

◆ 开发与分析 ◆

N-取代萘二酰亚胺乙酸类衍生物的 合成及生物活性

田朝瑜¹, 李振杰¹, 孔 衍¹, 傅吉尧¹, 孙鉴昕², 田庆功²

(1. 海军士官学校, 安徽蚌埠 233050; 2. 青岛科技大学, 山东青岛 266000)

摘要:采用活性基团拼接法,以1,8-萘二甲酸酐为基本骨架,合成了3个具有植株生长调节功能的新型萘二酰亚胺乙酸类衍生物,并经¹H NMR、元素分析确定了化合物的结构。室内生物活性测试结果显示:目标化合物**4a**在质量浓度为1 mg/L时,对绿豆种子的发芽促进率达到254.55%,芽长促进率达到136.36%,根长促进率达到75.00%;在4℃、质量浓度为0.67 mg/L时,对小麦种子的发芽促进率达到240%。目标化合物**4a**表现出优异的抗低温胁迫和植物生长调节活性。

关键词:新化合物;萘二酰亚胺乙酸;1,8-萘二甲酸酐;合成;植物生长调节活性

中图分类号:O 625.5 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2024.03.007

Synthesis and biological activity of N-substituted naphthalimide acetic acid derivatives

TIAN Zhaoyu¹, LI Zhenjie¹, KONG Yan¹, FU Jiyao¹, SUN Jianxin², TIAN Qinggong²

(1. Naval Petty Officer Academy, Anhui Bengbu 233050, China; 2. Qingdao University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266000, China)

Abstract: According to active group splicing method, three novel compounds with plant growth-regulating activity were synthesized, using 1,8-naphthalene dicarboxylic anhydride as the basic skeleton. The structures of the compounds were determined by ¹H NMR and elemental analysis. The indoor biological activity tests showed that the compound **4a** could increase the rooting and germination activity of mung beans, with the germination promotion rate of 254.55%, the bud length promotion rate of 136.36%, the root length promotion rate reached of 75.00% at the concentration of 1 mg/L. Under low temperature, compound **4a** could significantly improve the germination rate of wheat seeds. At the temperature of 4℃, the concentration of 0.67 mg/L, the germination promotion rate of wheat seeds reached 240%. Target compound **4a** exhibited excellent resistance to low temperature stress and plant growth-regulating activity.

Key words: novel compound; naphthalimide acetic acid; 1,8-naphthalenedicarboxylic anhydride; synthesis; plant growth-regulating activity

N-取代氨基酸类化合物对细菌、真菌、病原体和结核菌具有抑制活性^[1]。氨基酸酯类衍生物是以氨基酸为先导化合物,通过对羧基进行修饰,包括酯化、酰基化或衍生化作用,获得的一类具有独特生物活性的化合物^[2],见图1。该类化合物具有抗植物病毒^[3-4]、杀菌^[5]、植物生长调节^[6]和抗肿瘤^[7]等活性。

萘二酰亚胺类化合物是一种重要的化工原料,是染料及颜料工业的重要中间体。该化合物具有较

好的共平面性和较强的接受电子能力,主要用作有机半导体材料^[8]、荧光探针^[9]、有机场效应晶体管^[10]和气体传感器^[11]等,见图2。



图1 活性基团

收稿日期:2023-10-18

作者简介:田朝瑜(1993—),男,山东临沂人,硕士,助教,主要从事有机合成研究。E-mail:1102094867@qq.com

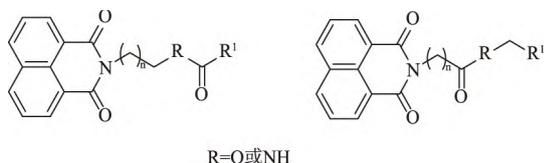
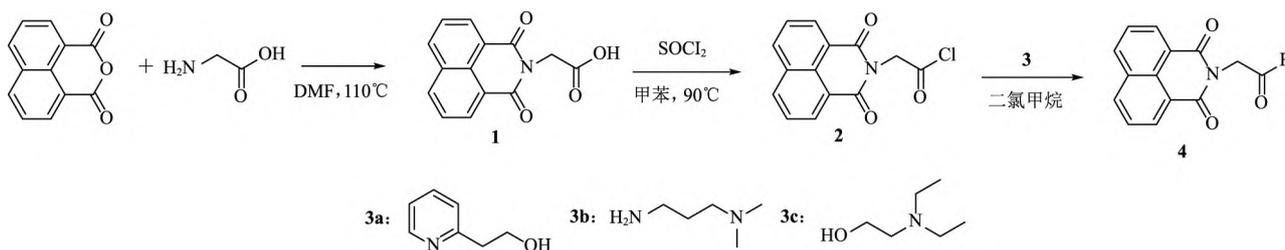


图 2 羰二酰亚胺类化合物

同时因羰二酰亚胺类化合物具有与生长素1-萘乙酸类似的结构,经化合物结构优化与改造后,可合成出具有植物生长调节、杀虫、抑菌等活性的新型化合物^[12-15]。羰二酰亚胺类化合物结构具有多样性,既可以含有氨基、羟基等亲核基团,也可以带有羧基等亲电基团。因此,羰二酰亚胺类化合物具

有较强的可塑性,可作为具有良好药效基团引入到农用化学品中。

本研究利用活性基团拼接法,通过1,8-萘二甲酸酐与甘氨酸反应,制得中间体*N*-取代萘二酰亚胺乙酸(1);再利用中间体的羧基作为反应活性基团,与羟基、氨基等亲核试剂反应,得到具有生物活性的*N*-取代萘二酰亚胺乙酸类衍生物(4),见图3。将所得目标化合物分别进行对单子叶植物和双子叶植物的促生活性试验。结果发现,目标化合物4a具有极好的植物调节活性和抗低温胁迫能力,本文主要介绍目标化合物4a的生物活性。相关内容已经申请国家发明专利(专利申请号:CN113173914A)^[16]。

图 3 *N*-取代羰二酰亚胺乙酸类衍生物的合成

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

旋转蒸发仪(Ankeyq SB-1100);核磁共振波谱仪(BRUKER AVANCE 500 MHz, TMS为内标, DMSO-*d*₆或D₂O为溶剂);X-4型显微熔点仪(温度未经校准,上海精密科学仪器有限公司);98-1-B型电子调温加热套,天津市泰斯特仪器有限公司;GF254型薄层层析硅胶,青岛海洋化工厂。

1,8-萘二甲酸酐、2-吡啶乙醇、*N,N*-二甲基-1,3-丙二胺、二乙氨基乙醇,北京沃凯生物科技有限公司;甘氨酸,国药集团化学试剂有限公司;*N,N*-二甲基甲酰胺、甲苯、氯化亚砷、二氯甲烷、磷酸,烟台市双双化工有限公司。以上试剂均为分析纯。蒸馏水,实验室自制。

1.2 化合物的合成

1.2.1 2-[1,3-二氧化-1*H*-苯并[de]异喹啉-2(3*H*)-基]乙酸(化合物1)的合成

在250 mL三口瓶中加入19.8 g(0.1 mol) 1,8-萘二甲酸酐、7.5 g(0.1 mol) 甘氨酸和100 mL *N,N*-二甲基甲酰胺,升温至100~110°C,保温反应。约3 h后, TLC监测反应至完全。冷却降温至室温,向三口瓶中加入适量水并不断搅拌,析出大量固体,抽滤。固体

烘干后得到白色固体23.7 g,收率92.9%。所得白色固体无需纯化,可直接用于下步反应。

1.2.2 2-[1,3-二氧化-1*H*-苯并[de]异喹啉-2(3*H*)-基]乙酰氯(化合物2)的合成

在250 mL反应瓶中,加入5.1 g(0.02 mol) 化合物1、40 mL甲苯和3.1 g(0.026 mol) 氯化亚砷,升温至90°C左右,保温搅拌反应,约2 h后反应完成。减压蒸馏出溶剂和过量的氯化亚砷,得到浅黄色油状液体,冷却至室温后,油状物变为淡黄色固体,质量为4.92 g,收率90.1%。

1.2.3 目标化合物(4a~4c)的合成

在250 mL反应瓶中,加入0.02 mol化合物3和30 mL二氯甲烷,室温下搅拌。称取6.01 g(0.022 mol) 化合物2,溶于30 mL二氯甲烷中,搅拌至完全溶解。将其滴加到反应瓶中,滴加完毕后,室温下继续搅拌反应。约30 min后, TLC监测反应完全,抽滤,将所得固体烘干,得到目标化合物4。

2-(吡啶-2-基)乙基-2-[1,3-二氧化-1*H*-苯并[de]异喹啉-2(3*H*)-基]乙酸酯(4a):白色固体,收率82.3%,熔点494~497.6°C。¹H NMR δ: 8.50~8.45(m, 2H, Ar-H)、8.38(dd, *J*=4.7, 1.8 Hz, 1H, Ar-H)、7.91(m, 2H, Ar-H)、7.62~7.58(m, 2H, Ar-H)、7.48(td, *J*=7.7, 1.9 Hz, 1H, Ar-H)、7.18(d, *J*=7.7 Hz, 1H, Ar-H)、

7.10 (dd, $J=7.6, 4.9$ Hz, 1H, Ar-H)、4.78 (s, 2H, CH₂)、4.48 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, CH₂)、3.04 (t, $J=6.6$ Hz, 2H, CH₂)。元素分析 (C₂₁H₁₆N₂O₄): C 69.99、H 4.48、N 7.77 (计算值); C 70.00、H 4.46、N 7.77 (实测值)。

N-[3-(二甲基氨基)丙基]-2-[1,3-二氧化-1*H*-苯并[de]异喹啉-2(3*H*)-基]乙酰胺 (**4b**): 白色固体, 收率73.3%, 熔点526.0~531.2℃。¹H NMR δ: 8.20~8.15 (m, 2H, Ar-H)、8.11 (d, $J=8.2$ Hz, 2H, Ar-H)、7.60 (t, $J=7.8$ Hz, 2H, Ar-H)、4.70 (s, 2H, CH₂)、3.38 (t, $J=6.5$ Hz, 2H, CH₂)、3.23~3.16 (m, 2H, CH₂)、2.91 (s, 6H, CH₃)、2.05~1.95 (m, 2H, CH₂)。元素分析 (C₁₉H₂₁N₃O₃): C 67.24、H 6.24、N 12.38 (计算值); C 67.23、H 6.27、N 12.38 (实测值)。

2-(二乙氨基)乙基-2[1,3-二氧化-1*H*-苯并[de]异喹啉-2(3*H*)-基]乙酸酯 (**4c**): 淡黄色固体, 收率76.2%, 熔点424~429.3℃。¹H NMR δ: 8.02 (dd, $J=7.2, 1.1$ Hz, 2H, Ar-H)、7.97~7.92 (m, 2H, Ar-H)、7.46 (t, $J=7.7$ Hz, 2H, Ar-H)、4.80 (s, 2H, CH₂)、4.64~4.58 (m, 2H, CH₂)、3.61~3.55 (m, 2H, CH₂)、3.30 (q, $J=7.3$ Hz, 4H, CH₂)、1.28 (t, $J=7.3$ Hz, 6H, CH₃)。元素分析 (C₂₀H₂₂N₂O₄): C 67.78、H 6.26、N 7.90 (计算值); C 67.75、H 6.23、N 7.94 (实测值)。

1.3 生物活性测试

由于目标化合物中含有萘二酰亚胺结构, 因此目标化合物的水溶性较差, 难溶于水。为将目标化合物制成稳定的水溶液, 结合前期实验室的经验做法, 将目标化合物与无机酸或有机酸反应, 以增强目标化合物的水溶性。试验发现: 目标化合物**4**与有机酸(乙酸、乳酸等)反应后, 水溶性未发生明显变化; 但与无机酸类(盐酸、磷酸、硝酸等)反应后, 水溶性得到明显改善, 且目标化合物**4**、经与不同无机酸反应后所得化合物的生物活性没有明显区别, 本文主要介绍目标化合物**4**磷酸盐的活性。

1.3.1 化合物**4**磷酸盐的制备

取1 g目标化合物**4**、2 g磷酸加入丙酮中, 升温搅拌直至固体全部溶解后, 停止加热, 冷却至室温, 减压蒸馏去除过量丙酮, 得到能溶于水的淡黄色固体产物。

分别将目标化合物**4a**的磷酸盐、胺鲜酯(DA-6)配制质量分数为1%的水剂作为母液备用, 再用蒸馏水将目标化合物**4a**磷酸盐和胺鲜酯母液分别配制质量浓度为1 mg/L、2 mg/L和10 mg/L的测试液。

1.3.2 对单子叶植物小麦的活性测试

挑选大小均匀、籽粒饱满的小麦种子, 用2%双

氧水浸泡消毒后, 将小麦种子置于烧杯中用测试液浸泡16 h。将处理后的种子置于水培盆中, 种子之间保持适当距离, 均匀摆放。每个处理摆放60粒种子, 每个浓度3组平行, 以蒸馏水处理为空白对照。将摆放整齐的水培盆置于25℃恒温培养箱中进行培养。分别在第4天测定发芽势, 第7天测定发芽率、芽长以及根长, 并计算发芽促进率、芽长促进率和根长促进率。

1.3.3 对双子叶植物绿豆的活性测试

挑选大小均匀、籽粒饱满的绿豆种子, 用2%双氧水浸泡消毒后, 将绿豆种子置于烧杯中用测试液浸泡4 h。在培养皿底部放1张滤纸, 用蒸馏水将其润湿, 再将处理后的种子均匀摆放在培养皿中, 使种子的胚部朝上放置, 种子之间保持适当距离, 均匀摆放。每个处理选择30粒种子, 每个浓度3组平行, 以蒸馏水处理为空白对照。将摆放整齐的培养皿置于25℃恒温培养箱中黑暗条件下培养。24 h后分别测定绿豆种子的发芽势、发芽率、芽长及根长。

1.3.4 对小麦的低温胁迫测试

试验采用纸床进行测定。用蒸馏水将目标化合物**4a**的母液分别配制成质量浓度为0.5、0.67、1和2 mg/L的测试液。挑选大小均匀、籽粒饱满的小麦种子, 用2%双氧水浸泡消毒后, 将小麦种子置于烧杯中用上述测试液浸泡16 h。在培养皿底部放1张滤纸, 用蒸馏水将其润湿, 再将处理后的种子均匀摆放在培养皿中, 使种子的胚部朝上放置, 种子之间保持适当距离, 均匀摆放。每个处理选择30粒种子, 每个浓度3组平行处理, 以蒸馏水处理为空白对照。然后将摆放整齐的培养皿置于4℃恒温培养箱在黑暗条件下进行低温培养。7 d后分别测定小麦种子的发芽率、根数、芽长及根长。

2 结果与讨论

2.1 对小麦和绿豆的活性测试结果

目标化合物对小麦和绿豆活性测试结果见表1。根据试验结果, 目标化合物**4a**对小麦的生长表现出高浓度抑制, 低浓度促进生长的作用。与胺鲜酯相比, 目标化合物**4a**处理的小麦种子发芽势高, 种子出芽更加整齐。在相同的促进生长效果下, 目标化合物**4a**使用浓度明显低于胺鲜酯的使用浓度。当根长促进率达到17.64%时, 目标化合物**4a**的质量浓度仅为1 mg/L, 而胺鲜酯的质量浓度为10 mg/L。

目标化合物**4a**低浓度处理对绿豆种子生长促进作用均优于胺鲜酯, 能显著提高绿豆的发芽率、

芽长和根长等生长指标。当质量浓度为1 mg/L时,目标化合物**4a**对绿豆种子的发芽促进率达到254.55%,

芽长促进率达到136.36%,根长促进率达到75.00%,其促进生长效果远超过对照组。

表 1 目标化合物 **4a** 对小麦、绿豆种子的活性测试结果

作物	化合物	质量浓度/ (mg/L)	发芽势/%	发芽促进		芽长促进		根长促进	
				发芽率/%	促进率/%	芽长/cm	促进率/%	根长/cm	促进率/%
小麦	化合物 4a	10	80	90	8.43	4.5	4.65	3.3	-2.94
		2	90	97	16.87	5.4	25.58	3.6	5.88
		1	94	97	16.87	5.5	27.91	4.0	17.64
	胺鲜酯	10	82	93	12.04	5.1	18.60	4.0	17.64
		2	83	97	16.87	5.1	18.60	3.8	11.76
		1	87	95	14.45	5.3	23.26	3.6	5.88
		水	0	67	83		4.3		3.4
绿豆	化合物 4a	10	80	44	100.00	3.8	72.72	7.0	45.83
		2	100	80	263.64	4.2	90.91	8.0	66.67
		1	100	78	254.55	5.2	136.36	8.4	75.00
	胺鲜酯	10	90.0	56	154.55	3.7	68.18	8.2	70.83
		2	90.0	38	72.73	3.4	54.55	7.0	45.83
		1	92.0	42	90.91	3.1	40.91	6.3	31.25
		水	0	88.0	22		2.2		4.8

2.2 对小麦的低温胁迫测试结果

在低温条件下,目标化合物**4a**对小麦生长影响见表2。

表 2 目标化合物 **4a** 抗低温胁迫结果

化合物	质量浓度/ (mg/L)	发芽促 进率/%	根数促 进率/%	芽长促 进率/%	根长促 进率/%
化合物 4a	0.50	150	127.3	23.4	4.4
	0.67	240	122.6	37.3	19.7
	1.00	190	127.3	38.1	23.4
	2.00	140	103.6	41.6	7.5

与对照相比,经目标化合物**4a**处理的小麦种子,在低温条件下可显著提高种子发芽率,促进幼根的生长。通过对数据分析发现,在质量浓度为0.67 mg/L时,小麦种子的发芽率和芽长促进率最高;质量浓度为1 mg/L时,小麦种子的根数和根长的促进率达到最高。

3 结论

以化合物2-[1,3-二氧化-1*H*-苯并[de]异喹啉-2(3*H*)-基]乙酸为中间体,利用中间体的羧基作为反应位点,设计合成了3个未见过文献报道的*N*-取代萘二酰亚胺乙酸类衍生物。目标化合物通过¹H NMR、元素分析进行了结构表征。目标化合物具有结构新颖、合成路线简单、生物活性高等优点,同时具有增

强种子抗寒能力和促进生长的作用。

目标化合物**4a**对双子叶植物绿豆的促进生长效果优于胺鲜酯。在质量浓度为1 mg/L时,对绿豆的发芽促进率达到254.55%,高于同浓度下胺鲜酯的促进率90.91%。对于单子叶植物小麦的促进生长效果与胺鲜酯相比差别不大,但是在相同的促进生长效果下,目标化合物**4a**的使用浓度远小于胺鲜酯。虽然目标化合物**4a**对小麦的促进生长效果与胺鲜酯无显著差别,但能够增强小麦的抗寒能力,在4℃、质量浓度为0.67 mg/L时,经目标化合物**4a**处理的小麦种子发芽促进率达到240%,这对于目前低温冻害、“倒春寒”等自然灾害频发的现状具有积极的意义,具有很好的开发和产业化前景。

参考文献

- [1] 刘倩,卢俊瑞,辛春伟,等. *N*-(5-氯-2-羟苄基)氨基酸酯的合成、表征及抑菌活性[J]. 应用化学, 2010, 27(9): 1012-1016.
- [2] 熊永通,胡津瑜,王云萍,等. *N*-烷基化甘氨酸乙酯-吩嗪-1-羧酸衍生物的合成及其抑菌活性[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(16): 85-87.
- [3] XU Y S, YANG K, SONG B A, et al. Synthesis and antiviral bioactivities of α -aminophosphonates containing alkoxyethyl moieties[J]. Molecules, 2006, 11(9): 666-676.
- [4] 李妮,王海杰,胡康洪,等. 氨基酸酯类化合物体外抗病毒活性的测定与评估[J]. 中国病原生物学杂志, 2020, 15(7): 789-794.

(下转第 80 页)

验准则》(NY/T 788—2018) 要求,且易于操作,效率高,适用于大批量检测水稻中咪鲜胺的残留量。

参考文献

- [1] 陈平, 柳训才. 咪鲜胺的应用概况及其残留检测研究[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(3): 478-480.
- [2] 李天秀, 王跃进, 刘波, 等. 咪鲜胺在鸭梨果体上的残留分析与降解动态研究[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(2): 36-39.
- [3] COPPING L G, BIRCHMORE R J, WRIGHT K, et al. Structure-activity relationships in a group of imidazole-1-carbox-amides[J]. Pesticide Science, 1984, 15(3): 280-284.
- [4] 李蓉, 蔡春生, 卢俊文, 等. 咪鲜胺及其代谢物残留检测技术研究进展[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(17): 3011-3014.
- [5] HOLLRIGL-ROSTA A, KREUZIG R, BAHADIR M. Investigations on the metabolic fate of prochloraz in soil under field and laboratory conditions[J]. Pest Management Science, 1999, 55(5): 531-538.
- [6] 韩丽君, 钱传范, 江才鑫, 等. 气相色谱法测定杀菌剂咪鲜胺及其代谢物在水稻中的残留量[J]. 分析化学, 2005, 33(7): 1049.
- [7] 姚加加. 30%烯酰吗啉·咪鲜胺悬浮剂在烟草上的残留分析和降解动态研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
- [8] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [9] CENGIZ M F, ERLER F, BILGIN A K, et al. Rapid and sensitive determination of the prochloraz residues in the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach [J]. Analytical Methods, 2014, 6(6): 1970-1976.
- [10] 贾巧莉, 王明强. 超高效液相色谱法测定水果中咪鲜胺残留量[J]. 中国酿造, 2015, 34(9): 145-148.
- [11] 卢俊文, 李蓉, 杨芳, 等. 气相色谱-串联质谱法快速测定水果中咪鲜胺及其代谢物 2,4,6-三氯苯酚的残留量[J]. 食品科学, 2015(12): 213-217.
- [12] BLASCO C, PICO Y, MANES J, et al. Determination of fungicide residues in fruits and vegetables by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2002, 947(2): 227-235.
- [13] 袁小雅, 彭梓, 周慧平, 等. 香蕉中咪鲜胺的降解动态及安全性评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2016(1): 209-214.
- [14] ZHAO P, CAO L, MA D, et al. Translocation, distribution and degradation of prochloraz-loaded mesoporous silica nanoparticles in cucumber plants[J]. Nanoscale, 2018, 41(10): 1798-1806.
- [15] 程莉, 董丰收, 刘新刚, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱方法快速测定小麦中的咪鲜胺残留[J]. 农药学报, 2009, 11(3): 357-361.
- [16] 柳训才, 陈平, 程运斌, 等. 油菜体内及土壤中咪鲜胺的残留检测与降解动态[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(3): 354-357.
- [17] 虞淼, 梁赤周, 唐芬芬, 等. HPLC/MS/MS测定铁皮石斛中咪鲜胺残留[J]. 农药科学与管理, 2016, 37(7): 34-37.
- [18] 王燕, 王春伟, 高洁, 等. 咪鲜胺在人参和土壤中的残留动态及安全性评价[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(3): 25-30.
- [19] 傅群, 刘凤鸣, 何毓文, 等. UPLC-MS/MS法测定食用植物油中乙基麦芽酚的基质效应[J]. 食品工业, 2024, 45(3): 297-301.
- [20] 中华人民共和国农业农村部. 农作物中农药残留试验准则: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.

(编辑: 顾林玲)

(上接第 44 页)

- [5] LU S M, CHEN R Y. ChemInform abstract: synthesis and fungicidal activity of novel α -substituted aminomethylphosphonates[J]. Heteroatom Chemistry, 2000, 11(5): 317-322.
- [6] 汪焱钢, 卢冰熙, 叶文法, 等. α -(5-四唑基)氨基烃基膦酸酯的合成及其生物活性[J]. 有机化学, 2002, 22(11): 862-866.
- [7] XU S Q, ZHU L Y, HAO C, et al. Synthesis of a novel series of amino acid prodrugs based on tegafur and evaluation of their antitumor activity[J]. Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences, 2021, 30(9): 743-753.
- [8] KANG C, QI F Y, DA H Z. Large hydroazaacene diimides: synthesis, tautomerism, halochromism, and redox-switchable NIR optics[J]. Chemical Science, 2012, 3(11): 3175-3182.
- [9] 卢玉伟, 康乐瑶, 任雅斌, 等. 基于萘二酰亚胺的荧光探针的合成和甲醛检测[J]. 廊坊师范学院学报(自然科学版), 2021, 21(4): 70-73.
- [10] 罗河伟, 李乐琦, 马贺. 多元杂环萘二酰亚胺衍生物的合成及其场效应性能[J]. 化学通报, 2021, 84(11): 1219-1223.
- [11] 帕提曼·尼扎木丁, 玛日耶姆·图尔贡, 阿布力孜·伊米提. MOFs 薄膜的可控制备及在光波导气体传感器中的应用[J]. 郑州大学学报(工学版), 2019, 40(6): 53-56.
- [12] 张明明, 王明慧, 许良忠, 等. 一种萘二甲酰亚胺乙基己酸酯类化合物及其应用: ZL, 201610102842.7[P]. 2018-11-16.
- [13] 许良忠, 崔建强, 彭壮, 等. 一种 1,8-萘二甲酰亚胺酰胺类化合物及其用途: ZL, 201810263165.6[P]. 2020-12-15.
- [14] 张建军, 沈生强, 杨青, 等. 一种糖基萘酰亚胺衍生物及其制备方法与应用: ZL, 201710639194.3[P]. 2019-08-20.
- [15] 田翰瑜, 许良忠. 萘二酰亚胺取代的 2,4-二氯肉桂酸乙酯的合成及生物活性[J]. 现代农药, 2018, 17(6): 6-9.
- [16] 高立龙, 田立亮, 彭壮, 等. 一种 N-取代甘氨酸类衍生物及其制备方法与应用: ZL, 202110490862.7[P]. 2022-07-27.

(编辑: 顾林玲)