

影响普洱熟茶香气品质的关键香气成分分析

吕海鹏¹, 张悦¹, 杨婷^{1,2}, 施江^{1,2}, 林智¹

(1. 农业部茶树生物学与资源利用重点实验室, 中国农业科学院茶叶研究所 浙江杭州 310008)

(2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081)

摘要: 普洱熟茶是产于我国云南省的一种采用晒青毛茶制作的后发酵茶。本研究采用顶空固相微萃取 (HS-SPME) 技术结合气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术, 分析比较了不同香气感官品质得分的两组普洱熟茶样品的香气相对含量水平差异。相关性分析和主成分分析研究表明, 3,4,5-三甲氧基-苯甲醛、亚甲基-丁酸-二甲酯、2-乙基-丁酸-2-丙烯酯、3,4-二甲氧基甲苯和 5-甲基-1,2,3-三甲氧基-苯等香气成分的相对含量水平与普洱熟茶香气品质得分的相关性达到极显著水平 ($p < 0.01$), 橙花醇、橙花叔醇以及十六烷酸等香气成分的相对含量水平与普洱熟茶香气品质得分的相关性达到显著水平 ($p < 0.05$), 表明它们是影响普洱熟茶香气品质的关键香气成分。此外, 本研究还采用 PLS 回归初步建立了 1 个基于上述关键香气品质成分相对含量水平的普洱熟茶香气品质评价模型。

关键词: 普洱熟茶; 香气; 相对含量; 感官审评; 偏最小二乘回归

文章编号: 1673-9078(2015)12-394-399

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.12.058

Key Aroma Constituents Affecting the Quality of Ripened Pu-erh Tea

LV Hai-peng¹, ZHANG Yue¹, YANG Ting^{1,2}, SHI Jiang^{1,2}, LIN Zhi¹

(1. Key Laboratory of Tea Biology and Resource Utilization of Ministry of Agriculture, Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China) (2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Ripened pu-erh tea is a post-fermented tea produced from sun-dried green tea in the Yunnan province of China. The headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-tandem mass spectrometry (HS-SPME/GC-MS) technique was used to analyze the changes in the relative content of aroma constituents of two ripened pu-erh tea sample groups with different sensory scores for aroma quality. Correlation analysis and principal component analysis showed that the relative levels of 3,4,5-trimethoxy-benzaldehyde, dimethyl itaconate, butanoic acid-2-ethyl-2-propenyl ester, 3,4-dimethoxytoluene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl-benzene, and other aroma constituents showed a significant correlation with the aroma quality score obtained from the sensory evaluation ($p < 0.01$). The relative content of nerol, nerolidol, and *n*-hexadecanoic acid were significantly correlated with the aroma the quality score ($p < 0.05$). This result suggests that the above-mentioned compounds are the key aroma constituents influencing the aroma quality of ripened pu-erh tea. Moreover, a preliminarily partial least squares (PLS) regression model was constructed based on the levels of these key aroma compounds to predict the aroma quality of ripened pu-erh tea.

Key words: ripened pu-erh tea; aroma; relative content; sensory evaluation; partial least squares regression

普洱熟茶是以云南大叶茶的晒青毛茶为原料, 在高温高湿的环境中以及微生物的参与下, 制成的具有独特风味品质特征的后发酵茶^[1]。普洱熟茶滋味醇和回甘, 香气陈醇, 具有降脂减肥等诸多保健功效^[2-5], 在东南亚等市场颇受消费者欢迎, 一度促进了生产的繁荣^[6]。

收稿日期: 2015-05-05

基金项目: 国家自然科学基金 (31000317); 中国农业科学院创新工程 (CAAS-ASTIP-2014-TRICAAS)

作者简介: 吕海鹏 (1980-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事茶叶加工品质化学研究

通讯作者: 林智 (1965-), 男, 博士, 研究员, 主要从事茶叶加工品质化学研究

香气是决定茶叶品质最主要的因素之一。“陈香”是普洱熟茶香气品质最主要的特征, 也是决定其销售价格的最重要因子之一。目前, 关于普洱熟茶香气成分的研究成为了茶叶品质化学研究领域的重要研究课题, 已经取得了重要的研究进展, 例如建立了相关的分析方法^[7-9], 查明了关键致香成分^[10], 分析了不同微生物、加工方式、加工过程以及处理方式对其香气成分的影响^[11-12], 等等, 这些为其香气化学的进一步深入研究奠定了重要基础。然而, 采用化学计量学方法来分析其香气品质感官审评得分与其关键香气成分含量水平之间的关系以及通过关键香气品质成分的含量水平来预测其香气品质得分的研究尚无相关报道。偏最小二乘回归 (PLS 回归) 可以用来分析具有强共

线性和强噪音的多变量数据,并同时对应变量建模,目前已在绿茶香气品质预测方面取得较好的研究结果^[13],这为普洱熟茶香气成分的进一步深入研究提供了良好借鉴。

据此,本研究拟采用顶空固相微萃取技术(HS-SPME)富集普洱熟茶的香气成分并结合气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术,分析检测多个样品的香气成分组成及其含量水平,并结合香气品质感官审评得分结果进行相关性分析,进而筛选对其香气品质具有重要影响的关键香气成分;继而在此基础上,采用PLS回归建立普洱熟茶香气品质评价模型并用关键香气成分的含量水平来初步预测其香气感官品质情况。本研究将有助于揭示普洱熟茶中关键的香气品质成分,促进其香气化学研究的进一步深入。

1 材料与方法

1.1 材料和主要仪器

17个有代表性的普洱熟茶样品由云南省人民政府生物资源开发创新办公室收集提供。数显恒温水浴锅(HH-2型,江南仪器厂);自制改良萃取瓶、手动SPME进样器以及固相微萃取头(65 μm PDMS/DVB, Supelco公司);安捷伦气质联用仪(Agilent GC 6890N-5973 mass selective detector)。

1.2 试验方法

1.2.1 样品感官审评

委托中国农业科学院茶叶研究所农业部茶叶质量监督检验测试中心,按照GB/T 22111-2008中的普洱茶(熟茶)审评方法,对全部样品进行感官审评,对每个样品的香气感官品质进行打分。

1.2.2 HS-SPME方法和GC-MS分析

主要按照参考文献^[9]中建立的方法进行。

HS-SPME 参数条件: 试验中采用 65 μm DVB/PDMS 萃取头,茶水比设为 1:3(g/mL),提取水浴温度设为 60 °C,萃取时间设为 60 min。

GC-MS 条件: HP-5MS 弹性石英毛细管柱(30m×0.25mm×0.25μm);进样口温度 250 °C、ECD 检测器温度 250 °C;载气为高纯氦气(纯度>99.999%),流速为 1mL/min;柱温起始为 50 °C,保持 5 min,以每分钟 3 °C 升至 125 °C,保持 3 min,再以 2 °C/min 升至 180 °C,保持 3 min,最后以 15 °C/min 升至 230 °C,不分流进样。离子源 EI;离子源温度 230 °C;电子能量 70 eV;发射电流 34.6 μA;四极杆温度 150 °C;转接口温度:280 °C;电子倍增器电压 350 V;

质量扫描范围:35-400 amu。

GC-MS 分析: 各香气组分含量以相对含量(%)表示,即各香气组分的峰面积占总峰面积的比值的百分数。

1.3 数据统计分析

数据的相关性分析和主成分分析采用 SPSS17.0 数据处理软件进行;PLS 分析采用 SIMCA-P 软件进行。

2 结果与分析

2.1 普洱熟茶样品的香气感官审评结果分析

表 1 为样品的香气评语及香气得分的感官审评结果,该批样品的香气品质感官审评得分介于 83 分-92 分之间,香气评语从“纯和”到“陈香浓”。这批样品中有 8 个样品的香气品质“陈香”较好,都在 90 分(含)以上;另外有 9 个样品的香气品质得分在 90 分以下,评语多为“纯正”、“纯和”等。后续试验分析将根据该评分情况将这些样品分为两组,即 90 分(含)以上组(高分组)和 90 分以下组(低分组),以方便比较两组样品在香气组分相对含量水平上的差异情况。

表 1 普洱熟茶样品的香气品质感官审评结果

Table 1 Aroma quality of ripened pu-erh tea samples evaluated by

编号	香气	
	评语	得分
1	陈纯	88
2	陈香显	90
3	陈香浓	92
4	陈香显	91
5	陈香显	91
6	陈香显	91
7	较高	87
8	陈香显	90
9	纯正	85
10	尚高	86
11	陈香显	91
12	陈香	90
13	纯和	84
14	较高	87
15	纯和	83
16	纯正	85
17	较高纯	88

2.2 不同香气品质审评得分的两组样品的香气成分的相对含量水平差异比较

采用 SPSS 17.0 分析软件对高分组和低分组两组样品中香气成分的相对含量水平进行差异显著性分析, 发现了许多香气成分的相对含量水平在两组样品中具有显著性差异 (表 2)。两组样品均以醇类化合物

和杂氧化物的相对含量较高; 相对含量差异较大的香气成分, 包括 β -芳樟醇及其氧化物、2-异丙基-4-甲基-己-2-烯-醛、3,4,5-三甲氧基-苯甲醛、3,4-二甲氧基甲苯、5-甲基-1,2,3-三甲氧基-苯以及十六烷酸等。这些香气成分都已被试验证实是普洱熟茶中重要的致香化合物成分^[10, 14], 因此, 可以初步推断这些成分能在较大程度上影响其香气的感官品质得分, 后面将采用相关性分析来进一步研究。

表 2 两组不同香气品质得分的普洱熟茶的香气组成 (%)

Table 2 Aroma constituents of two groups of ripened pu-erh tea with different aroma scores

编号	香气成分	保留时间 /min	≥ 90 分 (n=8)		< 90 分 (n=9)	
			平均	含量范围	平均	含量范围
1	1-乙基-1 氢-吡咯-2-甲醛	15.218	0.18 ^b	0.14~0.21	0.31 ^a	0.16~0.38
2	香芹酮	15.674	0.39 ^a	0.35~0.45	0.44 ^a	0.19~0.68
3	芳樟醇氧化物 I	16.394	2.03 ^b	1.46~2.52	2.38 ^a	1.26~3.08
4	芳樟醇氧化物 II	17.197	3.95 ^b	3.30~4.70	4.93 ^a	4.46~5.73
5	β -芳樟醇	17.923	2.27 ^b	1.61~3.13	3.87 ^a	1.62~5.46
6	苯乙醇	18.435	0.22 ^b	0~0.41	0.35 ^a	0~0.64
7	1,2-二甲氧基苯	20.107	4.87 ^a	3.97~5.88	4.40 ^a	2.89~6.32
8	芳樟醇氧化物 III	21.084	2.53 ^a	1.11~4.50	1.67 ^b	0.93~4.54
9	芳樟醇氧化物 IV	21.329	3.58 ^b	2.19~4.56	4.57 ^a	2.10~6.64
10	茶	21.559	1.25 ^a	0.78~2.06	1.21 ^a	0.23~1.75
11	α -萜品醇	22.105	5.56 ^a	4.41~6.93	5.93 ^a	4.42~7.50
12	藏红花醛	22.446	0.28 ^b	0.11~0.38	0.39 ^a	0~0.87
13	α -法呢烯	22.546	0.64 ^a	0.44~0.89	0.64 ^a	0.42~0.92
14	癸醛	22.933	0.23 ^b	0~0.34	0.30 ^a	0~0.62
15	β -环柠檬醛	23.464	0.63 ^a	0.40~0.85	0.76 ^a	0.43~1.23
16	橙花醇	23.886	0.43 ^b	0~0.82	0.52 ^a	0.35~0.68
17	3,4-二甲氧基甲苯	24.478	2.47 ^a	1.29~3.45	1.79 ^b	0.90~2.75
18	2,6-二甲氧基苯酚	24.698	0.34 ^a	0.24~0.44	0.24 ^b	0~0.61
19	香叶醇	25.136	0.48 ^b	0.31~0.83	0.58 ^a	0.27~1.09
20	3,4,4a,5,6,7-六氢-1,1,4a-三甲基-2 (1H) 萘酮	26.184	0.43 ^b	0.38~0.56	0.52 ^a	0~0.65
21	1-甲氧基-4- (1-丙烯基) -苯	26.473	0.20 ^a	0.15~0.31	0.18 ^a	0.15~0.23
22	2-甲基萘	26.628	1.38 ^a	1.13~2.02	1.33 ^a	1.06~1.88
23	1,2,3-三甲氧基苯	27.844	19.41 ^a	15.57~27.20	14.31 ^b	9.05~24.89
24	4-乙基-1,2-二甲氧基苯	28.272	3.82 ^a	1.44~5.80	2.73 ^b	2.47~2.92
25	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-乙醇	28.638	0.22 ^a	0.19~0.27	0.20 ^a	0~0.36
26	1,1,6-三甲基-1,2-二氢-萘	29.389	0.63 ^a	0.26~0.93	0.57 ^a	0.29~0.82
27	1,2,4-三甲氧基苯	30.363	4.40 ^a	2.50~7.26	3.86 ^b	2.19~6.33
28	2-异丙基-4-甲基-己-2-烯-醛	30.869	1.35 ^a	1.23~1.53	0.75 ^b	0~1.12
29	β -愈创烯	31.036	0.86 ^a	0.66~1.03	0.71 ^b	0.09~1.34
30	十四烷	31.685	0.60 ^a	0.30~0.96	0.45 ^b	0.13~1.03
31	5-甲基-1,2,3-三甲氧基-苯	31.942	2.82 ^a	2.08~4.74	1.04 ^b	0.48~1.78
32	α -雪松烯	32.144	1.13 ^a	0.40~2.14	0.97 ^a	0.29~2.01

转下页

接上页

33	1,8-二甲基萜	32.296	0.38 ^b	0.18~0.60	0.48 ^a	0.26~1.02
34	α -紫罗酮	33.068	0.86 ^a	0.83~1.00	0.87 ^a	0.64~1.06
35	2,2,8,8-四甲基-3,5-辛二烯-5-酮	33.292	0.74 ^a	0.47~1.10	0.73 ^a	0.65~0.85
36	β -紫罗醇	33.642	0.36 ^a	0.17~0.55	0.31 ^a	0.21~0.42
37	亚甲基-丁酸-二甲酯	33.807	0.63 ^a	0.36~0.85	0.47 ^b	0.36~0.63
38	2-乙基-丁酸-2-丙烯基酯	34.076	0.65 ^a	0.56~0.90	0.62 ^a	0.47~0.82
39	1,2,3,4-四甲氧基萜	34.263	0.68 ^a	0.56~0.80	0.57 ^a	0.35~0.80
40	香叶基丙酮	34.520	0.63 ^a	0.51~0.89	0.74 ^a	0.46~1.21
41	3,4,5-三甲氧基-苯甲醛	36.171	1.48 ^a	1.21~1.52	0.70 ^b	0.32~1.17
42	β -紫罗酮	36.307	2.19 ^a	1.57~2.77	2.30 ^a	1.81~2.89
43	二萜并呋喃	37.449	0.24 ^a	0.13~0.32	0.26 ^a	0.19~0.46
44	石竹烯	37.585	0.45 ^a	0.40~0.50	0.50 ^a	0.32~0.76
45	2,6-二叔丁基对甲苯酚	37.840	2.87 ^b	1.84~3.89	3.17 ^a	1.55~4.70
46	乙酸-2,5-二甲基-3-己烯-1-醇酯	38.125	0.34 ^a	0.30~0.40	0.39 ^a	0.29~0.64
47	二氢猕猴桃内酯	38.476	1.41 ^a	1.01~1.91	1.61 ^a	1.00~2.03
48	2,3,6-三甲基-萜	39.326	0.35 ^a	0.11~0.97	0.26 ^b	0.13~0.37
49	橙花叔醇	40.660	0.44 ^a	0~0.73	0.33 ^b	0~0.72
50	蒎	41.084	0.34 ^a	0.20~0.38	0.30 ^a	0.20~0.41
51	雪松醇	42.434	0.35 ^a	0.22~0.47	0.38 ^a	0.23~0.55
52	十六烷	42.732	0.53 ^a	0.38~0.73	0.49 ^a	0.29~0.58
53	3,4-二甲氧基-1,1'-联萜	47.128	0.34 ^a	0.19~0.76	0.40 ^a	0.15~0.87
54	蒎	51.197	0.26 ^a	0.10~0.38	0.26 ^a	0.13~0.56
55	植酮	55.594	0.30 ^b	0.17~0.44	0.40 ^a	0.27~0.56
56	邻萜二甲酸二丁酯	56.620	0.33 ^a	0.18~0.57	0.38 ^a	0.07~0.52
57	十六烷酸	61.414	0.26 ^b	0.20~0.29	0.39 ^a	0.17~0.87

注: ^{ab}同行相同字母代表不存在显著性差异($p>0.05$)。

注: 皮尔逊线性相关分析: ** $p<0.01$, * $p<0.05$ 。

2.3 影响普洱熟茶香气品质感官得分的关键

香气成分分析

表3 与普洱熟茶香气感官品质相关的关键香气成分

Table 3 Key aroma compounds correlated with the aroma quality of ripened pu-erh tea

编号	名称	相关系数
A8	橙花醇	0.555*
A11	橙花叔醇	0.534*
A19	3,4,5-三甲氧基-苯甲醛	0.652**
A27	亚甲基-丁酸-二甲酯	0.643**
A28	2-乙基-丁酸-2-丙烯基酯	0.696**
A34	蒎	0.553*
A35	蒎	0.566*
A46	十六烷酸	-0.531*
A50	3,4-二甲氧基萜	0.610**
A54	5-甲基-1,2,3-三甲氧基-萜	0.662**

基于样品的香气感官审评得分(表1)和香气成分组成的相对含量水平(表2),采用SPSS 17.0分析软件进行了相关性分析,进一步查明了可显著影响普洱熟茶香气品质得分的关键香气成分(表3),其中有5种香气成分(3,4,5-三甲氧基-苯甲醛、亚甲基-丁酸-二甲酯、2-乙基-丁酸-2-丙烯基酯、3,4-二甲氧基萜和5-甲基-1,2,3-三甲氧基-萜)与其香气品质得分的相关性达到极显著水平($p<0.01$),另外有5种香气成分(橙花醇、橙花叔醇、蒎、蒎、十六烷酸)与其香气品质得分的相关性达到显著水平($p<0.05$);另外,从表3还可以看出,与普洱熟茶香气品质审评得分的相关性最强的为2-乙基-丁酸-2-丙烯基酯的相对含量水平,而与其香气品质得分呈显著的负相关关系的为十六烷酸的相对含量水平。

2.4 基于关键香气成分的主成分分析

采用上述关键香气成分(即橙花醇、橙花叔醇、

3,4,5-三甲氧基-苯甲醛、亚甲基-丁酸-二甲酯、2-乙基-丁酸-2-丙烯基酯、蒽、芴、十六烷酸、3,4-二甲氧基甲苯和 5-甲基-1,2,3-三甲氧基-苯) 的相对含量水平作为变量,本实验中所用的普洱熟茶样品作为考察对象,进行主成分分析。由表 4 可以看出,前三个主成分的累积贡献率将近 90%。其中,第 1 主成分中的 3,4,5-三甲氧基-苯甲醛、5-甲基-1,2,3-三甲氧基-苯、2-乙基-丁酸-2-丙烯基酯以及 3,4-二甲氧基甲苯以及第 2 主成分中的十六烷酸的特征向量分别为 0.960、0.946、0.937、0.909 和 0.813,在一定意义上可以认为它们是影响普洱熟茶香气品质感官审评得分的重要的香气组分。本实验中普洱熟茶样品在第 1 主成分和第 2 主成分散点分布图如图 1 所示。从图 1 可见,高分组样品(除 8 号外)都位于 PC1 的正区域,而 9 个低分组的样品都位于图中 PC1 的负区域,两组样品可以得到较好的区分。

表 4 主成分分析中各变量的方差贡献率及累计方差贡献率

Table 4 Variance contribution and cumulative variance contribution in PCA analysis

化合物名称	方差贡献率/%	累计贡献率/%
橙花醇	64.111	64.111
橙花叔醇	14.534	78.646
3,4,5-三甲氧基-苯甲醛	10.421	89.067
亚甲基-丁酸-二甲酯	4.229	93.296
2-乙基-丁酸-2-丙烯基酯	3.872	97.168
蒽	1.498	98.666
芴	0.853	99.518
十六烷酸	0.262	99.780
3,4-二甲氧基甲苯	0.198	99.979
5-甲基-1,2,3-三甲氧基-苯	0.021	100.00

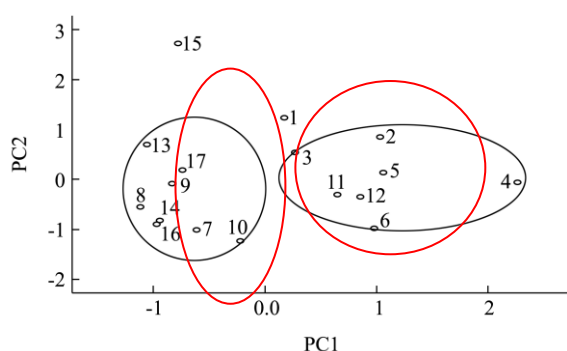


图 1 普洱熟茶样品在第 1 主成分和第 2 主成分分布

Fig.1 Scatter plot of the first two principal components for Pu-erh tea samples

2.5 PLS 回归模型的建立及其对普洱熟茶香

气品质得分的评价效果

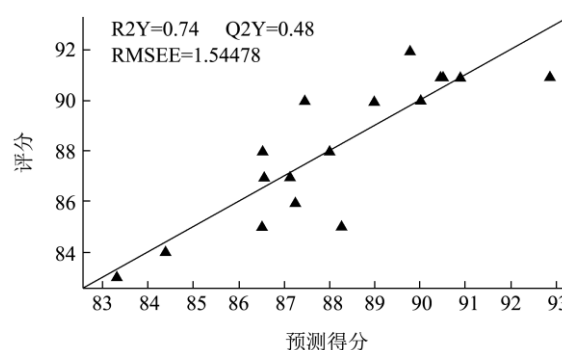


图 2 基于 10 个香气成分的普洱熟茶香气感官评分 PLS 回归 Fig.2 Plot of the PLS regression between observed and predicted aroma scores of ripened pu-erh tea on aroma compounds

表 5 PLS 回归模型对普洱熟茶香气得分的评价效果

Table 5 Comparative analysis of the aroma scores of ripened pu-erh tea and the aroma scores predicted by PLS regression model

编号	香气	
	评分	预测评分
1	88	86.5
2	90	90.0
3	92	89.8
4	91	92.8
5	91	90.5
6	91	90.8
7	87	87.1
8	90	87.5
9	85	88.2
10	86	87.3
11	91	90.5
12	90	89.0
13	84	84.4
14	87	86.6
15	83	83.3
16	85	86.5
17	88	88.0

将上述关键香气成分的含量水平数据组成 X-matrice, 样品的香气品质审评得分组成 Y-matrice, PLS 回归验证了 X-matrice 与 Y-matrice 二者之间存在较好的相关性 ($R^2Y=0.74$) (图 2)。采用该 PLS 回归模型, 大多数样品的香气品质审评得分得到了较好预测 (表 5); 但 PLS 主成分预测的观测值 (Y) 的变异 ($Q^2Y=0.48$) 比较低, 与普洱熟茶的香气品质特征成

分是在高温高湿且微生物的参与下形成的复杂性有关,可能还存在一些尚未被阐明的对其香气品质得分起到了重要作用的关键香气成分。

3 结论

3.1 采用 HS-SPME/GC-MS 分析技术查明了高分组和低分组两组普洱熟茶样品中香气成分相对含量水平的差异,发现一些香气成分的相对含量水平,例如 3,4,5-三甲氧基-苯甲醛、十六烷酸、橙花醇、亚甲基-丁酸-二甲酯、3,4-二甲氧基甲苯、5-甲基-1,2,3-三甲氧基-苯、橙花叔醇等,在两组样品中具有显著性差异。

3.2 采用相关性分析查明了影响普洱熟茶香气感官品质得分的关键香气成分,其中 3,4,5-三甲氧基-苯甲醛、亚甲基-丁酸-二甲酯、2-乙基-丁酸-2-丙烯基酯、3,4-二甲氧基甲苯和 5-甲基-1,2,3-三甲氧基-苯等 5 种香气成分的相对含量水平与香气品质得分的相关性达到极显著水平 ($p < 0.01$),而橙花醇、橙花叔醇、蒎、芴、十六烷酸等 5 种香气成分的相对含量水平与香气品质得分的相关性达到显著水平 ($p < 0.05$)。

3.3 采用上述关键香气品质化学成分的相对含量水平和普洱熟茶的香气品质审评得分初步建立了 PLS 回归模型,PLS 回归验证了二者之间存在较好的相关性,大多数样品的香气品质感官得分得到了较好预测。

参考文献

- [1] LV Hai-peng, ZHANG Ying-jun, LIN Zhi, et al. Processing and chemical constituents of pu-erh tea: a review [J]. Food Research International, 2013, 53(2): 608-618
- [2] HWANG L-s, LIN L-c, CHEN N-t, et al. Hypolipidemic effect and antiatherogenic potential of Pu-Erh tea [J]. ACS Symp. Ser, 2003, 859: 87-103
- [3] HOU Yan, SHAO Wan-fang, XIAO Rong, et al. Pu-erh Tea Aqueous extracts lower atherosclerotic risk factors in a rat hyperlipidemia model [J]. Experimental Gerontology, 2009, 44(6/7): 434-439
- [4] KUO Kuan-li, WENG Meng-shih, CHIANG Chun-te, et al. Comparative studies on the hypolipidemic and growth suppressive effects of oolong, black, pu-erh, and green tea leaves in rats [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(2): 480-489
- [5] LEE L-k., FOO K-y. Recent advances on the beneficial use and health implications of pu-erh tea [J]. Food Research International, 2013, 53(2): 619-628
- [6] 汤克仁.中国黑茶茶叶发展现状[J].中国茶叶,2008,10:4-5
TANG Ke-ren. Advancement of chinese dark tea industry [J]. Journal of Chinese Tea, 2008, 10: 4-5
- [7] DU Li-ping, LI Jian-xun, LI Wei, et al. Characterization of volatile compounds of pu-erh tea using solid-phase microextraction and simultaneous distillation-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Research International, 2014, 57: 61-70
- [8] DU Li-ping, WANG Chao, LI Jian-xun, et al. Optimization of headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry for detecting methoxyphenolic compounds in pu-erh tea [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61 (3):561-568
- [9] 吕海鹏,钟秋生,施江,等.普洱茶挥发性成分指纹图谱研究[J].茶叶科学,2014,34(1):71-78
LV Hai-peng, ZHONG Qiu-sheng, SHI Jiang, et al. Study on fingerprint on volatile constituents of pu-erh tea [J]. Journal of Tea Science, 2014, 34(1):71-78
- [10] LV Hai-peng, ZHONG Qiu-sheng., LIN Zhi, 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
- [11] Xu X, Yan M, Zhu Y. Influence of Fungal Fermentation on the Development of Volatile Compounds in the Puer Tea Manufacturing Process [J]. Engineering in Life Sciences, 2005, 5(4): 382-386
- [12] 刘通讯,谭梦珠.不同干燥温度对普洱茶多酚类物质和香气成分的影响[J].现代食品科技,2015,31(4):264-271
LIU Tong-xun, TAN Meng-zhu. The effect of different drying temperatures on the transformation of polyphenols and volatile aroma components in pu-erh tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(4):264-271
- [13] LIN Jie, DAI Yi, GUO Ya-nan, et al. Volatile profile analysis and quality prediction of longjing tea (*Camellia sinensis*) by HS-SPME/GC-MS [J]. Zhejiang Univ-Sci B (Biomed & Biotechnol), 2012,13(12):972-980
- [14] WANG Kun-bo, LIU Fang, LIU Zhong-hua, et al. Comparison of catechins and volatile compounds among different types of tea using high performance liquid chromatograph and gas chromatograph mass spectrometer[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46(7):1406-1412