

نانوذرات طلا مبتنی بر شناسایی رنگ یون جیوه از طریق هماهنگی در علم

شیمی

چکیده

شناسایی ساده، سریع، و راحت رنگ Hg_2 + در رسانه های آبی میتنی بر قابلیت اتصال گزینشی از تغییر شیمیایی تیمین (NT) به سمت Hg_2 + ارائه شده است. NT محلول AuNPs را که در رنگ قرمز ثابت مانده را تزیین نموده، این در حالی است که حضور Hg_2 + باعث تجمع قابل توجهی از AuNPs با تغییرات رنگ قرمز به آبی می شود. بنابراین، محتوای Hg_2 + در نمونه های واقعی آب را می توان از لحاظ کیفی و با چشم غیر مسلح مشاهده کرد، در همین حال، رابطه مناسب خطی از Hg_2 + همراه با نانومتر A650 و 520 نانومتر وجود دارد که می تواند برای تعیین کمی ایجاد شود. علاوه بر این، سیستم ما گزینش برجسته ای را برای یونهای جیوه در مقابل هر یون فلزی دیگری که آزمایش شده نشان می دهد و آنیونها و حساسیت آن را با LOD از 0.8 نانومتر در نمونه های واقعی آب را برآورد می سازد.

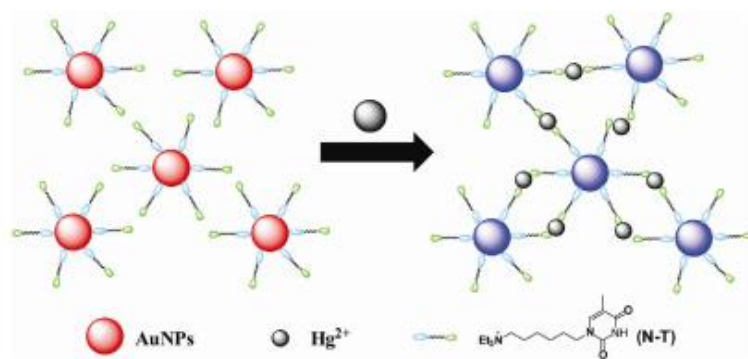
کلید واژه ها: آزمایش رنگ سنجی - نانوذرات طلا - هماهنگی در علم شیمی - تیمین اشتقاق یافته - یون جیوه

1. معرفی

جیوه یکی از سودمند ترین عناصر فلزی در نگارگری ها، معدن، آفت کش ها، کارخانه مهمات و غیره محسوب می گردد، که در عین حال به آلودگی گسترده جیوه منجر شود. افزایش نگرانی ها در مورد قرار گرفتن در معرض خطر جیوه و اثرات مضر آن بر بهداشت عمومی و ایمنی محیط زیست در حال توسعه یافتن است که این عمل

سریع، خاص، کم هزینه، و کارآمد و همچنین همراه با تاکتیک های تشخیص یون جیوه است. در مقایسه با روش های مبتنی بر ابزار پیچیده، نانوذرات طلا (AuNPs) مبتنی بر آزمایش رنگ سنجی ای است که افزایش قابل توجهی را در جذب مواد، رزونانس پلاسمون سطحی موزون (SPRS) را به همراه دارد، که آن را یکی از استراتژی های مناسب برای کاربردهای عملی می پندارد. بنابراین، با تحریکات خارجی قابل تعدیل، آزمایش مبتنی بر AuNPs-در این پژوهش از پروتئین، آنزیم، DNA، مولکولهای زیستی و یونها استفاده می کند، و نشان دهنده حساسیت بسیار عالی، دقت بالا، و تغییرات سریع رنگ را به همراه دارد. اخیراً، dsDNA (با تیمین-تیمین نابرابر) و ssDNA (با مقدار زیادی از تیمین) طراحی شده است و سنتز برای شناسایی رنگ سنجی از Hg^{2+} را بر اساس توانایی های خاص اتصال تیمین به Hg^{2+} ، در نظر گرفته است. سپس، برای جلوگیری از سنتز DNA و کنترل دقیق آن (مانند دمای ذوب dsDNA)، مولکول های کاربردی براساس هماهنگی در علم شیمی و واکنش ردوکس خفیف ارائه شده است. با این وجود، برخی از سیستم ها، مانند برخی از سیستم های اسید AuNPs، از دخالت یونهای فلزی دیگر (مانند Pb^{2+} و CD^{2+}) بهره می برند. بنابراین، چالش اصلی توسعه یک سیستم گزینشی، حساس، و پایدار است که می توانند از این عواقب اجتناب کنند.

در این زمینه، با انگیزه های بالا، تلاش زیادی در ارائه سیستم سریع، حساس و پایدار AuNPs برای Hg^{2+} شده است. تیمین به یکی از بهترین لیگاندها برای انتخاب گزینشی Hg^{2+} تبدیل شده، هر چند حلالیت ضعیف آن در رسانه های آبی خنثی می تواند تاثیر گذارد. در این کار، بدین وسیله گروه آب دوست به عملکرد بهتر تیمین برای شناسایی Hg^{2+} در نمونه های آبی معرفی می گردد. بعنوان یک مفهوم اثباتی، ما تیمین اشتقاق یافته را با نمک آمونیوم چهارتایی ترکیب نمودیم، که نه تنها به افزایش حلالیت آب، بلکه به عنوان یک اثر الکترواستاتیک عمل می کند (N_T ، همانطور که در طرح 1 نشان داده شده است). طرح 1 نشان می دهد که اصل کار از سیستم رنگ سنجی است.



طرح 1. تصویر شماتیک از NT / AuNPs مبتنی بر شناسایی رنگ Hg²⁺

2. تجربی / آزمایشی

2.1. مواد شیمیایی

ترکیب شیمیایی کلرید طلا دارای سه ملکول اب (99.9%+) است که از سیگما آلدریچ خریداری شده است. محلول آنیونها و یونهای فلزی از نمک طعام، CaCl_2 ، CdCl_2 ، ZnCl_2 ، $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ، BaCl_2 ، $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، PbCl_2 ، NiCl_2 ، CrCl_3 ، MnSO_4 ، KBr ، AgNO_3 ، HgCl_2 ، FeCl_3 ، Na_2SO_4 ، NaSCN ، $\text{NaClO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، KI ، NaOAc ، KBr در محلول KCl ، $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ، NaNO_3 ، NaNO_2 ، Na_3PO_4 ، $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ و Na_2CO_3 ، به طور جداگانه در هر یون فلزی در آب مقطر تشکیل شده است. تمام مواد شیمیایی در شناساگرها و شناساگرهای شیمیایی عرضه شده اند.

2.2. ابزار

طیف H NMR در یک طیف سنج واریان INOVA-400 با تغییرات شیمیایی (گاما) ثبت شده است همانگونه که (در ppm بعنوان CDCl_3 ، TMS به عنوان استاندارد داخلی) گزارش شده است. اطلاعات طیف سنج جرمی با طیف سنج جرمی HP1100LC / MSD و Q-TOF MS / LC به دست آمد. AuNPs توسط میکروسکوپ الکترونی (TEM، T20) در 200 کیلو ولت مشخص می شود. طیف جذبی در 35 UV / VIS از دستگاه اسپکتروفتومتر (دستگاه Perkin المر) اندازه گیری شده است. تمام اندازه گیریها (pH) با مدل PHS-3C متر ایجاد شده است.

2.3. روش های مصنوعی

سنتز N_T به دنبال مسیر کلی است، همانطور که در شکل S1 نشان داده شده است.

سنتز 1: پتاسیم کربنات (3.03 گرم، 3.00 میلی مول) به تعلیق تیمین (0.93 گرم، 1.00 میلی مول) در خشک DMF (20 میلی لیتر) اضافه شد، و در 40 درجه سانتیگراد به مدت 1 ساعت حرارت داده شد. پس از ترکیب و آمیزش به دمای سرد اتاق رسید، و سرانجام مخلوط اضافه شده به دست آمد و در 40 درجه سانتیگراد به مدت 3 ساعت حرارت داده شد که در نتیجه تبخیر شد. نفت خام با 150 میلی لیتر CH_2Cl_2 تولید و تحت درمان قرار گرفت. محلول صاف شده توسط ژل سیلیکا کروماتوگرافی (EtOAc / هگزان) خالص شد.

سنتز N_T: 156 میلی گرم و 0.57 میلی مول و بخشهایی از DMF خشک به درون بطری آزمایشگاه اضافه شد. حمام یخ پس از آن حذف، و محلول در 80 °C به مدت 2 ساعت به هم زده شد که در نتیجه تبخیر شد. نفت خام با کروماتوگرافی آلومینا (CH_2Cl_2 / CH_3OH) خالص شد و با 85 میلی گرم NT، و دیگر عناصر یافت شد.

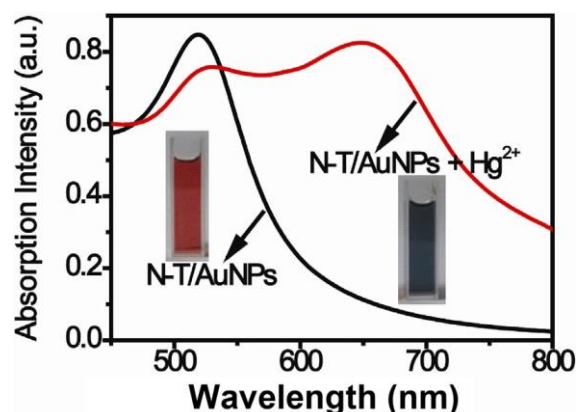
2.4. ساخت N-T / سیستم AuNPs

محلول AuNPs قبل از تغییر شکل جزیی سانتریفوژ شد. به منظور ثبات سیستم AuNPs، توئین 20 عامل تثبیت کننده را که می توانند AuNPs را از تجمع ناشی بیرون آورند را معرفی و محرک را در محیط زیست مورد آزمون قرار داد.

و سپس N_T کمی به توئین 20 اضافه شد و محلول AuNPs را برای ساده سازی ساخت سیستم NT / AuNPs در نظر گرفت. وقتی که M NT اضافه شد، ارزش نانومتر 520 / 650 A به حدود 1.1 رسید که بهترین بازده را برای سنجش یون جیوه (شکل S3) به نمایش می گذارد. پس از 10 دقیقه تکوین، محلولهای NT / AuNPs برای آزمایش آماده شدند. پتانسیل زتا از عامل 25.8-18.0 ولت ایجاد و قبل و بعد از محرک عاملدار NT مثبت بر روی سطح طلا برجسته شد، که سطح تغییرات بر اصلاح NT را تایید می نمود.

2.5. درمان قبلی از نمونه های واقعی آب

هر دو عامل آب (جمع آوری شده از آزمایشگاه) و آب آشامیدنی طبیعی برای تشخیص عمل Hg^{2+} + انتخاب شدند. محلولهای استاندارد مختلف، با غلظت Hg^{2+} (50-250 نانومولار) از محلول غلیظ با 0.5 + Hg^{2+} میلی (متر) آماده شدند و به نمونه های آب افزوده شدند. مقدار pH از این محلول به 7.0 رسید.



شکل 1. جذب طیف و محلول رنگی NT / AuNPs در حضور و یا عدم حضور جیوه

3. نتایج و مباحثات

3.1. شناسایی Hg^{2+} توسط N_T / AuNPs و گزینش.

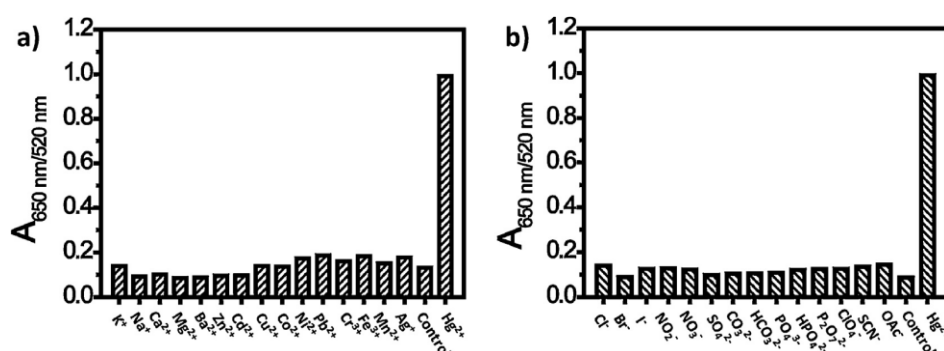
N_T محلول AuNPs 5.4 نانومولار اصلاح شده، در رنگ قرمز با یک گروه SPR در 520 نانومتر همراه بود، در حالی که در حدود 650 نانومتر همراه با تغییرات رنگ قرمز به آبی پس از تغییر حالت به Hg^{2+} به نظر می رسید که به سیستم اضافه شد. این را می توان به اتصال تیمین با Hg^{2+} نسبت داد، و در نتیجه تجمع AuNPs، را می توان توسط UV و تغییرات طیف سنجی از NT / Hg^{2+} در مقایسه با NT و Hg^{2+} ثابت نمود.

سپس، ما پاسخ های گزینشی از Hg^{2+} را با اضافه کردن یونهای فلزی مختلف و آنیونها را به محلول NT / AuNPs در نظر می گیریم و بر هر دو طیف UV-Vis و تغییرات رنگ در دمای اتاق نظارت می نماییم. همانطور که در شکل A2 نشان داده شده است، در میان تمام یونهای فلزی (Na + و K + ، CA₂ + ، MG₂ + ، نقره + ، Zn₂ + ، PB₂ + ، Cu₂ + ، Co₂ + ، Ni₂ + ، MN₂ + ، Fe₃ + ، Cr₃ + ، CD₂ + و Hg₂ +)، تنها Hg^{2+}

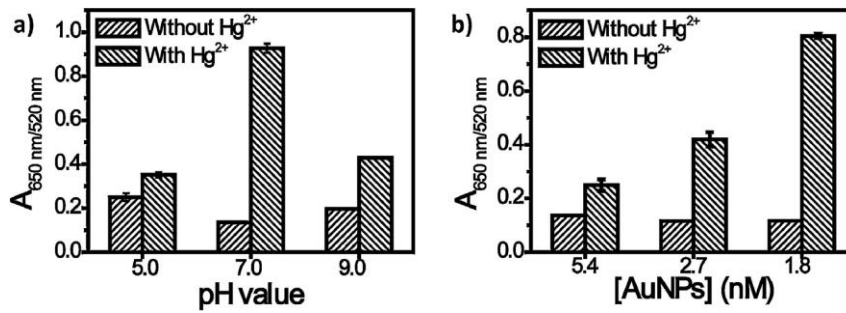
منجر به redto- آبی روشن شده و افزایش ارزش از A650 نانومتر به 520 نانومتر را منجر گردیده است. علاوه بر این، ما به بررسی پاسخ سیستم NT / AuNPs در حضور آنیونهای مختلف (کلر، -Br، -I، -ClO₄، -OAc، -SCN، -SO₄²⁻، -NO₃، -NO₂، -HCO₃، -HPO₄²⁻، -CO₃²⁻، -P₂O₇²⁻ و -PO₄³⁻) می پردازیم. هیچ یک از این آنیون نمی توانند بطور آشکار در AuNPs نمایان گردند و همچنین تغییر رنگ دهند. این نتایج قابلیت متمایز از Hg²⁺ و تجمع NT / AuNPs را حتی در محیط پیچیده یون ایجاد می کند.

3.2. شرایط بهینه آزمایش

عمدتاً، مقدار pH یکی از مهم ترین عواملی است که تحت تاثیر سیستم AuNPs است. بنابراین، مقادیر pH مختلف را می توان در محلول AuNPs مورد مطالعه قرار داد که ثابت نگه داشتن عوامل دیگر (مانند غلظت Hg²⁺ و AuNPs) را در پی خواهد داشت. همانطور که در شکل A3 نشان داده شده است، ارزش A650 نانومتر / 520 نانومتر می تواند به حدود 0.9 در رسانه های بی طرف (با pH 7.0) برسد، که بسیار بزرگتر از 0.38 و 0.41 در محلول اسیدی (با pH 5.0) و قلیایی (با pH 9.0) است. در رسانه های قلیایی، هیدرولیز Hg²⁺ به راحتی انجام می گیرد، در حالی که در شرایط اسیدی سیستم ناپایدار می شود، که در آن ارزش A650 نانومتر به 520 نانومتر می رسد، که بسیار بزرگتر از 0.14 در رسانه های بی طرف (شکل a3) است. بنابراین، سیستم NT / AuNPs در PH 7.0 مطلوب و مورد استفاده در آزمایشات زیر بود.

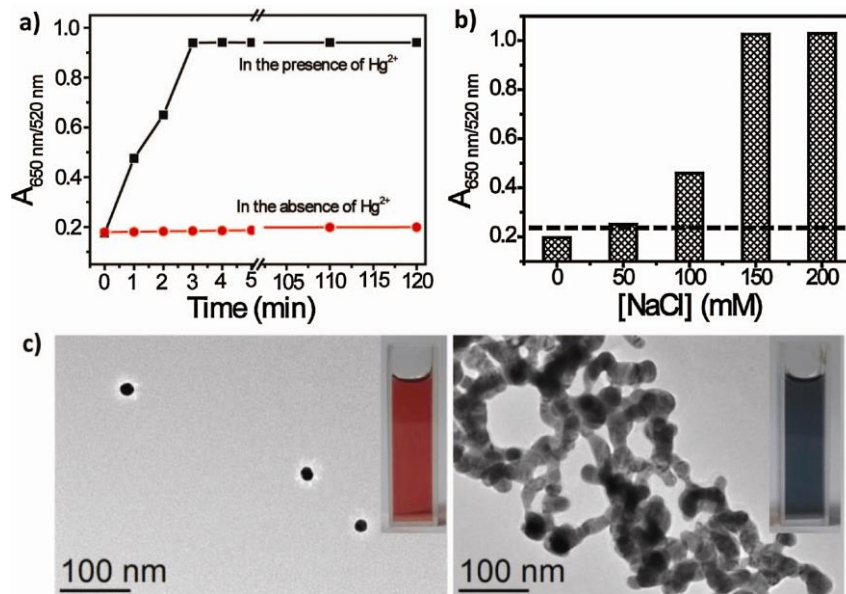


شکل 2. آزمایش انتخابی از NT و سیستم AuNPs به سمت یون های مختلف فلزی (الف) (غلظت جیوه در 3 میکرومتر، Cr³⁺ برابر 20 میکرومتر، + K، + Na، + MG²⁺، + Ca²⁺ در 500 M، و بقیه برابر 50 میکرومتر است و آنیون (ب) (غلظت جیوه برابر 3 میکرومتر و بقیه برابر 50 میکرومتر است.



شکل 3. (الف) اثر مقادیر مختلف pH و (ب) غلظت AuNPs نسبت جذب NT / AuNPs در حضور و عدم

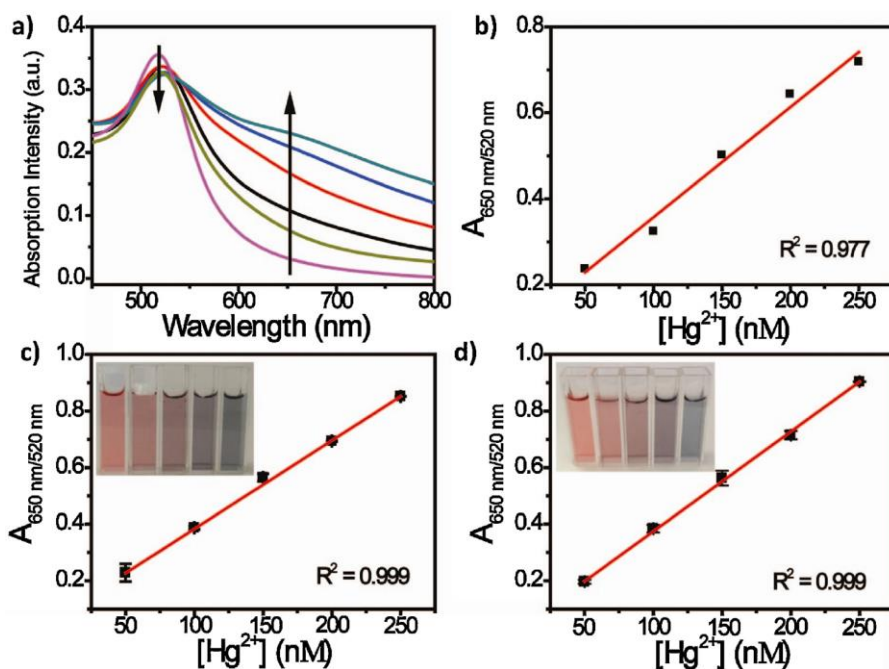
حضور Hg^{2+}



شکل 4. نمونه رقیق شده برای نشان دادن افزایش ارزش نانومتر 520 / A650 (0.42 و 0.79 بود) در

نظر گرفته شده، که به دلیل غلظت نسبی Hg^{2+} در مقایسه با محلول اصلی AuNPs (ارزش 520 / A650

نانومتر است. بنابراین، 1.8 NM AuNPs، با pH برابر 7.0) در آزمایشات زیر مورد استفاده قرار خواهد گرفت.



شکل 5. (الف) جذب طیف های (1.5 M NT) AuNPs اصلاح شده در حضور و عدم حضور غلظت های مختلف ، 50 ، 100 ، 150 ، 200 ، و 250 نانومتر در جیوه. (ب) رابطه خطی غلظت Hg^{2+} (50-250 نانومولار) با A_{650} / نانومتر 520 و متناظر با تغییر رنگ در آب (ج) و آب آشامیدنی طبیعی (د) بیش از غلظت Hg^{2+} که برابر با 50-250 نانومتر است.

جدول 1: مشخصات کلیدی و اصلی AUNP مبتنی بر نمونه ها برای شناسایی رنگ سنجی جیوه

Table 1
Key characteristics of AuNP-based probes for colorimetric detection of Hg^{2+} .

Probe	LOD (nM)	Selectivity	Respond time (min)	Real sample	Ref.
Melamine-AuNPs by Chen et al.	50	Hg^{2+}	1	Lake water	[24]
Urine-AuNPs by Chen et al.	50	Hg^{2+}	2	Tap/lake water	[26]
DTET-AuNPs by Kim et al.	100	Hg^{2+} ^a	<10	-	[38]
MPA/AMP-AuNPs by Yu and Tseng et al.	500	Hg^{2+}	30	-	[39]
4-MB/AuNPs by Huang et al.	500	Hg^{2+}	30	River water	[40]
MTA-AuNPs by Wang and Jiang et al.	30	Hg^{2+}	-	-	[41]
Cysteine-AuNPs by Zhao, He, Zhang et al.	25	Hg^{2+} ^a	-	Drinking water	[42]
Tween 20-AuNPs by Tseng et al.	100	Hg^{2+}/Ag^+	5	Drinking/sea water	[43]
AA-AuNPs by Chen et al.	5	Hg^{2+}/Ag^+	3	Drinking/tap water	[44]
TA-AuNPs by Chai, Wang, and Qu et al.	10	Hg^{2+}	1	Lake water	[45]
Pyridine-AuNPs by Tian et al.	55	Hg^{2+}	10	Tap water	[46]
DPY-AuNPs by Zhong et al.	15	Hg^{2+}	30	Tap/Spring water	[47]
CA-AuNPs by Tian et al.	30	Hg^{2+} /melamine	10	Tap water	[48]
Tris/NTA-AuNPs by Chen and Gao et al.	7	Hg^{2+}	60	Lake water	[49]
1-Penicillamine/AuNPs by Huang et al.	25	Hg^{2+}	2	Tap water	[50]
Thymine-AuNPs by Chen et al.	2	Hg^{2+}	30	Tap water	[52]
Thymine-SH AuNPs by Chen et al.	2.8	Hg^{2+}	5	Tap water	[54]
N-T/AuNPs in this work	0.8	Hg^{2+}	1	Tap/drinking water	

^a Using PDCA or EDTA as masking agents.

3.3. حساسیت و تجزیه و تحلیل Hg^{2+} در نمونه های واقعی

به منظور بررسی حساسیت روش، غلظت های مختلف Hg^{2+} + آزمون قرار گرفتند. عملکرد کمی به سمت Hg^{2+} + توسط تیتراژ Hg^{2+} + در محلول NT / AuNPs به دست آمد. با افزایش مقدار Hg^{2+} + به تدریج، شدت جذب

در 520 نانومتر با برخی-انتقال به قرمز کمی کاهش یافته است، و به طور همزمان به شدت در 650 نانومتر طور چشمگیری افزایش یافته تا به اوج هیئت مدیره به نظر می رسد (شکل A5). در محدوده 250-50 نانومتر، نانومتر نسبت شدت 520 / 650 A نانومتر از محلول NT / AuNPs افزایش متناسب، که پیشنهاد رابطه خطی خوب با غلظت Hg_2 + در محدوده 250-50 نانومتر (شکل B5). بسته به حساسیت بسیار عالی آن، ما سعی در تشخیص Hg_2 + در نمونه های آب واقعی در کار زیر است.

از همه مهمتر، سیستم رنگ ما می تواند کاربرد بالقوه در تشخیص Hg_2 + نه تنها در آب DI بلکه در نمونه های آب واقعی پیدا کنید.

4. نتیجه گیری

به طور خلاصه، ما یک سیستم NT / AuNPs و کاربرد عملی آن را به عنوان یک کاوشگر رنگ سنج برای شناسایی Hg_2+ را بر اساس هماهنگی که در علم شیمی است را ایجاد نمودیم. علاوه بر تشخیص کیفی یون جیوه تغییرات رنگ و همچنین نوار جریان جانبی با چشم غیر مسلح [59-61]، تعیین کمی و نقشه برداری فضایی از یون جیوه نیز با تلفن های هوشمند قابل اجرا است، که می تواند در ردیابی، و نظارت بر آلودگی جیوه برآورد گردد. با توسعه علم و فن آوری، شناسایی ساده، سریع، و راحت رنگ Hg_2 + در رسانه های آبی میتنی بر قابلیت اتصال گزینشی از تغییر شیمیایی تیمین (NT) به سمت Hg_2 + ارائه شده است.

References

- [1] E. Guallar, M.I. Sanz-Gallardo, P. van't Veer, P. Bode, A. Aro, J. Gomez-Aracena, J.D. Kark, R.A. Riemersma, J.M. Martin-Moreno, F.J. Kok, N. Engl. J. Med. 347 (2002) 1747–1754.
- [2] A.S. Cabecinhas, S.C. Novais, S.C. Santos, A.C. Rodrigues, J.L. Pestana, A.M. Soares, M.F. Lemos, Chemosphere 119 (2014) 490–497.
- [3] T.W. Clarkson, L. Magos, G.J. Myers, N. Engl. J. Med. 349 (2003) 1731–1737. [4] P.B. Tchounwou, W.K. Ayensu, N. Ninashvili, D. Sutton, Environ. Toxicol. 18 (2003) 149–175.
- [5] J.J. Du, L. Jiang, Q. Shao, X.G. Liu, R.S. Marks, J. Ma, X.D. Chen, Small 9 (2013) 1467–1481.
- [6] D.B. Liu, Z. Wang, X.Y. Jiang, Nanoscale 3 (2011) 1421–1433.
- [7] Y.W. Lin, C.C. Huang, H.T. Chang, Analyst 136 (2011) 863–871.
- [8] M.R. Knecht, M. Sethi, Anal. Bioanal. Chem. 394 (2009) 33–46.
- [9] Y.J. Huang, L. Wu, X.D. Chen, P. Bai, D.H. Kim, Chem. Mater. 25 (2013) 2470–2475.
- [10] L. Jiang, C.J. Zou, Z.H. Zhang, Y.H. Sun, Y.Y. Jiang, W. Leow, B. Liedberg, S.Z. Li, X.D. Chen, Small 10 (2014) 609–616.
- [11] Y.Y. Jiang, F.B. Meng, D.P. Qi, P.Q. Cai, Z.Y. Yin, F.W. Shao, H. Zhang, F. Boey, X.D. Chen, Small 9 (2013) 2260–2265.
- [12] L. Jiang, Y.H. Sun, F.W. Huo, H. Zhang, L.D. Qin, S.Z. Li, X.D. Chen, Nanoscale 4 (2012) 66–75.
- [13] X.G. Han, Y.D. Liu, Y.D. Yin, Nano Lett. 14 (2014) 2466–2470.
- [14] H. Xu, J. Chen, J. Birrenkott, J.X. Zhao, S. Takalkar, K. Baryeh, G. Liu, Anal. Chem. 86 (2014) 7351–7359.
- [15] C.C. Chang, C.Y. Chen, X.H. Zhao, T.H. Wu, S.C. Wei, C.W. Lin, Analyst 139 (2014) 3347–3351.
- [16] X.H. Liu, Y. Wang, P. Chen, Y.S. Wang, J.L. Mang, D. Aili, B. Liedberg, Anal. Chem. 86 (2014) 2345–2352.
- [17] L. Hou, Y. Tang, M. Xu, Z. Gao, D. Tang, Anal. Chem. 86 (2014) 8352–8358. [18] Y.B. Fan, F.Y. Li, D.Y. Chen, Biomaterials 35 (2014) 7870–7880.
- [19] Y. Xiao, F. Patolsky, E. Katz, J.F. Hainfeld, I. Willner, Science 299 (2003) 1877–1881.
- [20] S. Wu, P.P. Liang, H.X. Yu, X.W. Xu, Y. Liu, X.H. Lou, Y. Xiao, Anal. Chem. 86 (2014) 3461–3467.
- [21] P. Liu, X.H. Yang, S. Sun, Q. Wang, K.M. Wang, J. Huang, J.B. Liu, L.L. He, Anal. Chem. 85 (2013) 7689–7695.
- [22] X.K. Ding, D.D. Ge, K.L. Yang, Sens. Actuators B: Chem. 201 (2014) 234–239.
- [23] J.H. Wei, L.T. Zheng, X. Lv, Y.H. Bi, W.W. Chen, W. Zhang, Y. Shi, L. Zhao, X.M. Sun, F. Wang, S.H. Cheng, J.H. Yan, W.J. Liu, X.Y. Jiang, G.F. Gao, X.B. Li, ACS Nano 8 (2014) 4600–4607.
- [24] J.J. Du, S.Y. Yin, L. Jiang, B. Ma, X.D. Chen, Chem. Commun. 49 (2013) 4196–4198.
- [25] J.J. Du, Q. Shao, S.Y. Yin, L. Jiang, J. Ma, X.D. Chen, Small 8 (2012) 3412–3416.
- [26] J.J. Du, B.W. Zhu, X.D. Chen, Small 9 (2013) 4104–4111. [27] G.H. Chen, W.Y. Chen, Y.C. Yen, C.W. Wang, H.T. Chang, C.F. Chen, Anal. Chem. 86 (2014) 6843–6849.
- [28] C. Saksai, T. Tuntulani, Chem. Soc. Rev. 32 (2003) 192–202.
- [29] C. Lodeiro, J.L. Capelo, J.C. Mejuto, E. Oliveira, H.M. Santos, B. Pedras, C. Nunez, Chem. Soc. Rev. 39 (2010) 2948–2976.
- [30] W.Y. Xie, W.T. Huang, J.R. Zhang, H.Q. Luo, N.B. Li, J. Mater. Chem. 22 (2012) 11479–11482.
- [31] N. Kanayama, T. Takarada, M. Maeda, Chem. Commun. 47 (2011) 2077–2079.
- [32] X.J. Xue, F. Wang, X.G. Liu, J. Am. Chem. Soc. 130 (2008) 3244–3245.
- [33] H. Wang, Y.X. Wang, J.Y. Jin, R.H. Yang, Anal. Chem. 80 (2008) 9021–9028.
- [34] Z.H. Qing, X.X. He, K.M. Wang, Z. Zou, X. Yang, J. Huang, G.P. Yan, Anal. Methods 4 (2012) 3320–3325.
- [35] D. Li, A. Wieckowska, I. Willner, Angew. Chem. Int. Ed. 47 (2008) 3927–3931.
- [36] J.S. Lee, M.S. Han, C.A. Mirkin, Angew. Chem. Int. Ed. 46 (2007) 4093–4096.
- [37] J.S. Lee, C.A. Mirkin, Anal. Chem. 80 (2008) 6805–6808. [38] Y.R. Kim, R.K. Mahajan, J.S. Kim, H. Kim, ACS Appl. Mater. Interfaces 2 (2010) 292–295.
- [39] C.J. Yu, W.L. Tseng, Langmuir 24 (2008) 12717–12722.
- [40] Y.L. Hung, T.M. Hsiung, Y.Y. Chen, Y.F. Huang, C.C. Huang, J. Phys. Chem. C 114 (2010) 16329–16334.
- [41] D.B. Liu, W.S. Qu, W.W. Chen, W. Zhang, Z. Wang, X.Y. Jiang, Anal. Chem. 82 (2010) 9606–9610.

- [42] N. Ding, H. Zhao, W.B. Peng, Y.J. He, Y. Zhou, L.F. Yuan, Y.X. Zhang, *Colloid Surf. A* 395 (2012) 161–167. [43] C.Y. Lin, C.J. Yu, Y.H. Lin, W.L. Tseng, *Anal. Chem.* 82 (2010) 6830–6837.
- [44] T.T. Lou, Z.P. Chen, Y.Q. Wang, L.X. Chen, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 3 (2011) 1568–1573.
- [45] D.Y. Su, X. Yang, Q.D. Xia, F. Chai, C.G. Wang, F.Y. Qu, *RSC Adv.* 3 (2013) 24618–24624.
- [46] X.R. Yang, H.X. Liu, J. Xu, X.M. Tang, H. Huang, D.B. Tian, *Nanotechnology* 22 (2011) 275503.
- [47] Y. Li, P. Wu, H. Xu, Z.P. Zhang, X.H. Zhong, *Talanta* 84 (2011) 508–512.
- [48] Y.J. Ma, L. Jiang, Y.J. Mei, R.B. Song, D.B. Tian, H. Huang, *Analyst* 138 (2013) 5338–5343.
- [49] X.J. Chen, Y.B. Zu, H. Xie, A.M. Kemas, Z.Q. Gao, *Analyst* 136 (2011) 1690–1696.
- [50] G.G. Huang, Y.T. Chen, Y.R. Lin, *Anal. Methods* 6 (2014) 5690–5696.
- [51] S. Anandhakumar, R. Rajaram, J. Mathiyarasu, *Analyst* 139 (2014) 3356–3359.
- [52] T.T. Lou, L. Chen, C.R. Zhang, Q. Kang, H.Y. You, D.Z. Shen, L.X. Chen, *Anal. Methods* 4 (2012) 488–491.
- [53] Y.Y. Xu, L. Deng, H. Wang, X.Y. Ouyang, J. Zheng, J.S. Li, R.H. Yang, *Chem. Commun.* 47 (2011) 6039–6041. [54] L. Chen, T.T. Lou, C.W. Yu, Q. Kang, L.X. Chen, *Analyst* 136 (2011) 4770–4773.
- [55] A. Esteban-Gamboa, J. Balzarini, R. Esnouf, E. De Clercq, M.J. Camarasa, M.J. Perez-Perez, *J. Med. Chem.* 43 (2000) 971–983.
- [56] J.S. Nowick, J.S. Chen, G. Noronha, *J. Am. Chem. Soc.* 115 (1993) 7636–7644.
- [57] K.C. Grabar, R.G. Freeman, M.B. Hommer, M.J. Natan, *Anal. Chem.* 67 (1995) 735–743.
- [58] Y. Wu, S. Zhan, L. Xu, W. Shi, T. Xi, X. Zhan, P. Zhou, *Chem. Commun.* 47 (2011) 6027–6029.
- [59] M.Y. Zhu, Y. Wang, Y. Deng, L. Yao, S.B. Adeloju, D.D. Pan, F. Xue, Y.C. Wu, L. Zheng, W. Chen, *Biosens. Bioelectron.* 61 (2014) 14–20.
- [60] Y.Q. He, X.B. Zhang, K. Zeng, S.Q. Zhang, M. Baloda, A.S. Gurung, G.D. Liu, *Biosens. Bioelectron.* 26 (2011) 4464–4470.
- [61] Z.Y. Guo, J. Duan, F. Yang, M. Li, T.T. Hao, S. Wang, D.Y. Wei, *Talanta* 93 (2012) 49–54.
- [62] Q.S. Wei, R. Nagi, K. Sadeghi, S. Feng, E. Yan, S.J. Ki, R. Caire, D. Tseng, A. Ozcan, *ACS Nano* 8 (2014) 1121–1129.