

普洱生茶贮藏过程中品质指标的规律变化分析

焦婷婷^{1,2}, 师梦楠^{1,2}, 罗慧¹, 王庆华¹, 王白娟¹, 阮殿蓉³, 周玲^{1*}, 熊昌云^{1,2*}

(1. 云南农业大学茶学院, 云南昆明 650201)(2. 云南农业大学(热带作物学院)茶叶研究所, 云南普洱 665000)(3. 云南六大茶山茶业股份有限公司, 云南西双版纳 650100)

摘要: 该研究选用贮藏时间在3~20年的18个普洱生茶茶样, 通过感官审评和理化成分分析, 探究贮藏过程中普洱生茶品质指标的规律变化。结果表明, 随着贮藏时间增加, 普洱生茶的汤色色泽逐渐加深, 香气由清香转为陈香, 滋味由醇厚转为醇和, 叶底颜色变深变暗, 贮藏10年及以上感官品质有所提升, 但贮藏18年后, 感官品质开始下降; 水浸出物、咖啡碱、GC、C、CG的含量呈不规则变化, 没食子酸含量逐渐增加, 游离氨基酸、EGC、EC、EGCG、GCG、ECG的含量随着贮藏时间的增加呈下降趋势。对17个品质指标标准化后进行相关性分析、主成分分析和聚类分析, 发现品质指标间存在显著相关性, 通过系统聚类可将茶样分为5类, 每间隔3~4年聚为一类, 其中, A类综合得分最高, D类次之, E类最低, 说明品质指标随着贮藏年份的增加呈现下降趋势, 且在3~4年贮藏时间内保持稳定。该结果为深入研究普洱生茶贮藏过程中的品质变化提供依据。

关键词: 普洱生茶; 理化成分; 变化规律; 相关性分析; 主成分分析; 聚类分析

文章编号: 1673-9078(2024)03-172-181

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.3.0432

Analysis of Changes in Quality Indicators during Storage of Raw Pu-erh Tea

JIAO Tingting^{1,2}, SHI Mengnan^{1,2}, LUO Hui¹, WANG Qinghua¹, WANG Baijuan¹, RUAN Dianrong³,
ZHOU Ling^{1*}, XIONG Changyun^{1,2*}

(1.College of Tea, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

(2.Tea Research Institute, Yunnan Agricultural University (College of Tropical Crops), Pu'er 665000, China)

(3.Yunnan Six Famous Tea Mountain Tea Industry Inc, Xishuangbanna 650100, China)

Abstract: In this study, 18 raw Pu-erh tea samples with storage times of 3 to 20 years were selected to investigate the changes in quality indicators of raw Pu-erh tea during storage through sensory evaluation and physicochemical composition analysis. The results showed that with increasing storage time, the color of raw Pu-erh tea gradually deepened, while the fresh aroma transformed into an aged fragrance. Simultaneously, the flavor changed from mellow and rich to mellow and neutral, and the color of the leaf bottom turned darker. The sensory quality was seen to improve after storage for 10 years and above, but began to decline after 18 years of storage. The water extract components, caffeine, GC, C, and CG showed irregular changes, while the concentration of gallic acid gradually increased. The contents of free amino acids, EGC, EC, EGCG, GCG, and ECG showed a decreasing trend with increasing storage time. Seventeen quality indicators were standardized and

引文格式:

焦婷婷,师梦楠,罗慧,等.普洱生茶贮藏过程中品质指标的规律变化分析[J].现代食品科技,2024,40(3):172-181.

JIAO Tingting, SHI Mengnan, LUO Hui, et al. Analysis of changes in quality indicators during storage of raw Pu-erh tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(3): 172-181.

收稿日期: 2023-04-10

基金项目: 云南省“万人计划”高技能人才专项基金(YNWR-SXJS-2018-034)

作者简介: 焦婷婷(1997-),女,硕士研究生,研究方向:制茶工程与品质化学, E-mail: jiaotingting4741@163.com

通讯作者: 周玲(1969-),女,硕士,教授,研究方向:茶叶加工、茶文化, E-mail: 1661210929@qq.com; 共同通讯作者: 熊昌云(1979-),男,博士,教授,研究方向:茶叶生物化学与功能性产品研发, E-mail: spandax@163.com

the samples were subjected to correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis that revealed significant correlations among the quality indicators. The tea samples could be divided into five categories by systematic clustering and could be clustered into one category every 3~4 years. In particular, category A had the highest composite score, followed by category D, while category E had the lowest score. Although the quality indicators show a decreasing trend with the increase in number of storage years, they remained stable during 3~4 years of storage. The results provide a basis for an in-depth study on the quality changes of raw Pu-erh tea during storage.

Key words: raw Pu-erh tea; physicochemical composition; variation pattern; correlation analysis; principal component analysis; cluster analysis

普洱茶在我国云南地区具有悠久的历史，是以地理标志保护范围内的云南大叶种茶树的晒青毛茶为原料，按照特定的加工工艺制成，具有独特的品质特征，分为普洱生茶和普洱熟茶两种类型^[1,2]。普洱生茶是将晒青毛茶经过蒸压成型，而后干燥而成的紧压茶，具有降脂减肥、抗炎、抗癌、降血脂、血糖、血压，以及保肝护肝、抑制酒精性胃损伤等作用^[3-8]，由于普洱茶的耐贮藏性，出现了许多收藏者，收藏年份久的普洱茶，这也引起了许多学者的关注，对其化学成分及其在存放过程中的变化规律与普洱茶品质的关系进行研究报道。

茶叶中的呈味物质主要是溶于热水的水浸出物，茶汤滋味主要是由茶多酚（涩味）、咖啡碱（苦味）和氨基酸（鲜味）产生^[9,10]。普洱生茶的贮藏实际上是一个后发酵的过程^[11]，研究发现，普洱茶在贮藏过程中经微生物、酶、湿热、氧化等综合作用，使其内含物质产生一系列的转化，随着贮藏时间的延长而出现明显差异，但其规律还需要进一步探索^[12-15]。其变化规律主要表现在氨基酸和黄酮类化合物减少^[16]，没食子酸和挥发性成分的种类和含量增多^[17]。普洱生茶由于所用材料在存放时间、存放环境、加工工艺、实验仪器和研究方法等方面存在较大的差异^[18-22]。到目前为止，尚不能对存放时间对普洱茶化学成分变化规律及其与普洱茶品质关系作系统而又全面的解释，针对该现状，本研究对不同贮藏年份普洱生茶的茶多酚、咖啡碱、氨基酸和儿茶素组分含量进行测定，并采用最小二乘法判别分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析等方法对品质指标变化规律进行分析研究，有助于进一步揭示普洱生茶在贮藏过程中的品质变化规律，为消费者选择普洱生茶提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 茶样

2019年~2002年普洱生茶样品由云南六大茶山茶业股份有限公司提供，均采用同一标准采摘的云南大叶种鲜叶，而后经杀青、揉捻、日光干燥、蒸压成型等工艺制成紧压茶，贮藏于六大茶山有限公司仓库中，采用随机取样的方法收集普洱生茶紧压茶解块样品18个，详细信息见表1。

表1 普洱生茶样品信息表

Table 1 Information table of pu-erh raw tea samples

编号	生产时间/年	贮藏时间/年	存放地
S1	2019	3	西双版纳、勐海
S2	2018	4	西双版纳、勐海
S3	2017	5	西双版纳、勐海
S4	2016	6	西双版纳、勐海
S5	2015	7	西双版纳、勐海
S6	2014	8	西双版纳、勐海
S7	2013	9	西双版纳、勐海
S8	2012	10	西双版纳、勐海
S9	2011	11	西双版纳、勐海
S10	2010	12	西双版纳、勐海
S11	2009	13	西双版纳、勐海
S12	2008	14	西双版纳、勐海
S13	2007	15	西双版纳、勐海
S14	2006	16	西双版纳、勐海
S15	2005	17	西双版纳、勐海
S16	2004	18	西双版纳、勐海
S17	2003	19	西双版纳、勐海
S18	2002	20	西双版纳、勐海

1.1.2 主要试剂

磷酸氢二钠、茛三酮, 购于国药集团化学试剂有限公司; 磷酸二氢钾, 购于天津市瑞金特化学品有限公司; 无水碳酸钠, 购于广东省化学试剂工程技术研究开发中心; 甲醇, 购于天津市风船化学试剂科技有限公司; 福林酚、L-谷氨酸, 购于上海源叶生物科技有限公司; 氯化亚锡, 购于广东光华科技股份有限公司。没食子酸 (Callic Acid, GA)、儿茶素 (Catechin, C) 标准品、表儿茶素 (Epicatechin, EC) 标准品、表儿茶素没食子酸酯 (Epi-catechin Gallate, ECG) 标准品、表没食子儿茶素 (Eepigallocate-chin, EGC) 标准品、表没食子儿茶素没食子酸酯 (Epigallocate-chin Gallate, EGCG) 标准品、没食子儿茶素没食子酸酯 (Gallatechin Gallate, GCG) 标准品、儿茶素没食子酸酯 (Catechin Gallate, CG)、没食子儿茶素 (Catechin, GC) 标准品、咖啡碱 (Caffeine, CAF) 标准品, 购于上海源叶生物科技有限公司; 娃哈哈纯净水 (规格: 596 mL), 生产于大理娃哈哈食品有限公司。

1.2 仪器与设备

数显恒温水浴锅, 常州智博瑞仪器制造有限公司; 电热恒温鼓风干燥箱, 上海龙跃仪器设备有限公司; 紫外-可见分光光度计, 上海菁华科技仪器有限公司; SHZ-D 循环水式多用真空泵, 湖南力辰邦西仪器科技有限公司; 高速离心机, 安徽中科中佳科学仪器有限公司; 安捷伦 1260 高效液相色谱仪, 安捷伦科技 (中国) 有限公司; PL203 电子天平, 梅特勒-托力多仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 感官审评方法

参照国家标准 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》和 GB/T 14487-2017《茶叶感官审评术语》按照标准规定的审评程序, 通过 5 名专业审评人员

评定茶叶汤色、香气、滋味、叶底等, 确定茶叶的感官品质。

1.3.2 生化成分检测方法

水分含量的测定: GB/T8304-2013 (恒重法); 水浸出物含量的测定: GB/T8305-2013《茶水浸出物》; 茶多酚总量的测定: GB/T8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》; 游离氨基酸总量的测定: GB/T8314-2013《茶游离氨基酸总量》; 儿茶素组分 (GC、EGC、C、EC、EGCG、GCG、ECG、CG)、咖啡碱含量和没食子酸含量采用高效液相色谱法进行检测。

1.4 数据统计和分析

每个茶样进行 3 次重复测定, 数值采用平均值 ± 标准偏差的形式表示; 利用 Excel 2021 进行基本的数据统计, 使用 SPSS 27 软件进行单因素方差分析和主成分分析, Origin 2022 软件进行图表制作、相关性分析 ($P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$) 及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏时间普洱生茶感官审评结果

感官审评结果见表 2, 不同贮藏年份的普洱生茶汤色和滋味差异较大。结合图 1 可知, 汤色随着贮藏时间的增加整体呈现绿黄—黄—橙黄—橙红的变化趋势; 贮藏年份短的茶样清香带花香, 贮藏年份长香气多为陈香, 部分茶样带甜香, 茶叶呈现陈香可能与茶叶中的雪松醇、雪松烯、 β -紫罗酮、 α -紫罗酮、 β -紫松烯等物质基础有关^[23]; 随着贮藏时间延长, 滋味由最开始的浓厚、浓醇回甘, 变成醇和、醇厚回甘; 年份越久的普洱生茶叶底越暗。总体来看, 贮藏 5 年后的普洱生茶清香消失, 开始出现陈香, 这与 Zhou 等^[24]研究结果相似。贮藏时间久的普洱生茶陈香浓郁, 滋味由醇厚转为醇和, 贮藏 10 年及以上感官品质有所提升, 但在贮藏 18 年后, 感官品质开始下降。

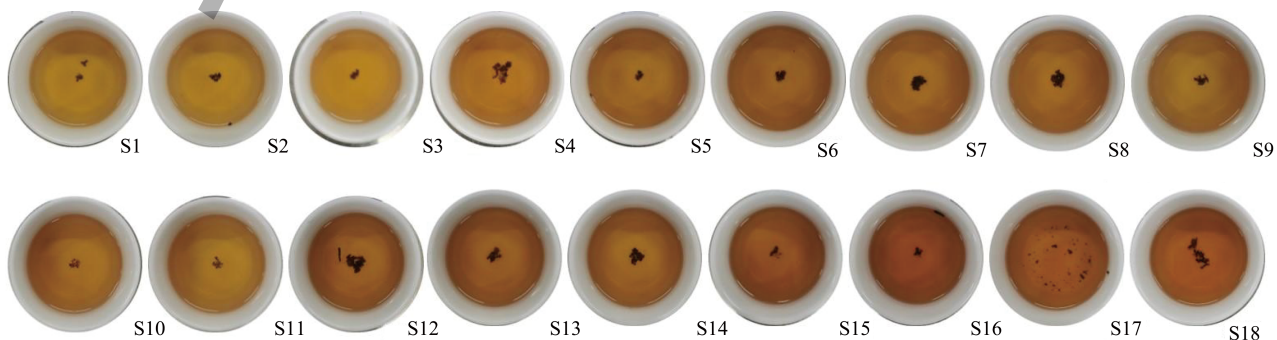


图 1 普洱生茶冲泡后茶汤色泽
Fig.1 The color of tea soup after brewing Pu-erh raw tea

表 2 普洱生茶感官审评结果

Table 2 Results of sensory review of Pu-erh raw tea

茶样	汤色	分数	香气	分数	滋味	分数	叶底	分数	评分	排名
S1	绿黄明亮	90	清香, 花香	90	浓厚	88	黄绿明亮	90	71.9	9
S2	绿黄明亮	88	清香	88	醇厚	92	黄绿较明亮	88	71.8	6
S3	橙黄明亮	92	陈香纯正	87	浓厚	88	黄绿明亮	90	71.25	12
S4	深黄明亮	86	陈香纯正	86	浓厚	89	深绿较明亮	85	70.4	14
S5	黄明亮	88	陈香尚浓	85	浓醇回甘	93	深绿较明亮	88	71.55	10
S6	黄明亮	88	陈香尚浓	86	醇厚	92	深绿较明亮	85	71.65	11
S7	黄明亮	88	陈香尚浓	87	醇和涩味重	82	深绿较明亮	85	68.15	18
S8	黄明亮	88	陈香尚浓	88	醇厚回甘	95	深绿较明亮	85	72.7	2
S9	黄明亮	88	陈香	85	醇和微涩	86	深绿较明亮	85	68.65	15
S10	深黄明亮	92	陈香浓郁, 持久	95	醇和	88	深绿较明亮	85	73.05	1
S11	黄明亮	90	陈香显露, 持久	94	醇和	86	深绿较明亮	85	71.25	8
S12	橙黄明亮	91	陈香, 带甜香	92	醇和	88	深绿较明亮	85	71.15	7
S13	橙黄明亮	90	陈香, 带甜香	90	醇和	90	绿黄较明亮	88	71.3	5
S14	橙黄明亮	90	陈香, 带甜香	92	醇和	90	绿黄较明亮	88	71.9	3
S15	橙红明亮	90	陈香尚浓	88	醇厚回甘, 微酸	92	深绿较明亮	88	72	4
S16	橙红明亮	88	陈香纯正, 稍带异味	82	醇和	88	深绿, 暗	86	68.5	17
S17	橙红明亮	86	陈香尚浓	85	醇和微涩	86	深绿, 暗	86	68.45	16
S18	橙红明亮	88	陈香显露	88	醇和	88	深绿, 暗	86	70.3	13

2.2 普洱生茶生化成分分析

2.2.1 普洱生茶主要生化成分分析

由表 3 可知, 不同贮藏年份茶样水浸出物含量在 38.18%~44.95% 之间, 变化差异不显著; 茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱和没食子酸差异显著, 变异系数依次为 5.69%、16.79%、9.17%、79.64%; 茶多酚含量在 2.95%~5.06% 之间, 整体呈现先增加后减少的趋势, 茶多酚氧化聚合形成茶色素(茶黄素、茶红素和茶褐素)会影响茶汤色泽; 所以贮藏过程中多酚类物质的减少和转化, 使得普洱生茶的汤色变红浓明亮^[13]。游离氨基酸含量在 2.95%~5.06% 之间, 随着贮藏时间的增加上下波动, 整体呈下降趋势, 可能是氨基酸通过氧化分解, 或与其他物质聚合形成不溶性物质, 从而导致含量下降^[25]; 咖啡碱含量在 30.68~37.17 mg/g 之间, 不同贮藏年份含量差异显著, 但无明显变化规律, 这与陈玲等^[26]的研究结果相一致, 咖啡碱含量的变化的原因可能有两个, 一是甲基的转移导致, 二是少部分被微生物作为氮源利用, 不过由于嘌呤碱系杂环化合物的环状结构比较稳定, 不易被微生物利用, 所以含量呈现无规律的波动^[27,28]; 没食子酸含量为 2.46~3.86 mg/g,

在贮藏后期有一定的增加趋势, 这与赖幸菲等^[29]研究结果相似。

2.2.2 普洱生茶儿茶素含量分析

不同年份的儿茶素组分含量随着贮藏年份的延长呈现下降的趋势, 儿茶素在味感上表现为苦涩味, 其中涩味较重的是收敛性较强的酯型儿茶素, 而苦味较重的是非酯型儿茶素^[30,31]。由表 4 可知, 儿茶素组分在贮藏时间的增加发生显著性变化 ($P < 0.05$), 非酯型儿茶素变异系数在 12.22%~36.22% 之间, GC 含量在 29.86~44.15 mg/g 之间, EGC 含量在 14.40~25.38 mg/g 之间, C 含量在 3.52~5.92 mg/g 之间, EC 含量在 2.92~8.04 mg/g 之间, 其中 EGC、EC 的含量随着贮藏时间的增加逐渐减少, GC、C 随着贮藏时间的增加差异较大, 但规律不明显; 酯型儿茶素 EGCG、GCG、ECG、CG 的变异系数依次为 14.87%、20.85%、8.88%、43.62%, EGCG 含量在 44.03~75.22 mg/g 之间, GCG 含量在 2.91~7.11 mg/g 之间, ECG 含量在 45.62~65.26 mg/g 之间, CG 含量在 0.87~2.69 mg/g 之间, EGCG、ECG 和 GCG 随着贮藏时间的增加表现为下降的趋势, CG 的变化趋势为先减少后增加。马冰淞等^[32]研究得

出, 0~10 年的普洱生茶非酯型儿茶素 GC、EGC、C、EC 含量依次为 2.17~2.73、20.09~28.57、7.95~8.44、17.16~20.92, 酯型儿茶素 EGCG、GCG、ECG 含量依次为 58.73~75.86、4.50~7.65、33.40~46.06, 与该研究相比, 本研究的 EGC、EGCG、GCG 含量范围相似, C、EC 含量范围偏低, ECG、GC 含量范围偏高。整体来看, 不同贮藏时间的普洱生茶中 GC、EGC、EGCG 和 ECG 含量较高, 其次为 C、EC、和 GCG, 而 CG 含量则相对较低, EGC、EC、EGCG、ECG 和 GCG 随着贮藏时间的延长而呈下降趋势, 酯型儿茶素总含量高于非酯型儿茶素。

2.3 普洱生茶相关性分析

通过对普洱生茶的 17 个品质指标进行相关

性分析, 结果如图 2 所示, 有 11 对指标显著相关 ($P<0.05$), 8 对指标极显著相关 ($P<0.01$)。其中, 茶多酚与 GCG、香气, 咖啡碱与叶底, GC 与 ECG, EGC 与 ECG、叶底, EGCG 与 GCG、叶底, 呈显著正相关 ($P<0.05$); 氨基酸与 EGCG、GCG, 咖啡碱与没食子酸、EGC 与 EGCG, EGCG 与 ECG, ECG 与叶底, 汤色与香气, 以上指标之间都存在极显著正相关关系 ($P<0.01$), 尤其是 EGCG 与 ECG 相关系数达到 0.77; EC 与水浸出物、没食子酸, CG 与茶多酚呈显著负相关 ($P<0.05$), 表明水浸出物、没食子酸含量越高, EC 含量越少; 茶多酚含量越高, CG 含量越少。综上所述, 品质指标之间存在显著或极显著的相关性, 其中, 氨基酸、咖啡碱与儿茶素组分正相关关系最强。

表 3 普洱生茶主要化学成分变化规律

Table 3 Changes in the main chemical composition of Pu-erh raw tea

茶样编号	水浸出物/%	茶多酚/%	氨基酸/%	咖啡碱/(mg/g)	没食子酸/(mg/g)
S1	40.47±0.62 ^a	20.29±0.19 ^g	4.58±0.04 ^{bc}	34.61±1.72 ^{bc}	2.63±0.02 ^a
S2	43.84±0.65 ^a	22.77±0.17 ^b	4.94±0.11 ^a	35.02±2.30 ^{bc}	3.01±0.20 ^a
S3	42.67±3.51 ^a	21.94±0.22 ^{cd}	4.86±0.20 ^a	35.58±1.63 ^{ab}	2.85±0.71 ^a
S4	41.83±0.12 ^a	22.33±0.22 ^{bc}	4.18±0.25 ^e	31.27±1.10 ^{de}	2.65±0.07 ^a
S5	43.72±0.72 ^a	20.56±0.27 ^{fg}	3.88±0.04 ^f	32.80±1.27 ^{cde}	2.78±0.13 ^a
S6	42.64±1.13 ^a	20.98±0.24 ^{ef}	5.06±0.08 ^a	32.31±0.11 ^{cde}	2.46±0.02 ^a
S7	42.88±0.98 ^a	20.04±0.21 ^g	4.45±0.04 ^{bcd}	30.68±0.13 ^e	2.75±0.02 ^a
S8	42.42±0.18 ^a	21.52±0.30 ^{dc}	4.45±0.04 ^{bcd}	30.87±0.10 ^e	2.70±0.10 ^a
S9	41.56±3.43 ^a	21.94±0.25 ^{cd}	4.63±0.03 ^b	31.47±0.65 ^{de}	2.96±0.08 ^a
S10	43.78±1.82 ^a	24.94±0.28 ^a	4.31±0.04 ^{de}	32.58±0.03 ^{cde}	2.79±0.01 ^a
S11	41.70±1.01 ^a	22.29±0.17 ^{bc}	4.59±0.04 ^{bc}	32.33±0.03 ^{cde}	2.97±0.12 ^a
S12	44.77±1.25 ^a	21.05±0.28 ^{ef}	4.96±0.02 ^a	32.92±0.06 ^{cde}	2.78±0.14 ^a
S13	42.96±0.22 ^a	21.36±0.31 ^e	4.36±0.05 ^{cde}	32.21±0.59 ^{cde}	2.85±0.06 ^a
S14	42.66±0.79 ^a	21.06±0.33 ^{ef}	3.29±0.07 ^{gh}	31.28±0.08 ^{de}	2.49±0.01 ^a
S15	42.72±0.59 ^a	22.14±0.21 ^c	3.40±0.19 ^g	34.16±0.53 ^{bcd}	3.11±0.06 ^a
S16	44.95±2.30 ^a	20.17±0.11 ^g	3.01±0.07 ⁱ	37.17±1.59 ^a	3.86±0.40 ^b
S17	43.98±0.45 ^a	20.42±0.25 ^g	3.19±0.08 ^h	32.43±1.57 ^{cde}	2.58±0.79 ^a
S18	42.86±0.51 ^a	20.05±0.18 ^g	2.95±0.09 ⁱ	32.24±0.71 ^{cde}	3.27±0.22 ^a
最小值	38.18	20.04	2.95	30.68	2.46
最大值	44.95	24.94	5.06	37.17	3.86
均值	42.91±1.66	21.44±1.22	4.17±0.70	32.88±1.94	2.86±0.40
变异系数/%	3.86	5.69	16.79	5.90	13.99

注: 同一列不同字母表示阶段间存在显著性差异 ($P<0.05$)。下表同。

表 4 普洱生茶儿茶素含量变化规律 (mg/g)

Table 4 Variation pattern of catechin content of Pu-erh raw tea

茶样	非酯型儿茶素				酯型儿茶素			
	GC	EGC	C	EC	EGCG	GCG	ECG	CG
S1	29.86±1.26 ^{fg}	25.38±2.78 ^{ab}	3.73±1.13 ^c	6.81±0.62 ^{bc}	73.14±3.08 ^a	3.66±0.17 ^f	65.26±0.88 ^a	2.38±0.03 ^{bc}
S2	36.92±2.74 ^{bc}	20.49±2.89 ^{bc}	4.17±1.09 ^{dc}	4.82±0.37 ^e	74.94±2.52 ^a	7.11±0.35 ^a	60.48±1.45 ^b	1.59±0.27 ^{cde}
S3	41.31±2.23 ^a	27.68±3.86 ^a	5.66±0.72 ^{abc}	5.60±0.35 ^d	75.22±1.28 ^a	5.07±0.19 ^{bcd}	56.01±1.50 ^{cd}	1.14±0.25 ^{de}
S4	44.15±1.04 ^a	15.61±2.64 ^b	5.92±0.09 ^a	7.87±0.16 ^a	63.59±0.80 ^b	5.55±0.15 ^b	57.32±0.65 ^c	1.08±0.05 ^e
S5	38.81±1.33 ^b	17.94±1.65 ^b	5.75±0.14 ^{ab}	8.04±0.03 ^a	61.92±0.73 ^{bc}	5.31±0.08 ^{bc}	57.53±0.77 ^c	1.03±0.02 ^e
S6	42.58±0.31 ^a	19.65±0.64 ^{bc}	5.15±0.12 ^{abcd}	7.24±0.07 ^b	58.46±0.73 ^{cd}	5.41±0.15 ^{bc}	51.61±0.47 ^{fgh}	2.28±0.21 ^{bc}
S7	34.23±0.56 ^{cde}	15.31±1.28 ^b	4.41±0.08 ^{cde}	6.52±0.15 ^c	50.30±0.03 ^e	4.47±0.10 ^{de}	47.49±0.60 ^{jk}	2.32±0.14 ^{bc}
S8	34.87±0.16 ^{cde}	17.60±1.54 ^b	4.72±0.12 ^{abcde}	7.13±0.11 ^b	56.07±0.65 ^d	4.72±0.11 ^{de}	51.02±0.90 ^{gh}	1.96±0.78 ^{bcd}
S9	36.59±1.03 ^{bcd}	19.92±1.69 ^{bc}	4.14±0.11 ^{de}	3.15±0.26 ^{hi}	58.18±0.40 ^d	4.52±0.33 ^{de}	51.05±0.70 ^{hi}	0.82±0.08 ^e
S10	42.01±0.09 ^a	20.00±0.03 ^{bc}	4.75±0.42 ^{abcde}	3.38±0.04 ^{hi}	58.84±0.64 ^{cd}	4.92±0.30 ^{cde}	54.22±1.10 ^{def}	0.96±0.05 ^e
S11	37.77±1.24 ^{bc}	20.07±2.64 ^{bc}	4.34±0.51 ^{de}	3.56±0.04 ^{gh}	59.25±0.73 ^{cd}	4.56±0.28 ^{de}	53.87±0.76 ^{defg}	1.01±0.02 ^e
S12	42.30±0.02 ^a	19.37±0.02 ^{bc}	4.50±0.06 ^{bcde}	3.03±0.03 ^{hi}	60.08±0.84 ^{cd}	5.46±0.29 ^{bc}	51.38±0.77 ^{fgh}	0.92±0.03 ^e
S13	32.15±0.60 ^{ef}	15.58±0.33 ^b	5.09±0.12 ^{abcd}	4.48±0.02 ^{ef}	56.11±1.47 ^d	4.94±0.14 ^{cde}	51.17±1.07 ^{gh}	0.87±0.02 ^e
S14	28.66±0.94 ^g	17.18±0.72 ^b	4.68±0.11 ^{abcde}	4.26±0.51 ^f	56.32±0.96 ^d	3.71±0.09 ^f	52.63±0.34 ^{de}	1.44±0.73 ^{de}
S15	32.98±0.12 ^{de}	19.21±4.47 ^{bc}	4.77±0.11 ^{abcde}	3.09±0.17 ^{hi}	56.52±0.64 ^d	4.98±0.14 ^{cde}	54.90±0.65 ^{de}	1.40±0.23 ^{de}
S16	36.85±2.52 ^{bc}	19.27±4.86 ^{bc}	5.35±0.09 ^{abcd}	2.92±0.12 ⁱ	51.05±2.90 ^e	3.25±0.48 ^g	45.62±0.67 ^k	1.76±0.40 ^{cde}
S17	35.80±2.61 ^{bcd}	21.51±4.77 ^{bc}	4.74±0.32 ^{abcde}	3.99±0.14 ^{fg}	45.49±2.28 ^f	2.91±0.10 ^g	53.76±1.70 ^g	2.69±0.60 ^a
S18	36.37±2.29 ^{bcd}	14.40±1.01 ^b	3.52±0.09 ^c	3.63±0.10 ^{gh}	44.03±1.44 ^f	4.02±0.06 ^f	48.48±3.13 ^{ij}	1.19±0.12 ^{de}
最小值	29.86	14.40	3.52	2.92	44.03	2.91	45.62	0.87
最大值	44.15	25.38	5.92	8.04	75.22	7.11	65.26	2.69
均值	36.90±4.51	19.23±3.94	4.74±0.75	4.97±1.80	58.86±8.75	4.70±0.98	53.49±4.75	1.49±0.65
变异系数/%	12.22	20.48	15.82	36.22	14.87	20.85	8.88	43.62

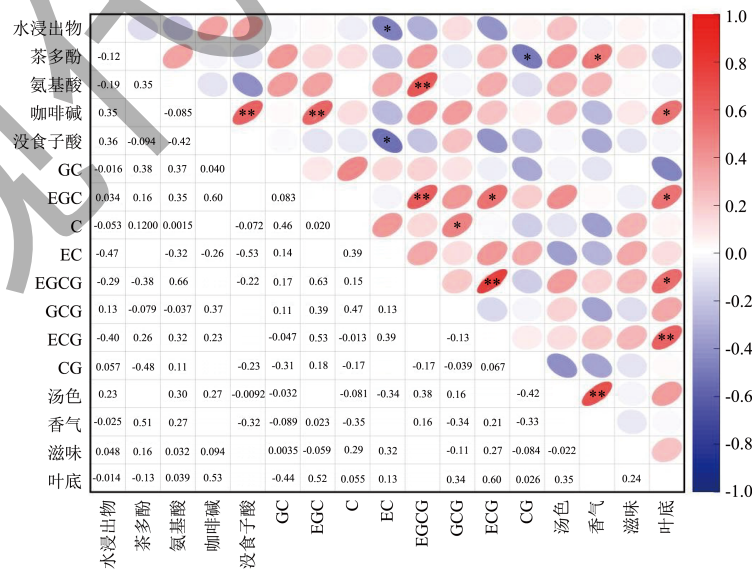


图 2 普洱生茶品质指标相关性分析

Fig.2 Correlation analysis of the inner components of Pu-erh raw tea

注: *P<0.05, **P<0.01。

2.4 普洱生茶品质指标主成分分析

表 5 主成分分析结果

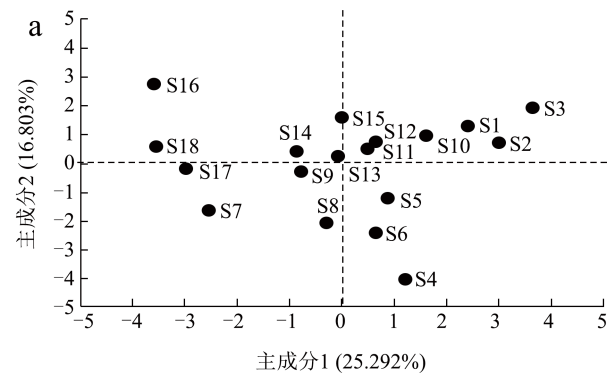
Table 5 Principal component analysis results

指标	主成分					
	1	2	3	4	5	6
水浸出物	-0.283	0.523	-0.154	0.276	0.005	0.670
茶多酚	0.562	0.038	-0.605	0.049	-0.047	-0.141
氨基酸	0.710	-0.242	-0.194	-0.082	0.398	0.273
咖啡碱	0.222	0.736	0.338	0.476	0.117	-0.020
没食子酸	-0.384	0.577	-0.101	0.523	-0.046	-0.205
GC	0.289	-0.306	-0.404	0.581	0.433	-0.032
EGC	0.562	0.480	0.358	-0.026	0.459	-0.004
C	0.206	-0.283	0.092	0.659	-0.084	-0.151
EC	0.337	-0.707	0.495	0.055	-0.042	0.058
EGCG	0.935	0.108	0.201	0.057	0.062	-0.069
GCG	0.664	-0.276	-0.310	0.325	-0.143	0.237
ECG	0.765	0.007	0.405	-0.220	-0.096	-0.153
CG	-0.267	-0.137	0.675	-0.223	0.329	0.376
汤色	0.478	0.595	-0.373	-0.237	-0.045	0.087
香气	0.354	0.185	-0.566	-0.618	-0.145	0.075
滋味	0.342	-0.156	0.151	0.318	-0.673	0.349
叶底	0.453	0.476	0.586	-0.090	-0.329	-0.088
特征根	4.300	2.857	2.679	2.115	1.311	0.982
方差贡献率 %	25.292	16.803	15.758	12.444	7.711	5.777
累计方差贡献率 %	25.292	42.096	57.854	70.297	78.008	83.785

主成分分析是一种把多个变量简化为少数综合性变量分析方法，并能够保留了原指标的大部分信息，比单一评价更加准确^[33]。本研究利用 SPSS 27.0 对标准化后的数据进行主成分分析，得到普洱生茶的主成分的特征值、方差贡献率和累积贡献率见表 5，前六个主成分的累计方差贡献率达到 83.785%，说明前六个主要成分可以基本反映大部分的信息。第 1 主成分的特征根为 4.300，方差贡献率分别为 25.292%，包含主要品质指标为茶多酚、氨基酸、EGC、EGCG、GCG、ECG，所有指标在第 1 主成分上均呈正向分布；第 2 主成分的特征根为 2.857，方差贡献率为 16.803%，包含主要品质指标为咖啡碱、EC、汤色，咖啡碱含量、汤色得分为正向指标，EC 为负向指标，说明 EC 在第 2 主成分的取值越大，EC 含量越低；第 3 主成分的特征根值为 2.679，方差贡献率为 15.758%，包含主要品质指

标为 CG、叶底，均为为正向指标，即在第 3 主成分正向坐标上取值越大，CG、含量，叶底得分越少；第 4 主成分的特征根值为 2.115，方差贡献率为 12.444%，包含主要品质指标为没食子酸、GC、C、香气，其中，香气呈负向分布，即在第 4 主成分取值越大，香气得分越低；第 5 主成分的特征根值为 1.311，方差贡献率为 7.711%，包含主要品质指标为滋味，呈负向分布，即在第 5 主成分取值越大，滋味得分越低；第 6 主成分的特征根值为 0.982，方差贡献率为 5.777%，包含主要品质指标为水浸出物，为正向指标，即在第 6 主成分取值越大时，水浸出物含量越高。

由图 3 可以看出不同贮藏年份普洱生茶各个品质指标含量变化的关系，从图 3a 可以看出，S1、S2、S3、S10、S11、S12 在第 1 主成分和第 2 主成分中的正向区间，表明这 6 个年份的茶样茶多酚、氨基酸、咖啡碱、EGC、EGCG、GCG、ECG 含量较高，汤色得分较高，EC 含量较低；从图 3b 可以看出，S2、S3、S6、S8、S15 在第 3 主成分和第 4 主成分中的正向区间，表明这 5 个年份没食子酸、GC、C 含量较高，叶底得分较高，香气得分较低；从图 3c 可以看出，S6、S7、S11、S12、S17 在第 5 主成分和第 6 主成分中的正向区间，表明这 5 个年份水浸出物含量较高，滋味得分较低；结合主成分因子并以主成分方差贡献率为权重，计算综合得分，综合得分越高，证明该贮藏年份的茶样品质指标含量及感官品质得分越高，如图 3d 所示，S1、S2、S3、S5、S6 的茶样综合得分高于其它年份的茶样，即这五个茶样的水浸出物、氨基酸、咖啡碱、没食子酸、GC、EGC、C、EECG、GCG、ECG、CG 含量较高，汤色，叶底得分较高，EC 含量较低，香气、滋味得分较低。



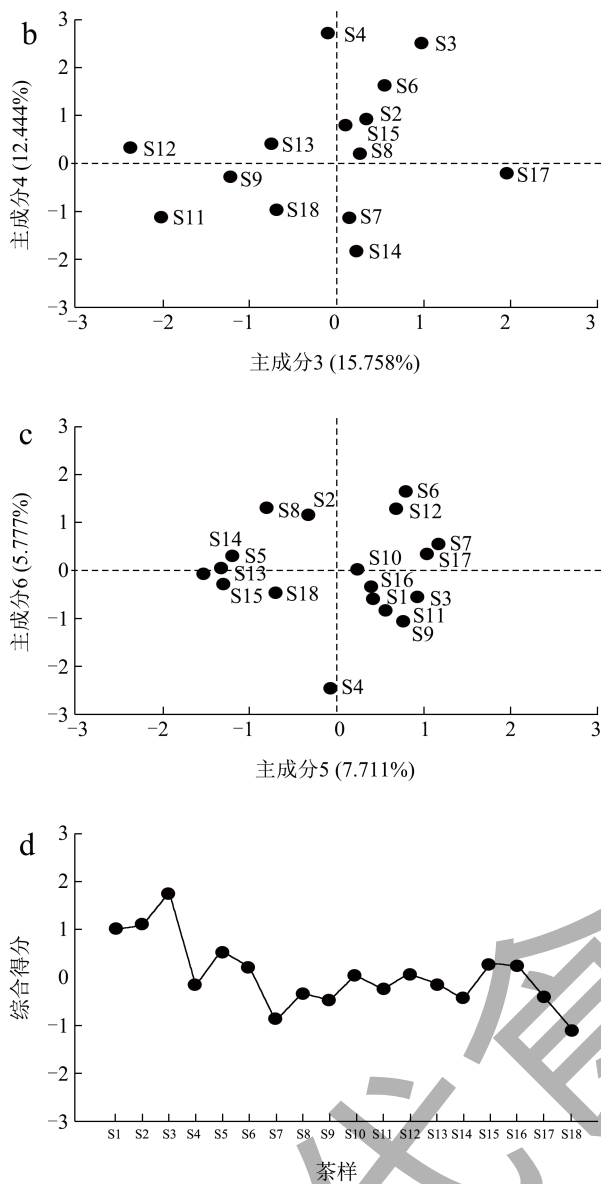


图3 主成分得分与综合得分

Fig.3 Principal component score and composite score

2.5 普洱生茶聚类分析

将 18 个茶样的品质指标标准化后输入 origin 2022 采用组间联接法对其进行系统聚类分析，建立聚类树状图，聚类分析结果如图 4 所示，当聚类距离为 1.0 时，可将不同贮藏时间的茶样被分为 5 类，并且类群之间生化成分存在一定差异且具备一定规律，除 S7 茶样外，其余 17 个茶样每贮藏 3~4 年样品都会分别聚在一起，S7 茶样出现偏离的原因可能是由于当年的环境和气候原因，使得其苦涩味较重，感官品质较差，从而出现偏离，抛开 S7 茶样，其余 17 个茶样虽然贮藏时间的延长会导致普洱生茶品质发生改变，但其品质指标在 3~4 年内保持稳定。

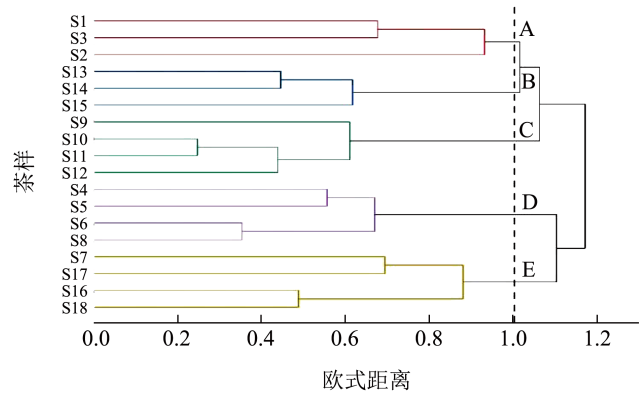


图4 聚类分析图

Fig.4 Systematic cluster analysis

3 结论

通过对不同贮藏时间的普洱生茶进行感官审评和理化成分的检测分析，结果表明，普洱茶感官品质会随储藏年份的增加而改变，汤色色泽逐渐加深、亮度降低，香气从贮藏前期以清香为主，贮藏后期转为陈香，滋味由醇厚转为醇和，叶底颜色变深变暗；随着贮藏时间的增加，普洱生茶理化成分也存在显著性差异，咖啡碱含量随贮藏时间增加变化不明显，游离氨基酸含量随贮藏时间的增加呈下降趋势；没食子酸含量逐渐增加，儿茶素各组分含量随着贮藏时间变化波动较大，其中，GC、C、CG 的含量呈不规则变化，EGC、EC、EGCG、GCG、ECG 的含量随着贮藏时间的增加呈下降趋势。经相关性分析发现，品质指标之间存在显著或极显著的相关性，其中，氨基酸、咖啡碱与儿茶素组分正相关关系最强。根据主成分因子对标准化后的理化成分和感官审评得分进行综合得分的计算，得出贮藏 3~5 年的普洱生茶的综合得分较高，此后维持在一个相对平稳的阶段，在贮藏 19 年后显著下降。通过对标准化后的理化成分和感官审评得分进行系统聚类，可以将 18 个不同年份的茶样分为 5 类，每贮藏 3~4 年样品会分别聚在一起，表明普洱生茶品质虽然会由于贮藏时间的延长发生变化，但其品质在一定贮藏时间范围内保持稳定。

综上所述，普洱生茶的品质指标会因为贮藏年份的不同而存在差异，随着贮藏时间的增加，普洱生茶汤色和叶底颜色加深，香气由清香转为陈香，滋味由醇厚转为醇和，贮藏 10 年及以上感官品质有所提升，但在贮藏 18 年后，感官品质有所下降；理化成分含量呈现下降的趋势，综合品质指标在 3~4 年内变化趋于稳定。本研究通过感官审评和理

化成分检测初步探究了不同贮藏时间普洱生茶品质指标的差异,为深入研究普洱生茶贮藏过程中的品质变化提供依据。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 22111-2008,地理标志产品 普洱茶[S].
- [3] 肖懿慧,贺明,舒娟,等.普洱茶通过降低NF- κ B活性促巨噬细胞凋亡改善动脉粥样硬化[J].西安交通大学学报(医学版),2019,40(6):847-852.
- [4] 冯伟,王雪青,陈沛,等.普洱茶对膳食诱导肥胖大鼠降低体质量及调节细胞因子的作用[J].食品科学,2019,40(11):175-181.
- [5] LUO D, CHEN X J, ZHU X, et al. Pu-erh tea relaxes the thoracic aorta of rats by reducing intracellular calcium [J]. *Front Pharmacol*, 2019, 10: 1430.
- [6] HUANG F J, WANG S L, ZHAO A H, et al. Pu-erh tea regulates fatty acid metabolism in mice under high-fat diet [J]. *Front Pharmacol*, 2019, 10: 63.
- [7] YANG C Y, HUNG K C, YEN Y Y, et al. Anti-oxidative effect of Pu-erh tea in animals trails: a systematic review and meta-analysis [J]. *Foods*, 2022, 11(9): 1333.
- [8] HU S S, LI S, LIU Y, et al. Aged ripe Pu-erh tea reduced oxidative Stress-mediated inflammation in dextran sulfate Sodium-induced colitis mice by regulating intestinal microbes [J]. *J Agric Food Chem*, 2021, 69(36):10592-10605.
- [9] SUSANNE S, NADINE H, THOMAS H. Identification of the astringent taste compounds in black tea infusions by combining instrumental analysis and human bioresponse [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(11): 3498-3508.
- [10] 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.
- [11] GAO L, BIAN M X, MI R F, et al. Quality identification and evaluation of Pu-erh tea of different grade levels and various ages through sensory evaluation and instrumental analysis [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2016. 51, 1338-1348.
- [12] 罗现均.不同年份普洱茶品质差异性比较研究[D].广州:华南农业大学,2012.
- [13] 段红星,周慧,胡春梅.不同存放时间普洱茶内含成分变化研究[J].西南农业学报,2012,25(1):111-114.
- [14] 邹斌.不同年份普洱茶品质比较研究[J].广东茶业,2019(6):16-23.
- [15] 王梦倩,盛玉泊,范怡航,等.不同仓储条件下普洱茶关键成分分析及品质评价[J].食品研究与开发,2022,43(16):35-43.
- [16] 张纪伟,沈雪梅,赵一帆,等.不同贮存年份普洱生茶中3种主要黄酮醇类化合物含量的变化[J].西南农业学报,2021,34(9):1853-1857.
- [17] LV S D, WU Y S, WEI J F, et al. Application of gas chromatography-mass spectrometer and chemometrics methods for assessing volatile profiles of Pu-erh tea with different processing ways and ageing year [J]. *Rsc Advances*, 2015, 5: 87806-87817.
- [18] KANGMO K, JI Y K, HYEJIN P, et al. Application of metabolomics in the analysis of manufacturing type of Pu-erh tea and composition changes with different post fermentation year [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(1): 345-352.
- [19] WU X, LIU Y, GUO J Q, et al. Differentiating Pu-erh raw tea from different geographical origins by ¹H-nmr and u-hplc/Q-tof-ms combined with chemometrics [J]. *J Food Sci*, 2021, 86(3): 779-791.
- [20] WANG T, LI X L, YANG H C, et al. Mass spectrometry-based metabolomics and chemometric analysis of Pu-erh teas of various origins [J]. *Food Chem*, 2018, 268: 271-278.
- [21] 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]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(43): 12084-12093.
- [22] ZHOU B X, MA C Q, REN, X Y, et al. Correlation analysis between filamentous fungi and chemical compositions in a type Pu-erh tea after a long-term storage [J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(5): 2501-2511.
- [23] 王秋霜,吴华玲,凌彩金,等.普洱茶理化品质及特征“陈香”物质基础研究[J].食品工业科技,2017,38(5):308-314.
- [24] ZHOU B X, MA C Q, WU T T, et al. Classification of aw Pu-erh teas with different storage time based on characteristic compounds and effect of storage environment [J]. *LWT*, 2020, 133: 109914.
- [25] 宋莹,胡兴明,罗晓燕,等.不同仓储年份普洱生茶内含成分变化规律研究[J].蚕桑茶叶通讯,2020,3:17-21.
- [26] 陈玲,熊智,孙浩,等.四种不同年份普洱茶中茶多酚与咖啡碱成分的分析[J].食品工业科技,2011,32(10):132-134.
- [27] ROSARIO J, ROCIO L S, MARIA K, et al. Polyphenols restore endothelial function in Doca-salt hypertension: role of

- endothelin-1 and Nadph oxidase [J]. Free Radic Biol Med, 2007, 43(3): 462-473.
- [28] 曾亮,田小军,罗理勇,等.不同贮藏时间普洱生茶水提物的特征性成分分析[J].食品科学,2017,38(2):198-205.
- [29] 赖幸菲,邓权,范神光,等.普洱茶生茶生化成分及其动物体内抗氧化活性研究[J].广东农业科学,2023,50(4):123-131.
- [30] SUSANNE S, THOMAS H. Molecular definition of black tea taste by means of quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(13): 5377-5384.
- [31] 高力,刘通讯.不同年份普洱茶儿茶素等组成及含量变化研究[J].食品工业,2013,34(8):175-178.
- [32] 马冰淞,徐成成,任小盈等.普洱茶(生茶)0至10年仓储陈化过程中的化学成分变化[J].食品研究与开发,2022, 43(5):156-162.
- [33] 杨雪梅,刘莹亮,李家华,等.基于PCA和聚类分析方法对云南不同茶区晒青毛茶生化成分分析[J].食品工业科技, 2021,42(3):236-240.

现代食品科技