人类感官强度与刺激物理量呈对数关系的规律($S=K\lg R$),推测苦味抑制剂对苦味的影响也应符合该规律,故分别采用口尝法、电子舌法建立威布尔关系模型(f_1)和对数关系模型(f_2),探索苦味抑制剂对盐酸小檗碱溶液的掩味变化规律。两者关系式为 $\Delta I=f_1(c)=\beta(1-e^{\frac{-(c-\alpha)^m}{k}})$ 、 $\Delta I=f_2(c)=a\ln c+b$,其中 $f_1(c)$ 、 $f_2(c)$ 表示盐酸小檗碱溶液苦度降低值, c 表示苦味抑制剂浓度, a 、 b 、 α 、 β 、 m 、 k 为待定参数。

2.6.2 电子舌法 以电子舌苦度降低值(ΔI_e)为指标筛选响应传感器,基于检测结果比较不同苦味抑制剂对各苦味成分的掩味效果。

3 结果

3.1 口尝异常值剔除 查询 Spearman 系数临界值表发现,当样品数为7时,显著水平 $\alpha=0.05$ 的临界值为0.786,其中芦荟苷、穿心莲内酯、氧化苦参碱中 HP- β -CD 分别剔除2、2、6组;大豆多糖分别剔除1、4、3组;黄原胶分别剔除4、5、1;其余无剔除。经 Grubbs 二次检验,2 184 个口尝数据剔除18个异常值,不再进行插值或补充测试。

3.2 口尝法

3.2.1 各苦味抑制剂在不同质量浓度下对3种苦味成分的掩味效果 图1显示,HP- β -CD、黄原胶、阿斯巴甜、大豆多糖对3种苦味成分溶液均有较好的掩味作用, ΔI 值随 c 的增大而增大。其中,

对穿心莲内酯溶液而言，HP-β-CD 在最大质量浓度时其苦度降至 1 以下，优于其余 3 种苦味抑制剂；对芦荟苷溶液而言，HP-β-CD、阿斯巴甜、大豆多糖均能使其苦度有较大降低，最高降低值均大于 2，表明三者对其有较好的掩味效果，而黄原胶

在最大质量浓度时能使其苦度降低一半，但仍有苦味；对氧化苦参碱而言，各苦味抑制剂对其最大苦度降低值均在 1.5 以上，即几乎没有苦味，但 HP-β-CD 在较高质量浓度时其 ΔI 在 1.5 上下浮动，继续增加时对溶液苦度值的影响不大。

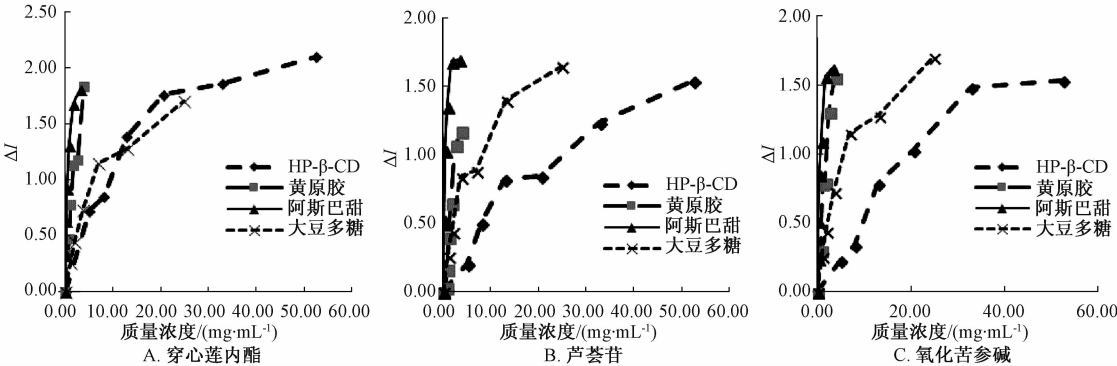


图 1 各苦味抑制剂在不同质量浓度下对 3 种苦味成分的掩味效果

Fig. 1 Taste-masking effects of various bitterness inhibitors at different concentrations on three bitter constituents

3.2.2 同一苦味抑制剂在不同质量浓度下对 3 种苦味成分的掩味效果 图 2 显示，HP-β-CD 在实验质量浓度范围内的掩味效果依次为芦荟苷 < 氧化苦参碱 < 穿心莲内酯；黄原胶在 0 ~ 3.8 mg/mL 范围内的掩味效果依次为氧化苦参碱 < 穿心莲内酯 <

芦荟苷，随着质量浓度继续增加变为氧化苦参碱 < 芦荟苷 < 穿心莲内酯；阿斯巴甜对 3 种苦味成分的掩味效果基本一致，在 1.60 mg/mL 以上时苦度降低值趋于稳定；大豆多糖对 3 种苦味成分的掩味效果呈无规律变化。

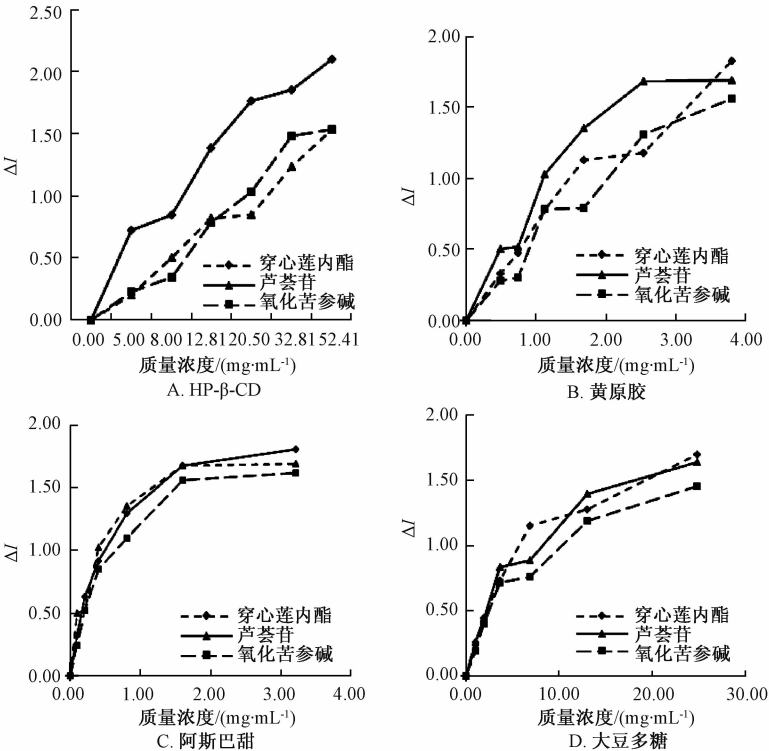


图 2 同一苦味抑制剂在不同质量浓度下对 3 种苦味成分的掩味效果

Fig. 2 Taste-masking effects of the same bitterness inhibitor at different concentrations on three bitter constituents

3.2.3 掩味规律模型建立 按“2.6.1”项下公式结合规划求解和 Excel 软件，建立威布尔模型和

对数模型。结果见表 2。
由表可知，在实验质量浓度范围内，4 种苦味

抑制剂的 ΔI 与苦味成分质量浓度之间均符合韦伯-费希纳定律,即中等强度刺激条件下人类感官强度与刺激物理量呈对数关系的规律^[21]; R^2 显示,威布尔模型均优于对数模型,故以前者作为口尝法掩

味规律模型。然后,建立威布尔拟合曲线,见图3,可知除黄原胶对芦荟苷的苦度降低值是1.2外,其余苦味抑制剂对3种苦味成分均降至几乎无苦味范围(0.5~1.5),掩味效果显著。

表 2 掩味规律模型拟合方程 (n=6)

Tab. 2 Fitting equations of taste-masking rule models (n=6)

苦味成分	苦味抑制剂	威布尔模型	对数模型
氧化苦参碱	HP-β-CD	$\Delta I = 1.56(1 - e^{\frac{-(c+0.21)1.54}{86.52}}), R^2 = 0.987\ 9$	$\Delta I = 0.619\ 8\text{ln}c - 0.825\ 2, R^2 = 0.968\ 0$
	黄原胶	$\Delta I = 1.87(1 - e^{\frac{-(c-0.03)1.21}{2.72}}), R^2 = 0.958\ 4$	$\Delta I = 0.662\ 4\text{ln}c + 0.625\ 8, R^2 = 0.942\ 6$
	阿斯巴甜	$\Delta I = 1.69(1 - e^{\frac{-(c-0.04)0.80}{0.67}}), R^2 = 0.990\ 3$	$\Delta I = 0.423\ 2\text{ln}c + 1.220\ 2, R^2 = 0.980\ 0$
	大豆多糖	$\Delta I = 6.28(1 - e^{\frac{-(c-0.85)0.42}{14.49}}), R^2 = 0.982\ 3$	$\Delta I = 0.388\ 5\text{ln}c + 0.161\ 5, R^2 = 0.974\ 9$
穿心莲内酯	HP-β-CD	$\Delta I = 2.06(1 - e^{\frac{-(c+1.06)1.18}{21.20}}), R^2 = 0.978\ 5$	$\Delta I = 0.624\ 2\text{ln}c - 0.292\ 8, R^2 = 0.957\ 0$
	黄原胶	$\Delta I = 32.85(1 - e^{\frac{-(c-0.28)0.62}{39.37}}), R^2 = 0.966\ 5$	$\Delta I = 0.702\ 3\text{ln}c + 0.726\ 5, R^2 = 0.945\ 8$
	阿斯巴甜	$\Delta I = 1.86(1 - e^{\frac{-(c-0.02)0.80}{0.67}}), R^2 = 0.998\ 4$	$\Delta I = 0.452\ 4\text{ln}c + 1.364\ 0, R^2 = 0.988\ 6$
	大豆多糖	$\Delta I = 1.84(1 - e^{\frac{-(c-0.95)0.67}{4.67}}), R^2 = 0.994\ 7$	$\Delta I = 0.459\ 7\text{ln}c + 0.046\ 6, R^2 = 0.992\ 6$
芦荟苷	HP-β-CD	$\Delta I = 5.69(1 - e^{\frac{-(c-4.51)0.46}{19.45}}), R^2 = 0.979\ 7$	$\Delta I = 0.539\ 8\text{ln}c - 0.647\ 4, R^2 = 0.973\ 5$
	黄原胶	$\Delta I = 1.19(1 - e^{\frac{-(c-0.18)1.90}{2.50}}), R^2 = 0.995\ 6$	$\Delta I = 0.611\ 5\text{ln}c + 0.383\ 7, R^2 = 0.974\ 4$
	阿斯巴甜	$\Delta I = 1.70(1 - e^{\frac{-(c+0.21)1.46}{0.61}}), R^2 = 0.984\ 5$	$\Delta I = 0.402\ 7\text{ln}c + 1.356\ 0, R^2 = 0.940\ 1$
	大豆多糖	$\Delta I = 2.39(1 - e^{\frac{-(c-0.62)0.57}{5.10}}), R^2 = 0.976\ 0$	$\Delta I = 0.438\ 0\text{ln}c + 0.207\ 6, R^2 = 0.970\ 5$

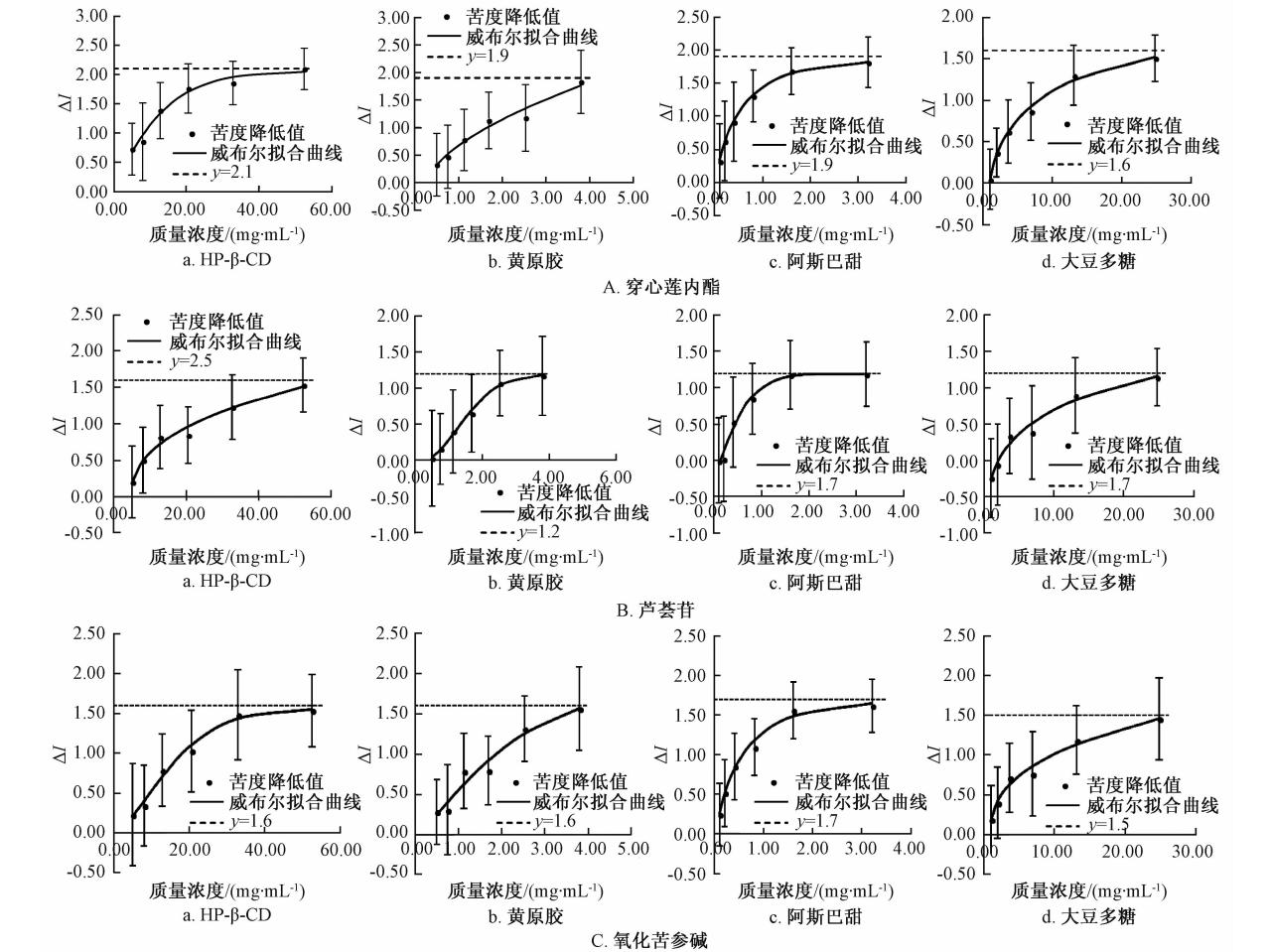


图 3 各成分威布尔拟合曲线
Fig. 3 Weibull fitting curves for various constituents

3.3 电子舌法 图4显示, ANO、BTO、C00、AE1传感器对芦荟苷溶液无响应;对氧化苦参碱溶液响应微弱,原液测得C00传感器先味和涩味传感器先味有正值,但均小于1, I_e 随着HP- β -CD浓度增大无明显变化,加入大豆多糖后两者随着其质量浓度增加而增大;对穿心莲内酯溶液响应较微弱,ANO传感器回味值 I_e 随着HP- β -CD质量浓度增大而增大,加入大豆多糖后变化情况与氧化苦参碱溶液相同;在实验质量浓度下,氧化苦参碱、穿心莲内酯响应值呈负值或无响应,故未能得到电子舌数据对其掩味效果的评价。

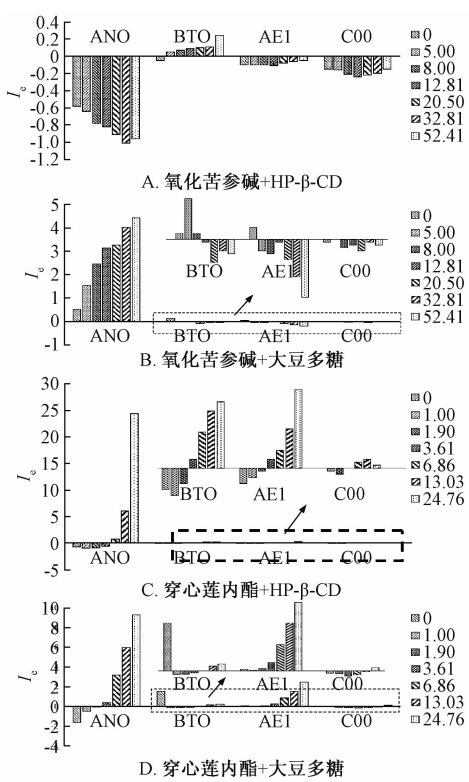


图4 电子舌传感器响应值

Fig. 4 Response values of electronic tongue sensors

4 讨论

苦味抑制剂的掩味效果往往各不相同,故选择时需考虑所研究的苦味载体、质量浓度、自身固有性质等因素^[17]。本实验发现,对于穿心莲内酯而言,4种苦味抑制剂均能使其苦度降至几乎无苦味范围(0.5~1.5),但当苦味成分为芦荟苷时,黄原胶对其掩味效果还在1.5~2.5范围内,存在略微苦度;环糊精对芦荟苷的掩味效果小于穿心莲内酯,这是因为芦荟苷与穿心莲内酯的结构不同,后者属于二萜内酯类化合物,一个双键位于二萜双环(反式十氢萘构型)上,这种结构类型决定了其化学性质不稳定,极易水解开环^[22],而环糊精包含

时阻止了其重构,从而达到更好的掩味效果。

本实验发现,TS-5000Z型电子舌的C00、AE1、ANO、BTO传感器对3种苦味成分溶液均无良好响应。其原因一方面可能与苦味成分的苦度相关,氧化苦参碱作为极苦范畴的成分,其苦度可能超过电子舌响应的阈值,与课题组前期得出电子舌在对苦味物质苦度进行预测时需达到其检测限才能检测到的结论相一致^[14];芦荟苷在溶液中被氧化成芦荟素,导致其苦味增加,超过电子舌阈值;穿心莲内酯含有酚羟基结构,呈弱酸性,并含有兼味,导致电子舌无响应。另一方面,可能与苦味抑制剂的物理性质及质量浓度相关,无法识别其阈值浓度外的味觉信息。课题组前期^[15]应用包裹有机层的二氧化硅晶体管组成的法国电子舌,研究了醋酸钠等掩味剂对盐酸小檗碱的掩味效果,发现可通过加入苦味抑制剂后苦味载体的味觉信息值与单独苦味抑制剂味觉信息值之间的空间距离进行比较,从而实现对苦味抑制剂掩味效果的比较,但该仪器不能区分苦味和甜味;日本TS-5000Z型电子舌有8根专属的味觉传感器,其中酸、甜、咸、鲜、涩味传感器各1根,苦味传感器3根,因此当兼味超过每根专属传感器的阈值后,无法实现对复杂味道体系的响应。

本实验研究了4种苦味抑制剂对3种苦味成分的掩味效果,结果通过口尝法发现四者均能达到该作用,而电子舌法无法进行比较。但中药滋味往往五味冗杂,本实验仅考察了单一苦味抑制剂,其联合应用时的掩味效果如何尚不清楚,故今后将探索联合应用与单一应用的效果是否一致,以期对中药汤剂的掩味研究提供更多的新思路。

参考文献:

[1] 方海平. 传承中医精髓和发挥中医药特色优势的探讨[J]. 中医药管理杂志, 2017, 25(8): 174-176.

[2] 孙炽东, 呼健, 杨明会. 良药“苦口”与“适口”之辨析[J]. 天津中医药, 2013, 30(3): 155-156.

[3] 王畅, 石薇, 邱智东, 等. 中药口服制剂的掩味技术研究概况[J]. 中国民族民间医药, 2016, 25(16): 50-53.

[4] 王付. 《伤寒论》中方剂数量考[J]. 中医医学刊, 2004, 22(9): 1682.

[5] 秦冬, 陈旭东, 封亮, 等. 口腔崩解片及在中药产品开发中的应用[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(24): 4716-4722.

[6] 王俊杰, 冯怡, 徐德生. 中药复方掩味技术初步研究[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(13): 1285-1288.

[7] 张 璐, 施钧瀚, 康冰亚, 等. 纽甜对 5 种苦味中药的掩味效果[J]. 世界科学技术 (中医药现代化), 2014, 16(9): 1904-1907.

[8] 康冰亚, 施钧瀚, 张 璐, 等. 两种掩味剂对苦参水煎液的掩味作用考察[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(15): 4-7.

[9] 施钧瀚, 张杏芬, 仇继玺, 等. β -环糊精对几种苦味中药的掩味作用考察[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(12): 14.

[10] 孟子晗, 孙伟宁, 付晓芸, 等. 中药“苦味”产生机制及评价方法研究进展[J]. 广东药学院学报, 2016, 32(4): 537-540.

[11] Zhao J J, Wei T, Wei Z H, *et al.* Influence of soybean soluble polysaccharides and beet pectin on the physicochemical properties of lactoferrin-coated orange oil emulsion[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 44: 443-452.

[12] Silva C V, Barbosa J A, Ferraz M S, *et al.* Molecular modeling and cytotoxicity of diffractaic acid: HP- β -CD inclusion complex encapsulated in microspheres[J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, 92: 494-503.

[13] Rani S, Gupta M C. Evaluation and comparison of antinociceptive activity of aspartame with sucrose[J]. *Pharmacol Rep*, 2012, 64(2): 293-298.

[14] 李学林, 陈鹏举, 桂新景, 等. 电子舌在羟丙基- β -环糊精抑苦规律研究中的应用[J]. 中草药, 2017, 48(20): 4235-4244.

[15] 李学林, 李慧玲, 刘瑞新, 等. 电子舌用于药物掩味效果评价的研究[J]. 世界科学技术 (中医药现代化), 2013, 15(7): 1532-1537.

[16] 李学林, 张杏芬, 刘瑞新, 等. 药物苦度的定量及其与浓度的关系研究[J]. 世界科学技术 (中医药现代化), 2013, 15(4): 667-671.

[17] Liu R X, Zhang X D, Zhang L, *et al.* Bitterness intensity prediction of berberine hydrochloride using an electronic tongue and a GA-BP neural network[J]. *Exp Ther Med*, 2014, 7(6): 1696-1702.

[18] 康冰亚, 刘瑞新, 孟祥乐, 等. 基于 ISEM 及 FSEM 综合评价中药伴侣的掩味效果[J]. 中国新药杂志, 2016, 25(12): 1385-1390.

[19] Yang Y, Chen Q, Shen C, *et al.* Evaluation of monosodium glutamate, disodium inosinate and guanylate umami taste by an electronic tongue[J]. *J Food Eng*, 2013, 116(3): 627-632.

[20] 刘瑞新, 李学林, 陈天朝, 等. 一种基于格拉布斯规则和矩阵实验室语言的药学测试数据中异常值的剔除方法: 中国, CN102436542A [P], 2012-05-02.

[21] Omür-Ozbek P, Dietrich A M. Developing hexanal as an odor reference standard for sensory analysis of drinking water[J]. *Water Res*, 2008, 42(10-11): 2598-2604.

[22] 曾 超. 穿心莲二萜内酯类化合物的合成及活性研究[D]. 开封: 河南大学, 2007.