

百合多糖的提取工艺及生物活性研究进展

柳颖¹, 杨许花¹, 马洪鑫¹, 查勇², 刘红海³, 陈红¹, 高丹丹^{1*}

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 兰州 730124; 2. 日照市产品质量监督检验所, 日照 276800;
3. 甘肃烟草工业有限责任公司, 兰州 730050)

摘要: 百合(*Lilium*)属于百合科百合属, 味甘、性寒, 是一种药食同源植物, 有十分丰富的食用价值和药用研究价值。百合的鳞茎中含有多糖、酚类、皂苷、生物碱、黄酮等活性物质, 其中多糖的含量较高。现代研究表明多糖类化合物能够参与多种生命活动, 具有广泛的生理功能。随着研究的深入, 百合多糖已被证明具有抗氧化、免疫活性、抗肿瘤以及抑菌等功能, 在生物医药及食品领域具有广阔的应用前景, 因此相关研究备受关注。本文综述了近年来百合多糖的提取方法、分离纯化方法、结构分析及生理功能等方面的研究, 并对其未来的发展研究做出展望, 为我国百合资源的进一步研究和开发提供参考。

关键词: 百合多糖; 百合; 生物活性; 提取工艺

Research progress on extraction technology and biological activity of *Lilium* polysaccharide

LIU Ying¹, YANG Xu-Hua¹, MA Hong-Xin¹, ZHA Yong², LIU Hong-Hai³,
CHEN Hong¹, GAO Dan-Dan^{1*}

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730124, China;
2. Rizhao Institute of Product Quality Supervision & Inspection, Rizhao 276800, China;
3. Gansu Tobacco Industry Co., Ltd, Lanzhou 730050, China)

ABSTRACT: *Lilium* belongs to *Lilium* of Liliaceae, which is sweet in taste, a little cold in nature and it is a kind of medicine and food homologous plant. *Lilium* has rich edible value and medicinal research value. *Lilium* bulb contains polysaccharides, phenols, saponins, alkaloids, flavonoids and other active substances, in which the content of polysaccharides is higher. Modern research shows that polysaccharide compounds can participate in a variety of life activities and have a wide range of physiological functions. With the deepening of research, *Lilium* polysaccharide has been proved to have the physiological functions of antioxidant, immunity, anti-tumor and antibacterial activities. It has broad application prospects in the field of biomedicine and food, therefore, relevant research has attracted much attention. This paper reviewed the extraction methods, separation and purification methods, structure analysis and physiological functions of *Lilium* polysaccharide in recent years, and prospected the future development. It provides reference for the further research and development of *Lilium* resources in China.

基金项目: 西北民族大学本科生创新项目(XBMU-BYL19111、XBMU-BYL20089)、西北民族大学中央高校基本科研业务费资金资助项目(31920190202-4)、西北民族大学校地合作项目(BELTY201901)

Fund: Supported by the Undergraduate Innovation Project of Northwest Minzu University (XBMU-BYL19111、XBMU-BYL20089), Project for Fundamental Scientific Research Business Funds of Northwest Minzu University (3192019022-4), and Northwest Minzu University Land Cooperation Project (BELTY201901)

*通信作者: 高丹丹, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: gaodan0322@163.com

*Corresponding author: GAO Dan-Dan, Ph.D, Professor, Northwest Minzu University, Xiaguanying Town, Yuzhong County, Lanzhou City, Gansu 730124, China. E-mail: gaodan0322@163.com

KEY WORDS: *Lilium* polysaccharide; *Lilium*; biological activity; extraction technology

0 引言

百合(*Lilium*)具有宁心安神、清热利尿、止咳平喘、美容养颜、抗过敏等保健功能^[1-3],有丰富的食用价值和药用研究价值。百合中不但富含蛋白质、膳食纤维等,还含有多种活性物质,如:多糖、甾体皂苷、生物碱、类黄酮类化合物,对糖尿病、肥胖、高血脂、脂肪肝等都有很好的功效^[4]。百合多糖是由吡喃糖苷键结合半乳糖、D-葡萄糖及D-甘露糖构成的天然高分子化合物。有报道百合多糖除具有抗氧化、免疫调节、抗肿瘤等多种生理药理功能外,还能够增强吞噬细胞、B淋巴细胞和T淋巴细胞的活力^[5-6]。在食品方面,多糖类常用作膳食补充剂、营养补充剂以调节免疫功能及促进人体健康。

由于多糖的结构十分复杂,其活性受提取方法、纯度、多糖含量等诸多因素影响,因此多糖的提取、分离纯化及结构分析对后续研究来说至关重要。随着对百合多糖生理活性、药理活性的不断研究,百合多糖被证明具有较好的研究意义和开发利用前景。本文综述了百合多糖的提取方法、分离纯化及结构分析、生理功能进展,以期为百合的综合利用和百合多糖的进一步研究提供理论依据。

1 百合多糖的提取方法

1.1 热水浸提法

热水提取法是一种利用热水提取植物中的水溶性多糖的传统方法,具有安全环保的特点,也是目前研究中广泛使用的一种提取方法。熊明郁等^[7]采用热水提取法,从百合中提取水溶性多糖,采用正交实验对提取工艺条件进行优化,当提取温度为80℃、固液比为1:20 g/mL、提取2次、每次1 h时,经脱蛋白处理后的百合粗多糖提取率可达0.92%。蓝海军等^[8]选用江西万载龙牙百合为实验材料,用热水法提取百合多糖,用Box-Behnken响应面法获得最佳提取工艺条件下,百合多糖的提取率可达6.284%。

与酸提法、碱提法相比,热水提取法适用面广,不易对多糖造成破坏,且实验设备简单、成本较低,但耗时长、得率低。

1.2 水提醇沉法

由于多糖在水和醇中的溶解度存在差异,所以可以在提取液中加入乙醇达到适当浓度将多糖沉淀下来以达到提取目的。余倩莎等^[9]采用水提醇沉法提取龙牙百合多糖,并用正交实验优化提取条件,最终发现在提取温度60℃、料液比1:5 g/mL、提取时间40 min、提取4次的提取条件

下百合多糖的提取率可达6.27%。刘长命等^[10]选取兰州百合、商洛野百合为原料,用正交实验法和响应曲面设计方法优化2种多糖的提取工艺。正交实验法确定的最佳提取工艺条件下,兰州百合多糖提取率高达37.75%,商洛野百合多糖提取率为20.24%;响应曲面设计方法优化得出的最佳提取条件下,兰州百合多糖、商洛野百合多糖的提取率分别为43.23%和30.4%,该结果证明通过响应曲面设计方法对提取工艺进行优化可以显著提高多糖得率。

1.3 酶解辅助提取法

生物酶对反应的催化呈高效性、特异性,因此酶解辅助提取法相较于其他提取技术也更为高效、节能。孙国威等^[11]采用复合酶提取方法从兰州百合鳞茎中提取多糖,经过响应面优化得到百合多糖的最佳提取工艺条件为:提取温度54℃、提取时间31 min,料液比1:26 g/mL,在此条件下多糖的得率为23.80%。游雪娇等^[12]采用水-果胶酶连续提取方法用热水法提取百合多糖,再将残渣用果胶酶酶解得到多糖提取液,最终百合多糖的提取率为8.63%。

虽然酶解辅助提取法具有能耗低、操作简单的特点,但需要注意在提取的过程中,要严格控制提取时间,时间过长则会导致目标分子分解。此外为了保持酶的活性,对pH和温度的控制也有较高的要求,若采用复合酶提取,还需考虑复合酶之间的协同关系。

1.4 超声波辅助提取法

超声波可以提高提取率并缩短提取时间的原因是:超声波可以通过热效应、机械效应、空化效应等破坏细胞壁,加快多糖的溶出速率。杨朝霞等^[13]使用超声波辅助提取技术提取百合多糖,并以多糖的提取率为指标用响应曲面设计方法优化提取工艺。最终发现超声辅助提取多糖的最佳提取条件为提取温度70℃、料液比1:20 g/mL、提取时间45 min,在此条件下,百合多糖得率可达7.92%。金华等^[14]采用正交实验对超声波辅助提取百合多糖的工艺条件进行优化,提取温度70℃、料液比1:20 g/mL、提取时间30 min时,百合多糖提取率为6.34%。张占军等^[15]选取宜兴百合超声提取百合多糖,以多糖得率为响应值,响应面实验确定最佳提取工艺条件为:固液比1:15 g/mL、超声温度52℃、超声功率176 W、超声时间30 min,在此条件下百合多糖的提取率为12.37%。陈杰等^[6]发现当提取温度60℃、固液比为1:50 g/mL、超声功率420 W、提取时间60 min时,百合多糖的最终得率可达12.54%。

用该法提取多糖时需注意超声时间的控制,虽然延长超声时间有利于多糖的溶出,但在提取后期,多糖溶出较多,继续延长超声时间则会导致多糖发生降解。

1.5 微波辅助提取法

微波辅助法提取植物多糖主要是利用微波的渗透能力,使分子与分子碰撞、破坏植物细胞壁,同时在微波产生的电磁场的作用下活性多糖成分向萃取溶剂界面扩散的速度加快,因此使多糖的提取率显著提高^[16]。罗金花^[17]选取干燥的龙牙百合为材料,在提取温度 75 °C、提取时间 25 min、微波功率 700 W 的条件下,百合多糖的得率为 3.41%。微波萃取法适用范围广、易于控制、萃取时间短、效率高,在多糖的提取分离方面有良好的效果,已有学者将微波萃取法应用到多种植物多糖的提取,但在百合多糖的提取中研究较少^[18-20]。

2 百合多糖的分离纯化及结构分析

在进行多糖的提取时,提取物中通常含有多种杂质,包括:蛋白质、色素、无机盐等。在开展多糖的结构分析和生物活性等研究前需要对多糖提取物进行分离纯化、除去杂质,以得到纯度较高的单一多糖^[21]。实验中常采用的分离纯化方法包括:分步沉淀法、凝胶色谱技术、超滤法、层析分离法、离子交换树脂法等。刘成梅等^[22]用 DEAE-纤维素柱法对水提醇沉法提取的百合粗多糖(lilypolysaccharide, LP)进行分离纯化,得到 2 种百合多糖 LP₁、LP₂,采用纸层析和凝胶柱层析法鉴定二者均为单一组分,最后用气相色谱和凝胶柱层析法对多糖进行分析。由于单一的纯化方法往往无法得到较高纯度的多糖,因此在研究中通常需要联合使用各种方法。

多糖具有复杂的结构,在进行多糖结构鉴定时的方法主要有:电泳法、酸解法、红外光谱分析法(infrared spectroscopy, IR)、紫外-可见分光光度法(ultraviolet and visible spectrophotometry, UV)、气相色谱法(gas chromatography, GC)、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)、质谱法(mass spectrometry, MS)、高效凝胶渗透色谱法(high performance gel permeation chromatography, HPGPC)、核磁共振法(nuclear magnetic resonance, NMR)等。陈小蒙等^[23]用离子柱层析法分离纯化得到 2 种多糖,鉴定后确定其中一种为糖蛋白,另一种为单一组分。进行气相色谱分析后发现:LLP₁ 和 LLP₂ 的组成成分中均含有阿拉伯糖,2 种多糖的相对分子质量分别为 11756 D、1038773 D。陈志刚等^[24]用高效凝胶渗透色谱法测定宜兴百合多糖提取物纯化得到的 3 种多糖组分,相对分子质量分别为 350.5、403.3 和 146.2 kD。刘云凤等^[25]采用红外光谱分析方法,确定百合籽多糖样品具有吡喃环结构并含有甘露糖。吴雄等^[26]采用高效液相色谱法测得百合多糖 I、II、III 的平均相对分子质量分别为 97000、220000~465000、94000,用红外光谱进行分析鉴定后发现上述 3 种多糖分子中都含有-OH、C=O、C-O-C。多糖的功

能性质与化学结构、空间构象有密切联系,通过以上手段可以有效分析多糖的构型、化学键等结构特征,有助于研究其生理活性和药理作用机制。

3 生理功能

3.1 增强免疫力

多糖种类繁多、结构复杂,是生物体内十分重要的一种聚合物,具有显著的药理作用和生物活性,能够提高机体淋巴细胞与巨噬细胞的数量及功能、释放细胞因子和提高人体血清免疫球蛋白 IgG 水平^[27]。多种植物多糖已被证实具有免疫调节作用,且对特异免疫和非特异免疫都产生影响,包括对免疫细胞、免疫器官、补体活化途径和体液免疫等多个方面的调节^[28]。有研究发现百合多糖能够提高体外巨噬细胞吞噬活性,还可以促使细胞分泌 NO,从而起到调节免疫的作用^[29]。百合多糖还具有提高免疫抑制小鼠脾脏指数、胸腺指数、血清溶血素含量和增强吞噬功能等作用^[30]。潘桂芳^[21]发现百合多糖 LLPS-1 能够增强 RAW264.7 细胞分泌 NO 并激活细胞提高其免疫调节功能。李新华等^[31]通过淋巴细胞的体外增殖反应证明百合多糖对非特异性免疫和特异性体液免疫功能均有促进作用,可以促进细胞增殖,是一种免疫促进剂。胡敏敏等^[32]发现百合多糖能够提高血清溶血素含量和免疫器官重量指数。

3.2 抗氧化

大量实验已证明百合多糖具备优良的抗氧化性,可在一定程度上清除超氧根离子(O₂^{·-})、羟自由基(·OH)、NO₂⁻等^[33-36]。刘鹏等^[37]经研究发现卷丹(*Lilium lancifolium* Thunb.)多糖(LLP-1,2,3)对 O₂^{·-}、·OH、DPPH、亚铁离子(Fe²⁺)均有显著的清除作用,且均呈剂量依赖性。王乙婷^[38]发现鲜百合对·OH 清除能力与其所处环境的温度、空气有关,其中前者影响最大。此外百合多糖还可以阻断自由基和活性氧的产生,具有提高血液中多种抗氧化酶[如过氧化氢酶(catalase from micrococcus lysodeikticus, CAT)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)等]活性的功能,因此可作为天然抗氧化剂应用到食品当中^[39]。李化强等^[40]发现龙牙百合多糖具有体外抗氧化效果,浓度为 0.2~1.4 mg/mL 时,可在一定程度上清除 DPPH、O₂^{·-}、·OH、NO₂⁻。

3.3 抗肿瘤

HAN 等^[41]证明纯化的百合多糖具有增强 H22 荷瘤小鼠特异性体液免疫的功能,并且可以抑制小鼠体内肝癌细胞的生长。侯进等^[42]联合应用纯化的百合多糖 I 和二甲双胍,发现经 LP1 预处理后的二甲双胍对 MCF-7 抑制增殖和促进凋亡效果大大提升。侯进等^[43]利用 MTT 法检测方法,发现百合多糖和二甲双胍均能够抑制 HepG2 细胞株细胞

增殖, 且抗增殖效果在二者混用时明显增强。

3.4 抑 菌

唐明^[44]发现分离纯化的百合多糖对 3 种真菌(中华根霉、黑曲霉、啤酒酵母)的生长均有抑制作用, 其中对中华根霉抑制作用最弱; 而对真菌来说, 根据抑菌圈的大小判断百合多糖对金黄色葡萄球菌表现出较强的抑菌作用。金华等^[14]发现百合多糖可抑制苹果(*Malus pumila* Mill.)霉菌生长、减缓食品腐败。

3.5 降血糖

植物多糖通常具有降血糖作用, 已有研究表明百合多糖可用于糖尿病治疗, 起到降低血糖的作用, 但其作用机制尚不明确, 可能的机制包括: 降低肾上腺皮质激素的分泌、增强胰岛素分泌使血糖下降、修复和形成新的胰岛细胞以及增强血糖向糖原转化的能力^[45-47]。肖遐等^[48]发现百合多糖可以使糖尿病大鼠血液中游离葡萄糖含量降低, 还能够通过提高糖代谢酶的活性、促进胰岛素的分泌等途径达到调节血糖效果。吴雄^[49]发现百合多糖有助于减缓大鼠体重负增长, 有提升 I 型糖尿病大鼠胰岛素水平、降低其体内血糖含量和提高机体抗氧化水平的作用。

4 结 论 与 展 望

我国百合资源丰富, 更高效的百合多糖提取、分离纯化方法以及更深入的结构鉴定、生理活性研究将有助于保障资源的充分利用。目前, 多糖类仍然是国内外天然化学领域的研究热点之一, 具有广阔的产业化发展前景, 但我国对于百合多糖的开发利用还不够完善。一方面, 与百合多糖有关的理论研究是近些年逐渐发展起来的, 所以目前对于其生理、药理作用的探索不够深入, 需要更多的理论支撑。另一方面, 现阶段有关多糖的研究大部分是针对其提取纯化、化学组成, 而对其抗肿瘤等生理功能研究相对较少, 体内实验和体外实验大多分开进行, 很少有二者相结合的综合评价。除此之外, 在进行抗氧化活性的研究时, 大量研究结果表明其抗氧化活性受到诸多因素的影响, 如: 提取方法、相对分子质量、溶解性和化学结构等。这些也为学者深入研究百合多糖的抗氧化活性、免疫活性及其作用机制带来新的思路。

参 考 文 献

- [1] 李晓玉, 张命军. 百合属植物的研究进展[J]. 农业开发与装备, 2019, (12): 40, 42.
- LI XY, ZHANG MJ. Research progress of *Lilium* [J]. Agric Dev Equip, 2019, (12): 40, 42.
- [2] 梁浩, 杜晓静. GC-MS 测定江口野生百合鳞茎化学成分[J]. 化工管理, 2019, (12): 25-26.
- LIANG H, DU XJ. Determination of chemical constituents in bulblet of wild *Lilium* in Jiangkou by GC-MS [J]. Chem Enterp Manag, 2019, (12):

- 25-26.
- [3] 张维西, 朱峰, 胡瑞, 等. 百合总皂苷的现代研究进展[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2017, 33(6): 42-43, 46.
- ZHANG WX, ZHU F, HU R, et al. Modern research progress of total saponins in *Lilium* [J]. J Hebei North Univ (Nat Sci Ed), 2017, 33(6): 42-43, 46.
- [4] 常存, 段楠, 刘新杰. 百合的营养成分及保健功能[J]. 黑龙江科学, 2019, 10(20): 16-17.
- CHANG C, DUAN N, LIU XJ. The nutritional composition and health function of *Lilium* L. [J]. Heilongjiang Sci, 2019, 10(20): 16-17.
- [5] 黄芯琦, 周小媚, 钟可, 等. 黔产淡黄花百合中多糖含量的测定[J]. 中医学报, 2019, 47(2): 50-54.
- HUANG XQ, ZHOU XM, ZHONG K, et al. Determination of polysaccharide content in *Lilium sulphureum* baker from Guizhou province [J]. Acta Chin Med Pharmacol, 2019, 47(2): 50-54.
- [6] 陈杰, 周芳. 百合多糖超声提取工艺条件优化[J]. 现代食品, 2019, (2): 79-82.
- CHEN J, ZHOU F. Study on the optimization of ultrasonic extracting technique of Polysaccharide from *Lilium brownii* [J]. Mod Food, 2019, (2): 79-82.
- [7] 熊明郁, 牛世全. 水提法提取百合多糖优选工艺的研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(36): 13047-13049, 13065.
- XIONG MY, NIU SQ. Study on the extraction craft of the polysaccharide from *Lilium bromnii* [J]. J Anhui Agric Sci, 2014, 42(36): 13047-13049, 13065.
- [8] 蓝海军, 何美娟, 罗晨曦, 等. 响应面法优化龙牙百合多糖的高温高压水提取法工艺[J]. 生物加工过程, 2018, 16(6): 19-23.
- LAN HJ, HE MJ, LUO CX, et al. Optimization of extraction of polysaccharides from Longya lily by high temperature pressure water extraction methodology [J]. Chin J Bioproc Eng, 2018, 16(6): 19-23.
- [9] 余倩莎, 杨岚, 张城, 等. 百合多糖提取工艺优化[J]. 湖南农业科学, 2017, (5): 84-86, 90.
- YU QS, YANG L, ZHANG C, et al. Optimization of extraction process of polysaccharide from *Lilium brownii* [J]. Hunan Agric Sci, 2017, (5): 84-86, 90.
- [10] 刘长命, 崔蕊. 响应面法与正交试验法优化商洛野百合多糖提取工艺[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(5): 1-5, 15.
- LIU CM, CUI R. Optimal extraction process of polysaccharide from *Lilium brownie* by response surface method and orthogonal experiment [J]. Shanxi J Agric Sci, 2018, 64(5): 1-5, 15.
- [11] 孙国威, 米雪, 周彦军, 等. 百合多糖提取及其止咳作用研究[J]. 农产品加工, 2020, (20): 8-11, 14.
- SUN GW, MI X, ZHOU YJ, et al. Studies on extraction and antitussive effect of lily polysaccharide [J]. Farm Prod Process, 2020, (20): 8-11, 14.
- [12] 游雪娇, 顾振新. 水-酶连续提取百合非淀粉多糖工艺研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 295-300.
- YOU XJ, GU ZX. Study on successive extraction of non-starch polysaccharides from bulb [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(8): 295-300.
- [13] 杨朝霞, 段美香, 余高照, 等. 响应面分析法优化百合多糖超声提取工艺研究[J]. 广州化工, 2013, 41(18): 52-55.
- YANG ZX, DUAN MX, SHE GZ, et al. Response surface optimization of ultrasonic extraction process of *Lily polysaccharide* [J]. Guangzhou Chem

- Ind, 2013, 41(18): 52–55.
- [14] 金华, 姜萌, 刘治刚, 等. 百合多糖提取工艺的优化及抑菌活性研究[J]. 食品科技, 2015, 40(12): 167–169.
JIN H, JIANG M, LIU ZG, *et al.* The extraction and antibacterial activity of lily polysaccharide [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(12): 167–169.
- [15] 张占军, 王富花, 葛洪, 等. 响应面法优化百合多糖超声辅助提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(18): 40–44.
ZHANG ZJ, WANG FH, GE H, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted extraction of lily polysaccharide by response surface methodology [J]. Food Res Dev, 2017, 38(18): 40–44.
- [16] 周孟焦, 陈凯, 史芳芳, 等. 微波辅助法从藤椒果皮中提取黄酮的工艺研究[J]. 农产品加工, 2020, (15): 23–25, 31.
ZHOU MJ, CHEN K, SHI FF, *et al.* Experimental study on microwave-assisted extraction of flavonoids from the pericarp of *Zanthoxylum armatum* DC [J]. Farm Prod Process, 2020, (15): 23–25, 31.
- [17] 罗金花. 微波辅助萃取百合多糖的工艺研究[J]. 宜春学院学报, 2008, (4): 25–26.
LUO JH. Microwave assisted extraction of polysaccharides from lily [J]. J Yichun Univ, 2008, (4): 25–26.
- [18] 杨占群, 宋小幸, 周倩瑜, 等. 响应面法优化微波辅助提取黑糯玉米多糖的工艺及其对疲劳小鼠氧化损伤的影响[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(6): 92–96.
YANG ZQ, SONG XX, ZHOU QY, *et al.* Optimization of microwave-assisted extraction of polysaccharide from black glutinous maize by response surface method and its protection effect of oxidative damage on fatigue mice [J]. J Cere Oils, 2020, 33(6): 92–96.
- [19] SORIA AC, RUIZ-ACEITUNO L, RAMOS L, *et al.* Microwave-assisted extraction of polysaccharides [J]. Springer Int Publishing, 2015.
- [20] FU Y, LI F, DING Y, *et al.* Polysaccharides from loquat (*eriobotrya japonica*) leaves: Impacts of extraction methods on their physicochemical characteristics and biological activities [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 146: 508–517.
- [21] 潘桂芳. 卷丹百合多糖的提取纯化、结构分析及其免疫活性研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
PAN GF. Extraction optimization, preliminary characterization and immunological activities *in vitro* of polysaccharides from *Lilium lancifolium Thunb* [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017.
- [22] 刘成梅, 付桂明, 游海, 等. 百合多糖的纯化与化学结构鉴定研究[J]. 食品科学, 2002, (5): 114–117.
LIU CM, FU GM, YOU H, *et al.* Purification and chemical structure identification of lily polysaccharide [J]. Food Sci, 2002, (5): 114–117.
- [23] 陈小蒙, 刘成梅, 刘伟. 龙牙百合多糖的纯化及其分子量的测定[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 305–307.
CHEN XM, LIU CM, LIU W. Purification and molecular weight determination of Longya *Lilium* polysaccharide [J]. Food Sci, 2008, 29(11): 305–307.
- [24] 陈志刚, 朱泉, 王芬. 百合多糖纯化及分子质量测定[J]. 食品科学, 2013, 34(17): 1–4.
CHEN ZG, ZHU Q, WANG F. Purification and molecular mass determination of lily polysaccharides [J]. Food Sci, 2013, 34(17): 1–4.
- [25] 刘云凤, 许胜男, 郭金芳, 等. 百合籽多糖的制备及其抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(2): 83–85.
LIU YF, XU SN, GUO JF, *et al.* Extraction of polysaccharide from lily seed and its antioxidant activity [J]. J Cere Oils, 2017, 30(2): 83–85.
- [26] 吴雄, 何纯莲, 陈蓉. 百合多糖的分离纯化及结构表征[J]. 湖南师范大学学报(医学版), 2012, 9(4): 68–73.
WU X, HE CL, CHEN R. Separation and purification of lily polysaccharide and its structure characterization [J]. J Hunan Norm Univ (Med Sci Ed), 2012, 9(4): 68–73.
- [27] 杨小花. 光慈姑多糖的提取纯化、理化性质及体外抗氧化活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
YANG XH. Optimization of extraction and purification technology, physicochemical characteristic and *in vitro* antioxidant activity of polysaccharides from *Tulipa edulis bulbis* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.
- [28] 孙守坤, 宋涛, 卢义. 刺五加酸性多糖对免疫低下小鼠的免疫调节作用[J]. 免疫学杂志, 2018, 34(10): 863–868.
SUN SK, SONG T, LU Y. Immunomodulatory effects of *Acanthopanax senticosus* acidic polysaccharides in cyclophosphamide-induced immunocompromised mice [J]. Immunol J, 2018, 34(10): 863–868.
- [29] PAN GF, XIE ZW, HUANG SX, *et al.* Immune-enhancing effects of polysaccharides extracted from *Lilium lancifolium Thunb* [J]. Int Immunopharmacol, 2017, 52: 119.
- [30] CHEN ZG, ZHANG DN, ZHU Q, *et al.* Purification, preliminary characterization and *in vitro* immunomodulatory activity of tiger lily polysaccharide [J]. Carbohydr Polym, 2014, 106: 217–222.
- [31] 李新华, 弥曼, 李汾, 等. 百合多糖免疫调节作用的实验研究[J]. 现代预防医学, 2010, 37(14): 2708–2709.
LI XH, MI M, LI F, *et al.* Experimental research of the immunomodulatory action of lily [J]. Mod Prev Med, 2010, 37(14): 2708–2709.
- [32] 胡敏敏, 蔡宝昌, 张志杰, 等. 百合多糖的药效学研究[J]. 中药新药与临床药理, 2007, (2): 107–109.
HU MM, CAI BC, ZHANG ZJ, *et al.* Pharmacodynamics research of *Lilium brownie* polysaccharide [J]. Tradit Chin Drug Res Clin Pharmacol, 2007, (2): 107–109.
- [33] 高清雅. 兰州百合无硫干制及废弃鳞茎中多糖的提取、硫酸化修饰研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2015.
GAO QY. Research on non-sulfur of dried *Lilium davidii var. unicolor* Salisb and extraction, sulfated modification of polysaccharides from wastes bulblets [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2015.
- [34] 宋硕. 兰州百合多糖的结构鉴定及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品, 2020, (16): 176–179.
SONG S. Study on the structure identification and antioxidant activity of Lanzhou lily polysaccharide [J]. Mod Food, 2020, (16): 176–179.
- [35] 王昭琪, 刘晓风, 徐也. 兰州百合芯多糖的提取工艺及其体外抗氧化活性[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 219–227, 201.
WANG ZJ, LIU XF, XU Y. Extraction process of polysaccharides from Lanzhou lily cores and evaluation of their antioxidant activity *in vitro* [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(9): 219–227, 201.
- [36] 袁泽玥, 张典, 崔迎春. 百合多糖的药理作用研究进展[J]. 科学技术创新, 2020, (15): 25–26.
YUAN ZY, ZHANG D, CUI YC. Research progress on pharmacological action of lily polysaccharide [J]. Sci Technol Innov, 2020, (15): 25–26.
- [37] 刘鹏, 林志健, 张冰. 百合的化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(23): 201–211.

- LIU P, LIN ZJ, ZHANG B. Research progress on chemical constituents and pharmacological effect of lili bulbous [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*, 2017, 23(23): 201–211.
- [38] 王乙婷. 贮藏条件对兰州百合主要营养成分及抗氧化活性影响的研究[D]. 会兰: 兰州理工大学, 2016.
- WANG YT. Study on effects of storage conditions on main nutritional components and antioxidant activity of *Lilium* [D]. Huilan: Lanzhou University of Technology, 2016.
- [39] XU Z, WANG HD, WANG BL, *et al.* Characterization and antioxidant activities of polysaccharides from the leaves of *Lilium lancifolium Thunb* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, 92: 148–155.
- [40] 李化强, 吴菲菲, 龙艳珍, 等. 隆回龙牙百合多糖的体外抗氧化活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(8): 3068–3073.
- LI HQ, WU FF, LONG YZ, *et al.* *In vitro* antioxidative effects of Longhui Longya *Lilium* polysaccharides [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(8): 3068–3073.
- [41] HAN HP, XIE HC. A study on the extraction and purification process of lily polysaccharide and its anti-tumor effect [J]. *Afr J Tradit Complem*, 2013, 10(6): 485–489.
- [42] 侯进, 李汾, 李新华, 等. 百合多糖 1 可增强二甲双胍对乳腺癌细胞的抗增殖作用并促进其凋亡[J]. *细胞与分子免疫学杂志*, 2016, 32(6): 780–783, 788.
- HOU J, LI F, LI XH, *et al.* Lily polysaccharide 1 enhances the effect of metformin on proliferation and apoptosis of human breast carcinoma cells [J]. *Chin J Cell Mol Immunol*, 2016, 32(6): 780–783, 788.
- [43] 侯进, 朱永香, 李宇, 等. 百合多糖与二甲双胍联用对人类肝癌细胞 HepG2 株抑制作用[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2017, 19(6): 30–32.
- HOU J, ZHU YX, LI Y, *et al.* Synergistic antitumor activity of lily polysaccharide combined with metformin on human liver cancer HepG2 Cells [J]. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2017, 19(6): 30–32.
- [44] 唐明. 百合多糖的提取、纯化及抑菌活性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- TANG M. Research on extraction, purification and bacteriostatic activity of polysaccharides in *Lilium* [D]. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2010.
- [45] 唐文文, 沈易华, 王丹丹. 黔产百合多糖含量测定及降血糖活性研究[J]. *江西化工*, 2020, (4): 208–210.
- TANG WW, SHEN YH, WANG DD. Determination of polysaccharide content and hypoglycemic activity of lily from Guizhou province [J]. *Jiangxi Chem Ind*, 2020, (4): 208–210.
- [46] JING LJ, CUI GW, FENG Q, *et al.* Evaluation of hypoglycemic activity of the polysaccharides extracted from *Lycium barbarum* [J]. *Afr J Tradit Complem*, 2019, 6(4).
- [47] GUO QW, CHEN ZQ, SANTHANAM RK, *et al.* Hypoglycemic effects of polysaccharides from corn silk (*Maydis stigma*) and their beneficial roles via regulating the PI3K/Akt signaling pathway in L6 skeletal muscle myotubes [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 121.
- [48] 肖遐, 吴雄, 何纯莲. 百合多糖对I型糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 209–213.
- XIAO X, WU X, HE CL. Hypoglycemic effect of lily polysaccharides in type I diabetic rats [J]. *Food Sci*, 2014, 35(1): 209–213.
- [49] 吴雄. 百合多糖对 I 型糖尿病大鼠的降血糖作用研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
- WU X. Study on hypoglycemic effect of lily polysaccharides in type I diabetic rats [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2013.

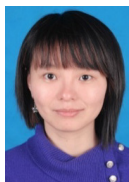
(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



柳颖, 主要研究方向为食品科学与工程。

E-mail: 949665929@qq.com



高丹丹, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: gaodan0322@163.com