

马林龙, 罗正飞, 刘艳丽, 等. 基于多元统计方法的临沧市普洱生茶香气成分分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(20): 331–337. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120209

MA Linlong, LUO Zhengfei, LIU Yanli, et al. Analysis of Aroma Components of Raw Pu'er Tea in Lincang City Based on Multivariate Statistical Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(20): 331–337. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120209

· 分析检测 ·

基于多元统计方法的临沧市普洱生茶香气成分分析

马林龙¹, 罗正飞^{2,*}, 刘艳丽¹, 曹 丹¹, 谢 飞³, 金孝芳^{1,*}
(1.湖北省农业科学院果树茶叶研究所, 湖北武汉 430064;
2.滇西科技师范学院, 云南临沧 677600;
3.保山市农业环境保护监测站, 云南保山 678000)

摘 要: 为客观准确地评价临沧市普洱生茶的香气品质, 本研究系统分析了 16 份临沧市普洱生茶的主要香气成分, 并利用多元统计方法对其主要香气成分进行综合分析。结果表明: 共检测到 48 个香气物质, 平均含量大于 2% 的有 11 个; 其中芳樟醇含量最高, 平均含量为 24.68%。在香气种类上, 醇类物质占香气总量的比例最高, 平均含量为 46.55%; 其次是醛类物质, 平均含量为 26.81%; 酮类、酯类和其他类物质占香气总量的比例相对较小。多元统计方法分析表明: 临沧市南、北部地区普洱生茶样品能够明显区分开, 南部地区醇类、酯类物质含量相对较高, 而北部地区醛类、酮类以及其他类物质含量相对较高, 海拔高度可能是南、北部地区普洱生茶香气成分差异形成的重要原因; 基于变量投影重要性 (Variable important for the projection, VIP) 大于 1, 筛选出 23 个香气成分或种类作为区分临沧市南、北部地区普洱生茶香气的重要标志物, 其中芳樟醇、异佛尔酮、酮类、醇类、醛类、 β -环柠檬醛、 α -环柠檬醛、2,2,6-三甲基环己酮、橙花醇、 β -紫罗兰酮的 VIP 值相对较大, 对临沧市南、北部地区普洱生茶分类贡献较大。该研究为准确了解临沧市普洱生茶香气品质提供理论依据, 也为临沧市普洱生茶品质、产地判定研究提供思路和方法。

关键词: 临沧市, 普洱生茶, 香气成分, 多元统计分析

中图分类号: S571.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)20-0331-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120209



本文网刊:

Analysis of Aroma Components of Raw Pu'er Tea in Lincang City Based on Multivariate Statistical Analysis

MA Linlong¹, LUO Zhengfei^{2,*}, LIU Yanli¹, CAO Dan¹, XIE Fei³, JIN Xiaofang^{1,*}

(1. Fruit and Tea Research Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;

2. West Yunnan Normal University of Science and Technology, Lincang 677600, China;

3. Agro-Environmental Monitoring Center of Baoshan City, Baoshan 678000, China)

Abstract: In order to accurately evaluate the aroma quality of raw Pu'er tea in Lincang City, the aroma components of 16 raw Pu'er teas were systematically analyzed and comprehensively evaluated by multivariate statistical analysis. A total of 48 aroma components were detected, with 11 aroma components were more than 2.00% content. Among them, linalool was the most abundant component and the content was 24.68%. For the aroma types, the alcohols were accounted for the largest proportion with a mean of 46.55%, followed by aldehydes with a mean of 26.81%, while ketones, esters and other

收稿日期: 2022-12-28 +并列第一作者

基金项目: 茶叶创新团队项目 (2021-620-000-001-024); 湖北省重点研发计划项目 (2021BBA241); 湖北省农业科技成果转化项目 (2021ABC005、2023BBB162)。

作者简介: 马林龙 (1988-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 茶树种质资源与遗传育种研究, E-mail: malinlong@hbaas.com。

罗正飞 (1982-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 茶叶加工研究, E-mail: luophy@126.com。

* 通信作者: 金孝芳 (1982-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 茶树种质资源与遗传育种研究, E-mail: jxf1130@126.com。

components were responsible for little proportion. Multivariate statistical analysis showed that the raw Pu'er teas obtained from in southern region were clearly distinguished from those in northern region. The concentration of alcohols and esters was significantly higher in southern region than those in northern region, whereas aldehyde, ketones and other components were remarkably lower. Altitude may be an important reason for the difference of aroma components of Pu'er raw tea in the south and north regions. Furthermore, 23 aroma components were identified based on variable importance in projection (VIP) score > 1, which might be responsible for the discrimination of raw Pu'er teas in southern and northern region. Linalool, isoflone, ketones, alcohols, aldehydes, β -cyclocitral, α -cyclocitral, 2,2,6-trimethyl-cyclohexanone, nerol and β -ionone play significant role in the differentiation of raw Pu'er tea harvested from different regions. This study would provide some theoretical basis for accurately understanding the aroma quality of Lincang Pu'er raw tea, and also provide ideas and methods for the study on the quality evaluation and origin determination of Lincang Pu'er raw tea.

Key words: Lincang City; raw Pu'er tea; aroma components; multivariate statistical analysis

普洱茶是云南省特有的地方名茶,是以地理标志保护范围内的云南大叶种晒青毛茶为原料,经特定的加工工艺加工而成的,具有独特品质特征^[1-2]。茶叶香气是评价茶叶品质优劣的重要指标^[3-4],普洱茶产区多数地处高原山区,海拔、温度、地形地貌等变化大,不同产区普洱茶在香气品质上存在较大的差异^[5-6]。因此,全面系统了解普洱茶各个产区普洱茶香气品质对普洱茶的产地判定、标准建立及加工过程品质调控等方面均有着积极意义。

临沧市地处云南省西南部,是普洱茶原产地,有“天下普洱第一仓”的美誉,是普洱茶地理标志产品重要保护区域^[7-8]。临沧市属怒山山脉的南延部分,系滇西纵谷区,纵向上总体呈上游山地、中游丘陵、下游平原的地形地貌。地势由东北向西南逐渐倾斜(海拔 450~3429 m),通常海拔每升高 100 m,年平均气温会降低 0.5 °C,昼夜温差也随着海拔升高而增加,垂直气候带谱明显。复杂的地形地貌和多样的立体气候使得临沧市境内普洱茶在香气品质上存在一定的差异,但目前关于临沧市普洱茶香气品质的研究较少且仅是选取了少数区域的样本,很难全面系统的反应临沧市普洱茶的香气品质特征^[9-10]。因此,本研究通过对 16 份临沧市(七县一区)普洱生茶样品的主要香气成分含量进行比较分析,并利用主成分分析(Principal component analysis, PCA)、层次聚类分析(Hierarchical cluster analysis, HCA)和正交偏最小二乘判别分析(Orthogonal projections to latent structure-discriminant analysis, OPLS-DA)等多元统计方法对主要香气成分进行综合分析,以期客观准确地了解临沧市普洱生茶的香气品质,进而为临沧市普洱生茶品质、产地判定研究提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

当年普洱生茶样品 16 份,均来自临沧市(七县一区),其中临翔区、凤庆县、云县、双江县、镇康县、永德县、沧源县、耿马县等县(区)各 2 份。生产时间为 2018 年 5 月,品种均为当地群体,鲜叶规格为一芽二三叶,种按普洱生茶工艺“采摘—摊放—杀青—揉捻—晒干—蒸压—干燥”加工而成,取样后立

即放入 -20 °C 冰箱贮藏,于 2019 年 1 月进行香气成分检测;癸酸乙酯(纯度 99%) 美国 Sigma-Aldrich 公司。

手动 SPME 进样器、50/30 μ m DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头 美国 Supeclo 公司; 7890A 气相色谱仪、5975C 质谱仪 美国 Agilent 公司; HHS 型恒温水浴锅 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; Milli-RO PLUS 30 纯水机 法国 Millipore 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 顶空固相微萃取(HS-SPME) 采用顶空固相微萃取法(head-space solid-phase micro-extraction, HS-SPME)对茶叶样品中的香气进行提取^[11]。准确称取 3.0 g 茶样放入萃取瓶中,加入 90.0 mL 沸水,加入 2.00 μ L 的内标(90 mg/L 癸酸乙酯),然后将装有 50/30 μ m DVB/CAR/PDM 萃取头(实验前需 250 °C 老化 15 min)SPME 手持器通过瓶盖的橡皮垫插入到萃取瓶中,在 50 °C 水浴中平衡 10 min,吸附 50 min 后,取出并立即插入气相色谱仪的进样口中,240 °C 解吸附 3 min,同时启动仪器收集数据。

1.2.2 气相色谱/质谱联用(GC-MS) 采用气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对茶叶香气成分进行测定^[11]。GC 条件:安捷伦 HB-5MS(30 m $\times$ 0.32 mm, 0.25 μ m)弹性石英毛细管柱,进样口温度 240 °C,载气为高纯氮气,流速 1.0 mL/min。柱温程序:50 °C 保持 5 min,以 3 °C/min 升至 180 °C 保持 2 min,然后以 10 °C/min 升至 250 °C 保持 3 min。MS 条件:电子电离能量为 70 eV;质量扫描范围为 50~600 amu;离子源温度为 230 °C;四极杆温度为 150 °C;质谱传输线温度为 280 °C。

1.3 数据处理

采用 NIST11.L 谱库对得到的质谱图进行串联检索和人工解析,质谱匹配度 > 80% 作为物质鉴定标准^[11]。香气组分采用峰面积归一化法定量,组分峰面积除以总峰面积得到各香气物质组分的相对含量。利用 WPS 对试验数据的整理与分析,采用 SIMCA-P 14.1 软件进行 PCA、HCA 和 OPLS-DA 等多元统计分析。

续表 1

序号	香气成分	凤庆县1	凤庆县2	云县1	云县2	永德县1	永德县2	临翔区1	临翔区2	镇康县1	镇康县2	耿马县1	耿马县2	沧源县1	沧源县2	双江县1	双江县2	均值
41	酮类合计	14.84	14.75	11.69	12.50	13.87	12.65	11.95	11.84	16.59	13.74	8.62	9.03	5.19	5.85	10.55	8.45	11.38
42	水杨酸甲酯	0.94	1.51	0.65	0.99	1.19	1.46	1.46	1.94	0.86	1.08	1.45	1.94	1.69	2.33	0.97	1.50	1.37
43	二氢猕猴桃内酯	1.06	1.06	0.60	0.63	0.73	0.54	0.58	0.63	0.76	0.63	0.56	0.50	0.56	0.74	0.72	0.65	0.68
44	2-甲基戊酸甲酯	0.11	0.11	0.07	0.05	0.16	0.09	0.09	0.07	0.17	0.15	0.09	0.08	0.05	0.05	0.13	0.09	0.10
45	异戊酸叶醇酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.48	0.56	—	—	0.07
46	酯类合计	2.12	2.67	1.31	1.67	2.08	2.10	2.12	2.64	1.79	1.85	2.10	2.53	2.78	3.69	1.83	2.24	2.22
47	柠檬烯	2.80	2.12	1.72	1.64	2.37	2.13	2.97	3.48	3.36	2.74	2.67	2.38	1.74	2.10	3.77	2.29	2.52
48	二甲硫	2.80	1.81	1.63	1.10	1.36	0.64	0.48	0.46	1.05	0.56	0.96	0.67	1.18	0.75	1.21	0.59	1.08
49	茶香螺烷	0.92	1.23	0.73	0.86	1.25	1.05	1.47	1.74	1.11	1.36	0.79	0.78	0.57	0.70	0.90	0.79	1.02
50	2-乙基吡咯	0.63	0.55	0.94	0.63	0.85	0.68	0.99	0.92	0.90	1.03	0.63	0.61	0.49	0.56	0.72	0.53	0.73
51	萘	0.39	0.47	0.23	0.30	0.54	0.62	0.27	0.33	0.38	0.38	0.22	0.27	0.26	0.32	0.25	0.22	0.34
52	茶吡咯	0.39	0.83	0.93	0.19	0.26	0.34	0.29	0.37	0.20	0.37	0.23	0.43	—	—	—	—	0.30
53	其他类合计	7.93	7.01	6.18	4.72	6.63	5.46	6.47	7.30	7.00	6.44	5.50	5.14	4.24	4.43	6.85	4.42	5.98
54	总量	91.13	92.06	94.46	95.65	90.72	93.23	91.89	93.81	91.18	91.08	94.14	94.10	93.77	94.10	91.51	94.38	92.95

注：“—”表示未检出。

醇、反-氧化芳樟醇含量也较为丰富。在醛类香气中, 所测样品主要以大部分具有青味的低级脂肪醛为主, 其中壬醛含量最高, 平均含量为 7.69%; 其次是己醛, 平均含量为 4.98%; 庚醛、癸醛以及 β -环柠檬醛含量也相对较高。酮类、酯类以及其他类香气物质虽占香气总量比例相对较小, 但对普洱生茶的香气形成同样有着关键作用^[12-13]。酮类化合物通常呈花果香, 所测样品酮类香气以 2,2,6-三甲基环己酮和 β -紫罗兰酮含量最高, 其次异佛尔酮含量也相对较高。另外, 在云县 2 份普洱生茶样品中均检测出含量相对较高的反式-3-辛烯-2-酮, 含量分别为 0.87%、1.15%。在酯类香气中, 以水杨酸甲酯、二氢猕猴桃内酯含量最为丰富, 并在沧源县 2 份普洱生茶样品中检测到含量相对较高的异戊酸叶醇酯, 含量分别为 0.48%、0.56%。在其他类香气中, 以具有柠檬味的柠檬烯含量最高, 其次二甲硫、茶香螺烷含量也较为丰富, 这些香气成分已在多篇文献中被证实是构成茶叶香气的重要物质^[14-15]。总体来看, 临沧市普洱生茶的主要香气种类、组成与前人研究的云南普洱生茶结果相一致, 以清香型的醇类、醛类香气物质为主, 但不同产地样品在香气物质种类以及相对含量上存在一定的差异^[2,16]。

2.2 临沧市普洱生茶主要香气成分多元统计分析

2.2.1 主成分分析(PCA) 基于临沧市 16 份普洱生茶香气成分、种类的含量, 利用 SIMCA-P 14.1 软件进行 PCA 分析。由图 1 可知, 沧源县、双江县、耿马县等临沧市南部地区与云县、凤庆县、永德县、临翔区、镇康县等临沧市北部地区的普洱生茶样品在 PCA 得分图中能够明显区分开, 且南、北部地区的普洱生茶分别分布在 PC1 的正向、负向区间, 说明临沧市南、北地区普洱生茶在主要香气成分上存在较大差异。结合主要香气成分 PCA 载荷图(图 2)分析发现, 醇类、酯类物质总量以及芳樟醇、反-氧化芳樟

醇、橙花醇、水杨酸甲酯等平均含量较高的醇类、酯类物质在 PC1 上呈正向分布, 而绝大多数的醛类、酮类以及其他类物质及其总量在 PC1 上呈负向分布。说明临沧市南部地区普洱生茶中醇类、酯类物质含量相对较高, 而北部地区普洱生茶中醛类、酮类以及其他类物质含量相对较高。普洱生茶加工工艺与绿茶较为类似, 香气成分主要源于糖苷前体水解、脂肪

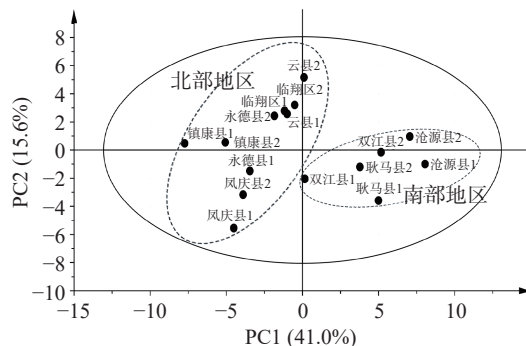


图 1 临沧市普洱生茶主要香气成分 PCA 得分图

Fig.1 PCA score plot derived from the main aroma compents of raw Pu'er tea in Lincang City

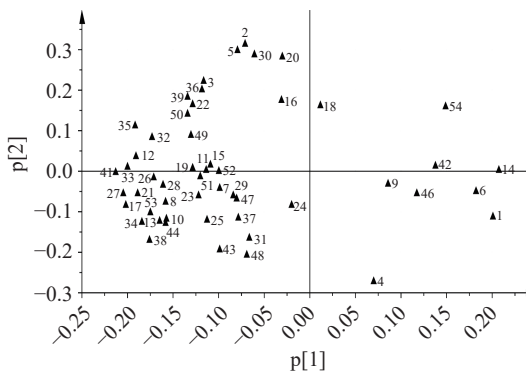


图 2 临沧市普洱生茶主要香气成分 PCA 载荷图

Fig.2 PCA corresponding loading plot derived from the main aroma compents of raw Pu'er tea in Lincang City

注: 图中的数字为表 1 中香气成分序号。

酸和类胡萝卜素氧化或高温下氨基酸的美拉德反应^[3,17], 临沧市南、北部地区普洱茶香气成分、种类含量差异可能与加工鲜叶中香气前体物质有直接关系。

2.2.2 层次聚类分析(HCA) 为了更好地观测临沧市 16 份普洱茶香气组成的相似度, 采用 HCA 对整个香气成分含量进行分析。由图 3 可知, 当横坐标为 100 时, 16 份普洱茶样品分为 2 类。第一类聚集了临翔区、永德县、镇康县、凤庆县和云县等 5 个县(区)的普洱茶样品, 说明这类样品在香气组成有一定的相似性, 而该类样品都集中在临沧市北部地区, 该类样品中绝大多数醛类、酮类以及其他类香气物质含量相对较高。第二类聚集了沧源县、耿马县和双江县等 3 个临沧市南部地区的普洱茶样品, 该类样品中醇类、酯类香气物质含量相对较高。以上研究结果与 PCA 分析结果一致。

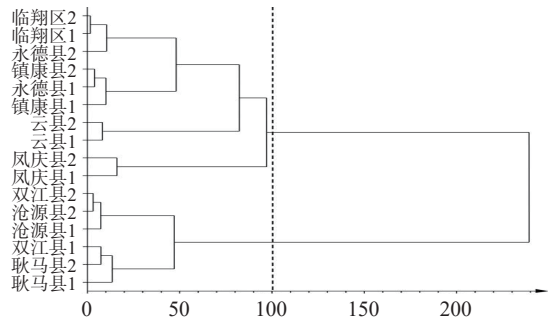


图 3 临沧市普洱茶主要香气成分聚类分析
Fig.3 HCA derived from the main aroma compents of raw Pu'er tea in Lincang City

2.2.3 正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA) 为了进一步明确临翔区、永德县、镇康县、凤庆县和云县等 10 个北部地区的普洱茶样品与沧源县、耿马县和双江县等 6 个临沧市南部地区的普洱茶样品的差异香气成分或种类, 采用 OPLS-DA 对整个香气成分含量进行分析。从 OPLS-DA 模型下的得分图(图 4)可以看出, 临沧市南、北部地区的普洱茶样品明显地分开, 其中 $R^2Y(cum)=0.915$ 、 $Q^2(cum)=0.828$, 说明该模型具有良好的稳定性和较好的预测能力。为了检验模型是否存在过度拟合, 建立 200 次 OPLS-DA 模型置换检验(图 5), 置换检验验证结果为 $R^2Y(cum)=0.759$ 、 $Q^2(cum)=-0.940$, 说明模型具有良好的稳健性, 不存在过拟合现象。基于变量投影重要性(Variable important for the projection, VIP)大于 1, 共筛选出 23 个香气成分或种类作为区分临沧市南、北部地区普洱茶香气的重要标志物(表 2)。通常 VIP 值越大, 变量在临沧市南、北部地区普洱茶中的差异越显著。由表 2 可知, 芳樟醇、异佛尔酮、酮类、醇类、醛类、 β -环柠檬醛、 α -环柠檬醛、2,2,6-三甲基环己酮、橙花醇、 β -紫罗兰酮等 VIP 值相对较大, 对临沧市南、北部地区普洱茶分类贡献较大。从香气成分或种类含量上看, 醇类物质

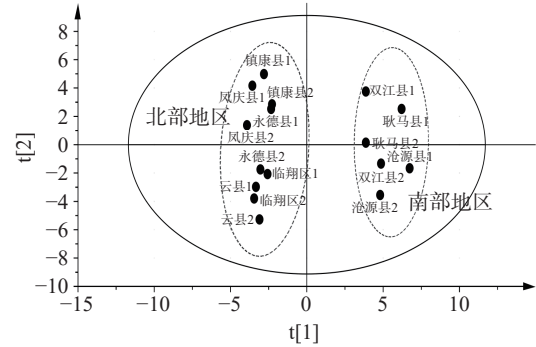


图 4 临沧市普洱茶主要香气成分 OPLS-DA 得分图
Fig.4 OPLS-DA score plots derived from the main aroma compents of raw Pu'er tea in Lincang City

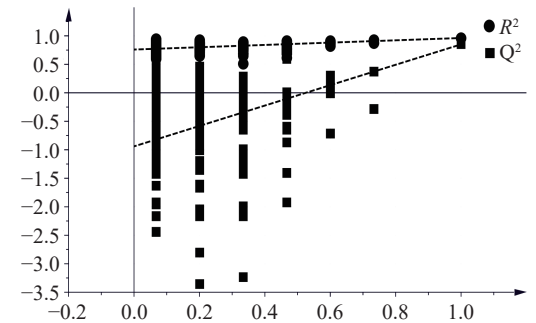


图 5 临沧市普洱茶主要香气成分 OPLS-DA 置换检验图
Fig.5 OPLS-DA permutations plots derived from the main aroma compents of raw Pu'er tea in Lincang City

表 2 基于 OPLS-DA 的 VIP 值大于 1.0 的香气成分

Table 2 Aroma components with VIP values of more than 1.0 as determined by OPLS-DA

序号	香气成分	VIP值	北部地区均值	南部地区均值
1	芳樟醇	1.46	16.79±3.39	37.83±6.22
2	异佛尔酮	1.41	2.57±0.26	1.47±0.40
3	酮类	1.39	13.44±1.61	7.95±2.03
4	醇类	1.37	40.99±4.83	55.83±5.94
5	醛类	1.27	29.54±2.64	22.26±3.71
6	β -环柠檬醛	1.26	3.20±0.68	1.86±0.62
7	α -环柠檬醛	1.25	0.53±0.10	0.34±0.09
8	2,2,6-三甲基环己酮	1.24	3.41±0.82	1.81±0.67
9	橙花醇	1.20	1.15±0.22	1.93±0.50
10	β -紫罗兰酮	1.20	2.74±0.90	1.35±0.65
11	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	1.18	1.33±0.26	0.81±0.27
12	反1,2-环戊二醇	1.18	0.31±0.07	0.19±0.05
13	α -紫罗兰酮	1.14	1.10±0.42	0.60±0.22
14	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.14	1.75±0.20	1.37±0.24
15	其他类	1.13	6.51±0.92	5.10±0.99
16	1-辛烯-3-醇	1.09	10.60±3.73	6.18±0.63
17	(2Z)-2-辛烯-1-醇	1.08	2.21±0.81	1.24±0.21
18	2,2,6-三甲基-6-乙炔基四氢-2H-呋喃-3-醇	1.05	0.47±0.10	0.35±0.03
19	顺-氧化芳樟醇	1.04	3.84±0.59	3.08±0.26
20	反-2-壬醛	1.04	0.31±0.06	0.23±0.06
21	4-萜烯醇	1.03	0.39±0.12	0.23±0.08
22	异戊醛	1.02	0.63±0.23	0.36±0.13
23	茶吡咯	1.02	0.42±0.25	0.11±0.18

总量及含量较高的芳樟醇、橙花醇在南部地区普洱生茶样品中的含量明显要高于北部地区,而酮类物质总量及含量较高的异佛尔酮、2,2,6-三甲基环己酮、 β -紫罗兰酮的含量明显要低于北部地区;醛类物质总量及 β -环柠檬醛、 α -环柠檬醛在南部地区普洱生茶样品中的含量要高于北部地区,而含量较高的壬醛、己醛在临沧市南、北部地区的普洱生茶样品中差异不显著。

3 讨论与结论

普洱生茶中主要香气成分及其呈香特性已基本明确。其中,不经贮藏的普洱生茶在香气品质上与晒青毛茶相似,香气组成以醇类香气为主,其次为醛类和酮类物质^[18-19]。而随着贮藏时间的延长,醇类、酮类以及含氮类物质呈下降趋势,而甲氧基苯类物质则呈增加趋势,呈现独特陈香的品质特点^[20-21]。本文从 16 份临沧市普洱生茶中共检测到 48 个主要香气成分,包括醇类 13 种、醛类 17 种、酮类 8 种、酯类 4 种和其他类 6 种。醇类物质占香气总量的比例最高,平均含量为 46.55%;其次是醛类物质,平均含量为 26.81%;酮类、酯类以及其他类香气物质占香气总量比例相对较小。由于本试验的 16 份样品为当年普洱生茶,均未经过自然贮藏发酵,香气成分中均未检测到甲氧基苯类香气成分。田小军等^[22]研究发现甲氧基苯类香气成分在普洱茶自然发酵第 7 年才检测到,甲氧基苯类香气的增加是导致普洱生茶香型逐渐呈现陈香的品质特征重要因素。总体来看,临沧市普洱生茶的主要香气种类、组成与前人研究的云南普洱生茶结果相一致。

利用多元统计方法对临沧市普洱生茶主要香气成分进行综合分析发现,沧源县、双江县、耿马县等临沧市南部地区与云县、凤庆县、永德县、临翔区、镇康县等临沧市北部地区的普洱生茶样品能够明显区分开。南部地区普洱生茶醇类、酯类香气物质含量相对较高,而北部地区醛类、酮类以及其他类香气物质含量相对较高。共筛选出 23 个香气成分或种类作为区分临沧市南、北部地区普洱生茶香气的重要标志物,其中芳樟醇、异佛尔酮、酮类、醇类、醛类、 β -环柠檬醛、 α -环柠檬醛、2,2,6-三甲基环己酮、橙花醇、 β -紫罗兰酮对临沧市南、北部地区普洱生茶分类贡献较大。不同产地因温度、湿度、光照以及地形地貌等环境因素的影响,鲜叶原料在香气前体物质的含量、组成比例以及内含糖苷水解酶特性等方面存在较大差异,香气品质呈现明显的产地特征^[23-24]。高海拔茶园具有相对低温、高湿和多云雾的气候特征,有利于茶树含氮化合物和芳香物质的合成和积累,茶叶酮类和醛类含量所占比例升高,玫瑰香气和花果香味更加浓郁^[25-26]。茶叶香气中大量存在的醇类、醛类及内酯类化合物等往往是由饱和或不饱和脂肪酸转化而来,较低的海拔条件更有利于脂肪酸和不饱和脂肪酸的生成在,醇类、醛类及内酯类香气物

质相对丰富^[23,27]。因此,推测海拔高度是形成临沧市南、北部地区普洱生茶香气成分含量差异一个重要原因。

本研究通过对临沧市 16 份普洱生茶样品的主要香气成分含量进行比较分析,并利用多元统计方法综合分析临沧市普洱生茶主要香气成分,一定程度上了解了临沧市普洱生茶的香气品质。然而,普洱生茶的香气成分受茶树品种、采摘季节、加工工艺和储藏条件等因素的影响,今后还需扩大临沧市不同季节、不同品种、不同生产厂家及不同储藏时间的普洱生茶样本量,进而为临沧市普洱生茶品质与产地判定等研究提供理论依据。

参考文献

- [1] 蔡新,张理琨,杨善禧,等.地理标志产品 普洱茶:GB/T 22111-2008[S].北京:中国标准出版社,2008. [CAI X, ZHANG L M, YANG S X, et al. GB/T 22111-2008 Product of geographical indication-Puer tea[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [2] 孙振杰,王梦馨,崔林,等.普洱茶香气成分研究进展[J].茶叶通讯,2020,47(1):13-19. [SUN Z J, WANG M Q, CUI L, et al. Research progress on aroma components in Pu'er tea[J]. Journal of Tea Communication, 2020, 47(1): 13-19.]
- [3] 宛晓春,夏涛.茶树次生代谢[M].北京:科学出版社,2015:125-162. [WAN X C, XIA T. Secondary metabolism of tea plant[M]. Beijing: Science Press, 2015: 125-162.]
- [4] WANG Y J, KAN Z P, THOMPSON H J, et al. Impact of six typical processing methods on the chemical composition of tea leaves using a single *Camellia sinensis* cultivar, Longjing 43[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(19): 5423-5436.
- [5] 张晨霞,王国成,王超,等.普洱市不同产茶区普洱生茶香气成分差异性分析[J].食品研究与开发,2020,41(1):177-184. [ZHANG C X, WANG G C, WANG C, et al. Comparative study on the aroma components of raw Pu-erh tea among different producing areas of Pu'er city[J]. Food Research and Development, 2020, 41(1): 177-184.]
- [6] 张纪伟,沈雪梅,张钊,等.不同产地和贮存年份普洱生茶香气和呈味物质变化的比较研究[J].食品研究与开发,2021,42(9):11-18. [ZHANG J W, SHEN X M, ZHANG Q, et al. Comparative study on changes of aroma and flavor components of raw Pu-erh tea produced in different producing areas and storage years[J]. Food Research and Development, 2021, 42(9): 11-18.]
- [7] 李学芳,马萌萌,郭正光.临沧茶叶产业发展状况分析[J].经济研究导刊,2018,20:56-58. [LI X F, MA M M, GUO Z G, et al. Analysis of tea industry development status in Lincang city[J]. Economig Rfsearch Cuide, 2018, 20: 56-58.]
- [8] 马林龙,罗正飞,曹丹,等.临沧市普洱生茶滋味品质分析[J].茶叶通讯,2021,48(3):462-468. [MA L L, LUO Z F, CAO D, et al. Analysis of taste quality of raw Pu'er tea in Lincang city[J]. Journal of Tea Communication, 2021, 48(3): 462-468.]
- [9] 曾敏.古树普洱生茶特征风味的化学基础研究[D].重庆:西南大学,2015. [ZENG M. Study on the chemical basis of characteristic flavor of Pu-erh raw tea made from ancient trees[D]. Chongqing: Southwest University, 2015.]
- [10] 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(2):113-122. [ZHAO M M, YANG R B, LÜ C Y, et al. Aroma

components of raw materials tea in Lincang: A comparative study based on electronic nose and GC-MS technology[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(2): 113-122.]

[11] 刘盼盼, 郑鹏程, 王胜鹏, 等. 青砖茶初制、渥堆过程中挥发性风味成分分析[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(12): 176-183.

[LIU P P, ZHENG P C, WANG S P, et al. Analysis of volatile flavor compounds in Qingzhuan tea during primary and pile fermentation process[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(12): 176-183.]

[12] 任洪涛, 周斌, 夏凯国, 等. 不同级别普洱生茶香气成分比较分析[J]. *现代食品科技*, 2010, 26(9): 1013-1017. [REN H T, ZHOU B, XIA K G, et al. Analysis and comparison of the aroma components of Pu-er raw tea in different grades[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2010, 26(9): 1013-1017.]

[13] 张曦, 刘玲, 童华荣. 普洱茶生茶挥发性成分分析[J]. *西南农业学报*, 2014, 27(1): 94-98. [ZHANG X, LIU L, TONG H R. Analysis of volatile components of Pu-erh tea[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 27(1): 94-98.]

[14] MA L L, CAO D, LIU Y L, et al. A comparative analysis of the volatile components of green tea produced from various tea cultivars in China[J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2019, 43(5): 451-463.

[15] 张丽, 刘腾飞, 刘明, 等. 实时直接分析质谱法对碧螺春红茶香气物质的快速鉴别[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(6): 166-173. [ZHANG L, LIU T F, LIU M, et al. Rapid determination of components of Biluochun black tea by direct analysis in real time combined with mass spectrometry(DART-MS)[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(6): 166-173.]

[16] LÜ H P, ZHONG Q S, LIN Z, et al. Aroma characterisation of Pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC/MS and GC-olfactometry[J]. *Food Chemistry*, 2012, 130(4): 1074-1081.

[17] HO C T, ZHENG X, LI S M. Tea aroma formation[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2015(4): 9-27.

[18] LÜ H P, ZHANG Y J, LIN Z, et al. Processing and chemical constituents of Pu-erh tea: A review[J]. *Food Research International*, 2013, 53(2): 608-618.

[19] LÜ S D, WU Y S, SONG Y Z, et al. Multivariate analysis based on GC-MS fingerprint and volatile composition for the quali-

ty evaluation of Pu-Erh green tea[J]. *Food Analytical Methods*, 2015, 8(2): 321-333.

[20] 曹艳妮, 刘通讯. 不同储存时间普洱生茶和熟茶香气成分分析[J]. *食品工业*, 2011, 32(10): 64-67. [CAO Y N, LIU T X. Analysis of aroma composition in Pu-erh raw and ripe teas with different storage time[J]. *The Food Industry*, 2011, 32(10): 64-67.]

[21] 曹艳妮, 刘通讯. 普洱生茶和熟茶香气中萜烯类和甲氧基苯类成分分析[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(5): 128-130. [CAO Y N, LIU T X. Analysis of terpenes and methoxybenzene components in aroma composition of pu-erh raw tea and ripe tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(5): 128-130.]

[22] 田小军, 王杰, 邓宇杰, 等. 不同贮藏时间普洱生茶的特征性香气成分分析[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(12): 194-202. [TIAN X J, WANG J, DENG Y J, et al. Characteristic aroma components analysis of raw Pu'er tea at different storage time[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(12): 194-202.]

[23] YANG Z Y, BALDERMANN S, WATANABE N. Recent studies of the volatile compounds in tea[J]. *Food Research International*, 2013, 53(2): 585-599.

[24] WU Y S, LÜ S D, WANG C, et al. Comparative analysis of volatiles difference of Yunnan sun-dried Pu-erh green tea from different tea mountains: Jingmai and Wuliang mountain by chemical fingerprint similarity combined with principal component analysis and cluster analysis[J]. *Chemistry Central Journal*, 2016, 10(1): 11.

[25] 叶伟华, 李杰峰. 海拔对乌牛早茶叶品质的影响[J]. *浙江农业科学*, 2020, 61(8): 1512-1516. [YE E H, LI J F. Effect of altitude on the quality of 'Wuniuzao' tea[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(8): 1512-1516.]

[26] 孙慕芳, 郭桂义, 张莉, 等. 不同海拔高度信阳毛尖茶香气成分的 GC-MS 分析[J]. *河南农业科学*, 2014, 43(5): 181-185.

[SUN M F, GUO G Y, ZHANG L, et al. Analysis of Xinyangmaojian tea aroma components from different altitude by GC-MS[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2014, 43(5): 181-185.]

[27] 张悦, 朱茵, 吕海鹏, 等. 不同海拔烘青绿茶的品质成分分析[J]. *食品科学*, 2022, 43(2): 257-268. [ZHANG Y, ZHU Y, LÜ H P, et al. Comparative analysis of quality components in baked green tea made from tea plants grown at different altitudes[J]. *Food Science*, 2022, 43(2): 257-268.]