

青砖茶主要化学成分在储存及渥堆过程中代谢分析

侯智炜¹, 许姗姗¹, 曹琼¹, 朱小元², 姜浩¹, 宁井铭^{1*}, 甘多平³, 陈军海³

(1. 安徽农业大学茶树生物学与资源利用国家重点实验室, 合肥 230036; 2. 黄山区龙门乡农业技术推广站, 黄山 245700; 3. 湖北省赵李桥茶厂有限责任公司, 咸宁 437318)

摘要: 选取不同年份青砖茶和不同渥堆陈化时间的毛茶为原料, 用高效液相色谱法检测不同年份青砖茶儿茶素及氨基酸等理化成分, 采用气相色谱-质谱联用技术检测挥发性成分组成, 用超高效液相色谱法检测其不同渥堆时间的主要化学成分。结果表明, 青砖茶在储存过程中, 游离氨基酸、酯型儿茶素 EGCG 和 ECG、非酯型儿茶素 EC 和 C 的含量均随着储存年份的增长呈现降低趋势, 没食子酸 GA 的含量则呈现上升的趋势。青砖茶样可溶性糖、挥发性成分雪松醇的含量随着储存年份的延长整体上呈现增加趋势, 而香叶基丙酮、芳樟醇、 β -紫罗兰酮和叶绿醇等显著下降。在渥堆过程中, 儿茶素呈现出逐步降解趋势, 与毛茶相比较 12 个月后儿茶素含量仅剩余 8.61%。

关键词: 青砖茶; 储藏时间; 生化成分; 香气; 渥堆陈化时间

中图分类号: TS272.54

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)04-0594-06

Chemical changes of Qingzhuan tea with different storage and different pile time

HOU Zhiwei¹, XU Shanshan¹, CAO Qiong¹, ZHU Xiaoyuan², JIANG Hao¹,
NING Jingming¹, GAN Duoping³, CHEN Junhai³

(1. State Key Laboratory of Tea Plant Biology and Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Agricultural and Technology Station of Longmen Town in Huangshan District, Huangshan 245700;

3. Hubei Zhaoliqiao Tea Factory Co. Ltd., Xianning 437318)

Abstract: Qingzhuan tea samples with different storage and different pile ageing time were collected. Chemical compositions (catechins and free amino acids) were determined by high-performance liquid chromatography (HPLC), and the volatile compounds in Qingzhuan tea were analyzed by gas chromatography and mass spectrograph (GC-MS). The changes of catechins in the process with different pile time were determined by ultra-performance liquid chromatography (UPLC). The results indicated that the contents of free amino acids in Qingzhuan tea decreased with the prolongation of storage time. And caffeine maintained at a stable level, EGCG and ECG as well as EC and C also decreased with the prolongation of storage time. However, GA increased by prolonging the storage time, and the contents of EGC and tea total polyphenols increased firstly and then decreased. The soluble sugar content in Qingzhuan tea samples of different aging years showed a wavy trend with the prolongation of the storage time. With the increase of the aging year, the content of cedrol gradually increased, and the contents of geranyl acetone, linalool, β -ionone and chlorophyll declined significantly. The total catechins showed a gradual degradation trend in different pile time, and the content of catechins was only 8.61% after 12 months compared with the control.

Key words: Qingzhuan tea; storage time; components; aroma; pile ageing time

青砖茶属于黑茶的一种, 是由鲜叶经杀青、揉捻、初渥堆、初干燥、成小堆、成大堆、复制、蒸压和烘干等工艺加工而成, 其中长时间渥堆是青砖茶品质形成的关键工序^[1]。在储存过程中, 青砖茶的

滋味也会随着时间延长发生一定的变化。青砖茶主销我国内蒙古、新疆等地区, 以及英国和俄罗斯^[2]等国家。近年来, 关于青砖茶降脂、抗氧化^[3]等健康功效研究较多, 而对于青砖茶在渥堆过程中主要品

收稿日期: 2017-12-15

基金项目: 湖北赵李桥茶厂有限公司委托资助。

作者简介: 侯智炜, 硕士研究生。E-mail: 905824051@qq.com

* 通信作者: 宁井铭, 博士, 教授。E-mail: ningjm@ahau.edu.cn

质成分的代谢, 以及在储存过程中主要化学成分的变化等研究, 还鲜见报道。本研究以不同年份生产的青砖茶, 以及不同渥堆陈化时间的毛茶为原料, 分析主要化学成分的代谢, 为青砖茶规范化生产以及合理储存提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

中华老字号“川”牌(1.7 kg)青砖茶, 生产年份分别为: 1994年、2000年、2004年、2009年、2011年和2014年。同一批毛茶为原料自然堆放成小堆, 陈化, 时间分别为: 1个月、6个月、9个月和12个月。样品来自湖北赵李桥茶厂。

1.2 方法

1.2.1 青砖茶挥发性成分检测 SDE同时蒸馏-萃取法: 称取普洱茶样品20 g置于1 000 mL圆底烧瓶中, 加入400 mL纯水, 并加入1 mL浓度为100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的癸酸乙酯乙醚溶液, 接入SDE装置的A口, 电热套加热煮沸。用量筒量取30 mL乙醚至100 mL圆底烧瓶, 接入SDE装置的B口, 45℃水浴加热。萃取70 min后冷却15 min, 将全部乙醚萃取液转移至盛有无水硫酸钠的试管中密封, 置于4℃的冰箱中过夜使萃取液脱水, 氮吹使溶剂挥发, 浓缩得到1 mL无色透明的液体。

GC-MS气相色谱-质谱联用: Agilent 7890A/5975C气质联用仪, HP-5石英毛细管柱(30 $\text{m}\times 250\ \mu\text{m}\times 0.25\ \mu\text{m}$); 进样口温度: 200℃; 检测器温度: 280℃; 程升范围: 50~190℃, 柱箱程序: 50℃用于0 min, 然后2℃· min^{-1} 到190℃用于0 min, 运行时间: 70 min; 载气: He, 纯度 $\geq 99.999\%$; 柱流速: 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$; 进样体积: 1 μL ; 分流方式: 不分流。离子源温度: 230℃, 四极杆温度: 150℃; 质量扫描范围: 40~600 u。扫描方式: 全扫描; 溶剂延迟3 min。

1.2.2 主要化学成分的检测 青砖茶中游离氨基酸的检查采用Waters公司AccQ.Tag的方法^[4], 多酚及生物碱的检测采用国家标准《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》(GB/T 8313-2008)^[5], 粗纤维的检测采用《茶粗纤维测定》(GB/T 8310-2013)^[6], 可溶性糖的检测采用蒽酮比色法检测^[7], 不同渥堆时间青砖茶样品中的多酚类物质变化采用超高效液相色谱法进行检测。

1.3 数据分析方法

本研究对不同年份及不同渥堆陈化时间的青砖茶的理化成分的差异性分析采用SPSS 21.0软件进

行。

香气组分通过Chemstation工作站上的NIST11标准谱库匹配相应化合物, 并结合文献报道, 计算各组分相对保留指数RI进行定性, 通过内标法进行相对定量^[8]。

2 结果与分析

2.1 常规理化成分的检测与分析

2.1.1 氨基酸在青砖茶在储存过程中变化 氨基酸是构成茶叶滋味的重要组成部分之一。有研究表明氨基酸是茶汤鲜爽的主要来源^[9], 且参与茶叶香气的形成和转化^[10]。本研究采用Waters的AccQ.Tag衍生化的方法对不同年份的青砖茶中的14种游离氨基酸含量进行了测定, 结果如表1所示。

由表1可知, 储存年份越久, 青砖茶中可以检测到的游离氨基酸的种类越少, 2014年的青砖茶可以检测到14种氨基酸, 1994年仅能检测到7种。氨基酸总量也从5.14%, 下降到1.78%, 但不同种类氨基酸变化趋势不同。不同年份青砖茶中的茶氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸和半胱氨酸的含量随着储存年份的延长显著降低, 且2009年以后的样品均未检测到。丙氨酸的含量随着储存时间的延长, 呈现出增加趋势。青砖茶储存过程中, 在一定的温度和湿度下, 氨基酸会发生脱羧基和脱氨基反应, 从而导致种类和含量下降^[11-13]。

2.1.2 不同年份青砖茶多酚类及生物碱含量差异 茶多酚是茶叶中多酚类化合物的总称, 其主要成分是儿茶素, 以其具有抗衰老、抗氧化等健康功效而被广泛关注^[14-15]。咖啡碱是一类具有嘌呤环结构的化合物, 具有兴奋中枢神经系统、醒酒、利尿、强心、兴奋心肌等药理功效^[16-18]。不同年份青砖茶样品中没食子酸(GA)、5种儿茶素(EGC、C、EGCG、EC和ECG)及咖啡碱和茶多酚等理化成分检测结果如图1所示。

由图1可知, 青砖茶中多酚类总量和儿茶素类物质的含量较低, 其中多酚类总量、酯型儿茶素EGCG和ECG的含量随着储存时间的延长, 总体上呈现出下降的趋势。青砖茶原料粗老, 多酚类等物质含量相对较低。同时, 在储存过程中, 在微生物和一定的温度、湿度条件下, 酯型儿茶素脱去没食子酸发生降解^[19]或氧化, 没食子酸GA的含量则呈现上升的趋势。咖啡碱由于具有稳定的环状结构, 含量变化不大。

2.1.3 青砖茶在储存过程中粗纤维及可溶性糖代谢 茶叶中的粗纤维主要由纤维素、半纤维素、果胶

等组成，且与茶树鲜叶片嫩度呈负相关^[20-21]。可溶性糖是一类与蛋白质结合的酸性多糖或酸性糖蛋

白，在粗老的叶片中含量较高。不同年份青砖茶中粗纤维和可溶性糖含量如图2所示。

表 1 不同年份青砖茶 14 种游离氨基酸含量
Table 1 Contents of 14 free amino acids in Qingzhuan tea in different years

氨基酸 Amino acid	年份 Year					
	2014	2011	2009	2004	2000	1994
天冬氨酸 Aspartic acid	0.20±0.01 ^a	0.15±0.03 ^b	ND	ND	ND	ND
丝氨酸 Serine	0.13±0.02	ND	ND	ND	ND	ND
谷氨酸 Glutamic acid	0.25±0.02 ^a	0.13±0.02 ^b	ND	ND	ND	ND
精氨酸 Arginine	0.10±0.02 ^a	0.08±0.01 ^b	ND	ND	ND	ND
丙氨酸 Alanine	0.87±0.18 ^b	1.08±0.08 ^{ac}	1.15±0.03 ^a	0.94±0.07 ^b	0.94±0.12 ^c	1.13±0.01 ^{ac}
茶氨酸 Theanine	1.27±0.07 ^a	0.53±0.03 ^b	ND	ND	ND	ND
半胱氨酸 Cystine	0.87±0.14 ^a	0.67±0.33 ^a	ND	ND	ND	ND
酪氨酸 Tyrosine	0.15±0.01 ^b	0.15±0.03 ^b	0.20±0.04 ^a	0.21±0.02 ^a	0.20±0.00 ^{ab}	0.20±0.04 ^{ab}
缬氨酸 Valine	0.13±0.01 ^a	0.12±0.01 ^{ab}	0.11±0.01 ^{bc}	0.11±0.00 ^{bc}	0.10±0.01 ^c	0.12±0.01 ^b
蛋氨酸 Methionine	0.43±0.02 ^a	0.26±0.01 ^b	0.14±0.00 ^c	0.16±0.01 ^c	0.16±0.03 ^c	0.25±0.01 ^b
赖氨酸 Lysine	0.24±0.01 ^a	0.25±0.02 ^a	0.20±0.05 ^a	0.09±0.15 ^b	ND	ND
异亮氨酸 Isoleucine	0.11±0.01 ^{ab}	0.12±0.01 ^a	0.10±0.01 ^b	ND	ND	ND
亮氨酸 Leucine	0.14±0.02 ^a	0.14±0.01 ^a	0.11±0.01 ^a	0.05±0.09 ^a	0.06±0.08 ^a	0.06±0.08 ^a
苯丙氨酸 Phenylalanine	0.07±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	ND	ND	ND	0.03±0.04 ^b
总量 Total	5.14±0.32 ^a	3.54±0.25 ^b	1.96±0.01 ^c	1.65±0.22 ^c	1.45±0.22 ^c	1.78±0.07 ^c

注：n=3，数据表示为平均值±标准差，每行相同字母表示不存在显著性差异（P>0.05）；ND表示没有检测到。

Note: n=3, the data are expressed as means ± standard deviation, and there is no significant difference in each line of the same letter(P>0.05); ND is not detected.

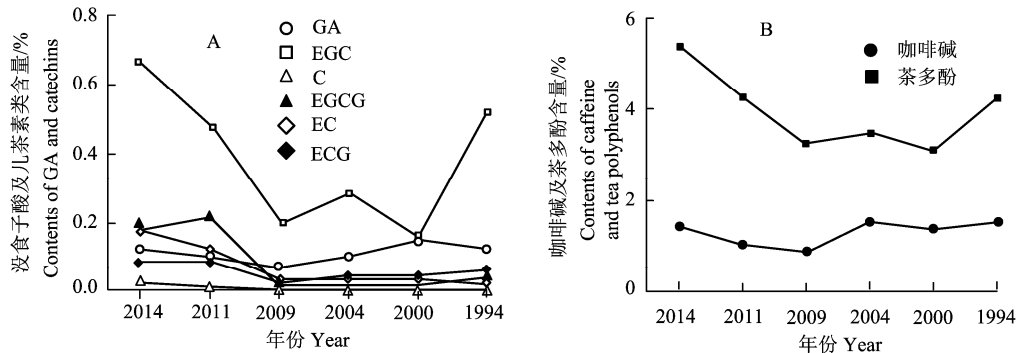


图 1 不同年份青砖茶多酚 (A) 及生物碱 (B) 含量

Figure 1 Contents of polyphenols (A) and alkaloids (B) in Qingzhuan tea produced in different years

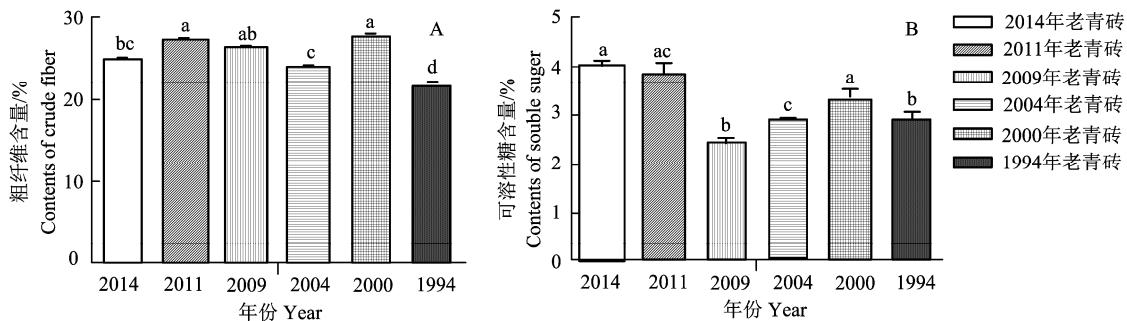


图 2 不同年份的老青砖茶粗纤维(A)和可溶性糖(B)含量 (n=3)

Figure 2 Contents of crude fiber (A) and soluble sugar (B) in Qingzhuan tea produced in different years (n=3)

由图2可知，不同年份的青砖茶样品中粗纤维的含量均在20%以上，随着储存年份的变化，粗纤

维的变化并未呈现出规律性。但1994年的青砖茶样品相比其他年份的青砖茶，其粗纤维的含量显著

降低。与 2014、2011 年青砖茶相比较, 不同年份青砖茶可溶性糖含量存在着显著性差异。

2.2 不同年份青砖茶挥发性成分分析

从 2014 年、2011 年、2009 年、2004 年、2000 年和 1994 年 6 个年份生产的青砖茶, 共检测出 80

种挥发性物质, 其中包括碳氢化合物 18 种、醇类 17 种、醛类 16 种、酮类 15 种、酸类 6 种、酯类 5 种、杂氧化合物 2 种和 1 种其他化合物, 其中醇类、醛类和酮类化合物为青砖茶的主要香气成分^[22-23]。

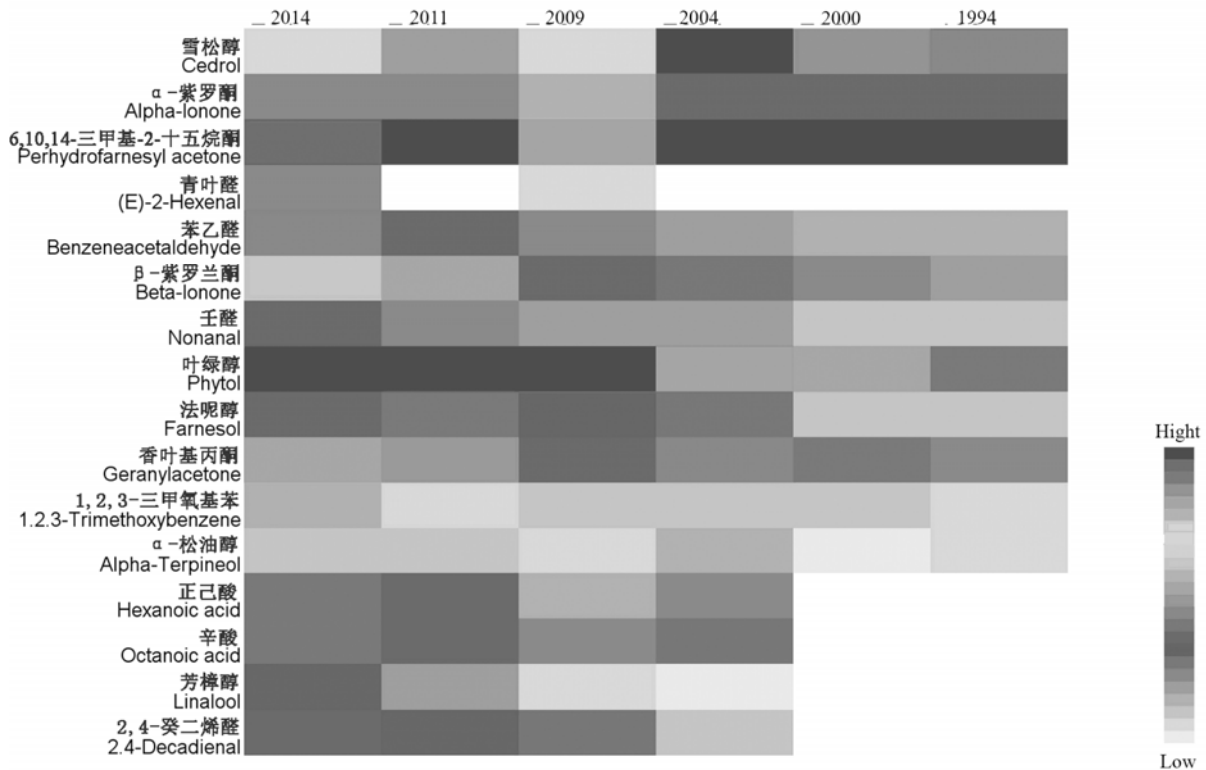


图 3 不同年份的青砖茶中挥发性成分的差异

Figure 3 Variations of volatile components in Qingzhuan tea produced in different years

不同年份的青砖茶挥发性物质的类别基本相同, 但是具体物质及其含量不同。雪松醇、 α -紫罗酮、6,10,14-三甲基-2-十五烷酮的含量增加; 正己酸、苯乙醛、芳樟醇、壬醛、辛酸、2,4-癸二烯醛、 α -松油醇、香叶基丙酮、 β -紫罗兰酮、法呢醇和叶绿醇等香气物质呈下降趋势。

青砖茶具有纯正的陈香, 有木香和菌香, 通过观察 Heatmap 图可以发现, 随着陈化年份的增加, 雪松醇的含量显著增加, 根据吕世懂^[24]的研究, 雪松醇具有弱木香并带有膏香, 持久性甚强。根据袁思思等人的研究, 雪松醇对青砖茶浓郁的樟木香作用尤为突出, 有着直接联系^[25]。在 6 个不同年份的青砖茶中, 随着陈化年份的增加, 其木香特质得到改善和加强。 α -紫罗酮具有花香和木香, 相比于 β -紫罗兰酮香气更佳甜而清。随着储存时间的增加, α -紫罗酮的含量增加了 53.56%, 其在相应年份的香气总量中的占比也在增加, 对陈年老青砖的特征香气贡献不断增加。

青砖茶在储存过程中香气物质随储存时间的延长而不断变化, 但是大部分特征性香气成分数量在逐步减少, 含量逐渐降低。在下降趋势较为明显的物质中, 随着储藏时间增加, 香叶基丙酮具有花香和木香其含量降低了 61.63%; 芳樟醇具有铃兰类鲜爽型花香, 在 2004 年之后样品中未检测出; β -紫罗兰酮具有紫罗兰香且有木香其含量降低了 71.13%; 叶绿醇具有花香和膏香其含量降低了 86.7%。青叶醛的含量只在 2014 年和 2011 年的青砖茶中检测出, 在长时间储存的青砖茶中未检测出。壬醛和青叶醛具有强烈的青草气, 通过一定时间的储存, 青砖茶的香气得到改善。1,2,3-三甲氧基苯在 6 个不同年份的青砖茶中均被检测出, 且含量相对稳定, 此类甲氧基苯在其他文献中被认定为黑茶陈香的特征香气物质^[26]。在 6 个不同年份老青砖茶样中均检测出了 6,10,14-三甲基-2-十五烷酮且含量高, 且随着储存时间增加, 其占总香气含量由 4.11% 增加到 18.33%, 此物质在其他文献中被认为具有陈香气味^[27]。

表 2 不同渥堆陈化时间青砖茶样中儿茶素的相对含量

儿茶素 Catechins acid	毛茶 Raw tea	1个月 1 month	6个月 6 months	9个月 9 months	12个月 12 months	%
GA	0.07±0.00 ^a	0.26±0.00 ^b	0.10±0.00 ^c	0.06±0.00 ^d	0.05±0.00 ^e	
EGC	0.60±0.00 ^a	0.28±0.00 ^b	0.13±0.01 ^c	0.12±0.00 ^d	0.05±0.00 ^e	
EC	0.16±0.00 ^a	0.10±0.00 ^b	0.06±0.00 ^c	0.04±0.00 ^d	0.01±0.00 ^e	
EGCG	1.03±0.00 ^a	0.28±0.00 ^b	0.12±0.00 ^c	0.12±0.00 ^d	0.05±0.00 ^e	
GCG	0.06±0.00 ^a	0.04±0.00 ^b	0.04±0.00 ^c	0.04±0.00 ^c	0.04±0.00 ^b	
ECG	0.24±0.00 ^a	0.05±0.00 ^b	0.05±0.00 ^c	0.03±0.00 ^d	0.03±0.00 ^d	

注：数据表示为平均值±标准差，每行相同字母表示不存在显著性差异。

Note: the data are expressed as average values ± standard deviation, and there is no significant difference in each line of the same letter.

2.3 不同渥堆陈化时间的青砖茶主要儿茶素及生物碱代谢

青砖茶加工的最关键工序是渥堆，不同的渥堆时间对青砖茶的理化成分影响重大^[28]。将不同渥堆陈化时间的茶叶样品粉碎，分别准确称取 0.50 g 茶粉，准确加入 5.0 mL 的 70% 的甲醇水溶液，超声提取 30 min，离心取上清，过 0.22 μm 的滤头，利用 UPLC 检测，结果如表 2 所示。

由表 2 可知，不同渥堆陈化时间青砖茶样品的 6 种儿茶素含量随着渥堆时间的延长总体均有下降趋势。其中茶叶中含量相对较高的 EGCG 在湿热作用下含量降低最为明显，与前人的研究结果一致^[29]，随着渥堆陈化时间的延长，其相对含量从 1.0319% 降低为 0.0475%，下降了约 95.3%。EC 含量也随着渥堆陈化时间的延长降低较为明显，在渥堆陈化 12 个月，其含量仅为 0.0084%，降低了 95.0%。EGC 含量降低也比较显著，渥堆陈化 12 个月，其含量仅为 0.47mg·g⁻¹。ECG 含量也随着渥堆陈化时间的延长逐渐降低，渥堆陈化 12 个月，其含量下降了约 88.80%，其含量为 0.27mg·g⁻¹。

GCG 含量在渥堆陈化过程中也呈现下降趋势，但随着渥堆陈化时间的延长，其含量相对稳定在 0.40mg·g⁻¹ 左右。没食子酸 GA 的含量在渥堆 1 个月显著增加，这与吴桢等人的研究结果相吻合，之后随着渥堆陈化时间的增加其含量逐渐降低。没食子酸的含量在渥堆开始的前期升高是由于毛茶中没食子单宁在微生物分泌的单宁酶作用下生成了没食子酸^[30]。

从表 2 中各种物质含量变化趋势分析可知：几种物质均在渥堆 1 个月含量变化最大，之后随着渥堆陈化时间的延长变化趋势相对较为缓和，可能是因为，干毛茶在刚开始渥堆时，其含水量较高，渥堆通风较好，温度变化大，由于湿热作用以及微

生物活性较高，因此茶叶渥堆中的各种反应速率相对较高，茶叶中的儿茶素发生氧化反应，生成茶黄素和茶红素等氧化产物，造成其含量变化相对较大^[31]。但是随着渥堆时间的延长，渥堆茶叶的含水量逐渐降低，很大程度上渥堆叶的含水量决定了微生物的数量和分布^[32]，渥堆的通透性也相对较差，微生物菌群数据也逐渐变少，湿热反应及微生物的活性相对稳定，造成渥堆茶叶中各种物质含量变化相对较为缓慢。其中，GCG 含量随着渥堆时间延长变化不大，可能原因是由于 EGCG 转化及其他多酚类化合物反应转化造成的。

3 讨论与结论

不同年份的青砖茶样品，其主要化学成分发生显著的变化，其中游离氨基酸类物质整体呈现下降趋势，丙氨酸的含量则呈现先增加后稳定的趋势。儿茶素类物质的变化随着储存时间的增长而降低，而没食子酸含量显著增加，这是因为酯型儿茶素含有没食子酰基，比非酯型儿茶素酚羟基更多，随着储存年份的增加，酯型儿茶素水解。本研究检测到不同年份青砖茶中的粗纤维含量变化呈现不规律性，这可能是不同年份生产的青砖茶原料差异造成的。可溶性糖的含量占茶叶干重的 2.44%~4.0%，其含量整体上呈现波浪形的变化趋势，与普洱茶储存过程中变化一致^[33]。不同年份的青砖茶品质差，也可能与原料不同有关。

渥堆是黑茶加工的关键工序，有多种微生物的共同作用，对不同渥堆时间的青砖茶中多酚类物质进行检测分析。结果表明，渥堆陈化时间 1 个月、6 个月、9 个月及 12 个月，儿茶素 EGC、EC、EGCG、GCG 和 ECG 的含量随着渥堆陈化时间的延长总体均有下降趋势。渥堆初期（1 个月），多酚类物质在湿热作用和酶促作用下发生聚类变化，会使青砖茶

的滋味更趋于醇和^[34], 且随着渥堆陈化时间的加长没食子酸、EGC、EC、EGCG 的含量每个阶段都显著下降, 而 GCG 的含量渥堆陈化 6 个月与 9 个月变化不显著, 陈化 12 个月时显著下降, ECG 的含量在陈化 9 个月之后变化不显著。研究结果结合感官品质分析可以为青砖茶加工过程中品质控制提供参考。

参考文献:

- [1] 安徽农学院. 制茶学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [2] 甘多平, 权威. 青砖茶的产品渊源[J]. 中国茶叶加工, 2002 (3): 44-45.
- [3] 杨新河, 陈梦圆, 彭洋, 等. 青砖茶提取物不同极性部位的体外抗氧化作用研究[J]. 食品科技, 2016 (7): 207-211.
- [4] NING J M, DING D, SONG Y S, et al. Chemical constituents analysis of white tea of different qualities and different storage times[J]. Eur Food Res Technol, 2016, 242(12): 2093-2104.
- [5] 中华全国供销合作总社. 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法:GB/T 8313-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [6] 中华全国供销合作总社. 茶 粗纤维测定:GB/T 8310-2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [7] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [8] 林杰. 茶叶香气的图谱分析及在茶叶品质真实性鉴定中的应用[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [9] 井然, 冯雷, 陈丽梅. 茶叶中游离氨基酸分析方法的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17): 9186-9187.
- [10] 陈然, 孟庆佳, 刘海新, 等. 不同种类茶叶游离氨基酸组分差异分析[J]. 食品科技, 2017, 42(6): 258-263.
- [11] HORANNI R, ENGELHARDT U H. Determination of amino acids in white, green, black, oolong, pu-erh teas and tea products[J]. J Food Compos Anal, 2013, 31(1): 94-100.
- [12] 赖幸菲, 柏珍, 李智芳, 等. 三种砖茶品质生化成分的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 374-376.
- [13] 薛晨. 原料级别和贮藏时间对普洱茶品质及其生物活性影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- [14] 高海荣, 黄振旭, 李华敏. 16 种中国茶叶中茶多酚含量对比研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(7): 33-36.
- [15] 罗婧, 顾颖颖, 刘易成, 等. 不同茶叶中茶多酚和咖啡因成分的对比如分析[J]. 贵州茶叶, 2013, 41(1): 10-15.
- [16] 宛晓春. 茶叶生物化学 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [17] 刘晓霞, 周国兰, 何萍, 等. 茶叶咖啡碱检测方法-紫外分光光度法的改进与探讨[J]. 茶叶科学技术, 2010, 51 (2): 28-31.
- [18] 沈强, 孔维婷, 于洋, 等. 国内外茶叶咖啡碱研究进展[J]. 中国茶叶, 2010, 32 (1): 15-18.
- [19] 袁思思, 张浩龙, 黄亚辉. 青砖茶主要品质成分的研究进展[J]. 广东茶业, 2008(6): 22-24.
- [20] 郑清梅, 陈昆平, 钟艳梅, 等. 4 类茶叶及其茶渣主要成分的测定与分析[J]. 广东农业科学, 2015, 42(6): 14-20.
- [21] 黄惠华, 唐明德, 向朝晖. 茶叶粗纤维定量分析的两种方法比较[J]. 湖南农学院学报, 1992, 18(3): 565-568.
- [22] 杨新河, 李银花, 刘仲华, 等. 青砖茶的香气分析[J]. 食品科技, 2015, 40 (12): 68-72.
- [23] 郑淑娟, 盛耀, 欧小群, 等. 渥堆黑茶香气和主要功效研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 366-370.
- [24] 吕世懂. GC-MS 结合化学计量学方法研究茶叶挥发性成分 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
- [25] 袁思思, 柏珍, 黄亚辉, 等. 三种黑茶的香气分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2):252-256.
- [26] LV 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 Chem, 2012, 130(4): 1074-1081.
- [27] 刘勤晋, 龚正礼, 钟颜麟. 黑茶香味成分的分离鉴定[J]. 中国茶叶, 1992,14 (4): 6-8.
- [28] 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 4 版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [29] 张忠, 齐桂年, 李静, 等. 四川边茶加工过程中主要成分含量的变化[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(11): 2515-2516.
- [30] 吴桢. 普洱茶渥堆发酵过程中主要生化成分的变化[D]. 重庆:西南大学, 2008.
- [31] 屠幼英, 梁慧玲, 陈暄, 等. 紧压茶儿茶素和有机酸的组成分析[J]. 茶叶, 2002, 28(1): 22-24.
- [32] 温琼英, 刘素纯. 黑茶渥堆 (堆积发酵) 过程中微生物种群的变化[J]. 茶叶科学, 1991 ,11(增刊 1): 10-16.
- [33] 曹艳妮. 不同储存时间普洱茶的理化分析和抗氧化性研究[D]. 广州:华南理工大学, 2011.
- [34] 付润华. 康砖茶渥堆微生物及不同渥堆处理品质成分变化的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008.