

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241028007

超高效液相色谱法测定食品中枸杞酸含量

黎俊威, 苏君梅, 胡杰, 杨静, 陈汉峰, 刘春丽*

[捷通(广州)检测技术服务有限公司, 广州 510730]

摘要: **目的** 建立超高效液相色谱法(ultra performance liquid chromatography, UPLC)测定食品中枸杞酸(ascorbic acid 2-glucoside, AA-2 β G)含量的分析方法。**方法** 采用 Torus Diol (3.0 mm \times 100 mm, 1.7 μ m)色谱柱, 以乙腈-乙酸铵溶液(85:15, V:V)为流动相进行 AA-2 β G 的分离, 流速为 0.4 mL/min, 柱温为 40 $^{\circ}$ C, 在紫外检测波长 260 nm 下检测, 外标法定量。**结果** AA-2 β G 在 3.01~15.00 μ g/mL 质量浓度范围内呈现良好的线性关系, 相关系数 $r^2=0.9997$, 加标回收率均大于 85% ($n=9$), 相对标准偏差为 2.22%, 精密性相对标准偏差为 1.33%, 重复性相对标准偏差为 1.15%, 本方法的检出限为 0.03 μ g/g, 定量限为 0.09 μ g/g。**结论** 该方法前处理简便, 检测速度快捷、稳定, 灵敏度和准确度高, 可以满足枸杞相关配方产品中 AA-2 β G 的含量测定和质量控制要求, 同时可为行业内对食品中 AA-2 β G 的定性定量分析提供有价值的参考。

关键词: 超高效液相色谱法; 枸杞酸; 食品

Determination of ascorbic acid 2-glucoside content in food by ultra performance liquid chromatography

LI Jun-Wei, SU Jun-Mei, HU Jie, YANG Jing, CHEN Han-Feng, LIU Chun-Li*

[Access (Guangzhou) Testing Technology Service Co., Ltd., Guangzhou 510730, China]

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of ascorbic acid 2-glucoside (AA-2 β G) content in food by ultra performance liquid chromatography (UPLC). **Methods** A Torus Diol (3.0 mm \times 100 mm, 1.7 μ m) column was used, with acetonitrile-ammonium acetate solution (85:15, V:V) as the mobile phase for the separation of AA-2 β G, at a flow rate of 0.4 mL/min, column temperature of 40 $^{\circ}$ C, and detected at ultraviolet detection wavelength of 260 nm, with external standard quantification. **Results** The linearity of AA-2 β G was good in the range of 3.01–15.00 μ g/mL, with a correlation coefficient $r^2=0.9997$. The recovery rates were all greater than 85% ($n=9$), the relative standard deviation was 2.22%, the relative standard deviation of precision was 1.33%, the relative standard deviation of repeatability was 1.15%, the limit of detection of method was 0.03 μ g/g, and the limit of quantification was 0.09 μ g/g. **Conclusion** This method is convenient for pre-treatment, fast in detection speed, stable, and has high sensitivity and accuracy, which can meet the requirements for the determination and quality control of AA-2 β G content in related formula products, and can also provide valuable reference for the qualitative and quantitative analysis of AA-2 β G in food within the industry.

KEY WORDS: ultra performance liquid chromatography; ascorbic acid 2-glucoside; food

*通信作者: 刘春丽, 工程师, 主要研究方向为食品和保健食品质量管理。E-mail: 1040760028@qq.com

*Corresponding author: LIU Chun-Li, Engineer, Access (Guangzhou) Testing Technology Service Co., Ltd., No.4 Shiyang Road, Huangpu District, Guangzhou 510730, China. E-mail: 1040760028@qq.com

0 引言

枸杞子为茄科植物宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)的干燥成熟果实,是食药同源中药材,在我国药用历史悠久^[1]。现代药理学的研究显示,枸杞子及其活性成分具有抗肿瘤^[2]、防治神经系统疾病^[3]、抗炎抑菌^[4]、调节免疫^[5]、抗氧化^[6-7]、调节血糖血脂、保护视力、抗抑郁与焦虑、保护肝肺肾等作用^[8-10]。

枸杞中化学成分复杂,其含有多糖类、黄酮类、原花青素类、花色苷类、生物碱等多种化学成分^[11-14]。枸杞子中的水溶性成分主要是枸杞多糖、甜菜碱和 2-O- β -D-葡萄糖基-L-抗坏血酸(枸杞酸)等物质。《中华人民共和国药典》(2020 版)中枸杞子以多糖和甜菜碱作为含量测定指标,然而枸杞多糖的检测方法专属性不强,玉竹、石斛、百合等中药均以多糖作为含量测定指标,现有的检测方法并不能定性区别多糖的植物来源;枸杞子中甜菜碱专属性较差,甜菜碱广泛存在于动植物和微生物中,仙人掌、甜菜根中均含有甜菜碱,且人工合成纯度可达 98% \pm 1%^[15],也不属于枸杞中特有的成分。枸杞酸最早是 2004 年日本学者 TOYODA 等从宁夏枸杞和北方枸杞的干果中分离纯化得到的,是枸杞中特有的标志性成分^[16-17],是一种稳定、新型、纯天然维生素 C 衍生物^[18],具有抑制黑色素^[19]、抗氧化^[20]、清除自由基^[21]、调节免疫^[22]、调节肠道菌群^[23-24]等作用。

关于枸杞酸,目前未有权威机构发布其检测方法及其标准。国内外已经发表的文献中,多采用高效液相色谱法检测枸杞酸的含量,其分析速度相对较慢,分离效率相对不高,而部分采用超高效液相色谱法(ultra performance liquid chromatography, UPLC)的主要研究方向是枸杞原料,相关配方产品中枸杞酸含量测定方法研究较少^[25-28],本研究采用 UPLC 检测食品中枸杞酸的含量,对于确保枸杞子的质量和安全性、评估其药理作用以及对枸杞子原料的品质评价、相关配方产品的质量控制在以及市场的监管都具有重要的意义^[29-30]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

枸杞粉末样品(市售),枸杞粉末空白样品(制备)。

乙腈(色谱纯,德国默克公司);乙酸铵(分析纯,广州化学试剂厂);枸杞酸对照品(CAS: 562043-82-7,含量: 99.7%,上海诗丹德标准技术服务有限公司);水为符合 GB/T 6682《分析实验室用水规格和试验方法》规定的一级水。

1.2 仪器与设备

Waters ACQUITY UPLC H-Class, TUV 超高效液相

色谱仪(配紫外检测器)、Torus Diol (3.0 mm \times 100 mm 1.7 μ m)液相色谱柱(美国沃特世公司);Mettler Toledo XPR205 分析天平(感量 0.01 mg)、Mettler Toledo MR603 分析天平(感量 1 mg)(瑞士梅特勒-托利多国际股份有限公司);S180H 超声波振荡器(德国艾尔玛公司);IKA/LAB DANCER S000 涡旋混合器(德国艾卡公司);Millipore/Milli-Q/Academic 纯水发生器(一级水,德国默克集团)。

1.3 实验方法

1.3.1 试剂的配制

66.7 mmol/L 乙酸铵溶液:称取 2.571 g 乙酸铵至 500 mL 水中,混合均匀后过滤,脱气待用。

流动相:乙腈和乙酸铵溶液(66.7 mmol/L)按体积比 85:15 混合。

1.3.2 枸杞酸标准溶液的配制

枸杞酸对照品储备液:准确称取枸杞酸对照品 0.00754 g,置于 10 mL 容量瓶中,先加入 0.1 mL 蒸馏水溶解,再用流动相稀释,定容后摇匀。

枸杞酸对照品中间储备液:移取 1.0 mL 储备液于 50 mL 容量瓶,用流动相溶液定容。

枸杞酸标准工作溶液:准确移取对照品中间储备液 2、4、6、8、10 mL 于 10 mL 容量瓶中,流动相定容,得到质量浓度为 3.01、6.01、9.02、12.00、15.00 μ g/mL 的系列标准工作溶液。

1.3.3 样品溶液制备

精密称取本品约 0.15 g,准确加入 1.0 mL 蒸馏水进行充分溶解,定容于 25 mL 容量瓶,再精密加入流动相(85% 乙腈-乙酸铵)24 mL,称定重量,超声处理 40 min,冷却至室温,用流动相补足减失重量,摇匀后用 0.45 μ m 滤膜过滤即得供试液。

阴性对照品溶液制备:依照本品制备工艺,在不添加枸杞子粉的情况下,将其余辅料进行混合,得到不含有枸杞酸成分的枸杞子粉空白样。按照供试品溶液的制备方法制成阴性对照品溶液。

1.3.4 色谱条件

色谱柱:Torus Diol Column (3.0 mm \times 100 mm, 1.7 μ m);流动相:乙腈:乙酸铵溶液(66.7 mmol/L)=85:15 (V/V);流速为 0.4 mL/min,柱温为 40 $^{\circ}$ C,进样体积 2.0 μ L;检测波长 260 nm,运行时间:10 min。

1.4 数据处理

本研究检测数据的定性定量分析和目标物质色谱图在沃特世 Empower 3 中完成,而所有测定结果均为原始结果。数据分析利用 Microsoft Excel 365 进行,包括了数据的录入、整理、统计学分析和可视化图形的绘制。

2 结果与分析

2.1 专属性实验

制备阴性对照品溶液(1.3.3 中所述阴性对照品溶液), 检查其对结果是否有干扰。如图 1 所示, 阴性对照品在枸杞酸出峰位置没有出现明显定量峰, 对实验样品枸杞酸的定量不造成影响(枸杞酸的保留时间约为 6.4 min, 图 2、3)。

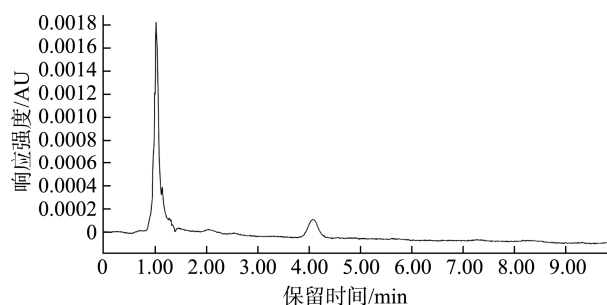


图 1 阴性对照样品色谱图

Fig.1 Chromatogram of negative control sample

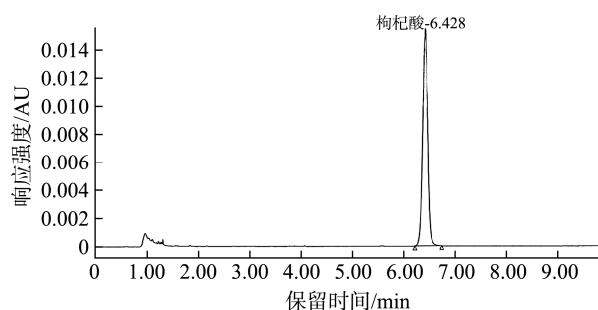


图 2 枸杞酸标准品色谱图

Fig.2 Chromatogram of ascorbic acid 2-glucoside standard sample

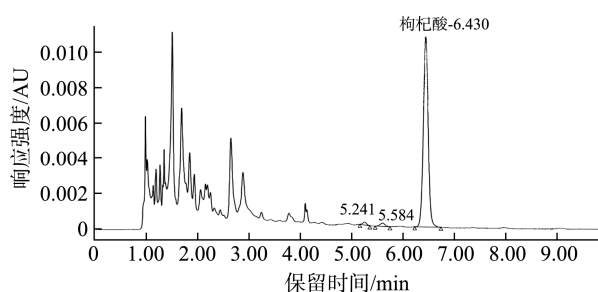


图 3 枸杞粉末样品色谱图

Fig.3 Chromatogram of *Lycium barbarum* powder sample

2.2 耐用性

2.2.1 溶液稳定性考察

样品溶液在放置一定时间后测定, 考察目标组分峰面积的变化。样品在 18 h 内峰面积变化较小, 峰面积的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 1.07%, 小于 4%, 表明样品溶液在 18 h 内稳定, 结果见表 1。

表 1 溶液稳定性考察

Table 1 Solution stability evaluation

放置时间/h	峰面积	峰面积的 RSDs/%	保留时间/min	保留时间的 RSDs/%
0	72566	NA	6.295	NA
4	73029	0.64	6.290	0.08
8	72835	0.37	6.250	0.71
12	72465	0.14	6.171	1.97
16	73447	1.21	6.247	0.76
18	74578	2.77	6.303	0.13
RSDs/%	1.07		0.79	

注: NA 表示不适用。

2.2.2 流速耐用性考察

对同一份样品的 3 份制备样采用不同流速, 以流速 (0.4±0.1) mL/min 进行测定, 流速 1 为 0.3 mL/min, 流速 2 为 0.4 mL/min, 流速 3 为 0.5 mL/min, 并计算枸杞酸含量及 RSDs 值, 考察流速耐用性。3 份制备样不同流速下枸杞酸含量的 RSDs 均小于 4%, 详见表 2。

表 2 流速耐用性考察

Table 2 Flow rate robustness evaluation

序号	枸杞酸含量/(mg/100 g)			RSDs/%
	流速 1 0.3 mL/min	流速 2 0.4 mL/min	流速 3 0.5 mL/min	
1	95.75	96.24	95.78	0.29
2	94.83	95.08	95.12	0.17
3	94.87	94.88	95.43	0.34

2.2.3 柱温耐用性考察

对同一份样品的 3 份制备样采用不同柱温, 以柱温 (40±5) °C 进行样品测定, 柱温 1 为 35 °C, 柱温 2 为 40 °C, 柱温 3 为 45 °C, 并计算枸杞酸含量及 RSDs 值, 考察柱温耐用性。3 份制备样不同柱温下枸杞酸含量的 RSDs 均小于 4%, 如表 3 所示。

表 3 柱温耐用性考察

Table 3 Column temperature robustness evaluation

序号	枸杞酸含量/(mg/100 g)			RSDs%
	柱温 1 35 °C	柱温 2 40 °C	柱温 3 45 °C	
1	95.75	91.42	92.68	2.39
2	94.83	90.72	91.89	2.29
3	94.87	90.10	91.22	2.71

2.2.4 色谱柱考察

对同一份样品的 2 份制备样采用不同批号色谱柱对样品进行测定, 并计算枸杞酸含量及 RSDs 值, 考察色谱柱耐用性。2 份制备样在不同批号色谱柱下枸杞酸含量 RSDs 均小于 4%, 具体见表 4。

表 4 色谱柱考察
Table 4 Column performance assessment

序号	枸杞酸含量/(mg/100 g)		RSDs/%
	色谱柱 1	色谱柱 2	
1	95.75	95.59	0.17
2	94.83	96.07	1.30

注: 色谱柱 1: Torus Diol Column (3.0 mm×100 mm, 1.7 μm) Serial No. 01023509715118; 色谱柱 2: Torus Diol Column (3.0 mm×100 mm, 1.7 μm) Serial No. 01073133417102。

2.3 线性范围

精密吸取 1.3.2 中枸杞酸对照品储备液 1 mL, 用流动相稀释定容至 50 mL, 精密吸取 2、4、6、8、10 mL 于 10 mL 容量瓶中, 用流动相稀释定容, 得到质量浓度为 3.01、6.01、9.02、12.00、15.00 μg/mL 系列标准溶液。以测得的待测组分峰面积作为纵坐标(Y), 被测物质量浓度(X, μg/mL)绘制标准曲线, 线性方程为 $Y=11609X-1284.6$, $r^2=0.9997$, 表明枸杞酸在质量浓度 3.01~15.00 μg/mL 范围内线性关系良好, 结果见图 4。

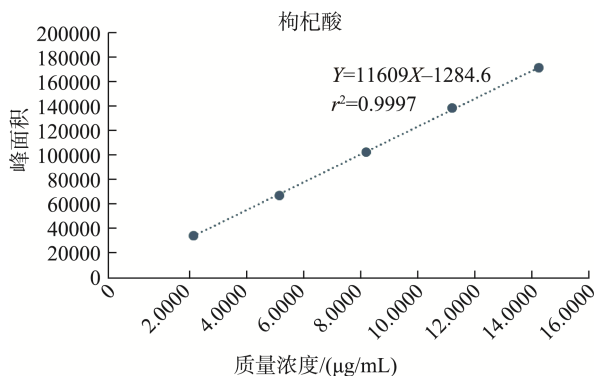


图 4 枸杞酸标准曲线

Fig.4 Standard curve of ascorbic acid 2-glucoside

2.4 检出限及定量限

基于方法的需要, 制备低浓度样品溶液(称样量为

0.15 g, 定容体积为 25 mL, 稀释 100 倍): 在信噪比(S/N) 为 3 时, 枸杞酸的检测浓度为 0.02442 μg/g, 当信噪比>3 时, 得到检出限为 0.03 μg/g; 在信噪比>10 时得到定量限为 0.09 μg/g, 满足检测的要求。

2.5 重复性考察

同一分析员连续测定按规定浓度配制的 6 个样品, 计算 6 个测定结果的 RSDs。测得枸杞酸的平均含量为 97.86 mg/100 g, 6 个结果的 RSDs 为 1.15%, 结果见表 5。重复性考察结果满足《中国药典》2020 年版 9101 分析方法验证指导原则要求, 即当待测定成分含量在 100 μg/g~1 mg/g 时, 重复性 RSDs 要求为不大于 4%。

表 5 枸杞酸重复性考察
Table 5 Repeatability of ascorbic acid 2-glucoside

序号	称样量/g	枸杞酸			RSDs/%
		峰面积	含量/(mg/100 g)	平均值/(mg/100 g)	
1	0.1535	69638	99.50	97.86	1.15
2	0.1593	70191	96.62		
3	0.1558	70095	98.66		
4	0.1526	67392	96.91		
5	0.1545	68474	97.23		
6	0.1545	69200	98.24		

2.6 中间精密度考察

分别在不同时间, 由两个不同的分析人员测定同一份样品的 6 份制备样, 计算 12 个测定结果的 RSDs。测得枸杞酸的平均含量为 96.95 mg/100 g, 12 个结果的 RSDs 为 1.33%, 详见表 6。中间精密度考察结果满足《中国药典》2020 年版 9101 分析方法验证指导原则要求, 即当待测定成分含量在 100 μg/g~1 mg/g 时, 重复性 RSDs 要求为不大于 4%。

表 6 枸杞酸中间精密度考察
Table 6 Intermediate precision of ascorbic acid 2-glucoside

序号	分析人员 1			分析人员 2		
	称样量/g	峰面积	含量/(mg/100 g)	称样量/g	峰面积	含量/(mg/100 g)
1	0.1535	69638	99.50	0.1598	70800	95.77
2	0.1593	70191	96.62	0.1520	67201	95.64
3	0.1558	70095	98.66	0.1542	68898	96.62
4	0.1526	67392	96.91	0.1528	68058	96.34
5	0.1545	68474	97.23	0.1539	67659	95.09
6	0.1545	69200	98.24	0.1519	67982	96.80
平均值			96.95			
RSDs/%			1.33			

2.7 准确度考察

称取样品约 0.15 g 于 25 mL 容量瓶中, 分别加入 0.06、0.10、0.14 mL 加标溶液(即 1.3.2 中的枸杞酸对照品储备液), 3 次平行检测, 除去样品本底值(样品本底值为中间精密度的 12 组平行样结果 96.95 mg/100 g)计算加

标回收率。结果得出枸杞酸加标回收率在 85.79%~91.93%之间, 回收率的 RSDs 为 2.22%, 满足《中国药典》2020 年版 9101 分析方法验证指导原则要求, 即当待测定成分含量在 100 $\mu\text{g/g}$ ~1 mg/g 时, 回收率要求在 85%~110%, 结果见表 7。

表 7 样品加标回收率实验结果
Table 7 Test results of sample spike recovery

加标比率/%	加标量/mg	称样量/g	样品中量/mg	测得量/mg	回收率/%	平均回收率/%	RSDs/%
30	0.04510	0.1526	0.1479	0.1894	91.93	87.25	2.22
		0.1578	0.1530	0.1921	86.63		
		0.1540	0.1493	0.1890	88.10		
50	0.07517	0.1565	0.1517	0.2171	86.94	87.25	2.22
		0.1538	0.1491	0.2136	85.79		
		0.1543	0.1496	0.2156	87.77		
70	0.10520	0.1540	0.1493	0.2396	85.80	87.25	2.22
		0.1569	0.1521	0.2426	86.06		
		0.1533	0.1486	0.2394	86.25		

3 结 论

本研究建立了 UPLC 对食品中枸杞酸的检测方法。根据方法学考察结果, 本方法在 3.01~15.00 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好, 相关系数 $r^2=0.9997$, 加标回收率均大于 85% ($n=9$), RSDs 为 2.22%, 精密度 RSDs 为 1.33%, 重复性 RSDs 为 1.15%, 检出限为 0.03 $\mu\text{g/g}$, 定量限为 0.09 $\mu\text{g/g}$, 均能满足含量测定的要求。该方法前处理简便、检测速度快、稳定, 灵敏度和准确度高, 可以满足枸杞相关配方产品中枸杞酸的含量测定和质量控制要求。同时由于目前行业内食品中的枸杞酸没有相对应的国家标准、行业标准等标准检测方法, 因此本方法也可为行业内对食品中枸杞酸的检测提供有价值的参考。

参考文献

- [1] 赵佳琛, 金艳, 闫亚美, 等. 经典名方中枸杞及地骨皮的本草考证[J]. 中国现代中药, 2020, 22(8): 1269-1286.
- [2] ZHAO JS, JIN Y, SHAN YM, et al. Herbal textual research on "Lycii fructus" and "Lycii cortex" in Chinese classical prescriptions [J]. Mod Chin Med, 2020, 22(8): 1269-1286.
- [3] XIONG L, DENG N, ZHENG B, et al. HSF-1 and SIR-2.1 linked insulin-like signaling is involved in Goji berry (*Lycium* spp.) extracts promoting lifespan extension of *Caenorhabditis elegans* [J]. Food Funct, 2021, 12(17): 7851-7866.
- [4] LIU J, BAUM L, YU S, et al. Preservation of retinal function through synaptic stabilization in Alzheimers disease model mouse retina by *Lycium barbarum* extracts [J]. Front Aging Neurosci, 2021(13): 788798.
- [5] 史蓉, 周丽, 段亨, 等. 枸杞提取液的活性成分分析及其抑菌性、抗氧化性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 72-76.
- [6] SHI R, ZHOU L, DUAN T, et al. Active components of Chinese wolfberry extracts and its bacteriostatic and antioxidant properties [J]. Food Ind Technol, 2019, 40(1): 72-76.
- [7] LI R, QU S, QIN M, et al. Immunomodulatory and antiviral effects of *Lycium barbarum* glycopeptide on influenza a virus infection [J]. Microb Pathog, 2023, 176: 106030.
- [8] CENARIU D, FISCHER-FODOR E, TIIGU AB, et al. Zeaxanthin-rich extract from superfood *Lycium barbarum* selectively modulates the cellular adhesion and MAPK signaling in melanoma versus normal skin cells *in vitro* [J]. Molecules, 2021, 26(2): 333.
- [9] JACQUES C, GENIES C, BACQUEVILLE D, et al. Ascorbic acid 2-glucoside: An ascorbic acid pro-drug with longer-term antioxidant efficacy in skin [J]. Int J Cosm Sci, 2021, 43(6): 691-702.
- [10] YI Y, WU M, ZHOU XM, et al. Ascorbic acid 2-glucoside preconditioning enhances the ability of bone marrow mesenchymal stem cells in promoting wound healing [J]. Stem Cell Res Therapy, 2022, 13(1): 119.
- [11] 宋艳梅, 张启立, 崔治家, 等. 枸杞子化学成分和药理作用的研究进展及质量标志物的预测分析[J]. 华西药理学杂志, 2022, 37(2): 206-213.
- [12] SONG YM, ZHANG QL, CUI ZJ, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Lycii fructus* and its quality marker prediction and analysis [J]. West China J Pharm Sci, 2022, 37(2): 206-213.
- [13] 张敏, 岳坤, 姜文华, 等. 枸杞子及其有效成分的药理作用研究进展[J]. 药物评价研究, 2023, 46(7): 1611-1619.
- [14] ZHANG M, YUE K, JIANG JH, et al. Research progress on pharmacological effects of *Lycii fructus* and its active ingredients [J]. Drug Eval Res, 2023, 46(7): 1611-1619.
- [15] YANG S, CHEN X, SUN J, et al. Polysaccharides from traditional Asian food source and their antitumor activity [J]. J Food Biochem, 2022, 46(3): e13927.
- [16] 张雪燕, 戴瑜婷, 王艺璇, 等. 枸杞化学成分和药理作用研究进展及质

- 量标志物的预测分析[J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(1): 174-183.
- ZHANG XY, DAI YT, WANG YX, *et al.* Research progress of Goqui (*Lycium barbarum*) and predictive analysis on its Q-markers [J]. Chin J Tradit Chin Med, 2024, 42(1): 174-183.
- [13] 王丹青, 田英, 何军, 等. 基于主成分分析法的不同产区及品种枸杞果实多元化质量评价[J]. 湖北农业科学, 2024, 63(10): 85-90.
- WANG DQ, TIAN Y, HE J, *et al.* Diversified quality evaluation of wolfberry fruits in different production areas and strains based on principal component analysis method [J]. Hubei Agric Sci, 2024, 63(10): 85-90.
- [14] 李淑敏. 枸杞功能成分抗氧化和调节肠道菌群作用研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2023.
- LI SM. Study on antioxidant activity and regulation of gut microbiota via the functional components of *Lycium barbarum* [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2023.
- [15] 杨官娥, 魏文珑. 甜菜碱合成新工艺的研究[J]. 中国药物化学杂志, 2001(3): 38-40.
- YANG GE, WEI WL. A study on the new technology of synthesizing betaine [J]. Chin J Med Chem, 2001(3): 38-40.
- [16] BUBLOZ C, UDRISARD I, MICAUX F, *et al.* The vitamin C analogue 2-O- β -D-glucopyranosyl-L-ascorbic acid in rhizomes, stems and leaves of *Lycium barbarum* [J]. Chimia, 2020, 74(10): 828-830.
- [17] 周慧吉, 殷梦龙, 汤健俭. 枸杞酸提取纯化工艺的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 45-49, 50.
- ZHOU HJ, YIN ML, TANG JJ. Study on extraction and purification process of 2-O- β -D-glucopyranosyl ascorbic acid [J]. Food Ind, 2018, 39(6): 45-49, 50.
- [18] TOYODA OY, MAEDA M, NAKAO M, *et al.* 2-O- β -D-glucopyranosyl ascorbic acid, a novel ascorbic acid analogue isolated from *Lycium* fruit [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(7): 2092-2096.
- [19] 张自萍, 李弘武, 廖国玲, 等. 枸杞子中 2-O- β -D-葡萄糖基-L-抗坏血酸抑制黑素合成的研究[J]. 中国新药杂志, 2007(9): 689-692.
- ZHANG ZP, LI HW, LIAO GL, *et al.* Inhibition of melanin synthesis by 2-O- β -D-glucopyranosyl-L-ascorbic acid from *Fructus lycii* [J]. Chin J New Drug, 2007(9): 689-692.
- [20] 张自萍, 张立平, 郝艳芳. 枸杞子中 AA-2 β G 体外抗氧化作用研究[J]. 实用医学杂志, 2011, 27(1): 11-13.
- ZHANG ZP, ZHANG LP, HAO YF. *In vitro* antioxidant effects of AA-2 β G extracted from *Fructus lycii* [J]. J Pract Med, 2011, 27(1): 11-13.
- [21] 张自萍, 刘晓明, 郝艳芳, 等. AA-2 β G 与 VC 对 DPPH 自由基清除作用的比较[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2010, 31(4): 377-380.
- ZHANG ZP, LIU XM, HAO YF, *et al.* Comparative evaluation of radical scavenging activity against 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl of vitamin C and natural vitamin C anal 2-O- β -D-glucopyranosyl-L-ascorbic acid isolated from *Fructus lycii* [J]. J Ningxia Univ (Nat Sci Ed), 2010, 31(4): 377-380.
- [22] HUANG K, YAN Y, CHEN D, *et al.* Ascorbic acid derivative 2-O- β -D-glucopyranosyl-L-ascorbic acid from the fruit of *Lycium barbarum* modulates microbiota in the small intestine and colon and exerts an immunomodulatory effect on cyclophosphamide-treated BALB/c mice [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(40): 11128-11143.
- [23] DONG W, HUANG K, YAN Y, *et al.* Long-term consumption of 2-O- β -D-glucopyranosyl-L-ascorbic acid from the fruits of *Lycium barbarum* modulates gut microbiota in C57BL/6 mice [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(33): 8863-8874.
- [24] CREMONESI P, CURONE G, BISCARINI F, *et al.* Dietary supplementation with Goji berries (*Lycium barbarum*) modulates the microbiota of digestive tract and caecal metabolites in rabbits [J]. Animals, 2022, 12(1): 121.
- [25] 杨延超, 董慧燕, 殷梦龙. HPLC 测定枸杞提取物中枸杞酸的含量[J]. 食品工业, 2014, 35(10): 255-257.
- YANG YC, DONG HY, YIN ML. Determination of 2-O- β -D-glucopyranosyl ascorbic acid in *Lycium barbarum* L. extracts by HPLC [J]. Food Ind, 2014, 35(10): 255-257.
- [26] 周凌, 朱吟吟, 郁静华, 等. 高效液相色谱法测定枸杞相关食品中枸杞酸和玉米黄质二棕榈酸酯的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(20): 8141-8149.
- ZHOU L, ZHU YY, YU JH, *et al.* Determination of ascorbic acid 2-glucoside and dipalmityl zeaxanthin in *Lycium barbarum* related foods by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(20): 8141-8149.
- [27] 梅利中, 丁慧, 钱勇. 超高效液相色谱法测定枸杞中枸杞酸的含量[J]. 中国食物与营养, 2022, 28(8): 29-33.
- MEI LZ, DING H, QIAN Y. Determination of 2-O- β -D-glucopyranosyl ascorbic acid by UPLC [J]. Food Nutr Chin, 2022, 28(8): 29-33.
- [28] 王远, 刘洋, 张金磊, 等. HPLC-MS/MS 法测定黑枸杞中 9 种酚酸[J]. 农产品加工, 2023(15): 53-55, 61.
- WANG Y, LIU Y, ZHANG JL, *et al.* Determination of 9 phenolic acids in *Lycium barbarum* murray by HPLC-MS/MS [J]. Farm Prod Process, 2023(15): 53-55, 61.
- [29] 周慧吉, 彭博, 李廷钊, 等. 枸杞子中玉米黄质双棕榈酸酯及枸杞酸的测定[J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 294-299.
- ZHOU HJ, PENG B, LI TZ, *et al.* Determination of zeaxanthin dipalmitate and 2-O- β -D-glucopyranosyl ascorbic acid in fruit of *Lycium barbarum* L. [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(12): 294-299.
- [30] 卞雪芬, 巢如昕, 郑清, 等. 菊花枸杞山药饮料的工艺研究[J]. 饮料工业, 2024, 27(5): 55-65.
- BIAN XF, CHAO RX, ZHENG Q, *et al.* Process research on chrysanthemum Chinese wolfberry yam beverage [J]. Beverage Ind, 2024, 27(5): 55-65.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)

作者简介



黎俊威, 工程师, 主要研究方向为食品和保健食品检测。

E-mail: 38282411@qq.com



刘春丽, 工程师, 主要研究方向为食品和保健食品质量管理。

E-mail: 1040760028@qq.com