

普洱生茶品质成分与陈化年份相关分析 及其在年份鉴别中的应用

孙丹^{1,2}, 陈栋³, 梁海潜⁴, 申康⁵, 郑少烘⁴, 陈金华^{1,2,6*}, 陆英^{1,2*}

(1. 湖南农业大学园艺学院, 湖南长沙 410128) (2. 国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 湖南长沙 410128)
(3. 广东省茶叶收藏与鉴赏协会, 广东东莞 523000) (4. 东莞市茶文化促进会, 广东东莞 523000) (5. 云南古韵流香茶叶公司, 昆明云南 650000) (6. 岳麓山实验室, 湖南农业大学茶学教育部重点实验室, 湖南长沙 410128)

摘要: 为探究普洱生茶陈化年份科学鉴别方法, 该文对 21 份陈化年份在 1~32 年样品多个品质成分进行含量测定, 构建相关性较强的函数模型, 并运用模型对 23 份不同来源的样品进行年份鉴别验证; 结果表明: 普洱生茶茶汤色差 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、茶褐素、没食子酸、咖啡因及酯型儿茶素、总儿茶素等 8 个指标含量与陈化年份具有较强的相关性, 一元二次回归方程相关系数均大于 0.9, 直线方程相关系数大于 0.8, 可通过含量测算未知样品陈化年份; 验证样品结果表明, 陈化年份小于 24 年的样品采用 8 个指标两个方程计算的平均值作为测算值较好, 13 份样品中 11 份与实际相差 0.1~3.4 年, 2 份相差 5.3~6 年; 陈化年份在 28~100 年的样品宜采用色差 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值及茶褐素 4 个指标成分的直线方程进行测算, 10 份样品中 6 份与实际储存年份较为接近。综上, 通过探究普洱生茶中多个品质成分含量与陈化年份的相关性, 建立了函数模型, 为普洱生茶陈化年份鉴别提供了一种方便可行、实用的新方法。

关键词: 普洱生茶; 品质成分; 陈化年份; 年份鉴别

文章编号: 1673-9078(2026)06-206-217

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.6.0414

Correlation Analysis between Quality Components and Aging Time of Raw Pu-erh Tea and Its Application in Aging Time Identification

SUN Dan^{1,2}, CHEN Dong³, LIANG Haiqian⁴, SHEN Kang⁵, ZHENG Shaohong⁴, CHEN Jinhua^{1,2,6*}, LU Ying^{1,2*}

(1. School of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China) (2. National Research Center of Engineering and Technology for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha 410128, China)
(3. Guangdong Tea Collection and Appreciation Association, Dongguan 523000, China) (4. Dongguan Tea Culture Promotion Association, Dongguan 523000, China) (5. Yunnan Guyun Liuxiang Tea Company, Kunming 650000, China) (6. Yuelushan Laboratory, Key Lab of Education Ministry of Hunan Agricultural University for Tea Science, Changsha 410128, China)

Abstract: The aim of the present study was to analyze a method for identifying the aging time of raw Pu-erh tea. Based on the contents of multiple quality components of 21 tea samples aged for 1~32 years, functional models with a high degree of

引文格式:

孙丹,陈栋,梁海潜,等.普洱生茶品质成分与陈化年份相关分析及其在年份鉴别中的应用[J].现代食品科技,2026,42(6): 206-217.

SUN Dan, CHEN Dong, LIANG Haiqian, et al. Correlation analysis between quality components and aging time of raw Pu-erh tea and its application in aging time identification [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(6): 206-217.

收稿日期: 2025-03-24; 修回日期: 2025-05-26; 接受日期: 2025-06-03

基金项目: 湖南省教育厅重点项目 (23A0180); 湖南省湖南农业大学横向课题 (xczx-2023278)

作者简介: 孙丹 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 药用植物资源工程, E-mail: 2951264961@qq.com

通讯作者: 陆英 (1970-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 茶及中药资源综合开发利用, E-mail: luying960522@163.com; 共同通讯作者: 陈金华 (1977-), 女, 博士, 高级实验师, 研究方向: 茶学, E-mail: 442362885@qq.com

correlation were established. The developed models were subsequently applied to the identification and verification of aging time in 23 samples from different sources. According to the results, eight indicator components, namely, color difference values (L^* , a^* , and b^*), theabrownin, gallic acid, caffeine, ester-type catechin, and total catechin contents, of raw Pu-erh tea infusions were strongly correlated with aging time. All correlation coefficients of the univariate quadratic regression equations exceeded 0.9, whereas those of the linear equations exceeded 0.8. Therefore, the aging time of unknown samples could be calculated based on the indicator contents. Sample verification revealed that, for samples aged less than 24 years, the average value calculated using two equations for eight indicators provided a better estimate. Among 13 samples, the calculated aging time of 11 samples differed from the actual value by 0.1~3.4 years, whereas that of the remaining two samples differed by 5.3~6 years. For samples aged 28~100 years, the linear equations based on four indicator components, namely, L^* , a^* , b^* , and theabrownin content, provided better estimates, with the calculated aging time of six out of 10 samples being relatively close to the actual storage duration (years). In conclusion, functional models were established by exploring the correlations between the contents of multiple quality components and aging time of raw Pu-erh tea. These models could serve as a convenient, feasible, and practical new method for identifying the aging time of raw Pu-erh tea.

Key words: raw Pu-erh tea; quality component; aging time; aging time identification

普洱茶是一种独特的后发酵茶，是以云南大叶种鲜叶为原料，经杀青、揉捻、日光干燥、蒸压成型等工艺制成。根据后发酵的方法，普洱茶可分为普洱生茶和普洱熟茶，新加工成的普洱生茶具有浓郁的苦味和涩味，需要经过较长时间陈化后方才饮用，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^[1-6]。在陈化过程中经微生物、酶、湿热、氧化等综合作用，茶中内含物质产生一系列非常复杂的变化^[7,8]，茶汤色、香味都会有所不同，品质趋向最佳，因此，有了“越陈越好”的说法。近年来，随着对普洱生茶保健功能的深入研究，消费者需求不断增长，陈年普洱茶价格急剧上涨，不同陈化年份的普洱茶价格差异也较大，因此，正确鉴别普洱生茶陈化时间对消费者及市场良性发展至关重要。目前对普洱生茶贮藏时间的鉴别主要依据感官审评，需要专业性强、经验丰富和感官识别灵敏的专业评审人员，同时，由于感官审评的主观性强，对评分结果影响很大，在实践中难以持续应用。因此，如何科学的、快速且较为准确的鉴别普洱生茶的陈化年份越来越受到人们的关注。

近年来，众多学者对不同陈化年份普洱生茶变化进行了深入研究，如湛滢等^[9]、Zhou等^[10]、林昕等^[11]；马冰淞等^[12]、罗婕^[13]、张纪伟等^[14]研究了常规品质成分变化趋势；Yang等^[15]、Peng等^[16]采用电子鼻技术、Guo等^[17]、Huang等^[18]、Lv等^[19]、陈春梅等^[20]采用GC-MS技术研究了挥发性成分变化；Wang等^[21]、Xu等^[22]采用HPLC-MS技术探讨了存储时间和环境对代谢物及风味品质的影响；宁井铭等^[23]、唐林等^[24]、陈孝权等^[25]研究了不同年份茶样的红外光谱特征；Liu等^[26]、Li等^[27]测定了茶样中金属元素的变化。

从文献可知，这些研究多基于陈化年份10年以内的茶样，同时由于样品数量较少、来源不一致等情况，未能建立品质成分含量与陈化年份的相关模型，不能在样品陈化年份鉴别中应用。

该研究以普洱茶中3个代表性品牌的21份跨度在1~32年的普洱生茶样本为研究对象，对儿茶素组分、咖啡因、没食子酸、可溶性糖、茶氨酸、茶色素、色差等多个感官品质成分进行含量测定，通过探讨含量与陈化年份的关系，建立了相关模型，并对23份不同品牌、不同来源样本进行陈化年份鉴别，为普洱生茶陈化年份鉴别提供可行性方法。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

3个普洱生茶代表品牌的21份样品来源见表1，23份不同品牌、不同来源年份鉴别验证样品来源见表2，均由广东省茶叶收藏与鉴赏协会提供。

1.1.2 试剂

分析纯甲醇、浓硫酸、碳酸钠、六水氯化铝、蒽酮、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、水合茚三酮、氯化亚锡，国药集团化学试剂有限公司；谷氨酸、葡萄糖、蔗糖、果糖，西格玛奥德里奇（上海）贸易有限公司；儿茶素类、咖啡因、没食子酸标准品（纯度 $\geq 98\%$ ），上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

UV-1900PC紫外分光光度计，上海翱艺仪器有限公司；LC-20AT配有SPD检测器液相色谱仪，日本岛

津公司；ATX 分析天平，日本岛津公司；Waters e2695 高效液相色谱仪，美国沃特世公司；ELSD 2000ES 蒸发光散射检测器，美国奥特公司；YS6003-TS 色差仪，深圳市三恩时科技有限公司。

表 1 普洱生茶品质成分与陈化年份相关性分析样品表
Table 1 Sample table for correlation analysis between quality components of raw pu-erh tea and aging years

样品编号	生产年份	产品名称	样品编号	生产年份	产品名称
YW32	1992	易武青饼	DY25	1999	青饼大益 7542
YW20	2004	易武正山野生茶	DY20	2004	紫大益 7542
YW17	2007	易武正山古树茶	DY18	2006	大益 7542
YW14	2010	易武正山古树茶	DY16	2008	大益 7542
YW11	2013	易武古韵	DY12	2012	大益 7542
YW8	2016	易武古韵	DY8	2016	大益 7542
YW5	2019	易武古韵	DY6	2018	大益 7542
YW2	2022	易武古韵	DY1	2023	大益 7542
KQ18	2006	布朗孔雀	KQ6	2018	千羽孔雀
KQ12	2012	布朗孔雀	KQ1	2023	精品孔雀
KQ8	2016	珍藏孔雀			

注：YW32 表示品牌为易武，陈化 32 年，其它类推。

1.3 实验方法

1.3.1 品质成分含量测定

按以下方法对各样品感官品质成分进行含量测定，每个样品取样重复三次测定。

(1) 含水率测定：采用 GB/T 8304-2013 方法进行，后续各成分含量结果均按干物质计算。

(2) 色差测定：随机取 3.0 g 茶样于 500 mL 锥形瓶中，加入 450 mL 的 100 ℃ 蒸馏水，放入 100 ℃ 水浴锅中浸提 45 min（10 min 摇匀一次），浸提后趁热棉花过滤，残渣用少量热蒸馏水洗涤 2~3 次。将滤液转入 500 mL 容量瓶中，冷却后用蒸馏水定容至刻度，摇匀，滤纸过滤茶汤，取样在色差仪测定色差亮度值（L* 值）、红绿值（a* 值）、黄蓝值（b* 值）。

(3) 茶色素测定：按《茶学实验技术》（第 2 版）中茶色素系统分析方法进行。

(4) 游离氨基酸测定：采用 GB/T 8314-2013 方法进行。

(5) 茶多酚测定：采用 GB/T 8313-2018 方法进行。

(6) 可溶性糖测定：按《茶学实验技术》（第 2 版）中蒽酮-硫酸比色法进行。

(7) 总黄酮测定：按《茶学实验技术》（第 2 版）中三氯化铝比色法进行。

(8) 茶氨酸测定：按照 GB/T 23193-2017 方法进行。

表 2 普洱生茶陈化鉴别验证样品表
Table 2 Sample table for verification of aging identification of raw pu-erh tea

样品编号	生产年份	产品名称	产地	厂家
1	2022	易武古韵	勐腊县易武乡	岁月知味茶叶
2	2019	易武古韵	勐腊县易武	岁月知味茶叶
3	2018	大益 7542	未知	大益
4	2013	乔木老树珍藏 B（老树）	下关茶厂	云南下关沱茶股份有限公司
5	2013	乔木老树珍藏 A（小树）	下关茶厂	云南下关沱茶股份有限公司
6	2007	古道沱茶（小金盘）	下关茶厂	门道茶仓（高定制/古树）
7	2007	生态沱茶（次古树）	下关茶厂	云南下关沱茶股份有限公司
8	2007	佛光普照牌（宝焰牌）	下关茶厂	云南下关沱茶股份有限公司
9	2005	8653 厚纸	下关茶厂	门道茶仓
10	2003	易武正山特级	勐海茶厂	门道茶仓
11	2003	易武乔木老树	勐海茶厂	门道茶仓
12	2003	丰润典藏青饼	兴泰来	老曼娥
13	2000	红印青饼	勐海茶厂	进出口公司
14	1996	凤牌青饼	凤庆县	凤庆茶厂
15	90 年代	春尖老生散	临沧	临沧茶厂
16	90 年代	8972 青砖	勐海	勐海茶厂
17	1988	八八青砖	勐海	进出口公司
18	80 年代	江城砖	勐海	进出口公司
19	80 年代	传奇老生散	勐海	进出口公司
20	80 年代	姑娘饼	大理	下关茶厂
21	70 年代	宋聘	未知	未知
22	50 年代	红印茶沫	普洱	未知
23	未知	百年陈云	普洱	未知

(9) 游离单糖及双糖测定：参考文献^[28]的研究方法并稍作修改。HPLC 条件：色谱柱：Shodex NH2P-50-4E（4.6×250 mm, 5 μm）；柱温：25 ℃；流动相：A 相：水，B 相：乙腈；流量：1.0 mL·min⁻¹，进样量：20 μL。梯度洗脱方式：0→14 min，流动相 B：86%~86%；14→16 min，流动相 B：86%~70%；16→28 min，流动相 B：70%~70%；28→32 min，流动相 B：70%~86%；检测器设置：雾化管温度为 30 ℃，漂移管温度为 70 ℃，氮气压力为 310.275 Pa。

(10) 儿茶素组分、没食子酸、咖啡碱测定：提取方法：按 GB/T 8313-2013 进行；HPLC 条件：流动相 A：甲醇；流动相 B：0.2% 磷酸；梯度洗脱：0→30 min：10%~25% A，30→40 min：25%~45% A，40→50 min：45%~45% A，检测波长 280 nm；流量 1.0 mL·min⁻¹；进样量 10 μL。

表 3 普洱生茶色差值与陈化年份相关性方程

Table 3 Correlation equation between color difference values and aging years of raw Pu-erh Tea			
类别	品牌	一元二次回归方程及相关系数	直线方程及相关系数
L^* 值	易武	$y=0.009\ 9x^2-0.671\ 9x+91.861\ (0.948\ 1)$	$y=-0.339x+89.95\ (0.874\ 1)$
	大益	$y=0.018\ 9x^2-0.951\ 7x+93.98\ (0.966\ 5)$	$y=-0.463\ 1x+91.88\ (0.890\ 6)$
	孔雀	$y=0.015\ 1x^2-0.740\ 4x+93.604\ (0.946\ 3)$	$y=-0.448\ 1x+92.69\ (0.913\ 5)$
	总样	$y=0.011\ 2x^2-0.741\ 6x+93.037\ (0.921\ 6)$	$y=-0.415\ 4x+91.425\ (0.861\)$
a^* 值	易武	$y=-0.009x^2+0.531\ 1x-1.328\ 8\ (0.966\ 8)$	$y=0.229\ 3x+0.404\ 3\ (0.839\ 2)$
	大益	$y=0.000\ 5x^2+0.250\ 8x+0.393\ 5\ (0.942\ 2)$	$y=0.263x+0.341\ 2\ (0.942\ 0)$
	孔雀	$y=-0.006\ 9x^2+0.447\ 7x+0.197\ (0.989\ 5)$	$y=0.313\ 5x+0.614\ 7\ (0.974\ 4)$
	总样	$y=-0.006\ 5x^2+0.430\ 1x-0.296\ 3\ (0.914\)$	$y=0.240\ 7x+0.639\ 3\ (0.853\ 8)$
b^* 值	易武	$y=-0.011\ 9x^2+1.179\ 9x+29.232\ (0.968\ 5)$	$y=0.778\ 3x+31.538\ (0.946\ 4)$
	大益	$y=-0.003\ 3x^2+1.242\ 9x+30.53\ (0.968\ 7)$	$y=0.807\ 1x+31.754\ (0.761\ 9)$
	孔雀	$y=0.003x^2+1.275\ 4x+26.103\ (0.986\ 9)$	$y=1.333\ 8x+25.922\ (0.986\ 8)$
	总样	$y=-0.016\ 9x^2+1.438\ 6x+26.77\ (0.967\ 4)$	$y=0.947\ 7x+29.201\ (0.938\ 7)$

1.3.2 陈化年份-含量相关性分析

将样品陈化年份 (x) 与测得的含量 (y) 进行相关性分析, 建立相关性较强指标成分的函数模型。

1.3.3 不同陈化年份普洱生茶陈化年份鉴别验证

同法测定验证样品中各成分与年份相关性强的指标含量, 将结果代入上述建立的总样品相关函数模型中, 计算鉴别的陈化年份, 并与实际陈化年份比较。

1.3.4 数据分析

使用 Microsoft Office Excel 2010 对含量与陈化年份进行相关性函数分析, 并使用 Graphpad 软件进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 色差值与陈化年份相关性分析

由图 1 可见, 3 个不同品牌茶汤色差值变化趋势相同, 即随着陈化时间延长, 茶汤色差 L^* 值下降, a^* 和 b^* 值增大; 谌滢等^[9]对陈化 20 年内的普洱生茶色差值研究结果同样为: 随着陈化年份延长, 色差 a^* 值、 b^* 值增大, 茶汤颜色变红变深。

色差值与陈化年份的相关性见表 3, 由表可见, 不同品牌的一元二次回归方程相关系数在 0.942 2~0.989 5 之间, 直线方程相关系数在 0.761 8~0.986 8 之间, 3 个品牌总样品 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值一元二次回归相关系数分别为 0.921 6、0.914、0.967 4, 直线方程相关性系数 0.861、0.853 8、0.938 7。

2.2 茶色素含量与陈化年份关联分析

由图 2 可见, 3 个品牌的普洱生茶茶褐素含量随陈化年份延长而增大, 茶黄素没有明显变化趋势, 茶红素变化不一致, 大益和孔雀品牌有增大趋势, 易武品牌变化不明显; 宋莹等^[29]对陈化 10 内的普洱生茶研

究也表明, 茶褐素含量随陈化年份延长上升, 茶红素与茶黄素含量没有明显变化规律。

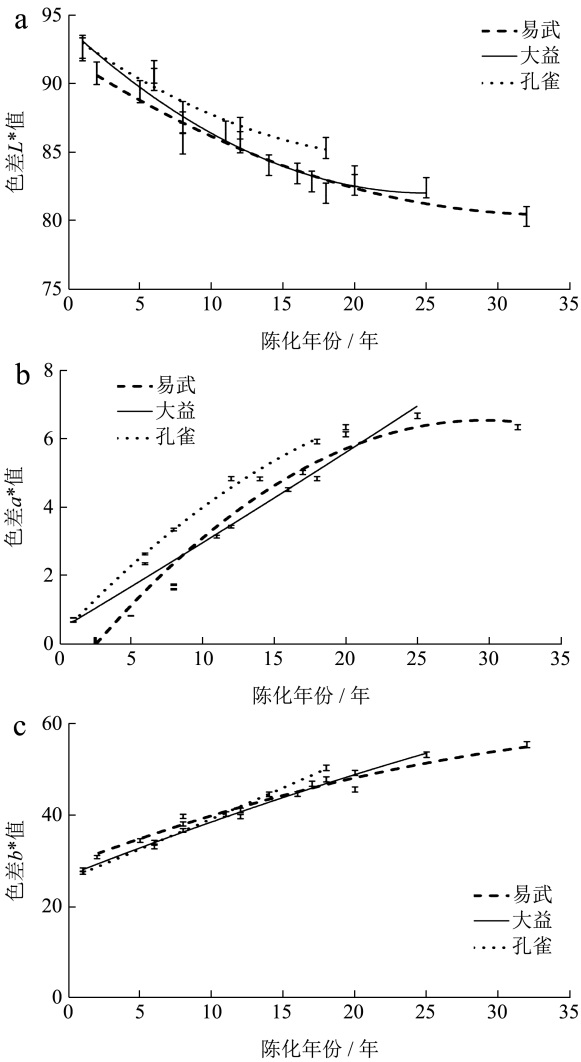


图 1 不同陈化年份普洱生茶色差值与年份相关性
Fig.1 Correlation between color difference values and the aging years of raw pu-erh tea

表 4 普洱生茶茶褐素与陈化年份相关性方程

Table 4 Correlation equation between the theabrownin of raw pu-erh tea and the aging years			
类别	品牌	一元二次回归线方程及相关系数	直线方程及相关系数
茶褐素	易武	$y=0.000\ 2x^2+0.128x+1.692\ 3\ (0.969\ 9)$	$y=0.135\ 5x+1.649\ 2\ (0.969\ 7)$
	大益	$y=0.001x^2+0.096\ 7x+2.240\ 5\ (0.927\ 7)$	$y=0.121\ 4x+2.134\ 5\ (0.924\ 7)$
	孔雀	$y=-0.003\ 4x^2+0.169\ 2x+2.34\ 2\ (0.979\ 5)$	$y=0.104\ 1x+2.545\ 2\ (0.948\ 3)$
	总样	$y=0.000\ 4x^2+0.108\ 7x+2.152\ 1\ (0.901\ 2)$	$y=0.120\ 6x+2.093\ 6\ (0.900\ 2)$

茶褐素含量与陈化年份的相关性见表 4，由表可见，易武、大益、孔雀一元二次回归相关系数分别为 0.969 9、0.927 7、0.979 5，直线方程相关性系数分别为 0.969 7、0.924 7、0.948 3，3 个品牌总样品的一元二次回归方程与直线方程相关性系数分别为 0.901 2、0.900 2。

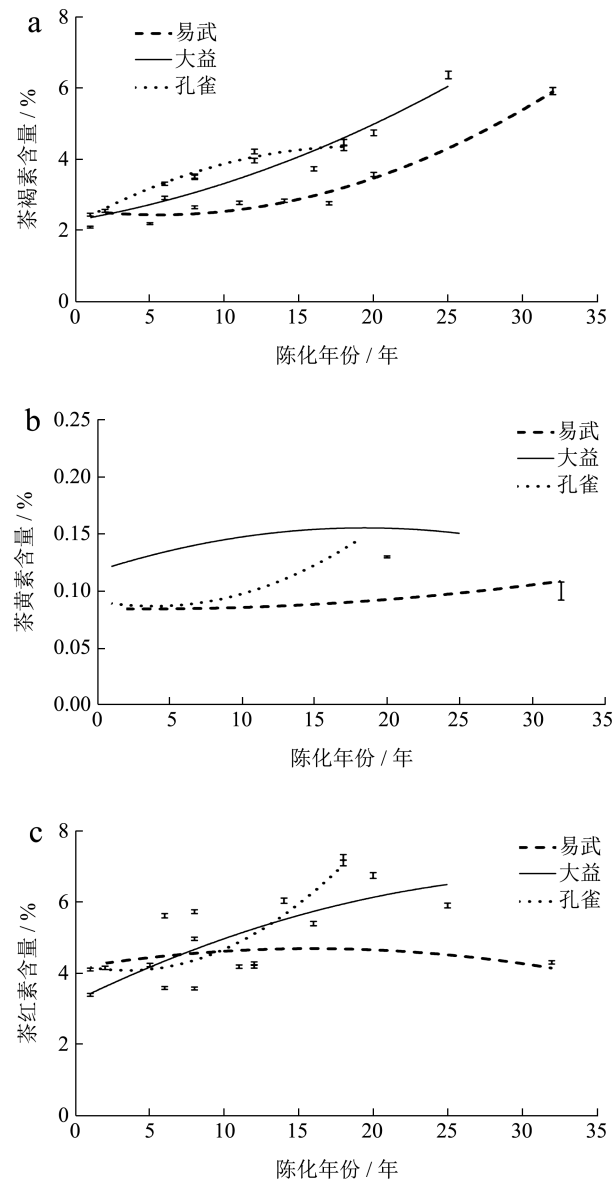


图 2 不同陈化年份普洱生茶茶色素与年份相关性
Fig.2 Correlation between tea pigments and aging years of raw pu-erh tea

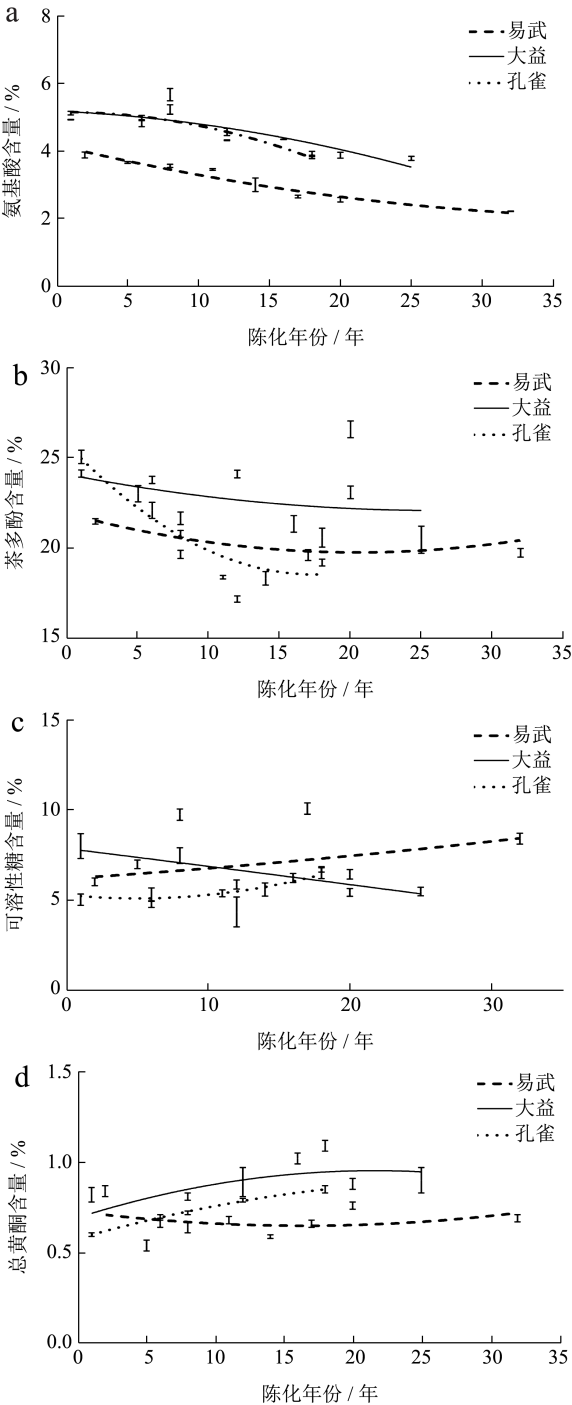


图 3 不同陈化年份普洱生茶游离氨基酸、茶多酚、可溶性糖、总黄酮与年份相关性
Fig.3 Correlation between free amino acids, tea polyphenols, soluble sugars, total flavonoids and aging years of raw pu-erh tea

表 5 普洱生茶游离氨基酸与陈化年份相关性方程

Table 5 Correlation equation between free amino acids and the aging years of raw pu-erh tea			
类别	品牌	一元二次回归线性方程及相关系数	直线方程及相关系数
氨基酸	易武	$y=0.001\ 1x^2-0.099\ 2x+4.178\ 6\ (0.954\ 9)$	$y=-0.060\ 5x+3.956\ 4\ (0.921\ 7)$
	大益	$y=-0.000\ 6x^2-0.040\ 7x+5.070\ 1\ (0.919\ 4)$	$y=-0.057\ 1x+5.140\ 3\ (0.913\ 6)$
	孔雀	$y=-0.004\ 5x^2+0.005\ 3x+5.149\ (0.865\ 5)$	$y=-0.080\ 8x+5.417\ 1\ (0.789\ 9)$
	总样	$y=-0.00\ 05x^2-0.057x+4.795\ (0.454\ 4)$	$y=-0.071\ 7x+4.868\ (0.452\ 3)$

表 6 普洱生茶茶氨酸与陈化年份相关性方程

Table 6 Correlation equation between theanine and the aging years in raw pu-erh tea			
类别	品牌	一元二次元回归线性方程及相关系数	直线方程及相关系数
茶氨酸	易武	$y=1.047\ 3x^2-54.014x+770.68\ (0.930\ 6)$	$y=-18.753x+568.19\ (0.710\ 7)$
	大益	$y=0.229\ 8x^2-14.249x+198.9\ (0.941\ 1)$	$y=-8.318\ 4x+173.46\ (0.905\ 8)$
	孔雀	$y=0.66x^2-32.047x+368.3\ (0.900\ 3)$	$y=-19.298x+328.67\ (0.868\ 4)$
	总样	$y=0.683x^2-33.391x+445.79\ (0.448\ 1)$	$y=-13.531x+347.64\ (0.359\ 8)$

2.3 氨基酸、茶多酚、可溶性糖、总黄酮与年份关联分析

由图 3 可见，3 个品牌普洱生茶中游离氨基酸随陈化年份延长具有下降的趋势，与陈化年份具有较强相关性；茶多酚含量也呈下降趋势但与年份相关性不强；可溶性糖、总黄酮没有变化明显趋势。氨基酸及茶多酚的变化趋势^[14,29,30]对陈化 9~12 年内的茶样研究一致，与可溶性糖和总黄酮变化趋势不同，一方面可能是样品本身差异较大，另一方面可能是样品陈化年份不一致，导致变化规律发生改变。

氨基酸与陈化年份相关线性方程见表 5，由表可见，不同品牌样品各自线性方程相关好，易武、大益、孔雀一元二次回归相关系数分别为 0.954 9、0.919 4、0.865 5，直线相关系数分别为 0.921 7、0.913 6、0.789 9，但总样相关系数很低。

2.4 茶氨酸含量与陈化年份关联分析

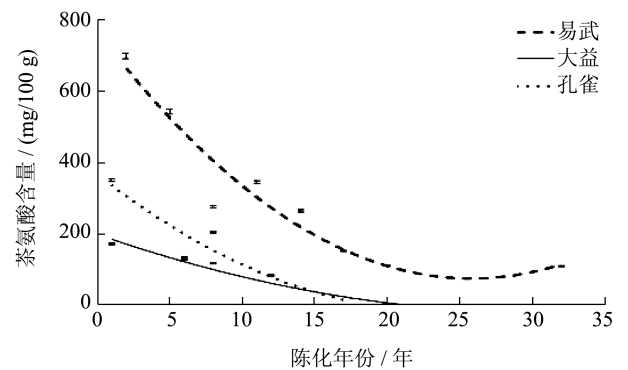
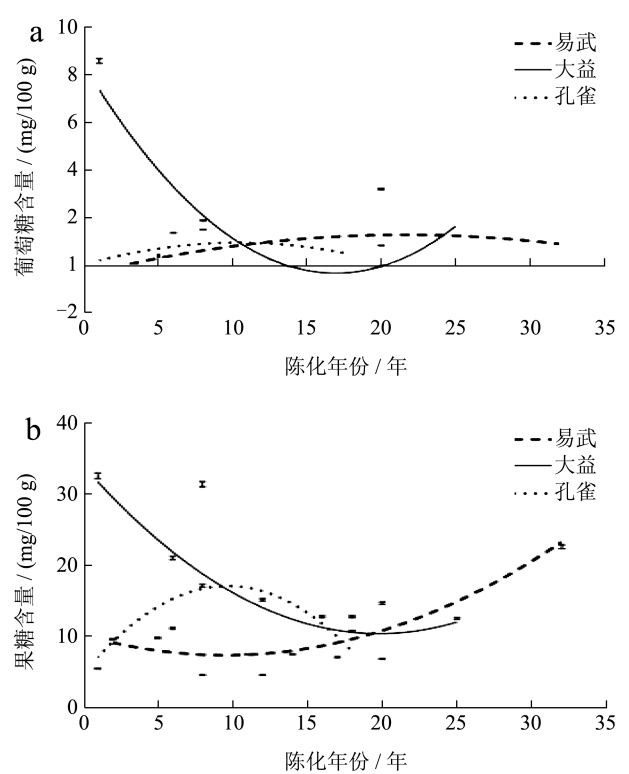


图 4 不同陈化年份普洱生茶茶氨酸与年份相关性
Fig.4 Correlation between theanine and year of pu-erh raw tea in different storage years

由图 4 可见，不同品牌普洱生茶样品中茶氨酸含量随陈化年份延长具有下降的趋势；林长欣^[31]对陈化 10 年内的茶样研究也表明，随陈化年份延长茶氨酸含量下降。检测样品中，基础含量低的两个品牌陈化 15 年后茶氨酸含量几近检不出。茶氨酸含量与陈化年份的相关性见表 6，由表可见，易武、大益、孔雀品牌茶样的一元二次相关系数分别为 0.930 6、0.941 1、0.900 3，直线相关系数分别为 0.710 7、0.905 8、0.868 4，但总体样品的相关系数很低。

2.5 游离单糖和双糖含量与年份关联分析



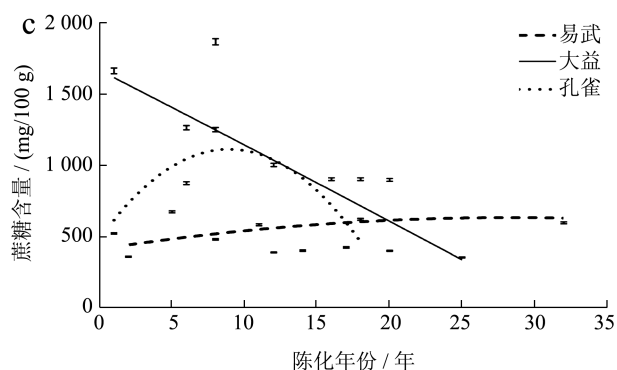


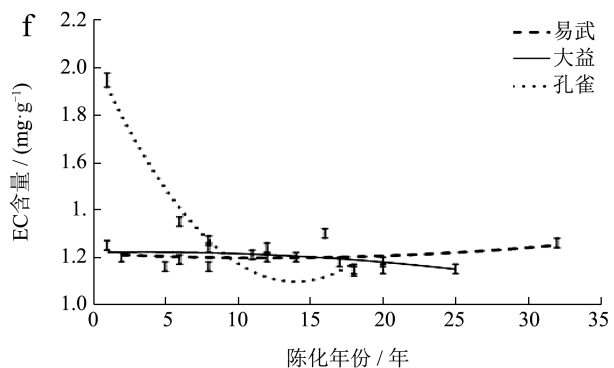
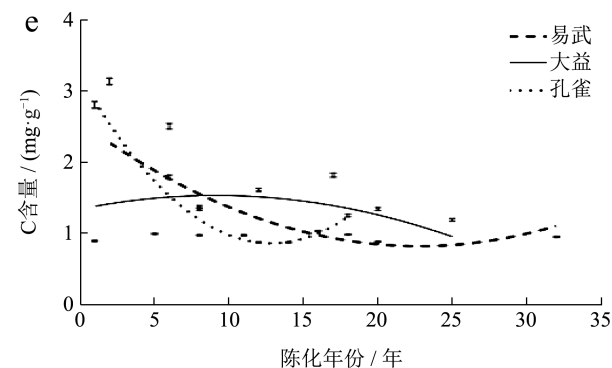
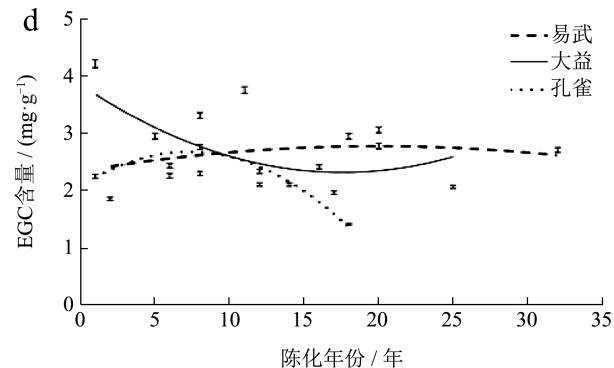
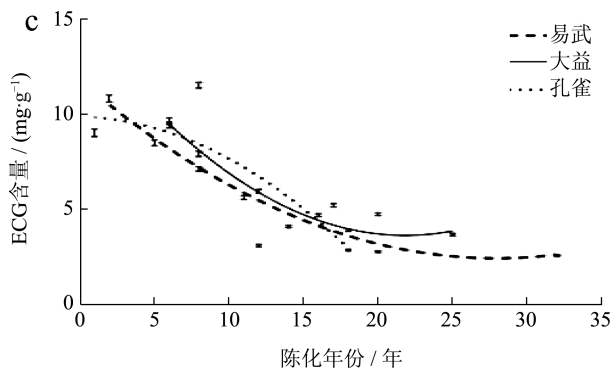
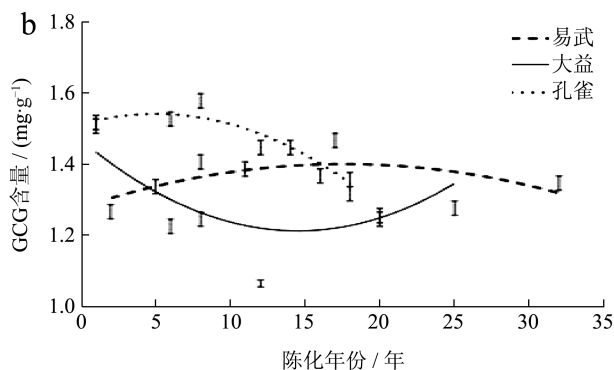
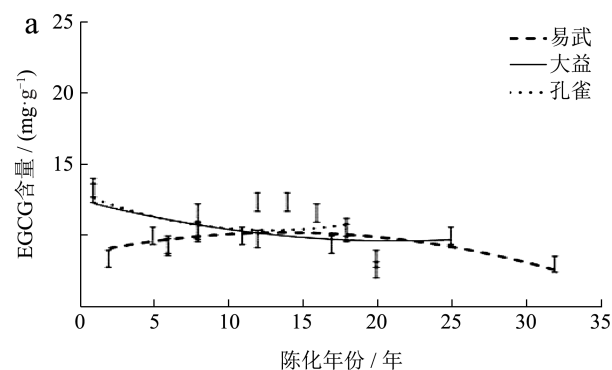
图5 不同陈化年份普洱生茶葡萄糖、果糖、蔗糖与年份相关性
Fig.5 Correlation between glucose, fructose, sucrose and storage years of raw pu-erh tea with different storage durations

由图5可见,不同品牌普洱生茶中游离糖含量差异很大,且随陈化年份变化趋势也不相同。易武茶样中三种糖在20年内没有明显变化趋势,但在陈化32年的样品中,果糖有较大幅度的上升;大益茶样中随陈化年份延长,葡萄糖和果糖有高-低-高的趋势,

蔗糖呈直线下降趋势;孔雀茶样中三种糖均为低-高-低的变化趋势。

2.6 儿茶素组分、没食子酸及咖啡因与陈化年份关联分析

由图6可见,随陈化时间延长,在3个品牌样品中,EGCG、GCG、EGC、C及EC等单个含量变化趋势不完全一致,ECG变化趋势一致,但3个品牌总样与年份相关性低于0.8;非酯型儿茶素EGC、C、EC总量均呈下降趋势,但总样相关性较低;酯型儿茶素EGCG、ECG、GCG总量与6个儿茶素组分总量及咖啡因均呈下降趋势,没食子酸呈上升趋势,它们与年份相关性较强,函数方程见表7,由表可见,不同品牌的一元二次回归方程相关系数在0.928 3~0.979 6之间,直线方程相关性系数在0.752 8~0.936 9之间,3个品牌总样品的一元二次回归相关系数均大于0.9,直线方程相关性系数大于0.8。



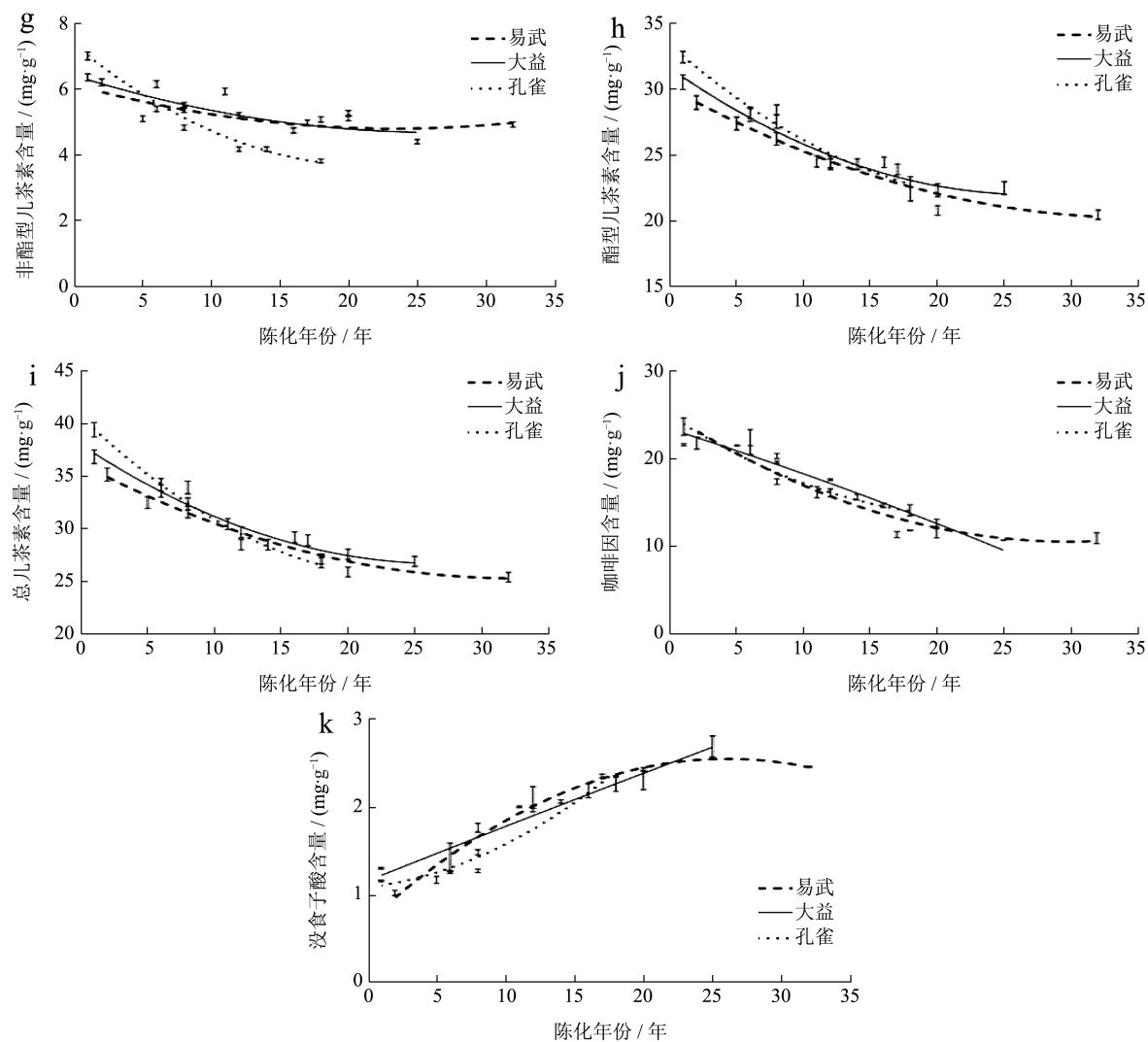


图 6 不同陈化年份普洱生茶中儿茶素组分、咖啡因及没食子酸与年份相关性

Fig.6 Correlation between catechin components, caffeine, gallic acid and storage years of pu-erh raw tea

表 7 普洱生茶儿茶素组分、咖啡因及没食子酸与陈化年份相关性方程

Table 7 Correlation equations between catechin components, caffeine, gallic acid in raw pu-erh tea and the aging years			
类别	品牌	一元二次回归线方程及相关系数	直线方程及相关系数
酯型儿茶素	易武	$y=0.008x^2-0.559\ 4x+30.093\ (0.948\ 3)$	$y=-0.291\ 7x+28.556\ (0.883\ 1)$
	大益	$y=0.013\ 1x^2-0.707\ 1x+31.591\ (0.954\ 5)$	$y=-0.370\ 2x+30.146\ (0.897\ 6)$
	孔雀	$y=0.016\ 9x^2-0.890\ 6x+33.358\ (0.963\ 0)$	$y=-0.565\ 1x+32.346\ (0.936\ 9)$
	总样	$y=0.010\ 7x^2-0.678x+31.545\ (0.922\ 4)$	$y=-0.366\ 2x+30.004\ (0.852\ 0)$
总儿茶素	易武	$y=0.010\ 4x^2-0.672\ 8x+36.237\ (0.960\ 7)$	$y=-0.323\ 6x+34.232\ (0.876\ 1)$
	大益	$y=0.015\ 5x^2-0.837x+38.015\ (0.979\ 6)$	$y=-0.436\ 9x+36.299\ (0.920\ 5)$
	孔雀	$y=0.024\ 6x^2-1.227\ 9x+40.709\ (0.963\ 4)$	$y=-0.752\ 7x+39.232\ (0.932\ 1)$
	总样	$y=0.015\ 1x^2-0.864\ 2x+38.156\ (0.927\ 6)$	$y=-0.426\ 5x+35.993\ (0.828\ 2)$
没食子酸	易武	$y=-0.002\ 7x^2+0.142\ 5x+0.699\ 1\ (0.975)$	$y=0.050\ 3x+1.228\ 5\ (0.752\ 8)$
	大益	$y=-0.000\ 07x^2+0.062\ 8x+1.163\ (0.939\ 3)$	$y=0.061x+1.171\ 3\ (0.939\ 2)$
	孔雀	$y=0.003x^2+0.019\ 1x+1.093\ 3\ (0.928\ 3)$	$y=0.076\ 8x+0.914\ (0.886\ 2)$
	总样	$y=-0.001\ 8x^2+0.109\ 5x+0.887\ 9\ (0.903\ 6)$	$y=0.058\ 6x+1.139\ 8\ (0.831\ 9)$
咖啡因	易武	$y=0.016\ 4x^2-0.976\ 8x+25.117\ (0.937\ 9)$	$y=-0.425\ 2x+21.95\ (0.817\ 1)$
	大益	$y=-0.002\ 6x^2-0.491\ 1x+23.48\ (0.942\ 2)$	$y=-0.557\ 1x+23.765\ (0.927\ 6)$
	孔雀	$y=0.021\ 1x^2-0.983\ 7x+24.946\ (0.954\ 6)$	$y=-0.575\ 3x+23.676\ (0.915\ 8)$
	总样	$y=0.011\ 8x^2-0.837\ 2x+24.603\ (0.919\ 7)$	$y=-0.492\ 7x+22.9\ (0.871\ 1)$

表 8 验证用普洱生茶样品指标成分含量测定

Table 8 Determination of indicator component contents in raw Pu-erh tea samples for validation														
样品 编号	L^* 值	a^* 值	b^* 值	茶褐素/%	GA (mg·g ⁻¹)	咖啡因 (mg·g ⁻¹)	EGC (mg·g ⁻¹)	C (mg·g ⁻¹)	EGCG (mg·g ⁻¹)	ECG (mg·g ⁻¹)	EC (mg·g ⁻¹)	GCG (mg·g ⁻¹)	酯型儿茶素 (mg·g ⁻¹)	总儿茶素 (mg·g ⁻¹)
1	87.72 ± 0.61	0.08 ± 0.00	29.7 ± 0.21	2.56 ± 0.04	1.03 ± 0.03	21.88 ± 0.71	1.86 ± 0.03	3.14 ± 0.05	16.79 ± 0.30	10.8 ± 0.19	1.20 ± 0.02	1.27 ± 0.02	28.9 ± 0.52	35.16 ± 0.22
2	86.73 ± 0.61	0.56 ± 0.00	35.22 ± 0.25	2.2 ± 0.03	1.18 ± 0.04	21.55 ± 0.07	2.95 ± 0.05	0.99 ± 0.01	17.57 ± 0.31	8.48 ± 0.15	1.16 ± 0.02	1.34 ± 0.02	27.4 ± 0.49	32.51 ± 0.58
3	85.29 ± 0.60	1.37 ± 0.01	36.01 ± 0.25	2.93 ± 0.05	1.44 ± 0.16	21.95 ± 1.46	2.44 ± 0.04	2.51 ± 0.04	17.17 ± 0.30	9.62 ± 0.17	1.19 ± 0.02	1.23 ± 0.02	28.0 ± 0.50	34.20 ± 0.61
4	83.23 ± 0.58	4.08 ± 0.03	46.97 ± 0.33	3.85 ± 0.02	2.36 ± 0.02	19.16 ± 0.26	2.85 ± 0.03	0.53 ± 0.01	18.03 ± 0.22	3.83 ± 0.05	1.13 ± 0.01	1.16 ± 0.01	23.02 ± 0.28	27.53 ± 0.33
5	85.97 ± 0.55	2.22 ± 0.02	40.43 ± 0.28	4.08 ± 0.13	2.46 ± 0.01	17.12 ± 0.31	1.56 ± 0.02	0.55 ± 0.01	17.08 ± 0.2	4.19 ± 0.05	1.13 ± 0.01	1.49 ± 0.02	22.77 ± 0.27	28.01 ± 0.34
6	85.56 ± 0.54	2.26 ± 0.02	40.76 ± 0.29	4.24 ± 0.09	2.07 ± 0.02	17.34 ± 0.52	1.79 ± 0.02	0.55 ± 0.01	17.72 ± 0.21	3.17 ± 0.04	1.15 ± 0.01	1.28 ± 0.02	22.17 ± 0.27	25.66 ± 0.31
7	86.19 ± 0.57	3.81 ± 0.03	43.06 ± 0.3	4.96 ± 0.06	1.18 ± 0.04	17.98 ± 0.10	1.44 ± 0.02	0.54 ± 0.01	18.32 ± 0.22	2.67 ± 0.03	1.12 ± 0.01	1.24 ± 0.01	22.23 ± 0.27	27.33 ± 0.33
8	86.27 ± 0.44	3.68 ± 0.03	42.67 ± 0.3	4.46 ± 0.07	1.03 ± 0.03	16.13 ± 0.07	0.66 ± 0.01	0.53 ± 0.01	19.26 ± 0.23	1.72 ± 0.02	0.67 ± 0.01	1.85 ± 0.02	22.83 ± 0.27	26.19 ± 0.31
9	86.43 ± 0.61	3.67 ± 0.03	42.45 ± 0.3	4.75 ± 0.04	1.77 ± 0.05	15.29 ± 0.00	1.69 ± 0.02	0.54 ± 0.01	17.55 ± 0.21	2.51 ± 0.03	1.16 ± 0.01	1.25 ± 0.02	21.31 ± 0.26	26.69 ± 0.32
10	83.18 ± 0.58	5.43 ± 0.04	50.7 ± 0.35	4.93 ± 0.07	2.43 ± 0.02	13.96 ± 0.06	2.40 ± 0.03	0.54 ± 0.01	18.34 ± 0.22	4.32 ± 0.05	1.13 ± 0.01	1.25 ± 0.02	23.9 ± 0.29	27.98 ± 0.34
11	84.01 ± 0.59	5.59 ± 0.04	48.38 ± 0.34	4.46 ± 0.04	2.01 ± 0.01	17.21 ± 0.11	2.19 ± 0.03	0.52 ± 0.01	18.93 ± 0.23	2.33 ± 0.03	1.14 ± 0.01	1.28 ± 0.02	22.53 ± 0.27	26.38 ± 0.32
12	77.35 ± 0.54	12.21 ± 0.09	60.88 ± 0.43	3.42 ± 0.03	1.50 ± 0.02	6.69 ± 0.13	3.54 ± 0.04	3.88 ± 0.05	11.68 ± 0.14	5.4 ± 0.06	1.6 ± 0.02	1.77 ± 0.02	18.85 ± 0.28	29.87 ± 0.31
13	74.29 ± 0.52	13.27 ± 0.09	66.47 ± 0.47	2.90 ± 0.02	1.98 ± 0.02	7.24 ± 0.11	4.58 ± 0.05	1.2 ± 0.01	13.97 ± 0.17	6.76 ± 0.08	1.14 ± 0.01	1.29 ± 0.02	22.02 ± 0.26	30.94 ± 0.32
14	81.51 ± 0.57	8.35 ± 0.06	53.92 ± 0.38	5.60 ± 0.02	1.60 ± 0.02	8.91 ± 0.31	/	/	/	/	/	/	/	/
15	78.68 ± 0.55	5.71 ± 0.04	44.48 ± 0.31	6.28 ± 0.05	1.11 ± 0.02	10.81 ± 0.74	/	/	/	/	/	/	/	/
16	75.96 ± 0.53	13.16 ± 0.09	65.03 ± 0.46	3.14 ± 0.02	/	4.16 ± 0.08	/	/	/	/	/	/	/	/
17	72.51 ± 0.51	18.93 ± 0.13	77.32 ± 0.54	2.86 ± 0.04	/	14.46 ± 0.07	/	/	/	/	/	/	/	/
18	65.9 ± 0.46	25.47 ± 0.18	78.12 ± 0.55	8.47 ± 0.11	/	15.29 ± 0.98	/	/	/	/	/	/	/	/
19	62.19 ± 0.44	29.88 ± 0.21	83.12 ± 0.58	6.18 ± 0.22	/	24.68 ± 2.42	/	/	/	/	/	/	/	/
20	69.98 ± 0.49	19.18 ± 0.13	74.32 ± 0.52	4.03 ± 0.02	/	6.30 ± 1.13	/	/	/	/	/	/	/	/
21	57.92 ± 0.41	32.47 ± 0.23	80.00 ± 0.56	5.91 ± 0.05	/	21.98 ± 1.02	/	/	/	/	/	/	/	/
22	60.62 ± 0.42	29.22 ± 0.2	76.44 ± 0.54	9.29 ± 0.17	/	25.42 ± 4.24	/	/	/	/	/	/	/	/
23	65.76 ± 0.46	25.41 ± 0.18	72.17 ± 0.51	13.30 ± 0.74	/	24.21 ± 2.84	/	/	/	/	/	/	/	/

注：“/”表示物质在实验方法下未检测到。

表 9 验证样品（1~30年）陈化年份鉴别结果

Table 9 Identification results of aging years of verification samples (1~30 years)												
样品编号	实际陈化年份	计算方程	L*值	a*值	b*值	茶褐素	GA	咖啡因	酯型儿茶素	总儿茶素	平均	测算年值
1	2	一元二次	6.4	0.9	2.3	4.0	1.4	3.1	3.6	3.7	3.2	2.4
		直线	6.4	-2.3	0.9	4.1	-1.7	1.5	2.1	1.9	1.6	
2	5	一元二次	8.1	2.1	6.7	0.7	2.9	3.5	6.2	7.5	4.7	4.5
		直线	8.8	-0.3	6.8	1.1	0.9	2.2	6.2	8.2	4.2	
3	6	一元二次	10.8	4.2	7.4	7.3	5.7	3.0	5.2	5.0	6.1	5.9
		直线	12.3	3.1	7.6	7.2	5.4	1.4	4.6	4.2	5.7	
4	11	一元二次	11.5	6.5	10.9	16.7	20.1	7.2	17.3	17.9	13.5	13.9
		直线	13.1	6.6	11.8	16.5	20.8	7.6	19.1	19.8	14.4	
5	11	一元二次	18.3	12.6	17.7	14.8	23.2	10.5	18.1	16.5	16.5	17.0
		直线	19.7	14.3	18.7	14.6	22.5	11.7	19.8	18.7	17.5	
6	17	一元二次	12.4	6.6	11.2	18.0	14.0	10.1	20.4	/	13.3	14.4
		直线	14.1	6.7	12.2	17.8	15.9	11.3	21.4	24.2	15.5	
7	17	一元二次	11.1	11.6	13.4	23.8	2.8	9.1	20.1	18.5	13.8	14.2
		直线	12.6	13.2	14.6	23.8	0.7	10.0	21.2	20.3	14.5	
8	17	一元二次	10.9	11.1	13.1	19.8	1.3	12.2	17.9	23.5	13.7	14.0
		直线	12.4	12.6	14.2	19.6	-1.9	13.7	19.6	23.0	14.2	
9	19	一元二次	10.6	11.1	12.8	22.1	9.6	13.8	24.8	20.9	15.7	16.1
		直线	12.0	12.6	14.0	22.0	10.8	15.4	23.7	21.8	16.5	
10	21	一元二次	18.4	18.5	22.7	23.5	22.1	16.6	14.7	16.6	19.1	19.7
		直线	19.8	19.9	22.7	23.5	22.0	18.1	16.7	18.8	20.2	
11	21	一元二次	16.1	19.3	19.5	19.8	13.0	10.3	19.0	22.4	17.4	18.0
		直线	17.9	20.6	20.2	19.6	14.8	11.5	20.4	22.5	18.5	
12	21	直线	33.9	48.1	33.4	11.0	6.1	32.9	30.5	14.4	26.3	26.3
13	24	直线	41.2	52.5	39.3	6.7	14.3	31.8	21.8	11.8	27.4	27.4
14	28	直线	23.9	32.0	26.1	29.1	/	/	/	/	27.8	27.8
15	25~35	直线	30.7	21.1	16.1	34.7	/	/	/	/	25.7	25.7
16	25~35	直线	37.2	52.0	37.8	8.7	/	/	/	/	33.9	33.9
17	37	直线	45.5	76.0	50.8	6.4	/	/	/	/	44.7	44.7
18	35~45	直线	61.4	103.2	51.6	52.9	/	/	/	/	67.3	67.3
19	35~45	直线	70.4	121.5	56.9	33.9	/	/	/	/	70.7	70.7
20	35~45	直线	51.6	77.0	47.6	16.1	/	/	/	/	48.1	48.1
21	45~55	直线	80.7	132.2	53.6	31.6	/	/	/	/	74.5	74.5
22	65~75	直线	74.2	118.7	49.8	59.7	/	/	/	/	75.6	75.6
23	不详	直线	61.8	102.9	45.3	92.9	/	/	/	/	75.7	75.7

从上述结果可知,在测定的13个指标中,同一品牌的10个指标成分含量与陈化年份存在较强相关性,但不同品牌间有一定差异,表明不同品牌的原料、加工工艺及储存环境等方面存在差异;同时,不同品牌总样中有8个指标的相关系数大于0.9或0.8,具有一定的普适性,可用于未知样品年份鉴别。

2.7 年份鉴定验证用普洱生茶品质成分含量测定及陈化年份计算

23份陈化年份鉴别用普洱生茶8个品质成分含量见表8,将含量代入相应函数方程计算陈化年份。一元二次回归方程通常有2个解,在测算时选择其中与直线方程值较接近的值;同时,当样品中儿茶素组分及没食子酸含量极低,或色差 L^* 值降低,色差 a^* 值和色差 b^* 值增大,超出线性范围时,一元二次回归方程也会无解,宜采用直线方程进行测算。验证样品测算的陈化年份结果见表9,由表可知,单个指标测算值有一定差异,由于茶样品品质成分间的转化和影响,发现以两个方程多个指标成分计算的平均值作为测算年份与其真实年份最为接近。用于年份鉴别验证用的13份陈化年份小于24年的样品中,11份测算年份与实际相差0.1~3.4年,2份相差5.3~6年;10份陈化年份大约在28~100年样品中,6份样品(14~17、20、22号)测算结果与可能的实际陈化年份较为接近,4份(18、19、21、23号)有较大差异。

3 结论

普洱生茶中品质化学成分的变化是一个受多因素影响的持续缓慢变化过程,基于品质成分含量变化测算普洱生茶陈化年份具有其科学基础。本文筛选到茶汤的色差 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值及咖啡因、酯型儿茶素、总儿茶素、没食子酸、茶褐素等8个与陈化年份相关性强的指标建立了相关函数模型,一元二次回归方程的相关系数均大于0.9,直线方程相关系数大于0.8,可通过该8个指标的含量测算未知样品陈化年份。验证实验表明,该方法对陈化年份在35年内的样品测算准确性较高,对大于35年的样品测定可供参考。实验所需仪器及测定方法均为常规,具有较强的实际应用价值。

参考文献

- [1] 肖慧慧,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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] YANG C Y, HUNG K C, YEN Y Y, et al. Anti-oxidative effect of Pu-erh tea in animals trails: asystematic review and meta-analysis [J]. Foods, 2022, 11(9): 1333.
- [6] 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]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(36): 10592-10605.
- [7] 马冰淞,王佳菜,徐成成,等.不同仓储期普洱茶(生茶)中酚类成分差异及其对体外抗氧化能力的影响[J].茶叶科学,2022,42(1):51-62.
- [8] ZHOU B X, MA C Q, REN X Y, et al. Correlation analysis between filamentous fungi and chemical compositions in a Pu-erh type tea after a long-term storage [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(5): 2501-2511.
- [9] 湛滢,欧行畅,张杨波,等.不同储藏年份普洱生茶感官品质的分析[J].食品科技,2018,43(4):48-52.
- [10] ZHOU B X, MA C Q, WU T 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.
- [11] 林听,王丽,陈兴莲,等.基于多酚类物质差异性判别普洱生茶的贮藏年限[J].中国食品学报,2021,21(10):240-246.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] YANG X M, LIU Y L, MU L H, 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, 2018, 42(10): 13721
- [16] PENG W, WANG L, QIAN Y, et al. Discrimination of unfermented Pu'er Tea aroma of different years based on electronic nose [J]. Agricultural Research, 2017, 6(4): 436-442.
- [17] GUO J, YU Z H, LIU M Y, et al. Analysis of volatile profile and aromatic characteristics of Raw Pu-erh Tea during storage based on GC-MS and odor activity value [J]. Foods, 2023, 12(19): 3568.
- [18] HUANG H R, CHEN X Y, WANG Y, et al. Analysis of volatile compounds and vintage discrimination of raw Pu-erh tea based on GC-IMS and GC-MS combined with data fusion [J]. Journal of Chromatography A, 2025, 1743: 465683.
- [19] LV S D, WU Y S, WEI J F, 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.

[20]

陈梅春,刘晓港,朱育菁,等.顶空固相微萃取-气质联用法测定不同陈化时间普洱茶香气成分[J].食品安全质量检测学报,2016,7(6):2396-2414.

[21]

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 Chemistry, 2018, 268: 271-278.

[22]

XU S H H, 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]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(43): 12084-12093.

[23]

宁井铭,张正竹,王胜鹏,等.不同陈化年份普洱茶傅里叶变换红外光谱研究[J].光谱学与光谱分析,2011,31(9):2390-2393.

[24]

唐林,张艳诚,李家华,等.基于近红外光谱的普洱茶年份检测研究[J].广东农业科学,2014,41(17):93-96.

[25]

陈孝权,吴晓刚,肖海军,等.普洱茶陈化过程中氨糖比和红外光谱的变化[J].湖北农业科学,2016,55(16):4261-4264.

[26]

LIU H L, ZENG Y T, ZHAO X, et al. Monitoring the authenticity of Pu'er tea via chemometric analysis of multielements and stable isotope [J]. Food Research International, 2020, 136: 109483.

[27]

LI F, LU Q H, LI MEI, et al. Comparison and risk assessment for trace heavy metals in raw Pu-erh tea with different storage years [J]. Biological Trace Element Research, 2020, 195(2): 696-706.

[28]

袁勇,黄建安,李银花,等.高效液相色谱-蒸发光散射检测法测定茶叶中单糖和双糖[J].茶叶科学,2010,30(6):435-439

[29]

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.

[30]

邹斌.不同年份普洱茶品质比较研究[J].广东茶业,2019,6:16-23.

[31]

林长欣.普洱茶中的风味成分及微生物在贮藏过程中的变化[D].广州:暨南大学,2010.