啶虫脒分子印迹荧光传感器的构建及检测研究

毛家洛[1]，韩奕奕[2]，王 震[3]，王胜洁[1]，魏子奇[1]，
曹 慧[1]，袁 敏[1]，叶 泰[1]，徐 斐[*1]

（1. 上海理工大学 健康科学与工程学院，上海 200093；2. 上海市农产品质量安全中心，上海 201708；3. 上海皓信生物科技有限公司，上海 201100）

摘要：作者首先修饰和制备了对啶虫脒农药有特异响应的硅碳量子点（SiCDs），并以此作为荧光探针开发了可快速检测啶虫脒农药的高灵敏分子印迹荧光传感器 SiCDs@MIPs，同时研究了模板与功能单体物质的量比、交联剂添加量、SiCDs 包埋量对 SiCDs@MIPs 检测灵敏度的影响。结果表明，SiCDs@MIPs 的最适制备条件为：模板与功能单体的物质的量比为 1∶4，交联剂添加量为 25 μL，SiCDs 包埋量为 10 mg。在最优检测条件下，SiCDs@MIPs 对啶虫脒的检出限为 0.086 μmol/L，线性范围为 0.045~0.450 μmol/L，相关系数为 0.989，检测时间仅需 25 min。进一步将制备的 SiCDs@MIPs 应用于白菜、番茄和冬瓜中啶虫脒农药残留的检测，回收率可达到 73.0%~109.0%。该方法为蔬菜中啶虫脒农药残留的检测提供了新策略。

关键词：啶虫脒；分子印迹荧光传感器；检测；猝灭机理

中图分类号：O 657.3　**文章编号：**1673-1689(2022)12-0040-08　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.12.005

Fabrication and Detection of Molecularly Imprinted Fluorescence Sensor Based on Acetamiprid

MAO Jialuo[1]，*HAN Yiyi*[2]，*WANG Zhen*[3]，*WANG Shengjie*[1]，*WEI Ziqi*[1]，
CAO Hui[1]，*YUAN Min*[1]，*YE Tai*[1]，*XU Fei*[*1]

（1. School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Shanghai Center of Agri-products Quality and Safety, Shanghai 201708, China; 3. Shanghai Howsome Biotechnology Co., Ltd., Shanghai 201100, China）

Abstract: In this study, the silicon carbon quantum dots (SiCDs) with a specific response to acetamiprid pesticides were modified and prepared, which were then used as the fluorescence probe to develop a highly sensitive molecularly imprintied fluorescence sensor (SiCDs@MIPs) to rapidly detect the acetamiprid pesticides. The effects of the ratio of template to functional monomer, the amount of cross-linking agent, and the amount of SiCDs on the detection sensitivity of SiCDs@MIPs were further investigated. The results showed that the optimal preparation conditions of

收稿日期：2022-06-30

基金项目：上海市科委创新行动计划农业领域项目（19391902200）。

*通信作者：徐 斐（1972—），女，博士，教授，博士研究生导师，主要从事食品安全快速检测和生物传感技术方面的研究。
E-mail：xufei8135@126.com

SiCDs@MIPs were as follows: the ratio of template to functional monomer was 1∶4, the amount of cross-linking agent was 25 μL, and the embedding amount of SiCDs was 10 mg. Under the optimal detection conditions, the detection limit of SiCDs@MIPs toward acetamiprid was 0.086 μmol/L within the linear range of 0.045 to 0.450 μmol/L, the correlation coefficient was 0.989, and the detection time was only 25 minutes. When SiCDs@MIPs was further applied to determine the acetamiprid pesticide residues in Chinese cabbage, tomato and wax gourd, the recoveries ranged from 73.0% to 109.0%. The proposed method provided a new strategy for the determination of acetamiprid pesticide residues in vegetables.

Keywords: acetamiprid, molecularly imprinted fluorescence sensor, detection, quenching mechanism

啶虫脒(acetamiprid)是一种新烟碱类杀虫剂，由于其具有高效、低毒、杀虫谱广、用量低、内吸传导性好、与常规农药无交互抗性等化学及生物特性，已被用来替代有机磷、有机氯等常规高毒农药用于果蔬等农产品中。啶虫脒通过食物链在体内长期累积，可能对身体造成极大的危害[1]，因此我国出台了相关标准对蔬菜中的啶虫脒残留进行限量规定。根据国家食品安全标准(GB2763—2021)：啶虫脒在冬瓜、大白菜以及番茄等果蔬中的残留限量为0.2~1.0 mg/kg。因此亟待开发高灵敏度的啶虫脒农药残留检测技术[2]。

分子印迹聚合物具有高度的选择性，不仅可以从复杂食品基质中特异性的富集痕量目标物，还具有耐高温高压、耐酸碱、不易被破坏且能重复使用等优良特性，因而已被广泛应用于待测样品中目标物的选择性富集和检测[3]。Boontongto 等使用磁性双模板印迹聚合物对果蔬中的有机磷农药进行富集，回收率为 81.3%~110.6%[4]；Immaferrer 等以特丁嗪为模板合成了一系列分子印迹聚合物，这些聚合物对 6 种氯三嗪农药的回收率达到 80%，进一步结合 LC-DAD 技术，能够对环境样品中的农药残留进行高效检测[5]；Zhao 等结合分子印迹技术和高效液相色谱串联质谱法测定了黄瓜样品中的 20 种三唑类农药，检出限小于 0.4 μg/L，可用于农产品中三唑类农药的定量分析[6]。这些方法虽然具有较高的灵敏度，但需要配备气相色谱、高效液相色谱以及气/液相色谱-质谱联用(GC/LC-MS)[4]等大型分析仪器，存在仪器设备昂贵、操作复杂及对样品前处理要求高等不足。

镧系金属有机框架(LMOF)[7]、量子点[8]、发光染料[9]等荧光材料已被作为信号探针包埋于印迹聚合物基质中，以实现对复杂食品样品中痕量目标物的定量速测。在这些标记物中，量子点荧光探针因具有高效的发光性能、可协调的激发光谱、高度的灵敏性以及优秀的抗光漂白特性，已受到广泛关注[10]。程序森等将碳量子点包埋于制备的分子印迹聚合物中，并应用于蜂蜜中甲硝唑的检测，在最优条件下，检出限低至 7.2 nmol/L，样品的加标回收率为 92.3%~95.1%[11]；赵晓磊等使用碳量子点制备的分子印迹材料对多巴胺展现出了高灵敏的响应，该方法的线性范围为 0.02~0.30 mg/L，检出限为 0.01 mg/L，实际样品的加标回收率为 76.7%~118.4%，且可应用于复杂样品中多巴胺的定量分析[12]。基于此，以啶虫脒为模板分子，并结合分子印迹聚合材料的专一性、构效预定性和广泛适用性，以及改性硅碳量子点的高度灵敏性，采用改进的溶胶-凝胶策略制备了啶虫脒分子印迹荧光传感器，同时对该传感器的检测性能及机理进行了研究。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

紫外可见分光光度计：北京普析通用仪器有限责任公司产品；RF-6000 荧光分光光度计：日本岛津仪器公司产品；特氟龙高压反应釜：郑州博科仪器设备有限公司产品；K-Alpha X 射线光电子能谱仪、FEI Inspect F50 扫描电子显微镜、透射电子显微镜：美国赛默飞世尔科技有限公司产品；PerkinElmer 傅里叶红外变换光谱仪：珀金埃尔默仪器有限公司产品；FLS1000 荧光寿命测定仪：英国爱丁堡仪器公司产品。

啶虫脒、吡虫啉、噻虫嗪、噻虫胺(均为标准样品)：上海市农药研究所提供；二苯基二乙氧基硅烷

(DPDS)、3-氨丙基三乙氧基硅烷(APTES)、硅酸四乙酯(TEOS)、环己烷、正己醇、曲拉通、无水乙醇(均为分析纯):阿拉丁化学试剂有限公司产品;氨水、柠檬酸三钠(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司产品。

1.2 啶虫脒分子印迹荧光传感器的制备及表征

1.2.1 硅碳量子点(SiCDs)的合成 将0.4 g柠檬酸三钠置于两颈烧瓶中,加入8 mL去离子水溶解,脱气15 min;向上述溶液中加入2.0 mL APTES,搅拌10 min后转移至50 mL特氟龙高压反应釜中,并在200 ℃下反应2 h;反应完毕后将反应溶液冷却至室温,再用透析袋(截留相对分子质量1 000)透析24 h,得到蓝色的硅碳量子点;收集量子点,并置于4 ℃冰箱下保存。

1.2.2 啶虫脒分子印迹荧光传感器(SiCDs@MIPs)的制备 二氧化硅纳米微球的合成[13]:在磁力搅拌下将5 mL Triton X-100、20 mL环己烷和5 mL正己醇混合,剧烈搅拌15 min;接下来依次将50 μL TEOS和135 μL $NH_3·H_2O$(体积分数25%~28%)添加到上述混合液中,搅拌8 h;向反应体系加入20 mL丙酮破乳,用无水乙醇和超纯水洗涤几次后,避光置于60 ℃真空干燥箱内干燥,备用。

SiCDs@MIPs的制备[14]:将30 mg二氧化硅纳米微球分散于20 mL无水乙醇和7.5 mL水中,再加入13 mg啶虫脒、27 μL APTES和31 μL DPDS,搅拌20 min后,依次加入1 mL 0.2 mol/L CTAB溶液、50 μL TEOS、100 μL 0.2 mol/L NaOH溶液和SiCDs,并在室温黑暗下磁力搅拌12 h;反应完毕后采用乙腈和乙醇混合液(体积比2:8)洗脱模板,直至无啶虫脒紫外吸收峰出现,然后将获得的SiCDs@MIPs在60 ℃下烘干,备用。SiCDs@NIPs的制备过程与SiCDs@MIPs一致,只是不加入啶虫脒模板。制备原理见图1。

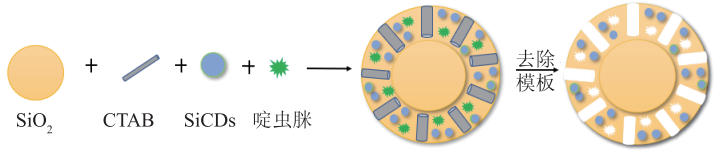


图1 基于SiCDs的分子印迹荧光传感器制备原理图

Fig. 1 Schematic diagram of preparation of molecularly imprinted fluorescence sensor based on SiCDs

1.2.3 SiCDs@MIPs的表征 采用TEM透射电镜、X射线光电子谱(XPS)、SEM扫描电子显微镜及傅里叶红外光谱对制备的SiCDs@MIPs表面形态及结构进行表征。

1.3 SiCDs@MIPs对啶虫脒的检测过程及检测性能评价

1.3.1 检测过程 将10.0 mg SiCDs@MIPs分散于30 mL超纯水中,超声处理5 min;取600 μL超声分散后的SiCDs@MIPs与300 μL啶虫脒农药进行混合,漩涡振荡反应20 min;反应完毕后在345 nm激发波长下记录反应溶液在437 nm处的相对荧光强度。猝灭率(C)的计算公式为$C=(F_0-F)/F_0\times100\%$,其中F和F_0分别代表加入和不加入啶虫脒农药时SiCDs@MIPs的相对荧光强度。

1.3.2 荧光稳定性评价 将10 mg SiCDs@MIPs超声分散于30 mL超纯水中,并在437 nm处每隔10 min测定一次加入与不加入啶虫脒农药(1.0 μg/mL)时SiCDs@MIPs的相对荧光强度,实验结果以F_0/F表示。

1.3.3 选择性与特异性评价 将10 mg SiCDs@MIPs或SiCDs@NIPs超声分散于30 mL超纯水中,分别取600 μL的1 μg/mL啶虫脒、吡虫啉、噻虫胺和噻虫嗪进行反应,以考察SiCDs@MIPs的选择性和特异性。

1.4 样品处理

将5.00 g搅碎后的蔬菜样品置于50 mL离心管中,加标静置30 min,再加入6 mL乙腈(含体积分数1%的乙酸)进行振荡提取3 min;在离心管中加入5.00 g $MgSO_4$和0.50 g NaCl固体,涡旋振荡120 s后,加入300 mg GCB、300 mg PSA和300 mg C_{18},并剧烈振荡3 min;取上清液加入600 μL氯仿进行液液微萃取,并将下层有机相置于玻璃试管中,于80 ℃水浴中蒸干,再用200 μL水复溶;在处理好的样液中加入SiCDs@MIPs,并按照1.3中的步骤进行荧光测定。

2 结果与讨论

2.1 SiCDs@MIPs 的表征

采用 X 射线光电子谱对 SiCDs@MIPs 进行表征。图 2 中清晰地显示了 N1s(399 eV)、C1s(285 eV)、O1s(532 eV)和 Si2p(103 eV)的信号峰,表明模板分子和功能单体 APTES 在交联剂 TEOS 的作用下发生了溶胶-凝胶反应,并形成了二氧化硅印迹层。在 1 080 eV 和 165 eV 处出现的 Na1s 和 S2p 的信号峰则证明了 SiCDs 已经被成功包裹到印迹聚合物中。

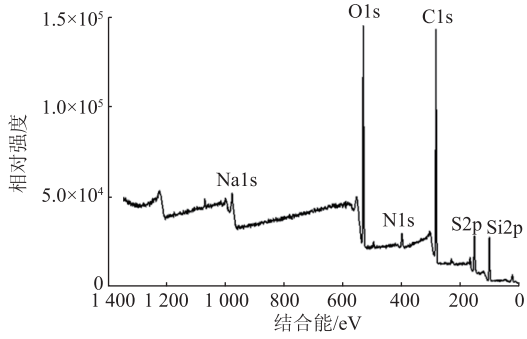


图 2 SiCDs@MIPs 的 XPS 图

Fig. 2 XPS spectra of SiCDs@MIPs

采用傅里叶红外光谱对 SiCDs@MIPs 的结构进行表征。由图 3 可见,在 794.78、3 186.82 cm^{-1} 和 1 561.22 cm^{-1} 处出现的峰分别归因于 Si—O 的伸缩振动、N—H 的伸缩振动和 Si—O—Si 的不对称拉伸振动,表明啶虫脒分子印迹荧光探针已被成功合成。

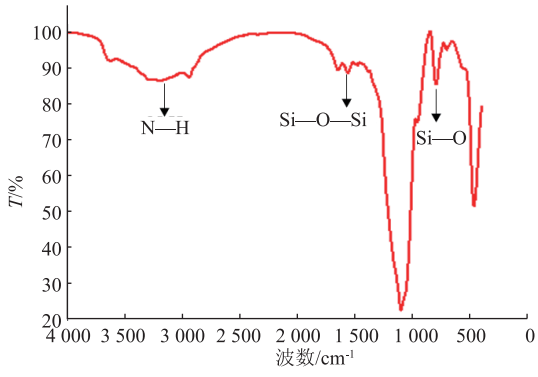
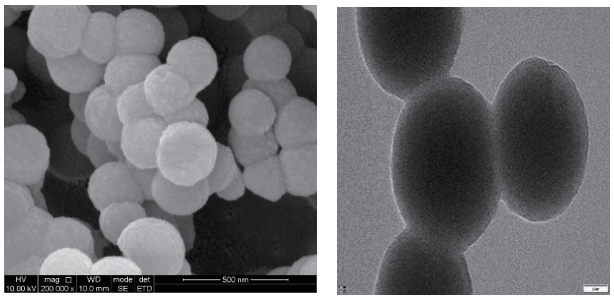


图 3 SiCDs@MIPs 的 FT-IR 图

Fig. 3 FT-IR spectra of SiCDs@MIPs

采用扫描电子显微镜和透射电镜对 SiCDs@MIPs 的形貌结构进行表征。由图 4(a)可见,合成的 SiCDs@MIPs 微球大小均一且外表面较粗糙。由图 4(b)可见,SiCDs@MIPs 呈现出典型的核壳结构,中间的黑色部分为二氧化硅纳米核,外壳的浅色部分为印迹层。结果均表明,SiCDs@MIPs 微球已经被成功合成。



(a) SEM (b) TEM

图 4 SiCDs@MIPs 的形貌结构

Fig. 4 Morphological structure of SiCDs@MIPs

2.2 SiCDs@MIPs 制备条件的优化

2.2.1 模板与功能单体的物质的量比优化 为了提高聚合物的识别性能,采用 APTES 和 DPDS 作为双功能单体,并考察了模板与功能单体物质的量比对 SiCDs@MIPs 荧光猝灭的影响。由图 5 可见,随着功能单体与模板物质的量比的增加,F_0/F 呈先增加后减小的趋势,这是因为当功能单体的添加量不足时,导致分子印迹聚合物中形成较少的空穴位点,进而降低了检测的灵敏性。当啶虫脒与功能单体的物质的量比为 1:4 时,F_0/F 达到最高,为 1.33。随着功能单体添加量的进一步增加,F_0/F 反而下降,这可能是因为过量的功能单体导致自身发生交联,使得传质困难[15]。因此,啶虫脒与功能单体的最适物质的量比选择为 1:4。

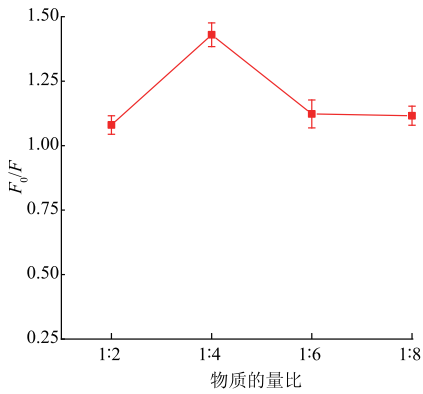


图 5 模板与功能单体物质的量比对 SiCDs@MIPs 荧光猝灭的影响

Fig. 5 Effect of the ratio of template to functional monomers on the fluorescence quenching of SiCDs@MIPs

2.2.2 交联剂添加量的优化　进一步考察了交联剂TEOS的添加量(25、50、100、150 μL)对SiCDs@MIPs荧光猝灭的影响。由图6可知，当TEOS的添加量为25 μL时，F_0/F达到最大，为1.43。当TEOS的添加量小于25 μL时难以形成印迹层，而过量的TEOS则可能导致过厚的印迹层，使啶虫脒不易接触到包裹在印迹层内部的量子点，进而影响检测的灵敏度[16]。因而，TEOS的最优加入量确定为25 μL。

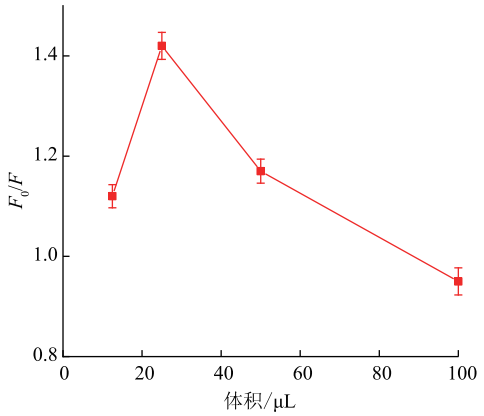


图6　TEOS添加量对SiCDs@MIPs荧光猝灭的影响

Fig. 6　Effect of the amount of TEOS on the fluorescence quenching of SiCDs@MIPs

2.2.3 SiCDs包埋量的优化　SiCDs在SiCDs@MIPs中的包埋量也会影响检测的灵敏度，因而，考察了SiCDs的包埋量对SiCDs@MIPs荧光猝灭的影响。由图7可知，当SiCDs的包埋量为10 mg/kg时，F_0/F最大。随着SiCDs包埋量的增加，F_0/F显著降低。这是因为当SiCDs在SiCDs@MIPs中的包埋量较高时，需要将SiCDs@MIPs稀释至合适的荧光值才能进行检测，稀释后的SiCDs@MIPs对啶虫脒的吸附量也降低，因而影响了检测的灵敏度。

2.3　SiCDs@MIPs对啶虫脒农药检测性能的评价

在最优条件下，对SiCDs@MIPs的检测性能进行了研究。由图8(a)可知，在0~4.5 μmol/L时，随着啶虫脒农药浓度的逐渐增加，SiCDs@MIPs的相对荧光强度逐渐降低。进一步以F_0/F为纵坐标，啶虫脒浓度为横坐标绘制荧光猝灭曲线图(见图8(b))。如图8(c)所示，范围为0.045~0.450 μmol/L时，F_0/F与啶虫脒浓度呈线性关系y=0.445 6x+1.109 5（r^2=0.989)，检出限根据3S_b与K比值(S_b是空白标准偏差，K是校准曲线的斜率)计算为0.086 μmol/L。

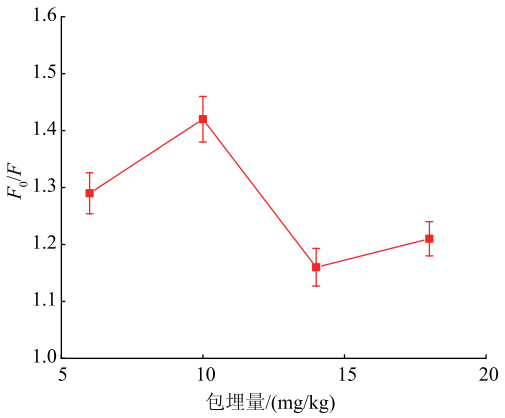


图7　SiCDs包埋量对SiCDs@MIPs荧光猝灭的影响

Fig. 7　Effect of the embedding amount of SiCDs on the fluorescence quenching of SiCDs@MIPs

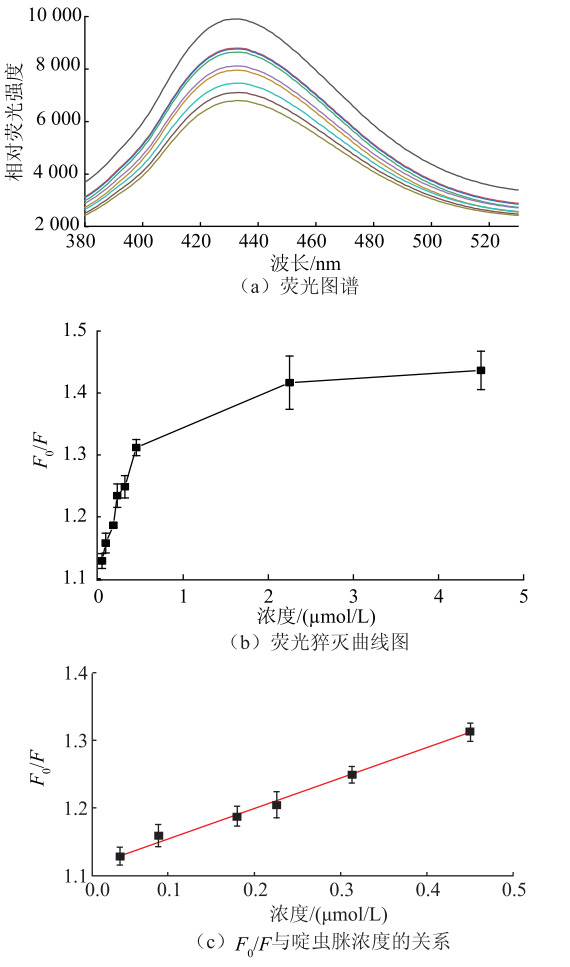


图8　SiCDs@MIPs对不同浓度啶虫脒响应的荧光图谱和猝灭线性曲线图

Fig. 8　Fluorescence spectra and fluorescence quenching linear curve of SiCDs@MIPs in response to acetamiprid at different concentrations

进一步将啶虫脒农药加入 SiCDs@MIPs 中,每隔 10 min 测定一次其在 437 nm 处的相对荧光强度,以评价其检测稳定性。由图 9(a)所示,在 120 min 内 F_0/F 较为稳定,表明 SiCDs@MIPs 具有良好的检测稳定性。进一步选取啶虫脒的结构类似物噻虫嗪、吡虫啉和噻虫胺来验证所建立方法的特异性。由图 9(b)可知,啶虫脒对 SiCDs@MIPs 的猝灭响应最强,这是因为啶虫脒可以通过氢键特异性结合到 SiCDs@MIPs 的印迹空腔中,进而通过光致电子转移导致其部分荧光猝灭。噻虫嗪、噻虫胺与啶虫脒具有相似的分子结构,因而也有一小部分通过氢键吸附到 SiCDs@MIPs 中,造成其 MIPs 和 NIPs 之间的响应差异,但这些结构类似物对 SiCDs@MIPs 的猝灭响应均较弱。Yu 等研究也发现,由于结构的高度相似,噻虫嗪和噻虫胺对啶虫脒的印迹聚合物会表现出一定的响应效果[17]。

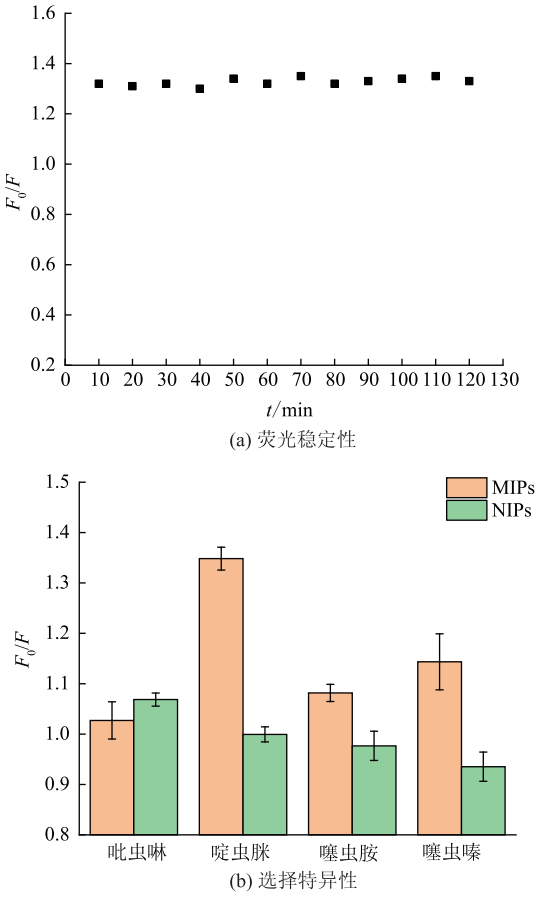


图 9 SiCDs@MIPs 的荧光稳定性以及选择特异性

Fig.9 Fluorescence stability and selective specificity of SiCDs@MIPs

2.4 啶虫脒农药对 SiCDs@MIPs 的猝灭机理研究

为了探究啶虫脒农药对 SiCDs@MIPs 的猝灭机理,首先采用紫外分光光度计测定了啶虫脒的紫外吸收峰,结果见图 10。其出峰位置在 245 nm 左右,这与 SiCDs@MIPs 的荧光激发峰和发射峰都不重叠,因此可以排除荧光共振能量转移和内滤作用[18-19]。进一步以时间为横坐标,相对荧光强度为纵坐标绘制 SiCDs@MIPs 的荧光衰减曲线图。由图 11 可知,SiCDs 的荧光寿命为 5.335 ns,当加入啶虫脒后,SiCDs 的荧光寿命降至 4.972 ns,表明啶虫脒农药使 SiCDs 发生了动态电子转移,进而导致其荧光猝灭。

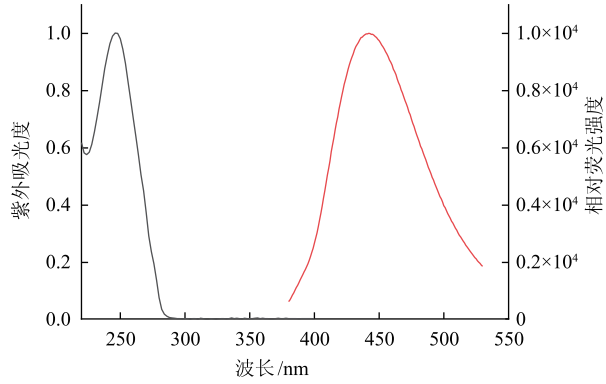


图 10 啶虫脒的紫外吸收和 SiCDs 的荧光发射图

Fig. 10 Ultraviolet absorbance spectrum of acetamiprid and fluorescent emission diagram of SiCDs

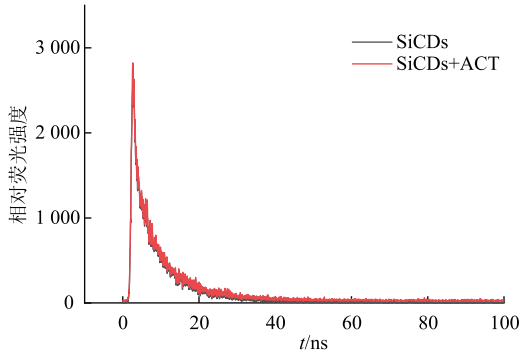


图 11 SiCDs 的荧光衰减曲线

Fig. 11 Fluorescence decay curve of SiCDs

2.5 实际样品检测

将制备的 SiCDs@MIPs 应用于白菜、冬瓜和番茄中啶虫脒的检测,以验证其在实际样品中应用的可行性。由表 1 可知,SiCDs@MIPs 对不同加标样品中啶虫脒的回收率为 73.0%~109.0%,相对标准偏差(n=3)为 1.21%~7.49%,表明 SiCDs@MIPs 可应用于蔬菜中啶虫脒农药的测定。

表 1 SiCDs@MIPs 对蔬菜样品中啶虫脒的加标回收验证 (n=3)

Table 1 Standard recovery of acetamiprid in the vegetable samples by SiCDs@MIPs (n=3)

实际样品	加标量/(μg/mg)	检出量/(μg/mg)	回收率/%	RSD/%
白菜	0.50	0.52	104.0	2.00
	1.00	0.82	82.0	5.30
	2.00	2.10	105.0	7.49
冬瓜	0.25	0.25	100.0	6.90
	0.50	0.36	73.0	1.21
	1.00	0.90	90.0	1.40
番茄	0.50	0.41	82.0	1.31
	1.00	1.09	109.0	1.99
	2.00	2.12	106.0	2.46

3 结 语

结合荧光量子点技术和分子印迹技术,采用改进的溶胶-凝胶策略制备了可应用于实际样品中啶虫脒检测的分子印迹荧光传感器 SiCDs@MIPs。SiCDs@MIPs 表现出典型的核壳结构,较薄的印迹层可加速模板分子在其中的传质效率。在最优检测条件下,SiCDs@MIPs 对啶虫脒的检出限为 0.086 μmol/L,线性范围为 0.045~0.450 μmol/L,相关系数为0.989,检测时间仅需 25 min,回收率可达到 73.0%~109.0%,能够满足对蔬菜中啶虫脒农药残留检测的要求。

参考文献:

[1] 马东晓,衣姜乐,夏方诠,等. 基于磁性介孔 SiO_2 免电极修饰电化学适配体传感器检测啶虫脒[J]. 食品科学,2022,43(18):318-323.

[2] 中华人民共和国健康委员会,中华人民共和国农业农村部,国家市场安全监督管理总局. 食品安全国家标准食品中农药残留最大限量:GB2763-2021[S]. 北京:中国农业出版社,2021.

[3] FAROOQ S,NIE J,CHENG Y,et al. Molecularly imprinted polymers' application in pesticide residue detection[J]. **Analyst**,2018,143(17):3971-3989.

[4] BOONTONGTO T,BURAKHAM R. Eco-friendly fabrication of a magnetic dual-template molecularly imprinted polymer for the selective enrichment of organophosphorus pesticides for fruits and vegetables[J]. **Analytica Chimica Acta**,2021,1186:1-11.

[5] IMMAFERRER F L,ANTAL T,VIOLA H,et al. Selective trace enrichment of chlorotriazine pesticides from natural waters and sediment samples using terbuthylazine molecularly imprinted polymers[J]. **Analytical Chemistry**,2000,72:3934-3941.

[6] ZHAO F,SHE Y,ZHANG C,et al. Selective solid-phase extraction based on molecularly imprinted technology for the simultaneous determination of 20 triazole pesticides in cucumber samples using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. **Journal of Chromatography B**,2017,1064:143-150.

[7] YANG L,LIU Y L,LIU C G,et al. A luminescent sensor based on a new Cd-MOF for nitro explosives and organophosphorus pesticides detection[J]. **Inorganic Chemistry Communications**,2020,122:1-6.

[8] CHANDRA S,BANO D,SAHOO K,et al. Synthesis of fluorescent carbon quantum dots from Jatropha fruits and their application in fluorometric sensor for the detection of chlorpyrifos[J]. **Microchemical Journal**,2022,172:1-10.

[9] SHEN Y M,YAN F M,HUANG X,et al. A new water-soluble and colorimetric fluorescent probe for highly sensitive detection of organophosphorus pesticides[J]. **RSC Advances**,2016,6(91):88096-88103.

[10] 武建露,闫桂琴. 基于氮掺杂碳量子点构建荧光传感器对肝素选择性测定[J]. 分析试验室,2018,37(3):351-355.

[11] 程序森,高祥,乔子豪,等. 碳量子点分子印迹复合材料的制备及荧光法检测甲硝唑[J]. 分析试验室,2020,39(12):1416-1420.

[12] 赵晓磊,王俊平. 碳量子点分子印迹荧光传感器检测多巴胺[J]. 分析试验室,2019,38(11):1282-1288.

[13] WANG J,SHAH Z H,ZHANG S F,et al. Silica-based nanocomposites via reverse microemulsions:classifications,preparations,

and applications[J]. **Nanoscale**,2014,6(9):4418-4437.

[14] ZUO P J,GAO J F,PENG J,et al. A sol-gel based molecular imprint incorporating carbon dots for fluorometric determination of nicotinic acid[J]. **Microchimica Acta**,2016,183(1):329-336.

[15] TAVAKOLI Z,SOLEIMANI M,ALAVINIKJE M M. Characterization and performance evaluation of functional monomer effect on molecular imprinted polyurethane foam[J]. **Journal of Chromatography A**,2019,1602:30-40.

[16] MUHAMMAD T,NUR Z,PILETSKA E V,et al. Rational design of molecularly imprinted polymer:the choice of cross-linker[J]. **Analyst**,2012,137(11):2623-2628.

[17] YU Q R,HE C X,Li Q,et al. Fluorometric determination of acetamiprid using molecularly imprinted upconversion nanoparticles [J]. **Microchimica Acta**,2020,187(4):1-10.

[18] XIAO N,LIU S G,MO S,et al. Highly selective detection of *p*-nitrophenol using fluorescence assay based on boron,nitrogen co-doped carbon dots[J]. **Talanta**,2018,184:184-192.

[19] WANG J,TENG X M,WANG Y S,et al. Carbon dots based fluorescence methods for the detections of pesticides and veterinary drugs:response mechanism,selectivity improvement and application[J]. **Trends in Analytical Chemistry**,2021,144:1-16.

科　技　信　息

欧盟修订关于控制体质量的总膳食替代品脂质和镁质的要求

欧盟官方公报 2022 年 11 月 9 日消息,8 月 30 日,欧盟委员会发布授权条例(EU)2022/2182,对授权条例(EU)2017/1798 关于控制体质量的总膳食替代品脂质和镁质的要求进行修订。修订内容如下:

1)删除第 4.1 点;

2)第 4.2 点修改后如下:体重控制产品的总膳食替代品中所含的 α-亚麻酸在每日总膳食中不得少于 0.8 g;

3)在第 6 点中,第二段修改后如下:体质量控制产品的总膳食替代品中所含的镁在每日总膳食中不得超过 350 mg。

该条例在欧盟官方公报上公布后的第二十日生效。该条例的全部内容具有约束力,并直接适用于所有成员国。

[信息来源]海关总署.欧盟修订关于控制体重的总膳食替代品脂质和镁质要求[EB/OL]. (2022-11-21).http://www.tbt.org.cn/warningDetail.html?id=C2HSicVIXotw7QkTYryrm9F5zPrJv6jxAolNRhB.