

# 快速检测羟自由基的试纸开发

李欣<sup>1</sup>, 古海妮萨·麦合木提<sup>2</sup>, 艾尔肯·依不拉音<sup>1\*</sup>

(1. 新疆医科大学中心实验室, 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆医科大学药学院, 乌鲁木齐 830011)

**摘要: 目的** 开发用试纸条检测羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )的方法, 并用该方法检测具有抗氧化活性的物质。**方法** 利用 Fenton 反应的原理, 优化羟基萘酚蓝(hydroxynaphthol blue, HNB)浓度、显色剂浓度、pH、金属离子和  $\text{H}_2\text{O}_2$  等条件, 并测定产生的羟自由基产生量, 通过观察试纸的颜色变化检测  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量。**结果** 最佳试纸条件为:  $\text{Mn}^{2+}$  的浓度是  $2 \times 10^{-6}$  mol/L、pH 10.5 的 NaOH- $\text{KHCO}_3$  缓冲溶液、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L、 $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液浓度为 0.15 mol/L。以硫尿、甘露醇为对照, 优化试纸条件检测  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 验证其可以检测具有抗氧化活性的物质。**结论** 所建立的试纸检测方法简单、方便、快速, 可用于现场抗氧化物质清除率羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )活性的快速检测方法。

**关键词:** 抗羟自由基; 抗氧化活性; 试纸法; 快速检测

## Development of the test paper for rapid detection of hydroxyl radical

LI Xin<sup>1</sup>, GUHAINISA Mahemut<sup>2</sup>, ARKIN Iburayim<sup>1\*</sup>

(1. Central Laboratory, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China;  
2. College of pharmacy, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China)

**ABSTRACT: Objective** To develop a method of detecting hydroxyl radical with test paper, and to detect the antioxidant by this test paper. **Methods** The conditions of hydroxynaphthol blue (HNB) concentration, developer concentration, pH, metal ion and  $\text{H}_2\text{O}_2$  were optimized, the amount of hydroxyl free radical produced was determined, and the amount of  $\text{H}_2\text{O}_2$  would be detected by the color change of the test paper. **Results** The optimal test paper conditions were as follows: the concentration of  $\text{Mn}^{2+}$  was  $2 \times 10^{-6}$  mol/L, the pH value was 10.5 (NaOH- $\text{KHCO}_3$  buffer solution), the concentration of HNB was  $5 \times 10^{-3}$  mol/L, and the concentration of  $\text{H}_2\text{O}_2$  solution was 0.15 mol/L. Compared with thiourea and mannitol,  $\text{H}_2\text{O}_2$  was detected by optimizing the test paper, and the results showed this test paper could be used to detect the antioxidant with the active ability of hydroxyl radical. **Conclusion** This method is simple, convenient and rapid, which can be used for the rapid detection of hydroxyl radical activity.

**KEY WORDS:** antihydroxyl radical; antioxidation activity; paper method; rapid detection

## 0 引言

羟自由基是一种氧化能力很强的自由基, 人体在正

常的生理代谢过程中会产生少量羟自由基, 其对人体不构成威胁, 并且可以帮助传递维持生命力的能量, 增强免疫力、消除炎症、抑制肿瘤等<sup>[1]</sup>。但人体内自由基过多, 可

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2021D01C284)

Fund: Supported by the Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2021D01C284)

\*通信作者: 艾尔肯·依不拉音, 博士, 教授, 主要研究方向为食品分析、在线分析。E-mail: 1262831748@qq.com

\*Corresponding author: ARKIN Iburayim, Ph.D, Professor, Xinjiang Medical University, No.393, Xinyi Road, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China. E-mail: 1262831748@qq.com

以通过电子转移、加成以及脱氢等方式与生物体内的糖类、氨基酸、蛋白质、核酸和脂类等物质都发生反应,使细胞、组织、器官损伤或坏死,干扰人体的正常代谢活动,引起疾病并加速人体衰老进程<sup>[2-3]</sup>。因此,寻找外源性抗氧化剂对治疗疾病和保护身体健康很有益处。

清除自由基是评价抗氧化剂抗氧化活性的一种常用方法。目前,羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )定量检测方法有很多种,如电子自旋共振法(electron spin resonance, ESR)、电子捕获检测法(electron capture detector, ECD)、荧光检测法(fluorimetry, FL)、化学荧光分析法(chemical fluorimetry, CA)、分光光度法(ultraviolet spectrometry, UV)和质谱法(mass spectrometry, MS)等<sup>[4]</sup>。这些方法有的需要特殊仪器,有的灵敏度低、检测时间长,有的操作频繁,使其应用受到限制<sup>[5-6]</sup>。同时,羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )定量检测方法对样品的取样量有一定要求,较难实现微量样品的检测。

试纸条是干化学发展初期的一种检测形式,它以滤纸为载体,将各种试剂成分浸泡后干燥,作为试剂层。样品浸泡试纸条后,与试剂发生反应,产生颜色变化。因试纸法具有操作简单、价格低廉、灵敏度高、携带方便等优越性,操作人员无需进行特地培训,非常适用于快速的现场监测<sup>[7-8]</sup>。随着试纸法的不断发展,与其相配套的微型检测仪器也相应出现<sup>[9-10]</sup>。本研究利用 Fenton 反应原理制备快速检测样品抗氧化活性检测的试纸条<sup>[11-12]</sup>,不但显色迅速,而且试纸条底色和反应后的显色层次较大,增加了检测的灵敏度,同时解决了反应物颜色结果的保存问题,具有很强的应用前景。

一种快速、灵敏度较高、方便、廉价的抗氧化活性检测试纸,能更好的保护人们的安全。因此本研究建立用试纸条检测羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )的方法,实现在短时间内快速检测微量样品是否具有抗氧化活性的目的,以期应用到检测保健食品、化妆品、食品的添加剂及绿色食品现场快速测定应用中。

## 1 仪器与试剂

### 1.1 仪器

UV-2550 型紫外可见分光光度计(日本 Shimadzu 公司); PHS-3C pH 酸度计(上海仪电科学仪器股份有限公司); AG135 电子天平(瑞士梅特勒托利多公司)。

### 1.2 试剂

30%过氧化氢( $\text{H}_2\text{O}_2$ , 分析纯,中外合资上海远大过氧化物有限公司);  $\text{Mn}^{2+}$  标准溶液(国标试剂, GSB04-1736-2004, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 氢氧化钠( $\text{NaOH}$ , 分析纯,天津永晟精细化工有限公司); 四硼酸钠( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , 分析纯,天津市福晨化学试剂厂); 抗坏血酸( $\text{VC}$ , 分析纯, A5960, 美国 sigma 公司); 硫脲(分

析纯,天津市优谱化学试剂有限公司); 甘露醇、硫酸亚铁(分析纯,天津市盛奥化学试剂有限公司); 钛铁试剂(分析纯,天津市福晨化学试剂厂); 羟基萘酚蓝(hydroxynaphthol blue, HNB, 分析纯,上海安谱实验科技股份有限公司); 实验用水为二次蒸馏水。

### 1.3 实验材料

定性滤纸、定量滤纸、双圈定性滤纸(快速、中速、慢速滤纸, GB/T 1914—2007, ASTM E832-81, 杭州特种纸业有限公司)。

### 1.4 实验方法

#### 1.4.1 实验原理

试纸检测方法的原理是 Fenton 反应的基础上,产生的羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )迅速氧化分解吡啶偶氮类化合物 HNB 与金属离子( $\text{Mn}^{2+}$ )反应生成的螯合物,在极短时间内发生颜色变化,从而可间接快速检测羟自由基的产生量。如果在体系中添加硫脲、甘露醇等抗氧化活性物质可以抑制分解反应速率,通过抑制或延缓螯合物的分解反应速率对抗氧化物质的活性进行评价。过氧化氢与亚铁离子的结合即为 Fenton 试剂,其中  $\text{Fe}^{2+}$  主要是作为同质催化剂,而  $\text{H}_2\text{O}_2$  则起氧化作用。Fenton 反应的特点主要是: Fenton 反应能产生大量的非常活泼的羟自由基( $\cdot\text{OH}$ ),羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )氧化能力仅次于氟,利用羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )的极强氧化性,能氧化分解吡啶偶氮类化合物,并且羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )作为反应的中间产物,可很好诱发后面的链式反应。

#### 1.4.2 抗氧化活性检测试纸制备

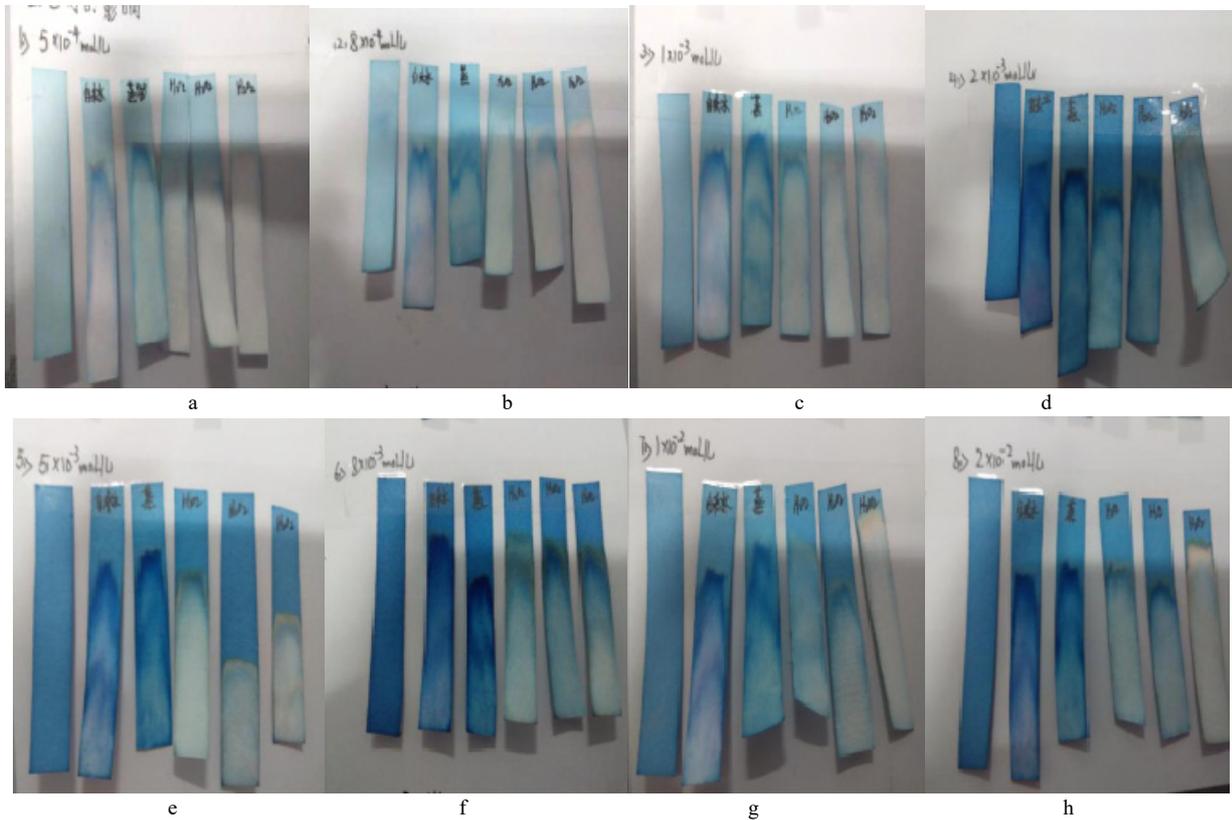
将定量滤纸裁成 1.2 cm×4.8 cm 试纸片,在试管里面生成 Fenton 反应体系,反应体系有显色剂+pH 缓冲溶液+金属离子,将裁成 1.2 cm×4.8 cm 的定量滤纸充分浸泡在反应体系 2 min, 2 min 后取出浸泡的定量滤纸片自然晾干,自然晾干后试纸片上分别滴 20  $\mu\text{L}$  的自来水、蒸馏水、0.2 mol/L 的过氧化氢。甘露醇、硫脲作为对照,自然晾干以后观察颜色变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 条件实验

#### 2.1.1 显色剂浓度的选择

在抗氧化活性检测试纸的制作过程中,为了在滤纸上完全发生 Fenton 反应,要慎重选择显色剂和显色剂浓度。按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中  $\text{Mn}^{2+}$  的浓度是  $1\times 10^{-5}$  mol/L、pH 10.8 的( $\text{NaOH-KHCO}_3$  缓冲溶液)、 $\text{H}_2\text{O}_2$  的浓度是 0.2 mol/L。最终结果见图 1,每图中的试纸从左至右分别为:空白试纸、试纸滴加自来水、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢。结果表明,当 HNB 的浓度为  $5\times 10^{-3}$  mol/L 时试纸蓝色褪色最明显容易观察颜色变化,所以本研究选择的最佳 HNB 浓度为  $5\times 10^{-3}$  mol/L。



注: a~h:  $5 \times 10^{-4}$ 、 $8 \times 10^{-4}$ 、 $1 \times 10^{-3}$ 、 $2 \times 10^{-3}$ 、 $5 \times 10^{-3}$ 、 $8 \times 10^{-3}$ 、 $1 \times 10^{-2}$ 、 $2 \times 10^{-2}$  mol/L 的 HNB。

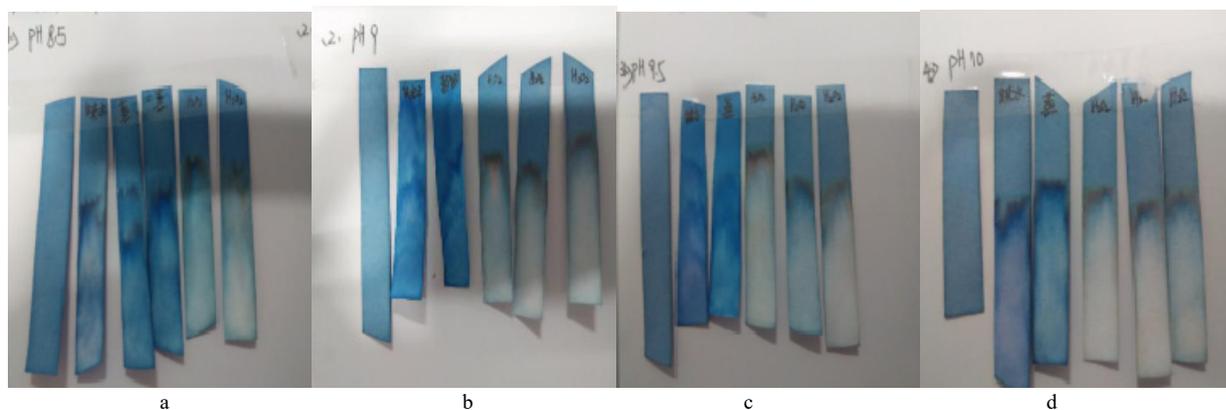
图1 HNB对反应体系的影响

Fig.1 Effect of HNB concentration on reaction system

### 2.1.2 不同 pH 的影响

探究不同 pH 体系对试纸上发生反应的影响。按 1.4.2 的方法制备试纸条。本研究中  $Mn^{2+}$  的浓度为  $1 \times 10^{-5}$  mol/L、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L、 $H_2O_2$  的浓度是 0.2 mol/L。结果见图 2，每图中的试纸从左至右分别为：空白试纸、试纸

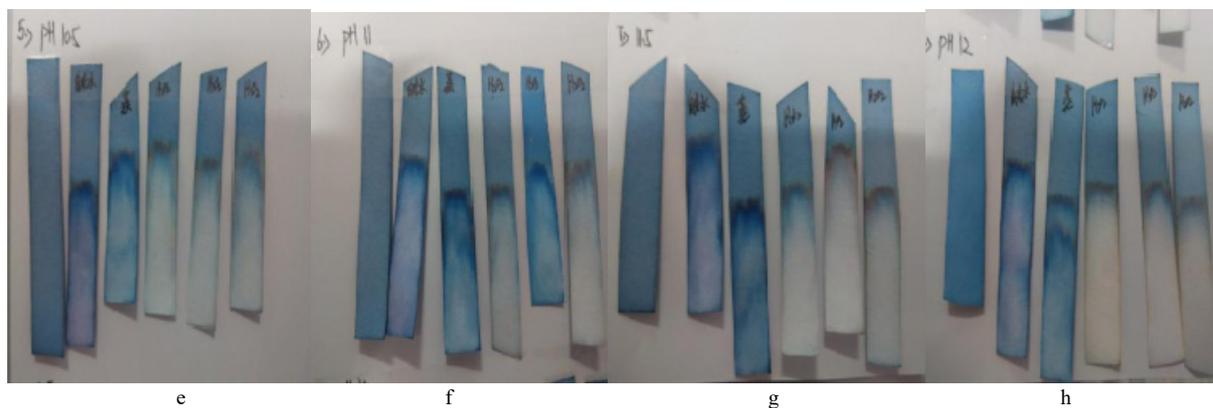
滴加自来水、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢。结果表明，当在 pH 8.5~12 的(NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液) 范围内时，试纸颜色呈天蓝色，颜色基本无差别，加  $H_2O_2$  以后的结果与不同 pH 值低的试纸无明显变化，考虑课题组前期研究成果<sup>[13]</sup>，本研究选择 pH 值为 10.5。



注: a~h: pH 为 8.5、9、9.5、10、10.5、11、11.5、12 的 NaOH-NaHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液。

图2 pH对反应体系的影响

Fig.2 Effect of pH on reaction system



注: a-h: pH 为 8.5、9、9.5、10、10.5、11、11.5、12 的 NaOH-NaHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液。

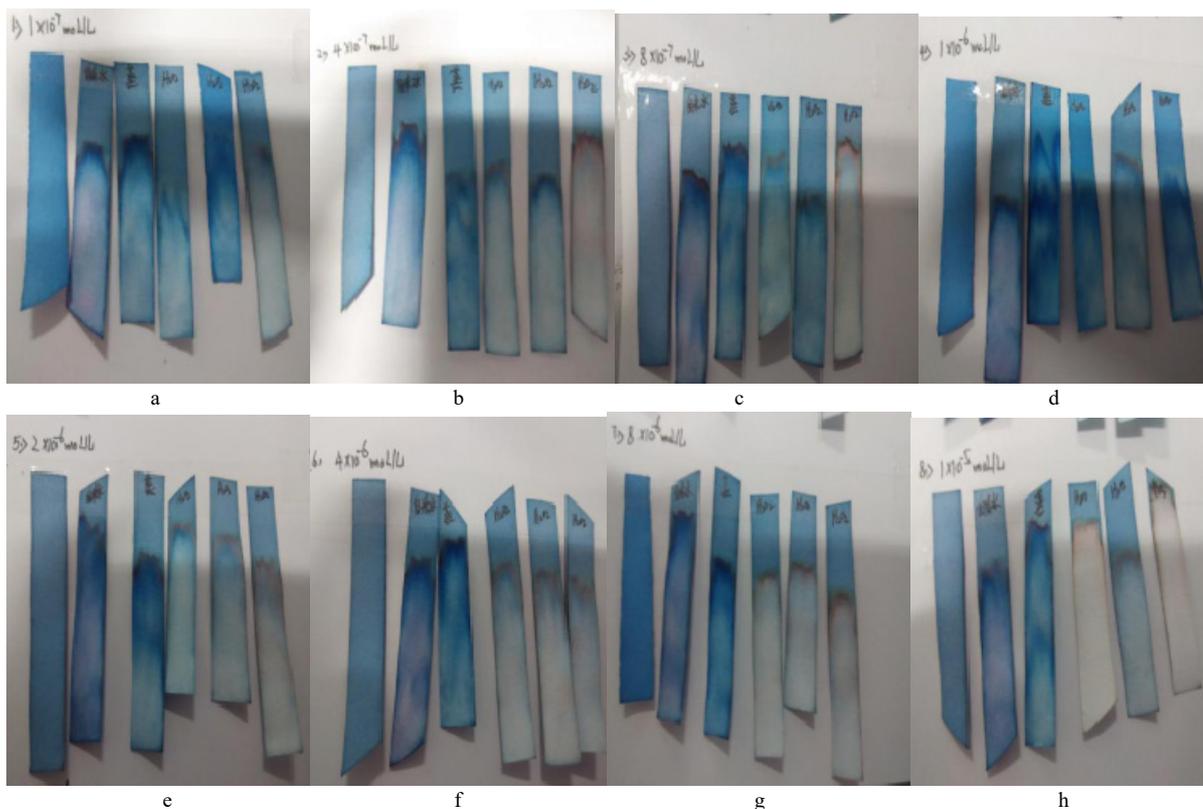
图 2(续) pH 对反应体系的影响

Fig.2 Effect of pH on reaction system

### 2.1.3 金属离子的影响

探究不同 Mn<sup>2+</sup> 的浓度对试纸上发生反应的影响。按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中 pH 10.5 的 (NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液), HNB 浓度为 5×10<sup>-3</sup> mol/L、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的浓度是 0.2 mol/L。结果可见图 3, 每图中的试纸从左至

右分别为: 空白试纸、试纸滴加自来水、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢。结果表明, 当 Mn<sup>2+</sup> 的浓度是 1×10<sup>-7</sup>~1×10<sup>-5</sup> mol/L 时, Mn<sup>2+</sup> 浓度为 2×10<sup>-6</sup> mol/L 时的试纸颜色明显有变化, 因此本研究选择 2×10<sup>-6</sup> mol/L 作为 Mn<sup>2+</sup> 的最佳浓度是。



注: a-h: 1×10<sup>-7</sup>、4×10<sup>-7</sup>、8×10<sup>-7</sup>、1×10<sup>-6</sup>、2×10<sup>-6</sup>、4×10<sup>-6</sup>、8×10<sup>-6</sup>、1×10<sup>-5</sup> mol/L 的 Mn<sup>2+</sup> 浓度。

图 3 Mn<sup>2+</sup> 对反应体系的影响

Fig.3 Effect of Mn<sup>2+</sup> concentration on reaction system

#### 2.1.4 反应时间的影响

探究不同时间对反应体系的影响。按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中 pH 10.5 的(NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液)、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L、Mn<sup>2+</sup> 的浓度是  $2 \times 10^{-6}$  mol/L、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的浓度是 0.2 mol/L。检测的定量中速滤纸分别浸泡在反应体系(显色剂+金属离子+pH 缓冲溶液)中 0.5、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0、5.0、10.0 min, 取出来观察试纸的颜色变化。结果可看图 4, 每图中的试纸从左至右分别为: 空白试纸、试纸滴加自来水、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢。实验结果可以看出来, 反应 2 min 以后试纸的颜色没有太大的变化, 所以本研究的最佳反应时间是 2 min。

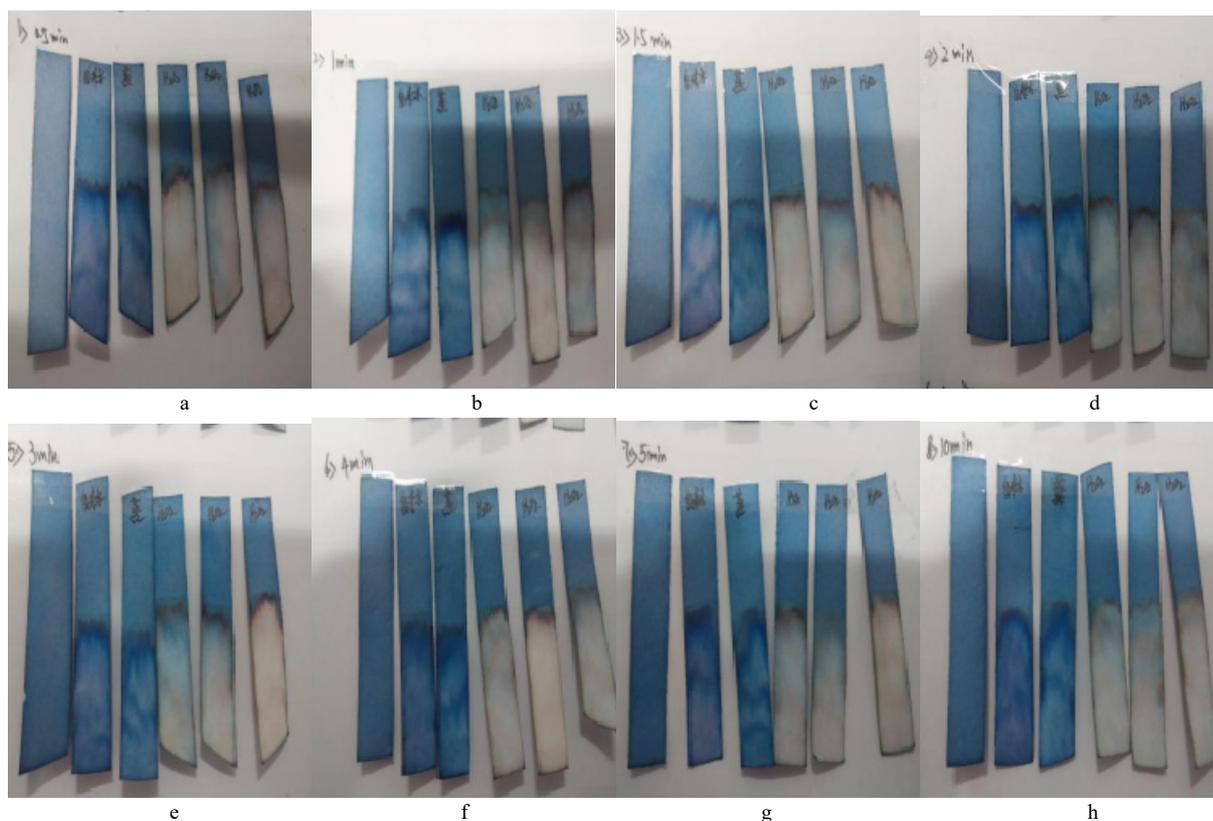
#### 2.1.5 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 取样量的确定

探究不同取样量对试纸反应体系的影响。按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中 Mn<sup>2+</sup> 的浓度是  $2 \times 10^{-6}$  mol/L、pH 10.5 的(NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液)、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的浓度是 0.2 mol/L。当检测试纸上分别滴 5、10、15、20、25、30、35、40 μL 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 观察试纸的颜色变化。结果可看图 5, 每图中的试纸从左至右分

别为: 空白试纸、试纸滴加自来水、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢。实验结果可以看出来, 取样量 30 μL 时试纸的颜色明显, 观察方便, 所以本研究选择的最佳 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 取样量是 30 μL。

#### 2.1.6 表面活性剂的影响

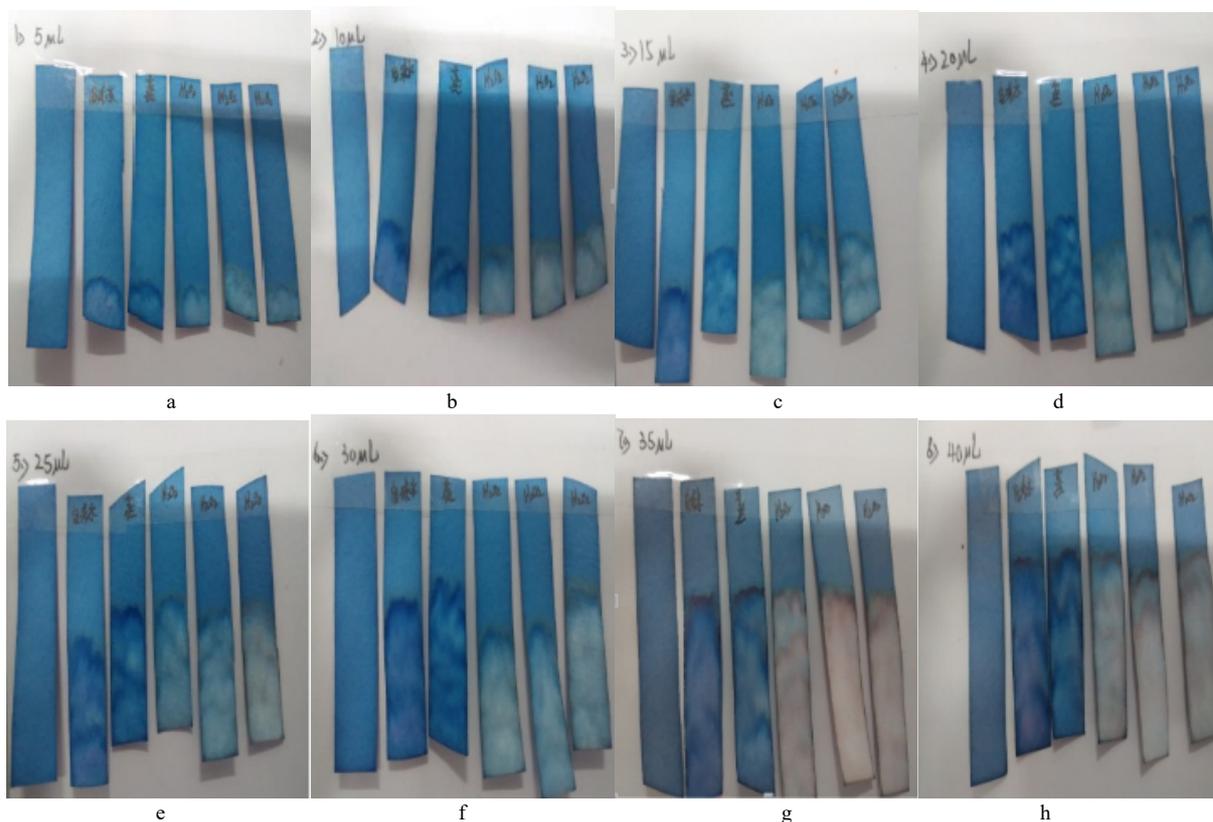
试纸法常用的表面活性剂有钛铁试剂、CAPS 表面活性剂等。按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中 Mn<sup>2+</sup> 的浓度是  $2 \times 10^{-6}$  mol/L、pH 10.5 的(NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液)、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的浓度是 0.2 mol/L。结果见图 6, 每图中的试纸从左至右分别为: 空白试纸、试纸滴加自来水、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢。实验结果表明, 当反应体系加钛铁试剂表面活性和 CAPS 表面活性剂, 不加表面活性剂的时候, 加钛铁试剂表面活性的时候试纸的颜色变化明显, 但是加不同浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的时候没有明显的变化。这个可能是钛铁试剂表面活性剂促进 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分散在试纸中, 没有观察到显著的颜色变化, 所以本研究没必要用表面活性剂, 而用表面活性剂会影响本研究的准确性。



注: a~h: 反应时间为 0.5、1、1.5、2、3、4、5、10 min。

图 4 反应时间对反应体系的影响

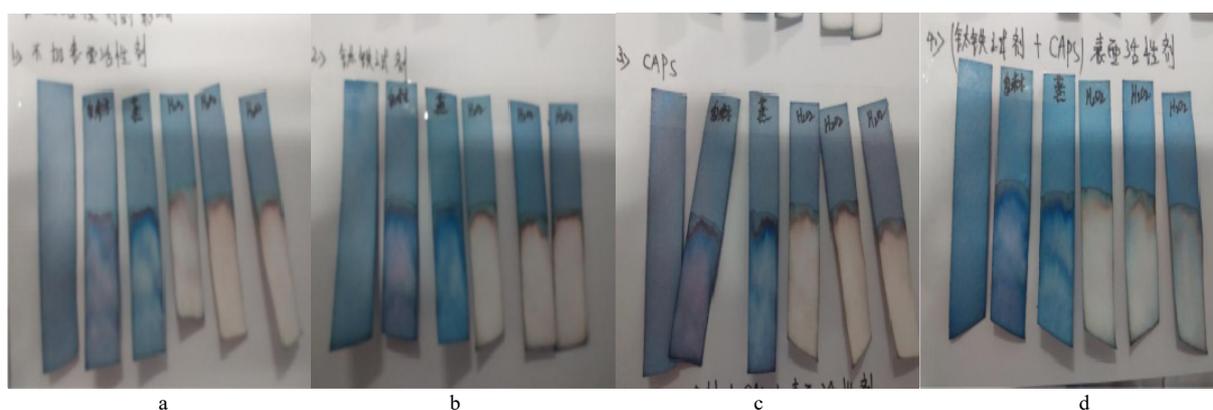
Fig.4 Effect of response time on reaction system



注: a~h: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 取样量为 5、10、15、20、25、30、35、40 μL。

图 5 取样量对反应体系的影响

Fig.5 Effect of sample volume on reaction system



注: a~d 表示: 不加表面活性剂、添加钛铁试剂、添加 CAPS 试剂、添加钛铁试剂+CAPS 试剂的试纸。

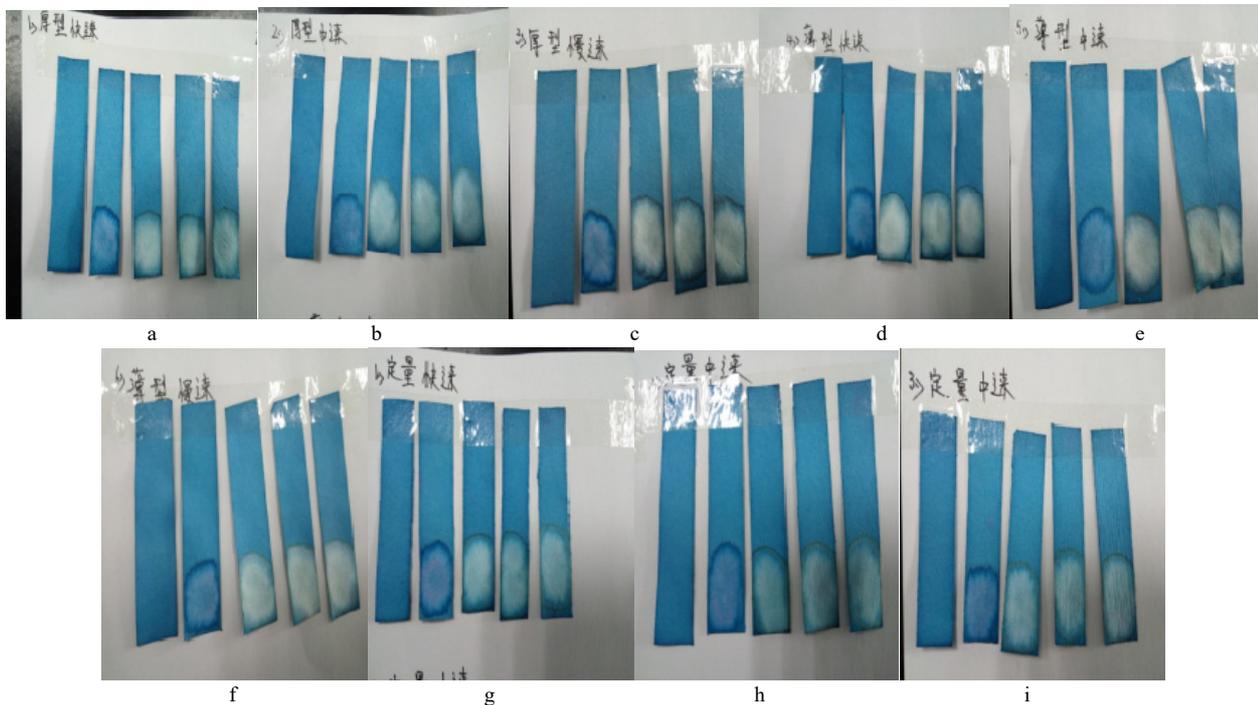
图 6 表面活性剂对反应体系的影响

Fig.6 Effect of surface active agent on reaction system

### 2.1.7 滤纸的选择

探究不同滤纸对反应体系的影响。按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中 Mn<sup>2+</sup> 的浓度是 2×10<sup>-6</sup> mol/L、pH 10.5 的 (NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液)、HNB 浓度为 5×10<sup>-3</sup> mol/L、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的浓度是 0.2 mol/L。分别选用快速、

中速、慢速定量, 定性滤纸制作检测试纸, 从显色情况来看, 各种滤纸的显色效果相差不大, 结果见图 7, 每图中的试纸从左至右分别为: 空白试纸、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢。最后选用中速定量滤纸作为本研究的载体。



注: a~i: 定性滤纸(快速、中速、慢速), 双圈定性滤纸(快速、中速、慢速), 定量滤纸(快速、中速、慢速)。

图7 滤纸对反应体系的影响

Fig.7 Effect of filter paper on reaction system

### 2.1.8 试纸的稳定性

按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中  $Mn^{2+}$  的浓度是  $2 \times 10^{-6}$  mol/L、pH 10.5 的(NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液)、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L。试纸在 3 个不同温度条件下(4、25、37 °C)放置 6 h, 1 个月后取出来, 上面滴 0.3 mol/L 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液, 试纸的颜色跟现取出来的试纸条颜色基本相同。试纸在常温、干燥、避光条件下保存, 1 年后的和新制备的试纸检测结果比较无明显差异, 稳定性较好。

### 2.1.9 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的影响

探究不同浓度 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液对试纸反应体系的影响。按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中  $Mn^{2+}$  的浓度是  $2 \times 10^{-6}$  mol/L、pH 10.5 的(NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液)、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L。按上面优化条件出来的试纸上分别滴 0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35、0.4 mol/L 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液 30 μL, 观察 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 对试纸反应后的颜色变化。实验结果(见图 8)表明, 每图中的试纸从左至右分别为: 空白试纸、试纸滴加自来水、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢。本研究的最佳 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液浓度是 0.15 mol/L。

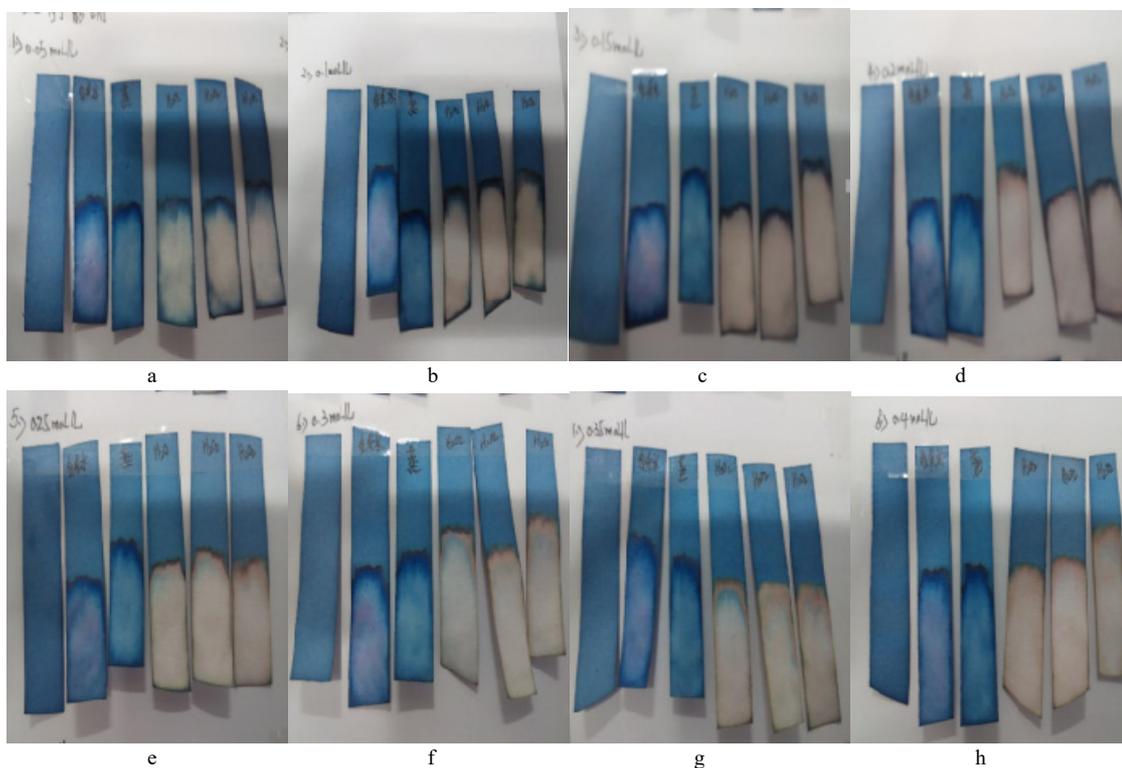
实验结果表明, 本研究的最佳试纸条件为:  $Mn^{2+}$  的浓度是  $2 \times 10^{-6}$  mol/L、pH 10.5 的(NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液)、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液浓度是 0.15 mol/L。

## 2.2 抗氧化剂清除羟自由基作用

按 1.4.2 的方法准备试纸条。本研究中  $Mn^{2+}$  的浓度是  $2 \times 10^{-6}$  mol/L、pH 10.5 的(NaOH-KHCO<sub>3</sub> 缓冲溶液)、HNB 浓度为  $5 \times 10^{-3}$  mol/L、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液浓度是 0.15 mol/L。甘露醇、硫脲均为羟自由基清除剂, 检测此 2 种药物的清除羟自由基的效果, 以反证该方法的有效性, 抗氧化剂与清除率的量效关系如图 9 和图 10 所示, 每图中的试纸从左至右分别为: 空白试纸、试纸滴加自来水、试纸滴加蒸馏水、平行三分试纸滴加过氧化氢、平行三分试纸滴加硫脲(图 9)或甘露醇(图 10)。实验结果表明, 试纸均发生明显变色, HNB- $Mn^{2+}$ -H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 试纸法制作的试纸条可靠, 可以广泛应用。

## 3 结论与讨论

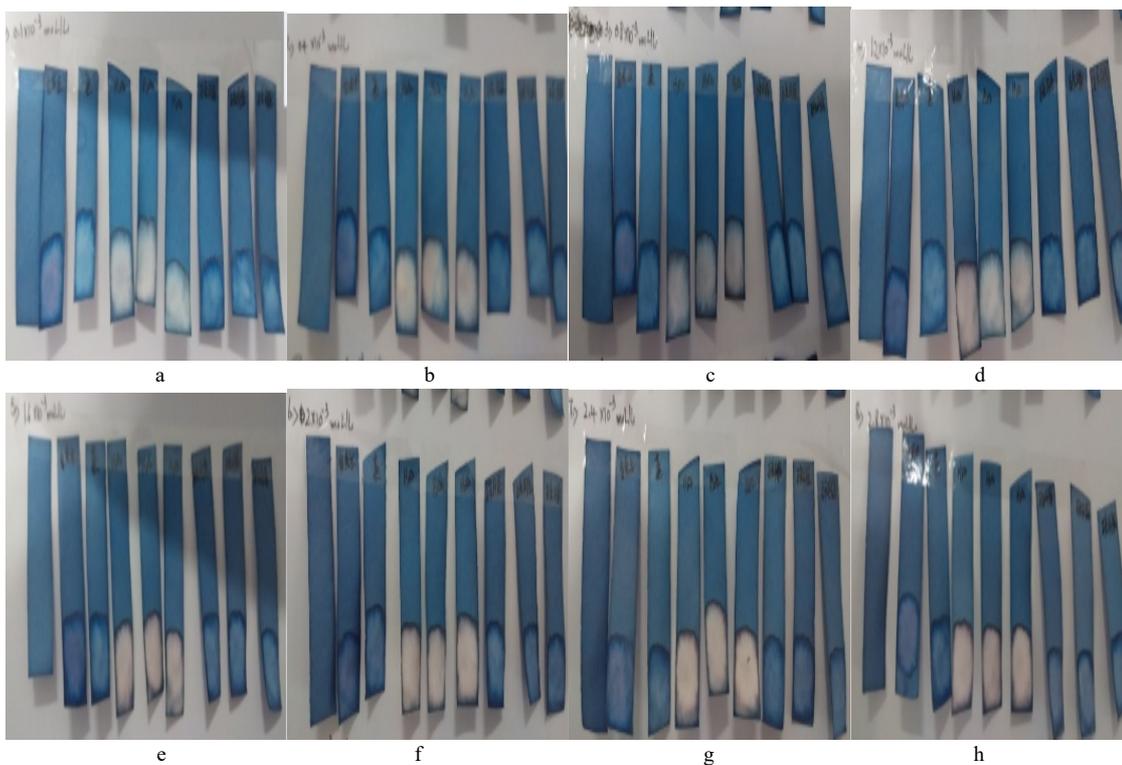
抗氧化活性检测试纸法与一般的仪器分析方法相比, 具有以下优点: 检测速度快, 且具有一定的灵敏度、携带方便、专一性、结构简单、非常适合现场快速检测, 操作简单、价格便宜、且不需检修维护、一次性使用<sup>[14]</sup>。但是试纸法在某些方面还存在一定的不足: 由于试纸上能够固定的试剂量有限, 有些试纸的灵敏度还达不到检测要求, 检出限有待于进一步提高<sup>[15]</sup>。



注: a~h: 0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35、0.4 mol/L 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度。

图 8 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度对反应体系的影响

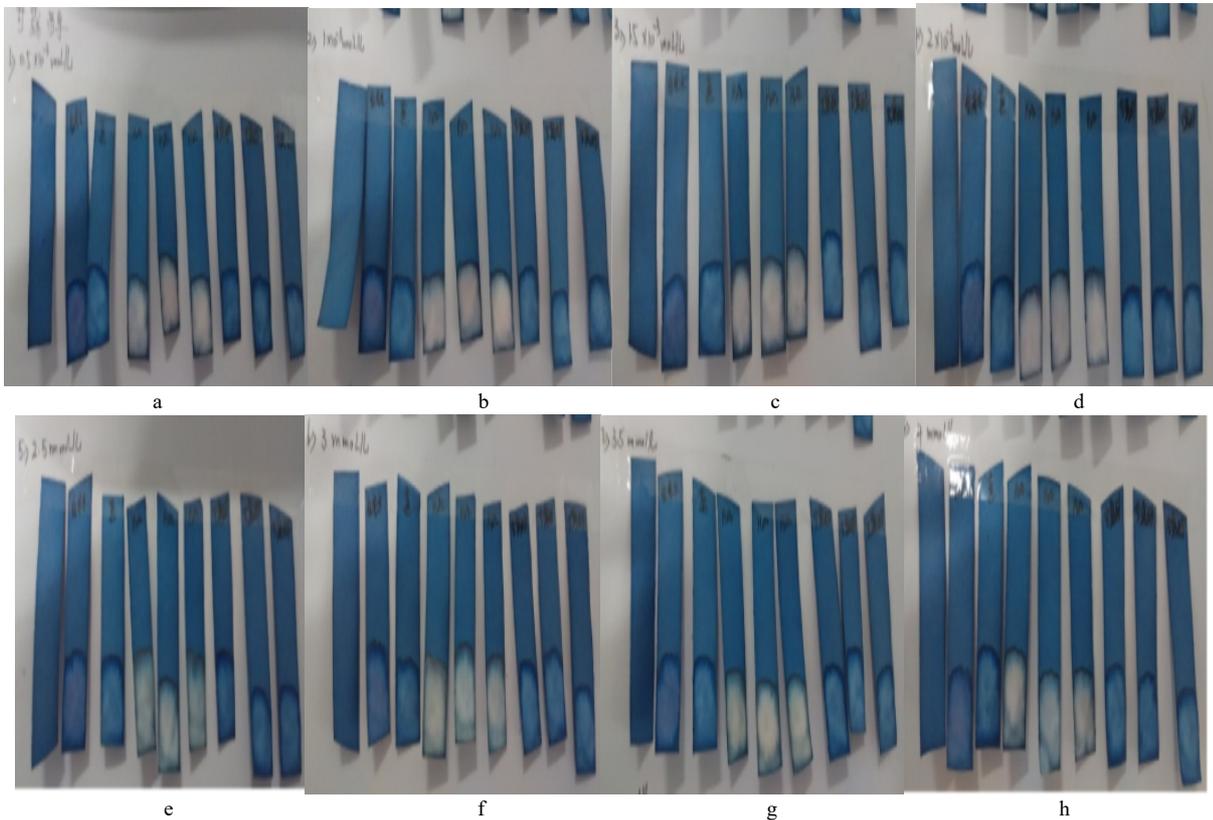
Fig.8 Effect of the concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on reaction system



注: a~h: 0.1、0.4、0.8、1.2、1.6、2、2.4、2.8 mmol/L 的硫脲浓度。

图 9 硫脲对试纸反应的影响

Fig.9 Effect of thiocarbamide on paper reaction system



注: a~h: 0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4 mmol/L 的甘露醇浓度。

图10 甘露醇对试纸反应的影响

Fig.10 Effect of mannitol on paper reaction system

快速检测试纸法克服了传统的检测方法的缺点, 操作具有简单快速, 呈色特效, 现象明显, 结果容易把握, 反应在室温下即可顺利进行, 宜于户外及特殊场所使用, 值得推广应用, 作为一种快速的现场检测方法。试纸法除了可以在日常生活中对含抗氧化活性物质进行检查, 还可以在食品、水质、医疗卫生、化妆品等各个领域具有十分广泛的应用, 具有进一步研究的前景。

同时试纸法在某些方面存在一定的不足: 由于试纸上能固定的试剂量有限, 有些试纸的灵敏度还达不到检测要求, 检测限有待于进一步提高。另外很多试纸还远远不能满足现场检测的需要, 研制出的试纸检测灵敏度较低, 而且检测结果如不立即观察, 受空气氧化作用等影响, 反应物颜色很快发生变化, 不能对结果进行正确判断。快速检测试纸法克服了传统的检测方法的缺点, 操作简单快速, 但灵敏度, 稳定性不够好, 检测溶液制备烦琐。所以开发出准确度高、灵敏性好、特异性强、样品前处理简便的现场快速试纸检测方法对于抗氧化活性快速检测非常重要。

#### 参考文献

[1] 王文琼, 孙志勇, 黄冬成, 等. 乳酸菌发酵蓝莓乳清混合体系体外抗氧化特性分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(1): 142-149.

WANG WQ, SUN ZY, HUANG DC, *et al.* *In vitro* antioxidant properties of blueberry whey mixed system fermented by lactic acid bacteria [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2021, 37(1): 142-149.

[2] ADUSUMILLI VS, WALKER TL, OVERALL RW, *et al.* ROS dynamics delineate functional states of hippocampal neural stem cells and link to their activity-dependent exit from quiescence [J]. *Cell Stem Cell*, 2020, 28(2): 300-314.

[3] 王志琴, 王军, 薛正芬, 等. 牛奶掺过氧化氢快速检测试纸研制[J]. 草食家畜, 2010, 9(3): 26-28.

WANG ZQ, WANG J, XUE ZF, *et al.* Development of rapid detection strip for hydrogen peroxide in milk [J]. *Herb Live*, 2010, 9(3): 26-28

[4] 莫简. 医用自由基生物学导论[M]. 北京: 人民出版社, 1989.

MO J. Introduction to medical free radical biology [M]. Beijing: People's Publishing House, 1989.

[5] 樊琛, 曾庆华, 李燕, 等. 石榴果皮中类黄酮的超声辅助提取及抗自由基检测[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(23): 200-204.

FAN C, ZENG QH, LI Y, *et al.* Ultrasonic-assisted extraction and radical-scavenging capacity of flavonoids from pomegranate rind [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2020, 48(23): 200-204.

[6] WAFI A, SZABÓ-BÁRDOS E, HORVÁTH O, *et al.* Coumarin-based quantification of hydroxyl radicals and other reactive species generated on excited nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> [J]. *J Photoch Photobio A*, 2021, 404: 112913

[7] 赵淑锐, 杨源, 郑美青, 等. 基于Fenton反应产生的羟自由基检测方法比较[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(12): 67-71.

- ZHAO SR, YANG Y, ZHENG MQ, *et al.* Comparison of detection methods of hydroxyl radicals based on Fenton reaction [J]. *Exper Technol Manag*, 2020, 37(12): 67–71.
- [8] 朱慧, 李嘉文, 绳秀珍, 等. 副溶血弧菌胶体金快速检测试纸的研制及应用[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2021, 51(3): 24–33.
- ZHU H, LI JW, SHENG XZ, *et al.* Development of a competitive gold immunochromatographic test strip for rapid detection of *Vibrio parahaemolyticus* in fish [J]. *Period Ocean Univ Chin*, 2021, 51(3): 24–33.
- [9] 蒋威, 赵长金, 陈晓东, 等. 试纸反射仪及试纸表面测量方法, 中国: CN105548165B [P]. 2021-01-08.
- JIANG W, ZHAO CJ, CHEN XD, *et al.* Test paper reflectometer and test paper surface measurement method, China: CN105548165B [P]. 2021-01-08.
- [10] 洪峰, 金江. 一种基于激光采血分析仪的防护耗材与 POCT 试纸一体化结构, 中国: CN107595300B [P]. 2020-11-10.
- HONG f, JIN J. An integrated structure of protective consumables and POCT test paper based on laser blood collection analyzer, China: CN107595300B [P]. 2020-11-10.
- [11] ALYASEVA SO, LOTOSH NY, KAMAEV AV, *et al.* Antioxidant effect of  $\alpha$ -lipoic acid on the oxidation of phosphatidylcholine initiated by the fenton reaction [J]. *Mosc U Chem B*, 2021, 75(6): 368–373.
- [12] 张威, 郭丹, 兰伟, 等. 液体乳中三聚氰胺的快速检测产品评价研究 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(22): 8533–8539.
- ZHANG W, GUO L, LAN W, *et al.* Evaluation of rapid detection products for melamine in liquid milk [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(22): 8533–8539.
- [13] 古海妮萨·麦合木提, 艾尔肯·依不拉音. 光纤传感微量样品抗羟自由基检测方法的建立及其应用[J]. *药物分析杂志*, 2015, 35(11): 1989–1994.
- GUHARNISA M, ARKIN I. Establishment and application of optical fiber sensing method for anti hydroxyl free radical detection in micro-samples [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2015, 35(11): 1989–1994.
- [14] 车红霞, 程利明, 刘丽丽, 等. 乳过氧化物酶检测试纸的研制[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(10): 234–239.
- CHE HX, CHENG LM, LIU LL, *et al.* Preparation of test paper for quick checking of lactoperoxidase in milk [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2016, 16(10): 234–239.
- [15] 龚丽坤. 干化学分析仪与湿化学分析仪生化项目检测的相关性分析[J]. *检验医学与临床*, 2013, 10(4): 481–482.
- GONG LK. Correlation analysis of biochemical items between dry chemical analyzer and wet chemical analyzer [J]. *Lab Med Clin*, 2013, 10(4): 481–482.

(责任编辑: 于梦娇)

### 作者简介



李 欣, 硕士, 实验师, 主要研究方向为药物分析、生物医学工程。

E-mail: qwe1021128@163.com



艾尔肯·依不拉音, 博士, 教授, 主要研究方向为食品分析、在线分析。

E-mail: 1262831748@qq.com