

雅安藏茶的化学成分及生物活性研究进展

熊元元, 王云, 唐晓波, 王小萍, 李春华, 刘晓, 马伟伟, 刘飞, 张厅*

(四川省农业科学院茶叶研究所, 四川成都 610066)

摘要 雅安藏茶是四川黑茶的一种, 属后发酵茶, 历史悠久, 具有降脂、助消化、抗氧化及抗辐射等保健功效, 是藏族人民的生活必需品。对雅安藏茶的主要化学成分及其生物活性的研究进行了综述, 旨在为雅安藏茶进一步的研究指明方向。

关键词 雅安藏茶; 化学成分; 生物活性; 研究方向

中图分类号 TS 272 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)13-0014-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.13.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on Chemical Composition and Biological Activity of Ya'an Tibetan Tea

XIONG Yuan-yuan, WANG Yun, TANG Xiao-bo et al (Tea Research Institute of Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu, Sichuan 610066)

Abstract Ya'an Tibetan tea is a kind of dark tea in Sichuan Province, belongs to post-fermented tea with lose weight, improving digestion, antioxidant, anti-radiation and other health function. Ya'an Tibetan tea which has a long history of production and marketing is the daily necessity of the minority living in the Tibet region. In this paper, the research progress on volatile substances, non-volatile substances and biological activity of Ya'an Tibetan tea was reviewed, and the future research interests of Ya'an Tibetan tea were also discussed preliminarily.

Key words Ya'an Tibetan tea; Chemical composition; Biological activity; Research direction

雅安藏茶(Ya'an Tibetan tea)是四川黑茶的一种,其加工工艺主要是以雅安产茶区产出的1芽5叶以内的新梢或绿毛茶为原料,经杀青、揉捻、干燥、渥堆等初制工艺形成黑毛茶,再通过整理、拼配、蒸压、干燥等精制工艺制成黑茶类产品,其品质特征为褐叶红汤、陈醇回甘^[1],因产于雅安销往藏区而得名,历史悠久,是藏族人民的重要生活物资。过去雅安藏茶专销藏区,如西藏、青海、甘肃、甘孜、阿坝等地(州),近年不仅渐渐被全国接受,还走向了国际市场,远销尼泊尔、德国、日本、韩国、法国等地。据报道,2019年四川黑茶产量达2.7万t,占全国黑茶产量的7.1%^[2-3],同时,在2019年茶叶推荐会上,“雅安藏茶”品牌价值评估高达18.45亿元,被誉为“最具资源力品牌”。近年,雅安藏茶原料逐渐向“成熟而较细嫩”的高中档原料方向发展,各级政府围绕“雅安藏茶”区域品牌,不断加大雅安藏茶的品牌打造,全速推进雅茶产业提档升级,努力扛起振兴川茶发展的大旗,力争将雅安打造为闻名全球的“中国藏茶城”^[4]。

雅安藏茶加工工艺十分复杂,传统工艺初制十八道工序,加上精制和蒸压共计三四十道工序。近年,随着内销需求的不断增加,同时为满足“藏茶汉饮”的市场需求,各茶企对生产工艺进行不断改进。成品雅安藏茶的主要品质特征为干茶褐黑油润、茶汤红黄明亮、香气浓郁持久、滋味醇和悠长^[5]。特定的区域、原料嫩度、加工工艺和微生物的参与等因素共同形成了雅安藏茶专属的风味特征和保健功效。笔

者重点对雅安藏茶的化学成分及生物活性等方面的研究进行了综述,旨在为雅安藏茶进一步的研究指明方向。

1 雅安藏茶的主要化学成分

1.1 雅安藏茶的香气成分 渥堆是黑茶香气成分与绿茶和红茶有很大差异的关键工序^[6]。雅安藏茶以“陈香”为主^[7],另外还有一些产品具有“油香”^[8]。目前,科研工作者主要通过HS-SPME/GC-MS和SDE/GC-MS等技术手段对雅安藏茶香气成分进行研究,鉴定出了大量的香气成分,其主要物质有醇类、酯类、酮类、醛类、酸类、萜烯类、烷烃类化合物等,含量较高的香气成分有植醇、 β -紫罗酮、氧化芳樟醇、棕榈酸、芳樟醇、香叶醇、紫罗兰酮类化合物(表1)。

郑鹏程等^[9]对康砖茶的香气成分进行研究,认为康砖茶以酮类(α -紫罗酮、反-香叶基丙酮、 β -紫罗酮)和醛类(己醛、壬醛)等香气成分为主。甘甜等^[10]对雅安藏茶香气成分在贮藏中的变化进行研究,结果表明藏茶香气组分主要包括醇、醛、酮、酯、烯炔等物质,贮藏初期酮类物质含量较高,中期醛类物质凸显,后期含量较高的物质为酯类、烯炔类和芳香类物质,这可能是雅安藏茶“陈香”特质的主要贡献者。陈应娟^[14]在四川黑茶品质形成研究中发现,萜烯类化合物、酮类、醇类和醛类等物质是形成雅安藏茶香气的主要成分。王华夫^[7]、郑淑娟等^[16]认为,黑茶“陈香”的品质特征主要是由萜烯醇类化合物提供。Nie等^[17]通过香气活度值法(OAV)对四川黑砖和茯砖茶的香气进行研究发现,活度值最高的香气物质是 β -紫罗酮,呈现“花香”。

1.2 茶多酚及其氧化产物 儿茶素是多酚类物质的主要成分,含量达70%~80%^[15]。雅安藏茶中儿茶素单体组成及其含量的研究结果如表2所示,总体上以EGC、C、EC、EGCG、GCG和ECG等为主。儿茶素的氧化产物主要包括茶黄素(TF)、茶红素(TR)、茶褐素(TB),其中TB是形成黑茶品质的重要化学组分^[20]。Wang等^[21]研究证明,TB是普洱茶中

基金项目 四川省科技计划重点研发项目(2021YFN0093,2019YFN0178);现代农业学科建设推进工程项目(2021XKJS083);国家现代农业产业技术体系四川茶叶创新团队特色新品种选育及示范推广项目(sccxtld-2020-10)。

作者简介 熊元元(1991—),女,四川遂宁人,硕士,助理研究员,从事茶叶加工研究。*通信作者,硕士,助理研究员,从事茶叶加工与品质控制研究。

收稿日期 2021-09-13;**修回日期** 2021-10-18

含量最高的水溶性色素。徐甜^[22-23]等对茶褐素组分进行研究发
现,茶褐素富含多酚、多糖类、咖啡碱、氨基酸等物质,其
中蛋白质和茶多糖在雅安藏茶茶褐素中的含量分别为
4. 61%和 16. 36%,占比较高,是雅安藏茶的重要生物活性成
分之一。

表 1 雅安藏茶香气成分研究报道
Table 1 An overview of the aroma studies of Ya'an Tibetan Tea

发表时间 Issuing time	分析方法 Analytical method	茶样年份 Tea sample year	香气成分数量 Number of aroma components	主要香气物质 Main aroma substances	参考文献 References
2018	HS-SPME、 GC-MS	2015	43	己醛、α-紫罗酮、反-香叶基丙酮、β-罗酮、2-正戊基呋喃、顺-氧化芳樟醇、 柠檬烯	[9]
2017	HS-SPME、 GC-MS	未知	75	己醛、α-蒎烯、甲基庚烯酮、2-正戊基呋喃、柠烯、氧化芳樟醇、辛醇、2, 15- 十六烷二酮、N -乙基琥珀酰亚胺、藏花醛、辛酸乙酯、葵醛、β-环柠檬醛、2- 苄烯、反式-2-癸烯醛、癸酸乙酯、紫罗兰酮、二氢-β-紫罗兰酮、香叶基丙 酮、β-紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯	[10]
2019	PDMS/DVB、 GC-MS	2017	45	香叶醇、植醇、β-芳樟醇、苯甲醛、反-2-反-4-庚二烯醛、水杨酸甲酯、二氢 猕猴桃内酯、1-乙基-2-甲酰吡咯	[11]
2014	SDE, GC-MS	未知	41	香叶醇、氧化芳樟醇I、二氢芳樟醇、橙花叔醇、植醇、3-甲基-2-丁烯基苯、 邻苯二甲酸二丁酯、苯并环庚三烯、正庚醛	[12]
2016	GC-MS	2015	50	香叶醇、β-芳樟醇、植醇、橙花叔醇、β-紫罗酮、苯乙酮、苯甲醛、葵醛、壬醛、 σ-杜松烯、柠檬烯、二甲基戊酸甲酯	[13]
2011	SDE、 GC-MS	未知	51	新植二烯、棕榈酸甲酯、植醇、环氧芳樟醇(2)、β-紫罗酮、十八醛、顺势-芳 樟醇氧化物、异植醇、棕榈酸、6, 10, 14-三甲基-2-十五酮、丙酸芳樟酯、十 五醛	[14]
2019	HS-SPME GC-MS	2017	37	芳樟醇、乙酸苯甲酯、β-紫罗酮、橄榄醇、水杨酸甲酯、乙酸己酯、香叶基 丙酮	[15]

表 2 雅安藏茶中儿茶素组分及其含量
Table 2 Compositions and contents of main catechin monomers in Ya'an Tibetan Tea

序号 No.	茶名 Tea name	没食子 儿茶素 GC	表没食 子儿茶 素 EGC	儿茶素 C	表儿茶 素 EC	表没食子 儿茶素没 食子酸酯 EGCG	没食子儿 茶素没食 子酸酯 GCG	表儿茶素 没食子 酸 ECG	儿茶素 没食子 酸酯 CG	参考文献 References
1	四川边茶	—	2. 33	1. 11	1. 27	5. 47	1. 87	2. 84	—	[18]
2	四川黑茶	—	2. 04	0. 10	4. 22	0. 85	0. 63	0. 24	—	[14]
3	四川茯砖茶	0. 10	2. 18	0. 03	0. 50	4. 59	0. 10	1. 02	—	[19]
4	四川黑砖茶	0. 09	2. 56	0. 15	0. 71	6. 68	0. 28	1. 70	0. 33	[19]
5	四川黑茶	0. 53	0. 95	0. 17	0. 30	0. 63	0. 38	0. 48	0. 32	[13]

1.3 茶色素 茶色素包括水溶性色素和脂溶性色素,其中
水溶性色素是构成茶汤色泽的主体成分,主要包括茶黄素
(TF)、茶红素(TR)、茶褐素(TB)三类,由儿茶素为主的多酚
类化合物氧化衍生而来^[24-25]。TF、TR 和 TB 的含量在渥堆
过程中均明显增加,尤以 TR 和 TB 增速较快;在干燥过程中
TB 的含量达到峰值^[26]。以往主要通过感官审评对茶叶色泽
进行评价,现在计算机视觉^[27-28]、色差计^[29-30]等仪器被广泛
运用于茶叶色泽分析中,这些技术手段可在雅安藏茶的色泽
表征分析中提供更加客观的评价参考。

1.4 呈味物质 茶叶呈现的风味大致可分为苦味、涩味和
鲜爽味,其呈味物质分别为咖啡碱、花青素、儿茶素类,多酚
类、黄酮类和游离氨基酸及部分络合物等^[31]。雅安藏茶中
主要水溶性成分及其含量的相关报道汇总如表 3 所示,这些
物质对雅安藏茶的滋味的形成具有重要影响。近年来,代谢
组学分析技术^[36-37]及近红外分析技术^[38]等在茶叶滋味物质
分析鉴定中被广泛采用;同时,Dot 值法也常用于评估茶汤中
的水溶性物质对茶汤滋味的贡献度^[39]。然而,这些先进的
分析技术在雅安藏茶滋味物质研究中的应用鲜见报道。

表 3 雅安藏茶中主要水溶性成分及含量
Table 3 Contents of water-soluble components in Ya'an Tibetan Tea

参考文献 References	茶多酚 Tea polyphenols	咖啡碱 Caffeine	可溶性糖 Soluble sugar	氨基酸 Amino acid	水浸出物 Water extract	茶黄素 TF	茶红素 TR	茶褐素 TB	%
[12]	13. 39±0	4. 22±0. 03	5. 28±0. 04	1. 52±0. 03	41. 10±0. 62	0. 083±0. 007	3. 374±0. 199	3. 227±0. 250	
[32]	5. 99	1. 27	—	1. 42	23. 92	—	—	—	
[33]	2. 09	1. 968	2. 154	0. 482	14. 456	0. 054	0. 65	2. 66	
[34]	8. 37±0. 06	3. 06±0. 13	6. 71±0. 04	2. 17±0. 02	41. 02±0. 11	0. 108±0. 010	1. 896±0. 053	10. 479±0. 260	
[35]	20. 90	1. 97	2. 15	0. 48	—	0. 05	0. 65	2. 66	

1.5 其他非挥发性成分 茶多糖(TPS)是茶叶中具有特殊
生物活性的一类结构复杂的糖蛋白复合物,能调节血脂水

平,对降低甘油三酯及低密度脂蛋白的水平有显著作用^[40],且制茶原料越粗老茶多糖含量越高。李解等^[41]在雅安藏茶茶多糖保健功能研究中发现,TPS 对辐射损伤小鼠的抗氧化功能和造血功能具有较好的保护作用,并存在一定的剂量效应。Chen 等^[42-43]研究表明,TPS 还具有改善代谢综合征、调节肠道微生物平衡等作用。

咖啡碱可以通过抑制 α -淀粉酶的活性,从而抑制餐后血糖水平的升高^[44-45]。据报道,咖啡碱在雅安藏茶成品茶中的含量范围在 1.99%~3.64%^[46]。

矿物质元素与人体健康息息相关^[47]。巩发永等^[48]研究发现,四川边茶中的 Se、Mn、Zn、Mo、Cu 的含量分别为 1.94、2661、67.15、0.89、22.06 $\mu\text{g/g}$ 。茶叶中还含有丰富的维生素^[49],但是,关于雅安藏茶中维生素类物质的相关研究鲜见报道。

2 雅安藏茶品质形成及相关微生物

渥堆是雅安藏茶品质形成的关键工序。渥堆过程中微

生物大量繁殖并分泌胞外酶,通过代谢途径改变茶叶生化成分的组成,从而形成雅安藏茶的特有品质。齐兰兰^[50]在四川黑茶渥堆过程中酶活性、微生物及茶叶品质三者之间关系的研究中发现,多酚氧化酶在无菌渥堆茶样的第一次翻堆后就无法再检测出,而在正常渥堆茶样中活性较高,表明在正常渥堆过程中微生物分泌了新的多酚氧化酶。雅安藏茶整个渥堆过程中微生物种群数量有显著的变化,其中细菌和霉菌的数量呈先增后下降的趋势,渥堆中期达到高峰期($>10^5\text{CFU/g}$),渥堆后期明显下降^[51]。朱燕^[52-56]等对雅安藏茶渥堆过程中的优势微生物进行分离鉴定(表 4),发现不同研究从雅安藏茶中分离鉴定出的优势微生物并不一致,这可能是因为茶叶样品生产企业不同且加工工艺有差异而导致鉴定出的优势微生物有差异。目前,关于雅安藏茶微生物的研究主要集中在微生物分离鉴定及多样性研究方面,而微生物次级代谢产物与茶叶品质之间的相关性研究鲜见报道。

表 4 雅安藏茶优势微生物研究报道
Table 4 An overview of dominant species in Ya'an Tibetan Tea

发表年份 Year of publication	茶叶样品 Tea samples	分离鉴定方法 Separation and identification method	优势微生物 Dominant microorganism	参考文献 References
2019	未知厂家	培养基分离纯化,传统形态学鉴定结合 16r DNA 基因测序	芽孢杆菌、乳酸杆菌	[52]
2010	雅安吉祥茶叶公司	培养基分离纯化,传统形态学鉴定结合 ITS 基因测序	黑曲霉、塔宾曲霉、总状毛霉、炭黑曲霉、米根霉	[53]
2013	雅安朗赛茶叶公司	培养基分离纯化,传统形态学鉴定结合 ITS 基因测序	黑曲霉、青霉、汉逊德巴利酵母、假丝酵母	[54]

3 雅安藏茶的生物活性研究进展

目前,雅安藏茶生物活性相关研究主要集中在降脂减肥、抗氧化、抗辐射等方面。

3.1 降脂减肥 吕晓华等^[57]通过人体试饮试验发现,试验结束时受试者体重、血清甘油三酯、低密度蛋白胆固醇、血糖等显著下降($P<0.05$),说明藏茶在减肥、降低血清甘油三酯、调节血糖等方面有明显的作用。朱佳妮等^[58]采取低、中、高剂量 3 个梯度的藏茶对高脂动物模型干预 30 天后,发现试验大鼠的增重、体重、体脂质量及脂/体比均低于对照组。袁野等^[59]通过雅安藏茶对脂质代谢紊乱大鼠模型进行 6 周灌胃试验发现,大鼠的体重、血脂水平、脂体比及腹腔脂肪湿重等指标经干预后均有显著性降低;大鼠脂肪细胞出现不同程度缩小的现象,表明雅安藏茶在减肥降血脂方面有一定成效。徐甜^[22]在四川边茶茶褐素(TB)对高血脂模型小鼠血脂水平的影响试验中发现,四川边茶 TB 对降低高血脂小鼠的血脂水平和动脉粥样硬化指数有显著,从而认为四川边茶具有降血脂活性。

3.2 抗氧化 郭金龙等^[60]对雅安藏茶抗氧化能力评价研究中指出,雅安藏茶清除超氧阴离子自由基和羟自由基的效果都优于常用的抗氧化剂,如维生素 C、维生素 E、BHA、BHT 等。郭金龙^[61]在雅安藏茶活性级分筛选和评价研究中发现,雅安藏茶的抗氧化效果显著优于人工抗氧化剂,尤以儿茶素级分和茶黄素(TF)级分抗氧化的效果最好。Zheng 等^[62]通过茶多酚(TPP)和茶多糖(TPS)抗氧化活性评价的

研究揭示出,TPP 和 TPS 清除自由基的能力均较强,比较分析得出 TPP 的抗氧化活性优于 TPS。艾小钰等^[63]对 10 种不同茶饮产品的抗氧化能力进行比较分析发现,在铁离子还原试验中,坨藏茶和康砖茶的总还原能力分别排在第二和第五;在对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率的比较中得出,坨藏茶对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力最强,达 85.86%。袁野等^[64]在雅安藏茶抗氧化作用的研究中,用雅安藏茶浓缩液对代谢紊乱大鼠进行 6 周干预后发现,试验大鼠的谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和血清超氧化物歧化酶(SOD)的活性显著提高,而丙二醛(MDA)的含量有所降低,从而推测雅安藏茶可以增强脂质代谢紊乱大鼠的抗氧化能力。

3.3 抗辐射 李解等^[65]建立⁶⁰Co γ 射线辐射损伤小鼠模型后,设置雅安藏茶低、中、高剂量组,连续灌胃小鼠 15 d,发现雅安藏茶中剂量组能明显提高辐射损伤小鼠的外周血细胞含量,对脏器免疫器官的损伤具有一定的缓解作用。李解^[66]用雅安藏茶茶褐素(TB)与茶多糖(TPS)提取物对⁶⁰Co γ 射线辐射损伤小鼠进行灌胃试验发现,TB 和 TPS 对提高试验小鼠的外周细胞数量、肝组织 T-AOC、T-SOD 活性和股骨骨髓 DNA 含量均有显著作用,而肝脏 MDA 含量极显著降低,且随着茶褐素和茶多糖浓度的增加,其抗辐射效果越好;通过对比分析发现,茶褐素提取物的抗辐射效果要优于茶多糖提取物。许靖逸等^[67]对雅安藏茶茶褐素防辐射作用的研究发现,TB 对辐射损伤小鼠的淋巴细胞(LYM)、血小板(PLT)、白细胞(WBC)数量和 SOD 及过氧化物酶(CAT)活

性有极显著提高,对小鼠胸脾等免疫器官的萎缩有明显缓解作用,且高剂量组 TB 效果最好。

3.4 其他 除以上所述的生物活性外,雅安藏茶在助消化、润肠通便、不影响睡眠等方面也有相关的文献报道。边金霖等^[68]在雅安藏茶对胃蛋白酶促进作用的相关研究中发现,雅安藏茶对胃蛋白酶活性有促进作用,且存在显著的量效关系,且 TF、儿茶素和 TR 是起主要作用的活性成分,因此推测雅安藏茶可通过增加胃蛋白酶对蛋白质的分解吸收,从而达到助消化的作用。李解等^[69]用雅安藏茶对便秘大鼠连续灌胃 7 d,发现便秘大鼠的排便次数和质量均有所增加,且粪便软硬度得到改善。胡燕^[46]在雅安藏茶不影响睡眠的相关研究中,通过对 20 个雅安藏茶样品的咖啡碱含量进行测定发现,雅安藏茶咖啡碱含量与其他茶类相比处于较低水平,其平均含量为 2.88%,此结果与雅安藏的兴奋性低、不影响睡眠的特点相符。

4 展望

目前,雅安藏茶在化学成分和生物活性等方面的研究较多,但技术手段较滞后。今后可在以下几个方面开展深入研究:①运用代谢组学、宏基因组学及蛋白组学等热门方法,探明雅安藏茶渥堆过程中关键品质化学成分的形成及变化规律;②采用 GC×GC-TOF-MS、UPLC-Q-TOF-MS 等先进技术与感官审评相结合的方法,明确影响雅安藏茶品质的主要化学成分和重要特征指标,从而建立雅安藏茶质量标准;③运用现代植物化学分析手段,探明雅安藏茶的主要生物活性成分,还可研究不同贮藏年份或不同嫩度的鲜叶制成的雅安藏茶在生物活性成分方面的差异;也可通过分离鉴定、高通量筛选和生物活性评价研究,揭示雅安藏茶的功能因子。

参考文献

[1] 中华全国供销合作总社. 雅安藏茶:GH/T 1120—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.

[2] 一俊,宝丁,VAINQUEEN. 藏茶汉饮[J]. 天下美食,2012(4):110-113.

[3] 梅宇,梁晓. 2019 年中国黑茶行业产销概况通报[J]. 茶世界,2020(8):1-10.

[4] 何清柳,张恒,袁野,等. 雅安藏茶产业现状及发展趋势分析[J]. 食品与发酵科技,2020,56(5):91-96.

[5] 陈书谦. 雅安藏茶的前世今生[J]. 中国茶叶,2017,39(7):45-47.

[6] FENG Z H,LI Y F,LI M,et al. Tea aroma formation from six model manufacturing processes[J]. Food chemistry,2019,285:347-354.

[7] 王华夫. 茶叶香型与芳香物质[J]. 中国茶叶,1989,11(2):16-17.

[8] 何华锋,朱宏凯,董春旺,等. 黑茶香气化学研究进展[J]. 茶叶科学,2015,35(2):121-129.

[9] 郑鹏程,刘盼盼,王胜鹏,等. 5 种黑茶香气成分的比较分析[J]. 食品工业科技,2018,39(22):82-86,143.

[10] 甘甜,邓岳,聂远洋,等. 雅安藏茶贮藏过程中滋味和风味成分的变化[J]. 中国测试,2017,43(1):50-54.

[11] 李涛,何春雷,蔡亚丽,等. 不同嫩度原料对藏茶主要品质及香气的影响[J]. 食品工业科技,2019,40(7):76-81,321.

[12] 邹瑶,齐桂年,谭礼强,等. 绿陈茶发酵后主要品质及香气成分的变化[J]. 食品工业科技,2014,35(18):113-117.

[13] 聂枫宁. 外源酶处理对提高四川黑茶风味的工艺研究及效果评价[D]. 雅安:四川农业大学,2016.

[14] 陈应娟. 四川黑茶品质形成研究[D]. 雅安:四川农业大学,2011.

[15] WANG Y F,KONG D D,GAO Y Y,et al. Chemical characterization and bioactivity of phenolics from Tieguanyin oolong tea [J]. Journal of food biochemistry,2019,43(7):1-9.

[16] 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):366-370,376.

[17] 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.

[18] 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):2515-2516,2525.

[19] 钟晓雪. 四川黑砖茶和茯砖茶的加工技术及品质评价[D]. 雅安:四川农业大学,2017.

[20] LIANG J,YAN H,PULIGUNDLA P,et al. Applications of chitosan nanoparticles to enhance absorption and bioavailability of tea polyphenols:A review[J]. Food hydrocolloids,2017,69:286-292.

[21] WANG Q P,BEL Š ČAK-CVITANOVIĆ A,DURGO K,et al. Physico-chemical properties and biological activities of a high-theabrownins instant Pu-erh tea produced using *Aspergillus tubingensis* [J]. LWT-food science AND technology,2018,90:598-605.

[22] 徐甜. 四川边茶茶褐素优化提取及降血脂活性研究[D]. 雅安:四川农业大学,2010.

[23] HE Y Z,WANG X,ZHANG X H. Study on extracting TB from Liubao tea with cellulase auxiliary method[J]. Advanced materials research,2013,781/782/783/784:1870-1874.

[24] 程启坤. 中国茶叶[M]. 北京:中国农业出版社,1981.

[25] 吕虎,孔庆友,冷和平,等. 茶色素制取及其化学组成[J]. 林产化学与工业,2000,20(4):63-68.

[26] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2003.

[27] 黄藩,刘飞,王云,等. 计算机视觉技术在茶叶领域中的应用现状及展望[J]. 茶叶科学,2019,39(1):81-87.

[28] DONG C W,LIANG G Z,HU B,et al. Prediction of congou black tea fermentation quality indices from color features using non-linear regression methods [J]. Scientific reports,2018,8(1):1-11.

[29] 苏静,李长文,梁慧珍,等. 色差技术在普洱茶品质控制中的应用研究[J]. 食品研究与开发,2017,38(20):148-151.

[30] ZOU Y,QI G N,CHEN S X,et al. A simple method based on image processing to estimate primary pigment levels of Sichuan dark tea during post-fermentation [J]. European food research and technology,2014,239(2):357-363.

[31] 王姝姝,肖孟超,李大祥,等. 黑茶品质特征及其健康功效研究进展[J]. 茶叶科学,2018,38(2):113-124.

[32] 齐桂年,田鸿,刘爱玲,等. 四川黑茶品质化学成分的研究[J]. 茶叶科学,2004,24(4):266-269.

[33] 李伟,齐桂年,邹瑶,等. 四川黑茶渥堆过程中感官品质的变化及影响因素研究[J]. 华南农业大学学报,2015,36(5):125-129.

[34] 李涛. 藏茶原料筛选与后发酵工艺研究及品质评价[D]. 雅安:四川农业大学,2018.

[35] 邹瑶,齐桂年,刘婷婷,等. 四川黑茶渥堆中品质成分的主成分及聚类分析[J]. 食品工业科技,2014,35(15):304-307.

[36] ZHANG Q F,WU S,LI Y,et al. Characterization of three different classes of non-fermented teas using untargeted metabolomics [J]. Food research international,2019,121:697-704.

[37] 杨晨. 基于代谢组学的不同花色种类白茶滋味品质研究[D]. 北京:中国农业科学院,2018.

[38] 范方媛,杨梦璇,龚淑英,等. 基于近红外光谱技术的白茶 3 种典型感官滋味特征属性定量评价模型研究[J]. 茶叶科学,2018,38(3):296-304.

[39] 刘阳,陈根生,许勇泉,等. 冲泡过程中西湖龙井茶黄酮苷类浸出特性及滋味贡献分析[J]. 茶叶科学,2015,35(3):217-224.

[40] 吴文俊,吴镇洲,吴文华. 普洱茶中茶多糖与茶多酚降血脂功能比较[J]. 福建茶叶,2007,29(3):42-43.

[41] 李解,吴家乐,谭晓琴,等. 雅安藏茶茶多糖对⁶⁰Co-γ 射线辐照损伤小鼠抗氧化和造血功能的防护作用[J]. 核农学报,2017,31(8):1509-1514.

[42] CHEN G J,CHEN R S,CHEN D,et al. Tea polysaccharides as potential therapeutic options for metabolic diseases[J]. Journal of agricultural and food chemistry,2019,67(19):5350-5360.

[43] CHEN G J,XIE M H,WAN P,et al. Digestion under saliva, simulated gastric and small intestinal conditions and fermentation *in vitro* by human intestinal microbiota of polysaccharides from Fuzhuan brick tea[J]. Food chemistry,2018,244:331-339.

[44] 聂坤伦,何利,速晓娟,等. 雅安藏茶抑制 α-淀粉酶的活性级分筛选与评价[J]. 食品科学,2013,34(9):74-79.

618.

- [21] 张长波, 孙红霞, 巩中军, 等. 植物萜类化合物的天然合成途径及其相关酶[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(4): 779-786.
- [22] 李爱军, 代惠娟, 娄本, 等. 烟草类胡萝卜素研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2364-2366.
- [23] 王卫峰, 章友爱, 陈子枫, 等. 自然醇化对烟叶化学组分及致香物质的影响[J]. 广西农学报, 2016, 31(2): 8-13.
- [24] 詹军, 刘冲, 贺帆, 等. 不同香型烤烟类胡萝卜素降解香气物质与评吸质量分析[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6): 2137-2142.
- [25] 阴耕云, 徐世涛, 阮昕, 等. 复烤过程中 B4F 烤烟烟叶类胡萝卜素和西柏烷类降解产物的变化[J]. 烟草科技, 2012, 45(10): 61-64.
- [26] 王玉华, 王德权, 高政绪, 等. 烤烟自然醇化过程中类胡萝卜素降解产物含量变化及其与感官质量的关系[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(2): 340-344, 394.
- [27] 席元肖, 刘阳, 李锋, 等. 不同外观烤烟类胡萝卜素及其降解产物含量的差异分析[J]. 烟草科技, 2012, 45(3): 67-74.
- [28] 高远, 张艳玲, 张仕祥, 等. 不同香型烤烟类胡萝卜素及其降解产物含量与感官质量的关系[J]. 烟草科技, 2014, 47(2): 38-43.
- [29] 马彩娟, 何冰, 孙计平, 等. 烤烟类胡萝卜素降解产物的配合力分析[J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(4): 465-470.
- [30] 黎光, 郑瑶青, 孙亦梁, 等. 赖百当挥发性香气成分的研究[J]. 分析测试通报, 1991, 10(2): 12-18.
- [31] 王蕾, 于瑞国, 石铝怀, 等. 不同岩蔷薇浸膏挥发性致香成分的 SED-CC-MS 分析研究[J]. 分析测试学报, 2004, 23(S1): 83-86.
- [32] 符云鹏, 王德华, 李志伟, 等. 不同产区香料烟香味成分含量比较[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1): 12-18.
- [33] 巩效伟, 段焰青, 黄静文, 等. 烤烟主要化学成分与烟叶等级和醇化时间的相关性研究[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(1): 31-34, 50.
- [34] WANG E M, WAGNER G J. Elucidation of the functions of genes central to diterpene metabolism in tobacco trichomes using posttranscriptional gene silencing[J]. Planta, 2003, 216(4): 686-691.
- [35] WANG E, WANG R, DEPARASIS J, et al. Suppression of a P450 hydroxylase gene in plant trichome glands enhances natural-product-based aphid resistance[J]. Nature biotechnology, 2001, 19(4): 371-374.
- [36] 王冬, 张小全, 杨铁钊, 等. 类西柏烷二萜代谢机理及调控研究进展[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(3): 113-118.
- [37] ENNAJDAOUI H, VACHON G, GIACALONE C, et al. Trichome specific expression of the tobacco (*Nicotiana sylvestris*) cembratrien-ol synthase genes is controlled by both activating and repressing cis-regions[J]. Plant molecular biology, 2010, 73(6): 673-685.
- [38] EL SAYED K A, LAPHOOKHIEO S, YOUSAF M, et al. Semisynthetic and biotransformation studies of (1S, 2E, 4S, 6R, 7E, 11E)-2, 7, 11-cembratriene-4, 6-diol[J]. Journal of natural products, 2008, 71(1): 117-122.
- [39] 向章敏, 唐远驹, 郑少清, 等. 不同晾晒烟品种西柏烷二萜醇的研究[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(5): 53-58.
- [40] 席元肖, 宋纪真, 杨军, 等. 不同颜色及成熟度烤烟香气前体物及降解产物含量的差异分析[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(4): 23-30.
- [41] 刘鹏, 褚建忠, 信培林, 等. 人工醇化上部烟叶重要中性致香物质与感官质量关系研究[J]. 山东农业科学, 2014, 46(12): 43-46.
- [42] 刘琳琳. 重庆烟区烤烟氯含量与中性致香物质的关系[J]. 山西农业科学, 2014, 42(6): 554-556.
- [43] 吴新华, 朱瑞芝, 倪朝敏, 等. 烟草中糖苷类香味前体物质研究进展[J]. 云南化工, 2009, 36(1): 62-65.
- [44] 岳肖一, 耿召良, 梁贵林, 等. 烟草中糖苷类潜香物质的研究进展[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2015, 28(4): 627-632.
- [45] 李英波, 宛晓春, 张正竹. 烟草糖苷类香气前体研究进展[J]. 烟草科技, 2006, 39(3): 41-43.
- [46] 史尧, 陈彦宇, 常路, 等. 糖酯类潜香物质的合成与应用[J]. 应用技术学报, 2017, 17(2): 120-123.
- [47] 孙平, 汤朝起, 王军, 等. 烟梗人工醇化过程中主要化学成分的变化[J]. 烟草科技, 2014, 47(4): 50-54.
- [48] 刘红光, 胡玲, 颜克亮, 等. 初烤烟叶自然醇化过程中内在化学成分变化研究[J]. 江西农业学报, 2015, 27(8): 71-75.
- [49] 胡亚杰, 韦建玉, 宗钊辉, 等. 云南不同烟区片烟醇化过程色度及主要化学成分变化特征研究[J]. 中国农学通报, 2020, 36(22): 143-153.

(上接第 17 页)

- [45] 王文蒙. α -淀粉酶抑制剂的提取、分离及性质研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2010.
- [46] 胡晓. 雅安藏茶不影响睡眠与咖啡碱含量的关系研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 131-136.
- [47] ERDEMIR U S. Contribution of tea (*Camellia sinensis* L.) to recommended daily intake of Mg, Mn, and Fe: An *in vitro* bioaccessibility assessment[J]. Journal of food composition and analysis, 2018, 69: 71-77.
- [48] 巩发永, 齐桂年, 张忠, 等. 四川边茶加工过程中主要组分和微量元素含量变化的研究[J]. 中国农村小康科技, 2006(10): 35-36, 46.
- [49] 黄亚亚. 茶叶中维生素的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(12): 2737-2740.
- [50] 齐兰兰. 康砖茶渥堆中酶活性变化及其对品质成分影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2011.
- [51] 郑云华. 四川康砖茶渥堆过程中菌群与氟含量分析及优势微生物鉴定[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- [52] 朱燕. 四川藏茶渥堆发酵中优势细菌的分离及分子鉴定[J]. 贵州茶叶, 2019, 47(3): 12-17.
- [53] 胥伟. 四川康砖茶渥堆过程中真菌种群的鉴定[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [54] 郑云华. 四川康砖茶渥堆过程中优势真菌的分离鉴定[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1261-1264.
- [55] 付润华, 齐桂年. 四川康砖茶的微生物研究[J]. 江苏农业科学, 2008, 36(5): 231-234.
- [56] 熊元元. 四川黑茶渥堆微生物多样性及空气微生物研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
- [57] 吕晓华, 徐家玉, 孙冉, 等. 藏茶保健作用的人体试饮研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(4): 168-171.
- [58] 朱佳妮, 张天泉, 李诗竹, 等. 藏茶降脂减肥作用的动物实验研究[J]. 食品科技, 2015, 40(4): 151-154.
- [59] 袁野, 章斌, 陆小琴, 等. 雅安藏茶对脂质代谢紊乱大鼠减肥降脂作用研究[J]. 中药药理与临床, 2016, 32(2): 161-164.
- [60] 郭金龙, 王春梅, 杜晓. 雅安藏茶对氧自由基清除能力评价[J]. 四川农业大学学报, 2009, 27(2): 189-192.
- [61] 郭金龙. 雅安藏茶活性级分筛选和评价研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [62] ZHENG Q R, LI W F, ZHANG H, et al. Optimizing synchronous extraction and antioxidant activity evaluation of polyphenols and polysaccharides from Ya'an Tibetan tea (*Camellia sinensis*) [J]. Food science & nutrition, 2019, 8(1): 489-499.
- [63] 艾小钰, 高玮, 黄霞, 等. 不同茶饮产品的抗氧化能力分析及感官评价[J]. 食品工业科技, 2015, 36(20): 164-167, 179.
- [64] 袁野, 章斌, 姚永秀, 等. 雅安藏茶调脂保肝及抗氧化作用研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2017, 38(1): 40-44.
- [65] 李解, 林莉岚, 谭晓琴, 等. 雅安藏茶对⁶⁰Co γ 辐射损伤小鼠的防护作用[J]. 营养学报, 2017, 39(4): 395-399.
- [66] 李解. 雅安藏茶及其茶褐素、茶多糖提取物对⁶⁰Co γ 辐射损伤小鼠防护作用的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
- [67] 许靖逸, 李祥龙, 李解, 等. 雅安藏茶茶褐素对⁶⁰Co γ 辐射损伤的防护作用[J]. 核技术, 2017, 40(4): 11-18.
- [68] 边金霖, 郭金龙, 李品武, 等. 雅安藏茶对胃蛋白酶的促进作用[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(3): 279-284.
- [69] 李解, 陈雪皎, 郭承义, 等. 雅安藏茶和低聚木糖复配物润肠通便作用[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 220-224.