

基于新医科理念的“氧化还原反应和电极电位”实验改进

周桐¹, 李军¹, 温紫甜¹, 陈奕天¹, 李海玲², 高中洪², 王文云², 刘芳², 冯清², 李真³, 杨金焱³, 刘敏^{2,*}, 齐伟^{2,*}

¹华中科技大学同济医学院基础医学院, 武汉 430030

²华中科技大学化学与化工学院, 武汉 430074

³河南金数网科信息技术有限公司, 郑州 410100

摘要: “新医科”是一种从治疗为主到兼具预防、治疗、康养的生命健康全周期的医学新理念。本文依据“新医科”理念, 针对《医学基础化学实验》教材中的“氧化还原反应和电极电位”部分实验进行了“医学-化学-生物”等学科的交叉、融合与创新, 具体有: (1) 电池电动势的测量实验中用乙二胺四乙酸钠(Na_4Y)代替浓氨水, 实现样品体系中 $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ 浓度的变化; (2) 氧化还原反应与电极电位的实验关系中用维生素C (Vc)的 $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$ (氧化型)/ $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (还原型)电对替代 Br_2/Br^- 电对, 实现不同电对氧化还原性质的对比研究; (3) 增设谷胱甘肽还原 Fe^{3+} 的实验, 实现医学热点—细胞铁死亡过程的跨界思考。通过系列改进使实验变得绿色环保和医教结合, 对诠释基础化学中的“新医科”理念具有重要意义。

关键词: 新医科; 氧化还原反应; 实验改进

中图分类号: G64; O6

Experiment Improvement of “Redox Reaction and Electrode Potential” Based on the New Medical Concept

Tong Zhou¹, Jun Li¹, Zitian Wen¹, Yitian Chen¹, Hailing Li², Zhonghong Gao², Wenyun Wang², Fang Liu², Qing Feng², Zhen Li³, Jinyi Yang³, Min Liu^{2,*}, Wei Qi^{2,*}

¹ School of Basic Medicine, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China.

² School of Chemical Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China.

³ Henan Jinshu Network Technology Co., Ltd., Zhengzhou 410100, China.

Abstract: The concept of “New Medical Science” represents a paradigm shift in medicine, extending its focus from a primarily treatment-oriented practices to a comprehensive lifecycle that includes prevention, treatment, and wellness. Guided by the principle of “New Medical Science”, this paper conducts interdisciplinary innovation in the “Redox Reaction and Electrode Potential” experiment, a core component of the Basic Medical Chemistry Experiment curriculum. The innovation include: (1) Replacing concentrated ammonia with sodium ethylenediaminetetraacetate (Na_4Y), a chelating agent commonly used in clinical settings, to alter the concentration of $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ in the experiment measuring battery electromotive force; (2) Substituting the Br_2/Br^- redox couple with the $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$ (oxidized form)/ $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (reduced form) redox couple of vitamin C (Vc) to study the redox properties of different redox couples; (3) Introducing an experiment that involves the reduction of Fe^{3+} by glutathione, fostering interdisciplinary thinking on the medically relevant process of cellular iron death. These modifications not only make the “Redox Reaction and Electrode Potential” experiment more eco-friendly but also bridge medical education and chemistry, underlining the

收稿: 2024-01-02; 录用: 2024-02-26; 网络发表: 2024-04-02

*通讯作者, Emails: liuming@hust.edu.cn (刘敏); qiwei@hust.edu.cn (齐伟)

基金资助: 湖北省高等学校省级教学研究项目(2018050, 2023040); 华中科技大学教学研究专项项目(2023019)

importance of “New Medical Science” concept in foundational chemistry education.

Key Words: New medical science; Oxidation-reduction reaction; Experimental improvement

1 引言

2018年国务院文件《教育部关于加快建设高水平本科教育全面提高人才培养能力的意见》中首次提出“新医科”；同年，教育部等国家三部委出台《关于加强医教协同实施卓越医生教育培养计划2.0的意见》，指出围绕健康中国战略，深化医教协同；2019年教育部正式启动“四新”（新工科、新医科、新农科、新文科）建设；2020年《国务院办公厅关于加快医学教育创新发展的指导意见》指出“新医科”是将医学发展从疾病诊疗提升拓展为预防、诊疗和康养的生命全周期、健康全过程的新理念，以“新医科”统领医学教育创新^[1]。

医学基础化学实验是华中科技大学面向医学专业大一新生开设的第一门必修基础课，覆盖含国家级一流学科等专业的班级30余个，约1000人/年，它对于培养能够运用“医学+多学科交叉”知识解决未来医学领域问题的高层次的“新医科”创新人才具有十分重要的作用和意义。基于“新医科”理念和氧化还原反应在医学与生命科学领域中的重要地位^[2]，通过年级科普创新大赛、实验技能比拼等形式对《医学基础化学实验》教材^[3]中的“氧化还原反应和电极电位”部分实验进行了“医学-化学-生物”等学科的交叉、融合与创新，具体有：(1) 电池电动势的测量实验中用临床上常用于重金属中毒的解毒药——乙二胺四乙酸四钠盐(Na₄Y)代替浓氨水；(2) 氧化还原反应与电极电位的关系实验中用维生素C (Vc) ^[4]的C₆H₆O₆ (氧化型)/C₆H₈O₆ (还原型)电对替代Br₂/Br⁻电对；(3) 模拟研究细胞中谷胱甘肽(GSH)还原Fe³⁺的生理过程^[5]，探究氧化还原反应在医学中的运用。本改进实验有两个创新点：一、实验材料选择在临床预防和治疗中广泛使用的Na₄Y、Vc和GSH，使实验变得绿色环保和医教结合；二、通过与科研热点——细胞的铁死亡过程相联系的跨界思考^[6-8]，探索生命健康全周期，打破学科壁垒，在化学实验中构建“以学生为中心，以胜任力为导向，跨专业学习，团队合作，自主学习和职业精神培养”的创新医学教育新模式^[9]。

2 实验部分

2.1 实验原理

2.1.1 电池电动势的测量

原实验通过将浓氨水加入正极Cu²⁺ (0.1 mol·L⁻¹)|Cu半电池，Cu²⁺形成沉淀Cu(OH)₂，继而过量时生成配合物[Cu(NH₃)₄]²⁺，研究沉淀和配合物对Cu²⁺浓度改变和对电池电动势的影响。同样方法研究负极Zn|Zn²⁺ (0.1 mol·L⁻¹)半电池形成沉淀和配合物对Zn²⁺浓度改变和对电池电动势的影响。但是浓氨水具有强的刺激性气味，对眼、鼻、皮肤有刺激性和腐蚀性，甚至能使人窒息。乙二胺四乙酸钠(Na₄Y)能够与大多数重金属离子螯合，在生命科学研究中常被用于调控或抑制细胞铁死亡过程^[7]。因此，我们选择兼具绿色环保和在生物医学上预防与治疗意义的Na₄Y(见图1)代替浓氨水，实现上述实验中改变Cu²⁺与Zn²⁺浓度的目的，进而用于研究浓度对电极电位的影响。

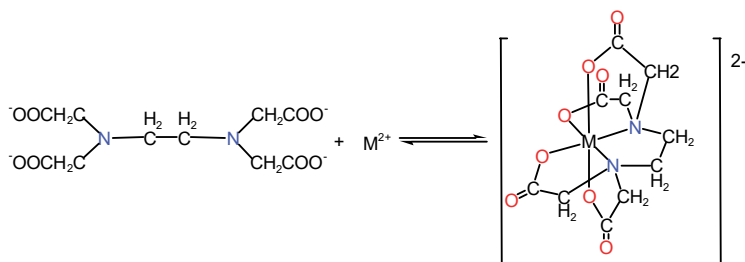


图1 乙二胺四乙酸根(Y⁴⁻)与金属离子形成螯合物

对于反应： $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$ 组成原电池，因为 $\varphi^\theta(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0.3419 \text{ V}$ ， $\varphi^\theta(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0.7618 \text{ V}$ ， $E^\theta = \varphi^\theta(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - \varphi^\theta(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = 1.1037 \text{ V}$ 。反应 $n = 2$ ， $E^\theta > 0.2 \text{ V}$ 时， $K^\theta > 10^6$ ，此反应完全向右进行^[2]；因此 Cu^{2+}/Cu 作为正极， Zn^{2+}/Zn 作为负极，对应的电池298.15 K时的Nernst方程式：

$$E_{\text{池}} = E_{\text{池}}^\theta - \frac{0.05916}{n} \lg \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

根据电池的Nernst方程式可见：当 Cu^{2+} 浓度下降，电池电动势将降低；当 Zn^{2+} 浓度下降，电池电动势将升高。因此，在 $\text{Cu}^{2+}(0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})|\text{Cu}$ 半电池中加入 NaOH 作为沉淀剂逐步形成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉淀或加入螯合剂 Na_4Y 形成螯合物 $[\text{CuY}]^{2-}$ ，随着 Cu^{2+} 浓度不断降低^[10]，电池电动势随之降低。同理，在 $\text{Zn}^{2+}(0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})|\text{Zn}$ 半电池中加入 NaOH 先生成 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 沉淀，当加入过量 NaOH 后形成配合物 $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ ，随着 Zn^{2+} 浓度不断降低，电池电动势也随之升高。

2.1.2 氧化还原反应与电极电位的关系

根据电极电位的大小可判断氧化还原反应进行的方向，只有电极电位高的电对中的氧化型物质(强氧化剂)与电极电位低的电对中的还原型物质(强还原剂)作用时，氧化还原反应才能自发进行。相反，根据氧化还原反应能否发生，也可判断和比较电极电位的相对大小。原实验通过两组对照实验：第一组是分别在 KBr 和 KI 溶液中加入 FeCl_3 溶液，然后在 CCl_4 层观察现象；第二组是分别在 Br_2 水和 I_2 水中加入 FeSO_4 溶液并用 KSCN 溶液证明 Fe^{3+} 生成，定性得到电对电极电位的相对高低： $\varphi(\text{Br}_2/\text{Br}^-) > \varphi(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) > \varphi(\text{I}_2/\text{I}^-)$ 。但是有毒的 CCl_4 液体和饱和 Br_2 水，挥发性极强，会造成环境污染，危害人体健康。基于当今绿色化学的主题，我们选择了集“预防、治疗及抗氧化”一体的Vc代替 Br_2 水，即本实验三个电对为： $\varphi^\theta(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0.771 \text{ V} > \varphi^\theta(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0.5355 \text{ V} > \varphi^\theta(\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 0.18 \text{ V}$ 。Vc分子中的烯二醇基可被 I_2 氧化成二酮基，其反应方程式为(见图2)：

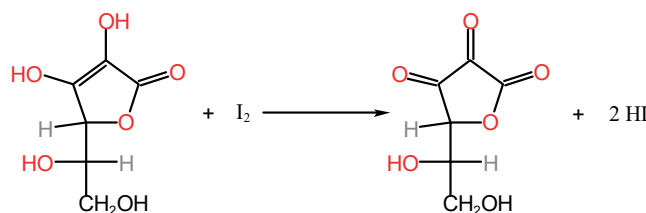


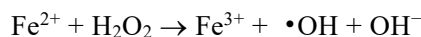
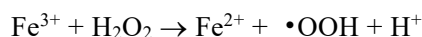
图2 Vc分子与 I_2 反应方程式

Vc在医药和化学上有着非常广泛的应用：作为抗氧化剂，防止自由基对细胞的伤害，保持细胞完整性和生理功能，延缓细胞衰老和凋亡；提高免疫力，调节炎症反应^[4]。据报道：临床上通过使用大量Vc对亚硝酸盐中毒患者进行解毒治疗，其本质是 NO_2^- 将血红蛋白中的 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} ，导致血红蛋白失去载氧功能；而Vc具有强的还原性，能将 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} ，使血红蛋白恢复载氧功能；这也是我们将Vc还原 Fe^{3+} 的生理过程融入本实验的重要因素^[11]。

2.1.3 模拟研究GSH还原 Fe^{3+} 的生理过程

铁死亡是不同于凋亡的一种新型的程序性细胞死亡方式，通过调控铁死亡过程对肿瘤治疗具有重要意义。铁死亡的过程与分子机制非常复杂，根本原因为氧化剂与抗氧化剂间的氧化还原失衡^[7]。发生铁死亡的细胞有特定的表现形态，其中包含细胞内GSH耗竭^[12,13]。GSH是生物体内重要的抗氧化剂和自由基清除剂，参与调控体内血红蛋白中铁的代谢过程，进而保护血红蛋白功能。当细胞代谢生成少量 H_2O_2 时，血红蛋白会被氧化成高铁血红蛋白，失去载氧功能(整个过程是一个典型的芬顿反应，见图3a)^[14]。GSH能够还原高铁血红蛋白恢复其载氧功能，本身被氧化为谷胱甘肽二硫化物(GSSG，见图3b)，从而维持生命体内铁代谢的平衡^[8]。因此，本实验选择 H_2O_2 、 FeSO_4 、GSH、 FeCl_3 等物质模拟铁死亡过程中的氧化还原反应；同时，结合邻二氮菲与 KSCN 对不同氧化态铁的显色变化，进一步证实反应中的 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的存在与相互转化。

(a) 芬顿反应。



(b) GSH还原 Fe^{3+} 反应。

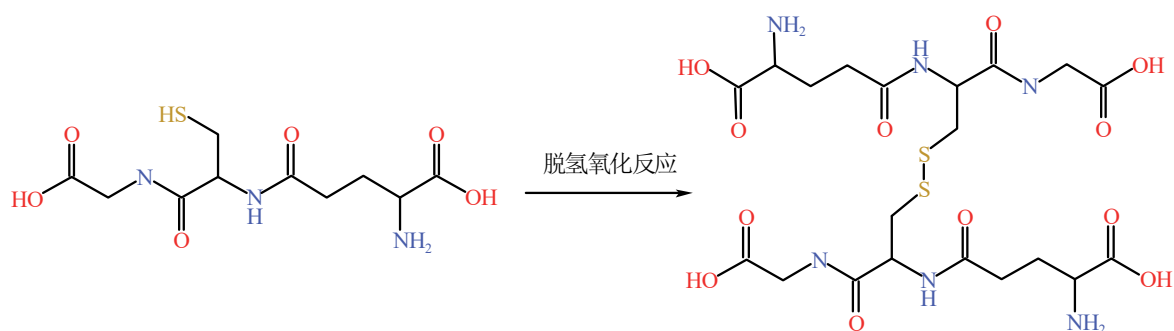
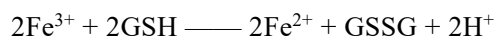


图3 铁死亡模拟实验中的反应式：(a) 芬顿反应；(b) GSH还原 Fe^{3+} 反应，GSH脱氢氧化为GSSG反应式

2.2 试剂及仪器

2.2.1 试剂

ZnSO_4 ($1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 CuSO_4 ($1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 NaOH ($1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 Na_4Y ($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、Vc溶液(现配, $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 FeCl_3 ($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 FeSO_4 (现配, $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 I_2 水(0.1%)、 KI ($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 KSCN ($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 H_2O_2 ($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、GSH溶液(现配, $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、 HCl ($0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、邻二氮菲(0.15%)、锌片、铜片。

2.2.2 仪器

试管、试剂瓶、50 mL烧杯、试管架、滴瓶、盐桥、数字式电子电位差计、离心机、电子天平等。

2.3 实验步骤

2.3.1 电池电动势的测量

在两只50 mL的烧杯中，分别注入20 mL $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ZnSO_4 和20 mL $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CuSO_4 溶液，在 ZnSO_4 溶液中插入锌片， CuSO_4 溶液中插入铜片，中间以盐桥相通，用导线将锌片和铜片分别连接电位差计，近似测量原电池的电动势(原电池A)。取出盐桥，将其中的 $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 CuSO_4 溶液，换成 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CuSO_4 溶液，重新测定电池的电动势(原电池B)，与前者的实验数据进行比较，并解释之。取出盐桥，将其中的 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 CuSO_4 溶液，换成 $0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CuSO_4 溶液，将其中的 $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 ZnSO_4 溶液，换成 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ZnSO_4 溶液，重新测定电池的电动势(原电池C)。

另取两只50 mL的烧杯，分别注入20 mL $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ZnSO_4 和20 mL $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CuSO_4 溶液，在 ZnSO_4 溶液中插入锌片，在 CuSO_4 溶液中插入铜片，中间以盐桥相通，用导线将锌片和铜片分别连接电位差计，近似测量电池的电动势(原电池D)，并与 $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+} (1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})||\text{Cu}^{2+} (1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})|\text{Cu}$ 实验数据进行比较。取出盐桥，在不断搅拌下，将2.5 mL $1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 加入 CuSO_4 溶液中至生成沉淀，离心分离，取上清液与 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{ZnSO}_4|\text{Zn}$ 电极组成原电池，观察电池的电动势(原电池E)有何变化？取出盐桥，在离心分离的沉淀中逐步加入20 mL $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_4Y 溶液，使沉淀溶解并与烧杯中上清液合并，形成深蓝色溶液，该溶液与 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{ZnSO}_4|\text{Zn}$ 电极组成原电池，观察电池的电动势(原电池F)，与原电池C的实验数据进行比较，并解释之。取出盐桥，在不断搅拌下，向 ZnSO_4 溶液中加入 $1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 至生成沉淀完全溶解为止，与 $[\text{CuY}]^{2-} (0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})$ ， $\text{Y}^{4-} (c_2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})|\text{Cu}$ 电极组成原电池，观察电池的电动势(原电池G)利用Nernst方程解释实验现象。另取一只50 mL的烧杯，注入20 mL $0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ZnSO_4 ，与(原电池G中的) $[\text{CuY}]^{2-} (0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})$ ， $\text{Y}^{4-} (c_2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})|\text{Cu}$ 电极组成原电

池, 测量电池的电动势(原电池H), 与原电池G的电动势比较。

测定浓差电池的电动势(I): $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+} (0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})||\text{Cu}^{2+} (1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1})|\text{Cu}$ 。

上述实验结果见表1。

表1 电池电动势的测量结果

	电池组成式	电动势/V
A	$\text{Zn} \text{Zn}^{2+} (1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}^{2+} (1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	1.10065
B	$\text{Zn} \text{Zn}^{2+} (1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}^{2+} (0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	1.07803
C	$\text{Zn} \text{Zn}^{2+} (0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}^{2+} (0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	1.08381
D	$\text{Zn} \text{Zn}^{2+} (0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}^{2+} (0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	1.09269
E	$\text{Zn} \text{Zn}^{2+} (0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}(\text{OH})_2, \text{OH}^- (c_1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	1.02750
F	$\text{Zn} \text{Zn}^{2+} (0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) [\text{CuY}]^{2-} (0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}), \text{Y}^{4-} (c_2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	0.93024
G	$\text{Zn} [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} (0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}), \text{OH}^- (c_3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) [\text{CuY}]^{2-} (0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}), \text{Y}^{4-} (c_2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	1.21080
H	$\text{Zn} \text{Zn}^{2+} (0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) [\text{CuY}]^{2-} (0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}), \text{Y}^{4-} (c_2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	0.93912
I	$\text{Cu} \text{Cu}^{2+} (0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}^{2+} (1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \text{Cu}$	0.03228

2.3.2 氧化还原反应与电极电位的关系

取2支试管, 各加入20滴0.1% I_2 水, 分别逐滴加入0.1 mol·L⁻¹ Vc溶液(形成A)和0.1 mol·L⁻¹ FeSO_4 溶液(形成B), 振荡, 观察颜色变化, 解释现象并写出反应式。

取2支试管, 各加入20滴0.1 mol·L⁻¹ KI溶液, 一只中加入5滴0.1 mol·L⁻¹ FeCl_3 溶液(形成C), 另一只中加入A溶液(形成D), 振荡, 观察颜色变化, 解释现象并写出反应式。

上述实验结果见表2。

表2 氧化还原反应与电极电位的关系

编号	加入试剂	实验现象	化学反应方程式	解释与结论
A	20滴0.1% I_2 水中逐滴加入0.1 mol·L ⁻¹ Vc	加2滴Vc, 溶液从棕色变为无色	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + \text{I}_2 = \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 2\text{HI}$	$\varphi^\theta(\text{I}_2/\text{I}^-) >$
B	20滴0.1% I_2 水中逐滴加入0.1 mol·L ⁻¹ FeSO_4	加过量 FeSO_4 , 无明显现象	没有反应	$\varphi^\theta(\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)$
C	20滴0.1 mol·L ⁻¹ KI加入5滴0.1 mol·L ⁻¹ FeCl_3	溶液由无色变为棕黄色	$2\text{I}^- + \text{Fe}^{3+} = \text{Fe}^{2+} + \text{I}_2$	$\varphi^\theta(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) >$
D	20滴0.1 mol·L ⁻¹ KI加入A溶液	无明显现象	没有反应	$\varphi^\theta(\text{I}_2/\text{I}^-)$

2.3.3 模拟研究GSH还原Fe³⁺的生理过程

在试管中加入20滴0.1 mol·L⁻¹ FeSO_4 溶液, 再加入10滴0.1 mol·L⁻¹ H_2O_2 溶液, 然后边摇边加入10滴0.2 mol·L⁻¹ HCl溶液, 振荡(形成E), 观察颜色变化。继续在试管中加入2滴0.1 mol·L⁻¹ KSCN(形成F), 观察颜色变化。分成两份: 其中一份逐滴加入0.1 mol·L⁻¹ GSH溶液至溶液褪色(形成G)。对比F和G实验现象, 解释并写出反应式。

取2支试管, 各加入20滴0.1 mol·L⁻¹ FeCl_3 溶液, 一只中加入20滴蒸馏水(形成H), 另一只中加入20滴0.1 mol·L⁻¹ GSH溶液(形成I), 振荡, 观察颜色变化。对比H和I实验现象, 解释并写出反应式。

上述实验结果见表3。

为了实证芬顿反应的发生。取3支试管, 第一只试管中加入20滴0.1 mol·L⁻¹ FeSO_4 溶液和20滴蒸馏水(对照组1); 第二只试管中加入E溶液(实验组); 第三只试管中加入20滴0.1 mol·L⁻¹ FeCl_3 溶液和20滴蒸馏水(对照组2)。最后, 分别加入20滴0.15%邻二氮菲溶液, 振荡, 观察颜色变化。

上述实验结果见表4。

表3 模拟研究GSH还原Fe³⁺的反应过程

编号	加入试剂	实验现象	化学反应方程式	解释与结论
E	20滴0.1 mol·L ⁻¹ FeSO ₄ + 10滴0.1 mol·L ⁻¹ H ₂ O ₂ + 10滴0.2 mol·L ⁻¹ HCl	浅绿先变为棕色再变为淡 黄近无色	$2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ (浅绿先变为棕色) $2\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + 2\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2$ (棕色再变成近无色)	伴随芬顿反应 ^[11]
F	E + 2滴0.1 mol·L ⁻¹ KSCN	淡黄色变为血红色	$\text{Fe}^{3+} + n\text{SCN}^- = [\text{Fe}(\text{SCN})_n]^{3-n}$	证明Fe ³⁺ 的存在
G	F + 滴加入0.1 mol·L ⁻¹ GSH	血红色变为浅黄色	$2[\text{Fe}(\text{SCN})_n]^{3-n} + n\text{GSH} = 2\text{Fe}^{3+} + n[\text{GSH}]^{2-} + 2n\text{HSCN}$	配合物释放出Fe ³⁺
H	20滴0.1 mol·L ⁻¹ FeCl ₃ + 20滴蒸馏水(对照)	黄色变为浅黄色	无反应	—
I	20滴0.1 mol·L ⁻¹ FeCl ₃ + 0.1 mol·L ⁻¹ GSH	黄色变为浅绿色	$2\text{Fe}^{3+} + 2\text{GSH} = 2\text{Fe}^{2+} + \text{GSSG} + 2\text{H}^+$	GSH还原Fe ³⁺ 为 Fe ²⁺

表4 芬顿反应的实验证明

编号	加入试剂	实验现象	化学反应方程式
对照组1	20滴0.1 mol·L ⁻¹ FeSO ₄ + 20滴H ₂ O + 20滴0.15%邻二氮菲	浅绿变为橘红色	—
实验组	E溶液 + 20滴0.15%邻二氮菲	淡黄近无色变为橙色	—
对照组2	20滴0.1 mol·L ⁻¹ FeCl ₃ + 20滴H ₂ O + 20滴0.15%邻二氮菲	浅黄色基本不变	—

3 结语

通过使用Na₄Y和Vc分别取代原有实验中的浓氨水与溴,改进实验过程变得绿色环保,避免了有毒有害气体对环境与人体的伤害;通过模拟研究GSH还原Fe³⁺的生理过程,可培养学生化学-医学-生物的多学科交叉创新意识。本实验改进研究契合当下“新医科”统领医学教育创新的时代背景,对培养“新医科”医学创新人才和服务健康中国具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 国务院办公厅关于加快医学教育创新发展的指导意见. [2024-03-29]. <http://pharm.suda.edu.cn/4a/f4/c11696a412404/page.htm>
- [2] 李雪华, 陈朝军. 基础化学. 第9版. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
- [3] 冯清, 刘敏. 医学基础化学实验(双语版). 第2版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2021.
- [4] 孔维深, 芦鑫荣, 侯琳琳, 孙秀发, 孙桂芹, 陈力. 四川大学学报(医学版), **2023**, 54 (1), 7.
- [5] 田童瑶, 何东青, 高溥, 谢旭东, 李选晋, 李艳, 张华峰, 张颖. 大学化学, **2021**, 36 (10), 2012034.
- [6] 陈默冉, 周雪冰, 陈丹, 杨春宇, 朴俊杰, 任香善. 生命科学, **2022**, 34 (9), 1108.
- [7] Ma, R.; Fang, L.; Chen, L.; Wang, X.; Jiang, J.; Gao, L. *Theranostics* **2022**, 12 (5), 2266.
- [8] 杨凤娟, 谭宁, 张天禹. 世界华人消化杂志, **2021**, 29 (15), 901.
- [9] 郭今心, 张树永, 王立祥, 邹永新. 大学化学, **2023**, 38 (3), 191.
- [10] 武汉大学. 分析化学(上). 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- [11] 艾伟真, 丁永亮. 中国医药指南, **2011**, 9 (31), 80.
- [12] Li, J.; Cao, F.; Yin, H. L. *Cell Death Dis.* **2020**, 11 (2), 88.
- [13] Friedmann Angeli, J. P.; Schneider, M.; Proneth, B. *Nat. Cell Biol.* **2014**, 16 (12), 1180.
- [14] He, Y. J.; Liu, X. Y.; Xing, L. *Biomaterials* **2020**, 241, 119911.