

高效液相色谱法同时测定葵花盘粉提取物中的 东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素

巩润梓¹, 吴大刚², 邢小霞¹, 李平亮^{*1}

(1. 青岛农业大学 植物医学学院, 山东 青岛 266109; 2. 山东牧香生物科技有限公司, 山东 青岛 266199)

摘要:选择东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素作为葵花盘粉提取物抗痛风活性成分的代表,通过优化 QuEChERS 前处理方法的提取液、净化剂组成以及色谱流动相组成、梯度洗脱程序、检测定量波长,建立了同时测定葵花盘粉提取物样品中 4 种成分的高效液相色谱分析方法。4 种化合物的定量限和检出限范围分别为 0.08~0.15 mg/L 和 0.02~0.06 mg/L,添加回收率范围为 87%~97%,相对标准偏差范围 1.1%~5.2%。采用该方法检测了 3 种葵花盘粉样品,结果表明东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的含量范围分别为 68.75~179.41、48.52~232.35、20.45~32.47 和 0.34~1.10 mg/kg,为葵花盘粉相关产品的活性成分检测与质量控制提供了方法学参考。

关键词:葵花盘粉;高效液相色谱;东莨菪素;芦丁;槲皮素;木樨草素

中图分类号:O65 文献标识码:A 文章编号:0258-3283(2025)03-0085-06

DOI:10.13822/j.cnki.hxsj.2024.0463

Determination of Scopoletin, Rutin, Quercetin and Luteolin in Sunflower Calathide Powder Extractions by Using HPLC
GONG Run-zi¹, WU Da-gang², XING Xiao-xia¹, LI Ping-liang^{*1} (1. College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 2. Shandong Muxiang Biotechnology Co., Ltd., Qingdao 266199, China)

Abstract: Scopoletin, rutin, quercetin and luteolin were selected as the representatives of the active ingredients of sunflower calathide powder extraction against hyperuricemia. A method based on high-performance liquid chromatography (HPLC) for simultaneous determination of four compounds in sunflower calathide was developed by optimizing the extraction solution by QuEChERS method, constituent of purification agents and mobile phases, procedure of gradient elution, and detection wavelength. The limit of detection and limit of quantification were in the range of 0.08~0.15 mg/L and 0.02~0.06 mg/L, respectively. The recovery of four compounds from real samples was in the range of 87%~97% with relative standard deviation (RSD) of 1.1%~5.2%. Then this method was applied to detect four compounds in products of three sunflower calathide powder. The results showed that the concentrations of scopoletin, rutin, quercetin and luteolin were in the range of 68.75~179.41, 48.52~232.35, 20.45~32.47 and 0.34~1.10 mg/kg. This research would provide a methodology for quality control of active components in sunflower calathide-based products.

Key words: sunflower calathide powder; high-performance liquid chromatography (HPLC); scopoletin; rutin; quercetin; luteolin

向日葵发源于北美地区,是世界范围内的重要油料作物。葵花盘是向日葵产品加工业的副产物,富含蛋白、脂肪、淀粉、果胶、氨基酸等营养物质,营养价值较高^[1]。葵花盘粉提取物含有活性多糖、黄酮等多种活性物质,除具有抗氧化、消炎止痛、降血压、抗肿瘤的功效外,较为突出的药用价值是可降低血尿酸浓度,用于预防或辅助治疗痛风^[2,3]。已有研究认为,葵花盘粉中的生物碱、黄酮和小分子肽等成分可能是其抗痛风作用的化学物质基础,抑制黄嘌呤氧化酶(XO)是其降低血尿酸的作用机制之一^[4,5]。

目前,因肥胖、不良生活习惯、工作压力等因素,痛风病的发病率越来越高,并日渐年轻化^[6]。葵花盘作为可食用的工业副产物,来源广泛、价格

便宜,具有多药理靶点、安全的特点,是发展抗痛风中药、食品或保健品的理想来源,目前已有很多科研院所和企业在做葵花盘粉相关产品的开发与应用^[7]。但是,很多在售的葵花盘粉产品因产地、原料、制备工艺不同而效果各异,主要因为药效成分不明、成分含量未知,且无规范、统一的质量监控标准。因此,有必要建立葵花盘粉提取

收稿日期:2024-11-21;修回日期:2024-12-11

基金项目:青岛农业大学横向科研项目(6602424282);青岛农业大学高层次人才科研基金项目(6631114318)。

作者简介:巩润梓(2001-),男,山东淄博人,硕士生,主要研究方向为农药活性天然产物。

通讯作者:李平亮, E-mail:lipingliang_2010@126.com。

物产品中抗痛风成分的分析检测方法,为葵花盘粉提取物相关产品的后续研发与质量控制提供方法学参考。

由于目前关于葵花盘粉中抗痛风活性成分的研究报道有限,选择何种成分是建立分析方法的首要问题。东莨菪素(scopoletin,图1),又称东莨菪内酯,属于香豆素类化合物,广泛分布于一些药用植物中,具有镇痛、抑菌抗炎、降血压、抗肿瘤、降尿酸等多种药理学活性^[8]。芦丁(rutin)、槲皮素(quercetin)、木樨草素(luteolin)均属于类黄酮化合物(图1),广泛存在于中草药、水果和蔬菜中,具有抗氧化、抗肿瘤、抗炎、抗病毒、保护心血管、降尿酸等多种活性^[9,10]。以上4种成分均被证实存在于葵花植物中^[11],因而选择以上4种成分作为葵花盘粉产品中抗痛风成分的代表。

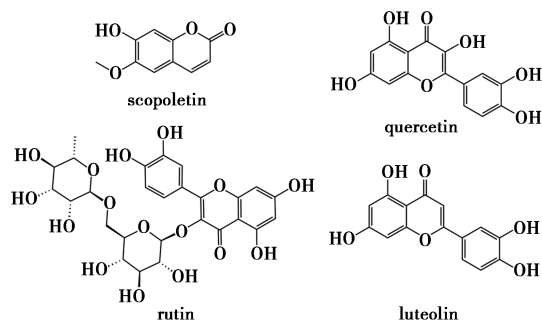


图1 东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的化学结构式

Fig.1 Chemical structures of scopoletin, rutin, quercetin and luteolin

目前对于东莨菪素及3种黄酮物质的定量分析,方法主要采用分光光度法^[12-14]、高效液相色谱法(HPLC)^[15-17]、超高效液相色谱-串联质谱法(UPLC-MS/MS)等^[18-20]。分光光度法无需大型仪器,操作简单,但分析特异性一般,容易受基质干扰,且测定黄酮含量是总含量,无法测定单个物质;UPLC-MS/MS分析法准确可靠、选择性好、灵敏度高,但仪器使用和维护成本偏高,物质含量较高时需要多次稀释才能进样,以免影响质谱部件,因而更适用于测定痕量物质如植物激素、果蔬农药残留等。综合考虑化合物的植物体内含量、方法的灵敏度、操作难易程度及使用成本等,选择HPLC作为测定葵花盘粉中4种化合物的检测方法。

基于此,通过优化样品前处理步骤和色谱分析条件,建立了葵花盘粉提取物样品中东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的HPLC分析方法,测定

了不同来源葵花盘粉产品中4种成分的含量,从而为葵花盘粉类饮品的产品研发与质量控制提供方法学参考。

1 实验部分

1.1 主要仪器与试剂

LC-2030 D Plus 型高效液相色谱系统(包含LC-2030 四元低压梯度输液泵、自动进样器、LC-2030 PDA DAD 检测器、LC-2030 Oven 柱温箱、在线脱气机和 LabSolution 色谱工作站,日本岛津公司);FBZ2002-UP-P 型超纯水机(青岛富勒姆科技有限公司)。

甲醇(色谱纯,德国 Merck 公司);东莨菪素(99%)、芦丁(98%)、槲皮素(98%)、木樨草素(98%)(HPLC 级,上海源叶生物科技有限公司);N-丙基乙二胺(PSA,40~60 μm ,天津博纳艾杰尔有限公司);C18(40~63 μm)、石墨化炭黑(GCB,120-400 MESH)(德国 CNW Technologies 公司);中性氧化铝(100-200 MESH,国药集团化学试剂有限公司);其他所用试剂均为分析纯。

葵花盘粉固体饮品及葵花盘粉提取物由山东牧香生物科技有限公司提供。

1.2 样品前处理步骤

以色谱甲醇为溶剂,配制了东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的标准物质溶液,浓度均为400.00 mg/L,保存于4 $^{\circ}\text{C}$ 等待稀释使用。称取1.00 g 葵花粉提取物,加入10.00 mL 分析纯甲醇,涡旋振荡1 min,功率100 W 水浴超声处理30 min,常温静置提取12 h;移液枪移取1.00 mL 提取液装入离心管(提前加入80 mg C18 填料),涡旋振荡1 min;放入离心机以转速10 000 r/min、温度25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下离心10 min,上清液0.22 μm 滤膜过滤后,装入棕色进样小瓶,4 $^{\circ}\text{C}$ 保存等待仪器进样。

1.3 液相色谱分析条件

色谱分离采用日本岛津 InertSustain[®] C18 反相液相色谱柱(250 mm $\times$ 4.6 mm $\times$ 5.0 μm);色谱流动相 A 相为含0.1%磷酸的超纯水,B 相为甲醇;梯度洗脱程序:0~10 min,B 相5%线性增加至25%;10~20 min,B 相25.00%线性增加至60%;20~25 min,B 相60%线性增加至100%;25~30 min,B 相100%线性减少至5%;30~35 min,B 相保持5%,平衡仪器等待下一针进样;DAD 检测器:波长扫描范围200~400 nm,池温度40 $^{\circ}\text{C}$,定

量波长 350 nm;流速 1.00 mL/min,色谱柱柱温 30 ℃;自动进样器:吸样速度 15.00 $\mu\text{L/s}$,进样量 20.00 μL ,进样前后均以 35.00 $\mu\text{L/s}$ 速度清洗进样针,样品室温度 25 ℃。

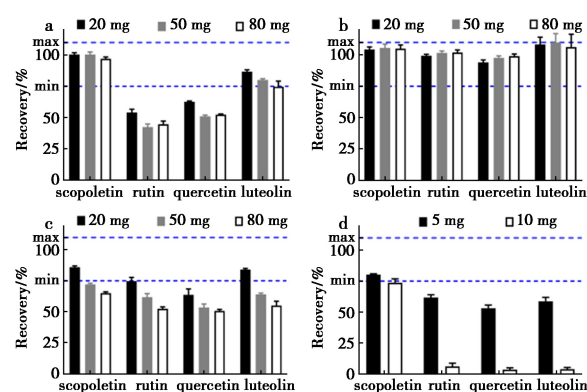
2 结果与讨论

2.1 前处理条件的优化

根据植物组织中 4 种物质含量的特点,以及快速完成、简便操作的要求,选择 QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe) 方法作为样品的前处理方法。首先比较了甲醇和乙腈常用溶剂,经检测发现:同等条件下,采用甲醇浸泡提取葵花盘得到 4 种化合物的峰面积要大于乙腈浸泡提取,尤其是芦丁、木樨草素,表明黄酮类化合物更适合用甲醇来提取。因此,选择甲醇作为样品提取溶剂。接着,优化了液料比 (5.00、10.00、15.00、20.00、30.00 (mL/g)),发现每克粉末的甲醇用量 ≥ 15.00 mL 时,4 种化合物峰面积不再增加,因而选择 20.00 mL 浸泡提取 1.00 g 葵花盘粉样品。研究了不同水浴超声时间对提取的 4 种物质峰面积的影响,结果显示,时间 > 25 min 时 4 种物质峰面积均不再增加,表明 25 min 处理使萃取的目标物质的量达到最多,综合实际操作等因素,选择 30 min 作为最佳的超声萃取时间。同时,为达到最佳的目标物质提取效率,在超声萃取步骤后,加入常温静置提取 12 h 的处理步骤。

添加 4 种化合物标准物质到样品提取液中,添加含量均为 5.00 mg/L,研究样品的净化剂组成。由于提取液本身含有 4 种物质,所以实际检测到的含量要高于添加含量值。选择 PSA、C18、中性氧化铝和石墨化炭黑 (GCB) 作为候选净化剂,其中 PSA、C18、中性氧化铝的候选用量均为每毫升提取液 20、50 和 80 mg, GCB 的候选用量为每毫升提取液 5、10 mg,每组处理 3 个重复。样品涡旋混匀后,进行 HPLC 分析,以添加与未添加净化剂的峰面积之比作为回收率,从而选择合适的净化剂。结果如图 2 所示:1) 添加 PSA、中性氧化铝、GCB 各个剂量后,芦丁、槲皮素的回收率低于回收率下限 75% (图 2a、2c 和 2d),原因可能是 3 种吸附剂对槲皮素、芦丁的吸附性较强,在去除色素、酯类等杂质成分时,同时吸附去除了目标化合物;2) 添加 C18 各个剂量,4 种化合物的回收率范围 94%~108% (图 2b),回收率较高,且低于

回收率上限 (110%);3) 对于 C18,随添加量由 20 mg 增加至 80 mg,回收率并未下降还略有上升,原因可能是 C18 填料对 4 种物质吸附较弱,而吸附了部分甲醇,使得提取液体积减少 (实测减少约 20%),使得样品液中目标物质被相对地浓缩。此外,添加 80 mg C18 填料后,样品提取液颜色变淡,表明部分杂质成分被去除掉。因此,最终净化步骤为:1 mL 葵花盘提取液中加入 80 mg C18 填料。



a. PSA; b. C18; c. 中性氧化铝; d. GCB

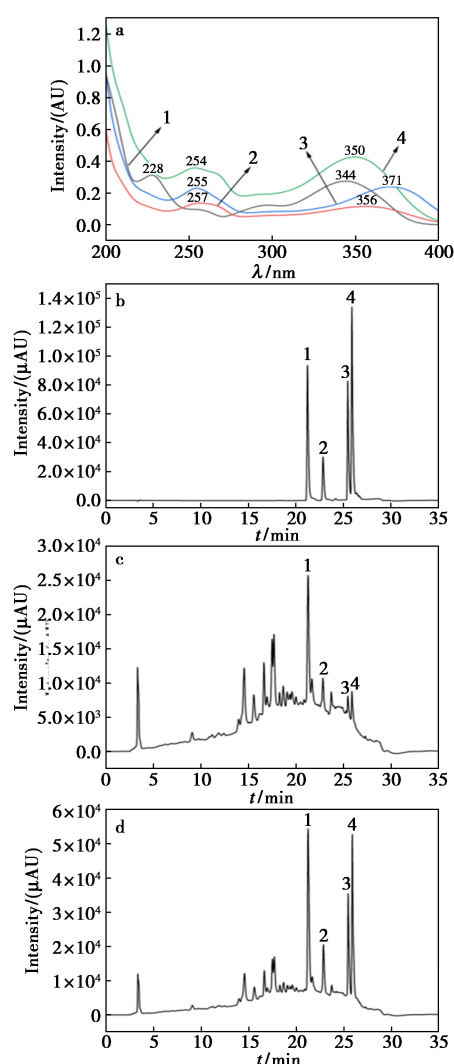
图 2 添加净化剂后提取液样品中 4 种化合物的回收率

Fig.2 Recoveries of four compounds from extraction samples after adding different purification agents

2.2 色谱检测条件的优化

4 种物质标样分别进样后,通过 DAD 检测器得出 4 种化合物的紫外光谱图 (图 3a)。由图 3 可知,东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素在 200~400 nm 范围内有多个吸收峰,其中东莨菪素在 228 和 344 nm 处有明显的吸收峰,芦丁、槲皮素和木樨草素的两个较明显的吸收峰分别出现在 257 和 356 nm、255 和 371 nm、254 和 350 nm 处。各物质的吸收峰波长及光谱形状特征,与 4 种物质的保留时间,是目标物质定性的主要依据。综合考虑梯度洗脱的漂移性、不同波长处杂质干扰、化合物吸收特点,选择 350 nm 作为 4 种化合物的定量检测波长。

为缩短样品分析时间,减少杂质组分干扰,对色谱流动相组成和比例进行了优化。初步探索显示:1) 以甲醇和水、乙腈和水为流动相,分离效果相似,“乙腈-水”体系系统输液泵压力稍低,但色谱乙腈毒性和价格较高,因而选择甲醇和水作为流动相;2) 甲醇和水等度洗脱,需要将水的比例设置高一些 ($> 55\%$),完全分离所需的总时间较



1. 东莨菪素; 2. 芦丁; 3. 槲皮素; 4. 木樨草素
a. 紫外光谱扫描图; b. 混合标准溶液 (10.00 mg/L);
c. 葵花盘粉样品; d. 葵花盘粉样品添加
4 种化合物混合标准物质 (2.00 mg/kg)

图 3 4 种化合物的紫外光谱及标样溶液、葵花盘粉样品的代表性色谱图

Fig.3 UV spectra of four compounds and typical chromatograms of standard solutions and sunflower calathide powder

表 1 4 种化合物的线性回归方程、检出限和定量限^注

Tab.1 Linear regression equation, limit of detection (LOD) and limit of quantitation (LOQ) of four compounds

Compound	Scopoletin	Rutin	Quercetin	Luteolin
Linear range/(mg·L ⁻¹)	0.08~100.00	0.15~100.00	0.08~100.00	0.08~100.00
Regression equation	$y = 72\,273x - 3\,288$	$y = 24\,189x + 2\,589$	$y = 33\,696x + 4\,777$	$y = 89\,169x + 10\,665$
Coefficient regression, R^2	0.999 5	0.999 4	0.996 2	0.999 6
LOD ¹⁾ /(mg·L ⁻¹)	0.03	0.06	0.03	0.02
LOQ ²⁾ /(mg·L ⁻¹)	0.08	0.15	0.08	0.08
Intra-day RSD ($n=6$)	1.2% (10.00 mg/L); 1.2% (1.00 mg/L)	1.2% (10.00 mg/L); 0.7% (1.00 mg/L)	1.3% (10.00 mg/L); 3.7% (1.00 mg/L)	1.8% (10.00 mg/L); 1.9% (1.00 mg/L)
Inter-day RSD ($n=6$)	1.7% (10.00 mg/L); 1.2% (1.00 mg/L)	2.2% (10.00 mg/L); 2.1% (1.00 mg/L)	1.4% (10.00 mg/L); 3.5% (1.00 mg/L)	3.9% (10.00 mg/L); 2.1% (1.00 mg/L)

注: x : Compound concentration (mg/L); y : Corresponding peak area; 1) $S/N=3$; 2) $S/N=10$.

长 (>50 min), 且峰较宽; 3) 梯度洗脱可在 35 min 以内分离 4 种化合物及其他植物成分, 流动相比比例不断变化可洗脱极性、中极性、非极性化合物, 防止物质保留于色谱柱影响柱效和寿命; 4) 梯度洗脱条件下槲皮素和木樨草素峰仍有些重叠, 原因可能是两者结构仅相差一个羟基 (图 1), 水中加入 0.1% 磷酸可以增加槲皮素和木樨草素的分离效果。因此, 选择甲醇和含 0.1% 磷酸的水溶液作为流动相, 以梯度洗脱的模式对 4 种物质进行分离。优化后的流动相梯度洗脱程序: 0~10 min, B 相 5% 线性增加至 25%; 10~20 min, B 相 25% 线性增加至 60%; 20~25 min, B 相 60% 线性增加至 100%; 25~30 min, B 相 100% 线性减少至 5%; 30~35 min, B 相保持 5%。此条件下的 4 种化合物标样、葵花盘粉提取液以及葵花盘粉提取液添加 4 种物质标样的代表性色谱图如图 3b、3c 和 3d 所示, 东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的保留时间分别为 21.20、22.80、25.50 和 25.90 min, 单个样品检测时间为 35 min。

2.3 方法学验证

2.3.1 方法的工作曲线、检出限、定量限、精密度和重复性

配制了 4 种物质的混合标准溶液, 系列浓度分别为 0.08、0.10、0.15、0.25、0.50、1.00、5.00、20.00、50.00、75.00 和 100.00 mg/L, 采用优化后的仪器检测条件进样, 以浓度 x 为自变量, 以峰面积 y 为因变量, 借助 Graphpad Prism 的线性回归模块得出 4 种化合物的线性回归方程及回归系数 (R^2); 对 4 种物质的标准溶液 (1.00 mg/L) 进行持续地稀释, 得到不同浓度的标样稀释液, 经仪器进样, 得到 4 种物质峰信噪比 (S/N) 等于 3 和 10 时的对应浓度, 作为分析方法的定量限 (LOQ) 和检出限 (LOD)。结果显示: 东莨菪素、芦丁、槲皮

素、木樨草素的 LOQ 分别为 0.08、0.15、0.08 和 0.08 mg/L,LOD 分别为 0.03、0.06、0.03 和 0.02 mg/L。分别配制 4 种化合物标准溶液 10.00 和 1.00 mg/L,1 d 内连续进样 6 次,计算峰面积的日内标准偏差,作为方法精密度的指标;在第 2 和 3 d,各进样 6 次,计算连续 3 d 峰面积的日间标准偏差,作为方法重复性的指标。以上验证结果如表 1 所示。由表可知,方法线性较好 ($R^2 > 0.99$),定量限范围 0.08~0.15 mg/L,检出限范围 0.02~0.06 mg/L,精密度 ($RSD \leq 3.7\%$) 和重复性 ($RSD \leq 3.9\%$) 良好。

2.3.2 方法的添加回收率

将 4 种化合物标样分别添加至葵花盘粉样品,物质添加含量见表 2,各添加含量的设置参考葵花盘样品的初始含量值,不少于初始含量值的 5%。采用建立的前处理和仪器检测方法对样品进行测定,并计算 4 种化合物的添加回收率。由于葵花盘粉本身含有 4 种物质,回收率 (Recovery, %) 的计算公式如式 (1) 所示:

$$\text{Recovery}(\%) = \frac{((\text{检测总含量} - \text{初始含量}) / \text{添加含量}) \times 100\%}{(1)}$$

表 2 葵花盘粉样品中 4 种化合物的添加回收率^注

Tab.2 Recovery of four compounds in the sunflower calathide powder samples (n=5)					
Compound	Spiked/ (mg·kg ⁻¹)	Initial ¹⁾ / (mg·kg ⁻¹)	Found ²⁾ / (mg·kg ⁻¹)	Recovery/ %	RSD/ %
Scopoletin	10.00	171.09	9.24	92	2.5
	50.00		46.87	94	1.6
	100.00		93.69	94	1.1
Rutin	10.00	136.73	9.32	93	1.9
	50.00		48.51	97	2.0
	100.00		95.32	95	1.5
Quercetin	2.00	23.74	1.82	91	2.2
	10.00		9.05	91	2.3
	50.00		47.25	95	1.4
Luteolin	0.50	1.22	0.43	87	5.2
	2.00		1.79	89	2.5
	10.00		9.40	94	2.3

注:1) Measured initial content before spiking;2) The measured total content minus the measured initial content.

方法的添加回收率如表 2 所示,结果表明:东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的添加回收率范围分别为 92%~94%、93%~97%、91%~95% 和 87%~94%,相对标准偏差范围分别为 1.1%~2.5%、1.5%~2.0%、1.4%~2.3% 和 2.3%~5.2%。因此,方法准确度较高,可用于实际样品

的分析测定。

2.4 实际样品的测定

采用建立的 HPLC 分析方法,测定了一种葵花盘固体饮料产品以及两种产地的葵花盘粉样品,数据结果见表 3。结果表明:东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的含量范围分别为 68.75~179.41 mg/kg、48.52~232.35 mg/kg、20.45~32.47 mg/kg 和 0.34~1.10 mg/kg。葵花盘固体饮品中 4 种成分的含量高于两种产地葵花盘粉,原因可能为产品加工过程中采用一些工艺进行了提纯。不同产地葵花盘粉中 4 种成分的含量不同,含量差异可能与产地土壤、气候和种植条件有关。不同样品中东莨菪素、芦丁的含量均高于槲皮素、木樨草素,因而推测前两者对葵花盘药效所起到的作用更显著。

表 3 葵花盘粉样品中 4 种化合物的含量测定结果^注

Tab.3 Detected concentrations of four compounds in sunflower calathide powder samples (n=3)				
Sample name	Detected concentrations ¹⁾ /(mg·kg ⁻¹)			
	Scopoletin	Rutin	Quercetin	Luteolin
Sunflower calathide powder solid drinks	179.41±18.44	232.35±23.92	20.45±3.24	1.10±0.11
Samples from the first producing area	68.75±3.62	48.52±9.92	22.71±3.77	0.34±0.22
Samples from the second producing area	117.11±7.78	84.74±9.08	32.47±4.55	0.40±0.11

注:1) Result of detected concentrations was expressed as “mean±standard deviation (SD,n=3)”。

3 结论

通过优化 QuEChERS 前处理方法的提取液、净化剂组成,以及色谱流动相组成、梯度洗脱程序、检测器定量波长,建立了同时测定葵花盘粉样品中东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的高效液相色谱分析方法。该方法定量限和检出限范围分别为 0.08~0.15 和 0.02~0.06 mg/L;4 种化合物的添加回收率范围为 87%~97%,相对标准偏差范围为 1.1%~5.2%。采用该方法对一种葵花盘粉固体饮品和来自两种产地的葵花盘粉样品进行了检测,测定结果显示:东莨菪素、芦丁、槲皮素和木樨草素的含量范围分别为 68.75~179.41、48.52~232.35、20.45~32.47 和 0.34~1.10 mg/kg。葵花盘粉样品中东莨菪素、芦丁较高,该结果为葵花盘粉抗痛风的药效物质研究提供了重要参考。

参考文献:

- [1] Zhao P, Saeed O, Yang H, Liu J T, Zhang Z L, Liu Y H, Wang H, Wei M G. *Biotic. Res.*, 2018, **40**(3): 203.
赵萍, Saeed Omer, 杨恒, 刘金涛, 张子亮, 刘裕慧, 王欢, 魏明广. 生物资源, 2018, **40**(3): 203.
- [2] Liu P H. Preparation of Active Substances from Sunflower Plate and their Hypouricemic Activity. Changchun: Jilin University, 2018.
刘盼红. 葵花盘活性物质的制备及其降尿酸作用研究. 长春: 吉林大学, 2018.
- [3] Dai H N, Lv S, Qiao Z A, Wang K Y, Zhou X P, Bao C Y, Zhang S T, Fu X Q, Li W N. *Front Nutr.*, 2022, **8**: 769 555.
- [4] Liu X B, Xue J L. *Inner Mongolia J. Tradit. Chin. Med.*, 2016, **35**(8): 130.
刘小波, 薛均来. 内蒙古中医药, 2016, **35**(8): 130.
- [5] Liu X S. Study on the Chemical Compositions and Biological Activities of Eessential Oils from Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Receptacles and the Preparation of Nanoemulsion. Changchun: Jilin University, 2021.
刘新胜. 葵花盘挥发油的化学成分与生物活性研究及其纳米乳的制备. 长春: 吉林大学, 2021.
- [6] Qi H. Analysis on The Trend of Early-Onset Gout and Telated Risk Factors and Comparation of Effectiveness of Different Urate-Lowering Therapy in Gout Patients with Renal Uric Acid Underexcretion. Qingdao: Qingdao University, 2022.
齐涵. 痛风年轻化趋势分析及不同药物对肾脏排泄减少型痛风疗效比较. 青岛: 青岛大学, 2022.
- [7] Qiao Z A. Study on Identification of Flavonoids and The Preparation Technology of Granules in Sunflower Receptacles (*Helianthus annuus* L.). Changchun: Jilin University, 2021.
乔子安. 葵花盘中黄酮成分鉴定及葵花盘颗粒剂的制备工艺研究. 长春: 吉林大学, 2021.
- [8] Zhu M, Zhang K M, Ding Y. *J. Shenyang Pharm. Univ.*, 2016, **33**(11): 889.
祝茗, 张开梅, 丁燕. 沈阳药科大学学报, 2016, **33**(11): 889.
- [9] Lin C C, Chen D W, Dai J G. *Acta Pharm. Sin.*, 2022, **57**(5): 1 322.
林春草, 陈大伟, 戴均贵. 药学学报, 2022, **57**(5): 1 322.
- [10] Wang Q, Li K W, Zhou C Z. *J. Beijing Union Univ.*, 2022, **36**(1): 59.
王琪, 李坤伟, 周长征. 北京联合大学学报, 2022, **36**(1): 59.
- [11] Dai H, Lv S, Fu X, Li W. *Appl. Sci.*, 2021, **11**(21): 10 306.
- [12] Yin Y B, Shi Z L, Wang Z Z, Shi J G, Zhang J Y, Gao H D. *Chin. J. Anal. Lab.*, 2023, **42**(1): 65-70.
殷耀兵, 时之琳, 王朝朝, 时建刚, 张鉴钰, 高会东. 分析试验室, 2023, **42**(1): 65-70.
- [13] Guo Q, Chen M A, Zhang X Y, Li Z Z, Huang X H. *Asia-Pacific Tradit. Med.*, 2022, **18**(3): 56.
郭庆, 陈美安, 张欣影, 李宗泽, 黄星海. 亚太传统医药, 2022, **18**(3): 56.
- [14] Liu T, Liu D L, Wei Y J. *J. Instrum. Anal.*, 2018, **37**(3): 313.
刘铁, 刘德龙, 魏永巨. 分析测试学报, 2018, **37**(3): 313.
- [15] Wei Y T, Cui Y L, Lin D, Zhang H M, Wang G Y, Zhang Q H. *Chin. J. Anal. Lab.*, 2023, **42**(11): 1 502-1 507.
魏永涛, 崔玉玲, 林娣, 张红梅, 王桂英, 张秋红. 分析试验室, 2023, **42**(11): 1 502-1 507.
- [16] Yu X, Yu W X, Zhang X H, Wang Y J, Wang S M, Zhai H Y. *Anal. Biochem.*, 2021, **631**: 114 373.
- [17] Zhang B Y, Tong Y K, He J H, Sun B D, Zhang F, Tian M M. *RSC Adv.*, 2021, **11**(63): 39 821.
- [18] Wu J J, Liu Y L, Tu X Q, Yin S, Li Q Y, Huang H P. *Chin. J. Anal. Lab.*, 2024, **43**(1): 51-56.
吴姣娇, 刘玉玲, 涂晓琴, 殷帅, 李启艳, 黄海萍. 分析试验室, 2024, **43**(1): 51-56.
- [19] Li C H, Yuan G P, Wang C Y, He G F, Chen J. *J. Jiangxi Univ. Chin. Med.*, 2021, **33**(6): 73.
李春华, 袁桂平, 王诚远, 何馆发, 陈俊. 江西中医药大学学报, 2021, **33**(6): 73.
- [20] Wu W L, Li H, Xu W. *Strait Pharm. J.*, 2022, **34**(1): 70.
吴文理, 李煌, 徐伟. 海峡药学报, 2022, **34**(1): 70.