

不同加工方式茶叶游离氨基酸组分分布特征初探

肖 涵¹, 陈圆圆², 陈春月¹

(1. 昆明学院 化学科学与技术系, 云南 昆明 650214; 2. 云南商测质量检验技术服务有限公司, 云南 昆明 650117)

摘要: 以氨基酸分析仪作为测定手段, 采用优化后的条件对滇产 4 种茶样中的游离氨基酸组分进行定量分析, 并将其组分按不同风味特征进行分类, 初步探讨其分类特征. 结果表明, 从不同茶样分离得到 18 ~ 24 种游离氨基酸组分, 游离氨基酸总量和茶氨酸体现了同一分布趋势: 绿茶较多, 红茶和普洱生茶次之, 普洱熟茶最少. 各茶样游离氨基酸组分种类和含量均有差异. 茶样的风味口感主要由鲜味类氨基酸和鲜爽类氨基酸决定. 茶叶的制作工艺会影响茶叶的氨基酸含量, 萎凋过程中氨基酸总量有所下降; 发酵和堆渥过程使氨基酸总量, 特别是茶氨酸含量明显下降; 堆渥工艺使鲜爽味及鲜味氨基酸含量大幅下降, 而芳香类、甜味氨基酸含量有所提升. 由此可知, 茶叶游离氨基酸组分分布情况可作为茶叶加工工艺的特征指标.

关键词: 滇产茶叶; 不同类型; 游离氨基酸分布; 风味特征

中图分类号: TS272.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674 - 5639 (2018) 06 - 0032 - 06

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2018.06.007

Preliminary Study on Distribution Characteristics of Free Amino Acid Components in Different Processed Tea Leaves

XIAO Han¹, CHEN Yuanyuan², CHEN Chunyue¹

(1. Department of Chemical Science and Technology, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214;

2. Yunnan Shangce Quality Inspection Technology Service Co., Ltd, Kunming, Yunnan, China 650117)

Abstract: The free amino acids components in four different processed tea samples were extracted and analyzed by the optimized conditions and with the auto amino acid analyzer as the measurement method. The constituents were classified according to the different flavor and characteristic to study its features. The results showed that 18—24 kinds of free amino acid components extracted from the different tea samples; the total amount of free amino acids and theanine showed the same distribution trend: green tea > Puer raw tea > black tea > Puer ripe tea. There are differences both in the types and contents of free amino acid components of different processed tea samples. The flavor of tea soup is mainly determined by the umami amino acids and the fresh amino acids. The production technique of tea will affect the amino acid content, and the total amount of amino acids will decrease during the withering process; the total amount of amino acids, especially the content of theanine, will be decreased during the fermentation process and significantly decreased in stacking process. The stacking process will make the fresh taste, flavor and the amino acid content decreased drastically, but the content of aromatic and sweet amino acids increased. So the distribution of free amino acid components of tea leaves could be used as a characteristic index of tea processing technology.

Key words: tea production of Yunnan; different sort; free amino acid distribution; flavor characteristics

茶是山茶属 (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) 茶树的芽叶干制品. 云南地区的茶园多种植大叶种茶树, 其叶展大, 芽头粗壮, 香高味浓, 具有鲜明的风味特征^[1]. 此外, 茶是世界三大饮

料之一, 具有多种营养成分和保健效果, 经各种不同工艺流程处理, 体现出鲜爽、醇和等不同风味特征^[1-2]. 茶汤中游离氨基酸 (Free amino acids, FAA) 是其良性风味的主要贡献因子^[3-6].

收稿日期: 2018 - 10 - 18

基金项目: 第六批云南省高校重点实验室建设项目“云南省高校食品安全检测技术重点实验室”.

作者简介: 肖涵 (1981—), 女, 云南大理人, 副教授, 博士, 主要从事环境分析和食品分析研究.

目前,对茶叶中 FAA 测定方法常见的有对总量进行测定的薄层色谱法^[7]、纸谱分析法^[8]、茚三酮比色法^[9-10],以及对各组分分别分离测定的氨基酸自动分析仪测定法^[11]、高效液相色谱法^[12-14]、近红外光谱法^[15-16]、毛细管电泳法^[17-18]、GC-MS 和 GC^[19]等。总量测定法多采用水浸提后显色测定,因样品处理简单快速,测定批量化,所以多用于常规质控过程。而组分分离法由于各组分分离彻底,信息丰富,目前已逐渐取代总量法。

茶汤中游离氨基酸分布特征与茶叶品质显著

相关。不同加工工艺使茶叶风味迥异。已有研究常针对不同地区、不同类型、不同加工方式的茶叶,以及模拟冲泡条件、更换萃取剂、改变冲泡时间和次数进行前处理。并采用色谱柱为分离手段,特征吸收波长为定性、定量指标进行研究。研究结果^[20-21]表明,不同地区滇产古树茶 TFAA 质量分数范围为 1.16% ~ 4.22%。其中包括 26 种 FAA。按其滋味特征,可将 FAA 分为:1) 滋味相关类;2) 鲜爽类;3) 鲜味类;4) 甜味类;5) 芳香类;6) 苦味类。已有的氨基酸味觉特征分类见表 1。

表 1 游离氨基酸味觉特征分类

鲜爽类	鲜味类	甜味类	芳香类	苦味类	其他
谷氨酸	天门冬氨酸	丝氨酸	精氨酸	组氨酸	磷酸丝氨酸
甘氨酸	谷氨酸	甘氨酸	酪氨酸	精氨酸	牛磺酸
丙氨酸		丙氨酸	缬氨酸	缬氨酸	苏氨酸
脯氨酸		脯氨酸	亮氨酸	甲硫氨酸	瓜氨酸
茶氨酸			苯丙氨酸	异亮氨酸	胱氨酸
			赖氨酸	亮氨酸	蛋氨酸
				苯丙氨酸	3-甲基组氨酸
					1-甲基组氨酸
					色氨酸
					肌肽
					鸟氨酸
					羟脯氨酸

在以上 26 种氨基酸中,茶氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸、精氨酸和丝氨酸 5 种约占茶汤氨基酸总量的 80% 以上;代表性氨基酸-茶氨酸(谷氨酸 γ -乙基酰胺)占总 FAA 的 40% ~ 60%。在茶汤中的浸出率可达 80%^[4],主要表现为鲜味和甜味,可以抑制茶汤的苦味和涩味。由于谷氨酸、甘氨酸、脯氨酸等与茶氨酸共存于茶汤中,因此对茶氨酸鲜味具有协同增效作用^[22]。而 FAA 组成与含量的差异,构成了茶汤的不同味感特点^[19]。不同工艺^[23]、不同地区^[24]、不同嫩度^[25]、不同等级^[4,19,26]茶叶,其氨基酸总量和组分均有差异。

本研究基于课题组前期 TFAA 测定结果^[6,10,27],采用经优化的分离、提取条件^[28],自绿茶、红茶、普洱生茶、普洱熟茶中选择了 TFAA 较高和较低的代表性茶样进行分析,对茶叶中 FAA 组分逐一分离定量,并根据其滋味特征分类统计,以期获得风味氨基酸的分布特征。

1 材料与方法

1.1 样品

市场采购获得红茶、绿茶、普洱生茶、普洱熟茶等茶样。自茶样中选择 TFAA 较高和较低的 11 个茶样进行分析,其详细信息见表 2。

表 2 茶样详细信息

茶叶种类	编号	序号
绿茶	B-LAC-G-6	G1
	B-SM-G-2	G2
	B-PB-G-1	G3
	C-ZY-G-1	G4
红茶	A-FQ-B-5	B1
	B-JG-B-2	B2
普洱生茶	A-XM-PE-1	PE1
	B-BN-PE-1	PE2
	B-YD-PE-4	PE3
普洱熟茶	B-LIC-PU-1	PU1
	B-SM-PU-1	PU2

1.2 试剂

试剂按照赛卡姆公司标准流程,使用超纯水进行各溶液配制,所用试剂见表3.

表3 实验用药品

试剂	级别	厂家
苯酚	98%	广东光华
茚三酮	优级纯	塞卡姆(德国)
还原剂	-	塞卡姆(德国)
甲醇	色谱纯	德国 Merck 公司
硼酸	AR	广东光华
氯化锂	AR	广东光华
一水合氢氧化锂	AR	广东光华
一水合柠檬酸钠	AR	广东光华
乙酸钾	AR	国药集团
三水合乙酸钠(乙酸钠)	AR	国药集团
盐酸	AR(37%)	成都科龙
无水乙醇	AR	天津风船
冰乙酸	AR	天津风船
5-磺基水杨酸	AR	广东光华
茶氨酸	BR	上海融禾
氨基酸标样	-	赛卡姆(德国)
EDTA	AR	东京化成

1.3 仪器及条件

全自动氨基酸分析仪: S-433D [德国 Sykam (赛卡姆) 公司]; 色谱柱: LCA K07/Li; 流动相: 柠檬酸锂 $A = \text{pH } 2.90$; $B = \text{pH } 4.20$; $C = \text{pH } 7.96$, 采用仪器自带梯度洗脱程序(从略); 流速: 洗脱泵 0.45 mL/min + 衍生泵 0.25 mL/min ; 检测器: DAD, $570 \text{ nm} + 440 \text{ nm}$; 柱温: $38 \sim 74^\circ\text{C}$ 梯度升温.

酸度计: METTLER TOLEDO (瑞士, 梅特勒·特利多集团); 电子天平 (北京, 赛多利斯科学仪器有限公司).

1.4 茶汤样品制备

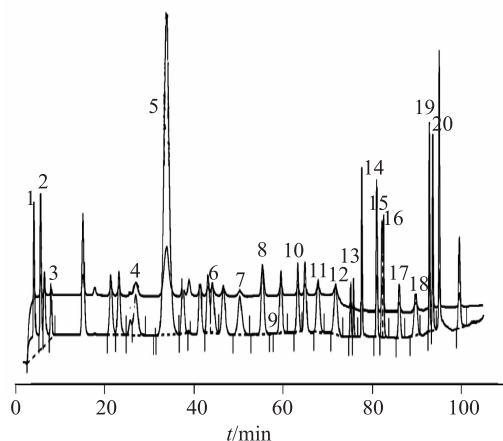
称取 5.00 g 研磨均匀的样品 (约 100 目) 于比色管中, 加 10 mL 沸水摇匀, 追加沸蒸馏水 35 mL , 立即移入沸水浴中, 浸提 45 min , 浸提完毕立即趁热减压过滤, 残渣用少量热蒸馏水洗涤 2~3 次, 滤液定容至 50.0 mL . 取 2.0 mL 样品溶液加入 $0.4 \text{ mL } 4\%$ 的磺基水杨酸溶液, 摇匀, 经 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后直接分析.

2 结果与讨论

2.1 样品分离情况

2.1.1 混标分离情况

使用游离氨基酸分析系统, 按照课题组已确立的分离条件^[28], 对加入茶氨酸的混合标液进行分离, 其结果见图1.



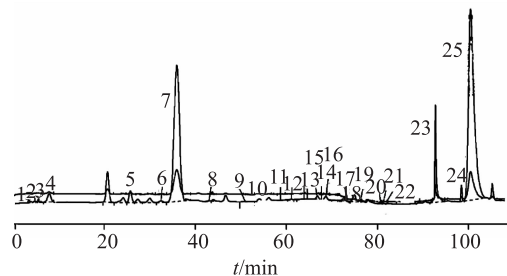
氨基酸依次为: 1.磷酸丝氨酸; 2.磷乙醇胺; 3.尿素; 4.苏氨酸; 5.茶氨酸; 6. α -氨基己二酸; 7.丙氨酸; 8. α -氨基丁酸; 9.缬氨酸; 10.蛋氨酸; 11.亮氨酸; 12. β -丙氨酸; 13. β -氨基异丁酸; 14.组氨酸; 15.3-甲基组氨酸; 16.1-甲基组氨酸; 17.肌肽; 18.色氨酸; 19.鸟氨酸; 20.赖氨酸.

图1 茶氨酸混合标样分离情况

由图1可知, 茶氨酸混标基线平稳, 噪音较低, 所有峰完全分离, 仪器条件稳定, 满足定量要求.

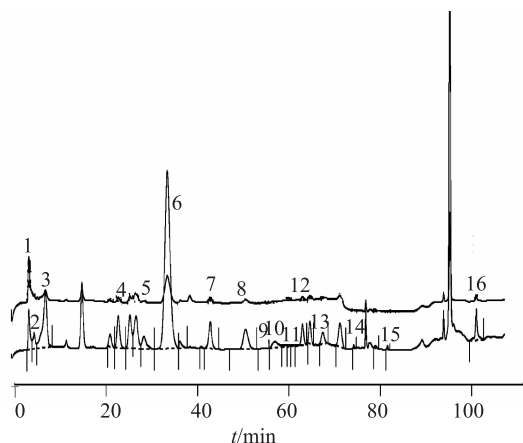
2.1.2 不同茶样分离情况

使用经优化的提取条件, 对茶样 FAA 进行分离, 其代表性谱图见图2~图5.



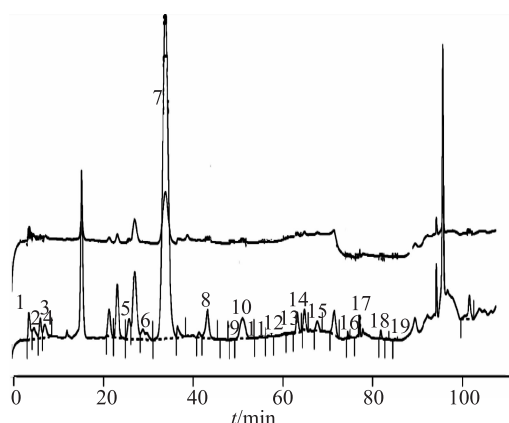
氨基酸依次为: 1.磷酸丝氨酸; 2.牛磺酸; 3.磷乙醇胺; 4.尿素; 5.苏氨酸; 6.天冬酰胺; 7.茶氨酸; 8. α -氨基己二胺; 9.丙氨酸; 10. α -氨基丁酸; 11.缬氨酸; 12.胱氨酸; 13.异亮氨酸; 14.亮氨酸; 15.酪氨酸; 16.苯丙氨酸; 17. β -丙氨酸; 18. β -氨基异丁酸; 19. γ -氨基丁酸; 20.组氨酸; 21.3-甲基组氨酸; 22.1-甲基组氨酸; 23.鸟氨酸; 24.氨; 25.精氨酸.

图2 绿茶FAA代表性谱图



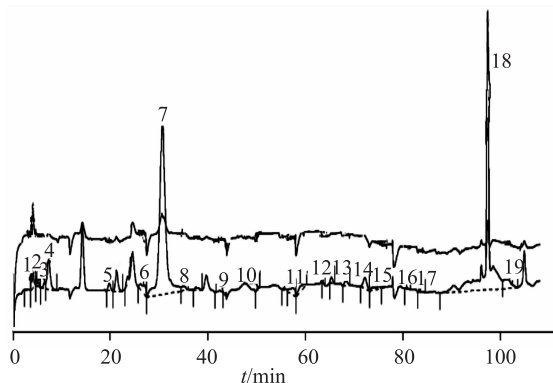
氨基酸依次为: 1.磷酸丝氨酸; 2.牛磺酸; 3.磷乙醇胺; 4.尿素; 5.苏氨酸; 6.茶氨酸; 7.甘氨酸; 8.瓜氨酸; 9.缬氨酸; 10.异亮氨酸; 11.苯丙氨酸; 12.β-氨基异丁酸; 13.3-甲基组氨酸; 14.精氨酸; 15.1-甲基组氨酸; 16.精氨酸。

图3 红茶FAA代表性谱图



氨基酸依次为: 1.磷酸丝氨酸; 2.牛磺酸; 3.磷乙醇胺; 4.尿素; 5.苏氨酸; 6.丝氨酸; 7.茶氨酸; 8.α-氨基乙二酸; 9.甘氨酸; 10.丙氨酸; 11.α-氨基丁酸; 12.缬氨酸; 13.胱氨酸; 14.蛋氨酸; 15.亮氨酸; 16.β-丙氨酸; 17.Γ-氨基丁酸; 18.1-甲基组氨酸; 19.肌肽。

图4 普洱生茶FAA代表性谱图



氨基酸依次为: 1.磷酸丝氨酸; 2.牛磺酸; 3.磷乙醇胺; 4.尿素; 5.天冬氨酸; 6.苏氨酸; 7.茶氨酸; 8.谷氨酸; 9.α-氨基乙二酸; 10.丙氨酸; 11.α-氨基丁酸; 12.蛋氨酸; 13.亮氨酸; 14.β-丙氨酸; 15.β-氨基异丁酸; 16.组氨酸; 17.1-甲基组氨酸; 18.氨; 19.精氨酸。

图5 普洱熟茶代表性谱图

由上述可知, 11 个不同茶样氨基酸组分均可得到有效分离, 符合定量要求。对比谱图可看出, 不同茶样中, 茶氨酸均为含量的特征性组分, 其次为天冬氨酸和谷氨酸, 其余氨基酸组分种类和数量有较大区别, 其中, 绿茶氨基酸组分种类较多 (24 种, 不包括氨), 含量也较高, 而普洱熟茶游离氨基酸种类 (18 种, 不包括氨) 和数量均大幅减少。

2.2 样品氨基酸分布特征

以峰面积积分统计, 对代表性氨基酸-茶氨酸及总游离氨基酸组分含量作图 (见图 6)。

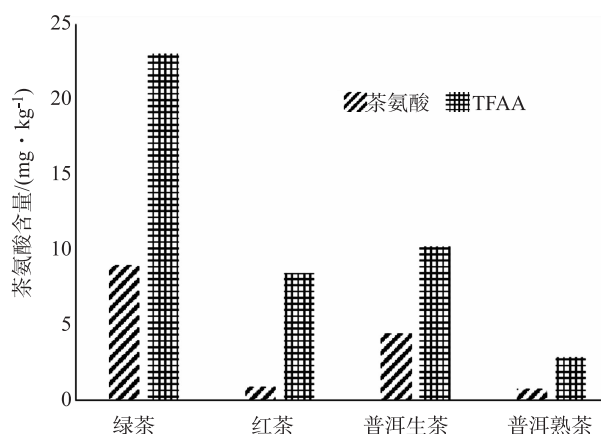


图6 不同茶类FAA总量及茶氨酸含量

从图 6 可以看出:

1) FAA 总量均值顺序为: $w(\text{绿茶}) > w(\text{普洱生茶}) > w(\text{红茶}) > w(\text{普洱熟茶})$ 。绿茶与普洱熟茶相比, FAA 无论从种类还是含量均显著增高, 这与茶叶风味品评中绿茶鲜爽而普洱熟茶温和的特征吻合, 也与已有文献测定结果相符^[3,21,24,29], 可能是普洱熟茶在发酵和后期堆渥过程引入多重酶和细菌作用, 氨基酸大量代谢导致的。

2) 所有茶样其氨基酸总量较已有报道偏低, 其原因可能是由于采样时间较长 (超过 1 a) 导致的。

3) 茶氨酸是已测茶样中氨基酸的主要贡献因子, 其含量均值顺序与总量顺序相同。

4) 对于绿茶和普洱生茶这样轻度发酵的茶类, 茶氨酸比例接近总量 50%。对于重度发酵或者长期堆渥的红茶和普洱熟茶而言, 茶氨酸在总氨基酸中含量显著降低, 与已有文献相符^[24,26], 这可能说明在发酵和堆渥过程中, 茶氨酸稳定性弱, 优先被代谢, 这也提示对于普洱熟茶样品, 茶氨酸含量可作为屯茶年限的参考指标。

对不同茶类氨基酸组分按风味特征分类统计, 其特征见图 7 ~ 图 10。

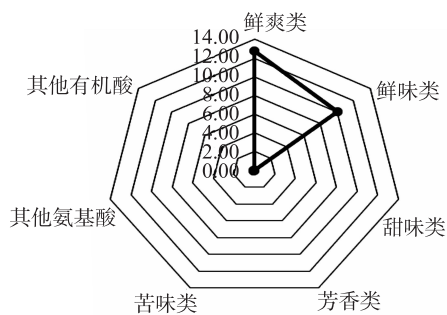


图7 绿茶氨基酸风味特征图

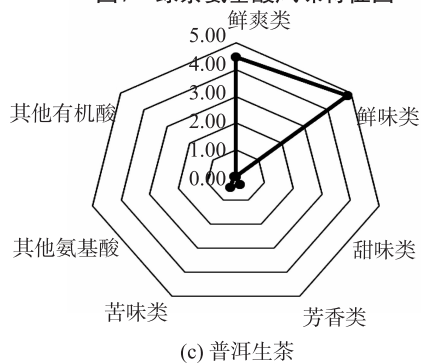


图9 普洱生茶氨基酸风味特征图

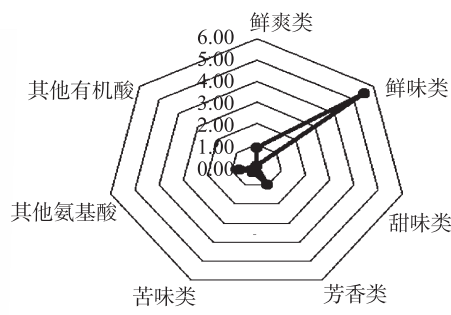


图8 红茶氨基酸风味特征图

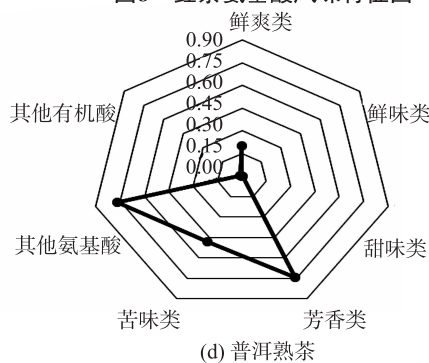


图10 普洱熟茶氨基酸风味特征图

由图7~10可知：

1) 茶汤中游离氨基酸含量的高低顺序大致为： w (鲜味类和鲜爽类) $> w$ (苦味类氨基酸) $> w$ (其他氨基酸) $\approx w$ (甜味氨基酸)。茶叶中主要存在的氨基酸以鲜味类和鲜爽类居多。这与茶叶常采用萎凋工艺，叶细胞组织逐步失水，细胞膜透性及水解酶、氧化酶活性增强，有助于蛋白质水解为游离氨基酸有关^[30-31]。

2) 除普洱熟茶外，绿茶、红茶、普洱生茶以鲜味为主要风味特征。

3) 发酵的茶叶甜味氨基酸含量较高。但总体而言，所有茶样中甜味氨基酸均不是茶叶的主要风味物质。

4) 不发酵茶（普洱生茶和绿茶）的风味特征主要由鲜爽类和鲜味类的氨基酸决定。轻度发酵的红茶风味主要体现鲜味。而长时间堆渥发酵的普洱熟茶鲜味和鲜爽味氨基酸几乎全部消失^[31-32]，与之相对的是芳香类氨基酸显著提高，这可能是长期发酵过程中，在特殊温湿条件下，作为氮源的游离氨基酸既被微生物利用，还与茶多酚类物质反应生成茶褐素，同时被邻醌氧化产生各种醇类和醛类香气物质有关^[33-35]。

5) 不同茶种氨基酸风味特征雷达图均体现了明显的差异性，也较为符合感官评定时的口感特

征，说明氨基酸组分可作为不同茶种的特征指标。

3 结论

1) 自11种不同茶样分离得到18~24种游离氨基酸组分：绿茶24种，红茶16种，普洱生茶19种，普洱熟茶18种。各茶样游离氨基酸组分种类和含量均有差异。

2) 茶叶的风味口感主要由鲜味类氨基酸和鲜爽类氨基酸，即谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、茶氨酸决定，其次是芳香类类和苦味类。

3) 茶叶的制作工艺会影响茶叶的氨基酸含量，萎凋过程中氨基酸总量有所下降；发酵和堆渥过程使氨基酸总量，特别是茶氨酸含量显著下降；堆渥工艺使鲜爽味及鲜味氨基酸含量大幅下降，而芳香类、甜味氨基酸含量有所提升。

4) 就现有11种茶样分析结果来看，不同的茶样的氨基酸的分布特征明显，可作为鉴定茶种的特征进一步研究。

5) 本次涉及的茶叶样本较少，仅限于市售产品，后续研究可继续增加样品量，以及对茶叶鲜叶加工过程中氨基酸组分变化进行动态研究。

[参考文献]

- [1] 曾敏. 古树普洱茶特征风味的化学基础研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2015.

- [2] 宛晓春. 茶叶生物化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [3] 王淑慧, 龙立梅, 宋沙沙, 等. 3 种名优绿茶的特征滋味成分研究及种类判别 [J]. 食品科学, 2016, 37 (2): 128-131.
- [4] 赵明明, 金钰, 胡筱波, 等. 基于氨基酸特征分析的西湖龙井茶鉴别方法研究 [J]. 湖北农业科学, 2015, 54 (24): 6369-6371.
- [5] 王海利, 黄海铃, 崔燕, 等. 不同品种绿茶的酚氨值与茶滋味相关性分析 [J]. 食品工业科技, 2018, 39 (16): 208-212.
- [6] 肖涵, 申亮, 杨婉秋. 云南普洱地区大叶种茶酚氨比研究 [J]. 昆明学院学报, 2017, 39 (3): 34-39.
- [7] SASAOKA K, KILO M. Studies on the biosynthesis of theanine in tea seedlings synthesis of theanine by the homogenate of tea seedlings [J]. Agric Biol Chem, 1963, 27 (6): 467-468.
- [8] SASAOKA K, KILO M, ONISHI Y. Some properties of the theanine synthesizing enzyme in tea seedlings [J]. Agric Biol Chem, 1965, 29 (11): 984-988.
- [9] 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院、国家茶叶质量监督检测中心. 茶 游离氨基酸总量测定: GB/T 8314—2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [10] 林家雄, 钊相龙, 陈春月, 等. 云南普洱和临沧地区茶产品游离氨基酸总量测定研究 [J]. 昆明学院学报, 2017, 39 (3): 30-33.
- [11] 李金玲, 王永胜, 马强, 等. 忍冬茶及其加工过程中氨基酸和微量元素分析 [J]. 食品工业科技, 2012, 33 (12): 75-79.
- [12] 董尚文, 刘腾飞, 董明辉. 高效液相色谱法测定茶鲜叶中 18 种游离氨基酸含量初探 [J]. 南方农业, 2018, 12 (11): 134-135.
- [13] 徐飞, 谭乐和, 陈鹏, 等. OPA-FMO 柱前衍生反相高效液相测定糯米香茶叶片中的氨基酸 [J]. 热带作物学报, 2012, 32 (8): 1482-1486.
- [14] WANG Lin, XU Renjie, HU Bing, et al. Analysis of free amino acids in Chinese teas and flower of tea plant by high performance liquid chromatography combined with solid-phase extraction [J]. Food Chemistry, 2010, 123: 1259-1266.
- [15] 林兆祥, 詹伟强, 刘思琪, 等. 基于近红外光谱技术与模式识别的乌龙茶产地溯源 [J]. 中南民族大学学报 (自然科学版), 2018, 37 (1): 90-92.
- [16] 张民, 李银花, 袁晴春, 等. 近红外光谱对鲜茶叶茶多酚和氨基酸总量检测的研究 [J]. 上海农业学报, 2015, 31 (6): 36-40.
- [17] 张峻萍, 方从兵, 宛晓春, 等. 茶叶中茶氨酸的胶束电动毛细管电泳定量方法初步研究 [J]. 茶叶通报, 2006, 28 (3): 108-110.
- [18] 张佳, 王川丕, 阮建云. GC-MS 及 GC 测定茶叶中主要游离氨基酸的方法研究 [J]. 茶叶科学, 2010, 30 (6): 445-452.
- [19] 范培珍, 薄晓培, 王梦馨, 等. 4 个等级内山六安瓜片茶叶氨基酸的组成及差异 [J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44 (1): 14-21.
- [20] 李友勇, 方成刚, 孙雪梅, 等. 滇南古树晒青茶品质化学成分特征研究 [J]. 西南农业学报, 2014 (5): 1874-1883.
- [21] 曹艳妮, 刘通讯. 不同储存时间普洱生茶和熟茶香气成分分析 [J]. 食品工业, 2011 (10): 64-67.
- [22] KANEKO S, KUMAZAWA K, MASUDA H, et al. Molecular and sensory studies On the umami taste of Japanese green tea [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54 (7): 2688-2694.
- [23] 王子浩, 尹鹏, 刘威, 等. 不同恒温萎凋条件对信阳群体种白茶成分及品质影响分析 [J]. 陕西农业科学, 2018, 64 (4): 40-42.
- [24] 程柱生. 漫话茶叶中的游离氨基酸 [J]. 贵州茶叶, 2012, 40 (4): 54-57.
- [25] 张丹丹, 叶小辉, 赵峰, 等. 基于游离氨基酸组分的白茶滋味品质研究 [J]. 福建农业学报, 2016, 31 (5): 515-520.
- [26] 陈丹, 叶小辉, 俞滢, 等. 不同等级云南红碎茶的氨基酸组分分析 [J]. 福建茶叶, 2014 (4): 24-26.
- [27] 钱靖, 陈春月, 曹喜念, 等. 不同嫩度滇产茶总游离氨基酸含量分析 [J]. 昆明学院学报, 2017, 39 (6): 42-45.
- [28] 陈圆圆, 钊相龙, 陈春月, 等. 茶汤中游离氨基酸的分离条件初探 [J]. 昆明学院学报, 2018, 40 (3): 37-40.
- [29] 李春玲, 姜淑芳. 崂山绿茶茶叶中主要游离氨基酸的组分及含量分析 [J]. 中国食品与营养, 2016, 22 (8): 28-31.
- [30] 何金明, 连之新, 王文娇. 绿茶中游离氨基酸的测定 [J]. 山东农业科学, 2009 (1): 99-100, 117.
- [31] 廖珺. 摊放 (萎凋) 技术对茶鲜叶游离氨基酸影响的研究进展 [J]. 氨基酸和生物资源, 2016, 38 (4): 15-19.
- [32] 宋振硕, 王丽丽, 陈键, 等. 茶鲜叶萎凋过程中游离氨基酸的动态变化规律 [J]. 茶叶学报, 2015, 56 (4): 206-213.
- [33] 陈林, 陈键, 王丽丽, 等. 不同茶类制法对茶多酚和游离氨基酸化学模式的影响 [J]. 福建农业学报, 2017, 32 (3): 287-293.
- [34] 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.
- [35] 徐敏珊, 陈文友, 吴曼. 普洱茶渥堆发酵的化学成分变化研究进展 [J]. 广东茶业, 2015 (z1): 14-18.