

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

冉乾松¹, 刘忠英², 方仕茂², 尹杰¹, 戴宇樵², 李琴¹, 杨婷², 潘科^{2,*}

(1. 贵州大学茶学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省茶叶研究所, 贵州 贵阳 550006)

摘要: 贵州绿茶品质优异, 但目前对其滋味特征的评价仍缺乏数据支撑, 鉴于此, 本研究以 2020 年春季斗茶大赛 5 个贵州代表性绿茶样品为材料, 通过利用人工感官评价、化学分析及智能感官评价, 结合化学计量分析、多因子分析等数理分析方法, 探究 5 个代表绿茶的滋味特征与其呈味化合物之间的相关性。人工感官评价结果表明: 5 个茶样滋味特征略有差异, 滋味特征均以醇、爽为主, 以 GZ1 茶样鲜醇较优于其他茶样。化学分析结果表明: 5 个茶样咖啡碱含量和氨基酸总量均较高, 分别在 37.43 ~ 42.66 mg·g⁻¹ 和 38.80 ~ 70.64 mg·g⁻¹, 茶多酚含量和儿茶素总量均较低, 分别在 193.47 ~ 219.63 mg·g⁻¹ 和 165.42 ~ 187.30 mg·g⁻¹, 茶氨酸、谷氨酸等鲜味氨基酸含量较高。智能感官评价结果表明: 电子舌检测 5 个样品具有较高的鲜味值和丰富度, 与感官审评结果“醇、鲜爽”较一致。相关性表明, 苦度与咖啡碱、咖啡碱/儿茶素总量有较高的相关性。涩度与表儿茶素没食子酸酯、水浸出物、表没食子儿茶素没食子酸酯/儿茶素总量相关性较高。丰富度与表没食子儿茶素没食子酸酯、茶多酚、儿茶素总量相关性较高, 鲜度与谷氨酸、天冬氨酸、脯氨酸、氨基酸总量有较强相关性。高水浸出物、高氨基酸、高咖啡碱、低茶多酚、低儿茶素组分形成了贵州绿茶醇、爽的滋味特征。电子舌评价结果与感官审评结果具有一致性, 电子舌测定鲜味等级在一定程度上可以反映茶叶品质特征。

关键词: 贵州绿茶; 滋味特征; 成分; 相关性; 电子舌

中图分类号: S571.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-1524(2022)11-2451-11

Correlation analysis between taste characteristics and taste compounds of five representative green teas in Guizhou, China

RAN Qiansong¹, LIU Zhongying², FANG Shimao², YIN Jie¹, DAI Yuqiao², LI Qin¹, YANG Ting², PAN Ke^{2,*}

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

Abstract: Guizhou green tea is of excellent quality, but the current evaluation of its taste characteristics is still lacking data support. Because of this, five representative green tea samples from Guizhou in the 2020 Spring Doucha Competition were used as materials, through the use of artificial sensory evaluation, chemical analysis and intelligent sensory evaluation, combined with mathematical analysis methods such as chemometric analysis and multi-factor analysis, the correlation between the flavor characteristics of five representative green teas and their flavor compounds was explored. The artificial sensory evaluation results showed that the taste characteristics of the five tea samples were slightly different, and the taste characteristics were mainly mellow and refreshing. The fresh mellowness of GZ1

收稿日期: 2021-03-03

基金项目: 贵州省科技支撑计划(黔科合支撑(2020)1Y007, 黔科合支撑(2020)1Y009 号, 黔科合服企(2019)4006)

作者简介: 冉乾松(1995—), 男, 贵州沿河人, 硕士研究生, 主要从事茶叶加工方面研究。E-mail: 1913560596@qq.com

* 通信作者, 潘科, E-mail: 148450502@qq.com

tea sample was better than other tea samples. The results of chemical analysis showed that the caffeine content and total amino acid content of the five tea samples were higher between $37.43 - 42.66 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $38.80 - 70.64 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. The content of tea polyphenols and total catechins were lower in the range of $193.47 - 219.63 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $165.42 - 187.30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, and the content of savory amino acids such as theanine and glutamic acid was higher. The intelligent sensory evaluation results showed that the five samples detected by the electronic tongue had high umami value and richness, which was more consistent with the sensory evaluation results of “mellow, fresh and refreshing”. The correlation showed that bitterness was highly correlated with the total amount of caffeine and caffeine/catechin. Astringency was highly correlated with epicatechin gallate, water extract, epigallocatechin gallate/total catechin content. Richness had a high correlation with epigallocatechin gallate, tea polyphenols, and total catechins, and freshness had a strong correlation with glutamic acid, aspartic acid, proline and total amino acids. High water extract, high amino acids, high caffeine, low tea polyphenols, and low catechin components formed the mellow and refreshing taste characteristics of Guizhou green tea. The evaluation results of the electronic tongue were consistent with the sensory evaluation results, and the umami taste level determined by the electronic tongue could reflect the quality characteristics of tea to a certain extent.

Key words: green tea in Guizhou; taste characteristics; component; correlation; electronic tongue

贵州是全国绿茶主产区之一,独特的气候条件孕育贵州绿茶优异品质,使得“贵州绿茶”成为首个获得省级茶叶区域农产品地理标志保护的产品。郭建军等^[1]对贵州绿茶化学成分进行研究,结果表明,不同茶区绿茶化学成分含量存在显著差异,滋味主要体现“浓、醇、鲜、嫩”特征。李俊等^[2]对不同类型、不同地区的贵州绿茶生化成分含量进行分析,结果表明,高水浸出物、高氨基酸、高咖啡碱、低儿茶素、低茶多酚形成了贵州绿茶爽适、甘厚、鲜爽滋味特征。赵华富等^[3]利用主成分及层次聚类分析贵州绿茶滋味特征,结果表明,贵州绿茶主要分为丰富和较丰富型绿茶。但目前对贵州绿茶的科学评价仍缺乏数据支撑,尤其是在茶汤滋味属性与主要呈味化合物的相关性方面的研究仍较少。因此,本研究以2020年春季斗茶大赛参赛的5个代表性贵州绿茶样品为材料,利用感官评价、生化成分检测及电子舌对贵州不同代表性绿茶样品进行分析,结合化学计量分析、主成分分析、多因子分析等数理分析方法,探究贵州绿茶滋味特征及滋味成分与滋味属性间的关系。以期对贵州绿茶滋味特征的科学评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

从2020年贵州春季斗茶大赛133只参赛茶

样,按照DB52/T1495—2020省级地方标准《贵州冲泡品饮指南》“高水温、多投茶、快出汤、茶水分离、不洗茶”的贵州冲泡细则进行现场冲泡,通过大众审评、专家评委评茶,选择大众和专家在滋味特征上高度认可具有代表性的茶样5个作为本研究样品。

1.2 试剂与仪器

1.2.1 试剂

乙腈、甲醇、乙酸、乙二胺四乙酸二钠、抗坏血酸、咖啡碱标准品、儿茶素类标准品、没食子酸标准品、岛津游离氨基酸检测试剂包:17种游离氨基酸混合标准品、茶氨酸标准品、OPA衍生试剂、FMOC衍生试剂、硼酸盐缓冲试剂、磷酸、盐酸、十二水合磷酸氢二钠、十水合四硼酸钠。

1.2.2 仪器

PL203型电子分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;KL-UP-III-20型超纯水仪,成都唐氏康宁科技发展有限公司;FBS-750A型快速水分测定仪,厦门弗布斯检测设备有限公司;TG16A型高速离心机,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;SHZ-III型真空抽滤装置,天津市恒奥公司;IT-07A-3型恒温磁力搅拌器,上海一恒科技有限公司;LC-2030C型高效液相色谱仪,日本岛津;WGL-230B型电热鼓风干燥箱、DK-98-II型电热恒温水浴锅,天津市泰斯特仪器有限公司;U-5100型紫外-可见分光光度计,购自日本日立公司;SA-402B型电子舌,日本Insent。

1.3 方法

1.3.1 感官审评

审评根据国家标准 GB/T23776—2018《茶叶感官审评方法》进行。由审评专家、高级评茶员构成的8人审评小组,男女比例4:4,参照茶叶审评标准中绿茶的审评方法进行审评。准确称取有代表性茶样3.0 g置于150 mL标准审评杯中,注入沸水150 mL,室温冲泡4 min,滤出茶汤,留叶底于杯中,并对样品滋味进行术语描述及评分,评分采用百分制。

1.3.2 儿茶素及咖啡碱检测

检测方法:采用国标 GB/T8313—2018 中的方法检测。样品制备:称取0.2 g茶样于10 mL离心管中,加入5 mL预热的70%甲醇水溶液,在70℃水浴条件下,浸提10 min,每隔5 min搅拌一次,浸提后冷却至室温,转入离心机3 500 r·min⁻¹转速下离心10 min,将上清液转移至10 mL容量瓶。残渣用5 mL预热的70%甲醇水溶液重复上述操作,合并两次提取液定容至10 mL,摇匀,备用。取2 mL备用液至10 mL容量瓶中,用稳定溶液定容至刻度,摇匀,用0.45 μm滤头过滤,制成待测样。

1.3.3 氨基酸组分检测

氨基酸组分采用OPA、FMOC衍生。分析色谱柱采用Durashell-AA专用柱(4.6 mm×150 mm,3 mm);分析条件:流动相A为十二水和磷酸氢二钠4.5 g+十水合四硼酸钠4.75 g+36%盐酸1.5 mL+1 000 mL水,流动相B为乙腈:甲醇:水=45:45:10(体积比);洗脱梯度:0 min,100% A;17 min,91% A,5% B,4% C;24 min,80% A,17% B,3% C;32 min,68% A,20% B,12% C;34 min,68% A,20% B,12% C;35 min,60% B,40% C;38 min,100% A;45 min,100% A。

1.3.4 茶多酚总量及游离氨基酸总量

茶多酚检测:方法同1.3.2节儿茶素检测方法,测定按照国标 GB/T8313—2018 进行。

氨基酸检测:称取3.0 g茶样于500 mL锥形瓶加沸蒸馏水450 mL,在沸水浴中浸提45 min,每隔10 min摇动一次,浸提完毕减压抽滤,定容500 mL,待用。测定方法按照国标 GB/T8314—2013 进行。

1.3.5 电子舌检测

数据采集前,对电子舌进行传感器活化、校准、诊断等操作,以确保检测数据的可靠性与稳定性。将茶汤置于容量约为50 mL的电子舌专用烧杯中,采集与清洗交替进行。茶汤采集时间为120 s,清洗时间为10 s,每秒采集1个数据。每个茶汤样品重复测定4次,选取后3次稳定的测量数据进行后续分析,每次选定120 s时间段内稳定响应信号的平均值作为输出值。每个茶样保留电子舌的4次测量数据,检测的环境温度为(25±2)℃^[4]。

1.4 数据处理

采用Excel 2016进行统计分析;采用SPSS 20软件进行单因素方差分析;采用XLSTAT 2019进行多因子分析(MFA)以及主成分分析;采用Origin 2019软件进行雷达图、点线图的制作。

2 结果与分析

2.1 贵州绿茶感官审评分析

对5个不同绿茶感官审评结果见表1。由表1可知,5个茶样感官审评结果表明,外形上,以GZ4茶样直条型、色泽翠绿显毫,得分较高为93分,其他茶样外形均为卷曲、色泽黄绿,得分稍低,GZ1略有爆点、GZ2茶样粗条较多、GZ3茶样断碎较多,得分分别为88分、86分、89分。香气上,以GZ4茶样清香带花香较优于其他茶样,GZ5茶样清香次之,其他3个茶样带有水闷味,得分较低。滋味方面,以GZ1茶样鲜爽、尚浓醇较优,得分最高94分。汤色上,以GZ4茶样嫩绿、较亮,得分最高为94分,其他4个茶样均以黄绿次之。叶底方面,以GZ4茶样嫩绿、较柔软,GZ5茶样黄绿、较完整、较高于其他茶样。综合评分GZ4茶样最高,GZ5茶样次之。

贵州5个代表性绿茶滋味特征略有差异,总体上,滋味特征均以醇、爽为主,以GZ1茶样鲜醇较优于其他茶样,而GZ3、GZ4、GZ5茶样略有不足,GZ2茶样滋味特征为浓醇、较鲜,其他茶样也较醇爽。

2.2 主要生化成分色谱检测分析

2.2.1 主要苦涩味成分分析

对5个茶样的呈味化学组分进行定量分析,

表 1 不同绿茶样品感官审评品质描述

Table 1 Sensory evaluation quality description of different green tea samples

编号 Code	产地 Origin place	外形 Appearance		香气 Aroma		滋味 Taste		汤色 Color		叶底 Foliage fundus		总分 Total score
		评语 Comment	得分 Score	评语 Comment	得分 Score	评语 Comment	得分 Score	评语 Comment	得分 Score	评语 Comment	得分 Score	
GZ1	印江 Yinjiang	紧细、卷曲、黄绿、稍嫩、略有爆点、较匀整 Tight, thin, curly, yellow green, slightly tender, slightly explosive, relatively uniform	88	栗香 Chestnut scent	86	尚浓醇、鲜爽 Concentrated, mellow and fresh	94	黄绿、亮 Yellow green, bright	90	绿亮、尚完整、较柔软、有机械损伤叶 Bright green, intact, soft and mechanically damaged leaves	83	89.30
GZ2	都匀 Duyun	较紧、卷曲、黄绿、尚润、粗条较多 Tight, curly, yellow green, moist, more thick strips	86	清香、略有火气 Fragrant and slight internal heat	80	浓醇、较鲜爽 Concentrated, mellow and fresh	91	黄绿、较亮 Yellow green, bright	89	嫩绿、较完整、有机械损伤叶、较柔软 Tender green, relatively complete, mechanically damaged leaves, relatively soft	84	86.55
GZ3	石阡 Shixian	自然弯曲、较紧、有碎片、含粗老叶、色泽尚绿、断碎较多 Natural bending, tight, fragmented, containing coarse and old leaves, green in color, and more broken	89	略有高火味、有水闷味 Slightly high fire smell and water stuffy smell	80	醇厚、较爽 Mellow and refreshing	89	黄绿 Yellow green	88	绿、尚亮、有断碎、较柔软 Green, bright, broken, soft	86	86.20
GZ4	余庆 Yuqing	直条型、翠绿、显毫、匀整、较润 Straight, green, smooth, smooth	93	清香带花香、较持久 Fragrance with floral fragrance, lasting	93	尚鲜爽、醇 Fresh and mellow	88	嫩绿、较亮 Light green and bright	94	嫩绿色、有机械损伤叶、较柔软 Tender green, mechanically damaged leaves, soft	88	91.25
GZ5	安顺 Anshun	卷曲、黄绿、显毫、较匀整 Curly, yellow green, hairlike and even	90	清香、较持久 Fragrant and lasting	90	较醇爽 More mellow	90	黄绿、较亮 Yellow green, bright	92	黄绿、较柔软、较完整 Yellow green, soft and complete	88	89.40

其茶多酚类及咖啡碱含量详见表 2。水浸出液是反映茶叶特征成分含量和茶汤浓稠度的重要指标,与茶汤的苦涩味呈显著正相关^[5]。由表 2 可知:所测茶样水浸出物质量分数为 44.10%~46.57%,其中 GZ2 茶样最高为 46.57%,GZ1 茶样最低为 44.10%。5 个茶样咖啡碱含量在 37.43~42.66 mg·g⁻¹,其中 GZ4 茶样含量高于其他茶样,其次是 GZ1 茶样,GZ2 茶样最低。茶多酚在茶叶中含量高,浸出率高,是形成茶汤苦

涩味的主要物质^[5]。所测茶样茶多酚含量在 193.47~219.63 mg·g⁻¹,以 GZ2 茶样最高,其次是 GZ3 茶样,GZ1 茶样最低。

5 个茶样均检测出了 7 种主要儿茶素组分;儿茶素总量范围在 162.33~185.26 mg·g⁻¹,儿茶素总量以 GZ2 茶样最高,其中以 EGCG 为主,EGCG 含量 GZ2 茶样最高,其次是 GZ3 茶样,GZ1 茶样最低。EGC 含量中,GZ2 茶样最高,GZ5 茶样最低;GZ4 茶样中 ECG 含量最高,其次是 GZ3

表2 绿茶样品儿茶素组分及咖啡碱含量

Table 2 Catechin components and caffeine content of green tea samples

指标 Index	GZ1	GZ2	GZ3	GZ4	GZ5
咖啡碱 Caffeine (Caf) / (mg·g ⁻¹)	41.33 ± 0.58 ab	37.43 ± 1.41 c	40.38 ± 1.03 b	42.66 ± 1.53 a	39.91 ± 0.73 b
水浸出物 Water extract (WE) / %	44.10 ± 0.38 b	46.57 ± 0.46 a	46.03 ± 1.13 ab	46.44 ± 0.57 a	46.00 ± 0.44 ab
茶多酚 Tea polyphenols (TP) / (mg·g ⁻¹)	193.47 ± 4.86 bc	219.63 ± 1.82 a	217.18 ± 6.00 a	198.65 ± 4.75 bc	206.56 ± 3.08 b
表没食子儿茶素没食子酸酯 Epigallocatechin gallate (EGCG) / (mg·g ⁻¹)	99.26 ± 1.83 c	117.67 ± 5.13 a	114.89 ± 3.07 a	104.13 ± 5.49 bc	106.57 ± 1.99 b
表没食子儿茶素 Epigallocatechin (EGC) / (mg·g ⁻¹)	4.69 ± 0.53 d	29.80 ± 0.430 a	8.50 ± 0.60 b	7.25 ± 0.74 c	2.25 ± 0.11 e
表儿茶素没食子酸酯 Epicatechin gallate (ECG) / (mg·g ⁻¹)	25.86 ± 0.47 c	16.07 ± 1.33 d	28.96 ± 0.82 ab	30.40 ± 1.28 a	27.89 ± 0.67 b
表儿茶素 Epicatechin (EC) / (mg·g ⁻¹)	1.88 ± 0.02 c	3.56 ± 0.09 a	2.69 ± 0.66 b	2.73 ± 0.22 b	1.38 ± 0.09 d
没食子酸 Gallic acid (GA) / (mg·g ⁻¹)	0.64 ± 0.00 b	0.45 ± 0.02 d	0.74 ± 0.02 a	0.52 ± 0.01 c	0.52 ± 0.11 c
儿茶素 Catechin (C) / (mg·g ⁻¹)	0.78 ± 0.01 d	1.21 ± 0.04 a	1.07 ± 0.06 b	0.93 ± 0.04 c	1.11 ± 0.07 b
没食子儿茶素 Gallic catechin (GC) / (mg·g ⁻¹)	0.46 ± 0.02 e	0.66 ± 0.01 b	0.77 ± 0.03 a	0.54 ± 0.02 d	0.61 ± 0.02 c
绿原酸 Chlorogenic acid (CA) / (mg·g ⁻¹)	2.45 ± 0.05 b	1.59 ± 0.05 d	2.12 ± 0.09 c	2.70 ± 0.08 a	2.21 ± 0.02 c
没食子儿茶素没食子酸酯 Gallatecatechin gallate (GCG) / (mg·g ⁻¹)	29.37 ± 0.47 b	16.26 ± 0.63 c	14.23 ± 0.18 d	17.10 ± 0.41 c	30.53 ± 0.54 a
儿茶素组分总量 Total catechin components (TCC) / (mg·g ⁻¹)	162.33 ± 1.35 a	185.26 ± 4.41 b	171.12 ± 2.82 a	163.10 ± 4.67 a	170.37 ± 1.74 a
EGCG + ECG + GCG / (mg·g ⁻¹)	154.49 ± 1.53 bc	150 ± 4.06 ab	158.08 ± 2.35 abc	151.61 ± 4.08 c	164.99 ± 1.58 a
GC + C + EC + EGC / (mg·g ⁻¹)	7.84 ± 0.31 d	35.26 ± 0.32 a	13.04 ± 0.41 b	11.49 ± 0.58 c	5.38 ± 0.15 e

同行数据标注不同字母表示在 0.05 显著水平上存在显著差异,下同。

The data in the same row followed by different letters showed the significant differences at the 0.05 significant level. The same as below.

茶样仅次于 GZ4 茶样, GZ2 茶样最低; 5 个茶样中 GCG 含量有显著差异, GZ5 茶样最高, GZ3 茶样最低。儿茶素大致可分为两类: 一类是酯型儿茶素 (EGCG + ECG + GCG) 为 150.00 ~ 164.99 mg·g⁻¹, 另一类非酯型儿茶素 (GC + C + EC + EGC) 为 5.38 ~ 35.26 mg·g⁻¹。由此可见, 不同绿茶样品中咖啡碱和儿茶素等滋味物质含量差异较大, 表现出滋味特征呈现差异。

2.2.2 主要鲜爽味成分分析

不同绿茶样品氨基酸总量及氨基酸组分含量见表 3。氨基酸是绿茶清新爽口的主要成分^[6-7]。茶叶中氨基酸的含量相对较少, 但可以补充和调节绿茶的整体口感, 是形成绿茶口感的重要因素^[8]。由表 3 可知: 5 个茶样中均检出 18 种氨基酸组分, 游离氨基酸总量在 38.80 ~ 70.64 mg·g⁻¹, 其中 GZ1 茶样的游离氨基酸含量最高, GZ2 茶样次之, GZ5 茶样最低, GZ3 茶样与 GZ4 茶样相差不大。茶氨酸是茶叶中特征性氨基酸, 5 个茶样中, 其含量在 12.95 ~ 25.15 mg·g⁻¹, 明显高于其他 17 种游离氨基酸含量, 以 GZ1 茶样茶氨酸含量最高, 其次为 GZ5 茶样和 GZ4 茶样,

GZ3 茶样茶氨酸含量最低。

游离氨基酸组分中, 呈味氨基酸可分为: 鲜味氨基酸 (茶氨酸、天冬氨酸、谷氨酸)、甜味氨基酸 (丙氨酸、赖氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丝氨酸和苏氨酸)^[9]、苦味氨基酸 (组氨酸、蛋氨酸、缬氨酸、精氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和酪氨酸), 和味氨基酸 (半胱氨酸)^[10]。由表 3 可知, 鲜味氨基酸天冬氨酸、谷氨酸含量较高于其他氨基酸组分, 除 GZ5 茶样中天冬氨酸含量略低, 其他 4 个茶样天冬氨酸含量差异不大, 均在 2.52 ~ 2.77 mg·g⁻¹; 5 个茶样谷氨酸含量在 3.19 ~ 4.49 mg·g⁻¹。甜味氨基酸包括丝氨酸、脯氨酸等, 脯氨酸在 GZ1 和 GZ2 两茶样中的含量分别高达 6.50 mg·g⁻¹ 和 7.18 mg·g⁻¹, 显著高于其他 3 个茶样; 丝氨酸在 GZ4 茶样中最高。苦味氨基酸在 5 个茶样中含量均较低, 亮氨酸在 1.02 ~ 1.54 mg·g⁻¹, 以 GZ5 茶样最高, GZ3 茶样最低; 精氨酸在 0.40 ~ 2.37 mg·g⁻¹, GZ4 茶样最高, GZ1 茶样最低。结果表明: 不同茶样氨基酸含量、茶氨酸含量及鲜味氨基酸总量上差异显著, 其中 GZ1 茶样氨基酸总量、茶氨酸含量及鲜味氨基酸总量最高。

表 3 绿茶样品氨基酸含量

指标 Index	GZ1	GZ2	GZ3	GZ4	GZ5
天冬氨酸 Aspartic acid (Asp)	2.75 ± 0.16 a	2.52 ± 0.08 a	2.62 ± 0.13 a	2.77 ± 0.32 a	1.86 ± 0.14 b
谷氨酸 Glutamate (Glu)	4.49 ± 0.22 a	3.41 ± 0.14 b	4.21 ± 0.26 a	3.19 ± 0.08 b	3.19 ± 0.27 b
丝氨酸 Serine (Ser)	0.99 ± 0.06 a	0.59 ± 0.02 bc	0.66 ± 0.11 b	1.12 ± 0.14 a	0.48 ± 0.04 c
组氨酸 Histidine (His)	0.44 ± 0.02 a	0.27 ± 0.01 c	0.48 ± 0.04 a	0.36 ± 0.01 b	0.35 ± 0.08 b
甘氨酸 Glycine (Gly)	0.06 ± 0.00 b	0.05 ± 0.00 c	0.06 ± 0.01 b	0.07 ± 0.01 a	0.05 ± 0.01 c
苏氨酸 Threonine (Thr)	0.56 ± 0.01 b	0.44 ± 0.02 c	0.54 ± 0.02 b	0.69 ± 0.08 a	0.32 ± 0.02 d
精氨酸 Arginine (Arg)	6.40 ± 0.08 a	1.36 ± 0.13 c	1.03 ± 0.03 d	2.37 ± 0.09 b	1.12 ± 0.05 d
丙氨酸 Alanine (Ala)	0.49 ± 0.01 a	0.32 ± 0.01 c	0.38 ± 0.03 b	0.47 ± 0.05 a	0.31 ± 0.02 c
酪氨酸 Tyrosine (Tyr)	0.38 ± 0.02 b	0.33 ± 0.02 c	0.42 ± 0.03 ab	0.45 ± 0.04 a	0.07 ± 0.00 d
半胱氨酸 Cysteine (Cys)	0.76 ± 0.01 b	0.59 ± 0.02 cd	0.69 ± 0.07 bc	0.94 ± 0.11 a	0.50 ± 0.05 d
缬氨酸 Valine (Val)	0.37 ± 0.02 b	0.26 ± 0.00 c	0.37 ± 0.02 b	0.59 ± 0.07 a	0.09 ± 0.00 d
蛋氨酸 Methionine (Met)	0.28 ± 0.13 c	0.29 ± 0.00 c	0.34 ± 0.02 b	0.44 ± 0.03 a	0.13 ± 0.01 d
异亮氨酸 Isoleucine (Iso)	0.30 ± 0.02 c	0.29 ± 0.01 c	0.37 ± 0.02 b	0.51 ± 0.05 a	0.06 ± 0.00 d
苯丙氨酸 Phenylalanine (Phe)	0.16 ± 0.01 ab	0.08 ± 0.06 bc	0.11 ± 0.02 b	0.19 ± 0.08 a	0.03 ± 0.00 c
赖氨酸 Lysine (Lys)	0.88 ± 0.06 b	0.64 ± 0.03 c	0.85 ± 0.14 b	1.42 ± 0.17 a	0.17 ± 0.01 d
亮氨酸 Leucine (Leu)	1.33 ± 0.07 b	1.21 ± 0.06 c	1.02 ± 0.08 d	1.09 ± 0.14 cd	1.54 ± 0.07 a
脯氨酸 Proline (Pro)	6.50 ± 0.25 b	7.18 ± 0.24 a	2.80 ± 0.02 c	1.75 ± 0.21 d	1.37 ± 0.14 e
茶氨酸 Theanine (Thea)	25.15 ± 0.08 a	14.40 ± 0.25 d	12.95 ± 0.68 e	17.94 ± 1.13 c	19.48 ± 0.52 b
游离氨基酸总量 Total free amino acids (TFAC)	70.64 ± 2.82 a	51.64 ± 1.06 b	46.91 ± 0.74 c	48.85 ± 2.68 bc	38.80 ± 3.19 d
鲜味氨基酸 Flavor amino acid (FAC)	32.40 ± 0.23 a	20.34 ± 0.23 c	19.78 ± 0.62 c	23.91 ± 0.81 b	24.53 ± 0.37 b
甜味氨基酸 Sweet amino acid (SAC)	9.49 ± 0.25 a	9.23 ± 0.21 a	5.28 ± 0.30 b	5.53 ± 0.25 b	2.70 ± 0.21 c
苦味氨基酸 Bitter amino acid (BAC)	9.66 ± 0.12 a	4.10 ± 0.11 c	4.15 ± 0.14 c	6.01 ± 0.27 b	3.39 ± 0.09 d

5 个茶样中氨基酸总量、鲜味氨基酸含量均较高，与感官评价结果“醇、爽”相一致，说明高含量的氨基酸是形成绿茶滋味特征差异的重要因素。

2.2.3 绿茶不同滋味特征主要贡献物质分析

对贵州 5 个代表茶样中主要滋味物质的含量进行主成分分析，用 5 个绿茶茶样在前两个主成分上的得分绘制散点图和载荷图（图 1），前两个主成分的总方差解释度达到 72.63%。由图 1 主成分分析所示，GZ5、GZ3、GZ2 茶样和 GZ4、GZ1 茶样在主成分 1 上得到明显分离聚类。由图 1-B 发现，氨基酸总量、谷氨酸、茶氨酸和咖啡碱等物质在第一主成分中贡献最大，水浸出物、茶多酚、ECG、EC 和 EGCG 是贡献主成分 2 的主要变量，解释了主成分 2 方差的 28.21%，结合表 2 和表 3，GZ4 茶样在第 1 主成分上得分较高，鲜爽度较高；而其他茶样得分较低，鲜爽度较低。GZ4 茶样在第 2 主成分上得分较高，苦涩味较低；而 GZ3 茶样在第 2 主成分上得分较高，苦涩较重。

2.3 电子舌技术评估不同代表性绿茶滋味特征

2.3.1 电子舌味觉值方差分析

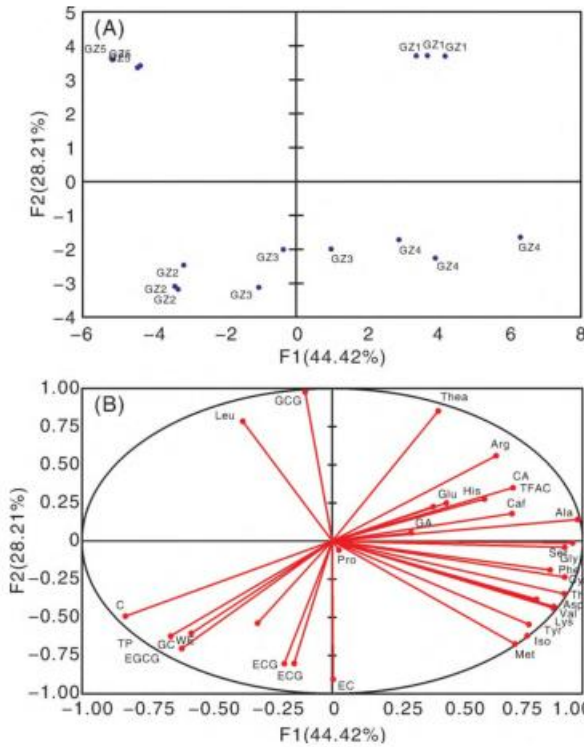


图 1 不同滋味特征绿茶主成分得分图、载荷图
Fig.1 Principal component score graph and load graph of green tea with different taste characteristics

对电子舌 4 根传感器的响应信号值作单因素方差分析, 结果见表 4。从表 4 可看出, 各传感器间的组间误差比组内误差大得多, 说明误差主要来源于各传感器。各传感器的方差分析显著性水平平均小于 0.01, 说明不同代表性茶样的茶汤对各传感器响应信号值有极显著影响, 即根据各传感器对茶汤的响应值能够将 5 种茶样明显区分开。

2.3.2 电子舌传感器味觉值强度分析

茶叶感官评价主要是传统的感官评价方法, 但该方法易受评茶人员主观因素和环境因素的影响, 在一定程度上限制了其评价的客观性; 不同的味觉成分有各自的味觉特征, 在不同的浓度下表现出不同的强度, 并且由于其各自的阈值和呈味特征不同对茶味有不同程度的贡献。电子舌是综合表征味觉成分的共同味道特性, 避免评茶人员主观因素及仅以味觉成分含量反映茶叶质量优劣的误区, 可为绿茶滋味品质的科学评价提供了新的思路和方法。基于上述感官评价结果, 采用电子舌评价贵州 5 个代表茶样滋味特

征, 得到不同茶样的味觉指标雷达图和点线图, 如图 2 所示。5 个绿茶样品的图形轮廓极为相似, 都具有较高的鲜味值和丰富度, 与感官审评结果“醇、鲜爽”较一致, 结合图 2-B 可知, GZ4 茶样在丰富度和鲜味强度上略低, GZ1 茶样在鲜味强度上最高, GZ3 茶样在丰富度强度上最高。各绿茶样品涩味值较高且没有显著性差异。苦味感受器上的响应值都表现较低, 苦味强度很弱与感官审评结果及主成分分析结果相对应(图 2-A), 可能是由于茶样中含有高含量氨基酸或者甜味物质降低了苦味^[11]。由此, 本研究发现, 5 个绿茶样品在鲜味强度和丰富度响应值均有较高的特征, 整体上看, 涩味、鲜味和丰富性是贵州绿茶主要的味觉特征。

结合表 1 和图 2 发现, 电子舌的检测结果与感官审评结果部分结果较吻合。在感官评价中, 5 个茶样感官审评结果均表现出“醇、鲜爽”的滋味特征(表 1), 电子舌检测结果也表明 5 个茶样有较高的丰富度和鲜味值(图 2)。

表 4 各传感器味觉值相关性

Table 4 Correlation of each sensor's taste value

呈味属性 Taste property	F 值 F value	均方根误差 Root mean square error	
		组间 Between groups	组内 Within group
酸味 Sour taste	1579.797	13.807	0.009
苦味 Bitterness	413.081	2.032	0.005
涩味 Astringent taste	12.878	0.413	0.032
鲜味 Fresh taste	5438.599	28.607	0.005
丰富度 Richness	252.694	16.560	0.066

$P < 0.01$

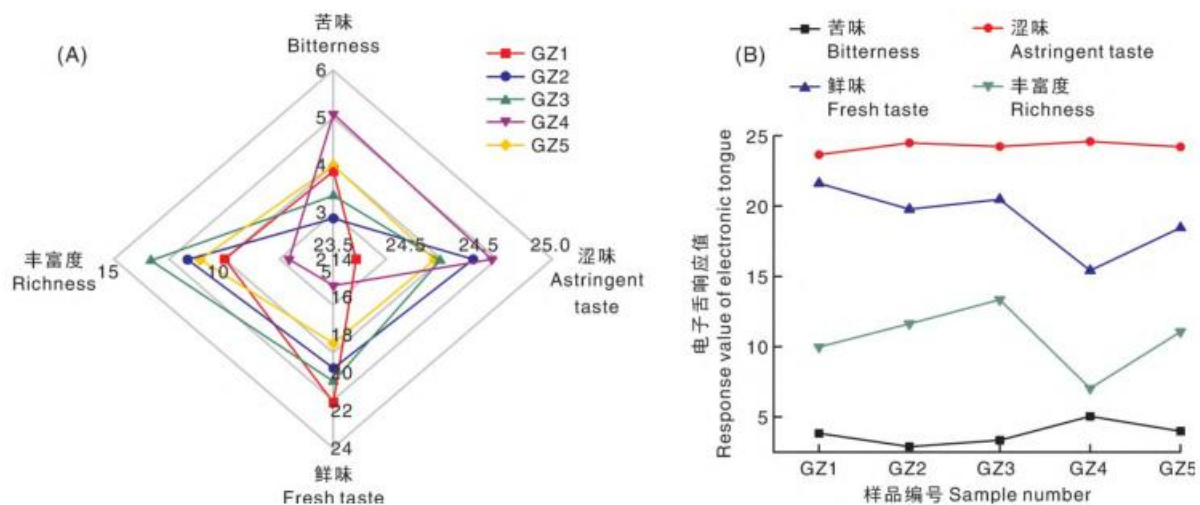


图 2 电子舌味觉值雷达图和点线图

Fig.2 Electronic tongue taste value radar chart and dotted line chart

2.3.3 电子舌滋味属性与特征滋味成分关联性分析

绿茶的滋味特征反映了它们的化学特征。为了理解滋味品质与主要活性化合物之间的关系,建立了基于5个茶样滋味属性差异和滋味化学组分及其比例的多因素分析,以探索滋味-味觉化合物的关联。涩味、苦味、丰富度3种绿茶电子舌感官滋味属性中(图3-A),化学组分儿茶素总量、咖啡碱、茶多酚、儿茶素组分及化学组分比值变量分布于第一、三、四象限中。苦度与咖啡碱、咖啡碱/儿茶素总量有较高的相关性。涩度与ECG、水浸出物、EGCG/儿茶素总量相关性较高。丰富度与EGCG、茶多酚、儿茶素总量相关性较高。对氨基酸组分与鲜味的关联性作进一步相关分析,变量关联图(图3-B)显示,谷氨酸、天冬氨酸、茶氨酸、鲜味氨基酸总量、氨基酸总量、氨基酸/咖啡碱、甜味氨基酸总量、氨基酸总量/儿茶素总量、甜味氨基酸总量/氨基酸总量与鲜味朝向一致,表明变量间具有较高的相关性。鲜味与谷氨酸、天冬氨酸、脯氨酸、氨基酸总量有

较强相关性。结合样品主成分分析(图1)显示,谷氨酸、天冬氨酸、茶氨酸、氨基酸总量是第一主成分上区分不同样品的重要因子,经感官评价鲜味较高的GZ4茶样,谷氨酸、茶氨酸、氨基酸总量均高于感官评价鲜味较低的茶样。综上表明,茶氨酸、谷氨酸、氨基酸总量与鲜味有较强相关性,推测在绿茶呈味方面有较大贡献,是影响绿茶感官评分高低重要因素。

3 讨论与结论

滋味是评价茶叶品质的关键因素^[12]。多酚类、氨基酸、咖啡碱等滋味化合物是茶汤滋味主要贡献物质^[13-15],但因性质、组成以及含量不同,感官呈味强度也不同^[12]。水浸出物是茶汤浓度的主要因素^[2],多酚类是形成茶汤苦涩味强弱的关键因素^[16],陈美丽等^[19]认为,高水浸出物、高茶多酚是茶汤形成涩而浓的主要因素。本研究分析5个代表性绿茶中水浸出物、儿茶素、茶多酚含量,表明:5个茶样水浸出物质量分数均较高,儿茶素组分总量和茶多酚含量均较低,感官结果也表明,部分茶样茶汤具有浓的特点,本研究结果高水浸出物、低茶多酚、低儿茶素组分说明了贵州绿茶浓而不涩的特点^[2,18]。绿茶滋味醇度是茶汤浓度与鲜度协调形成的结果,氨基酸与茶多酚的比值反映了茶汤滋味的醇度^[19]。多酚类含量的降低和氨基酸含量的增加,使茶叶呈现出更醇厚的口感^[20]。虽然氨基酸在茶中所占的比例很小,但氨基酸是绿茶鲜味的主要贡献物质^[21]。陈美丽等^[19]研究表明,氨基酸含量与水浸出物质量分数的比值高时茶汤滋味具有鲜爽回甘的特征,氨基酸含量与鲜爽度具有相关性,且高含量的咖啡碱能增强茶汤滋味爽口。本研究所测茶样咖啡碱含量和游离氨基酸总量均较高,感官结果也表明,5个茶样滋味均表现醇爽特征。茶汤中的滋味物质并不仅仅呈现单一的滋味属性。茶叶的滋味特征是多种滋味物质综合反应的结果。它们之间有协同作用和抑制作用。一种物质的增加或减少会引起其他物质味道特征强度的变化,是互作关系^[22],研究表明,茶汤中部分低含量的苦味氨基酸(精氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸等)能增强茶汤及其他氨基酸鲜味

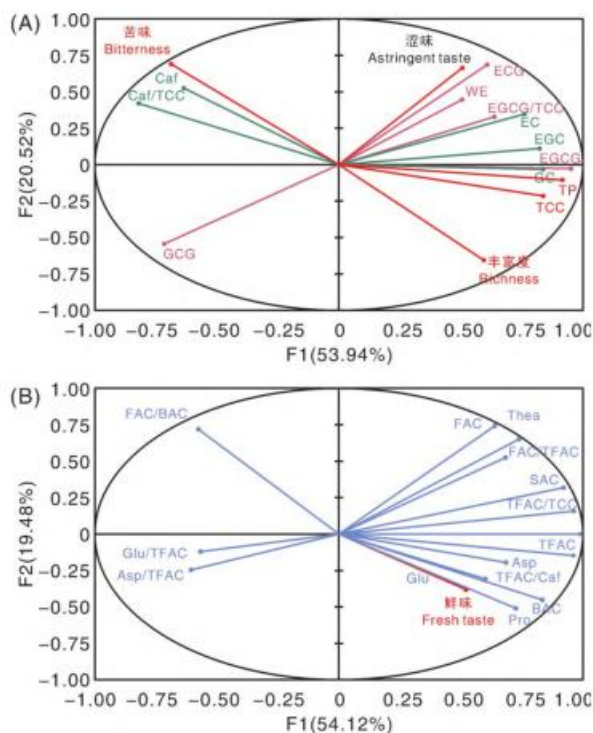


图3 电子舌感官属性与滋味特征成分间相关性

Fig. 3 Correlation between sensory attributes of electronic tongue and taste characteristics

感^[23-24],咖啡碱能和其他物质产生互作作用:能与氨基酸、茶多酚形成具有鲜爽味的络合物降低茶汤苦涩味^[25]。氨基酸抑制咖啡碱和儿茶素引起的苦涩味^[11,26],从而相对增强了茶汤的醇度和鲜爽度。

滋味是人体感官味觉对溶于茶汤中滋味物质的综合感知,是各种滋味物质的综合作用的结果^[13]。电子舌系统的味觉传感器阵列相当于人体的“味觉器官”,输出的响应信号是待测液的整体信息^[27],茶叶品质成分组成、含量差异导致电子舌输出值的差异,薛长风等^[28]研究电子舌测定茶叶滋味与特征成分相关性研究中表明:茶多酚与涩味呈高度相关,咖啡碱与苦味呈高度相关。范培珍等^[29]研究不同等级霍山黄芽茶滋味的电子舌评价及呈味氨基酸组成,结果表明:游离氨基酸总量和茶氨酸含量的差异是不同等级黄茶差异的主要因素,电子舌测定鲜度值与氨基酸含量呈正相关。在滋味成分与感官评分之间的相关性上,沈强等^[30]研究认为,茶多酚、酚氨比、儿茶素是正安白茶滋味浓度、厚度和涩度的主要贡献物质。范方媛等^[20]研究表明,氨基酸与茶汤的鲜度之间关联较大,谷氨酸、茶氨酸/氨基酸值及鲜味/氨基酸值三者与黄茶感官滋味鲜感有较强相关性。本研究利用电子舌对茶汤滋味特征检测,表明所测茶样涩味属性电子舌响应值较高,涩味与ECG、EC、GC、EGCG/儿茶素总量相关性较高。苦味与咖啡碱、咖啡碱/儿茶素总量有较高的相关性。丰富度与EGCG、EGC、茶多酚、儿茶素总量、苦味氨基酸相关性较高,鲜味与谷氨酸、天冬氨酸、脯氨酸、氨基酸总量有较强相关性。吴瑞梅等^[31]在化学仪器与电子舌表征绿茶滋味感官品质的比较研究中,利用电子舌与感官评分建立反向传播人工神经网络(BP-ANN)模型相关系数达0.932,电子舌方法能更好地预测绿茶的滋味感官品质。本研究5个茶样用电子舌检测的结果表明,GZ1茶样具有较高的鲜度,较低的苦涩度,感官评分最高,GZ4茶样具有较高的涩度较低的鲜度,感官评分最低,与前人研究结果较一致。

综上所述:高水浸出物、高氨基酸、高咖啡碱、低茶多酚、低儿茶素组分形成了贵州绿茶醇、爽的滋味特征。电子舌评价结果与感官审评结

果具有一致性,电子舌测定鲜味等级在一定程度上可以反映茶叶品质特征。

参考文献(References):

- [1] 郭建军,周艺,王小英,等. 贵州不同产区代表绿茶的品质特征及香气组分分析[J]. 食品工业科技, 2021,42(5): 78-84,92.
- [2] GUO J J, ZHOU Y, WANG X Y, et al. Analysis of quality features and aroma components in Guizhou representative green tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(5): 78-84,92. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李俊,蔡滔,周雪丽,等. 贵州绿茶品质分析研究[J]. 中国茶叶, 2017,39(7): 22-26.
- [4] LI J, CAI T, ZHOU X L, et al. Quality analysis of Guizhou green tea[J]. *China Tea*, 2017,39(7): 22-26. (in Chinese)
- [5] 赵华富,周顺珍,王家伦,等. 贵州绿茶品质状况综合评价[J]. 安徽农业科学, 2021,49(1): 172-175.
- [6] ZHAO H F, ZHOU S Z, WANG J L, et al. Comprehensive evaluation on the quality conditions of Guizhou green tea[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(1): 172-175. (in Chinese with English abstract)
- [7] XU S S, WANG J J, WEI Y M, et al. Metabolomics based on UHPLC-orbitrap-MS and global natural product social molecular networking reveals effects of time scale and environment of storage on the metabolites and taste quality of raw Pu-erh tea[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(43): 12084-12093.
- [8] 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.
- [9] LIU P P, DENG Y L, YIN J F, et al. Quantitative analysis of the taste and its correlation research of chemical constituents of green tea[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(12): 173-181. (in Chinese with English abstract)
- [10] KANEKO S, KUMAZAWA K, MASUDA H, et al. Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(7): 2688-2694.
- [11] 刘爽. 绿茶鲜爽味的化学成分及判别模型研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [12] LIU S. Study on the fresh and brisk taste and its discriminant model of green tea[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [13] 曹学丽,宋沙沙,龙立梅. 绿茶品质及其审评方法的研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2014,32(1): 47-52.
- [14] CAO X L, SONG S S, LONG L M. Research process on quality assessment methods of green tea[J]. *Journal of Food Sci-*

- ence and Technology, 2014, 32 (1): 47–52. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张婷, 刘慧琴, 郭勤卫, 等. 十六份辣椒材料游离氨基酸组成的主成分分析与聚类分析 [J]. 浙江农业学报, 2021, 33 (4): 640–650.
- ZHANG T, LIU H Q, GUO Q W, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of 16 pepper materials [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2021, 33 (4): 640–650. (in Chinese with English abstract)
- [10] 云金虎, 江皓, 韩文学, 等. 不同品种海棠叶茶游离氨基酸组成分析与评价 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46 (19): 237–243.
- YUN J H, JIANG H, HAN W X, et al. Analysis and evaluation of free amino acid in different cultivars of crabapple leaf tea [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46 (19): 237–243. (in Chinese with English abstract)
- [11] ZHANG Y, VENKITASAMY C, PAN Z, et al. Novel umami ingredients: umami peptides and their taste [J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82 (1): 16–23.
- [12] 金孝芳. 绿茶滋味化合物研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- JIN X F. The research on taste compounds of green tea [D]. Chongqing: Southwest University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [13] 银霞, 黄建安, 张曙光, 等. 绿茶滋味物质的研究进展 [J]. 茶叶通讯, 2018, 45 (1): 9–13, 19.
- YIN X, HUANG J A, ZHANG S G, et al. Research progress of chemical components deciding the green tea taste [J]. *Journal of Tea Communication*, 2018, 45 (1): 9–13, 19. (in Chinese with English abstract)
- [14] ZHUANG J H, DAI X L, ZHU M Q, et al. Evaluation of astringent taste of green tea through mass spectrometry-based targeted metabolic profiling of polyphenols [J]. *Food Chemistry*, 2020, 305: 125507.
- [15] TANG Y M, YU X Y, ZHANG Y, et al. Sensory descriptive analysis of green tea: correlation with chemical components [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 461 (1): 012013.
- [16] 张英娜, 嵇伟彬, 许勇泉, 等. 儿茶素呈味特性及其感官分析方法研究进展 [J]. 茶叶科学, 2017, 37 (1): 1–9.
- ZHANG Y N, JI W B, XU Y Q, et al. Review on taste characteristic of catechins and its sensory analysis method [J]. *Journal of Tea Science*, 2017, 37 (1): 1–9. (in Chinese with English abstract)
- [17] 阮宇成, 王月根. 绿茶滋味品质醇、鲜、浓的生化基础 [J]. 茶叶通讯, 1987, 14 (4): 1–4.
- RUAN Y C, WANG Y G. The biochemical basis of green tea taste, quality, freshness and concentration [J]. *Tea Communication*, 1987, 14 (4): 1–4. (in Chinese)
- [18] 孙达, 龚恕, 崔宏春, 等. 不同品种茶树春秋鲜叶超微绿茶粉适制性研究 [J]. 浙江农业学报, 2021, 33 (3): 437–446.
- SUN D, GONG S, CUI H C, et al. Suitability of fresh spring and autumn leaves from different tea cultivars for ultramicro green tea powder production [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2021, 33 (3): 437–446. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陈美丽, 唐德松, 龚淑英, 等. 绿茶滋味品质的定量分析及其相关性评价 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2014, 40 (6): 670–678.
- CHEN M L, TANG D S, GONG S Y, et al. Quantitative analysis and correlation evaluation on taste quality of green tea [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2014, 40 (6): 670–678. (in Chinese with English abstract)
- [20] 范方媛, 唐贵珍, 龚淑英, 等. 典型黄茶滋味品质特征属性及相关滋味化学组分 [J]. 中国农业科学, 2020, 53 (2): 371–382.
- FAN F Y, TANG G Z, GONG S Y, et al. Typical yellow tea taste characteristic and its related taste-chemical compositions [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53 (2): 371–382. (in Chinese with English abstract)
- [21] YU Z M, YANG Z Y. 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.
- [22] KEAST R S J, BRESLIN P A S. Modifying the bitterness of selected oral pharmaceuticals with cation and anion series of salts [J]. *Pharmaceutical Research*, 2002, 19 (7): 1019–1026.
- [23] DALA-PAULA B M, DEUS V L, TAVANO O L, et al. *In vitro* bioaccessibility of amino acids and bioactive amines in 70% cocoa dark chocolate: what you eat and what you get [J]. *Food Chemistry*, 2021, 343: 128397.
- [24] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花草茶游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析 [J]. 食品科学, 2019, 40 (10): 243–250.
- LIU W, ZHANG Q, LI Z J, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds [J]. *Food Science*, 2019, 40 (10): 243–250. (in Chinese with English abstract)
- [25] 宋楚君, 范方媛, 龚淑英, 等. 不同产地红茶的滋味特征及主要贡献物质 [J]. 中国农业科学, 2020, 53 (2): 383–394.
- SONG C J, FAN F Y, GONG S Y, et al. Taste characteristic and main contributing compounds of different origin black tea [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53 (2): 383–394. (in Chinese with English abstract)

- [26] 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.
- [27] GUPTA H, SHARMA A, KUMAR S, et al. E-tongue: a tool for taste evaluation [J]. *Recent Patents on Drug Delivery & Formulation*, 2010, 4(1): 82–89.
- [28] 薛长风, 裴志胜, 文攀, 等. 基于电子舌的茶叶滋味与特征成分相关性分析 [J]. *食品科技*, 2018, 43(7): 316–321.
- XUE C F, PEI Z S, WEN P, et al. Analysis of flavor and characteristic component correlation of tea based on electronic tongue [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(7): 316–321. (in Chinese with English abstract)
- [29] 范培珍, 郑雨婷, 王梦馨, 等. 不同等级霍山黄芽茶滋味的电子舌评价及呈味氨基酸组成 [J]. *贵州农业科学*, 2017, 45(5): 105–109.
- FAN P Z, ZHENG Y T, WANG M X, et al. Taste and delicious amino acid composition of huoshanhuangya tea with different grades determined by an electronic tongue [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2017, 45(5): 105–109. (in Chinese with English abstract)
- [30] 沈强, 张小琴, 许凡凡, 等. 不同时期正安白茶呈味物质变化及滋味评价 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(24): 31–35.
- SHEN Q, ZHANG X Q, XU F F, et al. Changes of odorous substance and taste attributes of the Zheng'an Bai Cha in different times [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(24): 31–35. (in Chinese with English abstract)
- [31] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 化学仪器与电子舌表征绿茶滋味感官品质的比较 [J]. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2013, 34(2): 161–165.
- WU R M, ZHAO J W, CHEN Q S, et al. Quantitative evaluation comparison of sensory taste quality for green tea by chemistry instrument and electronic tongue methods [J]. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 2013, 34(2): 161–165. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑 张 韵)