

基于电子舌与人工感官的茶叶滋味属性参考物 呈味强度相关性分析

Correlation analysis of taste intensity of tea flavor attribute reference
based on electronic tongue and artificial senses

刘忠英¹ 冉乾松^{1,2} 张拓¹ 郑文佳¹ 潘科¹

LIU Zhong-ying¹ RAN Qian-song^{1,2} ZHANG Tuo¹ ZHENG Wen-jia¹ PAN Ke¹

(1. 贵州省农业科学院茶叶研究所, 贵州 贵阳 550006; 2. 贵州大学茶学院, 贵州 贵阳 550025)

(1. Tea Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang, Guizhou 550006, China; 2. College of Tea Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

摘要:目的:探究电子舌和人工感官对茶叶滋味属性参考物呈味强度的相关性。方法:以奎宁、明矾、谷氨酸钠、蔗糖和柠檬酸依次为苦、涩、鲜、甜、酸滋味属性参考物,在觉察阈值基础上,分析各滋味属性参考物电子舌和人工感官的浓度—呈味强度关系及其相关性。结果:奎宁苦味觉察阈值为 0.015 mg/mL、对应电子舌响应值为 4.91;明矾涩味觉察阈值为 0.01 mg/mL、对应电子舌响应值为 -3.32;谷氨酸钠鲜味觉察阈值为 0.03 mg/mL、对应电子舌响应值为 1.32;蔗糖甜味觉察阈值为 0.4 mg/mL、对应电子舌响应值为 18.07,柠檬酸酸味觉察阈值为 0.04 mg/mL、对应电子舌响应值为 -6.18。各滋味属性参考物的人工感官和电子舌浓度—呈味强度均呈一定函数曲线关系,符合 Weber-Fechne 定律;在所选浓度范围内,柠檬酸(酸味)和蔗糖(甜味)电子舌呈味强度与人工感官强度呈正相关,奎宁(苦味)和明矾(涩味)电子舌呈味强度与人工感官强度呈负相关。结论:茶叶中 5 种滋味属性参考物电子舌检测与人工感官浓度—呈味强度具有一定相关性。

关键词:电子舌;人工感官;滋味属性;参考物;相关性;茶叶

Abstract; Objective: This study aimed to explore the correlation between electronic tongue and artificial senses on the taste intensity of tea taste attribute reference. **Methods:** Quinine, alum, sodium glutamate, sucrose and citric acid were used as the

reference materials for bitter, astringent, fresh, sweet and sour taste attributes in turn. Based on the perception threshold, the relationship between concentration and taste intensity of each reference material for electronic tongue and artificial senses and its correlation were analyzed. **Results:** The bitterness perception threshold of quinine was 0.015 mg/mL, and the corresponding electronic tongue response value was 4.91. The detection threshold of acerbitity was 0.01 mg/mL, and the corresponding electronic tongue response value was -3.32. The threshold of sodium glutamate umami perception was 0.03 mg/mL, and the corresponding electronic tongue response value was 1.32. The sweetness detection threshold of sucrose was 0.4 mg/mL, corresponding to the response value of electronic tongue was 18.07, and the acid taste detection threshold of citrate was 0.04 mg/mL, corresponding to the response value of electronic tongue was -6.18. The relationship between artificial sensory and electronic tongue concentration and taste intensity of each taste attribute reference was a function curve, which was in accordance with Weber-Fechne law. In the selected concentration range, the electronic tongue taste intensity of citric acid (sour taste) and sucrose (sweet taste) was positively correlated with the artificial sensory intensity, while the electronic tongue taste intensity of quinine (bitter taste) and alum (astringent taste) was negatively correlated with the artificial sensory intensity. **Conclusion:** The electronic tongue are certainly correlated with artificial sensory concentration-taste intensity of five tea taste attributes.

Keywords: electronic tongue; artificial senses; taste attributes; reference; correlation; tea

基金项目:贵州省科技支撑项目(编号:黔科合支撑[2020]1Y007,黔科合支撑[2021]一般 109);国家重点研发计划项目(编号:2021YFD1100300,2021YFD1100305)

作者简介:刘忠英,女,贵州省农业科学院茶叶研究所助理研究员,硕士。

通信作者:潘科(1984—),男,贵州省农业科学院茶叶研究所研究员,博士。E-mail:148450502@qq.com

收稿日期:2022-02-10 **改回日期:**2022-09-27

滋味是茶叶风味的重要组成部分,是指导茶叶生产、加工、销售、贮藏的重要指标^[1]。茶叶滋味是由溶于茶汤

的多酚类、氨基酸类、生物碱类、糖类、有机酸类等呈味物质与人口腔内受体结合,经大脑处理形成^[2]。茶叶滋味属性主要有苦、涩、鲜、甜和酸5种,其中咖啡碱主要贡献茶汤苦味,儿茶素类物质贡献苦味和涩味,氨基酸类贡献鲜味,糖类贡献甜味,有机酸类贡献酸味^[3]。在现代茶叶滋味研究中,茶叶滋味物质的觉察阈值,即引起某种味觉响应时的最低浓度临界值^[4],已成为茶叶滋味量化评价的基础,茶汤中滋味物质浓度与其呈味阈值的比值,常表征其对茶汤滋味的贡献度^[5]。然而,茶汤滋味是一个复杂的混合体系,因各呈味物质组成、浓度及相互作用影响,使得茶叶滋味品质各不相同。张英娜^[6]以没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)为茶叶苦涩味参照,研究了主要儿茶素的呈味阈值、浓度强度曲线及与Ca²⁺、咖啡碱等相互作用;毛世红^[7]在茶叶滋味物质浓度—呈味强度、阈值特性基础上,进一步鉴定了工夫红茶关键滋味成分;岳翠男^[8]通过甜味参照蔗糖,酸味参照柠檬酸,苦味参照盐酸奎宁,鲜味参照谷氨酸钠,涩味参照明矾,采用均匀试验设计法建立了绿茶滋味属性评价模型,可直观分析茶汤鲜味、苦味、涩味的极大值与极小值。

在现代分析检测设备中,电子舌主要由传感器阵列、信号处理和模式识别系统组成,利用传感器阵列模拟人类味蕾组织对液体样品的味道进行检测,具有简单、快速、灵敏度高、客观、可重复性好等特点^[9-12]。徐敏^[13]融合电子舌、电子鼻等技术鉴别龙井茶等级、产地及贮藏品质;陶冬冰等^[14]利用电子舌分析了六安瓜片茶汤涩味和茶多酚含量的相关性;Yang等^[15]建立了一种快速检测普洱茶贮藏时间的方法;Cheng等^[16]利用电子舌探明了老青砖茶的关键滋味化合物的变化规律;Xu等^[17]将电子舌与电子鼻等结合,对茶叶品质进行了定性鉴别和定量预测。综上,电子舌检测技术已被广泛应用于茶叶品质评价^[9-10,18]和快速定级^[19]等方面。

建立茶叶滋味物质呈味描述参比及其浓度与强度关系是揭示茶叶滋味物质呈味规律的基础。但各类茶叶滋味品质评价的参比标准不一,其结果具一定差异性,目前茶叶滋味评价方式仍以传统感官审评为主,电子舌虽可快速鉴别茶汤各滋味属性,但其与传统人工感官审评的一致性的相关报道较少^[20],尤其是电子舌检测值与人工感官真实味觉的一一对应性方面,目前尚缺乏较为客观

的茶叶滋味参比标准。研究拟以奎宁、明矾、谷氨酸钠、蔗糖和柠檬酸依次为苦、涩、鲜、甜、酸滋味属性参考物,通过组建感官评价小组,在各参考物觉察阈值的基础上,进一步探究人工感官审评与电子舌对各参考物的浓度—呈味强度关系,进而分析电子舌检测值与人工感官对茶叶滋味参考物的相关性,旨在为建立更为客观的茶叶滋味属性参比方法提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验试剂

蔗糖(C₁₂H₂₂O₁₁)、明矾[KAl(SO₄)₂·12H₂O]、奎宁(C₂₀H₂₄N₂O₂)、柠檬酸(CA)、盐酸(HCl)、氯化钾(KCl)、谷氨酸钠(MSG);上海源叶生物科技有限公司。

1.2 试验仪器

电热恒温水浴锅:DK-98-II型,天津市泰斯特仪器有限公司;

超纯水仪:KL-UP-III-20型,成都唐氏康宁科技发展有限公司;

恒温磁力搅拌器:IT-07A-3型,上海一恒科技有限公司;

电子天平:PL203型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电子舌:SA-402B型,Ag/AgCl电极,日本 Insent 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 茶叶滋味属性参考物人工感官觉察阈值及强度等级

(1) 感官审评小组成员的筛选:茶叶所职工+其他,初选33人,按GB/T 16291.1—2012要求,对审评人员进行普选、初选、培训、筛选、确定感官评价小组成员。小组成员通过以奎宁、明矾、谷氨酸钠、蔗糖和柠檬酸依次为苦、涩、鲜、甜、酸滋味属性参考物进行指定浓度呈味检测,淘汰不能鉴别5种基本滋味属性的人员。根据制定浓度培训和对标浓度鉴别,淘汰正确率低的人员,最后确定10~15人为感官评价小组成员。

(2) 茶叶滋味属性参考物觉察阈值及强度等级:5种滋味属性参考物觉察阈值人工感官浓度设置见表1。审评人员吸取5 mL滋味溶液,于舌苔循环滚动10 s后吐

表1 5种滋味属性参考物觉察阈值浓度表

滋味属性	参考物	水平1	水平2	水平3	水平4	水平5	水平6	水平7	水平8	水平9	水平10
苦	奎宁	0.007 5	0.015	0.03	0.06	0.12	0.24	0.48	0.96	1.92	3.84
涩	明矾	0.002 5	0.005	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28
鲜	谷氨酸钠	0.007 5	0.015	0.03	0.06	0.12	0.24	0.48	0.96	1.92	3.84
酸	柠檬酸	0.005	0.01	0.02	0.04	0.8	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56
甜	蔗糖	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.4	12.8	25.6

出,独立评分,每组试验重复 3 次。人工感官滋味物质味觉强度描述及感官等级,采用量值估计法(五分制)^[21](见表 2)。

表 2 人工感官味觉强度描述及等级参考

Table 2 Description and rating reference for artificial sensory taste intensity

编号	味觉强度描述	赋予的等级	感官分数取值范围
1	微弱(几乎感受不到)	I	0.5~1.5
2	弱(刚好能感受、觉察)	II	1.5~2.5
3	一般(味觉明显)	III	2.5~3.5
4	较强(仍可接受)	IV	3.5~4.5
5	极强(几乎不能接受)	V	4.5~5.5

1.3.2 电子舌味觉传感器和参比电极的活化 用超纯水配制味觉传感器基准液(30 mmol/L KCl+0.3 mmol/L 酒石酸)和内部液(3.3 mol/L KCl+饱和氯化银),在味觉传感器探头内加入 200 μL 内部液,并将味觉传感器置于装有基准液的烧杯内,用保鲜膜密封烧杯口,25 ℃活化 24 h 待用;用超纯水配制参比电极内部液(3.3 mol/L KCl+饱和氯化银)和 3.3 mol/L KCl 溶液,在参比电极探头内加入 200 μL 内部液,直至液面距离玻璃管顶部约 5 mm 的位置,并将参比电极置于装有 3.3 mol/L KCl 溶液的烧杯内,液面距离电极头约 15 mm,用保鲜膜密封烧杯口,25 ℃活化 24 h 待用。

1.3.3 电子舌数据采集 将传感器于浸泡液中稳定 90 s 进行初步清洗以除去膜表面杂质,其中鲜、酸传感器使用阴离子浸泡液(0.1 mol/L HCl+300 mL 无水乙醇),苦、涩、甜传感器使用阳离子浸泡液(0.1 mol/L KCl+

10 mmol/L KOH+300 mL 无水乙醇),将各传感器于基准液中分别清洗 2 min,即可用来测定样品的电子舌评分,并按式(1)进行计算。

$$V=V_s-V_r, \tag{1}$$

式中:

V ——电势差输出值,即为电子舌评分;

V_s ——传感器在样品溶液中稳定 30 s 的电势值;

V_r ——传感器在基准液中稳定 30 s 的电势值。

1.3.4 茶叶滋味属性参考物人工感官、电子舌呈味强度曲线建立及拟合

(1) 人工感官浓度—呈味强度分析:以奎宁、明矾、谷氨酸钠、蔗糖和柠檬酸的浓度为 X 轴,人工感官呈味强度值为 Y 轴作图,建立 5 种滋味属性参考物的人工感官浓度—呈味强度曲线,并进行拟合分析。

(2) 电子舌检测浓度—呈味强度分析:以奎宁、明矾、谷氨酸钠、蔗糖和柠檬酸的浓度为 X 轴,电子舌检测值为 Y 轴作图,建立 5 种滋味属性参考物的电子舌浓度—呈味强度曲线,并进行拟合分析。

(3) 电子舌检测与人工感官强度值相关性分析:以奎宁、明矾、谷氨酸钠、蔗糖和柠檬酸 5 种滋味属性参考物的人工感官呈味强度值为 X 轴,以电子舌检测值为 Y 轴,绘制相关性图并进行拟合分析。

1.3.5 数据分析 采用 Excel 2016 软件进行统计、拟合分析及制图。

2 结果与分析

2.1 茶叶滋味属性参考物觉察阈值

由表 3 可知,奎宁苦味觉察阈值为 0.015 mg/mL,明矾涩味觉察阈值为 0.01 mg/mL,谷氨酸钠鲜味觉察阈值为 0.03 mg/mL,蔗糖甜味觉察阈值为 0.4 mg/mL,柠檬

表 3 滋味属性参考物呈味觉察阈值和感官审评等级表

Table 3 Taste attribute reference taste perception threshold and sensory evaluation grade table

苦(奎宁)		涩(明矾)		酸(柠檬酸)		甜(蔗糖)		鲜(谷氨酸钠)	
质量浓度/ (mg·mL ⁻¹)	等级	质量浓度/ (mg·mL ⁻¹)	等级	质量浓度/ (mg·mL ⁻¹)	等级	质量浓度/ (mg·mL ⁻¹)	等级	质量浓度/ (mg·mL ⁻¹)	等级
0.007 5	I	0.002 5	I	0.005	I	0.05	I	0.007 5	I
0.015	II	0.005	I	0.01	I	0.1	I	0.015	I
0.03	II	0.01	II	0.02	I	0.2	I	0.03	II
0.06	III	0.02	II	0.04	II	0.4	II	0.06	II
0.12	III	0.04	II	0.08	II	0.8	II	0.12	II
0.24	III	0.08	III	0.16	II	1.6	II	0.24	III
0.48	IV	0.16	III	0.32	III	3.2	III	0.48	III
0.96	IV	0.32	III	0.64	IV	6.4	IV	0.96	III
1.92	V	0.64	IV	1.28	IV	12.8	IV	1.92	IV
3.84	V	1.28	V	2.56	V	25.6	V	3.84	V

酸酸味觉察阈值为 0.04 mg/mL。各滋味属性参考物在觉察阈值浓度下对应的感官审评等级均为 II 级,即刚好能感受、觉察。

2.2 茶叶滋味属性参考物人工感官浓度—呈味强度分析

奎宁、明矾、谷氨酸钠、蔗糖和柠檬酸 5 种滋味参考物的人工感官浓度—呈味强度拟合分析结果见表 4,浓度—呈味强度曲线见图 1。

由图 1 可知,随着质量浓度的增加,人工感官审评各滋味参考物呈味强度也增加,明矾、谷氨酸钠、奎宁、柠檬酸等参考物在质量浓度 < 1 mg/mL 时,呈味强度增加较

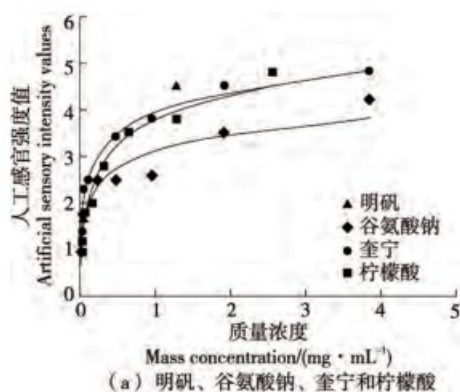
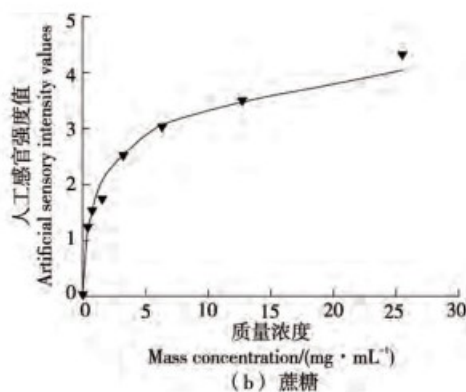


表 4 滋味属性参考物人工感官呈味强度拟合

Table 4 Fitting of artificial sensory presentation intensity for taste attribute references

样品	拟合方程	R^2
奎宁(苦)	$y=0.67\ln x+3.92$	0.99
明矾(涩)	$y=0.65\ln x+3.89$	0.98
谷氨酸钠(鲜)	$y=0.50\ln x+3.11$	0.95
蔗糖(甜)	$y=0.72\ln x+1.68$	0.97
柠檬酸(酸)	$y=0.69\ln x+3.71$	0.97



(a) 明矾、谷氨酸钠、奎宁和柠檬酸

(b) 蔗糖

图 1 人工感官强度值浓度—呈味强度函数曲线

Figure 1 Concentration-intensity function curve for artificial sensory intensity values

快,在质量浓度 > 1 mg/mL 后,增加较缓慢。蔗糖在质量浓度 < 5 mg/mL 时增加迅速,在质量浓度 > 5 mg/mL 时增加缓慢。由表 4 可知,茶叶滋味属性参考物浓度—呈味强度曲线为对数型曲线, R^2 为 0.95 以上,相关性较好,且符合 Weber-Fechner 定律^[22]。

2.3 茶叶滋味属性参考物电子舌浓度—呈味强度分析

奎宁、明矾、谷氨酸钠、蔗糖和柠檬酸 5 种滋味参考物的电子舌浓度—呈味强度拟合分析结果见表 5,浓度—呈味强度曲线见图 2。

由图 2 可知,奎宁苦味强度与浓度呈负相关;明矾涩味强度随质量浓度的增大而降低,且检测值均为负数;谷氨酸钠鲜味强度随质量浓度的增大而增强;蔗糖甜味强度呈先增后减趋势;柠檬酸酸味随质量浓度的增大而增强。由表 5 可知,茶叶各滋味属性参考物呈三次函数和对数函数关系, $R^2 > 0.938$,说明电子舌检测能够呈现滋味物质浓度—呈味强度的规律。

2.4 茶叶滋味属性参考物电子舌检测与人工感官强度值相关性

由表 6 和图 3 可知,柠檬酸(酸味)和蔗糖(甜味)的电子舌呈味强度与人工感官强度呈一致递增,彼此呈正相关,而奎宁(苦味)和明矾(涩味)反而递减,奎宁(苦味)电子舌检测呈负值,蔗糖(甜味)则先缓慢递增后逐渐递减,

表 5 滋味属性参考物电子舌检测强度值拟合

Table 5 Taste property reference e-tongue detection intensity values fitted

样品	拟合方程	R^2
奎宁(苦)	$y=-0.12x^3+0.95x^2-2.63x+4.74$	0.963
明矾(涩)	$y=-5.46x^3+20.55x^2-23.86x-3.19$	0.995
谷氨酸钠(鲜)	$y=2.17\ln x+16.03$	0.994
蔗糖(甜)	$y=0.001x^3-0.05x^2+0.46x+17.78$	0.938
柠檬酸(酸)	$y=6.370\ln x+13.863$	0.995

彼此呈负相关。奎宁苦味觉察阈值为 0.015 mg/mL、对应电子舌响应值为 4.91,明矾涩味觉察阈值为 0.01 mg/mL、对应电子舌响应值为 -3.32,谷氨酸钠鲜味觉察阈值为 0.03 mg/mL、对应电子舌响应值为 1.32,蔗糖甜味觉察阈值为 0.4 mg/mL、对应电子舌响应值为 18.07,柠檬酸酸味觉察阈值为 0.04 mg/mL、对应电子舌响应值为 -6.18,说明电子舌检测与人工感官茶叶滋味参考物浓度—呈味强度具一定相关性。

3 结论

试验表明,茶叶中 5 种滋味属性参考物人工感官与电子舌浓度—呈味强度均呈一定函数曲线关系,符合 Weber-Fechner 定律,在所选质量浓度范围内,柠檬酸(酸

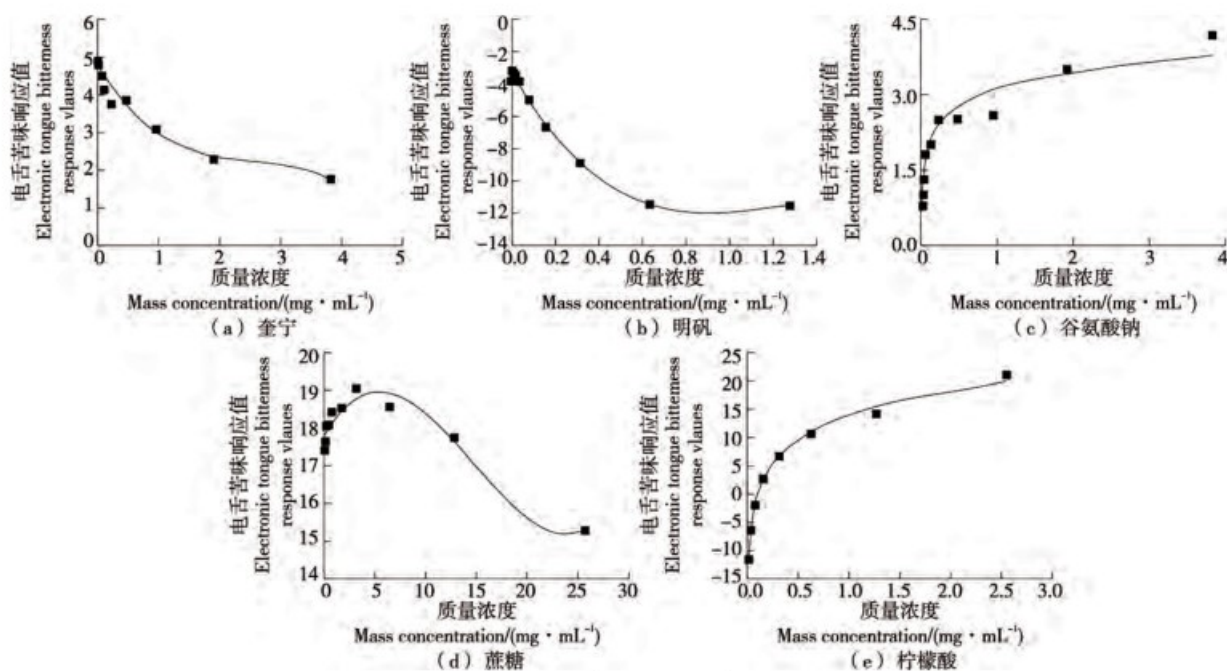


图 2 电子舌检测浓度—呈味强度值函数曲线

Figure 2 Concentration-intensity value curve as a function of electron tongue detection

表 6 滋味属性参考物电子舌检测与人工感官强度值关系

Table 6 Relationship between electronic tongue detection and artificial sensory intensity values for the taste attribute reference

样品	觉察阈值/(mg·mL ⁻¹)	电子舌响应值	拟合方程	R ²
奎宁(苦)	0.015	4.91	$y = -0.84x + 6.19$	0.932
明矾(涩)	0.01	-3.32	$y = -2.86x + 0.27$	0.899
谷氨酸钠(鲜)	0.03	1.32	$y = 3.33x + 2.48$	0.886
蔗糖(甜)	0.4	18.07	$y = -0.89x^2 + 4.10x + 14.33$	0.993
柠檬酸(酸)	0.04	-6.18	$y = 7.37x - 14.27$	0.986

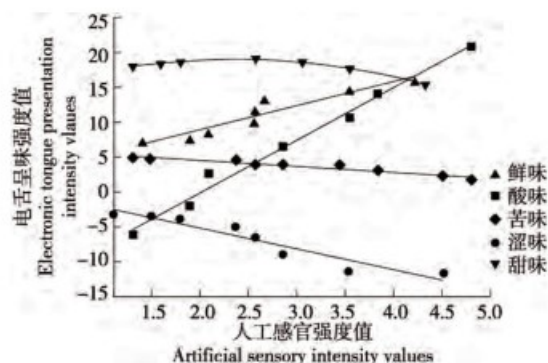


图 3 滋味属性参考物电子舌检测与人工感官强度值函数曲线

Figure 3 Curves of electronic tongue detection and manual sensory intensity values for taste attribute reference objects

味)和蔗糖(甜味)的电子舌呈味强度与人工感官呈味强度呈正相关,奎宁(苦味)和明矾(涩味)的电子舌呈味强度与人工感官呈味强度呈负相关,说明茶叶中 5 种滋味属性参考物电子舌检测与人工感官浓度—呈味强度具有一定相关性。

参考文献

[1] WU R M, ZHAO J W, CHEN Q S, et al. Quality assessment of green tea taste by using electronic tongue[J]. Editorial Office of Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(11): 852-863.
 [2] 陈志达. 白茶风味品质的物质基础与量化评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019: 13-14.
 CHEN Z D. Material basis and quantitative evaluation of the flavor quality of white tea[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019: 13-14.
 [3] 程福建, 吴芹瑶, 高水练, 等. 茶叶苦涩味影响因素研究进

- 展[J]. 中国茶叶, 2020, 42(2): 24-31.
- CHENG F J, WU Q Y, GAO S L, et al. Progress of research on factors affecting bitterness and astringency of tea leaves[J]. *China Tea*, 2020, 42(2): 24-31.
- [4] 毛岳忠. 甜酸味觉交互响应的量化研究和传感器组合研制[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019: 17.
- MAO Y Z. Quantitative study of sweet and sour taste interaction response and sensor combination development[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology and Business, 2019: 17.
- [5] 刘忠英, 杨婷, 戴宇樵, 等. 基于分子感官科学的茶叶滋味研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 337-343.
- LIU Z Y, YANG T, DAI Y Q, et al. Advances in tea taste research based on molecular sensory science [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2021, 42(4): 337-343.
- [6] 张英娜. 绿茶茶汤主要儿茶素呈味特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016: 25.
- ZHANG Y N. Study on the taste characteristics of green tea broth with major catechins[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016: 25.
- [7] 毛世红. 基于风味组学的工夫红茶品质分析与控制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018: 50.
- MAO S H. Research on the quality analysis and control of black tea based on flavoromics[D]. Chongqing: Southwest University, 2018: 50.
- [8] 岳翠男. 绿茶滋味物质研究及审评参考物模型的建立[D]. 重庆: 西南大学, 2017: 54-56.
- YUE C N. Research on green tea taste substances and the establishment of review reference models [D]. Chongqing: Southwest University, 2017: 54-56.
- [9] 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]. *Microchemical Journal*, 2020, 163: 105899.
- [10] DENG X J, HUANG G H, TU Q, et al. Evolution analysis of flavor-active compounds during artificial fermentation of Pu-erh tea[J]. *Food Chemistry*, 2021, 357: 129783.
- [11] VITÓRIA G M D, SOUZA M M, CRISTINI G P, et al. The use of electronic tongue and sensory panel on taste evaluation of pediatric medicines: A systematic review[J]. *Pharmaceutical Development and Technology*, 2020, 26(2): 1-75.
- [12] WANG K, ZHUANG H N, BING F L, et al. Evaluation of eight kinds of flavor enhancer of umami taste by an electronic tongue[J]. *Food Science & Nutrition*, 2021, 9(4): 2095-2104.
- [13] 徐敏. 基于电子鼻、电子舌和电子眼的多源信息融合技术对龙井茶品质的检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2020: 135-136.
- XU M. Multi-source information fusion technology based on electronic nose, electronic tongue and electronic eye for detection of Longjing tea quality[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020: 135-136.
- [14] 陶冬冰, 高雪, 张旋, 等. 不同冲泡条件对六安瓜片茶汤滋味的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(6): 214-218.
- TAO D B, GAO X, ZHANG X, et al. Influence of different brewing conditions on the taste of tea soup of Liu'an Guaqi [J]. *Food Industry*. 2020, 41(6): 214-218.
- [15] YANG Z W, GAO J Y, WANG S C, et al. Synergetic application of E-tongue and E-eye based on deep learning to discrimination of Pu-erh tea storage time[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2021, 187: 1-11.
- [16] CHENG L Z, WANG Y F, ZHANG J R, et al. Dynamic changes of metabolic profile and taste quality during the long-term aging of Qingzhuan Tea: The impact of storage age[J]. *Food Chemistry*, 2021, 359: 1-10.
- [17] XU M, WANG J, ZHU L. The qualitative and quantitative assessment of tea quality based on E-nose, E-tongue and E-eye combined with chemometrics [J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 482-489.
- [18] 荆晓语, 缪楠, 杨正伟, 等. 基于电子舌和 DWT-PSO-LSSVM 模型的普洱茶存储年限快速检测[J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(9): 86-89.
- JING X Y, MU N, YANG Z W, et al. Rapid detection of storage age of Pu'er tea based on electronic tongue and DWT-PSO-LSSVM model[J]. *Intelligent Computers and Applications*, 2020, 10(9): 86-89.
- [19] 虞培力, 赵贻, 王晞丞, 等. 人工智能对龙井茶等级识别研究[J]. 现代农业科技, 2018(2): 260-263.
- YU P L, ZHAO C, WANG X C, et al. Research on artificial intelligence for grade recognition of Longjing tea[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2018(2): 260-263.
- [20] 王兴亚, 庞广昌, 李阳, 等. 电子舌与真实味觉评价的差异性研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 213-216.
- WANG X Y, PANG G C, LI Y, et al. Research progress on the difference between electronic tongue and real taste evaluation[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(1): 213-216.
- [21] 刘瑞新, 张杏芬, 李学林, 等. 3 种口尝评价方法用于药物苦度评价的比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(20): 118-122.
- LIU R X, ZHANG X F, LI X L, et al. Comparison of three oral taste evaluation methods for bitterness evaluation of drugs[J]. *Chinese Journal of Experimental Formulation*, 2013, 19(20): 118-122.
- [22] 邹小林, 冯国灿. 基于韦伯定律的过渡区提取及阈值分割[J]. 科学技术与工程, 2013, 15(13): 4217-4222.
- ZOU X L, FENG G C. Transition region extraction and threshold segmentation based on weber's law[J]. *Science Technology and Engineering*, 2013, 15(13): 4217-4222.