分析测试

水溶性荧光硅纳米颗粒的制备及其对食品中亮蓝含量的高灵敏检测

王 苗,马素黛*,年 芳
(甘肃农业大学理学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:以*N*-[3-(三甲氧基硅基)丙基]乙二胺(DAMO)和盐酸氨基葡萄糖为原料,通过一步水热法制备出发射蓝色荧光的硅纳米颗粒(Si NPs),并通过TEM、XPS、FT-IR、XRD对Si NPs的形貌和性质进行了表征。基于亮蓝(BB)可以有效猝灭Si NPs的荧光,建立准确、灵敏检测亮蓝的荧光新方法。在最佳的检测条件下,该方法对亮蓝的线性响应范围为0.2~60 μmol/L,检出限低至0.119 μmol/L。将其成功应用于饮料及糖果中亮蓝的检测,加标回收率为95.8%~109.6%。

关键词:荧光硅纳米颗粒;亮蓝;荧光检测
中图分类号:O657.39 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-4320(2026)10-0232-07
DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.10.038

Preparation of water-soluble fluorescent silicon nanoparticles and highly sensitive determination of brilliant blue content in food

WANG Miao, MA Su-dai, NIAN Fang*
(College of Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Using *N*-[3-(trimethoxysilyl) propyl] ethylenediamine (DAMO) and glucosamine hydrochloride as raw materials, blue-fluorescent silicon nanoparticles (Si NPs) were successfully prepared via a one-step hydrothermal method. The morphology and properties of the as-prepared Si NPs were systematically characterized by transmission electron microscopy (TEM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), and X-ray diffraction (XRD). A novel, accurate, and sensitive fluorescent method for the detection of Brilliant Blue (BB) was established based on the phenomenon that BB can effectively quench the fluorescence of Si NPs. Under optimal detection conditions, the method exhibited a linear range of 0.2-60 μmol/L for BB, with a limit of detection of 0.119 μmol/L. This proposed method was successfully applied to the determination of BB in beverages and candies, yielding spiked recoveries ranging from 95.8% to 109.6%.

Key words: fluorescent silicon nanoparticles; brilliant blue; fluorescence detection

随着社会经济的不断进步,人们对饮食的需求日益多元化,不仅关注基本营养,更越来越注重食品的视觉美感与风味体验。这一消费趋势推动了食品添加剂市场的快速发展与广泛应用。在众多食品添加剂中,食品色素作为重要类别,被广泛用于提升产品外观吸引力。但目前食品色素的使用仍存在不规律、过量添加等现象,可能对人体健康构成潜在风险。因此,开发科学有效的食品色素含量检测技术至关重要,可为食品安全及消费者健康提供保障。

亮蓝(BB)为人工合成偶氮类食品色素,具有色泽鲜亮、着色力强、稳定性优良(耐光、耐热、耐酸碱)及成本低廉等核心特性,已广泛应用于食品工业的着色加工,涵盖饮料、糖果、糕点、乳制品、果冻、蜜饯等各类食品及食品添加剂产品中,同时也用于医药和化妆品领域的外观修饰[1-2]。但食品中过量添加亮蓝,摄入后可能导致摄入者出现恶心、腹泻等消化系统不适,少数人发生皮肤瘙痒、皮疹等过敏反应,加重肝肾解毒负担。长期摄入对儿童发育不利,过敏体质者风险更高,并与儿童多动症、哮喘,甚至与癌症风险相关,因此国际组织如欧洲食品安全局(EFSA)和世界卫生组织(WHO)对其使用量进行了严格评估和限制[3-4]。我国现行《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760—2024)对亮蓝在各类食品中的最大允许添加量做出了明确界定。

收稿日期:2025-12-30;**修回日期**:2026-08-02
基金项目:甘肃农业大学公招博士科研启动基金项目(GAU-KYQD-2018-13)
作者简介:王苗(2002-),女,硕士,助理工程师,研究方向为荧光纳米材料的制备及应用,15020523394@163.com;马素黛(1989-),女,博士,讲师,研究方向为荧光纳米材料的制备及其在生命分析化学和食品化学中的应用,通讯联系人,masudai09@163.com。

其中,饮料类食品中亮蓝的添加限值不超过 0.025 g/kg,糖果类食品限值为不超过 0.3 g/kg,以保障公众健康[5]。因此,开发快速、灵敏且精准的亮蓝检测技术,对食品质量安全监管具有重要现实意义。目前,亮蓝检测的主流方法主要有高效液相色谱法(HPLC)、电化学法和分光光度法等。其中,高效液相色谱法虽分离效率高、灵敏度佳,但仪器成本高、操作复杂,且样品前处理耗时较长[6-7];电化学法需借助修饰电极完成检测,尽管灵敏度较高,但电极的制备与维护过程相对烦琐[8-9];分光光度法虽然操作简便,但存在线性范围较窄、易受样品基质干扰的问题[10-11]。因此,开发兼具高选择性、强抗干扰能力,且成本低廉、操作简便的亮蓝检测方法至关重要。

荧光分析法有着操作便捷、响应快速、灵敏度高及可视化等优势。荧光硅纳米颗粒(Si NPs)作为纳米材料中的一员,凭借低毒性、低成本、优良的稳定性及独特的光学特性等优势,广泛应用于生物成像、食品检测、环境检测、生物分子标记等多个领域,展现出不可替代的应用潜力。

基于此,本研究采用水热法以 *N*-[3-(三甲氧基硅基)丙基]乙二胺(DAMO)和盐酸氨基葡萄糖为原料制备得到发射蓝色荧光的 Si NPs,并对其化学性质和外貌进行研究,结果表明 Si NPs 颗粒均一,尺寸小,且具有良好的盐稳定性、pH 和光稳定性。基于亮蓝可以有效猝灭 Si NPs 荧光的性质,在最佳的检测条件下,对亮蓝实现高灵敏检测。该方法灵敏度高、选择性和抗干扰性强,在实际样品中的检测具有良好的加标回收率,为检测亮蓝提供了一种荧光检测新方法。

1　材料与方法

1.1　主要仪器与试剂

电子天平(AE-224,上海舜宇恒平科学仪器有限公司);WQF-510A/520A 傅里叶变换红外光谱仪(天恒科学仪器设备有限公司);双光束紫外-可见分光光度计(TU-19,北京普析通用仪器有限责任公司);XD3 X 射线多晶衍射仪(北京普析通用仪器有限责任公司);荧光分光光度计(RF-6000,日本岛津仪器有限公司);日本 JEOL JEM-F200 透射电子显微镜;PHS-3C 酸度计(上海平轩科学仪器有限公司);真空冷冻干燥机(FD-1-50,北京博医康实)。

N-[3-(三甲氧基硅基)丙基]乙二胺(DAMO)(上海阿拉丁生化科技股份有限公司);盐酸氨基葡萄糖、亮蓝(BB)(上海源叶生物科技有限公司);氯化钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠(天津市百世化工有限公司);实验超纯水由净水系统制备。

1.2　实验方法

1.2.1　Si NPs 的制备

将 1 mL 的 DAMO 缓慢加入至 5 mL 浓度为 15 mg/mL 盐酸氨基葡萄糖溶液中,彻底混匀后,将该混合液转移至 25 mL 聚四氟乙烯反应釜内,于 210℃条件下恒温反应 12 h。反应结束后自然冷却至室温,采用截留分子质量为 1 000 Da 的透析袋在超纯水中透析净化 5 h,所得 Si NPs 置于 4℃冰箱中密封冷藏备用。

1.2.2　BB 的检测

向 10 mmol/L、pH 6.0 的磷酸盐缓冲溶液(PBS)中,分别加入 10 μL Si NPs 溶液与不同体积的 1 mmol/L 亮蓝(BB)标准溶液,充分混匀后定容至 3 mL。将混合体系于室温下静置孵育 7 min,以 335 nm 作为激发波长,在 425 nm 发射波长处测定溶液的荧光强度 F(F_0 为未添加 BB 时体系的荧光强度),并以(F_0-F)为纵坐标、BB 浓度为横坐标绘制标准曲线。

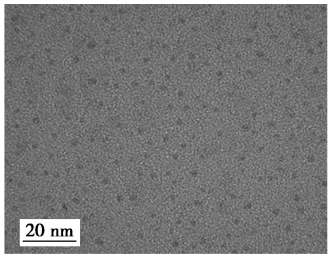
1.2.3　实际样品中 BB 含量的测定

选择某品牌运动饮料、碳酸饮料和糖果为实际样品。将饮料样品在 30℃的烧杯中水浴加热 10 min,除去二氧化碳气体,并用 0.2 μm 的滤膜过滤,得到样品提取液。称取 4.6 g 糖果溶解于 5.0 mL 50%乙醇中,在搅拌条件下水浴 60℃处理 20 min,将上述提取液冷却至室温,逐滴、缓慢地加入 2%稀盐酸溶液,调节 pH 至 4.0,然后置于离心机中 12 000 r/min 离心 15 min,收集上清液,最后将上清液用 0.2 μm 的滤膜过滤,使用 1 mol/L NaOH 溶液调节 pH 至 7.0,得到样品提取液。根据 1.2.2 方法检测该样品中亮蓝的含量。

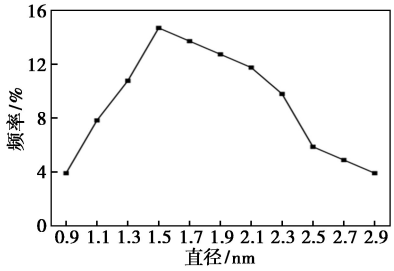
2　结果与分析

2.1　Si NPs 的表征

采用透射电子显微镜(TEM)对所制备的 Si NPs 进行形貌观察与尺寸分析。从 TEM 表征[图 1(a)]可以看出,所合成的 Si NPs 呈均匀分散的球状,具有良好的分散性。为明确颗粒尺寸,随机选取图 1(a)中约 100 个 Si NPs 进行粒径统计,结果如图 1(b)所示,该 Si NPs 的粒径分布区间为 0.9~2.9 nm,平均粒径约为 1.5 nm。



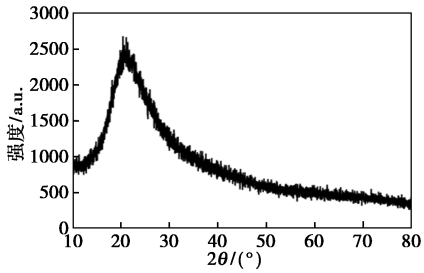
(a)Si NPs 的 TEM 图



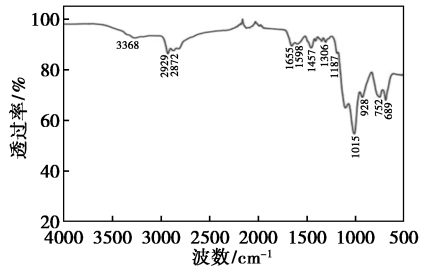
(b)Si NPs 的尺寸分布图

图 1　Si NPs 形貌和尺寸的表征

如图 2(a)可知 Si NPs 是非晶体结构。如图 2(b)所示,3 368、2 929、2 872 cm^{-1}处的吸收峰分别为 O—H 键和 C—H 键的伸缩振动,1 655 cm^{-1}处的峰为 C═O 键的伸缩振动;1 598、1 457 cm^{-1}为 C—H 键的弯曲振动;1 306、1 187 cm^{-1}处的吸收峰为 C—N 键的伸缩振动;在 1 015 cm^{-1}处的吸收峰是 Si—O—Si 键的伸缩振动;928 cm^{-1}处的吸收峰由 Si—O—H 键的伸缩振动产生;752、689 cm^{-1}处的吸收峰是 Si—C 的弯曲振动。FT-IR 结果表明,该 Si NPs 表面含有丰富的羟基和氨基,有利于增加其水溶性。



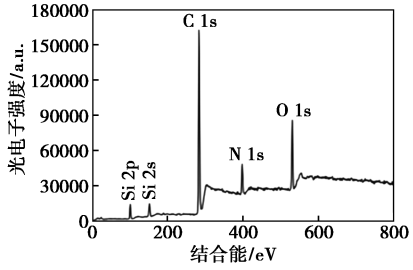
(a)XRD 图



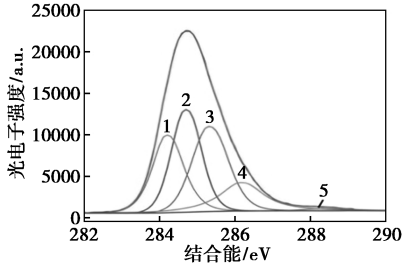
(b)FT-IR 图

图 2　Si NPs 的表征

如图 3(a)所示 XPS 全谱中位于 103、152、283、399、532 eV 处的激发峰依次对应 Si 2p、Si 2s、C 1s、N 1s、O 1s;在 C 1s[图 3(b)]谱中位于 284.2、284.7、

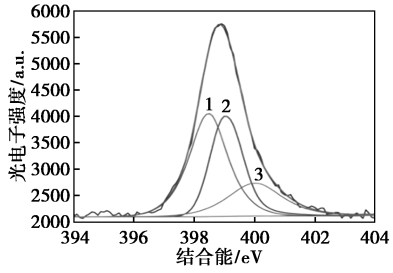


(a)全谱



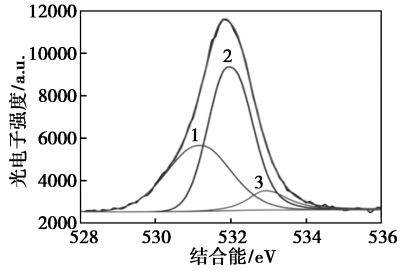
1—C—Si;2—C—C;3—C—N;4—C—O;
5—C═O

(b)C 1s 谱



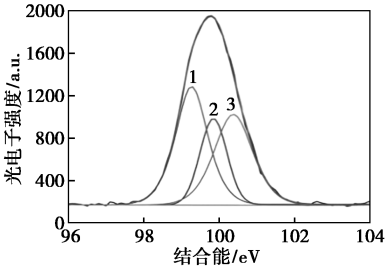
1—N—Si;2—C—N;3—C—N_3

(c)N 1s 谱



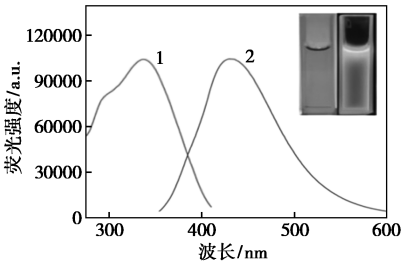
1—C═O;2—C—O;3—Si—O

(d)O 1s 谱



1—Si—N;2—Si—C;3—Si—O

(e)Si 2p 谱



1—Si NPs 的荧光激发光谱;
2—Si NPs 的荧光发射光谱

(f)Si NPs 的荧光激发和发射谱图

注:内插图为 Si NPs 溶液在日光灯下(左)和在 365 nm 紫外灯下(右)照射图。

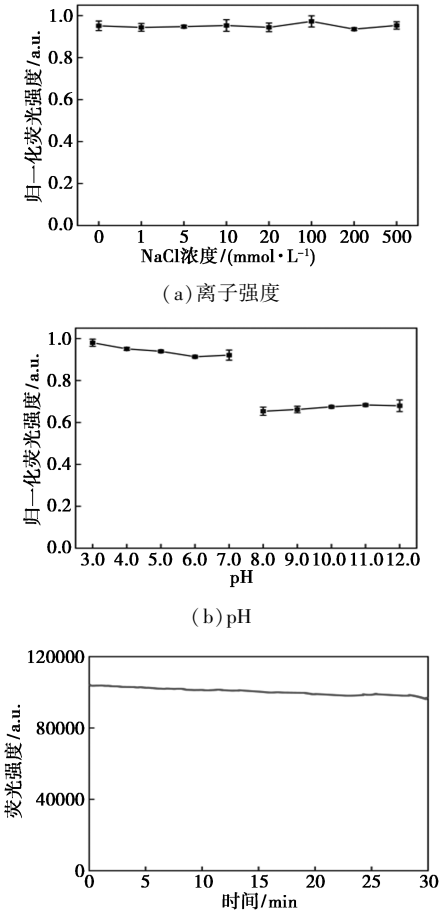
图 3　Si NPs 的 X 射线光电子能谱和荧光光谱图

285.3、286.2、288.5 eV 的拟合峰分别对应 C—Si、C—C/C═C、C—N、C—OH/C—OC、C═O;N 1s[图 3(c)]谱中位于 398.5、399、400 eV 处的拟合峰分别对应于 N—Si、C—N、N—$(C)_3$;O 1s[图 3(d)]谱中的峰分别对应 C═O(531.2 eV)、Si—O(532.9 eV)、C—O(532 eV);Si 2p[图 3(e)]谱中的峰分别对应 Si—C(99.3 eV),Si—N(99.9 eV)、Si—O(100.4 eV)。上述所得分析结论与红外吸收光谱的分析结果相吻合。

由图 3(f)可见,当激发波长设定为 335 nm 时,Si NPs 的发射波长为 425 nm;其内嵌图显示,该 Si NPs 溶液在 365 nm 紫外光照射下可发出明亮的蓝色荧光,而在日光环境下则呈现淡黄色,直观证实了其发射荧光能力,为其检测亮蓝奠定了关键基础。

2.2　Si NPs 的稳定性

为实现 Si NPs 在实际样品亮蓝(BB)含量检测中的应用,系统探究了离子强度、pH 及光照时间对 Si NPs 荧光强度的影响。由图 4(a)可知,当 NaCl 浓度在 0~500 μmol/L 范围内变化时,Si NPs 的荧光强度未发生明显波动,表明该浓度区间内离子强度对其荧光性能无显著干扰。从图 4(b)可知,当环境 pH 处于酸性(3~7)或碱性(8~12)区间时,Si NPs 的荧光强度均维持在一定强度,且该区间内荧光强度的波动幅度较小,这一现象表明,Si NPs 在酸性与碱性 2 种不同的环境中,均能保持较为优异的荧光稳定性。图 4(c)是 Si NPs 在氙灯连续照射 30 min 后的荧光强度变化,结果显示其荧光强度未出现显著衰减,表明 Si NPs 具备较强的光稳定性。综上表明 Si NPs 具有良好的盐稳定性、pH 和光稳定性,能在复杂的环境中保持正常发光。



(a)离子强度

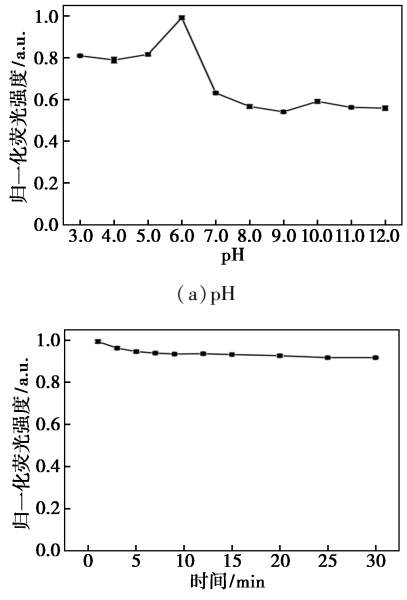
(b)pH

(c)光照时间

图 4　离子强度、pH、光照时间对 Si NPs 荧光强度的影响

2.3　检测条件优化

检测方法的灵敏度与检测条件密切相关。为了得到较高的灵敏度,对缓冲溶液的 pH 和反应时间进行优化。从图 5(a)中可以看到 F_0-F(F_0 是没有加亮蓝时的荧光强度,F 是加了亮蓝后的荧光强度),在 pH 3~6 时随着 pH 的增大而增强,当 pH 为 6 时达到峰值;在 pH 6~12 时 F_0-F 随着 pH 的增大而下降,并逐渐稳定。从图 5(b)中能够得出,在 pH 为 6 的条件下,向 Si NPs 溶液中加入 BB,7 min 后猝灭程度达到最大,并随着时间的延长荧光猝灭程度并没有发生明显的变化。因此选择 pH 为 6,反应 7 min 为最佳的检测条件。



(a)pH

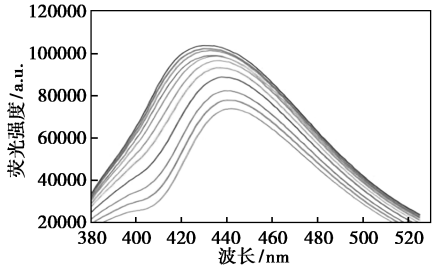
(b)反应时间

图 5　pH、时间对检测 BB 的影响

2.4　方法性分析

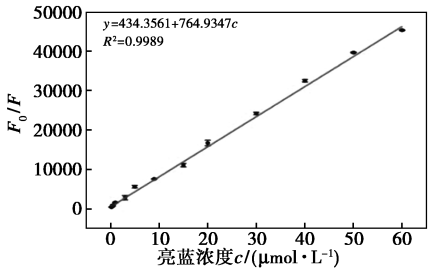
在最佳的检测条件下,考察不同浓度的 BB 对 Si NPs 荧光强度的响应。从图 6(a)中可知,Si NPs 在 425 nm 处的荧光强度因亮蓝的加入而不断降低。

基于该现象,成功建立荧光检测 BB 的方法。如图 6(b)所示,BB 在 0.2~60 μmol/L 范围内时,F_0-F 与 BB 的浓度呈现出良好的线性相关性($R^2=0.998\ 9$),拟合方程 $y=434.356\ 1+764.934\ 7c$(μmol/L),最低检测限(LOD)为 0.119 μmol/L,此检测限远远低于我国《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760—2024)在饮料中的最大允许添加量 0.025 g/kg,糖果类食品的最大允许添加量 0.3 g/kg。与其他已报道的方法相比(表 1),该检测方法有着较低的检出限。



从上至下:0、1、3、5、9、15、20、30、40、50、60 μmol/L

(a)Si NPs 溶液在加入不同浓度 BB 后的荧光发射光谱图



(b)F_0-F 和 BB 浓度的线性关系相关图

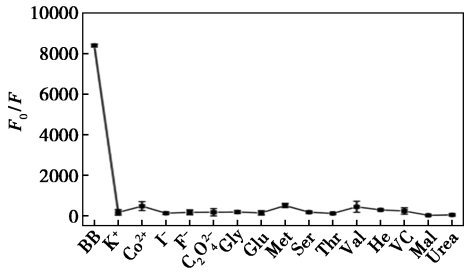
图 6　Si NPs 检测 BB 的线性范围与线性关系

表 1　不同 BB 检测方法的比较

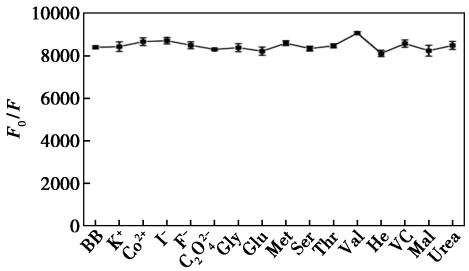
检测方法	线性范围/(μmol·L^{-1})	检测限/(μmol·L^{-1})
Fe_3O_4@Au 核壳纳米颗粒[12]	0.6~126	0.631
GO-AgNPs/CMC 复合薄膜[13]	0.001~25	0.321
N-GQDs 探针[14]	6~183	3.776
电泳法[15]	—	0.441
本方法	0.2~60	0.119

2.5　干扰性和选择性分析

在实际样品中除 BB 以外还存在许多其他物质,实验考察了常见的物质 K^+、Co^{2+}、I^-、F^-、草酸钠($C_2O_4^{2-}$)、甘氨酸(Gly)、谷氨酸(Glu)、甲硫氨酸(Met)、丝氨酸(Ser)、苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、VC、麦芽糖(Mal)、尿素(Urea)对检测 BB 的影响。在实验过程中,测定亮蓝(BB)时其浓度为 10 μmol/L,干扰物质的测试浓度为 200 μmol/L。即便干扰物质浓度达到 BB 浓度的 20 倍,这些干扰物质对 Si NPs 的荧光强度基本无显著影响,仅 BB 可显著猝灭 Si NPs 的荧光强度,结果如图 7(a)所示;当 20 倍浓度的干扰物质与 BB 共存时,对 BB 的检测过程未产生明显干扰,结果见图 7(b)。这一结果证实,该检测方法对 BB 的检测具有优异的选择性及抗干扰性。



(a)选择性



(b)干扰性

图 7　Si NPs 选择性和抗干扰性测试

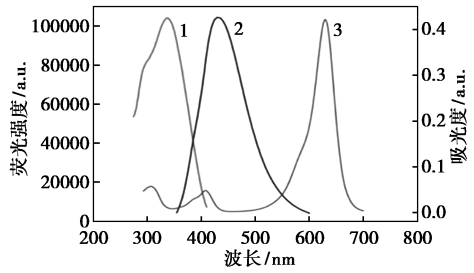
2.6　Si NPs 检测机理分析

本研究对该方法检测亮蓝(BB)时的荧光猝灭机理进行了探究。图 8(a)可知,BB 的紫外(UV)吸收峰与 Si NPs 的激发光谱、发射光谱存在小范围的光谱重叠;这一现象表明,检测体系中可能存在内过滤效应(IFE)或荧光共振能量转移(FRET)。从图 8(b)可以看到,Si NPs 的荧光寿命在加入 BB 前后几乎没有发生变化,表明存在一定的 IFE 效应,不存在 FRET。从图 8(c)中可以看到 Si NPs 溶液与 BB 混合后,没有出现新的 UV 吸收峰,表明 Si NPs 和 BB 之间没有生成新的化合物质。但 Si NPs 和 BB 单独光谱的理论加和光谱与两者混合溶液的实验 UV-Vis 光谱存在差异,表明两者之间存在相互的作用力。采用 Stern-Volmer 公式(1)对荧光猝灭机理进行验证。

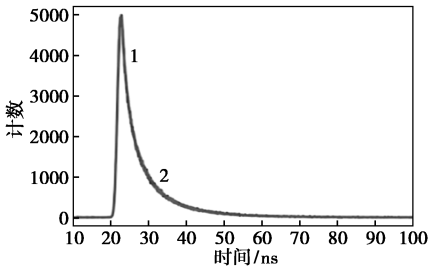
$$F_0/F = 1 + K_{SV}[Q] \quad (1)$$

式中,F_0 与 F 分别为 Si NPs 溶液中未添加 BB 和添加 BB 后的荧光强度;K_{SV}为 Stern-Volmer 常数;$[Q]$为 BB 的浓度。

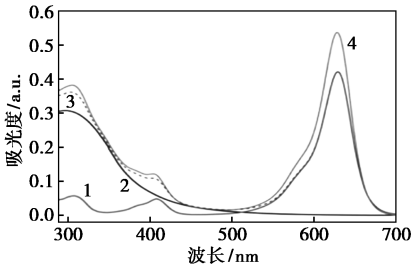
结果如图 8(d)所示,Si NPs 的荧光猝灭效率(F_0/F)与 BB 浓度之间呈现良好的线性相关性,表明该体系的猝灭机理可能与动态猝灭效应(DQE)或静态猝灭效应(SQE)有关。本研究进一步考察了



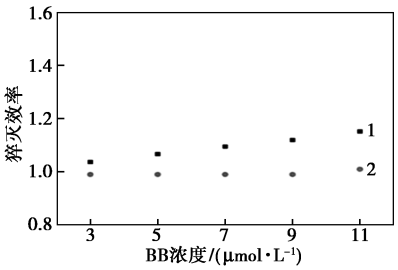
1—Si NPs 溶液的荧光激发光谱;
2—Si NPs 溶液的荧光发射光谱;3—BB 的 UV-Vis 光谱
(a)Si NPs 溶液的荧光光谱和 BB 的 UV-Vis 光谱



1—Si NPs 溶液的时间分辨衰减曲线;
2—Si NPs 和 BB 混合溶液的时间分辨衰减曲线
(b)Si NPs 溶液中加入和不加 BB(10 μmol/L)的
时间分辨衰减曲线



1—BB 溶液的 UV-Vis 光谱;2—Si NPs 溶液的 UV-Vis 光谱;
3—Si NPs 和 BB 混合溶液的理论 UV-Vis 光谱;
4—Si NPs 和 BB 混合溶液的实验 UV-Vis 光谱
(c)Si NPs、BB、Si NPs 和 BB 混合溶液的实验和
理论 UV-Vis 光谱



1—F_0/F;2—τ_0/τ
(d)Si NPs 的荧光猝灭效率、寿命猝灭效率和 BB 浓度间的关系

图 8　Si NPs 对 BB 的检测机理的研究

Si NPs 的寿命猝灭效率(τ_0/τ)与 BB 浓度的关联,其中 τ_0 为 Si NPs 溶液未添加 BB 时的荧光寿命,τ 为添加 BB 后的荧光寿命。已有研究表明,F_0/F 与 τ_0/τ 相等时,猝灭类型为 DQE[16];F_0/F 与 τ_0/τ 不相等时,则为 SQE[17]。由图 8(d)可知,向 Si NPs 溶液中加入不同浓度的 BB 后,荧光寿命基本保持恒定,表明 F_0/F 与 τ_0/τ 不相等,故猝灭机理为静态猝灭。综合上述分析,Si NPs 对 BB 的灵敏响应是内过滤效应(IFE)与静态猝灭效应(SQE)协同作用的结果。

2.7　实际样品中 BB 的检测

为考察该方法在实际中的可行性,选择含有亮蓝的运动饮料、碳酸饮料以及糖果作为实际样品进行含量测定,并进一步进行加标回收实验。相关结果如表 2 所示,成功在实际样品中测定亮蓝的含量,加标回收的相对标准偏差(*RSD*)均低于 3%,加标回收率处于 95.8%~109.6%区间内。综合上述各项实验数据可得出,该检测方法具备良好的实际应用可行性。

表 2　实际样品中 BB 含量的测定

样品名称	提取液中检测到的浓度/(μmol·L⁻¹)	加标量/(μmol·L⁻¹)	加标后检测到的浓度/(μmol·L⁻¹)	回收率/%	*RSD*/%
运动饮料	1.44	5	6.92	109.6	1.04
		7	8.43	99.9	0.21
		9	10.57	101.4	0.76
		20	20.60	95.8	1.24
碳酸饮料	0.30	5	5.21	98.2	0.71
		7	7.29	99.9	0.99
		9	9.34	100.4	2.22
		20	20.64	101.7	0.96
糖果	0.40	5	5.45	101.0	0.52
		7	7.31	98.7	2.56
		9	9.20	97.8	1.65
		20	20.73	101.7	0.96

3　结论

以 DAMO 和盐酸氨基葡萄糖为反应原料制备 Si NPs。该方法操作简单,制备成本较低。所得的 Si NPs 具有良好的盐稳定性、pH 稳定性以及光稳定性。并对 Si NPs 的结构成分进行表征,结果显示 Si NPs 具有良好的水分散性和形貌均一性。基于 BB

对 Si NPs 的荧光猝灭效应,构建了一种高灵敏、高选择性的 BB 荧光检测新方法。在优化后的最佳检测条件下,该方法展现出较宽的线性检测范围(0.2~60 μmol/L),且检出限低至 0.119 μmol/L。机理分析表明,BB 对 Si NPs 的荧光猝灭类型为静态猝灭(SQE)和内过滤效应(IFE)的协同作用;同时,该方法对 BB 检测具有优异的选择性与抗干扰能力。实际样品加标回收实验结果显示,回收率处于 95.8%~109.6%,相对标准偏差(*RSD*)均小于 3%,表明其具备良好的稳定性与较高的检测准确性。综上,本实验制备的 Si NPs 荧光探针,为食品中 BB 的快速、灵敏、低成本检测提供了切实可行的新方案,在食品安全监控领域具有良好的应用前景。

参考文献

[1] 辛成洁,刘海舰,李贞相,等.基于内滤效应的铜纳米团簇灵敏检测亮蓝色素的研究[J].化学研究与应用,2022,34(11):2647-2652.

[2] 李贞相,刘海舰,陈梓怡,等.基于金纳米团簇和碳点杂化的双发射比率荧光探针快速检测亮蓝[J].化学研究与应用,2021,33(10):1943-1948.

[3] Amchova P,Kotolova H,Ruda-Kucerova J.Health safety issues of synthetic food colorants[J].Regulatory Toxicology and Pharmacology,2015,73(3):914-922.

[4] EFSA Panel on Food Additives and Flavourings (FAF).Scientific opinion on the re-evaluation of Brilliant Blue FCF (E133) as a food additive[J].EFSA Journal,2010,8(11):1853.

[5] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品添加剂使用标准:GB 2760—2024[S].北京:中国标准出版社,2024.

[6] 刘彦红,普春艳.高效液相色谱法测定饮料中 11 种着色剂含量[J].广州化工,2025,54(18):121-123.

[7] 金慧慧.高效液相色谱测定饮料中亮蓝合成着色剂条件的优化[J].食品工业,2022,43(8):87-89.

[8] George A,Bharath M,Ghosh M,*et al*.Single-monomer dual templated MIP based electrochemical sensor for tartrazine and brilliant blue FCF[J].Electrochimica Acta,2024,475:143682.

[9] 张超,张留,吉杨萱,等.离子液体修饰膨胀石墨糊电极对亮蓝的电化学检测[J].常州大学学报:自然科学版,2016,28(5):34-39.

[10] Olgun M,Özak S S,Dalmaz A.Spectrophotometric determination for green hydrophobic deep eutectic solvent-based microextraction of Brilliant Blue FCF (E133) from beverages[J].Journal of Chromatography A,2024,1736:465374.

[11] Heidarizadi E,Tabaraki R.Simultaneous spectrophotometric determination of synthetic dyes in food samples after cloud point extraction using multiple response optimizations[J].Talanta,2016,148:237-246.

[12] Xie Y,Chen T,Guo Y,*et al*.Rapid SERS detection of acid orange Ⅱ and brilliant blue in food by using Fe_3O_4@ Au Core-Shell Substrate[J].Food Chemistry,2019,270:173-180.

[13] Amalan A J,Devi S G,Pius A.Nanoscale GO-AgNPs/CMC films for food safety monitoring:Dual-mode optical sensors for brilliant blue detection[J].ACS Applied Nano Materials,2025,8(40):19384-19399.

[14] Jin L,Wang Y,Yan F,*et al*.The synthesis and application of nitrogen-doped graphene quantum dots on brilliant blue detection[J].Journal of Nanomaterials,2019,(1):1471728.

[15] Wu Z Y,Zhang F,Kuang Z,*et al*.Fast and sensitive colorimetric detection of pigments from beverages by gradient zone electrophoresis on a paper based analytical device[J].Microchemical Journal,2022,179:107499.

[16] Soares S,Mateus N,de Freitas V.Interaction of different polyphenols with bovine serum albumin (BSA) and human salivary α-amylase (HSA) by fluorescence quenching[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2007,55(16):6726-6735.

[17] Arkin M R,Stemp E D A,Turro C,*et al*.Luminescence quenching in supramolecular systems:A comparison of DNA- and SDS micelle-mediated photoinduced electron transfer between metal complexes[J].Journal of the American Chemical Society,1996,118(9):2267-2274.■

陶氏公司拟出售与沙特阿美共建石化资产

据悉,陶氏公司正考虑出售其在与沙特阿美合资的萨达拉化学公司(Sadara Chemical)中的 35%股权,以调整业务组合。沙特阿美目前持有其余 65%股权,可能收购陶氏所持股份,其他战略或财务投资者也可能参与竞购。目前尚未作出最终决定。萨达拉化学公司于 2011 年成立,总投资超过 200 亿美元,拥有 26 个生产单元,年产化学品和塑料超过 300 万 t。报道指出,目前尚未做出最终决定。

(彭博社)