

引用本文格式 李恒谦, 黄晓旭, 成忠均, 等. 黄精化学成分及药理作用研究进展[J]. 农业工程, 2023, 13(11): 63-67. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2023.11.011. LI Hengqian, HUANG Xiaoxu, CHENG Zhongjun, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Polygonatum sibiricum* Red.[J]. Agricultural Engineering, 2023, 13(11): 63-67.

黄精化学成分及药理作用研究进展

李恒谦¹, 黄晓旭¹, 成忠均¹, 周茂嫦¹, 柳敏¹, 王永¹, 周雪², 张翔宇¹

(1. 毕节市中药研究所, 贵州 毕节 551700; 2. 中山大学药学院, 广东 广州 510006)

摘要: 黄精作为药食两用的多年生贵州省道地中药材, 符合当代大健康产业发展的要求。黄精主要化学成分为多糖、皂苷、黄酮、氨基酸和挥发性成分等, 具有抗氧化、降血糖、降血脂和调节免疫力等功效。归纳总结了黄精化学成分和药理作用及机制的国内外研究进展, 为黄精健康产品开发与研究提供参考。

关键词: 黄精; 黄精多糖; 化学成分; 药理作用; 药食两用

中图分类号: TS201 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2023)11-0063-05

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2023.11.011

Research Progress on Chemical Constituents and Pharmacological Activities of *Polygonatum sibiricum* Red.

LI Hengqian¹, HUANG Xiaoxu¹, CHENG Zhongjun¹, ZHOU Maochang¹, LIU Min¹, WANG Yong¹, ZHOU Xue², ZHANG Xiangyu¹

(1. Bijie Institute of Traditional Chinese Medicine, Bijie Guizhou 551700, China; 2. School of Pharmacy, Sun Yat-Sen University, Guangzhou Guangdong 510006, China)

Abstract: As a traditional perennial Chinese medicine for both medicine and food in Guizhou, *Polygonatum sibiricum* Red. meets industrial development requirements of a wide concept of health. Main chemical compositions of *Polygonatum sibiricum* Red. include polysaccharides, saponins, flavonoids, amino acids, volatile components and so on, which have some functions, such as antioxidant, hypoglycemic, lipid-lowering, and immune regulating effects. Research progress on chemical constituents, pharmacological activities and mechanisms of *Polygonatum sibiricum* Red. at home and abroad were mainly summarized, to provide reference of healthy products and clinical drug research.

Keywords: *Polygonatum sibiricum* Red., polygonatum polysaccharides, chemical constituents, pharmacological effects, dual use of medicine and food

0 引言

黄精为黄精属 (*Polygonatum* Mill.) 百合科 (*Liliaceae*) 多年生草本植物, 根茎横走圆柱状, 结节膨大, 叶轮生, 无柄, 常以根茎入药。该属植物全球有40余种, 我国有31种, 但被《中国药典》(2020年版) 收录仅3种黄精的“原生药”, 为滇黄精 (*Polygonatum kingianum* Coll.et Hemsl.)、黄精 (*Polygonatum sibiricum* Red.) 和多花黄精 (*Polygonatum cyrtoneura* Hua.), 民间根据其形状不同, 分别称为大黄精、鸡头黄精和姜形黄精。黄精是我国

传统中药, 其药用历史已有2000多年, 在古代被视为“长生不老和延年益寿”药用植物, 言其“久服轻身延年不饥”“血气双补之王”。《本草纲目》言其“得坤土之精, 为补养中宫之胜品”。李时珍引《神仙草芝经》云: “黄精宽中益气, 使五脏调和, 肌肉充盈, 骨髓坚强, 其力倍增, 多年不老, 颜色明显, 发白更黑, 齿落更生”。黄精具有补气养阴、益肾、健脾和润肺等功效, 作为药食同源的食材, 又具有解热消暑、改善记忆力、提高免疫力等功能。黄精多糖作为黄精中含量最高的生物活性物质, 引起了人们的极大兴趣和广泛关注。近几年来, 人们对大健康

收稿日期: 2023-03-16 修回日期: 2023-07-20

基金项目: 贵州省人才基地建设项目 (RCJD2020-21); 毕节市科技支撑项目 (毕科合字 [2021]1号)

作者简介: 李恒谦, 助理研究员, 主要从事中草药成分分析及栽培技术研究 E-mail: 754409350@qq.com

张翔宇, 通信作者, 硕士, 副研究员, 主要从事中药材栽培、基因分析研究 E-mail: 304626335@qq.com

在线投稿
www.d1ae.com

的关注度越来越高,对黄精的多糖、黄酮、木脂素、蒽醌、生物碱和挥发性物质等成分研究也越来越广泛及深入,探索更多黄精物质成分的药理作用,拓展了黄精的研究思路和产品研发途径。

1 化学成分

1.1 多糖类

黄精多糖具有抗氧化、抗炎、抗病毒、抑制癌细胞、抗动脉粥样硬化和保肝等作用。多糖是由至少10个单糖结合而成的碳水化合物聚合物,是生物体生长发育中至关重要的生物大分子之一。糖及苷类是黄精化学组成的一个重要部分,也是近年来黄精成分研究的重点。WANG Shiqiang等^[1]使用二乙氨基乙醇-纤维素-52和聚丙烯酰胺葡聚糖G-150柱层析法纯化获得3种黄精多糖,糖残基主要为 $\rightarrow 1$)- β -D-Fruf-($2 \rightarrow 1$)- β -D-Fruf-($2 \rightarrow 1$), $1 \rightarrow \beta$ -D-Fruf-($2 \rightarrow 6$) α -D-Glcp($1 \rightarrow$, $\rightarrow 4$)- β -D-Manp-($1 \rightarrow 4$)- β -D-Manp-($1 \rightarrow$ and $\rightarrow 6$)- β -D-Glcp-($1 \rightarrow 4$)- β -D-Manp-(1 , 存在2个支链1, 6)- β -D-Fruf-(2 , 1, 6)- β -D-Fruf-(2 , 6)- β -D-Fruf-(2),而且链接位点位于C-6位置。经鉴定糖类组分是多糖和低聚糖,其中糖类成分在降糖降脂、抗衰老、抗疲劳等方面的作用一直是各相关研究的热点。XIE Songzi等^[2]研究表明,黄精多糖主要由果糖和葡萄糖组成,其摩尔比18:1,分子量14.35 kDa,呈现三螺旋构象,表面粗糙,微观结构呈现山状,并且更加细致地描述了多糖的微观结构。张帆等^[3]研究黄精九蒸九制过程中,随着蒸制次数的增加,其单糖半乳糖、果糖和D核糖呈现增加趋势,推测起变化与蒸制过程中发生Maillard反应的糖类物质异构化和降解有关。LUO Shilin等^[4]使用渗透色谱法纯化出黄精多糖,提取率23.09%,略低于超高压提取法和超声提取法的提取率,获取的黄精单体多糖分子量18.796 kDa。研究人员对黄精多糖的研究,深入了解了黄精多糖的微观和宏观结构,黄精多糖的部分提取方法如表1所示,黄精多糖的提取率11.19%~25.01%,说明黄精中黄精多糖含量极为丰富,为后期多糖产品的研发和病理机制的研究提供了基础。

1.2 皂苷类

皂苷的特征是由氧鲨烯骨架与三萜(30个碳原子)或甾体(27个碳原子)糖苷配基连接组成,黄精中含有多种甾体皂苷和三萜皂苷。研究表明,黄精中可分离得到积雪草皂苷、羟基积雪草皂苷和异构素3-O- β -D-吡喃葡萄糖基-($1 \rightarrow 4$)- β -D-吡喃半乳糖苷等。黄精皂苷的分离纯化,经单因素和响应面优化试验,确定了超声辅助提取黄精皂苷的得率2.72%^[11]。MA Binglin等^[12]利用回流冷凝提取分离出黄精皂苷13种,其中11种为螺旋甾烷类皂苷,2种为三帖皂苷,首次分离出薯蓣皂苷元3-O- α -L-鼠李糖-甘露糖-($1 \rightarrow 2$)-[O-L-腺嘌呤-($1 \rightarrow 4$)]- β -D-吡喃糖苷。研究者对黄精皂苷类物质进行了提取与鉴定,充分了解了黄精中皂苷物质的构成。

1.3 黄酮类

ZHANG Hongli等^[13]使用超声辅助低共熔溶剂甜菜碱-醋酸的摩尔比1:4,含水量30%,料液比1:100 g/mL,提取温度50℃条件下得到黄酮提取率25.4 mg/g,是使用乙醇作为溶剂提取率的8倍,而且其抗氧化性强于乙醇提取黄精的抗氧化性。黄酮类物质能够抑制酪氨酸酶活性、清除氧自由基,具有抗炎、抗变态反应的作用,为黄精病理及机制的研究提供了基础。

1.4 氨基酸

王远茜等^[14]利用响应面试验分析,对影响因素及其相互作用进行探讨,优化提取黄精蛋白的提取工艺,其最佳条件为料液比1:5.6(g/mL)、提取时间3.5 h、提取次数2次、pH值9.7。在此修正条件下进行3次提取试验,蛋白质提取率的平均值0.51%,与理论值较为接近,表明该数学模型可用于优化黄精蛋白质提取过程。采用高效液相色谱法分析得出黄精蛋白中含有的氨基酸有丝氨酸、苏氨酸、脯氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和酪氨酸。黄精中氨基酸及微量元素的含量丰富。黄精中含有多种氨基酸和微量元素,其中人体必需氨基酸6种,测定10种化学元素,其中8种为人体必需微量元素,这可能与黄精对人体的补益及抗衰老作用有一定关系。

表1 多糖提取方法及提取率

Tab. 1 Extraction method and extraction rate of polysaccharide

提取方法	提取条件	粗多糖得率/%	参考文献
碱提取法	料液比1:15, 粒度60目, 碱液3% NaOH溶液	11.89	[5]
超高压提取法	料液比1:17, 粒度40目, 压力225 MPa, 提取温度常温, 保压时间9.5 min, 提取溶剂水	25.01	[6]
闪式提取法	料液比1:18, 提取时间40 s, 提取次数1次, 提取电压50 V	14.99	[7]
超声提取法	料液比1:47.6, 提取温度63.8℃, 提取时间36.9 min, 超声功率225 W	24.61	[8]
复合酶解法	料液比1:20, 纤维素酶与木瓜蛋白酶质量比3:7, pH值5.0, 酶解温度50℃, 酶量5%, 酶解2 h	22.00	[9]
超声微波提取法	料液比1:32, 超声功率50 W, 超声频率40 kHz, 微波功率300 W, 提取时间80 s	11.19	[10]

1.5 挥发性物质

传统中医对黄精的刺激性介绍“久闻气味，有刺目之感”，大多为黄精中挥发性成分的刺激性，吴毅等^[15]通过 GC-MS 的方法分析了《中国药典》(2020) 收录的黄精、多花黄精和滇黄精 3 个品种的挥发性呋喃类成分的差异性，3 种黄精中呋喃类成分含量差异显著，多花黄精 \approx 滇黄精 $>$ 黄精，炮制后 3 种黄精的 9 种呋喃类成分均有所增加。王进等^[16]通过水蒸气蒸馏-气质联用法和吹扫捕集-热脱附气质联用法分别对黄精炮制前后的挥发性成分进行分析，炮制前水蒸气蒸馏-气质联用法分析得到黄精挥发性成分 51 种，吹扫捕集-热脱附气质联用法分析得到挥发性成分 11 种，炮制后黄精挥发性成分在组分和对应的含量上均有所降低。张帆等^[3]采用气相色谱-质谱联用测定蒸制过程中黄精挥发性成分的变化发现，5-羟甲基糠醛在黄精九蒸九制过程中相对含量变化最大，在黄精生品中检测到其含量仅 1%，经过八蒸八制后，其相对含量达 70% 以上。杜李继等^[17]以多花黄精为研究对象，采用水蒸气蒸馏法提取多花黄精中挥发性成分，使用气质联用方法对挥发性成分进行分析得到 115 种成分，炮制后小分子醛酮类物质明显降低，主要是炮制后刺激性气味消失的原因，炮制后主要挥发性成分为有机酸类。

1.6 其他成分

根据少量文献报道，黄精中除上述之外还含有酚类、醇溶性浸出物、水溶性浸出物、总灰分及木脂素等物质成分，因为此类物质研究较少，不进行详细介绍^[18]。

2 药理作用

2.1 抗衰老、抗氧化作用

黄精和黄精多糖及其含有的黄酮类物质都具有延缓衰老的作用。黄精延缓衰老的作用机理：黄精成分能够促进蛋白质的合成；同时减少细胞内脂褐质类代谢废物的含量，增强 SOD 活性；清除自由基，减少体内因自由基反应引起的对机体的损伤。李亭昱等^[19]通过超声提取工艺获得黄精多糖，其对 DPPH 自由基的清除能力 60.7%，还原力 0.267，具有较强的抗氧化性。GAN Q 等^[20]发现蜜制的黄精多糖能够抑制 NF- κ B 通路减少肺水肿肺部炎症因子 TNF- α 、IL-6、IL-1 和 MPO，增加 SOD 的产生，也能激活 Nrf2 通路，增强抗氧化基因 HO-1 及 NQO-1 的表达，具有较强的抗炎、抗氧化、抗衰老作用。黄精木脂素具有显著的生物活性，有抗肿瘤、抗病毒等作用，还具有肝保护和抗氧化作用。黄精中的多糖和黄酮类物质含量丰富，这与黄精具有抗衰老、抗氧化、清除自由基等具有一定的联系。

2.2 降血糖作用

近年来发现黄精能够调节糖代谢的活性，并对糖尿病具有显著的防御和治疗作用。黄精提取物能显著降低由四氧嘧啶导致的糖尿病小鼠的血糖水平，还能降低由肾上腺素或外源性葡萄糖所引起的高血糖水平。XIE Songzi 等^[2]给小鼠口服黄精多糖，2 型糖尿病小鼠血清空腹血糖、糖基化血清蛋白和胰岛素水平分别降低 22.5%、28.4% 和 46.4%，胰高血糖素样肽-1 (GLP-1) 分泌增加 1.7 倍，黄精多糖可以使 2 型糖尿病小鼠肝脏中的 PI3K 和 Akt 磷酸化水平升高，FoxO1 和 GSK3 β 磷酸化水平降低，可改善小鼠的糖耐量、胰岛素敏感性和肝脏糖代谢，具有较强的降血糖作用，其机制估计与胰岛素介导的 PI3K/ Akt 信号通路的激活有关。CHAI Y 等^[21]发现，黄精皂苷对 II 型糖尿病能够降低小鼠胰岛素分泌水平和空腹血糖，也能降低血液中三酰甘油、总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平而增加高密度脂蛋白胆固醇含量，具有显著的治疗作用，并无毒副作用。

2.3 降血脂作用

黄精无论是单味药或者是复方都具有较好的降脂作用，水提取及醇提取的黄精提取物在降脂方面效果较好。LI C 等^[22]研究表明，发酵黄精多糖可降低糖尿病小鼠的空腹血糖、胰岛素、总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇，高剂量的发酵黄精多糖通过增加磷酸化 AKT/AKT 的比例来防止葡萄糖耐受和胰岛素抵抗，具有较强的降血脂作用。

2.4 调节免疫作用

黄精的免疫激发和免疫促进程度视机体的健康状况而定，对正常机体是中度激发，对免疫力低下的机体则是高度激发。SHU G 等^[23]研究发现，黄精多糖能够加速受损免疫器官的相对重量快速恢复，维持免疫器官的结构和功能，能够上调 IL-2、IL-6 及细胞坏死因子 IFN- γ 促进免疫器官细胞进入 S 期和 G2/M 期及外周血淋巴细胞的增值及抑制脾脏、胸腺和法氏囊细胞的凋亡，具有对环磷酰胺诱导的免疫抑制的拮抗作用。

2.5 抗抑郁作用

SHEN Fengming 等^[24]指出，黄精中分离纯化的多糖能够降低海马 5-HT 水平，增加血清皮质激素 (CORT) 水平和海马氧化应激 (ROS)，促进 ERK1/2、NF- κ B 和 GFAP 的激活和炎症反应，降低突触和神经元的损伤，具有较好的抗抑郁作用。黄莺等^[25]通过使用中药黄精联合米氮平在临床上使用，证明其治疗老年脑梗死后抑郁症有效性、安全性得到了验证，可以改善机体状态，恢复患者神经功能，能够明显改善患者的睡眠，减轻并消除焦虑、口干、便秘等抑郁状态，

具有治疗起效快、疗效更好的作用。

2.6 其他作用药理作用

除了上述作用外,黄精还有抗肿瘤、抗病毒等作用,经试验得出,黄精多糖对 Heps、Eac 瘤株及 H22 实体瘤和 S180 腹水瘤有显著抑制作用。XIE Ying 等^[26]利用黄精多糖处理 4T1 乳腺癌肿瘤的小鼠,发现肿瘤浸润免疫细胞内的髓系细胞百分比降低,能抑制乳腺癌肿瘤诱导的脾脏造血细胞扩张及显著增加了骨髓中被乳腺癌肿瘤抑制的骨髓造血干细胞及祖细胞和普通淋巴祖细胞,黄精多糖对骨髓中被 TNBC 肿瘤抑制的造血功能具有保护作用。黄精的醇提液对绿脓杆菌性角膜炎、金黄色葡萄球菌性角膜炎、霉菌性角膜炎均有明显的疗效,黄精多糖制剂对兔眼实验性单纯病毒性角膜炎有显著的抑制作用^[27]。而 LI Wenjing 等^[28]研究发现,黄精多糖及水溶性提取物通过调节线粒体介导的细胞凋亡和 GSK-3 β /Fyn/Nrf2 通路缓解铈诱导的细胞毒性,可显著提高细胞代谢活性,减轻形态损伤,并减轻细胞凋亡而降低肾脏细胞毒性,蒸制的黄精对治疗肾阴虚也具有较好的治疗作用。LI Zeng 等^[29]研究发现黄精多糖通过上调胰岛素受体表达,增加腺苷激活蛋白激酶磷酸化,下调固醇调节元件结合蛋白 2 和低密度脂蛋白受体表达,从而促进脂质代谢,减轻体质量,降低脂质积累引起的炎症和氧化应激,对非酒精性脂肪肝具有较好的治疗作用。

3 结束语

黄精作为药食两用的多年生中药材,具有较高的药用价值和食用价值,与当代提倡的大健康产业相吻合。近几年来,许多研究人员围绕黄精的物质基础做了大量的工作,对黄精的物质种类及含量的了解更加深入,并研究黄精物质的抗衰老抗氧化性、抗免疫性、降血脂和降血糖等药理作用,对肾脏、肝部等器脏疾病具有较好的治疗作用。但是对于其作用机制研究还不够深入,而且处于实验室研究阶段,对于临床的研究用药针对性不强,主要运用中医理论的中草药进行治疗疾病,更多关于黄精成分性产品还待研究开发。

参考文献

- [1] WANG Shiqiang, LI Gang, ZHANG Xinfei, et al. Structural characterization and antioxidant activity of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides[J]. Carbohydrate Polymers, 2022. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.119524.
- [2] XIE Songzi, ZHANG Wangjuan, LIU Wang, et al. Physicochemical characterization and hypoglycemic potential of a novel polysaccharide from *Polygonatum sibiricum* red through PI3K/Akt mediated signaling pathway[J]. Journal of Functional Foods, 2022. DOI: 10.1016/j.jff.2022.105080.
- [3] 张帆, 钟伟华, 吕春秋, 等. 九蒸九制工艺过程中黄精理化品质特征及多糖组分的演变[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 171-180.
ZHANG Fan, ZHONG Weihua, LV Chunqiu, et al. Physicochemical characteristics of *Polygonatum sibiricum* root and evolution of its polysaccharide components during the nine-steam-nine-bask process[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 171-180.
- [4] LUO Shilin, ZHANG Xin, HUANG Si, et al. A monomeric polysaccharide from *Polygonatum sibiricum* improves cognitive functions in a model of Alzheimer's disease by reshaping the gut microbiota[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 213: 404-415.
- [5] 赵瑞萌, 孙庭阁, 张玲. 碱法提取黄精多糖及提取工艺流程的优化[J]. 泰山医学院学报, 2010, 31(1): 45-47.
ZHAO Ruimeng, SUN Tingge, ZHANG Ling. Extracting polysaccharides from *Polygonatum* with alkaline and optimizing of the extracting flow-sheet[J]. Journal of Taishan Medical College, 2010, 31(1): 45-47.
- [6] 魏伟, 李彦伟, 刘凤霞, 等. 响应面法优化超高压提取黄精多糖工艺[J]. 精细化工, 2019, 36(5): 875-881.
WEI Wei, LI Yanwei, LIU Fengxia, et al. Optimization of ultrahigh pressure extraction of polysaccharides from *Polygonatum cyrtonema* hua by response surface methodology[J]. Fine Chemicals, 2019, 36(5): 875-881.
- [7] 陈艳, 王杰, 李慧, 等. 黄精多糖的闪式提取及对乳酸菌发酵特性的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(6): 161-166.
CHEN Yan, WANG Jie, LI Hui, et al. Extraction of polysaccharide from *Polygonatum* and its effects on fermentation characteristics of lactic acid bacteria[J]. The Food Industry, 2017, 38(6): 161-166.
- [8] 雍潘. 多花黄精的多糖提取、纯化、结构解析及活性研究[D]. 成都: 西南民族大学, 2020.
YONG Pan. Isolation, purification, structural characterization and biological activity of polysaccharides from *Polygonatum cyrtonema* Hua[D]. Chengdu: Southwest University for Nationalities, 2020.
- [9] 周桃英, 陈年友, 陈中建, 等. 超声波-微波协同法提取黄精多糖工艺研究[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(6): 231-233.
- [10] 张梓原, 徐伟, 王鑫, 等. 黄精多糖的提取工艺对比研究[J]. 包装工程, 2020, 41(9): 51-58.
ZHANG Ziyuan, XU Wei, WANG Xin, et al. Comparative study on extraction technologies of polysaccharides from rhizoma *Polygonatum*[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(9): 51-58.
- [11] 张洁, 马百平, 杨云, 等. 黄精属植物甾体皂苷类成分及药理活性研究进展[J]. 中国药学杂志, 2006, 41(5): 330-332.
- [12] MA Binglin, WANG Youzhong, BAO Yiwen, et al. Saponins from the rhizomes of *Polygonatum nodosum* Hua and their chemotaxonomic significance[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2021, 98: 104-108.
- [13] ZHANG Hongli, HAO Feilong, YAO Zhifang, et al. Efficient extraction of flavonoids from *Polygonatum sibiricum* using a deep eutectic solvent as a green extraction solvent[J]. Microchemical Journal, 2022, 175: 107-116.
- [14] 王远茜, 陈艳艳, 宋宸宇, 等. 响应面法优化黄精总蛋白提取工

- 艺及其氨基酸含量[J]. 食品工业, 2020, 41(5): 81-86.
- WANG Yuanqian, CHEN Yanyan, SONG Chenyu, et al. Optimization of total protein from sealwort by response surface methodology and its determination of amino acid content[J]. The Food Industry, 2020, 41(5): 81-86.
- [15] 吴毅, 王栋, 郭磊, 等. 三种黄精炮制前后呋喃类化学成分的变化[J]. 中药材, 2015, 38(6): 1172-1176.
- WU Yi, WANG Dong, GUO Lei, et al. Changes in the chemical composition of furans before and after processing three types of Huangjing[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2015, 38(6): 1172-1176.
- [16] 王进, 岳永德, 汤锋, 等. 气质联用法对黄精炮制前后挥发性成分的分析[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(16): 2187-2191.
- WANG Jin, YUE Yongde, TANG Feng, et al. Comparative analysis of volatile fractions in *Polygonati rhizoma* and its processed products by GC-MS[J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2011, 36(16): 2187-2191.
- [17] 杜李继, 陈瑞瑞, 王凯, 等. 气质联用法研究多花黄精药材炮制过程中挥发性物质的变化[J]. 安徽农业大学学报, 2021, 48(6): 1035-1040.
- DU Liji, CHEN Ruirui, WANG Kai, et al. Changes of volatile substances in rhizome of *Polygonatum cyrtonea* processing by GC-MS[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2021, 48(6): 1035-1040.
- [18] 刘晓辉, 杨雪, 田钱丰, 等. 3种不同酵母发酵黄精酒的抗氧化活性及风味物质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(16): 5153-5161.
- LIU Xiaohui, YANG Xue, TIAN Qianfeng, et al. Analysis of antioxidant activity and flavor substance in *Polygonatum cyrtonea* wine fermented by 3 different yeasts[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(16): 5153-5161.
- [19] 李亭昱, 崔茗禹, 周文霞, 等. 泰山黄精多糖提取工艺优化及体外抗氧化活性研究[C]//中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第十八届年会摘要集, 2022.
- [20] GAN Q, WANG X, CAO M, et al. NF- κ B and AMPK-Nrf2 pathways support the protective effect of polysaccharides from *Polygonatum cyrtonea* Hua in lipopolysaccharide-induced acute lung injury[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 291: 115-153.
- [21] CHAI Y, LUO J, BAO Y. Effects of *Polygonatum sibiricum* saponin on hyperglycemia, gut microbiota composition and metabolic profiles in type 2 diabetes mice[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2021, 143: 112-155.
- [22] LI C, LI J, SHANG Y, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic activity of *Polygonatum sibiricum* fermented with *Lactobacillus brevis* YM 1301 in diabetic C57BL/6 Mice[J]. Journal of Medicinal Food, 2021, 24(7): 720-731.
- [23] SHU G, XU D, ZHAO J, et al. Protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide on cyclophosphamide-induced immunosuppression in chickens[J]. Research in Veterinary Science, 2021, 135: 96-105.
- [24] SHEN Fengming, SONG Zhujin, XIE Pan, et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide prevents depression-like behaviors by reducing oxidative stress, inflammation, and cellular and synaptic damage[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 275: 114-164.
- [25] 黄莺, 徐维平, 张许来, 等. 黄精结合米氮平治疗老年脑梗死后抑郁症的临床研究[J]. 安徽医药, 2017, 21(9): 1702-1705.
- HUANG Ying, XU Weiping, ZHANG Xulai, et al. A clinical observation of rhizoma polygonati combined with mirtazapine in treatment of elderly post-cerebral infarction depression[J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2017, 21(9): 1702-1705.
- [26] XIE Ying, JIANG Ziwei, YANG Rui, et al. Polysaccharide-rich extract from *Polygonatum sibiricum* protects hematopoiesis in bone marrow suppressed by triple negative breast cancer[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2021, 137: 111-338.
- [27] 李亚霖, 周芳, 曾婷, 等. 药用黄精化学成分与活性研究进展[J]. 中医药导报, 2019, 25(5): 86-89.
- LI Yalin, ZHOU Fang, ZENG Ting, et al. Research progress on chemical components and activities of Huangjing (*Polygonatum sibiricum* Red)[J]. Introduction to Traditional Chinese Medicine, 2019, 25(5): 86-89.
- [28] LI Wenjing, YU Libing, FU Bo, et al. Protective effects of *Polygonatum kingianum* polysaccharides and aqueous extract on uranium-induced toxicity in human kidney (HK-2) cells[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 202: 68-79.
- [29] LI Zeng, ZHONG Fangwei, CHEN Zhiliang, et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharides protect against obesity and non-alcoholic fatty liver disease in rats fed a high-fat diet[J]. Food Science and Human Wellness, 2022, 11(4): 1045-1052.