

刘荣森. 普鲁士蓝分光光度法测定蔬菜中的维生素 C[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 286-287, 414.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.094

# 普鲁士蓝分光光度法测定蔬菜中的维生素 C

刘荣森

(河南林业职业学院, 河南洛阳 471000)

**摘要:**利用维生素 C 能将  $\text{Fe}^{3+}$  还原为  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  能与  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  反应生成可溶性普鲁士蓝。通过测定普鲁士蓝在 716 nm 处的吸光度间接测定蔬菜中维生素 C 的含量。线性回归方程为  $D = 0.2148C - 0.0254$ , 相关系数  $r = 0.9993$ 。线性范围在 0.12 ~ 5.60  $\mu\text{g/mL}$  之间。摩尔吸光系数为  $3.77 \times 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ 。测定了番茄、黄瓜中的维生素 C 含量, 回收率分别为 102.2%、99.6%, 测定结果令人满意。

**关键词:**普鲁士蓝; 维生素 C; 分光光度法; 蔬菜

**中图分类号:** O657.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)06-0286-02

维生素 C (vitamin C, 又称 L-抗坏血酸) 是高等灵长类动物与其他少数生物的必需营养素。人缺乏维生素 C 会造成坏血病。在生物体内, 维生素 C 是一种抗氧化剂, 保护身体免于自由基的威胁, 维生素 C 同时也是一种辅酶。新鲜蔬菜是人类摄入维生素 C 的主要来源。测定蔬菜中的维生素 C 含量对评价蔬菜的营养价值, 指导人们合理搭配膳食具有指导作用。

维生素 C 的测定方法主要有化学发光法<sup>[1]</sup>、滴定法<sup>[2]</sup>、高效液相色谱法<sup>[3-4]</sup>、紫外分光光度法<sup>[5]</sup>、傅里叶变换红外光谱法<sup>[6]</sup>、毛细管区带电泳法<sup>[7]</sup>等。用普鲁士蓝分光光度法测定番茄、黄瓜中的维生素 C 还未见相关报道。维生素 C 具有还原性, 能将  $\text{Fe}^{3+}$  还原为  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  能与  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  反应生成可溶性普鲁士蓝。通过测定普鲁士蓝在 716 nm 处的吸光度间接测定蔬菜中维生素 C 的含量。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂与材料

维生素 C 对照品 (北京盛世康普化工技术研究院生产), 配制 1.000 0 g/L 标准溶液: 称取 0.200 0 g 维生素 C, 加入 10 mL 2% 醋酸溶解, 用煮沸过的 2 次蒸馏水定容至 200 mL, 置于 4 °C 避光保存, 用时稀释到 100  $\mu\text{g/mL}$ ; 三氯化铁 (天津科密欧化学试剂有限公司生产, AR); 配制 1.500 mmol/L 标准溶液; 铁氰化钾 (天津市德恩化学试剂有限公司生产, AR); 配制 1.500 mmol/L 标准溶液; 冰醋酸 (天津市德恩化学试剂有限公司生产, AR); 配制 2% 的溶液。番茄、黄瓜购于洛阳市廛河区东关农贸市场。

### 1.2 仪器

TU-1900 双光束紫外可见分光光度计 (北京普析通用仪器有限责任公司生产), 电子天平 (上海奥豪斯仪器有限公司生产)。

收稿日期: 2014-06-30

作者简介: 刘荣森 (1964—), 男, 河南洛阳人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为植物成分分析。Tel: (0379) 63500323; E-mail: liurongsen2003@163.com。

### 1.3 试验方法

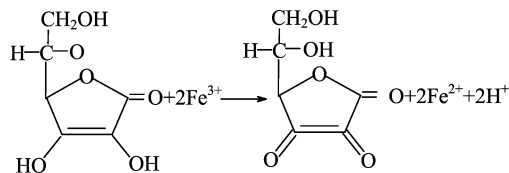
**1.3.1 样品处理** 称取洗净、晾干的番茄 (或黄瓜) 50.00 g, 加入适量 2% 的乙酸 (约 20 mL), 用匀浆机匀浆, 用定量滤纸抽滤, 由于滤液中含有色素, 影响吸光度的测定, 为除去色素, 用 0.46  $\mu\text{m}$  滤膜抽滤, 滤液呈无色透明。把滤液转移到 100 mL 容量瓶中, 用 2% 的乙酸稀释至刻度。

**1.3.2 试验方法** 准确移取 1.500 mmol/L 三氯化铁溶液 5 mL, 放入比色管中, 加入维生素 C 标准溶液或样品提取液适量, 加入 1.500 mmol/L 铁氰化钾溶液 3 mL, 用 2 次蒸馏水稀释至 12.5 mL。室温放置 30 min。参比溶液选择试剂空白, 测定 716 nm 处吸光度。

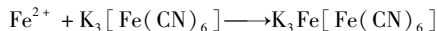
## 2 结果与分析

### 2.1 反应机制

维生素 C 具有六碳五元环内酯结构, 分子中烯二醇基具有极强的还原性, 易被氧化为二酮基生成去氢维生素 C。维生素 C 与三价铁反应方程式如下:



还原生成的  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  反应生成可溶性普鲁士蓝:



### 2.2 最大吸收波长的选择

按照“1.3.2”节的试验方法, 以试剂空白为参比溶液, 在 400 ~ 900 nm 范围内, 扫描了维生素 C 与三氯化铁及铁氰化钾反应生成可溶性普鲁士蓝的吸收光谱曲线 (图 1)。最大吸收波长为 716 nm。

### 2.3 三氯化铁用量的选择

三氯化铁要把蔬菜中的维生素 C 氧化完全, 故三氯化铁要稍过量。本试验三氯化铁用量从 0.5 ~ 6.0 mL 时的吸光度见图 2。当 1.500 mmol/L 三氯化铁溶液用量为 4.5 mL 时, 生

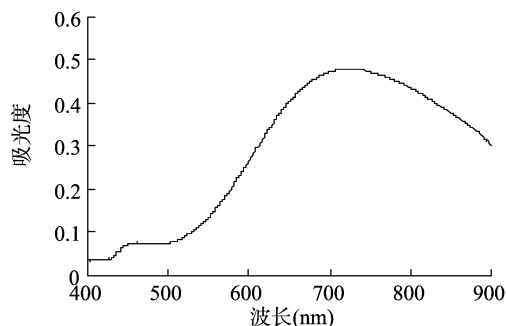


图1 最大吸收波长的选择

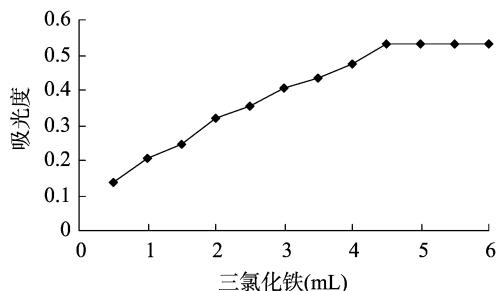


图2 三氯化铁用量对溶液吸光度的影响

成的普鲁士蓝吸光度达到最大,继续增加三氯化铁用量,溶液的吸光度几乎保持不变,说明三氯化铁已与维生素 C 反应完全,故本试验选择三氯化铁的用量为 5.0 mL。

#### 2.4 铁氰化钾用量的选择

本试验铁氰化钾用量从 0.5 ~ 4.0 mL 的吸光度见图 3。当铁氰化钾用量为 2.5 mL 时,溶液吸光度达到最大,继续增加铁氰化钾用量,溶液的吸光度几乎保持不变,说明铁氰化钾已与还原生成的  $\text{Fe}^{2+}$  反应完全,故本试验选择铁氰化钾的用量为 3.0 mL。

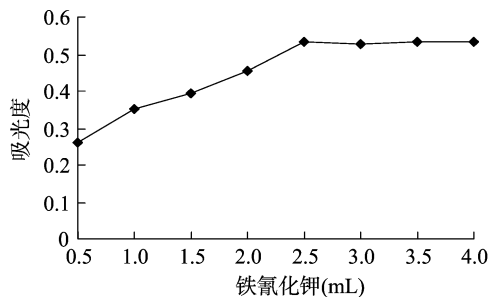


图3 铁氰化钾用量对溶液吸光度的影响

#### 2.5 反应时间的选择

维生素 C 易被氧化,与三氯化铁在常温下就能反应,反应生成的  $\text{Fe}^{2+}$  与铁氰化钾生成可溶性普鲁士蓝的反应也在常温下就能进行,本试验选择在常温下进行反应,试验反应时间对溶液吸光度的影响(图 4)。当反应时间为 30 min 时,溶液吸光度达到最大,继续延长反应时间,吸光度几乎不变,表明反应已经完全,故本试验选择反应时间为 30 min。

#### 2.6 其他成分干扰情况

试验黄瓜和番茄中存在的其他成分的干扰情况,蔬菜中的铁都是三价铁,且是以含铁酶类形式存在,不影响测定。把相对误差控制在 5% 以内,维生素 C 含量为 3.0  $\mu\text{g/mL}$  时,200 倍的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$  对测定无干扰,100 倍的葡

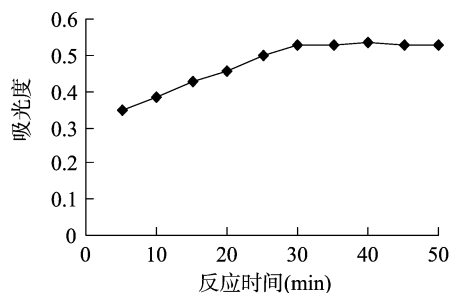


图4 反应时间对溶液吸光度的影响

萄糖、果糖、乙酸、草酸不影响测定。

#### 2.7 工作曲线

配制维生素 C 含量分别为 0.4、0.8、1.6、2.4、3.2、4.0、4.8、5.6  $\mu\text{g/mL}$  的标准溶液,按照最优试验方法进行吸光度的测定,标准曲线见图 5。维生素 C 含量在 0.12 ~ 5.60  $\mu\text{g/mL}$  之间符合线性关系。线性回归方程为  $D = 0.2148C(\mu\text{g/mL}) - 0.0254$ ,相关系数  $r = 0.9993$ 。摩尔吸光系数为  $3.77 \times 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ 。

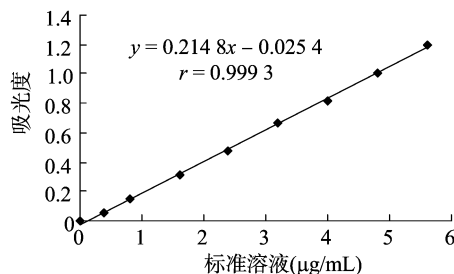


图5 工作曲线

#### 2.8 标准偏差与检测限

对维生素 C 含量 2.0  $\mu\text{g/mL}$  的维生素 C 标准溶液进行了 11 次平行测定,计算出本试验方法的相对标准偏差为 1.18%。利用  $3\sigma/k$  方法计算检测限为 0.052  $\mu\text{g/mL}$ 。

#### 2.9 样品测定

测定了番茄、黄瓜中的维生素 C 含量,按照“1.3.1”节的样品处理方法对其进行处理,按照“1.3.2”节的试验方法对番茄、黄瓜中的维生素 C 含量进行了测定。并进行了回收率试验,试验结果见表 1。番茄中维生素 C 的回收率为 102.2%,黄瓜中维生素 C 的回收率为 99.6% (表 1)。

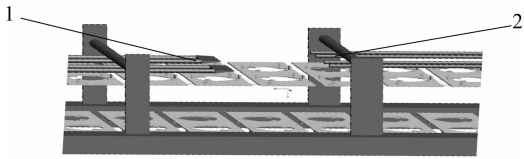
表 1 样品测定及回收率试验

样品	本方法 (mg/100g)	加入量 (mg)	测得值 (mg)	回收率 (%)	RSD (%)
番茄	24.26	5.00	5.11	102.2	1.12
黄瓜	8.69	5.00	4.98	99.6	1.28

注:  $n = 6$ 。

### 3 结论

利用维生素 C 能将  $\text{Fe}^{3+}$  还原为  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  能与  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  反应生成可溶性普鲁士蓝。通过测定普鲁士蓝在 716 nm 处的吸光度间接测定蔬菜中维生素 C 的含量。本方法具有仪器简单、灵敏度高、线性范围较宽、测定速度快等特  
(下转第 414 页)



1—成形刀；2—压条  
图3 成形刀装置

表1 蒸汽喷射后扇贝开口角度

扇贝直径 (mm)	开口角度 (°)	垂直距离 (mm)	扇贝直径 (mm)	开口角度 (°)	垂直距离 (mm)	扇贝直径 (mm)	开口角度 (°)	垂直距离 (mm)
51.3	28.20	19	53.2	29.40	18	59.5	30.40	19
54.0	30.40	21	51.7	30.00	18	61	29.00	20
53.4	29.00	19	63.0	29.00	20	56.5	28.20	18
62.5	28.20	20	51.0	32.20	18	59.5	32.00	19
63.0	28.00	21	54.5	29.60	20	59.0	31.60	19
61.5	29.00	20	60.7	28.00	20	53.0	29.80	18
61.0	29.80	21	51.0	29.00	18	58.0	30.50	19
58.5	30.50	20	53.6	30.00	19	61.0	29.00	20
62.5	29.40	20	55.0	30.20	19	60.5	28.00	19
55.5	31.20	19	57.2	29.60	20	56.0	30.00	18
56.0	32.00	19	52.7	30.00	19	52.5	31.00	18
60.5	30.00	20	49.3	32.00	17	50.0	30.00	18
60.0	28.20	19	48.5	31.00	17	54.4	32.00	19

3 蒸汽发生器控制系统

3.1 蒸汽发生器工作原理

电加热蒸汽发生器主要由供水系统、自控系统、炉胆加热系统及安全保护系统等组成,基本工作原理是:通过自动控制装置,确保运行过程中液体控制器或高、中、低电极探棒反馈控制水泵的开启、闭合以及供水量长短、炉胆加热时间。现有的蒸汽发生器调压系统以机械控制为主,自动化控制衔接不太容易,并且蒸汽锅炉加热方式为直接加热,蒸汽控制为开关式控制<sup>[4-6]</sup>。采用 PID 智能控制仪对蒸汽发生器进行自动化改造,利用温度、压力传感器采集蒸汽发生器内部的温度、压力值进行处理,根据温度、压力值进行相应的加热控制、压力控制。

3.2 蒸汽发生器自动化设计方案

本系统选用 XMT612 智能 PID 温度控制仪作为控制器,PT100 型热电阻将检测到的实际蒸汽温度送到 XMT612 智能

PID 温度控制仪中进行 PID 调节,控制输出加热的占空比来调节电热丝加热。炉内某水位放置探针来检测炉内的水位,低于限定水位则水泵开始加水,达到限定水位则水泵停止加水。炉内安装有压力传感器,实时监测炉内压力,紧急时刻可以泄压避免事故。整体设计方案如图 4 所示。

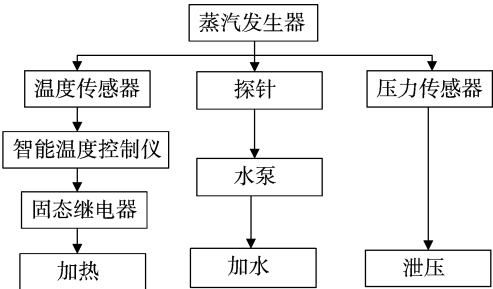


图4 蒸汽发生器整体设计方案

4 结论

本研究设计了以蒸汽为喷射介质的成形刀撑开式扇贝开壳试验台,可实现多工位加工,效率高,对尺寸与定位精度要求相对不高。该试验台的设计对扇贝开壳机的设计具有实际指导意义,同时为今后扇贝加工机械的研制提供科学指导。由于该试验台只是第 1 代试验台,存在很多不足,还须要进一步改进。

参考文献:

[1]王家忠,李秋实,弋景刚,等. 扇贝剥离设备喷嘴内部流场的仿真分析与参数优化[J]. 现代食品科技,2014,30(1):143-146.  
[2]Cruz M R,Smiddy M,Hill C,et al. Effects of high pressure treatment on physicochemical characteristics of fresh oysters(*Crassostrea gigas*) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies,2004,5(2):161-169.  
[3]张 静,弋景刚,姜海勇,等. 蒸汽式扇贝柱脱壳技术优化[J]. 广东农业科学,2013,40(14):120-122.  
[4]弋景刚,张 静,姜海勇,等. 蒸汽式扇贝柱脱壳机控制系统设计[J]. 农机化研究,2014(9):99-102.  
[5]蒸汽发生器编写组. 蒸汽发生器[M]. 北京:原子能出版社,1982:112-114.  
[6]陈德娟. 直流蒸汽发生器压力控制方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2010.

(上接第 287 页)

点,利用该方法测定了番茄和黄瓜中的维生素 C 含量,测定结果令人满意。

参考文献:

[1]Chaichi M J, Alijanpour S O. Determination of vitamin C in drugs usingof an optimized novel TCPO - Amplex red - gold/silver alloy nanoparticles - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> chemiluminescence method by the Box - Behnkendesign[J]. Journal of Luminescence,2013,134:195-200.  
[2]Vahid B. Titrimetric determination of ascorbic acid contents in plant samples by 2,6 - Dichlorophenolindophenol method[J]. Journal of the Chemical Society of Pakistan,2012,34(6):1510-1512.

[3]陈 蓓,李 莉. 高效液相色谱测定饮料中总抗坏血酸[J]. 中国卫生检验杂志,2008,18(6):1079-1081.  
[4]Burini G. Development of a quantitative method for the analysis of total L - ascorbic acid in foods by high - performance liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography: A,2007,1154(1/2):97-102.  
[5]蔡顺香. 紫外分光光度法测定芦柑中的还原型维生素 C[J]. 光谱实验室,2009,26(5):1091-1094.  
[6]程存归,缪吉根,徐宇峰. 漫反射傅里叶变换红外光谱法测定维生素 C 片剂中抗坏血酸的含量[J]. 分析化学,2001,29(10):1236.  
[7]杨建洲,张茉莉. 毛细管区带电泳分析果蔬中的维生素 C 含量[J]. 西北轻工业学院学报,2001,19(3):12-14.