DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251016001
引用格式: 翟容康, 李上, 郑凤家, 等. 高效液相色谱法测定无花果茶中 22 种植物化学物含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(6): 287–294.
ZHAI RK, LI S, ZHENG FJ, *et al*. Determination of 22 kinds of phytochemicals in *Ficus carica* tea by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(6): 287–294. (in Chinese with English abstract).

高效液相色谱法测定无花果茶中 22 种植物化学物含量

翟容康[1,2#], 李 上[3#], 郑凤家[4], 王 珺[2], 张雪松[2], 陆 颖[2], 杨晶明[2], 徐维盛[2,5,6*], 张付云[1*]

(1. 大连海洋大学食品科学与工程学院, 大连 116023; 2. 中国疾病预防控制中心营养与健康所, 北京 100050; 3. 重庆市九龙坡区疾病预防控制中心, 重庆 400039; 4. 山东省疾病预防控制中心, 济南 250000; 5. 国家卫生健康委公共营养与健康重点实验室, 北京 100050; 6. 江西省卫生健康委营养重点实验室, 南昌 330006)

摘 要: 目的 建立高效液相色谱法检测无花果茶中 22 种植物化学物的分析方法。**方法** 无花果干样品经研磨处理后加入蒸馏水, 50 ℃超声提取 30 min, 离心; 无花果茶样品加入 100 ℃蒸馏水浸泡, 浸泡后使用 Agilgent Eclipse XDB C_{18} (4.6 mm×100 mm, 3.5 μm)色谱柱, 0.15%磷酸溶液-乙腈为流动相, 梯度洗脱; 柱温 30 ℃, 进样量 10 μL, 并采用外标法使用波长切换技术测定植物化学物含量。**结果** 22 种植物化学物在 50 min 内可被检出并达到基线分离, 线性相关系数(r^2)均大于 0.9995。检出限为 0.06~0.35 μg/g, 定量限为 0.20~1.18 μg/g, 加标回收率为 84.7%~106.6%, 相对标准偏差为 1.3%~9.5%。**结论** 本方法灵敏度、精密度、重现性良好, 适用于无花果茶中多酚物质的含量测定。

关键词: 植物化学物; 无花果茶; 高效液相色谱法

Determination of 22 kinds of phytochemicals in *Ficus carica* tea by high performance liquid chromatography

ZHAI Rong-Kang[1,2#], LI Shang[3#], ZHENG Feng-Jia[4], WANG Jun[2], ZHANG Xue-Song[2], LU Ying[2], YANG Jing-Ming[2], XU Wei-Sheng[2,5,6*], ZHANG Fu-Yun[1*]

收稿日期: 2025-10-16
基金项目: 中国营养学会全民营养科研基金项目(CNS-NNSRG2019-96); 中国食物成分监测项目(2020-609, 2025-462); 中国营养学会科研基金—纽崔莱植物功能成分与健康研究专项(CNS-NCL2023-254)
#翟容康和李上为共同第一作者

第一作者: 翟容康(2001—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为植物化学物研究。E-mail: 1242435944@qq.com
李上(1994—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为营养与疾病。E-mail: slicqzg@163.com
***通信作者:** 徐维盛(1983—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为食物成分数据库建设, 植物化学物研究。E-mail: xuws@ninh.chinacdc.cn
张付云(1969—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为海洋生物资源的综合利用、海洋微生物活性。E-mail: zhangfuyun2004@126.com

(1. *College of Food Science and Engineering*, *Dalian Ocean University*, *Dalian* 116023, *China*; 2. *National Institute for Nutrition and Health*, *Chinese Center for Disease Control and Prevention*, *Beijing* 100050, *China*; 3. *Chongqing Jiulongpo District Center for Disease Control and Prevention*, *Chonging* 400039, *China*; 4. *Shandong Center for Disease Control and Prevention*, *Ji'nan* 250000, *China*; 5. *Key Laboratory of Public Nutrition and Health*, *National Institute for Nutrition and Health*, *Beijing* 100050, *China*; 6. *Key Laboratory of Nutrition*, *Jiangxi Provincial Health Commission*, *Nanchang* 330006, *China*)

ABSTRACT: Objective To establish a method for determation of 22 kinds of phytochemicals in *Ficus carica* by high performance liquid chromatography. **Methods** *Ficus carica* samples were ground, then mixed with distilled water and sonicated at 50 ℃ for 30 min before centrifugation. *Ficus carica* tea samples were soaked in 100 ℃ distilled water. After soaking, samples were separated using gradient elution with 0.15% phosphoric acid solution-acetonitrile as mobile phase on an Agilent Eclipse XDB C_{18} (4.6 mm×100 mm, 3.5 μm) column. Column temperature was maintained at 30 ℃ with a 10 μL injection volume. Plant chemical content was determined using the external standard method with wavelength switching technology. **Results** The 22 kinds of phytochemicals were detected within 50 min with baseline separation achieved, and the linear correlation coefficients (r^2) were all greater than 0.9995. The limits of detection ranged from 0.06 to 0.35 μg/g, the limits of quantitation ranged from 0.20 to 1.18 μg/g, and the spiked recovery rates ranged from 84.7% to 106.6%, relative standard deviations were 1.3%–9.5%. **Conclusion** The method is sensitive, accurate and reproducible, and is suitable for determining the 22 kinds of phytochemicals in *Ficus carica* tea.

KEY WORDS: phytochemicals; *Ficus carica* tea; high performance liquid chromatography

0 引 言

植物化学物是植物的次级代谢物中最主要的一类化学衍生物[1]。近年来植物化学物作为抗氧化剂, 对健康产生的作用越来越受到科研人员与消费者的关注。无花果为桑科植物, 全国各地均有栽培, 作为具备中药基本属性的普通食材, 我国应用其叶根入药医病已有数百年历史。研究表明, 无花果具有抗病毒、抗菌、抗肿瘤、降血糖、抗氧化活性及镇静催眠等作用[1–3]。无花果含有多种微量元素, 特别是硒含量较高, 抗氧化效果显著, 能增强人体免疫力, 具有很强的保健功效[4–5]。无花果果实及叶片均具含有丰富的有益健康的植物化学物, 目前针对无花果果实及其叶片的加工处理方式仍存在资源利用率较低的情况。无花果实的采摘周期短, 且无花果食品在热加工后功能性成分大量损失, 产品的保健功能大大降低, 将无花果叶片制作无花果茶, 可有效保留其营养成分[6–8]。

无花果茶是无花果和无花果叶最常见的一种开发利用方式。陆进等[8]、曾洁等[9]采摘不同叶龄的无花果鲜叶(老叶、嫩叶), 并以富硒无花果为原料测定其营养成分含量, 确定无花果茶加工工艺。吴梦露[10]采用分段式干燥法进行无花果茶的加工, 最终获得的无花果茶具备保健茶的营养成分要求。无花果代用茶的开发, 丰富了保健茶类型, 有利于扩宽保健茶市场, 满足茶饮料市场多元化需求[11–13]。

目前, 针对于无花果的研究多集中于无花果新鲜果实, 但对于无花果制品的研究相对较少[14–18]。并且常用的高效液相色谱技术仅针对某一种或几种无花果的特定组分进行测定[19–23], 缺乏同时测定无花果多种组分的检测方法[24–28]。水是茶的载体, 泡茶用水时间的长短, 将影响茶汤本身的品质。现有研究都专注于不同浸泡用水对一类茶的影响, 对浸泡用水时间与茶叶之间的关系缺乏系统的研究[29–30]。

本研究探索采用高效液相色谱法同时测定无花果制品中 22 种植物化学物(槲皮素、绿原酸、橙皮素、新橙皮苷、金丝桃苷、异荭草苷、柚皮苷、咖啡酸、柚皮素、对香豆酸、芸香柚皮苷、白藜芦醇、芥子酸、香蜂草苷、阿魏酸、白皮杉醇、橙皮苷、没食子酸、表儿茶素、香蜂草苷、山奈酚, 圣草次苷)含量, 同时探究不同浸泡用水时间对无花果茶茶汤品质的影响, 为无花果茶的营养价值提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料、仪器和试剂

按照《中国食物成分监测技术手册》代表性样品采集原则, 分别于 2025 年 3 月至 2025 年 6 月, 采集某品牌不同风味的袋装无花果茶(玫瑰味、原味、柑橘味)及无花果干样品, 其中袋装无花果茶每个品种采集不低于 3 个批次样品, 无花果干样品采集不少于 3 个市场, 每个市场采集不少于 3 个摊位。每种样品分别混匀后, 按四分法分别取代表性样品分装, 于 4 ℃冰箱冷藏备用。

Waters E2695 液相色谱仪[含光电二极管列阵检测器

(photo-diode array, PDA), 美国 Waters 公司]; 梅特勒 XS205DU 型电子天平[精度 0.001 g, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; KQ5200E 型超声波清洗机(功率 200 W, 昆山市超声仪器有限公司); Edi Touch-S 系列纯水仪(上海和泰仪器有限公司); LT53 型离心机(长沙湘仪离心机有限公司); Agilgent Eclipse XDB C_{18} 色谱柱(4.6 mm×100 mm, 3.5 μm)(美国 Agilgent Eclip 公司)。

甲醇、乙腈、磷酸[色谱纯, 赛默飞世尔科技(中国上海)有限公司]; 槲皮素标准品(纯度 99.98%, 中国食品药品检定研究院); 绿原酸(纯度 99.48%)、橙皮素(纯度 98.90%)、新橙皮苷(纯度 99.60%)、金丝桃苷(纯度 98.78%)、异荭草苷(纯度 99.86%)、柚皮苷(纯度 99.21%)、咖啡酸(纯度 99.82%)、柚皮素(纯度 99.93%)、对香豆酸(纯度 99.99%)、芸香柚皮苷(纯度 99.20%)、白藜芦醇(纯度 99.82%)、芥子酸(纯度 99.94%)、香蜂草苷(纯度 99.73%)、阿魏酸(纯度 99.90%)、白皮杉醇(纯度 99.41%)、橙皮苷(纯度 99.02%)、没食子酸(纯度 98.00%)、表儿茶素(纯度 98.29%)、山奈酚(纯度 98.49%)、圣草次苷(纯度 99.61%)、菊苣酸(纯度 98.31%)标准品(成都曼斯特公司)。

1.2　实验方法

1.2.1　标准溶液的制备

标准储备液: 准确称取香蜂草苷、绿原酸、橙皮苷、芸香柚皮苷、槲皮素和柚皮苷 10.00 mg(精确到 0.01 mg)至 10 mL 容量瓶, 甲醇溶解定容至刻度, 配制成质量浓度为 1000 μg/mL 的标准储备液。准确称取对香豆酸、白藜芦醇、金丝桃苷、芥子酸、阿魏酸、新橙皮苷、橙皮素、白皮杉醇、柚皮素、圣草次苷、山奈酚、没食子酸、菊苣酸、表儿茶素、异荭草苷、咖啡酸 5.00 mg(精确到 0.01 mg)至 5 mL 容量瓶, 甲醇溶解定容至刻度, 配制成质量浓度为 1000 μg/mL 的标准储备液。将所有标准储备液置于–20 ℃避光保存。

标准使用液: 将混合标准储备液进一步稀释为混合标准使用液, 使其质量浓度分别为 1、2、5、10、20、50 μg/mL。

1.2.2　样本提取条件优化

将无花果干研磨成粉末状后称取 2.0 g 样品, 用蒸馏水定容至 50 mL 锥形瓶中, 50 ℃超声提取 30 min, 取上清液过 0.22 μm 滤膜待用。将每包茶叶包样品使用 50 mL、100 ℃蒸馏水于烧杯中浸泡, 浸泡时间分别为 2、3、5、10、15、30、60、120、240、360、720、1440 min, 其中 24 h 使用封口膜密封后放置于冰箱中 4 ℃保存过夜。将浸泡完成所得茶水过 0.22 μm 滤膜, 通过液相色谱仪上机测定。

1.2.3　色谱条件

色谱柱: Agilgent Eclipse XDB C_{18} (4.6 mm×100 mm, 3.5 μm); 流动相: A 相为 0.15%磷酸溶液, B 相为乙腈, 梯度洗脱: 0~15.0 min, 95% A; 15.0~25.0 min, 82% A; 25.0~35.0 min, 75% A; 35.0~45.0 min, 60% A; 45.0~46.0 min, 5% A; 46.0~50.0 min, 95% A。柱温: 30 ℃, 进样量: 10 μL。波长切换技术: 0~5.0 min: 270 nm; 5.0~9.3 min: 322 nm; 9.3~23.0 min: 283 nm; 23.0~27.5 min: 270 nm; 27.5~33.0 min: 287 nm; 33.0~50.0 min: 210 nm。

1.2.4　方法学验证

在优化后的色谱分析条件下, 测定一系列质量浓度的标准溶液, 以质量浓度为横坐标(X, μg/mL), 峰面积为纵坐标(Y)绘制标准曲线, 并确定线性范围。向样品中添加不同浓度的标准应用液, 以色谱峰信噪比(S/N)=3 时对应浓度作为检出限, 以 S/N=10 时对应浓度作为定量限。平行测定 3 次, 获得本底值, 计算相对标准偏差(relative standard deviation, RSD), 同时向该样品中分别按照高、中、低水平进行加标回收实验, 以此考察方法的准确度, 根据 3 次平行测定结果考察方法精密度。

1.3　数据处理

采用 SPSS 26.0 对数据进行分析, 检测结果采用平均值表示。结果以 P<0.05 判定统计学意义, 采用 Prism.10 版本软件绘制图表。

2　结果与分析

2.1　样品提取结果分析

无花果茶植物化学物提取采用超声提取的方法, 以单因素正交实验设计, 考察不同浸泡时间(2、3、5、10、15、30、60、120、240、360、720、1440 min)对无花果茶多酚含量的影响。结果表明, 随着提取时间的升高, 无花果茶植物化学物含量呈先上升后趋于平缓趋势, 提取时间 30 min 时, 植物化学物含量较高, 随后随时间增加而逐步趋于平缓(图 1)。方差分析结果表明, 提取时间的长短对植物化学物的提取量有显著影响(P<0.05)(表 1)。虽然提取时间在 60 min 以上植物化学物含量仍有缓慢增加, 但由于考虑到日常生活中实际饮用习惯, 泡茶提取时间不宜过长, 因此不建议采取 60 min 及以上的浸泡时间。

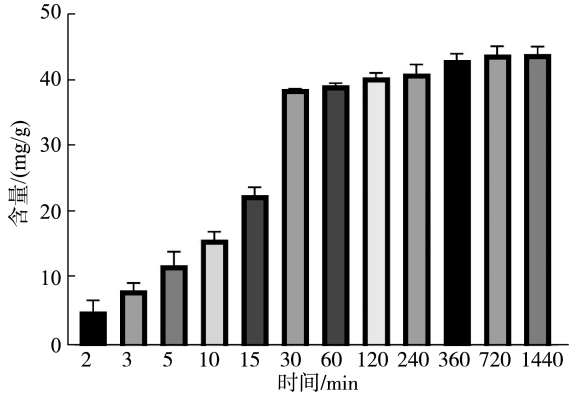


图 1　提取时间对植物化学物含量影响

Fig.1　Effects of extraction time on phytochemical content

表 1 提取时间方差分析

Table 1 Variance analysis of extraction time

方差来源	平方和	自由度	均方	*F*	显著性
组间	3862.917	11	351.147	36.825	<0.001
组内	227.356	24	9.437		
总计	4090.237	35			

2.2 色谱条件的确定

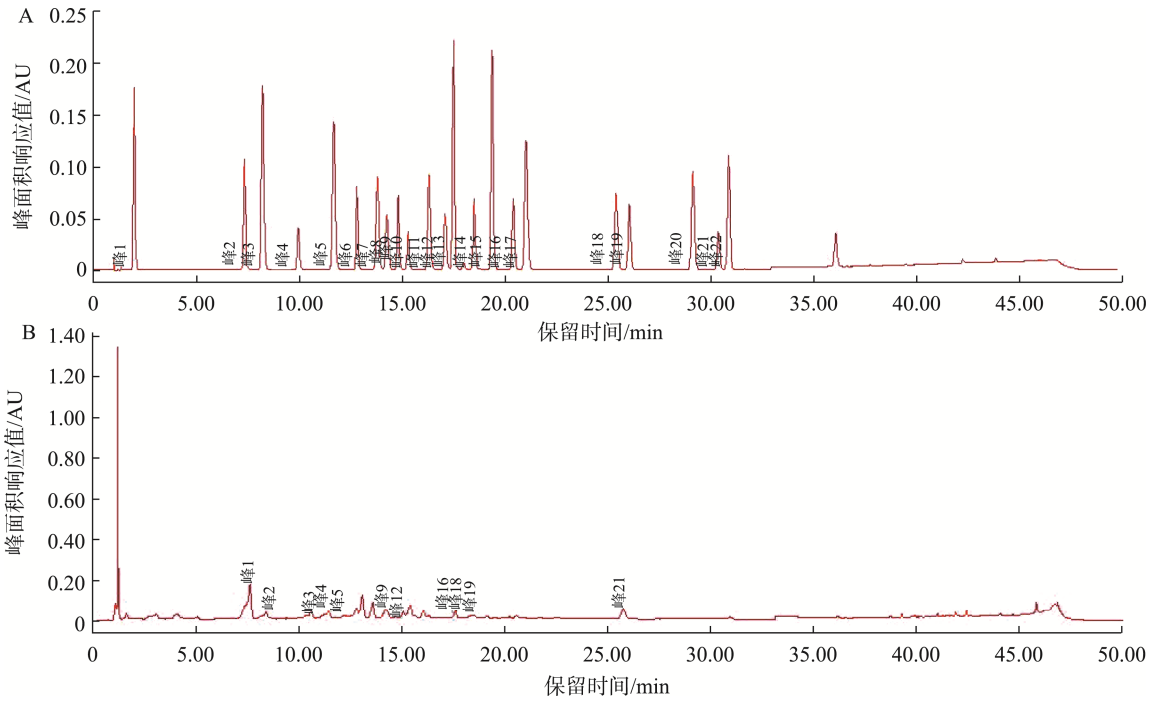
在项目组前期对水果 21 种多酚物质同时检测方法研究的基础上[31]，增加山奈酚。经部分方法学验证，进一步优化并确立了无花果茶中 22 种植物化学物含量检测的高效液相色谱分析方法。色谱柱对于待测物分离效果的影响非常关键，因此采用不同色谱柱，以进样后横坐标为时间(*X*, min)，纵坐标为响应值(*Y*, AU)的色谱图进行对比。通过对比发现，ZORBAX Eclipse XDB-C_{18} (4.6 mm×150 mm, 3.5 μm)不能使圣草次苷、金丝桃苷等植物化学物得到更好地分离。Agilgent Eclipse XDB C_{18} (4.6 mm×100 mm, 3.5 μm)可以使 22 种植物化学物在原梯度洗脱程序下可在 50 min 内实现基线分离，标准品及样品色谱图见图 2。

2.3 方法线性范围、检出限和定量限

在上述色谱分离条件下，测定标准系列混合液的质量浓度，以标准品质量浓度作为横坐标(*X*, μg/mL)，峰面积为纵坐标(*Y*)，计算 22 种标准物质的线性回归方程，以信噪比 *S*/*N*=3 对应的质量浓度计算检出限，以信噪比 *S*/*N*=10 对应的质量浓度计算定量限。由表 2 可知，22 种植物化学物的检出限为 0.06~0.35 μg/g，定量限为 0.20~1.18 μg/g，表明该方法灵敏度较高。标准物质的线性范围较宽，标准对照品在所选定的色谱条件下和质量浓度范围内线性相关系数均在 0.9995 以上，表明 22 种植物化学物在线性范围内线性关系良好，适用于无花果植物化学物含量测定。

2.4 加标回收率

对样品进行 3 水平加标实验，对于本底值较低的没食子酸、表儿茶素、对香豆酸、异荭草苷、芥子酸、阿魏酸、圣草次苷、白皮杉醇、菊苣酸、芸香柚皮苷、柚皮苷、新橙皮苷、白藜芦醇、槲皮素、橙皮苷、山奈酚、柚皮素、橙皮素、香蜂草苷采取 36.1、51.1、62.3 μg/g 的 3 个浓度进行加标回收实验。对于咖啡酸采取 69.1、89.6、122.3 μg/g 的 3 个浓度加标实验，对于金丝桃苷采取 151.2、167.2、270.0 μg/g 的 3 个浓度的加标回收实验，对于绿原酸采取 94.2、188.1、282.6 μg/g 的 3 个浓度的加标回收实验。22 种植物化学物加标回收率在 84.7%~106.6%，RSDs 为 1.3%~9.5%(表 3)，结果表明加标回收率良好。



注: A. 标准品色谱图; B. 玫瑰味无花果茶样品色谱图; 1. 没食子酸; 2. 绿原酸; 3. 咖啡酸; 4. 表儿茶素; 5. 对香豆酸; 6. 异荭草苷; 7. 阿魏酸; 8. 芥子酸; 9. 圣草次苷; 10. 金丝桃苷; 11. 白皮杉醇; 12. 菊苣酸; 13. 芸香柚皮苷; 14. 柚皮苷; 15. 橙皮苷; 16. 新橙皮苷; 17. 白藜芦醇; 18. 槲皮素; 19. 香蜂草苷; 20. 柚皮素; 21. 山奈酚; 22. 橙皮素。

图 2 22 种植物化学物标准品与样品高效液相色谱图

Fig.2 High performance liquid chromatograms of 22 kinds of phytochemicals standards and samples

表 2　22 种植物化学物线性范围、检出限和定量限

Table 2　Linear ranges, limits of detection and limits of quantitation for 22 kinds of phytochemicals compounds

植物化学物	线性范围/(μg/mL)	线性方程	相关系数(r^2)	检出限/(μg/g)	定量限/(μg/g)
没食子酸	0.62~312.00	Y=23100X–6880	0.9998	0.10	0.34
绿原酸	0.66~330.00	Y=19700X–6280	0.9999	0.12	0.39
咖啡酸	0.60~300.00	Y=37200X–10300	0.9999	0.06	0.21
表儿茶素	0.61~306.00	Y=7800X–63800	0.9999	0.30	1.00
对香豆酸	0.60~300.00	Y=34500X–9740	0.9999	0.07	0.23
异荭草苷	0.61~306.00	Y=12700X–4050	0.9999	0.18	0.61
阿魏酸	0.67~312.00	Y=21600X–7620	0.9999	0.11	0.36
芥子酸	0.61~336.00	Y=11800X–2050	0.9999	0.20	0.66
圣草次苷	0.66~306.00	Y=12200X–3840	0.9999	0.19	0.63
金丝桃苷	0.60~300.00	Y=6620X–2790	0.9999	0.35	1.18
白皮杉醇	0.63~318.00	Y=21200X–8750	0.9999	0.11	0.37
菊苣酸	0.62~757.00	Y=11800X–4490	0.9998	0.20	0.66
芸香柚皮苷	1.51~750.00	Y=39200X–9620	0.9999	0.06	0.20
柚皮苷	1.46~728.00	Y=12700X–6970	0.9997	0.18	0.61
新橙皮苷	0.59~750.00	Y=13300X–6120	0.9998	0.18	0.59
白藜芦醇	0.59~294.00	Y=31900X–9500	0.9998	0.07	0.24
槲皮素	1.47~294.00	Y=19100X–6950	0.9999	0.12	0.41
香蜂草苷	1.50~736.00	Y=14100X–3110	0.9999	0.16	0.55
柚皮素	0.62~312.00	Y=23700X–6570	0.9999	0.10	0.33
山柰酚	0.64~318.00	Y=8230X–4480	0.9999	0.28	0.94
橙皮素	0.60~300.00	Y=24700X–6990	0.9998	0.09	0.32
橙皮苷	1.50~750.00	Y=7600X–2670	0.9999	0.31	1.02

表 3　22 种植物化学物加标回收率和精密度

Table 3　Spiked recoveries and precisions for 22 kinds of phytochemicals compounds

植物化学物	本底值/(μg/g)	加标量/(μg/g)	测定值/(μg/g)	回收率/%	RSDs/%	植物化学物	本底值/(μg/g)	加标量/(μg/g)	测定值/(μg/g)	回收率/%	RSDs/%
没食子酸	0.25	36.1	33.4	84.7	3.5	菊苣酸	0.43	36.1	36.7	88.6	1.8
		51.1	51.5	89.0	1.6			51.1	47.6	84.7	5.6
		62.3	52.8	90.1	2.1			62.3	60.9	90.1	7.9
绿原酸	3.14	94.2	126.1	101.1	3.4	芸香柚皮苷	0.25	36.1	36.2	94.3	4.3
		188.1	218.9	99.6	1.7			51.1	52.3	97.2	2.1
		282.6	301.2	95.3	3.8			62.3	64.6	98.9	5.5
咖啡酸	1.10	69.1	73.3	94.3	2.3	柚皮苷	0.50	36.1	37.8	88.2	6.7
		89.6	82.3	89.6	2.9			51.1	51.3	90.8	4.2
		122.3	221.2	96.6	3.1			62.3	62.4	91.2	3.1
表儿茶素	0.14	36.1	34.6	89.4	2.8	新橙皮苷	0.20	36.1	36.2	97.4	2.9
		51.1	46.7	87.5	1.9			51.1	50.9	95.6	7.8
		62.3	58.9	91.3	2.1			62.3	62.1	93.6	6.0
对香豆酸	Tr	36.1	36.7	99.7	5.4	白藜芦醇	Tr	36.1	36.3	92.7	3.2
		51.1	54.5	95.4	4.0			51.1	57.1	88.4	4.4
		62.3	67.8	92.1	3.8			62.3	69.2	89.5	5.5
异荭草苷	0.71	36.1	44.5	102.3	3.5	槲皮素	Tr	36.1	37.5	95.7	6.9
		51.1	61.2	106.6	1.7			51.1	51.3	99.4	2.1
		62.3	70.1	100.5	4.4			62.3	62.6	94.3	3.6
阿魏酸	Tr	36.1	40.1	89.5	8.4	橙皮苷	Tr	36.1	35.4	101.6	8.4
		51.1	54.2	93.2	3.5			51.1	51.2	99.9	6.3
		62.3	63.6	96.9	6.7			62.3	58.9	105.3	5.1
芥子酸	0.88	36.1	43.4	94.9	9.5	柚皮素	Tr	36.1	35.2	102.6	4.1
		51.1	54.5	89.4	3.5			51.1	52.4	98.7	3.4
		62.3	66.6	91.2	3.0			62.3	62.6	100.1	7.2

表 3(续)

植物化学物	本底值/(μg/g)	加标量/(μg/g)	测定值/(μg/g)	回收率/%	RSDs/%	植物化学物	本底值/(μg/g)	加标量/(μg/g)	测定值/(μg/g)	回收率/%	RSDs/%
圣草次苷	Tr	36.1	39.9	92.1	1.3	山奈酚	Tr	36.1	38.7	94.3	6.5
		51.1	52.4	97.2	4.7			51.1	54.3	95.1	8.5
		62.3	66.7	93.5	4.5			62.3	68.4	90.9	7.2
金丝桃苷	1.35	151.2	151.2	91.1	2.5	橙皮素	Tr	36.1	40.1	104.3	9.0
		167.2	176.7	96.8	3.2			51.1	55.2	102.6	6.5
		270.0	283.4	99.7	4.1			62.3	63.4	100.5	4.3
白皮杉醇	0.34	36.1	41.2	105.3	5.6	香蜂草苷	Tr	36.1	39.6	99.2	3.8
		51.1	55.6	102.1	3.3			51.1	49.2	91.4	4.7
		62.3	67.8	103.2	8.9			62.3	61.3	92.3	6.6

注: Tr 表示低于检出限, 下表同。

2.5 含量测定结果

无花果茶中的植物化学物以表儿茶素和金丝桃苷为主; 无花果玫瑰茶主要含金丝桃苷和芸香柚皮苷; 无花果茶(柑橘味)主要包括白皮杉醇、表儿茶素、芥子酸、金丝桃苷、异荭草苷等 5 种; 无花果干中金丝桃苷、菊苣酸含量较高。结果表明, 无花果茶(柑橘味)和无花果干中含有较多的植物化学物(表 4)。

表 4 部分无花果茶中植物化学物含量(μg/g)
Table 4 Phytochemicalsl content in selected *Ficus carica* tea (μg/g)

植物化学物	无花果茶	无花果玫瑰茶	无花果茶(柑橘味)	无花果干
阿魏酸	Tr	0.7	5.8	3.0
白皮杉醇	0.4	0.5	12.5	1.1
白藜芦醇	Tr	1.4	1.7	Tr
表儿茶素	6.5	4.0	12.7	1.8
橙皮素	Tr	Tr	0.9	Tr
对香豆酸	Tr	0.3	2.9	0.4
芥子酸	Tr	1.5	17.5	4.9
金丝桃苷	4.9	11.6	14.7	9.9
咖啡酸	Tr	0.4	0.8	2.3
绿原酸	0.4	1.3	3.4	0.4
没食子酸	0.5	2.1	Tr	1.3
橙皮苷	Tr	6.1	Tr	Tr
山奈酚	Tr	Tr	5.0	Tr
圣草次苷	1.6	0.8	9.2	0.7
香蜂草苷	Tr	Tr	Tr	0.9
新橙皮苷	Tr	1.2	1.5	1.1
槲皮素	Tr	0.5	Tr	Tr
异荭草苷	0.5	2.8	24.3	6.9
芸香柚皮苷	Tr	8.5	6.5	1.0
柚皮苷	Tr	6.5	9.9	2.1
柚皮素	Tr	Tr	Tr	0.9
菊苣酸	Tr	Tr	0.8	10.7
合计	14.8	50.2	130.1	76.4

3 结 论

本研究在优化提取分离条件和色谱方法的基础上、建立了快速、高效、灵敏的高效液相色谱法同时检测 22 种植物化学物的方法, 可同时用于无花果茶及无花果干中植物化学物含量分析, 为植物性食物中植物化学物的研究提供支持。

参考文献

[1] 徐雨生, 廖川江, 申科, 等. 植物多酚的功效及其作用机理综述[J]. 普洱学院学报, 2021, 37(3): 6–9.
XU YS, LIAO CJ, SHEN K, *et al*. Review of the effects and mechanisms of action of plant polyphenols [J]. Journal of Pu'er University, 2021, 37(3): 6–9.

[2] 费鹏, 赵胜娟, 陈曦, 等. 植物多酚抑菌活性、作用机理及应用研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 226–230.
FEI P, ZHAO SJ, CHEN X, *et al*. Research progress on antimicrobial activity, mechanism of action, and applications of plant polyphenols [J]. Food and Machinery, 2019, 35(7): 226–230.

[3] 张吟, 陈一农, 许秋霞, 等. 气质联用色谱法和超高效液相色谱法检测无花果叶提取物的化学成分[J]. 福建医科大学学报, 2011, 45(6): 423–426.
ZHANG Y, CHEN YN, XU QX, *et al*. Detection of chemical constituents in fig leaf extracts by gas chromatography-mass spectrometry and ultra performance liquid chromatography [J]. Journal of Fujian Medical University, 2011, 45(6): 423–426.

[4] 李申. 无花果叶黄酮类成分提取及抗氧化活性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
LI S. Extraction of flavonoids from fig leaves and investigation of their antioxidant activity [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2021.

[5] 李飞飞, 石淼, 周慧雯, 等. 基于模糊数学法的罗布麻无花果叶复合茶包配方优化[J]. 茶叶学报, 2023, 64(4): 29–36.
LI FF, SHI M, ZHOU HW, *et al*. Optimization of robusta fig leaf

composite tea bag formulation based on fuzzy mathematics [J]. Journal of Tea Science, 2023, 64(4): 29–36.

[6] 张卫平, 李新生, 曲东, 等. 无花果主要功能成分及其生物活性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(20): 212–218.
ZHANG WP, LI XS, QU D, *et al*, Research progress on the major functional components and their biological activities in figs [J]. Food Research and Development, 2023, 44(20): 212–218.

[7] 邓佳丽, 李晓, 安玉艳, 等. 无花果叶片多糖抑制胃癌细胞增殖与促进凋亡效应[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(8): 1282–1291.
DENG JL, LI X, AN YY, *et al.* Fig leaf polysaccharides inhibit gastric cancer cell proliferation and promote apoptosis [J]. Natural Product Research and Development, 2021, 33(8): 1282–1291.

[8] 陆进, 蒋龙. 富硒无花果茶的研究[J]. 食品科技, 2013, 38(10): 124–127.
LU J, JIANG L. Research on selenium-enriched fig tea [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(10): 124–127.

[9] 曾洁, 刘攀, 黄婷, 等. 无花果叶开发利用研究进展[J]. 南方农业, 2024, 18(9): 85–88, 93.
ZENG J, LIU P, HUANG T, *et al*. Research progress on the development and utilization of fig leaves [J]. Southern Agriculture, 2024, 18(9): 85–88, 93.

[10] 吴梦露. 无花果叶茶加工技术及品质特点研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
WU ML. Study on processing technology and quality characteristics of fig leaf tea [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2015.

[11] 刘美艳, 吕微. 中部和东部地区农业科技创新效率及影响因素[J]. 河南科学, 2023, 41(10): 1508–1513.
LIU MY, LV W. Agricultural science and technology innovation efficiency and influencing factors in central and eastern regions [J]. Henan Science, 2023, 41(10): 1508–1513.

[12] 贺银娟. 江西省农业生产技术效率、科技创新效率与经济效益关系研究[J]. 农业与技术, 2023, 43(9): 143–149.
HE YJ. Research on the relationship among agricultural production technical efficiency, yechnological innovation efficiency, and economic benefits in Jiangxi Province [J]. Agriculture and Technology, 2023, 43(9): 143–149.

[13] 霍明, 张亮, 谢玲红, 等. 价值链视角下国家农业科技园区创新效率测度与空间格局研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(6): 72–80.
HUO M, ZHANG L, XIE LH, *et al*, Research on innovation efficiency measurement and spatial patterns of national agricultural science and technology parks from a value chain perspective [J]. Chinese Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(6): 72–80.

[14] 董丽梅, 孔令熙, 陈玳欣, 等. 无花果中黄酮类化学成分及抗氧化活性研究[J]. 食品安全导刊, 2023(34): 93–95, 99.
DONG LM, KONG LX, CHEN DX, *et al.* Study on flavonoid chemical constituents and antioxidant activity in figs [J]. Journal of Food Safety Guide, 2023(34): 93–95, 99

[15] 苏学军, 徐颖, 宗春燕, 等. 无花果叶生物活性成分及总黄酮提取工艺研究进展[J]. 化学工程师, 2023, 37(2): 62–65.
SU XJ, XU Y, ZONG CY, *et al.* Research progress on bioactive components and total flavonoid extraction processes from fig leaves [J]. Chemical Engineer, 2023, 37(2): 62–65.

[16] 孙嘉吟, 李思仪, 张欣莉, 等. 无花果多酚鉴定及其抗氧化、抑菌活性研究[J]. 饲料研究, 2022, 45(14): 89–94.
SUN JN, LI SY, ZHANG XL, *et al.* Identification of fig polyphenols and investigation of their antioxidant and antibacterial activities [J]. Feed Research, 2022, 45(14): 89–94.

[17] 廖颖, 尹礼国, 斯朝金, 等. 曲霉、酵母菌和乳酸菌固态发酵对无花果多酚和黄酮类化合物抗氧化活性的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(1): 53–61
LIAO Y, YIN LG, SI CJ, *et al.* Effects of solid-state fermentation by aspergillus, yeast, and lactic acid bacteria on antioxidant activity of polyphenols and flavonoids in figs [J]. Journal of Southwest Agriculture, 2023, 36(1): 53–61.

[18] 任若玓, 任善军. 无花果黄酮研究进展[J]. 山东化工, 2025, 54(2): 128–131.
REN RY, REN SJ. Research progress on fig flavonoids [J]. Shandong Chemical Industry, 2025, 54(2): 128–131.

[19] 李晓. 无花果叶片类黄酮提取、抗氧化及抑癌活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2021.
LI X. Study on flavonoid extraction, antioxidant activity, and anticancer effects of fig leaves [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2021.

[20] 颜道民, 尹金晶, 唐晋文, 等. 无花果中功能性成分研究与应用进展[J]. 广州化工, 2019, 47(11): 20–23.
YAN DM, YIN JJ, TANG JW, *et al*. Research and application progress of functional components in figs [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2019, 47(11): 20–23.

[21] 莫一凡. 无花果天然产物的提取分析及应用[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2020.
MO YF. Extraction, analysis, and application of natural products from fig [D]. Shanghai: Shanghai University of Applied Science, 2020.

[22] 姜宏伟, 李春英, 赵春建, 等. 无花果的化学成分、药理作用和临床应用[J]. 黑龙江科学, 2019, 10(6): 12–15.
JIANG HW, LI CY, ZHAO CJ, *et al.* Chemical composition, pharmacological effects, and clinical applications of fig [J]. Heilongjiang Science, 2019, 10(6): 12–15.

[23] 秦晶晶, 李牧珅, 魏洪权, 等. 超声辅助双水相提取无花果总黄酮的工艺优化及其理化性质分析[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(7): 76–82.
QIN JJ, LI MS, WEI HQ, *et al*. Process optimization and physicochemical characterization of ultrasound-assisted dual-water-phase extraction of total flavonoids from figs [J]. Grain and Oil, 2024, 37(7): 76–82.

[24] 何秋玲, 陈晓玉, 杨申明, 等. 无花果原花青素超声辅助提取工艺优化及抗氧化性研究[J]. 生物化工, 2024, 10(4): 1–7, 12
HE QL, CHEN XY, YANG SM, *et al*. Optimization of ultrasound-assisted extraction process for fig proanthocyanidins and study on their antioxidant properties [J]. Bio-Chemical Engineering, 2024, 10(4): 1–7, 12.

[25] 苏学军, 朱旭, 孙有美, 等. 表面活性剂辅助超声提取无花果叶总黄酮的工艺优化[J]. 化学工程师, 2025, 39(1): 84–87, 52.
SU XJ, ZHU X, SUN YM, *et al*. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from fig leaves using surfactants [J]. Chemical Engineer, 2025, 39(1): 84–87, 52

[26] 杨程宇, 梁熳珊, 黄春怡, 等. 超声-微波辅助提取无花果果实总黄酮工艺的优化[J]. 中国处方药, 2022, 20(2): 40–44.
YANG CY, LIANG MS, HUANG CY, *et al*. Optimization of ultrasound-microwave-assisted extraction process for total flavonoids from fig fruit [J]. Chinese Prescription Drugs, 2022, 20(2): 40–44.

[27] 莫一凡, 姚凌云, 冯涛, 等. 无花果总黄酮闪式提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 186–191, 220.
MO YF, YAO LY, FENG T, *et al*. Optimization of flash extraction process for totet alflavonoids from figs and their antioxidant activity [J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(12): 186–191, 220.

[28] 苏适, 王双侠. 响应曲面优化超声波辅助提取无花果叶总黄酮的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(9): 101–106.
SU S, WANG SX. Response surface optimization of ultrasound-assisted extraction of total flavonoids from fig leaves [J]. Food Research and Development, 2019, 40(9): 101–106.

[29] 罗晓梅, 张吟, 黄丹丹, 等. 紫外可见分光光度法测定无花果叶提取物中总黄酮的含量[J]. 中国药房, 2015, 26(15): 2111–2113.
LUO XM, ZHANG Y, HUANG DD, *et al*. Determination of total flavonoids in fig leaf extract by ultraviolet-visible spectrophotometry [J]. Chinese Pharmacy, 2015, 26(15): 2111–2113.

[30] 马金菊, 孙江飞, 武文浩, 等. 响应面法优化无花果叶总黄酮超声辅助提取工艺[J]. 中国酿造, 2018, 37(3): 140–144.
MA JJ, SUN JF, WU WH, *et al*. Response surface methodology for optimizing ultrasound-assisted extraction of total flavonoids from fig leaves [J]. China Brewing, 2018, 37(3): 140–144.

[31] 牛静琪, 张雪松, 刘悦含, 等. 高效液相色谱法测定水果中 21 种多酚物质[J]. 卫生研究, 2023, 52(3): 474–482.
NIU JQ, ZHANG XS, LIU YH, *et al*. Determination of 21 polyphenolic compounds in fruits by high performance liquid chromatography [J]. Health Research, 2023, 52(3): 474–482.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)