

超高效液相色谱法快速测定复合维生素产品中的 10种水溶性维生素

郭建博, 宋莉, 牟霄, 吕卓, 马元彬, 戴涌, 朱小红*, 朱建荣

(陕西省食品药品检验所, 西安 710065)

摘要: **目的** 建立一种快速测定复合维生素产品中多种水溶性维生素的超高效液相色谱的检测方法。**方法** 样品经 10% 甲醇溶液超声提取, 滤液经 Agilent ZORBAX Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱分离, 0.025 mol/L 磷酸二氢钾缓冲液-乙腈梯度洗脱, 采用二极管阵列检测器在 245 nm 下检测 VB₁ 和 VC, 其余 8 种维生素在 210 nm 下检测。**结果** 本方法能够在 10 min 内完成 10 种水溶性维生素的测定。10 种水溶性维生素在该方法下线性关系良好($r>0.999$), 精密度 RSD 值小于 2%, 加标回收率良好。**结论** 该方法快速、准确、灵敏, 能够适用于复合维生素产品中水溶性维生素的测定。

关键词: 水溶性维生素; 超高效液相色谱法; 定量分析; 复合维生素

Simultaneous determination of 10 kinds of water-soluble vitamins in multivitamin products by ultra performance liquid chromatography

GUO Jian-Bo, SONG Li, MOU Xiao, LV Zhuo, MA Yuan-Bin, DAI Yong,
ZHU Xiao-Hong*, ZHU Jian-Rong

(Shaanxi Institute for Food and Drug Control, Xi'an 710065, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for simultaneous determination of water-soluble vitamins in multivitamin products by ultra performance liquid chromatography (UPLC). **Methods** Samples were extracted with 10% methanol solution, then filtered solution was separated by the Agilent ZORBAX Eclipse Plus C₁₈ column, and gradient eluted by the phosphate buffer solution and acetonitrile. The analytes were detected at 245 nm (for VB₁ and VC) and 210 nm (for others) by diode array detector. **Results** Ten water-soluble vitamins in multivitamin products could simultaneously detected in ten minutes. Ten water-soluble vitamins had good linear relationships with $r>0.999$ and precisions less than 2%, and the recoveries revealed good. **Conclusion** The established method is rapid, accurate and sensitive, which is suitable for determination of water-soluble vitamins in multivitamin products.

KEY WORDS: water-soluble vitamins; ultra performance liquid chromatography; quantitative analysis; multivitamin

基金项目: 陕西省社会发展科技攻关项目(2015SF273)

Fund: Supported by Shaanxi Society Development Sci-Tech Research Project (2015SF273)

*通讯作者: 朱小红, 主任药师, 研究方向为食品质量安全和风险分析评估。E-mail: 742653574@qq.com

*Corresponding author: ZHU Xiao-Hong, Professor of Pharmacy, Branch for Food Inspection, Shaanxi Institute for Food and Drug Control, No. 21, 5th Keji Road, Gaoxin District, Xi'an 710065, China. E-mail: 742653574@qq.com

1 引言

维生素是维持人体正常生理功能所必需的营养元素^[1], 在调节人体物质代谢和维持正常生理功能等方面发挥着极其重要的作用^[2,3], 被广泛用于临床治疗、辅助治疗及日常营养、保健。水溶性维生素包括维生素 C 和 B 族维生素(VB₁、VB₂、VB₄、VB₅、VB₁₂、烟酸、吡哆醇、叶酸、烟酰胺等)。

随着人们对生活品质要求的提高, 多元复合维生素制剂及高档营养品的出现, 同时测定食物中、保健食品中或药物中水溶性维生素的含量引起了人们的广泛关注^[4,5]。目前, 有关水溶性维生素的检测方法已经有很多, 例如在我国食品卫生检验方法中 VB₁ 采用荧光法^[6], 烟酸采用微生物法^[7]; 在我国药典(2015 年版)^[8]中 VB₁、VB₆、烟酰胺采用滴定法。但是这些方法基本都是用于对单一维生素成分的测定。对于同时测定多种维生素含量的方法, 大多采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)。如张高旗等^[9]对混合饲料中多种水溶性维生素(VB₁、VB₂、VB₆、VB₁₂、烟酸、烟酰胺)进行了测定, 高旭等^[10]研究了同时测定食品中 8 种水溶性维生素的高效液相色谱法, 采用梯度洗脱实现了 8 种水溶性维生素的快速分离。但采用普通高效液相色谱-紫外检测器的检测方法不仅检测时间长并且存在不能定性的问题。夏静等^[11]和梁瑞超等^[12]采用高效液相色谱-串联质谱法对食品中的维生素进行定性、定量测定, 获得良好的结果, 但质谱检测器成本昂贵, 不适于方法的推广。据文献报道^[13-15], 采用高效液相色谱-二极管阵列检测器可以对食品中多种成分(营养元素、非法添加)进行定性和定量检测。

本研究采用超高效液相色谱-二极管阵列检测器(ultra performance liquid chromatography-diode array detector, UPLC-DAD), 以合适的梯度洗脱条件来实现多元复合制剂中水溶性维生素的同时分离测定, 以期在缩短检测时间的同时对待测物进行定性、定量分析。

2 材料及方法

2.1 试剂与仪器

维生素 C(VC, 纯度: 100%), 维生素 B₁₂(VB₁₂, 纯度: 90.2%), 烟酸(纯度: 99.0%), 烟酰胺(纯度: 99.9%), 维生素 B₁(VB₁, 纯度: 100%), 维生素 B₂(VB₂, 纯度: 98.7%), 泛酸钙(VB₅, 纯度: 100%), 叶酸(纯度: 91.1%), 吡哆醇(VB₆, 纯度: 99.9%), 腺嘌呤(VB₄, 纯度: 99.0%), 均购自中国药品生物制品检定所。

磷酸(色谱纯, 美国 Tedia 公司); 磷酸二氢钾、氢氧化钾、碳酸氢钠(均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); XXX 维他命水(标示成分: VB₆、VC、烟酰胺), XXX 维他命功能饮料(标示成分: 烟酰胺、VB₆), XXX 牌 B 族维生素

片(标示成分: VB₁、VB₂、VB₆、叶酸), XXX 维生素片(中老年型)(标示成分: VB₁、VB₂、VB₆、VC、叶酸), XXX 维生素片(儿童及青少年型)(标示成分: VB₁、VB₂、VB₆、VC), XXX 牌复合维生素咀嚼片(标示成分: VC、VB₁、VB₂、VB₆、叶酸), 样品收集于西安市场。

Agilent 1290 Infinity LC 超高效液相色谱仪(配有 DAD 检测器, 美国 Agilent 公司); BT 25S 电子分析天平、PB 10 酸度计(德国 Sartorius 公司); Ultrasonic Generator 超声波发生器(韩国 SK 公司); Millipore®超纯水机(英国 Synergy 公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 仪器条件

色谱柱: Agilent ZORBAX Eclipse Plus C₁₈(12.1 mm×100 mm, 1.8 μm); 流动相: 水相: 0.025 mol/L 磷酸二氢钾缓冲液; 有机相: 乙腈; 进样量: 2.0 μL; 流速: 0.3 mL/min; 柱温: 35 °C; 检测器: 二极管阵列检测器; 检测波长: 245 nm 和 210 nm, 同时全波长扫描。梯度洗脱条件见表 1。

表 1 梯度洗脱条件
Table 1 Gradient elution conditions

| 时间(min) | 0.025 mol/L 磷酸二氢钾缓冲液(%) | 乙腈(%) |
|---------|-------------------------|-------|
| 0.00 | 100 | 0 |
| 2.00 | 95 | 5 |
| 6.00 | 60 | 40 |
| 7.00 | 50 | 50 |

2.2.2 对照品溶液的配制

取 VC、VB₁、腺嘌呤、VB₁₂、烟酸、VB₆、烟酰胺、泛酸钙对照品各约 10 mg, 精密称定后, 分别置于 10 mL 容量瓶中, 加 10%甲醇溶液适量, 超声溶解后, 稀释并定容至刻度, 制成 VC、VB₁、腺嘌呤、VB₁₂、烟酸、VB₆、烟酰胺、泛酸钙的储备液, 4 °C 冷藏保存。

取 VB₂ 和叶酸对照品各约 10 mg, 分别置于 10 mL 容量瓶中, VB₂ 用 5 mmol/L 氢氧化钾溶液溶解并定容至刻度, 制成 VB₂ 对照品储备液。叶酸用 20 mmol/L 碳酸氢钠溶液溶解并定容至刻度, 制成叶酸对照品储备液, 4 °C 冷藏保存。检测前分别移取各对照品储备液, 配制不同浓度的水溶性维生素混合标准使用溶液(各维生素混合标准使用溶液浓度范围见 3.2.1)。

2.2.3 样品测试溶液的制备

液体样品: 取液体样品适量, 经适当稀释后(稀释溶剂 10%甲醇溶液), 样品溶液过 0.2 μm 滤膜, 弃去初滤液, 续滤液进样测定。

固体样品: 将维生素片去除包衣, 置于研钵中, 研磨、混合均匀。取样品粉末适量, 精密称定后置于容量瓶

中,加 10%甲醇溶液适量,超声提取 15 min,稀释并定容至刻度,振荡混匀,制成样品溶液。将样品溶液倒入离心管中,10000 r/min 离心 10 min。上清液过 0.22 μm 滤膜,取续滤液进样测定。配置好的样品溶液避光 4 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏保存。

3 结果与讨论

3.1 色谱条件的优化

3.1.1 检测波长的选择

对 10 种水溶性维生素单标进样,采集各个水溶性维生素对照品的紫外扫描图,确定色谱条件,筛选出试验中的检测波长。对比色谱图,得出水溶性维生素最大吸收波长,如表 2 所示。实验选择了 210、245、260、280 和 360 nm 5 个波长对样品色谱进行筛选监测,典型色谱图见图 1。

表 2 检测波长
Table 2 Detection wavelengths

| 水溶性维生素 | 最大吸收波长(nm) | 检测波长(nm) |
|-----------------------|---------------------|----------|
| VB ₁ | 248、254 | 245 |
| VB ₂ | 254、268、270 | 260 |
| 腺嘌呤 | 260 | 260 |
| 烟酰胺 | 254 | 260 |
| 烟酸 | 254 | 260 |
| 泛酸 | 197、210、220 | 210 |
| 吡哆醇(VB ₆) | 210、280 | 280 |
| 叶酸 | 254、258、290、345、350 | 280 |
| VC | 225、245、254、260、265 | 245 |
| VB ₁₂ | 254 | 360 |

通过对比上述 5 个色谱图,结果显示 210 nm 波长下能满足此次水溶性维生素的快速测定,但是 VB₁ 和 VC 2 个峰不尖锐,且出峰时间比较接近,互相有影响。为了更好分离 VB₁ 和 VC,选择 245 nm 波长下检测 VB₁ 和 VC,结果表明 VB₁ 和 VC 在 245 nm 处有最大吸收且分离较好。因此,选择 245 nm 测定 VB₁ 和 VC,其余 8 种维生素在 210 nm 下检测,色谱图如图 2 所示。

3.1.2 流动相水相 pH 的选择

流动相的极性对维生素的分离有很大影响,文献一般常选择离子对试剂或缓冲盐溶液做流动相来分离水溶性维生素。但是,由于离子对试剂价格比较昂贵,且对色谱柱及泵损害较大,不适合常规分析^[12]。实验选择 0.025 mol/L 磷酸盐缓冲液,用磷酸调节 pH 值,考虑到 pH 过小对色谱柱损害较大,而 pH 值大于 4.0 时 VC、VB₁ 和吡哆醇不稳定。考察了 pH 2.6 和 pH 3.6 2 种条件下对维生素分离效果的影响。结果表明,pH 2.6 体系下 VB₁ 和 VC 两峰不能完全分离,

pH 3.6 体系下能够实现较好地将多种水溶性维生素实现快速分离,因此确定流动相水相 pH 值为 3.6。

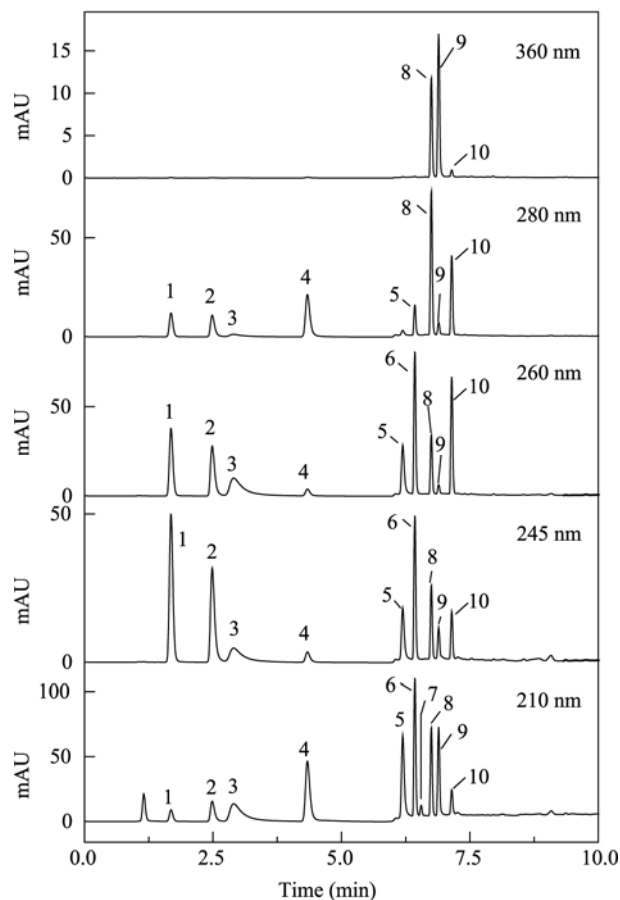


图 1 5 个波长下所测得的色谱图

Fig. 1 Chromatograms under 5 detection wavelengths (1-VC; 2-VB₁; 3-烟酸; 4-吡哆醇; 5-烟酰胺; 6-腺嘌呤; 7-泛酸; 8-叶酸; 9-VB₁₂; 10-VB₂)

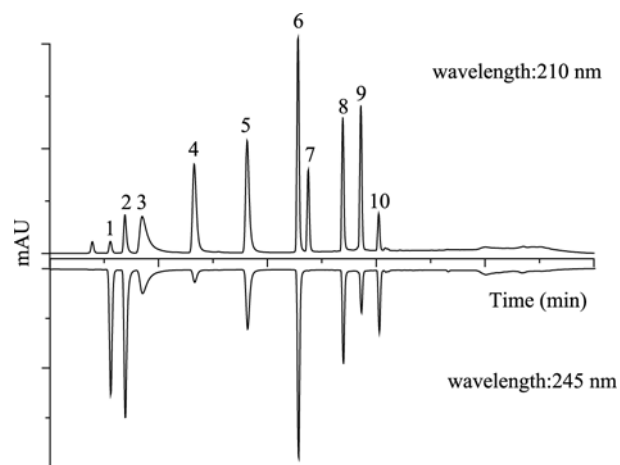


图 2 水溶性维生素典型色谱图

Fig. 2 The typical chromatogram of water-soluble vitamins (1-VC; 2-VB₁; 3-烟酸; 4-吡哆醇; 5-烟酰胺; 6-腺嘌呤; 7-泛酸; 8-叶酸; 9-VB₁₂; 10-VB₂)

3.2 方法学验证

3.2.1 线性关系

各取维生素储备液置于棕色容量瓶, 用 10% 甲醇溶液定容, 混均后制成混合标准溶液。再取混合标准溶液配成系列浓度混合标准溶液进行分析, 以峰面积对浓度作图, 在浓度范围内, 各维生素线性关系良好, 符合检测要求(表 3)。

3.2.2 方法的回收率实验

以康宝莱 B 族维生素片为例来考察该方法回收率。取康宝莱 B 族维生素片研磨, 精密称定 0.100 g, 吸取不同体积的混合标准溶液, 使得对照品添加量为样品实际测定含量一半的 50%、100%、150%, 按实验方法进行加样回收率实验。回收率结果如下表 4, 结果表明回收率良好, 满足检测要求。

3.2.3 精密度

取混合标准溶液按实验方法重复测定 6 次, 计算精密度, 结果如表 5。结果表明, 在该测定方法下, 精密度良好, 满足含量测定要求。

表 3 各水溶性维生素的线性范围、线性方程和相关系数
Table 3 The linear ranges, linear equations and correlation coefficients of water-soluble vitamins

| | 浓度范围(μg/mL) | 线性方程 | r |
|------------------|--------------|------------------|--------|
| VC | 0.6688~21.40 | A=14.579C-2.3324 | 0.9999 |
| VB ₁ | 0.6350~20.30 | A=13.703C+1.5171 | 0.9999 |
| 烟酸 | 0.6725~21.52 | A=18.241C-2.5854 | 0.9999 |
| 吡哆醇 | 0.6325~20.24 | A=21.634C+10.185 | 0.9999 |
| 腺嘌呤 | 0.6656~21.30 | A=23.981C+0.7421 | 0.9999 |
| 泛酸 | 3.175~100.6 | A=27.956C+1.8093 | 0.9999 |
| 烟酰胺 | 0.6812~21.80 | A=2.2316C+0.5108 | 0.9999 |
| 叶酸 | 0.6044~19.34 | A=18.353C+3.323 | 0.9999 |
| VB ₁₂ | 0.5738~18.36 | A=21.208C+1.5498 | 0.9999 |
| VB ₂ | 0.6544~20.94 | A=4.4598C+0.4137 | 0.9999 |

表 4 回收率结果(n=5)
Table 4 Results of recoveries (n=5)

| 维生素 | 实测含量(μg) | 加入量(μg) | 测得量(μg) | 回收率(%) | 平均回收率 (%) | RSD(%) |
|-----------------|----------|---------|------------|--------|-----------|--------|
| VB ₁ | 13.5 | 3.375 | 9.98±0.16 | 95.70 | 96.47 | 1.20 |
| | | 6.75 | 13.22±1.13 | 95.85 | | |
| | | 13.5 | 19.96±1.10 | 97.85 | | |
| VB ₂ | 13.5 | 3.375 | 10.20±0.84 | 102.2 | 99.92 | 1.99 |
| | | 6.75 | 13.40±0.27 | 98.52 | | |
| | | 13.5 | 20.12±1.03 | 99.04 | | |
| 吡哆醇 | 10.6 | 2.65 | 5.24±0.06 | 97.74 | 97.30 | 0.40 |
| | | 5.3 | 7.80±1.09 | 97.17 | | |
| | | 10.6 | 12.93±0.53 | 96.98 | | |
| VC | 950 | 237.5 | 469±2.17 | 97.47 | 98.23 | 0.77 |
| | | 475 | 704±8.44 | 98.21 | | |
| | | 950 | 1178±10.32 | 99.00 | | |

表 5 精密度实验结果(n=5)
Table 5 Precision experiment results (n=5)

| 维生素 | 测得浓度(μg/mL) | | | | | | RSD(%) |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| VC | 5.530 | 5.506 | 5.606 | 5.503 | 5.499 | 5.492 | 0.77 |
| VB ₁ | 5.313 | 5.277 | 5.266 | 5.243 | 5.224 | 5.205 | 0.74 |
| 烟酸 | 5.400 | 5.354 | 5.342 | 5.323 | 5.312 | 5.301 | 0.67 |
| 吡哆醇 | 5.095 | 5.024 | 5.005 | 4.982 | 4.964 | 4.974 | 0.96 |
| 腺嘌呤 | 5.479 | 5.424 | 5.395 | 5.360 | 5.336 | 5.312 | 1.14 |
| 泛酸 | 25.94 | 25.72 | 25.64 | 25.49 | 25.38 | 25.25 | 0.97 |
| 烟酰胺 | 5.528 | 5.488 | 5.467 | 5.443 | 5.424 | 5.415 | 0.78 |
| 叶酸 | 3.699 | 3.759 | 3.730 | 3.682 | 3.749 | 3.640 | 1.21 |
| VB ₁₂ | 4.598 | 4.549 | 4.512 | 4.476 | 4.463 | 4.447 | 1.28 |
| VB ₂ | 5.382 | 5.331 | 5.296 | 5.267 | 5.249 | 5.221 | 1.11 |

3.2.4 检测限和定量限

取最低浓度混合标准溶液稀释进样, 测定 10 种水溶性维生素的检测限($S/N=3$)和定量限($S/N=10$), 结果见表 6。

3.3 市售样品测定

对 6 种市售样品中水溶性维生素进行检测, 表 7 为 6 种市售样品的测定结果。由表 7 可以看出, 采用建立的方法所得测定值与采用标准方法所得测定值没有明显差异。表明建立的方法能够满足实际样品的测定。在测定 XXX 牌复合维生素咀嚼片时, 检测到该产品中存在腺嘌呤, 其含量为 16.61 $\mu\text{g/g}$, 说明该生产企业在生产过程中可能引入了杂质。

4 结 论

本研究采用超高效液相色谱法, 以 0.025 mol/L 磷酸二氢钾缓冲液-乙腈为流动进行相梯度洗脱, 二极管阵列

表 6 检测限和定量限

Table 6 Limits of detection (LODs) and limits of quantitation (LOQs)

| | 检测限(ng) | 定量限(ng) |
|------------------|---------|---------|
| VC | 1.40 | 5.60 |
| VB ₁ | 0.05 | 0.20 |
| 烟酸 | 0.05 | 0.20 |
| 吡哆醇 | 0.02 | 0.08 |
| 腺嘌呤 | 0.03 | 0.12 |
| 泛酸 | 0.21 | 0.84 |
| 烟酰胺 | 0.15 | 0.60 |
| 叶酸 | 0.03 | 0.12 |
| VB ₁₂ | 0.07 | 0.28 |
| VB ₂ | 0.02 | 0.08 |

表 7 样品含量测定结果

Table 7 Results of content determination in samples

| 样品 | 水溶性维生素 | 标示含量(商标标示) | 建立方法测得值 | 按标准方法测定值* | 方法间偏差(%) |
|-------------------|-----------------------------|------------|---------|-----------|----------|
| XXX 维他命水 | VB ₆ (mg/500 mL) | 0.56 | 0.498 | 0.512 | -2.7 |
| | VC(mg/500 mL) | 100.0 | 282.56 | 281.37 | 0.4 |
| | 烟酸(烟酰胺)(mg/500 mL) | 5.26 | 9.11 | 8.76 | 4.0 |
| XXX 维他命功能饮料 | 烟酰胺(mg/250 mL) | 10 | 10.22 | 10.07 | 1.5 |
| | VB ₆ (mg/250 mL) | 1 | 0.83 | 0.90 | -7.8 |
| XXXXB 族维生素片 | VB ₁ (mg/片) | 1.0 | 0.303 | 0.312 | -2.9 |
| | VB ₂ (mg/片) | 1.1 | 0.265 | 0.301 | -12.0 |
| | VB ₆ (mg/片) | 1.1 | 0.213 | 0.224 | -4.9 |
| | 叶酸(μg /片) | 30 | 38.8 | 35.4 | 9.6 |
| XXX 维生素片(中老年型) | VB ₁ (mg/片) | 0.5 | 0.822 | 0.817 | 0.6 |
| | VB ₂ (mg/片) | 0.5 | 0.985 | 1.003 | -1.8 |
| | VB ₆ (mg/片) | 0.5 | 0.467 | 0.501 | -6.8 |
| | VC(mg/片) | 50 | 108.2 | 110.4 | -2.0 |
| XXX 维生素片(儿童及青少年型) | 叶酸(μg /片) | 75 | 97.4 | 99.3 | -1.9 |
| | VB ₁ (mg/片) | 0.135 | 0.129 | 0.134 | -3.7 |
| | VB ₂ (mg/片) | 0.135 | 0.118 | 0.121 | -2.5 |
| | VB ₆ (mg/片) | 0.105 | 0.059 | 0.061 | -3.3 |
| XXX 牌复合维生素咀嚼片 | VC(mg/片) | 9.5 | 15.28 | 15.39 | -0.7 |
| | VC(mg/片) | 5.76 | 8.81 | 9.01 | -2.2 |
| | VB ₁ (mg/片) | 0.15 | 0.138 | 0.140 | -1.4 |
| | VB ₂ (mg/片) | 0.15 | 0.175 | 0.182 | -3.8 |
| XXX 牌复合维生素咀嚼片 | VB ₆ (mg/片) | 0.085 | 0.089 | 0.088 | 1.1 |
| | 叶酸(mg/片) | 0.025 | 0.042 | 0.050 | -16.0 |

*采用该产品企标明示检验方法测定

方法间偏差=(建立方法测定值-标准方法测定值)*100%/标准方法测定值

检测器检测, 能够在 10 min 内完成复合维生素产品中 10 种水溶性维生素的同时分离测定。样品制备过程简便, 易行, 有利于提高检测效率和减少样品制备过程中引入的误差。本实验探索出的水溶性维生素快速分析方法, 有利于对食品、保健品和药品生产过程进行质量控制。

参考文献

- [1] 白靖, 向柏, 申磊, 等. HPLC 法同时测定复合维生素口服液中 4 种水溶性维生素的含量[J]. 中国药房, 2011, 22(29): 2748-2750.
Bai J, Xiang B, Shen L, *et al.* Simultaneous determination of 4 kinds of water-soluble vitamins in compound vitamin oral solution by HPLC [J]. China Pharm, 2011, 22(29): 2748-2750.
- [2] 查锡良. 生物化学第 7 版[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
Zha XL. Biochemistry 7th edition [M]. Beijing: People's Medical Press, 2008.
- [3] 杭太俊. 药物分析第 7 版[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
Hang TJ. Drug analysis 7th edition [M]. Beijing: People's Medical Press, 2014.
- [4] Dionex Corporation Technical Note 89. Determination of water-and fat-soluble vitamins by HPLC [Z].
- [5] 黄成安, 张喜金, 潘拾朝, 等. 高效液相色谱法测定维生素片中维生素 A 醋酸酯含量的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(8): 3034-3037.
Huang CA, Zhang XJ, Pan SC, *et al.* Assessment of content uncertainty of vitamin A acetate in vitamin tablets by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(8): 3034-3037.
- [6] GB 5009.84-2016 食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定[S].
GB 5009.84-2016 National standard for food safety Determination of VB₁ in foods [S].
- [7] GB/T 5009.89-2016 食品安全国家标准 食品中烟酸和烟酰胺的测定[S].
GB 5009.89-2016 National standard for food safety Determination of nicotinic acid and nicotinamide in foods [S].
- [8] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典二部(2015 年版) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
Chinese Pharmacopoeia Commission. The pharmacopoeias of China Part IV (2015) [M]. Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 2010.
- [9] 张高旗, 梁焱琼. 预混合饲料中多种水溶性维生素的快速测定[J]. 广东饲料, 2003, 12(3): 39-40.
Zhang GQ, Liang ZQ. The rapid test of water soluble vitamins in feed premixes [J]. Guangdong Feed, 2003, 12(3): 39-40.
- [10] 高旭, 李淑娟, 安娟, 等. 高效液相色谱法同时测定食品中 8 种水溶性

维生素[J]. 中国医药指南, 2008, 6(19): 36-38

Gao X, Li SJ, An J, *et al.* HPLC determination of eight water-soluble vitamins in foods [J]. Guide China Med, 2008, 6(19): 36-38.

- [11] 夏静, 俞婧, 孙磊, 等. 功能性饮料中 9 种水溶性维生素的 HPLC-MS-MS 同步检测技术[J]. 食品科学, 2014, 35(12): 196-199
Xia J, Yu J, Sun L, *et al.* Simultaneous determination of 9 water soluble vitamins in drinks by liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Food Sci, 2014, 35(12): 196-199.
- [12] 梁瑞强, 王聪, 曹进, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定保健食品中 10 种水溶性维生素[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 3(7): 966-974
Liang RQ, Wang C, Cao J, *et al.* Determination of 10 kinds of water-soluble vitamins in food supplements by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2016, 3(7): 966-974.
- [13] 田颖, 黄挺. 高效液相色谱法同时测定多维片中 9 种水溶性维生素[J]. 分析实验室, 2010, 29(11): 52-56.
Tian Y, Huang T. Simultaneous determination of water-soluble vitamins in multi-vitamin tablets by high performance liquid chromatography [J]. Chin J Anal Lab, 2010, 29(11): 52-56.
- [14] 陈晓东, 汪国权, 张慧敏, 等. 食品中苏丹红系列和对位红的测定方法研究[J]. 环境与职业医学, 2006, 23(1): 27-30.
Chen XD, Wang GQ, Zhang HM, *et al.* Research on method for determination of sudan red, its analogues and para red in food [J]. J Environ Occup Med, 2006, 23(1): 27-30.
- [15] 聂西度, 谢华林, 彭书萍, 等. 高效液相色谱法测定化妆品中防腐剂的 研究[J]. 分析科学学报, 2005, 21(2): 231-232.
Niu XD, Xie HL, Peng SP, *et al.* Study on the determination of preservatives in cosmetic by high performance liquid chromatography [J]. J Anal Sci, 2005, 21(2): 231-232.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



郭建博, 主管药师, 主要研究方向为食品质量安全检测。

E-mail: guojianbo2004@sina.com



朱小红, 主任药师, 主要研究方向为食品质量安全和风险分析评估。

E-mail: 742653574@qq.com