DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250219001
引用格式: 王佳菜, 魏欣欣, 吴婷婷. 不同仓储环境对普洱茶品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(2): 81–87.
WANG JC, WEI XX, WU TT. Effects of different storage environments on the quality of Pu-erh tea [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(2): 81–87. (in Chinese with English abstract).

不同仓储环境对普洱茶品质的影响

王佳菜[1], 魏欣欣[2], 吴婷婷[3*]

(1. 黔西南州农业林业科学研究院, 兴义 562400; 2. 黔西南州农业农村发展中心, 兴义 562400;
3. 信阳市茶产业发展中心, 信阳 464000)

摘 要: 目的 探索不同仓储环境下普洱茶感官品质和生化成分的差异。**方法** 采用高效液相色谱法对分别存放昆明、东莞的 3 种晒青毛茶和分别存放在昆明、广州的 3 种普洱茶(熟茶)中的儿茶素、黄酮类和氨基酸等 20 多个活性成分进行定量检测, 并对其感官品质进行评价。**结果** 影响仓储于两地的 3 种晒青毛茶品质差异的主要内含物质为儿茶素和氨基酸。存放于东莞和昆明两地晒青毛茶茶样中的没食子儿茶素没食子酸酯、没食子酸、谷氨酸、酪氨酸、缬氨酸和天冬氨酸等出现显著差异, 存放于昆明的 3 种晒青毛茶中的表儿茶素没食子酸酯和没食子儿茶素没食子酸酯均高于存放于东莞的茶样, 存放于广州和昆明两地的普洱茶(熟茶)的差异成分主要表现在氨基酸和儿茶素类, 存放于昆明的茶样中的茶氨酸、甲硫氨酸和苯丙氨酸均高于存放于广州的茶样。表没食子儿茶素、儿茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素没食子酸酯、精氨酸、组氨酸和亮氨酸等均表现为昆明仓高于广州仓。而没食子酸和芦丁则表现为昆明低于广州; 感官审评结果为昆明仓晒青毛茶茶样评分均高于东莞仓, 存放在广州的普洱熟茶茶样感官品质评分略高于昆明仓。**结论** 不同仓储环境对普洱茶的没食子酸和氨基酸等品质成分具有重要影响, 主要影响物质为没食子儿茶素没食子酸酯、没食子酸和谷氨酸、茶氨酸等。

关键词: 晒青毛茶; 普洱茶(熟茶); 仓储环境; 生化成分; 感官品质

Effects of different storage environments on the quality of Pu-erh tea

WANG Jia-Cai[1], WEI Xin-Xin[2], WU Ting-Ting[3*]

(1. *Qianxinan Academy of Agricultural and Forestry Sciences*, *Xingyi* 562400, *China*;
2. *Qianxinan Agricultural and Rural Development Center*, *Xingyi* 562400, *China*;
3. *Xinyang Tea Development Center*, *Xinyang* 464000, *China*)

ABSTRACT: Objective To explore the differences in sensory quality and biochemical components of Pu-erh tea under different storage environments. **Methods** High performance liquid chromatography was used to quantitatively detect more than 20 active components such as catechins, flavonoids and amino acids in 3 kinds of sun-dried green tea stored in Kunming and Dongguan and 3 kinds of Pu-erh (ripe tea) stored in Kunming and Guangzhou, and the sensory quality was evaluated. **Results** The main substances affecting the quality differences of

收稿日期: 2025-02-19
第一作者: 王佳菜(1995—), 女, 硕士, 助理农艺师, 主要研究方向为茶叶加工与质量安全控制。E-mail: 1948488051@qq.com
***通信作者:** 吴婷婷(1994—), 女, 硕士, 助理农艺师, 主要研究方向为茶叶加工与质量控制。E-mail: 1434912839@qq.com

3 kinds of sun-dried green tea stored in 2 places were catechins and amino acids. There were significant differences in the content of gallocatechin gallate, gallic acid, glutamic acid, tyrosine, valine and aspartic acid in the sun-dried green tea samples stored in Dongguan and Kunming. The content of epicatechin gallate and gallocatechin gallate in 3 kinds of sun-dried green tea samples stored in Kunming were higher than those in the tea samples stored in Dongguan. The different components of Pu-erh (ripe tea) stored in Guangzhou and Kunming were mainly manifested in amino acids and catechins. The content of theanine, methionine and phenylalanine in the tea samples stored in Kunming were higher than those in the tea samples stored in Guangzhou. Epigallocatechin, catechin gallate, epigallocatechin gallate, arginine, histidine and leucine were higher in Kunming warehouse than in Guangzhou warehouse. Gallic acid and rutin were lower in Kunming than in Guangzhou. The results of sensory evaluation showed that the scores of sun-dried green tea samples in Kunming warehouse were higher than those in Dongguan warehouse, and the sensory quality scores of Pu-erh ripe tea samples stored in Guangzhou were slightly higher than those in Kunming warehouse.

Conclusion Different storage environments have an important impact on the quality components such as gallic acid and amino acids in Pu-erh tea. The main influencing substances are gallocatechin gallate, gallic acid and glutamic acid, theanine, *etc*.

KEY WORDS: sun-dried green tea; Pu-erh (ripe tea); storage environments; biochemical components; sensory quality

0 引 言

茶作为一种流行的饮料，根据发酵程度可以将其分为 6 类，包括不发酵茶(绿茶)、微发酵茶(白茶)、轻度发酵茶(黄茶)、半发酵茶(乌龙茶)、全发酵茶(红茶)和后发酵茶(黑茶)[1]。普洱茶是一种独特的微生物发酵茶[2]，是以地理标志保护范围内的云南大叶种晒青毛茶为原料，按特定的加工工艺生产成具有独特品质特征的茶叶。按照发酵程度的不同，普洱茶可分为普洱茶(生茶)和普洱茶(熟茶)两大类[3]。普洱茶(生茶)是直接由云南大叶种晒青毛茶通过进一步精制、蒸压和干燥等工艺制成，其在品质特征和化学成分上与晒干绿茶非常相似[4−5]。普洱茶因其特殊的可贮藏特征和良好的生理活性[6−8]，得到广大消费者的喜爱。普洱茶的品质不仅取决于原料及加工技术本身，更取决于贮藏期、贮藏环境条件和技术措施，尤其是贮藏技术对普洱茶品质起着决定性的作用[9]。根据 GB/T 22111—2008《地理标志产品 普洱茶》规定，普洱茶在合适环境中贮藏，能够长期保存。研究发现，在适宜的条件下进行一定时间的贮藏可以使普洱茶的内含物质发生一定转化，从而使普洱茶的品质得到进一步的优化[10]。

贮藏陈化已成为普洱茶加工中关键的环节，同一茶叶在不同的仓储环境下，因其环境中的温度、湿度等条件的不同，茶叶的品质会出现差异。普洱茶主要产于云南省的普洱、临沧和西双版纳等地区，其主要的异地贮藏区包含广东省东莞市、广州市等。为探索不同的环境条件对普洱茶品质的影响，本研究收集了 3 种分别存放在东莞和昆明的晒青毛茶和 3 种分别存放在广州和昆明的普洱茶(熟茶)，对茶叶感官品质和理化成分进行分析，以期为普洱茶专业仓储陈化研究提供一定理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材 料

云南和广东作为普洱茶的主要仓储地，消费者通常认为云南仓较广东仓存储的茶叶转化速率较慢，为对比同一茶样在两地存放相同时间后其转化速率及品质成分差异情况，将原产于云南的 3 种晒青毛茶样品(牛皮纸袋包装)，分别自然存放于昆明(年均气温 15 ℃，年均相对湿度 73%左右)和东莞(年均气温 23.1 ℃，年均相对湿度 77%左右)两地(表 1)，探究不同的环境条件对普洱茶品质的影响。

表 1 普洱茶晒青毛茶

Table 1 Pu-erh sun-dried green tea

编号	类型	年份/年	存放地
A-1	晒青毛茶	2008	东莞
A-2	晒青毛茶	2008	昆明
B-1	晒青毛茶	2008	东莞
B-2	晒青毛茶	2008	昆明
C-1	晒青毛茶	2007	东莞
C-2	晒青毛茶	2007	昆明

注: 3 种晒青毛茶均为普洱茶集团提供。

3 种普洱茶(熟茶)均产自云南，将其使用绵纸包装后分别自然存放于昆明(年均气温 15 ℃，年均相对湿度 73%左右)和广州(年均气温 22.2 ℃，年均相对湿度 78%左右)两地(表 2)。

表 2　普洱茶(熟茶)
Table 2　Pu-erh tea (ripe tea)

编号	类型	年份/年	存放地
D-1	熟茶	2016	广州
D-2	熟茶	2016	昆明
E-1	熟茶	2016	广州
E-2	熟茶	2016	昆明
F-1	熟茶	2016	广州
F-2	熟茶	2016	昆明

注: 茶样 D、E、F 分别由茶祖茶叶有限公司、云南大益茶业集团有限公司、澜沧古茶有限公司提供。

1.1.2　试　剂

甲醇、乙腈(色谱纯, 美国 Sigma 公司); 盐酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 咖啡碱(caffeine, CA)、没食子酸(gallic acid, GA)、1,4,6-3-O-没食子酰基-*β*-*D*-葡萄糖(1,4,6-3-o-galloyl-*β*-*D*-glucose, GG)、儿茶素(catechin, C)、表儿茶素(epicatechin, EC)、没食子儿茶素[(-)-gallocatechin, GC]、表没食子儿茶素[(-)-epigallocatechin, EGC]、儿茶素没食子酸酯[(-)-gallocatechin gallate, CG]、没食子儿茶素没食子酸酯[(-)-gallocatechin gallate, GCG]、表儿茶素没食子酸酯[(-)-epicatechin gallate, ECG]、表没食子儿茶素没食子酸酯[(-)-epigallocatechin gallate, EGCG]、芦丁、槲皮素、山奈酚、杨梅素(标准品, 纯度≥98%, 四川成都曼斯特科技有限公司); 茶氨酸(标准品, 纯度≥98%, 中国药品生物制品检定所); 丙氨酸、精氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、酪氨酸、缬氨酸、色氨酸、天冬氨酰(标准品, 纯度≥98%, 美国安捷伦公司)。

1.2　仪器与设备

Agilent-1200 高速液相色谱仪[包括紫外线检测器、柱温箱、自动进样器、在线脱气器、溶剂输送泵和 EclipseAAA 色谱柱(4.6 mm×150 mm, 5 μm), 美国安捷伦公司]; TSKGEL ODS-80TM 色谱柱(4.6 nm×100 nm, 2.7 μm)(日本 TOSOH 公司); CP313 电子分析天平(精度 0.001 g, 奥豪斯仪器上海有限公司); Smart-Q30 试验超纯水器(上海和泰仪器有限公司); 101A-2 型电热鼓风恒温干燥箱(上海市飞越实验仪器厂); DZKW-S-8 型电热恒温水浴锅(北京恒奥德仪器仪表有限公司)。

1.3　方　法

1.3.1　儿茶素、咖啡碱、黄酮类等含量测定

(1)样品制备

茶样经研磨仪研磨, 40 目筛网筛分后, –20 ℃保存备用。称取 1.0 g 茶叶研磨样置于圆底烧瓶中, 加入 40 mL 甲醇、4 mL 盐酸, 混匀, 于 85 ℃水浴锅中回流提取 1.5 h, 过滤至 50 mL 容量瓶中, 少许甲醇洗涤残渣后, 用甲醇定容至刻度线, 摇匀, 然后用 0.45 μm 有机膜进行过滤, 上机检测, 每个样品重复 3 次。

(2)色谱条件

色谱柱: TSKGEL ODS-80TM (4.6 nm×100 nm, 2.7 μm), 流动相 A: 0.261%磷酸和 5%乙腈水溶液, 流动相 B: 80%的甲醇溶液; 柱温: 30 ℃, 检测波长 280 nm, 流速 0.8 L/min, 后运行时间 6 min, 洗脱梯度见表 3。

表 3　HPLC 检测洗脱程序(儿茶素等)
Table 3　Elution procedure for HPLC detection (catechins, *etc*)

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0.0	95	5
20.0	50	50
25.0	80	20
25.5	0	100
29.5	0	100
29.9	100	0

1.3.2　氨基酸含量测定

(1)样品前处理

称取茶叶磨碎样品 0.5 g, 用量筒量取沸水 50 mL, 加入三角瓶中, 沸水浴提取 1 h, 过滤, 定容至 50 mL。取 1 mL 滤液, 加入 200 μL 氯仿, 静置 5 min, 离心 5 min (4 ℃, 12000 r/min), 取上清液, 用 0.45 μm 硝酸纤维素膜过滤, 滤液为待测液。

(2)液相色谱条件

参照 ZHAO 等[11]建立方法进行检测, 色谱柱: EclipseAAA (4.6 mm×150 mm, 5 μm); 流动相 A 为 25 μmol 无水乙酸钠、0.018%三乙胺、0.3%四氢呋喃, pH 7.2; 流动相 B 为 40%乙腈、40%甲醇和 0.1%冰醋酸; 激发波长为 340 nm, 发射波长为 450 nm, 柱温为 40 ℃, 流速为 1 mL/min, 后运行 4 min。洗脱梯度见表 4。

表 4　HPLC 检测洗脱程序(氨基酸)
Table 4　Elution procedure for HPLC detection (amino acid)

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0.0	100	0
1.9	43	57
18.1	0	100
18.8	0	100
22.3	100	0
28.0	100	0

物质含量的计算如公式(1):

$$C_x = C_r \times \frac{A_x}{A_r} \quad (1)$$

式中: C_x 为供试样品质量浓度, mg/mL; C_r 为对照品质量浓度, mg/mL; A_x 为供试样液样品的峰面积或峰高浓度; A_r 为对照样品的峰面积或峰高浓度。

1.4 感官审评方法

按照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》，并请 5 名专家对茶样进行严格的感官审评。晒青毛茶按绿茶审评方法，称取茶样 3.0 g，茶水比 1:50 (*m*:*V*)，置于审评杯中，注满沸水、加盖、计时，冲泡 4 min，依次等速滤出茶汤，留叶底于杯中，按汤色、香气、滋味、叶底的顺序进行逐项审评。

紧压茶：称取茶样 3 g，茶水比 1:50 (*m*:*V*)，置于审评杯中，注满沸水，加盖浸泡 2~5 min，按冲泡次序依次等速将茶汤沥入评茶碗中，审评汤色、嗅杯中叶底香气、尝滋味后，进行第二次冲泡，时间 5~8 min，沥出茶汤依次审评汤色、香气、滋味、叶底。结果以第二泡为主，综合第一泡进行评判。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据归类、分析和计算，利用 IBM SPSS 26.0 软件对不同处理的数据进行差异分析。

2 结果与分析

2.1 感官审评结果

根据感官审评(表 5)可知，同一茶样在不同环境条件下贮藏一定时间后，茶叶在感官品质会产生较大差异。存放于昆明的 3 种晒青毛茶感官审评评分均高于存放于东莞的茶样，其中存放于东莞的 A-1、B-1 茶样相比存放于昆明的茶样而言，其品质转化较快，茶汤色泽加深、陈化明显，受到贮藏条件影响较大。东莞年平均气温和湿度均高于昆明，前人研究发现[12−13]普洱茶的陈华速率跟仓储环境温度、湿度呈一定正相关，这与本研究审评结果相符。

通过对分别存放于广州和昆明的 3 种熟茶进行感官审评(表 6)，发现存放于广州的茶样的感官品质综合表现要略高于存放于昆明的茶样，存放于广州的茶样色泽红褐，汤色红浓明亮，而存放于昆明的 D-2 茶样滋味中略带堆味，E-2 茶样滋味稍显苦涩。有研究发现茶叶在干冷条件下，内含物质转化缓慢[14]。茶叶的陈化程度不仅受到温度、湿度和氧气等环境条件的影响，同时仓储时间也会对茶叶陈化程度产生影响[15−17]。与存放于广州的环境条件相比，存放于昆明的茶样环境条件为干冷，且存放时间较短，茶叶的转化程度相对较低。

2.2 理化结果分析

2.2.1 不同储藏条件下晒青毛茶品质成分含量差异

在贮藏时间相同、贮藏地不同的情况下，贮藏地的气候大环境会使得茶叶品质在变化过程中产生差异[18]。如表 7 所示，影响仓储于两地的 3 种晒青毛茶品质差异的主要

表 5 存放于东莞和昆明晒青毛茶感官审评结果

Table 5 Sensory evaluation results of sun-dried green tea stored in Dongguan and Kunming

茶样	外形(25%)	汤色(10%)	香气(25%)	滋味(30%)	叶底(10%)	总分
A-1	色泽绿润、条索紧细(95)	橙黄明亮(94)	陈香略带酸味(88)	平和(89)	黄绿、尚柔软(88)	90.65
A-2	色泽墨绿、条索紧细(94)	黄亮(93)	陈香显露(94)	醇和(92)	黄绿、柔软(92)	93.10
B-1	色泽墨绿、条索紧结、较润(94)	橙黄明亮(95)	陈香显露(90)	略带苦涩(88)	深绿、柔软(92)	91.10
B-2	色泽墨绿、条索紧结、较润(94)	橙黄明亮(95)	陈香显露(93)	醇和(92)	深绿、较匀整、柔软(90)	92.85
C-1	色泽深绿、紧实(93)	黄亮(93)	陈香显露(94)	醇和(91)	绿褐、较匀整、尚柔软(89)	92.25
C-2	绿褐、紧结(94)	绿黄(94)	陈香显露(93)	浓醇回甘(92)	绿褐，较柔软(90)	92.75

表 6 存放于广州和昆明的普洱茶(熟茶)熟茶感官审评结果

Table 6 Sensory evaluation results of cooked Pu-erh tea (ripe tea) stored in Guangzhou and Kunming

茶样	外形(20%)	汤色(10%)	香气(30%)	滋味(35%)	叶底(5%)	总分
D-1	饼形端正、松紧适度、平滑、较润、带梗(91)	深红明亮(92)	陈香馥郁(93)	平和(90)	红褐、尚柔软(89)	91.25
D-2	饼形端正、平滑、较松、较润、带梗(89)	红浓明亮(93)	陈香浓郁(92)	平和(略带堆味)(89)	红褐、尚柔软(89)	90.30
E-1	色泽红褐、松紧适度(93)	红明亮(91)	陈香显露(90)	醇和(92)	红褐、较柔软(90)	91.40
E-2	色泽较红褐、松紧适度(92)	红明亮(91)	陈香显露(90)	略带苦涩(88)	红褐、柔软(92)	89.90
F-1	条索清晰、松紧适度、油润、红褐(94)	红明亮(91)	糯香浓郁(92)	甜醇、滑(93)	红褐、柔软(93)	92.70
F-2	条索清晰、松紧适度、红褐、油润(93)	红浓明亮(92)	糯香纯正(91)	甜醇、滑(93)	红褐、柔软(93)	92.30

表 7　存放于东莞和昆明晒青毛茶中酚类、氨基酸等品质成分含量及差异(mg/g)

Table 7　Content and differences of quality components such as phenols and amino acids in sun-dried green tea from Dongguan and Kunming (mg/g)

成分	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
C	8.30±0.07^{a}	8.19±0.19^{a}	8.07±0.13^{a}	8.25±0.22^{a}	8.21±0.23^{a}	8.39±0.12^{a}
EC	17.70±0.71^{ab}	18.50±0.68^{a}	16.50±0.70^{bc}	16.20±1.02^{c}	15.50±0.39^{c}	15.50±0.68^{c}
EGC	18.50±0.12^{c}	19.40±0.74^{bc}	20.40±0.83^{bc}	21.60±2.03^{b}	25.20±0.88^{a}	26.40±1.05^{a}
GC	2.43±0.05^{a}	2.48±0.16^{a}	2.04±0.09^{c}	2.18±0.13^{bc}	2.22±0.25^{bc}	2.16±0.20^{bc}
ECG	32.10±0.65^{c}	35.40±1.55^{b}	33.40±0.75^{bc}	35.80±1.25^{b}	35.20±1.31^{b}	38.90±1.39^{a}
GCG	4.38±0.03^{d}	4.92±0.08^{b}	4.22±0.03^{e}	4.66±0.08^{c}	4.48±0.09^{d}	5.13±0.09^{a}
EGCG	55.10±2.95^{ab}	61.80±1.43^{a}	54.70±2.02^{b}	60.50±1.65^{ab}	57.50±1.02^{ab}	61.10±6.20^{ab}
芦丁	2.54±0.12^{a}	2.55±0.09^{a}	1.92±0.11^{c}	1.81±0.10^{c}	2.20±0.02^{b}	2.16±0.02^{b}
槲皮素	3.77±0.05^{a}	3.64±0.10^{ab}	3.41±0.13^{bc}	3.27±0.08^{c}	3.64±0.15^{ab}	3.29±0.12^{c}
山柰酚	2.09±0.33^{b}	1.61±0.11^{d}	2.53±0.10^{a}	2.26±0.10^{a}	1.75±0.04^{c}	1.34±0.07^{d}
杨梅素	0.65±0.08^{b}	0.61±0.05^{b}	0.68±0.05^{ab}	0.64±0.14^{b}	0.82±0.04^{a}	0.71±0.06^{ab}
GA	5.14±0.12^{c}	4.75±0.14^{d}	5.18±0.07^{c}	4.56±0.10^{d}	6.15±0.20^{a}	5.67±0.10^{b}
茶氨酸	10.50±0.40^{bc}	11.40±0.58^{ab}	9.77±0.09^{c}	10.70±0.31^{bc}	11.00±0.21^{b}	12.20±0.92^{a}
丙氨酸	1.45±0.17^{ab}	1.50±0.13^{a}	1.24±0.07^{b}	1.45±0.05^{ab}	1.43±0.09^{ab}	1.42±0.07^{ab}
精氨酸	1.52±0.01^{bc}	1.80±0.05^{a}	1.44±0.10^{c}	1.57±0.06^{b}	1.40±0.05^{c}	1.41±0.05^{c}
天冬氨酸	3.04±0.23^{b}	3.26±0.07^{ab}	2.18±0.17^{c}	2.42±0.11^{c}	2.98±0.10^{b}	3.42±0.14^{a}
谷氨酸	4.96±0.09^{b}	5.66±0.08^{a}	3.83±0.11^{e}	4.43±0.17^{d}	3.05±0.07^{f}	4.70±0.10^{c}
异亮氨酸	0.24±0.00^{a}	0.28±0.01^{a}	0.25±0.03^{a}	0.27±0.01^{a}	0.27±0.01^{a}	0.26±0.01^{a}
甲硫氨酸	0.16±0.01^{a}	0.17±0.01^{a}	0.16±0.01^{a}	0.17±0.01^{a}	0.17±0.01^{a}	0.17±0.01^{a}
酪氨酸	0.65±0.06^{ab}	0.47±0.04^{de}	0.68±0.05^{a}	0.58±0.04^{bc}	0.53±0.02^{cd}	0.45±0.05^{e}
缬氨酸	0.15±0.02^{c}	0.19±0.01^{ab}	0.16±0.01^{c}	0.19±0.01^{a}	0.17±0.01^{bc}	0.20±0.01^{a}
色氨酸	0.49±0.02^{b}	0.50±0.03^{b}	0.57±0.03^{a}	0.58±0.02^{a}	0.47±0.01^{b}	0.49±0.02^{b}
天冬氨酰	0.11±0.02^{c}	0.14±0.02^{b}	0.08±0.03^{c}	0.13±0.01^{b}	0.12±0.03^{c}	0.18±0.01^{a}

注: 同行不同的小写字母表示具有显著差异(P<0.05), 表 8 同。

内含物质为 C[19]和氨基酸[20]。存放于东莞和昆明两地晒青毛茶茶样中的 GCG、GA、谷氨酸, 酪氨酸、缬氨酸和天冬氨酸等出现显著差异(P<0.05), 存放于昆明的 3 种晒青毛茶中的 ECG 和 GCG 均高于存放于东莞的茶样, 这与刘秋萍[21]的研究结果一致, 其研究发现储藏在韩国大邱的茶样的 C 含量整体高于广州茶样。而昆明仓晒青毛茶中的 GA 和酪氨酸均显著低于东莞仓(P<0.05)。GA 是普洱茶中最重要的酚酸之一, 具有显著的生物活性, 对普洱茶品质具有重要影响[22]。

2.2.2　不同储藏条件下普洱茶(熟茶)品质成分含量差异

对分别存放于广州和昆明的 3 种普洱茶(熟茶)进行差异分析(表 8), 发现存放于昆明的茶样中的茶氨酸、甲硫氨酸和苯丙氨酸均高于存放于广州的茶样。EGC、CG、EGCG、精氨酸、组氨酸和亮氨酸等均表现为昆明仓高于广州仓。而 GA、芦丁和半胱氨酸则表现为昆明低于广州。研究发现在仓储过程中, 普洱茶中的茶多酚、儿茶素等都有不同程度的变化[23], 其中氨基酸总体呈下降趋势[24]。

表 8　存放于广州和昆明普洱茶(熟茶)中酚类、氨基酸等品质成分含量及差异(mg/g)

Table 8　Content and differences of quality components such as phenols and amino acids in Pu-erh tea (ripe tea) stored in Guangzhou and Kunming (mg/g)

成分	D-1	D-2	E-1	E-2	F-1	F-2
C	0.76±0.04^{a}	0.85±0.10^{a}	0.35±0.06^{b}	0.34±0.08^{b}	0.74±0.05^{a}	0.73±0.10^{a}
EC	13.40±0.49^{c}	13.30±0.25^{bc}	14.20±0.38^{ab}	14.40±0.62^{a}	14.70±0.50^{a}	15.00±0.40^{a}
EGC	25.50±0.54^{bc}	26.40±1.40^{b}	21.90±0.42^{d}	22.10±0.41^{d}	24.00±0.34^{c}	29.00±1.55^{a}
GC	3.55±0.10^{c}	3.22±0.08^{d}	4.09±0.05^{b}	4.17±0.22^{b}	5.38±0.12^{a}	5.49±0.29^{a}
ECG	0.56±0.09^{b}	0.70±0.05^{a}	0.18±0.03^{d}	0.21±0.01^{cd}	0.25±0.06^{cd}	0.28±0.02^{c}
GCG	0.45±0.10^{a}	0.00	0.45±0.03^{a}	0.54±0.09^{a}	0.44±0.03^{a}	0.56±0.10^{a}
CG	0.34±0.03^{cd}	0.38±0.07^{bc}	0.23±0.02^{e}	0.28±0.03^{de}	0.44±0.05^{ab}	0.47±0.05^{a}

表 8(续)

编号	D-1	D-2	E-1	E-2	F-1	F-2
EGCG	0.43±0.11^{a}	0.52±0.11^{a}	0.35±0.03^{a}	0.41±0.10^{a}	0.42±0.06^{a}	0.45±0.03^{a}
芦丁	1.84±0.30^{b}	1.77±0.18^{b}	1.94±0.15^{b}	1.86±0.07^{b}	3.19±0.35^{a}	3.05±0.18^{a}
槲皮素	0.17±0.07^{a}	0.23±0.19^{a}	0.21±0.05^{a}	0.25±0.09^{a}	0.23±0.08^{a}	0.20±0.05^{a}
山柰酚	0.31±0.06^{b}	0.29±0.04^{b}	0.26±0.03^{b}	0.26±0.06^{b}	0.42±0.04^{a}	0.41±0.07^{a}
杨梅素	0.00	0.08±0.04^{b}	0.15±0.01^{ab}	0.13±0.03^{ab}	0.18±0.06^{a}	0.17±0.06^{a}
GA	5.25±0.35^{a}	4.37±0.08^{b}	2.26±0.08^{c}	1.96±0.09^{c}	2.31±0.59^{c}	2.03±0.19^{c}
茶氨酸	0.42±0.04^{d}	0.54±0.04^{c}	0.48±0.03^{cd}	0.96±0.09^{a}	0.44±0.06^{cd}	0.85±0.00^{b}
丙氨酸	0.46±0.04^{a}	0.47±0.05^{a}	0.38±0.07^{a}	0.46±0.10^{a}	0.45±0.05^{a}	0.40±0.05^{a}
精氨酸	0.99±0.06^{bc}	1.18±0.16^{abc}	0.76±0.06^{d}	1.20±0.14^{ab}	0.97±0.11^{cd}	1.24±0.08^{a}
天冬氨酸	0.35±0.04^{c}	0.47±0.05^{bc}	0.52±0.03^{b}	0.48±0.09^{bc}	0.59±0.05^{b}	0.91±0.16^{a}
半胱氨酸	0.00	0.27±0.04^{c}	0.41±0.05^{b}	0.30±0.05^{c}	0.56±0.05^{a}	0.43±0.02^{b}
谷氨酸	0.69±0.05^{c}	0.94±0.10^{b}	1.18±0.06^{a}	1.09±0.08^{a}	0.63±0.11^{c}	1.22±0.03^{a}
甘氨酸	0.23±0.02^{b}	0.17±0.08^{b}	0.16±0.02^{b}	0.15±0.05^{bc}	0.05±0.09^{c}	0.36±0.04^{a}
组氨酸	0.33±0.02^{b}	0.37±0.11^{b}	0.45±0.03^{b}	0.63±0.10^{a}	0.39±0.05^{b}	0.63±0.07^{a}
异亮氨酸	0.18±0.03^{b}	0.23±0.03^{b}	0.23±0.03^{b}	0.22±0.03^{b}	0.31±0.06^{a}	0.37±0.04^{a}
亮氨酸	0.21±0.05^{bc}	0.30±0.08^{b}	0.31±0.04^{b}	0.47±0.07^{a}	0.08±0.08^{c}	0.25±0.05^{b}
甲硫氨酸	0.31±0.07^{b}	0.44±0.08^{a}	0.17±0.03^{d}	0.18±0.03^{cd}	0.28±0.08^{bc}	0.35±0.05^{ab}
苯丙氨酸	0.22±0.03^{cd}	0.30±0.04^{bc}	0.22±0.04^{cd}	0.46±0.07^{a}	0.18±0.06^{d}	0.32±0.03^{b}
脯氨酸	0.17±0.03^{b}	0.14±0.13^{bc}	0.03±0.06^{cd}	0.36±0.03^{a}	0.00	0.00
丝氨酸	0.15±0.00^{c}	0.28±0.06^{b}	0.17±0.03^{c}	0.61±0.05^{a}	0.00	0.00
酪氨酸	0.67±0.03^{b}	0.64±0.07^{b}	0.98±0.05^{a}	0.72±0.07^{b}	0.71±0.07^{b}	0.97±0.10^{a}
色氨酸	0.57±0.03^{a}	0.58±0.06^{a}	0.63±0.08^{a}	0.60±0.05^{a}	0.36±0.10^{b}	0.58±0.03^{a}

3 结论与讨论

本研究的感官审评结果表明，存放于东莞和广州的茶样的总体陈化速率要略大于存放于昆明的茶样。采用高效液相色谱法对存放于不同地方的 3 种晒青毛茶和 3 种普洱茶(熟茶)样品中的儿茶素、黄酮类和氨基酸等 20 多个活性成分进行定量测定。差异显著性分析显示，不同仓储环境对普洱茶的 GA 和氨基酸等品质成分具有重要影响，主要影响物质为 GCG、GA 和谷氨酸、茶氨酸等。这与宁井铭等[25]的研究一致，他们通过正交偏最小二乘判别分析结合变量重要性因子值筛选出表没食子儿茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素、表儿茶素、GA、茶氨酸、谷氨酸等 10 个标志性差异成分。

普洱茶的仓储陈化受温度、湿度、氧气、光照等环境因素以及微生物代谢强度的综合影响[26–28]。在感官审评结果中，发现存放于干冷环境条件下(昆明)的茶样的陈化程度较存放于湿热环境条件下(广州、东莞)的茶样的陈化程度低，湿热环境条件下贮藏的茶样陈香更显著，外形色泽明显加深。在差异显著性分析中，发现存放于东莞的 3 种晒青毛茶中的 GA 均显著低于昆明仓的茶样。前人研究发现随着贮藏时间的延长，GA 含量增加[29–31]，同时高温高湿会加速茶叶的陈化速度[32]。仓储条件的不同影响着物质转化的速率，在贮藏时间相同的条件下，年平均气温和相对湿度越高，茶叶中的多酚类与氨基酸的含量降幅越大，使得茶叶汤色色泽加深，滋味更加醇和。研究发现高温高湿会加快茶叶物质转化速率，相对稳定和低一些的温湿度可能更有利于内含物的保留。

普洱茶的品质不仅取决于原料及加工技术本身，更取决于贮藏期、贮藏环境条件和技术措施，尤其是贮藏技术对普洱茶品质起着决定性的作用。从本研究结果来看，科学合理的仓储条件对普洱茶的品质具有一定提升作用。并且随着科技的发展以及消费者意识的提升，人们对普洱茶贮藏质量与安全更加重视，建立普洱茶科学贮藏技术和统一的贮藏标准评价，将为普洱茶的发展注入新的活力。

参考文献

[1] QIN L, JIANAN H, YONGDI L, *et al*. Fungal community succession and major components change during manufacturing process of Fu brick tea [J]. Scientific reports, 2017, 7(1-4): 6947.

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

[3] 夏涛. 制茶学[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2014.
XIA T. Tea making [M]. Third Edition. Beijing: China Agricultural Press, 2014.

[4] ZHOU B, MA C, WU T, *et al*. Classification of raw Pu-erh teas with different storage time based on characteristic compounds and effect of storage environment [J]. LWT, 2020, 133: 109914.

[5] 杨晨, 戴伟东, 吕美玲, 等. 基于 UHPLC-Q-TOF/MS 的不同产地普洱生茶化学成分差异研究[J]. 茶叶科学, 2017, 37(6): 605–615.
YANG C, DAI WD, LU ML, *et al*. Study on the differences in chemical components of raw Pu'er tea from different origins based on UHPLC-Q-TOF/MS [J]. Tea Science, 2017, 37(6): 605–615.

[6] BINGSONG M, JIACAI W, CHENGCHENG X, *et al*. Interrelation

analysis between phenolic compounds and *in vitro* antioxidant activities in Pu-erh tea [J]. LWT, 2022, 158: 113117.

[7] BIN Z, BINGSONG M, CUNQIANG M, *et al*. Classification of Pu-erh ripened teas and their differences in chemical constituents and antioxidant capacity [J]. LWT, 2022, 153: 112370.

[8] TIAN D, MA C, ZHOU X, et al. Reveal the influence mechanism of different storage containers on the flavor of ripe Pu-erh tea based molecular sensory science [J]. LWT, 2024, 214: 117073–117073.

[9] 王志霞. 普洱茶(熟茶)陈香特征物质及关键香气成分研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023.
WANG ZX. Research on characteristic substances and key aroma components of Pu'er tea (ripe tea) [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2023.

[10] OU Q, LI J, YANG X, *et al*. Identification of Pu'er raw tea with different storage years by infrared spectroscopy [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(12): 16103.

[11] ZHAO M, MA Y, DAI L, *et al*. A high-performance liquid chromatographic method for simultaneous determination of 21 free amino acids in tea [J]. Food Analytical Methods, 2013, 6(1): 69–75.

[12] AI H, ZONGDE J, MENG T, *et al*. Targeted and nontargeted metabolomics analysis for determining the effect of storage time on the metabolites and taste quality of keemun black tea [J]. Food Chemistry, 2021, 359: 129950.

[13] 管俊岭. 贮藏环境与普洱茶风味品质陈化相关性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
GUAN JL. Correlation between storage and flavor quality aging of Pu'er tea [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.

[14] 张裕君, 黄逢阳, 邵瑞祥, 等. 普洱茶陈化过程中品质变化规律的研究进展[J]. 食品研究与开, 2024, 45(14): 201–208.
ZhANG YJ, HUANG FY, SHAO RX, *et al*. Research progress on the quality change law of Pu'er tea during aging [J]. Food Research and Kai, 2024, 45(14): 201–208.

[15] 赵文净, 黄紫嫣, 陈慧, 等. 贮藏时间对普洱熟茶内含成分及抗氧化活性的影响[J]. 现代农业科技, 2023(17): 191–194.
ZHAO WJ, HUANG ZY, CHEN H, *et al*. Effect of storage time on the contents and antioxidant activity of Pu'er cooked tea [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2023(17): 191–194.

[16] LV S, WU Y, WEI J, *et al*. Application of gas chromatography-mass spectrometry and chemometrics methods for assessing volatile profiles of Pu-erh tea with different processing methods and ageing years [J]. RSC Advances, 2015, 5(107): 87806–87817.

[17] 鲁倩, 涂青, 王欣雨, 等. 不同储存时间的普洱茶原料加工普洱茶适制性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(20): 6755–6763.
LU Q, TU Q, WANG XY, *et al*. Study on the processing fitness of raw materials of Pu'er tea with different storage times [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(20): 6755–6763.

[18] 张霞, 黄端杰. 储藏条件对普洱茶品质的影响及其茶汤饮用安全性分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(12): 160–163.
ZHANG X, HUANG DJ. Effect of storage conditions on the quality of Pu'er tea and the drinking safety of tea soup [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2018, 46(12): 160–163.

[19] 安井美奈, 石井剛志. ネイティブ―ポリアクリルアミドゲル電気泳動を用いる茶ポリフェノール会合体の検出法[J]. 分析化学, 2014, 63: 687–692.
MINA YASUI, GOSHO ISHII. A method for the detection of tea polyphenol polymers by natural polyacrylamide gel electrophoresis [J]. Analytical Chemistry, 2014, 63: 687–692.

[20] 宁静, 李健权, 刘本英, 等. 云南大叶种晒青茶发花前后主要风味成分的变化研究[J]. 茶叶科学, 2021, 41(2): 213–227.
NING J, LI JQ, LIU BY, *et al*. Study on the changes of main flavor components before and after the flowering of Yunnan Dayezhong sun-dried green tea [J]. Tea Science, 2021, 41(2): 213–227.

[21] 刘秋萍. 不同存储区域和时间对普洱茶品质影响的研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2016.
LIU QP. Study on the effect of different storage areas and time on the quality of Pu'er tea [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2016.

[22] 王绍梅, 李晓君, 宋文明, 等. 普洱茶中没食子酸及其改善饮食诱导的糖脂代谢紊乱研究进展[J]. 茶叶科学, 2020, 40(4): 431–440.
WANG SM, LI XJ, SONG WM, *et al*. Research progress on gallic acid in Pu'er tea and its improvement of diet-induced glucose and lipid metabolism disorders [J]. Tea Science, 2020, 40(4): 431–440.

[23] 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 TT, SHI MN, LUO H, *et al*. Analysis of the regular changes of quality indexes of Pu'er raw tea during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(3): 172–181.

[24] 王茹芸, 李亚莉, 周红杰. 普洱茶中氨基酸与贮期、级别及品质关系的研究[J]. 西南农业学报, 2012, 25(4): 1222–1226.
WANG RY, LI YL, ZHOU HJ. Study on the relationship between amino acids in Pu'er tea and storage period, grade and quality [J]. Southwest Agricultural Journal, 2012, 25(4): 1222–1226.

[25] 宁井铭, 许姗姗, 侯智炜, 等. 贮存环境对普洱生茶主要化学成分变化的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 218–224.
NING JM, XU SS, HOU ZW, *et al*. Effects of storage environment on the changes of main chemical components of Pu-erh raw tea [J]. Food Science, 2019, 40(8): 218–224.

[26] ZIHAO W, CHENGQIN Z, CUNQIANG M, *et al*. Comparative analysis of chemical constituents and antioxidant activity in tea-leaves microbial fermentation of seven tea-derived fungi from ripened Pu-erh tea [J]. LWT, 2021, 142: 111006.

[27] 李雪嫣, 古建兴, 张利军, 等. 不同贮藏温度条件下普洱生茶有效成分及理化特征分析[J]. 安徽农学通报, 2025, 31(1): 101–107.
LI XY, GU JX, ZHANG LJ, *et al*. Analysis of effective components and physicochemical characteristics of Pu'er raw tea under different storage temperature conditions [J]. Anhui Agricultural Bulletin, 2025, 31(1): 101–107.

[28] 孙雪梅, 邓秀娟, 周红杰, 等. 普洱茶仓储影响因子与品质变化研究进展[J]. 茶叶通讯, 2019, 46(2): 135–140.
SUN XM, DENG XJ, ZHOU HJ, *et al*. Research progress on storage impact factors and quality changes of Pu'er tea [J]. Tea Communication, 2019, 46(2): 135–140.

[29] 罗婕. 不同仓储时间的普洱生茶化学组成变化研究[D]. 昆明: 云南大学, 2023.
LUO J. Study on the changes of chemical composition of Pu-erh raw tea with different storage time [D]. Kunming: Yunnan University, 2023.

[30] WANG T, LI X, YANG H, *et al*. Mass spectrometry-based metabolomics and chemometric analysis of Pu-erh teas of various origins [J]. Food Chemistry, 2018, 268: 271–278.

[31] ZHENGWEI Y, NAN M, XIN Z, *et al*. Employment of an electronic tongue combined with deep learning and transfer learning for discriminating the storage time of Pu-erh tea [J]. Food Control, 2021, 121: 107608.

[32] 王瑞, 秦新磊, 张梁基, 等. 贮存温度对茉莉花茶主要理化成分的影响及保质期预测研究[J]. 中国茶叶, 2025, 47(1): 74–79.
WANG R, QIN XL, ZHANG LJ, *et al*. The effect of storage temperature on the main physical and chemical components of jasmine tea and the prediction of shelf life [J]. China Tea, 2025, 47(1): 74–79.

(责任编辑: 于梦娇　韩晓红)