

[综述]

海洋中药白骨壤化学成分及药理作用研究进展

张萌^{1,2}, 周江煜^{1#}, 韦玮^{1,2,3}, 郝二伟^{1,2,3}, 易湘茜^{1,3}, 杜正彩^{1,2,3}, 侯小涛^{1,2,3*}, 邓家刚^{1,2,3*}

(1. 广西中医药大学, 广西南宁530200; 2. 广西中药药效研究重点实验室, 广西南宁530200;
3. 农作物废弃物功能成分研究协同创新中心, 广西南宁530200)

摘要: 白骨壤为红树植物, 在我国广东、广西、福建等地有分布, 同时, 在非洲东部至印度、马来西亚、澳大利亚、新西兰等地皆有分布, 资源丰富, 具有悠久的民间应用历史。其化学成分主要有黄酮类、萜类、木脂素类、酚苷类、生物碱类、挥发油等。具有抗菌、抗氧化性、抗病毒、抗凝血、抗肿瘤等药理活性。本文总结近年来白骨壤化学成分及药理作用的研究进展, 以期为其进一步研究和开发提供参考。

关键词: 白骨壤; 化学成分; 药理作用

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2018)11-2504-09

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2018.11.028

红树植物是一类生长在热带海洋潮间带的木本植物, 在全球有约24科84种, 我国约20科37种^[1]。白骨壤海榄雌 *Avicennia marina* (Forssk) Vierh 为马鞭草科海榄雌属植物, 是红树植物的一种, 主要分布在广东、广西、福建、海南、台湾、香港、澳门等地区^[2]。在非洲东部至印度、马来西亚、澳大利亚、新西兰等地也有分布^[3]。药用红树植物具有较长的民间应用历史^[4]。白骨壤果实可作为粮食、菜肴食用, 还可作为酿酒原料, 民间用其果实配以排骨可治疗高血压^[5]; 同时它还是一种京族传统药物, 嫩叶捣烂后外敷能止血消炎, 治疗脓肿, 树皮能治疗皮肤瘙痒, 果实可以治疗痢疾。虽然白骨壤在民间有着广泛的应用, 但目前未被药典收录。从1913年发现帕拉醇开始, 许多学者对白骨壤进行了化学和药理研究, 从其茎、叶、皮药用部位中提取分离出酚苷、萜、黄酮、多糖、生物碱等多种化学成分, 并基于白骨壤的民间应用对其抗氧化性和抗菌性等药理作用进行了研究, 但其研究的内容较少, 并不全面。本文旨在总结白骨壤的发展现状, 为进一步研究和发展其应用提供参考。

1 化学成分

1.1 黄酮类 黄酮类化合物是白骨壤中主要化学成分之一, 并有着极高的活性。有报道在白骨壤的叶片^[6]和种子^[7]中提取出总黄酮。所含黄酮大多以2-苯基苯并 γ 吡喃酮为结构母核, 包括5, 7-二羟基-3', 4', 5'-三甲氧基黄

酮^[8] (1)、5-羟基-4', 7-二甲氧基黄酮 (2)、槲皮素 (3)、山柰酚^[9] (4)、4', 5-dihydroxy-3', 7-dimethoxy flavone (5)、4', 5, 7-trihydroxy flavone (6)、4', 5-dihydroxy-3', 5', 7-trimethoxy flavone (7)、3', 4', 5- trihydroxy-7-methoxy flavone^[10] (8)、luteolin-7-O-methylether-3'-O- β -D-glucoside (9)、luteolin7-O-methylether-3'-O- β -D-galactoside^[11] (10)、luteolin7-O-methylether (11)、chrysoeriol-7-O-glucoside (12)、isorhamnetin-3-O-rutinoside^[10] (13)、pachypodol^[12] (14), 结构见图1。

1.2 萜类 萜类化合物是白骨壤中种类较多的一类化合物, 主要包含二萜、三萜和环烯醚萜3大类^[13]。其中研究最为广泛的是环烯醚萜类。白骨壤中主要环烯醚萜类化合物见表1, 结构见图2。此外, C Subrahmanyam 等^[19]在印度白骨壤的根部分离出7个二萜化合物; Han L, Huang X^[20]从白骨壤的枝条中获得了3个新的松香烷二萜。二萜类化合物见表2, 结构见图3。

白骨壤树皮中含有桦木酸 (15)、taraxerob (16)、tarixerane (17)^[21]、白桦醇 (18)、羽扇豆醇 (19)^[9]等三萜化合物, 结构见图4。

1.3 酚苷类 谢文佩等^[22]利用凝胶层析和高效液相色谱分离技术从白骨壤果实中分离鉴定出4个酚苷类化合物, 分别为松柏苷、对羟基苯甲酰葡萄糖、苯基- β -D-葡萄糖苷、Rhycoside A。

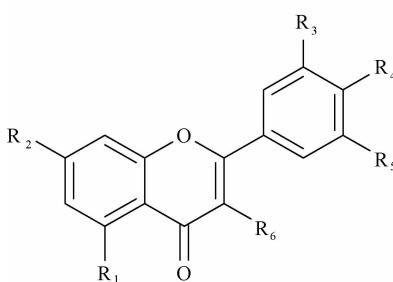
收稿日期: 2018-03-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(21662006); 广西科学研究与技术开发计划项目(15104001-11); 广西科学研究与技术开发计划项目(AD17195025); 广西科技计划重点研发项目(AB16380009); 广西“八桂学者”工程专项经费资助([2013]3)

作者简介: 张萌(1995—), 女, 硕士生, 研究方向为药物分析及其质量控制。Tel: 18377182713, E-mail: 1756944960@qq.com
#周江煜(1973—), 女, 副教授, 研究方向中药化学成分分析及质量控制。E-mail: 348471096@qq.com

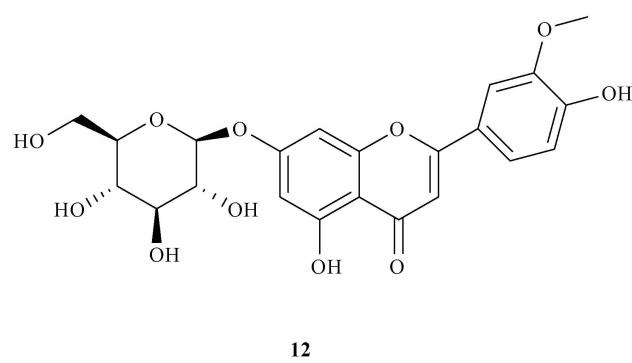
*通信作者: 侯小涛(1969—), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向中药活性成分及质量控制研究。E-mail: xthou@126.com

邓家刚(1953—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向中药基础理论与药效筛选研究。E-mail: dengj53@126.com

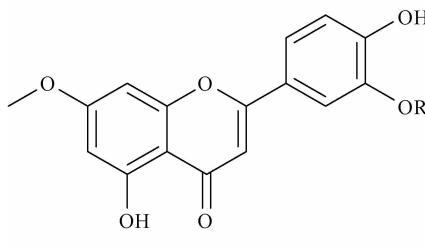


| | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | R ₁ =OH, R ₄ =OCH ₃ | 4 | R ₁ =OH, R ₄ =OH |
| | R ₂ =OH, R ₅ =OCH ₃ | | R ₂ =OH, R ₅ =H |
| | R ₃ =OCH ₃ , R ₆ =OCH ₃ | | R ₃ =H, R ₆ =OH |
| 2 | R ₁ =OH, R ₄ =OCH ₃ | 5 | R ₁ =OH, R ₄ =OH |
| | R ₂ =OCH ₃ , R ₅ =H | | R ₂ =OCH ₃ , R ₅ =H |
| | R ₃ =H, R ₆ =H | | R ₃ =OCH ₃ , R ₆ =H |
| 3 | R ₁ =H, R ₄ =OH | 6 | R ₁ =OH, R ₄ =OH |
| | R ₂ =OH, R ₅ =OH | | R ₂ =OH, R ₅ =H |
| | R ₃ =H, R ₆ =OH | | R ₃ =H, R ₆ =H |

- 7 R₁=OH, R₄=OH
R₂=OCH₃, R₅=OCH₃
R₃=OCH₃, R₆=H
- 8 R₁=OH, R₄=OH
R₂=OCH₃, R₅=H
R₃=OH, R₆=H
- 14 R₁=OH, R₄=OH
R₂=OCH₃, R₅=H
R₃=OCH₃, R₆=OCH₃



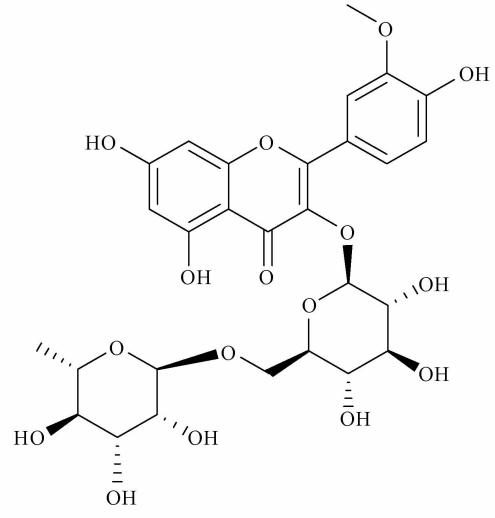
12



9 R=β-D-glucosyl

10 R=β-D-galactosyl

11 R=H



13

图1 黄酮类化合物结构图

1.4 生物碱类 生物碱是中草药中重要的有效成分之一。在白骨壤中分离出5个生物碱化合物分别为2(1H)-pyrazinone-3, 4-dihydro-1, 3, 5-trimethyl、尿苷、尿嘧啶、indole-3-aldehyde、miazole^[23]。

1.5 脂肪酸类 从白骨壤中分离出4个脂肪酸化合物^[24]分别为2-苯基丙烯酸甲酯、葵酸甲酯、壬二酸二甲酯、十一烷酸甲酯、1, 4-甲基十五烷酸甲酯、(Z)-十六烯酸甲酯、棕榈酸甲酯、11-棕榈酸甲酯、反油酸甲酯、硬脂酸甲酯、棕榈酸丁酯、葵酸甲酯、硬脂酸丁酯、10-甲基-月桂酸甲酯。

1.6 芳香酯类 王何健等^[25]从白骨壤果实中提取到6个芳香酯类化合物。分别为甲基(4-氯-4[N-羟氨基]苯基)醋酸酯、4-(2-羟基乙氧基)苯甲酸甲酯、邻苯二甲酸二异丙酯、原儿茶酸甲酯、邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯、邻苯二甲酸二丁酯。

1.7 肉桂酸衍生物及其苷类 白骨壤中存在以下肉桂酸衍生物, 顺式香豆酸4-O-β-D-吡喃葡萄糖苷、香草酸4-O-β-D-吡喃葡萄糖苷^[22]、咖啡酸甲酯^[25], 孙昱等^[26]在白骨壤叶中分离出阿魏酸乙酯。

1.8 萍醌类 Han等^[27]从白骨壤中分离出12个萘醌类化合

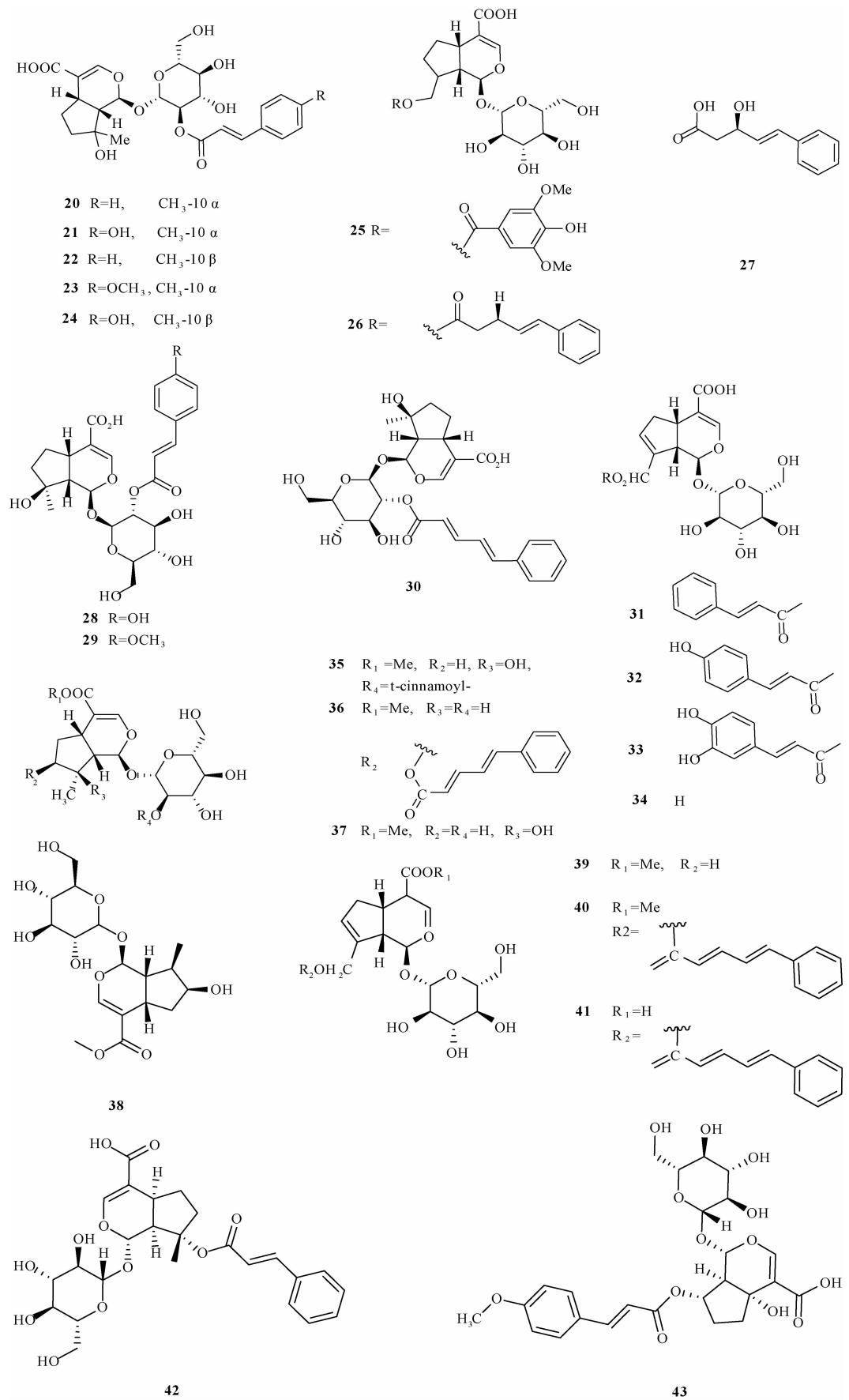


图2 环烯醚萜类化合物结构图

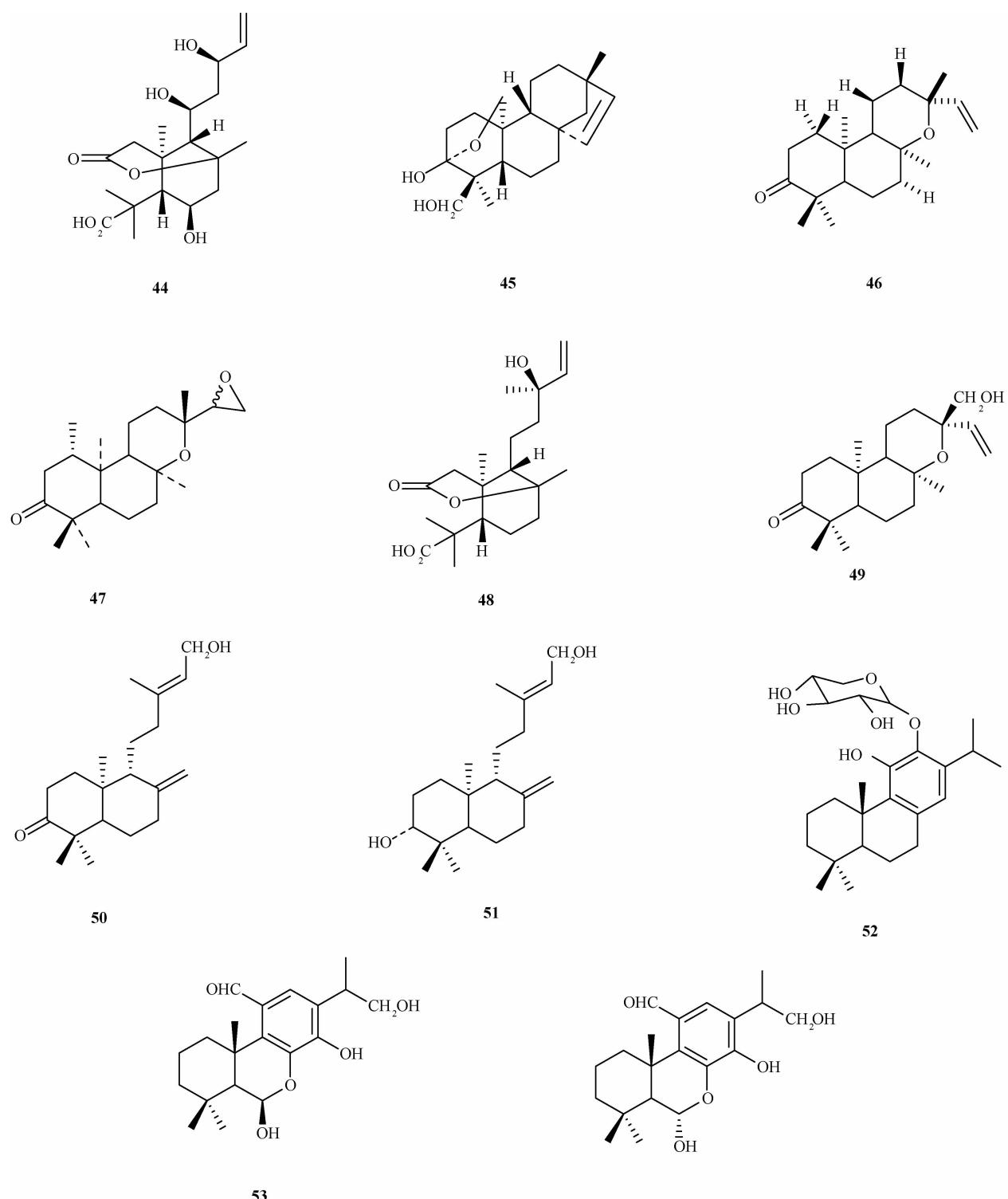


图3 二萜类化合物结构图

物, avicennone A (55)、avicennone B (56)、avicennone C (57)、avicennone D (58)、avcenone E (59)、avicennone F (60)、avicennone G (61)、avicequinone A (62)、stenocarpouquinone B (63)、avicequinone C (64)、avcenol A (65)、avcenol C (66); 孙昱^[26]分离出 marinnone A (67)、marinnone B (68) 2 种同分异构体; 贾睿等^[9]从白骨壤中分离得到白

骨壤醌 B (69) 和白骨壤醌 C (70)。结构见图 5。

1.9 苯丙素

1.9.1 苯丙素 冯妍等^[8]从白骨壤中提取鉴定出类叶升麻苷、异类叶升麻苷 2 种苯丙素类化合物; 除此外还有 threoguaiacylglycerol- β -ferulicac-idether、leucoseceptoside A^[26]、(+)-lirioresinol^[27]等。

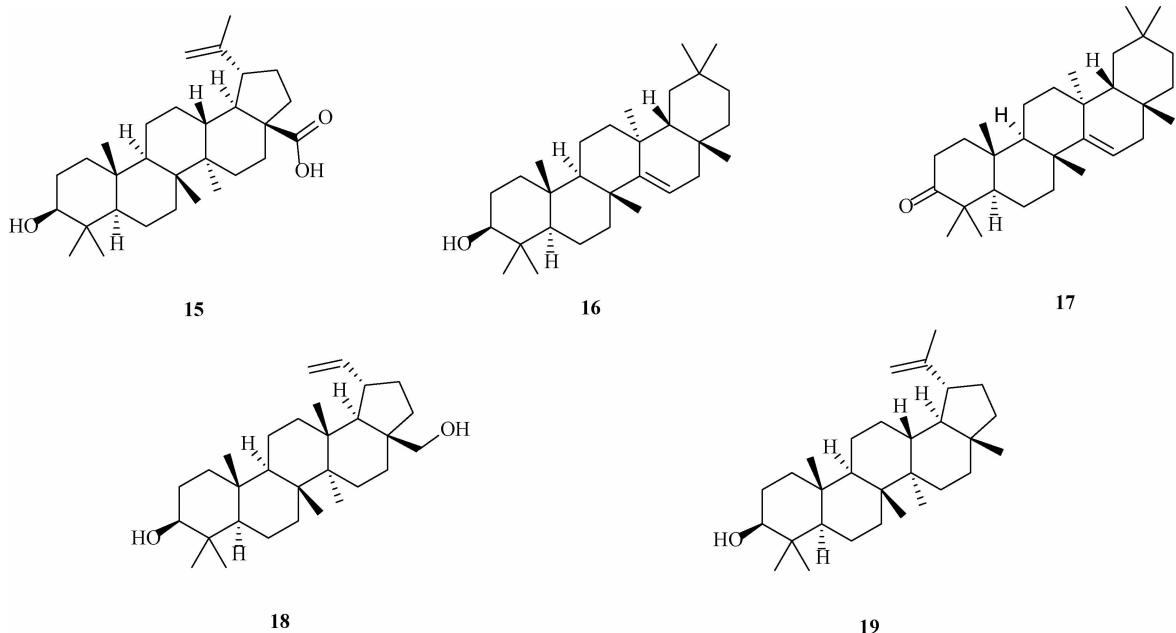


图 4 三萜类化合物结构图

表 1 环烯醚萜化合物

| 编号 | | 来源 | 部位 | 文献 |
|----|--|------|------|------------|
| 1 | 2'-cinnamoyl mussaenosidic acid (20) | 厦门 | 叶片 | [14] |
| 2 | 2'-O- (4"-hydroxycinnamoyl) mussaenosidic acid (21) | 厦门 | 叶片 | [14] |
| 3 | marinoids A-E (22-26) | 厦门 | 叶片 | [14] |
| 4 | 3 (R) -hydroxy-5-phenyl-4 (E) -pentenoic acid (27) | 厦门 | 叶片 | [14] |
| 5 | 2'-O-coumaroyl mussaenosidic acid (28) | 海南 | 地上部分 | [10] |
| 6 | 2'-O- (4"-methoxycinnamoyl) mussaenosidic acid (29) | 海南 | 地上部分 | [10] |
| 7 | 2'-O- [(2E, 4E) -5-phenylpenta-2, 4-dienoyl] mussaenosidic acid (30) | 海南 | 地上部分 | [10, 15] |
| 8 | 10-O- [(E) -cinnamoyl] -geniposidic acid (31) | 胡尔格达 | 全株 | [16] |
| 9 | 10-O- [(E) -p-coumaroyl] -geniposidic acid (32) | 胡尔格达 | 全株 | [16] |
| 10 | 10-O- [(E) -caffeyoyl] -geniposidic acid (33) | 胡尔格达 | 全株 | [16] |
| 11 | geniposidic acid (34) | 胡尔格达 | 全株 | [16] |
| 12 | 2'-O- [(E') -cinnamoyl] -mussaenoside (35) | 斯里兰卡 | 叶片 | [17] |
| 13 | 7-O- (5-phenyl-2, 4-pentadienoyl) -8-epiloganin (36) | 斯里兰卡 | 叶片 | [17] |
| 14 | mussaenoside (37) | 斯里兰卡 | 叶片 | [17] |
| 15 | loganin (38) | 印度 | 叶片 | [18] |
| 16 | geniposide (39) | 斯里兰卡 | 叶片 | [17] |
| 17 | 10-O- (5-phenyl-2, 4-pentadienoyl) geniposide (40) | 斯里兰卡 | 叶片 | [17] |
| 18 | 10-O- (5-phenyl-2, 4-pentadienoyl) geniposidic acid (41) | 印度 | 叶片 | [18] |
| 19 | 8-O-cinnamoyl mussaenosidic acid (42) | 印度 | 叶片 | [18] |
| 20 | 5-hydroxy-10-O- (p-methoxycinnamoyl) adoxosidic acid (43) | 印度 | 叶片 | [18] |

表2 二萜化合物

| 编号 | | 来源 | 部位 | 文献 |
|----|--|----|----|------|
| 1 | rhizophorin-A (44) | 印度 | 根部 | [19] |
| 2 | rhizophorin-B (45) | 印度 | 根部 | [19] |
| 3 | ribenone (46) | 印度 | 根部 | [19] |
| 4 | excoecarin A (47) | 印度 | 根部 | [19] |
| 5 | <i>E</i> -(13 <i>S</i>)-2, 3-seco-14-labden-2, 8-olide-3-oic acid (48) | 印度 | 根部 | [19] |
| 6 | <i>E</i> -16-hydroxy-3-oxo-13-epi-manoyl oxide (49) | 印度 | 根部 | [19] |
| 7 | <i>E</i> -15-hydroxylabda-8 (17), 13 <i>E</i> -dien-3-one (50) | 印度 | 根部 | [19] |
| 8 | <i>E</i> -3 α , 15-dihydroxylabda-8 (17), 13 <i>E</i> -dien-3-one (51) | 印度 | 根部 | [19] |
| 9 | 11-hydroxy-8, 11, 13-abietatriene-12- β -xylopyranoside (52) | 厦门 | 枝 | [20] |
| 10 | 6 (<i>H</i>) α -11, 12, 16-trihydroxy-6, 7-secoabiet-8, 11, 13-triene-6, 7-dial-11, 6-hemiacetal (53) | 厦门 | 枝 | [20] |
| 11 | 6 (<i>H</i>) β -11, 12, 16-trihydroxy-6, 7-secoabiet-8, 11, 13-triene-6, 7-dial-11, 6-hemiacetal (54) | 厦门 | 枝 | [20] |

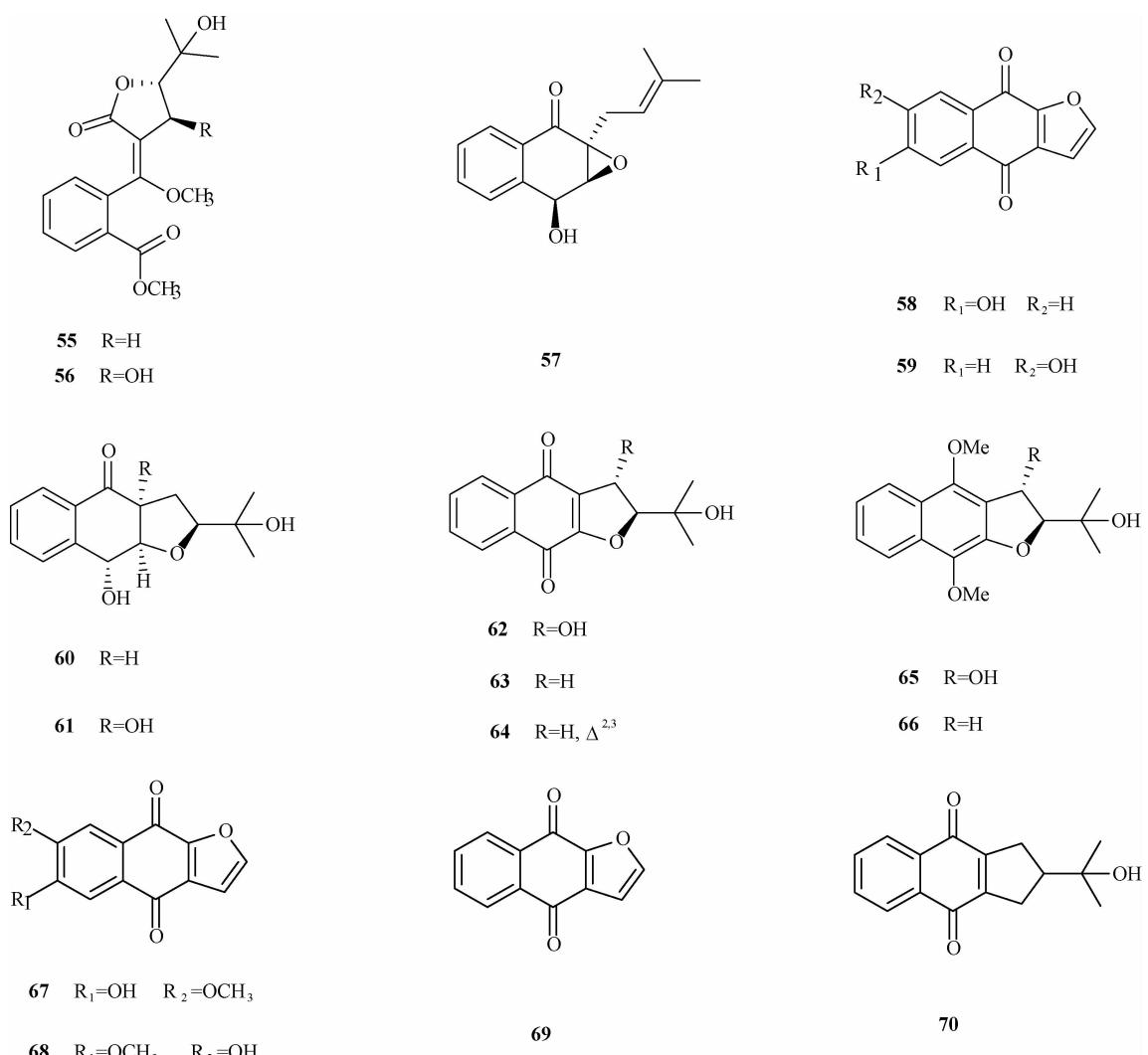


图5 萍藻类化合物结构图

1.9.2 木脂素 在白骨壤枝条中还发现了木脂素类化合物^[8,20,26], (7'S*, 8'R*)-4, 4', 9'-trihydroxy-3, 3', 5, 5'-tetramethoxy-7, 8-dehydro-9-al-2, 7'-cyclolignan、6, 11, 12, 16-tetrahydroxy-5, 8, 11, 13-abitetraen-7-one、lyoniresinol、lyoniresinol 9'- β -D-glucopyranoside、diacetylmar-

tynoside、syringaresinol、epi-pinoresinol、eleutheroside E₂、dihydroxymethyl-bis (3, 5-dimethoxy-4-hydroxyphenyl) tetrahydrofuran-9- β -glucopyranoside、(+)-lyoniresinol-3 α - β -D-glucopyranoside、(-)-lyoniresinol-3 α - β -D-glucopyranoside。

1.10 多糖及糖蛋白 方旭波等^[28-29]以白骨壤的树枝为材料,经提取、分离纯化等步骤,得到中性糖蛋白HAM-3-IIa和一种酸性多糖HAM-3-IIb-II^[29],HAM-3-IIa由阿拉伯糖、半乳糖和木糖组成;HAM-3-IIb-II主要由半乳糖醛酸、阿拉伯糖、半乳糖和鼠李糖组成^[30]。

1.11 挥发油及精油类 2001年已有对红树植物中挥发油的提取报道^[31-33]。姚贻烈等^[34]发现白骨壤枝叶及气生根的挥发物以萜烯类化合物为主。郭先霞等^[35]从白骨壤树叶挥发油中分离出14种化学成分,1-碘-壬烷、二乙基-癸氧基-硼烷、1-碘十三烷、十七烷、十九烷、2-苯基-1,3-丁二烯、四氢吡喃-2-甲醇、5-甲基-四氢呋喃-2-甲醇、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚、苯乙醛、4-羟基-2-甲基苯乙酮、6-甲氧基-1,2-二氢萘、吲哚。

黄丽莎等^[5]从白骨壤果实中的精油中分离出30多个化合物。其中数量较多的为酯类化合物棕榈酸甲酯、对乙烯基苯甲酸甲酯、(9Z, 15Z)-9, 15-十八碳二烯酸甲酯、2, 6-二氟苯甲酸-3, 5-二氟苯酯、硬脂酸甲酯、油酸甲酯、9-氧代壬酸甲酯、邻苯二甲酸二乙酯、辛酸甲酯、肉桂酸甲酯、二氢猕猴桃内酯、邻苯二甲酸二甲酯、(8E)-10-氧化代

-8-癸烯酸甲酯、邻苯二甲酸甲壬酯、肉豆蔻酸甲酯、十五酸甲酯、(Z)-十六烯酸甲酯、十七酸甲酯、花生酸甲酯;除酯类外还包括醇类和烷烃等物质,1-(4-甲基苯基)乙醇、4, 4, 6-三甲基-2-环己烯-1-醇、3, 5, 11, 15-四甲基-1-十六碳烯-3-醇、植醇、正己醛、2, 4-二甲基苯甲醛、3-乙基苯甲醛、植酮、二十烷、二十二烷、二十三烷。

1.12 苯乙醇苷类 白骨壤中还含有jionoside C、ilicifolioside A、salsaside A^[26]等。

1.13 微量元素 研究发现,白骨壤果实中富含多种微量元素^[36]包括锌、镍、铁、镁、锰、铬、铝、钒、镉、砷、铜、铅、钡、硼,其中镁、铁、铝、锰含有量丰富,砷含有量极低。

1.14 甾醇及其他类 白骨壤中还存在甾醇类及其他物质,β-谷甾醇^[12]、麦角甾-6, 22-二烯-5α, 8α-环二氧-3-β-醇^[9]。

2 药理作用

研究发现,白骨壤具有抗菌、抗氧化、抗肿瘤、抗补体活性、抗凝血、抗病毒等多种药理作用,归纳见表3。

表3 药理作用

| 序号 | 药理作用 | 可能的活性组分/成分 | 植株部位 | 文献 |
|---------|------------------------|--|-------------------|---------------------------------|
| 1 抗菌 | 金黄色葡萄球菌、蜡状芽孢杆菌、藤黄八叠球菌 | 脂肪酸类 | 果实 | [37] |
| | 大肠杆菌、根霉、枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌 | 乙醇提取物 | 叶 | [38] |
| | 欧文氏菌变异链球菌 | 氯仿和甲醇提取物 | 叶、茎 | [39] |
| | 荧光假单胞菌、绿脓杆菌和鳗弧菌 | 甲醇提取物 叶水提液 黄酮类 tamarixetin-3-O-β-D-glucopyranoside | 叶 叶 果实 枝 | [40] [41] [42-44] [45] |
| 2 抗氧化 | | 3,4-dihydroxyphenethylalcohol-6-O-caffeyl-β-D-glucopyranoside | | |
| 3 抗补体活性 | | 类叶升麻苷 | | |
| | | jionoside C | | |
| 4 抗肿瘤 | | 白骨壤蛋白 | 果实 | [46] |
| | | HAM-3-II b-II(多糖类) | 枝 | [28] |
| 5 抗凝血 | 慢性髓细胞白血病细胞、人宫颈癌细胞 | 白骨壤醌 B(69)白骨壤醌 C(70) | 叶 | [47] |
| 6 抗病毒 | | 萘醌类(avicennone A, stenocarpoquinone B, avicequinone C, avicenol A, avicenol C, avicennone D, avicenone E混合物) | 枝 | [27] |
| | 生殖器单纯疱疹病毒和脊髓灰质炎病毒 | 多糖类化合物 丙三醇提取物 | 叶、花 叶 | [48] [49-50] |

3 总结

白骨壤属于红树植物的一种，既是一种传统药物，也是世界性植物。近10年来对白骨壤的研究日益增多，从白骨壤中提取分离出黄酮类、萜类、萘醌类、苯乙醇苷类、苯丙素类等多种物质。目前发现的环烯醚萜类化合物在白骨壤萜类化合物中占比最高，多达20余种；其中黄酮类成分与其抗氧化性，抗菌性密切相关。相比化学成分的研究，仅见15篇文献对其抗菌、抗病毒、抗氧化、抗肿瘤、抗凝血、抗补体作用进行了报道。因此，亟待系统研究白骨壤的化学成分及药理作用，进一步阐明其作用机制和药效物质基础，为该海洋中药的临床应用及产品开发提供科学依据。

参考文献：

- [1] 王友绍, 何磊, 王清吉, 等. 药用红树植物的化学成分及其药理研究进展[J]. 中国海洋药物, 2004(2): 26-31.
- [2] 杨维, 夏杏洲, 韩维栋, 等. 响应面法优化白骨壤果实中黄酮类化合物的提取工艺[J]. 现代食品科技, 2011, 27(2): 191-195.
- [3] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志 [M]. 第65(1)卷, 北京: 科学出版社, 1979.
- [4] 杜钦, 韦文猛, 米东清. 京族药用红树林民族植物学知识及现状[J]. 广西植物, 2016, 36(4): 405-412.
- [5] 黄丽莎, 朱峰, 黄美珍. 白骨壤果精油化学成分的GC/MS分析[J]. 精细化工, 2009, 26(3): 255-257.
- [6] 孙国强, 赵丰丽, 刘哲瑜, 等. 白骨壤叶黄酮提取及抗氧化活性研究[J]. 中国酿造, 2010(11): 95-100.
- [7] 熊拯, 钟秋平, 林美芳, 等. 白骨壤种子中总黄酮的提取及抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(8): 81-84.
- [8] 冯妍, 李晓明, 王斌贵. 红树林植物海榄雌化学成分研究[J]. 中草药, 2007, 38(9): 1301-1303.
- [9] 贾睿, 郭跃伟, 侯惠欣. 中国红树林植物白骨壤化学成分的研究[J]. 中国天然药物, 2004, 2(1): 16-19.
- [10] Feng Y, Li X M, Duan X J, et al. Iridoid glucosides and flavones from the aerial parts of *Avicennia marina* [J]. *Chem Biodivers*, 2006, 3(7): 799-806.
- [11] Sharaf M, El-Ansari M A, Saleh N A. New flavonoids from *Avicennia marina* [J]. *Fitoterapia*, 2007, 71(3): 274-277.
- [12] Maher S A, Ahmad V U, Saifullah S M, et al. A flavone and a sterol isolated from grey mangrove *Avicennia marina* [J]. *Int J Phycol Phycocem*, 2010, 6(2): 171-174.
- [13] 杨维. 白骨壤果实中黄酮类化合物的提取、分离纯化及抗氧化活性研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011.
- [14] Sun Y, Ouyang J, Deng Z, et al. Structure elucidation of five new iridoid glucosides from the leaves of *Avicennia marina* [J]. *Magn Reson Chem*, 2010, 46(7): 638-642.
- [15] Feng Y, Li X M, Duan X J, et al. A New Acylated Iridoid Glucoside from *Avicennia marina* [J]. *Chinese Chem Lett*, 2006, 17(9): 1201-1204.
- [16] Shaker K H, Elgama M H, Seifert K. Iridoids from *Avicennia marina* [J]. *Z Naturforsch C*, 2001, 56(11-12): 965-968.
- [17] König G, Rimpler H. Iridoid glucosides in *Avicennia marina* [J]. *Phytochemistry*, 1985, 24(6): 1245-1248.
- [18] Sharma M, Garg H S. Iridoid glycosides from *Avicennia officinalis* [J]. *Indian J Chem Sect B*, 1996, 35(5): 459-462.
- [19] Subrahmanyam C, Kumar S R, Reddy G D. Bioactive diterpenes from the mangrove *Avicennia officinalis* Linn [J]. *Indian J Chem Sect B*, 2006, 45B(11): 2556-2557.
- [20] Han L, Huang X S, Dahse H M, et al. New abietane diterpenoids from the mangrove *Avicennia marina* [J]. *Planta Med*, 2008, 74(4): 432-437.
- [21] Bell K H, Duewell H. Triterpenoids from the Bark of *Avicennia marina* [J]. *Aust J Chem*, 1961, 14(4): 662-663.
- [22] 谢文佩, 高程海, 易湘茜, 等. 红树白骨壤果实中酚苷类化学成分研究[J]. 广西植物, 2014, 34(3): 398-401.
- [23] 高程海, 张荣灿, 许铭本, 等. 红树白骨壤果实中生物碱类化学成分研究[J]. 广西科学院学报, 2014, 30(2): 104-106.
- [24] 孙雪萍, 徐艳, 刘布鸣. 白骨壤果实抗菌活性部位筛选及低极性成分GC-MS分析[J]. 广西科学院学报, 2016, 32(4): 245-249.
- [25] 王何健, 易湘茜, 谢文佩, 等. 红树白骨壤果实中芳香脂类化学成分研究[J]. 广西科学, 2014, 21(3): 260-263.
- [26] 孙昱, 丁怡, 林文翰. 红树植物白骨壤化学成分的分离鉴定[J]. 北京大学学报(医学版), 2009, 41(2): 221-225.
- [27] Han L, Huang X, Dahse H M, et al. Unusual naphthoquinone derivatives from the twigs of *Avicennia marina* [J]. *J Nat Prod*, 2007, 70(6): 923-927.
- [28] 方旭波, 江波, 王晓嵒. 白骨壤酸性多糖的分离纯化及抗补体活性研究[J]. 林产化学与工业, 2006, 26(4): 100-104.
- [29] 方旭波, 陈小娥, 江波, 等. 白骨壤中性糖蛋白的分离鉴定及生物活性研究[J]. 林产化学与工业, 2008, 28(2): 27-32.
- [30] 方旭波, 江波, 陈小娥. 白骨壤酸性果胶多糖HAM-3-II b-II的结构分析[J]. 高等学校化学学报, 2010, 31(3): 492-496.
- [31] Pino J A, Marbot R, Aguero J, et al. Volatile components of red mangrove bark (*Rhizophora mangle* L.) from Cuba [J]. *J Essent Oil Res*, 2001, 13(2): 88-89.
- [32] Philippe J, Goeb P, Suvarnalatha G, et al. Chemical composition of *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) S. T. blake leaf oil from India [J]. *J Essent Oil Res*, 2002, 14(3): 181-182.
- [33] Azuma H, Toyota M, Asakawa Y, et al. Floral scent chemistry of mangrove plants [J]. *J Plant Res*, 2002, 115(1117): 47-53.

- [34] 姚贻烈, 郑 华, 陆小峰, 等. 白骨壤枝叶及其气生根挥发物的ATD-GC/MS联用分析[J]. 西部林业科学, 2015, 44(3): 170-174.
- [35] 郭先霞, 陶 震, 宋文东. 红树植物白骨壤树叶挥发油化学组成特点及气相色谱/质谱分析[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(1): 57-59.
- [36] 付金娥, 滕红丽, 郭力城. 微波消解-ICP-OES分析白骨壤果实中微量元素[J]. 药物分析杂志, 2015, 35(1): 41-45.
- [37] 孙雪萍, 徐 艳, 刘布鸣. 白骨壤果实抗菌活性部位筛选及低极性成分GC-MS分析[J]. 广西科学院学报, 2016, 32(4): 245-249.
- [38] 赵丰丽, 叶日娜, 孙国强. 白骨壤提取物抑菌活性研究[J]. 食品科技, 2010, 35(4): 182-185.
- [39] Bobbarala V, Vadlapudi V R, Naidu K C, et al. Antimicrobial potentialities of mangrove plant *Avicennia marina* [J]. *J Pharm Res*, 2009, 2(6): 1019-1021.
- [40] Dhayanithi N B, Balasubramanian T, Tissera K, et al. A study on the effect of using mangrove leaf extracts as a feed additive in the progress of bacterial infections in marine ornamental fish[J]. *J Coastal Life Med*, 2013, 1(3): 217-224.
- [41] 杨 维, 陈小雁, 周 浓, 等. 白骨壤叶水提液清除自由基作用的研究[J]. 农产品加工(学刊), 2009(12): 27-29.
- [42] 夏杏洲, 韩维栋, 杨 维, 等. 白骨壤叶总黄酮的超声辅助提取及抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 20-24.
- [43] 张 英, 吴晓琴, 丁霄霖. 黄酮类化合物结构与清除活性氧自由基效能关系的研究[J]. 天然产物研究与开发, 1998, (4): 26-33.
- [44] 杨 维, 夏杏洲, 韩维栋, 等. 白骨壤果实7种溶剂提取液的自由基清除作用[J]. 食品工业技, 2011, 32(6): 102-104, 106.
- [45] 易湘茜, 谢文佩, 颜栋美, 等. 白骨壤果实中抗氧化活性成分研究[J]. 广西科学院学报, 2014, 30(4): 253-256.
- [46] 周 桂, 谢贻冬, 吴丹丹, 等. 白骨壤蛋白提取工艺和体外抗氧化活性[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 91-97.
- [47] 王增涛, 金光洙. 天然来源萘醌类化合物抗肿瘤活性研究进展[J]. 中草药, 2008, 39(9): 1438-1442.
- [48] Kathiresan K, Ravindran V S, Muruganantham A. Mangrove extracts prevent the blood coagulate[J]. *Indian J Biotechnol*, 2006, 5(2): 252-254.
- [49] Zandi K, Taherzadeh M, Tajbakhsh S, et al. Antiviral activity of *Avicennia marina* leaf extract on HSV-1 and vaccine strain of polio virus in vitro cells[J]. *Int J Infect Dis*, 2008, 12(Suppl1): 298.
- [50] Zandi K, Taherzadeh M, Yaghoubi R, et al. Antiviral activity of *Avicennia marina* against herpes simplex virus type 1 and vaccine strain of poliovirus (an *in vitro* study) [J]. *J Med Plants Res*, 2009, 3(10): 771-775.