

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

张隆龙, 王海燕, 胡越, 曹进*

(中国食品药品检定研究院, 北京 100050)

摘要: **目的** 建立高效液相色谱法快速测定婴幼儿配方乳粉中的维生素 B₁、B₂ 的含量。**方法** 样品进行前处理后, 采用 Waters Xbridge C₁₈ 色谱柱(150 mm × 4.6 mm, 5 μm)进行分离。以 0.05 mol/L 乙酸钠溶液-甲醇为流动相等度洗脱, 柱温为 30 °C, 流速为 1 mL/min, 荧光检测器进行检测, 外标法定量。**结果** 在优化的实验条件下, 维生素 B₁、维生素 B₂ 可以有效分离, 线性范围为 0.05~1.00 μg/mL, 相关系数均大于 0.999。维生素 B₁ 的加标回收率为 87.4%~99.1%, 相对标准偏差为 1.2%~3.06%, 检出限为 0.03 mg/100 g; 维生素 B₂ 的加标回收率为 90.6%~97.8%, 相对标准偏差为 0.97%~3.44%, 检出限为 0.02 mg/100 g。**结论** 此方法简单、快捷、高效, 适用于婴幼儿配方乳粉中维生素 B₁、维生素 B₂ 的测定。

关键词: 婴儿奶粉; 维生素 B₁; 维生素 B₂; 高效液相色谱法

Determination of vitamin B₁ and vitamin B₂ in infant milk powder by high performance liquid chromatography

ZHANG Long-Long, WANG Hai-Yan, HU Yue, CAO Jin*

(National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China)

ABSTRACT: Objective To establish a rapid method for the determination of vitamin B₁ and B₂ in infant milk powder by high performance liquid chromatography. **Methods** After the pretreatment, the samples were separated with Waters Xbridge C₁₈ column (150 mm × 4.6 mm, 5 μm) by using 0.05 mol/L sodium acetate solution and methanol for isocratic elution at the flow of 1 mL/min. The temperature of column was 30 °C. The samples were detected by fluorescence detector and quantified by external standard method. **Results** Vitamin B₁ and vitamin B₂ were separated efficiently under optimized experimental conditions. All of the linear range was 0.05-1.00 μg/mL and the correlation coefficients were higher than 0.999. The recoveries of spiked samples of vitamin B₁ were 87.4%-99.1%, the relative standard deviations were 1.2%-3.06%, and the limit of detection was 0.03 mg/100 g. The recoveries of spiked samples of vitamin B₂ were 90.6%-97.8%, the relative standard deviations were 0.97%-3.44%, and the limit of detection was 0.02 mg/100 g. **Conclusion** This method is simple, rapid and efficient, and it is suitable for the determination of vitamin B₁ and vitamin B₂ in infant formula milk powder.

KEY WORDS: infant milk powder; vitamin B₁; vitamin B₂; high performance liquid chromatography

*通讯作者: 曹进, 研究员, 主要研究方向为食品分析。E-mail: caojin@nifdc.org.cn

*Corresponding author: CAO Jin, Professor, National Institutes for Food and Drug Control, No.2, Tiantanxili, Dongcheng Distric, Beijing 100050, China. E-mail: caojin@nifdc.org.cn

1 引言

维生素是维持人体正常生命活动的一类有机化合物,是保证人体健康的重要营养物质。维生素按溶解性分类可分为水溶性维生素和脂溶性维生素,脂溶性维生素主要包括维生素 A、D、E、K 等,水溶性维生素主要包括维生素 B 族和维生素 C 等^[1]。维生素 B 族是一大类维生素的统称,主要包括维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆、维生素 B₁₂、烟酸、泛酸、叶酸等。其中,维生素 B₁ 又称硫胺素、抗神经炎维生素或抗脚气病维生素,是人们生活中必需的一种营养要素,在调节和控制新陈代谢方面有重要作用,是维持心脏、神经及消化系统正常运转所必需的物质。当维生素 B₁ 缺乏时,可引起多种神经炎症,患者的周围神经末梢出现发炎和退化现象,并伴有四肢麻木、肌肉萎缩、心力衰竭、下肢水肿等症^[2]。维生素 B₂ 又称核黄素,在人体内主要参与生物氧化与能量代谢,可提高机体对蛋白质的利用率,促进生长发育,维护皮肤和细胞膜的完整性。同时,维生素 B₂ 参与细胞的生长代谢,是机体组织代谢和修复的必需营养素。

维生素 B₁ 和 B₂ 在婴幼儿配方乳粉中起到重要作用。在一段的乳粉中,维生素 B₁ 和 B₂ 含量过高或过低会对新生儿造成不利影响。在二段及三段的乳粉中,维生素 B₁ 和 B₂ 含量不够则会导致婴幼儿生长发育不良。在通常的检测中,一般使用国标 GB 5009.84—2016《食品安全国家标准食品中维生素 B₁ 的测定》^[3]和 GB 5009.85—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B₂ 的测定》^[4]对婴幼儿配方乳粉进行维生素 B₁ 和维生素 B₂ 的检测。然而,国标方法须将样品过夜酶解,费时较多。

本研究在国标的基础上省略前处理步骤,在不影响回收率的基础上节省了实验时间且操作简单,为检测机构日常工作提供参考。

2 材料与方法

2.1 仪器与设备

Water 2695 型高效液相色谱仪,带荧光检测器(美国沃特世公司);HITACHI CF16RXII离心机、AL204 分析天平(瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司);H₂O-pro-DI-B 超纯水器(sartorius stedim);KQ3200DE 超声振荡器(昆山市超声仪器有限公司)。

2.2 试剂

甲醇、正丁醇(色谱纯,德国默克公司);盐酸、氢氧化钠、冰乙酸、三水乙酸钠(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);木瓜蛋白酶(2400 U/mg)、淀粉酶(沪试,2000 U/g)(百灵威公司)。

2.3 溶液制备

铁氰化钾溶液:称取 1 g 铁氰化钾,用水溶解并定容至 50 mL,摇匀。

氢氧化钠溶液:取 20 g 氢氧化钠,用水溶解并定容至 200 mL,摇匀

碱性铁氰化钾溶液:取 5 mL 铁氰化钾溶液于上述 200 mL 氢氧化钠溶液中,混匀。

维生素 B₁ 标准工作液:准确称取经五氧化二磷或氯化钙干燥的盐酸硫胺素标准品 56.1 mg,相当于硫胺素 50 mg,于 100 mL 容量瓶中,用 0.01 mol/L 盐酸溶液溶解并定容。逐级稀释,得到浓度为 0.05、0.1、0.2、0.5、1.0 μg/mL 的标准溶液。分别取各浓度标准溶液 2 mL 于 10 mL 试管中,加入 1 mL 碱性铁氰化钾溶液,涡旋混匀,加入 2 mL 正丁醇,再次混匀,静置 10 min,吸取正丁醇相经 0.45 μm 有机滤膜过滤,置于棕色进样瓶中待测。

维生素 B₂ 标准工作液:准确称取经五氧化二磷或氯化钙干燥的维生素 B₂ 标准品 10 mg,加入 2 mL 盐酸溶液(盐酸与水=1:1, V:V)超声溶解后,用水转移并定容至 100 mL,制成标准储备液。用水逐级稀释标准储备液,得到标准工作液也浓度分别为:0.05、0.1、0.2、0.5、1 μg/mL。

2.4 样品处理

2.4.1 测定维生素 B₁

样品开封后,置于阴凉避光处,性状稳定。将未开封的婴幼儿配方乳粉开封,从 4 个不同独立包装中取出样品,使其重量达到 200 g 以上。将样品置于均质器中,混匀、均质,密封,避光。称取 3 g 样品放入 100 mL 具塞锥形瓶中,加入 60 mL 的 0.1 mol/L 的盐酸溶液,充分摇匀,塞好瓶塞。将锥形瓶放入高压灭菌锅内,在 121 °C 下保持 30 min,冷却至室温后取出,转移至 100 mL 容量瓶中,加水定容至刻度,以 5000 r/min 离心 10 min,取上清液 2 mL 于 10 mL 试管中,加入 1 mL 碱性铁氰化钾溶液,涡旋混匀,加入 2 mL 正丁醇,再次混匀,静置 10 min,吸取正丁醇相经 0.45 μm 有机滤膜过滤,置于棕色进样瓶中待测^[5-10]。

2.4.2 测定维生素 B₂

将未开封的婴幼儿配方乳粉开封,从 4 个不同独立包装中取出样品,使其重量达到 200 g 以上。将其置于均质器中,混匀、均质,密封,避光。称取 3 g 样品放入 100 mL 具塞锥形瓶中,加入 60 mL 的 0.1 mol/L 的盐酸溶液,充分摇匀,塞好瓶塞。将锥形瓶放入高压灭菌锅内,在 121 °C 下保持 30 min,冷却至室温后取出,转移至 100 mL 容量瓶中,加水定容至刻度,以 5000 r/min 离心 10 min,经 0.45 μm 有机滤膜过滤,置于棕色进样瓶中待测^[10-16]。

2.5 液相色谱条件

色谱柱:Waters Xbridge C₁₈ 柱(150 mm×4.6 mm, 5 μm);

流动相: 0.05 mol/L 乙酸钠溶液: 甲醇=65:35, V:V, 等度洗脱。柱温: 30 °C; 流速: 1 mL/min; 进样量: 10 μL;

检测波长: 维生素 B₁: 激发波长 375 nm, 发射波长: 435 nm。

维生素 B₂: 激发波长 462 nm, 发射波长: 522 nm。

3 结果与分析

3.1 样品前处理条件的选择与优化

测定食品中维生素 B₁ 和维生素 B₂ 的现行国标为 GB 5009.84—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定》和 GB 5009.85—2016《食品中维生素 B₂ 的测定》。此 2 种标准针对所有种类食品样品进行维生素 B₁ 和维生素 B₂ 的测定。然而前处理中, 国标方法要求对样品进行酸解及过夜酶解, 总体耗时较长, 方法较为繁琐。婴幼儿配方乳粉较大宗食品而言基质较为简单, 因此在实验中, 可对国标方法进行优化, 研究出更适合婴幼儿配方乳粉中维生素 B₁ 和维生素 B₂ 的测定方法。经过反复研究与多次实验, 在测定婴幼儿配方乳粉中维生素 B₁ 和维生素 B₂ 时, 可在 GB 5009.84—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定》和 GB 5009.85—2016《食品中维生素 B₂ 的测定》的基础上省略酶解步骤, 为整体实验节省 12 h 的时间, 同时, 测定结果与国标方法测定结果基本一致, 偏差 < 5%。本研究中, 为了使样品基质具有代表性和普遍性, 主

要选取美赞臣铂睿二段婴幼儿配方乳粉、惠氏启赋二段婴幼儿配方乳粉和雀巢能恩二段婴幼儿配方乳粉作为实验样品基质。

3.2 柱温及流动相的选择及优化

柱温和流动相是影响组分分离度及分析时间的重要因素, 实验中, 分别以 25、30、35 °C 进行检测, 结果表明, 柱温越高, 柱压越小, 分离度越低。而柱温较高时则会导致分离时间较长, 降低实验效率, 因此, 选择 30 °C 作为本实验的柱温。在流动相的选择中, 分别采用 20% 乙腈+80% 0.05 mol/L 乙酸铵、35% 乙腈+65% 0.05 mol/L 乙酸铵、50% 乙腈+50% 0.05 mol/L 乙酸铵、20% 甲醇+80% 0.05 mol/L 乙酸铵、35% 甲醇+65% 0.05 mol/L 乙酸铵、50% 甲醇+50% 0.05 mol/L 乙酸铵进行实验研究。研究表明, 采用 35% 甲醇+65% 0.05 mol/L 乙酸铵溶液作为流动相可使分离的目标物峰形较好, 同时, 甲醇较乙腈毒性更小、更经济, 因此采用 35% 甲醇+65% 0.05 mol/L 乙酸铵作为本实验体系的流动相。

3.3 线性范围、回归方程及相关系数

对维生素 B₁ 和维生素 B₂ 进行液相色谱分析, 在浓度 0.05~1 μg/mL 范围内, 线性关系较好, 相关系数 $r^2 > 0.999$, 详见表 1。维生素 B₁ 及维生素 B₂ 标准样品的液相色谱图见图 1、图 2。

表 1 维生素 B₁ 和维生素 B₂ 的线性范围、回归曲线及相关系数

Table 1 Linear range, regression curve and correlation coefficient of vitamin B₁ and vitamin B₂

组分	范围/(μg/mL)	回归方程	相关系数 r^2	方法检出限/(mg/100 g)
维生素 B ₁	0.05~1.00	$Y=20371.96X+5061.515$	0.9996	0.03
维生素 B ₂	0.05~1.00	$Y=365898.9X+3221.718$	0.9998	0.02

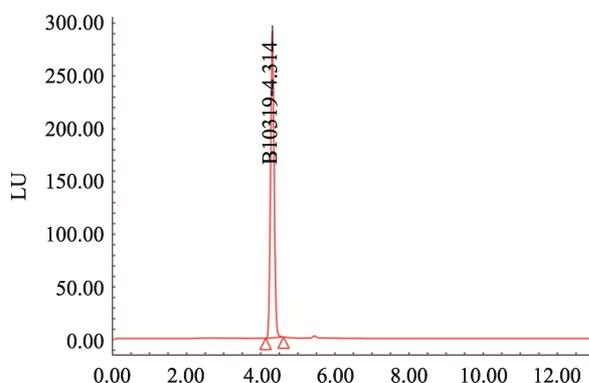


图 1 维生素 B₁ 标准样品液相色谱图

Fig.1 Liquid chromatography of standard sample of vitamin B₁

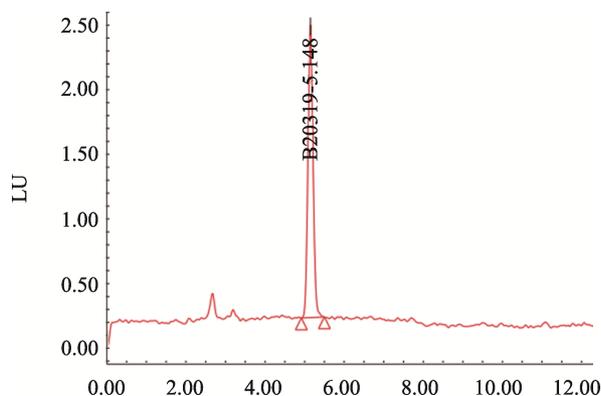


图 2 维生素 B₂ 标准样品液相色谱图

Fig.2 Liquid chromatography of standard sample of vitamin B₂

3.4 方法精密度及回收率

分别按国标方法和优化方法对美赞臣铂睿二段婴幼儿配方乳粉、惠氏启赋二段婴幼儿配方乳粉和雀巢能恩二段婴幼儿配方乳粉进行维生素 B₁ 和维生素 B₂ 含量测定实验及 3 个水平的加标实验。加标回收率以及相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD) 见表 2 及表 3。

4 结论

维生素 B₁、维生素 B₂ 是婴幼儿配方乳粉中的常见营养物质,也是理化检测的常规项目。本研究在现行国标的

基础上,简化并优化前处理方法,在对婴幼儿配方乳粉维生素 B₁ 和维生素 B₂ 的测定中,省略了过夜酶解的步骤,使实验过程更加简洁、快速、实用。同时,本实验通过对不同品牌的婴幼儿配方乳粉进行含量测定、精密度、回收率等实验验证了本方法的实用性。在 0.05~1.00 μg/mL 的线性范围内,维生素 B₁ 的相关系数大于 0.999,加标回收率为 87.4%~99.1%,相对标准偏差为 1.20%~3.06%;维生素 B₂ 的相关系数大于 0.999,加标回收率为 90.6%~97.8%,相对标准偏差为 0.97%~3.44%。本方法简单、快捷、高效,适用于婴幼儿配方乳粉中维生素 B₁ 和维生素 B₂ 的测定。

表 2 维生素 B₁ 的测定结果、精密度、及回收率
Table 2 Determination results, precision and recoveries of vitamin B₁

样品	国标方法测定结果 (μg/mL)	本方法测定结果 (μg/mL)	本方法加标回收各浓度测定结果及回收率					
			加标浓度低 (0.1 μg/mL)	回收率/%	加标浓度中 (0.2 μg/mL)	回收率/%	加标浓度高 (0.5 μg/mL)	回收率/%
美赞臣乳粉平行 1	0.134	0.127	0.220	96.9	0.313	95.7	0.593	94.6
美赞臣乳粉平行 2	0.138	0.135	0.227	96.6	0.309	92.2	0.601	94.6
美赞臣乳粉平行 3	0.141	0.138	0.235	98.7	0.302	89.3	0.601	94.2
美赞臣乳粉平行 4	0.132	0.128	0.234	102.6	0.308	93.9	0.582	92.7
美赞臣乳粉平行 5	0.145	0.136	0.231	97.9	0.311	92.6	0.611	96.1
美赞臣乳粉平行 6	0.139	0.130	0.236	102.6	0.310	93.9	0.604	95.9
美赞臣乳粉平均结果	0.138	0.132	0.230	99.1	0.309	93.1	0.599	94.8
RSD/%	3.41	3.41	2.65	/	1.20	/	1.67	/
惠氏乳粉平行 1	0.156	0.151	0.239	95.2	0.338	96.3	0.608	93.4
惠氏乳粉平行 2	0.149	0.154	0.238	93.7	0.327	92.4	0.619	94.6
惠氏乳粉平行 3	0.151	0.146	0.242	98.4	0.351	101.4	0.622	96.3
惠氏乳粉平行 4	0.153	0.153	0.241	95.3	0.349	98.9	0.598	91.6
惠氏乳粉平行 5	0.148	0.149	0.248	99.6	0.332	95.1	0.620	95.5
惠氏乳粉平行 6	0.155	0.153	0.233	92.1	0.341	96.6	0.601	92.0
惠氏乳粉平均结果	0.152	0.151	0.240	89.0	0.340	96.9	0.611	93.9
RSD/%	2.11	1.99	2.04	/	2.34	/	1.70	/
雀巢乳粉平行 1	0.189	0.182	0.268	95.0	0.340	89.0	0.597	87.5
雀巢乳粉平行 2	0.183	0.190	0.262	90.3	0.355	91.0	0.584	84.6
雀巢乳粉平行 3	0.181	0.179	0.271	97.1	0.368	97.1	0.610	89.8
雀巢乳粉平行 4	0.191	0.184	0.273	96.1	0.339	88.3	0.602	88.0
雀巢乳粉平行 5	0.187	0.181	0.263	93.6	0.351	92.1	0.588	86.3
雀巢乳粉平行 6	0.180	0.181	0.270	96.1	0.349	91.6	0.599	88.0
雀巢乳粉平均结果	0.185	0.183	0.268	94.7	0.350	91.4	0.597	87.4
RSD/%	2.43	2.13	1.64	/	3.06	/	1.59	/

表 3 维生素 B₂ 的测定结果、精密度、及回收率
Table 3 Determination results, precision and recoveries of vitamin B₂

样品	国标方法测定结果 ($\mu\text{g/mL}$)	本方法测定结果 ($\mu\text{g/mL}$)	本方法加标回收各浓度测定结果及回收率					
			加标浓度低 (0.1 $\mu\text{g/mL}$)	回收率/%	加标浓度中 (0.2 $\mu\text{g/mL}$)	回收率/%	加标浓度高 (0.5 $\mu\text{g/mL}$)	回收率/%
美赞臣乳粉平行 1	0.363	0.351	0.439	97.3	0.519	94.2	0.787	92.5
美赞臣乳粉平行 2	0.355	0.344	0.448	100.9	0.528	97.1	0.799	94.7
美赞臣乳粉平行 3	0.369	0.363	0.428	92.4	0.520	92.4	0.808	93.6
美赞臣乳粉平行 4	0.371	0.355	0.437	96.0	0.511	92.1	0.801	93.7
美赞臣乳粉平行 5	0.358	0.368	0.439	93.8	0.524	92.3	0.790	91.0
美赞臣乳粉平行 6	0.366	0.348	0.428	95.5	0.518	94.5	0.799	94.2
美赞臣乳粉平均结果	0.364	0.355	0.435	95.6	0.520	93.7	0.797	93.2
RSD/%	1.70	2.59	1.95	/	1.12	/	0.97	/
惠氏乳粉平行 1	0.420	0.405	0.488	96.6	0.583	96.4	0.828	91.5
惠氏乳粉平行 2	0.404	0.417	0.485	93.8	0.577	93.5	0.815	88.9
惠氏乳粉平行 3	0.428	0.409	0.498	97.8	0.592	97.2	0.833	91.6
惠氏乳粉平行 4	0.422	0.400	0.503	100.6	0.599	99.8	0.839	93.2
惠氏乳粉平行 5	0.414	0.413	0.510	99.4	0.588	95.9	0.810	88.7
惠氏乳粉平行 6	0.418	0.410	0.505	99.0	0.581	95.2	0.820	90.1
惠氏乳粉平均结果	0.418	0.409	0.498	97.8	0.587	96.4	0.824	90.6
RSD/%	1.94	1.47	1.99	/	1.36	/	1.33	/
雀巢乳粉平行 1	0.195	0.188	0.262	91.0	0.355	91.5	0.622	90.4
雀巢乳粉平行 2	0.208	0.183	0.269	95.1	0.347	90.6	0.608	89.0
雀巢乳粉平行 3	0.205	0.198	0.271	90.9	0.362	91.0	0.635	91.0
雀巢乳粉平行 4	0.209	0.192	0.279	95.5	0.366	93.4	0.619	89.5
雀巢乳粉平行 5	0.190	0.190	0.267	92.1	0.368	94.4	0.632	91.6
雀巢乳粉平行 6	0.199	0.177	0.288	104.0	0.350	92.8	0.629	92.9
雀巢乳粉平均结果	0.201	0.188	0.273	94.8	0.358	92.3	0.624	90.7
RSD/%	3.78	3.88	3.44	/	2.40	/	1.59	/

参考文献

- [1] 王帅帅. HPLC 法快速测定婴幼儿配方奶粉中维生素 B₁[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 304–306.
Wang SS. Study on rapid determination of vitamin B₁ in infant milk powder by high performance liquid chromatography [J]. Food Ind, 2017, 38(4): 304–306.
- [2] 曹红, 王浩. HPLC 快速测定婴幼儿配方奶粉中维生素 B₁[J]. 中国乳品工业, 2010, 38(11): 46–47.
Cao H, Wang H. Rapid determination of vitamin B₁ in infant milk powder by high performance liquid chromatography [J]. China Dairy Ind, 2010, 38(11): 46–47.
- [3] GB/T 5009.84-2016 食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定[S].
GB/T 5009.84-2016 National food safety standard-Determination of vitamin B₁ in food [S].
- [4] GB/T 5009. 85-2016 食品安全国家标准 食品中维生素 B₂ 的测定[S].
GB/T 5009. 85-2016 National food safety standard-Determination of vitamin B₂ in food [S].
- [5] 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 中 B 族维生素[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 144–153.
Chen MJ, Wang M, Kang MJ, et al. Determination of 11 kinds of B group vitamins in infant milk powder by LC-MS [J]. Food Sci, 2016, 37(4): 144–153.
- [6] 王浩, 刘艳琴, 杨红梅, 等. HPLC 法同时测定婴幼儿配方奶粉中 5 种

- 水溶性维生素[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(10): 56-58.
Wang H, Liu YQ, Yang HM, *et al.* Determination of 5 kinds of water-solubility vitamin in infant milk powder by high performance of liquid chromatography [J]. China Dairy Ind, 2009, 37(10): 56-58.
- [7] 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-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.
- [8] 韩光喜, 赵珍义, 刘世荣. 改进 FIA 荧光光度法测定维生素 B₁ 含量[J]. 光谱实验室, 2008, 25(5): 931-933.
Han GX, Zhao ZY, Liu SR. Detection of vitamin B₁ by improved FIA fluorimetry [J]. Chin J Spect Lab, 2008, 25(5): 931-933.
- [9] 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 CH, *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.
- [10] 陈向明. 反相高效液相色谱法测定维生素 B₁ 的含量[J]. 福建分析测试, 2012, 21(1): 50-51.
Chen XM. Determination of vitamin B₁ content by high performance liquid chromatography [J]. Fujian Anal Test, 2012, 21(1): 50-51.
- [11] 蔡翔宇, 吴玉杰. 奶粉中多种维生素同时测定方法的研究进展[J]. 食品添加剂, 2016, (2): 154-157.
Cai XY, Wu YJ. Research progress of simultaneous determination of multivitamins in milk powder [J]. China Food Addit, 2016, (2): 154-157.
- [12] 刘娜, 陈大舟, 汤桦, 等. 婴儿配方奶粉中 8 种水溶性维生素的高效液相色谱同时测定[J]. 分析测试学报, 2008, 27(4): 408-411.
Liu N, Chen DZ, Tang Y, *et al.* Simultaneous determination of 8 kinds of water-soluble vitamins in baby milk powder by high performance liquid chromatography [J]. J Instrum Anal, 2008, 27(4): 408-411.
- [13] 刘莉治, 林玉娜, 周洪伟, 等. 婴儿奶粉中维生素 B₁ 和 B₂ 的高效液相荧光测定法[J]. 环境与健康杂志, 2009, 26(5): 451-452.
Liu LZ, Lin YN, Zhou HW, *et al.* Determination of vitamin B₁ and B₂ in infant milk powder by HPLC fluorescence detector [J]. J Environ Health, 2009, 26(5): 451-452.
- [14] 刘志楠, 喻东威, 赵源, 等. 5 种水溶性维生素在奶粉中的稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(4): 145-147.
Liu ZN, Yu DW, Zhao Y, *et al.* The stable study on five water-soluble vitamin in milk [J]. Food Res Dev, 2011, 32(4): 145-147.
- [15] 任丹丹, 谢云峰, 刘佳佳, 等. 高效液相色谱法同时测定食品中 9 种水溶性维生素[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3): 899-904.
Ren DD, Xie YF, Liu JJ, *et al.* Simultaneous determination of nine water-soluble vitamins in foods by high performance liquid chromatography [J]. J Food saf Qual, 2014, 5(3): 899-904.
- [16] 华娟, 林光美, 傅武胜, 等. 柱前衍生-高效液相色谱法测定食物和保健食品中维生素 B₁[J]. 中国食品学报, 2014, 14(4): 51-55.
Hua J, Lin GM, Fu WS, *et al.* Determination of vitamin B₁ in food and health food by high performance liquid chromatography coupled with pre-column derivatization [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2014, 14(4): 51-55.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



张隆龙, 硕士, 主要研究方向为分析化学。

E-mail: 986887013@qq.com.com



曹进, 研究员, 主要研究方向为食品分析。

E-mail: caojin@nifdc.org.cn