DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251016009
引用格式: 黄伟乾, 覃天福, 梁志森, 等. 超高压液相色谱法定量测定植物饮料中 8 种药食同源功效成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(5): 280–287.
HUANG WQ, QIN TF, LIANG ZS, *et al*. Quantitative determination of 8 kinds of functional components of medicinal and edible homology in botanical beverage by ultra-high pressure liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(5): 280–287. (in Chinese with English abstract).

超高压液相色谱法定量测定植物饮料中 8 种药食同源功效成分

黄伟乾*, 覃天福, 梁志森, 吴芷欣, 吴敏莲, 吴俊发, 刘海纯
[1. 广州检验检测认证集团有限公司, 广州 511447; 2. 国家加工食品质量检验检测中心(广东), 广州 511447]

摘 要: 目的 建立超高压液相色谱法检测植物饮料中多种药食同源性功效成分(甘草苷、山柰酚-3-O-芸香糖苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷、木犀草苷、葛根素、绿原酸、红景天苷、甘草酸)含量的方法。**方法** 称取适量的植物饮料样品, 经甲醇-水溶液涡旋分散后, 用超声波辅助提取以充分释放分散目标组分, 离心后取上清液, 采用 EC-C_{18} 色谱柱对提取液中的各成分进行分离, 并通过外标法进行定量分析, 测定植物饮料中 8 种功效成分的含量。**结果** 8 种功效成分在 0.50~25.00 mg/L 质量浓度范围内线性关系良好, 相关系数 r>0.998; 8 种功效成分的检出限和定量限为 0.05~0.50 mg/kg 和 0.16~1.50 mg/kg; 回收率为 83.2%~96.1%, 相对标准偏差为 3.2%~6.2% (n=3)。**结论** 所建立方法的精密度和回收率良好, 灵敏度较好, 可用于植物饮料中 8 种功效成分含量的测定。

关键词: 植物饮料; 药食同源; 超高压液相色谱法; 功效成分

Quantitative determination of 8 kinds of functional components of medicinal and edible homology in botanical beverage by ultra-high pressure liquid chromatography

HUANG Wei-Qian*, QIN Tian-Fu, LIANG Zhi-Sen, WU Zhi-Xin, WU Min-Lian, WU Jun-Fa, LIU Hai-Chun
[1. *Guangzhou Inspection Testing and Certification Group Company Limited*, *Guangzhou* 511447, *China*; 2. *National Quality Inspection and Testing Center for Processed Foods* (*Guangdong*), *Guangzhou* 511447, *China*]

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination the content of functional components of various medicinal and edible homology (glycyrrhizic acid, kaempferol-3-O-rutinoside, isoflavan glucoside, luteolin-7-glucoside, puerarin, chlorogenic acid, salidroside and glycyrrhizin) in botanical beverages by ultra-high pressure liquid chromatography. **Methods** The appropriate amount of botanical beverage sample was weighed, the sample was vortex-dispersed with a methanol-water solution and then performed ultrasound-assisted extraction to fully release the target dispersed components. After centrifugation, the supernatant was collected. An EC-C_{18}

收稿日期: 2025-10-16
第一作者/*通信作者: 黄伟乾(1986—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为食品检验检测。E-mail: 494333067@qq.com

chromatographic column was used for the separation of various components in the extract, and quantitative analysis was performed using the external standard method., the content of 8 kinds of efficacy components in the botanical beverage was simultaneously detected. **Results**　The 8 kinds of active components exhibited good linearity within the mass concentration range of 0.50–25.00 mg/L, with correlation coefficients (r)>0.998. The limits of detection and limits of quantitation for the 8 kinds of functional components ranged from 0.05 to 0.50 mg/kg and 0.16 to 1.50 mg/kg, respectively. The recovery rates were between 83.2% and 96.1% and the relative standard deviations of the test results were 3.2%–6.2% (n=3). **Conclusion**　The established method demonstrates excellent precision and recovery rates, along with satisfactory sensitivity, making it suitable for determining the content of these 8 kinds of pharmacologically active components in botanical beverages.

KEY WORDS: botanical beverage; medicinal and edible homology; ultra-high pressure liquid chromatography; functional components

0　引　言

植物饮料是常见的消费量较大的饮料之一[1], 植物饮料通常选用历史上长期食用的植物源性食材的根茎叶果实或药食同源类原料等制作而成的饮品[2–4]。“药食同源”类物质既是食品又是中药材, 在养生保健和疾病预防中发挥着重要作用。随着现代营养学与分子药理学的深入发展, 药食同源物质的健康功效日益受到科学界的广泛关注, 其蕴含的多种生物活性成分(如多糖、多酚、黄酮、皂苷、功能糖等)已成为研究的核心内容。在“养生+”和“本地化”双驱动下, 2024—2025 年广东市场的植物饮料中, 药食同源原料的使用较突出, 具有“清热”“润燥”等针对岭南地区高发健康诉求的原料占据绝对主导地位。

甘草、黄芪[5]、葛根、菊花、金银花、覆盆子、枣[6]、桑叶[7]等食品原料应用普及度高, 常见于单一或复方草本植物饮品。甘草中的甘草苷和甘草酸, 覆盆子中的山柰酚-3-O-芸香糖苷均具有抗疲劳或增强免疫力的功能; 黄芪中的功效成分(如毛蕊异黄酮葡萄糖苷), 具有增强机体免疫力; 金银花中的木犀草苷具有抗氧化和抗炎作用, 能够有效清除自由基, 减轻氧化应激反应; 绿原酸是菊花中重要特征成分, 菊花具有明目清热功效; 红景天苷是红景天特有的功效成分, 具有增强免疫和益气功效; 葛根中含有丰富的黄酮类化合物(如葛根素), 具有抗氧化、抗炎等作用。综上可知, 植物饮料的功效成分是关注度比较高的研究对象, 同时以上食品原料也是保健食品常见的原辅料, 收录到中国药典中。中国药典对中药饮片的特征成分作出明确规定, 但用作食品原料时制成的一般食品或保健品没有适用的检验方法, 难以把关产品质量。“药食同源”类物质的功效成分[8–13]也是保健食品研发的重点关注对象, 在食品工业中被用于增强产品的营养价值或功效。

单一的药食同源类物质在中国药典中, 只针对原药中特征的某种功效成分[14–15]进行限定和检测, 不适合多种或混合多种物质功效成分的定性定量检测。然而, 药食同源物质的功效发挥依赖于其内在成分的种类、含量与存在形态, 这些成分的复杂性与多样性对检测技术提出了严峻挑战。目前的检测技术难以全面、客观地评价其质量与功效[16–20]。近年来, 离子色谱法[21–22]、色谱法[23–26]、光谱法、质谱法[17,27–28]以及生物传感技术等现代检测手段的飞速发展, 为高精度、高效率地解析药食同源成分提供了新的可能。但离子色谱法更适合于阴阳离子的分析, 专用色谱柱价格高; 光谱分析技术应用更集中于金属元素类分析, 对于有机化合物的应用较少; 色谱分离技术依赖于色谱填料的粒径, 粒径越小压力越大, 同时要求色谱仪的系统耐受压力更强; 质谱联用仪灵敏度高和数据高通量, 但仪器昂贵, 操作专业要求高, 高数据量也对数据库和软件算法依赖性极强。超高压液相色谱法填补了色谱仪不耐高压的弱点, 结合小微色谱填料颗粒可实现高分离度, 得到较多的分析数据, 通过技术联用与方法优化, 能够实现复杂基质中微量功效成分的定性与定量分析。但目前鲜少有应用超高压液相色谱法测定植物饮料中药食同源功效成分的相关研究。

鉴于此, 本研究采用超高压液相色谱仪与小粒径色谱填料分离技术组合应用[29–30], 优化前处理及色谱条件, 建立定量检测分析方法用于植物饮料中 8 种功效成分的检测, 为植物饮料中功效成分的日常检测提供方法参考。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

植物饮料样品(10 批, 含有药食同源物质, 广州市售)。

标准品: 甘草苷($C_{21}H_{22}O_9$)(纯度>99%)、山柰酚-3-O-芸香糖苷($C_{27}H_{30}O_{15}$)(纯度>99%)、毛蕊异黄酮葡萄糖苷($C_{22}H_{22}O_{10}$)(纯度>98%)、木犀草苷($C_{21}H_{20}O_{11}$)(纯度>99%)、葛根素($C_{21}H_{20}O_9$)(纯度>99%)、甘草酸($C_{42}H_{62}O_{16}$)(纯度>99%)、绿原酸($C_{16}H_{18}O_9$)(纯度>99%)、红景天苷($C_{14}H_{20}O_7$)(纯度>99%)、磷酸(优级纯)(上海安谱贸易有限

公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 美国 Fisher 公司)。

1.2 仪器与设备

LC-30AD 超高压液相色谱仪[岛津企业管理(中国)有限公司]; Aquaplore 2S 纯水系统(重庆艾科浦颐洋企业发展有限公司); BT125D 十万分之一分析天平(苏州赛恩斯仪器有限公司); MS204S 万分之一分析天平[梅特勒托利多测量设备(上海)有限公司]; MS3 涡旋振荡器[艾卡(广州)仪器设备有限公司]; Agilent Poroshell 120 EC-C_{18} 色谱柱(4.6 mm×150 mm, 2.6 μm, 美国安捷伦公司); KQ5200E 超声波清洗机(昆山市超声仪器有限公司)。

1.3 标准溶液及试剂的配制

混合标准贮备溶液: 精密称量多种功效化合物标准品各 10.00 mg, 加甲醇溶解定容至 50.0 mL, 配制质量浓度为 200 mg/L 的标准贮备溶液, 置于 0~4 ℃下保存。

混合标准工作溶液: 移取 2.50 mL 标准贮备液, 加 50%甲醇水定容至 10.00 mL, 配制质量浓度为 50 mg/L 的工作溶液。再分别移取 0.10、0.20、0.50、1.00、2.50、5.00 mL 再稀释至 10.0 mL, 配制 0.50、1.00、2.50、5.00、12.50、25.00 mg/L 系列标准工作溶液。

磷酸溶液(0.05%): 称取 1 mL 磷酸, 加水溶解加水稀释至 2 L, 经 0.45 μm 滤膜过滤后备用。

甲醇水溶液(50%): 称取 50 mL 甲醇, 加水至 100 mL, 混匀后备用。

1.4 试验方法

1.4.1 前处理步骤

称取样品约 2 g(精确至 1 mg), 加 50%甲醇水溶液, 涡旋分散, 并定容至 10 mL, 超声提取 20 min, 分取样液于离心机 4000 r/min 离心 5 min, 过 0.45 μm 尼龙滤膜后, 待液相色谱仪分析。

1.4.2 计算方法

各功效成分含量的计算公式(1)如下:

$$\text{各功效成分含量}/(\text{mg/kg})=\frac{c\times V}{m} \quad (1)$$

式中: c 为待测液的质量浓度, mg/L; V 为定容体积, mL; m 为称样质量, g。

1.4.3 色谱条件

色谱柱: Agilent Poroshell 120 EC-C_{18} (4.6 mm×150 mm, 2.6 μm); 柱温: 40 ℃; 进样量: 10 μL; 流量: 1.0 mL/min; 波长: 250、276、340 nm; 流动相 A (0.05%磷酸水溶液), 流动相 B(乙腈), 梯度洗脱程序见表 1。

1.5 数据处理

试验所得数据均使用金山 WPS 2019 进行数据整理以及分析。其中 8 种功效成分的检测数据采用自带的仪器控制软件 LabSolutions Version 5.97 进行采集和处理, 以外标法计算结果。

表 1 梯度洗脱程序

Table 1 Program of gradient elution

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%	梯度曲线
0.00	97	3	线性
3.00	97	3	线性
8.00	92	8	线性
10.00	92	8	线性
16.00	85	15	线性
22.00	85	15	线性
30.00	50	50	线性
35.00	50	50	线性
35.50	25	75	线性
40.00	25	75	线性
40.50	97	3	线性
55.00	97	3	线性

2 结果与分析

2.1 提取溶剂的确定

植物饮料一般用水熬煮或用提取物经水复溶后, 加入其他食品原料加工而成, 本研究比较了 50%甲醇水溶液、50%乙腈水溶液、甲醇、乙腈的超声提取 15 min 的效果, 结果见图 1, 4 种溶剂均能提取 8 种功效成分, 乙腈的试剂成本高于甲醇, 使用 50%甲醇水的成本最低且提取效果较佳。故选用 50%甲醇水作为提取剂。

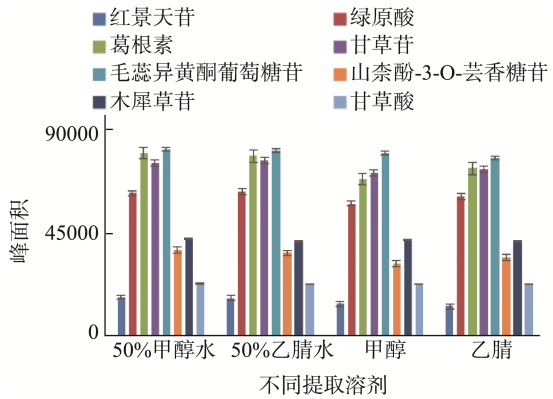


图 1 不同提取溶剂的影响

Fig.1 Effects of different extraction solvents

2.2 超声取提时间的确定

因植物饮料含有多种功效成分, 超声提取可以有效提取目标成分并同步溶解到甲醇水溶液。本研究以 50%甲醇水为溶剂, 比较了 15、20、25、30 min 不同的超声提取时间的影响, 结果见图 2, 超声提取时间在 20 min 左右基本达到峰面积基本达到稳定, 故超声提取时间定在 20 min 左右。

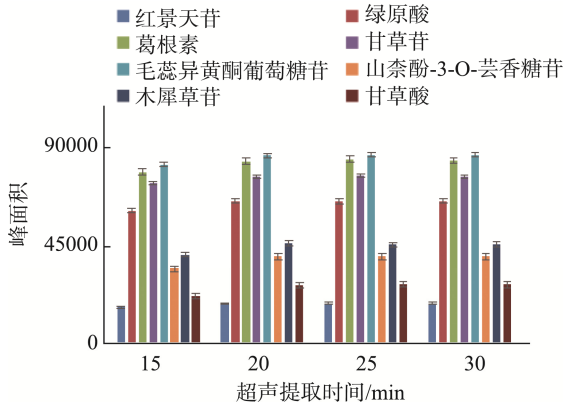


图 2　不同超声提取时间的影响

Fig.2　Effects of different ultrasonic extraction times

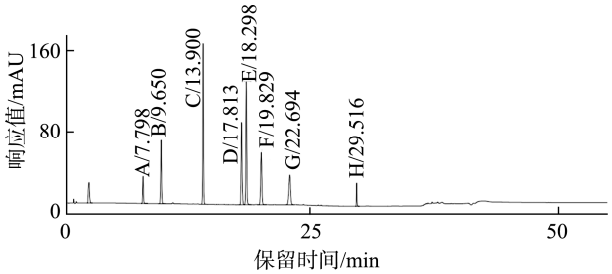
2.3　色谱分离条件的优化

8 种功效成分均为碳氢氧的化合物, 是碳原子数为 14~42 的杂环类化合物, 结构差异较大, 导致保留时间差异显著, 同时也需要调整极性溶剂的洗脱强度才能实现有效的分离。

本研究以 0.05%磷酸水+乙腈作为流动相, 比较了 4 个品牌色谱柱[Accucore Polar Premium (4.6 mm×150 mm, 2.6 μm)、Agilent Poroshell 120 EC-C_{18} (4.6 mm×150 mm, 2.6 μm)、Thermo C_{18} (4.6 mm×150 mm, 2.6 μm)、Gemini C_{18} (4.6 mm×150 mm, 2.6 μm)], 优选后确定为 Agilent Poroshell EC-C_{18} 分析柱, 经调整洗脱梯度和优化分离度, 得到 8 种功效成分的分离效果较佳(分离度≥1.3)淋洗梯度见表 1。8 种功效成分的色图谱见图 3。由图 3 可知, 8 种功效成分的分离满足要求, 可用于植物饮料的检测。

2.4　检测波长的确定

对 8 种功效化合物进行 200~500 nm 光谱扫描分析, 分析图谱见图 4, 红景天苷在 220 nm、275 nm 有两处吸收峰, 甘草苷的吸光收谱在 276 nm、311 nm 附近均有较强的吸收峰, 可选用 276 nm 同时检测; 葛根素在 248 nm、305 nm 附近处有 2 处吸收峰, 毛蕊异黄酮葡萄糖苷在 218、251、285 nm 处有明显的吸收峰, 甘草酸在 251 nm 处有吸收峰, 上述 3 种组分均在 250 nm 附近有吸收, 可选择在 250 nm 下同时检测; 绿原酸的最大吸收约在 325 nm、山柰酚-3-O-芸香糖苷在 255 nm、347 nm 附近有较强吸收峰、木犀草苷在 264 nm、346 nm 附近有较强吸收峰, 上述 3 种组分在波长在 325~346nm 的响应较高, 可选择的检测波长为 340 nm 同时检测。

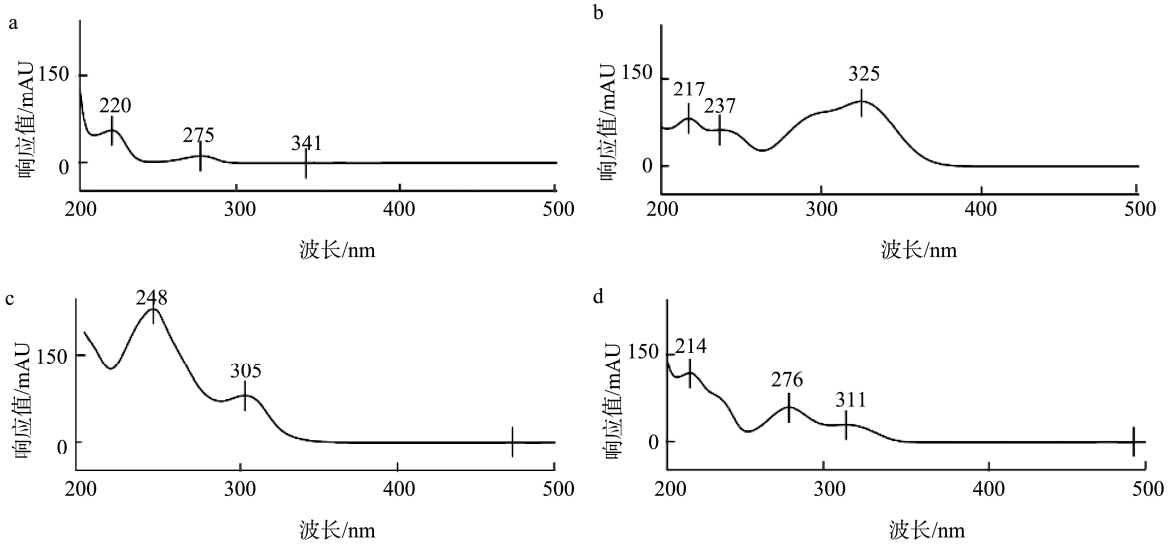


注: A. 红景天苷; B. 绿原酸; C. 葛根素; D. 甘草苷; E. 毛蕊异黄酮葡萄糖苷; F. 山柰酚-3-O-芸香糖苷; G. 木犀草苷; H. 甘草酸。

图 3　8 种功效成分的色图谱(230 nm)

Fig.3　Chromatogram of 8 kinds of functional components (230 nm)

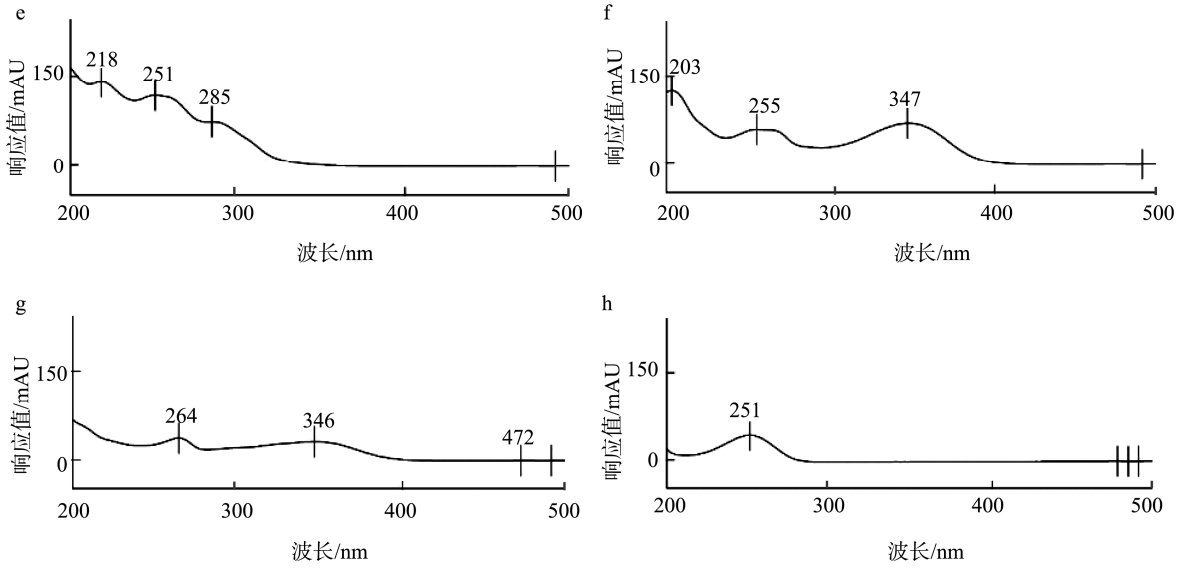
经分析优选: 确定葛根素、毛蕊异黄酮葡萄糖苷、甘草酸的检测波长为 250 nm; 红景天苷、甘草苷的检测波长为 276 nm; 绿原酸、山柰酚-3-O-芸香糖苷、木犀草苷的检测波长为 340 nm。



注: a. 红景天苷; b. 绿原酸; c. 葛根素; d. 甘草苷; e. 毛蕊异黄酮葡萄糖苷; f. 山柰酚-3-O-芸香糖苷; g. 木犀草苷; h. 甘草酸。

图 4　8 种功效成分的光谱扫描图

Fig.4　Spectral scan chart of 8 kinds of functional components



注: a. 红景天苷; b. 绿原酸; c. 葛根素; d. 甘草苷; e. 毛蕊异黄酮葡萄糖苷; f. 山柰酚-3-O-芸香糖苷; g. 木犀草苷; h. 甘草酸。

图 4(续) 8 种功效成分的光谱扫描图

Fig.4 Spectral scan chart of 8 kinds of functional components

2.5 方法学验证

2.5.1 标准曲线和方法灵敏度

采用超高压液相色谱仪对系列标准工作溶液进行分析, 以质量浓度为横坐标(*X*, mg/L), 峰面积为纵坐标(*Y*), 绘制工作曲线。相关系数(*r*)>0.998, 线性良好。以各成分的仪器响应信噪比(*S*/*N*)的3倍和10倍计算仪器检出限和仪器定量限, 结合样品前处理过程的稀释倍数(以 5 倍计), 计算得到的方法检出限(the method limit of detection, MLOD)和方法定量限(the method limit of quantitation, MLOQ)。由表 2 可知, MLOD 为在 0.05~0.50 mg/kg, MLOQ 为 0.16~1.50 mg/kg。结果表明本方法灵敏, 可用于植物饮料中 8 种功效成分的含量检测。不同检测波长下的标准图谱见图 5~7。

表 2 8 种功效成分的线性范围、线性方程、相关系数、MLODs 与 MLOQs

Table 2 Linear ranges, linear equations, correlation coefficients, MLODs and MLOQs of 8 kinds of active ingredients

名称	检测波长/nm	线性范围/(mg/L)	线性方程	相关系数(*r*)	MLODs/(mg/kg)	MLOQs/(mg/kg)
红景天苷	276	0.50~25.00	*Y*=1609.9*X*–59.3	0.9994	0.50	1.50
绿原酸	340	0.50~25.00	*Y*=9008.0*X*–400.5	0.9995	0.16	0.53
葛根素	250	0.50~25.00	*Y*=26931.6*X*–552.1	0.9993	0.05	0.16
甘草苷	276	0.50~25.00	*Y*=16286.4*X*–851.9	0.9993	0.06	0.20
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	250	0.50~25.00	*Y*=20835.5*X*–679.5	0.9993	0.05	0.16
山柰酚-3-O-芸香糖苷	340	0.50~25.00	*Y*=17517.2*X*–981.1	0.9990	0.06	0.20
木犀草苷	340	0.50~25.00	*Y*=11480.3*X*+366.7	0.9992	0.07	0.22
甘草酸	250	0.50~25.00	*Y*=5170.8*X*+1619.5	0.9986	0.32	1.05

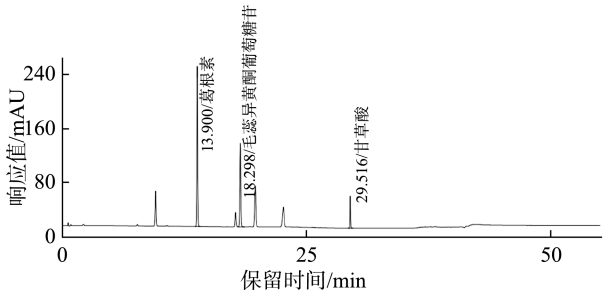


图 5 功效成分的标准色谱图(250 nm)

Fig.5 Standard chromatogram of functional components (250 nm)

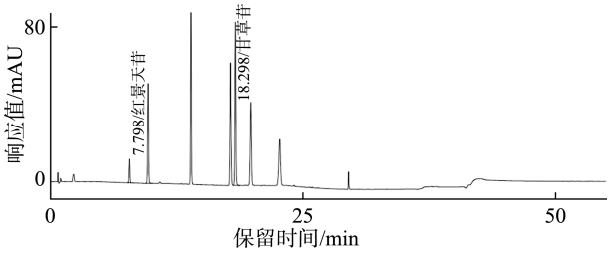


图 6 功效成分的标准色谱图(276 nm)

Fig.6 Standard chromatogram of functional components (276 nm)

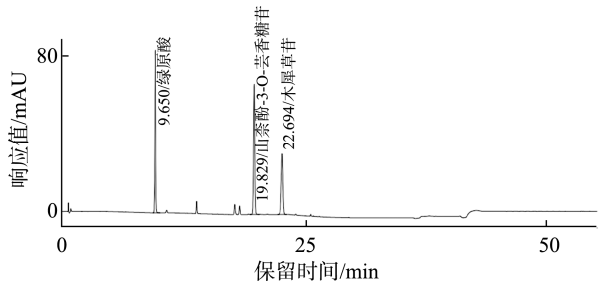


图 7　功效成分的标准色谱图(340 nm)

Fig.7　Standard chromatogram of functional components (340 nm)

2.5.2　回收率及精密度试验

为验证实际方法回收率的稳定性, 对植物饮料样品进行 3 水平的加标回收试验, 水平浓度分别为 0.5、1.0、5.0 mg/kg, 分别测定 3 次, 结果见表 3。回收率为 83.2%~96.1%, 相对标准偏差为 3.2%~6.2%, 表明准确度、精密度良好, 该方法可满足乳制品中 8 种功效成分的分析要求。

2.6　方法的实际应用

为验证本方法在实际样品检测中的适用性, 采用所建方法对 10 种市售植物饮料进行测定, 结果见表 4。由表 4 可知, 在部分样品中成功检出特征性组分。进一步核对产品配料表发现, 检出特征组分的样品均标示含有特定的药食同源物质或其提取物, 表明该方法能够有效捕捉并体现原料添加的特征信息, 具有良好的专属性与应用可靠性。含金银花成分的植物饮料的图谱见图 8, 含菊花成分的图谱见图谱见图 9。此外, 植物饮料加标分析图谱见图 10, 从而进一步佐证了方法在复杂基质中的准确性与稳定性。

表 3　8 种功效成分的回收率和精密度测定结果(n=3)

Table 3　Recoveries and precisions determination results of 8 kinds of functional components (n=3)

化合物	回收率/%	相对标准偏差/%
红景天苷	85.1, 90.3, 93.0	4.9, 4.3, 3.6
绿原酸	90.2, 92.8, 95.3	5.6, 3.9, 3.6
葛根素	89.0, 92.1, 94.3	4.6, 3.8, 3.5
甘草苷	90.9, 91.5, 93.4	4.8, 3.5, 3.2
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	86.9, 90.1, 93.4	5.0, 4.2, 4.0
山柰酚-3-O-芸香糖苷	88.9, 93.1, 96.1	4.5, 3.8, 3.5
木犀草苷	89.5, 94.1, 95.4	4.9, 3.8, 3.4
甘草酸	83.2, 88.5, 93.4	6.2, 4.8, 3.5

表 4　10 个植物饮料样品的检测结果(mg/kg)

Table 4　Test results of 10 botanical beverage samples (mg/kg)

样品 功效成分	样品 产地	红景天苷	绿原酸	葛根素	甘草苷	毛蕊异黄酮葡萄糖苷	山柰酚-3-O-芸香糖苷	木犀草苷	甘草酸
样品 1	广东佛山	ND	ND	ND	ND	0.70	ND	ND	ND
样品 2	广东惠州	ND	9.5	ND	ND	ND	13.0	8.2	ND
样品 3	广东佛山	ND	90.6	ND	ND	ND	ND	44.4	ND
样品 4	广东中山	ND	ND	ND	ND	4.0	ND	ND	ND
样品 5	河北沧州	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
样品 6	广东惠州	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
样品 7	河南开封	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
样品 8	广东广州	ND	3.5	ND	ND	ND	ND	1.8	4.6
样品 9	广东广州	ND	20.1	ND	5.5	ND	ND	ND	2.2
样品 10	广东广州	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

注: ND 为未检出。

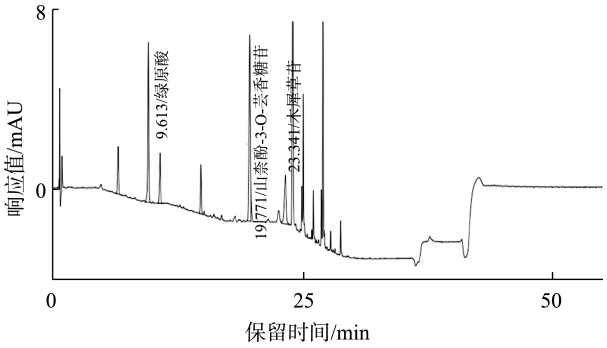


图 8　含金银花成分的植物饮料色谱图(340 nm)

Fig.8　Chromatogram of botanical beverages containing honeysuckle components (340 nm)

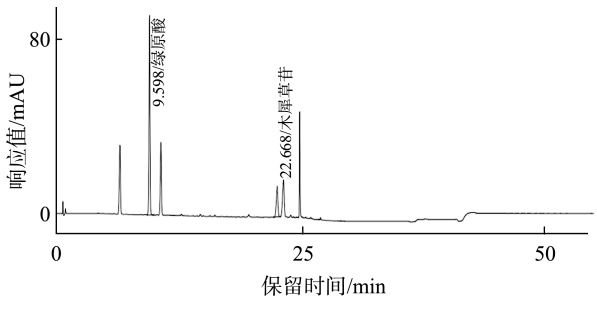


图 9　含菊花成分的植物饮料色谱图(340 nm)

Fig.9　Chromatogram of botanical beverages containing chrysanthemum components (340 nm)

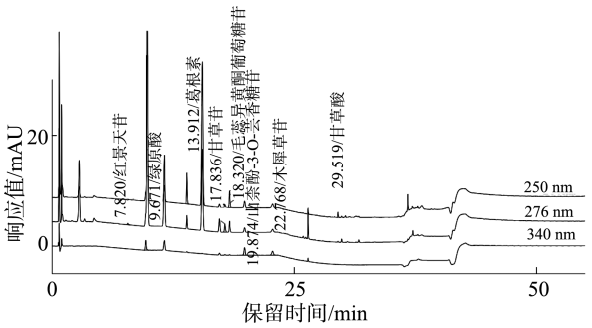


图 10 植物饮料加标色谱图

Fig.10 Chromatogram of a spiked botanical beverage

3 结 论

本研究成功建立了一种基于超高压液相色谱的分离技术，可同时测定植物饮料中 8 种功效成分的含量。通过对样品前处理提取条件与色谱分离条件等优化，最终确定的方法展现出较高灵敏度、良好的精密度与回收率。方法学验证结果表明，本方法操作性强，能够较准确定量市售含药食同源物质植物饮料中的目标成分。因此，本研究为上述 8 种功效成分的质量控制提供了一种高效、可靠的定量分析参考方法，但方法仍存在一定的局限性。研究所涉及的基质类型相对单一，未涵盖固体饮料等不同物理形态的样品，这可能影响方法在更广泛产品中的适用性。因无适用的标准化测试方法，未能进行数据比对，评价方法间的一致性。实际检测的样本数量(10 份)有限，其结果代表性有待通过扩大样本量进一步验证。

参考文献

[1] 陶林, 宋怡, 罗舒, 等. 药食同源中药植物饮料产业及加工技术现状分析[J]. 四川农业科技, 2023(2): 74–77.
TAO L, SONG Y, LUO S, *et al*. Analysis of the current status of traditional Chinese medicine plant beverage industry and processing technology in the same origin of medicine and food [J]. Sichuan Agricultural Science and Technology, 2023(2): 74–77.

[2] 徐慧娟, 周家妁, 郑特, 等. 药食同源物质的安全性风险评估研究进展[J]. 药物评价研究, 2025, 48(9): 2642–2651.
XU HJ, ZHOU JY, ZHENG T, *et al*. Progress in safety risk assessment of drug food homologous substances [J]. Drug Evaluation Research, 2025, 48(9): 2642–2651.

[3] 赵琪, 贾昌平, 张超, 等. 保健食品及药食同源食品中非法添加化学成分检验标准现状及趋势分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(19): 298–306.
ZHAO Q, JIA CP, ZHANG C, *et al*. Analysis of the current situation and trend of inspection standards for illegal addition of chemical components in health food and medicinal food products [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(19): 298–306.

[4] 连婧羽. “药食同源”物质在食品中的应用和展望[J]. 福建轻纺, 2025(2): 51–53.
LIAN JY. The application and prospects of “medicine and Food homology” substances in food [J]. The Light & Textile Industries of Fujian, 2025(2): 51–53.

[5] 邵财, 孙海, 关一鸣, 等. HPLC-MS 法测定黄芪药材中黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量[J/OL]. 特产研究, 1-5. [2025-12-02]. https://doi.org/10.16720/j.cnki.tcyj.2024.190
SHAO C, SUN H, GUAN YM, *et al.* Determination of *Astragaloside* and calycosin-7-O-*D*-glucopyranosidein *Astragalus membranaceus* by HPLC-MS [J/OL]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 1-5. [2025-12-02]. https://doi.org/10.16720/j.cnki.tcyj.2024.190

[6] 田晶, 李存满, 李巧玲. (U)HPLC 及 LC/MS 技术在枣果功能性成分分离分析中的应用[J]. 中国果菜, 2018, 38(1): 12–18.
TIAN J, LI CM, LI QL. Application of (U)HPLC and LC/MS technology in separation and analysis of functional components of jujube fruit [J]. China Fruit & Vegetable, 2018, 38(1): 12–18.

[7] 黄金枝, 俞燕芳, 胡桂萍, 等. 30 份药食用桑叶营养品质评价及相关性研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 155–160.
HUANG JZ, YU YF, HU GP, *et al.* Comprehensive evaluation and correlative study of nutritional quality of 30 varieties of mulberry leaves [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(7): 155–160.

[8] 侯建波, 谢文, 史颖珠, 等. 固相萃取-液相色谱-串联质谱法同时测定葛根中 11 种黄酮苷元的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2021, 57(10): 865–872.
HOU JB, XIE W, SHI YZ, *et al.* Simultaneous determination of 11 flavonoid glycosides in *Pueraria lobata* by solid-phase extraction liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2021, 57(10): 865–872.

[9] 莫维, 张龙, 叶静萱, 等. HPLC 同时测定天龙泉新款年份陶藏酒中 17 种活性成分[J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 299–307.
MO W, ZHANG L, YE JX, *et al.* Simultaneous determination of seventeen active ingredients in novel tianlongquan pithos stored liquor by HPLC [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 299–307.

[10] 高惠惠, 赵亚雄, 韩张斌, 等. 高效液相色谱法同时测定 7 种药食同源物质功能成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(5): 127–133.
GAO HH, ZHAO YX, HAN ZB, *et al*. Simultaneous determination of functional components of 7 kinds of medicinal and food homologous substances by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(5): 127–133.

[11] 李云丹, 张瑜, 马璇, 等. 地黄功能性糖的结构特征及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2025, 46(23): 401–415.
LI YD, ZHANG Y, MA X, *et al*. Research progress on structural characteristics and biological activities of functional sugars from *Rehmannia glutinosa* [J]. Food Science, 2025, 46(23): 401–415.

[12] 韩磊, 常娟. 药食同源枸杞的生物活性及其在食品中应用的研究[J]. 粮食与食品工业, 2025, 32(4): 50–53.
HAN L, CHANG J. Study on the biological activity of medicinal and edible lycii fructus and its application in food [J]. Cereal & Food Industry, 2025, 32(4): 50–53.

[13] 王忠一. HPLC-ELSD 测定三种药食同源中药材主要活性成分含量[D]. 烟台: 烟台大学, 2020.
WANG ZY. HPLC-ELSD determination of the main active ingredients in three medicinal and edible Chinese herbs [D]. Yantai: Yantai University,

2020.

[14] 赵鹏, 刘程阔, 张文凤, 等. *β*-环糊精金属有机框架包合桑叶多酚的制备及其体外活性测试[J]. 蚕业科学, 2025, 51(5): 471–479.
ZHAO P, LIU CK, ZHANG WF, *et al*. Preparation and *in vitro* activity testing of mulberry leaf polyphenols encapsulated by *β*-cyclodextrin metal organic framework [J]. Acta Sericologica Sinica, 2025, 51(5): 471–479.

[15] 李欣, 王婷, 蔡燕燕, 等. 陕北狗头枣多酚成分测定及抗氧化性分析[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(17): 185–190.
LI X, WANG T, CAI YY, *et al.* Determination of total polyphenols and antioxidant activity of Goutou jujube fruits from northern Shaanxi Province [J]. Food Research and Development, 2025, 46(17): 185–190.

[16] 陆林玲, 鲁辉, 闵春艳, 等. UHPLC-MS/MS 法测定面膜化妆品中甘草、人参和黄芩类功效成分[J]. 日用化学工业(中英文), 2024, 54(1): 107–113.
LU LL, LU H, MIN CY, *et al*. Determination of functional components of glycyrrhizae, ginseng and scutellariae in facial masks by UHPLC-MS/MS [J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2024, 54(1): 107–113.

[17] 熊陈思慧. 植物提取物功效成分分析及抗氧化活性评价[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2023.
XIONG CSH. Analysis and antioxidant activity evaluation of functional components in plantextracts [D]. Wuhan: Hubei University of Chinese Medicine, 2023.

[18] 杨珍, 胡骢, 汪琼. 超高效液相色谱法同时测定中草药保健食品中7种功效成分[J]. 实用预防医学, 2023, 30(1): 66–68.
YANG Z, HU C, WANG Q. Simultaneous determination of seven funtional omponents in health-care food from Chinese herbal medicine by ultrahigh performance liquid chromatography [J]. Practical Preventive Medicine, 2023, 30(1): 66–68.

[19] 鄢雷娜, 吴鑫, 段和祥, 等. 高效液相色谱法同时测定抗疲劳功能食品中 4 种功效成分的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(1): 170–174.
YAN LN, WU X, DUAN HX, *et al*. Determination of 4 functional compositions in antifatigue health foods byhigh performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(1): 170–174.

[20] 严俊, 王兴龙, 刘少颖, 等. 高效液相色谱法同时测定不同剂型保健食品中 6 种功效成分[J]. 分析试验室, 2025, 44(9): 1357–1364.
YAN J, WANG XL, LIU SY, *et al*. Simultaneous determination of ix functional components in different dosage forms of healthy foods by high performance liquid chromatography [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2025, 44(9): 1357–1364.

[21] 冉丹, 张燕俊, 袁列江, 等. 离子色谱法检测婴幼儿配方奶粉中低聚半乳糖含量[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(4): 148–153.
RAN D, ZHANG YJ, YUAN LJ, *et al*. Determination of galactooligosaccharide in infant formula by ion chromatography [J]. Food Research and Development, 2019, 40(4): 148–153.

[22] 李莉, 曹文军, 薛伟锋, 等. 离子色谱法测定婴幼儿配方乳粉中的糖类[J]. 乳业科学与技术, 2020, 43(1): 9–14.
LI L, CAO WJ, XUE WF, *et al*. Determination of galactooligosaccharides in infant formula by ion-chromatography [J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2020, 43(1): 9–14.

[23] GOBINATH C, JUAN FGT, ANA AFP, *et al*. Preliminary screening on antibacterial crude secondary metabolites extracted from bacterial symbionts and identification of functional bioactive compounds by FTIR, HPLC and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Molecules, 2024, 29(12): 2914.

[24] 陈毓芳, 林海丹, 吴宏中, 等. 高效液相色谱法同时测定保健食品中 11 种功效成分[J]. 食品科学, 2015, 36(8): 244–249.
CHEN YF, LIN HD, WU HZ, *et al*. Simultaneous determination of 11 functional components in health food by high performance liquid chromatography [J]. Food Science, 2015, 36(8): 244–249.

[25] JING T, JIN FW, YU XL, *et al*. Application of electronic tongue and HPLC in rapid determination of functional triterpenes and origins of *Ganoderma lucidum* [J]. Frontiers in Nutrition, 2024, 11: 1446956.

[26] NAHEED A, ADEEBA K, AMNA JS, *et al*. Simultaneous quantification and validation of triterpenoids and phytosterols in plant extracts, foods, and nutraceuticals using HPLC-DAD [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2025, 142: 107418.

[27] YUAN YZ, CHENG CY, QIU YW, *et al*. Identification of the chemical constituents in viticis fructus from different regions by UPLC-QTOF-MS combined with multivariate statistical analyses [J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2026, 40(1): e10144.

[28] PENG BD, LING JW, DAI YQ, *et al*. Evaluation of the environmental factors influencing the quality of *Astragalus membranaceus* var. mongholicus based on HPLC and the Maxent model [J]. BMC Plant Biology, 2024, 24(1): 697.

[29] 李霞, 赵瑞军. 高效液相色谱技术在食品检测中的应用[J]. 粮油与饲料科技, 2024(3): 231–233.
LI X, ZHAO RJ. Application of high performance liquid chromatography technology in food detection [J]. Grain Oil and Feed Technology, 2024(3): 231–233.

[30] 林慧, 孙彦敏, 陶飞, 等. 柱前衍生液相色谱荧光检测法测定婴幼儿配方乳粉中的低聚半乳糖[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(10): 2861–2868.
LIN H, SUN YM, TAO F, *et al*. Determination of galactooligosaccharides in infant formula by pre-column derivatization high performance liquid chromatography fluorescence method [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(10): 2861–2868.

(责任编辑: 韩晓红　安香玉)