

综述评论

## 脱氢枞酸芳环改性的研究进展



GAO Hong

高宏, 宋湛谦\*, 商士斌

(中国林业科学研究院林产化学工业研究所; 生物质化学利用国家工程实验室; 国家林业局林产化学工程重点开放性实验室; 江苏省生物质能源与材料重点实验室, 江苏 南京 210042)

**摘要:** 脱氢枞酸是由歧化松香分离提纯得到的一种树脂酸, 芳环是其特征结构, 同其它芳香族化合物一样, 可以进行多种亲电取代反应, 合成抑菌剂、抗氧化剂、荧光衍生试剂等。本文全面综述了近10年对脱氢枞酸芳环的改性研究, 主要包括傅克反应、溴代、硝化等亲电取代反应, 以及基于硝化取代产物合成含氮杂环、芳胺和酚、醌等系列衍生物, 并展望了未来的改性研究趋势。

**关键词:** 脱氢枞酸; 芳环; 改性研究

中图分类号: TQ351

文献标识码: A

文章编号: 0253-2417(2011)05-0109-08

## Progress on Modification Research Based on Aromatic Ring of Dehydroabietic Acid

GAO Hong, SONG Zhan-qian, SHANG Shi-bin

(Institute of Chemical Industry of Forestry Products, CAF; National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization; Key and Open Lab. on Forest Chemical Engineering, SFA; Key Lab. of Biomass Energy and Material, Jiangsu Province, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** Dehydroabietic acid, the aromatic derivative of rosin, can be isolated from disproportionated rosin. Due to the presence of the aromatic ring, dehydroabietic acid could be a promising starting material for the synthesis of antibacterial agents, antioxidants, fluorescenc derivatizing reagents, and so on by introducing of suitable substituents into the molecule. The progress on modification research was reviewed based on aromatic ring of dehydroabietic acid in recent ten years, including electrophilic substitution reactions such as Friedel-Crafts reaction, bromation, nitration, and some derivatives of nitrogen heterocyclic, arylamine, phenol and quinone compounds synthesized via nitration. Finally, the future tendency of modification research based on aromatic ring of dehydroabietic acid is prospected.

**Key words:** dehydroabietic acid; aromatic ring; modification research

脱氢枞酸, 是一种具有三环菲骨架的二萜类一元树脂酸, 主要由歧化松香分离提纯得到。脱氢枞酸具有羧基和芳环两个特征功能基团, 通过改性, 可以合成几百种衍生物, 广泛应用于化工、食品、电子光学器件、生物农药及医药等领域。脱氢枞酸最大的特点在于骨架中芳环的存在, 它不但改善了枞酸型松香酸共轭双键的不稳定性, 而且像其它芳香族化合物一样可以进行多种亲电取代反应, 引进取代基或活性基团, 进而改变脱氢枞酸的物理化学性质, 奠定在芳环上进行进一步改造的基础。目前, 对于脱氢枞酸研究进展的报道主要集中在羧酸的改性应用、部分芳杂环的合成等<sup>[1-2]</sup>, 而对脱氢枞酸芳环改性的研究进展未见系统报道。本文对近10年来基于脱氢枞酸芳环的傅克反应、溴代、硝化等亲电取代反应, 以及对硝化取代产物进一步合成含氮杂环、芳胺和酚、醌等系列衍生物的研究进行全面综述。

收稿日期: 2011-03-22

基金项目: 林业公益性行业科研专项(200704008)

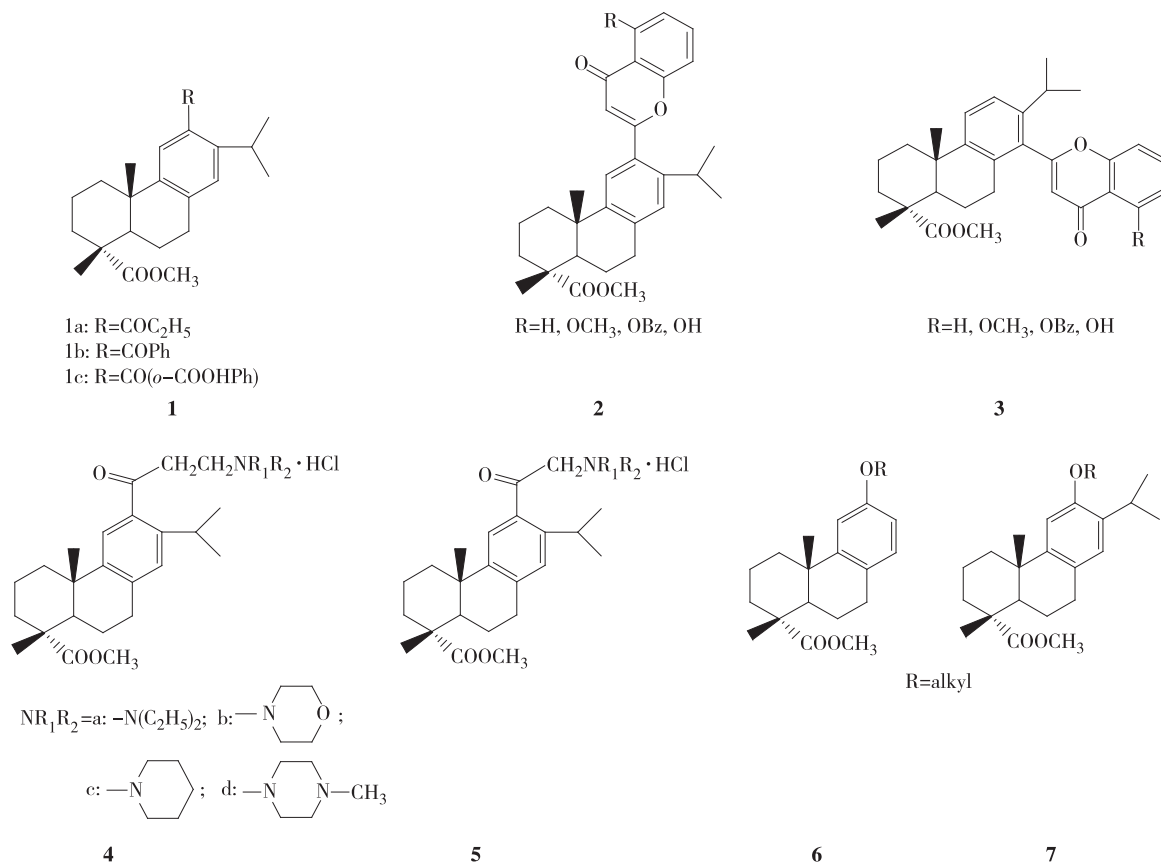
作者简介: 高宏(1970-), 女, 山东临朐人, 副研究员, 博士生, 主要从事松脂化学研究与利用

\* 通讯作者: 宋湛谦, 中国工程院院士, 研究员, 博士生导师, 主要从事天然产物化学研究; E-mail: songzq@hotmail.com。

## 1 傅克反应

脱氢枞酸可以发生傅克酰基化和傅克烷基化反应,常以活性较高的无水氯化铝为催化剂,反应温度和溶剂一般限制不大,室温下即可进行。早期的傅克反应是以硝基苯和二硫化碳为溶剂。为了避免苯、二硫化碳等有毒溶剂的使用,近年来国内外研究人员对脱氢枞酸在不同溶剂中的傅克反应进行了研究。2004年, Baleizao 等<sup>[3]</sup>在离子液体中合成了12-乙酰基脱氢枞酸甲酯(**1a**),该反应具有更快的速率和更高的选择性,且离子液体可以很方便地回收利用。2006年,许雪棠等<sup>[4]</sup>在离子液体中合成了12-苯甲酰基脱氢枞酸甲酯(**1b**)。2009年,韦瑞松等<sup>[5]</sup>以酸性离子液体[bmim]Br/AlCl<sub>3</sub>为溶剂和催化剂,通过脱氢枞酸甲酯与氯化苄的傅克烷基化反应,得到苄基脱氢枞酸甲酯(**1c**),转化率为47.7%,选择性为72.1%。2008年,刘陆智等<sup>[6]</sup>研究了不同酰基化试剂及不同溶剂条件下的傅克酰基化反应,指出当酰氯作为酰化试剂时,宜采用极性较小溶剂,苯酐作酰化试剂时,宜采用极性较大的溶剂。而对于脱氢枞酸的傅克酰基化反应以极性大的溶剂效果较好。

脱氢枞酸甲酯苯环上引入酰基后,可以对其进行进一步改造,合成黄酮类、12-酰基-胺化物盐酸盐以及12-烷氧基化合物等。Silvia 等<sup>[7]</sup>分别以12位和14位酰基取代产物为原料,与2-羟基-苯乙酮系列化合物发生醇醛缩合生成2-羟基查耳酮,然后查耳酮发生环氧化得到黄酮类化合物(**2,3**),由于14位位阻较大,故12位的反应产物(**2**)得率较高。2006年, Tolmacheva 等<sup>[8]</sup>将脱氢枞酸甲酯与乙酰氯、 $\beta$ -氯丙酸酰氯进行傅克酰基化反应,再溴代,然后与二乙胺、吗啉、哌啶或N-甲基-哌啶等仲胺进行胺基化,用气体氯化氢处理,得到55%~65%的系列脱氢枞酸甲酯12-酰基-胺化物盐酸盐衍生物(**4a~4d**及**5a~5d**),该系列衍生物的毒性和生物活性进行研究,表明**4a**具有镇静作用和较安乃近更好的退热性能。2008年, Cui 等<sup>[9-10]</sup>通过脱氢枞酸甲酯12位傅克酰基化反应、接着对酰基进行氧化、水解、烷基化等反应,生成系列12-烷氧基脱氢枞酸衍生物(**6,7**),并研究了它们作为钾通道开放剂的活性,为脱氢枞酸衍生物的应用开辟了新的渠道。



## 2 溴代

溴代脱氢枞酸衍生物是脱氢枞酸衍生物的重要组成部分,已被广泛用于合成功能型药物先导化合物的中间体及杂环化合物的重要原料。研究合成溴代脱氢枞酸衍生物的新体系、新方法,对于通过改造脱氢枞酸骨架来寻求新的功能型先导化合物具有重要的指导意义。

2008年,吴强等<sup>[11]</sup>分别以冰醋酸、N-溴代丁二酰亚胺(NBS)和 $\text{Br}_2\text{-MnO}_2$ 这3种方法合成12-溴脱氢枞酸和12-溴脱氢枞酸甲酯,并对反应的动力学和不同体系的反应时间、产率、选择性以及合成成本等进行探究。研究表明: $\text{Br}_2\text{-MnO}_2$ 法反应条件温和,操作简单,反应时间短,成本低,选择性好,产率较高(49.0%~66.7%),适合工业化。2010年,Gao等<sup>[12]</sup>直接以脱氢枞酸甲酯和NBS在乙腈溶剂中常温反应得到12-溴脱氢枞酸甲酯,得率为77.8%,并利用X衍射对其晶体结构进行解析。雷茜等<sup>[13]</sup>将12-溴代脱氢枞酸甲酯进一步硝化、氧化,得到7-羰基-12-溴-13-硝基脱异丙基脱氢枞酸甲酯,张业等<sup>[14]</sup>再利用12位的溴分别与苄基硫醇和巯基噻唑啉发生取代反应,合成了7-羰基-13-硝基-12-脱氢枞酸甲酯硫醚和7-羰基-12-噻唑啉硫基-13-硝基-脱异丙基脱氢枞酸甲酯。发现前者具有较好的自由基清除活性,且清除时间较短。

## 3 硝化

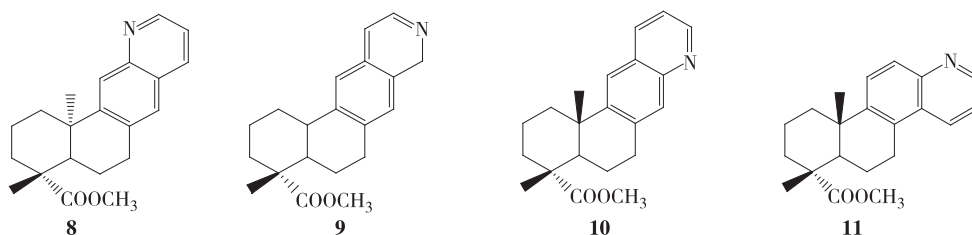
脱氢枞酸甲酯的硝化反应是向其芳环上引入含氮官能团的关键步骤,常用硝化试剂一般为硝酸-硫酸或硝酸-醋酐的混合溶液以及蒙脱土K10负载硝酸铜等。

2008年,高诚伟等<sup>[15]</sup>采用均匀设计方法深入研究了脱氢枞酸甲酯在 $\text{HNO}_3\text{-Ac}_2\text{O-AcOH}$ 体系中选择性硝化的反应条件。通过理论计算和实验验证获得脱氢枞酸甲酯选择性硝化的较优反应条件:硝酸和脱氢枞酸甲酯的质量比为3:1,溶剂乙酐与乙酸的体积比为7:1,反应温度为20℃,反应时间为60min。12-硝基脱氢枞酸甲酯和14-硝基脱氢枞酸甲酯的总产率由50%提高到84%,其中12-硝基脱氢枞酸甲酯和14-硝基脱氢枞酸甲酯的产率分别为64%和20%,二者的产率比约为3.1:1,12-硝基脱氢枞酸甲酯的反应产率和选择性都明显高于文献报道值。冯少波等<sup>[16]</sup>对12-溴代脱氢枞酸甲酯,经双硝化、氧化、脱异丙基硝化等步骤合成了一系列重要的脱氢枞酸甲酯卤代硝化衍生物,并对12-溴-13,14-二硝基脱氢枞酸甲酯的单晶进行了X射线衍射表征。

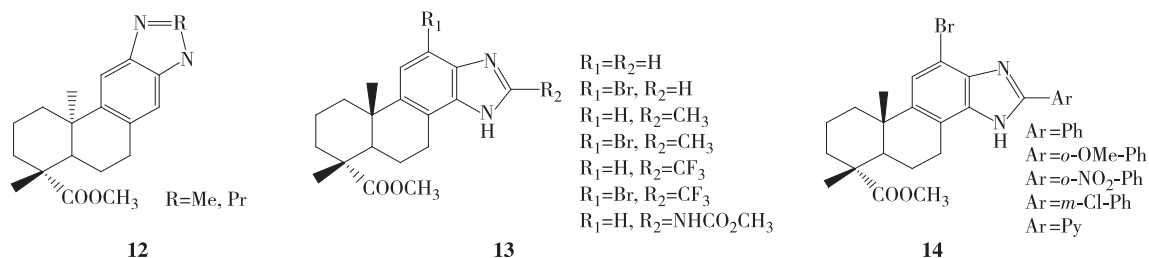
脱氢枞酸苯环上进行硝基取代后,大大增加了苯环的反应活性,可以进一步合成含氮杂环、芳胺、酚醌等化合物。

### 3.1 含氮杂环化合物

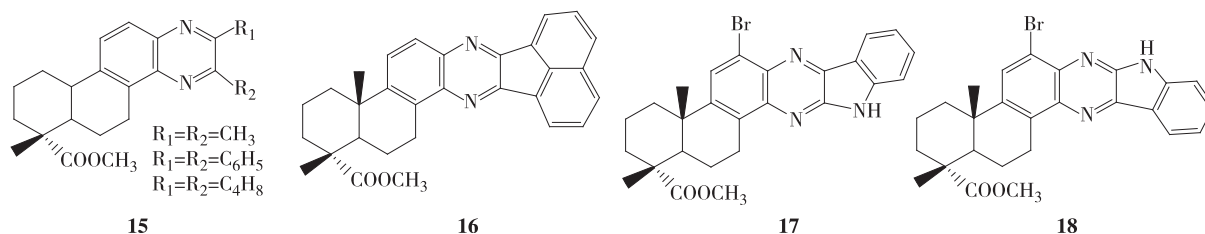
**3.1.1 喹啉** 日本学者早在1954年已合成了脱氢枞酸基喹啉衍生物,由于脱氢枞酸异丙基的位阻效应,产率仅为5%。此后脱氢枞酸基喹啉衍生物一直没有得到进一步研究。2005年,童碧海等<sup>[17]</sup>将脱氢枞酸酯化、脱异丙基、claycop催化硝化、加氢还原,得到12-氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯,进一步与甘油发生Skraup反应缩水环合,以71%的总产率得两种喹啉衍生物,因位阻影响,生成12,13位与11,12位两种产物(8,9)的产率分别为73.5%和26.5%,选择性明显。2007年,张业等<sup>[18]</sup>对12-溴-脱氢枞酸甲酯在13位选择性硝化后还原制得13-氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯,与甘油在浓硫酸作用下缩合制得两种松香基喹啉衍生物(10,11),产率分别为71.6%和28.4%。



**3.1.2 咪唑** 2001年, Fonseca等<sup>[19]</sup>首先在三氯化铝作用下脱去脱氢枞酸 C<sub>-13</sub>上的异丙基, 然后用 claycop 催化得到 12-硝基脱异丙基脱氢枞酸甲酯。采用一锅煮的方法制得 12-氨基脱氢枞酸甲酯和在 C<sub>-12</sub>发生酰基化和 C<sub>-13</sub>硝化的中间产物, 最后合成了 C<sub>-12</sub>、C<sub>-13</sub>菲并[2,3-d]咪唑类化合物(12), 初步活性检测结果显示该类化合物具有抗菌作用。2004年, Fonseca等<sup>[20]</sup>由 12-溴-13,14-二硝基脱异丙基脱氢枞酸甲酯还原为 12-溴-13,14-二氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯, 在 C<sub>-13</sub>、C<sub>-14</sub>上构建杂环合成了苯并咪唑系列化合物(13), 对抗细胞肥大病毒(CMV)和水痘一带状疱疹(VZV)具有抑制作用。2008年, 冯少波等<sup>[21]</sup>由 12-溴-13,14-二氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯, 与芳醛在二氧六环中反应, 合成了一系列脱异丙基脱氢枞酸基苯并咪唑衍生物(14), 发现具有相应的氯离子识别能力, 并对其结构与氯离子识别能力的关系进行了讨论。

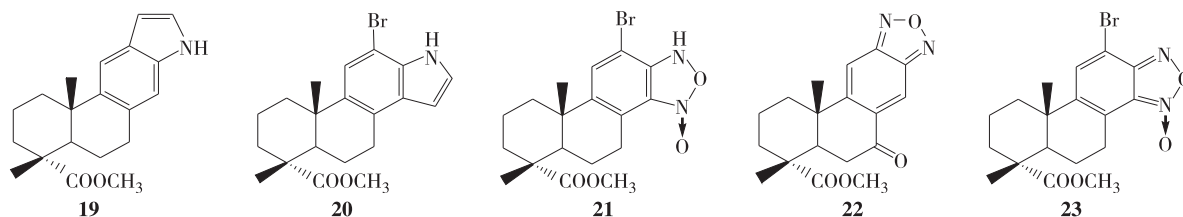


**3.1.3 喹啉** 2004年, Fonseca小组<sup>[20]</sup>由 12-溴-13,14-二硝基脱异丙基脱氢枞酸甲酯还原为 12-溴-13,14-二氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯, 与二酮在 C<sub>-13</sub>、C<sub>-14</sub>位上构建杂环合成了喹啉化合物(15)。李芳耀<sup>[22]</sup>将 13,14-二氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯与萘醌反应, 合成了喹啉(16); 12-溴-13,14-二氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯与吲哚醌反应, 合成了喹啉(17,18)。

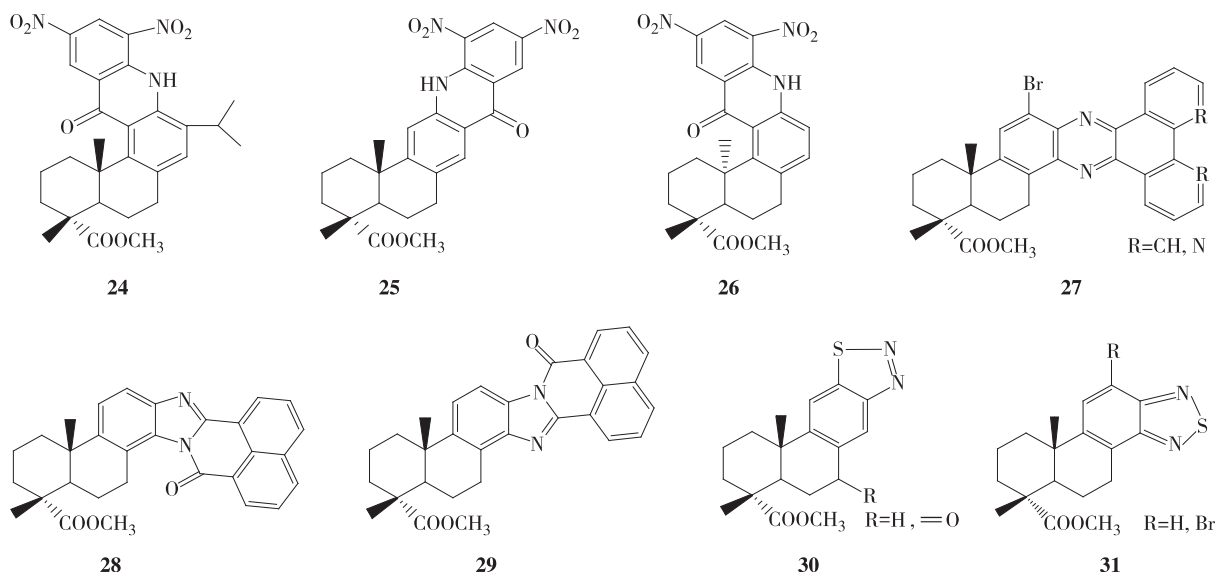


**3.1.4 吲哚** 2004年, Fonseca小组<sup>[20]</sup>由 12-溴-13-硝基脱异丙基脱氢枞酸甲酯通过还原、亲电加成及异构在 C<sub>-12</sub>、C<sub>-13</sub>或 C<sub>-13</sub>、C<sub>-14</sub>上构建杂环合成了具有抑菌作用的吲哚化合物(19,20)。

**3.1.5 咪唑** 基于脱氢枞酸和咪唑的特性, 王恒山课题组进行了在脱氧枞酸的芳环上构建咪唑的工作, 以期寻求具有生物活性和药物活性的先导化合物。张业等<sup>[23]</sup>以脱氢枞酸为原料经甲酯化、NBS 溴代、HNO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>硝化、NaN<sub>3</sub> 取代、最后脱氮、关环合成了 12-溴-13,14-脱异丙基脱氢枞酸甲酯氧化咪唑(21), 产率为 75%。在合成过程中, 中间产物 12-溴-13-叠氮-14-硝基脱氢枞酸甲酯在空气中极不稳定, 常温下也易变质生成一系列复杂的化合物。王恒山等<sup>[24]</sup>为了解决中间产物不稳定的难题, 便在 12-溴脱氢枞酸甲酯的 7 位上构建了一个羰基, 再硝化后生成稳定性较高的 7-羰基-12-溴-13-硝基脱异丙基脱氢枞酸甲酯, 经过与叠氮化钠反应后, 在甲苯中回流关环得到 7-羰基-12,13-氧化咪唑脱氢枞酸甲酯, 再用三苯基膦脱氧得到 7-羰基-12,13-咪唑脱氢枞酸甲酯(22), 产率为 76%。潘英明等<sup>[25-26]</sup>以 12-溴-13,14-二硝基脱异丙基脱氢枞酸甲酯为原料经相同工艺合成了氧化咪唑衍生物 12-溴-13,14-氧化咪唑脱异丙基脱氢枞酸甲酯(23), 并对其晶体结构进行解析, 确定了产物的结构。



**3.1.6 吡啶酮、吩嗪、萘酰亚胺、噻二唑及噻唑啉** 脱氢枞酸存在着苯环发色基团,但是其只能用紫外检测,灵敏度不高。为了适应荧光检测的要求,王恒山课题组<sup>[22,27,14]</sup>还在脱氢枞酸芳环上构建了吡啶酮、吩嗪、萘酰亚胺以及噻二唑和噻唑啉等含氮化合物。将12-氨基脱氢枞酸甲酯,顺式12-氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯与2,4-二硝基邻氯苯甲酸偶联,得到两种灭酸,灭酸进一步关环,水解得到了3个深红色脱氢枞酸基吡啶酮化合物(24,25,26)<sup>[27]</sup>;13,14-二氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯(MDDDA),分别与菲醌、邻菲罗啉二酮缩合关环得到两个脱氢枞酸甲酯吩嗪类衍生物(27)<sup>[22]</sup>;MDDDA与1,8-萘醌缩合反应得到萘酰亚胺(28,29)<sup>[22]</sup>。对脱氢枞酸甲酯,通过12位溴代、7位氧化、脱异丙基硝化等步骤,得到了3个重要的中间体,分别经过亲核取代、还原关环反应后,实现了在脱氢枞酸芳环上建构噻二唑(30)和噻唑啉(31)杂环<sup>[14]</sup>。



### 3.2 胺类化合物

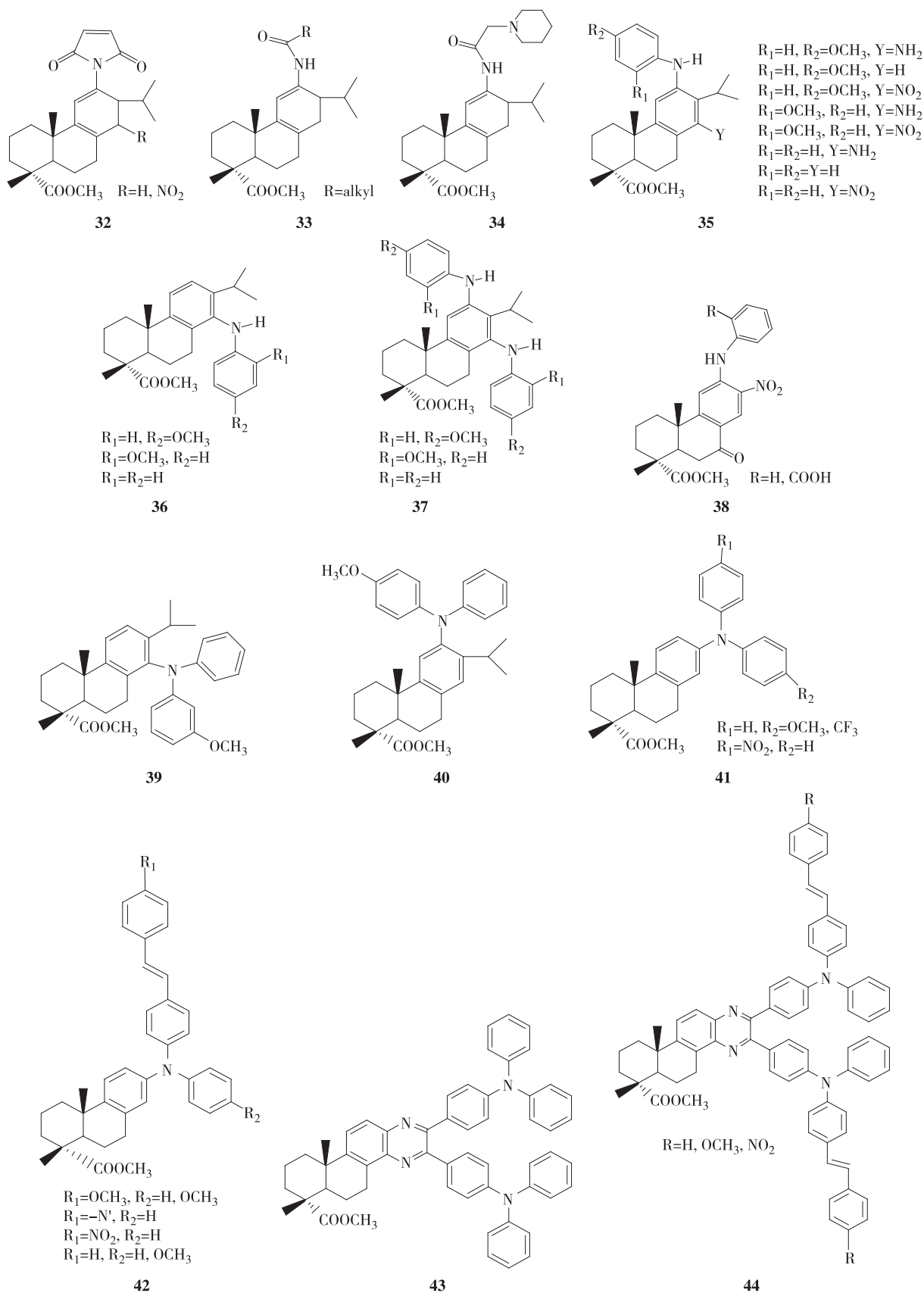
用Pd/C或Ni/SiO<sub>2</sub>为催化剂对脱氢枞酸苯环上的硝基加氢还原得到芳伯胺,可进一步合成酰胺、芳仲胺或芳叔胺,作为耐热改性剂、钾离子(BK)通道开放剂、抗氧化剂、荧光材料等。

**3.2.1 酰胺** 2004年,农容丰等<sup>[28]</sup>通过对脱氢枞酸硝化、还原后与马来酸酐合成12-N-脱氢枞酸甲酯马来酰亚胺和12-N-14-硝基脱氢枞酸甲酯马来酰亚胺(32)两种新型耐热改性剂。2008年,Cui等<sup>[10]</sup>对12-氨基脱氢枞酸甲酯,与酰氯合成酰胺衍生物(33,34),系统地研究了它们作为BK通道开放剂的活性,结果表明C环上硝基及硫脲基团的引入具有较好的活性。

**3.2.2 芳仲胺** 2001年,Esteves等<sup>[29]</sup>利用脱氢枞酸异丙基的位阻,通过酯化、硝化、还原、N-芳基化反应合成了一系列12,14位二芳胺(35,36,37)。他们<sup>[30-32]</sup>研究了这些位阻胺作为抗氧化剂的作用,有望在医药、高分子材料、食品等工业得到广泛应用。2007年,冯少波等<sup>[16]</sup>对脱氢枞酸甲酯7位氧化、12位卤代、13位脱异丙基硝化、重氮化等步骤合成了12位取代的脱氢枞酸甲酯仲胺衍生物(38),研究了化合物结构与紫外、荧光性能之间的关系。

**3.2.3 芳叔胺** 对脱氢枞酸苯环上的伯胺进一步反应,可以生成芳叔胺系列化合物,该研究主要集中在葡萄牙的Gigante小组<sup>[33-35]</sup>。他们以13-氨基脱异丙基脱氢枞酸甲酯为原料合成了13-苯胺脱异丙基脱氢枞酸甲酯,然后在有机钯催化下与芳卤进行偶联反应得到系列芳基叔胺化合物(39,40,41,42)。Gigante等<sup>[36-37]</sup>还构建了含有富电子的苯胺和缺电子的喹啉的双极性化合物(43,44)。并研究了脱氢枞酸骨架的引入使得材料成膜后不易结晶,热稳定性提高,不仅没有影响材料电化学性能、光谱性能和光物理性能,而且增强了荧光释放性,作为空穴传输材料具有潜在的应用价值。

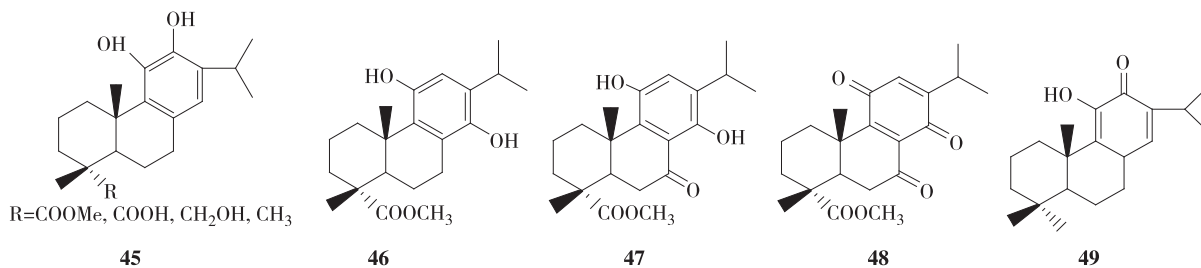




### 3.3 合成酚、醌类衍生物

天然产物中含有的三环二萜的邻苯二酚类化合物具有良好的抗氧化活性与显著的生理活性,受此

启发,2003年,Gigante等<sup>[38]</sup>将不同羧基衍生物通过简短步骤合成4种不同C<sub>18</sub>基团的邻苯二酚类化合物(45),对其生物活性测试表明其甲酯衍生物的抗肿瘤、抗病毒、抗氧化活性甚至比鼠尾草酸(已用作抗氧化剂,大量文献报道有抗肿瘤、抗病毒活性)还好。2005年,Matsushita等<sup>[39]</sup>报道了利用14-硝基-脱氢枞酸甲酯为原料合成具有抑1 $\alpha$ 和1 $\beta$ 白血病细胞活性的脱氧12-脱氧罗列酮,具有抗真菌,抗毒素活性的隐醌和对苯二酚(46,47)和对苯二醌(48)天然药物。2006年,Masahiro等<sup>[40]</sup>用间氯过氧苯甲酸合成稳定的二酰基过氧化物(mCBPO)代替过氧化二苯酰,在羟基邻位氧化合成抗葡萄球菌和抗肠球菌的二萜醌化合物(49)。



## 4 结语和展望

脱氢枞酸作为一种天然再生资源,由于其产量高、可再生,在开发与利用方面有着巨大的潜能和优势。基于脱氢枞酸芳环的改性应用研究已经得到人们的广泛关注,在许多领域显示出了很好的应用价值。充分利用脱氢枞酸分子上的3个手性中心,通过分子设计,合成具有良好生物活性、荧光性能的手性衍生物,拓展其应用途径,将是该领域的研究热点。综合脱氢枞酸羧基和芳环的改性,合成种类较多、结构更为多样的化合物是脱氢枞酸改性研究的发展趋势所在。

### 参考文献:

- [1] 崔国友,莫炳荣,陈文纳. 脱氢枞酸的应用研究进展[J]. 精细与专用化学品,2006,14(20):6-8.
- [2] 伍勇,饶小平,王宗德,等. 松香基杂环化合物的研究进展[J]. 生物质化学工程,2008,42(6):37-41.
- [3] BALEIZAO C,PIRES N,GIGANTE B. Friedel-Crafts reaction in ionic liquids. The counter-ion effect on the dealkylation and acylation of methyl dehydroabietate[J]. Tetrahedron Letters,2004,45:4375-4377.
- [4] 许雪棠,段文贵,黄媚,等. 离子液体中12-苯甲酰基脱氢枞酸甲酯(4)的合成[J]. 化学通报,2008,71(2):138-143.
- [5] 韦瑞松,段文贵,许雪棠,等. 离子液体在去氢枞酸甲酯F-C烷基化反应中的应用[J]. 广西大学学报:自然科学版,2009,34(2):197-200.
- [6] 刘陆智,王朝阳,吴秀荣,等. 脱氢枞香基Friedel-Crafts反应产物的合成研究[J]. 广西师范大学学报:自然科学版,2008,26(4):82-85.
- [7] SILVIA M C S M,AMANDO J D S. Synthesis of flavonoid-type compounds from methyl dehydroabietates[J]. Monatsh Chem,2008,139:1119-1126.
- [8] TOLMACHEVA I A,TARANTIN A V,BOTEVA A A, et al. Synthesis and biological activity of nitrogen-containing derivatives of methyl dehydroabietate[J]. Pharmaceutical Chemistry Journal,2006,40(9):489-493.
- [9] CUI Y M,YASUTOMI E,OTANI Y, et al. Design, synthesis and characterization of podocarpate derivatives as openers of BK channels[J]. Bioorg Med Chem Lett,2008,18(19):5197-5200.
- [10] CUI Y M,YASUTOMI E,OTANI Y, et al. Novel BK channel openers containing dehydroabietic acid skeleton. Structure-activity relationship for peripheral substituents on ring C[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters,2008,(18):5201-5205.
- [11] 吴强,张业,童碧海,等. Br<sub>2</sub>-MnO<sub>2</sub>法合成12-溴脱氢枞酸及其甲酯[J]. 广西师范大学学报:自然科学版,2008,26(1):62-65.
- [12] GAO H,SONG Z Q,SHANG S B. Methyl 12-bromodehydroabietate[J]. Acta Cryst Section E,2010,66:o1207.
- [13] 雷茜,冯少波,王凯,等. 7-羰基-12-脱氢枞酸甲酯硫醚的合成[J]. 化学试剂,2008,30(4):283-284,306.
- [14] 张业,林宁,童碧海,等. 一些含氮杂环的脱氢枞酸甲酯衍生物的合成[J]. 有机化学,2008,28(11):1932-1936.
- [15] 高诚伟,徐丰,何创,等. 去氢枞酸甲酯选择性硝化反应的研究[J]. 化学与生物工程,2008,25(6):33-37.
- [16] 冯少波,雷茜,张业,等. 脱氢枞酸甲酯类衍生物的合成[J]. 有机化学,2007,27(11):1414-1419.

- [17] 童碧海, 农容丰, 王恒山, 等. 两种脱氢枞酸基咪唑类生物的合成与表征[J]. 精细化工, 2005, 22(5): 398-400.
- [18] 张业, 潘英明, 王恒山, 等. 脱氢枞酸甲酯咪唑类生物的合成与表征[J]. 林产化学与工业, 2007, 27(2): 25-28.
- [19] FONSECA T, GIGANTE B, THOMAS L, et al. A short synthesis of phenanthro[2,3-*d*]imidazoles from dehydroabietic acid. Application of the methodology as a convenient route to benzimidazoles[J]. Tetrahedron, 2001, 57(9): 1793-1799.
- [20] FONSECA T, GIGANTE B, MARQUES M M, et al. Synthesis and antiviral evaluation of benzimidazoles, quinoxalines and indoles from dehydroabietic acid[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2004, 12(1): 103-112.
- [21] 冯少波, 张业, 周琪, 等. 新型脱氢枞酸基苯并咪唑类生物的合成及其氯离子识别性能[J]. 化学学报, 2008, 66(12): 1490-1496.
- [22] 李芳耀. 基于脱氢枞酸芳环二胺合成手性荧光衍生试剂的研究[D]. 桂林: 广西师范大学硕士学位论文, 2006.
- [23] 张业, 王恒山, 潘英明, 等. 12-溴-13,14-脱氢枞酸甲酯氧化咪唑的合成与表征[J]. 化学试剂, 2005, 27(8): 493-494.
- [24] 王恒山, 张业, 李芳耀, 等. 脱氢枞酸甲酯咪唑类生物的合成与表征[J]. 精细化工, 2005, 22(9): 709-711.
- [25] 潘英明, 张业, 王恒山, 等. 一些新型咪唑类生物的合成[J]. 有机化学, 2006, 26(3): 314-317.
- [26] PAN Y M, ZHANG Y, WANG H S. Synthesis and crystal structure of methyl 12-bromo-13,14-furoxan-deisopropyldehydroabietate[J]. Chinese J Struct Chem, 2006, 25(10): 1209-1212.
- [27] 童碧海. 脱氢枞酸骨架上芳杂环的构建及其荧光性质研究[D]. 桂林: 广西师范大学硕士学位论文, 2005.
- [28] 农容丰, 童碧海, 王恒山. 新型耐热改性剂脱氢枞酸甲酯马来酰亚胺的合成及其表征[J]. 国际网上化学学报, 2004, 6(8): 53.
- [29] ESTEVES M A, NARENDER N. Synthetic derivatives of abietic acid with radical scavenging activity[J]. J Nat Prod, 2001, 64: 761-766.
- [30] ESTEVES M A, BTTES M J, MARCELO-CURTO M J. Secondary amines from dehydroabietic acid as antioxidant additives[J]. Key Engineering Materials Vols, 2002(230/231/232): 404-407.
- [31] JIPA S, SETNESE R. Synergistic effects on thermal stability of ethylene-propylene elastomers stabilized with hindered phenols and secondary amines[J]. Polymer Testing, 2002, 21: 149-153.
- [32] JIPA S, ZAHARESCU T, GORGHIU L M, et al. LDPE protected by secondary amines of dehydroabietic methyl ester derivatives[J]. Polymer Testing, 2004, 23: 911-917.
- [33] BURROWS H D, CASSTRO R A E, ESTEVES M A, et al. Novel organic hole transport layers for molecular electronic systems[J]. Materials Science Forum Vols, 2006(514/515/516): 8-12.
- [34] MORGADO J, ALCACER L, ESTEVES M A, et al. New stilbene-based arylamines with dehydroabietic acid methyl ester moieties for organic light-emitting diodes[J]. Thin Solid Films, 2007, 515(19): 7697-7700.
- [35] GIGANTE B, ESTEVES M A, PIRES N, et al. Synthesis, spectroscopy, photophysics and thermal behaviour of stilbene-based triarylamine with dehydroabietic acid methyl ester moieties[J]. New J Chem, 2009, 33: 877-885.
- [36] BURROWS H D, FONSECA S M, GIGANTE B, et al. Fluorescence study of dehydroabietic acid-based bipolar arylamine-quinoxalines[J]. J Fluorescence, 2006, 16(2): 227-231.
- [37] BERMARDO G, STEVESE M A, GUERREIRO M, et al. Fluorescence properties of bipolar stilbeneamine-quinoxalines[J]. Optical Materials, 2008(31): 320-327.
- [38] GIGANTE B, SANTOS C, SILVA A M. Catechols from abietic acid: Synthesis and evaluation as bioactive compounds[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2003, 11: 1631-1638.
- [39] MATSUSHITA Y, IWAKIRI Y, YOSHIDA S. Synthesis of 12-deoxyroyleanone, cryptoquinone, 11,14-dihydroxy-8,11,13-abietatrien-7-one, and related derivatives from dehydroabietic acid[J]. Tetrahedron Letters, 2005, 46(21): 3629-3632.
- [40] MASAHIRO T, KOSAKU I. Efficient ortho-oxidation of phenol and synthesis of anti-MRSA and anti-VRE compound abietaquinone methide from dehydroabietic acid[J]. Chem Pharm Bull, 2006, 54(10): 1412-1417.