

绿茶中主要儿茶素、氨基酸单体呈味分属性 二次多项回归模型建立

冉乾松¹ 刘忠英² 刘 锡¹ 侯彦双³ 包福书¹ 潘 科²

(1. 贵州农业职业学院, 贵州 贵阳 551400; 2. 贵州省茶叶研究所, 贵州 贵阳 550006;

3. 铜仁职业技术学院, 贵州 铜仁 554309)

摘要: [目的] 探究绿茶主要滋味单体混合后的呈味强度。[方法] 采用电子舌检测技术, 以绿茶中主要的 3 种儿茶素[表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)]和 3 种氨基酸单体(天冬氨酸、谷氨酸、茶氨酸)为研究对象, 结合二次多项式回归分析方法构建绿茶滋味属性评价模型。[结果] 所配比溶液中智能感官强度遵循鲜味>涩味>苦味。ECG、EGCG 与天冬氨酸和谷氨酸的交互与苦味具有正效应; 天冬氨酸、谷氨酸分别与茶氨酸的交互对苦味强度有负效应; GCG、ECG 对涩味有正效应, 儿茶素与氨基酸间交互和谷氨酸分别与天冬氨酸、茶氨酸交互对涩味有负效应; 谷氨酸、茶氨酸、儿茶素与氨基酸间交互及儿茶素间交互对鲜味有正效应, ECG、茶氨酸、儿茶素与氨基酸的交互、天冬氨酸与茶氨酸的交互、谷氨酸与茶氨酸的交互对鲜味有负效应。构建单体滋味属性评价模型为 $Y(\text{苦}) = 17.0331 + 0.9270X_4 + 0.0025X_3^2 + 0.0002X_6^2 + 0.0019X_2X_5 + 0.0093X_4X_5 - 0.0037X_4X_6 - 0.0007X_5X_6$; $Y(\text{涩}) = -32.0975 + 0.1998X_2 + 0.4553X_3 + 1.2229X_4 + 0.0006X_2^2 + 0.0044X_5^2 - 0.0001X_1X_6 - 0.0026X_2X_3 - 0.0081X_3X_4 - 0.0173X_4X_5 + 0.0014X_5X_6$; $Y(\text{鲜}) = 80.2218 - 0.7037X_3 + 0.5556X_5 - 0.3554X_6 + 0.0007X_6^2 - 0.0016X_1X_2 - 0.0027X_1X_3 + 0.0008X_1X_6 + 0.0079X_2X_3 - 0.0097X_2X_5 + 0.0143X_3X_5 - 0.0024X_4X_6 - 0.0048X_5X_6$; 模型相关系数均 > 0.8901 , 决定系数均 > 0.7922 , 参考模型滋味强度鲜味为 15.17~53.58, 苦味为 3.03~15.76, 涩味为 5.94~16.52。[结论] 以茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、EGCG、GCG 和 ECG 单体组成的溶液, 一定程度上能模拟绿茶茶汤滋味强度, 根据 3 个模型能匹配出绿茶滋味属性的最高强度和最低强度。

关键词: 绿茶; 呈味单体; 滋味表征; 数字模型; 智能感官; 呈味强度

A quadratic multinomial regression model was established for taste properties of main catechins and amino acid monomers in green tea

RAN Qiansong¹ LIU Zhongying² LIU Xi¹ HOU Yanshuang³ BAO Fushu¹ PAN Ke²

(1. Guizhou Vocational College of Agriculture, Guiyang, Guizhou 551400, China; 2. Guizhou Tea Research Institute, Guiyang, Guizhou 550006, China; 3. Tongren Vocational and Technical College, Tongren, Guizhou 554309, China)

Abstract: [Objective] To study the flavor intensity of green tea after mixing the main flavor monomers. [Methods] Three main catechins [epigallocatechin gallate (EGCG), epigallocatechin gallate (GCG), epicatechin gallate (ECG)] and three amino acid monomers (aspartic acid, glutamic acid and theanine) in green tea were studied by electronic tongue detection technique. The evaluation model of green tea taste attribute was constructed by quadratic polynomial regression analysis. [Results] The intelligent sensory intensity in the matching solution followed the order of umami > astringency > bitter taste. ECG, EGCG interaction with aspartate and glutamic acid had positive effect on bitter taste. Aspartate and glutamic acid had negative effects on the bitterness intensity of theanine. GCG and ECG had a positive effect on astringency, the interaction between catechin and amino acid and glutamic acid with aspartic acid and theanine had a negative effect on astringency. The interaction between glutamic acid, theanine, catechin and amino acid and the interaction between catechin and catechin had

基金项目: 贵州省科技支撑项目(编号: 黔农科科技创新[2023]12号, GZCYCYJSTX-05)

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: 2023-10-21 **改回日期:** 2024-07-11

a positive effect on umami taste, while the interaction between ECG, theanine, catechin and amino acid, aspartic acid and theanine, glutamic acid and theanine had a negative effect on umami taste. The evaluation model of monomer taste attribute was $Y(\text{bitter}) = 17.033 \ 1 + 0.927 \ 0X_4 + 0.002 \ 5X_3^2 + 0.000 \ 2X_6^2 + 0.001 \ 9X_2X_5 + 0.009 \ 3X_4X_5 - 0.003 \ 7X_4X_6 - 0.000 \ 7X_5X_6$, $Y = -32.097 \ 5 + 0.199 \ 8X_2 + 0.455 \ 3X_3 + 1.222 \ 9X_4 + 0.000 \ 6X_2^2 + 0.004 \ 4X_5^2 - 0.000 \ 1X_1X_6 - 0.002 \ 6X_2X_3 - 0.008 \ 1X_3X_4 - 0.017 \ 3X_4X_5 + 0.001 \ 4X_5X_6$; $Y(\text{fresh}) = 80.221 \ 8 - 0.703 \ 7X_3 + 0.555 \ 6X_5 - 0.355 \ 4X_6 + 0.000 \ 7X_6^2 - 0.001 \ 6X_1X_2 - 0.002 \ 7X_1X_5 + 0.000 \ 8X_1X_6 + 0.007 \ 9X_2X_3 - 0.009 \ 7X_2X_5 + 0.014 \ 3X_3X_5 - 0.002 \ 4X_4X_6 - 0.004 \ 8X_5X_6$; The correlation coefficients of the model were all $> 0.890 \ 1$, and the determination coefficients were all $> 0.792 \ 2$. The reference model taste intensity was 15.17~53.58 in umami, 3.03~15.76 in bitterness, and 5.94~16.52 in astringency. [Conclusion] The solution composed of theanine, glutamic acid, aspartic acid, EGCG, GCG and ECG monomers can simulate the flavor intensity of green tea soup to a certain extent, and the highest and lowest intensity of green tea taste properties can be matched according to the three models.

Keywords: green tea; taste monomer; taste characterization; digital model; intelligent senses; flavor intensity

滋味是绿茶品质评价的核心指标^[1]。绿茶滋味评价最常用的方法为感官审评,根据统一的感官术语和描述词能准确表达味觉感官特征^[2]。黄藩等^[3]根据 GB/T 23776,将四川绿茶分为感受味型、特征味型、浓度味型和缺陷味型 4 种滋味类型。而当前感官术语还有待完善,有些术语语义不明确、词义混淆、组合词汇过多等^[4]。同时还缺乏定量的尺度,从而降低了茶叶滋味评价结果的准确性和科学性。随着感官审评技术的发展,可将定量描述感官分析方法用于茶汤滋味评价^[5]。刘盼盼等^[6]以茶叶中呈味单体儿茶素、葡萄糖、谷氨酸钠和咖啡碱结合定量描述感官分析方法,构建涩味、甜味、鲜味和苦味分属性标准曲线;岳翠男^[7]通过以蔗糖、芦丁、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、谷氨酸、氨基酸单体不同浓度组成的混合物,建立苦味、甜味、涩味和鲜味强度评价模型,根据函数模型可分别求出各滋味属性最高强度和最低强度,以上方法均是试图利用定量描述茶汤滋味感官特性。然而,感官审评受到各种外部因素和小组成员的身心状态的影响,需要大量的参与者才能获得有意义的数^[8]。茶叶中呈味代谢物是构成茶汤滋味的物质基础,呈味代谢物的差异直接决定了茶汤滋味品质差异^[9]。徐春晖等^[10]利用 UPLC-QTOF-MS 结合主成分和聚类分析方法,构建了基于狗牯脑、庐山云雾和婺源绿茶滋味品质的鉴别预测模型;欧阳建等^[11]基于高效液相色谱检测技术构建了黄金茶绿茶滋味类型贝叶斯(Bayes)预测模型,将黄金茶分为醇厚型、鲜爽型和其他型 3 种滋味类型。而茶叶组分数据的获取过程繁琐,耗时大,容易影响检测结果的准确性^[12];同时理化检测仅能揭示茶叶中各种成分的含量,茶叶品质是茶叶内所有成分相互配合、彼此协调的综合反映,不能通过某种单一成分量化就能表达,且检测仪器成本高,难以实现快速检测,此外,数据分析模型需具备大量数据。

电子舌被认为是一种有价值的工具,用于评估工业中的食品,以区分和量化基本味道的化合物^[13]。电子舌通过模拟人舌的概念对样品进行测试,同时与人舌相比,具有灵敏度更高、重复性更好、测定时间更短的特

点^[14]。因此,电子舌被广泛应用于矿泉水^[15]、茶叶^[16]、蜂蜜^[17]及饮料^[18]的质量分析和味道分析。电子舌头能够区分各种滋味属性的呈味强度,并检测到味道的掩蔽效应^[8],其在不包含感官结果的情况下,有很大的潜力取代人类的一些感官评估,避免审评人员对浓度—强度差异不够敏感而无法区别强度差异^[19]。均匀试验设计方法对于多因素、多水平的试验,不仅均匀性好、试验次数少,还能准确反映试验体系的主要特征结果^[20],相对于代谢物检测技术和数量模型具有更简便、所需数据更少等优势^[21]。绿茶滋味特征主要包括苦味、涩味和鲜味^[22-23]。其中,儿茶素是茶汤苦味和涩味的主要来源^[6],茶氨酸、谷氨酸和天冬氨酸是茶汤鲜味的重要组成因子^[24]。目前,有关利用电子舌技术、均匀试验设计方法以及绿茶茶汤滋味属性代表性物质,建立绿茶滋味属性评价模型的研究尚未见报道。课题组拟在前期研究^[25-26]的基础上,运用电子舌检测技术,从单体出发,以 EGCG、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸为绿茶滋味属性的主要代表物质,探究不同浓度配比对呈味强度的影响,为构建科学的绿茶质量评价体系和数字化评价体系提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、茶多酚、咖啡碱、蔗糖、氯化银、碳酸钠:上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

台式超声波清洗器:HK250 型,上海科导超声仪器有限公司;

万分之一电子天平:FA2004 型,上海舜宇恒平仪器有限公司;

电子舌:SA-402B 型,日本 Insent 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;

磁力搅拌器:AM-5250B 型,天津奥特赛恩斯仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 味觉传感器和参比电极的活化 根据 Liu 等^[27]的方法。

1.3.2 电子舌的数据采集 根据 Liu 等^[27]的方法。

1.3.3 滋味单体参考模型试验 采用均匀试验设计,以 0.46 mg/mL 的萃取物为溶剂基质,以茶氨酸、谷氨酸、天

冬氨酸、EGCG、GCG、ECG 为试验因素,分别选取 30 个质量浓度梯度的试验水平,构建 306 均匀试验,选用 U*30(3 013)安排均匀试验,根据 U*30(3 013)的使用表要求,将 6 个因素分别放在第 1、2、5、7、8、11 列,均匀性偏差 $D=0.162\ 1^{[28]}$,其中,各因素水平最高浓度加上萃取物总含量参照冉乾松等^[25,29]所测贵州绿茶中对应物质最高含量,各水平质量浓度见表 1。采用电子舌评价各试验的鲜味、苦味和涩味强度。

表 1 绿茶单体评价模型试验方案与结果

Table 1 Experimental scheme and results of green tea monomer evaluation model

试验号	因素					
	X ₁ EGCG	X ₂ GCG	X ₃ ECG	X ₄ 天冬氨酸	X ₅ 谷氨酸	X ₆ 茶氨酸
1	1(430.00)	4(21.00)	10(76.00)	14(24.20)	18(28.50)	25(227.50)
2	2(330.00)	8(20.00)	20(77.00)	28(23.50)	5(17.50)	19(130.00)
3	3(320.00)	12(28.00)	30(88.00)	11(22.30)	23(30.00)	13(117.00)
4	4(490.00)	16(42.00)	9(92.00)	25(13.50)	10(20.00)	7(191.00)
5	5(315.00)	20(25.00)	19(83.00)	8(21.00)	28(37.00)	1(162.00)
6	6(360.00)	24(34.00)	29(125.00)	22(24.50)	15(25.00)	26(228.00)
7	7(310.00)	28(61.50)	8(121.50)	5(25.00)	2(50.00)	20(232.00)
8	8(410.00)	1(76.40)	18(131.00)	19(18.00)	20(42.00)	14(161.00)
9	9(450.00)	5(17.30)	28(77.70)	2(19.10)	7(46.00)	8(65.00)
10	10(340.00)	9(46.90)	7(75.00)	16(16.00)	25(45.00)	2(78.00)
11	11(420.00)	13(27.00)	17(96.00)	30(18.50)	12(32.00)	27(100.00)
12	12(250.00)	17(19.80)	27(87.00)	13(15.00)	30(13.00)	21(98.00)
13	13(470.00)	21(34.00)	6(80.70)	27(10.00)	17(15.00)	15(95.00)
14	14(380.00)	25(19.00)	16(102.00)	10(11.00)	4(20.80)	9(83.00)
15	15(300.00)	29(9.00)	26(78.50)	24(20.00)	22(48.00)	3(183.60)
16	16(350.00)	2(43.00)	5(96.50)	7(19.20)	9(41.00)	28(161.00)
17	17(390.00)	6(116.40)	15(102.50)	21(30.60)	27(23.00)	22(186.00)
18	18(460.00)	10(64.40)	25(118.60)	4(27.00)	14(16.00)	16(152.00)
19	19(400.00)	14(56.40)	4(114.60)	18(29.00)	1(18.00)	10(125.50)
20	20(405.00)	18(67.80)	14(120.40)	1(12.00)	19(21.00)	4(110.00)
21	21(395.00)	22(120.90)	24(110.80)	15(16.00)	6(28.00)	28(175.00)
22	22(280.00)	26(67.00)	3(99.40)	29(16.50)	24(39.00)	23(196.50)
23	23(275.00)	30(11.00)	13(95.00)	12(14.36)	11(32.00)	17(234.00)
24	24(355.00)	3(18.00)	23(89.00)	26(15.80)	29(40.00)	11(220.50)
25	25(375.00)	7(15.00)	2(112.40)	9(23.50)	16(19.50)	5(230.00)
26	26(445.00)	11(19.00)	12(100.00)	23(21.50)	3(19.00)	30(155.00)
27	27(486.00)	15(33.00)	22(122.88)	6(18.50)	21(17.00)	24(174.00)
28	28(500.00)	19(35.00)	1(135.20)	20(12.50)	8(38.00)	18(60.00)
29	29(290.00)	23(23.00)	11(121.00)	3(17.00)	26(34.00)	12(193.00)
30	30(465.00)	27(40.00)	21(101.52)	17(17.50)	13(27.00)	6(188.00)

绿茶萃取物中氨基酸、咖啡碱、茶多酚、可溶性糖含量分别为 70,40,250,100 μg/mL,其鲜味、苦味、涩味强度分别为 5.60,6.47,12.99。

1.3.4 滋味单体参考模型的构建 以茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、EGCG、GCG 和 ECG 为自变量,鲜味、苦味和涩味强度为因变量,由于均匀试验不具有整齐可比性,采用统

计分析软件DPS7.05进行二次多项式逐步回归。

1.4 数据处理

电子舌测定结束后对数据进行转换,将电势值转化为数值,采用Excel 2019进行统计分析,采用DPS 2021进行二次多项式回归分析。

2 结果与分析

2.1 主要儿茶素、氨基酸单体不同浓度配比呈味强度分析

由表2可知,不同浓度配比的溶液智能感官在鲜味和涩味上均有较高响应值,分别为15.16~26.10、5.94~10.62;苦味响应度较低,为3.03~8.75。其中第4次试验的苦味最强,为8.75;第15次试验的苦味最低,为3.03;第29次试

验的涩味最强,为10.62;第1次试验的涩味最低,为5.94;第4次试验的鲜味最强,为26.1;第16次试验的鲜味最低,为15.16。结合表1可知,当 $m_{EGCG}:m_{GCG}:m_{ECG}:m_{\text{天冬氨酸}}:m_{\text{谷氨酸}}:m_{\text{茶氨酸}}$ 为300:9:78.5:20:48:183.6时,苦味强度最低;当 $m_{EGCG}:m_{GCG}:m_{ECG}:m_{\text{天冬氨酸}}:m_{\text{谷氨酸}}:m_{\text{茶氨酸}}$ 为290:23:121:17:34:193时,涩味强度最大;当 $m_{EGCG}:m_{GCG}:m_{ECG}:m_{\text{天冬氨酸}}:m_{\text{谷氨酸}}:m_{\text{茶氨酸}}$ 为430:21:76:24.2:28.5:227.5时,涩味强度最低;当 $m_{EGCG}:m_{GCG}:m_{ECG}:m_{\text{天冬氨酸}}:m_{\text{谷氨酸}}:m_{\text{茶氨酸}}$ 为350:43:96.5:19.2:41:161时,鲜味强度最低,说明不同浓度组合所呈现的味觉强度存在差异,且不以单一物质呈味属性为主导,所测苦味值、鲜味值和涩味值分别是茶汤滋味的综合呈现结果。

表2 30种不同浓度配比电子舌呈味强度

Table 2 30 kinds of electronic tongue with different concentration ratio showed taste intensity

试验号	苦味强度	涩味强度	鲜味强度	试验号	苦味强度	涩味强度	鲜味强度
1	7.94±0.00	5.94±0.00	24.11±0.00	16	4.55±0.02	8.47±0.04	15.16±1.90
2	8.29±0.04	6.91±0.14	22.68±0.33	17	5.48±0.10	9.06±0.05	23.34±0.15
3	8.53±0.05	6.40±0.06	23.42±0.29	18	5.05±0.20	8.56±0.05	22.48±0.14
4	8.75±0.06	5.98±0.02	26.10±0.46	19	5.10±0.15	7.86±0.03	21.99±0.22
5	7.59±0.28	7.08±0.05	22.27±0.23	20	5.72±0.14	8.35±0.02	23.32±0.25
6	7.71±0.26	6.99±0.06	23.41±0.29	21	7.44±0.00	9.95±0.00	21.66±0.00
7	7.21±0.30	6.75±0.07	23.07±0.33	22	7.26±0.19	10.15±0.08	19.92±0.05
8	7.47±0.19	6.44±0.03	25.05±0.34	23	7.19±0.32	10.04±0.11	18.41±0.04
9	7.59±0.17	6.80±0.06	23.50±0.19	24	7.11±0.19	10.20±0.51	20.15±0.07
10	7.16±0.09	6.86±0.07	22.66±0.21	25	7.63±0.17	10.54±0.06	21.65±0.09
11	4.63±0.00	7.12±0.00	20.24±0.00	26	7.03±0.22	10.38±0.11	21.23±0.04
12	5.40±0.03	7.15±0.09	22.07±0.10	27	7.29±0.09	10.57±0.10	21.65±0.10
13	5.04±0.10	6.85±0.09	21.26±0.10	28	7.71±0.10	10.37±0.07	21.49±0.16
14	5.27±0.11	8.17±0.06	21.25±0.20	29	7.80±0.02	10.62±0.15	20.23±0.12
15	3.03±0.24	8.73±0.05	17.29±0.38	30	7.96±0.03	10.48±0.15	20.93±0.06

茶汤滋味主要包括苦味、涩味和鲜味,为茶叶中水溶性呈味物质结果的综合反映。由于不同组成及比例形成的茶汤特征性滋味不同^[30],电子舌只能综合表征味觉成分的共同味道特性^[31-32],因此涩味强度普遍高于苦味,这与刘盼盼等^[6]的结果较一致,可能是由于儿茶素单体涩味阈值低于其苦味所致,而鲜味强度略高于涩味^[33],这与冉乾松等^[26]的结论略有差异,可能是由于茶叶中具有涩味属性的物质不仅是儿茶素,还有黄酮、酚酸等物质,研究仅分析了EGCG、ECG、GCG 3种儿茶素,在涩味强度方面略显弱,因而使得鲜味强度略高于涩味。所配溶液中ECG含量相对较高时,苦、涩味相对较强,谷氨酸含量相对较高时,鲜味强度相对较强,与欧阳建等^[11]的结果较一致,这可能由于ECG、谷氨酸阈值均较低且ECG、谷氨酸分别为绿茶茶汤苦涩味、鲜味的主要物质所致。

2.2 主要儿茶素、氨基酸单体参考模型

根据试验的自变量和因变量,采用二次多项式逐步回归分析,建立自变量与6个因素之间的回归方程,由表3可知,相关系数>0.89,均达到极显著水平($P<0.01$),表明所建立的回归方程能有效用于反映苦味、涩味和鲜味及3种单体浓度之间的关系。一次项天冬氨酸,二次项ECG、茶氨酸和GCG与谷氨酸的互作、天冬氨酸与谷氨酸的互作对苦味有正效应,天冬氨酸与茶氨酸的互作、谷氨酸与茶氨酸的互作对苦味强度有负效应;一次项GCG、ECG、天冬氨酸和二次项GCG、谷氨酸对涩味有正效应,EGCG与茶氨酸的互作、GCG与ECG的互作、ECG与天冬氨酸的互作、天冬氨酸与谷氨酸的互作、谷氨酸与茶氨酸的互作对涩味有负效应;一次项谷氨酸,二次项茶氨酸和EGCG与茶氨酸的互作、GCG与ECG的互作、ECG与

谷氨酸的互作对鲜味有正效应,一次项 ECG、茶氨酸和 EGCG 与 GCG 的互作、EGCG 与谷氨酸的互作、GCG 与谷氨酸的互作、天冬氨酸与茶氨酸的互作、谷氨酸与茶氨酸的互作对鲜味有负效应。

茶汤中滋味物质不仅仅呈现单一的滋味属性,还是多种滋味物质综合反映的结果,一种物质的增加或减少会引起其他物质滋味强度的变化,存在协同作用和抑制作用^[33]。Liu 等^[27]研究表明,具有鲜味属性的滋味物质对呈苦味物质具有抑制作用。二次项 ECG 和 GCG 与谷氨酸的互作、天冬氨酸与谷氨酸的互作对苦味有正效应,一次项 GCG、ECG,二次项 GCG、谷氨酸对涩味有正效应;天冬氨酸与茶氨酸的互作、谷氨酸与茶氨酸的互作对苦味强度有负效应,EGCG 与茶氨酸的互作、GCG 与 ECG 的互作、ECG 与天冬氨酸的互作、天冬氨酸与谷氨酸的互作、谷氨酸与茶氨酸的互作对涩味有负效应;刘盼盼等^[6]研究表明,茶氨酸可以抑制儿茶素引起的苦涩味,茶汤浓度下谷氨酸钠对 EGCG 涩味有少许增强作用,高于 10 倍茶汤浓度时,谷氨酸钠可减弱 EGCG 苦涩味,表型儿茶素间呈叠加关系,与试验结果基本一致。

鲜味物质混合时呈现出协同效应^[24]。宋亚赛^[34]研究

表明,茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸作为鲜味氨基酸对 EGCG 的苦涩味有较明显的减弱作用;张英娜^[33]研究表明,谷氨酸钠对 EGCG 苦味具有减弱作用,而在较低浓度下谷氨酸钠对 EGCG 涩味具有少许增强作用,在较高浓度下具有减弱作用。试验表明:一次项谷氨酸,二次项茶氨酸以及 EGCG 与茶氨酸的互作、GCG 与 ECG 的互作、ECG 与谷氨酸的互作对鲜味有正效应,一次项 ECG、茶氨酸和 EGCG 与 GCG 的互作、EGCG 与谷氨酸的互作、GCG 与谷氨酸的互作、天冬氨酸与茶氨酸的互作、谷氨酸与茶氨酸的互作对鲜味有负效应。从模型中自变量与因变量的对应关系来看,电子舌检测强度与 6 种物质间的交互作用相符,电子舌检测强度与单体间的对应关系和呈味物质间的交互作用基本一致,表明试验构建的电子舌滋味分属性评价模型有效。在电子舌评价中,参照该模型可用于构建不同滋味强度的绿茶样品,以判断绿茶滋味属性强度。试验中对所得的回归方程进行规划求解时,可能在试验范围内有多个极值点,规划求解的结果不是唯一点,且模型极大值和极小值不一定是实际需要值,因此在实际拼配过程中,需要结合实际验证结果,以确定较优的试验方案。

表 3 滋味物质单体参考模型
Table 3 Taste monomer reference model

滋味属性	参考模型	相关系数	F 值	P 值	调整后的相关系数	Durbin-Watson 统计量	决定系数
苦味	$Y=17.033\ 1+0.927\ 0X_4+0.002\ 5X_3^2+0.000\ 2X_6^2+0.001\ 9X_2X_5+0.009\ 3X_4X_5-0.003\ 7X_4X_6-0.000\ 7X_5X_6$	0.890 1	4.084 8	0.005 2	0.773 5	1.893 2	0.792 2
涩味	$Y=-32.097\ 5+0.199\ 8X_2+0.455\ 3X_3+1.222\ 9X_4+0.000\ 6X_2^2+0.004\ 4X_3^2-0.000\ 1X_1X_6-0.002\ 6X_2X_3-0.008\ 1X_3X_4-0.017\ 3X_4X_5+0.001\ 4X_5X_6$	0.949 4	6.446 2	0.001 1	0.872 6	1.887 2	0.901 3
鲜味	$Y=80.221\ 8-0.703\ 7X_3+0.555\ 6X_5-0.355\ 4X_6+0.000\ 7X_2^2-0.001\ 6X_1^2-0.002\ 7X_1X_5+0.000\ 8X_1X_6+0.007\ 9X_2X_3-0.009\ 7X_2X_5+0.014\ 3X_3X_5-0.002\ 4X_4X_6-0.004\ 8X_5X_6$	0.924 4	5.483 6	0.001 4	0.835 9	1.744 7	0.851 0

2.3 主要儿茶素、氨基酸单体参考模型最佳配比

由表 4 可知,通过回归分析得出的苦味、涩味强度值的极大值和极小值均是回归分析法可以得到更优的配方条件,而鲜味强度值的极小值为直观分析的配方条件更好,其中回归分析中苦味、涩味、鲜味的极小值为-0.76, -1.09, -59.66, 由于绿茶茶汤滋味强度值不会小于零,所以舍弃回归分析中苦味、涩味、鲜味的极小值,选择直观分析中最低强度作为苦味、涩味、鲜味的极小值。因此,就整体而言,回归分析可获得更好的优化条件,同时也说明建立的方程有效,可以作为绿茶滋味评价参考物的配方模型,最终适用的范围为苦味、涩味、鲜味的极大值和极小值分别是 15.76 和 3.03, 16.52 和 5.94, 53.58 和 15.17。

3 结论

表儿茶素没食子酸酯、谷氨酸是影响所配比溶液体系苦、涩、鲜的主导物质。选择均匀试验设计,以茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、表没食子儿茶素没食子酸酯、没食子儿茶素没食子酸酯、表儿茶素没食子酸酯为自变量,鲜味、苦味和涩味强度结果为因变量,构建了二次多项式逐步回归方程。从模型中自变量与因变量的对应关系来看,智能感官味觉强度符合 6 种物质间的交互作用,味觉强度与单体间的对应关系以及呈味物质间的交互作用基本相同,说明试验构建的智能感官味觉分属性评价模型有效。以茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、表没食子儿茶素没食子酸酯、没食子儿茶素没食子酸酯和表儿茶素没食子酸酯为

表4 单体参考模型直观分析与回归分析的结果对比表

Table 4 Comparison table of results of direct analysis and regression analysis of monomer reference model

滋味属性	直观分析结果						回归分析结果					
	苦味		涩味		鲜味		苦味		涩味		鲜味	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
EGCG	490.00	400.00	290.00	430.00	490.00	350.00	500.00	250.00	500.00	500.00	500.00	500.00
ECG	42.00	56.40	23.00	21.00	42.00	43.00	120.90	9.00	9.00	9.00	9.00	120.90
GCG	92.00	114.60	121.00	76.00	92.00	96.50	75.00	89.19	135.20	75.00	75.00	75.00
天冬氨酸	13.50	29.00	17.00	24.20	13.50	19.20	10.00	10.00	15.97	10.00	10.00	30.60
谷氨酸	20.00	18.00	34.00	28.50	20.00	41.00	26.24	50.00	13.00	13.00	13.00	50.00
茶氨酸	191.00	125.50	193.00	227.50	191.00	161.00	234.00	111.95	60.64	233.99	234.00	171.18
滋味强度值	8.76	3.03	10.62	5.94	26.10	15.17	15.76	-0.76	16.52	-1.09	53.58	-59.66

单体组成模拟绿茶茶汤,利用电子舌技术结合均匀试验构建的二次多项回归模型,一定程度上能模拟绿茶茶汤滋味强度,根据3个模型能拼配出绿茶滋味属性的最高强度和最低强度。该研究中单体呈味属性仅呈现苦涩、鲜味化合物,且仅采用一种数字模型构建绿茶滋味属性模型,后期将增加甜味化合物,结合联用数据级融合、决策级融合方法进行对比试验,寻求最优的配比模型。

参考文献

- [1] 许伟,彭影琦,张拓,等. 绿茶加工中主要滋味物质动态变化及其对绿茶品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 36-41.
XU W, PENG Y Q, ZHANG T, et al. Dynamic changes of main taste substances in green tea processing and their effects on quality of green tea[J]. Food Science, 2019, 40(11): 36-41.
- [2] WANG K, ZHUANG H, BING F, et al. Evaluation of eight kinds of flavor enhancer of umami taste by an electronic tongue[J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(4): 2 095-2 104.
- [3] 黄藩, 罗凡, 胥亚琼, 等. 四川绿茶滋味品质分析及风味轮构建[J]. 西南农业学报, 2023, 36(5): 943-951.
HUANG P, LUO F, XU Y Q, et al. Analysis of flavor quality of Sichuan green tea and construction of flavor wheel[J]. Southwest Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(5): 943-951.
- [4] 张颖彬, 刘栩, 鲁成银. 中国茶叶感官审评术语的形成与发展现状[J]. 茶叶科学, 2019, 39(2): 123-130.
ZHANG Y B, LIU Y, LU C Y. The formation and development of Chinese tea sensory evaluation terms[J]. Tea Science, 2019, 39(2): 123-130.
- [5] 杨晨. 基于代谢组学的不同花色种类白茶滋味品质研究[D]. 杭州: 中国农业科学院, 2018: 41.
YANG C. Study on taste quality of white tea of different colors based on metabolomics[D]. Hangzhou: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018: 41.
- [6] 刘盼盼, 邓余良, 尹军峰, 等. 绿茶滋味量化及其与化学组分的相关性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 173-181.
- [7] 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, 2018: 55.
YU C N. Research on taste substances of green tea and establishment of reference model for review[D]. Chongqing: Southwest University, 2018: 55.
- [8] YANG Y, CHEN Q, SHEN C, et al. Evaluation of monosodium glutamate, disodium inosinate and guanylate umami taste by an electronic tongue[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(3): 627-632.
- [9] SINGH G. Machine vision system for tea quality determination-tea quality index (TQI)[J]. IOSR Journal of Engineering, 2013, 3(7): 46-50.
- [10] 徐春晖, 王远兴. 基于UPLC-QTOF-MS结合非靶向代谢组学鉴别3种江西名茶[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 316-323.
XU C H, WANG Y X. Identification of three famous teas from Jiangxi Province based on UPLC-QTOF-MS combined with non-targeted metabolomics[J]. Journal of Food Science, 2012, 43(2): 316-323.
- [11] 欧阳建, 黄纯勇, 李适, 等. 黄金茶绿茶风味轮及滋味分类模型的构建[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(24): 139-146.
OUYANG J, HUANG C Y, LI S, et al. Construction of flavor wheel and flavor classification model of golden tea and green tea[J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(24): 139-146.
- [12] 刘奇, 欧阳建, 刘昌伟, 等. 茶叶品质评价技术研究进展[J]. 茶叶科学, 2022, 42(3): 316-330.
LIU Q, OUYANG J, LIU C W, et al. Research progress of tea quality evaluation technology[J]. Tea Science, 2022, 42(3): 316-330.
- [13] WESOŁY M, PRZEWODOWSKI W, CIOSEK-SKIBIŃSKA P. Electronic noses and electronic tongues for the agricultural purposes[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2023, 164: 117082.
- [14] DENG X, HUANG G, TU Q, et al. Evolution analysis of

- flavor-active compounds during artificial fermentation of Puerh tea[J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129783.
- [15] LABRADOR R, SOTO J, MARTÍNEZ-MÁÑEZ R, et al. An electronic tongue for qualitative and quantitative analyses of anions in natural waters[J]. J Appl Electrochem, 2009, 39: 2 505-2 511.
- [16] 黄旦益. 基于化学计量学的茶汤品质数字化评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2022: 38.
- HUANG D Y. Digital evaluation of tea quality based on chemometrics[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2022: 38.
- [17] MCCABE C, ROLLS E T. Umami: a delicious flavor formed by convergence of taste and olfactory pathways in the human brain[J]. European Journal of Neuroscience, 2007, 25(6): 1 855-1 864.
- [18] PERES A M, DIAS L G, BARCELOS T P, et al. An electronic tongue for juice level evaluation in non-alcoholic beverages[J]. Procedia Chemistry, 2009, 1(1): 1 023-1 026.
- [19] OUYANG Q, YANG Y, WU J, et al. Measurement of total free amino acids content in black tea using electronic tongue technology coupled with chemometrics[J]. LWT, 2020, 118: 108768.
- [20] YIN J, SUN X, ZHAO R, et al. Application of uniform design to evaluate the different conditions on the growth of algae *Prymnesium parvum*[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 12672.
- [21] 李玉龙, 杨烨, 陆国权. 基于均匀设计和主成分分析的甘薯薯片油炸工艺优化[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 223-230.
- LI Y L, YANG H, LU G Q. Optimization of deep-frying process of sweet potato chips based on uniform design and principal component analysis[J]. Food Science, 2017, 38(4): 223-230.
- [22] YU P G, YEO A S L, LOW M Y, et al. Identifying key non-volatile compounds in ready-to-drink green tea and their impact on taste profile[J]. Food Chemistry, 2014, 155: 9-16.
- [23] ZHANG L, CAO Q Q, GRANATO D, et al. Association between chemistry and taste of tea: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 101: 139-149.
- [24] YU Z, YANG Z. Understanding different regulatory mechanisms of proteinaceous and non-proteinaceous amino acid formation in tea (*Camellia sinensis*) provides new insights into the safe and effective alteration of tea flavor and function [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60 (5): 844-858.
- [25] 刘忠英, 冉乾松, 张拓, 等. 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[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 40-45.
- LIU Z Y, RAN Q S, ZHANG T, et al. Correlation analysis of flavor intensity of tea flavor attribute reference based on electronic tongue and artificial sense[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 40-45.
- [26] 冉乾松, 刘忠英, 尹杰, 等. 贵州绿茶滋味分属性二次多项回归模型构建[J]. 南方农业学报, 2022, 53(4): 1 131-1 142.
- RAN Q S, LIU Z Y, YIN J, et al. Construction of quadratic multinomial regression model for the flavor characteristics of green tea in Guizhou[J]. Journal of Southern Agricultural Sciences, 2022, 53(4): 1 131-1 142.
- [27] LIU Z, RAN Q, LI Q, et al. Interaction between major catechins and umami amino acids in green tea based on electronic tongue technology[J]. Journal of Food Science, 2023, 88(6): 2 339-2 352.
- [28] 王钦德, 杨坚. 高级食品试验设计与统计分析[M]. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2009: 179-208.
- WANG Q D, YANG J. Advanced food experimental design and statistical analysis[M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2009: 179-208.
- [29] 冉乾松, 刘忠英, 方仕茂, 等. 贵州 5 个代表性绿茶滋味特征与其呈味化合物相关性分析[J]. 浙江农业学报, 2022, 34 (11): 2 451-2 461.
- RAN Q S, LIU Z Y, FANG S M, et al. Analysis of the correlation between the taste characteristics of five representative green teas in Guizhou and their flavor compounds[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2022, 34(11): 2 451-2 461.
- [30] 彭艾婧. 基于感官组学的名优绿茶浓、涩、鲜、甜滋味特征研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021: 42.
- PEN A J. Study on strong, astringent, fresh and sweet taste characteristics of famous green tea based on sensory omics[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021: 42.
- [31] 刘川正, 马景余, 白雪瑞, 等. 基于电子舌和电子鼻结合 CNN-Transformer 模型的绿茶种类识别[J]. 食品与机械, 2024, 40(6): 34-42, 52.
- LIU C Z, MA J Y, BAI X R, et al. Identification of green tea species based on CNN-Transformer model combined with electronic tongue and electronic nose[J]. Food & Machinery, 2017, 40(6): 34-42, 52.
- [32] 宋晓月, 吴志锋, 邱慕涛, 等. 不同年份武夷岩茶水仙主要滋味物质分析与感官评价[J]. 食品与机械, 2024, 40(6): 170-175, 191.
- SONG X Y, WU Z F, QIU M T, et al. Analysis and sensory evaluation of main taste substances of Wuyi rock tea narcissus in different years[J]. Food & Machinery, 2024, 40(6): 170-175, 191.
- [33] 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 flavor characteristics of main catechins in green tea soup[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016: 25.
- [34] 宋亚赛. 绿茶苦涩味的化学成分及其相互作用研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016: 26.
- SONG Y S. Study on chemical components and interaction of bitter taste of green tea[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016: 26.