

百合鳞茎营养素与植物化学成分研究进展

米璐, 林玉红, 廖小军, 徐贞贞

Research Progress on Nutrients and Phytochemicals in Bulbs of Fresh Edible Lily

MI Lu, LIN Yuhong, LIAO Xiaojun, and XU Zhenzhen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023080319>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

岷江百合与兰州百合鳞茎中多酚组分及其生物活性

Polyphenolic compositions and their bioactivity in the bulb of *Lilium regale* and *L. davidii* var. *unicolor*

食品工业科技. 2018, 39(10): 22-27,34 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.10.005>

不同保鲜剂处理对4℃低温贮藏下兰州百合鳞茎片的品质及抗氧化活性的影响

Effects of Different Fresh-keeping Agentson on Quality and Antioxidant Activity of Lanzhou Lily Bulb Slices during Storage at 4 °C

食品工业科技. 2019, 40(2): 262-265,270 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.02.045>

基于主成分分析和聚类分析的百合花瓣品质综合分析与评价

Comprehensive Evaluation of Lily Petal Quality Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

食品工业科技. 2020, 41(3): 232-238,245 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.039>

曲酸-海藻酸钠复合膜的制备及其对百合鳞茎片褐变的抑制作用

Preparation of Kojic Acid-Sodium Alginate Film Coating and Its Effects on the Browning of Lily Bulbs

食品工业科技. 2019, 40(11): 284-290,296 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.11.047>

紫花苜蓿化学成分及其生物活性研究进展

Research progress on chemical composition and biological activities of *Medicago sativa* L.

食品工业科技. 2018, 39(11): 344-352 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.11.059>

7种百合内外鳞片营养品质及抗氧化特性评价

Evaluation of Nutritional Quality and Antioxidant Properties of Inner and Outer Scales of 7 Species of Lilies

食品工业科技. 2021, 42(24): 247-255 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030292>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

米璐, 林玉红, 廖小军, 等. 百合鳞茎营养素与植物化学成分研究进展 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(14): 1-14. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080319

MI Lu, LIN Yuhong, LIAO Xiaojun, et al. Research Progress on Nutrients and Phytochemicals in Bulbs of Fresh Edible Lily[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(14): 1-14. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080319

·特邀主编专栏—枸杞、红枣、沙棘等食药同源健康食品研究与开发(客座主编:方海田、田金虎、龚桂萍)·

百合鳞茎营养素与植物化学成分研究进展

米璐^{1,2}, 林玉红³, 廖小军¹, 徐贞贞^{1,2,*}

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

2. 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 农业农村部农产品质量安全重点实验室, 北京 100081;

3. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要:百合是多年生草本植物, 兼具观赏、食用和药用价值, 其可食用或药用部位一般为鳞茎。近年来, 百合鳞茎作为一种特色蔬菜, 受到消费者青睐。本文重点从不同品种视角对百合鳞茎进行了分析, 首先归纳了碳水化合物(包括活性多糖)、蛋白质及氨基酸、脂类、矿物质和维生素等营养素的详细构成, 进一步总结了其甾体皂苷(包括螺甾烷醇、异螺甾烷醇、变形螺甾烷醇、呋甾烷醇类)、酚酸类(包括单聚酚酸、酚酸甘油酯和苷类)、黄酮类(包括黄酮醇、黄烷醇、查尔酮、黄烷酮、黄烷酮醇、花色苷类等)和生物碱类(包括异喹啉、吡咯啉、吡啶和甾体糖苷类)等已知植物化学成分的构成及其生物活性, 最后对百合在保健食品中的应用进行概括, 以期对百合研究及非药用加工利用提供理论依据和研究思路。

关键词:百合, 百合鳞茎, 特色蔬菜, 植物化学成分, 生物活性, 功能性食品

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)14-0001-14

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080319



本文网刊:

Research Progress on Nutrients and Phytochemicals in Bulbs of Fresh Edible Lily

MI Lu^{1,2}, LIN Yuhong³, LIAO Xiaojun¹, XU Zhenzhen^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Institute of Quality Standard & Testing Technology for Agro-Products, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agro-Food Safety and Quality, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

3. Institute of Biotechnology, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Lily is a perennial herbaceous plant with ornamental, and its bulb is commonly used for food and medicine. Recently, fresh lilies gain growing favors from consumers as special vegetable. This review focuses on analyzing edible lilies bulbs from the perspective of different varieties, the detailed composition of nutrients such as carbohydrate (including bioactive polysaccharides), protein and amino acid, lipids, minerals and vitamins, summarizing the phytochemicals and biological activities involving steroid saponins (including spirostanols, isospirostanols, deformed spirostanols and furostanols), phenolic acids (including monophenolic acids, phenolic glycerides and glycosides), flavonoids (including flavonols, flavanols, chalcones, flavanones, flavanones, anthocyanins, and so on) and alkaloids (including isoquinoline, pyrrolidine, piperidine, and steroid glycosides). Finally, the application of lily in functional food is analyzed. Collectively, this review is capable of providing theoretical basis and research ideas for the study of lily and its non-medicinal processing and

收稿日期: 2023-09-04

基金项目: 国家自然科学基金(32222067); 国家特色蔬菜产业技术体系(CARS-24-E)。

作者简介: 米璐(1999-), 女, 博士研究生, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: milu@cau.edu.cn。

* 通信作者: 徐贞贞(1985-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: xuzhenzhen@caas.cn。

utilization.

Key words: *Lilium*; lily bulbs; special vegetable; phytochemicals; bioactivities; functional food

百合(*Lilium* spp.)是百合科(Liliaceae)百合属(*Lilium*)的多年生草本植物统称,地下茎块由数十瓣鳞片相叠抱合,有百片合成之意而得名,作为球根花卉具有一定的观赏价值,部分种类可以药用或者食用。全球百合资源约有 115 种,主要分布在北半球的亚洲东部(约 70 种)、北美洲(约 24 种)和欧洲(约 22 种),其中百合资源丰富的地区集中在亚洲东海岸、北美西海岸和地中海地区^[1]。中国约有 55 种百合资源(47 原生百合和 18 变种)^[2],超过全球百合资源的 50%,呈现出分布广、种类丰富的特点,是全球野生百合多样性中心。我国自唐宋时期(公元 900-960 年)开始种植食用百合^[3],目前主流食用百合包括兰州百合(*L. davidii* var. *unicolor*)、龙牙百合(*L. brownii* var. *viridulum* Baker)和卷丹(*L. lancifolium* Thunb.)^[4]等,主产区主要位于甘肃、湖南和江苏等地,种植面积约有 30 万亩,产量约 17 万吨,其中龙牙百合产量最高、占比 47.1%;兰州百合其次,占比 27.1%;宜兴百合(卷丹)产量相对较少,约 3 万吨;此外,我国的食用百合还包括细叶百合(山丹百合, *L. pumilum* DC)和圣母百合(*L. candidum*)^[5]等。在日本、朝鲜等其它亚洲国家,也有食用卷丹、细叶百合、圣母百合、野百合(*L. brownii* var. *colchesteri*)、天香百合(*L. auratum*)、鹿子百合(*L. speciosum*)、乙女百合(*L. rubellum*)和高贵百合(*L. nobilissimum*)的习惯^[6]。

百合的栽培历史悠久,可追溯至公元前 3 世纪,可入药或者食用部位通常为鳞茎。公元前 2 世纪秦汉时期,百合的中药价值已被记载于最早的中医著作《神农本草经》,“主邪气腹胀,心痛,利大小便,补中益气”^[7]。明代时期李时珍在《本草纲目》中记载了百合“甘、平、无毒”,具有止咳、治疗肺病咯血等功效。《金匱要略》中有关于百合病的记载,百合病是一种心肺阴虚内热的疾病。《中华人民共和国药典(2020 年版)》中将百合(*L. brownii* F.E.Brown var.

viridulum)、卷丹或细叶百合的干燥鳞茎定义为药用百合^[8]。百合对阴虚燥咳,虚烦惊悸和失眠多梦等症状均有疗效。

特色蔬菜是相对番茄、黄瓜、萝卜、白菜等大路菜而言,对特色、新颖或非本地常规种植的小众蔬菜的统称。随着人们健康饮食意识的提升,百合鳞茎作为一种特色蔬菜,以其稀缺性、地域性和功能性等特点,越来越受到消费者青睐。百合的植物化学成分研究起源于 20 世纪 60 年代^[9],其中鳞茎、花和根部位研究居多,有关百合鳞茎营养素的研究数量也较多。目前该领域的综述多聚焦探讨药食同源百合的植物化学成分及其药理活性^[10-12],大多关注药用百合的药理作用以及质量控制,但是对食用百合的营养价值、功能性食品的开发关注有限,因此本文就近年来上述百合(仅可药用品种除外)鳞茎中营养素构成、植物化学成分及生物活性的新进展进行系统归纳总结,特别将非药用百合鳞茎(如兰州百合等)的研究也纳入综述中,总结百合在食品产业的应用现状,以期百合的功能性保健食品开发与多元化利用(非药用)提供参考。

1 百合鳞茎中的营养素

百合鳞茎中含有水、蛋白质、脂类、碳水化合物、矿物质、维生素和膳食纤维七大营养素,对其营养素构成的研究涵盖了野生型和变种等诸多品种。如表 1 所示,百合鳞茎含水量较高,约为 62.42%~77.23%^[13];除水分之外,碳水化合物是最主要的营养素,膳食纤维的含量占干重(Dry weight, DW)的 3.95%~6.49%;总蛋白质含量约为 8.19~28.76 mg/g,约占干重的 1.09%~3.67%;脂肪含量小于 1%,与低脂蔬菜(如南瓜、菜花等)的脂肪含量相近^[14]。百合是碳水化合物、蛋白质的良好来源,且脂肪含量低。

1.1 碳水化合物

百合鳞茎富含碳水化合物,如表 1 所示,其中可

表 1 百合鳞茎中主要营养素含量

Table 1 Main nutrients in lily bulbs

品种	水分 (%)	蛋白质 (%, DW)	脂肪 (%, DW)	碳水化合物		膳食纤维 (%, DW)	维生素C (mg/100 g DW)	参考文献
				可溶性糖 (%, DW)	淀粉 (%, DW)			
兰州百合	68.10	2.70	—	15.51	4.23	6.15	305.33	[29]
百合(来源为20种均值)	—	2.91	0.52	—	16.60	—	7.97	[14]
王百合(<i>L. regale</i>)	76.65	1.09	—	17.94	11.39	5.16	37.80	[29]
贵德细叶	62.59	2.20	0.30	—	28.91	—	108.53	[13]
贵德卷丹	65.21	2.71	0.17	—	28.22	—	127.00	[13]
湟中细叶	63.51	2.86	0.26	—	32.10	—	118.17	[13]
兰州细叶	62.42	3.67	0.28	—	30.63	—	104.35	[13]
Lady Alice	67.72	1.53	—	10.53	15.97	3.95	50.82	[29]
Matrix	67.94	2.47	—	10.64	12.13	5.23	226.48	[29]

续表 1

品种	水分 (%)	蛋白质 (%, DW)	脂肪 (%, DW)	碳水化合物		膳食纤维 (%, DW)	维生素C (mg/100 g DW)	参考文献
				可溶性糖 (%, DW)	淀粉 (%, DW)			
Easy Waltz	65.26	2.88	—	12.49	5.15	4.49	181.93	[29]
Mister Right	70.69	1.14	—	12.46	6.52	4.04	59.12	[29]
Pearl Melanie	77.23	1.77	—	10.30	1.43	5.57	182.65	[29]
Golden Stone	68.36	1.77	—	8.37	7.50	5.12	153.01	[29]
Bright Diamond(‘亮钻’)	65.67	2.48	—	8.86	1.64	6.42	253.88	[29]
Easy life	73.30	2.25	—	10.5	4.25	5.18	169.01	[29]
Mister Sandman	74.45	1.25	—	9.26	12.00	6.49	32.36	[29]

注: DW表示干重, “—”表示引用研究未检测。

溶性糖含量为 8.37%~17.94% DW, 已报道的内源性游离态单糖包括葡萄糖、果糖、半乳糖、阿拉伯糖、岩藻糖、山梨醇和木糖醇, 游离态二糖包括蔗糖、麦芽糖和海藻糖, 淀粉含量在 1.43%~32.10% DW。受产地、品种和提取方法等影响, 百合多糖的相对分子质量、单糖组成和糖链结构等存在差异, 兰州百合多糖含量较高, 质量分数可达 19% DW, 目前对兰州百合品种的多糖研究较多, 纯化出的百合多糖均为杂多糖, 其单糖组成主要包括甘露糖、葡萄糖、半乳糖和阿拉伯糖等^[15-18]。综合核磁共振、甲基化分析和逐步酸水解等方法可以推测出百合多糖的糖苷键连接方式, 主要以 α -1 $\rightarrow$ 4、 α -1 $\rightarrow$ 6 和 β -1 $\rightarrow$ 4 为主, 还存在 α -1 $\rightarrow$ 3(比如 $\rightarrow$ 3)- α -D-Man-(1 $\rightarrow$)等形式, 糖苷键连接方式与其抗肿瘤能力相关性较强^[19]。百合多糖具有抗氧化、抗肿瘤、免疫调节、降血糖、抑菌、防辐射等药理作用^[20]。

1.2 蛋白质与氨基酸

百合鳞茎氨基酸总量约为 97.01~123.00 mg/g DW, 氨基酸组成齐全^[21], 含有丰富的人体必需氨基酸(Essential amino acids, EAA)和部分药用氨基酸(Medicinal amino acids, MAA)。百合鳞茎中已报道 16~21 种氨基酸, 不同品种和内外鳞茎的氨基酸种类无差异, 均包含 8 种 EAA(赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸), 9 种 MAA(苯丙氨酸、甲硫氨酸、亮氨酸、赖氨酸、酪氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和精氨酸), 还含有鸟氨酸、瓜氨酸和 γ -氨基丁酸和羟脯氨酸; 含量较高的为精氨酸和谷氨酸^[14,22], 分别为 139.10~1007.00、83.40~520.70 mg/g DW, 精氨酸均值最高且变异系数较高(63.72%), 谷氨酸变异系数也较高(47.19%), 表明其含量在不同品种中差异较大^[14]。此外, 还在百合鳞茎中发现了一些活性蛋白质。Asao 等^[23]从卷丹鳞茎中分离纯化出一种胰蛋白酶抑制剂(LTI-II-4), 该蛋白由甘氨酸、天冬氨酸和丝氨酸组成, 分子量约为 21 kDa。Wang 等^[24]从龙牙百合干燥鳞茎中分离出一种分子质量为 14.4 kDa 富含精氨酸和谷氨酸的蛋白质, 该蛋白质具有潜在有丝分裂活性和抗真菌效果。

1.3 脂类

百合鳞茎中已发现 11 种脂肪酸, 包括 7 种饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)和 4 种不饱和脂肪酸。在 1 种单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acid, MUFA)和 3 种多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA)中占比最高的为亚油酸, 含量最高可达 68.22 mg/100 g。卷丹鳞茎中 PUFA/SFA 比值大于 2, 可能具有降血脂功能^[14]。百合鳞茎磷脂组分含量也相对丰富, 已经准确分离鉴定出 6 种磷脂组分, 包括磷脂酰胆碱(Phosphatidylcholine, PC)、双磷脂酰甘油(Phosphatidylglycerol, PE)、磷脂酸(Phosphatidic acid, PA)、溶血磷脂酰胆碱(Lyso-phosphatidylcholine, LPC)、磷脂酰肌醇(Phosphatidylinositol, PI)和鞘磷脂(Sphingomyelin, SM), 不同品种百合鳞茎的磷脂组成存在差异^[25]。随着新技术的发展, Zhou 等^[26]利用脂质组学方法从龙牙百合鳞茎中鉴定出 LPC、PC、PI、PE、PA、溶血磷脂酰乙醇胺(Lyso-phosphatidylethanolamine, LPE)、溶血磷脂酰肌醇(Lyso-phosphatidylinositol, LPI)、溶血磷脂酰肌醇(Lyso-phosphatidylinositol, LPA)、心磷脂(Cardiolipin, CL)、溶血磷脂酰甘油(Lyso-phosphatidylglycerol, LPG)、磷脂酰甘油(Phosphatidylglycerol, PG)、甘油三酯(Triacylglycerols, TAG)等 16 类共 88 种脂类组分, 高通量方法为脂类物质的发现提供了有力工具, 但其中发现的新组分和活性组分有待进一步分离确证。

1.4 矿物质与维生素

百合鳞茎含有 K、Ca、Na、Mg、Al、Fe、P、S、Zn、Mn、Sr、Cu、Cr、Se、As 等 15 种人体必需微量元素。内外鳞茎的矿物质含量存在差异, 内层鳞片含量最高^[11,27-28]。生态因子对矿物质元素的含量影响较大, 百合产地和种植条件直接影响微量元素分布, 有研究采用 ICP-MS 方法对 6 个百合产地的矿物质进行解析, 发现不同产地的百合矿物质含量不同, 部分产地的百合鳞茎中 K 含量可达 150173 mg/kg DW, Ca 含量可达 10121 mg/kg DW, Mg 含量可达 8191 mg/kg DW, 可能与生长环境、土壤用肥等相关^[28]。

百合鳞茎中已报道的维生素有 5 种,包括水溶性维生素(维生素 B₁、维生素 B₂、烟酸、维生素 C)和脂溶性维生素(维生素 E)。研究表明百合鳞茎维生素 B₁ 的含量为 0~0.084 mg/100 g DW,维生素 B₂ 的含量为 0.010~0.163 mg/100 g DW,烟酸含量为 0.270~1.195 mg/100 g DW,维生素 C 含量为 7.972~305.330 mg/100 g DW,维生素 E 含量为 0.070~0.792 mg/100 g DW^[14]。

2 植物化学成分

植物化学成分是指植物代谢产生的多种低分子量的末端产物(次生代谢产物),一般是非营养素类生物活性物质(除个别维生素的前体物质)^[30]。如图 1 所示,百合鳞茎中已报道的植物化学成分主要包括甾体皂苷、酚酸、黄酮等多酚类和生物碱类等。目前已有研究证实百合鳞茎中甾体皂苷、酚酸、黄酮等多酚类和生物碱类提取物具有一定的生物活性。随着分析技术的进展,提取物中越来越多的单体得到分离鉴定,且功效性研究也随之开展。

2.1 甾体皂苷

甾体皂苷是一类由螺甾烷类化合物与糖结合而成的甾体苷类组分,基本母核结构为环戊稠多氢化菲,多数皂苷具有辛辣味和苦味。百合甾体皂苷类提取物具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、保肝、抗抑郁、降血

糖等作用,对脂多糖刺激 RAW264.7 细胞产生的一氧化氮(NO)、前列腺素 E₂(PGE₂)、白细胞介素-6(IL-6)和肿瘤坏死因子- α (TNF- α)具有显著抑制作用^[31],抗氧化效果优于人参皂苷,对 Co²⁺与过氧化氢产生的·OH 有清除作用;对肺癌细胞 A549、胃癌细胞等具有抑制增殖、诱导凋亡的作用;可显著缩短小鼠悬尾不动和游泳时间、能够拮抗利血平导致的体温降低,具有一定的抗抑郁效果^[32]。目前百合甾体皂苷类组分研究较多的品种为王百合(*L. regale*)、圣母百合和麝香百合,其中麝香百合富含甾体皂苷,百合鳞茎在成熟后期皂苷含量较高^[33]。随着分离分析技术的进步,利用色谱法、核磁等技术,百合提取物中的甾体皂苷类组分被进一步鉴定,从百合鳞茎中发现的甾体皂苷类组分有 83 种,包括螺甾烷醇类 13 种、异螺甾烷醇类 40 种、变形螺甾烷醇类 7 种及呋甾烷醇类 23 种^[34]。本文提到的食用(菜用)百合中甾体皂苷类组分有 52 种,包括螺甾烷醇类 8 种、异螺甾烷醇类 25 种、变形螺甾烷醇类 6 种及呋甾烷醇类 13 种(表 2)。研究证实,薯蓣皂苷具有较强的自由基清除作用,对卵巢癌 SK-OV-3、肝癌 HepG2 等肿瘤细胞表现出细胞毒性,具有一定抗肿瘤效果^[35];对热带念珠菌、白色念珠菌等具有显著抑制作用^[36]。麦冬皂苷 D 可以通过抑制磷脂酰肌醇 3-激酶/蛋白激酶 B(PI3K/akt)通路,增强肺泡上皮细胞抗氧化能

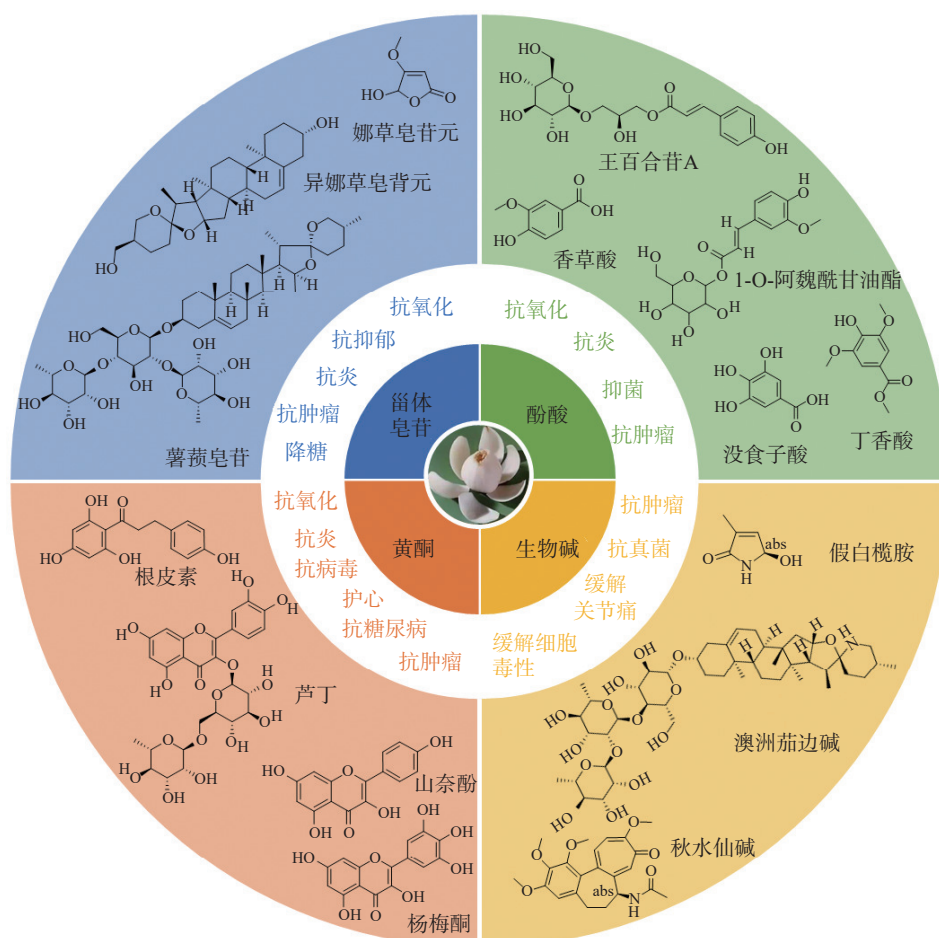


图 1 百合鳞茎中的主要植物化学成分及其功能

Fig.1 Primary phytochemicals in lily bulbs and their functions

表 2 百合鳞茎中的甾体皂苷类组分

Table 2 Steroid saponins in lily bulbs

编号	种	化合物	分类	参考文献
1	野百合 <i>L. brownii</i> var. <i>colchesteri</i>	(25S)-螺甾烷-5-烯-3 β ,27-二醇 3-O-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-葡萄糖苷	螺甾烷醇类皂苷	[39]
2		27-O-(3-羟基-3-甲基戊二酰)异娜草苷元3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[39]
3	圣母百合 <i>L. candidum</i>	26-O- β -D-葡萄糖基-nuatigenin 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷	变形螺甾烷醇类皂苷	[39]
4		(25S)-27-羟基螺甾烷-5-烯-3 β -烷O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷	螺甾烷醇类皂苷	[39]
5		(25S)-螺甾烷-5-烯-3 β ,27-二醇3-O- β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 3)-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[40]
6		(25R)-螺甾烷-5-烯-3 β -醇3-O-[O-L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-D-葡萄糖苷]	异螺甾烷醇类皂苷	[40]
7		(25R)-螺甾烷-5-烯-3 β -醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷		[39]
8		(25R)-螺甾烷-5-烯-3 β ,27-醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[41]
9		(23S,25R)-23-羟基螺甾烷-5-烯-3 β -O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷		[39]
10		(2R,26R)-17 α -羟基-26-甲基螺甾烷-5-烯-3 β -O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷		[39]
11		(25R,26R)-26-甲基螺甾烷-5-烯-3 β -O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷		[39]
12		(25R,26R)-26-甲基螺甾烷-5-烯-3 β ,17 α -二醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[40]
13		(25R,26R)-26-甲基螺甾烷-5-烯-3 β ,17 α -二醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[40]
14		(25R,26R)-26-甲基螺甾烷-5-烯-3 β ,17 α -二醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[6-O-乙酰基- β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[40]
15		(25R,26R)-26-乙基螺甾烷-5-烯-3 β -醇3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[42]
16		(25R)-22-O-甲基-26-O- β -D-葡萄糖基-呋甾螺甾烷-5-烯-3 β ,22 ξ ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷	呋甾烷醇类	[40]
17		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-22-甲基呋甾螺甾烷-5-烯-3 β -烷O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷		[39]
18	麝香百合 <i>L. longiflorum</i>	(25S)-螺甾烷-5-烯-3 β ,27-二醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]- β -D-葡萄糖苷	螺甾烷醇类皂苷	[43]
19		(25S)-螺甾烷-5-烯-3 β ,27-二醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[43]
20		(25R)-27-O-[(S)-3-羟基-3-甲基戊二酰]-螺甾烷-5-烯-3 β ,27-二醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷	异螺甾烷醇类皂苷	[43]
21		(25R)-27-O-[(S)-3-羟基-3-甲基戊二酰]-螺甾烷-5-烯-3 β ,27-二醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]- β -D-葡萄糖苷		[43]
22		(25R,26R)-26-甲基螺甾烷-5-烯-3 β -醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[43]
23		(25R)-22-O-甲基-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋甾螺甾烷-5-烯-3 β ,22 ξ ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷	呋甾烷醇类	[43]
24		(25R)-22-O-甲基-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋甾螺甾烷-5-烯-3 β ,22 ξ ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]- β -D-葡萄糖苷		[43]
25		(25R)-22-O-甲基-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋甾螺甾烷-5-烯-3 β ,22 ξ ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-木糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]- β -D-葡萄糖苷		[43]
26		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋甾螺甾烷-5-烯-3 β ,22 α ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[44]
27		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋甾螺甾烷-5-烯-3 β ,22 α ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]- β -D-葡萄糖苷		[45]
28		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋甾螺甾烷-5-烯-3 β ,22 α ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-木糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]- β -D-葡萄糖苷		[45]
29		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋甾螺甾烷-5-烯-3 β ,22 ξ ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷		[45]
30	细叶百合 <i>L. pumilum</i>	薯蓣皂苷	异螺甾烷醇类皂苷	[46]
31		(25R)-5 α -螺甾烷-3 β ,17 α -二醇 3-O- β -D-木糖基-(1 $\rightarrow$ 4)-[α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷		[46]
32		(25R)-3 β -羟基-5 α -螺甾烷-6-酮 3-O- α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 6)- β -D-葡萄糖苷		[46]
33		(25R)-3 β ,17 α ,27-三醇-螺甾烷-6-酮3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[46]

续表 2

编号	种	化合物	分类	参考文献
34		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-22 α -羟基呋喃醇-5-烯-3 β -烷-O- α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 3)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]-O-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-葡萄糖苷	呋喃醇类	[47]
35		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-22 α -羟基呋喃醇-5-烯-3 β -烷-O- α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 4)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]-O-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-葡萄糖苷		[47]
36		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋喃醇-5,20(22)-二烯-3 β -烷-O- α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 3)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]-O-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-葡萄糖苷		[47]
37		(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋喃醇-5,20(22)-二烯-3 β -烷-O- α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 4)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]-O-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-葡萄糖苷		[47]
38	龙牙百合 <i>L. brownii</i> var. <i>viridulum</i> Baker	7-O-[(3S)-3-O- β -D--葡萄糖基-3-甲基戊二酰]异萼草苷元3-O-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-葡萄糖苷	螺甾醇类皂苷	[48]
39		(24S,25S)-3 β ,17 α ,24-三羟基-5 α -螺甾烷-6-酮 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[48]
40		(25R)-27-O-(3-羟基-3-甲基戊二酰)-螺甾烷-5-烯-3 β ,27-二醇3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷	异螺甾醇类皂苷	[49]
41		(25R)-27-O-[(S)-3-羟基-3-甲基戊二酰]-螺甾烷-5 α -3 β ,27-二醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[50]
42		26-O- β -D-葡萄糖基-nuatigenin	变形螺甾醇类皂苷	[48]
43		26-O- β -D-葡萄糖基-nuatigenin 3-O- β -D-葡萄糖苷		[48]
44		26-O- β -葡萄糖基-nuatigenin 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷		[48]
45		26-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-葡萄糖基-nuatigenin 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[48]
46		(25S)-26-O- β -D-葡萄糖基-22,25-环氧呋喃-5 α -3 β ,26-二醇3-O-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-葡萄糖苷		[50]
47	卷丹 <i>L. lancifolium</i>	(25R)-螺甾烷-5-烯-3 β -ol 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-木糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]- β -D-葡萄糖苷(麦冬皂苷D)	异螺甾醇类皂苷	[51]
48		(25R)-3 β -羟基-5 α -螺甾烷-6-酮3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[52]
49		(lililancifolioside A) (25R)-螺甾烷-5-烯-3 β -醇3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[α -L-阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 3)]- β -D-葡萄糖苷(卷丹皂苷A)		[51]
50		(25R)-3 β ,17 α -二羟基-5 α -螺甾烷-6-酮3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[53]
51		(25R,26R)-26-甲氧基螺甾烷-5-烯-3 β -烷-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-[α -L-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-葡萄糖苷		[51]
52	鹿子百合 <i>L. speciosum</i>	(25R,26R)-26-甲氧基螺甾烷-5-烯-3 β -醇3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷		[54]

力,从而减轻大气细颗粒物(PM 2.5)对肺部的氧化损伤^[37];呋甾皂苷(25R)-26-O-(β -D-葡萄糖基)-呋喃醇-5-烯-3 β ,22 ξ ,26-三醇 3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷对环磷酸腺苷-磷酸二酯酶(cAMP-PDEs)具有抑制活性^[38]。虽然被鉴定出的甾体皂苷类组分数量众多,但该组分分离困难,因此活性研究多集中在总提取物,大多数单体组分的活性有待深入探究。

2.2 酚酸

酚酸是一类含有酚环的有机酸组分,分为单聚酚酸类、酚酸甘油酯和苷类。百合中的酚类提取物具有抗氧化、抗炎、抑菌和抗肿瘤等生物活性^[55],是百合鳞茎重要的药理活性组分^[10]。目前,从百合鳞茎中分离鉴定出的酚酸类组分有 36 种(表 3),成熟后期百合鳞茎酚酸含量降低^[33]。单聚酚酸类包括阿魏酸(2.61~45.89 mg/100 g DW)、咖啡酸(0.001~7.97 mg/100 g DW)、对香豆酸(0.52~4.51 mg/100 g DW)、绿原酸(1.14 $\pm$ 0.05 mg/100 g DW)、没食子酸(0.85~1.26 mg/100 g DW)、香草酸、丁香酸和原儿茶酸^[10]共 8 种。酚酸甘油酯是百合的苦味物质基础^[8],包括咖啡酰基、阿魏酰基、对香豆酰基甘油酯

类等 24 种组分,比如 1-O-咖啡酰甘油酯、3,6'-O-二阿魏酰蔗糖、4-乙酰-3,6'-二阿魏酰蔗糖和 3-阿魏酰-4-乙酰-6'-(13'-O- β -D-葡萄糖基)-阿魏酰蔗糖,对香豆酰基甘油酯类物质包括王百合苷 A~F、王百合苷 J、王百合苷 H、王百合苷 M、乙酰王百合苷 C 和 4-乙酰王百合苷 D 等 11 种组分,王百合苷 E 含量为 6.04~186.2 mg/100 g DW,王百合苷 F 含量为 0.86~44.75 mg/100 g DW。此外,还从麝香百合中分离出 2 种氧苷类^[56]和 2 种酚苷类^[57]组分。酚酸类单体组分的健康有益效果已被广泛验证^[58],酚酸甘油酯组分具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤、抑菌等活性^[59],其中咖啡酰基化合物具有抗氧化、抗炎抑菌等功效^[60],3,6'-O-二阿魏酰蔗糖、4-乙酰-3,6'-二阿魏酰蔗糖等阿魏酰基化合物具有生长抑制功能^[57]。不同酚酸甘油酯类组分的抗氧化能力差异较大,Luo 等^[61]发现 1-O-咖啡酰-3-O-对香豆酰、1,2-O-二阿魏酰甘油酯的抗氧化活性远高于 1-O-对香豆酰甘油酯、1,3-O-二对香豆酰甘油酯,对香豆酰基甘油酯类的抗氧化能力弱于咖啡酰和阿魏酰甘油酯类,其活性与甘油形成酯的酸密切相关。已发现的百合中部分氧苷和酚苷类组分活性有待探讨。

表 3 百合鳞茎中的酚酸类组分
Table 3 Phenolic acids in lily bulbs

编号	化合物	分类	来源
1	阿魏酸(ferulic acid)	单聚酚酸类	龙牙百合 ^[62]
2	咖啡酸(caffeic acid)		卷丹 ^[52] 、龙牙百合 ^[62]
3	对香豆酸(p-coumaric acid)		卷丹 ^[52] 、龙牙百合 ^[62]
4	绿原酸(chlorogenic acid)		卷丹 ^[52]
5	没食子酸(gallic acid)		卷丹 ^[52] 、龙牙百合 ^[62]
6	香草酸(vanillic acid)		龙牙百合 ^[62]
7	丁香酸(syringic acid)		龙牙百合 ^[62]
8	原儿茶酸(protocatechuic acid)	酚酸甘油酯	龙牙百合 ^[62]
9	1-O-咖啡酰甘油酯(1-O-caffeoylglycerol)		天香百合 ^[63] 、卷丹 ^[61]
10	1-O-阿魏酰甘油酯(1-O-feruloylglycerol)		卷丹 ^[61]
11	1-O-对香豆酰甘油酯(1-O-p-coumaroylglycerol)		天香百合 ^[63] 、卷丹 ^[61]
12	1,2-O-二阿魏酰甘油酯(1,2-O-diferuloylglycerol)		天香百合 ^[63] 、卷丹 ^[61]
13	1,3-O-二阿魏酰甘油酯(1,3-O-diferuloylglycerol)		天香百合 ^[63] 、卷丹 ^[61]
14	1,3-O-二对香豆酰甘油酯(1,3-O-di-p-coumaroylglycerol)		卷丹 ^[61]
15	1-O-咖啡酰-3-O-对香豆酰(1-O-caffeoyl-3-O-p-coumaroylglycerol)		卷丹 ^[61]
16	1-O-阿魏酰-3-O-对香豆酰甘油酯(1-O-feruloyl-3-O-p-coumaroylglycerol)		卷丹 ^[61]
17	1-O-阿魏酰-2-O-对香豆酰甘油酯(1-O-feruloyl-2-O-p-coumaroylglycerol)		卷丹 ^[52] 、天香百合 ^[63]
18	1-O-对香豆酰-2-O-阿魏酰甘油酯(1-O-p-coumaroyl-2-O-feruloylglycerol)		天香百合 ^[63]
19	3,6'-O-二阿魏酰蔗糖(3,6'-O-diferuloylsucrose)		天香百合 ^[63] 、卷丹 ^[57]
20	4-乙酰-3,6'-二阿魏酰蔗糖(4-acetyl-3,6'-diferuloylsucrose)		卷丹 ^[57,63]
21	3-阿魏酰-4-乙酰-6'-(13'-O-β-D-葡萄糖基)-阿魏酰蔗糖(3-feruloyl-4acetyl-6'-(13'-O-β-D-glu)-feruloylsucrose)		卷丹 ^[57]
22	王百合苷A(regaloside A)		卷丹 ^[52] 、龙牙百合、 细叶百合 ^[64]
23	王百合苷B(regaloside B)		卷丹 ^[52] 、龙牙百合、 细叶百合 ^[52,64]
24	王百合苷C(regaloside C)		卷丹 ^[52] 、龙牙百合、 细叶百合 ^[52,64]
25	王百合苷D(regaloside D)		卷丹 ^[65] 、龙牙百合、 细叶百合 ^[64]
26	王百合苷E(regaloside E)		卷丹 ^[52,65]
27	王百合苷F(regaloside F)		卷丹 ^[65] 、龙牙百合、 细叶百合 ^[52,64]
28	王百合苷H(regaloside H)		卷丹 ^[52,65]
29	王百合苷J(regaloside J)		卷丹 ^[52]
30	王百合苷M(regaloside M)		卷丹 ^[52]
31	乙酰王百合苷C(acetylregaloside C)	氧苷	龙牙百合 ^[66]
32	4-乙酰王百合苷D(4-acetyl derivative of regaloside D)		卷丹、龙牙百合、 细叶百合 ^[52,64] 、麝香百合 ^[67]
33	2,6-二甲基-4-(二羧酸-1-烯)苯基-O-α-L-鼠李糖基-(1→6)-β-D-葡萄糖苷(2,6-dimethoxy-4-(prop-1-enyl)phenyl-O-α-L-rha-(1→6)-β-D-glucoside)		麝香百合 ^[56]
	2,6-二甲基-4-(二羧酸-1-烯)苯基-O-α-L-鼠李糖基-(1→6)-β-D-葡萄糖苷		
34	2,6-二甲基-4-(二羧酸-2-烯)苯基-O-α-L-鼠李糖基-(1→6)-β-D-葡萄糖苷(2,6-dimethoxy-4-(prop-2-enyl)phenyl-O-α-L-rha-(1→6)-β-D-glucoside)		麝香百合 ^[56]
	2,6-二甲基-4-(二羧酸-2-烯)苯基-O-α-L-鼠李糖基-(1→6)-β-D-葡萄糖苷		
35	feruloyl esters of 2,3-dihydroxy-1,2-propanedicarboxylic acid 阿魏酰酯-2,3-二羟基-1,2-丙二羧酸	酚苷	麝香百合 ^[57]
36	2,3-dihydroxy-3-O-p-coumaryl-1,2-propanedicarboxylic acid、 2,3-二羟基-3-O-对香豆酰酯-2,3-二羟基-1,2-丙二羧酸		麝香百合 ^[57]

2.3 黄酮

黄酮泛指两个苯环通过 C₃ 连接而成的一系列化合物(C₆-C₃-C₆)，百合中的黄酮类提取物也被报道具有抗氧化、抗炎、抗病毒、护心、抗衰老、抗糖尿病、抗肿瘤等作用^[68]。目前从百合鳞茎中分离鉴定出的黄酮类组分有 31 种(表 4)，成熟后期黄酮含量降低^[33]。Jin 等^[69]采用 HPLC 方法从细叶百合、兰州

百合和卷丹等百合提取物中鉴定黄酮类组分，其中芦丁和山奈酚在细叶百合中含量较高，在兰州百合中含量较低，芦丁含量为 0.96~4.48 mg/100 g DW，山奈酚含量为 1.30~12.48 mg/100 g DW；槲皮素在卷丹中含量较高，在兰州百合中含量较低，含量为 0.89~2.38 mg/100 g DW；杨梅酮在兰州百合中含量较高，在细叶百合中含量较低，含量为 0.81~2.31 mg/

表 4 百合鳞茎中的黄酮类组分
Table 4 Flavonoids in lily bulbs

编号	化合物	分类	来源
1	芦丁(rutin)	黄酮醇	细叶百合、兰州百合 ^[69] 、龙牙百合 ^[62]
2	芸香糖苷(rutinoside)		细叶百合、兰州百合 ^[69]
3	杨梅酮(myricetin)		细叶百合、兰州百合 ^[69]
4	槲皮苷(quercitrin)		龙牙百合 ^[62]
5	槲皮素(quercetin)		细叶百合、兰州百合和卷丹 ^[69] 、龙牙百合 ^[62]
5	异槲皮苷(isoquercitrin)		龙牙百合 ^[62]
6	山奈酚(kaempferol)		细叶百合、兰州百合、卷丹 ^[69] 、麝香百合 ^[67]
7	金丝桃苷(hyperoside)		兰州百合 ^[76]
8	扁蓄苷(avicularin)		兰州百合 ^[76]
9	儿茶素((+)-catechin)	黄烷醇	细叶百合、兰州百合、卷丹 ^[69] 、龙牙百合 ^[62]
10	表儿茶素((-)-epicatechin)		细叶百合、兰州百合、卷丹 ^[69] 、龙牙百合 ^[62]
11	根皮素(phloretin)	查尔酮	细叶百合、兰州百合、卷丹 ^[69]
12	根皮苷(phloridzin)		卷丹 ^[52]
13	圣草酚(eriodictyol)	黄烷酮	卷丹 ^[70]
	二氢杨梅酮(dihydromyricetin)	黄烷酮醇	卷丹 ^[70]
14	二氢槲皮素(花旗松素, taxifolin)		卷丹 ^[70]
15	原花青素B ₂ (proanthocyanidin B ₂)	原花青素	兰州百合 ^[76]
16	矢车菊素-3-芸香糖苷(cyanidin-3-rutinoside)	花色苷	细叶百合、兰州百合 ^[77] 、卷丹 ^[52]
17	水仙苷(narcissin, isorhamnetin-3-O-rutinoside)		细叶百合 ^[71]
19	烟花苷(nicotiflorin, kaempferol-3-O-rutinoside)	酚苷	细叶百合 ^[46]
21	7-甲基4'-乙酰基 山奈酚3-O-β-葡萄糖苷(7-methoxy 4'-acetyloxy kaempferol 3-O-β-glucoside)		麝香百合 ^[67]
22	山奈酚7-O-β-6' 乙酰葡萄糖苷(kaempferol 7-O-β-6' acetylglucoside)		麝香百合 ^[67]
23	4'-甲基山奈酚3-O-β-葡萄糖苷(4'-methoxy kaempferol 3-O-β-glucoside)		麝香百合 ^[67]
24	山奈酚7-O-β-葡萄糖基 3-O-葡萄糖苷(kaempferol 7-O-β-glu 3-O-β-glucoside)		麝香百合 ^[67]
25	4'-乙酰基山奈酚 7-O-β-葡萄糖基 3-O-β-葡萄糖苷(4'-acetyloxy kaempferol 7-O-β-glu 3-O-β-glucoside)		麝香百合 ^[67]
26	山奈酚3-O-β-阿拉伯糖基(1→6)-葡萄糖苷(kaempferol 3-O-β-ara(1→6)-glucoside)		麝香百合 ^[67]
27	4'-乙酰基槲皮素3-O-β-葡萄糖基(1→6)-β-葡萄糖苷(4'-acetyloxy quercetin 3-O-β-glu(1→6)-β-glucoside)		麝香百合 ^[67]
28	槲皮素 4'-O-β-鼠李糖基(1→6)-β-葡萄糖苷(quercetin 4'-O-β-rha(1→6)-β-glucoside)		麝香百合 ^[67]
29	槲皮素3-O-β-葡萄糖基(1→6)-β-葡萄糖苷(quercetin 3-O-β-glu(1→6)-β-glucoside)		麝香百合 ^[67]
30	4,7,2'4'四羟基-6'-乙酰基查尔酮 8-O-β-阿拉伯糖基(1→2)-β-赤式呋喃糖苷(4,7,2'4'tetrahydroxy-6'-acetyloxychalcone 8-O-β-ara(1→2)-β-erythrofuranoside)	碳苷	麝香百合 ^[67]
31	苏式-1-(4'-羟基-2'-甲基苯基)-2-(2'',4''-二羟基苯基)-1,3-丙二醇-4'-O-β-D-葡萄糖苷(threo-1-(4'-hydroxy-2'-methoxyphenyl)-2-(2'',4''-dihydroxyphenyl)-1,3-propanediol-4'-O-β-D-glucoside)	醇苷	细叶百合 ^[46]

100 g DW; 未在卷丹中检出芸香糖苷,在细叶百合、兰州百合中含量分别为 1.09±0.10、0.93±0.02 mg/100 g DW。儿茶素和表儿茶素均在卷丹中含量较高,在兰州百合中含量较低,含量为分别为 0.82~1.06 和 0.82~1.48 mg/100 g DW。未从细叶百合中检出根皮素,在卷丹、兰州百合中含量分别为 1.92±0.19、0.88±0.04 mg/100 g DW。焦灏琳等^[70]发现卷丹中的主要黄酮类组分为表儿茶素和芦丁。Obmann 等^[71]采用 LC-DAD-MSⁿ 技术分离鉴定了细叶百合的水提物中的两种黄酮芦丁苷,分别为烟花苷和水仙苷。研究发现,百合鳞茎表儿茶素具有抗氧化、抗炎和抗菌等生物活性,可以促进前列腺、乳腺癌细胞凋亡,具有剂量相关性,通过抑制 A549 肺癌细胞自噬

产生放疗增敏效果^[72]。芦丁有抗菌、抗炎、抗癌、抗糖尿病效果^[73],神经保护^[74],通过抑制 Tau 蛋白聚集和 Tau 寡聚物诱导的细胞毒性,降低 Aβ 低聚物活性^[75]。部分酚苷、碳苷和醇苷有待进行功效成分的验证。

2.4 生物碱

生物碱是一类含负氧化态氮原子的、存在于生物有机体中的环状化合物。百合中的生物碱类提取物被证实具有缓解关节痛、缓解细胞毒性、抗肿瘤和抗真菌等活性^[10],能够诱导 SGC-7901 胃癌细胞凋亡,抑制其增殖^[78]。目前为止,百合鳞茎中已报道的生物碱有 8 种(表 5),研究较多的是秋水仙碱等组分。Mimaki 等^[79]从野百合鳞茎中分离出 β₁-和 β₂-

表 5 百合鳞茎中的生物碱类组分
Table 5 Alkaloids in lily bulbs

编号	化合物	分类	来源
1	秋水仙碱(colchicine)	异喹啉生物碱	卷丹、兰州百合、龙牙百合 ^[84]
2	小檗碱(berberine)	季铵生物碱	卷丹 ^[9]
3	假白榄胺(jatropham)	吡咯啉生物碱	圣母百合 ^[85]
4	1-(2'-羰基-5'-吡咯烷基)-5-羟基-3-甲基-3-吡咯啉-2-酮(1-(2'-oxo-5'-pyrrolidinyl)-5-hydroxy-3-methyl-3-pyrrolin-2-one)		圣母百合 ^[86]
5	β_1 -澳洲茄边碱(β_1 -solamargine)	哌啶生物碱	野百合 ^[79]
6	澳洲茄碱-3-O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷(β_2 -澳洲茄边碱)(solasodine-3-O- α -L-rha-(1 $\rightarrow$ 2)-O-[β -D-glu-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-glucoside(β_2 -solamargine))		野百合 ^[79]
7	(22R,25R)-螺甾-5-烯-3 β -烷O- α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖苷((22R,25R)-spirosol-5-en-3 β -ylO- α -L-rha-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-glu-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-glucoside)	甾体糖苷生物碱	麝香百合 ^[44]
8	(22R,25R)-螺甾-5-烯-3 β -烷O- α -L-鼠李糖-(1 $\rightarrow$ 2)-[6-O-乙酰- β -D-葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-葡萄糖苷((22R,25R)-spirosol-5-en-3 β -yl O- α -L-rha-(1 $\rightarrow$ 2)-[6-O-acetyl- β -D-glu-(1 $\rightarrow$ 4)]- β -D-glucoside)		麝香百合 ^[44]

澳洲茄边碱 2 种生物碱。Munafo 等^[44]使用 LC-MS/MS 鉴定了麝香百合中的 2 种甾体糖苷类生物碱。研究证实,秋水仙碱有抗炎活性,可以干预心血管疾病,同时不会提升心肌梗死、中风和血管再生的概率^[80]。小檗碱具有抗细菌感染、抗肿瘤等作用,对胃癌、肺癌、肝癌、乳腺癌和卵巢癌有一定的抑制作用^[81]。假白榄胺对肿瘤促进剂 TPA 或 TPA+DMBA 的促癌或致癌作用具有显著的抑制作用,抑制率可达 66%^[82]。澳洲茄边碱表现出抗癌活性,可以诱导非选择性细胞毒性抑制作用,通过下调基质金属蛋白酶 2(MMP-2)和基质金属蛋白酶 9(MMP-9)表达来抑制 HepG2 迁移^[83]。其余已分离鉴定的生物碱活性有待研究。

3 百合在保健食品中应用现状

目前百合的主要产品形式包括鲜百合、百合干、百合粉、百合醋、百合酒、百合饮料和百合麦片

等^[87],其中鲜百合和百合干的产量较高,产品形式较为单一,通常以真空包装鲜百合或烤百合干的形式存在,缺乏精深加工产品^[88],百合原料利用不充分,加工业亟待发展。以主要原料为“百合”,在国家市场监督管理总局特殊食品信息查询平台检索,发现截至目前保健食品有 39 款产品(表 6),其中百合在主要原料首位的保健食品仅有 8 种,占比仅为 20.5%,以传统形态居多,包括胶囊、颗粒、粉、茶等固体形态和粥、饮品等液体形态,主要适宜免疫力低下和睡眠状况不佳者。保健食品中的功效成分是产生保健功能的物质基础^[66],与百合相关的保健品中功效成分主要为皂苷、多糖和黄酮。本研究归纳了从食用(菜用)百合中鉴定出的 52 种甾体皂苷和 31 种黄酮类组分,从总提取物和单体的角度阐述其生物活性,总结了百合多糖的单糖组成、连接方式和活性进展,在开发百合作为原料的保健食品时,应对百合成分进行

表 6 百合为主要原料的保健食品
Table 6 Functional foods mainly composed of lily

编号	保健食品产品名称	功效成分(每100 g含量)	主要原料	适宜人群
1	××牌人参百合知母丸	总皂苷1.0 g	百合、知母、人参粉(经辐照)	免疫力低下者
2	××牌人参百合知母膏	总皂苷1.85 g	百合、人参、知母	
3	××牌百合西洋参甘草片	粗多糖9.5 g、总皂苷3.0 g	百合提取物、西洋参提取物、甘草提取物、罗汉果提取物	
4	××牌人参百合片	总皂苷3.2 g、粗多糖1.0 g	百合提取物、人参提取物、西洋参提取物、三七提取物	
5	××牌核苷酸百合胶囊	核苷酸 20 g	百合、核苷酸、余甘子	
6	××牌百合莲子酸枣仁胶囊	总皂苷348 mg	百合、莲子、银杏叶、龙眼肉等	睡眠状况不佳者
7	××牌百合枣仁胶囊	总黄酮40.6 mg、总皂甙0.58 g	百合提取物、酸枣仁提取物、刺五加提取物、茯苓提取物等	
8	××牌酸枣仁百合五味子胶囊	总皂苷3.40 g、粗多糖5.25 g	百合提取物、酸枣仁提取物、生地黄提取物、五味子提取物	
9	×× [®] 参杞百合胶囊	总皂苷0.8 g、粗多糖4.0 g	枸杞提取物、百合提取物、人参提取物、巴戟天提取物	易疲劳者
10	××牌茯苓百合酸枣仁胶囊	总皂苷0.13 g、粗多糖5.6 g	茯苓提取物、百合提取物、五味子提取物、灵芝提取物等	睡眠状况不佳者
11	××牌灵芝百合五味子片	总皂苷0.1 g、粗多糖5.2 g	五味子提取物、百合提取物、灵芝提取物、酸枣仁提取物等	

续表 6

编号	保健食品产品名称	功效成分(每100 g含量)	主要原料	适宜人群
12	××®酸枣仁百合天麻胶囊	总皂苷1.1 g	酸枣仁、百合、当归、天麻	
13	××酸枣仁百合胶囊	总皂苷700 mg	酸枣仁、百合、当归、人参等	
14	××牌酸枣仁远志百合胶囊	总皂苷0.7 g	酸枣仁、百合、刺五加、麦冬等	
15	××牌酸枣仁百合胶囊	总皂苷0.5 g	酸枣仁、百合、五味子、天麻	
16	××牌百合人参胶囊	总皂苷0.8 g	首乌藤、百合、茯苓、人参(经辐照)	
17	××牌百合丹参酸枣仁颗粒	总皂苷0.45 g	酸枣仁、百合、茯苓、刺五加等	
18	××牌百合灵芝茶	总黄酮167 mg、总皂苷266 mg	麦芽(经辐照)、百合(经辐照)、桑椹(经辐照)、灵芝(经辐照)等	
19	××牌百合酸枣仁蜂蜜	总皂苷25 mg	酸枣仁、百合	
20	××牌酸枣仁百合生地黄胶囊	总皂苷2.90 g	酸枣仁、百合、生地黄、淀粉	
21	××®酸枣仁百合氨基丁酸片	总黄酮50 mg、 γ -氨基丁酸7 g	酸枣仁提取物、百合提取物、茯苓提取物、 γ -氨基丁酸	
22	××牌百合香附酸枣仁颗粒	总皂苷0.6 g、总黄酮0.12 g	酸枣仁、百合、川芎、栀子等	
23	××牌酸枣仁百合茯苓胶囊	总皂苷350 mg	酸枣仁提取物、百合提取物、茯苓提取物	
24	××®茯苓百合酒	总皂苷4.5 mg	茯苓、百合、麦冬、黄芪	易疲劳者
25	××®黄芪百合胶囊	总皂苷0.9 g	黄芪提取物、茯苓提取物、百合提取物、人参提取物	免疫力低下者
26	××牌灵芝百合片	总黄酮178 mg、粗多糖4.0 g	山药、蒲公英、百合、金银花、灵芝	
27	××牌灵芝麦冬百合茶	粗多糖2.6 g	灵芝(经辐照)、麦冬(经辐照)、百合(经辐照)	皮肤干燥者
28	××牌百合酸枣仁片	总皂苷0.25 g、总黄酮0.08 g	酸枣仁、大枣、百合、生地黄等	睡眠状况不佳者
29	××牌酸枣仁莲子百合胶囊	粗多糖1.6 g	酸枣仁、莲子、百合、甘草	
30	××牌蜂王浆冻干粉酸枣仁百合茯苓粉	10-羟基-2-癸烯酸1.5 g、总皂苷0.17 g	蜂王浆冻干粉、酸枣仁提取物、百合提取物、茯苓提取物等	
31	××牌百合知母酸枣仁片	总皂苷0.9 g	知母提取物、酸枣仁提取物、百合提取物	
32	××牌鸡内金百合粥	粗多糖0.41 g、总皂甙1.17 g	鸡内金、茯苓、百合、藕粉等	需改善记忆者
33	××牌杏仁百合蜜炼膏	还原糖 ≥ 60 g、薄荷脑 ≥ 5 mg	蜂蜜、薄荷、百合、蒲公英等	咽喉不适者
34	××牌葛根百合三七胶囊	葛根素1.7 g、总皂苷1 g	葛根提取物、绞股蓝提取物、百合提取物、三七提取物等	有化学性肝损伤危险者
35	××®红景天当归人参果百合胶囊	总皂甙500~1000 mg、总糖1500~2000 mg	红景天、当归、人参果、百合	缺氧环境工作者、高原不适应人群、肿瘤患者、免疫力低下者
36	××牌百合茯苓粥		茯苓、马齿苋、薏苡仁、百合等	免疫力低下者
37	××牌百合灵芝茶	酸枣仁总皂苷40.0 mg、粗多糖5.0 g	酸枣仁、茯苓、五味子、灵芝、百合等	睡眠状况不佳者
38	××牌黄芪淫羊藿百合片	粗多糖0.696 g、淫羊藿苷104 mg	黄芪、淫羊藿、白术、女贞子、大枣、百合等	免疫力低下者
39	××牌黄芪百合饮品	粗多糖5.5 g、总黄酮0.3 g	黄芪、北沙参、鱼腥草、野菊花、女贞子、百合等	

注: 数据来源于国家市场监督管理总局特殊食品信息查询平台。

系统了解,充分发掘上述活性成分的营养功能,优化功效成分的提取方式,使其产品功效更丰富。目前,获批的保健食品剂型多为传统剂型,缺少生活中常见的食品形态,借鉴其它保健食品,发酵技术等有望应用于百合保健食品新剂型的研发。Khan 等^[89]发现百合鳞茎经过发乳酸杆菌 GR-3 发酵后,有助于肺部

感染治疗。目前,以百合为原料的保健食品存在功效、剂型单一的问题,因此加大研发力度,充分利用其中的活性成分,有助于提升百合的产品附加值。

4 结论与展望

综上所述,食用(菜用)百合中含有七大营养素和甾体皂苷、酚酸类、黄酮类及生物碱类等植物化学成

分。百合含水量较高,富含蛋白质和碳水化合物,且脂肪含量低,作为根茎蔬菜食用深受消费者青睐。此外,食用(菜用)百合已报道甾体皂苷组分有 52 种、酚酸类组分 36 种、黄酮类组分 31 种和生物碱类组分 8 种。提取物及其单体均具丰富的健康有益效应,比如抗氧化、抗炎、抗肿瘤、降糖、护心、护肝等。由于百合中的植物化学成分种类丰富、制备繁琐,目前对于提取物的活性研究多于单体化合物,目前已鉴定的很多成分的生物活性有待进一步阐明。百合的主要产品形式包括鲜百合、百合干等,形式单一,百合在主要原料首位的保健食品仅有 8 种,缺乏功能性组分在百合产品开发方面的实际应用,存在功效、剂型单一的问题,从而产品附加值低,制约百合产业发展。本研究以期为食用(菜用)百合的天然产物开发利用、功能食品研发提供参考,促进百合鳞茎中新组分的发现、功能性组分的研究,使其在食疗保健中发挥重要作用。

特色蔬菜作为我国蔬菜供给的重要组成部分,已成为乡村振兴与区域经济发展的重要抓手。我国特色蔬菜产业已呈现出产业规模化、用途多样化、加工多元化等发展特点,增值空间逐步扩大。但也存在生产经营方式落后、加工增值方式匮乏等问题。随着《“健康中国 2030”规划纲要》等支持大健康产业的国家战略规划相继出台和人民生活水平的日益提高,公众、市场对功能性食品的客观需求日益凸显。以特色蔬菜为原料开发功能性食品可为产业提质增效与可持续发展提供新思路和新路径。以百合为例,我国约有 55 种百合资源,超过全球百合资源的 50%,百合鳞茎的植物化学成分多样,已鉴定报道发现的甾体皂苷类、酚酸类、黄酮类和生物碱类等组分多达百余种,针对百合及其植物化学成分功能活性的研究也较多,公众对其功能性的认知较好,具有较大的研究和开发利用潜力;另一方面,我国现行法律法规中尚未明确功能性食品的概念及要求,这对功能性食品的研发、生产销售、市场监管带了一定的政策不确定性。目前欧美、日本等国家已有功能性食品的评价标准和法规依据,现行标准 GB 7718—2011《食品安全国家标准 预包装食品标签通则》也规定可对产品成分功能声称,针对功能性组分的声称符合现有食品监管体系的相关要求。因此进一步挖掘明确百合等特色蔬菜植物化学成分组成、含量与功能,可为后续以此类特色蔬菜为原料开发高值化功能性食品提供技术支撑和理论依据。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

[1] 杜方. 百合属的起源、分类及资源多样性[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(4): 68–79. [DU F. Origin, classification and

germplasm diversity in *Lilium*[J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(4): 68–79.]

[2] ZHOU J, AN R F, HUANG X F. Genus *Lilium*: A review on traditional uses, phytochemistry and pharmacology[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, 270: 113852.

[3] ZHAO X Y, CHEN X L, LI D M, et al. Resources and research situation of the genus *Lilium* in China[C]//Proceedings of the International Symposium on the Genus *Lilium*. Taejeon, South Korea: Acta Horticulturae, 414, 1996: 59–68.

[4] WU L K, WAN L, CUI L M, et al. Analysis of the cross-compatibility of *Lilium brownii* var. *viridulum* and *L. davidii* var. *unicolor*[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 284: 110130.

[5] CHAU C F, WU S H. The development of regulations of Chinese herbal medicines for both medicinal and food uses[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2006, 17(6): 313–323.

[6] SIMOONS F J. Food in China: A cultural and historical inquiry[M]. Florida, Boca Raton: CRC Press, 1990: 162.

[7] CHIANG N, HO C T, MUNAFO J P J R. Identification of key aroma compounds in raw and roasted lily bulbs (Bai He)[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2018, 33(4): 294–302.

[8] KONG Y, WANG H, LANG L X, et al. Metabolome-based discrimination analysis of five *Lilium* bulbs associated with differences in secondary metabolites[J]. *Molecules*, 2021, 26(5): 1340.

[9] 胡文彦, 段金彪, 钱大玮, 等. 卷丹化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2007(16): 1656–1659. [HU W Y, DUAN J A, QIAN D W, et al. Studies on chemical constituents in fresh fleshy scale leaf of *Lilium lancifolium*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2007(16): 1656–1659.]

[10] 何丹, 张海潮, 李世慧, 等. 百合化学成分、药理作用及质量标志物的预测分析[J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(12): 205–212, 303. [HE D, ZHANG H C, LI S H, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of Baihe (*Lilium bulbosum*) and predictive analysis on quality markers[J]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine, 2022, 40(12): 205–212, 303.]

[11] 胡悦, 杜运鹏, 田翠杰, 等. 百合属植物化学成分及其生物活性的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 323–332. [HU Y, DU Y P, TIAN C J, et al. A review of chemical components and their bioactivities from the genus *Lilium*[J]. Food Science, 2018, 39(15): 323–332.]

[12] 孙佳宁, 连希希, 孙伶俐, 等. 百合主要成分及药理作用研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2022, 41(7): 45–50. [SUN J N, LIAN X X, SUN L L, et al. Research progress on main compositions and pharmacological actions of lily[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2022, 41(7): 45–50.]

[13] 王珍华, 莫桐超, 唐道城, 等. 八种百合的主要营养成分比较分析[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2012, 30(1): 11–13, 34. [WANG Z H, MO G C, TANG D C, et al. Comparative study on chemical constituents of eight lily varieties[J]. Journal of Qinghai University (Natural Sciences), 2012, 30(1): 11–13, 34.]

[14] 郎利新, 窦晓莹, 孔滢, 等. 不同(品)种及产地的百合鳞茎营养成分分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 339–350. [LANG L X, DOU X Y, KONG Y, et al. Analysis of nutrient components of lily bulbs from different origins[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(10): 339–350.]

[15] 钟敏. 百合多糖的提纯、结构表征及免疫调节作用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2021. [ZHONG M. Extraction, purification, structure characterization and immunomodulatory activity of polysaccharides from edible lily[D]. Beijing: Beijing Forestry Uni-

- versity, 2021.]
- [16] ZHANG M, QIN H Y, AN R F, et al. Isolation, purification, structural characterization and antitumor activities of a polysaccharide from *Lilium davidii* var. unicolor Cotton[J]. *Journal of Molecular Structure*, 2022, 1261: 132941.
- [17] WANG F X, WANG W, NIU X B, et al. Isolation and structural characterization of a second polysaccharide from bulbs of Lanzhou Lily[J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2018, 186(3): 535–546.
- [18] HUI H P, LI X Z, JIN H, et al. Structural characterization, antioxidant and antibacterial activities of two heteropolysaccharides purified from the bulbs of *Lilium davidii* var. unicolor Cotton[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 133: 306–315.
- [19] 白光剑, 陈少丹, 张普照, 等. 百合多糖的化学结构表征和生物活性研究进展[J]. *中草药*, 2022, 53(20): 6583–6592. [BAI G J, CHEN S D, ZHANG P Z, et al. Research progress on chemical structure characterization and biological activities of *Lilii bulbis* polysaccharides[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2022, 53(20): 6583–6592.]
- [20] 杨惠成, 王海鸣, 林绪, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定保健食品中 14 种功效成分[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(11): 281–289, 20. [YANG H C, WANG H M, LIN X, et al. Simultaneous determination of 14 functional components in health food by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(11): 281–289, 20.]
- [21] 和继泉, 陈玉芹, 知史, 等. 高寒区百合鳞茎营养成分及安全性评价[J]. *热带农业科技*, 2022, 45(2): 41–46. [HE J Q, CHEN Y Q, ZHI S, et al. The evaluation of nutritional components and safety in the lily of alpine area[J]. *Tropical Agricultural Science & Technology*, 2022, 45(2): 41–46.]
- [22] 王馨雨, 王蓉蓉, 王婷, 等. 不同品种百合内外鳞片游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(12): 211–220. [WANG X Y, WANG R R, WANG T, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating the free amino acid composition of inner and outer lily bulb scales from different cultivars[J]. *Food Science*, 2020, 41(12): 211–220.]
- [23] ASAO T, HORIGUCHI M, TERADA C, et al. Purification and characterization of a trypsin inhibitor from lily bulb (*Lilium lancifolium*) [J]. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology-Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 1998, 45(11): 663–670.
- [24] WANG H X, NG T B. Isolation of lilin, a novel arginine- and glutamate-rich protein with potent antifungal and mitogenic activities from lily bulbs[J]. *Life Sciences*, 2002, 70(9): 1075–1084.
- [25] 郭戎, 周永治, 许益民, 等. 百合磷脂组分的研究及品种鉴定的数学判别[J]. *中药材*, 1991(9): 32–35. [GUO R, ZHOU Y Z, XU Y M, et al. Study on phospholipid components of *Lilium* and mathematical discrimination of varieties[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 1991(9): 32–35.]
- [26] ZHOU L, GUAN Y, YAO J, et al. Identification and discrimination of *lilii* bulbis origins based on lipidomics using UHPLC-QE-Orbitrap/MS/MS combined with chemometrics analysis[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2023, 123: 105512.
- [27] 曹蕾, 张艳芝. 兰州百合干中矿物质元素的测定分析[J]. *广东化工*, 2019, 46(22): 120–121. [CAO L, ZHANG Y Z. Determination and analysis of mineral elements in *Lilium davidii* var. *unicolor* cotton in Lanzhou[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2019, 46(22): 120–121.]
- [28] 张晓莉, 王国庆, 王建军, 等. ICP-MS 法测定百合中矿物质元素含量的研究[J]. *农产品加工*, 2021, 19(10): 63–65. [ZHANG X L, WANG G Q, WANG J J, et al. Determination of mineral elements in *Lilium brownii* by ICP-MS[J]. *Farm Products Processing*, 2021, 19(10): 63–65.]
- [29] 李兴桃, 秦朵朵, 崔芳芳, 等. 11 种观赏百合营养和功能品质研究[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(6): 38–45. [LI X T, QIN D D, CUI F F, et al. Study on nutritional and functional quality of 11 ornamental lilies[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2020, 40(6): 38–45.]
- [30] DAVINELLI S, MAES M, CORBI G, et al. Dietary phytochemicals and neuroinflammation: From mechanistic insights to translational challenges[J]. *Immunity & Ageing*, 2016, 13: 16.
- [31] HONG X X, LUO J G, KONG L Y. Two new chlorophenyl glycosides from the bulbs of *Lilium brownii* var. *viridulum* [J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2012, 14(8): 769–775.
- [32] 张永莉, 陈清智, 耿文慧, 等. 百合皂苷类化学成分提取及药理活性研究进展[J]. *亚热带植物科学*, 2022, 51(3): 233–240. [ZHANG Y L, CHEN Q Z, GENG W H, et al. Research advances on extraction and pharmacological effects of lily saponins[J]. *Subtropical Plant Science*, 2022, 51(3): 233–240.]
- [33] WANG T, HUANG H, ZHANG Y, et al. Role of effective composition on antioxidant, anti-inflammatory, sedative-hypnotic capacities of 6 common edible *Lilium* varieties[J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80(4): H857–H868.
- [34] 罗林明, 覃丽, 裴刚, 等. 百合属植物甾体皂苷成分及其药理活性研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2018, 43(7): 1416–1426. [LUO L M, QIN L, PEI G, et al. Advances in studies on steroidal saponins and their pharmacological activities in genus *Lilium* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2018, 43(7): 1416–1426.]
- [35] ARAMA D, BORUAH M, YACHNA K, et al. Diosgenin, a steroidal saponin, and its analogs: effective therapies against different chronic diseases[J]. *Life Sciences*, 2020, 260: 118182.
- [36] BANDOPADHYAY S, ANAND U, GADEKAR V S, et al. Dioscin: A review on pharmacological properties and therapeutic values[J]. *Biofactors*, 2022, 48(1): 22–55.
- [37] 王莹, 唐兴华, 孙立燕, 等. 麦冬皂苷 D 通过抑制 PI3K/Akt 信号通路减轻大气细颗粒物对肺泡上皮细胞的氧化损伤[J]. *中国老年学杂志*, 2019, 39(2): 397–399. [WANG Y, TANG X H, SUN L Y, et al. Ophiopogonin D alleviates the oxidative damage of fine particles on alveolar epithelial cells by inhibiting PI3K/Akt signaling pathway[J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2019, 39(2): 397–399.]
- [38] ORI K, MIMAKI Y, MITO K, et al. Jatropha derivatives and steroidal saponins from the bulbs of *Lilium hansonii* [J]. *Phytochemistry*, 1992, 31(8): 2767–2775.
- [39] MIMAKI Y, SATOU T, KURODA M, et al. Steroidal saponins from the bulbs of *Lilium candidum* [J]. *Phytochemistry*, 1999, 51(4): 567–573.
- [40] MIMAKI Y, SATOU T, KURODA M, et al. New steroidal constituents from the bulbs of *Lilium candidum* [J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 1998, 46(11): 1829–1832.
- [41] HALADOVA M, MUCAJI P, BUDESINSKY M, et al. Sporostanol saponins from the bulbs of *Lilium candidum* [J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2011, 46(6): 1004–1005.
- [42] SHIMOMURA H, SASHIDA Y, MIMAKI Y. Steroidal saponins, pardarinoside-A-G from the bulbs of *Lilium pardarinum*

- [J]. *Phytochemistry*, 1989, 28(11): 3163–3170.
- [43] MIMAKI Y, NAKAMURA O, SASHIDA Y, et al. Steroidal saponins from the bulbs of *Lilium longiflorum* and their antitumor-promoter activity[J]. *Phytochemistry*, 1994, 37(1): 227–232.
- [44] MUNAFO J P JR, GIANFAGNA T J. Quantitative analysis of steroidal glycosides in different organs of Easter Lily (*Lilium longiflorum* Thunb.) by LC-MS/MS[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(3): 995–1004.
- [45] MUNAFO J P JR, RAMANATHAN A, JIMENEZ LS, et al. Isolation and structural determination of steroidal glycosides from the bulbs of Easter Lily (*Lilium longiflorum* Thunb.) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(15): 8806–8813.
- [46] ZHOU Z L, FENG Z C, FU C Y, et al. Steroidal and phenolic glycosides from the Bulbs of *Lilium pumilum* DC and their potential Na^+/K^+ ATPase inhibitory activity[J]. *Molecules*, 2012, 17(9): 10494–10502.
- [47] MATSUO Y, TAKAKU R, MIMAKI Y. Novel steroidal glycosides from the bulbs of *Lilium pumilum* [J]. *Molecules*, 2015, 20(9): 16255–16265.
- [48] HONG X X, LUO J G, GUO C, et al. New steroidal saponins from the bulbs of *Lilium brownii* var. *viridulum* [J]. *Carbohydrate Research*, 2012, 361: 19–26.
- [49] MIMAKI Y, SASHIDA Y. Steroidal saponins from the bulbs of *Lilium brownii* [J]. *Phytochemistry*, 1990, 29(7): 2267–2271.
- [50] ZHU M D, LUO J G, LÜ H W, et al. Determination of anti-hyperglycaemic activity in steroidal glycoside rich fraction of lily bulbs and characterization of the chemical profiles by LC-Q-TOF-MS/MS [J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 6: 585–597.
- [51] 杨秀伟, 吴云山, 崔育新, 等. 卷丹中新甾体皂苷的分离和鉴定[J]. *药学报*, 2002, 49(11): 863–866. [YANG X W, WU Y S, CUI Y X, et al. A new steroidal saponin from the bulbs of *Lilium longiflorum* [J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2002, 49(11): 863–866.]
- [52] 李保利, 申艳红, 杜琳. 卷丹化学成分研究[J]. *中药材*, 2021, 44(11): 2578–2583. [LI B L, SHEN Y H, DU L. Chemical constituents from fleshy scale leaves of *Lilium lancifolium* [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2021, 44(11): 2578–2583.]
- [53] WANG X, WU G Q. A new steroidal glycoside and potential anticancer cytotoxic activity of compounds isolated from the bulbs of *Lilium callosum* [J]. *Journal of Chemical Research*, 2014(10): 577–579.
- [54] MIMAKI Y, SASHIDA Y. Steroidal and phenolic constituents of *Lilium speciosum* [J]. *Phytochemistry*, 1991, 30(3): 937–940.
- [55] 徐倩, 孙泽晨, 龙月, 等. 3 种百合属植物鳞茎甲醇提取物中酚类物质抗氧化活性及黄酮类及相关化合物的组成和代谢分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2022, 31(1): 42–52. [XU Q, SUN Z C, LONG Y, et al. Analyses on antioxidant activity in phenolics and composition and metabolism of flavonoids and related compounds in methanol extracts from bulbs of three *Lilium* species [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2022, 31(1): 42–52.]
- [56] TAI C S, UEMOTO S, SHOYAMA Y, et al. Biologically-active phenolics from *Lilium longiflorum* [J]. *Phytochemistry*, 1981, 20(11): 2565–2568.
- [57] SHOYAMA Y, HATANO K, NISHIOKA I, et al. Phenolic glycosides from *Lilium longiflorum* [J]. *Phytochemistry*, 1987, 26(11): 2965–2968.
- [58] LEONARD W, ZHANG P, YING D, et al. Fermentation transforms the phenolic profiles and bioactivities of plant-based foods [J]. *Biotechnology Advances*, 2021, 49: 107763.
- [59] 李玲, 刘湘丹, 詹济华, 等. 卷丹百合化学成分抗肿瘤活性研究[J]. *湖南中医药大学学报*, 2018, 38(10): 1133–1136. [LI L, LIU X D, ZHAN J H, et al. A study on the antitumor activity of chemical constituents from *Lilium lancifolium* Thunb. [J]. *Journal of Hunan University of Chinese Medicine*, 2018, 38(10): 1133–1136.]
- [60] 张建, 黄一承, 马艳丽, 等. 百合的化学成分及应用研究进展[J]. *农业与技术*, 2022, 42(8): 5–8. [ZHANG J, HUANG Y C, MA Y L, et al. Research progress on chemical constituents and application of lily [J]. *Agriculture and Technology*, 2022, 42(8): 5–8.]
- [61] LUO J G, LI L, KONG L Y. Preparative separation of phenylpropenoid glycerides from the bulbs of *Lilium lancifolium* by high-speed counter-current chromatography and evaluation of their antioxidant activities [J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(3): 1056–1062.
- [62] CHEN G L, CHEN S G, XIE Y Q, et al. Total phenolic, flavonoid and antioxidant activity of 23 edible flowers subjected to *in vitro* digestion [J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 17: 243–259.
- [63] SHIMOMURA H, SASHIDA Y, MIMAKI Y. Phenolic glycerides from *Lilium auratum* [J]. *Phytochemistry*, 1987, 26(3): 844–845.
- [64] 蔡萍, 何丹, 陈林, 等. 高效液相色谱-飞行时间-串联质谱和随机森林算法的蜜炙百合与生百合指纹图谱研究[J]. *分析科学学报*, 2019, 35(4): 474–478. [CAI P, HE D, CHEN L, et al. Fingerprint study of candied *Lilium* and raw *Lilium* based by high performance liquid chromatography-time of flight-tandem mass spectrometry coupling with forest algorithm [J]. *Journal of Analytical Science*, 2019, 35(4): 474–478.]
- [65] SHIMOMURA H, SASHIDA Y, MIMAKI Y. New phenolic glycerol glucosides, regalosite, D, E, and F from the bulbs of *Lilium* species [J]. *The Japanese Journal of Pharmacognosy*, 1989, 43(1): 64–70.
- [66] 陆英, 刘仲华, 肖文军, 等. 百合鳞茎中 Regalosite A、Acetylregalosite C 与 Regalosite B 高速逆流色谱分离及生物活性研究[J]. *分析测试学报*, 2018, 37(9): 1027–1033. [LU Y, LIU Z H, XIAO W J, et al. Separation of regalosite a, acetylregalosite C and regalosite B in bulbs of *Lilium* species by high speed counter-current chromatography and research on their biological activities [J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2018, 37(9): 1027–1033.]
- [67] FRANCIS J A, RUMBEIHA B, NAIR M G. Constituents in Easter lily flowers with medicinal activity [J]. *Life Sciences*, 2004, 76(6): 671–683.
- [68] WANG T Y, LI Q, BI K S. Bioactive flavonoids in medicinal plants: structure, activity and biological fate [J]. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2018, 13(1): 12–23.
- [69] JIN L, ZHANG Y L, YAN L M, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of bulb extracts of six *Lilium* species native to China [J]. *Molecules*, 2012, 17(8): 9361–9378.
- [70] 焦灏琳, 张延龙, 牛立新. 卷丹鳞茎多酚组成及其抗氧化活性研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(7): 150–154. [JIAO H L, ZHANG Y L, NIU L X. Phenolic composition and antioxidant activity of polyphenols from bulbs of *Lilium lancifolium* Thunb [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2015, 43(7): 150–154.]
- [71] OBMANN A, TSENDAYUSH D, THALHAMMER T, et al. Extracts from the Mongolian traditional medicinal plants *Dianthus*

- versicolor FISCH. and *Lilium pumilum* DELILE stimulate bile flow in an isolated perfused rat liver model[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2010, 131(3): 555–561.
- [72] 黄梅芳, 王俊峰, 岳军, 等. (-)-表儿茶素通过调控 A549R 细胞自噬改善放疗敏感性的作用机制[J]. *中华中医药学刊*, 2024, 42(3): 55–59, 259–261. [HUANG M F, WANG J F, YUE J, et al. Mechanism of EC regulation of autophagy in A549R cells to improve radiotherapy sensitivity[J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, 2024, 42(3): 55–59, 259–261.]
- [73] LUTHAR Z, GERM M, LIKAR M, et al. Breeding buckwheat for increased levels of rutin, quercetin and other bioactive compounds with potential antiviral effects[J]. *Plants-Basel*, 2020, 9(12): 1638.
- [74] CORDEIRO L M, SOARES M V, DA SILVA A F, et al. Neuroprotective effects of rutin on ASH neurons in *Caenorhabditis elegans* model of Huntington's disease[J]. *Nutritional Neuroscience*, 2022, 25(11): 2288–2301.
- [75] SUN X Y, LI L J, DONG Q X, et al. Rutin prevents tau pathology and neuroinflammation in a mouse model of Alzheimer's disease[J]. *Journal of Neuroinflammation*, 2021, 18(1): 131.
- [76] 靳磊, 张瑞军, 雅蓉, 等. 岷江百合与兰州百合鳞茎中多酚组分及其生物活性[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(10): 22–27, 34. [JIN L, ZHANG R J, YA R, et al. Polyphenolic compositions and their bioactivity in the bulb of *Lilium regale* and *L. davidii* var. unicolor[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(10): 22–27, 34.]
- [77] LIANG Z X, ZHANG J Z, XIN C, et al. Analysis of edible characteristics, antioxidant capacities, and phenolic pigment monomers in *Lilium* bulbs native to China[J]. *Food Research International*, 2022, 151: 110854.
- [78] 陈雪梅, 黄兰燕, 刘如欲, 等. 百合提取物对胃癌细胞 SGC-7901 增殖和凋亡的影响[J]. *延安大学学报(医学科学版)*, 2018, 16(1): 8–13, 113. [CHEN X M, HUANG L Y, LIU R Y, et al. The effect of extracts from *Lilium brownii* var. *viridulum* on proliferation and apoptosis of gastric carcinoma SGC-7901 cells[J]. *Journal of Yan'an University (Medical Science Edition)*, 2018, 16(1): 8–13, 113.]
- [79] MIMAKI Y, SASHIDA Y. Steroidal saponins and alkaloids from the bulbs of *Lilium brownii* var. *colchesteri*[J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 1990, 38(11): 3055–3059.
- [80] SIDDIQUI M U, JUNARTA J, SATHYANARAYANAN S, et al. Risk of coronary artery disease in patients with gout on treatment with colchicine: A systematic review and meta-analysis[J]. *International Journal of Cardiology Heart & Vasculture*, 2023, 45: 101191.
- [81] SUN Q, TAO Q, MING T Q, et al. Berberine is a suppressor of Hedgehog signaling cascade in colorectal cancer[J]. *Phytomedicine*, 2023, 114: 154792.
- [82] VACHALKOVA A, EISENREICHOVA E, HALADOVA M, et al. Potential carcinogenic and inhibitory activity of compounds isolated from *Lilium candidum* L.[J]. *Neoplasma*, 2000, 47(5): 313–318.
- [83] BURGER T, MOKOKA T, FOUCHE G, et al. Solamargine, a bioactive steroidal alkaloid isolated from *Solanum aculeastrum* induces non-selective cytotoxicity and P-glycoprotein inhibition[J]. *Bmc Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 18: 137.
- [84] 李新社, 王志兴. 溶剂提取和超临界流体萃取百合中的秋水仙碱[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2004(2): 244–248. [LI X S, WANG Z X. Organic solvent extraction and supercritical fluid extraction of colchicine from lily[J]. *Journal of Central South University(Science and Technology)*, 2004(2): 244–248.]
- [85] JOVTCHEV G, GATEVA S, STANKOV A. *Lilium* compounds kaempferol and jatropham can modulate cytotoxic and genotoxic effects of *Radiomimetic zeocin* in plants and human lymphocytes *in vitro*[J]. *Environmental Toxicology*, 2016, 31(6): 751–764.
- [86] EISENREICHOVA E, HALADOVA M, BUCKOVA A, et al. A pyrroline-pyrrolidine alkaloid from *Lilium candidum* bulbs.[J]. *Phytochemistry*, 1992, 31(3): 1084–1085.
- [87] 符琼, 周文化, 李良怡, 等. 百合采后贮藏品质及深加工研究进展[J]. *粮食科技与经济*, 2023, 48(3): 103–107. [FU Q, ZHOU W H, LI L Y, et al. Research progress on post harvest storage quality and deep processing of lily[J]. *Food Science and Technology and Economy*, 2023, 48(3): 103–107.]
- [88] 张成兰. 临洮县食用甜百合种植现状与发展建议[J]. *农业科技与信息*, 2023(5): 176–178, 85. [ZHANG C L. Cultivation status and development suggestions of edible sweet lily in Lintao County[J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2023(5): 176–178, 85.]
- [89] KHAN A, WANG W D, JI J, et al. Fermented lily bulbs by “Jiangshui” probiotics improves lung health in mice[J]. *Food Chemistry*, 2023: 138270.