

# 基于纳米酶技术检测柑桔果实中葡萄糖

张 帅, 郝 雪, 张 娜, 王 悦, 辛嘉英\*

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 哈尔滨 150076)

**摘 要:** **目的** 建立纳米酶检测体系快速检测葡萄糖含量的技术。**方法** 采用甲烷氧化细菌的发酵代谢产物甲烷氧化菌素(methanobactin, MB)与  $\text{Cu}^{2+}$ 、纳米金(AuNPs)、葡萄糖氧化酶(glucose oxidase, Gox)进行配位结合形成具有过氧化物酶和葡萄糖氧化酶性质的纳米酶检测体系, 并对柑桔果实中葡萄糖含量进行测定。**结果** Gox 浓度 0.81 U/mL、MB-Cu@AuNPs 模拟酶浓度  $2 \times 10^{-5}$  mol/L、对苯二酚浓度  $5 \times 10^{-4}$  mol/L、反应温度 60 °C、pH 8 为最佳检测条件; 反应时间 5 min, 葡萄糖浓度线性范围为  $1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$  mol/L。**结论** 纳米酶检测体系对柑桔果实中葡萄糖含量的测定具有良好的稳定性, 相比较常规快速血糖仪检测速度更快。

**关键词:** 柑桔果实; 葡萄糖; 纳米金; 甲烷氧化菌素; 对苯二酚

## Detection of glucose in citrus fruit based on nanometer enzyme technology

ZHANG Shuai, HAO Xue, ZHANG Na, WANG Yue, XIN Jia-Ying\*

(School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a technology for quickly detecting glucose content by a nanometer enzyme detection system. **Methods** The fermentation metabolite of methane-oxidizing bacteria, methanobactin (MB), was coordinated and combined with  $\text{Cu}^{2+}$ , AuNPs, and glucose oxidase (Gox) to form a nanometer enzyme detection system with the properties of peroxidase and glucose oxidase, and the content of glucose in mandarine fruit was determined. **Results** The optimal detection conditions were as follows: Gox concentration 0.81 U/mL, MB-Cu@AuNPs mimic enzyme concentration  $2 \times 10^{-5}$  mol/L, hydroquinone concentration  $5 \times 10^{-4}$  mol/L, reaction temperature 60 °C, and pH 8. The reaction time was 5 min, and the linear range of glucose concentration was  $1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$  mol/L. **Conclusion** The nanometer enzyme detection system had good stability for the determination of glucose content in citrus fruits, and the detection speed is faster than that of the conventional rapid glucose meter.

**KEY WORDS:** mandarine fruit; glucose; gold nanoparticles; methanobactin; hydroquinone

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(21573055)、哈尔滨商业大学校级科研项目(18XN043)、哈尔滨商业大学研究生科研创新项目(YJSCX2018-540HSD)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (21573055), University Level Scientific Research Projects of Harbin University of Commerce (18XN043), and Postgraduate Scientific Research Innovation Project of Harbin University of Commerce (YJSCX2018-540HSD)

\*通信作者: 辛嘉英, 博士, 教授, 主要研究方向为生物催化、食品生物技术。E-mail: xinjiaying@163.com

\*Corresponding author: XIN Jia-Ying, Ph.D, Professor, Harbin University of Commerce, No.1, Xuehai Road, Songbei District, Harbin 150076, China. E-mail: xinjiaying@163.com

## 0 引言

葡萄糖、蔗糖、果糖是柑桔果实中主要的可溶性糖,其含量对柑桔果实品质起着重要作用。糖含量是果实主要的风味品质之一,对果实的风味、色泽和其他营养成分具有重要影响。柑桔是以可溶性糖积累为主的果实,在果实发育过程中,果实中糖含量呈现出动态变化,变化总趋势是在不断增加。果实膨大期的葡萄糖、果糖及总糖含量略有下降,蔗糖含量略有上升;成熟果实的葡萄糖、果糖含量迅速上升,蔗糖含量缓慢上升。由于蔗糖、葡萄糖和果糖的甜度和口感不同,因而在果实发育和贮藏中由于糖的种类及其比例变化的不同会构成果实特有的甜度和风味<sup>[1]</sup>。因此果实糖含量方法的测定对研究柑桔果实糖代谢的基本规律以及对柑桔的栽培管理等方面有着重大意义。

生物传感器是将来食品安全质量检测最便捷有效的工具,目前,国家产品标准中食用葡萄糖的测试方法为高效液相色谱法,但该方法排除干扰能力差、操作难度大,而且费用较高,并不普及。肉制品、饮料等食品中并无葡萄糖含量测试的国家标准,因此获得一种成本低、操作简单、灵敏度高、反应速度快的食品中葡萄糖含量检测方法具有重要的应用价值。目前,利用葡萄糖氧化酶和过氧化物酶偶联的双酶体系,采用分光光度法可以快速、简便、准确地对葡萄糖进行定量分析检测<sup>[2]</sup>。纳米材料可用于模拟多种酶活性,常用的包括氧化物酶模拟酶、过氧化氢酶模拟酶、过氧化物酶模拟酶、超氧化物歧化酶模拟酶、核酸酶模拟酶、酯酶模拟酶、亚硫酸氧化酶模拟酶和葡萄糖氧化酶模拟酶等,这些纳米酶已被广泛应用于生物传感、免疫分析、疾病诊断与治疗、食品安全控制和检测及环境监测等领域<sup>[3-5]</sup>。因此,研究和开发既有过氧化物酶的催化活性又能克服传统天然酶不足的纳米模拟酶来代替过氧化物酶已成为热点。甲烷氧化菌素(methanobactin, MB)是甲烷氧化细菌在生长过程中分泌并能够捕捉环境中铜的一种由7个氨基酸和硫酰咪唑基团组成的小分子荧光肽,它具有氧化还原活性,作为抗氧化功能性物质具有一定的应用前景<sup>[6]</sup>。MB可以与 $\text{Cu}^{2+}$ 配位形成MB-Cu配合物,同样具有氧化还原的活性,比天然酶的热稳定性更强<sup>[7-8]</sup>。由于MB本身结构中含有还原性酪氨酸酚羟基,CHOI等<sup>[9-10]</sup>研究发现,MB除了对 $\text{Cu}^{2+}$ 具有螯合能力外,在Cu(II)缺乏的环境中,也具有螯合并还原其他多种金属离子的能力,如Au(III)、Ag(I)、Co(II)、Fe(III)、Hg(II)、Mn(II)。同时通过X-射线光电子能谱发现MB将Au(III)还原得到Au(0),并通过其二硫基团静态吸附到AuNPs表面<sup>[11]</sup>。MB的这些特性,使得其可以作为Au和颗粒性甲烷单加氧酶(particulate methane monooxygenase, pMMO)之间的电子传递,同时可以构建出具有过氧化物酶活性的纳米酶<sup>[12-13]</sup>。本研究利用MB

与 $\text{Cu}^{2+}$ 配位构建MB-Cu配合物,再使其还原氯金酸而形成AuNPs并与之结合,以此构建MB-Cu@AuNPs过氧化物酶模拟酶。通过利用Gox催化葡萄糖产生的 $\text{H}_2\text{O}_2$ ,考察MB-Cu@AuNPs模拟酶偶联葡萄糖氧化酶催化 $\text{H}_2\text{O}_2$ 氧化对苯二酚的反应动力学研究以及样品中葡萄糖的检测限度,并与常规快速血糖仪的检测时间和检测范围进行比较,以期为提高葡萄糖的检测效率和检测范围奠定良好基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品与试剂

新鲜柑桔购自哈尔滨麦德龙超市。

甲烷氧化菌OB3b(*Methylosinus trichosporium* OB3b),由清华大学邢新会教授赠送;硝酸盐培养基(nitrate mineral salts medium, NMS)参照文献<sup>[14]</sup>方法配制;甲烷(纯度99.99%,北京海普气体有限公司);MCI-GEL树脂、葡萄糖、葡萄糖氧化酶(glucose oxidase, Gox)、甲醇、氯金酸、乙二胺四乙酸钠(EDTA)、对苯二酚、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、硫酸铜(分析纯,天津市天力化学试剂有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

UV-2550 紫外-可见分光光度计(日本岛津公司);Z-366 高速离心机(德国贺默公司);RV8V 旋转蒸发器(德国IKA公司);5BG-生化发酵罐(上海保兴生物设备工程公司);FDU-1200 冷冻干燥机(日本EYELA公司);高压蒸汽灭菌锅(力辰科技公司);FC-2002 甲醇检测流加控制器(华东理工大学)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 甲烷氧化细菌OB3b的发酵培养

按参考文献<sup>[15]</sup>中菌种培养基配制方法培养甲烷氧化细菌OB3b,配制3L培养基置于发酵罐中,发酵罐罐体连同罐内培养基整体置于高压蒸汽灭菌锅中灭菌(121℃、0.1MPa、30min),然后置于超净工作台冷却至室温。将发酵罐罐体与发酵设备各附件连接,控制培养温度为30℃,搅拌浆转速为180r/min,空气流量为0.5~0.8L/min。以甲醇为碳源,通过甲醇检测流加控制器自动控制发酵培养基中甲醇浓度为0.1%(V/V),培养周期为3d。

#### 1.3.2 MB的制备

8000r/min离心20min取上清液,采用动态吸附法使活化的MCI-GEL树脂(1.1cm×80cm柱层析)进行吸附,再用60%甲醇洗脱吸附,将装有已提取的甲烷氧化菌素提取液的烧瓶放入旋转蒸发器中温度40℃,转速为130r/min,将多余的甲醇溶液旋转蒸发除去,将样品冷冻干燥获得MB。将得到的MB定容至25mL容量瓶中,MB样品代替EDTA,添加量为2mL,并且每个样品进行

3次测量取平均值, 再根据工作曲线计算出其对EDTA的当量浓度。配制  $5 \times 10^{-5}$  mol/L 的 MB 溶液, 置于烧杯中, 放置冰箱冷藏保存。

### 1.3.3 MB-Cu 配合物及 MB-Cu@AuNPs 模拟酶的制备

向 2 mL 的 MB 溶液中依次加入  $8 \mu\text{L}$   $1 \times 10^{-1}$  mol/L 的硫酸铜和 1 mL  $2.4 \times 10^{-4}$  mol/L 氯金酸溶液混合均匀, 加热至  $70^\circ\text{C}$ , 反应时间 120 min, 观察紫外可见吸收光谱吸收峰的变化。以未加氯金酸的反应作对照, 通过 536 nm 吸光值变化判断 MB-Cu@AuNPs 模拟酶合成情况。

### 1.3.4 MB-Cu@AuNPs-Gox 杂化酶催化葡萄糖氧化对苯二酚的研究

5 mL 离心管中分别加入不同浓度 MB-Cu@AuNPs 模拟酶、不同浓度葡萄糖、不同浓度的 Gox 和初始浓度为  $5.0 \times 10^{-4}$  mol/L 的对苯二酚, 并用 pH=7.0 的醋酸-醋酸钠缓冲溶液定容。研究不同葡萄糖作底物、不同酶添加量对 MB-Cu@AuNPs-Gox 杂化酶催化葡萄糖氧化对苯二酚的反应动力学。用紫外-可见分光光度计每隔 5 min 扫描一次, 监控 288 nm 处吸光度值变化情况。根据公式  $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$ , 其中  $\Delta S$  表示底物对苯二酚的浓度变化,  $\Delta A$  表示对苯二酚 288 nm 处吸光值的变化, 利用朗伯比尔定律计算反应体系的初始反应速率。

### 1.3.5 快速检测葡萄糖浓度线性范围的确定

对苯二酚溶液的浓度为  $5.0 \times 10^{-4}$  mol/L, Gox 为 2.44 U/mL, pH 为 7 的磷酸盐缓冲液、葡萄糖浓度分别为  $5.0 \times 10^{-5}$ 、 $1.0 \times 10^{-5}$ 、 $5.0 \times 10^{-4}$ 、 $1.0 \times 10^{-4}$ 、 $5.0 \times 10^{-3}$ 、 $1.0 \times 10^{-3}$ 、 $5.0 \times 10^{-2}$ 、 $1.0 \times 10^{-2}$ 、 $5.0 \times 10^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-1}$  mol/L。在不同浓度葡萄糖溶液中依次加入纳米模拟酶、Gox 和对苯二酚, 用紫外-可见分光光度计每隔 5 min 扫描一次, 反应 30 min, 记录 288 nm 下的吸光度(absorbance, A)值并观察其变化情况。根据公式  $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$ , 其中  $\Delta S$  表示底物对苯二酚的浓度变化,  $\Delta A$  表示对苯二酚 288 nm 处吸光值的变化, 利用朗伯比尔定律计算反应体系的初始反应速率。

### 1.3.6 实际样品检测

样品的前处理: 柑桔去皮, 果实捣碎成均匀粘稠状, 取 2 g 加入 20 mL 无  $\text{CO}_2$  水溶解, 1200 r/min 离心 15 min 取上清液, 在 100 mL 容量瓶中定容待用。加入不同的葡萄糖标准液考察检测体系精确度。

## 2 结果与分析

### 2.1 MB-Cu 配合物及 MB-Cu@AuNPs 模拟酶构建

采用紫外可见分光光度计对 MB、MB-Cu、MB-Cu@AuNPs 反应进行分析, 结果如图 1 所示。

由图 1 看出, MB 的紫外可见光谱在加入  $\text{Cu}^{2+}$  后, 原来在 394.5、332、300 和 244.5 nm 的最大吸收峰变化较明显。其中, 394.5 nm 吸收峰随  $\text{Cu}^{2+}$  添加而明显降低, 说

明 MB 的 4-硫酰-5-羟基咪唑基团中的 S 和 Cu 发生了配位; 332 nm 吸收峰随  $\text{Cu}^{2+}$  添加而消失则说明 MB 的 4-羟基-5-硫酰咪唑基团中的 S 完全和 Cu 发生了配位, 形成 MB-Cu 配合物。当 MB-Cu 配合物中加入氯金酸时, 在 394.5 nm 仍然有最大吸收峰, 说明此时 MB-Cu 配合物并未与氯金酸发生结合。但  $70^\circ\text{C}$  加热 2 h 后, 394.5 nm 的吸收峰几乎不明显, 536 nm 的吸收峰开始出现(此处为 AuNPs 的吸收波长), 说明加入的氯金酸已经与 MB-Cu 配合物结合生成 AuNPs, 进而得到 MB 功能化纳米金(MB-Cu@AuNPs)。

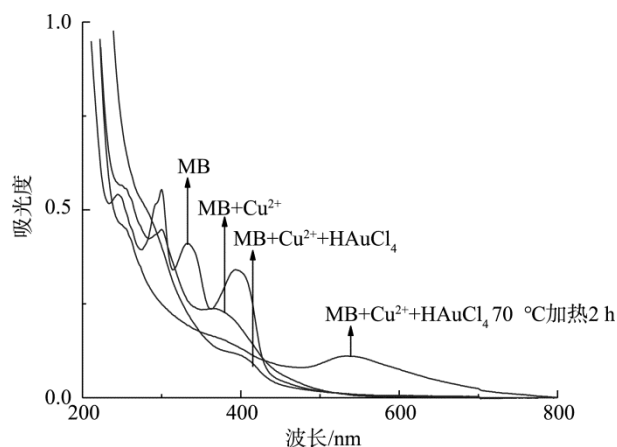


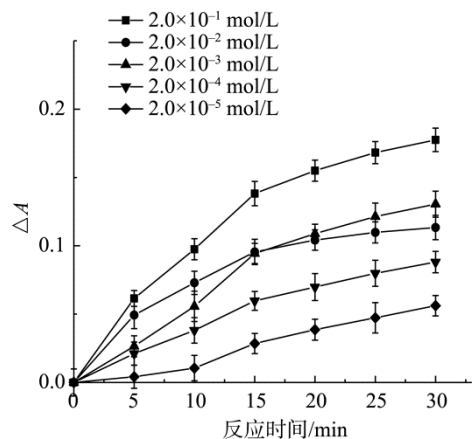
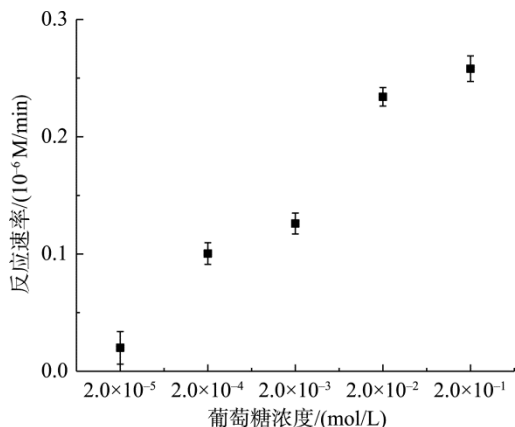
图 1 MB 组装  $\text{Cu}^{2+}$  功能化纳米金的紫外-可见光谱

Fig.1 Ultraviolet-visible absorption spectra of MB-functionalized AuNPs assembled by  $\text{Cu}^{2+}$

### 2.2 MB-Cu@AuNPs-Gox 杂化酶催化葡萄糖氧化对苯二酚反应

#### 2.2.1 葡萄糖浓度对 MB-Cu@AuNPs 模拟酶偶联 Gox 催化氧化对苯二酚的影响

由图 2 可知, 在 MB-Cu@AuNPs 偶联 Gox 的催化下, 随着反应时间的延长, 单位时间内对苯二酚 288 nm 处吸光值的变化量  $\Delta A$  也逐渐增加, 说明反应速度也逐渐加快。当曲线斜率变得逐渐平缓, 说明反应即将到达最大反应速度。在反应初期的前 5 min, 对苯二酚变化量和时间成正比且符合线性关系, 故选择 5 min 的反应速度作为反应初始速率。通过图 3 中葡萄糖浓度对 5 min 反应初始速率的影响发现, 反应初始速率随着葡萄糖浓度的提高而增高, 葡萄糖浓度为  $2.0 \times 10^{-1}$  mol/L 时, 反应初始速率提高缓慢, 说明此时葡萄糖浓度的提高对反应初始速率的影响不大, 反应初始速率达到最大值。因此葡萄糖的浓度为  $2.0 \times 10^{-2}$  mol/L 时为 MB-Cu@AuNPs-Gox 多酶催化的最适浓度。而常规采用快速血糖仪与全自动生化分析仪进行检测需要 20 min<sup>[16]</sup>, 故相比起来, 反应时间 5 min 达到了提高检测速度的效果。

图 2 不同时间催化反应速度的变化( $n=3$ )Fig.2 Change of catalytic reaction rate in different time( $n=3$ )图 3 葡萄糖浓度对 5 min 催化反应速度的影响( $n=3$ )Fig.3 Effect of glucose concentration on 5th min catalytic reaction rate( $n=3$ )

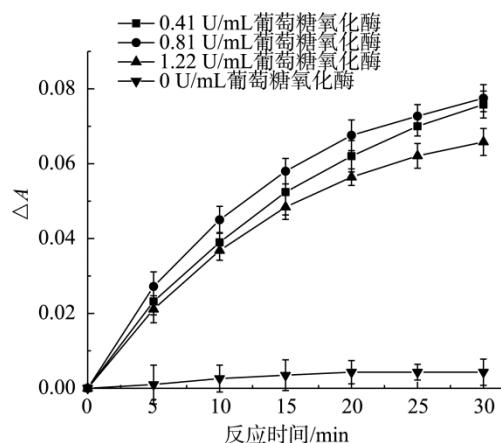
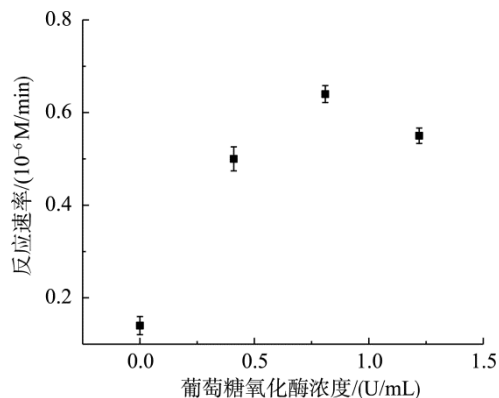
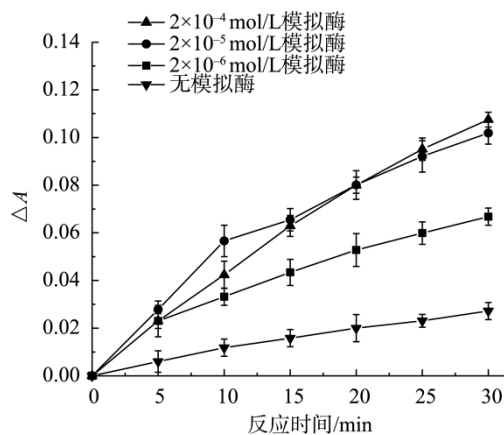
### 2.2.2 Gox 的添加量对 MB-Cu@AuNPs 模拟酶偶联 Gox 催化反应的影响

由图 4 可知,当反应体系中未添加 Gox 时,由于无  $H_2O_2$  的生成,MB-Cu@AuNPs 无法利用  $H_2O_2$  氧化对苯二酚,故此时反应曲线近乎无斜率的直线,随时间变化反应几乎没有发生。Gox 浓度的增加使反应初始速率迅速提高,但是图 5 当 Gox 浓度为 1.22 U/mL 时,5 min 的反应初始速率出现下降,分析此时可能由于底物初始浓度无法满足葡萄糖的过度消耗所导致  $H_2O_2$  的生成量减少,进而影响反应速度,故选择 Gox 浓度为 0.81 U/mL。

### 2.2.3 MB-Cu@AuNPs 模拟酶的添加量对 MB-Cu@AuNPs 模拟酶偶联 Gox 催化反应的影响

由图 6 可知,反应体系中无 MB-Cu@AuNPs 模拟酶存在时,由于 Gox 可产生足够的  $H_2O_2$ ,对苯二酚的氧化反应也能以一个稳定的速率自发进行;MB-Cu@AuNPs 模拟酶添加后,MB-Cu@AuNPs-Gox 杂化酶催化葡萄糖氧化对苯二酚的反应速度也随时间逐渐加快。图 7 当 MB-Cu@AuNPs 模拟酶浓度为  $2 \times 10^{-4}$  mol/L 时,即使酶浓度增加反应初始速率也出现下降,这可能是由于底物初始

浓度不足,葡萄糖过度消耗后,导致 Gox 催化葡萄糖产生  $H_2O_2$  的生成量减少,进而降低了反应速度,故选择 MB-Cu@AuNPs 模拟酶浓度为  $2 \times 10^{-5}$  mol/L。

图 4 不同时间 Gox 催化反应速度的变化( $n=3$ )Fig.4 Change of catalytic reaction rate of Gox in different time( $n=3$ )图 5 Gox 浓度对 5 min 催化反应速度的影响( $n=3$ )Fig.5 Effect of Gox concentration on 5th min catalytic reaction rate( $n=3$ )图 6 不同时间 MB-Cu@AuNPs 模拟酶催化反应速度的变化( $n=3$ )Fig.6 Change of catalytic reaction rate of MB-Cu@AuNPs in different time( $n=3$ )

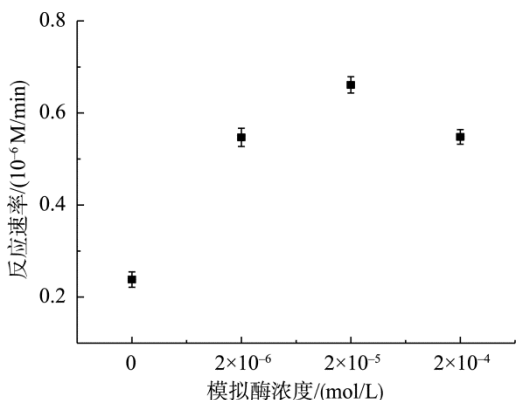


图 7 MB-Cu@AuNPs 浓度对 5 min 催化反应速度的影响(n=3)  
Fig.7 Effect of MB-Cu@AuNPs concentration on 5th min catalytic reaction rate(n=3)

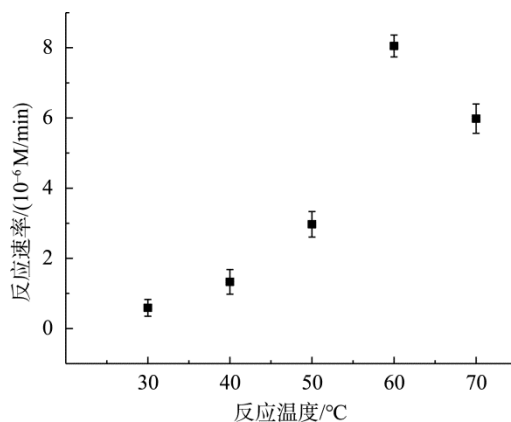


图 9 反应温度对 5 min 催化反应速度的影响(n=3)  
Fig.9 Effect of reaction temperature on 5th min catalytic reaction rate(n=3)

2.2.4 反应温度对 MB-Cu@AuNPs 模拟酶偶联 Gox 催化反应的影响

由图 8、9 可知, 当反应体系温度在 30 °C 时, 曲线的斜率基本不变, 说明此温度下 MB-Cu@AuNPs 偶联 Gox 的催化效率很低; 随着温度增加及加热时间延长, 单位时间的  $\Delta A$  也逐渐增加, 60 °C 时反应初始速率达到最大值, 而葡萄糖氧化酶在温度为 20~70 °C 均可起催化作用, 其最适温度为 30~50 °C, 说明反应体系为 60 °C 时 Gox 与 MB-Cu@AuNPs 模拟酶杂化后热稳定性也相应有所提高。

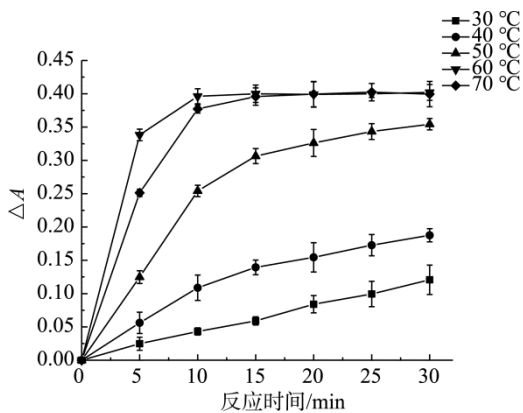


图 8 不同温度下催化反应速度的变化(n=3)  
Fig.8 Change of catalytic reaction rate of different temperature(n=3)

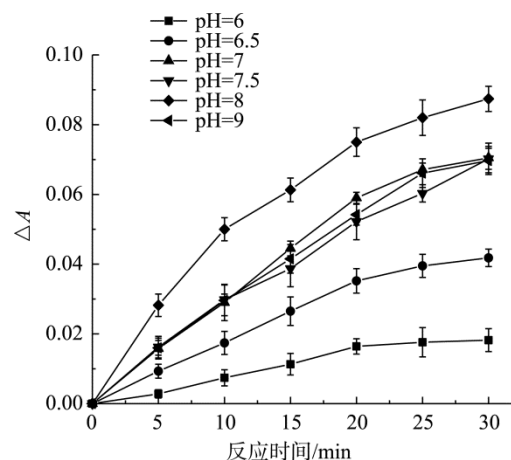


图 10 不同 pH 下催化反应速度的变化(n=3)  
Fig.10 The change of catalytic reaction rate at different pH(n=3)

2.2.5 pH 对 MB-Cu@AuNPs 模拟酶偶联 Gox 催化反应的影响

由图 10、11 可知, pH < 6 时几乎不发生反应; 随着 pH 升高及加热时间的延长, 单位时间的  $\Delta A$  也逐渐增加, 反应速度逐渐加快; 结合 pH 反应结果来看, pH=8 时反应初始速率达到最大值, 说明 MB-Cu@AuNPs 偶联 Gox 催化的反应体系最适 pH 为 8。

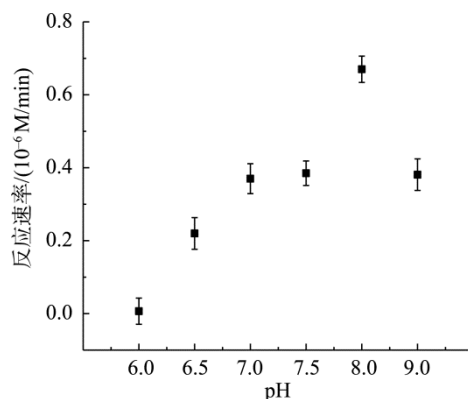


图 11 pH 对 5 min 催化反应速度的影响(n=3)  
Fig.11 Effect of pH on 5th min catalytic reaction rate(n=3)

2.2.6 MB-Cu@AuNPs 偶联 Gox 在葡萄糖检测中的线性范围

如图 12 所示, 结果显示仅当葡萄糖浓度在  $1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$  mol/L 时, 反应速率与葡萄糖浓度之间呈线

性关系。由此可知,检测葡萄糖的线性范围为  $1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$  mol/L。

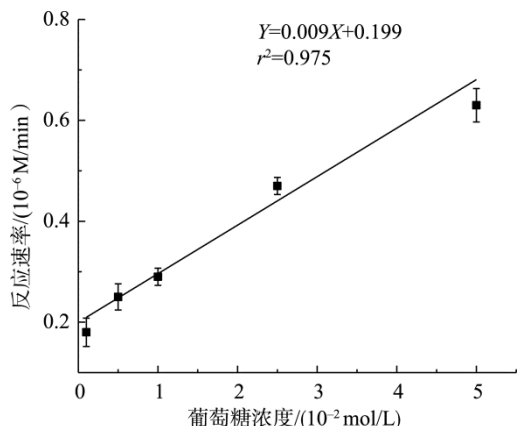


图 12 葡萄糖检测线性范围

Fig.12 Linear range of glucose detection

### 2.2.7 MB-Cu@AuNPs 偶联 Gox 纳米酶检测体系与血糖快速检测仪检测结果比较

检测结果见表 1。

表 1 纳米酶检测体系与血糖快速检测仪分析比较

Table 1 Analysis and comparison of nanometer enzyme detection system and rapid blood glucose detector

	纳米酶体系	血糖快速检测
检测时间	10 min	20 min
检测范围	1~50 mmol/L	1.1~33 mmol/L

MB-Cu@AuNPs 偶联 Gox 检测体系相比于血糖快速检测优点在于反应速度快,用时短,MB-Cu@AuNPs 偶联 Gox 检测体系检测范围略高于血糖快速检测。

### 2.2.8 实际样品检测结果

在柑桔样品提取液中加入葡萄糖标准溶液,以此判定检测体系对样品中不同葡萄糖浓度的精密密度,每组实验重复 3 次,结果如表 2 所示。

表 2 柑桔样品中不同葡萄糖浓度的精密密度

Table 2 Precision of different glucose concentrations in citrus samples

加标量/(mol/L)	测定值/(mol/L)	回收率/%	相对标准偏差/%
0	0.0036	—	2.31
0.005	0.0085	98	3.11
0.01	0.0141	105	1.55
0.02	0.0239	102	2.16

由表 2 可知每组相对标准偏差都在 5%以内,说明该模拟酶检测体系具有良好的精密密度且重复性良好,有望应

用于实际样品中葡萄糖的检测。

## 3 结论与讨论

本研究通过 MB-Cu 配合物结合 AuNPs 构建 MB-Cu@AuNPs 模拟酶后,再与 Gox 偶联形成 MB-Cu@AuNPs-Gox 杂化酶,探究不同葡萄糖浓度、Gox 浓度、MB-Cu@AuNPs 模拟酶浓度、反应温度及 pH 对催化氧化对苯二酚反应影响的最佳条件,并确定所制得的 MB-Cu@AuNPs-Gox 杂化酶与对苯二酚反应用于测定葡萄糖含量的线性限度,最终获得一种相对于快速血糖检测仪更快捷的葡萄糖含量检测方法,为将来将此体系应用于粮油、食品中葡萄糖含量测定,提供重要参考意义。

### 参考文献

- 董雪洁, 汤传凯, 张宏民, 等. 结果枝上着生叶片数对早熟柑橘‘兴津早生’果实肥大及品质影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(8): 1886-1891. DONG XJ, TANG CK, ZHANG HM, *et al.* Effect of number of leaves on bearing branch on fruit hypertrophy and quality of early maturing citrus ‘Okitus wase’ [J]. Southwest China J Agric Sci, 2019, 32(8): 1886-1891.
- 尹娟娟, 朱书强, 刘煜. 磁性纳米多酶催化剂的制备及其用于葡萄糖浓度的检测[J]. 分析实验室, 2019, 38(12): 1486-1489. YIN JJ, ZHU SQ, LIU Y, *et al.* Synthesis of multi-enzyme catalyst and its application in detection of glucose [J]. Chin J Anal Lab, 2019, 38(12): 1486-1489.
- 罗成, 李艳, 龙建纲. 纳米材料模拟酶的应用研究进展[J]. 中国科学: 化学, 2015, 45(10): 1026-1041. LUO C, LI Y, LONG JG. Recent advances in applications of nanoparticles as enzyme mimetics [J]. Sci Sin (Chim), 2015, 45(10): 1026-1041.
- 关桦楠, 宋岩, 龚德状, 等. 新型纳米模拟酶在食品安全分析中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2019, (15): 356-367. GUAN HN, SONG Y, GONG DZ, *et al.* Research progress on application of novel nano-enzyme mimetics in food safety analysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, (15): 356-367.
- KALELE, SUCHITA, GOSAVI, *et al.* Nanoshell particles: synthesis, properties and applications [J]. Curr Sci, 2006, 40(6): 475-483.
- TROTSSENKO YA, MURRELL JC. Metabolic aspects of aerobic obligate methanotrophy [J]. Adv Appl Microbiol, 2008, (63): 183-189.
- 李军, 张毅, 尚宏利, 等. 模拟过氧化物酶催化苯酚氧化降解的动力学[J]. 化学工程, 2008, 36(8): 36-39. LI J, ZHANG Y, SHANG HL, *et al.* Kinetics of phenolic oxidation decomposing catalyzed by mimetic peroxidases [J]. Chem Eng, 2008, 36(8): 36-39.
- 辛嘉英, 姜加良, 张帅, 等. 甲烷氧化菌素-铜配合物催化过氧化氢氧化对苯二酚[J]. 高等学校化学学报, 2013, 34(5): 1233-1239. XIN JY, JIANG JL, ZHANG S, *et al.* Oxidation of hydroquinone catalyzed by methanobactin-Cu with hydrogen peroxide [J]. Chem J Chin Univ, 2013, 34(5): 1233-1239.
- CHOI DW, DO YS, ZEA CJ, *et al.* Spectral and thermodynamic properties of Ag(I), Au(III), Cd(II), Co(II), Fe(III), Hg(II), Mn(II), Ni(II), Pb(II), U(IV), and Zn(II) binding by methanobactin from *Methylophilum trichosporium* OB3b [J]. J Inorg Biochem, 2006, (100): 2150-2161.

- [10] DONG W, CHOI, WILLIAM E, *et al.* Effect of methanobactin on the activity and electron paramagnetic resonance spectra of the membrane-associated methane monooxygenase in *Methylococcus capsulatus* Bath [J]. *Microbiology*, 2005, 151(10): 3417–3426.
- [11] 周叶锋, 廖晓兰, 黄璜, 等. 甲烷氧化细菌氧化活性影响因素的研究 [J]. *微生物学杂志*, 2008, 28(3): 77–80.  
ZHOU YF, LIAO XL, HUANG H, *et al.* Influence factors of oxidation activity of methanotrophs [J]. *J Microbiol*, 2008, 28(3): 77–80.
- [12] 李春雨, 辛嘉英, 林惠颖, 等. 铜离子配位甲烷氧化菌素功能化纳米金模拟过氧化物酶的研究 [J]. *分子催化*, 2017, 31(5): 480–485.  
LI CY, XIN JY, LIN HY, *et al.* Study on functionalized gold nanoparticles of methanobactin by copper ion coordination used as simulated peroxidase [J]. *J Mol Catal*, 2017, 31(5): 480–485.
- [13] 辛嘉英, 阎明飞, 周琦琼, 等. 甲烷氧化细菌的铜捕获机理 [J]. *分子催化*, 2009, 23(5): 470–476.  
XIN JY, YAN MF, ZHOU QQ, *et al.* Copper capture mechanism of methane oxidizing bacteria [J]. *J Mol Catal*, 2009, 23(5): 470–476.
- [14] BEHLING LA, HARTSEL SC, CHOI DW, *et al.* NMR, mass spectrometry and chemical evidence reveal a different chemical structure for methanobactin that contains oxazolone rings [J]. *J Am Chem Soc*, 2011, 130(38): 12604–12605.
- [15] 辛嘉英, 董静, 闫超泽, 等. 甲烷氧化菌素的产生和铜捕获作用 [J]. *中国生物工程杂志*, 2011, 31(8): 40–46.  
XIN JY, DONG J, YAN CZ, *et al.* Production and copper acquisition ability of methanobactin [J]. *Chin Biotechnol*, 2011, 31(8): 40–46.
- [16] 孙立慧. 快速血糖仪与全自动生化分析仪检测血葡萄糖的结果比较 [J]. *医疗装备*, 2019, (14): 42–43.  
SUN LH. Comparison of blood glucose detection results between rapid blood glucose meter and automatic biochemical analyze [J]. *Med Equip*, 2019, (14): 42–43.

(责任编辑: 张晓寒)

### 作者简介



张 帅, 硕士, 副教授, 主要研究方向为食品生物技术。

E-mail: roson5@163.com



辛嘉英, 博士, 教授, 主要研究方向为生物催化、食品生物技术。

E-mail: xinjiaying@163.com

## “食品保鲜与贮藏”专题征稿函

随着生活水平的逐渐提高, 人们对食品的质量有了更高的要求。因此, 保鲜技术被广泛应用于食品的加工流通过程中。如何保持食品的新鲜度以及食品在储藏过程中的安全性成为目前研究的重点。

鉴于此, 本刊特别策划了“食品保鲜与贮藏”专题, 由浙江大学 罗自生 教授 担任专题主编, 主要围绕 (1)果蔬、粮食、水产品、禽肉制品等食品保鲜方法、技术; (2)食品在储藏中的生理、生化变化; (3)食品腐败以及控制方法等或您认为有意义的领域展开讨论, 计划在 2021 年 6 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊主编国家风险评估 吴永宁 研究员 及浙江大学 罗自生教授 特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2021 年 4 月 19 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

感谢您的参与和支持!

投稿方式(注明专题): 食品保鲜与贮藏

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoods@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部