

茶叶品质检测主要方法进展

黄玉双, 丁千芸, 陈 慧, 谭 超*

宜宾学院, 过程分析与控制四川省高校重点实验室, 四川 宜宾

收稿日期: 2023年4月9日; 录用日期: 2023年4月29日; 发布日期: 2023年5月10日

摘 要

伴随着当今中国茶文化的发展, 茶叶作为世界三大饮料之一, 逐渐成为人们生活的必需品。我国是茶叶生产消费的第一大国, 且茶作为人们喜爱的绿色健康饮品, 其中富含有利于人体健康的茶多酚、咖啡碱和茶氨酸等多种活性成分。近年来, 随着人们对茶叶需求量的增加, 茶叶品质的保障成为了一个不可忽视的问题。因此, 利用当前的先进科学技术和仪器, 设计出简单易行且准确率高的茶叶品质的检测方法有着重要的研究价值。目前茶叶品质的检测方法主要有化学分析法和仪器分析法。本文对于茶叶中主要活性成分的检测方法进行了综述, 旨在为茶叶的质量检测提供技术参考。

关键词

茶叶, 活性成分, 品质, 检测方法

Progress in the Main Methods of Tea Quality Detection

Yushuang Huang, Qianyun Ding, Hui Chen, Chao Tan*

Key Laboratory of Process Analysis and Control of Sichuan Universities, Yibin University, Yibin Sichuan

Received: Apr. 9th, 2023; accepted: Apr. 29th, 2023; published: May 10th, 2023

Abstract

With the development of tea culture in China today, tea is one of the three major beverages in the world, it has gradually become a necessity for people's lives. China is the largest country in tea production and consumption, tea as people's favorite green healthy drink, it is rich in a variety of active ingredients such as tea polyphenols, caffeine and theanine that are beneficial to human health. In recent years, with the increase in people's demand for tea, the guarantee of tea quality

*通讯作者。

has become a problem that cannot be ignored. Therefore, it is of great research value to use the current advanced science and instruments to design simple and easy tea quality detection methods with high accuracy. At present, the detection methods of tea quality include chemical analysis and instrumental analysis. In this paper, the detection methods of the main active ingredients in tea are reviewed, aiming to provide a technical reference for the quality detection of tea.

Keywords

Tea, Active Ingredients, Quality, Detection Methods

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国是茶叶的发源地，早在 6000 多年前，我国便发现了茶树并开始繁育、栽培茶树，加工、利用茶叶。不仅如此，我国也是世界上最大的茶叶生产国、消费国和贸易国之一。茶作为世界三大饮料之一，具有丰富的保健和药用价值，其中富含茶多酚、咖啡碱、茶氨酸等多种功效成分，具有抗氧化、抗肿瘤、抗辐射和预防高血压等生理功能[1]。

当前我国茶叶行业迎来较好的发展时机，伴随着经济全球化，茶叶作为我国一带一路的贸易商品，受到国内外越来越多人的喜爱。但同时也暴露出不可忽视的茶叶质量安全问题：稀土超标、农残超标、工业染色剂的非法添加、微生物与生物毒素污染、重金属污染及其他来源的二次污染等[2] [3]。近年来，随着人们生活品质的提高，人们对于健康和食品安全的重视程度也日益增强，对于茶叶的品质要求也越来越严格。因此，急需一种快速、灵敏的检测手段对茶叶品质进行检测，使其对食品安全的保障、茶叶市场的规范和茶叶品牌形象的树立有极大帮助。

目前，我国茶叶品质的检测方法主要有两种：感官鉴别法和分析测定法。传统的茶叶鉴别方法是人们通过感觉器官评定茶叶种类及品级，由于其过于繁琐并且存在较大的人为误差，使其不能用于茶叶品质准确、快速的检测。分析测定法主要包括：化学分析法和仪器分析法。其中化学分析法主要用于茶叶功效成分的检测，包括滴定法、比色法、纸层析法等。仪器分析法主要包括近红外光谱技术、色谱法、紫外可见分光光度法以及三维荧光光谱技术等。

近年来随着社会的迅速发展，针对茶叶中主要活性成分的检测一般采用分析测定的方法，其中仪器分析法因其绿色、高效、准确性较好等优点对于茶叶品质的检测起到了重要的作用，并以此为依据结合化学计量学，可以建立茶叶活性成分鉴定及种类鉴别等一系列识别模型，从而在一定程度上避免了如今茶叶化学测定的繁琐步骤和人工感官存在的人为误差。因此，研究快速、简便、准确的方法用于茶叶品质的检测是十分必要的。

2. 茶叶中活性成分的主要检测方法

针对茶叶的主要活性物质的检测，主要采用分析检测的方法，包括化学分析法和仪器分析法。化学分析法，主要包括滴定法[4]、比色法[5] [6]以及纸层析法[7] [8]等方法，其中纸层析法仅用于茶叶活性物质的分离提取，不能进行定量的分析，具有较大的局限性。近年来，随着人们对绿色、快捷、准确的追求，针对茶叶品质的检测逐渐发展了仪器分析法，主要包括：可见分光光度法[9] [10]、近红外光谱技术

[11] [12] [13]、三维荧光光谱技术[14] [15]、色谱技术[16] [17] [18]等方法,下面针对茶叶中主要活性物质——茶多酚、生物碱和茶氨酸的主要检测方法进行阐述。

2.1. 茶多酚的检测

茶多酚(Tea polyphenols)是茶的主要活性成分,又名茶鞣质、茶单宁,是从茶叶中提取的纯天然多酚类物质,是茶叶中酚类物质的总称。其含量占鲜茶叶干物重的 15%~25%,是决定茶汤滋味和颜色的主要成分,也是决定茶叶品质的关键物质[19]。茶多酚的主要成分包括黄烷酮类(主要为儿茶素化合物,其结构如图 1 所示)、黄酮醇类、黄酮类、酚类物质以及青花素等,具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、抗炎抑菌、抗辐射等作用。广泛应用于医疗、食品、工业等领域。由于茶多酚具有巨大的应用价值,因此寻求准确、高效、简便的检测方法对于茶叶中茶多酚的研究具有重要意义。

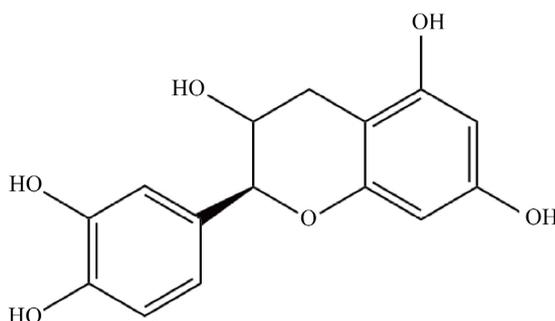


Figure 1. Structural formula of catechins

图 1. 儿茶素结构式

目前常用的检测方法主要有滴定法、比色法、光谱法、色谱法、电化学法以及毛细管电泳法等方法。其中光谱法(又称光谱分析法),主要包括分光光度法(分光光度法主要包括紫外分光光度法、可见分光光度法和间接原子吸收分光光度法)、三维荧光光谱法、近红外光谱法和流动注测分析技术;色谱法(又叫色谱分析法),主要用于多组分检测,包括气相色谱法、高效液相色谱、高效薄层色谱以及色谱与质谱联用技术。上述技术可用于茶多酚的定性或定量检测,对于茶叶品质的检测发挥着十分重要的作用,详细内容如下表 1 所示。

Table 1. The main detection method of tea polyphenols in tea

表 1. 茶叶中茶多酚的主要检测方法

检测方法	优点	缺点	目的	参考文献
滴定法	快速、简便	准确度不高、滴定终点不明显,存在人为误差	茶多酚含量的测定	[4]
比色法	简单、安全	需要通过其他物质使茶叶中多酚类物质显色,操作繁琐,有人工配置显色试剂带来的误差;显色试剂还易受其他还原性物质的干扰,误差较大且费时	茶多酚含量的测定	[5]
近红外光谱法	绿色、针对性较强、灵敏度高	有荧光淬灭、散射光干扰;数据较多,建模困难	茶多酚的定性定量分析	[11]
三维荧光光谱技术	绿色、快速、取样量少	瑞利散射的影响	茶多酚的定性定量分析	[14] [15]

Continued

高效液相色谱	选择性好、取样量少、灵敏度高、快速	操作复杂、对操作人员要求较高；费时且成本较高	茶多酚的定性定量分析(能同时测定多组分，有效分离茶多酚，对其组分精确定量)	[17]
气相色谱法	可同时检测多种儿茶素、快速、取样量少	操作步骤繁琐，待测物质不稳定	茶多酚的定性检测(适用于茶多酚中易挥发的组分)	[20]
高效薄层色谱	可同时进多个样、测定多个组分	待测样品数量较大、费时、成本较高	茶多酚的定性定量分析(能有效分离茶多酚，对其组分进行测定)	[21]
分光光度法	快速、试剂用量少	需要人为配置标准液，存在仪器和人为误差	茶多酚含量的测定	[22]
电化学法	可克服人为操作带来的误差，重现性好、时间短	装置较为复杂，仪器设备要求较高	茶多酚的定性定量分析	[23]
毛细管电泳法	方便、快速	重复性差、精确性不高	茶多酚的定性定量分析	[24]
流动注射分析技术	待测样品无需处于稳定状态，预处理时间减少、装置简单	只能检测还原型茶多酚，精确性较低	茶多酚的定性定量分析	[25] [26]
基于纳米材料的检测技术	准确性高、精确性高	检测方法复杂、材料昂贵、成本高	茶多酚的定性定量分析	[27]

对于上述仪器分析方法，其中三维荧光光谱技术、近红外光谱法等方法一般不会单独使用来进行茶多酚的定性定量分析，而是利用多种数据处理工具，并与化学计量学结合进行数据的处理整合，进而得到更为准确的测定结果；对于流动注射分析技术，通常与分光光度法结合，来快速检测茶叶中多酚类物质含量，或者与双电化学检测器结合分析关键的多酚官能团以此来评价茶叶品质；针对基于纳米材料的检测技术，是用纳米材料制备荧光探针，并结合荧光分析的方法来测定茶多酚的含量。

除上述方法外，茶叶中茶多酚的检测还有基于纳米材料、电子鼻技术[28]等技术的方法。目前，测定茶多酚的国际标准是利用酒石酸亚铁比色法结合分光光度法对茶多酚的总量进行检测，但此方法需要人为配置金属络合剂，精确度不高。随着人们对准确、高效的追求，比色法、滴定法、可见分光光度法等较为传统的检测方法逐渐被新型检测技术替代。

在新型检测技术中，色谱法因其灵敏、高效且可同时对多组分进行分离的显著特点而被普遍使用，其中高效液相色谱法成为应用最广泛、最有效的分离测定茶多酚含量的方法之一，但是色谱法需要精密的大型仪器，费用较高，不能满足检测成本低、便携化的要求，而且对操作人员的技术要求较高，因此只适用于大型实验室，不适用于现场快速检测。

为了实现茶多酚含量的实时检测，目前，针对茶饮料中茶多酚的快速检测产生了运用比色原理快速测定茶多酚含量的快速检测试剂盒，整个检测过程只需十几分钟，方便快捷、省时省力，不需要任何仪器设备，大大简化了样品处理过程，适用于现场快速检测和筛选工作[29] [30]。根据各个检测方法的特点，选取合理的检测方法，可对茶叶进行品质鉴定和分级，促进其在食品、医疗和工业等领域的应用，对保证食品安全起到重要的作用。

2.2. 针对生物碱的检测

茶叶中的生物碱主要是指一类含氮杂环结构的有机化合物，主要包括咖啡碱(结构式如图 2 所示)、茶

叶碱和可可碱等，共 8 种嘌呤碱。其中咖啡碱是茶叶中生物碱的主体，通常占茶叶干重的 2%~5%，是一类与茶叶品质密切相关的物质，也是茶叶的主要功效成分之一。其具有抗疲劳、防治癌症和肿瘤、增强骨代谢、促进血液循环等作用[19]。因此，高效准确的测定茶叶中生物碱的含量，对茶叶品质的检测有着重要意义。

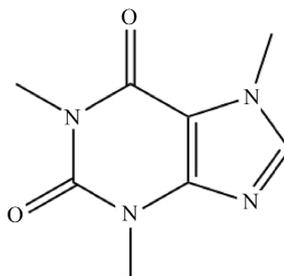


Figure 2. Structural formula of caffeine
图 2. 咖啡碱结构式

近年来，针对茶叶中咖啡碱的测定方法主要包括滴定法、纸层析法、光谱法、色谱法、毛细管电泳法等方法。其中光谱法包括分光光度法、红外光谱法、拉曼光谱法；色谱法又包括高效液相色谱法、薄层色谱法、质谱法及其联用技术等方法，详细见表 2。

Table 2. The main detection method of alkaloids in tea
表 2. 茶叶中生物碱的主要检测方法

检测方法	优点	缺点	目的	参考文献
滴定法	方便	准确度不高、滴定终点不明显，存在人为误差	可用于生物碱总含量的检测	[31]
分光光度法	成本低、简单	灵敏度低、分辨率低	可用于生物碱总含量的检测	[32]
近红外光谱法	速度快、取样量少	不能具体检测出生物碱的种类	可用于生物碱的定性定量分析	[33]
高效液相色谱	分离高效、精密性好	需对样本进行严格纯化、操作要求较高、成本较高	能检测出生物碱的种类	[34]
拉曼光谱法	准确、快速、简便	散射光的影响	用于生物碱的定量分析	[35]
薄层色谱	快速、简便	易受环境影响、成本较高	可用于生物碱的分离检测	[36]
质谱法及其联用技术	高效分离、灵敏度高	设备要求较高	可进行多组分的同时测定	[37]
毛细管电泳法	高效、快速	重复性差、精度不高	可用于生物碱的分离测定	[38]

在上述方法中，光谱法具有灵敏度低、分辨率低、样品数量大且无法具体检测出茶叶中生物碱的种类的缺点，使用具有局限性，因此单独应用于茶叶生物碱的检测已越来越少。随着分析技术的发展，针对茶叶中生物碱的检测主要采用高效液相色谱法，此方法有分离效果好、快速、准确等特点，目前已作为生物碱含量测定的通用方法。

为了使色谱的分离能力和质谱的高灵敏性同时体现，还发展了色谱-质谱联用技术，主要包括液相-质谱联用、气相-质谱联用、薄层色谱-质谱联用等，此技术进一步提高了茶叶生物碱检测的精密度和灵敏度，逐渐成为分析检测的重要工具。

2.3. 针对氨基酸的检测

茶叶中氨基酸有两种存在状态，一种是组成蛋白质的氨基酸，处于相对稳定状态；另一种是以游离态存在于嫩叶和嫩茎的氨基酸，称为游离氨基酸，对茶叶的品质影响较大。其中茶氨酸(结构式如图3所示)是游离氨基酸的主体，占游离氨基酸含量的50%以上，是构成茶叶品质的主要成分。具有显著提高机体免疫力、抵御病毒侵袭、增强记忆力、调节血压、抗焦虑等作用[19]。

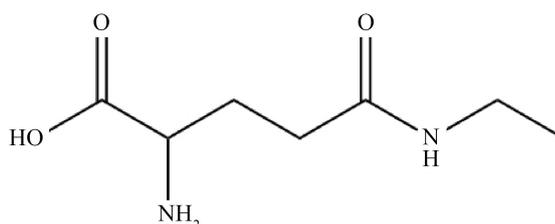


Figure 3. Structural formula of theanine
图3. 茶氨酸结构式

针对茶氨酸的检测主要有茚三酮比色法、近红外光谱法、气相色谱法、高效液相色谱法、色谱-质谱联用法、毛细管电泳法、氨基酸自动分析仪法等方法，如表3所示。

Table 3. The main detection method of theanine in tea
表3. 茶叶中茶氨酸的主要检测方法

检测方法	优点	缺点	目的	参考文献
茚三酮比色法	方便、绿色	准确度不高、存在人为误差	游离氨基酸总量的测定	[6]
色谱-质谱联用技术	快速、灵敏度高、选择性高	成本较高	游离氨基酸总量的测定	[18]
近红外光谱法	速度快、取样量少	数据处理困难	游离氨基酸的定性定量分析	[39]
气相色谱	分离高效、精密性好	成本较高、操作要求较高	能够实现多组分的分离	[40]
高效液相色谱法	高效、快速	需要衍生试剂，操作要求较高	茶叶中游离氨基酸的分析	[41]
毛细管电泳法	分辨率高、灵敏度高	成本较高、设备要求较高	茶叶中氨基酸的分离测定	[42]
氨基酸自动分析仪	准确、灵敏度高、简便	易受环境影响、成本较高	茶叶中氨基酸的组成及差异的检测	[43]

近年来，高效液相色谱法和氨基酸仪器分析法逐渐成为较为成熟的茶氨酸检测方法，但高效液相色谱法的精确度会受到衍生剂性能的影响；而氨基酸自动分析仪存在成本较高、操作过程复杂等缺点。与它们相比，毛细管电泳法因其不需要衍生试剂，并且能够分离测定没有荧光特性且易受干扰的茶氨酸，显示出较大的应用前景，但其对于仪器和实验人员的要求较高，使用起来仍然存在局限性。因此，寻求一种高效、准确、成本较低的茶氨酸检测方法仍然具有较大的研究前景。

3. 总结

近年来，针对茶叶中主要功效成分的检测，主要使用仪器分析法与化学计量学相结合的方法，建立起数据分析模型，从而对其进行定量和定性分析。其中高效液相色谱技术更为成熟，此方法可以同时进

行多组分的测定, 具有高效、稳定的特点, 被广泛应用。目前, 针对茶叶中某一种功效成分进行分析检测的研究较少, 多用电色谱-质谱联用技术对茶叶中的多种活性成分进行分析检测, 此方法还可用于农药残留检测, 具有加大的应用前景。本文对近年来茶叶主要活性物质检测的常用方法进行了综述, 总结了检测方法各自的优缺点, 为不断探索创新, 摸索出更加准确、快速、绿色的茶叶品质检测方法提供参考。

基金项目

2022 年国家级大学生创新创业训练计划项目(202210641029), 宜宾学院本科工程项目(JGZ202211, XGK202114)。

参考文献

- [1] Yang, W., Jia, X., Si, W.M., *et al.* (2022) Recent Advances in the Utilization of Tea Active Ingredients to Regulate Sleep through Neuroendocrine Pathway, Immune System and Intestinal Microbiota. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **10**, 1-29. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2048291>
- [2] 李逢亮. 我国茶叶质量安全问题研究——以北京马连道地区为例[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [3] 战捷, 邵元海. 茶叶现存质量安全问题与快速检测方法研究进展[J]. 茶叶, 2022, 48(1): 25-28.
- [4] 王辉军, 徐奕鼎, 黄建琴, 等. 酒石酸亚铁比色法和高锰酸钾滴定法测定茶多酚的比较[J]. 茶业通报, 2010(2): 61-63.
- [5] 邓祥, 韩伟. 酒石酸亚铁-标准曲线法检测绿茶提取物中茶多酚含量[J]. 南京工业大学学报: 自然科学版, 2020, 42(5): 677-682.
- [6] 邵金良, 黎其万, 董宝生, 等. 茚三酮比色法测定茶叶中游离氨基酸总量[J]. 中国食品添加剂, 2008(2): 162-165.
- [7] 马雪珑, 邹鹏飞, 王荡强, 等. 纸层析-分光光度法检测茶氨酸[J]. 植物生理学报, 2012, 48(4): 413-417.
- [8] 郑隆钰. 信阳毛尖茶叶色素的提取、纯化与分析[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南工业大学, 2004.
- [9] Bavykin, D.V., Carravetta, M., Kulak, A.N., *et al.* (2010) Application of Magic-Angle Spinning NMR to Examine the Nature of Protons in Titanate Nanotubes. *Chemistry of Materials*, **22**, 2458-2465. <https://doi.org/10.1021/cm903100a>
- [10] 吴桂玲, 代虹镜, 邓维先, 等. 毛尖茶叶中的黄酮类化合物对脂氧合酶的抑制性[J]. 云南化工, 2019, 46(4): 65-67.
- [11] 周昌海, 周海军. 铁观音中茶多酚含量的近红外光谱检测模型分析[J]. 宜宾学院学报, 2019, 19(12): 121-124.
- [12] 赵静远, 熊智新, 宁井铭, 等. 小波变换结合连续投影算法优化茶叶中咖啡碱的近红外分析模型[J]. 分析科学学报, 2021, 37(5): 611-617.
- [13] 李文萃, 周新奇, 范起业, 等. 便携式近红外茶叶品质快速检测仪设计与试验[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 303-309.
- [14] 唐心亮, 吴希军, 李树军. 三维荧光光谱和主成分分析法在茶叶品质鉴别中的应用研究[J]. 河北科技大学学报, 2009, 30(4): 305-309.
- [15] 王加真, 刘义富, 肖尧, 等. 室温条件下储藏年限对湄潭翠芽品质及三维荧光指纹图谱的影响[J]. 遵义师范学院学报, 2021, 23(3): 94-97.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 杜颖颖, 刘相真, 叶美君, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定茶叶中游离氨基酸成分[J]. 色谱, 2019, 37(6): 597-604.
- [19] 刘莉. 浅谈茶叶主要功效成分及其生物活性[J]. 南方农业, 2018, 12(24): 132-133.
- [20] 高尧华, 张鸿伟, 宋卫得, 等. 绿茶中 L-茶氨酸、咖啡因、茶多酚和十六烷酸同时测定的方法[P]. 中国, CN202210405523. 2022-09-06.
- [21] 傅冬和, 刘仲华, 黄建安, 等. 茶叶中儿茶素的高效薄层色谱分离研究[J]. 中国茶叶, 2005, 27(4): 31.

- [22] 林佳俊, 吴冬凡, 冯嘉伟. 普洱茶茶多酚的含量测定[J]. 广东化工, 2019, 46(24): 16-17.
- [23] 朱丹, 须海荣, Martial, G., 等. 电化学法快速测定茶多酚含量的研究[J]. 茶叶科学, 2011, 31(3): 179-186.
- [24] 夏文娟, 张丽霞, 王日为, 等. 毛细管电泳法同时分析茶黄素类和儿茶素类化合物[J]. 色谱, 2006, 24(6): 592-596.
- [25] Suteerapataranon, S. and Pudta, D. (2008) Flow Injection Analysis-Spectrophotometry for Rapid Determination of Total Polyphenols in Tea Extracts. *Journal of Flow Injection Analysis*, **25**, 61-64.
- [26] Kumar, A.S., Shanmugam, R., Nellaiappan, S., et al. (2016) Tea Quality Assessment by Analyzing Key Polyphenolic Functional Groups Using Flow Injection Analysis Coupled with a Dual Electrochemical Detector. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **227**, 352-361. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.12.072>
- [27] 殷金可, 侯巧芝, 方宁, 等. 纳米磁珠的制备工艺及对茶多酚的萃取研究[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(9): 107-110.
- [28] 张红梅, 田辉, 何玉静, 等. 茶叶中茶多酚含量电子鼻技术检测模型研究[J]. 河南农业大学学报, 2012, 46(3): 302-306.
- [29] 张少华, 霍丹群, 侯长军, 等. 试纸法快速测定保健品中茶多酚含量的研究[J]. 应用化工, 2016, 45(12): 2369-2372.
- [30] 茶叶质量检测获新进展中国农科院研发 10 分钟测茶多酚含量技术[J]. 农业科技与信息, 2021(4): 128.
- [31] 谌英武. 茶叶中可可碱的微分脉冲伏安法测定[J]. 中国茶叶, 1989(6): 33, 32.
- [32] 杨言言, 张铁铭. 紫外分光光度法测定安徽罗汉尖老茶中咖啡因含量[J]. 安徽中医学院学报, 2012, 25(3): 72-73.
- [33] 李晓丽, 张东毅, 董雨伦, 等. 基于卷积神经网络的茶鲜叶主要内含物的光谱快速检测方法[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(11): 113-122.
- [34] 刘志彬, 张是宁, 张雯, 等. 高效液相色谱法分析武夷岩茶中的生物碱含量[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 27-29.
- [35] 郑华军. 基于 SERS 技术的茶叶咖啡碱和茶氨酸快速检测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [36] 张凤, 迟逸仙, 张景如, 等. 茶叶中咖啡因含量的薄层色谱扫描测定方法的建立[J]. 食品科技, 2011, 36(2): 265-269.
- [37] 张佳玲, 张伟, 周志贵, 等. 采用实时直接分析质谱法原位快速鉴别茶叶[J]. 色谱, 2011, 29(7): 681-686.
- [38] Chen, G., Chu, Q.G. and Zhang, L.Y. (2002) Separation of Six Purine Bases by Capillary Electrophoresis with Electrochemical Detection. *Analytica Chimica Acta*, **457**, 225-233. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(02)00027-2)
- [39] 郝勇, 陈斌. 茶叶中低含量氨基酸近红外光谱定量分析模型研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 216-220.
- [40] 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(6): 445-452.
- [41] 江新风, 李琛, 石旭平, 等. 高效液相色谱法对“黄金菊”茶中儿茶素和氨基酸组分含量的测定[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(5): 172-176.
- [42] 衷明华, 严赞开, 林燕如. 毛细管区带电泳法测定茶叶中咖啡因、茶氨酸、表儿茶素和表没食子儿茶素没食子酸酯[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 286-288.
- [43] 赵明明, 金钰, 周有祥. 基于氨基酸指纹图谱的扁形绿茶品种分析[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(22): 120-123.