

王欣,高磊,罗季阳,等.普洱茶香气与滋味成分研究进展[J].华中农业大学学报,2025,44(6):46-58.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.06.005

普洱茶香气与滋味成分研究进展

王欣¹,高磊²,罗季阳¹,任慷³,王晓彤¹,徐晓丽¹

1. 中国质量检验检疫科学研究院,北京 100176; 2. 燕山大学经济管理学院,秦皇岛 066004;
3. 中检国控科技集团有限公司教育咨询服务分公司,北京 102600

摘要 随着我国茶业产值和消费需求的日益攀升,人们在饮茶时对香气及滋味的要求逐渐提高,普洱熟茶隶属黑茶类,其独特的“陈香”香气和“醇和回甘”滋味备受消费者青睐。本文介绍了晒青茶、普洱生茶和普洱熟茶的品质特征及评价方法;通过整理汇总目前普洱茶香气成分研究的相关成果,筛选识别出普洱茶关键香气物质71种,包括20种醇类、14种醛类、8种碳氢类、8种酯类与内酯类、13种酮类和8种杂氧类等六大类物质;从多酚类(主导苦涩味)、咖啡碱(贡献苦味)、游离氨基酸(呈现鲜味)和可溶性茶多糖(赋予甜味)4个维度解析了普洱茶的主要滋味构成。然而,香气前处理技术的选择性提取及滋味小分子化合物分离鉴定研究的欠缺,仍是制约普洱茶风味深度解析的主要瓶颈。未来研究需融合人工审评与分子感官科学,并协同优化前处理与分离鉴定技术,为系统评价普洱茶品质、精准解析其香气与滋味提供技术支撑。

关键词 黑茶;普洱茶;品质特征;香气成分;滋味成分

中图分类号 TS272.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)06-0046-13

茶作为仅次于水的世界第二大消费饮品,由茶叶的嫩叶加工制成。中国作为全球最大的茶叶生产国,2024年全国茶园面积349.52万hm²,同比增加6.21万hm²,增长1.81%^[1]。中国茶叶种类丰富,生产工艺和品质特征是区分红茶、绿茶、黑茶、白茶、黄茶和青茶(乌龙茶)六大茶类的关键依据^[2]。普洱熟茶隶属黑茶类,由云南大叶种晒青茶经特定工艺制成^[3],独特的后发酵工艺使得普洱熟茶成分复杂且丰富,“陈香”香气和“醇和回甘”滋味更是备受消费者青睐^[4]。目前,普洱茶按生产工艺及品质特征分为普洱生茶和普洱熟茶(图1)^[3]。

近年来,普洱茶消费需求日益攀升、消费市场不断扩大。2024年普洱茶国内销量13.28万t,占全国茶叶内销总量的5.5%,市场规模达到了174亿元;同年云南省地理标志产品品牌价值评估中,“普洱茶”品牌价值高达691.53亿元,品牌建设成绩斐然^[5]。地理标志保护范围内的云南大叶种晒青茶原料与独特的渥堆发酵工艺共同铸就了普洱熟茶地理、资源与品牌等优势,并在此基础上形成了强大的产业集群,在产能与产值上均拥有巨大的提升空间^[6]。基于

此,本文归纳总结了晒青茶、普洱生茶和熟茶的品质特征及香气与滋味成分的评价方法,介绍了普洱茶香气中关键香气物质,梳理了不同滋味成分对普洱茶滋味形成的作用,同时对现有研究存在的问题进行了总结,并对未来的发展方向进行了展望,旨在为普洱茶品质特征评价及改善提升香气及滋味品质提供参考,从而促进普洱茶产业的高质量发展。

1 普洱茶品质特征及评价方法

晒青茶作为制作普洱生茶和熟茶的原料,其加工工艺如图1所示:鲜叶摊放→杀青→揉捻→解块→日光干燥。晒青茶整体滋味浓醇回甘、香气清香馥郁^[7]。晒青茶品质特征与地域、采制季节、栽培模式等息息相关。地域方面,云南省6个普洱茶主产区的18个晒青茶感官审评得分由大到小依次为保山86.35分>普洱85.28分>临沧83.42分>西双版纳82.98分>玉溪81.22分>德宏79.83分,保山地区普洱茶因外形条索较紧结、略显毫、墨绿泛黄、油润、较匀整洁净、带梗和黄片,汤色黄绿明亮,茶香纯正较浓,滋味浓、鲜醇和叶底黄绿、亮、柔软、匀整,综合优

收稿日期:2025-07-31

基金项目:河北省社会科学基金-年度项目(HB24YJ038)

王欣,E-mail:wangxin_anna@126.com

通信作者:徐晓丽,E-mail:xuxiaoli0307@126.com

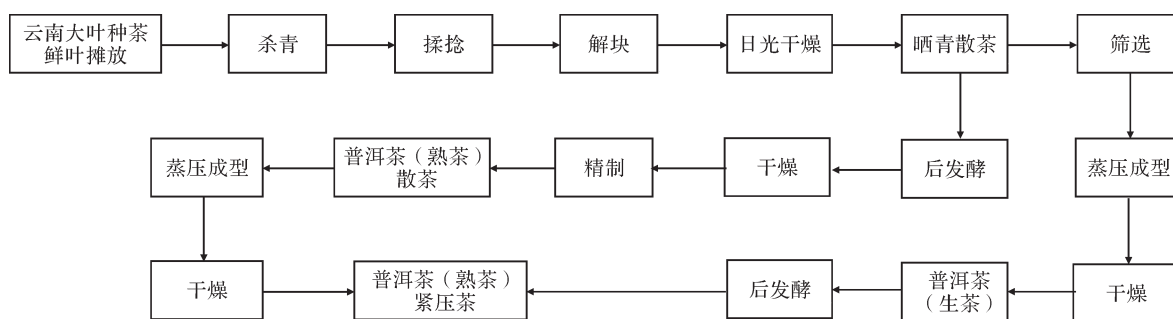


图1 晒青茶工艺流程图

Fig.1 Process flow diagram of sun dried green tea

势最佳^[8]。此外,同一主产区不同山头的晒青茶品质亦存在差异,如王欣雨等^[9]发现儿茶素、水浸出物、茶多酚、咖啡碱和氨基酸等内含物质的含量差异和各物质之间的协同作用主导了双江4个山头晒青茶品质的显著分化,其中冰岛晒青茶甜醇回甘,小户赛浓强回甘,坝糯浓厚强烈微涩,荒山醇厚微涩。采制季节方面,临沧市双江县2个村庄的晒青茶品质均是春茶>秋茶>夏茶,其中春季晒青茶香气清香、浓郁持久、滋味甜醇回甘,总体品质最佳;秋茶香气持久度减弱、滋味稍涩;夏茶香气持久度和浓度均降低且滋味平淡,总体品质较差^[10]。栽培模式上,古树晒青茶品质特征优于生态晒青茶^[11]。晒青茶原料的品质直接决定了普洱生茶和熟茶香气和滋味品质的优劣,在地域和栽培模式难以改变的情况下,应优先选用春季晒青茶。

普洱生茶茶性较为刺激,新茶品质接近绿茶,大部分消费者因难以接受生产初期普洱生茶强烈的苦味和涩味,一般选择将其进行数年陈化。陈化是指干燥工艺结束后的存放工序,存放过程中,茶叶中的内含物质发生缓慢而复杂的生物作用^[12]。焦婷婷等^[13]研究发现,经陈化后的普洱生茶汤色加深、陈香浓郁、滋味醇和、叶底颜色变深,这与赵阳等^[14]研究结果一致:随着陈化时间延长,古树普洱生茶色泽由墨绿变为褐黄、香气陈香并呈现出陈年普洱生茶的品质特征、滋味醇和。此外,风味轮作为一种系统化、标准化的感官分析工具,基于对具体感官描述词的系统收集与科学归纳,从而实现对产品风味的客观、精准描述^[15]。如张春花等^[16]基于不同年份、不同产地、不同品种和不同制作方法的43个样品确定了普洱生茶感官风味轮的基本描述词,包括15个香气描述词毫香、嫩香、清香、豆香、日晒味、果香、木香、蜜香、百合、茉莉、兰香、悠长、内敛、平正和独特,10个汤色描述词杏绿、绿黄、黄亮、浅黄、橙黄、澄清、

鲜亮、鲜艳、鲜明和深亮,17个滋味描述词甜味、苦味、鲜味、涩、回甘、绵柔、平顺、平和、醇厚、丰润、和淡、浓醇、协调、爽快、绵长、浓郁和舒畅,为不同类别下普洱生茶的品质评鉴提供了数据参考。

普洱熟茶滋味浓醇爽滑、醇和回甘,特有陈香纯正浓郁的香气^[17]。“陈香”和“醇和回甘”作为普洱熟茶典型香气和滋味特征,离不开渥堆发酵工序。“渥堆发酵”又称微生物发酵或固态发酵,指晒青茶原料在微生物、酶、湿热及氧化等因素的综合作用下,多酚类成分发生一系列复杂的化学反应,从而形成普洱熟茶特有的香气和滋味^[18]。王清艺等^[19]解构不同产地普洱熟茶发酵阶段品质特征时发现,3个产区发酵后的普洱熟茶均呈现滋味甜醇、茶汤红亮、陈香或木香的特征,但其香气演变路径却呈现出鲜明的地域特征,其中西双版纳地区普洱熟茶从初期的清香馥郁带花香,最终沉淀为馥郁的陈香;普洱地区由最初的浓郁带烟,逐步转化为果香与陈香交织;临沧地区则转向为更为沉稳的陈香与木香。普洱熟茶的品质特征不仅形成于发酵阶段,更在陈化阶段持续转化,如杨洪焱等^[20]研究发现,随着陈化时间的延长,德宏芒市普洱熟茶陈香香气变化幅度不大,但花香呈上升趋势;临沧双江普洱熟茶陈香逐渐增强但花香逐渐减弱;西双版纳勐海普洱熟茶陈香减弱、花香增强;普洱澜沧普洱熟茶则果香逐渐减弱。由此可见,地域差异同样会导致普洱熟茶品质特征的不同。此外,不同储存容器下普洱熟茶香气和滋味品质亦存在差异,如Tian等^[21]研究表明,不同储存容器下的普洱熟茶经3 a陈化后外观、汤色及茶渣方面差别细微,整体呈现棕褐色干茶、深红色汤色及棕红色茶渣。但在香气与滋味品质上差异显著。香气方面,5款储存容器下的普洱熟茶主要散发陈香香气,伴有木香、花果香及甜香。相较于原包装无容器储存方式,其余4款容器下的茶品陈香香气更为突出,

表明容器储存促进陈香香气的形成;其中经木箱和陶罐储存后额外带有草本香气,纸箱存放的则带有淡淡的枣香。滋味方面,所有产品均呈现柔和特质,纸箱、陶罐和木箱存放下的产品具有醇厚口感并带有甜润余韵,而原包装则无甜润余韵。陈国和等^[22]同样基于35款茶品构建了普洱熟茶风味轮,筛选得到了7个香气描述词和5个滋味描述词。

普洱茶品质特征的评价主要采用感官审评法,审评专家参考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》对茶外形、汤色、香气、滋味和叶底5项指标进行评价打分,该方法具有直观、方便和快捷等优势,但过度依赖个人经验与感官判断,缺乏客观、统一的质量标准,导致产品品质稳定性不足,难以实现精准的品控与规模化生产^[6]。定量描述分析法在传统审评的基础上,对普洱茶的感官属性进行系统地识别、并对其强度进行量化描述,使得产品信息的获取更为全面,显著提高了审评结果的客观性与可控性,现已应用于普洱熟茶风味轮的构建^[22]。电子鼻和电子舌等智能感官技术也从香气和滋味维度构建了普洱茶的品

质特征^[18]。除了人工感官审评和智能感官评价外,分子感官科学技术也被广泛应用于普洱茶的品质评价,如赵阳等^[14]和杨洪焱等^[20]均采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)分别分析了普洱生茶和熟茶的香气成分;袁雨奇等^[23]则在HS-SPME-GC-MS基础上,利用气相色谱-嗅闻仪联用分析法(gas chromatography-olfactometry, GC-O)结合香气提取物稀释分析法和气味活性值(odor activity value, OAV)明确了不同基质得率下速溶普洱熟茶中关键香气物质;赵苗苗等^[18]基于高效液相色谱法测定儿茶素、咖啡碱等滋味物质变化情况。实际应用中,常将分子感官科学与感官审评结合使用,客观量化的数据与主观感知的有效结合可以构建更为科学、全面的品质评价模型。

2 普洱茶香气成分

表1汇总了现有文献中关于普洱茶香气成分的研究结果,包括不同发酵阶段、不同陈化时间、不同储存容器和不同栽培模式等情况下的普洱茶。

表1 普洱茶挥发性成分研究汇总

Table 1 Summary of volatile components of Puer tea

研究对象 Research objects	富集方法 Enrichment methods	检测方法 Test methods	化合物数量 Number of compounds	文献 References
不同基质得率速溶普洱熟茶	HS-SPME	GC-MS、GC-O	13	[23]
3个产地普洱茶(熟茶)不同发酵阶段	HS-SPME	GC-MS	120	[19]
4个普洱茶生茶和4个普洱茶熟茶紧压茶	蒸馏法	GC-MS	14 14	[24]
3个随机批次普洱熟茶粉	HS-SPME	GC-MS GC-O	56	[25]
3款不同年份的普洱熟茶	溶剂辅助风味蒸发法(solvent-assisted flavor evaporation, SAFE)	GC-MS GC-O	58	[26]
4款普洱熟茶	SPME同时蒸馏提取法(simultaneous distillation extraction, SDE)	GC-MS	67 61	[27]
3款普洱生茶和3款普洱熟茶	SPME SDE	GC-MS GC-O	33 39	[28]
同一生产年份的7种陈香普洱熟茶	HS-SPME	气相色谱-飞行时间质谱(Gas chromatography-time of flight mass spectrometry, GC-TOF/MS) GC-O	117	[29]
16个不同贮藏年份的普洱生茶	HS-SPME	GC-MS	52	[30]
16个不同贮藏年份的普洱熟茶	HS-SPME	GC-MS	54	[30]
3个不同陈化地区普洱生茶	SDE	GC-MS	76 82 94	[31]
3个不同陈化地区普洱熟茶	SDE	GC-MS	69 83 67	[31]
5种代表性古茶树普洱熟茶	HS-SPME	GC-MS	156 153 156 153 147	[32]
不同翻堆阶段紫色红曲霉发酵形成的普洱熟茶	HS-SPME	GC-MS	24	[33]
不同发酵阶段的普洱茶	—	GC-MS	370	[34]

续表1 Continued Table 1

研究对象 Research objects	富集方法 Enrichment methods	检测方法 Test methods	化合物数量 Number of compounds	文献 References
5种不同容器类型储存下普洱熟茶	HS-SPME	气相色谱-四极杆飞行时间质谱	101	[21]
26个产茶区普洱生茶	HS-SPME	全二维气相色谱-四极杆-飞行时间质谱	225	[35]
西双版纳地区古树和乔木型共12个普洱茶生茶	HS-SPME	GC-MS	138	[36]
不同储存阶段的普洱生茶	HS-SPME	全二维气相色谱飞行时间质谱	363	[37]
西双版纳产区不同发酵阶段普洱茶(熟茶)			73	
大理产区不同发酵阶段普洱茶(熟茶)			74	
临沧产区不同发酵阶段普洱茶(熟茶)			80	
普洱产区不同发酵阶段普洱茶(熟茶)	HS-SPME	GC-MS	92	[38]
不同年份大理产区普洱茶(熟茶)			107	
不同年份其他普洱茶(熟茶)			97	
普洱熟茶	常压水中蒸馏	GC-MS GC-O	22	[39]
西双版纳州3个产地不同贮藏时间的11个古树普洱生茶	HS-SPME	GC-MS	283	[14]

对表1中关键香气成分进行汇总(表2),将筛选识别出71种关键香气物质,包括20种醇类、14种醛类、8种碳氢类、8种酯类与内酯类、13种酮类和8种杂氧类。

表2 普洱茶关键香气物质汇总

Table 2 Summary of key aroma compounds in Puer tea

化合物类型 Types of compounds	化合物名称 Name of compounds	出现频次 Frequencies	CAS	香气描述 Aroma description	参考文献 References
醇类 (20个)	芳樟醇	136	78-70-6	柠檬、柑橘、铃兰香、果香、花香和木香	[23-24, 26, 29-30, 32-33, 35-36, 39]
	呋喃型氧化芳樟醇	8	60047-17-8	花香	[24]
	芳樟醇氧化物 I	28	34995-77-2	花香、甜香、木香	[26, 30]
	芳樟醇氧化物 II	31	5989-33-3	花香	[26, 30]
	芳樟醇氧化物 III	2	—	花香	[26]
	芳樟醇氧化物 IV	4	—	花香	[26]
	反式芳樟醇氧化物(呋喃)	21	39028-58-5	木香	[32-33]
	庚醇	5	111-70-6	果香、花香	[26]
	辛醇	10	111-87-5	脂肪香、果香、玫瑰香	[32]
	植醇	24	150-86-7	花香	[30]
	雪松醇/柏木脑	63	77-53-2	柏木香	[21, 29-30, 36]
	橙花醇	19	106-25-2	花香、柠檬	[23, 39]
	苯甲醇	24	100-51-6	水果	[39]
	苯乙醇	49	60-12-8	坚果香、花香	[23, 26, 30, 33, 39]
	香叶醇	70	106-24-1	花香、柠檬香	[24, 26, 35-36, 39]
	反式橙花叔醇	68	7212-44-4	花果香、甜香	[24, 26, 30]
	α -松油醇	109	98-55-5	木香、新鲜、紫丁香、花香	[26, 29, 32-33, 39]
	桉叶油醇	41	470-82-6	桉油油香、花香	[35]
	4-萜烯醇	28	562-74-3	木香	[39]
	1-辛烯-3-醇	81	3391-86-4	蜜香、甜香、木香	[21, 26, 30, 32-33, 35-36]

续表2 Continued Table 2

化合物类型 Types of compounds	化合物名称 Name of compounds	出现频次 Frequencies	CAS	香气描述 Aroma description	参考文献 References	
醛类 (14个)	壬醛	64	124-19-6	玫瑰花香	[21,23,26,30]、 [32-33]	
	己醛	92	66-25-1	青草气、果香	[26,30,35]	
	庚醛	48	111-71-7	果香、柑橘、脂肪	[26,29-30,32,36]	
	癸醛	51	112-31-2	花果香、甜香、脂肪气味	[21,29-30,32]	
	(E)-2-己烯醛	40	6728-26-3	愉快的果香和叶香	[26,30]	
	(E)-2-辛烯醛	18	2548-87-0	-	[29]	
	(E)-2-壬烯醛	54	18829-56-6	脂肪气味、青草气、果香	[21,30,32]	
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	31	4313-03-5	青草气、脂肪气味、陈味	[26,30]	
	(E,E)-2,4-壬二烯醛	29	5910-87-2	脂肪气味、青草气、花果香	[30]	
	苯甲醛	54	100-52-7	杏仁气味	[21,24,26,39]	
	苯乙醛	84	122-78-1	风信子香、甜香	[26,30,32-33,35-36,39]	
	β -环柠檬醛	97	432-25-7	果香	[21,26,30,33,35,39]	
	α -柠檬醛	26	5392-40-5	柠檬香	[2,26,30]	
	碳氢类 (8个)	藏红花醛	68	116-26-7	草本香、藏红花香	[21,30]
1-甲基萘		35	90-12-0	泥土味、药香、樟脑气味	[30]	
2-甲基萘		70	91-57-6	花香、甜香、木香	[21,35]	
α -蒎烯		26	80-56-8	烤制、树脂、松节油	[35]	
γ -松油烯		26	99-85-4	热带草本、柑橘、柠檬	[32]	
月桂烯		44	123-35-3	清淡的香脂气、青草、柑橘香	[33]	
D-柠檬烯		87	7705-14-8	果香、令人愉快的柠檬香	[32]	
萜品油烯		26	586-62-9	木香	[35]	
吲哚		13	120-72-9	花香	[39]	
二氢猕猴桃内酯		115	17092-92-1	木香	[23,29-30,32,39]	
酯类与内酯 类(8个)		水杨酸甲酯	46	119-36-8	薄荷、冬青	[23,26,29]、 [32-33,35]
		异戊酸苄酯	5	103-38-8	甜、果、苹果、草本	[32]
		癸酸甲酯	5	110-42-9	花香、水果香、油脂	[32]
		丙酸己酯	5	2445-76-3	水果香、绿色	[32]
	δ -己内酯	5	502-44-3	果味、奶油味、椰子味	[32]	
	异戊酸异丁酯	5	589-59-3	甜、果、苹果、绿色	[32]	
	棕榈酸甲酯	46	112-39-0		[33]	
	α -紫罗兰酮	152	127-41-3	木香、芫荽、甜香、果香	[21,23-24,26,29-30,32- 33,35-36,39]	
酮类 (13个)	β -紫罗兰酮	111	14901-07-6	木香	[21,23-24,26,32,35-36, 39]	
	二氢- β -紫罗兰酮	43	17283-81-7	木香、花香	[26]	
	香叶基丙酮	63	689-67-8	青草、薄荷	[23,26,29,33,39]	
	β -紫罗酮	52	79-77-6	花、木香、紫罗兰香	[30,36]	
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	63	110-93-0	果香、青草气	[26,29,32,35]	
	异佛尔酮	50	78-59-1	薄荷、甜香	[29,32,39]	
	β -大马士酮	15	23726-93-4	强烈的蜂蜜气息和玫瑰花香	[29,33,35]	
	L-香芹酮	6	99-49-0	薄荷、甜、草本	[32]	
顺茉莉酮	40	488-10-8	花、果香、茉莉花香	[33,39]		

续表2 Continued Table 2

化合物类型 Types of compounds	化合物名称 Name of compounds	出现频次 Frequencies	CAS	香气描述 Aroma description	参考文献 References
	2-癸酮	26	693-54-9	塑料,牛皮纸,微烤	[35]
	植酮	53	502-69-2	花香、木香、草本香	[36]
	苯乙酮	21	98-86-2	果香	[39]
	1,2-二甲氧基苯	65	91-16-7	陈腐、不新鲜	[21,26,29,32,33]
	1,3-二甲氧基苯	8	151-10-0	陈香	[26,29]
	3,4-二甲氧基甲苯	51	494-99-5	陈香、木香	[23,29-30,39]
杂氧类 (8个)	1,2,3-三甲氧基苯	110	634-36-6	陈香、药香	[21,23-24,29-30,33,39]
	1,2,4-三甲氧基苯	85	135-77-3	木香、陈香	[21,23-24,26,29-30,32-33,39]
	3,4,5-三甲氧基甲苯	52	6443-69-2	陈香	[23,26,30,33]
	1,2,3,4-四甲氧基苯	31	21450-56-6	陈香	[21,26,33,39]
	1,2-二甲氧基-4-乙基苯	20	5888-51-7	-	[26]

2.1 醇类化合物

普洱茶关键香气成分中共有20种醇类物质,出现频次较高的有芳樟醇(136,出现频次,下同)、 α -松油醇(109)、1-辛烯-3-醇(81)、香叶醇(70)和反式橙花叔醇(68)等。醇类物质通常呈现花香、果香与木香,如芳樟醇具有果香、花香和木香特征^[14]。独特的渥堆发酵工艺使普洱熟茶中醇类物质的种类与含量显著低于普洱生茶^[29]。发酵过程中芳樟醇转化为萜烯醇类及大量杂氧环类化合物^[14],并随着普洱熟茶陈化时间的延长而降低^[20]。这与邓洪燕等^[24]和Xu等^[28]研究结果一致:前者发现普洱熟茶中芳樟醇和香叶醇的含量远低于生茶,且生茶中芳樟醇的OAV值约是熟茶的8.2倍;后者进一步指出,生茶中芳樟醇含量相对较高且在GC-O中表现出较高的香气强度(香气强度=10),其氧化物II、I亦表现突出(分别为9和8)。而熟茶中芳樟醇强度显著下降(4),其氧化物(尤其是氧化物IV,强度为9)则普遍升高,这一变化与渥堆发酵中的化学反应密切相关。 α -松油醇可以赋予茶叶强烈的花香(OAV值为22 589),并随古树普洱生茶陈化时间的延长而增加^[40]。1-辛烯-3-醇主要来源于脂肪酸经脂氧合酶途径的氢过氧化物氧化,呈现蘑菇气息与清香^[41],可与辛醇、香叶醇一同作为区分古树与乔木普洱生茶的特征组分^[36]。香叶醇、橙花醇和反式橙花叔醇则共同赋予熟茶类似玫瑰的香气特质^[28]。此外,Jiang等^[42]研究表明,高海拔地区茶叶中苯甲醇含量较高,其微弱的苹果风味对茶树香气特征贡献显著。该成分可能源于苯丙氨酸代谢途径,并在高海拔气候条件下富集于鲜茶叶中。

2.2 醛类化合物

普洱茶关键香气成分中共14种醛类物质,包括 β -环柠檬醛(97)、己醛(92)、苯乙醛(84)和壬醛(64)等。醛类物质主要赋予普洱茶清新的草本香气,如苯甲醛、(E)-2-辛烯醛和壬醛等共同营造出青草般的芬芳特质^[35]。醛类的生成途径主要有2种:一是在加热条件下发生Strecker降解,二是由不饱和脂肪酸在热或脂氧合酶作用下发生氧化降解。其中, β -环柠檬醛由 β -胡萝卜素在C7—C8双键断裂反应中生成^[43],呈现杏仁、芒果类果香与清香,并与(E)-2-壬烯醛等共同构成青草或草本香气。己醛作为茶叶中常见的芳香化合物,具有清新气息;苯乙醛则来源于苯丙氨酸的Strecker降解,其含量相对较高。尽管庚醛、苯乙醛等在以往研究中尚未被确认为是普洱熟茶的有效香气成分,但笔者所在团队发现,它们在GC-O中表现出较高强度,且OAV值分别高达103.7和65,可能对普洱熟茶特有香气的形成具有重要贡献^[26]。此外,壬醛凭借其果香与脂香特性,也被证实对普洱熟茶整体香气轮廓的构建具有关键作用^[44]。

2.3 碳氢类化合物

普洱茶关键香气成分中共有8种碳氢类物质,分别是D-柠檬烯(87)、2-甲基萜(70)、月桂烯(44)、1-甲基萜(35)、 α -蒎烯(26)、 γ -松油烯(26)、萜品油烯(26)和吡啶(13)。碳氢类化合物的种类及含量会随着普洱熟茶渥堆发酵进程急剧减少,这可能是熟茶香气由清香转向陈香、滋味趋于醇和回甘的关键原因^[29]。果香作为普洱茶重要的香气特征,D-柠檬烯和6-甲基-5-庚烯-2-酮共同为普洱生茶和熟茶带来

果香与甜味;而甲基萜类作为不饱和烃,则呈现出典型的木香与药香气息^[30]。

2.4 酯类与内酯类化合物

普洱茶关键香气成分中共8种酯类与内酯类物质,其中出现频次最多的是二氢猕猴桃内酯(115)、水杨酸甲酯(46)和棕榈酸甲酯(46)。其余成分如异戊酸苄酯、癸酸甲酯、丙酸己酯、 δ -己内酯、异戊酸异丁酯,仅在典型的古茶树普洱熟茶中作为OAV值 >1 的关键香气物质呈现^[32]。随着陈化时间延长,普洱熟茶中酯类物质总含量呈上升趋势^[27]。二氢猕猴桃内酯具有木香气息,其在普洱生茶中的含量也随贮藏年份增加而累积;相同条件下二氢猕猴桃内酯OAV值高达249 700,与芳樟醇(OAV值为254 522)相近^[23]。水杨酸甲酯是水杨酸经水杨酸羟基甲基转移酶催化合成的特征挥发性化合物,广泛存在于多种茶叶中,是薄荷香气的关键贡献者^[45]。该成分与乙醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛共同构成普洱茶的清新香韵。水杨酸甲酯主要富集于贮藏年份较短的普洱生茶中,表明薄荷香与茉莉花香等清新气息对短期陈化生茶的香气轮廓具有重要影响^[30]。

2.5 酮类化合物

酮类物质主要来源于茶叶中类胡萝卜素等前体物质的降解,被认为是普洱茶风味的重要贡献者。普洱茶关键香气成分中共13种酮类物质,其中以 α -紫罗兰酮(152)和 β -紫罗兰酮(111)出现频次最高。 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮和二氢猕猴桃内酯均为类胡萝卜素的降解产物,具有花香和甜香,并能降低茶汤的刺激感。相较于 α -紫罗兰酮, β -紫罗兰酮带有更多果香和木香,而 α -紫罗兰酮被认为是区分普洱生茶和熟茶的潜在标志物。二氢- β -紫罗兰酮则呈现木香与清甜的桂花香。 β -大马士酮、 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮和香叶基丙酮主要通过 β -胡萝卜素的氧化降解形成,是茶叶中典型的花香型挥发性有机物^[46]。异佛尔酮具有薄荷甜香,在生茶中香气较淡,而在普洱熟茶中表现为中等强度^[29]。1-辛烯-3-醇和6-甲基-5-庚烯-2-酮可能是构成古树普洱熟茶持久蘑菇香的关键物质^[32]。此外,香叶醇、顺茉莉酮和苯甲酮等也能为普洱茶增添花香香调^[25]。不同前处理技术对酮类化合物的提取具有选择性差异,如Du等^[27]研究发现,HS-SPME更适用于提取酮类、醇类、烃类及甲氧基苯类化合物,而SDE法在提取酸类成分方面更具优势。

2.6 杂氧类化合物

普洱茶关键香气成分中共8种杂氧类物质,其中1,2,3-三甲氧基苯出现频次最高(110)。甲氧基苯类物质被认为是陈香香型的关键香气物质^[47],如1,2,3-三甲氧基苯和3,4,5-三甲氧基甲苯所呈现的陈香、木香与药香,被认为是普洱熟茶的典型香气特征^[28],这类物质的形成与普洱熟茶特有的渥堆发酵工艺密切相关^[26]。微生物通常被认为在普洱熟茶的后发酵加工过程中促进了一系列复杂的生物化学变化,并产生呈现陈香与醇和风味的甲氧基苯类化合物,这些化合物主要是通过微生物酶对没食子酸进行甲基化以及后续的热降解作用生成。酵母菌、青霉菌、根霉菌和黑曲霉被认为与后发酵过程中甲氧基苯类化合物的形成有关。该机制与Zhang等^[35]研究一致,即甲氧基苯类化合物的形成可能是由于普洱茶在发酵过程中黑曲霉的作用所致。陈保等^[48]研究表明,甲氧基苯类化合物在渥堆发酵过程中呈上升趋势,而芳樟醇则持续下降,表明发酵过程中甲氧基苯类物质不断生成,同时芳樟醇不断降解。此外,徐咏全等^[25]研究结果表明,相对于普洱茶,茶粉中醇类、酮类、酯类和醛类物质的相对含量显著提高,而碳氢类和甲氧基苯类化合物则明显减少,特别是甲氧基苯类化合物,这可能与普洱茶粉在加工过程中高温提取、浓缩、干燥等工序导致该类热敏性或挥发性成分转化或损失有关。

3 普洱茶滋味成分

滋味作为晒青茶、普洱生茶和熟茶感官审评5大指标之一,其评分系数(30%)最高。普洱熟茶独特的“醇和回甘”滋味离不开渥堆发酵过程中微生物湿热及酶促反应,该反应促使多酚类、咖啡碱、游离氨基酸及茶多糖等不挥发性物质发生氧化聚合、降解反应,同时嘌呤碱内部相互转化,有机酸含量提高,具有苦涩、苦、鲜、甜物质的组分及总量发生改变,综合协同最终形成普洱熟茶醇和回甘的口感^[49-50]。下面介绍普洱茶中滋味成分的呈味特点及其互作效应。

3.1 多酚类物质

多酚类物质的呈味特点为苦涩味,具有较强的收敛性^[51]。多酚类物质主要包括儿茶素、黄酮、花青素类及酚酸类物质。儿茶素作为多酚的主体成分,分为酯型儿茶素和非酯型儿茶素^[50]。与非酯型儿茶素相比,酯型儿茶素表现出更为强烈的收敛性和刺

激性,进一步加剧了苦涩口感^[51]。

儿茶素含量的高低与晒青茶苦涩味的强弱息息相关,如雷鑫等^[7]研究发现,与景迈山晒青茶相比,临沧晒青茶儿茶素总量偏低,此为临沧茶微涩甘甜而景迈山茶涩味较为明显的关键。酯型儿茶素含量和非酯型儿茶素含量的比例还可作为判别景迈山不同村寨茶样来源的依据,如施德康等^[52]研究发现:景迈山晒青茶表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)的高含量(49.15 mg/g)及酯型儿茶素和非酯型含量之比(1.88)可作为判别茶样来源的依据,据此建立的2个典型判别函数能有效识别出景迈山晒青茶。与熟茶醇和回甘相比,普洱生茶滋味更为强烈,这与生茶和熟茶中酯型儿茶素和非酯型儿茶素之比有关,蒋睿等^[51]研究表明,生茶中酯型儿茶素占儿茶素的65.79%,而熟茶中非酯型儿茶素占儿茶素的68.7%。酯型儿茶素强烈的收敛性和较重的苦涩味与非酯型较弱的收敛性和较轻的苦涩味造就了生茶滋味强烈、熟茶滋味醇和的差异。随着陈化时间的延长,普洱生茶中茶多酚呈下降趋势^[53],这与渥堆发酵过程中熟茶茶多酚变化规律相吻合,杨希等^[54]发现,渥堆发酵过程中以EGCG为主的茶多酚含量变化显著,茶多酚含量大幅下降并累积生成了茶褐素等物质,这有利于茶汤苦涩味的降低和醇和甘爽味的提升。同时茶褐素的出现正向促进了熟茶汤色棕褐特征的形成。

3.2 咖啡碱

咖啡碱的呈味特点为苦味,是嘌呤生物碱的主要物质。作为一种滋味调节剂,苦味既能与其他味觉协调搭配,提升滋味的层次感,也对调节人体生理功能有一定作用。在不同强度下,其他滋味对苦味的影响有所不同:当苦味较弱时,酸味和甜味会增强其苦感,而鲜味和咸味则起到抑制作用;当苦味本身较强时,咸、鲜、酸、甜等滋味均能对其产生抑制效果^[55]。

临沧晒青茶中咖啡碱含量略低于云南其他地区,使得临沧地区茶叶的苦涩感相对较弱^[7-8]。此外,生茶中的咖啡碱质量分数3.576%略低于熟茶的3.707%^[51],且在生茶陈化过程中咖啡碱含量无明显变化规律^[53]。

3.3 游离氨基酸

游离氨基酸的呈味特点为鲜味,能显著提升茶汤的鲜爽感,并有效中和其中的苦涩味。研究显示,晒青茶中游离氨基酸含量与茶样鲜爽度呈显著正相

关^[52],如上寨和芒洪在感官审评中鲜爽度较高,同时所对应的游离氨基酸含量(2.48%、2.66%)也较高;而糯岗整体的游离氨基酸含量偏低(1.89%),其鲜爽度也相应较弱。茶氨酸作为茶叶特有的游离氨基酸,不仅带有焦糖香气,还呈现出类似谷氨酸的鲜爽味道^[56]。王庆华等^[8]探究云南省不同地域晒青茶品质差异时发现,6个主产茶区游离氨基酸含量在2.33%~5.00%,从高到低依次为玉溪4.64%>临沧4.22%>保山4.02%>普洱3.20%>西双版纳3.01%>德宏2.74%,游离氨基酸含量较大的变异系数(24.73%)反映出云南地区地理环境复杂与茶树种植资源丰富的特点。普洱生茶中游离氨基酸含量随陈化时间延长整体呈下降趋势,这可能与氨基酸氧化分解或与其他物质聚合形成不溶性物质相关^[13]。此外,普洱生茶中游离氨基酸总量显著高于熟茶,这与熟茶渥堆发酵过程相关^[51],渥堆发酵过程中游离氨基酸的消耗归因于其参与的非生物与生物转化:包括氧化脱氨脱羧生成香气物质、与多酚及糖类缩合形成不溶性黑色素,以及作为微生物碳源被代谢^[6]。

3.4 茶多糖

茶多糖类物质的呈味特点为甜味,常以可溶性糖形式呈现,其含量与普洱茶茶汤甜味强度呈正相关。晒青茶作为普洱生茶和熟茶的原料,其茶多糖含量直接影响成品茶的甜味基础,如临沧茶区晒青茶可溶性糖含量在5.60%~9.76%,平均含量为8.25%^[7];景迈山古树晒青茶可溶性糖含量在3.84%~6.44%,平均含量为5.36%;景迈山生态晒青茶在为4.85%~6.49%,平均含量为6.62%^[11];较高的可溶性糖含量为临沧茶回甘生津强烈的滋味品质奠定了基础。生茶和熟茶方面,蒋睿等^[51]研究发现,普洱生茶中可溶性糖含量为4.527%,略高于熟茶(3.799%),且生茶汤色得分与可溶性糖总量呈显著正相关。唐平等^[50]研究结果表明,随着渥堆发酵过程的进行,茶多糖含量由原料中的72.77 mg/g增加至“二翻”结束时的94.43 mg/g,增加了29.77%,这与黑茶独特的渥堆发酵工艺密切相关,渥堆发酵过程中微生物的作用促使茶多糖和大分子碳水化合物更多地降解为可溶性糖^[57],从而提高了普洱茶中可溶性茶多糖含量^[58]。然而,随着发酵过程的持续进行,茶多糖含量逐渐降低,至成品中含量最低,为54.90 mg/g,与原料晒青茶相比,茶多糖含量下降了

24.56%,该趋势与杨希等^[54]研究得出的发酵后期云南高山普洱茶中可溶性糖含量呈下降趋势的结果一致,发酵后期微生物大量繁殖消耗相应的碳源,致使茶多糖含量下降^[59]。因此,实际发酵过程中,适当减少“一翻”有助于提高可溶性糖含量,增强普洱熟茶甜味口感。此外,作为甜味物质,可溶性糖还可缓和茶汤中的苦涩味和刺激性。

3.5 茶色素

儿茶素经微生物分泌的胞外酶酶促氧化或非酶促氧化聚合生成水溶性的茶黄素、茶红素和茶褐素。茶褐素是茶汤中“褐”的主要成分,茶褐素含量越高,茶汤汤色越红^[60-62]。蒋睿等^[51]研究发现:熟茶中茶褐素含量为9.190%,显著高于生茶(2.549%),所以普洱熟茶汤色红褐、滋味醇和。渥堆发酵作为黑茶独特的后发酵工艺,随着一翻→二翻→三翻→出堆的发酵进程,茶褐素含量显著升高,造就了普洱熟茶色泽红褐的品质特征^[50]。

4 结语与展望

本文综述了晒青茶、普洱生茶和熟茶的品质特征及评价方法,晒青茶作为普洱生茶和熟茶的原料,其品质的优劣直接决定了成品茶香气和滋味品质的高低;生产初期的普洱生茶茶性较为刺激,经数年陈化后香气和滋味品质可得到较大提升;熟茶以其外形色泽褐红、汤色橙红或红浓透亮、特有陈香纯正浓郁、滋味浓醇爽滑且醇厚回甘等特质备受消费者喜爱。香气成分方面,介绍了普洱茶的六大类关键香气物质:醇类、醛类、碳氢类、酯类与内酯类、酮类和杂氧类物质;滋味成分方面,从茶多酚(主导苦涩味)、咖啡碱(贡献苦味)、游离游离氨基酸(呈现鲜味)和可溶性茶多糖(赋予甜味)4个维度解析了普洱茶的主要滋味构成。此外,茶褐素含量是决定普洱茶色泽的关键因素。但现有研究仍存在许多不足之处,如普洱茶品质特征的主流评价手段——感官审评法高度依赖个人经验与感官判断,主观性较强;香气成分前处理方法中多存在选择性提取;而滋味成分的研究存在局限,过多聚焦于大分子,忽视了小分子化合物的系统鉴定。基于此,未来希望加强以下几方面研究:(1)融合应用分子感官科学与感官审评法。将人工感官审评法与电子鼻、电子舌、GC-MS、GC-O、高效液相色谱等分子感官仪器融合使用,将客观量化的数据与主观感知有效结合,构建更为科学、全面的普洱茶品质评价模型;(2)加强技术联用。

前处理与分离鉴定技术的选择性及偏好性差异导致检出化合物种类不同,未来需加强技术联用,实现更全面的化合物解析;(3)系统性应用风味轮技术。普洱茶风味及滋味品质受原料、储存容器、陈化时间、渥堆发酵等因素影响,为全面解析并标准化描述普洱茶品质,可深度融合风味轮技术,在广义角度上,建立涵盖晒青茶、普洱生茶和熟茶的普适性风味轮。在狭义角度上,鼓励企业构建反映自身产品特色的专属风味轮。

参考文献 References

- [1] 梅宇. 2024年中国茶叶生产与内销形势分析[J]. 中国茶叶, 2025, 47(6): 24-30. MEI Y. Analysis of China's tea production and domestic sales in 2024[J]. China tea, 2025, 47(6): 24-30 (in Chinese with English abstract).
- [2] YANG Y, QIU R J, YOU Q S, et al. Key odorants driving aroma transformation during aging process in Liubao tea: a sensory and chemical perspective [J/OL]. Food chemistry, 2025, 492: 145287 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145287>.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 地理标志产品 普洱茶:GB/T 22111—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. Standardization Administration of the People's Republic of China. Product of geographical indication; Pu-er tea: GB/T 22111—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008(in Chinese).
- [4] LIU J Y, HE D, XING Y F, et al. Effects of bioactive components of Pu-erh tea on gut microbiomes and health: a review [J/OL]. Food chemistry, 2021, 353: 129439 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129439>.
- [5] 朱丹. 52个地理标志产品品牌价值过亿[N]. 云南日报, 2024-07-31(5). The brand value of 52 geographical indication products is over 100 million yuan [N]. Yunnan daily, 2024-07-31(5)(in Chinese).
- [6] 许皓, 欧行畅, 欧阳建, 等. 六堡茶香气与滋味成分及评价方法研究进展[J]. 现代食品科技, 2025, 41(1): 381-392. XU H, OU X C, OUYANG J, et al. Research progress on aroma and taste components and evaluation methods of Liupao tea [J]. Modern food science and technology, 2025, 41(1): 381-392 (in Chinese with English abstract).
- [7] 雷鑫, 陈秋月, 李春莲, 等. 临沧茶区晒青茶滋味特征性组分分析[J]. 中国茶叶加工, 2025(2): 31-38. LEI X, CHEN Q Y, LI C L, et al. Analysis of the characteristic taste components of sun-dried green tea of tea area from Lincang tea area [J]. China tea processing, 2025(2): 31-38 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王庆华, 罗慧, 刘春艳, 等. 云南主产茶区晒青茶品质差异分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 345-351. WANG Q H,

- LUO H, LIU C Y, et al. Analysis on quality difference of sun-dried green tea in Yunnan's main tea-producing areas[J]. Science and technology of food industry, 2023, 44(4): 345-351 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王欣雨, 吴婷, 鲁倩, 等. 云南双江4个山头晒青茶品质比较分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(5): 243-250. WANG X Y, WU T, LU Q, et al. Comparative quality analysis of sun-dried tea from 4 hills in Shuangjiang, Yunnan[J]. Journal of food safety & quality, 2023, 14(5): 243-250 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李兴凤, 杨艳, 刘学艳. 云南双江不同季节晒青茶品质对比分析[J]. 热带农业科技, 2025, 48(1): 53-57. LI X F, YANG Y, LIU X Y. Comparative analysis of the quality of sun-dried green tea in different seasons in Shuangjiang, Yunnan[J]. Tropical agricultural science & technology, 2025, 48(1): 53-57 (in Chinese with English abstract).
- [11] 岩嘎, 杨艳芬, 杨梓泰, 等. 景迈山古茶园与生态茶园晒青茶品质特征的研究[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(19): 346-354. YAN G, YANG Y F, YANG Z T, et al. Quality characteristics of sun-dried green tea from ancient tea gardens and ecological tea gardens in Jingmai Mountain[J]. Food and fermentation industries, 2025, 51(19): 346-354 (in Chinese with English abstract).
- [12] 刘琴, 韦伊, 李忠芳, 等. 不同陈化时间对六堡茶的品质影响[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2025(3): 17-20. LIU Q, WEI Y, LI Z F, et al. Effect of different aging time on the quality of Liubao tea[J]. Newsletter of sericulture and tea, 2025(3): 17-20 (in Chinese with English abstract).
- [13] 焦婷婷, 师梦楠, 罗慧, 等. 普洱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 T T, SHI M N, LUO H, 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 (in Chinese with English abstract).
- [14] 赵阳, 龚加顺, 王秋萍. 古树普洱茶生茶贮藏过程中香气成分的变化[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 241-248. ZHAO Y, GONG J S, WANG Q P. Change in aroma components of raw Pu-erh tea from ancient tea trees during storage[J]. Food science, 2022, 43(4): 241-248 (in Chinese with English abstract).
- [15] YANG C, WEI K K, XU M H, et al. Sensory wheel construction and key flavor compounds characterization of black tea milk tea beverages[J/OL]. Food chemistry, 2025, 481: 143931 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143931>.
- [16] 张春花, 王子龙, 浦如秋, 等. 普洱茶生茶风味轮的构建与感官特性研究[J]. 食品工业科技, 2025, 46(15): 1-11. ZHANG C H, WANG Z L, PU R Q, et al. Construction and sensory characteristics of the flavor wheel of raw Pu-erh tea[J]. Science and technology of food industry, 2025, 46(15): 1-11 (in Chinese with English abstract).
- [17] DENG S H, ZHANG T F, FAN S H, et al. Polysaccharide conjugates' contribution to mellow and thick taste of Pu-erh ripe tea, besides theabrownin[J/OL]. Food chemistry, 2024, 23: 101726 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.101726>.
- [18] 赵苗苗, 严亮, 张文杰, 等. 不同渥堆发酵方法对普洱茶品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2640-2648. ZHAO M M, YAN L, ZHANG W J, et al. Effects of different pile-fermentation methods on the quality of Pu-erh tea[J]. Journal of food safety & quality, 2022, 13(8): 2640-2648 (in Chinese with English abstract).
- [19] 王清艺, 熊梦飏, 涂青, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分析不同产地普洱茶发酵阶段样香气组分[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(18): 39-49. WANG Q Y, XIONG M F, TU Q, et al. Analysis of the aroma components of Pu-erh tea samples from different producing areas during fermentation by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of food safety & quality, 2024, 15(18): 39-49 (in Chinese with English abstract).
- [20] 杨洪淼, 何雨淇, 牛森, 等. 不同产地不同贮藏时间普洱熟茶香气成分分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(5): 218-229. YANG H Y, HE Y Q, NIU M, et al. Analysis of aroma composition in Pu-erh ripen tea with different producing areas and storage durations[J]. Science and technology of food industry, 2025, 46(5): 218-229 (in Chinese with English abstract).
- [21] TIAN D, MA C Y, ZHOU X H, et al. Reveal the influence mechanism of different storage containers on the flavor of ripe Pu-erh tea based molecular sensory science[J/OL]. LWT, 2024, 214: 117073 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117073>.
- [22] 陈国和, 胡腾飞, 谢贺, 等. 普洱茶与茯砖茶风味轮的构建及应用[J]. 茶叶科学, 2023, 43(5): 631-644. CHEN G H, HU T F, XIE H, et al. Construction of flavor wheel and quantitative sensory description analysis of Pu'er tea and Fu brick tea[J]. Journal of tea science, 2023, 43(5): 631-644 (in Chinese with English abstract).
- [23] 袁雨奇, 吴雪娇, 徐瓦珍, 等. 不同基质得率速溶普洱茶关键香气物质组成及其热释放规律分析[J]. 现代食品科技, 2025, 41(6): 242-253. YUAN Y Q, WU X J, XU W Z, et al. Analysis of the compositions of key aroma substances and their heat release trends of instant Pu-erh teas with different matrix yields[J]. Modern food science and technology, 2025, 41(6): 242-253 (in Chinese with English abstract).
- [24] 邓洪燕, 毛静春, 王丽芳, 等. 普洱茶生茶和熟茶挥发性组分对比研究[J]. 云南农业科技, 2024(4): 37-41. DENG H Y, MAO J C, WANG L F, et al. Comparative study on volatile components of raw and ripened Pu-erh tea[J]. Yunnan agricultural science and technology, 2024(4): 37-41 (in Chinese).
- [25] 徐咏全, 张晨霞, 孔雅雯, 等. HS-SPME-GC-MS-GC-O分析普洱茶粉中的关键性香气组分[J]. 食品研究与开发, 2017,

- 38(20):152-159. XU Y Q, ZHANG C X, KONG Y W, et al. Analysis of aroma components in Pu-erh tea powder by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-olfactometry-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food research and development, 2017, 38(20): 152-159 (in Chinese with English abstract).
- [26] WANG B, MENG Q, XIAO L, et al. Characterization of aroma compounds of Pu-erh ripen tea using solvent assisted flavor evaporation coupled with gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry [J]. Food science and human wellness, 2022, 11(3): 618-626.
- [27] DU L P, LI J X, LI W, et al. Characterization of volatile compounds of Pu-erh tea using solid-phase microextraction and simultaneous distillation-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food research international, 2014, 57: 61-70.
- [28] XU Y Q, WANG C, LI C W, et al. Characterization of aroma-active compounds of Pu-erh tea by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation-extraction (SDE) coupled with GC-olfactometry and GC-MS [J]. Food analytical methods, 2016, 9(5): 1188-1198.
- [29] 佟文哲. 普洱茶特征香气化合物的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2020. TONG W Z. Study on the characteristic aroma compounds of Pu-erh tea [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [30] 王若娴. 茯砖茶与普洱茶特征性香气成分研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022. WANG R X. Study on characteristic aroma components of fu brick tea and Pu-erh tea [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022 (in Chinese with English abstract).
- [31] 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 J L. Study on correlation between storage environments and flavor shift during aging of two sorts of Puer teas [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [32] WANG T, BO N G, GUAN Y Q, et al. An integrated flavoromics and chemometric analysis of the characteristic flavor, chemical basis and flavor wheel of ancient plant ripened Pu-erh tea [J/OL]. Food chemistry: x, 2025, 26: 102278 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102278>.
- [33] TIAN D, HUANG G H, DENG X J, et al. The aroma compounds contributing to the characteristic flavour of ripe Pu-erh tea and their molecular mechanisms of interaction with olfactory receptors [J/OL]. LWT, 2025, 224: 117808 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117808>.
- [34] WANG M Q, XU D, XU Y, et al. Impact of solid-state fermentation inoculated with *Eurotium cristatum* on the main composition and flavor of three kinds of Pu-erh tea [J/OL]. International journal of food microbiology, 2025, 436: 111186 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111186>.
- [35] ZHANG X Y, CHEN H Y, LIU Y, et al. Unveiling the chemical composition of unique flavor profiles in raw Pu-erh tea from different tea-producing mountains [J/OL]. Food chemistry: x, 2024, 24: 102001 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.102001>.
- [36] 汤海昆, 杨方慧, 张艳梅, 等. 西双版纳地区古树和乔木普洱茶(生茶)品质差异分析[J]. 茶叶通讯, 2025, 52(1): 61-69. TANG H K, YANG F H, ZHANG Y M, et al. Analysis on the quality difference between ancient tree and arborous Pu'er tea (raw tea) in Xishuangbanna area [J]. Journal of tea communication, 2025, 52(1): 61-69 (in Chinese with English abstract).
- [37] MA B S, MA C Q, ZHOU B X, et al. Revealing the formation of aged aroma in raw Pu-erh tea during the storage through comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled to time-of-flight mass spectrometry and molecular docking [J/OL]. Current research in food science, 2025, 10: 101038 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101038>.
- [38] 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 Z X. Study on characteristic substances and key aroma components of Pu-erh tea (ripe tea) [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [39] 石禾云, 杨豆豆, 张娅, 等. 普洱熟茶关键香气物质热释放规律分析[J]. 食品科学, 2023, 44(16): 243-250. SHI H Y, YANG D D, ZHANG Y, et al. Analysis of heat release of key aroma substances in Pu-erh ripe tea [J]. Food science, 2023, 44(16): 243-250 (in Chinese with English abstract).
- [40] WANG C, LI J, WU X J, et al. Pu-erh tea unique aroma: Volatile components, evaluation methods and metabolic mechanism of key odor-active compounds [J]. Trends in food science & technology, 2022, 124: 25-37.
- [41] LI Q, HONG X, ZHENG X X, et al. Characterization of key aroma compounds and core functional microorganisms in different aroma types of Liupao tea [J/OL]. Food research international, 2022, 152: 110925 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110925>.
- [42] JIANG Y H, BOORBOORI M R, XU Y N, et al. The appearance of volatile aromas in Tieguanyin tea with different elevations [J]. Journal of food science, 2021, 86(10): 4405-4416.
- [43] NIE C N, ZHONG X X, HE L, et al. Comparison of different aroma-active compounds of Sichuan dark brick tea (*Camellia sinensis*) and Sichuan Fuzhuan brick tea using gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) and aroma descriptive profile tests [J]. European food research and technology, 2019, 245(9): 1963-1979.
- [44] PANG X L, YU W S, CAO C D, et al. Comparison of potent odorants in raw and ripened Pu-erh tea infusions based on odor

- activity value calculation and multivariate analysis: understanding the role of pile fermentation[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2019, 67(47): 13139-13149.
- [45] MA W J, ZHU Y, SHI J, et al. Insight into the volatile profiles of four types of dark teas obtained from the same dark raw tea material[J/OL]. Food chemistry, 2021, 346: 128906 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128906>.
- [46] TOMASINO E, BOLMAN S. The potential effect of β -ionone and β -damascenone on sensory perception of pinot noir wine aroma[J/OL]. Molecules, 2021, 26(5): 1288 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.3390/molecules26051288>.
- [47] DENG X J, HUANG G H, TU Q, et al. Evolution analysis of flavor-active compounds during artificial fermentation of Pu-erh tea[J/OL]. Food chemistry, 2021, 357: 129783 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129783>.
- [48] 陈保, 徐明发, 姜东华, 等. 不同普洱茶原料渥堆发酵过程中香气成分的变化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(2): 284-293. CHEN B, XU M F, JIANG D H, et al. Variation of aromatic components during Pu'er tea fermentation process of different raw materials[J]. Journal of food safety & quality, 2018, 9(2): 284-293 (in Chinese with English abstract).
- [49] 刘玲. 普洱茶特征风味成分分析[D]. 重庆: 西南大学, 2010. LIU L. The analysis on characteristic flavor components of Pu-erh tea[D]. Chongqing: Southwest University, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [50] 唐平. 普洱茶主要滋味物质分析及发酵过程变化研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2018. TANG P. Analysis of main taste substances in Pu'erh tea and changes in fermentation process[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [51] 蒋睿, 罗理勇, 常睿, 等. 普洱生茶和熟茶的品质化学成分分析比较[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 38-47. JIANG R, LUO L Y, CHANG R, et al. Comparative analysis of quality-related chemical components of raw Pu-erh tea and ripe Pu-erh tea[J]. Journal of Southwest University (natural science edition), 2018, 40(6): 38-47 (in Chinese with English abstract).
- [52] 施德康, 邓敏, 李思锦, 等. 基于主要内含成分的景迈山晒青茶滋味特征分类与判别[J/OL]. 西南农业学报, 2025: 1-19. (2025-07-28) [2025-07-31]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1213.s.20250725.1628.060.html>. SHI D K, DENG M, LI S J, et al. Comparative analysis of quality-related chemical components of raw pu-erh tea and ripe Pu-erh Tea[J/OL]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2025: 1-19. (2025-07-28) [2025-07-31]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1213.s.20250725.1628.060.html>.
- [53] 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. ZENG L, TIAN X J, LUO L Y, et al. Characteristic components of aqueous extracts of raw Pu-erh tea with different storage times [J]. Food science, 2017, 38(2): 198-205 (in Chinese with English abstract).
- [54] 杨希, 李玉川, 罗倩倩, 等. 云南高山普洱茶渥堆过程滋味和汤色品质的动态变化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(7): 218-225. YANG X, LI Y C, LUO Q Q, et al. Dynamic changes of taste and brewing color quality during the pile-fermentation process of Yunnan alpine Pu-erh tea [J]. Journal of food safety & quality, 2023, 14(7): 218-225 (in Chinese with English abstract).
- [55] KIM M J, SON H J, KIM Y, et al. Umami - bitter interactions: The suppression of bitterness by umami peptides *via* human bitter taste receptor [J]. Biochemical and biophysical research communications, 2015, 456(2): 586-590.
- [56] 刘忠英, 冉乾松, 潘科, 等. 基于电子舌的3种氨基酸单体呈味特性研究[J]. 食品科技, 2022, 47(4): 296-302. LIU Z Y, RAN Q S, PAN K, et al. Flavor characteristics of three amino acid monomers based on electronic tongue [J]. Food science and technology, 2022, 47(4): 296-302 (in Chinese with English abstract).
- [57] 邓懿涵, 王琼, 罗蓉, 等. 普洱茶滋味形成机制研究现状[J]. 中国茶叶, 2021, 43(7): 1-8. DENG S H, WANG Q, LUO R, et al. Mechanism of Pu-erh tea taste formation [J]. China tea, 2021, 43(7): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [58] 禹超, 叶素丹, 邹新武, 等. 不同黑茶理化成分研究[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 78-81. YU C, YE S D, ZOU X W, et al. The main ingredients in different categories of dark tea [J]. Food science and technology, 2013, 38(5): 78-81 (in Chinese with English abstract).
- [59] WANG J, ZHANG J W, CHEN Y, et al. The relationship between microbial dynamics and dominant chemical components during Liupao tea processing [J/OL]. Food bioscience, 2021, 43: 101315 [2025-07-31]. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101315>.
- [60] 杨娟, 袁林颖, 钟应富, 等. 工夫红茶色泽与品质相关性研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(6): 2605-2610. YANG J, YUAN L Y, ZHONG Y F, et al. Study on correlations between color and quality of congou made of different varieties of tea [J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2014, 27(6): 2605-2610 (in Chinese with English abstract).
- [61] 高林瑞. 普洱茶茶色素研究进展[J]. 热带农业科技, 2005, 28(3): 35-37. GAO L R. Study on the *Puer tea* pigments [J]. Tropical agricultural science & technology, 2005, 28(3): 35-37 (in Chinese with English abstract).
- [62] 杨新河, 李勤, 黄建安, 等. 普洱茶茶色素提取工艺条件的响应面分析及其抗氧化性活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 1-6. YANG X H, LI Q, HUANG J A, et al. Optimization of process conditions for Pu-erh tea pigment extraction by response surface analysis and its antioxidant activity [J]. Food science, 2011, 32(6): 1-6 (in Chinese with English abstract).

Research progress on aroma and taste components of Puer tea

WANG Xin¹, GAO Lei², LUO Jiyang¹, REN Su³, WANG Xiaotong¹, XU Xiaoli¹

1. *Chinese Academy of Quality and Inspection & Testing, Beijing 100176, China;*

2. *College of Economics and Management, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;*

3. *Education Consulting Service Branch of China Inspection and Certification Group Co., Ltd., Beijing 102600, China*

Abstract People's requirements for aroma and taste when drinking tea are gradually increasing with the increasing output value and consumption demand of tea industry in China. Puer ripe tea belongs to the black tea category, and its unique "stale" aroma and "mellow and sweet" taste is highly favored by consumers. This article systematically introduced the characteristics of quality and evaluation methods of sun-dried green tea, raw Puer tea and ripened Puer tea. The achievements of studying the aroma components of Puer tea were summarized by reviewing relevant literatures. The key aroma components of Puer tea were reviewed from six major categories including 20 kinds of alcohols, 14 kinds of aldehydes, 8 kinds of hydrocarbons, 8 kinds of esters and lactones, 13 kinds of ketones and 8 kinds of hetero oxygen. The main taste components of Puer tea were analyzed from four dimensions including polyphenols (bitterness and astringency), caffeine (contributing bitterness), free amino acids (presenting umami) and soluble tea polysaccharides (giving sweetness). However, the lack of selective extraction of aroma pretreatment technology and separation and identification of small molecule compounds in taste was the main bottleneck restricting the deep analysis of flavor in Puer tea. Studies in the future need to integrate manual evaluation with molecular sensory science, and collaboratively optimize techniques of pretreatment and separation and identification to provide technical support for systematically evaluating the quality of Puer tea and accurately analyzing its aroma and taste.

Keywords dark tea; Puer tea; characteristics of quality; aroma components; taste components

(责任编辑:张志钰)