

胶束电动色谱法测定五维他口服溶液中维生素 B_1 、 B_2 、 B_6 、烟酰胺、泛酸钙与苯甲酸钠

李丹凤¹, 黄罗健², 朱健萍¹, 卢日刚^{1*}

(1. 广西壮族自治区食品药品检验所, 广西 南宁 530021; 2. 桂林医学院 药学院, 广西 桂林 541100)

摘要: 建立了胶束电动色谱(MEKC)法通过波长切换同时测定五维他口服溶液中的维生素 B_1 、 B_2 、 B_6 、烟酰胺、泛酸钙及苯甲酸钠含量的方法, 并优化了检测波长、十二烷基硫酸钠(SDS)的浓度、分离电压、缓冲液浓度及 pH 值等实验条件。最佳分离条件为以未涂渍的标准熔融石英毛细管柱(75 $\mu\text{m} \times 50 \text{ cm}$, 有效长度 42 cm)为分离通道; 40 mmol/L 硼酸 + 40 mmol/L 硼砂 + 20 mmol/L SDS (pH 9.0) 为运行缓冲液, 分离电压 20 kV, 柱温 25 $^{\circ}\text{C}$, 检测波长为 270 nm (维生素 B_1 、 B_2 、 B_6 、烟酰胺及苯甲酸钠)和 200 nm (泛酸钙), 电动进样 10 kV、进样时间 10 s。结果显示, 6 种化合物可在 13 min 内实现基线分离, 且在一定质量浓度范围内线性良好, 相关系数(r)不小于 0.998 9; 3 个加标水平下的平均回收率为 97.0% ~ 103%, RSD 为 0.60% ~ 1.8%。该方法快速、准确, 可用于五维他口服溶液中维生素 B_1 、 B_2 、 B_6 、烟酰胺、泛酸钙及苯甲酸钠的含量测定。

关键词: 胶束电动色谱(MEKC); 五维他口服溶液; 维生素 B_1 ; 维生素 B_2 ; 维生素 B_6 ; 烟酰胺; 泛酸钙; 苯甲酸钠

中图分类号: O657.77 文献标识码: A 文章编号: 1004-4957(2020)09-1155-05

Simultaneous Determination of Vitamin B_1 , B_2 , B_6 , Nicotinamide, Calcium Pantothenate and Sodium Benzoate in Five Vitamins Oral Solution by Micellar Electrokinetic Chromatography

LI Dan-feng¹, HUANG Luo-jian², ZHU Jian-ping¹, LU Ri-gang^{1*}

(1. Guangxi Institute for Food and Drug Control, Nanning 530021, China; 2. College of Pharmacy, Guilin Medical University, Guilin 541100, China)

Abstract: A micellar electrokinetic chromatography (MEKC) with multiwavelength switching was established for the simultaneous determination of vitamin B_1 , B_2 , B_6 , nicotinamide, calcium pantothenate and sodium benzoate in Five Vitamins Oral Solution. Factors affecting separation efficiency such as detection wavelength, concentration of sodium dodecyl sulfate (SDS), separation voltage of sample, pH value and concentration of background buffer were optimized. An optimal separation of six compounds was obtained on an uncoated fused silica capillary column (75 $\mu\text{m} \times 50 \text{ cm}$, effective length 42 cm), with a background buffer composed of 40 mmol/L borax + 40 mmol/L boric acid + 20 mmol/L SDS (pH 9.0), at a separation voltage of 20 kV and a column temperature of 25 $^{\circ}\text{C}$. The detection wavelength was set at 270 nm for vitamin B_1 , B_2 , B_6 , nicotinamide and sodium benzoate, and 200 nm for calcium pantothenate. The sample was electrokinetically injected at 10 kV for 10 s. Results indicated that the six analytes could be separated within 13 min, while their calibration curves showed good linear relationships in the respective concentration ranges, with correlation coefficients (r) not less than 0.998 9. The average recoveries at three spiked levels ranged from 97.0% to 103%, with relative standard deviations (RSD) of 0.60% - 1.8%. The method is rapid, accurate and reliable, and could be used for the determination of vitamin B_1 , B_2 , B_6 , nicotinamide, calci-

收稿日期: 2020-03-13; 修回日期: 2020-06-04

基金项目: 广西重点研发计划资助项目(桂科 AB18221125); 2018 年广西壮族自治区食品药品安全科研项目资助(桂食药科 2018-4 直属)

* 通讯作者: 卢日刚, 主任药师, 研究方向: 食品药品的检验与研究, E-mail: gxifdc_hx@163.com

um pantothenate and sodium benzoate in Five Vitamins Oral Solution.

Key words: micellar electrokinetic chromatography (MEKC); Five Vitamins Oral Solution; vitamin B₁; vitamin B₂; vitamin B₆; nicotinamide; calcium pantothenate; sodium benzoate

五维他口服溶液是由维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、泛酸钙等成分组成的复方维生素 B 族口服制剂，主要用于厌食、营养不良、脚气病、糙皮病及缺乏维生素 B 族所致的各种疾患的辅助治疗^[1]，不良反应主要有呕吐、腹泻、便秘、皮疹、瘙痒、嗜睡、舌麻痹、乏力和呼吸困难等^[2]。该制剂属于多剂量包装的口服溶液，处方中含有蔗糖，在保存或多次服用过程中易霉变，因此需加入防腐剂苯甲酸钠。但苯甲酸钠属于酸性物质，食用太多会增加机体的酸度，从而导致人体内碘、铁、钙等物质过多消耗与流失，且会对人的神经系统造成损害^[3-4]。现行国家药品标准 WS - 1001 - (HD - 0408) - 2002^[5]采用高效液相色谱法 (HPLC) 测定五维他口服溶液中 B₁、B₂、B₆、烟酰胺的含量，但未对其处方中标注的泛酸钙和苯甲酸钠进行测定。泛酸钙又名维生素 B₅，是五维他口服溶液中起药理作用的主要成分之一。苯甲酸钠属于防腐剂，其含量涉及用药安全，必须建立相关含量的测定方法。

毛细管电泳技术是以高压电场为驱动力，以毛细管为分离通道，依据样品中各组分之间浓度和分配行为上的差异，从而实现分离的一类液相分离技术^[6]，已被广泛应用于苯甲酸、山梨酸、土霉素、人工合成色素和防腐剂等多种物质的测定^[7-10]。胶束电动色谱 (Micellar electrokinetic chromatography, MEKC) 是目前应用较为广泛的一种毛细管电泳分离技术，可用于分离中性溶质以及带电溶质。该方法通过在缓冲液中加入离子型表面活性剂如十二烷基硫酸钠 (SDS) 而形成胶束，由于分析物在溶液和胶束间的分配作用及自身的泳动淌度不同，从而实现聚焦和分离^[11]，因此可适用于消栓通络片、雷公藤、复方氨酚烷胺胶囊等药物中有效成分的测定^[12-16]。本研究根据维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、泛酸钙 5 个主药与防腐剂苯甲酸钠的性质，建立了胶束电动色谱法同时测定五维他口服溶液中此 6 个成分的含量，方法灵敏度高、重复性好、操作简便可靠，可用于该制剂的质量控制。

1 实验部分

1.1 仪器、试剂与材料

7100 毛细管电泳仪，配二极管阵列检测器 (美国 Agilent 公司)；XD205DU 电子天平 (感量 0.1 mg，梅特勒公司)；Milli-Q 3800 超纯水机 (美国密理博公司)；未涂渍的标准熔融石英毛细管柱 (75 μm × 50 cm，有效长度 42 cm)；维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、泛酸钙、苯甲酸钠对照品 (纯度 > 99.5%，中国食品药品检定研究院)；硼砂、硼酸、十二烷基硫酸钠 (分析纯，国药集团化学试剂有限公司)；乙腈 (色谱纯，默克公司)；实验用水为超纯水 (电导率小于 0.1 μS/cm)；五维他口服溶液 (广西婵方药业股份有限公司，简称 GXCF，批号：191001、190302；广东南国药业有限公司，简称 GDNG，批号：190405、190709；江苏神华药业有限公司，简称 JSSH，批号：190322、190323)。

1.2 溶液配制

1.2.1 对照品溶液的配制 精密称取维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺与泛酸钙对照品各 60、12、18、60、15 mg，分别置于 20、20、20、20、50 mL 棕色容量瓶中，加 20% 乙腈水溶解并定容至刻度，摇匀，即得单标储备液。精密称取苯甲酸钠对照品 30 mg，置于 10 mL 棕色容量瓶中，加入少量 20% 乙腈水溶解，再精密加入维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、泛酸钙的对照品储备液各 1 mL，再用 20% 乙腈水定容至刻度，摇匀，即得维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、泛酸钙及苯甲酸钠的浓度分别为 300、60、90、300、30、3 000 mg/L 的混合对照品储备液。

混合标准工作液：取混合对照品储备液 1.0、1.0、1.0、2.0、4.0 mL，分别置于 50、20、10、10、10 mL 棕色容量瓶中，加 20% 乙腈水稀释至刻度，得维生素 B₁ 与烟酰胺质量浓度为 6.0、15、30、60、120 mg/L，维生素 B₂ 为 1.2、3.0、6.0、12、24 mg/L，维生素 B₆ 为 1.8、4.5、9.0、18、36 mg/L，泛酸钙为 0.6、1.5、3.0、6.0、12 mg/L，苯甲酸钠为 60、150、300、600、1 200 mg/L 的系列混合标准工作液。

精密量取混合对照品储备液 2 mL 置于 20 mL 棕色量瓶中，加 20% 乙腈水稀释至刻度，摇匀，即得对照品溶液，过 0.45 μm 滤膜，超声脱气后于 4 °C 避光保存，备用，用于精密度计算。

1.2.2 样品溶液的配制 精密量取多维他口服溶液 2 mL 置于 20 mL 棕色量瓶中, 加 20% 乙腈水定容至刻度, 摇匀, 过 0.45 μm 滤膜, 超声脱气后于 4 $^{\circ}\text{C}$ 避光保存, 备用。

1.2.3 阴性样品溶液的配制 按多维他口服溶液的处方配比, 称取蔗糖 2.0 g、橙皮甙 1.0 g、乙醇 2 mL、枸橼酸 1.5 g 置于 100 mL 容量瓶中, 加水溶解并稀释至刻度, 摇匀, 制成阴性样品溶液。精密量取阴性样品溶液 2 mL 置于 20 mL 棕色容量瓶中, 加 20% 乙腈水定容至刻度, 摇匀, 过 0.45 μm 滤膜, 超声脱气后于 4 $^{\circ}\text{C}$ 避光保存, 备用。

1.3 电泳分离条件

以未涂渍的标准熔融石英毛细管柱(75 μm \times 50 cm, 有效长度 42 cm)为分离通道; 40 mmol/L 硼酸 + 40 mmol/L 硼砂 + 20 mmol/L 十二烷基硫酸钠(pH 9.0)为分离缓冲液; 分离电压为 20 kV; 电动进样: 进样电压 10 kV, 进样时间为 10 s; 柱温 25 $^{\circ}\text{C}$; 维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺和苯甲酸钠的检测波长为 270 nm; 在 8.8~10.0 min 时切换波长为 200 nm, 用于检测泛酸钙。

新毛细管使用前用 1 mol/L 氢氧化钠冲洗 30 min, 再用超纯水冲洗 30 min, 使其活化。每次进样前分别用 0.1 mol/L 氢氧化钠、超纯水、40 mmol/L 硼砂 + 40 mmol/L 硼酸 + 20 mmol/L SDS 缓冲液(pH 9.0)各冲洗毛细管柱 5 min, 当天分析结束后用 1 mol/L 氢氧化钠冲洗 30 min, 再用超纯水冲洗 30 min。同一缓冲液在进样 5 次后必须进行更换以保证分析物的保留时间稳定。上述溶液及试剂使用前均经 0.45 μm 滤膜滤过, 并超声脱气。

2 结果与讨论

2.1 电泳分离条件的优化

2.1.1 分离缓冲液的优化 缓冲溶液 pH 值会影响毛细管内壁的 Zeta 电位和电渗流, 同时改变被测组分在毛细管内的电离状态, 从而影响被测组分的迁移时间^[12]。实验以 40 mmol/L 硼砂(pH 值为 9.3)添加不同体积 40 mmol/L 硼酸溶液配制不同 pH 值(7.5、8.0、8.5、9.0、9.3)的缓冲液, 考察缓冲液 pH 值对待测组分峰形及分离度的影响。结果显示, pH 值对各组分间的分离度和峰形影响较大, pH 值为 7.5 时不能有效分离维生素 B₆ 和烟酰胺, 且苯甲酸钠峰形较差; pH 值升至 8.0 时, 维生素 B₆ 和烟酰胺的分离度良好, 但苯甲酸钠峰形仍得不到改善; pH 值为 8.5~9.3 时, 各化合物的峰形及分离度均较好。另外, 实验发现同浓度硼砂与硼酸等比例混合时 pH 值恰好均为 9.0, 综合考虑各化合物的分离度、峰形、迁移时间以及操作便捷性, 选择缓冲液 pH 值为 9.0。

缓冲液浓度也会影响待测组分的峰形及保留时间, 因此实验考察了终浓度均为 20、30、40、50、60 mmol/L 的硼砂 + 硼酸溶液对待测物分离度及峰形的影响。结果发现, 缓冲液浓度对待测物峰形影响不大, 各峰间的分离度较好, 待测物的保留时间随缓冲溶液浓度的增加而增大。当缓冲液浓度大于 40 mmol/L 时, 焦耳热增大, 导致基线噪音增大, 且分析物迁移时间变长, 不利于分析。因此选择 40 mmol/L 硼砂 + 40 mmol/L 硼酸作为缓冲液。在此条件下, 维生素 B₆ 的峰形仍较差, 出现了平顶峰, 不利于分析, 当向缓冲液中加入一定量十二烷基硫酸钠(SDS)可显著改善维生素 B₆ 峰形, 因此考察了不同浓度 SDS 对待测物分离度及峰形的影响。结果显示, 6 种化合物的峰形不受 SDS 浓度的影响, 但出峰时间随 SDS 浓度的增大而延长, 分离度也相应增大。当 SDS 终浓度大于 20 mmol/L 后, 苯甲酸钠与维生素 B₁ 的出峰时间均大于 20 min。

综上, 考虑分离度及分析时间等因素, 最终选择 40 mmol/L 硼砂 + 40 mmol/L 硼酸溶液 + 20 mmol/L SDS(pH 9.0)为分离缓冲液。

2.1.2 分离电压对分离效果的影响 分离电压越高, 分析物的迁移时间越短, 因此考察了不同分离电压(10、15、20、25 kV)的分离效果。结果显示, 10~25 kV 分离电压下 6 种化合物的分离效果均良好, 但低电压(10、15 kV)下的分离时间较长, 超过 20 min; 20 kV 和 25 kV 时的分离时间较短, 可在 10 min 内出峰, 但高电压下毛细管中产生的焦耳热会随之增加, 从而会引起峰形展宽, 因此选择最佳分离电压为 20 kV。

2.1.3 检测波长的选择 通过 6 个化合物在 200~400 nm 范围内全波长扫描图发现, 维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺在 270 nm 附近有最大吸收, 苯甲酸钠虽然在 225 nm 附近有最大吸收, 但 270 nm 处的吸收

值也很大,为便于检测选择 270 nm 作为维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺和苯甲酸钠的检测波长。泛酸钙在大于 220 nm 波长时无紫外吸收,仅在低波长处有末端吸收,因此选择 200 nm 为其测定波长。泛酸钙的出峰时间在 9 min 左右,因此选择在 8.8~10.0 min 时将波长切换为 200 nm。

综上,优化后维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、苯甲酸钠、泛酸钙的电泳条件见“1.3”所述,其电泳图见图 1,由图可见,6 种组分可在 13 min 内完全分离,分离度较好。

2.2 方法学验证

2.2.1 专属性试验 五维他口服溶液中的其他辅料成分如橙皮甙、乙醇和枸橼酸可能会对其 6 种组分的测定产生干扰,因此实验按其处方配比称取相应的辅料成分,按照“1.2.3”方法制成阴性空白样品溶液,在优化条件下进样分析。结果显示,阴性样品溶液中其他组分不影响待测组分的测定,方法的专属性良好。

2.2.2 标准曲线、线性范围与检出限 分别精密量取“1.2.1”配制的系列混合标准工作液,在优化条件下进样测定,重复进样 3 次,以 6 个化合物的 3 次峰面积的平均值(y , AU)对其质量浓度(x , mg/L)进行线性回归,以 3 倍信噪比($S/N=3$)计算方法的检出限(LOD),以 $S/N=10$ 计算方法的定量下限(LOQ)。结果显示,维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、苯甲酸钠、泛酸钙在一定质量浓度范围内线性良好,相关系数(r)不低于 0.998 9, LOD 为 0.012~0.250 mg/L, LOQ 为 0.042~0.830 mg/L(表 1)。

表 1 6 个化合物的线性方程、线性范围、相关系数(r)、检出限和定量下限

Table 1 Regression equations, linear ranges, correlation coefficients(r), LODs and LOQs of six compounds

Analyte	Regression equation	Linear range (mg/L)	Correlation coefficient (r)	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
Vitamin B ₁ (维生素 B ₁)	$y=3.4887x+4.3291$	6.21~124.24	0.9996	0.012	0.042
Vitamin B ₂ (维生素 B ₂)	$y=1.8093x+0.2112$	1.23~24.62	0.9991	0.150	0.510
Vitamin B ₆ (维生素 B ₆)	$y=2.9441x+0.9428$	1.87~37.44	0.9992	0.250	0.830
Nicotinamide (烟酰胺)	$y=0.8560x+0.1691$	6.20~123.92	0.9989	0.160	0.530
Calcium pantothenate (泛酸钙)	$y=4.6587x-0.0878$	0.63~12.52	0.9990	0.180	0.630
Sodium benzoate (苯甲酸钠)	$y=0.2055x+1.9825$	60.17~1203.48	0.9995	0.042	0.140

2.2.3 重复性与稳定性 取五维他口服溶液(批号:191001)按“1.2.2”方法平行制备 6 份样品溶液,在优化条件下测定,重复进样 3 次并记录 6 个待测组分的平均峰面积和迁移时间。结果显示,维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、泛酸钙及苯甲酸钠的峰面积及迁移时间的相对标准偏差(RSD, $n=6$)均小于 2.0%,表明方法的重复性良好。

取五维他口服溶液(批号:191001)按“1.2.2”方法配制样品溶液,分别在 0、2、4、8、16、24、48、72、96、120 h 时进样测定。结果显示,在 24 h 内 6 个成分峰面积的 RSD 均小于 2.0%,而放置 24~120 h 后,6 个成分峰面积的 RSD 为 4.5%~18%,表明待测组分在 24 h 内稳定,超过 24 h 后不稳定,因此建议现用现配。

2.2.4 加标回收率与相对标准偏差 取批号 191001 的五维他口服溶液,向其中添加一定量“1.2.1”配制的混合对照品溶液,配成低、中、高 3 个浓度的加标溶液,在优化条件下重复进样 3 次,记录平均峰面积,计算待测组分的回收率与 RSD。结果显示,维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰

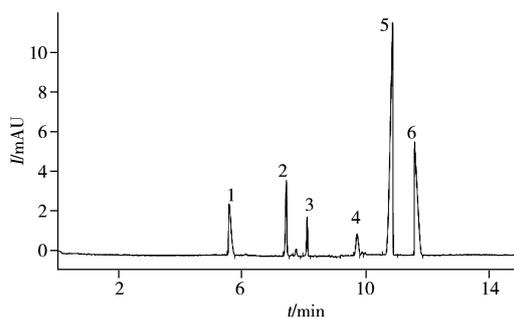


图 1 混合标准溶液的电泳图

Fig. 1 Electrophoretogram of the mixed solution
1. vitamin B₂, 2. vitamin B₆, 3. nicotinamide, 4. calcium pantothenate, 5. sodium benzoate, 6. vitamin B₁

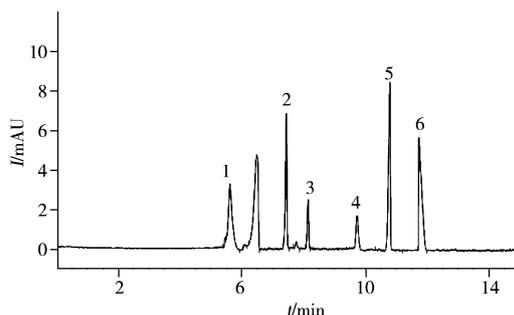


图 2 样品溶液的电泳图

Fig. 2 Electrophoretogram of the sample solution
1. vitamin B₂, 2. vitamin B₆, 3. nicotinamide, 4. calcium pantothenate, 5. sodium benzoate, 6. vitamin B₁

胺、泛酸钙及苯甲酸钠的回收率为 97.0%~103%, RSD 为 0.60%~1.8%, 表明方法的准确度高、精密度好, 能够满足多维他口服溶液中此 6 个成分的同时测定要求。

2.3 实际样品测定

采用本文建立的 MEKC 方法对来自 3 个厂家 6 个不同批次的多维他口服溶液进行检测, 每个样品平行 3 份, 在优化条件下测定维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、泛酸钙及苯甲酸钠的含量(表 2)。结果显示, 6 种化合物的测定结果与标示值相差不大, 均在质量标准规定限度的 90.0%~110% 范围内, 表明方法准确性较好, 可用于多维他口服溶液的质量控制。图 2 为批号 191001 样品的电泳图。

表 2 实际样品的测定结果($n=3$)
Table 2 Analytical results for the real samples($n=3$) $\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$

Analyte	Label content	GXCF		GDNG		JSSH	
		191001	190302	190405	190709	190322	190323
Vitamin B ₁	300	296.38	299.66	302.31	300.22	303.45	300.78
Vitamin B ₂	60	62.35	61.23	61.77	59.09	60.45	63.23
Vitamin B ₆	90	90.25	90.55	93.72	93.21	91.78	90.98
Nicotinamide	300	295.84	296.79	302.34	300.43	303.59	304.97
Calcium pantothenate	30	29.55	31.22	32.25	30.76	31.09	32.21
Sodium benzoate	3 000	3 046.47	3 099.78	2 988.78	2 993.07	3 087.46	3 022.44

3 结论

本文建立了胶束电动色谱法同时测定多维他口服溶液中维生素 B₁、B₂、B₆、烟酰胺、泛酸钙和苯甲酸钠含量的分析方法, 该方法操作简便可靠, 灵敏度高、重复性好, 具有很好的实际应用价值, 可用于该制剂的质量控制。

参考文献:

- [1] Liu X L, Wu G, Zhong H B. *Chin. Pharm. Aff.* (刘晓琳, 武谷, 钟淮滨. 中国药事), **2003**, 17(4): 241-242.
- [2] Huang C Q, Tang Y Q, Huang H L, Cao G H, Xu B, Xu Y L. *J. Shenyang Pharm. Univ.* (黄春青, 唐永强, 黄翰林, 曹桂红, 许波, 许亚玲. 沈阳药科大学学报), **2019**, 36(8): 682-687.
- [3] Gao M G, Lu X Y. *Occup. Health*(高敏国, 陆小燕. 职业与健康), **2013**, 29(24): 3351-3353.
- [4] Zheng R J, Lin S E, Chen H L. *Strait Pharm. J.* (郑仁锦, 林守二, 陈惠龙. 海峡药学), **2019**, 31(10): 91-93.
- [5] The State Drug Administration, The People's Republic of China. Standard of Tengluoning Capsule. Standard No. WS-1001-(HD-0408)-2002(中华人民共和国国家药品监督管理局. 多维他口服溶液. 编号: WS-1001-(HD-408)-2002).
- [6] Zhang F. *Shandong Chem. Ind.* (张峰. 山东化工), **2018**, 47(10): 29-30.
- [7] Li Y Q, Cui Y J, Jia B X, Liu C H, Wu Y Y, Qi Y X. *J. Instrum. Anal.* (李玉琴, 崔英杰, 贾宝秀, 刘彩红, 武洋洋, 齐永秀. 分析测试学报), **2010**, 29(8): 832-836.
- [8] Zhao H Y, Cai C, Wang Y C. *J. Instrum. Anal.* (赵红岩, 蔡诚, 王园朝. 分析测试学报), **2015**, 34(5): 576-581.
- [9] Long W R, Wang X Y, Shi Z Y, Cen Y H, Bai Y, Liu H W. *J. Instrum. Anal.* (龙巍然, 王兴益, 史振雨, 岑怡红, 白玉, 刘虎威. 分析测试学报), **2012**, 31(9): 1100-1104.
- [10] Zhang S, Gao L D, Liang H, Qin S L, Jiang C H, Duan S C, Xu L, Lin X T, Wang Y Y. *J. Instrum. Anal.* (张帅, 高立娣, 梁辉, 秦世丽, 蒋春红, 段圣村, 徐蕾, 林肖同, 王媛媛. 分析测试学报), **2020**, 39(2): 258-262.
- [11] Liu S Q, Wang H L. *Chin. J. Chromatogr.* (刘胜权, 汪海林. 色谱), **2011**, 29(9): 816-829.
- [12] Wei Q Y, Zhu P C, Xue Y, Xu Y J. *J. Instrum. Anal.* (韦湫阳, 朱平川, 薛莹, 徐远金. 分析测试学报), **2012**, 31(8): 992-995.
- [13] Liao N Y, Yuan X Y. *Chin. J. Mod. Appl. Pharm.* (廖乃英, 袁孝晔. 中国现代应用药学), **2020**, 37(3): 321-325.
- [14] Liao N Y, Yuan X Y. *China Pharm.* (廖乃英, 袁孝晔. 中国药师), **2020**, 23(2): 381-384.
- [15] Jiang Y Y, Guo L J, Cui X Y, Wang C Q, Hu X J, Li J M. *J. Instrum. Anal.* (蒋银燕, 郭丽娟, 崔小莹, 王翠琼, 胡小建, 李建明. 分析测试学报), **2015**, 34(2): 189-193.
- [16] Wu M Y, Li L J, Hu D C, Deng C Y, Kong H X, Li Y Q. *J. Instrum. Anal.* (吴美艳, 李利军, 胡大春, 邓春燕, 孔红星, 李彦青. 分析测试学报), **2012**, 31(3): 284-289.

(责任编辑: 周启动)