

综述与其它

花粉的化学成分和药理作用研究进展及
开发应用现状*成春亚¹ 马艳珠¹ 李冉¹ 吴海旭¹ 邵晶^{1,2,3} 崔治家^{1,2,3**}(1. 甘肃中医药大学, 甘肃 兰州 730000; 2. 西北中藏药省部共建协同创新中心,
甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省中医药研究中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要:随着薄层色谱、高效液相色谱及气相色谱-质谱等分析测定技术的广泛应用,花粉中成分分析及其药理作用研究取得了长足发展。研究表明:花粉中黄酮、酚类、多糖等成分是花粉在抗炎、抗病毒、抗肿瘤、抗氧化、保护肝脏及预防心血管疾病等方面发挥药理作用的主要物质基础,此外,花粉中还含有蛋白质、氨基酸、脂质、矿物质、维生素等多种成分,可开发用于食品、保健、医药、化妆品、饲料加工等多领域,开发利用前景广阔。由于其良好的药理作用和保健价值,近年来对花粉的需求日益增加,然而由于缺乏系统的基础研究,很多植物种类的花粉并没有得到有效的利用,成为制约花粉产业发展的关键问题。通过对花粉中化学成分、主要药理作用及安全性评价等方面所取得的成果进行综述,并对花粉的开发利用现状进行评述与展望,从而提出花粉未来研究的两个方向:一是加快明确花粉的应用品种和有效成分;二是加强花粉质量标准的研究,以期对花粉资源的深入研究和开发利用提供理论依据。

关键词:花粉;化学成分;药理作用;开发应用;研究进展

中图分类号:R282.71

文献标识码:A

文章编号:2096-1340(2023)03-0108-11

DOI:10.13424/j.cnki.jsctcm.2023.03.022

Research Progress and Development Status of Chemical
Composition and Pharmacological Effects of PollenCHENG Chunya¹ MA Yanzhu¹ LI Ran¹ WU Haixu¹ SHAO Jing^{1,2,3} CUI Zhijia^{1,2,3}(1. Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China; 2. Northwest China Tibetan Medicine
Provincial Collaborative Innovation Center, Lanzhou 730000, China; 3. Gansu Traditional Chinese
Medicine Research Center, Lanzhou 730000, China)

Abstract: With the widespread application of analytical techniques such as thin layer chromatography, high-performance liquid chromatography, and gas chromatography-mass spectrometry, significant progress has been made in the analysis of pollen components and their pharmacological effects. Research has shown that flavonoids, phenols, polysaccharides, and other components in pollen are the main material basis for pollen's pharmacological effects in anti-inflammatory, antiviral, anti-tumor, antioxidant, liver protection, and cardiovascular disease prevention. In addition, pollen also contains various components such as proteins, amino acids, lipids, minerals, vitamins, and can be developed for use in various fields such as food, health, medicine, cosmetics, and feed processing. The development and utilization prospects are broad. Due to its good pharmacological effects and health value, the demand for pollen has been increasing in recent years. However, due to the

* 基金项目:甘肃省高等学校科研项目青年博士基金项目(2022QB-090);甘肃省高等学校创新基金项目(2021A-083);甘肃省教育厅双一流重大科研项目(GSSYLXM-05)

** 通讯作者:崔治家,教授。E-mail:zhijiacui@126.com

lack of systematic basic research,many plant species of pollen have not been effectively utilized,which has become a key issue restricting the development of the pollen industry. This article reviews the achievements in the chemical composition, main pharmacological effects,and safety evaluation of pollen,and reviews and prospects the current development and utilization of pollen. Two directions for future research on pollen are proposed: firstly, to accelerate the identification of the applied varieties and effective components of pollen;The second is to strengthen the research on pollen quality standards,in order to provide theoretical basis for in-depth research and development and utilization of pollen resources.

Key words: Pollen;Chemical composition;Pharmacological effects;Develop applications;Research progress

花粉(pollen)是裸子植物小孢子叶的小孢子囊或被子植物雄蕊花药产生的颗粒状雄性小配子体。含有丰富的蛋白质、氨基酸、糖类、黄酮、脂质、微量元素、维生素、酶等多种成分,可发挥多方面活性作用^[1]。许多花粉在基于有效性和安全性基础上,在国内外已被广泛开发利用,如松花粉、油菜花粉、荞麦花粉等。植物花粉所含的各种初级和次级代谢产物具有增强机体免疫、抗氧化、抗疲劳、调节内分泌系统及神经系统功能、保护心血管、调节人体胃肠道功能等多种药理活性;其次,花粉在抗炎、抗菌、抗癌、抗诱变、保肝等方面也有显著作用^[2-6]。目前,花粉在功能性食品、饮料、药品、化妆品、绿色饲料等方面的应用也较为广泛。本文对近几年花粉中主要化学成分、药理作用 and 安全性研究及产品开发现状三个方面进行概述,为植物花粉的深入研究开发提供了有价值的参考依据。

1 化学成分

目前,国内外研究者报道的各种花粉成分多达 400 余种,主要有蛋白质、氨基酸、糖类、黄酮类、脂类、维生素、微量元素等。

1.1 蛋白质及氨基酸 花粉是植物体含氮量最高的部位,不同植物的花粉,蛋白质含量各异^[7]。作为蛋白质的基本组成单位,氨基酸是花粉中重要物质之一。花粉中含约 27 种氨基酸,其中常见的有 18 种,蛋白质的含量和氨基酸的组成决定着花粉的品质^[8]。研究发现,不同植物和不同地域来源花粉中蛋白质含量和氨基酸组成有所差异,其中色氨酸、蛋氨酸和半胱氨酸等含硫氨基酸是大多数花粉的限制性氨基酸^[9]。通过对云南省不同地区 5 种粉源植物花粉中蛋白质和氨基酸的含量进行评估,发现五种花粉蛋白质含量差异较大,其中蚕豆花粉蛋白质含量最高(30.16%),鬼针草花粉最低(15.96%);17 种氨基酸总量为 11.04% ~ 23.31%,TEAA/TAA 为 38.34% ~ 41.97%,综合评价,符合 FAO/WHO 提出的理想蛋白模式,营养价值较高^[10]。

1.2 糖类 糖类是花粉中主要活性成分之一,大多数花粉中糖类物质主要以多糖形式存在,从中分离提取到的糖类物质主要有:葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、鼠李糖等,另外,还有少量的葡萄糖醛酸、淀粉、岩藻糖等成分(表 1)。

表 1 常见花粉中糖类化合物

序号	糖类	花粉来源	文献
1	葡萄糖	松花粉、枸杞、百合、荞麦、菊花、玫瑰、山茶、红花、玉米、油菜	[11-20]
2	半乳糖	松花粉、荞麦、菊花、玫瑰、山茶、红花、玉米、油菜、荷花粉、枸杞	[11,14-22]
3	阿拉伯糖	松花粉、枸杞、荞麦、菊花、玫瑰、山茶、红花、玉米、油菜、荷花	[11-12,14-21]
4	鼠李糖	荞麦、菊花、玫瑰、山茶、红花、油菜、荷花	[14-18,20-21]
5	甘露糖	松花粉、荞麦、菊花、玫瑰、山茶、油菜、枸杞	[11,14-17,20,22]
6	木糖	松花粉、荞麦、山茶、红花、油菜、枸杞	[11,14,17-18,20,22]
7	半乳糖醛酸	松花粉、菊花、玫瑰、山茶、荷花、枸杞	[11,15-17,21-22]
8	果糖	松花粉、枸杞、百合、玉米	[11-13,19]
9	蔗糖	枸杞、百合、玉米	[12-13,19]
10	葡萄糖醛酸	松花粉、菊花、枸杞	[11,15,22]
11	核糖	松花	[11]
12	岩藻糖	红花	[18]
13	海藻糖	枸杞	[22]
14	淀粉	玉米	[23]

1.3 黄酮类 迄今从诸多花粉中提取分离出了黄酮、黄酮醇、二氢黄酮(醇)、原花青素、双黄酮等黄酮类化合物,主要以黄酮醇及其苷类化合物为主(图 1 和表 2)。其他还包括黄酮类成分木犀草素(luteolin, 52)^[24-25]、芹菜素-7-*O*- β -D-葡萄糖苷(apigenin-7-*O*- β -D-glucoside, 53)^[26]、芹菜素(apigenin, 54)^[26-27]、5-烯丙氧基-6,7,4'-三甲氧基黄酮(5-allyloxy-6,7,4'-trimethoxyflavanone, 55)^[28]、Diosmetin, 56^[29]、白杨素(chrysin, 57)^[30]等;二氢黄酮类 7-羟基-5,8-二甲氧基-黄烷酮(7-hydroxy-5,8-dimethoxyflavanone, 58)^[26]、乔松素(pinocembrin, 59)^[30]、柚皮素(naringenin, 60)^[28,31-35]等;二氢黄酮醇类二氢槲皮素(dihydroquercetin, 61)^[36]、3,3',5,5',7-五羟基二氢黄酮醇(3,3',5,5',7-penta-

hydroflavanone, 62)^[37]、香橙素(dihydrokaempferol, 63)^[37]等;黄烷类成分表儿茶素(epicatechin, 64)^[25]、D-儿茶素(D-catechin, 65)^[28]、5,7,4'-三羟基黄烷-3-醇(afzelechin, 66)^[28];双黄酮类穗花杉双黄酮(amentoflavone, 67)、金松双黄酮(sciadopitysin, 68)、白果素(bilobetin, 69)^[26]等,结构见图 2。

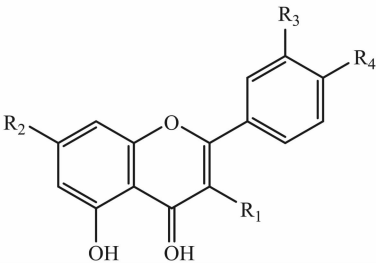


图 1 花粉中常见黄酮醇类成分的基本结构骨架

表 2 花粉中常见黄酮醇类物质

序号	化合物	取代基	花粉来源	文献
1	槲皮素	R ₁ = R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	荞麦、银杏、水烛香蒲、松花粉、茶花、玉米、三角梅、油菜、板栗、牡丹	[24-26, 28, 34-38, 41]
2	山柰酚	R ₁ = R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	银杏、水烛香蒲、荞麦、松花粉、玉米、三角梅、板栗、油菜	[25-26, 29, 31, 35-36, 38-39]
3	异鼠李素	R ₁ = R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	银杏、水烛香蒲、荞麦、玉米、三角梅、油菜、板栗、牡丹	[25-26, 29, 35-38, 41]
4	芦丁	R ₁ = <i>O</i> -rutinose, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	荞麦、水烛香蒲、松花粉、三角梅	[24, 26, 28, 36]
5	槲皮素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -glucoside, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	银杏、水烛香蒲、玉米、板栗	[25-26, 35, 38]
6	槲皮素-3- <i>O</i> - α -L-鼠李糖苷	R ₁ = <i>O</i> - α -L-rhamnoside, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	银杏	[25]
7	槲皮素-3- <i>O</i> -(2 ^G - α -L-鼠李糖基)-芸香糖苷	R ₁ = <i>O</i> -(2 ^G - α -L-rhamnosyl)-rutinose, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	水烛香蒲、蒲黄	[26, 31]
8	槲皮素-3- <i>O</i> -半乳糖苷	R ₁ = <i>O</i> -galactoside, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	荷花、松花粉	[27-28]
9	槲皮素-3- <i>O</i> -杨槐糖苷	R ₁ = <i>O</i> - β -D-glucosyl-(1 \rightarrow 2)- β -D-glucoside, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	水烛香蒲、油菜	[26, 40]
10	Quercetin-3- <i>O</i> -arabinopyranosyl-(1 \rightarrow 2)-galactopyranoside	R ₁ = <i>O</i> -arabinopyranosyl-(1 \rightarrow 2)-galactopyranoside, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	荷花	[27]
11	Quercetin-3- <i>O</i> -rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)-glucopyranoside	R ₁ = <i>O</i> -rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)-glucopyranoside, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	荷花	[27]
12	槲皮素-3- <i>O</i> -新橙皮糖苷	R ₁ = <i>O</i> -neohesperidoside, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	蒲黄	[31]
13	槲皮素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷-3'-葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -glucoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = glucoside	玉米	[35]
14	槲皮素-3,3'- <i>O</i> -二葡萄糖苷	R ₁ = R ₃ = <i>O</i> -glucoside, R ₂ = R ₄ = OH	玉米	[35]
15	槲皮素-3,7- <i>O</i> -二葡萄糖苷	R ₁ = R ₂ = <i>O</i> -glucoside, R ₃ = R ₄ = OH	玉米	[35]
16	槲皮素-3- <i>O</i> -龙胆双糖苷	R ₁ = <i>O</i> -gentiobioside, R ₂ = R ₃ = R ₄ = OH	牡丹	[41]
17	山柰酚-7- <i>O</i> - β -D-吡喃葡萄糖苷	R ₁ = R ₄ = OH, R ₂ = <i>O</i> - β -D-glucopyranoside, R ₃ = H	银杏	[25]
18	山柰酚-3- <i>O</i> - β -D-半乳糖基-4'- <i>O</i> - β -D-葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> - β -D-galactoside, R ₂ = OH, R ₃ = H, R ₄ = <i>O</i> - β -D-glucoside	银杏	[25]
19	山柰酚-4'- <i>O</i> - β -D-吡喃葡萄糖苷	R ₁ = R ₂ = OH, R ₃ = H, R ₄ = <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	银杏	[25]

续表 2 花粉中常见黄酮醇类物质

序号	化合物	取代基	花粉来源	文献
20	山柰酚-3- <i>O</i> -β-D-半乳糖基-4'- <i>O</i> -β-D-葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -β-D-galactoside, R ₂ = OH, R ₃ = H, R ₄ = <i>O</i> -β-D-glucopyranoside	银杏	[25]
21	山柰酚-3- <i>O</i> -[6"- <i>O</i> -对酰基-β-D-葡萄糖基-(1→2)-α- <i>L</i> -鼠李糖苷]	R ₁ = [6"- <i>O</i> - <i>p</i> -coumaroyl-β-D-glucopyranosyl-(1→2)-α- <i>L</i> -rhamnopyranoside], R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	银杏	[25]
22	山柰酚-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -glucoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	水烛香蒲、荷花	[26-27]
23	山柰酚-3- <i>O</i> -半乳糖苷	R ₁ = <i>O</i> -galactoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	水烛香蒲、荷花	[26-27]
24	Kaempferol 3- <i>O</i> -glucuronide	R ₁ = <i>O</i> -glucuronide, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	荷花	[27]
25	山柰酚-3- <i>O</i> -(2 ^G -α- <i>L</i> -鼠李糖基)-芸香糖苷	R ₁ = <i>O</i> -(2 ^G -α- <i>L</i> -rhamnosyl)-rutioside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	蒲黄	[31]
26	山柰酚-3- <i>O</i> -α- <i>L</i> -鼠李糖苷	R ₁ = <i>O</i> -α- <i>L</i> -rhamnopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	银杏	[32]
27	山柰酚-3- <i>O</i> -β-D-葡萄糖基-7- <i>O</i> -α- <i>L</i> -鼠李糖苷	R ₁ = <i>O</i> -β-D-glucopyranoside, R ₂ = <i>O</i> -α- <i>L</i> -rhamnosid, R ₃ = H, R ₄ = OH	银杏	[32]
28	山柰酚-3- <i>O</i> -β-D-葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -β-D-glucopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	松花粉、银杏	[30, 32]
29	山柰酚-3- <i>O</i> -(2", 3", 4"- <i>O</i> -三对羟基桂皮酰基)-β-D-吡喃葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -(2", 3", 4"- <i>O</i> - <i>p</i> -coumaroyl)-β-D-glucopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	茶花	[34]
30	山柰酚-3, 4'-双- <i>O</i> -β-D-葡萄糖苷	R ₁ = R ₄ = <i>O</i> -β-D-glucopyranoside, R ₂ = OH, R ₃ = H	银杏、油菜	[32, 40]
31	山柰酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷	R ₁ = <i>O</i> -rutinose, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	银杏、水烛香蒲、茶花	[25-26, 37]
32	山柰酚-3, 7- <i>O</i> - <i>L</i> -二鼠李糖苷	R ₁ = R ₂ = rhamnosyl, R ₃ = H, R ₄ = OH	板栗	[38]
33	山柰酚-3- <i>O</i> -β-D-葡萄糖基-(1→2)-β-D-葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -β-D-glucosyl-(1→2)-glucopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	油菜	[37, 39-40]
34	山柰酚-3- <i>O</i> -新橙皮糖苷	R ₁ = <i>O</i> -neohespeidoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = H	蒲黄、油菜	[31, 39]
35	山柰酚-7- <i>O</i> -葡萄糖苷	R ₁ = R ₄ = OH, R ₂ = glucopyranoside, R ₃ = H	银杏、牡丹	[32, 41]
36	异鼠李素-3- <i>O</i> -β-D-吡喃葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -β-D-glucopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	银杏	[25]
37	异鼠李素-3- <i>O</i> -β-半乳糖苷	R ₁ = <i>O</i> -β-galactoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	水烛香蒲	[26]
38	Isorhamnetin-3- <i>O</i> -rhamnopyranosyl-(1→6)-glucopyranoside	R ₁ = <i>O</i> -rhamnopyranosyl-(1→6)-glucopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	荷花	[27]
39	Isorhamnetin-3- <i>O</i> -hexose	R ₁ = <i>O</i> -hexose, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	荷花	[27]
40	异鼠李素-3- <i>O</i> -α- <i>L</i> -鼠李糖基-(1→2)-β-D-葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -α- <i>L</i> -rhamnosyl-(1→2)-β-D-glucopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	水烛香蒲	[33]
41	异鼠李素-3- <i>O</i> -(2"-α- <i>L</i> -鼠李糖基)-α- <i>L</i> -鼠李糖基-(1→6)-β-D-葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -(2"-α- <i>L</i> -rhamnosyl)-α- <i>L</i> -rhamnosyl-(1→6)-β-D-glucopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	水烛香蒲	[33]
42	异鼠李素-3- <i>O</i> -新橙皮苷	R ₁ = <i>O</i> -neohespeidoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	水烛香蒲、蒲黄、玉米	[26, 32, 35]
43	异鼠李素-3, 4'- <i>O</i> -二葡萄糖苷	R ₁ = R ₄ = <i>O</i> -glucoside, R ₂ = OH, R ₃ = OCH ₃	玉米	[35]
44	异鼠李素-3- <i>O</i> -β-D-吡喃葡萄糖基-(1→2)-β-D-吡喃葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -β-D-glucopyranosyl-(1→2)-glucopyranoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	油菜	[40]
45	异鼠李素-3- <i>O</i> -芸香糖苷	R ₁ = <i>O</i> -rutinose, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	银杏、水烛香蒲、牡丹	[25-26, 41]
46	异鼠李素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -glucoside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	水烛香蒲、荷花、玉米、牡丹	[26-27, 35, 41]
47	异鼠李素-7- <i>O</i> -龙胆双糖苷	R ₁ = <i>O</i> -gentiobiosid, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	牡丹、油菜	[41]
48	异鼠李素-3- <i>O</i> -槐糖苷-7- <i>O</i> -葡萄糖苷	R ₁ = <i>O</i> -sophoroside, R ₂ = <i>O</i> -glucoside, R ₃ = OCH ₃ , R ₄ = OH	牡丹、油菜	[41]
49	异鼠李素-3, 7- <i>O</i> -二葡萄糖苷	R ₁ = R ₂ = <i>O</i> -glucoside, R ₃ = OCH ₃ , R ₄ = OH	牡丹、油菜	[41]
50	异鼠李素-3- <i>O</i> -槐糖苷	R ₁ = <i>O</i> -sophoroside, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	牡丹	[41]
51	异鼠李素-3- <i>O</i> -鼠李糖苷	R ₁ = <i>O</i> -rhamnose, R ₂ = R ₄ = OH, R ₃ = OCH ₃	油菜	[41]

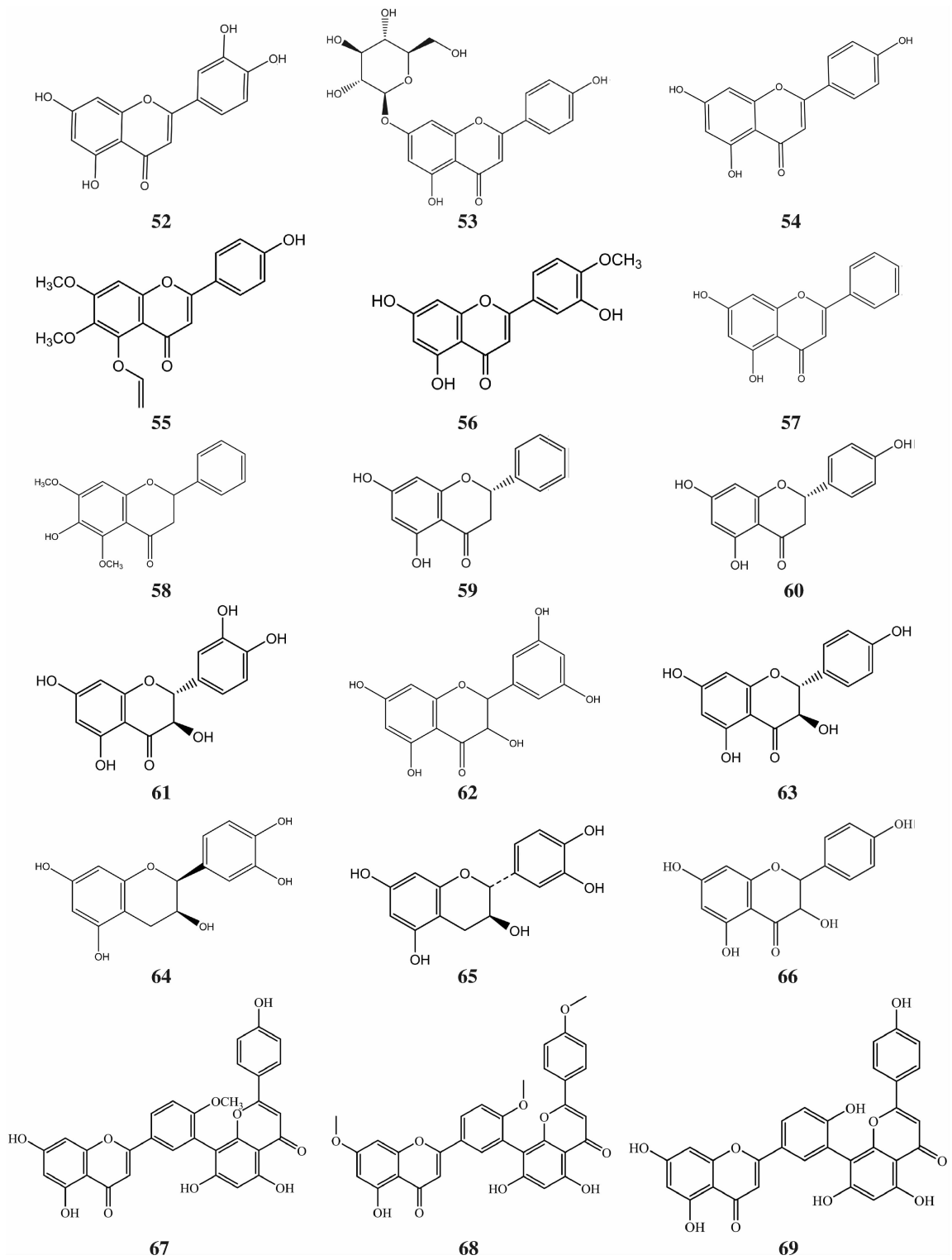


图2 花粉中其他黄酮类成分化学结构

1.4 脂类 花粉中脂类成分包括脂肪酸、酚酸、类固醇、萜类及甾醇等^[42-43]。其中脂肪酸作为其主要成分之一,不仅在蜜蜂的繁殖、发育和生长中起着至关重要的作用,而且花粉中某些脂肪酸,如亚油酸、亚麻酸、肉豆蔻酸和月桂酸等具有杀菌和抗真菌特性;亚油酸还具有降低血脂和胆固醇等

作用,可有效预防心血管疾病的发生^[8]。此外,花粉中还含有较多的植物甾醇及酚类物质,如松花粉^[44]中胆甾醇、豆甾醇及 β -谷甾醇等;酚类物质没食子酸、对羟基苯甲酸、二羟基苯甲酸、p-香豆酸、阿魏酸、丁香酸、阿魏酸、肉桂酸和鞣花酸等^[45]。

1.5 维生素 维生素是维持机体生命活动必需的

一类有机化合物。花粉中富含维生素,具有代表性的维生素有 VB、VE、VA、VC 以及胡萝卜素和类胡萝卜素等,其中 B 族维生素可有效预防青光眼;维生素 A 可以作为一种极好的抗氧化剂用于临床^[46]。研究发现^[47],浙贝母花粉中含有 7 种 E 族维生素成分,其中 D- α -生育酚和 D- β -生育酚含量占总含量的 65% 以上。

1.6 微量元素 花粉中含有大量与生物活性有关的微量元素,如具有抗衰老作用的铁、铜、锌等,防治冠心病的锰、镁、钙、钾、铜、锌、铁等,此外,还有氟、铬、硒、钼、镍、磷、锂、钠、钴、硅、钒、钾、锶、锗等^[48-49]。受现代社会自然环境中空气、水源污染、农药残留等因素影响,花粉中也常常检测到对人体有害的铅、镉、汞等重金属元素,所以在评价花粉产品质量过程中需重点关注。

1.7 其他类 此外,花粉中还存在生物碱、挥发油、皂苷、鞣质、内酯、香豆素等活性物质^[50-53]。

2 药理作用及安全性

花粉具有多种药理作用,其中增强免疫、抗氧化、抗疲劳等属于花粉的传统功效,而现代临床研究也在其丰富的化学成分中发现花粉在抗炎、抗病毒、抗肿瘤、肝脏保护、预防心脑血管疾病及治疗糖尿病等方面效果显著(见表 3),这使得人们对

花粉的药用价值有了更为清晰的认识,也为花粉的临床应用提供了极具价值的参考。

花粉在采集、加工和利用的过程中易受细菌、真菌、虫卵等致病菌的污染,难以保证花粉品质的稳定性及安全性;其次受环境影响,花粉中可能含有一些天然毒素及环境污染所致的重金属等物质,花粉的安全性已成为人们日益关心的问题,随着花粉系列产品广泛进入市场,加强对花粉质量安全监测是十分必要的。Kyoung 等^[54]利用不同强度 γ 射线辐照对油菜花粉进行消毒,并分析其基本成分、微生物种群、还原糖、亨特色度值、TBARS 和挥发性碱性氮(VBN)的变化,发现 5 kGy 的 γ 射线辐照能抑制油菜花粉中真菌毒素的产生,最大限度地减少花粉理化性质的变化。此外,在花粉中还检测到有毒重金属,孙亚真等^[55]采用微波消解-原子吸收光谱法/原子荧光光谱法在 6 中牡丹花粉中均不同程度地检出了铅、镉、总汞、总砷等重金属污染物,此外,有研究^[56]从土耳其不同地区的蜜蜂花粉中检测到铝、锶、钒、锡和镍等由于环境污染而出现的非必需元素,为了控制花粉的安全性,花粉产品必须保持最大残留限量,以控制花粉的安全性。

表 3 花粉主要药理作用及机制

药理作用	模型	活性物质	作用机制	花粉来源	文献
抗炎	LPS 诱导的小鼠单核巨噬细胞(Raw264.7)体外炎症及急性肺损伤小鼠的体内炎症反应	黄酮、酚酸、生物碱	抑制炎症介质生成及关键基因表达;降低 RAW264.7 细胞活力;阻断丝裂原活化蛋白激酶和 NF- κ B 信号通路,调控炎症过程和炎症相关细胞因子表达。	茶花、莲花、油菜	[57]
	异丙肾上腺素对 H9c2 心肌细胞造成的炎症反应	核苷、黄酮	增加 SOD 活力和 GSH 含量,降低 MDA 含量;降低心肌细胞中 IL-6、TNF- α 和 IL-2 的基因表达水平,抑制炎症反应。	油菜	[58]
	葡聚糖硫酸钠盐化学法诱导小鼠溃疡性结肠炎	硫酸酯化多糖	抑制促炎细胞因子升高;促进抗炎细胞因子的分泌。	松花粉	[59]
抗病毒	H9N2 亚型流感病毒	多糖	抑制 H9N2 病毒体外复制;阻断 H9N2 病毒颗粒侵入宿主细胞,发挥抗病毒作用。	松花粉	[60]
	B 亚群禽白血病病毒(ALV-B)	多糖	通过病毒吸附干扰,抑制病毒增殖。	松花粉	[11]
	J 亚群禽白血病病毒(ALV-J)	多糖	通过与 ALV-J 的糖蛋白相互作用阻断病毒对宿主细胞的吸附;显著抑制免疫器官中的病毒脱落和载量,消除由先天性 ALV-J 感染引起的免疫受损。	松花粉	[61]
抗肿瘤	B16 黑色素瘤和 180 肉瘤细胞	多糖	随用药剂量的增加,有效抑制小鼠肿瘤细胞的生长。	油菜	[62]
	荷 S180 肉瘤小鼠模型	多糖	抑制荷瘤小鼠产 TNF- α ,促进肿瘤的坏死,抑制 S180 肉瘤生长。	红花	[63]
	人肝癌 SK-Hep-1 细胞	多糖	抑制癌细胞增殖,诱导癌细胞自噬发挥抗肝癌的作用。	松花粉	[64]
	前列腺癌 PC-3 细胞	多糖	抑制癌细胞增殖;诱导癌细胞凋亡和周期破坏;增加诱导癌细胞的谷胱甘肽消耗。	枸杞	[65]
增强免疫	脾细胞增殖实验	糖类	促进脾细胞增殖,增强免疫调节;显著增加 T 淋巴细胞相关细胞因子产生,促进巨噬细胞相关细胞因子的分泌,提高非特异性免疫。	松花粉	[11]

续表 3 花粉主要药理作用及机制

药理作用	模型	活性物质	作用机制	花粉来源	文献
保护肝脏	B16 黑色素瘤和 180 肉瘤细胞	多糖	提高小鼠免疫器官重量、单核细胞吞噬、淋巴细胞增殖和自然杀伤细胞活性,恢复对 DFNB 和抗体产物的延迟型超敏反应,提高荷瘤小鼠特异性和非特异性免疫功能。	油菜	[62]
	环磷酸胺(Cy)所致的免疫抑制	多糖	拮抗 Cy 抑制小鼠血清溶血素的生成,促进小鼠血清溶血素水平升高;促进小鼠 T 淋巴细胞转化增殖,改善 Cy 的抑制作用,促进非特异免疫、体液免疫与细胞免疫功能。	荞麦、红花	[66]
	环磷酸胺所致免疫抑制	多糖	激活肠道粘膜免疫系统和 PPS 淋巴细胞的免疫应答。	松花粉	[67]
	酒精中毒引起的肝脏脂质过氧化损伤	黄酮	降低小鼠肝组织 MDA 的含量、升高 GSH 的含量,降低小鼠血清中 TG 的含量,对小鼠肝组织 SDH 及糖原的下降明显抑制。	松花粉	[68]
	急性化学性肝损伤	总黄酮	抗氧化作用,减少活性氧及自由基的产生,促使氧化-抗氧化机制恢复平衡,减少炎症因子的释放,减轻炎症反应,从而保护肝脏。	松花粉	[69]
预防心血管疾病	CCl4 诱导的小鼠急性肝损伤	黄酮、多酚	通过自由基清除作用,抑制脂质过氧化,从而提高抗氧化活性,保护 CCl4 诱导的急性肝损伤小鼠。	五味子、油菜	[70-71]
	血管内皮细胞氧化损伤模型	总黄酮	抗氧化作用,有效保护体外血管内皮细胞氧化损伤,起到预防心血管疾病的作用。	油菜	[72]
	高脂血症大鼠模型	不饱和脂肪酸及黄酮类成分	降低高脂血症大鼠血清 TG、TC、LDL-C 水平,升高 HDL-C 水平,改善血脂成分。	油菜	[73]
	H ₂ O ₂ 诱导的 H9c2 心肌细胞凋亡	核苷及奎尼酸含氮衍生物	调节 caspase-3 蛋白酶、细胞色素 C、bcl-2mRNA 蛋白的表达,减少 H ₂ O ₂ 诱导细胞凋亡。	五味子	[4]
糖尿病治疗	高脂饮食诱导的基因敲除小鼠动脉粥样硬化	多酚、黄酮	抑制动脉粥样硬化斑块生长;降低总胆固醇;有效降低氧化应激,从而降低密度脂蛋白分子水平;降低 ADMA 和 ANG II 水平,保护冠状动脉。	油菜、荞麦、桑花	[74]
	四氧嘧啶(ALX)性糖尿病	多糖	降低糖尿病大鼠血清 TG、TC、LDL-C 水平,使糖尿病大鼠血清 HDL-C 水平显著回升,从而降低糖尿病大鼠高血糖症状。	荞麦	[75]
	STZ 糖尿病小鼠模型	多糖	抗氧化作用,提高还原型谷胱甘肽及超氧化物歧化酶的活性,修复受损伤的胰岛细胞或者促使胰岛细胞再生。	荞麦	[76]
	高糖和高脂脂肪酸处理的 HepG2 细胞	多糖	增强 HepG2 细胞胰岛素敏感性;改善 2 型糖尿病小鼠的胰岛素抵抗和葡萄糖耐受;降低血清甘油酸酯、低密度脂蛋白胆固醇和胰岛素水平。	玫瑰	[77]

3 开发应用

目前,花粉多应用于食品、保健、医药以及日化、饲料等方面的研究,见表 4。花粉作为药食同源资源,食用、药用历史悠久,且安全性高,可用于食品、保健品及药品开发,如开发为花粉饮料、饼干及花粉酒等休闲产品和其他功能食品等;药效研究表明花粉在预防和治疗高血脂方面具有很好利用价值,后期可根据其药效活性开发相应产品。

花粉中含黄酮、酚类等物质,体外抗氧化活性较强,可作为化妆品原料,制作洁面乳、霜等日化产品;花粉中营养成分蛋白质、氨基酸、脂肪酸等含量丰富,营养价值高,可用作人类营养添加剂及动物绿色饲料添加等。围绕食品、保健、医药以及日化、饲料等进行花粉产品开发,将对于花粉资源化利用和产业化开发具有重要意义。

表 4 花粉资源的开发应用

编号	应用	原料	名称	文献
1	食品	松花粉	松花粉饮料	[78]
2	食品	茶花粉	运动饮料、饼干	[79-80]
3	保健品	茶花粉	一种超微茶花粉的保健品	[81]
4	保健品	野菊花粉、桔橘花粉、草木樨花粉、野刺玫瑰花粉、油菜花粉、大豆花粉、女贞子花粉	一种花粉保健品	[82]
5	药用	油菜花粉	普乐安片	国家药品监督管理局网站
6	药用	荞麦花粉、油菜花粉	云南花粉片	
7	药用	党参、黄芪、蒲黄、玉米花粉、向日葵花粉、油菜花粉	参芪花粉片	
8	化妆品	杜仲花粉发酵液	一种杜仲花粉发酵液的制备方法及其化妆品中的应用	[83]
9	化妆品	花粉黄酮	洗发水、护发素	[84]
10	饲料	油菜花粉、莲花粉、荞麦花粉、玫瑰花粉	绿色饲料添加剂	[85]
11	饲料	花粉原料	蜜蜂营养补充剂	[86]

4 展望

我国花粉资源种类繁多,应用历史悠久。随着花粉相关化学成分和药理作用研究不断深入,其药食两用价值渐被挖掘,但由于大部分花粉还未被相关食品和药品标准收载,导致其相关产品开发受限。花粉除含有黄酮、多糖及酚类等药理活性成分之外,还包含具有药效活性的植物甾醇、挥发油、皂苷、鞣质、有机酸、内酯、香豆素等物质,然而关于这些成分的药效活性却鲜有报道;近年来花粉中化学成分含量测定及提取工艺研究较多,而对化学成分的分离研究较少,因此花粉的指标性成分尚无明确规定,需要进一步的研究。花粉药理作用研究多集中于提取物的药效考察,对特异性单体药理作用研究甚少。综上,花粉未来研究方向可以从两方面发展:一是加快明确花粉的应用品种和有效成分;二是加强花粉质量标准的研究。同时,建议国家或地方主管部门可以在开展化学成分、毒理药理学研究、药理作用机制、构效关系、安全性评价、质量标准建立等方面系统研究的基础上,拟订花粉安全标准,以使其列入食品安全标准或国家新食品原料目录,为花粉相关产品开发奠定基础 and 提供保障。

目前花粉开发利用已取得一定成果,市场开发前景广阔,其良好的治疗、保健和实用功能,日益引起人们的重视。但依然存在开发深度、广度不足等问题,具体表现在:①目前很多植物种类的花粉还没有系统的研究,以蜂花粉为主,风媒传粉类花粉研究较少,此外大部分花粉主产区仅作为产地粗加工提供原材料,缺乏深度开发,产品技术水平落后,没有形成完整产业链。②产品开发类型单一且匮乏,主要为以花粉为原料研发生产的复合饮料、食品、化妆品等;药品剂型单一,以片剂为主,生物利用度低,不能充分发挥药效;针对其特有成分及作用机制的药品开发少之又少,后期需加强针对花粉特有成分的开发,如建立花粉的化学成分特征指纹图谱等方法。此外,可增加中草药成分,与花粉复合配方,并利用新技术提取有效成分,增加提取率;利用脂质体及微囊技术,控制活性成分释放,延长有效期,提高产品质量,发

展集疗效、营养、美容于一身的多功能花粉产品,对于提高花粉开发利用效率和延伸花粉产业链具有重要意义。③当前,花粉致敏机制尚不明确,严重制约了其质量安全与深加工利用,在之后的研究中,可尝试探究花粉过敏及降敏机制,探索降低或消除花粉过敏反应的方法,从而对花粉进行更安全高效的开发利用。

参考文献

- [1] Kendel A, Zimmermann B. Chemical analysis of pollen by FT-Raman and FTIR spectroscopies[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 352.
- [2] Denisow B, Denisow-Pietrzyk M. Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(13): 4303-4309.
- [3] 张朵, 闫荣玲, 罗志威, 等. 山茶花花粉中稀土与重金属元素含量及花粉多糖的提取与生物活性研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2019, 31(8): 1418-1424.
- [4] Shi PY, Geng QQ, Chen LF, et al. Schisandra chinensis bee pollen & apos; s chemical profiles and protective effect against H₂O₂-induced apoptosis in H9c2 cardiomyocytes[J]. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 2020, 20(1): 274.
- [5] 李淑英, 高洁, 侯丽真, 等. 破壁对西藏高原油菜蜂花粉胃肠道消化吸收特性的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(10): 76-81.
- [6] Pascoal A, Rodrigues S, Teixeira A, et al. Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2014, 63: 233-239.
- [7] 戴承恩, 何小平, 郑芬芬, 等. 松花粉主要活性成分及保健作用的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(8): 212-219.
- [8] Yang K, Wu D, Ye XQ, et al. Characterization of chemical composition of bee pollen in China[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(3): 708-718.
- [9] 张金振, 吴黎明, 赵静, 等. 13种植物源蜂花粉蛋白质的营养学评价[J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 254-257.
- [10] 黄新球, 杨有仙, 卢煥仙, 等. 5种云南产蜂花粉矿物质元素分析及蛋白质营养评价[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(5): 980-986.
- [11] Yang SF, Wei K, Jia FJ, et al. Characterization and biological activity of Taishan Pinus massoniana pollen poly-

- saccharide in vitro [J]. PLoS One, 2015, 10 (3): e0115638.
- [12] 周望庭, 米佳, 禄璐, 等. 枸杞蜂花粉主要化学成分与抗氧化作用[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 219-224.
- [13] 耿兴敏, 裘建宇, 王良桂. 球根花卉花粉萌发过程中糖类物质及相关酶活性的变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37(4): 34-38.
- [14] 李娟, 钟平娟, 万仁口, 等. 荞麦蜂花粉多糖的分离纯化及结构鉴定[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 35-40.
- [15] 王博, 张梦珊, 张中玉, 等. 菊花蜂花粉多糖的分离纯化及抗肿瘤活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 358-360, 364.
- [16] 佟进. 玫瑰蜂花粉多糖的分离纯化及理化性质分析[D]. 长春: 东北师范大学, 2011: 11-15.
- [17] 刘恩绪. 山茶蜂花粉多糖的分离纯化和免疫活性研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2011: 24-26.
- [18] 王昀, 李月, 唐春兰, 等. 红花蜂花粉多糖 PBPC-II 结构分析及抗氧化活性[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 325-330.
- [19] 赵昌辉, 李泳财, 何东, 等. 玉米花粉成分、功能及其应用的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(9): 414-416, 421.
- [20] 李敏. 油菜花粉多糖的分离、纯化、结构鉴定及抗氧化活性的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 58-59.
- [21] Li SS, Yang G, Yan JM, et al. Polysaccharide structure and immunological relationships of RG-I pectin from the bee pollen of *Nelumbo nucifera* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 111: 660-666.
- [22] Chen F, Ran LW, Mi J, et al. Isolation, characterization and antitumor effect on DU145 cells of a main polysaccharide in pollen of Chinese wolfberry [J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2018, 23(10): 2430.
- [23] 牛靓洁. 玉米种子、花粉和叶片中淀粉粒的分离纯化及其特征比较研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2020: 23.
- [24] 李奉. 荞麦蜂花粉中化学成分研究[D]. 西安: 西北大学, 2018: 30-54.
- [25] 李敏. 银杏花的化学成分及生物活性研究[D]. 北京: 军事科学院, 2019: 12-15.
- [26] 巢蕾, 高明亮, 曹雨诞, 等. 水烛香蒲不同部位黄酮类化合物的动态分析[J]. 广西植物, 2021, 41(5): 831-842.
- [27] 吴倩, 邵帅, 李珊珊, 等. 荷花花粉的类黄酮组成[J]. 植物学报, 2015, 50(6): 721-732.
- [28] 王晖, 耿越, 徐宏楠, 等. 松花粉中非营养生物活性物质研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(21): 208-211.
- [29] 李娟. 荞麦蜂花粉多糖对肠道菌群的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2020: 12-15.
- [30] 唐雨, 张瑜, 袁久志, 等. 松花粉化学成分的分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报, 2011, 28(6): 429-432.
- [31] 朱高峰, 陈瑞, 张倚鸣, 等. UPLC-Q-TOF-MSE 技术结合 UNIFI 数据库快速定性分析蒲黄化学成分[J]. 广州化工, 2021, 49(11): 79-84.
- [32] 裘纪莹, 陈相艳, 闫慧娇, 等. 银杏花粉黄酮组分分离纯化及其清除 DPPH 自由基能力[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 289-295.
- [33] 冯绪强, 曾光尧, 谭健兵, 等. 水烛香蒲花粉镇痛活性部位化学成分研究[J]. 中南药学, 2012, 10(3): 201-204.
- [34] 邵丽丽, 徐德平. 茶蜂花粉抗氧化活性与成分[J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(12): 1919-1923, 1988.
- [35] 任顺成, 查磊. 玉米花粉黄酮类的精制及其质谱分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2010, 31(4): 1-4, 28.
- [36] 徐凤侠, 黄青云, 林春松, 等. 不同育性三角梅品种之间的形态、花粉活力、造访昆虫及黄酮醇含量的比较研究[J]. 植物研究, 2018, 38(6): 860-868.
- [37] Zhang H, Liu R, Lu Q. Separation and characterization of phenolamines and flavonoids from rape bee pollen, and comparison of their antioxidant activities and protective effects against oxidative stress [J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2020, 25(6): E1264.
- [38] 郭丽梅, 王盼盼. 板栗花粉黄酮的精制及其质谱分析[J]. 天津科技大学学报, 2013, 28(2): 15-18.
- [39] 彭定利. 油菜蜂花粉保肝活性成分的分离及其保肝机制初探[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [40] 孙岩, 郭庆兴, 童群义. 超声-微波协同萃取法提取油菜蜂花粉中黄酮类物质[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(10): 238-244.
- [41] 邵帅. 油菜及牡丹花粉抗良性前列腺增生活性成分分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [42] 马鹏媛, 代思月, 张稳刚, 等. 伊犁地区蜂花粉中脂肪酸成分分析[J]. 伊犁师范学院学报(自然科学版),

- 2016,10(3):57-61.
- [43] Villette C, Berna A, Compagnon V, et al. Plant sterol diversity in pollen from angiosperms [J]. *Lipids*, 2015, 50(8):749-760.
- [44] 秦玉琴, 李羽晗, 张旭, 等. 马尾松花粉的化学成分研究[J]. *华西药科学杂志*, 2018, 33(1):13-16.
- [45] 徐元元, 王悦, 杨二林, 等. 3种蜂花粉酚类化合物组成及抗氧化活性研究[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2021, 51(2):303-313.
- [46] Li QQ, Wang K, Marcucci MC, et al. Nutrient-rich bee pollen: a treasure trove of active natural metabolites [J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 49:472-484.
- [47] 蒋欣杭, 梁君玲, 李建伟, 等. 浙贝母花及花粉中8种E族维生素的高效液相色谱—荧光分析[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(14):8319-8321.
- [48] 温力力, 任露陆, 郭新东, 等. ICP-MS法测定蜂花粉中的微量元素含量[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(8):1076-1079.
- [49] 杨开, 何晋浙, 胡君荣, 等. 12种花粉中20种常量和微量元素的ICP-AES法测定[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(3):227-232.
- [50] Heiling JM, Cook D, Lee ST, et al. Pollen and vegetative secondary chemistry of three pollen-rewarding lupines [J]. *American Journal of Botany*, 2019, 106(5):643-655.
- [51] Mohamadi M, Shamspur T, Mostafavi A. Comparison of the essential oil content and composition of the spathe, buds and pollen of *Phoenix dactylifera* [J]. *Natural Product Research*, 2014, 28(3):205-207.
- [52] 戴志乔, 徐德平. 油菜蜂花粉中皂苷化学成分的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2013, 25(3):352-354.
- [53] 王丹. 核桃花粉化学和营养成分提取及抗氧化活性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014:14.
- [54] Kim KH, Kim KH, Jeong SJ, et al. Effects of gamma irradiation on quality characteristic and microbiological safety of rape (*Brassica napus*) pollen [J]. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 2013, 42(11):1843-1847.
- [55] 孙亚真, 张孟琴, 尤芳芳, 等. 牡丹花粉中4种重金属含量的测定与分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(10):4174-4178.
- [56] Kalaycıoğlu Z, Kaygusuz H, Döker S, et al. Characterization of Turkish honeybee pollens by principal component analysis based on their individual organic acids, sugars, minerals, and antioxidant activities [J]. *LWT*, 2017, 84:402-408.
- [57] Li Q, Sun M, Wan Z, et al. Bee pollen extracts modulate serum metabolism in lipopolysaccharide-induced acute lung injury mice with anti-inflammatory effects [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(28):7855-7868.
- [58] 陈立府, 孟菲, 李志良, 等. 油菜蜂花粉乙醇提取物对异丙肾上腺素致心肌细胞肥大的保护作用及机制研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2021, 33(10):1741-1750.
- [59] 王亚莉. 松花粉多糖酯化前后对小鼠结肠炎的作用及肠道菌群的研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2020.
- [60] Shang HQ, Sha Z, Wang H, et al. Taishan *Pinus massoniana* pollen polysaccharide inhibits H9N2 subtype influenza virus infection both in vitro and in vivo [J]. *Veterinary Microbiology*, 2020, 248:108803.
- [61] Yu CL, Wei K, Liu LP, et al. Taishan *Pinus massoniana* pollen polysaccharide inhibits subgroup J avian leucosis virus infection by directly blocking virus infection and improving immunity [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7:44353.
- [62] Yang XP, Guo DY, Zhang JM, et al. Characterization and anti-tumor activity of pollen polysaccharide [J]. *International Immunopharmacology*, 2007, 7(3):401-408.
- [63] 左绍远, 钱金枬, 方淑环, 等. 红花蜂花粉多糖抗肿瘤活性研究[J]. *医药前沿*, 2014(1):42-43.
- [64] 李北林. 松花粉诱导人肝癌细胞株 SK-Hep-1 细胞增殖、凋亡和自噬及其机制研究[D]. 百色: 右江民族医学院, 2020.
- [65] Tuoheti T, Rasheed HA, Meng L, et al. High hydrostatic pressure enhances the anti-proliferative properties of *Lotus bee pollen* on the human prostate cancer PC-3? cells via increased metabolites [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2020, 261:113057.
- [66] 左绍远, 林春榕, 万顺康, 等. 云南产两种蜂花粉多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. *时珍国医国药*, 2017, 28(1):7-9.
- [67] Niu XY, Shang HQ, Chen SY, et al. Effects of *Pinus massoniana* pollen polysaccharides on intestinal microenvironment and colitis in mice [J]. *Food & Function*, 2021, 12(1):252-266.
- [68] 田应娟, 朱良, 尹业充. 马尾松花粉总黄酮对小鼠急性酒精性肝损伤的保护作用[J]. *食品科技*, 2010, 35

- (8):255-258.
- [69] 黄爱招,李亦聪,梁超峰,等. 松花粉总黄酮对小鼠化学性肝损伤保护效应探析[J]. 世界中医药,2020,15(16):2373-2376.
- [70] Cheng N, Ren NY, Gao H, et al. Antioxidant and hepatoprotective effects of Schisandra chinensis pollen extract on CCl₄-induced acute liver damage in mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 55:234-240.
- [71] 张会芳,杨亚琛,张久亮,等. 油菜蜂花粉加工副产物多酚对小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 食品安全质量检测学报,2018,9(9):2033-2040.
- [72] 杨悦,刘鸣畅,王凯,等. 油菜蜂花粉总黄酮对体外TBHP诱导细胞氧化损伤的保护作用[J]. 沈阳农业大学学报,2018,49(1):108-113.
- [73] 章定生,马丽萍,章琦,等. 油菜花粉内酯对高脂血症大鼠降脂作用的研究[J]. 蜜蜂杂志,2014,34(7):1-3.
- [74] Rzepecka-Stojko A, Stojko J, Jasik K, et al. Anti-atherogenic activity of polyphenol-rich extract from bee pollen[J]. Nutrients, 2017, 9(12):1369.
- [75] 林春榕,张翠香,左绍远. 荞麦蜂花粉多糖对糖尿病大鼠血糖、血脂的影响[J]. 亚太传统医药,2013,9(3):7-9.
- [76] 钱明辉,达热卓玛,徐德平. 荞麦蜂花粉多糖A的分离及其降血糖活性[J]. 食品与生物技术学报,2019,38(6):80-85.
- [77] Li XZ, Gong HQ, Yang SW, et al. Pectic bee pollen polysaccharide from Rosa rugosa alleviates diet-induced hepatic steatosis and insulin resistance via induction of AMPK/mTOR-mediated autophagy[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2017, 22(5):699.
- [78] 梁瑞锋,李丽红,李倩,等. 松花粉饮料的加工工艺研究[J]. 饮料工业,2014,17(5):11-18.
- [79] 阎怀忠. 花粉运动饮料配方研究[J]. 现代农业科技, 2012(17):279-280.
- [80] 苏博,陈凤瑞,姚沛琳,等. 茶花粉韧性饼干加工工艺研究[J]. 农产品加工,2020(15):18-22.
- [81] 不公告发明人. 一种含有超微茶花粉的保健品:CN103181510B[P]. 2015-11-25.
- [82] 何德枫. 一种花粉保健品及其制备方法:CN102871015B[P]. 2014-05-07.
- [83] 吴丽芳,贾会领,陈雪,等. 一种杜仲花粉发酵液的制备方法及其化妆品中的应用:CN112870130A[P]. 2021-06-01.
- [84] Kurek-Górecka A, Górecki M, Rzepecka-Stojko A, et al. Bee products in dermatology and skin care[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2020, 25(3):556.
- [85] Oliveira MCD, Silva DMD, Loch FC, et al. Effect of Bee Pollen on The Immunity and Tibia Characteristics in Broilers Author(s) Loch FC I Martins PC[J]. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 2013, 15(4):323-328.
- [86] Fleming JC, Schmehl DR, Ellis JD. Characterizing the impact of commercial pollen substitute diets on the level of Nosema spp. in honey bees (Apis mellifera L.)[J]. PLoS One, 2015, 10(7):e0132014.

(修回日期:2023-03-16 编辑:崔春利)