

醌氧化还原酶检测荧光探针制备及性能

高旭¹, 焦扬², 段春迎^{*1}

(1. 大连理工大学 张大煜(化学)学院, 辽宁 大连 116024;

2. 大连理工大学 化工学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 醌氧化还原酶的检测对提高癌症的诊断效果和预测药物的使用情况都十分重要, 通过6步反应成功合成了一种用于醌氧化还原酶检测的荧光探针 DBD-Q-1, 探针由识别基团三甲基对苯醌和荧光团组成, 使用核磁共振和高分辨质谱进行表征确定了其结构. 随着醌氧化还原酶浓度的增大, 荧光探针的荧光逐渐增强. 在此过程中荧光探针 DBD-Q-1 结构中的三甲基对苯醌部分脱去形成内酯结构, 从而导致探针荧光增强. 当向其中加入其他生命相关物质时, 荧光探针的荧光并没有明显改变, 探针表现出对醌氧化还原酶良好的选择性. 荧光探针 DBD-Q-1 在细胞中展现出了对醌氧化还原酶良好的成像效果.

关键词: 醌氧化还原酶; 荧光探针; 制备; 性能

中图分类号: O621.3; O657.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.7511/dllgxb202302002

0 引言

醌氧化还原酶(NQO1)是一种胞质黄素酶, 在细胞内的主要作用是保护内源性醌, 它通过同型二聚体将醌与辅因子 NADH 或 NADPH 结合, 在 NAD⁺ 或 NADP⁺ 释放后, 活化的酶还原与活性位点结合的醌底物, 从而在双电子转移反应中还原醌到氢醌, 以前又称 DT 黄递酶^[1-2]. 对苯二酚易与谷胱甘肽或葡萄糖醛酸结合, 然后从细胞中排出, 因此醌氧化还原酶在生物体中起着至关重要的解毒作用. 醌氧化还原酶也同时参与在压力下稳定必需的调节蛋白、清除超氧化物和维持抗氧化活性等其他生命过程^[3]. 醌氧化还原酶主要存在于细胞质中, 在细胞核中表达水平较低, 在哺乳动物的各种组织器官中均有表达但表达较低, 在大多数乳腺癌、肺癌、胃癌、结肠癌和前列腺癌等实体瘤中以高水平表达^[4-8]. 醌氧化还原酶在人类实体瘤中的表达水平大约是正常组织的 50 倍, 其活性的升高与肿瘤形成、发展、侵袭和预后等过程息息相关^[9-10], 对醌氧化还原酶进行准确的检测对于提高诊断的效果和预测药物的使用情况都十分重要^[11].

迄今为止, 免疫印迹、分光光度法、电化学和荧

光光谱法等许多检测方法被开发并应用于醌氧化还原酶的检测^[12-15]. 在众多的检测方法中荧光光谱法以其操作简单、成本低、选择性高等优点受到人们的普遍关注, 尤其是其可以成为光学引导手术的重要辅助工具, 能最大限度地切除肿瘤块体^[16-17]. 近年来, 研究者们开发了数十种检测醌氧化还原酶的荧光探针^[18-23], 这些探针基于不同的荧光团, 展现出一定的优良性能. 荧光探针是基于醌氧化还原酶的氧化还原特性设计的, 部分探针的荧光部分和活性部分之间存在光诱导电子转移 PET 过程, 从而使得探针的初始荧光较弱, 与醌氧化还原酶作用后荧光探针的结构发生改变, 荧光得以恢复^[24-26]. 由于 PET 过程取决于距离、激发态分子电场以及淬灭剂和荧光团之间的扭转角, 因此基于醌氧化还原酶氧化还原特性的荧光探针的设计至关重要.

本研究设计一个荧光探针 DBD-Q-1, 探针由识别基团三甲基对苯醌和荧光团组成, 用于醌氧化还原酶的检测. 荧光探针 DBD-Q-1 通过 6 步反应合成获得, 通过核磁氢谱及高分辨质谱确定其最终的结构. 探针对于醌氧化还原酶的识别及成像效果由荧光及激光共聚焦检测得出, 响应机制由

收稿日期: 2021-11-24; 修回日期: 2023-01-19.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(DUT20LK12).

作者简介: 高旭(1995-), 男, 硕士生, E-mail: 540515656@qq.com; 段春迎*(1966-), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: cyduan@dlut.edu.cn.

质谱及液相色谱得出。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

所有的试剂都是通过商业渠道购买没有进一步纯化直接使用。核磁氢谱采用 Bruker AVANCE

II 400 MHz 核磁共振波谱仪检测, 荧光采用爱丁堡 FS920 荧光光谱仪检测, 激光共聚焦成像采用日本 Olympus 公司的 FV1000 显微镜检测。

1.2 合成路线及步骤

以 2,6-二氯苯胺为原料, 经过 6 步反应获得终产物 DBD-Q-1, 具体的合成路线如图 1 所示。

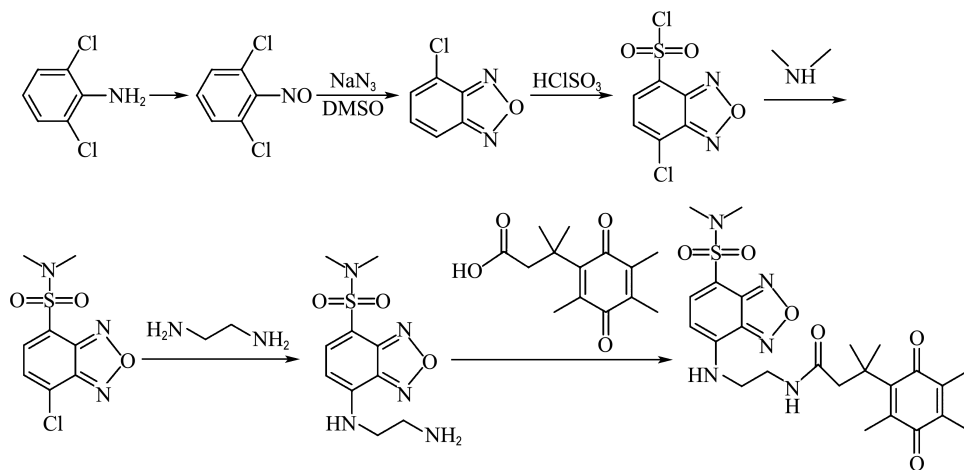


图 1 DBD-Q-1 的合成路线

Fig. 1 Synthetic route of DBD-Q-1

1.2.1 2,6-二氯亚硝基苯的合成 将 2,6-二氯苯胺(0.648 g, 0.004 mol)置于 50 mL 反应瓶中, 加入 8 mL 冰醋酸、1 mL 浓 H_2SO_4 和 2 mL 30% H_2O_2 , 室温下搅拌, 混合溶液由紫色变为棕黄色, 10 h 后过滤, 固体用水(40 mL)洗涤 3 次, 干燥得到米黄色产物。 1H NMR(400 MHz, $CDCl_3$): δ 7.53~7.49(m, 2H), 7.48~7.45(m, 1H)。

1.2.2 4-氯苯并[c][1,2,5]噁二唑的合成 将 2,6-二氯亚硝基苯(0.35 g, 0.002 mol)溶于 10 mL DMSO 中, 缓慢滴加至含有 NaN_3 (0.2 g, 0.003 mol)的反应瓶中, 室温下搅拌, 2 h 后无气泡产生, 将温度升至 120 $^{\circ}C$ 反应, 溶液由棕色变为黑色, 反应 1 h 后, 将混合物倒入 80 mL 冷水中, 用石油醚(80 mL)萃取 3 次, 用饱和食盐水(80 mL)洗涤有机相, 无水 Na_2SO_4 干燥后减压蒸馏得到米黄色产物。 1H NMR(400 MHz, $CDCl_3$): δ 7.79(d, 1H), 7.47~7.43(m, 1H), 7.41~7.37(m, 1H)。

1.2.3 7-氯苯并[c][1,2,5]噁二唑-4-磺酰氯的合成 将 4-氯苯并[c][1,2,5]噁二唑(0.6 g, 0.004 mol)置于 50 mL 反应瓶中, 向其中缓慢滴入 5 mL 氯磺酸, 升温至 120 $^{\circ}C$, 搅拌 6 h, 逐渐形成黑色黏稠状液体。将液体加入 80 mL 水中, 用

80 mL 二氯甲烷萃取, 无水 Na_2SO_4 干燥, 减压蒸馏得到粗产物。将粗产物用 2 mL 二氯甲烷溶解, 向其中加入 50 mL 石油醚, 冰箱冷藏得到白色晶状固体。 1H NMR(400 MHz, $CDCl_3$): δ 8.17(d, 1H), 7.66(d, 1H)。

1.2.4 7-氯-N,N-二甲基苯并[c][1,2,5]噁二唑-4-磺酰胺的合成 将二甲胺盐酸盐(0.24 g, 0.003 mol)溶解到 20 mL 二氯甲烷中, 向溶液中加入 800 μL 三乙胺。将 7-氯苯并[c][1,2,5]噁二唑-4-磺酰氯(0.5 g, 0.002 mol)溶解到 20 mL 二氯甲烷中, 通过滴液漏斗缓慢滴入上述二甲胺盐酸盐和三甲胺的二氯甲烷溶液中。室温搅拌 1 h, 减压蒸馏除去溶剂二氯甲烷, 所得固体通过柱层析纯化(V (石油醚): V (乙酸乙酯)=5:1), 得到淡黄色产物。 1H NMR(400 MHz, $CDCl_3$): δ 7.98(d, 1H), 7.56(d, 1H), 2.97(s, 6H)。

1.2.5 7-((2-氨基乙基)氨基)-N,N-二甲基苯并[c][1,2,5]噁二唑-4-磺酰胺的合成 将 7-氯-N,N-二甲基苯并[c][1,2,5]噁二唑-4-磺酰胺(0.26 g, 0.001 mol)溶解于 20 mL 乙腈中, 加入 1.5 mL 乙二胺, 在 80 $^{\circ}C$ 下搅拌 18 h。减压蒸馏除去溶剂, 加入 80 mL 水洗去杂质, 抽滤得到黄色产物。 1H NMR(400 MHz, $CDCl_3$): δ 7.86(d,

1H), 6.30 (s, 1H), 6.11 (d, 1H), 3.44 (d, 2H), 3.17~3.12 (m, 2H), 2.88 (s, 6H), 1.25 (s, 2H).

1.2.6 探针 DBD-Q-1 的合成 在氮气环境下, 将 7-((2-氨基乙基)氨基)-N,N-二甲基苯并[c][1,2,5]噻二唑-4-磺酰胺 (0.285 g, 0.001 mol)、1-乙基-(3-二甲基氨基丙基)碳酰二亚胺 (EDC) (0.13 g, 0.002 mol) 和 4-二甲氨基吡啶 (DMAP) (0.125 g, 0.003 mol) 溶解于 5 mL DMF 中, 搅拌 30 min. 将 3-甲基-3-(2,4,5-三甲基-3,6-二氧环己-1,4-二烯-1-基)丁酸 (0.097 g, 0.001 mol) 加入上述混合液, 在室温下搅拌 14 h. 加入 100 mL 二氯甲烷和 100 mL 水萃取, 收集有机相, 减压蒸馏, 所得固体通过柱层析纯化 (V(石油醚):V(乙酸乙酯) = 1:1), 得到黄色产物. ^1H NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$): δ 8.22 (s, 1H), 8.08 (s, 1H), 7.81 (d, 1H), 6.29 (d, 1H), 3.37 (s, 2H), 3.30 (s, 2H), 2.70 (s, 6H), 2.66 (s, 2H), 1.96 (s, 3H), 1.85 (s, 6H), 1.27 (s, 6H).

2 结果与讨论

2.1 荧光探针的制备及结构表征

设计了荧光探针 DBD-Q-1, 用于醌氧化还原酶的检测. 通过 6 步反应合成得到所设计的荧光探针 DBD-Q-1, 结构中的苯醌部分与醌氧化还原酶作用之后被还原, 从而使得探针的荧光信号发生改变. 通过核磁氢谱和质谱信息确定其结构, 在核磁氢谱 (图 2) 中含有 11 组峰, 与产物 DBD-Q-1 的出峰位移吻合. 在质谱 (图 3) 中, 以甲醇做流动相, 在 518.206 6 的峰归属为 $[\text{DBD-Q-1} + \text{H}]^+$, 在 540.188 4 的峰归属为 $[\text{DBD-Q-1} + \text{Na}]^+$, 同样确定所得的结构为目标结构.

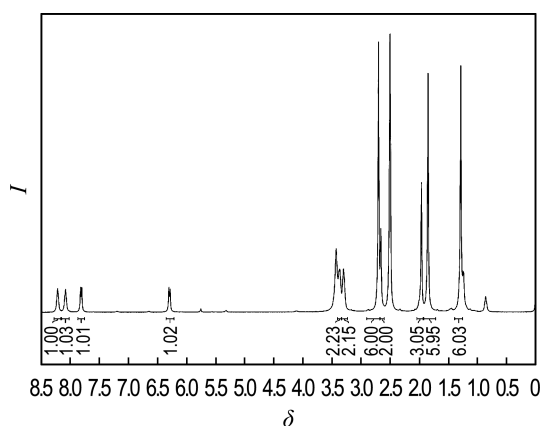


图 2 DBD-Q-1 的核磁氢谱

Fig. 2 ^1H NMR of DBD-Q-1

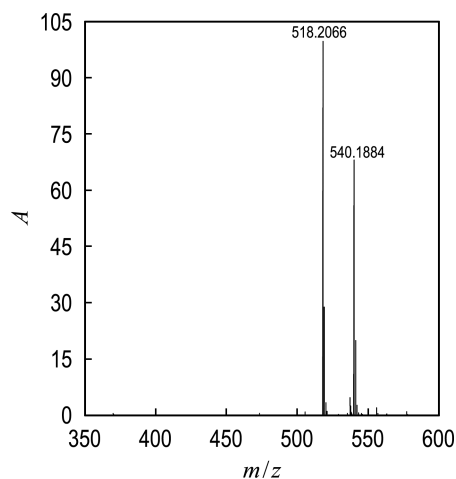
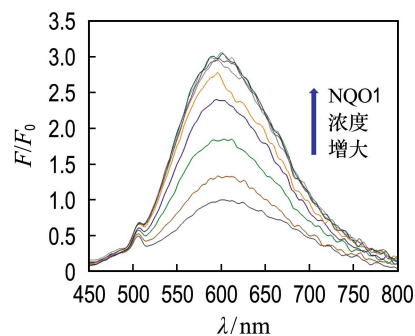


图 3 DBD-Q-1 的质谱

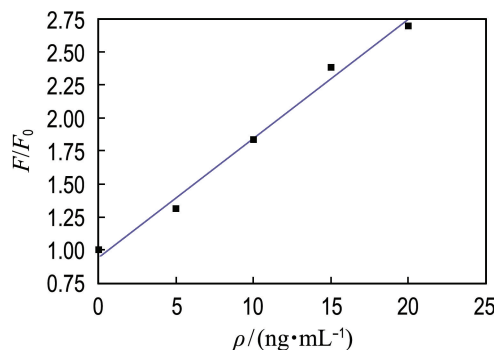
Fig. 3 Mass spectrometry of DBD-Q-1

2.2 光谱性质

图 4 为荧光探针 DBD-Q-1 对醌氧化还原酶的响应光谱. 为探究荧光探针 DBD-Q-1 对 NQO1 的识别作用, 将 10 μL 的 1.0 mmol/L 的 DBD-Q-1



(a) 荧光光谱图



(b) 荧光强度变化

图 4 加入不同浓度 NQO1 的 DBD-Q-1 荧光光谱图和荧光强度随浓度变化

Fig. 4 Fluorescence spectra of DBD-Q-1 with addition of different concentrations of NQO1 and fluorescence intensity changes with concentration

加入 2 mL 的 10 mmol/L PBS 溶液(pH=7.4)中配制成 5 $\mu\text{mol/L}$ 的溶液,在 430 nm 的激发波长下,扫描荧光光谱.如图 4(a)所示,在 600 nm 处显示一较低荧光强度的发射峰,加入 20 $\mu\text{mol/L}$ NADH 后,荧光强度基本不变,向其中加入 NQO1 后,荧光强度逐渐增强,加入 40 ng/mL NQO1 后,荧光强度不再增强.相比初始荧光,荧光强度增长了约 3 倍,且在 0~20 ng/mL 的浓度下醌氧化还原酶 NQO1 的浓度与探针荧光强度呈线性关系(见图 4(b)),这证实了荧光探针 DBD-Q-1 可被 NQO1 还原,使其荧光发生变化.当向相同条件的溶液中加入生命体系中可能含有的干扰物质(图 5),如 CaCl_2 、 KCl 、 MgCl_2 、 NaCl 、半胱氨酸(Cys)、谷胱甘肽(GSH)、 H_2O_2 、 Na_2SO_3 、葡萄糖(Glu),荧光探针 DBD-Q-1 的荧光强度变化很小.当向其中加入 NQO1 时荧光明显增强,荧光探针 DBD-Q-1 展现出对醌氧化还原酶良好的选择性.

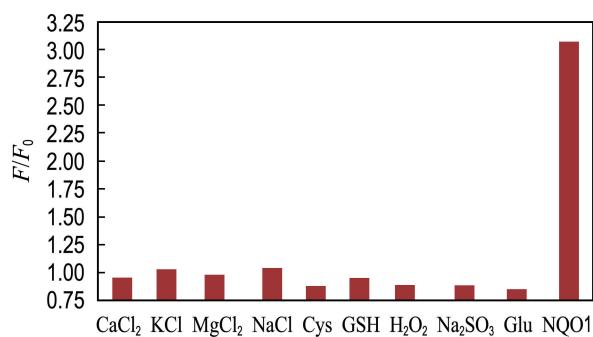


图 5 加入不同物质的 DBD-Q-1 荧光强度

Fig. 5 Fluorescence intensity of DBD-Q-1 with addition of different substances

2.3 反应机理

根据荧光测试的结果,推测探针 DBD-Q-1 对醌氧化还原酶的响应机理如图 6 所示.探针自身荧光淬灭,当与醌氧化还原酶作用后,结构中的三甲基对苯醌部分脱去形成内酯结构,从而导致探针荧光增强.通过高分辨质谱和液相色谱实验来确认反应机理,DBD-Q-1 在质荷比 518.206 6 处有明显的峰,加入醌氧化还原酶之后,在 286.096 8 处出现了明显的峰(图 7),证明生成了图 6 中的产物 a,与推测的机理一致.如图 8 所示,DBD-Q-1 在 11.35 min 出峰,加入醌氧化还原酶之后在 6.93 min 出峰,与图 6 中化合物 a 的保留时间相同.高分辨质谱和液相色谱实验结果与推断的结

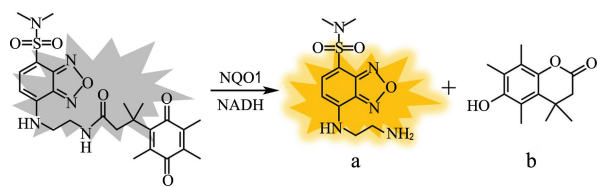


图 6 荧光响应机理图

Fig. 6 Mechanism diagram of fluorescence response

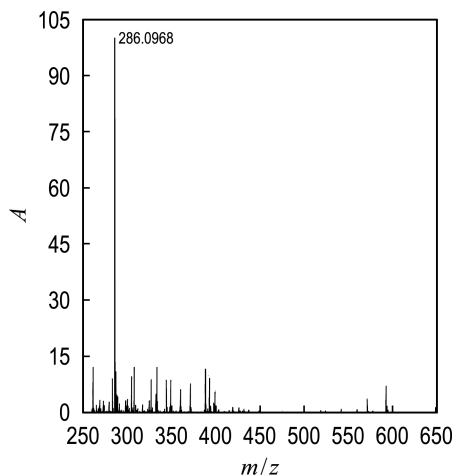


图 7 DBD-Q-1 加入 NQO1 后的高分辨质谱

Fig. 7 HRMS of DBD-Q-1 after adding NQO1

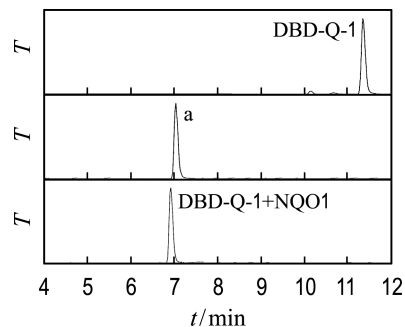


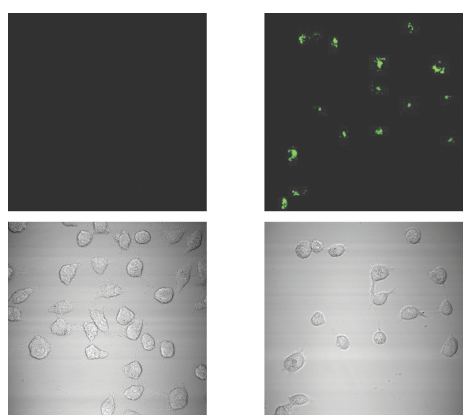
图 8 DBD-Q-1、a 及 DBD-Q-1+NQO1 的液相色谱

Fig. 8 Liquid chromatography of DBD-Q-1, a and DBD-Q-1+NQO1

果一致,证明了可能的反应机理.

2.4 细胞成像

验证探针 DBD-Q-1 在实际样品中的检测情况,如图 9 所示.人非小细胞肺癌细胞 A549 中含有一定的醌氧化还原酶,在激光共聚焦显微镜下,细胞自身并没有明显的荧光成像信号(图 9(a)),当向细胞中加入 DBD-Q-1 孵化 1 h 后观察(图 9(b)),加入探针 DBD-Q-1 的细胞呈现明显的细胞成像效果,探针 DBD-Q-1 实现了在细胞中对醌氧化还原酶的检测.



(a) A549

(b) A549+DBD-Q-1

图9 激光共聚焦成像

Fig.9 Confocal laser imaging

3 结 语

本研究以 DBD 为荧光团,三甲基对苯醌为识别基团,通过 6 步反应成功合成了一种用于醌氧化还原酶检测的荧光探针 DBD-Q-1,通过核磁共振和高分辨质谱确定了其结构. 荧光探针 DBD-Q-1 自身呈现微弱的荧光,当向其中加入醌氧化还原酶时,荧光探针的荧光随着醌氧化还原酶浓度的增大而增强. 荧光探针 DBD-Q-1 识别醌氧化还原酶的机理为探针中的三甲基对苯醌部分脱去形成内酯结构,从而导致探针荧光增强. 探针 DBD-Q-1 展现出对醌氧化还原酶良好的选择性,实现了细胞中醌氧化还原酶的检测,为实现肿瘤的诊断提供了可能.

参考文献:

- [1] ASHER G, DYM O, TSVETKOV P, *et al.* The crystal structure of NAD (P) H quinone oxidoreductase 1 in complex with its potent inhibitor dicoumarol [J]. **Biochemistry**, 2006, **45**(20): 6372-6378.
- [2] ROSS D, SIEGEL D. NAD (P) H: Quinone oxidoreductase 1 (NQO1, DT-diaphorase), functions and pharmacogenetics [J]. **Methods in Enzymology**, 2004, **382**: 115-144.
- [3] DINKOVA-KOSTOVA A T, TALALAY P. NAD (P) H: Quinone acceptor oxidoreductase 1 (NQO1), a multifunctional antioxidant enzyme and exceptionally versatile cytoprotector [J]. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 2010, **501**(1): 116-123.
- [4] YANG Yang, ZHANG Yan, WU Qunying, *et al.* Clinical implications of high NQO1 expression in breast cancers [J]. **Journal of Experimental and Clinical Cancer Research**, 2014, **33**: 14.
- [5] GARATE M, WANI A A, LI Gang. The NAD (P) H: Quinone oxidoreductase 1 induces cell cycle progression and proliferation of melanoma cells [J]. **Free Radical Biology and Medicine**, 2010, **48**(12): 1601-1609.
- [6] LEWIS A M, OUGH M, DU J, *et al.* Targeting NAD (P) H: Quinone oxidoreductase (NQO1) in pancreatic cancer [J]. **Molecular Carcinogenesis**, 2017, **56**(7): 1825-1834.
- [7] LI L S, REDDY S, LIN Z H, *et al.* NQO1-mediated tumor-selective lethality and radiosensitization for head and neck cancer [J]. **Molecular Cancer Therapeutics**, 2016, **15**(7): 1757-1767.
- [8] LI Zhenling, ZHANG Yue, JIN Tiefeng, *et al.* NQO1 protein expression predicts poor prognosis of non-small cell lung cancers [J]. **BMC Cancer**, 2015, **15**: 207.
- [9] PUNGANURU S R, MADALA H R, ARUTLA V, *et al.* Cancer-specific biomarker hNQO1-activatable fluorescent probe for imaging cancer cells in vitro and in vivo [J]. **Cancers**, 2018, **10**(12): E470.
- [10] FIORILLO M, SOTGIA F, SISI D, *et al.* Mitochondrial "power" drives tamoxifen resistance: NQO1 and GCLC are new therapeutic targets in breast cancer [J]. **Oncotarget**, 2017, **8**(12): 20309-20327.
- [11] ZHANG Kuojun, CHEN Dong, MA Kun, *et al.* NAD (P) H: Quinone oxidoreductase 1 (NQO1) as a therapeutic and diagnostic target in cancer [J]. **Journal of Medicinal Chemistry**, 2018, **61** (16): 6983-7003.
- [12] SIEGEL D, FRANKLIN W A, ROSS D. Immunohistochemical detection of NAD (P) H: Quinone oxidoreductase in human lung and lung tumors [J]. **Clinical Cancer Research**, 1998, **4**(9): 2065-2070.
- [13] SIEGEL D, KEPA J K, ROSS D. Biochemical and genetic analysis of NAD (P) H: Quinone oxidoreductase 1 (NQO1) [J]. **Current Protocols in Toxicology**, 2007, **4**: Unit4. 22.
- [14] CHEN Yangyang, LIU Ying, CHEN Chen, *et al.* An electrochemical method to assay the activity of NAD (P) H: Quinone oxidoreductase 1 [J]. **Sensors and Actuators B: Chemical**, 2015, **216**: 343-348.
- [15] CHO M K, LIM C S, SARKAR A R, *et al.* A two-photon ratiometric probe for detection of hNQO1 enzyme activity in human colon tissue [J]. **Sensors and Actuators B: Chemical**, 2018, **272**: 203-210.
- [16] KWON N, CHO M K, PARK S J, *et al.* An efficient two-photon fluorescent probe for human

- NAD (P) H: Quinone oxidoreductase (hNQO1) detection and imaging in tumor cells [J]. **Chemical Communications**, 2017, **53**(3): 525-528.
- [17] BEST Q A, PRASAI B, ROUILLE A, *et al.* Efficacious fluorescence turn-on probe for high-contrast imaging of human cells overexpressing quinone reductase activity [J]. **Chemical Communications**, 2017, **53**(4): 783-786.
- [18] DAI M, SONG C W, YANG Y J, *et al.* Toward ratiometric detection of NAD (P) H quinone oxidoreductase-1: Benzocoumarin-based fluorescent probes [J]. **Sensors and Actuators B: Chemical**, 2021, **330**: 129277.
- [19] BIAN Jinlei, LI Xiang, XU Lili, *et al.* Affinity-based small fluorescent probe for NAD (P) H: Quinone oxidoreductase 1 (NQO1). Design, synthesis and pharmacological evaluation [J]. **European Journal of Medicinal Chemistry**, 2017, **127**: 828-839.
- [20] YUAN Zhenwei, XU Mingjun, WU Tianze, *et al.* Design and synthesis of NQO1 responsive fluorescence probe and its application in bio-imaging for cancer diagnosis [J]. **Talanta**, 2019, **198**: 323-329.
- [21] 黄 靖, 王 超, 林敏刚, 等. 醌氧化还原酶响应型光声探针的合成及其对乳腺癌的成像 [J]. 化学学报, 2021, **79**(3): 331-337.
- HUANG Jing, WANG Chao, LIN Mingang, *et al.* Synthesis of NQO1-activatable optoacoustic probe and its imaging of breast cancer [J]. **Acta Chimica Sinica**, 2021, **79**(3): 331-337. (in Chinese)
- [22] 杨永鹏. 基于羧苯基多烯吡啶盐骨架发展双光子荧光探针检测醌氧化还原酶和硫氧还蛋白还原酶 [D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- YANG Yongpeng. Developing hydroxyphenyl-polyenyl-pyridinium-based two-photon fluorescent probes for detecting NQO1 and TrxR [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020. (in Chinese)
- [23] 欧阳帆. 用于硫化氢和醌氧化还原酶 1 检测的新型荧光探针 [D]. 长沙: 湖南大学, 2016.
- OUYANG Fan. Novel fluorescent probes for hydrogen sulfide and NAD (P) H: Quinone oxidoreductase 1 detection [D]. Changsha: Hunan University, 2016. (in Chinese)
- [24] ZHENG Yongjun, PAN Deng, ZHANG Yue, *et al.* Hemicyanine-based near-infrared fluorescent probe for the ultrasensitive detection of hNQO1 activity and discrimination of human cancer cells [J]. **Analytica Chimica Acta**, 2019, **1090**: 125-132.
- [25] ZHU Ya, HAN Jialing, ZHANG Qian, *et al.* A highly selective fluorescent probe for human NAD (P) H: Quinone oxidoreductase 1 (hNQO1) detection and imaging in living tumor cells [J]. **RSC Advances**, 2019, **9**(46): 26729-26733.
- [26] PARK S Y, JUNG E, KIM J S, *et al.* Cancer-specific hNQO1-responsive biocompatible naphthalimides providing a rapid fluorescent turn-on with an enhanced enzyme affinity [J]. **Sensors**, 2020, **20**(1): 53.

Preparation and properties of fluorescent probe for detecting quinone oxidoreductase 1

GAO Xu¹, JIAO Yang², DUAN Chunying^{*1}

(1. Zhang Dayu School of Chemistry, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The detection of quinone oxidoreductase 1 is very important to improve the diagnostic effect of cancer and predict the use of drugs. A fluorescent probe DBD-Q-1 for the detection of quinone oxidoreductase 1 is successfully synthesized through a six-step reaction. The probe consists of the recognition group trimethyl p-benzoquinone and a fluorophore, and its structure is characterized by nuclear magnetic resonance and high-resolution mass spectrometry to confirm. With the increase of the concentration of quinone oxidoreductase 1, the fluorescence of the fluorescent probe gradually increases. In the process, the trimethyl p-benzoquinone in the structure of the fluorescent probe DBD-Q-1 is removed to form lactone, resulting in enhanced fluorescence of probe. When other life-related substances are added, the fluorescence of the probe does not change significantly, and the probe shows good selectivity for quinone oxidoreductase 1. The fluorescent probe DBD-Q-1 shows good cell imaging for quinone oxidoreductase 1.

Key words: quinone oxidoreductase 1; fluorescent probe; preparation; properties