

doi:10.3969/j.issn.0253-2417.2022.01.016

松香及其衍生物在无机功能材料中的应用研究进展



LIU Tong

刘彤¹, 董雨萱¹, 谷婉婷¹, 韩冰¹, 韩春蕊^{1,2*}

(1.北京林业大学材料科学与技术学院;林业生物质材料与能源教育部工程研究中心,北京100083;2.江苏省生物质能源与材料重点实验室,江苏南京210042)

摘要:松香是我国重要的生物质资源,其主要成分树脂酸含有三环菲骨架强疏水刚性基团和羧基弱亲水基团,可用于无机纳米材料的分散,降低无机纳米材料的聚集。通过对松香树脂酸双键和羧基等位点进行化学改性,增强亲水性能,可获得亲水亲油性性能优异的表面活性剂,与无机材料具有更好的“融合性”,作为模板剂和分散剂,可控辅助制备多种无机功能材料。而设计功能性松香衍生物与无机材料发生化学键合作用,可获得松香基小分子/无机杂化材料和松香改性高分子/无机杂化材料。结合松香及其衍生物的结构特点及化学性质,综述了松香及其衍生物在无机功能材料中的应用,并展望了松香衍生物在无机功能材料开发中的应用前景。

关键词:松香;衍生物;无机材料;表面活性剂

中图分类号:TQ35

文献标志码:A

文章编号:0253-2417(2022)01-0123-08

引文格式:刘彤,董雨萱,谷婉婷,等.松香及其衍生物在无机功能材料中的应用研究进展[J].林产化学与工业,2022,42(1):123-130.

Research Progress on Application of Rosin and Its Derivatives in Inorganic Functional Materials

LIU Tong¹, DONG Yuxuan¹, GU Wanting¹, HAN Bing¹, HAN Chunrui^{1,2}

(1.College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University; MOE Engineering Research Center of Forestry Biomass Materials and Bioenergy, Beijing 100083, China; 2.Key Lab. of Biomass Energy and Material, Jiangsu Province, Nanjing 210042, China)

Abstract: Rosin is an important biomass resource in China, and its main component resin acid contains tricyclophenylene skeleton strong hydrophobic rigid group and carboxyl weak hydrophilic group. Rosin can be used to disperse inorganic nano materials and reduce the aggregation of inorganic nano materials. The surfactant with excellent hydrophilic and lipophilic properties can be obtained by chemical modification of acid double bond and carboxyl group of rosin resin, which has better “fusion” with inorganic materials. Rosin based surfactant can be used as template and dispersing agent to prepare a variety of inorganic functional materials. The rosin based small molecule/inorganic hybrid materials and rosin modified polymer/inorganic hybrid materials can be obtained by designing functional rosin derivatives to bond with inorganic materials. Based on the structural characteristics and chemical properties of rosin and its derivatives, the application of rosin and its derivatives in inorganic functional materials was reviewed, and the application prospect of rosin derivatives in the development of inorganic functional materials was prospected.

Key word: rosin; derivative; inorganic material; surfactant

天然产物松香来源广泛,是一类重要的生物质资源。松香及其衍生物在胶黏剂、油墨、造纸等精细化工领域^[1-2]具有重要应用。近年来,随着对松香资源的研究开发,松香在无机功能材料中的应用逐渐被挖掘,除松香树脂酸本身作为分散剂用于制备无机纳米材料外,将其改性后得到的衍生物如表面活性剂^[3-4]等也被应用于无机功能材料中,尤其是功能性松香衍生物分子通过键合等作用与无机功能材料

收稿日期:2020-11-11

基金项目:江苏省生物质能源与材料重点实验室开放基金项目(JSBEM201911);国家重点研发计划资助项目(2016YFD0600803)

作者简介:刘彤(1995—),男,山东青岛人,硕士生,从事松香化学改性研究

*通讯作者:韩春蕊,副教授,硕士生导师,主要从事松香化学改性应用研究工作;E-mail:hanchunrui@bjfu.edu.cn.

生成有机/无机杂化材料,被用于靶向载药^[5-6]等领域。松香基化合物可以辅助制备多种无机材料,并且能够实现材料的功能化,其在无机功能材料中的应用研究具有重要的意义。

1 松香在无机纳米材料中的应用

松香树脂酸由于含有三环菲骨架强疏水刚性基团和羧基弱亲水基团,通过范德华力、静电吸附和 π - π 堆积等作用,可与碳酸钙、金纳米粒子、石墨烯等无机材料结合,实现纳米材料的稳定分散。Haruhisa等^[7]利用松香树脂酸实现碳酸钙纳米粒子的分散,松香酸分子通过范德华力吸附在碳酸钙粒子表面,在溶液中形成稳定分散的初级粒子;继续添加松香酸会形成均匀分散的二次粒子,从而实现纳米粒子的分散。周文英等^[8]用氯化松香改性轻质纺锤体碳酸钙,并添加适量改性碳酸钙到环氧树脂中。改性后的碳酸钙更易分散且与环氧树脂的相容性得到改善,同时提高了复合材料的无缺口冲击强度、弯曲强度等性能。Tatarchuk等^[9]在非水极性溶剂中用硼氢化钠还原制备金纳米粒子同时添加枞酸,枞酸的羧酸阴离子吸附在金粒子周围,在粒子表面形成保护壳,制备出了直径为 (7.1 ± 0.1) nm金纳米粒子分散体系。Zhang等^[10]、Zhang等^[11]则利用松香树脂酸环骨架中的双键 π 电子作用,实现石墨烯的分散转移。其中Zhang等^[11]以松香作为石墨烯的支持层,利用松香与石墨烯产生的 π - π 电子堆积作用,将石墨烯清洁无损伤地转移到应用衬底上,成功制备出较大面积的发光二极管材料。

松香基大分子同时具有亲水亲油基团,也可以表现出表面活性剂的性质。如图1所示,Yan等^[12]合成了一种松香改性高分子表面活性剂,其中的三环结构与单壁碳纳米管(SWCNTs)表面通过范德华力紧密结合而促进分散,长链结构又防止相互靠近聚集。实验表明:当两者用量比为1:1时分散状态最好。

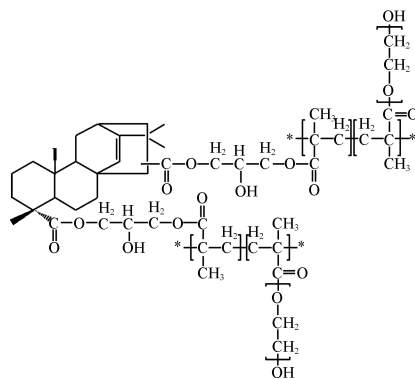


图1 松香高分子化合物聚-(AARGMA-o-MAPEG)^[12]

Fig. 1 Rosin polymer poly-(AARGMA-o-MAPEG)^[12]

2 松香衍生物在无机纳米材料中的应用

松香衍生物中引入了新的官能团,亲水性能提升,可获得亲水亲油性能优异的表面活性。由于功能基团与多环结构的协同作用,松香衍生物与无机材料能形成更加多样的结合^[13-16]。

2.1 辅助制备纳米中空材料

松香及其衍生物分子含有刚性骨架结构,在溶液中表现出多样的自组装形式^[17-18],可以作为模板分子来辅助制备中空结构的无机材料。目前已成功制备出形貌良好的氢氧化镍、碳酸钙纳米材料。韩春蕊课题组^[19]最初用微波乙醇溶剂热法,以松香基表面活性剂作为模板剂,成功得到由圆片堆积而成的中空珊瑚球状氢氧化镍材料。在此基础上,后续研究结合水热法和松香基甜菜碱两性表面活性剂(DDCBZ)辅助合成了花球形氢氧化镍复合材料(图2)^[20]以及三维珊瑚状空心微球、花状空心微球和二维纳米片状氢氧化镍^[21]。

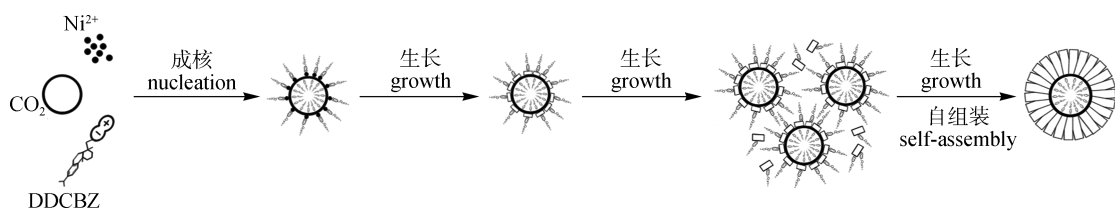


图2 DDCBZ-Ni(OH)₂/NiOOH 复合材料形成机理^[20]

Fig. 2 Formation mechanism of DDCBZ-Ni(OH)₂/NiOOH composite^[20]

如图2所示,溶液中的CO₂气泡作为软模板供氢氧化镍堆积,DDCBZ可以促进材料不断聚集,使

微球尺寸增大。通过对形成机理的分析,证明 DDCBZ 能够提高球形 Ni 复合材料的结晶度,同时可以有效控制复合材料的形貌和尺寸。韩世岩等^[22]以磺化脱氢松香酸钠盐表面活性剂为模板,制得具有中空结构的球形碳酸钙,用该方法合成的碳酸钙材料不仅分散性良好,同时还具有较好的疏水性能。

2.2 辅助制备介孔材料

松香衍生物具有多样的自组装体系,不同结构的分子对于材料的导向作用也不相同。用脱氢枞酸合成的松香 Gemini 表面活性剂(R-*n*-R 型)拥有较大的分子堆积参数,并且间隔长度对介孔材料的结构有很大影响^[23-25]。Li 等^[26]、马玉玲等^[27]都采用松香双子表面活性剂(如图 3(a))作为模板合成了介孔二氧化硅材料。如图 3(b)~(e)所示,表面活性剂分子中 R 间隔长度的增加更有利于生成哑铃状形貌的二氧化硅纳米粒子。溶液中首先形成球形粒子,表面的无机物发生部分溶解便在粒子之间形成连接,进而堆积成哑铃型。

松香基季铵盐具有良好的自组装性能,被广泛用作模板剂,其中以脱氢枞基三甲基溴化铵(DTAB)应用最多。王鹏等^[28]以 DTAB 为导向剂,制备了介孔 γ -Al₂O₃,通过调节原料的比例和反应温度可以有效控制材料的结构。

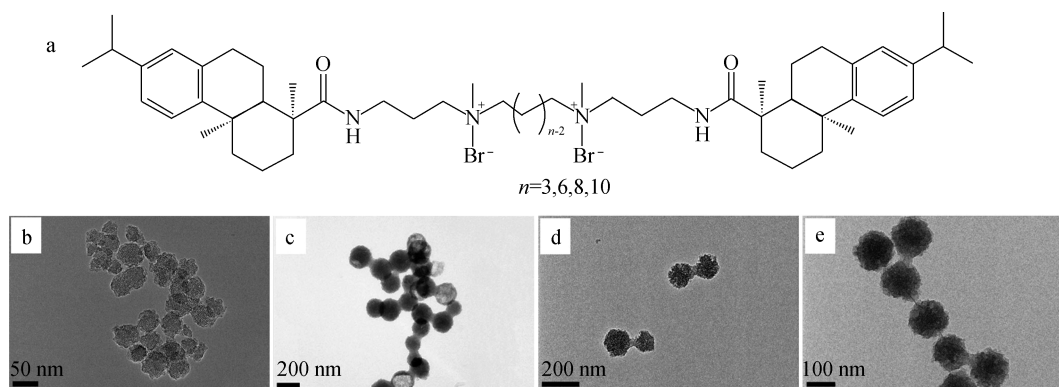


图3 松香基 Gemini 表面活性剂结构式和及其辅助制备的介孔硅 R-3-R(b)、R-6-R(c)、R-8-R(d)和 R-10-R(e)的 TEM 图像^[26]

Fig. 3 Structural formula of rosin based Gemini surfactant (a) and TEM images of calcined mesoporous silicon prepared with rosin based Gemini surfactants R-3-R(b), R-6-R(c), R-8-R(d) and R-10-R(e)^[26]

2.3 辅助制备微孔材料

松香衍生物已经广泛用于制备纳米介孔材料,此外还可以用来合成孔径更小的微孔材料。王鹏等^[29]采用 DTAB 作为模板制得具有纳米片状结构的六方有序超微孔二氧化硅,材料结构规整度高且孔径更小。Song 等^[30]以 DTAB 为导向剂,制备了具有超微孔结构的二氧化钛,通过改变原料配比和反应体系温度可以控制材料的结构。这类研究也为小孔径纳米材料的制备提供了更多可能。

3 松香衍生物/无机杂化材料

3.1 低有机物含量松香衍生物/无机杂化材料

将松香衍生物与无机物之间发生原位反应,可获得松香衍生物与无机物发生化学键合作用的杂化材料,从而在无机材料中增加松香衍生物含量。本课题组的 Zhan 等^[31]以脱氢枞基磷酸二酯(DDPD)为有机磷源,制备出含有松香基有机官能团的中空蒲公英状羟基磷灰石杂化纳米粒子。本课题组的 Yang 等^[32]以松香衍生物脱氢枞基磷酸三酯(DDPT)为有机磷源和软模板,使用一步溶剂热法和水热法制备出分级自组装的中空玫瑰花状微球(HRFM)和中空毛刺花状微球(HBFM),分析表明:该微球材料既含有松香衍生物有机官能团,又含有羟基磷灰石(HAP)无机材料,为杂化材料。松香衍生物及杂化材料形成过程如图 4 所示,表面活性剂亲水端排列在外部使得胶束表面带正电荷,由于强静电引力而吸附游离的 PO_4^{3-} 。松香分子与 Ca^{2+} 作用形成有机金属配位化合物(Ca^{2+} -

rosin⁻),进而与胶束表面结合,并以胶束为模板,继续与磷酸根反应,生成羟基磷灰石晶体,羟基磷灰石晶体结构中Ca²⁺-rosin⁻的空间位阻决定了材料的3D结构,并且在溶剂热条件下进一步生长,在不同pH值条件下获得不同形貌的羟基磷灰石晶体组成的材料。当DDPT分子完全水解引起局部过饱和时,形成了短棒组成的羟基磷灰石晶体,并且沿钙离子的释放方向生长,最终形成含有松香的HBFM杂化材料,如图4(c)中胶束向HBFM转化过程所示。改变反应体系条件,HAP晶体成长为片状,从而得到HRFM材料;所得杂化材料中松香基有机官能团达到10%以上,载抗癌药物能力明显提升。通过深入解析杂化材料中松香衍生物分子与无机材料之间的作用力,有助于通过控制实验条件来获得特定结构的杂化材料。

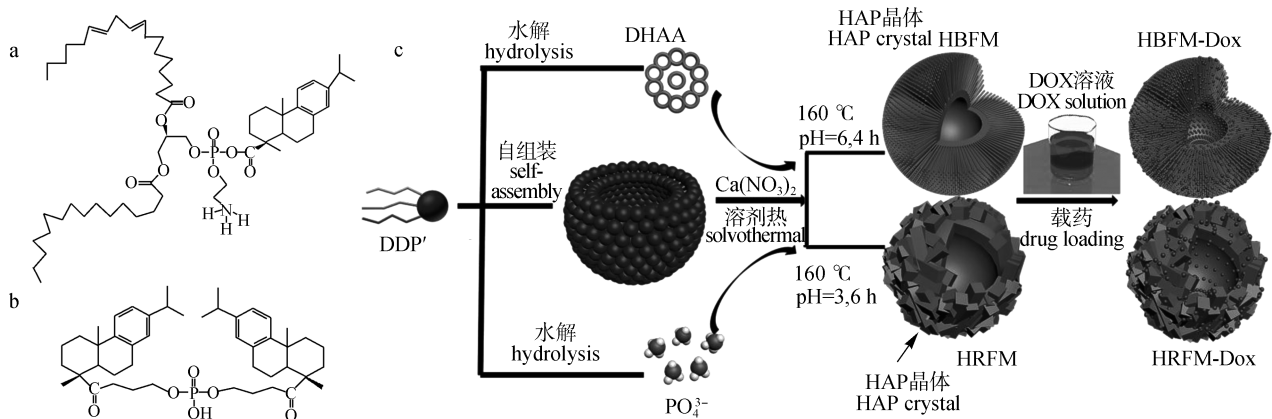


图4 松香衍生物 DDPT (a) 和 DDPD (b) 的结构式以及 HBFM 和 HRFM 的形成机理 (c)^[32]

Fig. 4 Structure formula of rosin derivatives DDPT (a) and DDPD (b) and possible formation mechanism of HBFM and HRFM (c)^[32]

3.2 高有机物含量松香衍生物/无机杂化材料

含氮松香衍生物的电子云容易与金属离子发生配位作用,这类材料的松香衍生物含量较高,可以更好地发挥其生物相容性^[33-34]。有研究以脱氢枞胺衍生物与氯化铜结合得到配合物^[35],这种材料具有优异的抗癌性能,松香衍生物的存在优化了材料与细胞的相容性,同时也更有利于其抗癌性能的发挥。Nguyen 等^[36]将松香施胶剂和硫酸铜混合制得木材防腐剂,Cu(II)与松香酸的羧基作用形成Cu/松香酸配合物,防腐剂与木材的相容性得到改善,更容易渗入木材内部,在提供疏水性的同时也起到了很好的固铜效果。

4 松香衍生物/无机复合材料

松香衍生物与无机材料之间通常难以形成配合作用,而仅仅发生复合,获得松香基有机/无机复合材料,此类材料中松香衍生物以高分子化合物居多。松香基小分子衍生物已被证明具有良好的表面活性及导向性能,但其结构简单,官能团数量少,在溶液中的行为及功能性比较单一。而高分子化合物结构多变,组装及空间行为更加多样,便于在分子中引入功能性基团^[37],同时具备优异的力学性能^[38-41],因此松香基高分子逐渐成为近年来的研究热点。

Rajeev 等^[42]将Fe₃O₄与松香改性聚合物混合形成杂化凝胶,Fe₃O₄与聚合物羰基中氧孤对电子产生分子间静电作用,将Fe₃O₄均匀固定在松香基聚合物中,从而促进凝胶的形成,如图5所示。松香改性高分子表面活性剂的加入促使Fe₃O₄纳米粒子分散更加均匀,也有利于形成更加稳定的凝胶结构,该凝胶中含有松香基聚合物和Fe₃O₄,为高分子有机/无机复合功能材料。

由松香树脂酸合成的高分子材料,刚性多环结构能够提供更好的力学性能,因此可以将其作为新型塑料产品使用。Huo 等^[43]合成了松香基环氧树脂/蓖麻油基聚氨酯/碳纳米管生物复合杂化材料,松香中的多元环与碳纳米管通过共轭结合促进其分散,共同发挥补强作用。

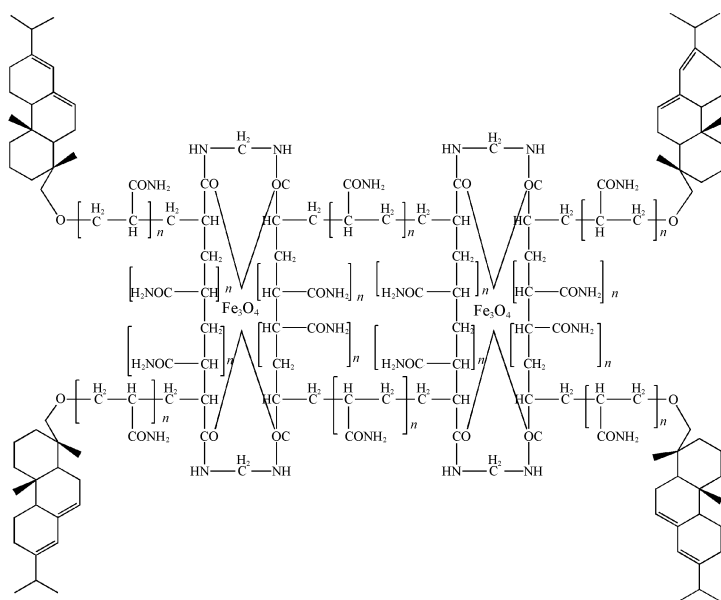


图5 GrA-cl-聚(AAM- Fe_3O_4)纳米凝胶的示意图^[42]

Fig. 5 Schematic representation of GrA-cl-poly-(AAM- Fe_3O_4) nanogel^[42]

基于结构上的相似性,松香在植物天然活性成分的分离方面有较大优势。Li等^[44]、Sun等^[45]以功能化二氧化硅为基础,分别将松香-腰果酚、乙二醇马来酸松香酯丙烯酸酯和甲基丙烯酸聚合接枝到硅胶表面得到核壳结构复合材料。其中 SiO_2 /松香-腰果酚核壳型高效液相色谱柱对天麻素有着良好的分离效果,且对2种竞争分子实现了完全基线分离。通过这些研究可以发现,松香基材料在生物医学和分析化学研究中具有非常大的应用前景。

磁性纳米粒子是一种常用的功能材料^[46],研究表明:磁性纳米颗粒 Fe_3O_4 具有优异的共价结合能力,因此常被用作去除小分子^[47-48]的捕集剂和载体^[49]。Atta等^[50]提出了一种以马来松香季铵盐衍生物(LPMQA)包覆单分散 Fe_3O_4 纳米粒子的新方法。如图6所示,LPMQA阳离子与 Fe_3O_4 纳米粒子表面负电荷形成静电吸引,在颗粒表面实现单层或双层的吸附,形成核/壳型纳米粒子。LPMQA与磁铁粒子的强相互作用使其可以稳定地分散在溶液中。

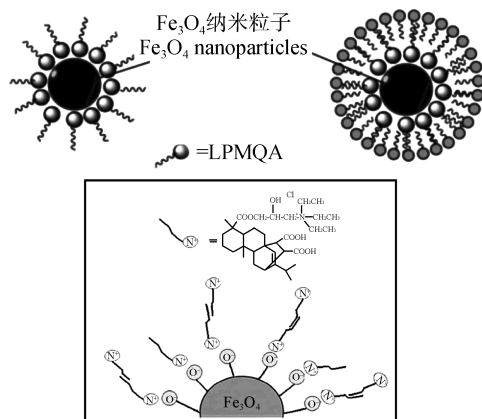


图6 松香衍生物LPMQA分散的核/壳型磁铁矿纳米粒子示意图^[50]

Fig. 6 Schematic diagram of LPMQA dispersed core-shell magnetite nanoparticles^[50]

5 结语与展望

相较于化石原料,天然产物松香具有环保、可持续的优势。松香及其衍生物独特的结构与化学性质,使其可以与无机材料通过多种物理或化学作用结合,用于分散和制备无机功能材料。松香基小分子及高分子化合物作为模板剂和表面改性剂用于制备杂化材料,已被证明具有良好的应用价值。但目前使用的松香基化合物大多为传统的表面活性剂类物质,结构及功能性相对单一,若能引入响应性官能团制备对外部环境变化做出响应目的的新型材料,这将为松香资源的开发以及智能材料的研究提供新思路。

此外,为了更好地结合松香基化合物与无机材料,需要系统研究松香及其衍生物与材料间的相互作用,包括范德华力、共价键、络合作用等。以制备的松香/羟基磷灰石杂化材料为例,其中的化学键作用

已经有了较为透彻的研究。深入地了解松香基化合物与无机材料之间的相互作用关系,有利于指导开发松香资源的更多应用。

参考文献:

- [1] ATTA A M, ELSAEED A M. Use of rosin-based nonionic surfactants as petroleum crude oil sludge dispersants[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2011, 122(1): 183-192.
- [2] NIU X, LIU Y T, SONG Y, et al. Rosin modified cellulose nanofiber as a reinforcing and co-antimicrobial agents in poly(lactic acid)/chitosan composite film for food packaging[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 183: 102-109.
- [3] ISHTIKHAR M, ALI M S, ATTA A M, et al. Interaction of biocompatible natural rosin-based surfactants with human serum albumin: A biophysical study[J]. *Journal of Luminescence*, 2015, 167: 399-407.
- [4] VARSHOSAZ J, JAVANMARD S H, SOGHRATI S, et al. Magnetic chondroitin targeted nanoparticles for dual targeting of montelukast in prevention of in-stent restenosis[J]. *RSC Advances*, 2016, 6(15): 12337-12347.
- [5] MORKHADE D M, NANDE V S, BARABDE U V, et al. Design and evaluation of dental films of PEGylated rosin derivatives containing sparfloxacin for periodontitis[J]. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 2018, 44(6): 914-922.
- [6] YADAV B K, GIDWANI B, VYAS A. Rosin: Recent advances and potential applications in novel drug delivery system[J]. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 2016, 31(2): 111-126.
- [7] HARUHISA K, AYAKO N, KEI M. Dynamics and role of rosin acid molecules for preparation of well-dispersed CaCO_3 colloidal suspensions[J]. *Journal of Nanoparticle Research*, 2012, 14(6): 1-11.
- [8] 周文英, 刘曦曦, 黎声鹏, 等. 氯化松香改性轻质纺锤体碳酸钙和 KH-550 增韧环氧树脂胶粘剂的研究[J]. *中国胶粘剂*, 2021, 30(3): 41-45.
ZHOU W Y, LIU X X, LI S P, et al. Study on epoxy resin adhesive by modification of light-weight spindle calcium carbonate with hydrogenated rosin and toughening of KH-550[J]. *China Adhesives*, 2021, 30(3): 41-45.
- [9] TATARCHUK V V, SERGIEVSKAYA A P, ZAIKOVSKY V I, et al. Preparation and properties of gold nanoparticles stabilized by abietic acid[J]. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2015, 60(2): 244-251.
- [10] ZHANG Z K, DU J H, ZHANG D D, et al. Rosin-enabled ultraclean and damage-free transfer of graphene for large-area flexible organic light-emitting diodes[J/OL]. *Nature Communications*, 2017, 8: 1-9[2020-03-03]. <https://doi.org/10.1038/ncomms14560>.
- [11] ZHANG D D, DU J H, HONG Y L, et al. A double support layer for facile clean transfer of two-dimensional materials for high-performance electronic and optoelectronic devices[J]. *ACS Nano*, 2019, 13(5): 5513-5522.
- [12] YAN X Y, ZHAI Z L, SONG Z Q, et al. Polymeric surfactants with tricyclic rigidity from natural rosin: Synthesis and dispersion of single-walled carbon nanotubes in aqueous solution[J]. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2019, 40(12): 1687-1695.
- [13] LI J, LIN H X, CHEN X Y, et al. Self-assembled structures and excellent surface properties of a novel anionic phosphate diester surfactant derived from natural rosin acids[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2017, 486: 67-74.
- [14] ZHAI Z L, YAN X Y, XU J, et al. Phase behavior and aggregation in a catanionic system dominated by an anionic surfactant containing a large rigid group[J]. *Chemistry-A European Journal*, 2018, 24(36): 9033-9040.
- [15] ZOU X X, WANG P, WANG Z D, et al. Effects of chlorides on the phase transformation of alumina[J]. *Ceramics International*, 2018, 44(9): 10847-10851.
- [16] YAN X Y, ZHAI Z L, XU J, et al. CO_2 -responsive pickering emulsions stabilized by a bio-based rigid surfactant with nanosilica[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(41): 10769-10776.
- [17] AN S Y, HONG S H, TANG C B, et al. Rosin-based block copolymer intracellular delivery nanocarriers with reduction-responsive sheddable coronas for cancer therapy[J]. *Polymer Chemistry*, 2016, 7(29): 4751-4760.
- [18] CHEN J J, SONG B L, PEI X M, et al. Rheological behavior of environmentally friendly viscoelastic solutions formed by a rosin-based anionic surfactant[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(7): 2004-2011.
- [19] 韩春蕊, 朱莉伟, 刘六军, 等. 微波溶剂热法松香基表面活性剂控制合成氢氧化镍材料[J]. *林产化学与工业*, 2009, 29(增刊): 149-153.
HAN C R, ZHU L W, LIU L J, et al. Controlled synthesis of $\text{Ni}(\text{OH})_2$ materials with rosin-based surfactant by microwave solvothermal method[J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2009, 29(S1): 149-153.
- [20] XU Y X, LI B T, LI J, et al. Controlled hydrothermal synthesis of ball-flower $\text{Ni}(\text{OH})_2/\text{NiOOH}$ composites assisted by rosin-based betaine zwitterionic surfactant[J]. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2015, 26(10): 8040-8046.
- [21] 徐永霞, 刘泽学, 詹舒辉, 等. 松香基甜菜碱两亲分子构筑多维 $\text{Ni}(\text{OH})_2/\text{NiOOH}$ 微纳米复合材料[J]. *无机化学学报*, 2016, 32(4): 595-601.

- XU Y X, LIU Z X, ZHAN S H, et al. Construction of multidimensional Ni(OH)₂/NiOOH nanocomposites by rosin-based betaine amphiphilic molecules[J]. *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*, 2016, 32(4): 595–601.
- [22] 韩世岩, 李淑君, 方桂珍, 等. 松香改性物用于中空疏水性碳酸钙的制备及分析[J]. *东北林业大学学报*, 2013, 41(6): 144–145.
- HAN S Y, LI S J, FANG G Z, et al. Preparation and analysis of hollow hydrophobic calcium carbonate with modified rosin[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2013, 41(6): 144–145.
- [23] CHEN Z J, LI S J, TIAN B, et al. Synthesis of a rosin gemini surfactant and its properties[J]. *Environmental Engineering Science*, 2012, 29(7): 606–610.
- [24] JIANG X M, GUO Q J, HE Y Y, et al. Using light to control the floatability of solid particles in aqueous solution of a Gemini surfactant[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2018, 553: 218–224.
- [25] SARIKAYA I, BILGEN S, AKBAS H. Investigation of mixing behavior of both a conventional surfactant and different inorganic salts with a cationic gemini surfactant in aqueous solution[J]. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2019, 22(6): 1319–1330.
- [26] LI W K, XIE D H, SONG B L, et al. Synthesis and characterization of ordered mesoporous silica using rosin-based Gemini surfactants[J]. *Journal of Materials Science*, 2018, 53(4): 2434–2442.
- [27] 马玉玲, 商旭婷, 崔淑芬, 等. 以松香改性物为模板制备多孔二氧化硅的表征[J]. *林产化学与工业*, 2013, 33(6): 37–40.
- MA Y L, SHANG X T, CUI S F, et al. Preparation of porous silica using a modified rosin as template[J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2013, 33(6): 37–40.
- [28] 王鹏, 赵振东, 毕良武, 等. 以松香基季铵盐为模板剂合成介孔 γ -Al₂O₃[J]. *林产化学与工业*, 2012, 32(2): 87–91.
- WANG P, ZHAO Z D, BI L W, et al. Synthesis of mesoporous γ -Al₂O₃ using rosin-based quaternary ammonium salt as template agent[J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2012, 32(2): 87–91.
- [29] 王鹏, 陈尚妍, 黄敏, 等. 松香基季铵盐为模板剂有序超微孔二氧化硅的合成[J]. *无机化学学报*, 2015, 31(4): 767–773.
- WANG P, CHEN S X, HUANG M, et al. Synthesis of ordered super microporous silica using rosin-based quaternary ammonium salt[J]. *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*, 2015, 31(4): 767–773.
- [30] SONG F, WANG P, CHEN S X, et al. Ordered lamellar supermicroporous titania templating by rosin-derived quaternary ammonium salt[J/OL]. *PLoS ONE*, 2017, 12(6): 1–12[2020-03-03]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180178>.
- [31] ZHAN S H, JIANG X H, LI J, et al. Controlled synthesis of hydroxyapatite using a novel natural rosin-based surfactant[J]. *Nano*, 2017, 12(8): 71–77.
- [32] YANG M S, TIAN C, HAN C R, et al. Hierarchical self-assembled hollow hydroxyapatite flower microspheres containing terpene functional groups for efficient drug loading and pH-responsive drug release[J]. *Ceramics International*, 2018, 44(17): 20913–20920.
- [33] FEI B L, TU S Y, WEI Z Z, et al. Optically pure chiral copper(II) complexes of rosin derivative as attractive anticancer agents with potential anti-metastatic and anti-angiogenic activities[J]. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2019, 176: 175–186.
- [34] FEI B L, YIN B, LI D D, et al. Enantiopure copper(II) complex of natural product rosin derivative: DNA binding, DNA cleavage and cytotoxicity[J]. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 2016, 21(8): 987–996.
- [35] 费宝丽, 燕庆玲, 李雯, 等. Schiff 碱单核与双核配合物的抗菌及催化活性研究[J]. *东北师大学报: 自然科学版*, 2011, 43(2): 91–95.
- FEI B L, YAN Q L, LI W, et al. Studies on the antibacterial and catalytic activity of Schiff base mono- and di-nuclear complexes[J]. *Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition)*, 2011, 43(2): 91–95.
- [36] NGUYEN T T H, LI S J, LI J, et al. Micro-distribution and fixation of a rosin-based micronized-copper preservative in poplar wood[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, 83: 63–70.
- [37] CHEN Y X, WEI W, ZHU Y, et al. Synthesis of temperature/pH dual-stimuli-response multicompartamental microcapsules via pickering emulsion for preprogrammable payload release[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2020, 12(4): 4821–4832.
- [38] YU H, SABETTI M, HÄNER R. Formation of supramolecular nanotubes by self-assembly of a phosphate-linked dimeric anthracene in water[J]. *Chemistry-An Asian Journal*, 2018, 13(8): 968–971.
- [39] XU Q S, LI S L, YU C Y, et al. Self-assembly of amphiphilic alternating copolymers[J]. *Chemistry-A European Journal*, 2019, 25(17): 4255–4264.
- [40] ZAOU A, MAHENDRA V, MITCHELL G, et al. Design, synthesis and thermo-chemical properties of rosin vinyl imidazolium based compounds as potential advanced biocompatible materials[J]. *Waste and Biomass Valorization*, 2020, 11(7): 3723–3730.
- [41] WILBON P A, CHU F X, TANG C B. Progress in renewable polymers from natural terpenes, terpenoids, and rosin[J]. *Macromolecular Rapid Communications*, 2013, 34(1): 8–37.
- [42] RAJEEV J, RACHNA S, MITHU M, et al. Synthesis and characterization of novel reduced Gum rosin-acrylamide copolymer-based nanogel and their investigation for antibacterial activity[J]. *Polymer Bulletin*, 2017, 74(8): 2995–3014.
- [43] HUO L, WANG D, LIU H M, et al. Cytotoxicity, dynamic and thermal properties of bio-based rosin-epoxy resin/castor oil polyurethane/carbon nanotubes bio-nanocomposites[J]. *Journal of Biomaterials Science: Polymer Edition*, 2016, 27(11): 1100–1114.

- [44] LI G X, DENG J, ZENG L, et al. High performance separation of gatrodin by SiO_2 /rosin cashew core-shell HPLC stationary phase[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2019, 47(12):1946-1950.
- [45] SUN Y, LI P F, WANG T, et al. Alkaloid purification using rosin-based polymer-bonded silica stationary phase in HPLC[J]. Journal of Separation Science, 2019, 42(24):3646-3652.
- [46] KHAN I, SAEED K, KHAN I. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2019, 12(7):908-931.
- [47] SHARIF H M A, CHENG H Y, HAIDER M R, et al. NO removal with efficient recovery of N_2O by using recyclable Fe_3O_4 @EDTA@Fe(II) complex: A novel approach toward resource recovery from flue gas[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53(2):1004-1013.
- [48] BI J T, HUANG X, WANG J K, et al. Oil-phase cyclic magnetic adsorption to synthesize Fe_3O_4 @C@ TiO_2 -nanotube composites for simultaneous removal of Pb(II) and Rhodamine B[J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 366:50-61.
- [49] SONG H Q, QUAN F F, YU Z Q, et al. Carboplatin prodrug conjugated Fe_3O_4 nanoparticles for magnetically targeted drug delivery in ovarian cancer cells[J]. Journal of Materials Chemistry B, 2019, 7(3):433-442.
- [50] ATTA A M, EL-MAHDY G A, AL-LOHEDAN H A, et al. Synthesis of environmentally friendly highly dispersed magnetite nanoparticles based on rosin cationic surfactants as thin film coatings of steel[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(4):6974-6989.

本刊信息

《林产化学与工业》入编《中文核心期刊要目总览》(2020年版)

由国家林业和草原局主管、中国林业科学研究院林产化学工业研究所与中国林学会林产化学化工分会主办的学术类期刊《林产化学与工业》被2020年版《中文核心期刊要目总览》(第九版)收录为核心期刊。此次核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价采用了被摘量(全文、摘要)、被摘率(全文、摘要)、被引量、他引量(期刊、博士论文)、影响因子、他引影响因子、5年影响因子、5年他引影响因子、特征因子、论文影响分值、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索系统收录、基金论文比(国家级、省部级)、Web下载量、Web下载率16个评价指标,涉及期刊共有13764种。参加核心期刊评审的学科专家1万多位。经定量评价与定性评审相结合,2020年版北大中文核心期刊要目总览共评选出1990种核心期刊,分为74个学科,《林产化学与工业》被收录在化学工业类。