

- [95] 彭华斌, 周贤刚. 奇正消痛贴膏治疗颈型颈椎病的疗效及成本分析[J]. 基层医学论坛, 2010, 14(10): 289-292.
- [96] 周贤刚, 彭华斌. 奇正消痛贴膏结合牵引理疗治疗颈型颈椎病的疗效及成本分析[J]. 当代医学, 2010, 16(3): 15-17.
- [97] 赵晓. 奇正消痛贴膏联合脉冲磁疗治疗膝骨关节炎的疗效及成本分析[J]. 中国当代医药, 2011, 18(30): 137-139.
- [98] 李耿, 程煜华, 郭宇博, 等. 中药大品种科技竞争力报告(2017版)[J]. 中国现代中药, 2018, 20(1): 6-13.

13种茄属植物倍半萜类成分和药理活性研究进展

袁谱龙^{1,2,3}, 范秋领^{2,3}, 李言郡^{2,3*}, 吕圭源^{1*}

(1. 浙江中医药大学, 浙江杭州310053; 2. 杭州娃哈哈集团有限公司研究院, 浙江杭州310018;
3. 浙江省食品生物工程重点实验室, 浙江杭州310018)

摘要: 13种茄属植物包括白英、青杞、水茄、洋芋、假烟叶树、苘麻叶茄、欧白英、泰茄、刚果茄、多毛番茄、刺天茄、喀西茄和红花茄中含有多种多样的倍半萜类化学成分, 具有抗菌、抗肿瘤、抗炎等药理活性。本文通过对13种茄属植物中的倍半萜类化学成分和药理活性进行综述, 以期对全面了解其化学成分和相关药理作用的物质基础提供参考。

关键词: 茄属; 倍半萜; 抗肿瘤; 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(2020)02-0439-07

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2020.02.031

茄属植物为一年生或多年生草本、灌木、矮灌木及攀缘植物, 分布于热带和温带地区, 在全世界约有两千余种, 中国有39种和14个变种^[1]。其多拥有美丽的花朵及果实, 但很多带毒, 只有少数可供食用, 如番茄、马铃薯、茄子等。茄属植物中含有多种成分, 包括黄酮类、生物碱类、甾体类及有机酸等, 并表现出广泛的药理活性, 主要有抗肿瘤、抗病毒、抗菌、抗炎、降低心血管疾病等^[2-6]。

我国古籍对茄属植物也有记载, 《神农本草经》中记载白英乃上品草药, 全草皆可药用, 具有化痰消肿、清热解毒、祛风利湿的功效^[7]。《本草纲目》中记载白英治风疹、丹毒、瘴疟。用白英煮汁饮服。目赤头旋(风热上攻、眼花面肿)^[8]。2015年版《中国药典》记载了养正消积胶囊和紫龙金片成方制剂中也添加了茄属植物白英^[9]。《昆明民间常用草药》记载了刺天茄的功效为治将要出头的疮毒, 采用刺天茄叶、果晒干研末, 加重楼粉, 蜂蜜调匀外敷^[10]。《滇南本草》也记载了刺天茄, 即天茄子。味苦、甘, 性寒。治牙齿疼, 为末搽之即愈。疗脑漏鼻渊、祛风、止头痛、除风邪^[11]。《广西药植名录》则记载水茄具有活血散瘀止痛、解毒消肿、补虚止咳。治跌打瘀痛、腰肌劳损、咳血、痧症、胃痛、疔疮、痈肿^[12]。

倍半萜类成分为基本骨架15个碳原子, 即3个异戊二烯单位构成, 经环化、重排、移位等可衍生生成各种碳架类型。倍半萜类的骨架类型及化合物数量是萜类成分中最多的一类, 在植物体内常以醇、酮、内酯等形式存在, 多数存在于脂溶性部位。倍半萜类成分是天然产物中一类非常重要的成分, 比如青蒿中的青蒿素属于倍半萜过氧化物, 它的发现为人类在抗疟疾药物开发作出了巨大贡献^[13]。鹰爪甲素是从草药鹰爪根中分离的倍半萜化合物, 对鼠疟原虫的生长有强的抑制作用^[14]。棉酚是从棉籽中分离的一种倍半萜类成分, 棉籽中含有量约0.5%, 在棉的茎叶中也有, 为一种可以杀精的黄色色素, 已被制成避孕药物^[15]。有学者从国产马桑中分离出马桑毒素倍半萜化合物, 已经临床用于治疗精神分裂症^[16-17]。 α -白檀醇存在于白檀木中, 属于三环倍半萜, 具有强大的抗菌作用, 用于尿道消毒药^[18]。

目前倍半萜类物质在化学结构鉴定中存在许多难点, 比如, 骨架种类繁多, 构型复杂, 绝对构型难以确定等。白英 *Solanum lyratum*、青杞 *Solanum septemlobum*、水茄 *Solanum torvum*、洋芋 *Solanum tuberosum*、假烟叶树 *Solanum erianthum*、苘麻叶茄 *Solanum abutiloides*、欧白英 *Solanum*

收稿日期: 2019-01-30

基金项目: 国家“重大新药创制”科技重大专项(2014ZX09301307-013)

作者简介: 袁谱龙(1988—), 男, 博士, 研究方向为中药药效学。E-mail: yuanpulong@wahaha.com.cn

*通信作者: 李言郡(1969—), 男, 教授, 高级工程师, 研究方向为功能性食品开发。Tel: (0571) 86796090, E-mail: lyj@wahaha.com.cn

吕圭源(1954—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药药理。Tel: (0571) 86613601, E-mail: lv_gy@263.com

dulcamara、泰茄 *Solanum trilobatum*、刚果茄 *Solanum aethiopicum*、多毛番茄 *Solanum habrochaites*、刺天茄 *Solanum indicum*、喀西茄 *Solanum khasianum*、红花茄 *Solanum schimperi-anum* 等茄属植物除了含有上述的黄酮类、生物碱类、甾体类及有机酸等成分，还有较多倍半萜类成分。目前分离出倍半萜类化合物有近百种，包括无环倍半萜，单环倍半萜中的金合欢烷型，双环倍半萜中的香根螺旋型和桉叶烷型，此外还有从水茄中首次发现的愈创木烷型倍半萜。白英、青杞和水茄等茄属植物中倍半萜类成分也表现出多种药理活性。为了能够全面认识上述茄属植物中倍半萜类化学成分和相关的药理活性，本文拟对上述 13 种茄属植物中的倍半萜化学成分及药理活性进行综述。

1 倍半萜类化学成分

1.1 无环倍半萜 目前从茄属植物中只分离得到了 1 个无环倍半萜，Engstrom 等^[19]从马铃薯块茎中分离得到 5 个倍半萜类化合物，其中 farnesol (1) 为一种无环倍半萜类化合物，结构见图 1。



图 1 无环倍半萜结构

1.2 单环倍半萜 目前从茄属植物中分离得到了 7 个单环倍半萜，大多数为金合欢烷型，Engstrom 等^[19]从马铃薯块茎中分离到 1 个单环倍半萜 abscisic acid (2)。Yan 等^[20]从白英中分离得到了 dehydrovomifoliol (3) 和 blumenol A (4) 2 个金合欢烷型倍半萜。岳喜典等^[21]从白英中分离得到了 10 个倍半萜类化合物，其中 boscialin、blumenol C、3β-hydroxy-5α, 6α-epoxy-7-megastigmen-9-one 和 grasshopper ketone 为 4 个单环倍半萜 (5~8)。此类倍半萜的结构变化发生在 3、4、5 和 6 位。3 位主要的变化在于形成羰基或者羟基，以及形成羟基的构型不一样。4 和 5 位的不同结构区别在于是否具有双键的形成，5 位上的甲基构型不一样。6 位上的支链异戊烯基具有不同的取代方式。化合物 8 具有支链碳结构具有丙二烯结构，比较少见，结构见图 2。

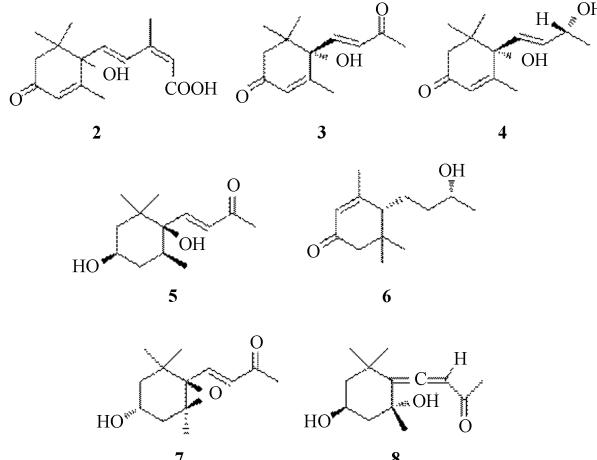


图 2 单环倍半萜结构

1.3 芳香型倍半萜和香根螺旋型倍半萜 Yan 等^[20]从白英中分离得到了 1 个形成苯环的倍半萜 lytatol D (9)。Chen 等^[22]从 *Solanum erianthum* 中分离出 solafuranone (10) 和 lycifuranone A (11)，另外 Yao 等^[23]从白英中分离得到 2 个新的芳香性倍半萜 solajiangxin B (12) 和 solajiangxin C (15)。Zhang 等^[24]从青杞中分离到了 2 个芳香类倍半萜 septemlobin A (13) 和 septemlobin B (14)。芳香类倍半萜结构主要特点在于苯环上取代基的个数、种类和位置的不同。

香根螺旋型倍半萜是从茄属植物中分离得到化合物数量最多的类型，共整理了 37 个化合物。该类倍半萜是螺环化合物，其结构特点为 1 个六元环和 1 个五元环通过 1 个螺原子相连而成。Desjardins 等^[25]从马铃薯中分离得到 7 个香根螺旋型倍半萜 isolubimin15-dihydrolubimin、2-dehydrolubimin isolubimin、3, 4-dehydroisolubimin、cyclodehydroisolubimin、cyclolubimin 和 11, 12-epoxycyclodehydroisolubimin (16~21) 和 15-dihydrolubiminol (45)，其中 cyclodehydroisolubimin、cyclolubimin 和 11, 12-epoxycyclodehydroisolubimin 3 个化合物是 4 位和 15 位碳原子与氧原子相连成醚。Chen 等^[16]从 *Solanum erianthum* 中分离出 4 个香根螺旋型倍半萜 (+)-anhydro-β-rotunol (22)、solanerianone A、solanerianone B、(-)-solavetivone (24~26)。Yuan 等^[26~27]从水茄中分离得到 5 个香根螺旋型倍半萜，其中有 1 个是新化合物 spiro [4.5] deca-6, 9-dien-8-one, 7-hydroxy-6, 10-dimethyl- (1-methylethenyl) (23)、13-hydroxysolavetivone (27)、2- (1', 2'-dihydroxy-1'-methylethyl) -6, 10-dimethyl-9-hydroxyspiro [4, 5] dec-6-en-8-one (30)、soltorvum C (32)、spiro [4.5] deca-6, 9-dien-8-one, 2- [(1S or R) -1, 2-dihydroxy-1-methylethyl] -6, 10-dimethyl (51)。Engstrom 等^[19]从马铃薯块茎中分离得到 2 个该类化合物 2- (1', 2'-dihydroxy-1'-methylethyl) -6, 10-dimethyl-spiro [4, 5] dec-6-en-8-on (28) 和 2'-O-13-D-glucopyranoside (29)。Nagaoka^[28]、Watanabe^[29] 和 Nagase 等^[30]均开展了 *Solanum aethiopicum* 中倍半萜的研究，共从中分离得到 13 个香根螺旋型倍半萜，包括 3-hydroxysolavetivone (31)、13-hydroxysolavetivone (33)、anhydro-β-rotunol (34)、lubimin (36)、lubiminoic (37)、lbiminol (38)、deformyllubimin (39)、15-norlubimionl (40)、aethione (41)、lubiminol (42)、epilubimin (43)、epilubiminoic acid (44) 和 15-norepilubimionl (46)。另外，Toshiyuki 等^[31]从 *Solanum abutiloides* 分离到 3-β-acetoxyso-lavetivone (35)。Yao 和 Li 等^[23, 32]从白英中分离得到 4 个香根螺旋型倍半萜，包括 solajiangxin E (47)、2-hydroxysolajiangxin E (48)、solajiangxin I (49)、7-hydroxysolajiangxin I (50)。该类化合物的主要特点六元环上取代基的不同以及环内是否形成双键及双键的个数，和烯丙基团不同氧化等等，结构见图 3~4。

1.4 桉烷型倍半萜 桉烷型倍半萜是茄属植物中比较常见

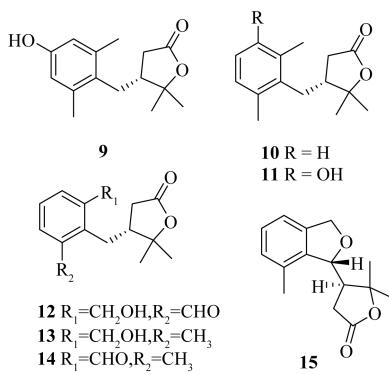


图3 芳香型倍半萜结构

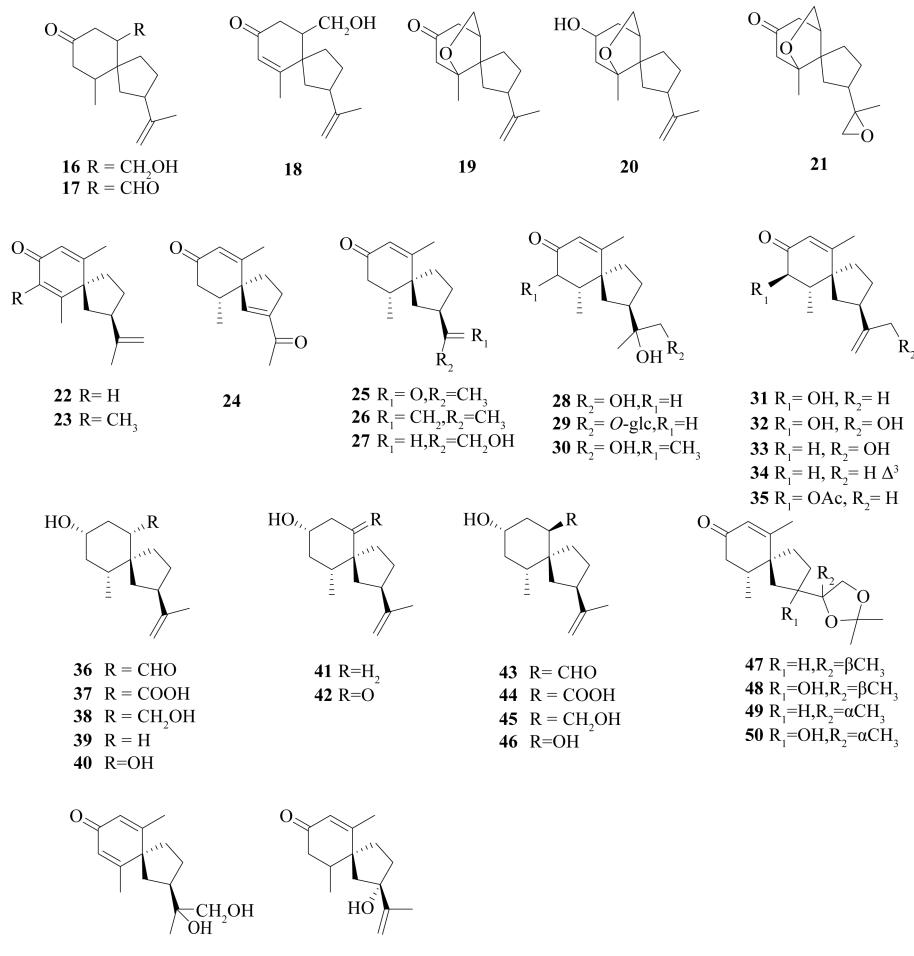


图4 香根螺烷型倍半萜结构

(54)、soltorvum F (63)、soltorvum A (73)、soltorvum B (74)、3β, 11-dihydroxy-4, 14-oxideenantioeudesmane (75)和isopterocarbolone (76)。

聂秀萍和Zhang等^[38-39]从青杞中分离得到5个该类型化合物, 分别为nardoeudesmol A (56)、ligucyperonol (68)、lyratol B (69)、septemlobin D (71)和11, 12-O-isopropylidenesolajiangxin F (72)。该类化合物最常见的变化在于环外羟基的位置不同, 环内双键的位置变化, 以及11, 12位双键及双键是否氧化等。结构见图5。

的一类, 主要从白英和水茄中分离得到, 共整理了24个化合物。Engstrom等^[19]从马铃薯块茎中分离到1个桉烷型倍半萜lytanol C (53)。Yao, Li, Nie, Yu, Dai等^[33-37]从白英中分离出10个桉烷型倍半萜, 包括solajiangxin D (55)、solajiangxins F (59)、solajiangxins G (60)、dehydrocarisnone (61)、lyratol G (62)、solajiangxins A (64)、1β-hydroxy-1, 2-dihydro-α-santonin (65)、lyratol A (66)、attractenolide I (67)、solajiangxin H (70)。Desjardins等^[25]从马铃薯中分离出rishitin (57)、11, 12-epoxyrishitin (58)。Yuan等^[26]从水茄的乙酸乙酯部位和石油醚部分分离得到6个此类化合物, 包括pterodontriol A

1.5 愈创木烷型倍半萜 愈创木烷型倍半萜为一种三元环类倍半萜, 由1个五元环、1个七元环和一个三元环构成, 在自然界属于常见的倍半萜。Yuan等^[26-27]从水茄中首次分离得7个愈创木烷型倍半萜, 包括10β, 13, 14-trihydroxyalloaromadendrane (77)、10β, 12, 14-trihydroxyalloaromadendrane (78)、soltorvum D (79)、soltorvum E (80)、10β, 14-dihydroxy-allo-aromadendrane (81)、1β, 10β, 12, 14-tetrahydroxy-allo-aromadendrane (82)、1β, 10β, 13, 14-tetrahydroxy-allo-aromadendrane (83)。结构见图6。

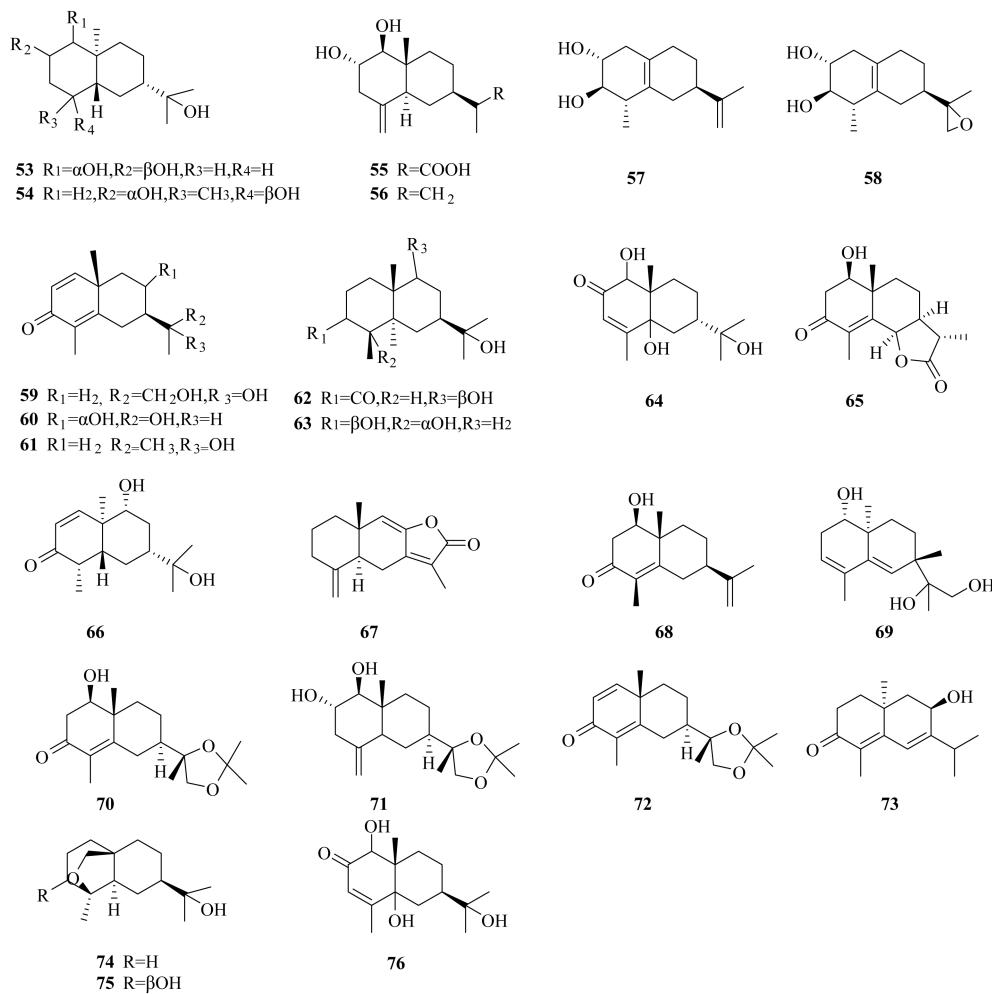


图5 桉叶烷型倍半萜结构

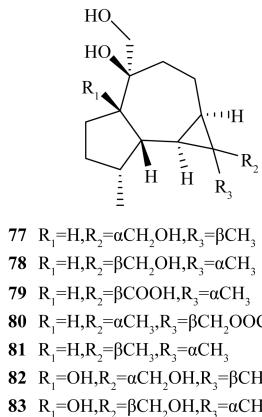


图6 愈创木烷型倍半萜结构

1.6 倍半萜苷 Prabodha 等^[40]从茄属植物多毛番茄中分离出4个倍半萜苷类化合物, 分别为2-O-(6'-O-malonyl-β-D-glucopyranosyl), 12-O-(b-D-glucopyranosyl)-camphenenane-2-endo, 12-diol (84)、12-O-(6'-O-malonyl-β-D-glucopyranosyl)-camphenenane-2-endo, 12-diol (85)、2, 12-bis-O-(β-D-glucopyranosyl)-camphenenane-2-endo, 12-diol (86)、12-O-(6"-O-acetyl-b-D-glucopyranosyl- (1→2)-b-D-

glucopyranosyl)-camphenenane-2-endo, 12-diol (87), 结构见图7。

1.7 奥类倍半萜 Al-Oqail 等^[41]进行了红花茄的化学成分研究, 分离得到3个奥类倍半萜化合物, 分别为teferidin (88)、teferin (89)、ferutinin (90), 结构见图8。

2 药理活性

茄属植物在抗肿瘤、抗菌和抗炎方面都具有良好的药理活性, 这些药理活性和茄属植物中的倍半萜成分具有很大关系。

2.1 抗菌作用 Watanabe 等^[30]从刚果茄中分离出了10个香根螺旋型倍半萜, 并研究了该类物质的抗菌活性, 结果表明许多香根螺旋型倍半萜具有明显抑制香蕉枯萎病菌、大丽轮枝病菌和假单胞菌的活性。Toshiyuki 等^[31]从 *Solanum abutiloides* 中分离出4个香根螺旋型倍半萜, 结果发现3-β-acetoxy solavetivone 的抗尖孢镰刀菌的效果等同于 lubimin, 却要强于 solavetivone。Komaraiah 等^[42]研究了增强马铃薯中倍半萜类的抗菌作用。Nagaoka 等^[28]从茄属植物 *Solanum aethiopicum* 的根渗出液中分离得到一系列倍半萜类化合物, 并进行了孢子萌发实验, 以 lubimin 和 epilubimin 为对照品研究化合物的抗真菌作用, 结果表明倍半萜类化

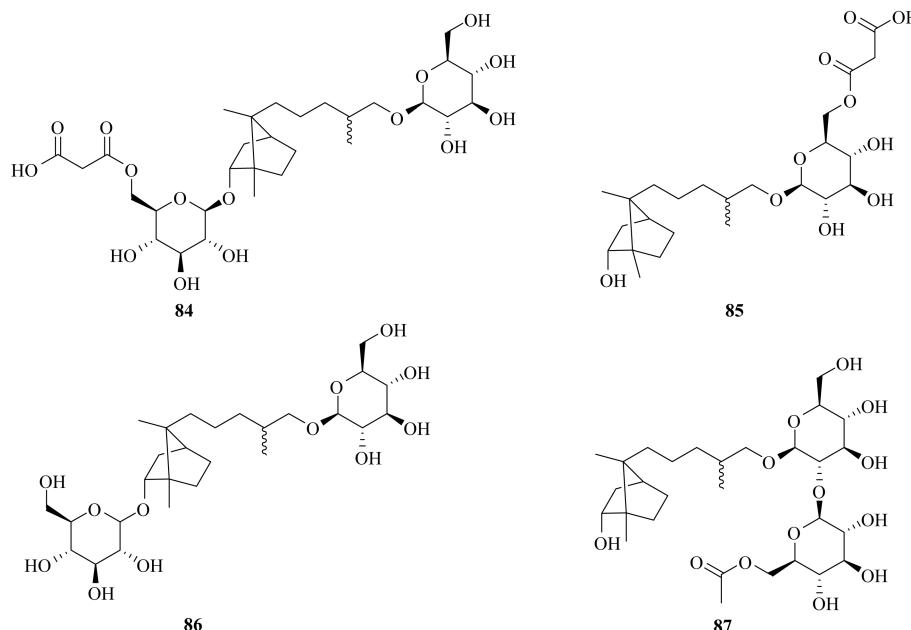


图7 倍半萜类结构

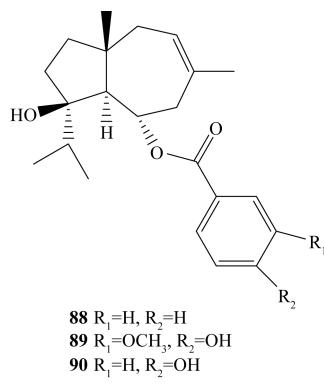


图8 奥类倍半萜类结构

合物对2种真菌芽孢的生长均有抑制作用，但抑制强弱不同，经研究分析认为异丙烯基团是抑制轮枝菌芽孢生长的主要因素。

2.2 抗肿瘤作用 茄属植物中的倍半萜类成分在抗肿瘤方面的研究较多，许多化合物在抗肿瘤方面表现出非常突出的药理活性。Ren等^[20]从茄属植物白英中分离得到lyratol C和lyratol D2个新的倍半萜以及dehydromifolol和blumenol A2个已知倍半萜类化合物，并且在体外评价了其对Hone-1鼻咽癌、口腔上皮癌，和HT29结肠癌细胞的抑制作用，均表现出较强的细胞毒性，其IC₅₀值在3.7~8.1 μmol/L之间。Li等^[32]同样从茄属植物白英中分离得到solajiangxins F、G、H、I和7-hydroxylsolajiangxin I 5个新的倍半萜，并且评价了化合物对Hone-1鼻咽癌、P388，和HT29结肠癌细胞的抑制作用，均表现出较强的细胞毒性，其IC₅₀值均在3.2~7.7 μmol/L之间。Nie等^[35]同样从茄属植物白英中分离得到lyratol G和1b-hydroxy-1, 2-dihydro-a-santonin2个桉叶烷型倍半萜，并且评价了化合物对Hone-1鼻咽癌、P388，和HT29结肠癌细胞的抑制作用，均表现出较强的细

胞毒性，其IC₅₀值均在3.1~6.9 μmol/L之间。Yao等^[33]从茄属植物白英中分离得到3个桉叶烷型倍半萜，分别为solajiangxins A, B和C并且评价了化合物对Hone-1鼻咽癌、P388，和HT29结肠癌细胞的抑制作用，均表现出较强的细胞毒性，其IC₅₀值均在1.9~3.7 μmol/L之间。张雷等^[43]青杞中分离了多种倍半萜类成分，对其中的青杞素A、青杞素B、青杞素、11, 12-O-isopropylidenesolajiangxi F、(13~14, 70~71)进行了抗肿瘤活性筛选，显示其有良好的抗淋巴瘤P-388胞、人体咽癌细胞HONE-1细胞及结肠癌细胞HT-29细胞活性，IC₅₀值为1.5~3.8 μmol/L。Syu等^[44]从刺天茄中分离出solavetivone和solafluranone，并且对solavetivone进行细胞毒实验，结果显示其对人卵巢癌OVCAR-3细胞株有良好的细胞毒活性，IC₅₀值为0.1 mmol/L。研究表明茄属植物中许多倍半萜类化合物在抑制肿瘤细胞方面表现出较好活性，且大多数为桉烷型倍半萜。

2.3 抗炎作用 Chen等^[22]从茄属植物假烟叶树的根中分离得到2个新的倍半萜以及9个已知的倍半萜，研究结果表明(-)-solavetivone对LPS诱导的RAW264.7细胞中NO的生成具有很强的抑制作用，IC₅₀值为65.54 μmol/L。Kang等^[45]采用2, 4-二硝基氯苯诱导小鼠局部，产生特应性皮炎(AD)样皮肤，研究洋芋提取物对损伤的皮肤皮炎的抑制作用，结果表明提取物可通过调节Th1和Th2抑制AD症状的发展。Lee等^[46]研究了Solanum tuberosum氯仿提取物对脂多糖(LPS)诱导的RAW 264.7巨噬细胞和葡聚糖小鼠的抗炎作用的机制，该提取物能显著降低结肠炎的严重程度以及结肠组织中促炎介质的产生和蛋白质水平。结果表明，CFPJ的抗炎作用与巨噬细胞中NF-κB和p38活化的抑制有关，并支持其治疗结肠炎的可能治疗作用。Jarald等^[47]研究了Solanum khasianum乙醇提取物的抗炎作用，在角叉菜胶诱导的大鼠后爪水肿方法中分别以200、300、400

mg/kg 的 3 个剂量水平测试抗炎活性，双氯芬酸钠（100 mg/kg）用作参考标准。与对照组比较，植物提取物 ($P < 0.01$) 减少了大鼠的炎症。黄庆芳等^[48]对水茄提取物的不同组分的抗炎作用进行了研究，醇提物对急性炎症具有明显的抑制作用，氯仿层能有效的抑制慢性炎症组织增生和组织液渗出。Yuan 等^[26]首次从水茄中分离多种倍半萜类成分，其中 soltorvum A、soltorvum E、13-hydroxysolavetivone、spiro [4.5] deca-6, 9-dien-8-one, 7-hydroxy-6, 10-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-, (2R-trans) - (9CI) 和 solavetivone 对 ConA 诱导的脾细胞增殖具有一定的抑制作用，而炎证有可能是体内免疫反应异常，造成组织和细胞的损伤，进而说明上述化合物可能存在抗炎活性。

3 小结

倍半萜是自然界中分布广泛的一类次级代谢产物，结构种类繁多并且具有多种药理活性。许多化合物在抗肿瘤、抗菌方面表现出较好的活性，特别是香根螺旋型和桉烷型倍半萜，同时也是十几种茄属植物中发现最多的两类。且几种植物的脂溶性部分已经具有较好的抗炎作用，也有倍半萜的单体化合物表现出抗炎作用。课题组应进一步从上述茄属植物或其他茄属植物中发掘更多且结构新颖的倍半萜类化合物，期许能够找到更好的抗菌、抗肿瘤的高效小分子药物。此外应加强倍半萜类化合物的其他药理活性的筛选，扩大该类成分的应用范围。

参考文献：

- [1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1978: 70-119.
- [2] Friedman M, Lee K R, Kim H J, et al. Anticarcinogenic effects of glycoalkaloids from potatoes against human cervical, liver, lymphoma and stomach cancer cells [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(15): 6162-6169.
- [3] Arthan D, Snasti J, Kittakoop P, et al. Antiviral isoflavanoid sulfate and steroid glycosides from the fruits of *Solanum torvum* [J]. *Phytochemistry*, 2002, 59(4): 459-463.
- [4] Kumar P, Sharma B, Bakshi N. Biological activity of alkaloids from *Solanum dulcamara L* [J]. *Nat Prod Res*, 2009, 23(8): 719-723.
- [5] Pandurangan A, Khosa R L, Hemalatha S. Antinociceptive activity of steroid alkaloids isolated from *Solanum trilobatum* Linn [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2010, 12(8): 691-695.
- [6] Friedman M, Fitch T E, Yokoyama W R. Lowering of plasma LDL cholesterol in hamsters by the tomato glycoalkaloid tomatine [J]. *Food Chem Toxicol*, 2000, 38(7): 549-553.
- [7] 张宁. 中草药白英中常见化学成分分析方法的研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2007.
- [8] 臧雅丽. 白英抗肿瘤活性成分研究 [D]. 北京: 中国中医科学院西苑医院, 2008.
- [9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015 年版一部 [S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 1277.
- [10] 昆明市卫生局. 昆明民间常用草药 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1970: 120.
- [11] 兰茂, 于乃义, 于兰馥. 滇南本草 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004: 258.
- [12] 汤建平. 金纽扣的化学成分及紫外鉴别研究 [D]. 广州: 广东药学院, 2010.
- [13] 李国桥, 郭兴伯, 符林春. 青蒿素抗疟研究的不断追求: 快速消灭疟疾——纪念执行“523”任务 50 周年 [J]. 广州中医药大学学报, 2017, 34(3): 303-307; 299.
- [14] 梁晓天, 于德泉, 吴伟良, 等. 鹰爪甲素的化学结构 [J]. 化学学报, 1979, 37(3): 215-230.
- [15] 李勇. 棉酚类似物的设计、合成与生物活性的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2011.
- [16] 郭亮, 谢扬高, 柴慧霞. 马桑内酯在大鼠离体海马脑片上引起的癫痫样放电活动 [J]. 华西医科大学学报, 1990, 21(1): 50-53.
- [17] 邹晓毅, 曾红, 郑洪波, 等. 马桑内酯对大鼠海马锥体神经细胞内钙稳态的影响 [J]. 华西医科大学学报, 2002, 33(3): 379-380; 420.
- [18] 王宁辉. 白檀化学成分及其生物活性研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2015.
- [19] Engstrom K, Widmark A K, Brishammar S, et al. Antifungal activity to phytophthora infestans of sesquiterpenoids from infected potato tubers [J]. *Potato Res*, 1999, 42(1): 43-50.
- [20] Ren Y, Shen L, Zhang D W, et al. Two new sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* with cytotoxic activities [J]. *Chem Pharm Bull*, 2009, 57(4): 408-410.
- [21] 岳喜典, 姚芳, 张雷, 等. 白英中的倍半萜类化合物 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(3): 453-456.
- [22] Chen Y C, Lee H Z, Chen H C, et al. Anti-inflammatory components from the root of *Solanum erianthum* [J]. *Int J Mol Sci*, 2013, 14(6): 12581-12592.
- [23] Yao F, Song Q L, Zhang L, et al. Solajiangxins A-C, three new cytotoxic sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* [J]. *Fitoterapia*, 2013, 89: 200-204.
- [24] Zhang L, Li G S, Yao F, et al. Three new sesquiterpenoids from *Solanum septemlobum* with cytotoxic activities [J]. *Phytochem Lett*, 2015, 11: 173-176.
- [25] Desjardins A E, Gardner H W, Weltring K M. Detoxification of sesquiterpene phytoalexins by gibberella pulicaris (*Fusarium sambucinum*) and its importance for virulence on potato tubers [J]. *J Ind Microbiol*, 1992, 9(3-4): 201-211.
- [26] Yuan P L, Wang X P, Jin B L, et al. Sesquiterpenes with immunosuppressive effect from the stems of *Solanum torvum* [J]. *Phytochem Lett*, 2016, 17: 126-130.
- [27] Yuan P L, Guo F J, Zheng K K, et al. Nine sesquiterpenes from *Solanum torvum* [J]. *Nat Prod Res*, 2016, 30 (15): 1682-1689.
- [28] Nagaoka T, Goto K, Watanabe A, et al. Sesquiterpenoids in root exudates of *Solanum aethiopicum* [J]. *Z Naturforsch C*, 2001, 56(9-10): 707-713.
- [29] Watanabe A, Toshima H, Nagase H, et al. Structural confirmation of 15-norlubiminol and 15-norepilubiminol, isolated from

- Solanum aethiopicum*, by chemical conversion from lubimin and epilubimin, and their antifungal activity [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2001, 65(8): 1805-1811.
- [30] Nagase H, Nagaoka T, Watanabe A, et al. Sesquiterpenoids from the roots of *Solanum aethiopicum* [J]. *Z Naturforsch C*, 2001, 56(3-4): 181-187.
- [31] Yokose T, Katamoto K Z, Park S, et al. Anti-fungal sesquiterpenoid from the root exudate of *Solanum abutiloides* [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2004, 68(12): 2640-2642.
- [32] Li G S, Yao F, Zhang L, et al. New sesquiterpenoid derivatives from *Solanum lyratum* and their cytotoxicities [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2014, 16(2): 129-134.
- [33] Yao F, Song Q L, Zhang L, et al. Three new cytotoxic sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* [J]. *Phytochem Lett*, 2013, 6: 453-456.
- [34] Li G S, Yao F, Zhang L, et al. Two new cytotoxic sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* [J]. *Chin Chem Lett*, 2013, 24(11): 1030-1032.
- [35] Nie X P, Yao F, Yue X D, et al. New eudesmane-type sesquiterpenoid from *Solanum lyratum* with cytotoxic activity [J]. *Nat Prod Res*, 2014, 28(9): 641-645.
- [36] Yu S M, Kim H J, Woo E R, et al. Some sesquiterpenoids and 5 α , 8 α -epidioxysterols from *Solanum lyratum* [J]. *Arch Pharm Res*, 1994, 17(1): 1-4.
- [37] Dai S J, Shen L, Ren Y. Two new eudesmane-type sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* [J]. *Nat Prod Res*, 2009, 23(13): 1196-1200.
- [38] 聂秀萍, 张雷, 姚芳, 等. 青杞中的倍半萜类化合物 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(8): 1514-1517.
- [39] Zhang L, Lin H Q, Li G S, et al. New sesquiterpenoid derivatives from *Solanum septemlobum* with cytotoxicities [J]. *Nat Prod Res*, 2015, 29(20): 1889-1893.
- [40] Prabodha E A, Li C, Jones A D. Sesquiterpenoid glycosides from glandular trichomes of the wild tomato relative *Solanum habrochaites* [J]. *Phytochemistry*, 2014, 98: 223-231.
- [41] Al-Oqail M, Hassan W H, Ahmad M S, et al. Phytochemical and biological studies of *Solanum schimperianum* hochst [J]. *Saudi Pharm J*, 2012, 20(4): 371-379.
- [42] Komaraih P, Reddy G V, Reddy P S, et al. Enhanced production of antimicrobial sesquiterpenes and lipoxygenase metabolites in elicitor-treated hairy root cultures of *Solanum tuberosum* [J]. *Biotechnol Lett*, 2003, 25(8): 593-597.
- [43] 张雷. 青杞倍半萜的化学及抗肿瘤活性研究 [D]. 烟台: 烟台大学, 2015.
- [44] Syu W J, Don M J, Lee G H, et al. Cytotoxic and novel compounds from *Solanum indicum* [J]. *J Nat Prod*, 2001, 64(9): 1232-1233.
- [45] Kang M, Choung S Y. *Solanum tuberosum* L. cv Hongyoung extract inhibits 2, 4-dinitrochlorobenzene-induced atopic dermatitis in NC/Nga mice [J]. *Mol Med Rep*, 2016, 14(4): 3093-3103.
- [46] Lee K G, Lee S G, Lee H J, et al. α -Chaconine isolated from a *Solanum tuberosum* L. cv jayoung suppresses lipopolysaccharide-induced pro-inflammatory mediators via AP-1 inactivation in RAW 264.7 macrophages and protects mice from endotoxin shock [J]. *Chem-Biol Interact*, 2015, 235: 85-94.
- [47] Jarald E E, Edwin S, Saini V et al. Anti-inflammatory and anthelmintic activities of *Solanum khasianum* Clarke [J]. *Nat Prod Res*, 2008, 22(3): 269-274.
- [48] 黄庆芳, 冯承恩, 房志坚, 等. 金纽扣提取物的抗炎作用及有效部位探讨 [J]. 中药材, 2012, 35(3): 462-464.