

液质联用仪同步检测婴幼儿配方食品中 11 种水溶性维生素

缪璐, 莫佳琳, 周红尖, 黎德勇, 苏骏, 干宁军

(广西产品质量检验研究院, 广西南宁 530007)

摘要: 建立高效液相色谱-串联质谱测定婴幼儿配方食品中 11 种水溶性维生素的同步检测方法。样品经过前处理后, 采用 Waters ACQUITY UPLC HSS T3 (2.1×100 mm, 1.8 μm) 色谱柱进行分离; 流动相为 0.1% 甲酸的甲醇溶液和 10 mmol/L 甲酸铵水溶液(pH=3.5), 梯度洗脱, 采用电喷雾离子源多反应监测(MRM)模式进行检测。结果表明, 11 种水溶性维生素在 5 min 内完成一个样品的分析, 线性关系良好($r \geq 0.999$), 方法检出限在 0.02~3.00 ng/mL 之间。在三个水平添加回收率试验, 每个水平重复 5 次, 其平均回收率在 88.0%~110.0% 之间, 测定结果的相对标准偏差小于 5%。该方法具有快速、简单、准确、灵敏等特点, 可对较宽浓度范围内的多种维生素进行同步分析, 有助于提高食品检测实验室的分析效率, 降低成本。可用于婴幼儿配方食品中水溶性维生素的检测。

关键词: 水溶性维生素; 液质联用仪; 婴幼儿配方食品

文章编号: 1673-9078(2015)7-347-353

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.054

Simultaneous Detection of Eleven Water-soluble Vitamins in Infant forMulae Using Liquid Chromatography-mass Spectrometry

MIAO Lu, MO Jia-lin, ZHOU Hong-jian, LI De-yong, SU Jun, GAN Ning-jun

(Guangxi Testing Institute of Product Quality Supervision, Nanning 530007, China)

Abstract: A novel method to simultaneously detect 11 water-soluble vitamins in infant formulae using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC/MS/MS) was established. The sample was pre-treated, followed by the separation using a Waters Acuity UPLC HSS T3 (2.1 ×100 mm, 1.8 μm) column by gradient elution, with 0.1% formic acid in methanol and 10 mol/L ammonium formate solution (pH = 3.5) as the mobile phase, in conjunction with electrospray ionization multiple reaction monitoring (MRM). The results showed that each sample could be analyzed within five minutes, detecting 11 water-soluble vitamins as well as exhibiting a good linear relationship ($r \geq 0.999$) and a detection limit between 0.02 and 3.00 ng/mL. The recovery rate was tested at three levels with five repeats at each level. The results showed that the average recovery rate ranged between 88.0% and 110.0%, with relative standard deviation of < 5%. This method was rapid, simple, accurate, and sensitive, and could simultaneously analyze multiple vitamins within a wide concentration range. This method can therefore help to improve analytical efficiency and reduce cost of food testing laboratories, for the detection of water-soluble vitamins in infant formulae.

Key words: water-soluble vitamins; liquid chromatography-mass spectrometry; infant formula

维生素是人和动物为维持正常的生理功能而必须从食物中获得的一类微量有机物质, 在人体生长、代谢、发育过程中发挥着重要的作用^[1]。婴幼儿配方食品中含有丰富的水溶性维生素, 其中一部分来源于这类食品本身, 但其含量甚微, 另外大部分来源于加工过程中人工添加的营养强化剂。由于受其理化性质和婴幼儿生长发育特点的限制, 这些水溶性维生素的量要求在一定范围内, 避免成分含量比例不合适影响

收稿日期: 2014-12-28

基金项目: 南宁市科技计划项目 (20133148)

通讯作者: 莫佳琳, 博士, 高级工程师, 研究方向: 食品安全检测技术

婴幼儿生长发育^[2]。我国食品安全国家标准 GB10765-2010《婴儿配方食品》、GB 10767-2010《较大婴儿和幼儿配方食品》和 GB 10769《婴幼儿谷类辅助食品》对婴幼儿配方食品及谷类辅助食品中水溶性维生素含量有明确的规定, 目前我国维生素检测主要依据 GB 5413-2010 和 GB/T 5009-2003 中相关标准, 涉及的方法有微生物法、荧光分光光度法和高效液相色谱法。但是, 这只是水溶性维生素单项检测方法, 耗时长、前处理过程繁琐。

目前, 国内外已经有相关报道^[3-7], 不过大多是用液相色谱法进行检测。由于水溶性维生素大多以离

子形态存在于水溶液中,在反相色谱柱上保留能力较差,报道多采用离子对试剂、电解质、胺类等流动相改善峰型及分离度,并且各水溶性维生素性质不完全相同,普通检测器很难满足对各种水溶性维生素都有较高灵敏度的要求。而液相色谱串联质谱在定性、定量方面都显示出其高分辨、能同时分析多组分、分析时间短等优点^[8-9]。本文采用液相色谱串联质谱法进行检测,在五分钟内同时对婴幼儿配方食品中维生素 B₁、维生素 B₂ (核黄素)、维生素 B₁₂、吡哆醛、吡哆胺、吡哆醇、烟酸 (维生素 B₃)、叶酸 (维生素 B₉)、泛酸 (维生素 B₅)、生物素 (维生素 H)、维生素 C, 11 种水溶性维生素进行快速分析,具有快速、简单、准确、灵敏等特点。可对较宽浓度范围内的多种维生素进行同步分析,有助于提高食品检测实验室的分析效率,降低成本。可用于婴幼儿配方食品及谷类辅助食品中水溶性维生素的检测。

1 材料与方 法

1.1 仪器与装置

液相色谱仪 (美国,戴安 U3000)、三重四级杆质谱仪 (美国,AB QTRAP 5500)、超声波仪 (中国, KQ5200DE)、离心机 (美国, SIGMA 3K15)、超纯水仪 (美国 Millipore 公司)。

1.2 试剂与材料

维生素 B₁ (纯度 91.5%)、维生素 B₂ (纯度 98.9%)、维生素 B₁₂ (纯度 95.7%)、吡哆醇 (纯度 99.1%)、烟酸 (纯度 99.5%)、叶酸 (纯度 91.5%)、泛酸 (纯度 99.5%)、生物素 (纯度 99.0%), 德国 Dr 公司; 吡哆醛 (纯度 99.5%)、吡哆胺 (纯度 99.5%)、维生素 C 标准品 (纯度 98.4%), 美国 Sigma 公司; 甲醇、甲酸铵、甲酸为色谱纯; 盐酸、氢氧化钠为分析纯; 淀粉酶 (酶活力 ≥ 1.5 U/mg, 美国 Sigma 公司); 实验用水为超纯水。

1.3 试验方法

1.3.1 样品预处理

1.3.1.1 含淀粉样品: 称取 1g 试样 (精确至 0.0001 g) 于 100 mL 锥形瓶中, 加入约 20 mL 温水溶解, 加入 0.1 g 淀粉酶, 盖上瓶盖, 混匀, 置于培养箱 50 °C 培养 30 min, 取出冷却至室温。

1.3.1.2 不含淀粉样品: 称取 1g 试样 (精确至 0.0001 g) 于 100 mL 锥形瓶中, 加入约 20 mL 温水溶解, 混匀后冷却至室温。

1.3.2 待测液的制备

将待测液用 5 mol/L 和 0.01 mol/L 的盐酸溶液调节 pH 至 1.70 \pm 1.0, 放置 2 min, 再用 5 mol/L 和 0.01 mol/L 的氢氧化钠溶液调节 pH 至 4.50 \pm 1.0, 将试样溶液转移至 100 mL 棕色容量瓶中, 用水冲洗锥形瓶, 洗液合并于 100 mL 棕色容量瓶中, 用水定容至刻度, 混匀后, 取至离心管中 4000 r/min 离心 10 min, 上清液经过 0.22 μ m 微孔滤膜过滤。

1.3.3 标准溶液配制

标准储备液: 维生素 B₁、核黄素 (分别准确称取标准物质 0.01 g 用适量水润湿, 加入 (1+5) 盐酸溶液至完全溶解后全部转移至 100 mL 棕色容量瓶用超纯水定容, 摇匀, 配成 0.1 mg/mL 标准储备液); 维生素 B₁₂、吡哆醛、吡哆胺、吡哆醇、维生素 C、泛酸、生物素、烟酸 (准确称取标准物质 0.01 g 用适量水溶解后全部转移至 100 mL 棕色容量瓶用超纯水定容, 摇匀, 配成 0.1 mg/mL 标准储备液); 叶酸 (准确称取 0.01 g 标准物质用适量水润湿, 加入 10% 氨水溶液至完全溶解后全部转移至 100 mL 棕色容量瓶用超纯水定容, 摇匀, 配成 0.1 mg/mL 标准储备液)。

1.3.4 色谱条件

色谱柱: Waters ACQUITY UPLC HSS T3 (2.1 \times 100 mm, 1.8 μ m); 柱温: 40 °C, 流动相 A: 0.1% 甲酸甲醇溶液, 流动相 B: 10 mmol/L 甲酸铵水溶液 (pH=3.5); 流速 0.3 mL/min; 进样量: 5 μ L; 梯度洗脱条件见表 1。

表 1 梯度洗脱

Table 1 Gradient elution

时间/min	A/%	B/%	梯度曲线
0.00	1	99	6
2.00	1	99	6
3.00	55	45	6
3.50	99	1	6
4.00	1	99	6
5.00	1	99	6

1.3.5 质谱条件

离子化模式: ESI+, 多选择反应监测 (MRM), 离子喷雾电压: 5500 V, 离子源温度: 550 °C, 气帘气 (CUR) 40.00psi, 雾化气 (GS1) 55.00psi, 辅助气 (GS2) 55.00psi, MRM 条件见表 2。

2 结果与讨论

2.1 样品前处理条件优化

表 2 MRM 条件
Table 2 MRM conditions

名称	母离子	子离子	去簇电压 (DP)	入口电压 (EP)	碰撞能 (CE)
维生素 C	171.0	141.0*	90	13	10.2
		95.0	90	13	15.2
核黄素	377.1	243.0*	80	10	30.0
		172.0	80	10	45.0
泛酸	220.0	202.1*	45	13	14.1
		90.2	45	13	17.3
吡哆醇	170.1	152.1*	79	7	20.0
		134.0	79	7	27.0
吡哆醛	167.9	150.1*	34	7	19.0
		94.1	34	7	27.0
吡哆胺	169.0	152.0*	75	10	17.0
		134.0	75	10	29.0
烟酸	124.0	80.3*	80	10	20.1
		53.1	80	10	37.2
维生素 B ₁	265.1	122.0*	66	9	19.0
		144.0	66	9	17.8
生物素	245.2	227.1*	91	12	21.1
		96.9	91	12	35.8
叶酸	442.1	295.2*	87	8	18.0
		176.1	87	8	52.1
维生素 B ₁₂	678.6	359.3	120	11	30.0
		147.1*	120	11	37.0

注: *表示定量离子。

表 3 三种前处理方法回收率

Table 3 Recovery rates of three pretreatment methods

名称	前处理方 法(1) 回收率/%	前处理方 法(2) 回收率/%	前处理方 法(3) 回收率/%	本文前处理 方法 回收率/%
维生素 C	81.08	80.08	78.56	88.09
核黄素	95.37	91.05	96.08	96.60
泛酸	95.23	87.25	81.25	96.98
吡哆醇	90.12	85.31	89.21	96.99
吡哆醛	90.22	96.57	88.79	100.76
吡哆胺	90.89	90.35	86.33	96.27
烟酸	100.08	95.22	90.27	100.21
维生素 B ₁	94.87	80.66	95.87	95.23
生物素	94.22	83.24	81.67	99.11
叶酸	90.14	85.19	80.26	93.78
维生素 B ₁₂	90.05	78.23	75.92	91.89

水溶性维生素易溶于水, 不溶于脂肪和有机溶剂, 易分解。根据婴幼儿配方食品的特性, 要选择去

除脂肪、蛋白, 有效的提取 11 种组分的提取剂, 并且操作步骤要简单、快速、尽量减少提取过程中水溶性维生素的损失。根据文献^[6-7]选择了三种前处理条件:

(1)将样品溶解后用 5 mol/L 的 HCl 调节 pH 至 1.70, 放置 2 min, 再用 5 mol/L 的 NaOH 调节 pH 至 4.50, 定容, 离心; (2)加入 0.01 mol/L HCl, 超声, 加 5% 三氯乙酸 10 mL, 超声, 混匀, 水定容, 离心; (3)按照 GB 5413.11-2010 进行水解。本文对方法 (1) 进行优化, 可满足实验要求, 含淀粉样品, 需加入淀粉酶进行酶解; 不含淀粉样品水溶解后, 按本文前处理方法 1.3.2 操作。选取婴幼儿配方食品按照上述前处理方法进行添加回收试验, 其回收率见表 3。结果表明, 按本文前处理方法 11 种组分回收率均可达到 85% 以上, 并且杂质干扰较少。

2.2 色谱条件优化

2.2.1 色谱柱的选择

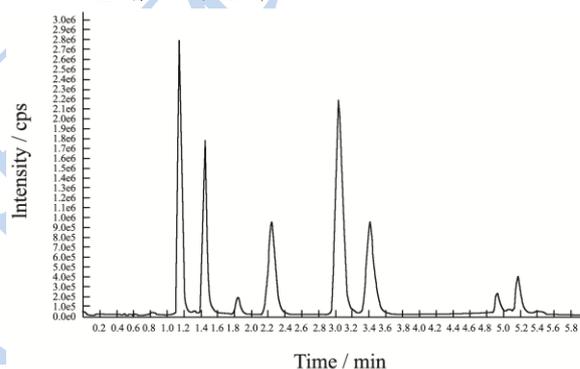


图 1 使用 HSS T3 色谱柱 11 种维生素总离子流图

Fig.1 The total ion chromatograms of 11 water-soluble vitamins using a HSS T3 column

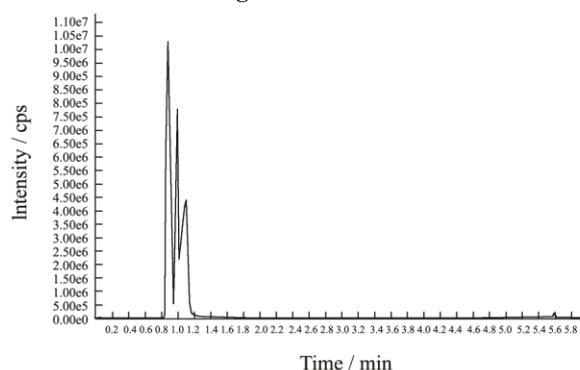


图 2 使用 C18 色谱柱 11 种维生素总离子流图

Fig.2 The total ion chromatograms of 11 water-soluble vitamins using the C18 column

本方法比较了 Waters BEH C18 (2.1×100 mm, 1.7 μm) 和 Waters ACQUITY UPLC HSS T3 (2.1×100 mm, 1.8 μm) 色谱柱, 发现由于水溶性维生素大多以离子形态存在于水溶液中的特性, 在普通反相 C18 柱

上的保留能力较差,按照 GB 5413-2010 需要加离子对试剂或者衍生才能进行检测。

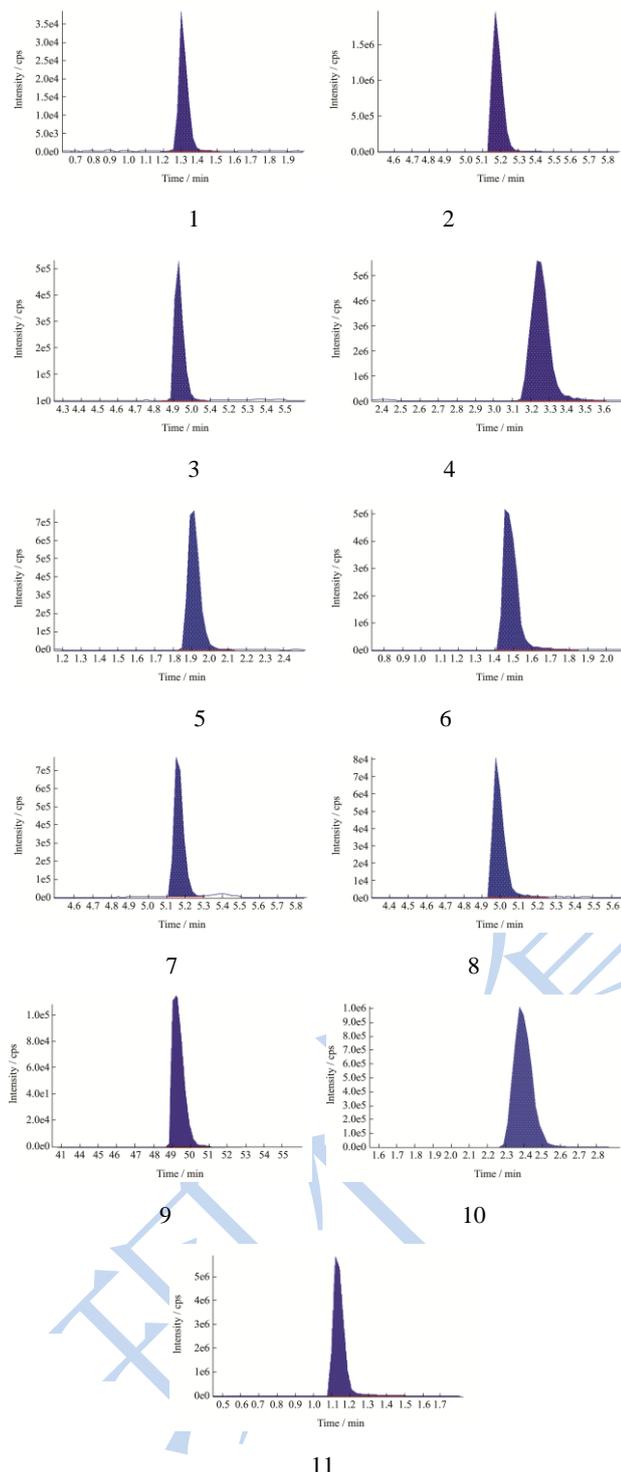


图 3 11 种水溶性维生素提取离子图

Fig.3 Ion extraction diagram of 11 water-soluble vitamins

注: 1.维生素 C(171.0>141.0); 2.维生素 B₂(377.1>243.0); 3.泛酸(220.0>202.1); 4.吡哆醇(170.1>152.1); 5.烟酸(124.0>80.3); 6.维生素 B₁(265.1>122.0); 7.生物素(245.2>227.1); 8.叶酸(442.1>295.2); 9.维生素 B₁₂(678.6>147.1); 10.吡哆醛(167.9>150.1); 11.吡哆胺(169.0>152.0)。

从图 1, 图 2 中可以看出,在相同流动相下,11 种维生素在 C18 色谱柱上基本没有保留,大部分维生素在 1 分钟内流出,而采用 HSS T3 色谱柱,可以很好的进行分离,即使部分组分没有完全分离,由于采用 MS/MS 检测器,通过 MRM 模式进行监测 11 种水溶性维生素的母离子及相应的两个子离子,仍可以准确定性及定量,提取离子色谱图见图 3。

2.2.2 流动相的选择

优化前以甲醇和 10 mmol/L 甲酸铵水溶液为流动相,维生素 B₁ 拖尾,影响定量分析(见图 4)。优化后,流动相选择 0.1% 甲酸的甲醇溶液和 10 mmol/L 甲酸铵水溶液,梯度洗脱,11 种水溶性维生素峰型尖锐对称,在 5min 内检出(见图 3)。

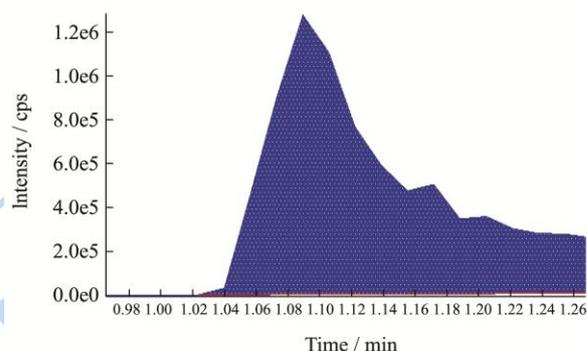


图 4 优化前维生素 B₁ 离子流图

Fig.4 Ion chromatograms of vitamins B₁ before optimization

2.3 质谱条件优化

维生素 C 是一种含有 6 个碳原子的酸性多羟基化合物,分子式为 C₆H₈O₆,在 ESI+ 模式下,其响应值相对较低,选择 ESI- 模式,其响应值明显增高,相同浓度的维生素 C 在 ESI+ 和 ESI- 模式下,峰面积相差一倍左右,如果样品中维生素 C 含量比较低,可以选择 ESI- 模式,但是婴幼儿配方食品中维生素 C 的含量比较高,不影响最终定量,统一选择 ESI+ 模式,可以避免正负模式转换导致瞬间信号不稳定,造成其他水溶性维生素响应值波动,影响最终定量。

在 ESI+ 模式下,维生素 C 形成 [M-6H+H]⁺ 峰; 烟酸、核黄素、叶酸、生物素的母离子峰均为 [M+H]⁺ 峰; 维生素 B₁ 盐酸盐经过电喷雾电离 (ESI+) 时脱掉两个盐酸分子形成 [M-2HCl+H]⁺ 峰; 盐酸吡哆醛、盐酸吡哆胺、盐酸吡哆醇分别脱掉盐酸分子形成 [M-HCl+H]⁺ 峰; 泛酸钙脱掉钙离子断裂成两个泛酸分子,形成 [219+H]⁺ 峰^[6]; 维生素 B₁₂ 断裂成两个分子,形成 [M/2+H]⁺。采用蠕动泵注射方式在电喷雾正离子模式下进行母离子全扫描,然后再将母离子打碎对其子离子进行全扫描,最后选取丰度较强的两个子离子,

优化其去簇电压 (DP) 和入口电压 (EP), 找出 11 种维生素母离子响应稳定、丰度最大时的 DP 值和 EP 值; 改变碰撞能 (CE), 其两对子离子的响应最大时, 确定 CE 值。

2.4 线性范围和检出限

以标准溶液浓度为横坐标 (x), 峰面积为纵坐标 (y), 得到回归方程。11 种水溶性维生素具有良好的

线性, 相关系数 $r > 0.999$, 满足检测需要。方法的线性回归方程、相关系数及检出限, 结果见表 4。

2.5 回收率和精密度

对已知浓度的婴幼儿配方奶粉样品进行三个水平添加回收率试验, 每个水平重复 5 次, 从表 5 可以看出, 其平均回收率 $> 88\%$, RSD 值 $< 5\%$ 。

表 4 方法的线性回归方程、相关系数及检出限

Table 4 Linear regression equation, correlation coefficient, and detection limit of the method

名称	线性范围/(ng/mL)	回归方程	相关系数 r	检出限/(ng/mL)
维生素 C	10.0~10 ⁴	$y = 315x + 5.99e^3$	0.9997	3.00
核黄素	0.5~500	$y = 4.81e^3x + 1.34e^3$	1.0000	0.20
泛酸	0.1~500	$y = 1.05e^4x - 1.61e^3$	1.0000	0.03
吡哆醇	0.1~200	$y = 3.4e^5x - 8.35e^3$	0.9999	0.03
吡哆醛	0.1~200	$y = 2.2e^5x + 3.84e^4$	0.9999	0.03
吡哆胺	0.1~200	$y = 2.59e^5x - 1.34e^4$	0.9995	0.04
烟酸	1.0~1000	$y = 5.74e^3x - 1.24e^3$	0.9995	0.10
维生素 B ₁	1.0~200	$y = 1.09e^5x + 6.6e^5$	0.9993	0.30
生物素	1.0~100	$y = 9.21e^4x + 1.32e^5$	0.9992	0.30
叶酸	1.0~100	$y = 1.16e^4x - 2.3e^3$	1.0000	0.30
维生素 B ₁₂	0.05~100	$y = 2.21e^5x - 7.13e^4$	0.9990	0.02

表 5 回收率和精密度 (n=5)

Table 5 Recovery rate and precision (n = 5)

名称	本底值(μg/kg)	添加量(μg/kg)	实测值(μg/kg)	回收率/%	RSD/%
维生素 C	4987.25	5000.00	8798.12	88.09	4.5
		2000.00	6874.78	98.39	3.1
		1000.00	6035.06	100.80	3.8
核黄素	74.86	100.00	169.11	96.6	2.7
		50.00	123.51	98.92	1.9
		25.00	98.23	98.37	2.8
泛酸	198.33	200.00	386.31	96.98	2.5
		100.00	298.07	99.91	1.2
		50.00	259.65	104.56	2.1
吡哆醇	57.92	50.00	104.67	96.99	3.6
		25.00	80.11	96.61	2.5
		10.00	69.72	102.65	2.9
吡哆醛	15.18	15.00	30.41	100.76	3.9
		10.00	26.53	105.36	2.3
		5.00	21.06	104.36	2.8
吡哆胺	5.20	5.00	9.82	96.27	2.1
		2.00	6.54	90.83	2.8
		1.00	6.51	105.00	3.2

转下页

接上页					
		400.00	780.05	100.21	2.6
烟酸	378.44	200.00	580.11	100.29	2.0
		100.00	471.78	98.61	1.8
维生素 B ₁	49.89	50.00	95.13	95.23	1.2
		25.00	70.35	93.94	1.0
		10.00	62.12	103.72	2.1
		1.00	2.23	99.11	2.7
生物素	1.25	0.50	1.64	93.71	3.0
		0.20	1.31	90.34	3.5
		5.00	8.74	93.78	2.8
叶酸	4.32	2.00	5.92	93.67	2.2
		1.00	5.11	96.05	3.0
		0.50	0.68	91.89	1.8
维生素 B ₁₂	0.24	0.20	0.40	90.91	2.3
		0.10	0.31	91.18	2.7

2.6 实际样品的测定

采用本方法对 10 个随机购买的婴幼儿配方奶粉、婴幼儿配方米粉等样品进行分析测定，检出结果均符

合我国食品安全国家标准 GB 10765-2010《婴儿配方食品》、GB 10767-2010《较大婴儿和幼儿配方食品》和 GB 10769《婴幼儿谷类辅助食品》。

表 6 样品检出结果 (单位为 μg/100kJ)

Table 6 The results of sample examination (Units of μg/100 kJ)

名称	样 1	样 2	样 3	样 4	样 5	样 6	样 7	样 8	样 9	样 10
维生素 C	2.6e ³	7.1e ³	1.9 e ³	3.2e ³	4.6e ³	1.8e ³	2.3e ³	2.5e ³	256.2	242.5
核黄素	14.3	21.4	12.2	38.4	29.8	ND	14.8	31.2	31.7	32.0
泛酸	108	234	79	110	162	ND	ND	106	ND	ND
吡哆醇	4.9	5.8	4.7	8.8	7.6	ND	ND	9.3	ND	ND
吡哆醛	2.1	3.1	3.3	5.4	4.2	ND	ND	6.2	ND	ND
吡哆胺	1.2	2.3	3.1	4.8	3.5	ND	ND	5.8	ND	ND
烟酸	78	134	119	212	202	92.7	ND	312	253.6	251.9
维生素 B ₁	19	43	12	33	29	20.8	18.9	43.2	31.2	31.3
生物素	0.5	1.9	0.5	0.6	0.7	0.61	0.72	1.8	ND	ND
叶酸	2.7	7.1	1.5	2.2	4.1	ND	1.0	3.2	ND	ND
维生素 B ₁₂	0.029	0.103	0.04	0.07	0.05	0.03	ND	0.08	0.06	0.07

注: ND 未检出。

3 结论

本文建立了液相色谱串联三重四级杆质谱仪多反应监测 (MRM) 模式分析婴幼儿配方食品中维生素 B₁、核黄素、维生素 B₁₂、吡哆醛、吡哆胺、吡哆醇、烟酸、维生素 C、泛酸、生物素、叶酸 11 种水溶性维生素, 分析时间小于 5 min, 其线性关系良好($r \geq 0.999$), 检出限在 0.02~3.00 ng/mL 之间。在三个水平添加回收率试验, 每个水平重复 5 次, 其平均回收率在 88.0%~110.0% 之间, 测定结果的相对标准偏差小于 5%。具

有快速、简单、准确、灵敏等特点, 可对较宽浓度范围内的多种维生素进行同步分析, 有助于提高食品检测实验室的分析效率, 降低成本。可用于婴幼儿配方食品及谷类辅助食品水溶性维生素的检测。

参考文献

[1] 雷涛,张辉,韩惠雯等.婴幼儿配方奶粉中水溶性维生素的检测方法研究[J].乳业科学与技术,2007,2:81-83
LEI Tao, ZHANG Hui, HAN Huiwen, et. al. Methods for Determination of water-solubility vitamins in milk powder for infant[J]. Dairy Science and Technology, 2007, 2: 81-83

- [2] Christopher J. Blake. Analytical procedures for water-soluble vitamins in foods and dietary supplements: a review [J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2007, 389(1): 63-76
- [3] A A Bendryshev, E B Pashkova, A V Pirogov. Determination of water-soluble vitamins in vitamin premixes, bioactive dietary supplements, and pharmaceutical preparations using high-efficiency liquid chromatography with gradient elution [J]. Moscow University Chemistry Bulletin, 2010, 65(4): 60-268
- [4] Baiyi Lu, Yiping Ren, Baifen Huang. Simultaneous Determination of Four Water-Soluble Vitamins in Fortified Infant Foods by Ultra-Performance Liquid Chromatography Coupled with Triple Quadrupole Mass Spectrometry [J]. Journal of Chromatographic Science, 2008, 46(3): 225-232
- [5] 蒲明清,戴舒春,张连龙,等.超高效液相色谱法测定保健食品中的多种水溶性维生素[J].现代食品科技,2012,28(7): 886- 889
PU Ming-qing, DAI Shu-chun, ZHANG Lian-long, et al. Determination of water-soluble Vitamins in Health Foods by UPLC [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(7): 886-889
- [6] 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 Na, Chen Da-zhou, TANG Hua, et al. Simultaneous Determination of Eight Water-soluble Vitamins in Baby Milk Powder by High Performance Liquid Chromatography [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2007, 17(4): 408-411
- [7] 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 Hao, LIU Yan-qin, YANG Hong-mei, et al. Study on simultaneous detection of 5 water-soluble vitamins in infant milk powder by HPLC [J]. Dairy industry, 2009, 37(10): 56-58
- [8] 王一红,冯家力,潘振球,等.液相色谱-串联质谱法分析 10 种水溶性维生素[J].中国卫生检验杂志,2007(7):1160-1163
WANG Yi-hong, FENG Jia-li, PAN Zhen-qiu, et al. Analysis of 10 Water soluble vitamins by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2007, 11(7): 1160-1162
- [9] 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 Jing, YU Jing, SUN Lei, et al. Simultaneous determination of 9 water soluble vitamins in drinks by liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Food Science, 2014, 35(12): 196-199