

吡喃衍生物传感明胶双通道指示鱼肉新鲜度

钟克利¹, 刘爽¹, 姚远¹, 汤立军¹, 李学鹏¹, 孟玉琼², 马睿², 励建荣^{1*}

(¹渤海大学化学与材料工程学院 食品科学与工程学院

生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心 辽宁锦州 121013

²青海大学生态环境工程学院 西宁 810000)

摘要 以苯并吡喃为荧光团,通过引入吸电子基三氟基吡喃延长共轭体系,设计合成了胺类敏感型荧光探针 CHM。该探针在 EtOH/H₂O(5/5,V/V)体系中对 11 种胺有荧光增强响应,具有较大的斯托克斯位移(120 nm),较低的检测限(腐胺,1.3 μmol/L),并可在活细胞中对腐胺荧光成像。将 CHM 负载到明胶上,制备的传感明胶 CHMGL 对挥发性胺的颜色变化明显,可通过比色和荧光双通道对三文鱼鱼肉新鲜度进行实时监测,从而准确判断鱼肉的鲜度。

关键词 荧光探针;传感明胶;挥发性胺;三文鱼;新鲜度

文章编号 1009-7848(2024)10-0418-07 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.10.038

鱼肉具有营养丰富,蛋白质含量高,脂肪含量低等众多优点,是人们餐桌上必备美食^[1-2]。其中,三文鱼被誉为“海中珍品”和“冰海之皇”,其肉质鲜美,营养价值高,富含多元不饱和脂肪酸等活性物质,深受人们的喜爱^[3]。我国市场上的三文鱼大部分需要从国外进口^[4]。三文鱼在深海被捕捞后需长时间运输和贮藏,最终运输至全国市场。其多以生食为主,因此对三文鱼的鲜度提出了更高要求^[5]。准确检测三文鱼新鲜度是极其重要的。

目前,电子鼻^[6]、电化学生物传感器^[7]、红外高光谱成像^[8]被开发用于监测三文鱼的新鲜度。虽然这些方法准确可靠,但是需要庞大的设备,且样品前处理过程比较复杂,需要专业人员操作,而消费者或售卖商家无法做到实时评价鱼肉的新鲜度^[9]。开发快速、可视化检测鱼肉新鲜度的方法是十分必要^[10-11]。近期,无创比色法可以快速、灵敏地检测与鱼类腐败有关的化合物,因此,被用于鱼肉鲜度的检测中。其工作原理是鲜度指示标签中 pH 敏感染料与包装顶部挥发性胺(鱼肉腐败产生的)反应,产生明显颜色变化。消费者或供应商可以通过包装上标签颜色变化,用肉眼快速、无损地评估鱼肉的新鲜度,具有非常广阔的应用前景。2020 年

Liu 等^[12]开发了一种基于溴甲酚绿指示剂和滤纸表面的溶胶-凝胶基质的比色传感标签,通过颜色从黄色到绿色再到深蓝色的强烈变化来指示鱼肉腐败过程。2022 年,Wang 等^[13]制备了一种将溴百里酚蓝附着在 MOF(Cr-MIL-101-NH₂)框架上,再加入醋酸纤维素和聚乙二醇 4000 制备成标签,对草鱼的鲜度进行监测,标签颜色由黄色到绿色分别对应鱼肉处于新鲜和腐败阶段。2022 年,Fang 等^[14]基于红甘蓝花青素染料构建溶胶-凝胶负载到滤纸表面,开发的比色标签颜色由紫色变成蓝色再变成绿色来反映鱼肉新鲜、合格和腐败过程,并可使用智能手机检测鱼肉的新鲜度。这些标签展示了较好的检测效果,然而其它部分标签存在颜色变化不显著,致鱼肉鲜度在合格与腐败之间可视化区分不明显,限制了标签的进一步应用。

众所周知,荧光法具有更高的灵敏度,部分荧光探针分子与微量胺反应即可引起明显的光谱变化^[15-16],因此,开发比色和荧光双通道显示新鲜度的指示标签,可以弥补单一比色法的不足^[17-22]。笔者团队设计合成了一种新颖的荧光探针 CHM,其结构中苯并吡喃环为荧光团,通过双键引入吸电子的三氟基吡喃官能团,从而构建具有给体- π -受体结构的荧光探针。由于延长了共轭体系,因此弥补了苯并吡喃发射波长短的问题。同时,吸电子基的引入可增强酚羟基的酸性,提高与胺的反应活性。探针 CHM 与胺反应后,酚羟基失去 H 质子形成酚氧负离子,具有更强的给电子能力,体系分

收稿日期: 2023-10-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(22278038);辽宁省教育厅科研项目(LJKMZ20221480)

第一作者: 钟克利,男,博士,教授

通信作者: 励建荣 E-mail: lij6491@163.com

子内电荷转移(ICT)更容易,可产生明显的荧光和颜色变化。本研究选用明胶作为固体载体,通过简单注入法制备负载荧光探针 CHM 的传感明胶,鱼肉在变质过程中会产生一些生物胺等物质,导致周围环境的 pH 值、湿度等发生变化。明胶对这些环境变化较为敏感,负载荧光探针 CHM 的明胶能够通过颜色、荧光的变化来反映鱼肉的新鲜度状况,为消费者提供直观的判断依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冰鲜三文鱼,锦州市林西路水产市场,平均质量($2\,500 \pm 50$)g。

三溴化磷、环己酮、三溴化硼、碳酸氢钠、2-羟基-4-甲氧基-苯甲醛、无水硫酸钠、明胶、碳酸铯、二氧化硅、硅胶粉、二氯甲烷(无水)、*N,N*-二甲基甲酰胺(无水),安耐吉有限公司,无需纯化直接使用。化合物 a 按照文献[23]合成;硅胶(100~200目),青岛裕民化工厂;试验用水均为去离子水。

1.2 仪器与设备

JY12001 电子天平,德国赛多利斯科学仪器有限公司;SHB-III S 循环水式多用真空泵、C 型玻璃仪器气流烘干机、DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器、RE-2000 旋转蒸发仪,郑州长城科工贸有限公司;WRS-1B 数字熔点仪,上海精密仪器有限公司;DZF-1B 真空干燥箱,上海博讯实业有限公司;FSH-2A 高速均质机,上海仪电科学仪器股份有限公司;Kjeltec 8400 全自动凯氏定氮仪,上海浦予工业科技有限公司;400 MHz 核磁共振仪,美国 Agilent 公司;F-4700 荧光分光光度计,日本 Hitachi 公司;U-T1810DS 紫外分光光度计,上海屹谱仪器制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 探针 CHM 的合成 称取化合物 CH(228 mg, 1 mmol),溶解于无水乙醇(5 mL)中,向其中加入三氰基呋喃(398 mg, 2 mmol)和 0.1 mL 吡啶,加热回流并跟踪反应。析出绿色固体,过滤,用冰乙醇反复冲洗,得到产物 CHM(301 mg, 73%)。熔点 $76.0\sim 278.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。 ^1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ 10.76 (s, 1H), 8.87 (d, $J = 14.8$ Hz, 1H), 7.40 (s, 1H), 6.76 (d, $J = 6.6$ Hz, 2H), 6.65–

6.56 (m, 1H), 6.20 (d, $J = 14.8$ Hz, 1H), 2.66 (d, $J = 4.7$ Hz, 2H), 2.54 (d, $J = 4.7$ Hz, 2H), 1.81–1.72 (m, 2H), 1.64 (s, 6H)。HRMS (ESI $^+$), 分子式 $\text{C}_{25}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_3$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ 计算值: 408.1354, 实测值: 408.1259。

1.3.2 胺溶液的配制 测试所用不同胺溶液的浓度均用蒸馏水配制成 50 mmol/L,以异丙胺为例,取异丙胺 29.5 mg,振荡溶解后定容至 10 mL 容量瓶,即为 50 mmol/L 的异丙胺溶液。其它胺溶液(环己二胺、二乙胺、正丙胺、异丙胺、三乙胺、乙胺、精胺、尸胺、腐胺、三甲胺、酪胺)用相同方法配制,测试用到的其它浓度用蒸馏水稀释即可。

1.3.3 探针 CHM 测试液的配制 称量 0.02 g CHM 固体,用 DMSO 溶解并定容到 10 mL 容量瓶中,即得到所需的 1 mmol/L 的 CHM 储备液。取 1 mL 储备液转移到 100 mL 容量瓶中,用 EtOH/ H_2O (5/5, V/V) 的混合液定容至刻度线,得到浓度为 10 $\mu\text{mol/L}$ 的 CHM 测试溶液。测试的激发狭缝与发射狭缝宽度均为 5 nm,电压为 700 V,激发波长为 465 nm。

1.3.4 传感明胶的制备 如图 1 所示,将 10 mL 明胶加入到 30 mL 去离子水中,浸泡 1 h 至固体颗粒膨胀,在 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴加热下持续搅拌至明胶完全溶解。此时,将 0.01 g CHM 固体用 2 滴 DMSO 溶解后,迅速加入明胶溶液中,继续搅拌至溶液混合均匀,然后将溶液快速倒入培养皿中,将气泡用玻璃棒赶至培养皿边缘,用滴管吸出。明胶溶液冷却至室温后凝固成块,将其制备成直径为 1 cm 的传感明胶 CHMGL,用于后续试验。

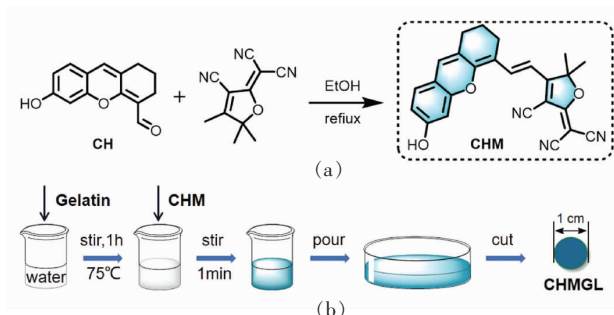


图1 探针 CHM 的合成(a)和传感明胶 CHMGL 的制备过程(b)

Fig.1 Synthesis of probe CHM (a) and the preparation process of sensing gelatin CHMGL (b)

1.3.5 鱼肉样品总挥发性碱性氮(TVB-N)的测定

在室温下将 5 g 鱼肉样品用绞肉机绞碎, 加入 35 mL 蒸馏水, 用均质机均质。静置 30 min 后过滤取其上层清液, 用全自动凯氏定氮仪测定其 TVB-N 值, 该操作重复 3 次。

1.3.6 鱼肉样品 pH 值的测定 在室温下将 5 g 鱼肉样品绞碎, 加入 40 mL 蒸馏水, 均质。静置 30 min 后过滤取其上层清液, 用 pH 计来测定其 pH 值, 该操作重复 3 次。

1.3.7 鱼肉样品色差的测量 每隔 24 h, 将传感明胶取出放置在白纸上, 用色差仪测定传感明胶的色差值。

1.3.8 传感明胶检测鱼肉新鲜度的应用 从当地市场购买冰鲜三文鱼, 快速转运至实验室, 去除三文鱼表皮, 将鱼肉切成质量为 10 g 的测试样品, 放入一次性培养皿中, 用带孔的薄膜密封, 将传感明胶 CHMGL 置于孔隙处, 盖上顶盖, 用皮筋固定。在 4 °C 冷藏条件下, 每隔 24 h 取出鱼肉样品测试其 TVB-N 值、pH 值、色差, 并拍照记录传感明胶的颜色。

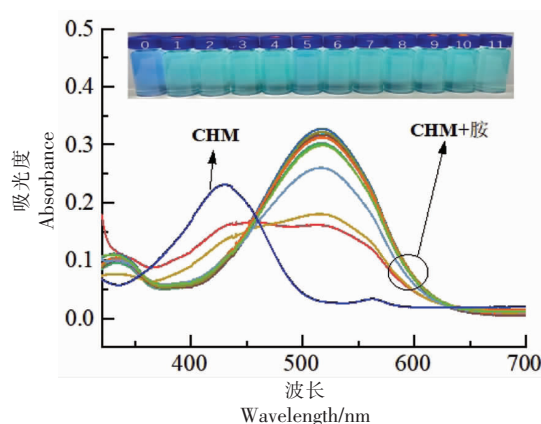
2 结果与分析

2.1 探针 CHM 对不同胺的紫外-可见光谱分析

为了探究 CHM 对不同胺(环己二胺、二乙胺、正丙胺、异丙胺、三乙胺、乙胺、精胺、尸胺、腐胺、三甲胺、酪胺)是否响应, 进行紫外-可见光谱测试。如图 2 所示, CHM (10 $\mu\text{mol/L}$) 的 EtOH/H₂O (5/5, V/V) 溶液在波长 420 nm 处出现吸收峰, 而向 CHM 溶液中加入不同的胺溶液后, 吸收峰红移至 535 nm, 溶液颜色由浅蓝色变为碧绿色。紫外-吸收光谱表明, 探针 CHM 对不同的胺类均有明显的响应能力。

2.2 探针 CHM 对不同胺的荧光光谱分析

测试 CHM 溶液的荧光光谱如图 3a 所示, 探针 CHM 在波长 465 nm 的激发下几乎无荧光, 向 CHM 溶液中加入不同胺溶液后, 在波长 585 nm 处均表现出一定程度的荧光增强, 伴随着荧光颜色由无荧光变为不同强度的黄色荧光。通过荧光滴定试验探究 CHM 的灵敏度, 结果如图 3b 所示, 向 CHM (10 $\mu\text{mol/L}$) 的 EtOH/H₂O (5/5, V/V) 溶液中加入不同浓度 (0~200 $\mu\text{mol/L}$) 的正丙胺, 荧光



注: 内插图为 CHM 溶液中加入不同胺溶液后的颜色变化, 0: CHM, 1: 环己二胺, 2: 二乙胺, 3: 正丙胺, 4: 异丙胺, 5: 三乙胺, 6: 乙胺, 7: 精胺, 8: 尸胺, 9: 腐胺, 10: 三甲胺, 11: 酪胺。

图 2 探针 CHM (10 $\mu\text{mol/L}$) 的 EtOH/H₂O (5/5, V/V) 溶液加入不同胺溶液的紫外-可见光谱

Fig.2 UV-Vis spectra of CHM (10 $\mu\text{mol/L}$) in the EtOH/H₂O (5/5, V/V) solution after adding different amine

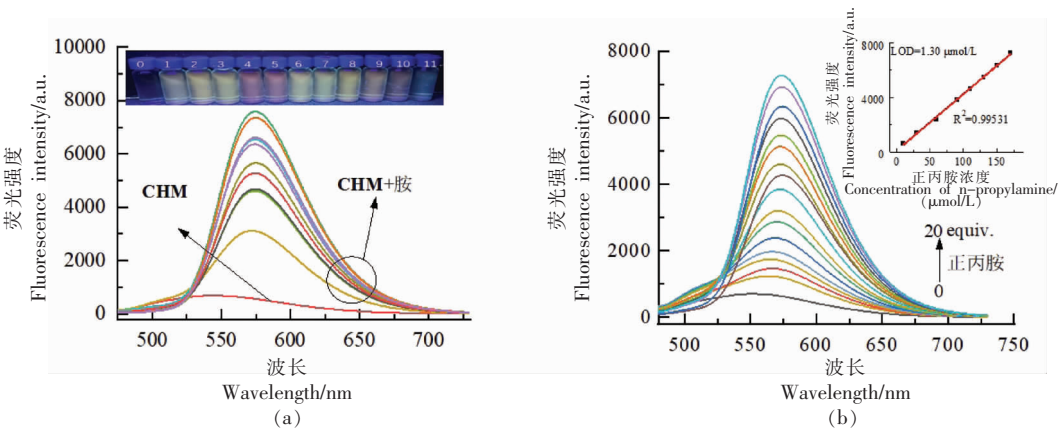
强度随浓度增加而增大, 当加入正丙胺浓度为 200 $\mu\text{mol/L}$ 时, 荧光强度不发生明显变化, 达到平衡。根据荧光滴定数据, 正丙胺浓度在 10~170 $\mu\text{mol/L}$ 之间时, CHM 的荧光强度显示出较好的线性关系 ($R^2=0.99531$), 计算的检测限为 1.3×10^{-6} mol/L, 表明 CHM 检测正丙胺具有较好的灵敏度。

2.3 探针 CHM 对正丙胺的细胞成像

经测试 CHM 的细胞毒性较低, 为了进一步探究 CHM 是否能够应用到生物体系, 进行了细胞成像试验。在 37 °C 下, 将 MCF-7 细胞与 CHM 共同孵育 30 min, 用 PBS 洗涤 3 次后, 向其中加入不同浓度的正丙胺 (0, 10, 100, 200, 500 $\mu\text{mol/L}$), 继续孵育 30 min。随着正丙胺浓度的增加, 在红色及绿色通道中, 探针的荧光强度逐渐增强 (图 4), 表明 CHM 能对活细胞中的正丙胺进行荧光成像。

2.4 真实鱼肉样品检测

GB/T 18108-2019 规定, 当 TVB-N 值 <15 mg/100 g 鱼肉样品为新鲜, 15 mg/100 g < TVB-N 值 <30.0 mg/100 g 为合格, TVB-N 值 >30.0 mg/100 g 为腐败。为了探究传感明胶 CHMGL 的颜色与三文鱼新鲜度之间的对应关系, 将 CHMGL 与三文鱼鱼肉在 4 °C 贮藏, 测定 TVB-N 值和 pH 值, 结果如图 5a 所示, 随着时间的延长, TVB-N 值从起始的 7.9 mg/100 g 整体呈上升趋势, 在第 5 天达到



注:分图 a 的内插图:加入不同胺溶液的荧光颜色变化(0:CHM,1:环己二胺,2:二乙胺,3:正丙胺,4:异丙胺,5:三乙胺,6:乙胺,7:精胺,8:尸胺,9:腐胺,10:三甲胺,11:酪胺);分图 b 的内插图:正丙胺浓度与荧光强度(585 nm)的线性关系。

图 3 在 CHM(10 μmol/L)的 EtOH/H₂O(5/5, V/V)溶液中,加入不同胺溶液的荧光光谱变化(a)和加入不同浓度正丙胺(0~200 μmol/L)的荧光光谱变化($\lambda_{ex}=465\text{ nm}$)(b)

Fig.3 In the EtOH/H₂O (5/5, V/V) of CHM solution (10 μmol/L), the fluorescence spectra changes of CHM solution after adding different amine solutions (a) and the fluorescence spectrum changes of CHM solution after adding different concentrations of n-propylamine (0~200 μmol/L) (b)

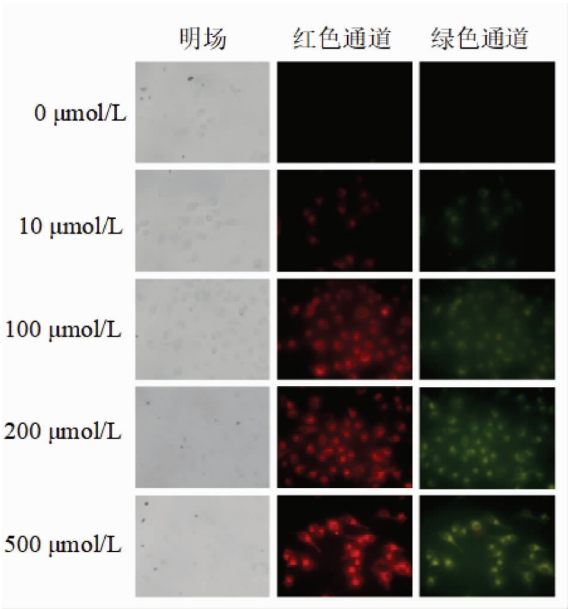


图 4 在 MCF-7 细胞中加入 CHM(10 μmol/L)及不同浓度的正丙胺(0, 10, 100, 200, 500 μmol/L)后的荧光成像

Fig.4 Fluorescence imaging of MCF-7 cells after adding CHM (10 μmol/L) and different concentration n-propylamine (0, 10, 100, 200, 500 μmol/L)

15.1 mg/100 g,表明此时鱼肉样品合格。在第 8 天达到了 31.7 mg/100 g,表明此时鱼肉样品已腐败。其次,记录了传感明胶 CHMGL 在不同贮藏

时间下的颜色变化,结果如图 5c 所示,当鱼肉新鲜时,传感明胶颜色为蓝色,荧光也是蓝色。第 4~7 天鱼肉处于合格状态时,CHMGL 的日光颜色变为绿色,荧光颜色变为绿色。第 8 天后鱼肉腐败,CHMGL 日光颜色变为灰色,荧光猝灭。测试的色差值整体呈下降趋势(图 5b),表明 CHMGL 的日光颜色逐渐变浅,与 CHMGL 的荧光颜色变化一致。

最后,根据三文鱼新鲜度与传感明胶 CHMGL 颜色之间的对应关系,制作了标准比色卡(图 6)。然后,将 CHMGL 与鱼肉在 4 °C 下共同贮藏,监测 CHMGL 颜色变化,并根据标准比色卡判断鱼肉的新鲜程度。结果如图 7 所示,传感明胶 CHMGL 日光颜色为蓝绿色,荧光颜色为蓝色时,表明三文鱼肉为新鲜状态,CHMGL 的日光和荧光颜色变为湖绿色时,表明三文鱼肉处于合格状态,CHMGL 的日光颜色变成浅灰色,荧光变成无色弱荧光时,说明三文鱼肉已腐败,这些结果表明传感明胶 CHMGL 可通过日光和荧光双通道响应,准确判断三文鱼鱼肉所处的鲜度水平。

3 结论

本文合成了苯并吡喃-三氟基咪喃衍生物

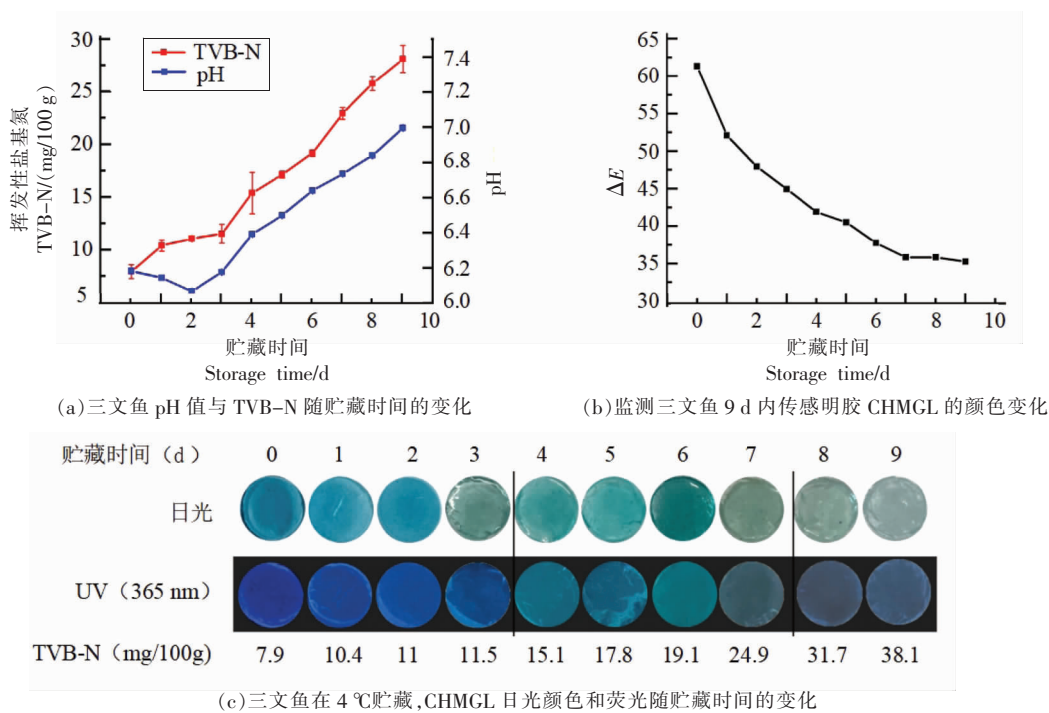


图 5 三文鱼样品检测结果

Fig.5 The test results of salmon sample

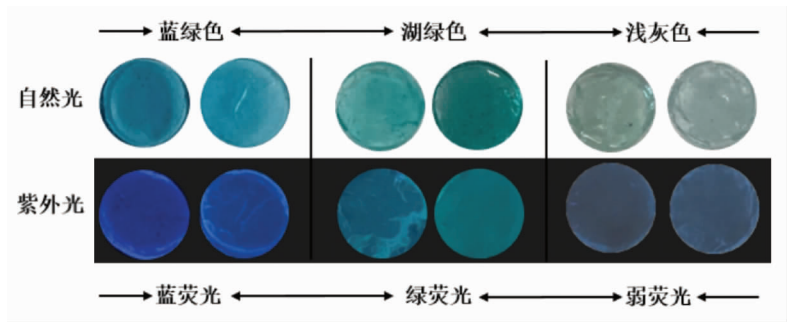


图 6 标准比色卡

Fig.6 Standard colorimetric card

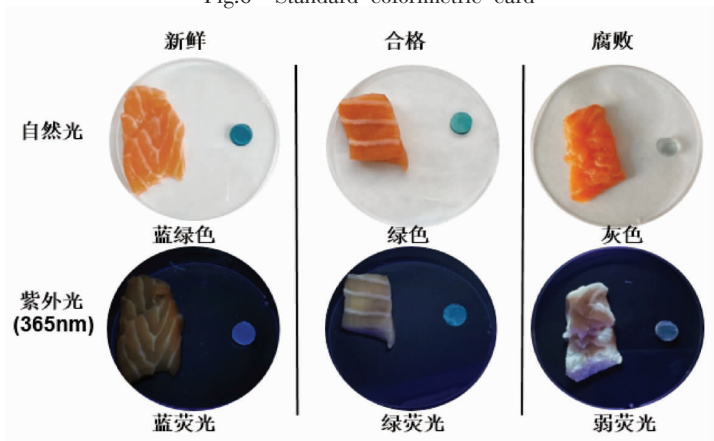


图 7 在 4 °C 贮藏下, 传感明胶 CHMGL 监测三文鱼鱼肉新鲜度的颜色变化及判定的鲜度水平

Fig.7 The color change of sensing gelatin CHMGL monitoring salmon freshness and the freshness level determined by CHMGL at 4 °C

CHM,该探针在 EtOH/H₂O (5/5,V/V)的溶液中对11种胺均有明显的响应,较大的斯托克斯位移(120 nm),对正丙胺有较低的检测限(1.3×10⁻⁶ mol/L)。此外,CHM可在活细胞中对正丙胺进行荧光成像,并成功应用于三文鱼鱼肉新鲜度的监测,在实际商品化应用方面,显示出巨大的潜力。

参 考 文 献

- [1] NI L, CHEN D L, FU H Y, et al. Residual levels of antimicrobial agents and heavy metals in 41 species of commonly consumed aquatic products in Shanghai, China, and cumulative exposure risk to children and teenagers[J]. Food Control, 2021, 129: 108225.
- [2] XIANG Y, WU H H, LI L, et al. A review of distribution and risk of pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment in China [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 213: 112044.
- [3] DONG M, ZHANG Y Y, HUANG X H, et al. Dynamic sensations of fresh and roasted salmon (*Salmo salar*) during chewing[J]. Food Chemistry, 2022, 368(22): 130844.
- [4] HEIR E, SOLBERG L E, CARLEHG M, et al. Improved control of *Listeria monocytogenes* during storage of raw salmon by treatment with the fermentate Verdad N6 and nisin[J]. International Journal of Food Microbiology, 2021, 336: 108895.
- [5] MORITA K. Reverse migration of adult pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) to the sea after their return to fresh water [J]. Environmental Biology of Fishes, 2022, 105: 1825–1832.
- [6] HUI G H, WU H L, YE D D, et al. Study of peach freshness predictive method based on electronic nose[J]. Food Control, 2012, 28(1): 25–32.
- [7] CHANG L Y, CHUANG M Y, ZAN H W, et al. One-minute fish freshness evaluation by testing the volatile amine gas with an ultrasensitive porouselectrode-capped organic gas sensor system [J]. ACS Sensors, 2017, 2(4), 531–539.
- [8] WU D, SUN D W, HE Y. Application of long-wave near infrared hyperspectral imaging for measurement of color distribution in salmon fillet[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16: 361–372.
- [9] FAZIAL F F, TAN L L, ZUBAIRI S I. Biezymatic creatine biosensor based on reflectance measurement for real-time monitoring of fish freshness[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2018, 269: 36–45.
- [10] LUO X Y, HO I, BRANKOVAN S, et al. Inkjet-printed gradient colorimetric indicators for monitoring fish freshness [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 29: 100719.
- [11] HALASZ K, CSOKA L. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace extract immobilized in chitosan for colorimetric pH indicator film application[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 16: 185–193.
- [12] LIU X Y, CHEN K K, WANG J Y, et al. On-package colorimetric sensing label based on a sol-gel matrix for fish freshness monitoring [J]. Food Chemistry, 2020, 307(C): 125580.
- [13] WANG G N, HE H, XU J X, et al. Preparation of fish freshness colorimetric indicator label based on the dye of BTB grafted on MOF carrier[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2022, 354: 131230.
- [14] FANG S, GUAN Z, SU C, et al. Accurate fish-freshness prediction label based on red cabbage anthocyanins[J]. Food Control, 2022, 138: 109018.
- [15] PAN Y X, BAN L F, LI J J, et al. Cysteine recognition by a benzothiazole-derived fluorescent probe with “AIE+ESIPT” characteristics[J]. Dyes and Pigments, 2022, 203: 110305.
- [16] ZHONG K L, HU X L, ZHOU S Y, et al. Mitochondria-targeted red-emission fluorescent probe for ultrafast detection of H₂S in food and its bioimaging application[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(16): 4628–4634.
- [17] PAN Y X, GUO Y T, LI Y, et al. A new aggregation-induced emission-based fluorescent probe for effective detection of Hg²⁺ and its multiple applications[J]. Chinese Chemical Letters, 2023, 34: 108237.
- [18] LI Y, HUANG Y R, SUN X F, et al. An AIE mechanism-based fluorescent probe for relay recognition of HSO₃⁻/H₂O₂ and its application in food detection and bioimaging [J]. Talanta, 2023, 258: 124412.
- [19] TIAN L, SUN X F, ZHOU L L, et al. Reversible colorimetric and NIR fluorescent probe for sensing

- SO₂/H₂O₂ in living cells and food samples[J]. Food Chemistry, 2023, 407: 135031.
- [20] ZHU L M, XU J C, SUN Z, et al. A twisted intramolecular charge transfer probe for rapid and specific detection of biological SO₂ derivatives and bio-imaging application[J]. Chemical Communications, 2015, 51(6): 1154–1156.
- [21] YE H, KOO S Y, ZHU B T, et al. Real-time fluorescence screening platform for meat freshness[J]. Analytical Chemistry, 2022, 94(44): 15423–15432.
- [22] JIANG L R, CHEN L H, SONG E W, et al. High-performance near-infrared fluorescence probe for fast and specific visualization of harmful sulfite in food, living cells, and zebrafish[J]. Chemical Engineering Journal, 2022, 427: 131563.
- [23] LIU M, LV Y, JIE X, et al. A super-sensitive ratiometric fluorescent probe for monitoring intracellular subtle pH fluctuation[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2018, 273: 167–175.

Pyran Derivative Sensing Gelatin Dual-Channel Indication of Fish Freshness

Zhong Keli¹, Liu Shuang¹, Yao Yuan¹, Tang Lijun¹, Li Xuepeng¹, Meng Yuqiong², Ma Rui², Li Jianrong^{1*}

(¹College of Chemistry and Materials Engineering, College of Food Science and Engineering, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning

²College of Ecological and Environmental Engineering, Qinghai University, Xining 810000)

Abstract In this paper, an amine-sensitive fluorescent probe CHM was designed and synthesized using benzopyran as a fluorophore by introducing an electron-withdrawing group tricyanofuran to extended conjugated system. The probe can recognize 11 amines with an off-on fluorescence response, a large Stokes shift (120 nm), a low detection limit (putrescine, 1.3 μmol/L) in EtOH/H₂O (5/5, V/V) solution, and can imaging for putrescine in living cells. Probe CHM is loaded on to the gelatin to obtain sensing gelatin CHMGL. CHMGL shows significant color changes to volatile amines, which can be used to monitor the freshness of salmon fish in real time through colorimetric and fluorescence dual-channels, and can accurately judge the freshness of fish.

Keywords fluorescent probe; sensing gelatin; volatile amine; salmon; freshness