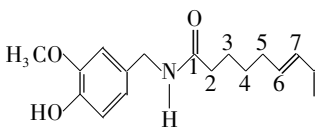
具类辣素结构丙烯酰胺的合成及其抑菌和防污性能

于晓琳　于良民*　姜晓辉
（中国海洋大学 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室　青岛 266100）

摘　要　以 *N*-羟甲基丙烯酰胺和苯酚类化合物为原料，合成了 *N*-(2-羟基-3-丙烯酰胺甲基-4,6-二甲基苄基)丙烯酰胺(HMABA)、*N*-(2-羟基-3-丙烯酰胺甲基-4,5-二甲基苄基)丙烯酰胺(AMHBA)、*N*-(3,5-二甲基-4-羟基苄基)丙烯酰胺(MHBA)、*N*-(3,6-二甲基-4-丙烯酰胺甲基-2-羟基苄基)丙烯酰胺(MAHBA)和 *N*-(2-甲氧基-4-甲基-5-丙烯酰胺甲基苄基)丙烯酰胺(MMABA)5 个类辣素结构的丙烯酰胺衍生物。通过红外光谱(IR)、核磁波谱(^{1}H NMR)、质谱(HR-MS)和元素分析对化合物的结构进行了表征。抑菌试验表明，HMABA 对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑制效果最好，最低抑菌浓度均可达 0.125 g/L。将此 5 个化合物作为防污剂制备海洋防污涂料，120 d 的实海结果表明，基本无污损海生物附着。

关键词　含类辣素结构的丙烯酰胺，合成，抑菌，防污性能
中图分类号：O625　　文献标识码：A　　文章编号：1000-0518(2014)05-0594-06
DOI：10.3724/SP.J.1095.2014.30466

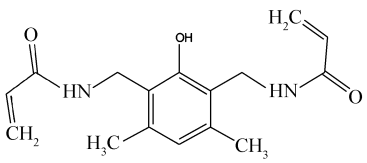
近年来，随着海洋油气开发、水产养殖以及海滨电厂等海洋工程的发展，海洋生物对海洋工程装备的的污损正日益受到重视。而涂覆含有机锡(TBT)的防污涂料是目前最行之有效的方法。但是，毒性较大的 TBT 防污涂料在防污的同时又会造成海洋环境污染而危害海洋渔业和养殖业以及人类健康。自 2008 年 1 月 1 日之后，国际上已全面禁止在船壳上使用含 TBT 防污涂料。因此，开发环境友好的绿色防污剂就具有重要的经济和社会意义[1-5]。

辣素（），属于脂肪酸与香草基胺形成的酰胺化合物，是辣椒中的主要辣味成分，是一种结构稳定的生物碱。具有抗菌、抗肿瘤和镇痛消炎作用[6-7]，已用于医药、保健、生物农药、饮食、化工和安全防御等领域，作为防污涂料和防鼠咬涂料的添加剂[8-10]，可有效的抑制和驱避有害水生物，尤其是海洋中的藤壶对船底的附着污损。然而单靠从辣椒中提取辣素来应用于防污涂料中，无论从规模上还是从价格上均不具有可行性，而人工全合成辣素的产率很低，成本太高，且这类辣素只能作为添加型防污剂使用，作用较为单一。因此，通过简单的方法设计合成出具功能性的类辣素结构化合物就显得尤为重要。

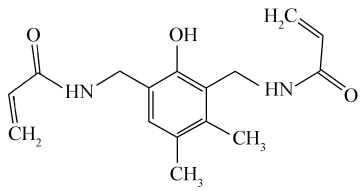
从结构上看，辣素可分为酚羟基、含甲氧基的苯环、酰胺基和酰基链 4 部分。任何部分发生变化，如酰基链的长度、双键存在或不存在及双键在酰基链的不同位置，苯环上取代基不同均会影响整个化合物的性质，彭必先等曾对辣度与辣素同系物的结构关系进行了初步探讨并证实了上述结论[11-12]。针对辣素的这些结构特性，本课题组设计合成出了多种可聚合的具类辣素结构丙烯酰胺衍生物，并将其聚合制备出侧链悬挂类辣素结构的聚合物，该聚合物作为海洋防污涂料的成膜物本身具有良好的防污活性[13]。

本文以 *N*-羟甲基丙烯酰胺和苯酚类化合物为原料，通过 Fridel-Crafts 烷基化反应合成出了 5 种具有类辣素结构的丙烯酰胺化合物，测试了该化合物对常见细菌葡萄球菌和大肠杆菌的抑菌活性，并将其作为添加剂制备成海洋防污涂料，测试了对海水中钢铁的防污性能。含辣素衍生结构丙烯酰胺化合物结构如 Scheme 1 所示。

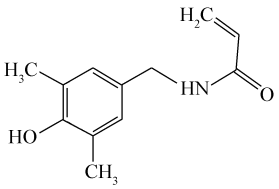
2013-09-16 收稿，2013-11-20 修回，2014-01-12 接受
国家高技术研究发展计划(863 计划)(2010AA09Z203，2010AA065104)；国家科技支撑计划(2012BAB15B02)；泰山学者攀登计划资助
通讯联系人：于良民，教授；Tel：0532-66781845；E-mail：yuyan@ouc.edu.cn；研究方向：环境友好型海洋防护材料与应用技术、先进高分子复合材料、类天然产物及其生态特性



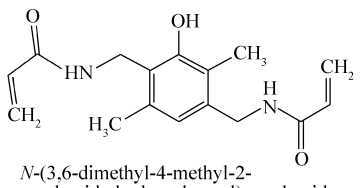
N-(2-hydroxy-3-methyl-acrylamide-4,6-dimethyl-benzyl) acrylamide



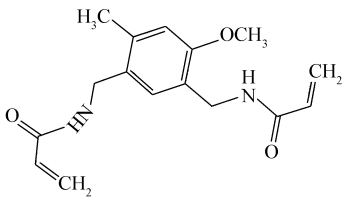
N-(2-hydroxy-3-methyl-acrylamide-4,5-dimethyl-benzyl) acrylamide



N-(3,5-dimethyl-4-hydroxy-benzyl) acrylamide



N-(3,6-dimethyl-4-methyl-2-acrylamide-hydroxybenzyl) acrylamide



N-(2-methoxy-4-methyl-5-methylbenzyl) acrylamide

Scheme 1　Structures of five acrylamide compounds containing capsaicin moieties

1　实验部分

1.1　试剂和仪器

N-羟甲基丙烯酰胺(淄博中森化工有限公司)为工业级;2,5-二甲酚、2,6-二甲酚、3,4-二甲酚、3,5-二甲酚、间甲基苯甲醚(国药集团化学试剂有限公司)均为工业级;乙醇、浓硫酸、$AlCl_3$、丙酮、乙酸乙酯、石油醚(国药集团化学试剂有限公司)均为化学纯试剂;蛋白胨(北京奥博星生物技术责任有限公司)为生化试剂,营养琼脂、牛肉浸出粉(北京陆桥技术有限责任公司)。

Tensor27 型红外光谱仪(德国布鲁克光谱仪有限公司);AVANCE-Ⅲ 600mHz 型核磁共振波谱仪(瑞士 Bruker Biospin International AG 公司),以 DMSO 为溶剂,TMS 为内标; B-545 型熔点仪(瑞士 BUCHI公司), U-2800 型紫外可见分光光度计(日本 HITACHI 公司)。

1.2　合成与表征

N-(2-羟基-3-丙烯酰胺甲基-4,6-二甲基苄基)丙烯酰胺(HMABA),参照文献[14]方法合成:向装有温度计、搅拌器的三口瓶中加入 0.6 mol 的二甲酚类和 1.5 mol 的 *N*-羟甲基丙烯酰胺,再依次加入 30 mL浓硫酸作为催化剂和 350 mL 乙醇作为溶剂。在 35 ℃水浴中搅拌反应 48 h 后,生成白色沉淀,抽滤,反复水洗滤饼,至中性,用乙醇重结晶,白色晶体,产率 87.6%,熔点 219 ~ 220 ℃。IR(KBr),σ/cm^{-1}:682.6,(苯环—C═C):1540.9,1557.9,1607.5,(C═O):1647.4,(═C—H):3077.5,(N—H):3245.1,(—OH):3412.0;^{1}H NMR(DMSO,600 MHz),δ:2.22(s,3H,CH_3),2.23(s,3H,CH_3),4.29(m,4H,CH_2),5.57(m,2H,CH),6.10(m,2H,CH_2),6.25(m,2H,CH_2),6.55(s,1H,Ph—H),7.97 ~ 7.99(t,J = 4.2 Hz,1H,NH),8.35 ~ 8.37(t,J = 5.4 Hz,1H,NH),9.62(s,1H,OH);MS(ESI) m/z:289.2 $(M+H)^+$;$C_{16}H_{20}N_2O_3$元素分析值(计算值)/%:C 65.06(66.67),H 6.90(6.94),N 9.46(9.72)。

参照上述 HMABA 的合成方法,得其它 4 种化合物,其结构表征如下:

N-(2-羟基-3-丙烯酰胺甲基-4,5-二甲基苄基)丙烯酰胺(AMHBA),白色晶体,产率 86.8%,熔点 206 ~ 207 ℃。IR(KBr),σ/cm^{-1}:691.4,(苯环—C═C):1545.2,1617.2,1639.0,(C═O):1652.5,(═C—H):3268.5,(N—H):3414.7,(—OH):3480.5;^{1}H NMR(DMSO,600 MHz),δ:2.13(s,3H,CH_3),2.17(s,3H,CH_3),4.23 ~ 4.24(d,J = 6.0 Hz,2H,CH_2),4.33 ~ 4.34(d,J = 6.0 Hz,2H,CH_2),5.63(m,2H,CH),6.16(m,2H,CH_2),6.26(m,2H,CH_2),6.88(s,1H,Ph—H),8.64 ~ 8.66(t,J = 6.0 Hz,1H,NH),8.74 ~ 8.77(t,J = 5.4 Hz,1H,NH),9.93(s,1H,OH);MS(ESI) m/z:289.2(M + H)$^+$;$C_{16}H_{20}N_2O_3$元素分析值(计算值)/%:C 65.04(66.67),H 6.81(6.94),N 9.55(9.72)。

N-(3,5-二甲基-4-羟基苄基)丙烯酰胺(MHBA),白色晶体,产率 74.4%,熔点 140 ~ 141 ℃。IR(KBr)σ/cm^{-1}:735.6,(苯环—C═C):1488.8,1567.2,1599.9,(C═O):1655.6,(═C—H):3089.3,(N—H):3251.4,(—OH):3419.8;^{1}H NMR(DMSO,600 MHz),δ:2.13(s,6H,CH_3),4.16 ~ 4.17(d,J = 6.0 Hz,2H,CH_2),5.58(m,1H,CH),6.20(m,2H,CH_2),6.80(s,2H,Ph—H),8.14(s,1H,NH),8.42

(s,1H,OH);MS(ESI) m/z:206.1(M+H)$^+$;$C_{16}H_{20}N_2O_3$元素分析值(计算值)/%:C 69.35(66.67),H 7.31(6.94),N 6.86(9.72)。

N-(3,6-二甲基-4-丙烯酰胺甲基-2-羟基苄基)丙烯酰胺(MAHBA),白色固体,产率78.32%,熔点179~180 ℃。IR(KBr)σ/cm^{-1}:712.7,(苯环—C═C):1465.6,1536.2,1621.6,(C═O):1648.1,(═C—H):3072.8,(N—H):3234.7,(—OH):3323.0;^{1}H NMR(DMSO,600 MHz),δ:2.10(s,3H,CH_3),2.21(s,3H,CH_3),4.22~4.23(d,J=6.0 Hz,2H,CH_2),4.31(s,2H,CH_2),5.56~5.58(d,J=12.6 Hz,1H,CH),5.69(s,1H,CH),6.15(m,2H,CH_2),6.26(m,2H,CH_2),6.96(s,1H,Ph—H),8.25~8.27(t,J=4.8 Hz,1H,NH),9.07~9.09(t,J=6.0 Hz,1H,NH),9.79(s,1H,OH);MS(ESI) m/z:289.2(M+H)$^+$;$C_{16}H_{20}N_2O_3$元素分析值(计算值)/%:C 65.80(66.67),H 6.95(6.94),N 9.68(9.72)。

N-(2-甲氧基-4-甲基-5-丙烯酰胺甲基苄基)丙烯酰胺(MMABA),白色固体,产率76.37%,熔点278~279 ℃。IR(KBr)σ/cm^{-1}:717.9,(苯环—C═C):1462.6,1542.1,1618.6,(C═O):1653.9,(═C—H):2919.7,(N—H):2957.9,(—OCH_3):3287.6;^{1}H NMR(DMSO,600 MHz),δ:2.27(s,3H,CH_3),3.79(s,3H,OCH_3),4.25(m,4H,CH_2),5.58(m,2H,CH),6.10(m,2H,CH_2),6.27(m,2H,CH_2),6.84(s,1H,Ph—H),7.04(s,1H,Ph—H),8.33(s,1H,NH);MS(ESI) m/z:289.2(M+H)$^+$;$C_{16}H_{20}N_2O_3$元素分析值(计算值)/%:C 65.79(66.67),H 6.95(6.94),N 9.64(9.72)。

1.3 抑菌活性测试

供试菌种来源为金黄色葡萄球菌(*Staphyloccocus aureus*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)。前者属于革兰式阳性菌,后者属于革兰式阴性菌,均由中国海洋大学海洋生命学院微生物实验室提供。

1.3.1 *菌种的活化* 将大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的斜面保藏菌分别转接到牛肉膏蛋白胨固体培养基(营养琼脂33 g,水1000 mL,pH值7.0~7.2,121 ℃灭菌20 min)上,37 ℃下培养24 h,得到纯化的单菌落。分别挑取单菌落接种于斜面培养基使其活化,试验时应采用连续转接2次后的新鲜细菌培养物。将菌种充分活化,用接种环刮取斜面培养基上的新鲜菌株接种到无菌液体培养基中,培养一段时间,用无菌生理盐水依次10倍稀释至所需浓度。

1.3.2 *最低抑菌浓度(MIC)的测定* 采用试管二倍稀释法[15],取加有2 mL液体培养基的灭菌试管,以不加受试化合物而接种菌的试管为阳性对照,以不加受试化合物也不接种菌的试管为阴性对照。药物初始浓度为1 g/L,依次2倍稀释,混合均匀。分别向各试管中加入一定浓度的菌悬液200 μL,使菌液最终浓度为10^4~10^5 cfu/mL(cfu即菌落形成单位,1 cfu是指经培养后在琼脂平板上形成的一个单菌落)。震荡培养24 h,肉眼观察阳性对照管有菌生长(混浊),阴性对照管无菌生长(透明),确定待测物对2种试验菌株的最低抑菌浓度MIC。

1.4 防污实验

参照国家标准《防污漆样板浅海浸泡试验方法》(GB 5370-85)[16]评价所制备的防污涂料的防污性能。

用120 μm的砂纸将250 mm×150 mm×3 mm的低碳钢板打磨除锈,用棉纱擦净后涂刷2遍环氧底漆,然后涂刷2遍按表1配方制备的含有辣素衍生结构的丙烯酰胺防污剂的防污涂料,放在通风处自然晾干。将样板和仅含氧化亚铜防污剂的空白样板分别固定在带槽的木框中,两端用螺栓固定,样板在青岛大港海上浮筏浸入海水1 m,挂板120 d。

表1 防污涂料配方

Table 1 Composition of antifouling coatings(unit:g)

No.	Acrylic	Cuprous oxide	Pigment	Add fungicides	Additives bentonite	Xylene
blank	55	25	17	none	2	13
1105	55	25	17	HMABA	2	11
1106	55	25	17	AMHBA	2	11
1107	55	25	17	MHBA	2	12
1108	55	25	17	MAHBA	2	11
1109	55	25	17	MMABA	2	12

2　结果与讨论

2.1　合成条件的选择

其它条件保持不变,分别考察反应时间、温度和催化体系对产率的影响,选出较优条件[17]。以 HMABA 为例,结果如表 2 所示。由表 2 可见,催化剂/溶剂体系对产率影响较大,其中以浓硫酸/丁醇体系最佳,且后处理容易。HMABA 的产率随反应时间的增加而增加,随反应温度的升高先增加后减小,由此选择 HMABA 合成的条件为:以浓硫酸为催化剂,丁醇为溶剂,在 35 ℃下反应 5 d。

表 2　反应条件对产率的影响

Table 2　Effect of reaction conditions on the yield

	Catalyst/Solvent			Reaction time/d				Reaction temperature/℃			
	Concentrated sulfuric acid/ Butanol	Concentrated sulfuric acid/ Ethanol	Aluminum trichloride/ Chloroform	2	3	4	5	25	30	35	40
Yield/%	90.4	87.6	47.1	53.7	69.6	86.1	87.6	59.1	72.2	87.6	86.9

按照同样方法确定 AMHBA 的合成条件为浓硫酸为催化剂,丁醇为溶剂, 25 ℃反应 4 d。

MHBA 为浓硫酸为催化剂,丁醇为溶剂,在 25 ℃下反应 3 d;MAHBA 为浓硫酸为催化剂,乙醇为溶剂,在 35 ℃下反应 4 d;MMABA 为浓硫酸为催化剂,丁醇为溶剂,在 30 ℃下反应 5 d。

2.2　抑菌活性

以试管中明显无菌生长的化合物最小浓度为该化合物的最小抑菌浓度(MIC)[18]。测得 5 个具类辣素结构丙烯酰胺化合物对 2 种细菌的 MIC 结果列于表 3。从表 3 可以看出,5 个化合物对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均表现较好的抑制性,抑菌活性相近,主要因为它们的结构相似,疏水性相近,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌细胞膜的透过性相近有关,均是有希望的抑菌剂。

表 3　受试化合物对两种菌的 MIC 值

Table 3　MIC of five testing compounds with two bacteria(unit:g/L)

	Escherichia coli	*Staphyloccocus aureus*		*Escherichia coli*	*Staphyloccocus aureus*
HMABA	0.125 0	0.125 0	MAHBA	0.250 0	0.250 0
AMHBA	0.250 0	0.250 0	MMABA	0.250 0	0.250 0
MHBA	0.250 0	0.250 0			

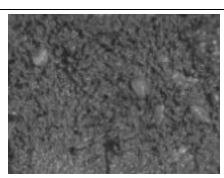
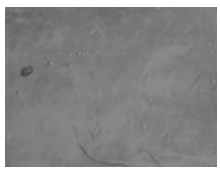
2.3　在涂料中对海水中钢板的防污作用

将含有类辣素结构的丙烯酰胺防污剂配成涂料涂覆的钢板,在浒苔以及藤壶等海洋生物的旺盛生长期,在水中挂板实验 120 d,观测钢板的生物附着情况,结果如表 4 所示。

表 4　含辣素衍生结构的丙烯酰胺的防污涂料实海挂板结果

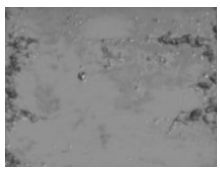
Table 4　Testing board of antifouling coatings with acrylamide containing capsaicin derivative

(Immerge into the sea for 120 days)(2013.4.1 ~ 7.30)

	Original	Soak 120 days
Cuprous oxide antifouling agent containing only blank sample		
Add HMABA antifouling agent model 1105		

Continued on next page

continued from previous page

	Original	Soak 120 days
Add AMHBA antifouling agent model 1106		
AddMHBA antifouling agent model 1107		
Add MAHBA antifouling agent model 1108		
Add MMABA antifouling agent model 1109		

从表 4 中各图可以看出,海水中挂板 120 d 后,空白样板表面已布满了海洋污损生物,而涂有丙烯酰胺衍生物防污剂的 5 块样板表面无污损生物附着,只有试片 1107 上有少量的微生物粘膜和污泥,但这些微生物粘膜在水流的冲刷下也较易滑落。由此可见,合成的 5 种类辣素结构的丙烯酰胺均具有较好的防污性能。

3 结 论

以 *N*-羟甲基丙烯酰胺和 5 种取代苯酚为原料,通过 Friedel-Crafts 烷基化反应合成了 5 种其类辣素结构的丙烯酰胺衍生物,通过核磁、红外、质谱和元素分析确定了化合物的结构,优化了合成条件。5 种的化合物对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌均有较好的抑菌活性,最低抑菌浓度可达 0.25 g/L。将合成的丙烯酰胺衍生物作为防污剂制备防污涂料,测试了它在藤壶等大型污损海生物生长旺盛期时对海水钢板的防护作用,经 120 d 实验,钢板上几乎无海生物附着,说明丙烯酰胺衍生物作为防污涂料防污剂具有较好的应用前景。

参 考 文 献

[1] Bauer R S. Epoxy Resin, ACS Symposium Series[M]. Washington DC: American Chemical Society, 1985: 931-961.

[2] QIAN Junmin, LI Xuxiang. Modification of Epoxy Resin[J]. *Eng. Plast Appl.*, 2001, **29**(10): 50-53(in Chinese).
钱军民,李旭祥. 环氧树脂改性研究进展[J]. 工程塑料应用, 2001, **29**(10): 50-53.

[3] ZHAO Zhichao, YUAN Caideng, XU Tao, *et al*. Environmentally Friendly Epoxy Coating[J]. *Thermoset Resin*, 2005, **20**(6): 32-35(in Chinese).
赵志超,袁才登,徐涛,等. 环保型环氧树脂涂料[J]. 热固性树脂, 2005, **20**(6): 32-35.

[4] Takahirookamatsu, Mitsukazuochi. Effect on the Toughness and Adhesion Properties of Epoxy Resin Modified with Silylcrosslinked Urethane Microsphere[J]. *Polymer*, 2002, **43**(3): 721-730.

[5] CONG Weiwei, YU Liangmin, ZHAO Haizhou, *et al*. *N*, *N*′-Dibutyl Dithio Oxymethyl Acrylamide, Antibacterial and Antifouling Properties[J]. *Paint Ind*, 2010, **9**(40): 9-15(in Chinese).
丛巍巍,于良民,赵海洲,等. *N*,*N*′-二丁氧基甲基二硫代二丙烯酰胺的合成、抑菌和防污性能研究[J]. 涂料工业, 2010, **9**(40): 9-15.

[6] Oommen S, John A R, Stinivas G, *et al*. Allicin(from garlic) Induces Caspase-mediated Apoptosis in Cancer Cells[J].

Physiol Mol Plant Pathol,2004,**65**(2):79.
[7] JIN Yong,LI Jun,YAO Hongwei,*et al*. Pepper Extract Inflammatory and Analgesic Effects[J]. *Anhui Med Univ*,2001,**36**(6):430-431(in Chinese).
金涌,李俊,姚宏伟,等. 辣椒提取物的抗炎镇痛作用[J]. 安徽医药大学学报,2001,**36**(6):430-431.
[8] Kenneth J Fischer. Marine Organism Repellent Covering for Protection of Underwater Objects and Method of Applying Same:US,5226380[P],1993.
[9] James L Watts. Antifouling Coating Composition Containing Capsaicin:US,5397385[P],1995.
[10] Hamanok,Nagatak. Naimal Repelling Aqueous Coating Composition:JP,6219906[P],1994.
[11] Wang J L,Peng Z H,Zhou S Z,*et al*. A Study of Pungency of Capsaicinoid as Affectd by Their Molecular Structure Alteration[J]. *Sci Res*,2011,**2**:109-115.
[12] PENG Bixian,WANG Junlian,PENG Zhenghong,*et al*. Synthetic Capsaicin Homologues, Spiciness and Antifouling Properties of Marine Organisms[J]. *Sci China*:*Chem*,2011,**41**(10):1464-1654(in Chinese)
彭必先,王俊莲,彭争宏,等. 辣椒素同系物合成、辣度及海洋生物防污性能研究[J]. 中国科学:化学,2011,**41**(10):1464-1654.
[13] XU Huanzhi,YU Liangmin,ZHANG Zhiming,*et al*. A Side-chain Hanging Pepper Rings Acrylamide Resin and Its Preparation Method and Application:CN,1624017[P],2005-6-8(in Chinese).
徐焕志,于良民,张志明,等. 一种侧链悬挂胡椒环的丙烯酰胺树脂及其制备方法和应用:CN,1624017A[P],2005-6-8.
[14] CHEN Sihao,XU Zicheng,XU Jingli,*et al*. Synthesis of Capsaicin:CN,1982287A[P],2007(in Chinese).
陈思浩,徐子成,徐菁利,等. 辣素的合成方法:CN,1982287A[P],2007.
[15] MurainaI A,Picard J,Eloff J N. Development of a Reproducible Method to Determine Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of Plant Extract Against a Slow-growing Mycoplasmas Organism[J]. *Phytomedicine*,2009,**16**(2):262-264.
[16] GB/T 5370-85,Antifouling Panels in Shallow Submergence[S].
[17] XU Huanzhi,YU Liangmin,LI Changcheng,*et al*. Capsaicin Derivatives and Their Inhibitory Activity Closterium[J]. *Chinese J Appl Chem*,2007,**24**(8):911-916(in Chinese).
徐焕志,于良民,李昌诚,等. 辣素衍生物的合成及其对新月菱形藻的抑制活性[J]. 应用化学,2007,**24**(8): 911-916.
[18] Pernak A, Skrzypczak A. 3-Alkylthiomethyl-1-ethylimidazolium Chlorides Correlation between Critical Micelle Concentrations and Minimum Inhibitory Concentrations[J]. *Eur J Med Chem*,1996,**31**(11):901-903.

Synthesis, Bacteriostasic Activity and Antifouling Capability of Acrylamides Containing Capsaicin Moieties

YU Xiaolin , YU Liangmin* , JIANG Xiaohui
(*Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology*,*Ministry of Education*,
Ocean University of China,*Qingdao*, 266100,*China*)

Abstract Five acrylamide compounds containing capsaicin moieties were synthesized. Their structures were confirmed by IR spectroscopy, ^{1}H NMR spectroscopy, HRMS and elemental analysis. The results of bacterium-inhibition experiments concluded that the minimal inhibitory concentration (MIC) of five tag compounds respectively to *Staphyloccocus aureus* and *Escherichia coli* both were 0.125 g/L. The antifouling properties of coatings were examined by immersing test panels in the sea for more than 120 days. The result shows that the test panels are covered with a few macroscopic fouling organisms balanus.

Keywords acrylamide containing capsaicin derivative,synthesis,bacterium-inhibition,antifouling properties

Reveived 2013-09-16; Revised 2013-11-20; Accepted 2014-01-12

Supported by National High Technology Research and Development Program (863 Program) (No. 2010AA09Z203, No. 2010AA065104); National Science and Technology Support Program(No. 2012BAB15B02); Taishan Scholar Climbing Program

Corresponding author:YU Liangmin, professor; Tel:0532-66781845; E-mail:yuyan@ouc.edu.cn; Research interests:protection of marine environment-friendly materials and application technology, advanced polymer composites, class of natural products and their ecological characteristics