

# 茶叶茶多酚的提取检测及生物活性研究现状

杨 广<sup>1</sup>,张唐伟<sup>2</sup>,李 颖<sup>2\*</sup>,王宁雪<sup>2</sup>

(1.西藏农牧学院 食品科学学院,西藏 林芝 860000;2.西藏自治区农牧科学院 农业质量标准与检测研究所,西藏 拉萨 850000)

**摘 要:**茶叶中有很多营养物质,包括茶多酚、茶氨酸、咖啡碱、茶多糖等,当茶被人们食用时,这些物质对身体起着很重要的作用,例如茶多酚能抗氧化性、预防心血管疾病,茶氨酸能抗抑郁、降血压、缓解疲劳等。该文就茶多酚提取方法的优缺点及检测方法进行讨论,同时对茶多酚的生物活性进行综述,以期对茶叶中茶多酚的利用与开发提供理论参考。

**关键词:**茶叶;茶多酚;提取检测;生物活性;研究进展

**中图分类号:**S571.1

**文献标志码:**A

## Research Status of Extraction, Detection and Biological Activity of Tea Polyphenols in Tea

YANG Guang<sup>1</sup>,ZHANG Tangwei<sup>2</sup>,LI Ying<sup>2\*</sup>,WANG Ningxue<sup>2</sup>

(1.College of Food Science, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Tibet Nyingchi 860000, China; 2.Institute of Agricultural Quality Standards and Testing, Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lhasa 850000, China)

**Abstract:** There are many nutrients in tea, including tea polyphenols, theanine, caffeine, tea polysaccharides, etc. When tea is eaten by people, these substances play an important role. For example, tea polyphenols have antioxidant properties and prevent cardiovascular disease, and theanine has antidepressant, antihypertensive effects, fatigue relief, etc. This article discussed the advantages and disadvantages of tea polyphenols extraction methods and detection methods, and reviews the biological activity of tea polyphenols, in order to provide theoretical reference for the utilization and development of tea polyphenols.

**Key Words:** tea, tea polyphenols, extraction and detection, biological activity, research progress

### 引言

茶树属于山茶科,茶叶是由茶树的叶或者芽经过晾晒、杀青等工序制作而成,与咖啡和可可合称为世界三大无酒精饮料。茶叶在我国有着悠久的历史<sup>[1]</sup>,最开始被人们当作一种药用植物,汉唐时期又把茶叶当作一种饮料进行饮用,到如今人们把喝茶当作一种习惯<sup>[2-3]</sup>,茶叶已经渗透到我国的每一个角落,成为了人们生活中必不可少的一种饮品。

茶叶中的主要物质为水和干物质两种,其中的水分含量在76%~79%左右;而干物质中生物碱占比3%~5%,脂肪8%,游离氨基酸1.2%~2.2%,有机酸3%,蛋白质20%~30%,糖类20%~25%,茶多酚20%~35%<sup>[4-5]</sup>。其干物质中茶多酚含量最多,茶多酚又名抗氧灵、维多酚,是由儿茶素、黄酮、花青素等物质组成的复合物,主要由表儿茶素[EC]、表没食子儿茶素没食子酸酯[EGCG]、表没食子儿茶素[EGC]和表儿茶素没食子酸酯[ECG]等<sup>[6-7]</sup>物质构成,占到茶多酚含量的70%~80%。自改革开放以来,茶多酚作为一种天然的抗氧化剂被广泛应用于油脂、食品及日化用品等方面,同时茶多酚在保健化妆品及洗浴用品中也有广泛的应用,本文就茶多酚提取方法及生物活性进行综述,为今后研究西藏茶叶提供理论基础。

收稿日期:2022-04-26

基金项目:西藏自治区重点研发项目;西藏主产茶叶质量安全评估(XZ202101ZY0004N)

作者简介:杨广(1995-),男,硕士研究生,主要从事食品加工与安全研究,E-mail:2418929262@qq.com;\*为通讯作者:李颖(1971-),女,硕士,研究员,主要从事农产品营养品质评价与鉴定研究,E-mail:271125732@qq.com。

## 1 茶多酚的提取与检测方法

### 1.1 茶多酚提取方法

茶多酚作为茶叶的主成分之一,具有很多生物活性<sup>[8]</sup>,目前提取茶多酚的方法主要分为两大类,以溶液浸提为主的化学提取法和借助物理仪器的物理提取法。

#### 1.1.1 化学提取法

常用的化学提取法包括溶剂萃取法和金属离子沉淀法。使用溶剂提取法进行实验时,茶叶中还会有很多溶解在溶剂中的杂质,例如多糖、咖啡碱、色素等。水浸提取法具有操作简便,快速安全,重复性与稳定性好等优点。唐艺盟等<sup>[9]</sup>在对南岳云雾茶中茶多酚进行提取时,对水浴浸提取法进行了优化,得到的最佳条件料液比为1:60,浸提时间为10 min,得到的茶多酚提取率为20.71%;相比于水浸提取法,使用有机溶剂浸提的效率更高<sup>[10]</sup>;黄秋森<sup>[11]</sup>使用75%乙醇溶液对茶多酚进行提取,采用氯仿和物料比为1:1的比例对提取物质进行除杂,最后用乙酸乙酯和物料比为1:1的比例进行3级错流萃取茶多酚,得到的萃取物中儿茶素质量分数为80%。总体来说,使用溶剂萃取法对茶多酚进行提取,具有溶剂成本低、速度快、操作简单等优点,但得到的提取率较低,杂质较多,且使用有机溶剂,不可避免地对环境造成污染,但结合成本及实验条件等方面综合考虑,现在的很多研究仍会采用溶剂提取法提取茶多酚。

金属离子沉淀法是另一种提取茶多酚的化学提取法<sup>[12]</sup>,阮雪莲<sup>[13]</sup>使用金属离子沉淀法提取茶多酚时,分别对比了 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 共6种离子的提取率以及使用复合离子的提取率, $\text{Ca}^{2+}$ 的提取率最低为7.0%, $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 复合金属离子的提取率最高为15.47%;胡拥军等<sup>[14]</sup>使用离子沉淀法对安化黑茶中的茶多酚进行提取,首先对离子进行选择,常用的有 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 等离子。由于使用 $\text{Al}^{3+}$ 离子后会残留,容易造成老年痴呆,综合考虑后选择 $\text{Zn}^{2+}$ 离子进行实验,再配合福林酚分光光度法进行检测,最终得到茶多酚沉淀率为96.47%。虽然使用金属离子沉淀法得到的茶多酚纯度高,但此方法也存在提取率低和安全性低等缺点。

#### 1.1.2 物理提取法

综合文献,常用来提取茶多酚的物理方法有膜分离法、超临界流体萃取法、超声波辅助浸提法、微

波辅助浸提法等<sup>[15]</sup>

膜分离法利用膜的两侧存在电位差或浓度差的原理,将部分成分穿过膜,从而实现物质分离。膜分离法不使用有机溶剂、提取过程中不用进行加热处理,却也存在过滤效率低,实验成本大等缺点,但使用此方法得到的茶多酚活性较高。张春静等<sup>[16]</sup>采用多孔的醋酸纤维膜为支撑体,制备EGCG分子印迹复合膜并将该膜用于分离富集茶多酚中的EGCG。高效液相色谱检测所得的EGCG纯度达到93%。

超临界流体萃取技术是一种新兴的分离技术,一般以 $\text{CO}_2$ 作为流体,在操作过程中不使用有机溶剂,操作过程简单方便,安全性能高,但同时也存在提取效率低、仪器成本大等缺点。张志旭等<sup>[17]</sup>使用此方法对茶多酚进行提取时,对茶叶粉碎过20目筛,以 $\text{CO}_2$ 为流体,乙醇为夹带剂,按茶叶质量的40%添加百分比为50%的乙醇,茶多酚提取率可以达到90.6%。

超声波辅助浸提法是利用超声波使物质的细胞破碎,从而达到对物质的提取,使用超声波提取,被提取物质的损耗低,物质的提取率高,同时还具有提取温度低、安全性能高等优点,是目前提取茶多酚常用的方法之一。隋世江等<sup>[18]</sup>使用超声波辅助乙醇进行浸提,研究超声波提取茶多酚的工艺,并进行优化处理,得到了最佳提取工艺,最终以85%的乙醇为溶剂,在70℃浸提90 min的条件下,茶多酚提取率为11.27%;Wan等<sup>[19]</sup>使用超声波提取茶多酚时,运用离子沉淀法同时进行提取,以1-丁基-3-甲基咪唑溴盐为溶剂,浓度0.3 mol/L,料液比1:30、超声时间20 min、功率590 W,在此提取条件下,有8.40%的茶多酚被提取出来。

微波辅助浸提法是利用微波来加快分子的运动速率,从而达到快速分离的效果,具有操控简单、能耗低、提取率高且产品安全等优点,是一种较为理想的提取方式,目前常与超声波两者结合辅助提取,这样的效率和提取率都比单独提取高。陈海燕等<sup>[20]</sup>在提取香花油茶叶的茶多酚时采用两者结合辅助提取,设计了单因素条件,找到了最佳工艺进行提取,并对提取的茶多酚使用乙醇纯化,最终得到的茶多酚提取率为12.18%。除上述实验方法外,还有一些提取茶多酚的方法,例如树脂吸附分离法<sup>[21-22]</sup>、酶解法<sup>[23-24]</sup>等,这些方法也可以有效地将茶多酚从茶叶中提取出来,但树脂吸附分离法对

树脂的使用量较大,且容易出现空洞堵塞和失活等现象,而酶解法的生产成本过高,两者不容易实现大规模的生产。

化学提取法具有低成本、高效率的优点,可以很好地将茶多酚从茶叶中提取出来,使用超声波或微波进行辅助提取时效率更高。

## 1.2 茶多酚的检测方法

茶多酚不是单一的纯净物,是一种混合物,要对其进行精确的测定非常困难,但随着科技的发展,越来越多的检测仪器被研究出来,使用在茶多酚成分检测方面的仪器也有很多,包括高效液相仪、质谱仪、光谱仪等。

### 1.2.1 分光光度法

分光光度法是利用分光光度计测定物质的吸光度,再根据被测物质浓度与吸光度两者之间的关系,计算出被测物质的含量。分光光度法测定物质含量具有测定范围广、操作简单,灵敏度高优点,但同时也有检测物质容易被干扰、有机试剂污染环境等缺点<sup>[25]</sup>。实验室测定茶多酚含量有直接测定和间接测定两种方法,直接测定法是由于茶多酚物质含有不饱和键,在紫外光的照射下有两个显著的吸收带,其中儿茶素在紫外光照射下,在205 nm处和375 nm处有最大的吸收波长,因此现在也将这两个波长作为茶多酚儿茶素的吸收波长<sup>[26]</sup>,目前采用分光光度法测定茶多酚物质的主要方法有福林酚衍生比色法和酒石酸亚铁比色法两种。Yue等<sup>[27]</sup>采用福林酚衍生分光光度法,使用70%乙醇在70℃水浴下进行提取,并使用福林酚衍生法衍生,在765 nm处有最大吸收波长。分光光度计的间接法通过离子络合茶多酚,形成络合物,然后测定络合使用的离子浓度或者测定剩余溶液中的离子浓度,从而间接计算出茶多酚含量。

### 1.2.2 高效液相色谱法

高效液相色谱法,是利用物质在色谱柱中的流速和吸附能力不同,进而对物质进行分离的方法。王奕霏等<sup>[28]</sup>采用高效液相法对茶叶中的多酚、咖啡因、生物碱等进行了测定,使用紫外-可见分光光度计找到茶多酚的测定最大吸收波长为280 nm,共测定了浙江龙井、福建绿螺、阳羡雪芽、西乡特炒、广东绿茶和极峰绿茶6种茶叶的茶多酚含量,分别为110.9 mg/g,105.2 mg/g,78.87 mg/g,76.91 mg/g,75.73 mg/g和62.07 mg/g;严开芹等<sup>[29]</sup>建立了一种同时测定茶多酚中5种儿茶素的方法,经过方法学的验

证,该方法回收率在93%以上,且所测的5种物质线性相关系数都在0.999以上;于然等<sup>[30]</sup>使用相应面法优化了茶多酚的水浸提取法和醇提取法工艺,在最佳工艺下对茶多酚进行提取,使用高效液相色谱法对茶多酚中的儿茶素含量进行测定,最大吸收波长为280 nm,最终在白茶中的EGC含量最高为8.357 mg/mL,竹叶青绿茶中EGCG含量最高为5.248 mg/mL,同时还使用高效液相法比较了水浸提取和有机溶剂提取两种方法的提取率,测得两者的提取率分别为13.47 mg/mL和11.30 mg/mL,结果表明水浸提取法的提取效率更高。在最近的研究中,超高效液相色谱法测定茶多酚中儿茶素含量的方法应用越来越多,相较于高效液相法,此方法的测定时间更短、所用的试剂用量更少,精密度更高。崔利辉等<sup>[31]</sup>运用超高效液相法测定时,在8 min内可以测出7种儿茶素类物质,此方法的精密度在1.7%以上,回收率在93.1%以上,最低检出限为6.1 mg/kg;曹敏等<sup>[32]</sup>使用超高效液相法测定茶多酚时,建立了一种可以检测出9种儿茶素物质的方法,使用无水乙醇为溶剂,甲醇-0.1%醋酸为流动相,在ZORBAX Eclipse PlusC18色谱柱(2.1×50 mm,1.8 μm),柱温35℃,流速为0.55 mL/min,进样量为0.5 μL的仪器条件下,经方法学检验,证明良好的线性关系达到0.9999、精密度在0.09%~0.12%之间,稳定性在0.17%~0.75%之间,且该方法的重现性很好,在0.09%~0.47%,样品的回收率在89%~115%之间。

### 1.2.3 质谱法

质谱法利用离子在电场和磁场中运动,由于质荷比不同,被分离出来测定,由此测定出离子的质量,从而确定物质的组成的方法。在对茶多酚的检测中,此方法多与色谱进行联用,例如高效液相色谱-质谱联用、超高效液相色谱-质谱联用等。杜欢欢等<sup>[33]</sup>使用超高效液相色谱-串联四级杆质谱法在9.5 min内测定了茶叶中的8种有效物质,样品用百分比为70%的甲醇水浴提取,进行色谱柱分离后,使用外标法进行定量分析,结果表明8种物质的最低检出限在3.0 ng/mL以上,样品的回收率不低于94.7%,测出的含量最高的物质为表儿茶素[EC],含量为(11.26±0.23) mg/g;Pelillo等<sup>[34]</sup>利用高效液相色谱对绿茶中的儿茶素进行检测,同时采用质谱仪和紫外检测器两种方法对其进行定量分析;Rha等<sup>[35]</sup>使用HPLC-UV和单四极质谱检测器(MS1)测



定了茶叶中的酚类成分;胡湘蜀等<sup>[36]</sup>建立了一种液质联用的方法,这种方法可以在20 min内检测出17中茶多酚中的酚类物质,最低检出限为1.6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,样品回收率不低于99.0%,被检测出的物质中EGCG含量最高为310.23 mg/g。

#### 1.2.4 其他测定方法

还有很多测定茶多酚含量的方法,如化学分析法:使用高锰酸钾等强氧化剂对酚类进行氧化,计算氧化剂的消耗量,从而计算出茶多酚含量,但此方法有不易计算氧化剂消耗量、容易被其他还原性物质影响结果等缺点<sup>[37]</sup>。还有滴定法<sup>[38-39]</sup>、流动注射法<sup>[40-41]</sup>等。最近还有一种新型的电化学检测方法,谢耀聪<sup>[42]</sup>在最近的研究中提出了一种新的检测茶多酚的方法:基于微流控芯片的茶多酚电化学检测方法,该方法对茶多酚的最低检出限为 $6.9\times 10^{-7}\text{ mol/L}$ ( $S/N=3$ ),重现性为1.739%,再现性为2.231%,稳定性为2.068%,样品回收率不低于97.6%。

## 2 茶多酚生物活性研究进展

茶多酚具有很多生物活性功能,如抗氧化性、预防心血管疾病、预防阿尔默茨海默症以及调节肠道功能等。

### 2.1 抗氧化活性

朱柏雨等<sup>[43]</sup>研究了四川黑茶中的活性成分及其抗氧化能力,运用福林酚法来计算茶叶中的总多酚含量,运用化学分析法计算总黄酮的含量,而后测定茶多酚的抗氧化活性,结果表明四川黑茶经过一系列的处理后,茶叶中的总多酚含量显著降低,总黄酮含量并没有太大的变化,产生这样结果的原因可能与其独特的制作工艺有关;陈霞等<sup>[44]</sup>对超微茶粉益生菌慕斯中的茶多酚含量及抗氧化性进行测定,结果显示添加了超微茶粉的慕斯清除DPPH自由基的能力比对照组强,且随着茶粉添加量增大而增强,在所测定的数据中,茶多酚含量最高为1.791 mg/g,相对应的是清除自由基的能力也最强为81.3%,且绿茶粉茶多酚含量和清除DPPH自由基的能力强于红茶,其原因在于红茶经过发酵,多酚类物质在发酵过程中损失;Wang等<sup>[45]</sup>研究了铁观音乌龙茶提取物中的化学成分及其抗氧化活性,针对提取物中的乙酸乙酯组分(TEF)、正丁醇组分(TBF)进行抗氧化能力研究,使用EGCG和BHT(一种抗氧化剂)标准品进行对比,在DPPH自由基清除

实验中,4组样品表现出来的抗氧化能力为EGCG>TEF>TBF>BHT,在ABTS+自由基清除实验中,除了TBF之外,其余3种样品都具有有效清除ABTS+自由基的能力,综合表现为EGCG>TEF>BHT,在FARP实验中,综合能力表现为EGCG>TEF>TBF>BHT。

### 2.2 预防心血管疾病

心血管疾病的发生主要受环境以及遗传因素的影响,其主要诱因包括高血脂、糖尿病、肥胖以及动脉粥样硬化等。

张然等<sup>[46]</sup>将128名老年糖尿病患者分成两组,一组正常饮食,另一组则每日饮用定量绿茶,3个月后饮用绿茶的糖尿病患者体内血糖生成指数明显减少,表明饮用茶水可以预防糖尿病,从而起到预防心血管疾病的作用;Butacnum<sup>[47]</sup>等将实验者分为正常组和糖尿病组,对用餐和食用茶多酚后体内的血糖含量进行测定,结果表明茶多酚对糖尿病患者餐后的血糖生成有抑制作用,其中的EGCG具有降低血糖含量、抑制体质量增加等作用,从而对肥胖和高血糖引起的心血管疾病进行预防;张姝萍等<sup>[48]</sup>综述茶多酚对心血管疾病的预防作用时,主要论述茶多酚对动脉粥样硬化的抑制作用,通过夏天炎症分子的基因表达、调节人体内的血脂水平,抑制血管内皮细胞的凋亡以及调节相关酶的活性等途径来预防动脉粥样硬化,从而起到预防心血管疾病的作用。

### 2.3 调节肠道菌群结构

一些肠道菌群的存在会导致肥胖和一些代谢性疾病,同时肠道生态失调会导致宿主代谢紊乱和炎症等相关病症。有研究表明,喝茶可以影响肠道菌群的代谢,从而对肥胖和一些代谢性疾病进行预防。周方等<sup>[49]</sup>在研究中发现茶叶的茶多酚可以调节肠道菌群的结构和功能;吴根梁等<sup>[50]</sup>研究不同年份的陈年茯砖茶多酚对老年人肠道菌群的影响,首先针对其含量进行测定,结果表明茶多酚含量随着陈放年数增加而减少,探究其对肠道菌群影响时采用体外培养,取老年人肠道菌群制作培养基,加入茶多酚一起培养。经培养后,培养基中老年人肠道菌群的丰富度和多样性水平明显提高;刘智伟等<sup>[51]</sup>将实验小鼠分为3组,分别喂养常规饲料、高脂饲料以及高脂饲料和茶多酚混合物进行实验,实验结果表明高脂组小鼠肠道菌群的多样性显著低于常规饲料组和茶多酚组,通过对3组小鼠的菌群进行

分析,发现高脂饲料组、高脂饲料和茶多酚混合组都有特定的菌群,表明茶多酚可以有效调节高脂饮食引起的肠道菌群紊乱;Yang等<sup>[52]</sup>等研究傅速溶茶对高脂喂养的实验小鼠肠道微生物失调的调理功能,测定了茶叶中的茶多酚和茶氨酸等含量,发现在茶叶制作过程中,茶多酚含量从 $(36.3 \pm 1.4)$  mg/g增加到 $(111 \pm 6)$  mg/g,最终结果表明傅速溶茶改善了高脂饮食小鼠肠道菌群的丰富度和多样性,同时提高了高脂饮食小鼠和常规饮食小鼠肠道微生物结构的相似性。

最新的研究发现,茶多酚还具有抗辐射的功效<sup>[53-55]</sup>,抗流感病毒作用<sup>[56-58]</sup>,同时可以有效地预防阿尔默茨海默症。研究表明,茶多酚对 $\beta$ -淀粉样蛋白的3个方面进行抑制,还可以通过抑制Tau蛋白磷酸化与聚集、抑制乙酰胆碱降解这两个途径来防治阿尔默茨海默症的发生<sup>[59]</sup>。

### 3 展望

对茶叶茶多酚的开发利用,都离不开茶多酚的提取与检测,对茶多酚提取工艺的开发和优化,最大化地将茶多酚提取出来,同时对茶多酚含量进行科学、精确、快速的检测至关重要。本文对近几年茶多酚提取与检测方法、茶多酚生物活性功能等进行综述,旨在为后续西藏茶叶中的茶多酚开发及利用提供参考借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 陈宗懋.《中国茶经》(2011年修订版)简介[J].中国茶叶,2012(6):49.
- [2] 倪凯.略论中国茶叶发展的历史节点[J].福建茶叶,2020,42(6):320-321.
- [3] 孙舒悦.茶历史文化的传承与发展策略探究[J].福建茶叶,2021,43(1):284-286.
- [4] 郑瑛珠.茶叶的主要化学成分及其营养价值[J].福建茶叶,2020,42(11):21-22.
- [5] 袁自春,李毅,杨普.茶内含物综合利用及茶深加工品研究进展[J].中国茶叶加工,2006(1):29-31.
- [6] MA H, RU X, WANG J, et al. Study on the Antioxidant Capacity of Four Tea Water Extracts and Tea Polyphenols in Vitro [J]. Food Research and Development, 2019, 40(8):65-70.
- [7] 蒲晓亚,袁毅君,王廷璞,等.茶叶的主要呈味物质综述[J].天水师范学院学报,2011,31(2):40-44.
- [8] YANG C S, WANG H, SHERIDAN Z P. Studies on Prevention of Obesity, Metabolic Syndrome, Diabetes, Cardiovascular Diseases and Cancer by Tea[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2018, 26(1):1-13.
- [9] 唐艺盟,李彦,唐芝,等.南岳云雾茶中茶多酚含量的水浴浸提法工艺优化研究[J].天津农业科学,2021,27(11):4-6.
- [10] 张欣然.茶多酚提取技术研究进展[J].中国野生植物资源,2020,39(10):74-77.
- [11] 黄秋森.有机溶剂提取萃取法生产茶多酚工业试验[J].现代化工,2006(9):49-51.
- [12] 胡莉娟.绿茶中茶多酚的提取工艺研究[J].云南农业大学学报(自然科学版),2011,26(3):426-429.
- [13] 阮雪莲.离子沉淀法、溶剂萃取法提取茶多酚的比较研究[J].蚕桑茶叶通讯,2010(1):30-31.
- [14] 胡拥军,蔡育鹏.安化黑茶中茶多酚的浸取与分离[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2018,27(6):67-70.
- [15] 张劲,彭天英,张令君,等.茶多酚提取技术及其功能化研究进展[J].广东化工,2019,46(4):86-87.
- [16] 张春静,钟世安.乙酸纤维-EGCG分子印迹复合膜分离纯化茶多酚中的EGCG[J].膜科学与技术,2008(5):100-102,109.
- [17] 张志旭,陈金发,张杨波,等.超临界萃取茶多酚工艺优化及萃取物茶多酚对化妆品的功效影响研究[J].茶叶通讯,2020,47(3):462-466.
- [18] 隋世江,韩京峰,隗英华.超声波辅助提取绿茶中茶多酚的方法研究[J].辽宁农业科学,2019(3):22-25.
- [19] WAN C, LI Q H, ZENG C Z, et al. Optimization of Extraction Technology of Tea Polyphenols From Pu-erh Tea Based on Ionic Liquid and Ultrasonic Wave[J]. Journal of Tea Communication, 2021, 48(3):494-500.
- [20] 陈海燕,李沐晓,周则华,等.香花油茶茶叶的茶多酚提取、纯化及其抗氧化活性研究[J].广西林业科学,2020,49(3):391-396.
- [21] 曹雪文,熊道陵,王露琦,等.树脂法提取茶多酚的工艺研究[J].有色金属科学与工程,2019,10(5):54-60.
- [22] 蓝梧涛,吴雪辉,章文.油茶叶多酚纯化工艺优化及其对油脂的抗氧化作用[J].南方农业学报,2019,50(9):2058-2064.
- [23] LUO L X, JIANG Q, LI X, et al. Study on Technique of Compound Enzyme Extraction of Tea Polyphenols from Tieguanyin Tea Stalks[J]. Food Research and Development, 2020, 41(24):79-85.
- [24] 高仁金,林文良.超声辅助酶解法从茶叶废料中提取茶多酚[J].广州化学,2015,40(2):22-26.
- [25] 杜欢欢.茶叶中茶多酚、茶色素检测技术研究及茶多酚快速检测技术构建[D].汉中:陕西理工大学,2017.
- [26] 邝柏贤,陈曼,周慈敏,等.茶多酚检测方法综述[J].广东茶业,2016(2):14-16.
- [27] YUE H, NING Y L, WEN J, et al. Spectrophotometric Determination of Tea Polyphenols in Milk Tea Powder Using Folin-phenol Reagent[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2020, 43(5):13-16.
- [28] 王奕霏,王珊珊,陈丰,等.高效液相色谱法测定茶叶中有效成分含量的方法综述[J].化工设计通讯,2020,46(6):156,158.
- [29] 严开芹,曾小平,向君毅.同时检测茶叶中5种儿茶素和咖啡因的QuEChERS-HPLC方法研究[J].食品安全导刊,2019(21):71-74.
- [30] 于然,李晔,金丽华,等.高效液相色谱法同时测定茶叶中6

- 种茶多酚含量[J].中国食品添加剂,2021,32(5):74-82.
- [31] 崔利辉,胡娜,李璐琦.超高效液相色谱法测定茶叶中的儿茶素[J].食品安全导刊,2021(20):79-80.
- [32] 曹敏,王元春,蒙秋艳,等.超高效液相色谱法快速测定茶多酚中儿茶素类化合物的含量[J].轻工科技,2021,37(4):5-7,77.
- [33] 杜欢欢,蔡艳妮,江海,等.超高效液相串联质谱同时测定茶叶中的8种有效物质[J].陕西理工大学学报(自然科学版),2017,33(3):74-80.
- [34] PELILLO M, BONOLI M, BIGUZZI B, et al. An investigation in the use of HPLC with UV and MS-electrospray detection for the quantification of tea catechins[J]. Food Chemistry, 2004, 87(3): 465-470.
- [35] RHA C S, CHOI Y M, KIM J C, et al. Cost-Effective Simultaneous Separation and Quantification of Phenolics in Green and Processed Tea Using HPLC - UV - ESI Single-Quadrupole MS Detector and Python Script[J]. Separations, 2021, 8:45.
- [36] 胡湘蜀,寇兴然,苏建辉,等.液质联用法同时测定茶多酚中17种多酚物质[J].分析试验室,2015,34(7):822-826.
- [37] 沈玫.茶多酚的分析方法及其质量标准研究[D].上海:上海交通大学,2014.
- [38] 罗一帆,郭振飞,朱振宇,等.近红外光谱测定茶叶中茶多酚和茶多糖的人工神经网络模型研究[J].光谱学与光谱分析,2005(8):1230-1233.
- [39] 陈磊.不同种类茶叶中茶多酚含量的测定和分析[J].食品安全导刊,2021(25):71,73.
- [40] 米娟,王九春,马永钧,等.流动注射化学发光法测定茶叶中的茶多酚[J].宁夏大学学报(自然科学版),2011,32(2):168-171.
- [41] 衷明华.茶多酚的流动注射-共振光散射法测定[J].食品科学,2009,30(10):219-221.
- [42] 谢耀聪.基于微流控芯片和电化学技术的茶多酚检测方法研究[D].无锡:江南大学,2020.
- [43] 朱柏雨,夏陈,罗棵濒,等.四川黑茶活性成分、抗氧化能力及品质评价[J].食品与机械,2021,37(8):24-32.
- [44] 陈霞,唐晨阳,马昕怡,等.超微茶粉对益生菌慕斯品质及抗氧化活性的影响[J/OL].食品与发酵工业:1-7[2022-01-10]. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.029085.
- [45] 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):e12894
- [46] 张然,俞鸣.茶叶中的营养成分对于调节老年糖尿病患者营养结构的影响[J].福建茶叶,2020,42(4):8-9.
- [47] BUTACNUM A, CHONGSUWAT R, BUMRUNGPET A. Black Tea Consumption Improves Postprandial Glycemic Control in Normal and Pre-Diabetic Subjects: a Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Crossover Study [J]. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 2017, 26(1): 59-64.
- [48] 张姝萍,王岳飞,徐平.茶多酚对动脉粥样硬化的预防作用与机理研究进展[J].茶叶科学,2019, 39(3): 231-246.
- [49] 周方,欧阳建,黄建安,等.茶多酚对肠道微生物的调节作用研究进展[J].茶叶科学,2019, 39(6): 619-630,616.
- [50] 吴根梁,侯爱香,李珂,等.陈年茯砖茶多酚类对老年人肠道菌群的影响研究[J].茶叶科学,2018,38(3):319-330.
- [51] 刘智伟,曾本华,张晓婧,等.茶多酚饮食对HFA小鼠肠道菌群和脂肪代谢的影响[J].中国食品学报,2015,15(6):26-31.
- [52] YANG F, FENG B, NIU Y J, et al. Fu Instant Tea Ameliorates Fatty Liver By Improving Microbiota Dysbiosis and Elevating Short-Chain Fatty Acids in the Intestine of Mice Fed a High-Fat diet[J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101207.
- [53] 王岳飞,梁善珠,张士康,等.茶多酚抗辐射制剂安全毒理学研究[J].茶叶科学,2011,31(5):405-410.
- [54] 郑侠,袁根良,杨晓惠,等.番茄红素茶多酚组合物抗辐射作用研究[J].粮食科技与经济,2018,43(4):36-38.
- [55] 张建勇,王伟伟,王蔚,等.茶多酚保健及药理功能的应用[J].中国茶叶,2020,42(12):9-15.
- [56] 黄深惠,汤有志,周雪梦,等.茶多酚体内外抗流感病毒作用研究[J].茶叶科学,2010,30(4):302-308.
- [57] 吕其壮,谢高茵,陈旭健.茶多酚抗病毒作用及机制研究进展[J].中国预防兽医学报,2021,43(6):672-678.
- [58] 易娟,刘森.茶中多酚类化合物抗流感病毒的研究进展[J].激光生物学报,2020,29(5):392-398.
- [59] 唐静怡,周方,曾鸿哲,等.茶叶功能成分预防阿尔茨海默病研究进展[J/OL].食品工业科技:1-19[2022-01-10]. DOI: 10.13386/j.issn 1002-0306.2021100205.