

基于萘并 2-氢-吲哚衍生物的 反应型 Cu^{2+} 荧光探针的合成

李宏达*

(中国刑事警察学院刑事科学技术学院, 辽宁 沈阳 110035)

摘要:通过简单的还原反应构建了基于萘并 2-氢-吲哚衍生物的具有微弱荧光的反应型铜离子荧光探针 1, 通过 $^1\text{H-NMR}$ 和 MALDI-TOF MS 对其结构进行了表征。研究表明, 铜离子能够氧化探针 1 中 *N*-乙基-2-氢-吲哚单元变为 *N*-乙基-吲哚季铵盐单元, 延长了探针 1 分子的共轭体系, 产生卓越的光学性能变化; 探针 1 对铜离子具有良好的选择性, 且不受其他阳离子分析物的干扰, 在弱碱性条件下探针 1 识别铜离子是非常迅速的过程, 溶液颜色产生明显的变化, 可以应用于“裸眼”识别复杂环境中铜离子; 探针 1 溶液中逐渐滴加铜离子后荧光信号逐渐增强, 且荧光强度变化与加入铜离子浓度呈现良好的线性关系, 可以监测较低浓度水平的铜离子。

关键词: 荧光探针; 铜离子检测; 荧光分析; 萘衍生物; 氧化反应

中图分类号: O656; TJ06

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2023)02-0239-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2023.02.045

Synthesis of reactive Cu^{2+} fluorescent probe based on naphtho-2-hydrogen-indole derivatives

LI Hong-da*

(School of Forensic Science and Technology, Criminal Investigation Police University of China,
Shenyang 110035, China)

Abstract: A reactive copper ion fluorescence probe 1 with weak fluorescence signal is constructed based on naphtho-2-hydrogen-indole derivatives through simple reduction reaction. Its structure is characterized by $^1\text{H-NMR}$ and MALDI-TOF MS. The results show that copper ion can oxidize *N*-ethyl-2-hydrogen-indole unit in probe 1 into *N*-ethyl-indole quaternary ammonium salt unit, prolongs the conjugation system of probe 1 molecule and generates excellent changes in optical properties. Probe 1 has good selectivity for copper ions and is not interfered by other cationic analytes. Under weak alkaline conditions, probe 1 recognizes copper ions very quickly, and the color of the solution changes significantly. It can be applied to “naked eye” to identify copper ions in complex environments because probe 1 can recognize copper ions very quickly under weak alkaline conditions and make the color of solution change obviously. After copper ion is gradually added into the solution of probe 1, the fluorescence signal is gradually enhanced, and the change of fluorescence intensity shows a good linear relationship with the concentration of copper ion, which can monitor the copper ion at a lower concentration level.

Key words: fluorescent probe; copper ion detection; fluorescence analysis; naphthalene derivatives; oxidation reaction

铜离子是人体中含量位居第二位的重要微量元素, 含量为 100~150 mg, 能够促进铁的吸收与利用, 在维持生命活动过程中起着重要作用^[1]。研究表明, 许多疾病与铜离子的含量密切相关, 人体中铜离子的缺乏可以引起贫血、骨质疏松、冠心病、白癜风等疾病, 铜离子含量过高容易产生中毒现象^[2]。铜离子可以消毒杀菌、卫生防疫, 还可以应用在游泳池内, 防止绿藻污染和通过地板传染足癣等。因此, 美国环境保护局(EPA)规定要求, 在饮用水中的铜离子的最高含量为 1.3×10^{-6} mol/L, 成

人每天铜离子平均摄入量为 1.0~1.6 mg^[3]。所以, 开发一种快速、准确、高效识别铜离子的技术方法具有重要的研究意义。

氧化还原反应是一类非常重要的有机化学反应, 过渡金属离子常常用作催化剂使用。近些年基于铜离子催化氧化反应构建检测铜离子荧光探针有一些报道^[4-10], 如蒋教授课题组^[4]报道了一种利用铜离子将弱荧光性能的 *N*-酞胺单元氧化成 1,3,4-噁二唑环, 形成具有蓝色荧光的铜离子荧光探针, 荧光强度增强 1 000 倍左右, 然而该荧光探针仅仅能

收稿日期: 2022-03-04; 修回日期: 2022-11-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(21804140); 辽宁省自然科学基金项目(2020-MS-131); 公安部科学技术研究计划项目(2020JSYJC26); 辽宁省民生科技计划项目(2021JH2/10300007); 辽宁“百千万人才工程”培养经费资助; 沈阳市中青年科技创新人才支持计划项目(RC220480)

作者简介: 李宏达(1987-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为分子离子识别, 通讯联系人, lhd870821@163.com。

够应用在纯乙腈溶剂中进行检测,限制了该探针的应用。林教授课题组^[5]报道了以铜离子协助氧化 dihydrososamine 反应为基础构建了新型铜离子反应型荧光探针,由无色荧光变为红色的荧光,荧光强度增强了 100 倍左右,并成功论证了铜离子协助氧化还原反应的机理,然而该探针的最低线检测浓度为 2.61×10^{-7} mol/L,不利于检测较低浓度下的环境与生物样本。因此,进一步开发一种快速、可视化识别较低浓度水平的铜离子荧光探针仍然具有重要的研究价值。

依据铜离子协助氧化反应的机理构建了一种还原型萘并-2-氢-吡啶衍生物的荧光探针 1,预计铜离子能够协助氧化探针 1 中非共轭的 *N*-乙基-2-氢-吡啶单元变为共轭的 *N*-乙基吡啶季铵盐单元,延长了探针分子的共轭结构,增强了分子内的电荷转移(ICT)作用,引发探针分子的荧光信号变化,实现专一识别铜离子的反应型荧光探针。

1 材料与试剂

1.1 材料

6-甲氧基-2-萘甲醛,采购于 Alfa 化学有限公司;2,3,3-三甲基吡啶、碘乙烷、硼氢化钠(NaBH_4),均采购于国药集团化学试剂沈阳有限公司。

1.2 仪器及试剂

Bruker AV-300 核磁共振波谱仪,德国布鲁克公司;AXIMA-CFRTM 基质辅助激光解吸飞行时间质谱,日本 Shimadzu 公司。UV-3100 紫外-可见分光光度仪,日本岛津公司;分光光度计;RF-5301PC 荧光分光光度计,日本 Shimadzu 公司;PHS-3S 精密酸度计,上海精密仪器仪表有限公司。

AgNO_3 、 CaCl_2 、 CdCl_2 、 CoCl_2 、 $\text{CuNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 FeCl_2 、 FeCl_3 、 HgCl_2 、 NaNO_3 、 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 和 ZnCl_2 ,均采购于 Alfa 有限公司;无水乙醇、二氯甲烷、甲醇、乙腈和去离子水,均采购于国药集团化学试剂沈阳有限公司。

2 实验方法

2.1 荧光探针 1 的合成

荧光探针 1 的合成路线与反应机理如图 1 所示。

根据文献^[11]合成 *N*-乙基-2,3,3-三甲基吡啶季铵盐碘化物(化合物 3)。

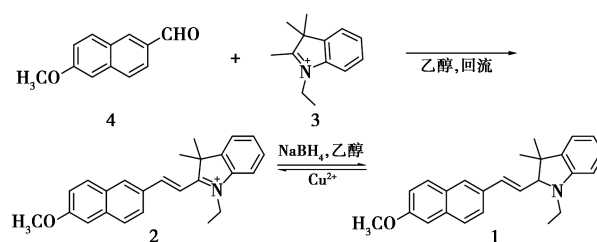


图 1 荧光探针 1 的合成路线与反应机理

2.1.1 前体化合物 2 的合成

在 25 mL 反应瓶中加入 6-甲氧基-2-萘甲醛(化合物 4, 50 mg, 0.27 mmol), *N*-乙基-2,3,3-三甲基吡啶季铵盐碘化物(化合物 3, 100 mg, 0.33 mmol), 哌啶 2~3 滴, 无水乙醇 3 mL, 80℃ 回流反应, TLC 监测反应完全后, 冷却至室温, 浓缩, 柱层析法进行提纯(二氯甲烷/甲醇体积比 = 50/1), 获得橙黄色固体 84.5 mg, 产率 75%。¹HNMR (300 MHz, CDCl_3): δ 8.80 (s, 1H), 8.34 (d, $J = 16.2$ Hz, 1H, —CH=CH—), 8.29 (dd, $J_1 = 7$ Hz, $J_2 = 1.8$ Hz, 1H, —ArH), 8.12 (d, $J = 9$ Hz, 1H, —ArH), 8.02 (d, $J = 15.9$ Hz, 1H, —CH=CH—), 7.86 (d, $J = 8.7$ Hz, 1H, —ArH), 7.61~7.57 (m, 4H, —ArH), 7.207 (dd, $J_1 = 9$ Hz, $J_2 = 2.4$ Hz, 1H, —ArH), 7.14 (d, $J = 2.1$ Hz, 1H, —ArH), 5.12 (q, $J = 7.2$ Hz, 2H, — CH_2CH_3), 3.97 (s, 3H, — OCH_3), 1.88 (s, 6H, — CH_3), 1.66 (t, $J = 7.2$ Hz, 3H, — CH_2CH_3)。MALDI-TOF MS: 理论值 $[M]^+ = 356.2$, 测量值 $[M]^+ = 356.5$ 。

2.1.2 荧光探针 1 的合成

在 25 mL 两口瓶中加入前体化合物 2 (50 mg, 0.103 mmol), 无水乙醇 1 mL, 采用恒压滴液漏斗滴加 NaBH_4 的乙醇溶液 (11.7 mg 的 NaBH_4 溶于 0.5 mL 无水乙醇溶液中, 在 10 min 内滴加完毕), 室温搅拌, TLC 跟踪展板, 待反应完全后, 浓缩, 柱层析法提纯(二氯甲烷), 获得白色固体 22 mg, 产率 60%。¹HNMR (300 MHz, CDCl_3): δ 7.70~7.60 (m, 4H, —ArH), 7.14~7.07 (m, 3H, —ArH), 7.02 (d, $J = 7.2$ Hz, 1H, —ArH), 6.76 (d, $J = 15.6$ Hz, 1H, —CH=CH—), 6.69 (d, $J = 7.5$ Hz, 1H, —ArH), 6.51 (d, $J = 6.9$ Hz, 1H, —ArH), 6.32 (dd, $J_1 = 15.5$ Hz, $J_2 = 9.5$ Hz, 1H, —CH=CH—), 3.90 (s, 3H, — OCH_3), 3.75 (d, $J = 9.1$ Hz, 1H, —CH—), 3.43~3.14 (m, 2H, — CH_2CH_3), 1.32 (s, 3H, — CH_3), 1.11 (s, 3H, — CH_3), 1.06 (t, $J = 7.2$ Hz,

3H, -CH₂CH₃)。MALDI-TOF MS:理论值[M+H]⁺ = 356.2, 测量值[M+H]⁺ = 356.6。

2.2 光谱测试方法

通用测试溶液为 HEPES (10 mmol/L pH 7.4, 30% CH₃CN) 缓冲溶液, 紫外-可见分光光谱的扫描范围为 220 ~ 700 nm, 荧光光谱的激发波长为 441 nm, 扫描范围 442 ~ 750 nm, 激发和发射的狭缝宽度为 5/5 nm。

2.3 探针 1 与 Cu²⁺ 的滴定实验

将探针 1 配置为 5 × 10⁻⁴ mol/L 的乙腈溶液作为主体储备液, 各种分析物 [AgNO₃、CaCl₂、CdCl₂、CoCl₂、Cu(NO₃)₂ · 3H₂O、FeCl₂、FeCl₃、HgCl₂、NaNO₃、NiCl₂ · 6H₂O、Pb(NO₃)₂、ZnCl₂] 配置为 1 × 10⁻³ mol/L 的纯水溶液作为客体储备液。

取 40 μL 主体储备液分别加入不同浓度的 Cu²⁺ 离子客体储备液 (加入总体积 0、20、40、60、80 和 100 μL 的 1 × 10⁻³ mol/L 的 Cu²⁺ 离子客体储备液), 采用通用测试溶液稀释至 2 mL, 配置成主体浓度为 10 μmol/L 的各种待测溶液, 混合均匀后, 在室温条件下反应 10 min 后进行光谱测定。

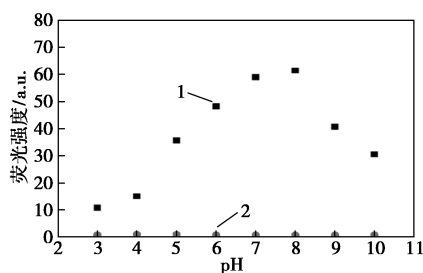
2.4 探针 1 的阳离子选择性实验

取 100 μL 主体储备液加入到 5 mL 容量瓶中, 分别加入 100 μL 不同分析物储备液 [分析物包含 AgNO₃、CaCl₂、CdCl₂、CoCl₂、Cu(NO₃)₂ · 3H₂O、FeCl₂、FeCl₃、HgCl₂、NaNO₃、NiCl₂ · 6H₂O、Pb(NO₃)₂、ZnCl₂], 用通用测试溶液定容到 5 mL, 在室温条件下反应 10 min 后进行光谱测定。

3 结果与讨论

3.1 探针 1 识别 Cu²⁺ 对 pH 的依赖性研究

为了研究探针 1 识别 Cu²⁺ 对 pH 依赖性的影响, 选择在不同 pH 环境下探讨探针 1 与 Cu²⁺ 的作用关系, 结果如图 2 所示。



1—加入; 2—未加入

图 2 加入和未加入 Cu²⁺ 的探针 1 (10 μmol/L) 的荧光强度与不同 pH 关系

在探针 1 (10 μmol/L) 和探针 1 (10 μmol/L) 包含 50 μmol/L Cu²⁺ 的溶液中分别采用 HCl 和 NaOH 调节待测溶液的 pH, 利用荧光光谱测试在 565 nm 处的荧光强度。如图 2 所示, 探针 1 在 pH 为 3 ~ 10 的范围内, 呈现非常弱且稳定的信号, 探针 1 不受酸碱性的影响。当探针 1 (10 μmol/L) 中包含 50 μmol/L Cu²⁺ 后, 荧光强度呈现不同程度的变化, pH 在弱碱性 (pH 7.0 ~ 8.0) 的范围时, 荧光强度呈现出较大的荧光信号, 在弱碱性条件下, 铜离子的氧化性能较强。因此, 本文中选择在 HEPES (10 mmol/L pH 7.4, 30% CH₃CN) 缓冲溶液条件下进行测试。

3.2 探针 1 识别 Cu²⁺ 的动力学研究

反应动力学是衡量有机反应速度快慢的重要指标, 也是考察反应型荧光探针识别分析物速度快慢一个重要的参数。结果如图 3 所示, 在探针 1 (10 μmol/L) 溶液中加入 50 μmol/L Cu²⁺ 后, 在 565 nm 处的荧光强度逐渐增强, 近 10 min 达到最大荧光强度, 通过曲线拟合计算出准一级反应动力学常数 k 为 2.41 ± 0.06 min⁻¹, 这意味着反应型探针 1 识别 Cu²⁺ 是一个非常迅速的过程。

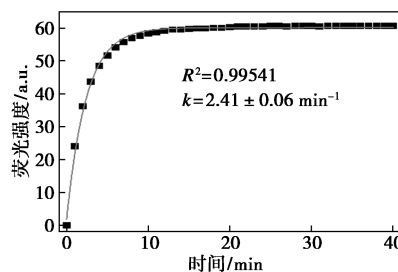


图 3 探针 1 (10 μmol/L) 对 Cu²⁺ (50 μmol/L) 的时间依赖曲线

3.3 探针 1 识别 Cu²⁺ 的选择性和干扰性研究

为了研究探针 1 对于阳离子的识别能力, 研究了探针 1 对不同阳离子分析物的吸收和发射光谱, 结果如图 4、图 5 所示。在 HEPES (10 mmol/L pH 7.4, 30% CH₃CN) 缓冲溶液条件下, 自由的探针 1 (10 μmol/L) 在 300 nm 处存在一个较强的吸收峰 (图 4), 在长波长处没有吸收带, 这可以被归因于共轭结构仅为甲氧基萘单元, 在 300 nm 处附近出现明显的吸收带, 溶液的颜色为无色; 探针 1 (10 μmol/L) 的溶液中加入 50 μmol/L 的 Cu²⁺ 后, 在 475 nm 处附近出现了较强的吸收带, 可以归属于铜离子的氧化性, 引起探针 1 分子中非共轭的吲哚单元变为共轭的 N-乙基吲哚季铵盐单元, 延长了共轭结构, 吸收

光谱发生了红移,溶液颜色变为橙色。然而,当探针 1 (10 μmol/L) 的溶液中加入 50 μmol/L 的其他分析物 [AgNO₃、CaCl₂、CdCl₂、CoCl₂、FeCl₂、FeCl₃、HgCl₂、NaNO₃、NiCl₂·6H₂O、Pb(NO₃)₂、ZnCl₂] 后,吸收光谱与自由的探针 1 的吸收光谱几乎没有明显的变化,而且溶液的颜色均为无色,因此,探针 1 对铜离子具有较好的选择性,可以应用于“裸眼”识别铜离子。

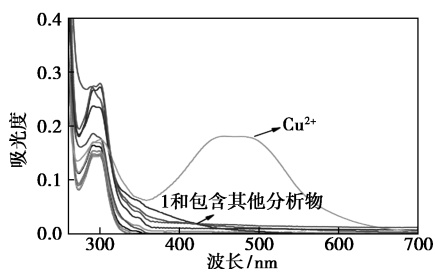


图 4 探针 1 对阳离子选择性的吸收光谱图

同时,对探针 1 对 Cu²⁺ 的荧光光谱选择性进行研究。如图 5 所示,激发波长为 441 nm,自由的探针 1 (10 μmol/L) 在 565 nm 附近具有微弱的荧光信号,当加入 50 μmol/L Cu²⁺ 后,在 565 nm 处附近出现了明显的荧光信号,同时,在 365 nm 的紫外灯照射下,溶液的颜色由无色变为橙黄色。当加入 50 μmol/L 其他分析物 [AgNO₃、CaCl₂、CdCl₂、CoCl₂、FeCl₂、FeCl₃、HgCl₂、NaNO₃、NiCl₂·6H₂O、Pb(NO₃)₂、ZnCl₂] 后,与自由的探针 1 的荧光强度相比几乎没有明显的改变,荧光颜色也没有变化,这进一步证明了探针 1 对铜离子具有卓越的选择性。

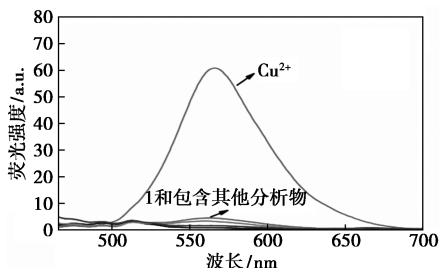


图 5 探针 1 对阳离子选择性的荧光光谱

进一步研究了探针 1 在复杂环境下识别铜离子的能力,考察了探针 1 在不同分析物存在下识别铜离子的荧光光谱。结果如表 1 所示,激发波长为 441 nm,发射波长为 565 nm,在柱状谱图中可以看出,在各种分析物 [AgNO₃、CaCl₂、CdCl₂、CoCl₂、FeCl₂、FeCl₃、HgCl₂、NaNO₃、NiCl₂·6H₂O、Pb(NO₃)₂、ZnCl₂] 共存的条件下,探针 1 (10 μmol/L) 对铜离子

仍然具有较好的选择性且不受其他分析物的干扰。

表 1 探针 1 对各种分析物与铜离子共存下的荧光强度

a. u.	
组成	在 565 nm 处的荧光强度
探针 1	3.84
探针 1+Cu ²⁺	60.23
探针 1+Ag ⁺ +Cu ²⁺	61.30
探针 1+Ca ²⁺ +Cu ²⁺	60.93
探针 1+Cd ²⁺ +Cu ²⁺	60.28
探针 1+Co ²⁺ +Cu ²⁺	60.75
探针 1+Fe ²⁺ +Cu ²⁺	60.35
探针 1+Fe ³⁺ +Cu ²⁺	60.76
探针 1+Hg ²⁺ +Cu ²⁺	60.71
探针 1+Na ⁺ +Cu ²⁺	61.57
探针 1+Ni ²⁺ +Cu ²⁺	60.02
探针 1+Pb ²⁺ +Cu ²⁺	60.18
探针 1+Zn ²⁺ +Cu ²⁺	60.28

3.4 探针 1 对 Cu²⁺ 荧光滴定研究

为了研究探针 1 识别 Cu²⁺ 的作用关系,对探针 1 与不同浓度铜离子的荧光光谱进行了研究,结果如图 6 所示。按照 2.3 的实验方法配置待测溶液,荧光强度随着加入 Cu²⁺ 浓度的增加而增强,当在探针 1 (10 μmol/L) 溶液中加入 50 μmol/L Cu²⁺ 后,荧光强度达到最大值,继续增加铜离子浓度,荧光强度也不再发生变化。对在 565 nm 处的荧光强度与不同浓度铜离子作图(图 7),呈现良好线性关系 ($R^2 = 0.97975$, $y = 17.38 + 8.58 \times 10^5 x$),通过计算可知最

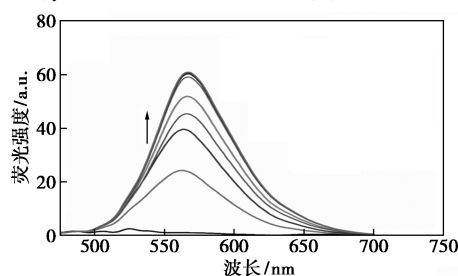


图 6 探针 1 对不同浓度铜离子的荧光光谱

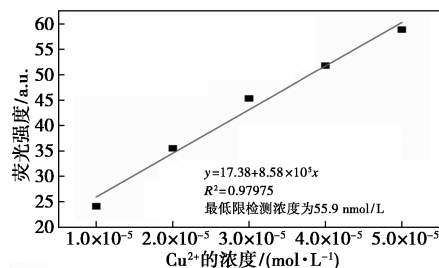


图 7 在 565 nm 处的荧光强度与不同浓度铜离子的关系

低限检测浓度 (LOD) 为 55.9 nmol/L。这意味着探针 1 可以应用在较低浓度水平下检测铜离子含量, 在实际的复杂环境样品中具有巨大的应用前景。

4 结论

合成了基于萘并 2-氢-吡啶衍生物的反应型铜离子荧光探针 1, 利用 ¹H NMR 和 MALDI-TOF MS 表征了结构。探针 1 对铜离子具有卓越的选择性和抗干扰能力, 远远超过其他分析物 [AgNO₃、CaCl₂、CdCl₂、CoCl₂、FeCl₂、FeCl₃、HgCl₂、NaNO₃、NiCl₂·6H₂O、Pb(NO₃)₂、ZnCl₂]; 在弱碱性 (pH 7.0~8.0) 范围内, 探针 1 可以快速地识别铜离子, 大约 10 min 就能完全反应, 且准一级反应动力学常数 k 为 2.41±0.06 min⁻¹; 在探针 1 溶液中加入不同浓度的铜离子, 荧光强度随着铜离子浓度的增加逐渐增强, 且荧光强度变化与加入铜离子浓度呈现良好的线性关系, $y=17.38+8.58\times 10^5x$, LOD 为 55.9 nmol/L; 可见光下和紫外灯照射下, 探针 1 与铜离子作用前后颜色发生明显变化, 探针 1 有望应用于复杂样品中“裸眼”识别铜离子浓度。

参考文献

- [1] Barceloux D G. Copper [J]. Journal of Toxicology Clinical Toxicology, 1999, 37(2): 217-230.
- [2] Saleem M, Rafiq M, Hanif M, et al. A brief review on fluorescent copper sensor based on conjugated organic dyes[J]. Journal of Fluorescence, 2018, 28(1): 97-165.
- [3] Kaur S, Law C S, Williamson N H, et al. Environmental copper sensor based on polyethylenimine-functionalized nanoporous anodic alumina interferometers [J]. Analytical Chemistry, 2019, 91(8): 5011-5020.
- [4] Li A F, Hui H, Ruan Y B, et al. Oxidative cyclization of N-acylhydrazones. Development of highly selective turn-on fluorescent chemodosimeters for Cu²⁺ [J]. Organic & Biomolecular Chemistry, 2009, 7: 193-200.
- [5] Lin W, Long L, Chen B, et al. Fluorescence turn-on detection of Cu²⁺ in water samples and living cells based on the unprecedented copper-mediated dihydrorosamine oxidation reaction [J]. Chemical Communications, 2010, 46(8): 1311-1313.
- [6] Wang Y P, Liu S Z, Chen H B, et al. A novel “turn-on” fluorescence probe based on azoaniline-arylimidazole dyad for the detection of Cu²⁺ [J]. Dyes & Pigments, 2017, 142: 293-299.
- [7] Cotruvo J A, Aron A T, Ramos-Torres K M, et al. Synthetic fluorescent probes for studying copper in biological systems [J]. Chem Soc Rev, 2015, 44: 4400-4414.
- [8] Ji W, Tang X, Du W, et al. Optical/electrochemical methods for detecting mitochondrial energy metabolism [J]. Chemical Society Reviews, 2022, 51: 71-127.
- [9] Park S H, Kwon N, Lee J H, et al. Synthetic ratiometric fluorescent probes for detection of ions [J]. Chemical Society Reviews, 2020, 49: 143-179.
- [10] Chen X, Wang F, Ji Y H, et al. Recent progress in the development of fluorescent, luminescent and colorimetric probes for detection of reactive oxygen and nitrogen species [J]. Chemical Society Reviews, 2016, 45: 2976-3016.
- [11] Yuan L, Lin W, Song J. Ratiometric fluorescent detection of intracellular hydroxyl radicals based on a hybrid coumarin-cyanine platform [J]. Chemical Communications, 2010, 46(42): 7930-7932. ■

朗盛和道达尔能源将合作开发可持续苯乙烯

1月13日,朗盛和道达尔能源就供应生物循环苯乙烯事宜达成合作。不同于传统苯乙烯,道达尔能源使用的原材料基于妥尔油,妥尔油源于一种树脂,是纸浆生产的副产品。朗盛利用这种苯乙烯生产可持续离子交换树脂,这些产品在各种行业都有广泛应用,比如化工工艺处理、食品净化以及废水处理等。

苯乙烯的可持续来源是根据 ISCC PLUS 标准(国际可持续发展与碳认证)的质量平衡法进行认证的。根据质量平衡法,认证材料和非认证材料虽然在实际上混合到了一起,但是在账面上是分开记录的。借助质量平衡法,企业可以在复杂的生产过程中记录和跟踪可持续材料,并确保整个供应链完全可追溯。苯乙烯的 ISCC PLUS 认证是一项重要要求,因为朗盛同样按照这一认证标准提供产品,所以朗盛需要其原材料具有相同的透明度。

朗盛集团职能部门全球采购物流部负责人 Marcel Beermann 说:“我们的客户日益要求可持续解决方案,而

低碳足迹的原材料是满足这一要求的关键途径。通过与道达尔能源开展合作,我们可以进一步扩大为客户所提供的相应的产品线。”

道达尔炼油与化工部门基础化学品营销副总裁 Jean-François Renglet 说:“我们很高兴与朗盛建立这一合作关系,这表明道达尔能源有能力为客户提供可持续产品,帮助他们减少碳足迹。这完美阐明了道达尔能源的炼油与化工部门开发低碳强度产品的发展方向,符合公司到 2050 年携手整个社会实现净零排放的气候目标。”

除苯乙烯之外,朗盛还采购了许多其他可持续的化石原料对应物。朗盛将生物循环丙烯腈用于生产另一种离子交换树脂;备防多防腐剂也采用了基于葵花油的各种脂肪酸混合物;Adiprene Green 品牌的预聚物含有淀粉基聚酯多元醇;中间体三羟甲基丙烷 Scopeblue 中大约一半为可持续正丁醛;复合材料 Tepex Scopeblue 是基于亚麻和聚乳酸制造的;高性能塑料杜力顿 Scopeblue 则采用生物循环环己烷和废玻璃制造而成。(余婷)