

高效液相色谱法测定保健食品-复合营养素补充剂 中维生素 B₁ 含量

陆伟*, 涂宏建, 王俊, 冯煦洸, 郁新弟, 贾福怀

(宁波御坊堂生物科技有限公司, 宁波 315012)

摘要: **目的** 建立高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定保健食品-复合营养素补充剂中维生素 B₁(vitamin B₁, VB₁)含量的分析方法。**方法** 选取基质复杂的多种维生素矿物质片作为代表样品, 通过创新性地设计酸性饱和乙二胺四乙酸二钠盐(ethylenediamine tetraacetic acid disodium salt, EDTA)提取溶液结合超声提取前处理方法, 充分络合各类矿物质元素并有效消除其他基质干扰, 针对样品中的维生素 B₁ 进行高效率提取。提取液经 0.45 μm 滤膜过滤后, HPLC 分离检测。**结果** 此改进后的分析方法能够针对多种维生素矿物质片中维生素 B₁ 含量进行准确定量检测。维生素 B₁ 在 1.0237~204.7380 μg/mL 浓度范围内线性关系良好($r^2=0.9999$), 方法的平均回收率达 98.59%, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)为 2.08% ($n=9$), 方法定量限(limit of quantification, LOQ)为 0.05 μg/mL。**结论** 本方法简单、高效、抗基质干扰能力强、重现性好, 适用于多种维生素矿物质片中的维生素 B₁ 的含量测定, 同时也为复杂基质的保健食品-复合营养素补充剂中维生素 B₁ 的含量检测提供新的途径。

关键词: 维生素 B₁; 多种维生素矿物质片; 复合营养素补充剂; 保健食品; 高效液相色谱法

Determination of vitamin B₁ in functional food-complex nutrients supplementation by high performance liquid chromatography

LU Wei*, TU Hong-Jian, WANG Jun, FENG Xu-Guang, YU Xin-Di, JIA Fu-Huai

(Ningbo Yufangtang Biological Technology Co., Ltd., Ningbo 315012, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of vitamin B₁ in functional food-complex nutrients supplementation by high performance liquid chromatography (HPLC). **Methods** Multi vitamin mineral tablets with complex matrix were selected as representative samples. By innovatively designing the extraction solution of acid saturated ethylenediamine tetraacetic acid disodium salt (EDTA) and combining the pretreatment method of ultrasonic extraction, various mineral elements were fully complexed and other matrix interference was effectively eliminated, and vitamin B₁ in the sample was extracted with high efficiency. The extract was filtered by 0.45 μm filter membrane and separated and detected by HPLC. **Results** Using this improved method could accurately and quantitatively detect vitamin B₁ in compound vitamins and minerals tablets. In the range of

基金项目: 宁波市“科技创新 2025”生物医药与高端医疗器械科技创新重大专项项目(2019B10060)

Fund: Supported by the Ningbo “Science and Technology Innovation 2025” Major Special Technology Innovation of Biomedicine and High-end Medical Devices (2019B10060)

*通信作者: 陆伟, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: 190980997@qq.com

*Corresponding author: LU Wei, Master, Engineer, Ningbo Yufangtang Biological Technology Co., Ltd., No.188, Duantang West Road, Ningbo 315012, China. E-mail: 190980997@qq.com

1.0237–204.7380 $\mu\text{g/mL}$, the linear relationship of vitamins was good ($r^2=0.9999$). The average recoveries were 98.59%. The relative standard deviations (RSDs) were 2.08% ($n=9$). This limit of quantification of method was 0.05 $\mu\text{g/mL}$. **Conclusion** This method is simple, efficient, has strong anti matrix interference ability and good reproducibility, and can be used for determination of vitamin B₁ in compound vitamins and minerals tablets. It also provides a new approach for determination of vitamin B₁ in functional food-complex nutrients supplementation with complex matrix.

KEY WORDS: vitamin B₁; compound vitamins and minerals tablets; complex nutrients supplementation; functional food; high performance liquid chromatography

0 引言

维生素 B₁ (vitamin B₁, VB₁) 又称为硫胺素(thiamin), 也可称为抗神经炎因子(aueurin)。近年来的研究^[1-5]表明, VB₁ 对于细胞的生长和发育、参与碳水化合物和能量代谢方面具有重要作用, 同时在维持神经、肌肉特别是心肌的正常功能, 以及维持正常食欲、胃肠蠕动和消化分泌中均扮演着不可或缺的角色。缺乏 VB₁ 在临床上会导致心血管疾病和神经性障碍。然而, 所有哺乳动物都不具备内源合成 VB₁ 的能力, 同时人体内的 VB₁ 也不能大量储存, 必须通过外源食物的补充来维持体内的稳态^[6-7]。因此除了日常膳食中的摄入外, 各类含有 VB₁ 的营养素补充剂也成为大众摄入 VB₁ 的一大重要途径^[8-11]。

近年来已有不少针对 VB₁ 含量检测方法相关的研究报道^[12-16], 但主要集中在新型高灵敏检测仪器的使用和创新, 然而针对复杂基质样品的 VB₁ 高效率提取和强抗干扰样品前处理方法的研究则鲜有报道^[17-21]。考虑到 VB₁ 不仅容易被光和热降解, 同时复杂基质样品中的 VB₁ 还容易被氧化成为硫色素(thiochrome), 不彻底的提取方式及抗干扰能力相对较弱的样品前处理方法将严重影响 VB₁ 含量测定的准确性和重复性, 因此针对复杂基质中强抗干扰能力前处理方法的研究具有重要意义。本研究通过创新性地设计酸性饱和乙二胺四乙酸二钠盐(ethylenediamine tetraacetic acid disodium salt, EDTA)提取溶液结合超声提取前处理方法, 充分络合各类矿物质元素并有效消除基质干扰, 针对多种维生素矿物质片样品中的 VB₁ 进行高效率提取和准确定量, 也为复杂基质的保健食品-复合营养素补充剂中的 VB₁ 含量检测提供一条新的途径。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

冰乙酸、盐酸、乙二胺四乙酸二钠盐(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 三氟乙酸(trifluoroacetic acid, TFA, 色谱纯, 美国 Sigma 公司); 乙腈(色谱纯, 美国 TEDIA 公司); 维生素 B₁ 对照品(CAS: 67-03-8, 含量: 以

C₁₂H₁₇ClN₄OS·HCl 计为 97.9%, 中国食品药品检定研究院); 2 款多种维生素矿物质片(批号: 20200704, 20200705, 20200706; 20200801, 20200802, 20200803; 均含有 14 种不同的营养素补充剂, VB₁ 以盐酸硫胺素为功能性原料添加, 宁波御坊堂生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

Agilent 1260 HPLC 高效液相色谱仪(附紫外检测器, 美国 Agilent 公司); FE 20 型 pH 计、ME 204 型分析天平(瑞士梅特勒-托利多公司); SBL-10DT 超声波恒温清洗机(宁波新芝生物科技有限公司); GWB-1 超纯水机(电阻率 $\geq 18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$, 北京普析通用仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 溶液配制

饱和乙二胺四乙酸二钠盐溶液: 称取 120 g 乙二胺四乙酸二钠盐于 1 L 烧杯中, 加水 1 L, 搅拌并超声溶解 1 h。

0.01 mol/L 盐酸水溶液: 移取 0.22 mL 盐酸置于 250 mL 容量瓶中, 用水定容至刻度, 摇匀。

样品提取液: 取 1 L 的饱和乙二胺四乙酸二钠溶液+ 20 mL 冰乙酸, 混匀, pH 在 3~4 之间。

1.3.2 HPLC 色谱条件

色谱柱: Waters Xselect HSS T3 (4.6 mm×150 mm, 3.5 μm); 检测波长: 280 nm; 进样体积: 5 μL ; 流速: 0.8 mL/min; 柱温: 30 $^{\circ}\text{C}$; 运行时间: 30 min; 流动相 A: 0.1% TFA 水溶液; 流动相 B: 乙腈; 梯度洗脱程序如表 1 所示。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Gradient elution procedures

时间/min	流 A: 0.1% TFA 水溶液/%	流 B: 乙腈/%
0.00	96.0	4.0
5.00	96.0	4.0
10.00	80.0	20.0
15.00	10.0	90.0
23.00	10.0	90.0
23.01	96.0	4.0
30.00	96.0	4.0

1.3.3 对照品溶液配制

精密称取 10 mg 的 VB₁ 对照品(精确至 0.001 g)于 50 mL 棕色容量瓶中,加入 0.01 mol/L 盐酸水溶液溶解并稀释定容,即为 VB₁ 对照品储备溶液。

准确移取 1 mL VB₁ 对照品储备溶液置于 10 mL 棕色容量瓶中,加水稀释定容,摇匀后即得 VB₁ 对照品工作溶液。

1.3.4 样品前处理

取 20 粒以上多种维生素矿物质片样品,研磨混匀,精密称取 0.6 g 左右样品粉末(精确至 0.001 g)于 50 mL 棕色容量瓶中,加入约 40 mL 样品提取液,摇匀。将容量瓶置于超声水浴中提取 15 min (超声功率: 100 W、水浴温度恒温: 20 °C)。待冷却后用样品提取液定容至刻度,摇匀。静置 5 min 后,取上清液过 0.45 μm 滤膜,得上机试样。

1.3.5 样品测定

分别将对照品工作溶液和样品溶液 5 μL 注入高效液相色谱仪中进行测定,以保留时间定性,色谱峰峰面积外标法定量。检测结果以硫胺素计。考虑到 VB₁ 的光降解性,本方法前处理及检测过程应尽量避免光操作。

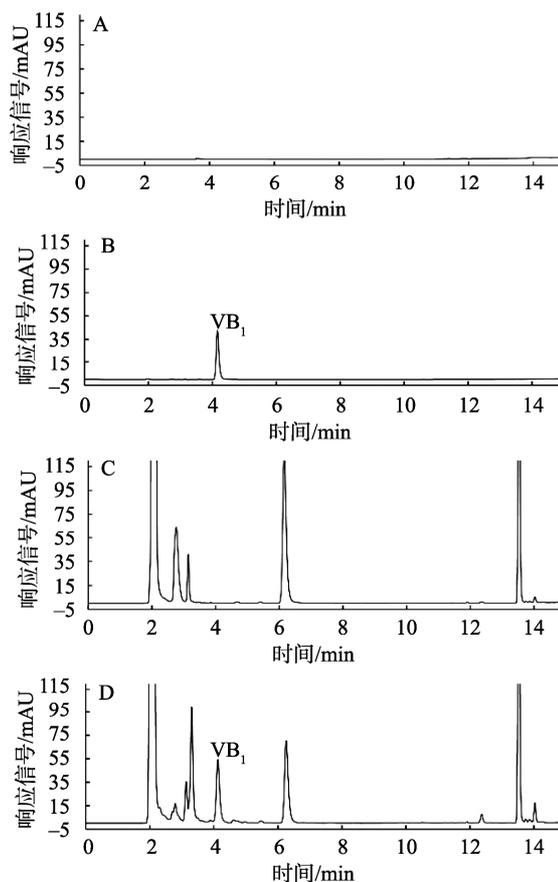
2 结果与分析

2.1 不同检测方法的对比与讨论

GB 5009.84—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定》规定了高效液相色谱法和荧光光度法 2 种不同的分析方法用于测定食品中 VB₁, 其中高效液相色谱法规定样品通过稀盐酸介质恒温水解、中和、酶解,水解液用碱性铁氰化钾衍生,正丁醇萃取,液相分离荧光检测器定量,定量限为 0.1 mg/100 g。其更适用于天然食品及简单配方的保健食品,而用于例如多种维生素矿物质片样品,则在样品前处理阶段无法避免各营养素之间的相互氧化还原反应,VB₁ 的实测值不足理论添加量的一半,难以用于定量分析。同时其前处理步骤复杂,检测效率较低。2020 版《中国药典》^[22]则通过滴定法或紫外分光光度法进行 VB₁ 的含量测定,不仅同样无法避免各营养素之间的相互干扰,同时定量限较高,无法满足保健食品-复合营养素补充剂样品中 VB₁ 的含量测定。基于上述不足,本研究针对复合营养素补充剂类保健食品尤其是复杂基质的复配多种维生素矿物质片,旨在开发一种操作简单、检测效率高、前处理提取效果好、回收率高的高效液相色谱分析方法。方法中应用酸性 EDTA 饱和溶液超声提取的前处理方法,能够高效提取样品中 VB₁ 的同时,充分络合各类矿物质离子,避免与 VB₁ 发生氧化还原反应,保护 VB₁ 稳定不被降解。最终提取溶液经 HPLC 高效分离,紫外检测器高灵敏检测。下文依据《中国药典》四部通则 9101 分析方法验证指导原则进行实验设计,用以系统性验证本研究建立的分析方法能够满足多种维生素矿物质片中 VB₁ 的准确定量。

2.2 专属性考察

根据“1.3.2”色谱条件,分别针对试剂空白(样品提取溶液)、辅料空白(不含 VB₁ 的空白多种维生素矿物质片配制溶液)、VB₁ 对照品溶液和多种维生素矿物质片样品溶液进行 HPLC 分析,结果发现试剂空白和辅料空白在主成分 VB₁ 出峰位置处没有紫外吸收,且无明显杂质干扰;样品溶液和对照品溶液中 VB₁ 的出峰时间完全一致[保留时间(retention time, RT)=4.1 min],二极管阵列检测器(diode array detector, DAD)色谱峰纯度分析结果良好,未发现明显杂质包裹现象。同时,样品溶液中 VB₁ 色谱峰的理论塔板数>7700,峰型良好,拖尾因子为 1.25,主峰和前后杂质峰分离度分别为 1.52 和 2.45,达到分离要求。本色谱方法专属性良好,色谱图详见图 1。



注: A: 试剂空白谱图; B: VB₁ 对照品溶液谱图; C: 辅料空白谱图; D: 样品溶液谱图。

图 1 方法专属性考察谱图

Fig.1 Chromatograms of method specificity

2.3 线性考察

分别配制 1.0237、5.1185、10.2369、20.4738、51.1845、102.3690、204.7380 μg/mL 一系列质量浓度的对照品溶液进行测定。以 VB₁ 色谱峰面积 Y 为纵坐标,溶液质量浓度(X,

$\mu\text{g/mL}$)为横坐标, 进行线性回归分析并计算, 结果发现对照品溶液在质量浓度为 1.0237~204.7380 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好, 线性回归方程: $Y=12.345X+8.2768$, 相关系数 $r^2=0.9999$, 线性良好。同时, 采用信噪比法(S/N)测定本方法的定量限和检出限, 分别以 $S/N=10$ 和 $S/N=3$ 所对应的 VB_1 浓度定为本检测方法的定量限和检出限。具体实验通过在空白基质中加入一定浓度的 VB_1 对照品后进行上述样品前处理及测定过程, 收集色谱图, 运用色谱软件针对 VB_1 主峰进行积分及信噪比计算。结果发现定量限为 0.05 $\mu\text{g/mL}$ 时, VB_1 主峰信噪比 $S/N=13.5 > 10$, 满足定量限要求; 检出限为 0.02 $\mu\text{g/mL}$ 时, VB_1 主峰信噪比 $S/N=3.6 > 3$, 满足检出限要求, 并远远满足保健食品中 VB_1 含量检测要求, 说明本方法灵敏度较高。

2.4 精密度考察

2.4.1 仪器进样精密度考察

针对对照品溶液和样品溶液, 按 1.3.2 中的方法分别重复 6 次进样, 记录 VB_1 主峰峰面积, 考察色谱方法中的仪器精密度情况。结果发现对照品溶液的仪器精密度为 0.42%; 样品溶液的仪器精密度为 0.87%, 说明此仪器方法精密度良好。

2.4.2 重复性考察

重复平行 6 次样品前处理及仪器测定过程, 分析同批次样品中的 VB_1 含量, 以考察本方法的重复性。结果发现 6 次实验的相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs) 为 0.61%, 说明本方法的重复性较好。

2.4.3 中间精密度考察

选取 3 个连续批次的多种维生素矿物质片样品, 通过比对同个实验室 2 位实验人员、不同测试时间及不同检测仪器的含量测定数据结果, 进行本方法的中间精密度考察。6 组测试数据保持一致, RSDs 为 1.02%, 说明本方法中间精密度良好。

2.5 准确度考察

通过加标回收率实验考察本方法的准确度。具体实验

在已测批次样品中分别加入低、中、高 3 种不同浓度水平的对照品后, 重复样品前处理及仪器测定过程, 最终计算加标回收率结果。详细数据见表 2, 本方法的平均回收率为 98.59%, RSDs 为 2.08%, 结果良好。说明本方法准确度较好, 满足准确定量检测要求。

2.6 样品溶液稳定性考察

在室温、避光放置的条件下, 针对配制后的对照品工作溶液和样品溶液进行稳定性考察, 分别取配制后 0、8、16 h 不同时间点同个样品进行重复进样, 测试其中 VB_1 的色谱峰面积。结果发现 16 h 后对照品溶液的色谱峰面积下降 0.93%; 样品溶液的色谱峰面积下降 1.95%, 可见溶液中的 VB_1 稳定性良好, 16 h 内检测基本不影响其含量测定结果。

2.7 耐用性考察

为了考察本仪器方法的耐用性, 通过在小范围内改变液相分析方法的柱温和流速参数, 按同样的前处理方法测定多种维生素矿物质片样品中的 VB_1 含量。结果发现在流速变动 ± 0.05 mL/min 以及柱温变动 ± 3 °C 的条件下, 样品溶液色谱图中的 VB_1 主峰峰型仍保持良好, 与周围杂质的分离度控制在 1.35~2.78 范围内, 主峰理论塔板数均在 7200 以上。达到基线分离要求而不影响定量分析, 同时参数改变后计算的定量结果恒定, 由此证明本方法耐用性良好。

2.8 实验室间数据比对与方法适用性研究

选取 2 款不同配方多种维生素矿物质片产品, 通过比对本公司研发实验室与第三方检测机构采用本方法针对 6 批次样品含量测定的结果, 以验证本方法实验室间的重现性。最终 2 个实验室测试结果保持一致, 无明显差异, 且均与理论添加量一致。由此可得本方法的实验室间重现性良好, 适合于多种维生素矿物质片中的 VB_1 含量准确检测。具体对比数据如表 3 所示。

表 2 加标回收率实验结果($n=9$)
Table 2 Results of spiked recovery rates experiment ($n=9$)

样品序号	样品量/g	样品中原有量/ μg	对照品加入量/ μg	测定结果/ μg	回收率/%	平均回收率/%	RSDs/ %
1	0.6028	2990.1442		5199.6452	95.87		
2	0.6011	2981.7115	2304.566	5203.2632	96.40		
3	0.6031	2991.6323		5319.4511	101.01		
4	0.6014	2983.1996		5896.2856	99.32		
5	0.6053	3002.5453	2933.084	5911.2394	99.17	98.59	2.08
6	0.6044	2998.0809		5899.3344	98.91		
7	0.6016	2984.1917		6631.2972	102.40		
8	0.6100	3025.8593	3561.602	6488.5691	97.22		
9	0.6059	3005.5215		6459.3125	96.97		

表3 不同实验室间数据比对
Table 3 Data comparison between different laboratories

样品及批次/(800 mg/片)	多种维生素矿物质片-1			多种维生素矿物质片-2		
	20200704	20200705	20200706	20200801	20200802	20200803
御坊堂检测数据(mg/片, 以硫胺素计)	3.54	3.55	3.55	1.95	1.94	1.91
第三方检测机构检测数据	3.36	3.36	3.44	1.84	1.76	1.76
绝对差值	0.17	0.19	0.11	0.11	0.18	0.15
相对误差/%	4.8	5.4	3.1	5.6	9.3	7.9

为了验证本方法的适用性,通过选取3款本公司自产保健食品及7款市面上常见品牌的保健食品:多种B族维生素片、多种维生素矿物质片、多种维生素矿物质泡腾片、维生素口服液、维生素功能饮料等,进行VB₁的含量测定。各产品实验结果的测试值均符合理论添加量,或与其标签标示值一致,且检测数据稳定性良好。由此证明本方法在保健食品中VB₁含量测定方面具有较广的实际适用性。

3 结论与讨论

本研究创新性采用酸性饱和EDTA溶液超声提取的样品前处理,结合HPLC仪器检测方法,解决了以多种维生素矿物质为代表的复杂基质保健食品-复合营养素补充剂中维生素B₁的快速高效提取及准确定量检测问题。相比于现行国家标准(GB 5009.84—2016)及中国药典中规定的法定方法,本研究方法能够有效地消除复杂基质中矿物元素及其他维生素对于提取和检测过程中的干扰,样品前处理时间更短,抗基质干扰能力更强,提取效率更高,很大程度提高了维生素B₁含量检测的准确性和重现性。本方法适用于市售的绝大部分多种维生素矿物质片、复配营养素补充剂、复杂基质保健食品等产品中的维生素B₁的含量检测,为复杂基质中维生素B₁的含量检测提供了一种新的途径。

参考文献

- [1] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量: 2013版[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
Chinese Society of Nutrition. Reference intake of dietary nutrients for Chinese residents [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [2] STROHM D, BECHTHOLD A, ISIK N, *et al.* Revised reference values for the intake of thiamin (vitamin B₁), riboflavin (vitamin B₂) and niacin [J]. *Nfs J*, 2016, 3: 20–24.
- [3] COMBS JGF, MCCLUNG JP. The vitamins (fifth edition) [M]. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [4] DINICOLANTONIO JJ, LIU J, O'KEEFE JH. Thiamine and cardiovascular disease: A literature review [J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2018, 61(1): 27–32.
- [5] CHRIXTOPHER JB. Analytical procedures for water-soluble vitamins in foods and dietary supplements [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2007, 389: 63–76.

- [6] 林江丽, 王金霞, 张雪霞, 等. RP-HPLC法测定SO₂处理前后新疆无核葡萄干中的B族维生素[J]. *分析测试学报*, 2017, 36(1): 122–126.
LIN JL, WANG JX, ZHANG XX, *et al.* Determination of B-vitamins in Xinjiang currants treated with SO₂ by RP-HPLC [J]. *J Instrum Anal*, 2017, 36(1): 122–126.
- [7] 杨云霞, 刘彤, 王步军. 高效液相色谱法测定小米中维生素B₁[J]. *食品科学*, 2008, 29(2): 337–339.
YANG YX, LIU T, WANG BJ. Study on determination of vitamin B₁ in millet by high performance liquid chromatography [J]. *Food Sci*, 2008, 29(2): 337–339.
- [8] 黄旭, 贾宏新, 李辉. 荧光分光光度法测定营养素补充剂中硫胺素含量的测量不确定度评定[J]. *食品科学*, 2015, 36(10): 174–178.
HUANG X, JIA HX, LI H. Evaluation of the uncertainty of measurement for determination of thiamine content in nutritional supplements by fluorescence spectrophotometry [J]. *Food Sci*, 2015, 36(10): 174–178.
- [9] 邱清莲, 秦菁, 黄成安, 等. 含葡萄籽提取物的保健品中维生素B₁含量的测定[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(23): 6267–6271.
QIU QL, QIN J, HUANG CA, *et al.* Determination of vitamin B₁ content in health care products containing grape seed extract [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(23): 6267–6271.
- [10] 王海燕, 高文超, 张会亮, 等. 婴儿配方乳粉中维生素B₁、B₂含量测定能力验证[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(1): 77–81.
WANG HY, GAO WC, ZHANG HL, *et al.* Proficiency testing on the determination of vitamin B₁ and B₂ in infant formula milk powder [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(1): 77–81.
- [11] 张隆龙, 王海燕, 胡越, 等. 高效液相色谱法测定婴幼儿配方乳粉中的维生素B₁、维生素B₂[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(1): 129–134.
ZHANG LL, WANG HY, HU Y, *et al.* Determination of vitamin B₁ and vitamin B₂ in infant milk powder by high performance liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(1): 129–134.
- [12] 姜莎, 辛慧, 莫日根, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定蛋白胨中9种B族维生素[J]. *色谱*, 2019, 37(11): 1157–1161.
JIANG S, XIN H, MO RG, *et al.* Determination of nine B vitamins in peptone using ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2019, 37(11): 1157–1161.
- [13] 陈美君, 王旻, 亢美娟, 等. 超高压液相色谱-串联质谱法同时测定婴幼儿配方乳粉中11种B族维生素[J]. *食品科学*, 2016, 37(4): 144–153.
CHEN MJ, WANG M, KANG MJ, *et al.* Simultaneous determination of 11 kinds of B vitamins in infant formula by UPLC-MS/MS [J]. *Food Sci*, 2016, 37(4): 144–153.
- [14] 王柳玲, 黄伟乾, 吴国辉, 等. 高效液相色谱-荧光法与高效液相色谱

- 法-二极管阵列法测定食品中维生素 B₁ 含量的比较研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(5): 1007-1012.
- WANG LL, HUANG WQ, WU GH, *et al.* Comparison of the determination of vitamin B₁ content in the food by high performance liquid chromatography-fluorescence method and high performance liquid chromatography-diode array method [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(5): 1007-1012.
- [15] 李丹. 在线衍生高效液相色谱荧光光谱法测定食品中维生素 B₁[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(20): 5445-5451.
- LI D. Determination of vitamin B₁ in food by high performance liquid chromatography-fluorescence spectrometry coupled with on-line derivatization [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(20): 5445-5451.
- [16] 张琰图, 章竹君, 杨维平, 等. 反相高效液相色谱-化学发光法测定复合维生素片剂中的维生素 B₁ 和 B₂ 色谱[J]. 色谱, 2003, 21(4): 391-393.
- ZHANG YT, ZHANG ZJ, YANG WP, *et al.* Determination of thiamine and riboflavin by reversed-phase high performance liquid chromatography with chemiluminescence detection [J]. *Chin J Chromatogr*, 2003, 21(4): 391-393.
- [17] 胡雯雯, 陶建伟, 王庆伟, 等. 高精度定量毛细管电泳法同时测定复合维生素 B 片中 B₁, B₂, B₆, 烟酰胺及泛酸钙[J]. 色谱, 2019, 37(6): 661-665.
- HU WW, TAO JW, WANG QW, *et al.* Simultaneous determination of vitamins B₁, B₂, B₆, niacinamide and calcium pantothenate in compound vitamin B tablets by high performance quantitative capillary electrophoresis [J]. *Chin J Chromatogr*, 2019, 37(6): 661-665.
- [18] 李丹凤, 黄罗健, 朱健萍, 等. 胶束电动色谱法测定多维他口服溶液中维生素 B₁, B₂, B₆, 烟酰胺, 泛酸钙与苯甲酸钠[J]. 分析测试学报, 2020, 39(9): 1155-1159.
- LI DF, HUANG LJ, ZHU JP, *et al.* Simultaneous determination of vitamin B₁, B₂, B₆, nicotinamide, calcium pantothenate and sodium benzoate in five vitamins oral solution by micellar electrokinetic chromatography [J]. *J Instrum Anal*, 2020, 39(9): 1155-1159.
- [19] 李克, 王华娟, 潘朝晖, 等. 离子对反相高效液相色谱法同时测定复合维生素片中 4 种水溶性维生素[J]. 色谱, 2003, 21(1): 66-68.
- LI K, WANG HJ, PAN ZH, *et al.* Simultaneous determination of four water soluble vitamins in multivitamin tablets by ion-pair reversed-phase high performance liquid chromatography [J]. *Chin J Chromatogr*, 2003, 21(1): 66-68.
- [20] 胡晓琴, 尤慧艳. 毛细管电泳法高压快速分离分析菠菜中的水溶性维生素[J]. 色谱, 2019, 27(6): 835-839.
- HU XQ, YOU HY. Fast separation and analysis of water-soluble vitamins in spinach by capillary electrophoresis with high voltage [J]. *Chin J Chromatogr*, 2019, 27(6): 835-839.
- [21] 吴宏星, 郑艾妮, 苏草茵, 等. 微乳液相色谱法同时分离 7 种水溶性维生素[J]. 色谱, 2017, 35(4): 339-444.
- WU HX, ZHENG AIN, SU CY, *et al.* Simultaneous separation of seven water-soluble vitamins with microemulsion liquid chromatography [J]. *Chin J Chromatogr*, 2017, 35(4): 339-444.
- [22] 中华人民共和国国家药典委员会. 中华人民共和国药典(二部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- The National Pharmacopoeia Commission of the People's Republic of China. The pharmacopoeia of the People's Republic of China (Part II) [M]. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2020.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



陆 伟, 硕士, 工程师 主要研究方向
为食品质量与安全。

E-mail: 190980997@qq.com