

电子鼻技术与感官审评对凤庆滇红茶香气的相关性分析

何鲁南¹, 李 果¹, 杨立云², 胡嘉慧¹, 闫文婷³, 吕才有^{1*}

(1. 云南农业大学 龙润普洱茶学院, 云南 昆明 650201; 2. 凤庆县农业农村局, 云南 凤庆 675900;
3. 昆士兰大学, 澳大利亚 昆士兰州 4122)

摘 要: 茶叶感官审评是评价茶叶品质最普遍、最直观的方式, 电子鼻也被广泛应用于茶叶香气物质的分析。本试验采用电子鼻技术对凤庆县 49 个滇红茶的香气进行检测, 结合感官审评评分, 通过 WinMuster、SPSS 22 软件对检测数据进行分析, 得到凤庆滇红茶的香气物质特征以及电子鼻与感官审评的相关系数。结果显示, 各茶样间叶底法的判别效果优于干茶法和茶汤法。茶汤法与叶底法的 G/G₀ 响应值明显高于干茶法, 三种香气采集方式均为硫化物类、氮氧化合物、芳香成分有机硫化物、甲基类、醇醛酮类响应值最大, 变化最明显, 且古树红和野生红茶的响应值较其他红茶高。感官审评中工夫红茶各茶样间的评分差异较大, 而名优滇红茶大部分茶样间的评分差异较小, 这与电子鼻检测结果相一致。感官审评中香气和滋味的评分呈极显著正相关, 叶底法与茶汤法中部分传感器与感官评分呈显著正相关, 但干茶法与感官评分的相关性不显著。电子鼻技术与茶叶感官审评具有一定的相关性, 两者相结合对茶叶香气的评价与鉴别具有重要意义。

关键词: 电子鼻; 凤庆滇红茶; 感官审评; 相关性分析

中图分类号: S571.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-525X (2020) 02-237-247

Correlation Analysis Between Electronic Nose Technology and Sensory Evaluation on the Aroma of Fengqing Black Tea

HE Lu-nan¹, LI Guo¹, YANG Li-yun², HU Jia-hui¹, YAN Wen-ting³, LV Cai-you^{1*}

(1. College of Longrun Pu-erh Tea, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Fengqing County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Fengqing 675900, China; 3. University of Queensland, Queensland 4122, Australia)

Abstract: Sensory evaluation of tea leaves is the most common and intuitive way to evaluate tea quality. Electronic nose is also widely used in the analysis of tea aroma substances. In this study, electronic nose technology was used to detect the aroma of 49 black teas in Fengqing County, combined with the sensory evaluation scores, analyzed the detection data through WinMuster and SPSS22 software, and obtained the aroma substance characteristics of Fengqing black tea and the correlation coefficient between electronic nose and sensory evaluation. The results showed that the discrimination effect of the brewed leaf method was better than that of the dry tea method and the tea soup method. The response values of G/G₀ of tea soup method and brewed leaf method were significantly higher than that of dry tea method. The response values of sulfur compounds, nitrogen oxygen compounds, aromatic composition organic sulfide, methyl class and aldol ketone were the largest and the changes were the most obvious. The response values of ancient tree black tea and wild black tea were higher than other black tea. In sensory evaluation, the scores of Congou black tea samples were significantly different, while the scores of most of famous Yunnan black tea samples were slightly different, which was consistent with the results of electronic nose test. In the sensory evaluation, the scores of aroma and taste were significantly positively correlated, and some sensors in brewed leaf method and tea soup method were significantly positively correlated with sensory scores, but the correlation between dry tea method and sensory scores was not significant. The combination of electronic nose

收稿日期: 2019-09-10

修订日期: 2020-02-18

基金项目: 国家现代农业(茶叶)产业技术体系专项(CARS-19)

作者简介: 何鲁南(1995-), 女, 浙江台州人, 在读硕士研究生, 主要从事茶叶加工与质量安全研究。

* 通讯作者: 吕才有(1964-), 男, 云南玉溪人, 教授, 主要从事茶叶加工与综合利用及茶文化研究。E-mail: 2495846526@qq.com

technology and sensory evaluation of tea leaves is of great significance for the evaluation and identification of tea aroma

Key words: Electronic nose, Fengqing Black Tea, Sensory evaluation, Correlation analysis

茶叶香气是评价茶叶品质的重要因子之一^[1], 感官审评方法是现如今运用较为广泛的对茶叶香气的评价方法^[2], 是审评人员运用正常的嗅觉对茶叶的香气进行综合分析和评价, 得出茶叶的香型是人的嗅觉器官对各种香气物质协调形成对该茶的特征香型的综合反应^[3]。电子鼻是一种由气敏传感器阵列和模式识别系统组成的能识别简单或复杂气体的仪器^[4]。电子鼻技术克服了单个传感器的缺点, 既能检测特定的气体, 又能评价混合气体或挥发性化学成分^[5]。因此利用电子鼻技术对茶叶香气进行综合评价, 结合气味整体信息和感官审评来考察茶叶香气的特征与变化具有重要意义。

近年来, 电子鼻被广泛应用于茶行业, 是快速检测茶叶香气和有效识别不同品种、产地、等级和生产时间的重要方法^[6]。杨春兰^[7]等利用电子鼻对 7 个不同贮藏时间下的黄山毛峰进行检测, 并建立了茶叶贮藏时间的 BP 神经网络预测模型。赵苗苗等^[8]通过电子鼻结合 GC-MS 的方法可以有效分析及区分临沧地区的 16 个晒青茶样的香气成分。D Ralisnawati 等^[9]利用电子鼻采用主成分分析 (PCA) 方法研究了风味

绿茶在贮藏过程中第 0 d 到第 6 d 的香气变化。Yang Xuemei^[10]等采用电子鼻技术分析普洱茶的特征挥发性成分, 结果表明不同贮藏年限的普洱茶的挥发性成分有很大差异。湛珍^[11]等研究表明电子鼻能够将花香型红茶在加工过程中各个阶段的样品区分开来, 且有一定变化趋势。

本试验利用电子鼻技术对云南省凤庆县茶办提供的不同茶叶企业生产的 49 个滇红茶样进行检测, 再通过 WinMuster 软件, 采用 PCA (主成分分析法)、LDA (线性判别分析法) 和 Loading (传感器区别贡献率分析法) 分别对茶样进行分析, 运用 SPSS 22 软件对电子鼻检测得到的不同茶样的 G/Go 电导率比值进行方差分析, 最后与感官审评结果相结合, 进行皮尔森 (Pearson) 相关性分析, 得到凤庆县滇红茶的香气特征以及电子鼻与感官审评的相关性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为云南省凤庆县农业农村局 (原凤庆县茶办) 提供的凤庆县不同茶叶企业生产的 49 个不同类别的滇红茶样 (表 1)。

表 1 茶样信息

Table 1 Tea sample information

编号	名称	编号	名称	编号	名称
GF1	金峰礼品	MY3	单芽红茶	MY21	古树红
GF2	经典 1958	MY5	龙泉金芽	MY22	古树红茶
GF3	传承 1939	MY6	金芽	MY23	古树红茶
GF4	凤庆红茶	MY7	金芽魂	MY24	丹青引·古树红
GF5	云眉	MY8	金丝	MY25	平河古树红
GF6	香归红茶	MY9	金针	MY26	古树红
GF7	工夫红茶有机特级	MY10	境界红茶	MY27	昭君出塞·野生红
GF8	工夫红茶	MY11	有机金芽王	MY28	枞野茗
GF9	工夫香红	MY12	致境	MY29	野生红
GF10	传统工夫红茶	MY13	凤毫	MY30	古树林·箬野
GF11	工夫红茶	MY14	凤庆金芽红	MY31	野生古树红
GF12	工夫红茶	MY15	大金针	MY32	野生古树
GF13	六山小红	MY16	经典特级	MY33	野生红韵
GF14	工夫红茶	MY17	特技松针	MY34	中国红
GF15	滇红工夫	MY18	古树红	MY35	中国红
MY1	裕毫金丝	MY19	古树红		
MY2	金芽极品	MY20	滇红古树红		

1.2 仪器设备

PEN3 型便捷式电子鼻(德国 Airsense 公司), 传感器阵列由 10 个金属氧化物气敏传感器组成, 传感器名称与性能见表 2。

表 2 PEN3 的各传感器名称与性能描述

Table 2 Sensor name and performance description of PEN3

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香成分、苯类灵敏
2	W5S	对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	氨类、对芳香成分灵敏
4	W6S	对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分、对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

感官审评设备：样茶盘、审评碗、审评杯、天平、计时器、茶匙、吐茶桶、烧水壶。

1.3 试验方法

1.3.1 香气采集

分别用干茶采集法、茶汤采集法、叶底采集法对茶样香气进行采集。干茶采集法：称取 1 g 茶样放入 100 mL 锥形瓶中，用保鲜膜密封静置 30 min 后进行香气采集；茶汤采集法：在锥形瓶中加入 50 mL 煮沸的超纯水，用保鲜膜密封静置 45 min 后进行香气采集；叶底采集法：将茶汤完全倾倒后，用保鲜膜密封静置 30 min 后进行香气采集。

1.3.2 感官审评

参照国家标准《茶叶感官审评方法(GB/T23776—2018)》，对茶样进行感官审评与评分。茶水比为 1:50，即称取茶样 3 g，注入沸水 150 mL，冲泡时间为 5 min，出汤 - 嗅香气(热嗅) - 尝滋味 - 嗅香气(冷嗅) - 看叶底。因试验只针对香气部分，而香气与滋味是相互影响的，因此只对香气与滋味部分进行评分，评分标准如表 3。

1.3.3 电子鼻测定条件

采集前传感器延迟净化 100 s 至各传感器响应值趋于 1.0000，采集时间为 60 s 对茶样香气

表 3 工夫红茶香气与滋味评分标准表

Table 3 Standard of aroma and taste of Congou black tea

因子	品质特征	给分
香气	嫩香、嫩甜香、花果香	90~99
	高，有甜香	80~89
	纯正	70~79
滋味	鲜醇或甘醇或醇厚鲜爽	90~99
	醇厚	80~89
	尚醇	70~79

进行电子鼻检测后保存数据，每份茶样设定 2 组平行。

1.3.4 数据分析

先用电子鼻自带软件 WinMuster，由于各传感器在 T=55~57s 时的响应值较为平稳，因此，取这 3 s 的响应值，采用 PCA、Loading 与 LDA 对凤庆滇红茶进行模式识别分析，再用 EXCEL 与 SPSS 22 软件，对检测的 G/Go 电导率进行方差分析，最后与感官审评的结果进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 电子鼻对凤庆滇红茶的香气分析

2.1.1 不同采集方式的 PCA 分析与 LDA 分析

如图 1 所示，在 Correlation-M 矩阵下，干茶法 PCA 分析结果为第一主要成分贡献率为 93.25%，第二主要成分贡献率为 5.26%，两者和为 98.51%；茶汤法分别为 91.08%，7.78% 和 98.86%；叶底法分别为 95.86%，3.58% 和 99.44%，基本可以代表茶样的主要信息特征。且干茶法 PCA 分析只能将 MY23、GF8 完全区分出来，茶汤法能将 MY21、GF5、GF7、GF1 完全区分出来，叶底法能将 GF14、GF7、MY21、MY28 完全区分出来。

如图 2 所示，在 Correlation-M 矩阵下，干茶法 LDA 分析结果为第一主要成分贡献率为 34.95%，第二主要成分贡献率为 24.90%，两者和为 59.85%；茶汤法则分别为 41.99%，30.39% 和 72.38%；叶底法分别为 48.64%，23.12% 和 71.76%，基本可以代表茶样的主要信息特征。且干茶法 LDA 分析能将 GF1、GF7、GF8、GF9、MY23、MY33、MY35 茶样完全区分出来，茶

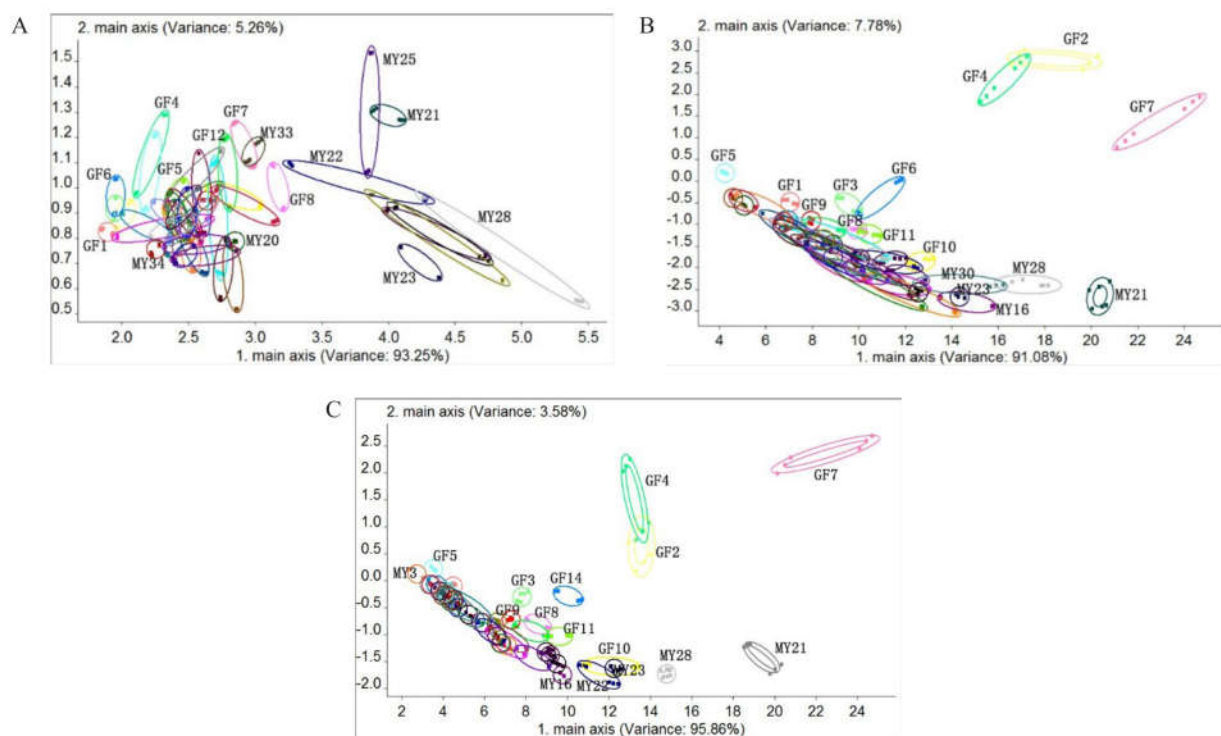


图 1 PCA 分析 (A: 干茶法, B: 茶汤法, C: 叶底法)

Figure 1 PCA analysis (A: dry tea method, B: tea soup method, C: brewed leaf method)

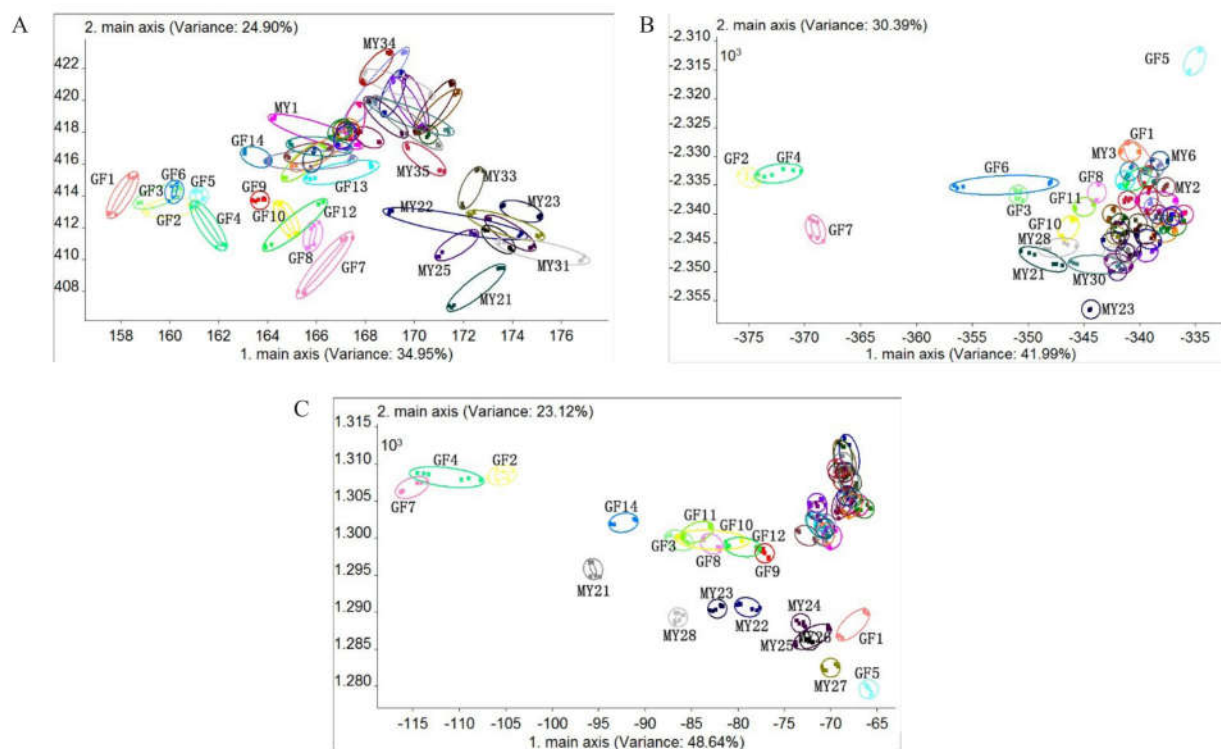


图 2 LDA 分析 (A: 干茶法, B: 茶汤法, C: 叶底法)

Figure 2 LDA analysis (A: dry tea method, B: tea soup method, C: brewed leaf method)

汤法能将 GF5、GF7、MY23 茶样完全区分出来,叶底法能将 GF1、GF2、GF5、GF14、MY21、MY22、MY23、MY27、MY28 茶样完全区分出来。

综上所述,无论是 PCA 分析还是 LDA 分析,叶底法区分度优于干茶法优于茶汤法;三种香气采集方法中,PCA 分析的主成分贡献率均高于 LDA 分析,但 LDA 分析的区分度却明显优于 PCA,但总的来说,PCA 与 LDA 均只能区分部分茶样,不能完全区分所有茶样,这可能与本研究的 49 个茶样均产自凤庆地区有关;且在茶汤法和叶底法中,工夫红茶的区分度较好,而名优滇红茶则不能进行很好的区分,只能区分部分茶样。

2.1.2 不同采集方式的 Loading 分析

在 Correlation-M 矩阵下,三种采集方式的 loading 分析如图 3 所示。干茶法传感器 R7 (W1W) 对应的硫化物类对第一主成分贡献率最大, R9 (W2W) 芳香成分有机硫化物次之; R6 (W1S) 对应的甲基类对第二主成分贡献率最大, R8 (W2S) 醇醛酮类次之。茶汤法与叶

底法的结果均为传感器 R7 (W1W) 对应的硫化物类对第一主成分贡献率最大、R7 (W5S) 氮氧化合物第二, R9 (W2W) 芳香成分有机硫化物第三,且 R7 (W5S) 氮氧化合物对第二主成分的贡献率最大。

2.1.3 不同采集方式的 G/Go 电导率响应值分析

茶汤法与叶底法的 G/Go 响应值明显高于干茶法,这与茶样经过冲泡后挥发性物质的挥发有关。且在三种香气采集方式均为硫化物类 (R7)、氮氧化合物 (R2)、芳香成分有机硫化物 (R9)、甲基类 (R6)、醇醛酮类 (R8) 响应值最大,且变化最明显,因此只对这 5 种传感器的响应值利用 SPSS 22 软件进行单因素方差分析,其响应值差异显著性结果如表 3、表 4 和表 5 所示。

在干茶法中, R7 (硫化物类) 响应值前五的依次为: MY28、MY26、MY24、MY27、MY23, R2 (氮氧化合物) 响应值前五的依次为: MY28、MY26、MY27、MY24、MY23, R9 (芳香成分有机硫化物) 响应值前五的依次为:

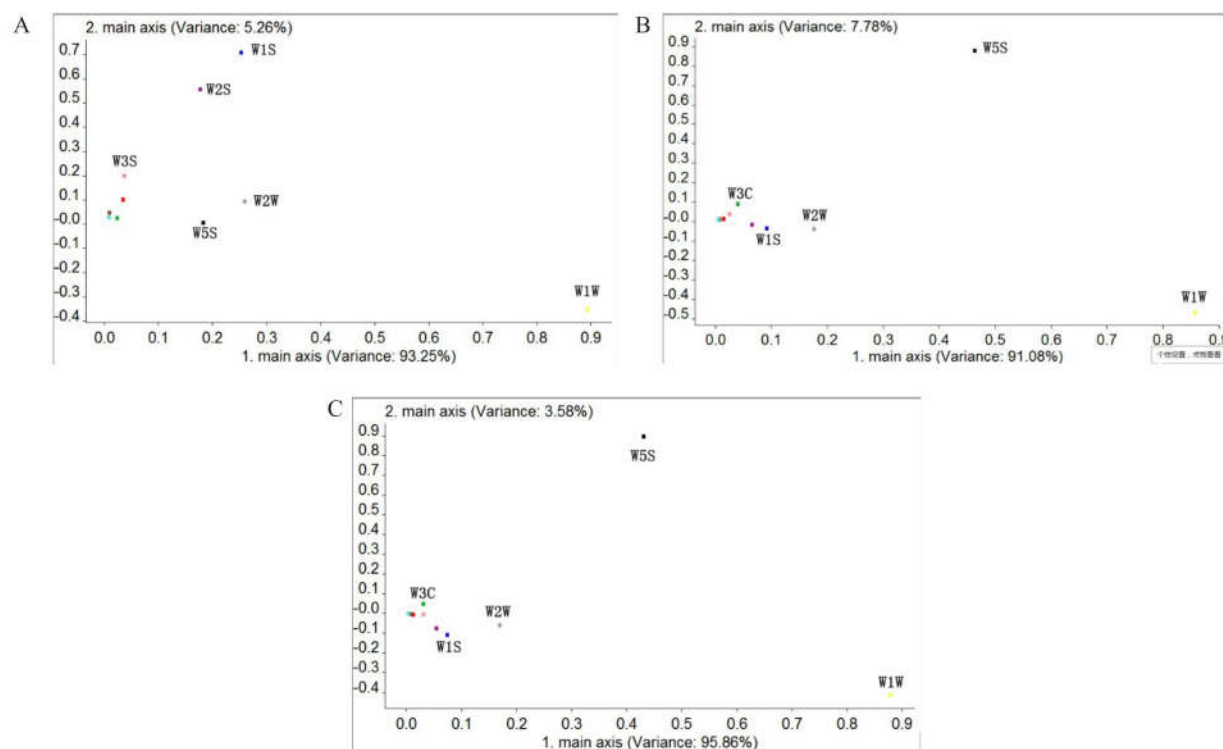


图3 Loading 分析 (A: 干茶法, B: 茶汤法, C: 叶底法)

Figure 3 Loading analysis (A: dry tea method, B: tea soup method, C: brewed leaf method)

表 3 干茶法各传感器 T=55~57s 响应值 (G/G0, 平均值 $\pm$ 标准偏差, n=6)Table 3 T = 55-57s response value of each sensor of dry tea method(G/G0, average value $\pm$ standard deviation, n = 6)

编号	R2	R6	R7	R8	R9
GF1	1.08 $\pm$ 0.02lmn	0.55 $\pm$ 0.01w	1.19 $\pm$ 0.04r	0.64 $\pm$ 0.01q	0.99 $\pm$ 0.01q
GF2	1.11 $\pm$ 0.01ijklmn	0.64 $\pm$ 0.05tuvw	1.27 $\pm$ 0.03r	0.69 $\pm$ 0.05opq	1.04 $\pm$ 0.01pq
GF3	1.11 $\pm$ 0.03ijklmn	0.63 $\pm$ 0.01uvw	1.21 $\pm$ 0.01r	0.70 $\pm$ 0.03opq	1.01 $\pm$ 0.00q
GF4	1.15 $\pm$ 0.01hijklm	0.84 $\pm$ 0.15ghijkl	1.36 $\pm$ 0.04qr	0.88 $\pm$ 0.13efg	1.11 $\pm$ 0.04no
GF5	1.14 $\pm$ 0.01hijklm	0.78 $\pm$ 0.11klmnop	1.39 $\pm$ 0.01pqr	0.85 $\pm$ 0.11fghi	1.11 $\pm$ 0.01no
GF6	1.09 $\pm$ 0.01klmn	0.67 $\pm$ 0.05pqrstuv	1.19 $\pm$ 0.02r	0.74 $\pm$ 0.06klmnop	1.01 $\pm$ 0.01q
GF7	1.30 $\pm$ 0.03efg	1.07 $\pm$ 0.04de	1.97 $\pm$ 0.10efghij	1.02 $\pm$ 0.04cd	1.28 $\pm$ 0.00fghi
GF8	1.41 $\pm$ 0.02c	0.99 $\pm$ 0.06ef	2.27 $\pm$ 0.06d	0.99 $\pm$ 0.05d	1.33 $\pm$ 0.01f
GF9	1.28 $\pm$ 0.01fg	0.82 $\pm$ 0.01ijklm	1.80 $\pm$ 0.03fghijklmn	0.86 $\pm$ 0.01fgh	1.20 $\pm$ 0.01jklm
GF10	1.33 $\pm$ 0.06def	0.89 $\pm$ 0.02ghij	1.98 $\pm$ 0.21efghi	0.90 $\pm$ 0.02ef	1.25 $\pm$ 0.05ghijkl
GF11	1.18 $\pm$ 0.07hi	0.79 $\pm$ 0.06jklmno	1.59 $\pm$ 0.03mnopq	0.82 $\pm$ 0.06ghijk	1.15 $\pm$ 0.01mno
GF12	1.25 $\pm$ 0.05g	0.94 $\pm$ 0.09fg	1.90 $\pm$ 0.07efghijk	0.94 $\pm$ 0.08de	1.28 $\pm$ 0.03fghi
GF13	1.18 $\pm$ 0.01hi	0.80 $\pm$ 0.16ijklmn	1.89 $\pm$ 0.10efghijkl	0.82 $\pm$ 0.14ghij	1.29 $\pm$ 0.01fgh
GF14	1.13 $\pm$ 0.04hijklmn	0.65 $\pm$ 0.01stuv	1.44 $\pm$ 0.19opqr	0.71 $\pm$ 0.00mnopq	1.09 $\pm$ 0.06op
GF15	1.18 $\pm$ 0.02hi	0.75 $\pm$ 0.11lmnopq	1.73 $\pm$ 0.13ijklmn	0.78 $\pm$ 0.09hijklmn	1.22 $\pm$ 0.08ijklm
MY1	1.11 $\pm$ 0.06ijklmn	0.69 $\pm$ 0.11opqrstuv	1.55 $\pm$ 0.31nopq	0.73 $\pm$ 0.09lmnop	1.15 $\pm$ 0.13mno
MY2	1.16 $\pm$ 0.00hijk	0.69 $\pm$ 0.06opqrstuv	1.7 $\pm$ 0.03ijklmno	0.73 $\pm$ 0.05lmnop	1.20 $\pm$ 0.04klm
MY3	1.17 $\pm$ 0.01hij	0.67 $\pm$ 0.05qrstuv	1.78 $\pm$ 0.05ghijklmn	0.71 $\pm$ 0.04mnopq	1.21 $\pm$ 0.00ijklm
MY5	1.15 $\pm$ 0.00hijklm	0.71 $\pm$ 0.10nopqrstuv	1.68 $\pm$ 0.06klmno	0.74 $\pm$ 0.07jklmnop	1.19 $\pm$ 0.06lm
MY6	1.16 $\pm$ 0.01hijk	0.69 $\pm$ 0.06opqrstuv	1.76 $\pm$ 0.12hijklmn	0.73 $\pm$ 0.05lmnop	1.21 $\pm$ 0.03ijklm
MY7	1.13 $\pm$ 0.03hijklmn	0.73 $\pm$ 0.01mnopqrstu	1.60 $\pm$ 0.16mnopq	0.77 $\pm$ 0.01ijklmno	1.18 $\pm$ 0.05lmn
MY8	1.16 $\pm$ 0.02hijk	0.85 $\pm$ 0.12ghijk	1.76 $\pm$ 0.08hijklmn	0.86 $\pm$ 0.10efgh	1.27 $\pm$ 0.00fghijk
MY9	1.13 $\pm$ 0.04hijklmn	0.74 $\pm$ 0.03mnopqrstu	1.69 $\pm$ 0.15klmno	0.78 $\pm$ 0.03ijklmno	1.21 $\pm$ 0.04ijklm
MY10	1.14 $\pm$ 0.02hijklmn	0.76 $\pm$ 0.04klmnopqr	1.68 $\pm$ 0.13klmno	0.80 $\pm$ 0.04ghijkl	1.21 $\pm$ 0.04ijklm
MY11	1.13 $\pm$ 0.01hijklmn	0.72 $\pm$ 0.03mnopqrstuv	1.65 $\pm$ 0.11klmnop	0.77 $\pm$ 0.03ijklmno	1.18 $\pm$ 0.04lm
MY12	1.13 $\pm$ 0.01hijklmn	0.74 $\pm$ 0.05lmnopqrst	1.64 $\pm$ 0.09klmnop	0.79 $\pm$ 0.04hijklm	1.19 $\pm$ 0.03lm
MY13	1.13 $\pm$ 0.00hijklmn	0.73 $\pm$ 0.05mnopqrstu	1.65 $\pm$ 0.05klmnop	0.78 $\pm$ 0.04ijklmno	1.19 $\pm$ 0.01lm
MY14	1.14 $\pm$ 0.01hijklm	0.77 $\pm$ 0.07klmnopq	1.70 $\pm$ 0.03jklmno	0.81 $\pm$ 0.06ghijkl	1.21 $\pm$ 0.00jklm
MY15	1.12 $\pm$ 0.03hijklmn	0.66 $\pm$ 0.04rstuv	1.74 $\pm$ 0.06ijklmn	0.70 $\pm$ 0.04nopq	1.20 $\pm$ 0.01jklm
MY16	1.14 $\pm$ 0.05hijklmn	0.70 $\pm$ 0.07opqrstuv	1.87 $\pm$ 0.23efghijklm	0.73 $\pm$ 0.05lmnop	1.25 $\pm$ 0.07ghijkl
MY17	1.13 $\pm$ 0.05hijklmn	0.71 $\pm$ 0.07nopqrstuv	1.80 $\pm$ 0.22fghijklmn	0.74 $\pm$ 0.05jklmnop	1.23 $\pm$ 0.07hijkl
MY18	1.16 $\pm$ 0.02hijk	0.69 $\pm$ 0.09opqrstuv	2.02 $\pm$ 0.02defgh	0.72 $\pm$ 0.08lmnopq	1.28 $\pm$ 0.00fghi
MY19	1.17 $\pm$ 0.01hij	0.69 $\pm$ 0.08opqrstuv	2.09 $\pm$ 0.07de	0.71 $\pm$ 0.08mnopq	1.31 $\pm$ 0.02fg
MY20	1.19 $\pm$ 0.00h	0.79 $\pm$ 0.00ijklmno	2.06 $\pm$ 0.00def	0.80 $\pm$ 0.00ghijkl	1.30 $\pm$ 0.00fg
MY21	1.35 $\pm$ 0.00cde	1.44 $\pm$ 0.01a	2.89 $\pm$ 0.10c	1.26 $\pm$ 0.02a	1.68 $\pm$ 0.07b
MY22	1.38 $\pm$ 0.04cd	1.17 $\pm$ 0.08bc	2.80 $\pm$ 0.51c	1.09 $\pm$ 0.05b	1.57 $\pm$ 0.20d
MY23	1.49 $\pm$ 0.06b	1.07 $\pm$ 0.00de	3.33 $\pm$ 0.18b	1.00 $\pm$ 0.00d	1.62 $\pm$ 0.04bcd
MY24	1.50 $\pm$ 0.12b	1.18 $\pm$ 0.04bc	3.40 $\pm$ 0.41b	1.08 $\pm$ 0.03c	1.68 $\pm$ 0.01b
MY25	1.39 $\pm$ 0.03cd	1.41 $\pm$ 0.20a	2.77 $\pm$ 0.07c	1.26 $\pm$ 0.15a	1.60 $\pm$ 0.02cd
MY26	1.54 $\pm$ 0.16b	1.19 $\pm$ 0.02bc	3.43 $\pm$ 0.39b	1.09 $\pm$ 0.01c	1.67 $\pm$ 0.01b
MY27	1.52 $\pm$ 0.15b	1.17 $\pm$ 0.00bc	3.40 $\pm$ 0.56b	1.08 $\pm$ 0.00c	1.66 $\pm$ 0.05bc
MY28	1.60 $\pm$ 0.16a	1.26 $\pm$ 0.00b	3.85 $\pm$ 0.65a	1.14 $\pm$ 0.01b	1.77 $\pm$ 0.06a
MY29	1.12 $\pm$ 0.02hijklmn	0.90 $\pm$ 0.15ghi	1.69 $\pm$ 0.15ijklmno	0.88 $\pm$ 0.09efg	1.27 $\pm$ 0.09fghijk
MY30	1.12 $\pm$ 0.00hijklmn	0.84 $\pm$ 0.10ghijkl	1.74 $\pm$ 0.13ijklmn	0.83 $\pm$ 0.06fghi	1.27 $\pm$ 0.08fghij
MY31	1.08 $\pm$ 0.01mn	0.72 $\pm$ 0.08mnopqrstuv	1.62 $\pm$ 0.14lmnopq	0.75 $\pm$ 0.05jklmnop	1.21 $\pm$ 0.07jklm
MY32	1.10 $\pm$ 0.01jklmn	0.79 $\pm$ 0.09jklmno	1.66 $\pm$ 0.07klmno	0.80 $\pm$ 0.06ghijkl	1.23 $\pm$ 0.05ghijkl
MY33	1.13 $\pm$ 0.03hijklmn	1.11 $\pm$ 0.04cd	2.04 $\pm$ 0.03defg	0.99 $\pm$ 0.03d	1.43 $\pm$ 0.01e
MY34	1.07 $\pm$ 0.01n	0.62 $\pm$ 0.01vw	1.54 $\pm$ 0.02nopq	0.68 $\pm$ 0.02pq	1.15 $\pm$ 0.01mno
MY35	1.15 $\pm$ 0.04hijkl	0.92 $\pm$ 0.01fgh	2.06 $\pm$ 0.23def	0.88 $\pm$ 0.00efg	1.41 $\pm$ 0.07e

注: 不同小写字母分别表示不同茶样间的差异显著 ($P < 0.05$), 下同

表4 茶汤法各传感器 T=55~57s 响应值 (G/G0, 平均值 ± 标准偏差, n=6)

Table 4 T = 55-57s response value of each sensor of tea soup method(G/G0, average value ± standard deviation, n = 6)

编号	R2	R6	R7	R8	R9
GF1	2.56 ± 0.10opqrs	0.84 ± 0.03pqrstu	5.95 ± 0.27qr	0.87 ± 0.04pqrst	2.31 ± 0.04stu
GF2	10.49 ± 0.78b	1.81 ± 0.05de	14.05 ± 1.51c	1.51 ± 0.05f	4.25 ± 0.19c
GF3	3.62 ± 0.09ghi	1.24 ± 0.02hi	8.05 ± 0.44lmn	1.19 ± 0.01ij	2.81 ± 0.03klmno
GF4	9.14 ± 0.79c	1.49 ± 0.03fg	12.49 ± 0.53de	1.37 ± 0.04g	3.55 ± 0.11ef
GF5	1.87 ± 0.03uvwx	0.79 ± 0.00stu	3.27 ± 0.11t	0.88 ± 0.00pqrs	1.65 ± 0.03x
GF6	4.40 ± 0.75f	1.17 ± 0.05hijk	9.19 ± 0.57hijkl	1.11 ± 0.04jk	3.05 ± 0.19ijk
GF7	11.34 ± 1.23a	2.17 ± 0.05c	18.6 ± 1.21a	1.78 ± 0.01c	4.90 ± 0.10a
GF8	3.36 ± 0.05ij	1.15 ± 0.23hijk	8.74 ± 0.10hijklm	1.10 ± 0.22jk	2.68 ± 0.07mnopq
GF9	2.63 ± 0.03nopqr	1.06 ± 0.19klmno	6.95 ± 0.09nopq	1.04 ± 0.17klm	2.36 ± 0.06rstu
GF10	3.92 ± 0.25fgh	1.57 ± 0.04f	11.29 ± 0.38ef	1.39 ± 0.01g	3.38 ± 0.03fgh
GF11	3.47 ± 0.14hi	1.41 ± 0.03g	9.14 ± 0.34hijkl	1.33 ± 0.02gh	2.83 ± 0.08klmn
GF12	2.74 ± 0.27lmnopq	0.99 ± 0.23lmnop	7.49 ± 0.66mnop	0.97 ± 0.20lmnop	2.45 ± 0.19qrst
GF13	2.81 ± 0.63klmno	0.88 ± 0.04pqrst	8.20 ± 2.15jklmn	0.84 ± 0.06rstu	2.59 ± 0.43mnopqrs
GF14	2.22 ± 0.10pqrstuv	0.83 ± 0.07qrstuv	6.17 ± 0.38pqr	0.81 ± 0.06rstu	2.16 ± 0.07uv
GF15	2.17 ± 0.18qrstuvw	0.87 ± 0.06pqrstu	6.47 ± 0.82opqr	0.86 ± 0.06pqrst	2.20 ± 0.14tuv
MY1	3.15 ± 0.52ijklmn	1.12 ± 0.01ijkl	10.99 ± 1.23fg	1.02 ± 0.02klmn	3.16 ± 0.24hij
MY2	2.42 ± 0.29opqrstu	0.92 ± 0.05opqrs	8.02 ± 1.25lmn	0.90 ± 0.05nopqrs	2.52 ± 0.28pqrs
MY3	1.98 ± 0.29tuvwx	0.81 ± 0.05rstu	5.11 ± 1.20rs	0.81 ± 0.05rstu	1.94 ± 0.22vw
MY5	2.52 ± 0.27opqrst	0.88 ± 0.04pqrst	7.68 ± 0.70lmno	0.86 ± 0.04pqrst	2.42 ± 0.11qrstuv
MY6	2.12 ± 0.30rstuvw	0.85 ± 0.03pqrstu	6.44 ± 1.42opqr	0.85 ± 0.03qrstuv	2.22 ± 0.25tu
MY7	2.57 ± 0.68opqrs	0.92 ± 0.13opqrs	8.29 ± 2.77jklmn	0.87 ± 0.08pqr	2.59 ± 0.53mnopqrs
MY8	2.60 ± 0.68nopqrs	0.93 ± 0.12nopqrs	8.59 ± 2.61ijklm	0.88 ± 0.08opqrs	2.61 ± 0.46mnopqr
MY9	2.34 ± 0.26opqrstu	0.95 ± 0.08mnopqr	8.51 ± 1.19jklmn	0.91 ± 0.06nopqrs	2.66 ± 0.21mnopq
MY10	2.61 ± 0.62nopqrs	0.95 ± 0.11mnopqr	9.17 ± 2.63hijkl	0.9 ± 0.07nopqrs	2.76 ± 0.49lmnop
MY11	3.18 ± 0.57ijklm	1.07 ± 0.12jklmn	11.54 ± 1.99ef	0.98 ± 0.08lmnop	3.23 ± 0.36ghij
MY12	2.71 ± 0.50mnopq	1.03 ± 0.13klmno	10.18 ± 2.08fgh	0.96 ± 0.08lmnopq	3.00 ± 0.39jkl
MY13	2.43 ± 0.50opqrstu	0.93 ± 0.10nopqrs	8.11 ± 2.10klmn	0.89 ± 0.06opqrs	2.53 ± 0.37opqrs
MY14	2.39 ± 0.29opqrstu	0.92 ± 0.07opqrs	8.31 ± 1.24jklmn	0.89 ± 0.05opqrs	2.60 ± 0.21mnopqr
MY15	2.38 ± 0.09opqrstu	0.87 ± 0.02pqrstu	8.23 ± 0.17jklmn	0.82 ± 0.02rstu	2.66 ± 0.04mnopq
MY16	4.17 ± 0.48f	1.15 ± 0.01hijk	13.72 ± 1.10cd	0.97 ± 0.00lmnopq	3.66 ± 0.24e
MY17	2.75 ± 0.3lmnop	0.96 ± 0.01mnopq	9.66 ± 0.95ghijk	0.87 ± 0.00pqrs	2.84 ± 0.11klmn
MY18	2.03 ± 0.12stuvw	0.81 ± 0.01qrstuv	6.43 ± 0.72opqr	0.79 ± 0.01rstu	2.17 ± 0.12uv
MY19	1.57 ± 0.00wx	0.73 ± 0.04u	3.89 ± 0.02st	0.73 ± 0.03u	1.73 ± 0.04wx
MY20	1.64 ± 0.01x	0.75 ± 0.05tu	4.38 ± 0.06st	0.75 ± 0.03tu	1.84 ± 0.00wx
MY21	6.66 ± 0.30d	2.48 ± 0.04a	18.20 ± 0.31a	2.05 ± 0.01a	4.53 ± 0.09b
MY22	3.29 ± 0.53ijkl	1.81 ± 0.10de	10.08 ± 1.30fghi	1.57 ± 0.08ef	3.05 ± 0.18ijk
MY23	4.01 ± 0.02fg	2.33 ± 0.00b	13.03 ± 0.12cd	1.93 ± 0.00b	3.65 ± 0.02e
MY24	3.33 ± 0.26ijk	1.90 ± 0.05de	10.12 ± 0.40fghi	1.68 ± 0.01cd	3.01 ± 0.05jkl
MY25	3.43 ± 0.30hi	1.81 ± 0.14de	11.05 ± 0.86efg	1.54 ± 0.13ef	3.31 ± 0.14fghi
MY26	3.31 ± 0.05ijk	1.94 ± 0.22d	11.59 ± 0.06ef	1.64 ± 0.18de	3.44 ± 0.02efg
MY27	2.47 ± 0.05opqrst	1.80 ± 0.16e	7.45 ± 0.28mnopq	1.58 ± 0.14def	2.64 ± 0.06mnopqrs
MY28	5.80 ± 0.21e	2.24 ± 0.18bc	15.81 ± 0.44b	1.90 ± 0.16b	3.94 ± 0.06d
MY29	2.73 ± 0.11mnopq	1.26 ± 0.16hi	8.99 ± 0.71hijklm	1.11 ± 0.13jk	2.85 ± 0.17klm
MY30	4.29 ± 0.70f	1.47 ± 0.26fg	13.12 ± 1.40cd	1.24 ± 0.20hi	3.43 ± 0.28efg
MY31	3.18 ± 0.17ijklm	1.27 ± 0.15h	9.70 ± 0.43ghij	1.11 ± 0.12jk	2.84 ± 0.02klmn
MY32	2.83 ± 0.08klmno	1.21 ± 0.12hij	9.10 ± 0.14hijkl	1.07 ± 0.10kl	2.79 ± 0.04klmnop
MY33	2.60 ± 0.04nopqrs	1.09 ± 0.15jklm	8.00 ± 0.09lmn	1.00 ± 0.12klmno	2.55 ± 0.04nopqrs
MY34	2.08 ± 0.03rstuvw	0.96 ± 0.10mnopqr	5.97 ± 0.21qr	0.92 ± 0.08mnopqr	2.17 ± 0.01uv
MY35	1.72 ± 0.13vw	0.79 ± 0.02stu	4.29 ± 0.56st	0.79 ± 0.01stu	1.83 ± 0.11wx

表 5 叶底法各传感器 T=55~57s 响应值 (G/G0, 平均值 $\pm$ 标准偏差, n=6)Table 5 T = 55-57s response value of each sensor of brewed leaf method(G/G0, average value $\pm$ standard deviation, n = 6)

编号	R2	R6	R7	R8	R9
GF1	1.80 $\pm$ 0.05mnopqrs	0.71 $\pm$ 0.02xyz	3.58 $\pm$ 0.06rst	0.78 $\pm$ 0.05pqrstu	1.72 $\pm$ 0.03pqrs
GF2	6.07 $\pm$ 0.36c	1.35 $\pm$ 0.02h	11.05 $\pm$ 0.40d	1.25 $\pm$ 0.01g	3.32 $\pm$ 0.06c
GF3	3.00 $\pm$ 0.12g	1.01 $\pm$ 0.01klm	6.53 $\pm$ 0.12k	1.05 $\pm$ 0.00ij	2.34 $\pm$ 0.04hi
GF4	6.83 $\pm$ 0.52b	1.13 $\pm$ 0.04ij	10.56 $\pm$ 0.64de	1.13 $\pm$ 0.02h	3.05 $\pm$ 0.05d
GF5	1.70 $\pm$ 0.02nopqrst	0.72 $\pm$ 0.01vwxyz	2.63 $\pm$ 0.10v	0.84 $\pm$ 0.00nop	1.46 $\pm$ 0.02w
GF6	3.99 $\pm$ 0.18e	1.03 $\pm$ 0.03kl	8.55 $\pm$ 0.60fg	1.03 $\pm$ 0.02ij	2.77 $\pm$ 0.06e
GF7	11.51 $\pm$ 1.19a	1.66 $\pm$ 0.22d	18.27 $\pm$ 1.78a	1.42 $\pm$ 0.16de	4.56 $\pm$ 0.40a
GF8	2.92 $\pm$ 0.16gh	1.02 $\pm$ 0.00kl	7.50 $\pm$ 0.54ij	1.01 $\pm$ 0.01jk	2.41 $\pm$ 0.09h
GF9	2.43 $\pm$ 0.05ij	0.96 $\pm$ 0.04lmn	6.31 $\pm$ 0.09kl	0.96 $\pm$ 0.04kl	2.21 $\pm$ 0.03ijk
GF10	3.71 $\pm$ 0.52e	1.17 $\pm$ 0.14i	10.94 $\pm$ 1.11d	1.09 $\pm$ 0.10hi	3.12 $\pm$ 0.23d
GF11	3.15 $\pm$ 0.24fg	1.07 $\pm$ 0.07jk	8.49 $\pm$ 0.47fg	1.03 $\pm$ 0.06ij	2.60 $\pm$ 0.08g
GF12	2.65 $\pm$ 0.24hi	0.93 $\pm$ 0.06mno	7.27 $\pm$ 0.72j	0.93 $\pm$ 0.04lm	2.40 $\pm$ 0.14h
GF13	1.59 $\pm$ 0.06opqrstuv	0.75 $\pm$ 0.07stuvwxy	3.42 $\pm$ 0.32rst	0.78 $\pm$ 0.06pqrstu	1.62 $\pm$ 0.09stu
GF14	1.51 $\pm$ 0.11stuv	0.75 $\pm$ 0.10stuvwxy	2.97 $\pm$ 0.41tuv	0.78 $\pm$ 0.08pqrstu	1.51 $\pm$ 0.11uvw
GF15	1.52 $\pm$ 0.10stuv	0.75 $\pm$ 0.10stuvwxy	3.37 $\pm$ 0.50rstu	0.78 $\pm$ 0.08pqrstu	1.58 $\pm$ 0.12stuvw
MY1	1.98 $\pm$ 0.19lmn	0.86 $\pm$ 0.13opq	6.39 $\pm$ 0.94k	0.86 $\pm$ 0.10no	2.20 $\pm$ 0.19jk
MY2	2.11 $\pm$ 0.19klm	0.90 $\pm$ 0.02nop	6.49 $\pm$ 0.89k	0.89 $\pm$ 0.03mn	2.18 $\pm$ 0.18jkl
MY3	1.27 $\pm$ 0.07v	0.65 $\pm$ 0.01z	2.04 $\pm$ 0.35w	0.70 $\pm$ 0.01v	1.26 $\pm$ 0.11x
MY5	1.53 $\pm$ 0.00rstuv	0.68 $\pm$ 0.00yz	3.28 $\pm$ 0.00stuv	0.72 $\pm$ 0.00uv	1.57 $\pm$ 0.00tuvvw
MY6	1.61 $\pm$ 0.02opqrstuv	0.79 $\pm$ 0.10qrstuvwxy	3.83 $\pm$ 0.13rs	0.81 $\pm$ 0.08opqrs	1.70 $\pm$ 0.00qrst
MY7	1.85 $\pm$ 0.10mnopq	0.80 $\pm$ 0.02qrstuv	5.34 $\pm$ 0.47no	0.80 $\pm$ 0.01opqrs	2.05 $\pm$ 0.09lm
MY8	1.80 $\pm$ 0.09mnopqrs	0.80 $\pm$ 0.02qrstuvw	5.17 $\pm$ 0.38op	0.80 $\pm$ 0.02opqrs	1.99 $\pm$ 0.07mn
MY9	1.86 $\pm$ 0.01mnop	0.84 $\pm$ 0.01pqr	6.20 $\pm$ 0.11klm	0.84 $\pm$ 0.00nopq	2.21 $\pm$ 0.03ijk
MY10	1.89 $\pm$ 0.00lmno	0.83 $\pm$ 0.00pqrst	5.96 $\pm$ 0.07klmn	0.82 $\pm$ 0.01opqr	2.14 $\pm$ 0.00jkl
MY11	1.94 $\pm$ 0.03lmn	0.84 $\pm$ 0.00pqr	6.44 $\pm$ 0.21k	0.83 $\pm$ 0.00nopq	2.25 $\pm$ 0.02ij
MY12	1.84 $\pm$ 0.01mnopqr	0.83 $\pm$ 0.00pqrs	6.14 $\pm$ 0.05klm	0.83 $\pm$ 0.00opqr	2.20 $\pm$ 0.02jk
MY13	1.70 $\pm$ 0.11nopqrst	0.78 $\pm$ 0.03rstuvwxy	4.70 $\pm$ 0.59p	0.79 $\pm$ 0.01pqrstu	1.90 $\pm$ 0.12no
MY14	1.84 $\pm$ 0.12mnopqr	0.80 $\pm$ 0.04qrstuv	5.68 $\pm$ 0.67lmno	0.81 $\pm$ 0.02opqrs	2.09 $\pm$ 0.13klm
MY15	1.55 $\pm$ 0.03pqrstuv	0.75 $\pm$ 0.08stuvwxy	4.05 $\pm$ 0.08qr	0.74 $\pm$ 0.06stuv	1.79 $\pm$ 0.02opq
MY16	2.58 $\pm$ 0.02i	0.89 $\pm$ 0.04nop	9.06 $\pm$ 0.10f	0.83 $\pm$ 0.03opq	2.74 $\pm$ 0.01ef
MY17	2.27 $\pm$ 0.19jk	0.84 $\pm$ 0.00pqr	7.69 $\pm$ 0.83hij	0.80 $\pm$ 0.01pqrst	2.41 $\pm$ 0.16h
MY18	1.66 $\pm$ 0.02nopqrstuv	0.74 $\pm$ 0.03vwxyz	4.58 $\pm$ 0.14pq	0.74 $\pm$ 0.03stuv	1.84 $\pm$ 0.03op
MY19	1.45 $\pm$ 0.03tuv	0.72 $\pm$ 0.06uvwxyz	3.31 $\pm$ 0.13stuv	0.73 $\pm$ 0.04tuv	1.62 $\pm$ 0.05stuv
MY20	1.51 $\pm$ 0.01stuv	0.74 $\pm$ 0.06stuvwxy	3.69 $\pm$ 0.06rs	0.75 $\pm$ 0.04stuv	1.70 $\pm$ 0.01qrst
MY21	6.90 $\pm$ 0.19b	2.03 $\pm$ 0.07a	17.14 $\pm$ 0.82b	1.75 $\pm$ 0.10a	4.12 $\pm$ 0.13b
MY22	3.33 $\pm$ 0.19f	1.63 $\pm$ 0.08de	10.30 $\pm$ 0.78e	1.45 $\pm$ 0.07d	3.00 $\pm$ 0.12d
MY23	3.79 $\pm$ 0.06e	1.77 $\pm$ 0.05c	11.00 $\pm$ 0.15d	1.56 $\pm$ 0.06c	3.05 $\pm$ 0.04d
MY24	2.71 $\pm$ 0.04hi	1.56 $\pm$ 0.00ef	8.15 $\pm$ 0.14gh	1.40 $\pm$ 0.01de	2.68 $\pm$ 0.05efg
MY25	2.66 $\pm$ 0.13hi	1.48 $\pm$ 0.02g	7.96 $\pm$ 0.22ghi	1.32 $\pm$ 0.02f	2.61 $\pm$ 0.03fg
MY26	2.69 $\pm$ 0.05hi	1.54 $\pm$ 0.05fg	8.51 $\pm$ 0.18fg	1.37 $\pm$ 0.04ef	2.69 $\pm$ 0.03efg
MY27	2.17 $\pm$ 0.03jkl	1.58 $\pm$ 0.07ef	5.59 $\pm$ 0.10mno	1.43 $\pm$ 0.07de	2.14 $\pm$ 0.02jkl
MY28	4.74 $\pm$ 0.13d	1.96 $\pm$ 0.01b	13.18 $\pm$ 0.22c	1.68 $\pm$ 0.02b	3.35 $\pm$ 0.03c
MY29	1.37 $\pm$ 0.00uv	0.71 $\pm$ 0.01xyz	2.66 $\pm$ 0.02v	0.75 $\pm$ 0.01stuv	1.49 $\pm$ 0.00vw
MY30	1.62 $\pm$ 0.17opqrstuv	0.76 $\pm$ 0.06stuvwxy	4.05 $\pm$ 0.92qr	0.78 $\pm$ 0.04pqrstu	1.78 $\pm$ 0.20opqr
MY31	1.53 $\pm$ 0.01qrstuv	0.74 $\pm$ 0.01vwxyz	3.36 $\pm$ 0.02rstu	0.77 $\pm$ 0.01qrstuv	1.64 $\pm$ 0.00stu
MY32	1.46 $\pm$ 0.04tuv	0.73 $\pm$ 0.01vwxyz	3.13 $\pm$ 0.22stuv	0.77 $\pm$ 0.01qrstuv	1.58 $\pm$ 0.05stuvw
MY33	1.53 $\pm$ 0.03qrstuv	0.75 $\pm$ 0.02stuvwxy	3.42 $\pm$ 0.16rst	0.78 $\pm$ 0.02pqrstu	1.65 $\pm$ 0.04rst
MY34	1.58 $\pm$ 0.04opqrstuv	0.75 $\pm$ 0.00stuvwxy	3.78 $\pm$ 0.23rs	0.78 $\pm$ 0.01pqrstu	1.71 $\pm$ 0.05pqrs
MY35	1.40 $\pm$ 0.01tuv	0.72 $\pm$ 0.01wxyz	2.72 $\pm$ 0.05uv	0.76 $\pm$ 0.01rstuv	1.48 $\pm$ 0.01vw

MY28、MY21、MY24、MY26、MY27, R6 (甲基类) 响应值前五的依次为: MY21、MY25、MY28、MY26、MY24, R8 (醇醛酮类) 响应值前五的依次为: MY21、MY25、MY28、MY22、MY26 (表3)。

在茶汤法中, R7 (硫化物类) 响应值前五的依次为: GF7、MY21、MY28、GF2、MY16, R2 (氮氧化合物) 响应值前五的依次为: GF7、GF2、GF4、MY21、MY28, R9 (芳香成分有机硫化物) 响应值前五的依次为: GF7、MY21、GF2、MY28、MY16, R6 (甲基类) 响应值前五的依次为: MY21、MY23、GF7、MY26、GF2, R8 (醇醛酮类) 响应值前五的依次为: MY21、MY23、MY28、GF7、MY24 (表4)。

在叶底法中, R7 (硫化物类) 响应值前五的依次为: GF7、MY21、MY28、GF2、MY23, R2 (氮氧化合物) 响应值前五的依次为: GF7、GF4、MY21、GF2、MY28, R9 (芳香成分有机硫化物) 响应值前五的依次为: GF7、MY21、MY28、GF2、GF10, R6 (甲基类) 响应值前五的依次为: MY21、MY28、MY23、GF7、MY22, R8 (醇醛酮类) 响应值前五的依次为: MY21、MY28、MY23、MY22、GF7 (表5)。

比较表3~表5结果可以看出, 三种香气采集方法所有茶样均表现为, 传感器R7 (硫化物类) 响应值大于R2 (氮氧化合物) 大于R9 (芳香成分有机硫化物), 但R6 (甲基类)、R8 (醇醛酮类) 响应值大小各茶样间表现则有所不同, 说明凤庆地区的各茶样的硫化物类、氮氧化合物、芳香成分有机硫化物的香气物质在茶样中的相对含量规律是相似的, 但甲基类、醇、醛、酮类香气物质相对含量规律是不同的。且在干茶法中各传感器响应值较高的为MY21、MY22、MY23、MY24、MY25、MY26、MY27、MY28, 其中前六个茶样为古树红, 后两个为野生红茶; 在茶汤法中各传感器响应值较高的为GF2、GF4、GF7、MY16、MY21、MY23、MY24、MY26、MY28, 说明部分工夫红茶是要经过冲泡后有些挥发性物质才能充分挥发出来, 但从表中仍可以看出古树红茶与野

生红茶的响应值都比较高; 在叶底法中各传感器响应值较高的为GF2、GF4、GF7、GF10、MY21、MY22、MY23、MY28, 叶底法与茶汤法的结果相似, 而GF10茶样与其挥发性物质的持久性有关。

2.2 感官审评结果

因感官审评中的香气和滋味都与茶样中的挥发性物质有关, 因此选用香气与滋味对茶样进行感官审评, 结果如表5所示, 工夫红茶各茶样间的评分差异较大, 而名优滇红茶大部分茶样间的评分差异较小, 这与茶汤法与叶底法的PCA分析与LDA分析相一致。且电子鼻所测的响应值较高的GF2、GF4、GF7、GF10、MY16、MY21、MY22、MY23、MY24、MY25、MY26、MY27、MY28的香气评分均在94分以上, 滋味评分也均在93分以上。

表5 凤庆滇红茶香气与滋味评分结果

Table 5 Sensory scores of aroma and taste of Fengqing black tea

编号	香气	滋味	编号	香气	滋味	编号	香气	滋味
GF1	96.0	94.0	MY3	90.0	89.0	MY21	96.0	95.5
GF2	95.0	96.5	MY5	88.0	85.0	MY22	95.0	94.0
GF3	96.0	92.0	MY6	96.0	92.0	MY23	95.5	93.0
GF4	95.5	94.0	MY7	95.0	93.0	MY24	94.0	93.0
GF5	89.0	90.0	MY8	96.0	96.0	MY25	94.0	94.0
GF6	95.5	96.0	MY9	95.5	93.0	MY26	95.0	95.0
GF7	97.0	94.0	MY10	96.0	94.0	MY27	95.0	94.0
GF8	85.0	89.0	MY11	96.0	95.0	MY28	95.0	96.0
GF9	96.0	94.0	MY12	97.0	93.0	MY29	95.0	94.0
GF10	96.5	96.0	MY13	94.0	93.0	MY30	93.0	94.5
GF11	90.0	89.0	MY14	95.0	95.0	MY31	90.0	94.0
GF12	92.0	94.5	MY15	96.0	93.0	MY32	95.5	94.0
GF13	91.0	90.0	MY16	96.0	95.0	MY33	94.0	94.0
GF14	87.0	92.0	MY17	96.0	97.0	MY34	96.0	97.0
GF15	96.0	96.5	MY18	95.0	95.0	MY35	96.0	95.0
MY1	89.0	85.0	MY19	93.0	95.0			
MY2	95.5	96.0	MY20	93.0	94.0			

2.3 电子鼻与感官审评的相关性

试验将电子鼻所测的主要传感器的G/G0响应值平均值与感官审评中香气与滋味的评分用SPSS 22做了皮尔森(Pearson)相关性分析, 结果如表6所示。香气与滋味呈极显著正相关, 相关系数为0.73。干茶法中, 所测的各传感器响应值与香气滋味的相关性均不显著。茶汤法

中, 传感器 R7 (硫化物类)、R9 (芳香成分有机硫化物) 与香气评分呈显著正相关, 相关系数分别为 0.28 和 0.30, 但与滋味评分相关性不显著。叶底法中 R2 (氮氧化合物)、R7 (硫化物类)、R9 (芳香成分有机硫化物) 与香气评分呈显著正相关, 相关系数分别为 0.24、0.30、0.32; R7 (硫化物类)、R9 (芳香成分有机硫化物) 与滋味评分呈显著正相关, 相关系数分别为 0.24 和 0.25。

表 6 电子鼻与感官审评的相关性分析

Table 6 Correlation analysis between electronic nose and sensory evaluation

		香气	滋味	R2	R6	R7	R8	R9
干茶法	香气	1.00	0.73**	0.03	0.09	0.09	0.07	0.11
	滋味	0.73**	1.00	0.07	0.14	0.14	0.13	0.16
茶汤法	香气	-	-	0.20	0.22	0.28*	0.19	0.30*
	滋味	-	-	0.18	0.19	0.19	0.16	0.21
叶底法	香气	-	-	0.24*	0.23	0.30*	0.21	0.32*
	滋味	-	-	0.18	0.20	0.24*	0.18	0.25*

注: **表示相关性极显著 ($p < 0.01$), *表示相关性显著 ($p < 0.05$)

3 结论与讨论

3.1 电子鼻分析结果

PCA 与 LDA 分析结果显示, 叶底法区分度优于干茶法优于茶汤法, 三种香气采集方法的 PCA 主成分贡献率均高于 LDA, 但 LDA 的区分度却明显优于 PCA, 且在茶汤法和叶底法中, 工夫红茶的区分度优于名优滇红茶。

Loading 分析结果显示, 干茶法第一主成分贡献率最大的依次为硫化物类、芳香成分有机硫化物类, 对第二主成分贡献率最大的依次为甲基类、醇醛酮类。茶汤法与叶底法的结果表明对第一主成分贡献率最大的依次为硫化物类、氮氧化合物、芳香成分有机硫化物, 对第二主成分贡献率最大的为氮氧化合物。

在 G/Go 电导率响应值分析结果中, 三种香气采集方法所有茶样均表现为: 响应值硫化物类 > 氮氧化合物 > 芳香成分有机硫化物, 但甲基类、醇醛酮类响应值大小在各茶样间的表现则有所不同。说明凤庆地区的茶样具有共同香气特征规律的物质为硫化物类、氮氧化合物、

芳香成分有机硫化物, 而各茶样间甲基类、醇醛酮类香气物质的规律是不同的。且古树红茶与野生红茶的响应值都比较高, 部分工夫红茶需经冲泡后才能体现比古树红与野生红高的响应值, 说明古树红与野生红茶的相对挥发性物质的含量较高, 且香气稳定, 无论是冲泡前还是冲泡后均处于较高水平。

3.2 感官审评结果

感官审评评分结果显示, 工夫红茶各茶样间的评分差异较大, 而名优滇红茶大部分茶样间的评分差异较少, 这与茶汤法与叶底法的 PCA、LDA 分析结果相一致, 且电子鼻所测的响应值较高的茶样香气评分均处于较高水平。不同红碎茶用电子鼻技术均可呈现不同的香气指纹图谱, 可以区分不同的茶叶; 电子鼻技术结果与感官审评基本一致。

3.3 电子鼻与感官审评相关性分析

相关性分析结果显示, 香气与滋味呈极显著正相关, 相关系数为 0.73; 干茶法与感官审评的相关性不显著; 茶汤法中, 硫化物类、芳香成分有机硫化物响应值与香气评分呈显著正相关, 相关系数分别为 0.28 和 0.30, 但与滋味的相关性不显著; 叶底法中, 氮氧化合物、硫化物类、芳香成分有机硫化物与香气评分呈显著正相关, 相关系数分别为 0.24、0.30、0.32, 硫化物类、芳香成分有机硫化物与滋味评分呈显著正相关, 相关系数分别为 0.24 和 0.25。

电子鼻响应值与感官审评呈一定的相关性, 不同红碎茶用电子鼻技术呈现的香气指纹图谱与感官审评基本一致^[12]。本试验感官审评中香气和滋味的评分呈极显著正相关, 这是因为人的嗅觉和味觉是相互影响的; 叶底法跟香气滋味评分均呈一定的相关性, 这可能是因为叶底法的香气采集方式与感官审评中香气审评方法 (出汤后进行热嗅、温嗅、冷嗅) 相似有关; 而干茶法与感官评分的相关性不显著的原因, 可能是感官审评中并没有对干茶嗅香气进行评分; 茶汤法与香气有一定的相关性, 与滋味相关性不显著, 说明茶汤法挥发的部分香气物质在出汤后仍留存在叶底上, 并对香气有一定的贡献。

但电子鼻响应值与感官审评的相关系数不高,均在0.24~0.32之间,这可能是因为茶叶香气是由几百种挥发性成分协调形成的整体信息的反映,人的嗅觉也有一定的阈限^[13],且不同的香型物质在感官可能会存在拮抗效应^[14]。因此,将感官审评和电子鼻技术进一步相结合值得更深入地研究。

参考文献

- [1] 李云飞. 基于SPME-GC-MS的云南红茶的香气成分分析[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
- [2] 陈慧敏, 李晓晗, 王漪, 等. 基于电子鼻分析评价提香工艺对红茶香气特征的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 234-242.
- [3] 于慧春, 王俊. 电子鼻技术在茶叶品质检测中的应用研究[J]. 传感技术学报, 2008(5): 748-752.
- [4] 海铮, 王俊. 电子鼻信号特征提取与传感器优化的研究[J]. 传感技术学报, 2006(3): 606-610.
- [5] 于慧春. 基于电子鼻技术的茶叶品质检测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [6] 赵爱凤, 于国峰, 刘晓艳, 等. 电子鼻电子舌在茶叶审评中的应用[J]. 福建农机, 2007(3): 26-29.
- [7] 陈静, 张宇帆, 刘艳荣. 电子鼻在农药残留检测中的应用研究进展[J]. 现代农药, 2015, 14(1): 14-17.
- [8] 赵苗苗, 杨如兵, 吕才有. 基于电子鼻及GC-MS技术对临沧晒青毛茶香气成分的对比研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(02): 113-122.
- [9] D Ralisnawati, A C Sukartiko, A Suryandono, et al. Detecting aroma changes of local flavored green tea (*Camellia sinensis*) using electronic nose[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 131(1): 1755-1815.
- [10] Yang Xuemei, Liu Yingliang, Mu, Lihong, et al. Discriminant research for identifying aromas of non-fermented Pu-erh tea from different storage years using an electronic nose[J]. Journal of Food Processing and Preservation, Oct 2018, 42(10): e13721.
- [11] 湛珍, 刘青茹, 周洁蓉, 等. 基于电子鼻对花香型红茶挥发性风味形成过程分析[J]. 农产品加工, 2019(6): 51-54.
- [12] 古小玲, 刘栩, 李达敏, 等. 海南红碎茶电子鼻技术应用及其与感官审评的比较[J]. 热带作物学报, 2010, 31(11): 2034-2038.
- [13] 施兆鹏. 茶叶审评与检验(第四版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [14] 敖存. 龙井茶香气质量评价电子鼻辅助方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.