

白及属植物化学成分与药理作用研究进展

汤逸飞, 阮川芬, 应 晨, 章华伟*

浙江工业大学药学院, 浙江 杭州 310014

摘 要: 白及属植物化学成分具有多种类型, 包括联苕类、二氢菲类、菲类、联菲类、醌类衍生物等, 具有止血、抗肿瘤、抗菌、抗炎、促进创伤愈合、促进细胞生长等药理作用。综述了国内外关于白及属药用植物的研究报道, 分析了白及属植物化学成分的结构特点和药理作用, 为该属植物的开发利用提供参考。

关键词: 白及属; 联苕类; 二氢菲类; 抗肿瘤; 止血

中图分类号: R932 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2014)19-2864-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2014.19.025

Research progress on chemical constituents and medical functions in plants of *Bletilla* Rchb. f.

TANG Yi-fei, RUAN Chuan-fen, YING Chen, ZHANG Hua-wei

School of Pharmaceutical Sciences, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China

Abstract: Phytochemical investigation indicates that plants of *Bletilla* Rchb. f. have many components with different chemical structures, including bibenzyl, dihydrophenanthrene, stilbene, biphenanthrene, and quinone. These compounds were found to have potent bioactivities, such as hemostasis, antitumor, sterilization and anti-inflammation, healing, and growth promotion of cells. This review focuses on the chemical structures of constituents and medical functions of genus, *Bletilla* Rchb. f. It would provide a good reference to further utilize this medicinal plant.

Key words: *Bletilla* Rchb. f.; bibenzyls; dihydrophenanthrenes; antitumor; hemostasis

白及属 *Bletilla* Rchb. f. 植物系兰科 (Orchidaceae) 多年生宿根草本植物^[1], 分布在中国、朝鲜半岛、日本等东亚国家。我国该属植物广布于长江流域各省, 资源丰富^[2]。白及是我国传统常用中药, 药用历史悠久, 最早收载于《神农本草经》。《中国药典》2010 年版收载的正品白及为兰科植物白及 *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f. 的干燥块茎。河南、西藏、云南等地所产同属多种植物也作为白及的习用药材。为了合理开发和利用白及属药用植物, 本文综合国内外相关文献, 对白及属植物化学成分和药理作用等方面进行了系统性综述。

1 化学成分

关于白及化学成分的研究可以追溯到 19 世纪末, 长期以来人们主要集中于正品白及的研究, 对同属其他药用植物如台湾白及 *B. formosana* (Hayata) Schltr.、黄花白及 *B. ochracea* Schltr. 等的研究近年来才有报道。化学成分是药材发挥活性的物质基础, 大量研究表明, 白及属植物化学成分具

有多种类型, 包括联苕类、二氢菲类、菲类、联菲类、醌类衍生物等, 共有 80 余种。

1.1 联苕类

联苕化合物由于苯环间连接方式 (C-C 或 C-O) 和连接位置的不同, 结构类型多样。联苕化合物具有多种生物活性, 如植物生长调节活性、抗菌活性、抗病毒活性、抗氧化活性及细胞毒活性等^[3]。白及属植物含有丰富的联苕化合物, 目前已从该属植物中发现了 20 种联苕类化合物 (图 1 和表 1)。

1.2 二氢菲类

从生源途径上看, 二氢菲应该是菲类物质的还原产物, 但菲类物质降解途径多样, 所以二氢菲具有多种化学结构类型。目前, 已从白及属药用植物中分离到 17 种二氢菲类化合物 (图 2 和表 2)。

1.3 菲类

同二氢菲类化合物结构相似, 白及属药用植物中也具有多种菲类化合物, 共有 18 种 (图 3 和表 3)。

收稿日期: 2014-05-15

基金项目: 浙江省科技计划项目 (2012C32010)

作者简介: 汤逸飞 (1989—), 硕士在读, 研究方向为天然药物化学。E-mail: yifeizjx@qq.com

*通信作者 章华伟, 浙江工业大学副教授, 硕士生导师。Tel: (0571)88320903 E-mail: hwzhang@zjut.edu.cn

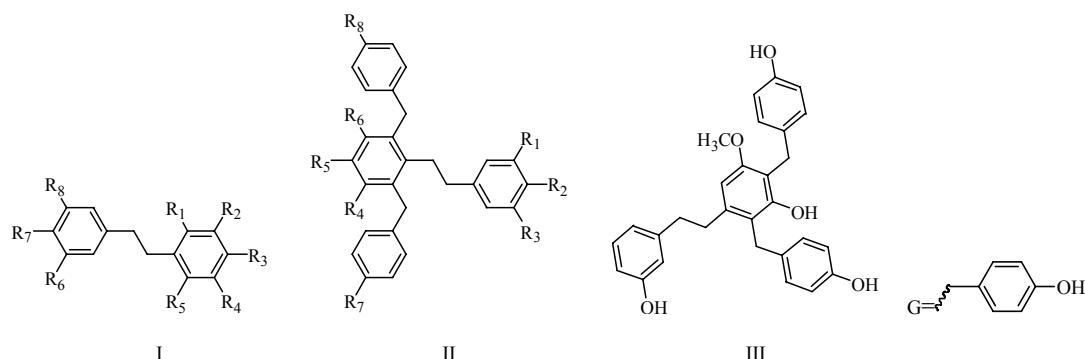


图1 白及属植物中的联苕类化合物母核

Fig. 1 Skeletons of bibenzyl compounds in plants from *Bletilla* Rchb. f.

表1 白及属植物中的联苕类化合物

Table 1 Bibenzyl compounds in plants from *Bletilla* Rchb. f.

编号	化合物	类型	取代基								植物来源	文献
			R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈		
1	3, 5-dimethoxy bibenzyl	I	H	H	H	H	H	OCH ₃	H	OCH ₃	a	4
2	3, 3'-dihydroxy-4-(<i>p</i> -hydroxybenzyl)-5-methoxybibenzyl	I	H	OH	G	OCH ₃	H	H	H	OH	c	5-6
3	batatasin III	I	H	OH	H	H	H	OCH ₃	H	OH	a	7-8
4	5, 4'-dimethoxybibenzyl-3, 3'-diol	I	H	OH	H	OCH ₃	H	OH	OCH ₃	H	a	8
5	bulbocol	I	H	OH	H	OCH ₃	G	OCH ₃	H	H	a	8
6	3, 3', 5-trimethoxy bibenzyl	I	H	OCH ₃	H	H	H	OCH ₃	H	OCH ₃	a	4
7	3'- <i>O</i> -methylbatatasin III	I	H	OCH ₃	H	H	H	OCH ₃	H	OH	a	7-8
8	gymconopin D	I	H	OCH ₃	H	OH	G	OCH ₃	H	H	a	8
9	3, 3'-dihydroxy-2-(<i>p</i> -hydroxybenzyl)-5-ethoxybibenzyl	I	G	OH	H	OCH ₃	H	OH	H	H	c	5-6
10	3', 5-dihydroxy-2-(<i>p</i> -hydroxybenzyl)-3-methoxybibenzyl	I	G	OCH ₃	H	OH	H	OH	H	H	c	5-6
11	bletillin B	II	H	H	H	OCH ₃	H	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	c	6
12	2', 6'-bis(4-hydroxybenzyl)-5-methoxybibenzyl-3, 3'-diol	II	OH	H	OCH ₃	OH	H	H	OH	OH	a	8
13	3, 3'-dihydroxy-2', 6'-bis (hydroxybenzyl)-5-methoxy bibenzyl	II	OH	H	OCH ₃	OH	H	H	OH	OH	a、b、c	4,6,9-12
14	3, 3'-dihydroxy-5-methoxy-2, 5', 6-tris (hydroxybenzyl) bibenzyl	II	OH	H	G	OH	H	OCH ₃	OH	OH	a	9-11
15	blestritin C	II	OH	G	H	OH	H	OCH ₃	OH	OH	a	13
16	2, 6-bis(hydroxybenzyl)-3', 5-dimethoxy-3-hydroxy bibenzyl	II	OCH ₃	H	H	OH	H	OCH ₃	OH	OH	a、c	6,9
17	blestritin A	II	OCH ₃	H	H	OH	G	OCH ₃	OH	OH	a	13
18	blestritin B	II	OCH ₃	OH	H	OH	H	OCH ₃	OH	OH	a	13
19	2, 6-bis 4-hydroxybenzyl)-5, 3'-dimethoxybibenzyl-3-ol	II	OCH ₃	H	H	OH	H	OCH ₃	OH	OH	a	8
20	bulbocodin D	III									a	8

a-*B. striata* b-*B. formosana* c-*B. ochracea*

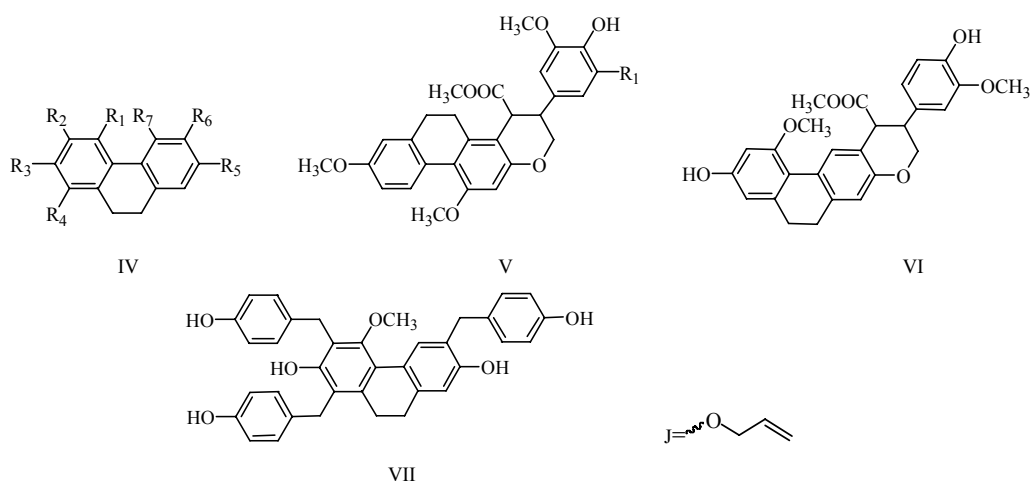


图 2 白及属植物中的二氢菲类化合物母核

Fig. 2 Skeletons of dihydrophenanthridinyl compounds in plants from *Bletilla* Rchb. f.

表 2 白及属植物中的二氢菲类化合物

Table 2 Dihydrophenanthridinyl compounds in plants from *Bletilla* Rchb. f.

[illegible]

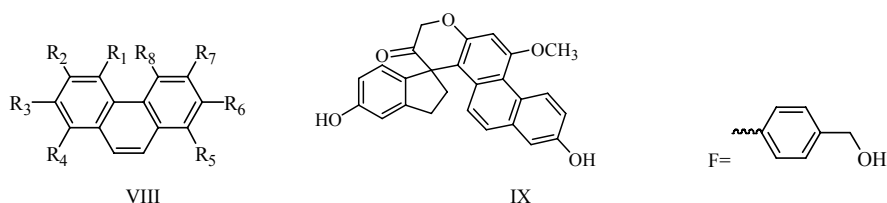


图 3 白及属植物中的菲类化合物母核

Fig. 3 Skeletons of stilbene compounds in plants from *Bletilla* Rchb. f.

表 3 白及属植物中的菲类化合物

Table 3 Stilbene compounds from *Bletilla* Rchb. f.

编号	化合物	类型	取代基								植物	文献
			R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈		
38	3, 7-dihydroxy-2, 4-dimethoxy-phenanthrene-3- <i>O</i> -glucoside	VIII	O-glc	H	O-glc	H	H	H	H	H	a	19
39	2, 7-dihydroxy-4-methoxy-phenanthrene-2- <i>O</i> -glucoside	VIII	O-glc	H	H	H	H	H	H	H	a	19
40	2, 7-dihydroxy-4-methoxy-phenanthrene-2, 7- <i>O</i> -diglucoside	VIII	O-glc-glc	H	H	H	H	H	H	H	a	19
41	4-methoxyphenanthrene-2, 7-diol	VIII	OCH ₃	H	OH	H	H	OH	H	H	a	8
42	3, 4-dimethoxy-phenanthrene-2, 7-diol	VIII	OCH ₃	OCH ₃	OH	H	H	OH	H	H	a	8
43	2, 4-dimethoxyphenanthrene-3, 7-diol	VIII	OCH ₃	OH	OCH ₃	H	H	OH	H	H	a	8
44	2, 4, 7-trimethoxy-phenanthrene	VIII	OCH ₃	H	OCH ₃	H	H	OCH ₃	H	H	a	4
45	1, 8-bi-(hydroxybenzyl)-4-methoxyphenanthrene-2, 7-diol	VIII	OCH ₃	H	OH	F	F	OH	H	H	a、 b	21
46	1- <i>p</i> -hydroxybenzyl-4-methoxy-phenanthrene-2, 7-diol	VIII	OCH ₃	H	OH	G	H	OH	H	H	a	18,20
47	1-(<i>p</i> -hydroxybenzyl)-4, 8-dimethoxy-phenanthrene-2, 7-diol	VIII	OCH ₃	H	OH	G	OCH ₃	OH	H	H	a	17
48	nudol	VIII	OCH ₃	OCH ₃	H	H	OH	H	H	OCH ₃	c	6,22
49	2, 3, 4, 7-tetramethoxyphenanthrene	VIII	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	H	H	OCH ₃	H	H	a	4
50	1, 3-di(4-hydroxybenzyl)-4-methoxy-9, 10-dihydrophenanthrene-2, 7-diol	VIII	OCH ₃	G	OH	G	H	OH	H	H	b	12
51	1-(4-hydroxybenzyl)-4-methoxyphenanthrene-2, 7-diol	VIII	OCH ₃	H	OH	G	H	OH	H	H	b	12
52	1-(4-hydroxybenzyl)-4, 8-di-methoxy-phenanthrene-2, 7-diol	VIII	OCH ₃	H	OH	G	OCH ₃	OH	H	H	b	12
53	blestrianol D	VIII	OCH ₃	H	OH	G	G	OH	H	H	a	21
54	1, 5, 7-trimethoxyphenanthrene-2, 6-diol	VIII	H	H	OH	OCH ₃	H	OCH ₃	OH	H	c	6
55	blespirol	IX									a	23

1.4 联菲类

因具有轴不对称性和不对称诱导作用，联菲类化合物在红外 1 620~1 480 cm⁻¹ 和 900~650 cm⁻¹

处具有显著的特征吸收规律。Yamaki 等^[7,16]从白及块茎的醋酸乙酯提取物中共发现了 10 种联菲类成分（图 4 和表 4）。Yamaki 等^[18]研究发现，从白及

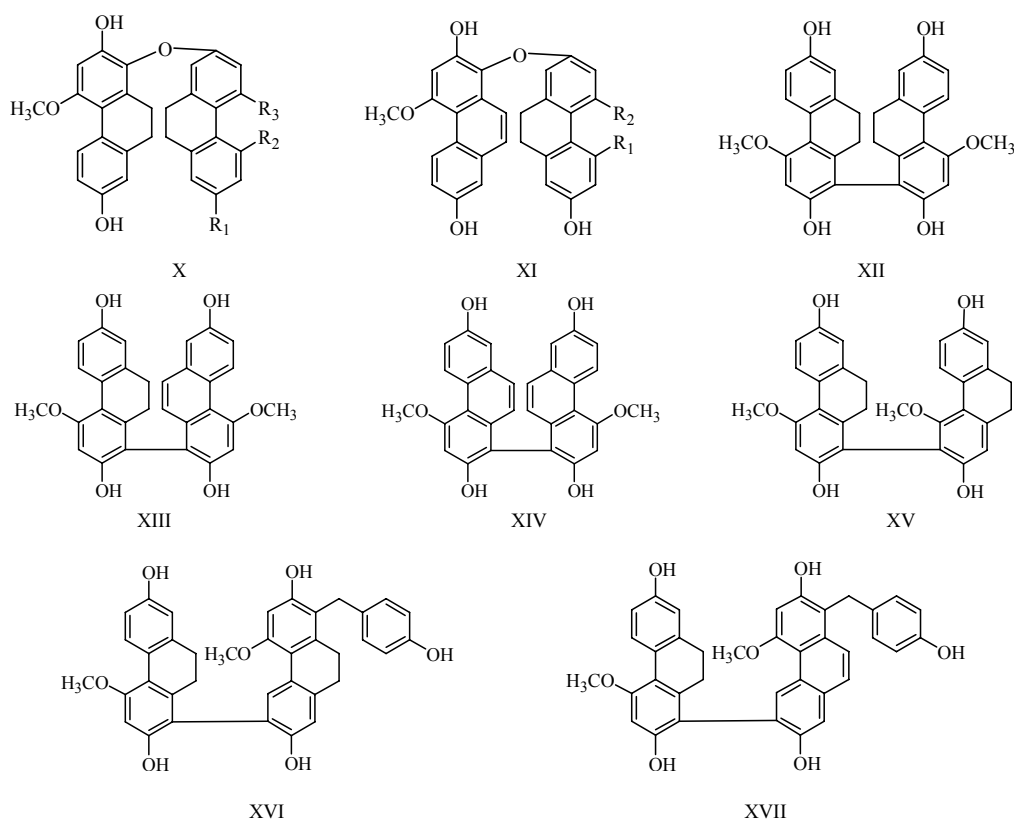


图4 白及属植物中的联菲类化合物母核

Fig. 4 Skeletons of biphenanthrenes in plants from *Bletilla* Rchb. f.

表4 白及属植物中的联菲类化合物

Table 4 Biphenanthrenes in plants from *Bletilla* Rchb. f.

编号	化合物	类型	取代基			植物来源	文献
			R ₁	R ₂	R ₃		
56	blestrin A	X	OH	H	OCH ₃	a	15
57	blestrin B	X	OCH ₃	OH	H	a	15
58	blestrin C	XI	H	OCH ₃		a	15
59	blestrin D	XI	OCH ₃	H		a	15
60	blestriarene A	XII				a、c	6-7
61	blestriarene B	XIII				a、b、c	6-7,12
62	blestriarene C	XIV				a、c	6-7
63	blestrianol A	XV				a	21
64	blestrianol B	XVI				a	21
65	blestrianol C	XVII				a	21

中分得的联菲类物质具有抑制微管蛋白聚合作用，能逆转乳腺癌耐药蛋白介导的多药耐药性。

1.5 醌类

目前只有从白及和台湾白及中分离得到醌类物质的报道，共有7种，包括1种蒽醌和6种萘醌（图5和表5）。

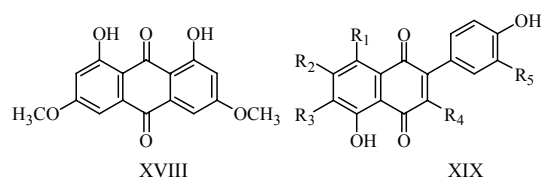


图5 白及属植物中醌类化合物母核

Fig. 5 Skeletons of quinone in plants from *Bletilla* Rchb. f.

表5 白及属植物中醌类化合物
Table 5 Quinone compounds in plants from *Bletilla* Rchb. f.

编号	化合物	类型	取代基					植物	文献
			R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅		
66	1, 8-dihydroxy-3-methoxy-6-methylanthracene-9, 10-dione	XVIII						a	24
67	8- <i>C-p</i> -hydroxybenzylkaempferol	XIX	G	H	OH	OH	H	b	12
68	apigenin	XIX	H	OH	H	H	H	b	12
69	kaempferol	XIX	H	OH	H	OH	H	b	12,25
70	isorhamnetin	XIX	H	OH	H	OH	OCH ₃	b	12
71	6-methoxy-kaempferol	XIX	H	OH	OCH ₃	OH	H	b	12,26
72	kaempferol-7- <i>O</i> -glucoside	XIX	H	O-glc	H	OH	H	b	12,27

1.6 其他

除上述主要化学成分外, 白及属植物中还含有其他活性物质, 根据化学结构可分为以下4类: (1) 简单芳香类化学成分 *p*-hydroxybenzoic acid、*p*-hydroxybenzaldehyde^[10], 3-phenylacrylic acid、protocatechuic acid^[10,28], 3, 4-dihydroxybenzaldehyde^[8], protocatechuic acid、*p*-(hydroxymethyl) phenyl-β-*D*-glucoside^[29], benzyl alcohol、*trans*-coumaric acid methyl ester^[15], 4-hydroxybenzyl alcohol、gastrodin^[14], bletillin A^[30]。(2) 甾类化合物 β-sitosterol palmitate、stigmasterol palmitate、24-methylenecycloartanol palmitate、cyclobalanone、cycloneolitsol、cyclomargenone、cyclomargenol^[31]。(3) 糖苷类: Saito 等^[32]从白及紫红色花中分离到多种糖苷类物质, 包括 3-*O*-[6-*O*-(maionyl)-β-*D*-glucopyranosid]-3'-*O*-[6-*O*-(*trans*-4-*O*-(6-*O*-(*trans*-4-*O*-(β-*D*-glucopyranosyl)-*p*-coumaryl)-β-*D*-glucopyranosyl)-*p*-coumaryl-β-*D*-glucopyranoside]-7-*O*-[6-*O*-(*trans*-*p*-coumaryl)-β-*D*-glucopyranoside] 及其 demalonyl 衍生物、3-*O*-[6-*O*-(maionyl)-β-*D*-glucopyranosid]-3'-*O*-[6-*O*-(*trans*-4-*O*-(6-*O*-(*trans*-4-*O*-(β-*D*-glucopyranosyl)-caffeyl)-β-*D*-glucopyranosyl)-caffeyl)-β-*D*-glucopyranoside]-7-*O*-[6-*O*-(*trans*-caffeyl)-β-*D*-glucopyranoside] 及其 demalonyl 衍生物, Tatsuzawa 等^[28]从白及花中分离到不同的糖苷类化合物 3-*O*-(β-glucopyranoside)-7-*O*-[6-*O*-(4-*O*-(6-*O*-(4-*O*-(β-glucopyranosyl)-*trans*-caffeyl)-β-glucopyranosyl)-*trans*-caffeyl)-β-glucopyranoside]。Feng 等^[8]在白及块茎中分离到 β-*D*-glucopyranoside、dactylorhin E、gymnoside I 和 gymnoside II。此外, 陈盈君等^[16]从小白及假球茎中同样分离到 β-*D*-glucopyranoside, 还有 formoside 和

gymnoside IX。(4) 白及胶: 该类物质主要成分是甘露聚糖, 由4分子甘露糖和1分子葡萄糖组成, 具有收敛止血、消肿生肌的作用^[33-34]。

2 药理作用及应用

我国白及用药历史悠久, 中医对白及有“收敛止血, 消肿生肌”之说。现代医学证明, 白及有止血、抗肿瘤、抗菌、抗炎、促进创伤愈合、促进细胞生长等作用。

2.1 止血作用

白及多糖在动脉、尾部、消化道等多个出血部位, 都可以起到良好的止血作用。张鹏威等^[35]采用小鼠断尾止血、家兔股动脉止血实验证明中、高剂量白及多糖组均能显著缩短小鼠断尾出血时间; 以白及多糖为主要成分的药物已经在临床上得以应用, 在胃、食道等消化道出血中有较好的治疗效果^[36]。吴久健等^[37]依次用石油醚、醋酸乙酯、正丁醇对白及醇浸膏进行萃取, 通过测定小鼠凝血时间和出血时间, 证明白及中止血成分主要存在于水和正丁醇部分, 也间接证明白及多糖在止血中起到重要作用。

2.2 抗肿瘤作用

白及提取物中的黏液质(多糖^[34,38]、萜类^[39-40]等)是一种广谱抗肿瘤成分, 可通过与硫酸乙酰肝素蛋白多糖(HSPG)竞争性结合, 起到抑制、拮抗或干扰HSPG的作用, 阻断血管生长因子与其受体结合, 从而发挥抗血管内皮细胞增殖的作用, 并且抑制强度与白及的剂量呈正比^[41]。此外, 白及黏液质本身具有黏合和抑制纤溶作用, 在血液中缓慢膨胀, 并均匀地分布于被栓塞的血管内, 可达到完全栓塞之效果造成肿瘤部位缺血、缺氧而最终导致肿瘤坏死和缩小^[2]; 在小鼠肝癌、子宫癌、肉瘤等

一些恶性肿瘤局部治疗发挥良好的作用。

2.3 抗菌作用

Takagi 等^[10]采用微量肉汤稀释法,发现来源于白及块茎中的联苳和双氢菲类化合物对枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、加德纳诺卡氏菌(*Nocardia gardneri*)、白色念珠菌(*Candida albicans* ATCC10257)、须癣毛癣菌(*Trichophyton mentagrophytes* QM248)均有一定的抑制作用。白及提取物对金黄色葡萄球菌所引起的特异性皮炎有一定的疗效,可成为候选局部眼用抗菌药物或牙膏^[42-43]。

2.4 抗炎镇痛作用

王红英^[44]采用二甲苯诱导小鼠耳廓肿胀法、小鼠毛细血管通透性进行抗炎实验,通过小鼠醋酸扭体法、热板法进行镇痛实验,证明白及甘露聚糖具有良好抗炎和一定镇痛作用。卢冬杰^[45]和刘莹等^[46]发现白及多糖提取物具有治疗胃溃疡的功效,可通过调节 JAK/STAT 信号通路的多克隆抗体 JAK2 表达水平,抑制肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、白细胞介素-6 (IL-6) 和 IL-8 的释放^[47-48]。

2.5 促进创伤愈合作用

早期发现白及能很好地促进角质形成细胞游走,这种促游走作用可能对皮肤创伤早期愈合有重要影响。王蓓等^[49]将白及胶(含丹皮酚、多糖等^[50])局部涂抹于损伤的浆膜表面,可以有效地减轻腹腔粘连的形成,因此推测白及可能对损伤局部成纤维细胞有一定的抑制作用。张爱军等^[51]采用复方白及修复方(白及、当归、降香等)能促进外科伤口的愈合,减少瘢痕形成。目前有研究者将白及多糖乙酰化,可增加其水溶性,更有利于白及成分功效的发挥^[52]。

2.6 代血浆

以白及为原料所制成的血浆代用品定名为白及代血浆,具有低分子、稳定血压、无明显副作用、无热源反应的性质。白及黏液质制成的白及代血浆已广泛用于临床出血性疾病、外伤性出血、外科手术及妇科手术的止血治疗^[53]。

3 展望

我国具有丰富的白及资源,是我国重要的传统药材,其药用历史悠久^[54],现还用于加工代血浆、血管栓塞剂等^[55-56],具有较高的药用价值和商用价值。20世纪八九十年代,日本专家对白及属植物化学成分研究较多,并已取得了一些成果,但没有阐明单体化合

物的药理作用特点。因此,在中药现代化大背景下,白及研究亟需深入探索其药效学机制,一方面体现在中药的配伍禁忌,如“十八反”中白及与生川乌配伍毒性相加,与制川乌配伍毒性为拮抗;另一方面,其他兰科植物品种(水白及、土白及等)混掺其中,使得药效迥异,应对《中国药典》2010年版规定的白及质量进行深入研究,建立完整的、系统的质量评价体系,为临床应用提供更好的指导。

参考文献

- [1] 张燕,黎斌,李思锋.不同培养基条件下白及的种子萌发与幼苗形态发生[J].中国植物园,2009(12): 279-285.
- [2] 梁翠宏,田铧,徐蕴,等.结扎切断法与白芨微粒栓塞法建立大鼠后肢缺血模型效果比较[J].山东大学学报:医学版,2007,45(10):1008-1015.
- [3] 戴一,孙隆儒.植物中联苳类化合物研究进展[J].中草药,2008,39(11):1753-1756.
- [4] Yamaki M, Kato T, Bai L, et al. Methylated stilbenoids from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1991, 30(8): 2759-2760.
- [5] Bai L, Kato T, Inoue K, et al. Stilbenoids from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1993, 33(6): 1481-1483.
- [6] Yang X, Tang C, Zhao P, et al. Antimicrobial constituents from the tubers of *Bletilla ochracea* [J]. *Planta Med*, 2012, 78(6): 606-610.
- [7] Yamaki M, Bai L, Inoue K, et al. Biphenanthrenes from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1989, 28(12): 3503-3505.
- [8] Feng J Q, Zhang R J, Zhao W M. Novel bibenzyl derivatives from the tubers of *Bletilla striata* [J]. *Helv Chim Acta*, 2008, 91(3): 520-525.
- [9] Kong J M, Goh N K, Chia L S, et al. Recent advances in traditional plant drugs and orchids [J]. *Acta Pharmacol Sin*, 2003, 24(1): 7-21.
- [10] Takagi S, Yamaki M, Inoue K. Antimicrobial agents from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1983, 22(4): 1011-1015.
- [11] Tang W, Eisenbrand G. *Bletilla striata* (Thunb.) Reich. f. [M]. Berlin: Springer Heidelberg, 1992.
- [12] Lin Y L, Chen W P, Macabalang A D. Dihydrophenanthrenes from *Bletilla formosana* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2005, 53(9): 1111-1113.
- [13] Feng J Q, Zhang R J, Zhao W M. Novel bibenzyl derivatives from the tubers of *Bletilla striata* [J]. *Helv Chim Acta*, 2008, 91(3): 520-525.
- [14] Cai J, Zhao L, Zhang D. Chemical constituents from

- Bletilla ochracea* Schltr [J]. *Chem Res Chin Univ*, 2007, 23(6): 705-707.
- [15] Yamaki M, Bai L, Kato T, *et al*. Biphenanthrene ethers from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1992, 31(11): 3985-3987.
- [16] 陈盈君, 李宗徽, 洪惠娟, 等. 台湾白及(*Bletilla formosana* (Hayata) Schltr.) 假球茎发育与成分分析 [J]. 台中区农业改良场研究汇报, 2009(103): 31-39.
- [17] Morita H, Koyama K, Sugimoto Y, *et al*. Antimitotic activity and reversal of breast cancer resistance protein-mediated drug resistance by stilbenoids from *Bletilla striata* [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2005, 15(4): 1051-1054.
- [18] Yamaki M, Bai L, Inoue K, *et al*. Benzylphenanthrenes from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1990, 29(7): 2285-2287.
- [19] Phenanthrene glucosides from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1993, 34(2): 535-537.
- [20] Yamaki M, Li B, Kato T, *et al*. Three dihydrophenanthropyranes from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1993, 32(2): 427-430.
- [21] Bai L, Kato T, Inoue K, *et al*. Blestrianol A, B and C, biphenanthrenes from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1991, 30(8): 2733-2735.
- [22] Tuchinda P, Udchachon J, Khumtaveeporn K, *et al*. Phenanthrenes of *Eulophia nuda* [J]. *Phytochemistry*, 1988, 27: 3267-3271.
- [23] Yamaki M, Bai L, Kato T, *et al*. Blespirol, a phenanthrene with a spiro lactone ring from *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1993, 33(6): 1497-1498.
- [24] 王立新, 韩广轩, 舒莹, 等. 中药白及化学成分的研究 [J]. 中国中药杂志, 2001, 26(10): 690-691.
- [25] Fuchino H, Satoh T, Tanaka N. Chemical evaluation of *Betula species* in Japan. III. Constituents of *Betula maximowicziana* [J]. *Chem Pharm Bull*, 1996, 44(9): 1748-1753.
- [26] Wolbiś M, Królikowska M. Flavonol glycosides from *Sedum acre* [J]. *Phytochemistry*, 1988, 27(12): 3941-3943.
- [27] Ahvazi B C, Crestini C, Argyropoulos D S. ¹⁹F nuclear magnetic resonance spectroscopy for the quantitative detection and classification of carbonyl groups in lignins [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47(1): 190-201.
- [28] Tatsuzawa F, Saito N, Shigihara A, *et al*. An acylated cyanidin 3, 7-diglucoside in the bluish flowers of *Bletilla striata* [J]. *Jap Soc Hortic Sci*, 2010, 79(2): 215-220.
- [29] 肖雄, 唐健波, 姚佳, 等. 白及不同极性提取物的体外抗氧化活性研究 [J]. 山地农业生物学报, 2013, 32(2): 146-149.
- [30] Yang X, Tang C, Zhao P, *et al*. Antimicrobial constituents from the tubers of *Bletilla ochracea* [J]. *Planta Med*, 2012, 78(6): 606-610.
- [31] Yamaki M, Honda C, Kato T, *et al*. The steroids and triterpenoids from *Bletilla striata* [J]. *Nat Med*, 1997, 51(5): 493.
- [32] Saito N, Ku M, Tatsuzawa F, *et al*. Acylated cyanidin glycosides in the purple-red flowers of *Bletilla striata* [J]. *Phytochemistry*, 1995, 40(5): 1523-1529.
- [33] Xiang Y, Ye Q, Li W, *et al*. Preparation of wet-spun polysaccharide fibers from Chinese medicinal *Bletilla striata* [J]. *Mater Lett*, 2014, 117: 208-210.
- [34] 孙达锋, 史劲松, 张卫明, 等. 白及多糖胶研究进展 [J]. 食品科学, 2009, 30(3): 296-298.
- [35] 张鹏威, 李海龙, 谭银峰, 等. 白及贴膜初步药效学研究 [J]. 海南医学院学报, 2011, 17(1): 21-23.
- [36] 俞林花, 史海霞, 聂绪强, 等. 芦荟和白及创面愈合的药理作用比较 [J]. 时珍国医国药, 2010, 21(6): 1450-1453.
- [37] 吴久健, 孟岳良, 邹丽华, 等. 白及不同提取部位对小鼠止血活性实验 [J]. 药学实践杂志, 2011, 29(3): 206-207.
- [38] Diao H, Li X, Chen J, *et al*. *Bletilla striata* polysaccharide stimulates inducible nitric oxide synthase and proinflammatory cytokine expression in macrophages [J]. *J Biosci Bioeng*, 2008, 105(2): 85-89.
- [39] 刘明志, 唐建洲, 张建社, 等. 白及萜类化合物对人脐静脉内皮细胞凋亡和细胞骨架的作用 [J]. 生命科学研究, 2009, 13(6): 482-487.
- [40] 刘明志, 唐建洲, 张建社, 等. 白及中萜类化合物通过诱导血管内皮细胞凋亡抑制血管生成 [J]. 分子细胞生物学报, 2008, 41(5): 383-390.
- [41] 宋长城, 吕祥, 李柏. 抗肿瘤血管生成中药的研究进展 [J]. 中国中医药信息杂志, 2007, 14(6): 97-99.
- [42] Wu X, Xin M, Chen H, *et al*. Novel mucoadhesive polysaccharide isolated from *Bletilla striata* improves the intraocular penetration and efficacy of levofloxacin in the topical treatment of experimental bacterial keratitis [J]. *J Pharm Pharmacol*, 2010, 62(9): 1152-1157.
- [43] 马世宏, 金玲, 王守香, 等. 中药白及在牙膏中的应用研究 [J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(3): 32-36.
- [44] 王红英. 白及甘露聚糖抗胃溃疡及抗炎、镇痛作用的实验研究 [J]. 浙江中医药大学学报, 2009, 33(1): 119-121.
- [45] 卢冬杰. 白及多糖护胃抗溃疡功能研究 [J]. 中国保健食品, 2013(3): 21-23.

- [46] 刘莹, 崔炯莫, 李洪斌, 等. 白芨超微粉对大鼠实验性胃溃疡的影响 [J]. 中草药, 2008, 39(3): 397-400.
- [47] 王刚, 常明泉, 杨光义, 等. 白芨多糖对氧化损伤的人角质形成细胞 JAK/STAT 信号通路的影响 [J]. 医药导报, 2012, 31(6): 701-705.
- [48] Dong L, Xia S, Luo Y, *et al.* Targeting delivery oligonucleotide into macrophages by cationic polysaccharide from *Bletilla striata* successfully inhibited the expression of TNF- α [J]. *J Controlled Release*, 2009, 134(3): 214-220.
- [49] 王蓓, 李东华, 李继坤. 白芨胶对体外培养兔胆管成纤维细胞形态及活性的影响 [J]. 河北中医, 2007, 29(8): 752-753.
- [50] 马世宏, 金玲, 揭蓬, 等. 白芨-丹皮酚包合物在化妆品中的应用研究 [J]. 日用化学品科学, 2009, 32(6): 30-33.
- [51] 张爱军, 李宗芳, 吴宏. 复方白芨修复方对创伤愈合过程中 β -FGF 表达的影响 [J]. 中国药理通讯, 2007, 24(3): 32-32.
- [52] Liu J, Wang H, Yin Y, *et al.* Controlled acetylation of water-soluble glucomannan from *Bletilla striata* [J]. *Carbohydr Polym*, 2012, 89(1): 158-162.
- [53] 雷震, 常明泉, 陈黎, 等. 白芨的临床应用研究进展 [J]. 中国药师, 2013, 16(8): 1240-1242.
- [54] 李伟平, 何良艳, 丁志山. 白芨的应用及资源现状 [J]. 中华中医药学刊, 2012, 30(1): 158-159.
- [55] Liu R, Teng X J, He J F, *et al.* Partial splenic embolization using *Bletilla striata* particles for hypersplenism in cirrhosis, a prospective study [J]. *Am J Chin Med*, 2011, 39(2): 261-269.
- [56] Liu B S, Huang T B, Yao C H, *et al.* Novel wound dressing of non-woven fabric coated with genipin-crosslinked chitosan and *Bletilla striata* herbal extract [J]. *J Med Biol Engin*, 2009, 29(2): 60-67.