

超高效液相色谱-同位素稀释质谱法测定 食品中的泛酸

孙宇, 周璇, 朱桂芳, 杨福兴, 梁惠婷, 刘涛*

(华测检测认证集团股份有限公司, 深圳 518101)

摘要: **目的** 建立超高效液相色谱-同位素稀释质谱法测定食品中泛酸(pantothenic acid, PA)含量的分析方法。**方法** 样品中的泛酸用水提取, 经乙酸锌溶液和亚铁氰化钾溶液除杂后, 以乙腈和 0.1%甲酸溶液为流动相, 通过 Waters HSS T3 C₁₈ 柱(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)梯度洗脱分离, 流速 0.3 mL/min, 进样量 2 μL, 柱温 35 °C, 串联质谱检测, 同位素内标法定量。**结果** 泛酸在 10~600 μg/L 浓度范围内具有良好的线性关系, 相关系数为 0.9999, 方法检出限为 0.025 mg/100 g, 定量限为 0.075 mg/100 g, 精密度为 1.1%~2.1%, 3 个加标水平的回收率为 98.0%~102.0%, 相对标准偏差为 1.7%~3.8%。该方法与微生物法相比结果无明显差异, 且测定时间短, 与高效液相色谱法相比抗干扰能力强。**结论** 该法操作简单、快速准确, 适用于多种食品中泛酸的测定。**关键词:** 泛酸; 超高效液相色谱-串联质谱法; 同位素稀释

Determination of pantothenic acid in food by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with isotope dilution

SUN Yu, ZHOU Xuan, ZHU Gui-Fang, YANG Fu-Xing, LIANG Hui-Ting, LIU Tao*

(Centre Testing International Group Co., Ltd, Shenzhen 518101, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination of pantothenic acid (PA) in food by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with isotope dilution. **Methods** PA in sample was extracted by water, then purified by zinc acetate solution and potassium ferricyanide solution. Separation of PA in sample was performed on Waters HSS T3 C₁₈ column (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm) with gradient elution. Acetonitrile and 0.1% formic acid solution were used as mobile phase. The flow rate was 0.3 mL/min, the injection volume was 2 μL, and the column temperature was 35 °C. The analyte was detected by tandem mass spectrometry and quantified by internal standard technique. **Results** PA had good linearity in the concentration range of 10–600 μg/L, with correlation coefficient as 0.9999. The limit of detection and the limit of quantification for PA were 0.025 mg/100 g and 0.075 mg/100 g, respectively. The relative standard deviations were 1.1%–2.1%. The recoveries of 3 different spiked concentrations were 98.0%–102.0%, the relative standard deviations were 1.7%–3.8%. This method showed no significant difference in results and had shorter measurement time compared to microbiological method. It also

基金项目: 科技部重点研发计划项目(2018YFB1403300、2018YFB1403305)

Fund: Supported by the Ministry of Science and Major Research Projects (2018YFB1403300, 2018YFB1403305)

*通信作者: 刘涛, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为食品、药品、农产品及日化产品检测研究。E-mail: tony.liu@cti-cert.com

*Corresponding author: LIU Tao, Master, Intermediate Engineer, Center Testing International Group Co., Ltd, CTI Building, No.4, Liuxian 3rd Road, Xinan Street, Baoan District, Shenzhen 518101, China. E-mail: tony.liu@cti-cert.com

had stronger anti-interference ability compared to ultra performance liquid chromatography. **Conclusion** This method is simple, rapid and accurate, which is suitable for the determination of PA in a variety of foods.

KEY WORDS: pantothenic acid; ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; isotope dilution

0 引言

泛酸(pantothenic acid, PA)是一种 B 族水溶性维生素, 别名维生素 B₅、遍多酸^[1]。泛酸可转变为人体中参与多种代谢的辅酶 A^[2-4], 也是合成类固醇、褪黑素等的必需物质^[5]。泛酸的缺乏会导致手脚麻木、头疼、失眠、免疫力下降等症状^[6], 甚至可能引起痴呆^[7]。由于泛酸无法通过人体自身合成^[8], 需从食物中获得, 所以许多食品会添加泛酸, 常见于特殊医学配方食品(food for special medical purpose, FSMP)、婴幼儿谷类辅助食品、孕妇及乳母营养补充食品、婴幼儿配方食品、保健食品等配方食品。

目前, 已报道的检测泛酸的方法包括微生物法^[9-10]、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)^[11-14]、超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)^[15-17]、酶联免疫吸附法^[18-19]、毛细管等速电泳法^[20]。GB 5009.210—2016《食品安全国家标准食品中泛酸的测定》规定测定泛酸的主要方法是微生物法和高效液相色谱法。微生物法是测定泛酸的经典方法, 可检测所有食品, 但微生物法耗时长, 样品含量高时由于线性范围窄, 可能造成定量不准确。高效液相色谱法灵敏度高, 是测定营养素补充剂类保健食品及配方食品中泛酸的常用方法, 但当样品中含有大量小分子, 杂峰干扰大, 定量不准确。UPLC-MS/MS 采用多反应监测模式, 同时具有高选择性和高灵敏度的特点, 能够短时间内准确测定泛酸含量。同位素内标的使用可排除基质干扰, 进一步提高了此方法的准确性。文献报道的 UPLC-MS/MS 多应用于奶粉、特殊医学配方食品等单一基质的检测, 同时适用于固体饮料、维生素片、饮料等多种基质的 UPLC-MS/MS 很少。

本研究使用直接提取法处理营养素补充剂类食品及配方食品, 用超高效液相色谱-同位素稀释串联质谱法测定食品中的泛酸, 以期建立一种适用于多种基质, 能够快速准确定量泛酸的检测方法, 为食品检测提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

LC-30AD 超高效液相色谱-AB4500 串联质谱仪(日本

岛津公司-美国 AB SCIEX 公司); Sigma 4-16KS 高速离心机(德国 Sigma 公司); JP-180ST 超声清洗机(深圳市洁盟清洗设备有限公司); VORTEX 3 旋涡混匀器(德国 IKA 公司); Milli-Q IQ 7000 超纯水机(美国 Millipore 公司)。

D-泛酸钙标准品(纯度≥99%)、甲酸(色谱纯)(上海安谱公司); 泛酸钙-[¹³C₆, ¹⁵N₂]标准品(纯度≥99.44%, 美国 IsoSciences 公司); 乙腈(色谱纯, 上海星可公司); 乙酸锌、亚铁氰化钾(分析纯, 天津大茂公司); 实验用水为 Milli-Q 超纯水。

实验所用样品均为客户送检样品。

1.2 实验方法

1.2.1 溶液配制

200 mg/L 泛酸标准储备溶液: 精确称取 D-泛酸钙标准品 20.2 mg, 用水溶解并定容于 100 mL 容量瓶中。

100 mg/L 内标储备溶液: 精确称取泛酸钙-[¹³C₆, ¹⁵N₂]标准品 10.1 mg, 用水溶解并定容于 100 mL 容量瓶中。

泛酸标准工作溶液: 用水稀释标准储备溶液后得到泛酸质量浓度为 10、50、100、300、600 μg/L 的标准工作溶液, 每个质量浓度工作溶液中均含有 100 μg/L 的内标。

300 g/L 乙酸锌溶液: 称取 30.0 g 乙酸锌, 用水溶解混匀于 100 mL 容量瓶中。

150 g/L 亚铁氰化钾溶液: 称取 15.0 g 亚铁氰化钾, 用水溶解混匀于 100 mL 容量瓶中。

0.1% 甲酸溶液: 取 1 mL 甲酸用水稀释混匀于 1000 mL 容量瓶中。

1.2.2 样品前处理

称取 2.5 g 试样于 50 mL 离心管中, 加入泛酸钙内标储备溶液(100 mg/L) 50 μL, 加水 30 mL, 涡旋混合, 超声 10 min。冷却至室温后, 用水定容至 50 mL, 4500 r/min 离心 3 min, 取上清液 5 mL 于 50 mL 离心管中, 加入 0.4 mL 乙酸锌溶液和亚铁氰化钾溶液, 加水至 25 mL, 涡旋振荡 10 s。静置 30 min 后, 用水定容至 50 mL, 摇匀。4500 r/min 离心 3 min, 上清液过 0.22 μm 尼龙滤膜后进样分析。

1.2.3 液相色谱-串联质谱条件

(1)液相色谱条件

色谱柱 Waters HSS T3 C₁₈ (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm); 流动相 A 为乙腈; B 为 1% 甲酸溶液; 洗脱程序见表 1; 流速 0.3 mL/min; 进样量 2 μL; 柱温 35 °C。

表 1 液相色谱洗脱程序
Table 1 Elution procedure of liquid chromatographic

时间/min	A/%	B/%
0	3	97
3	3	97
7	50	50
8	50	50
8.5	3	97
12	3	97

(2)质谱条件

电喷雾离子源; 正离子模式; 多反应监测模式; 气帘气压力 30 psi; 碰撞气压力 10 psi; 喷雾气电压 5500 V; 雾化温度 550 °C; 雾化气压 60 psi; 其他质谱参数见表 2。

1.2.4 数据处理

样品中的泛酸含量按以下公式计算:

$$X = \frac{C \times V}{m} \times f \times \frac{1000}{10^6}$$

X 为样品中泛酸的含量, mg/100 g; C 为标准曲线得到的泛酸质量浓度, $\mu\text{g/L}$; V 为样品测定液体积, mL; f 为样品溶液稀释倍数; $\frac{1000}{10^6}$ 为换算系数。

使用 Excel 进行数据分析及图表制作。

2 结果与分析

2.1 样品前处理优化

采用 GB 5009.210—2016 方法调节样品的 pH 为 5, 且对含淀粉的样品加入淀粉酶, 以降低样品粘度, 提高泛酸的提取率。但使用 UPLC-MS/MS 时, 对于米粉、固体饮料、特殊医学用途配方食品(foods for special medical purpose, FSMP)等多种基质, 是否调节 pH 对实际测定结果无影响, 回收率均在 90%~110%之间。在米粉中添加以及不添加淀粉酶时, 泛酸的回收率分别为 97.2%、97.9%, 两者较接近,

故本方法提取泛酸不需调节 pH 及添加淀粉酶。

很多固体饮料和 FSMP 含有大量蛋白质, 造成样品浑浊, 若不除去则无法进样并对色谱造成损害。实验比较了 150 g/L 亚铁氰化钾和 300 g/L 乙酸锌溶液、0.5 mol/L 硫酸锌溶液以及三氟乙酸除去固体饮料中蛋白质的效果, 得到泛酸的回收率分别为 99.1%、90.2%、87.6%, 这表明 0.4 mL 的 150 g/L 亚铁氰化钾和 300 g/L 乙酸锌溶液除蛋白的效果最好。

2.2 色谱条件的优化

2.2.1 色谱柱的选择

实验比较了 Waters HSS T3 C₁₈ (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)和 Waters BEH C₁₈ (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)的分离效果, 泛酸经 HSS T3 C₁₈ 分离有更好的保留, 且峰形好, 这是因为泛酸是极性较强的化合物, 而 HSS T3 C₁₈ 对极性化合物有特殊保留能力。

2.2.2 流动相的优化

本研究考察了乙腈-水, 乙腈-0.1%甲酸水溶液、乙腈-0.1%甲酸水溶液(含 5 mmol/L 乙酸铵)、乙腈-0.1%乙酸水溶液(含 5 mmol/L 乙酸铵)对泛酸色谱分离及离子化程度的影响。结果表明乙腈-水作为流动相时, 泛酸的峰形较差, 而其他流动相都获得较好的峰形, 这是因为甲酸、乙酸、乙酸铵等的加入提高了泛酸的离子化效率, 考虑到乙腈-0.1%甲酸水溶液的配制便于操作, 采用其作为流动相。

2.3 方法学验证

2.3.1 线性范围、检出限和定量限

取标准工作溶液上机, 测定不同浓度标准工作溶液的峰面积。以泛酸溶液浓度与内标溶液浓度之比 X 为横坐标, 对应的泛酸峰面积与内标峰面积的比值 Y 为纵坐标, 绘制标准曲线。结果表明, 在泛酸溶液质量浓度 10~600 $\mu\text{g/L}$ 范围内, X 与 Y 成线性关系, 线性方程为 $Y=2.685X+0.16719$, 相关系数 r 为 0.9999。

当取样量为 2.5 g, 定容体积为 50 mL, 稀释倍数为 10 时, 用 3 倍信噪比法($S/N=3$)得到方法的检出限为 0.025 mg/100 g, 用 10 倍信噪比法($S/N=10$)得到方法的定量限为 0.075 mg/100 g。

表 2 质谱化合物参数
Table 2 Compound parameters of mass spectrometry

化合物	离子对(m/z)	去簇电压/V	射入电压/V	碰撞电压/V	碰撞室射出电压/V	扫描时间/ms
泛酸钙	220.1/90.3*	60	10	22	9	100.0
	220.1/184.0	60	10	18	9	100.0
	220.1/123.0	60	10	25	9	100.0
泛酸钙-[¹³ C ₆ , ¹⁵ N ₂]	224.1/94.0	60	10	40	9	100.0

注: *为定量离子对。

2.3.2 重复性

选取固体饮料、FSMP、米粉、奶粉、维生素片和饮料 6 种样品, 每种样品精密称取 6 份并按照 1.2.2 方法进行处理, 测定样品含量, 计算平均值和相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。结果见表 3。6 种基质 RSD 均小于 5%, 具有良好的重复性。

2.3.3 准确度

以固体饮料、FSMP、米粉、奶粉、维生素片和饮料 6 种样品的泛酸含量为本底值, 分别添加相当于其含量 0.5、1、1.5 倍的标准溶液开展加标实验, 结果如表 4 所示, 3 个加标水平的回收率为 98.0%~102.0%, 相对标准偏差为

1.7%~3.8%, 方法准确度高。

2.4 方法对比

2.4.1 与微生物方法的对比

按照 1.2.2 方法测定奶粉、米粉及饮料, 并与 GB 5009.210—2016 中的微生物方法对比, 结果见表 5。GB 5009.210—2016 对于平行样品的要求为 RSD 小于 5%, 而 2 种方法的 RSD 值最大为 4.9%, 表明 2 种方法无明显差异。微生物法测定需至少 1 d, 而 UPLC-MS/MS 2~3 h 可完成测定, 故 UPLC-MS/MS 法更适用于检测大批量样品。

表 3 6 个不同基质的重复性实验结果(n=6)
Table 3 Repeatability test results of 6 different substrates (n=6)

样品名称	含量/(mg/100 g)					平均含量/(mg/100 g)		RSD/%
固体饮料	3.86	3.89	3.81	3.91	3.75	3.80	3.84	1.6
FSMP	1.09	1.03	1.06	1.08	1.08	1.05	1.07	2.1
米粉	1.43	1.48	1.49	1.44	1.43	1.45	1.45	1.8
奶粉	3.65	3.56	3.48	3.62	3.52	3.59	3.57	1.8
维生素片	5.75	5.84	5.87	5.91	5.93	5.84	5.86	1.1
饮料	1.31	1.25	1.28	1.32	1.29	1.29	1.29	1.9

表 4 6 个不同基质的准确度实验结果(n=3)
Table 4 Accuracy test results of 6 different substrates (n=3)

样品名称	加标量/(mg/100 g)	平均回收率/%	RSD/%
固体饮料	1.92	102.0	1.9
	3.84		
	5.76		
FSMP	0.53	98.0	3.8
	1.07		
	1.60		
米粉	0.89	101.0	2.0
	1.78		
	2.66		
奶粉	1.79	99.1	2.2
	3.57		
	5.36		
维生素片	2.93	100.4	1.9
	5.86		
	8.79		
饮料	0.95	98.3	1.7
	1.90		
	2.85		

表 5 UPLC-MS/MS 法和微生物法测定泛酸含量结果对比(n=3)
Table 5 Comparison of UPLC-MS/MS and microbiological method for determination of PA (n=3)

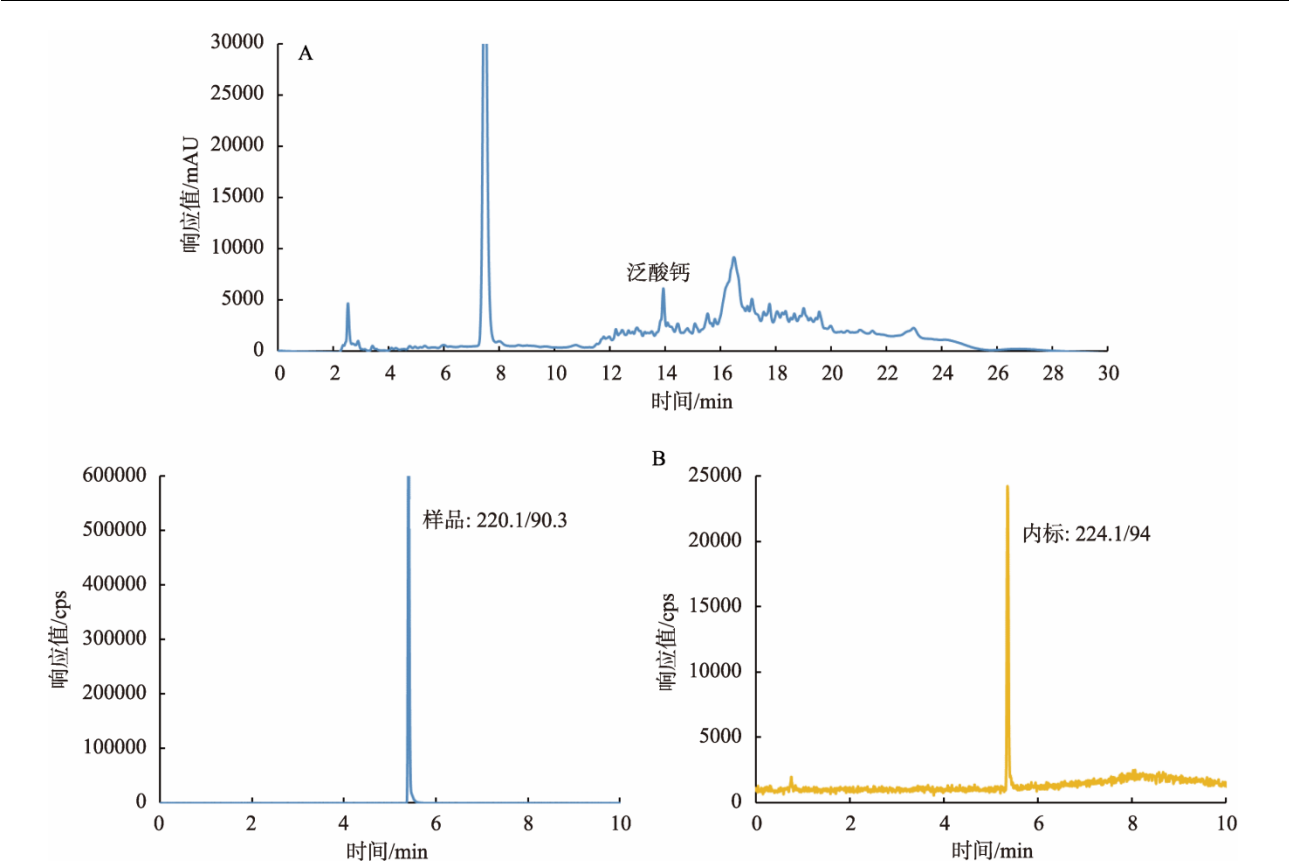
样品	UPLC-MS/MS/ (mg/100 g)	微生物法/ (mg/100 g)	2 种方法 RSD/%
奶粉 1	4.69	4.79	2.1
奶粉 2	4.04	3.87	4.3
米粉 1	1.46	1.39	4.9
米粉 2	1.37	1.43	4.3
饮料 1	0.162	0.169	4.2
饮料 2	1.11	1.14	2.7

2.4.2 与液相方法的对比

按照 1.2.2 方法对维生素片、FSMP 及固体饮料进行测试, 并与样品的泛酸添加量及 GB 5009.210—2016 中的 HPLC 法作对比, 结果见表 6。维生素片 3、固体饮料 2~3 和 FSMP 1~3 的 RSD 大于 10%, 2 种方法有明显差异(P<0.05)。通过与添加量比较可知, 此部分样品 HPLC 的结果与添加量差异较大, 而 UPLC-MS/MS 的结果与添加量相近; 由图 1 可以看出, HPLC 得到的目标峰附近有杂峰, 而 UPLC-MS/MS 的峰形窄, 无干扰。综上所述, UPLC-MS/MS 的结果与多种样品类型的添加量较为匹配, 尤其是应用在部分维生素片、FSMP 等配方食品的检测时, 相对于 GB 5009.210—2016 中的 HPLC 方法抗干扰性更强, 准确度更高。

表 6 UPLC-MS/MS 和 HPLC 测定泛酸含量结果对比(n=3)
Table 6 Comparison of UPLC-MS/MS and HPLC method for determination of PA (n=3)

样品	UPLC-MS/MS/ (mg/100 g)	HPLC/ (mg/100g)	2 种方法 RSD/%	添加量/ (mg/100 g)	UPLC-MS/MS 与添 加量比值/%	HPLC 与添加量 比值/%
维生素片 1	130	126	3.1	134	97.0	94.0
维生素片 2	502	517	2.9	531	94.5	97.4
维生素片 3	588	692	17	615	95.6	113
固体饮料 1	68.2	65.4	4.2	71.9	96.1	92.1
固体饮料 2	5.06	6.15	20	5.22	96.9	118
固体饮料 3	15.3	22.3	38	15.8	96.8	141
FSMP1	6.81	8.32	20	6.94	98.1	120
FSMP2	4.88	6.58	30	5.07	96.3	130
FSMP3	6.17	7.60	21	6.39	96.6	119



注: A: 泛酸 HPLC 色谱图, 样品的泛酸质量浓度为 3.449 $\mu\text{g/mL}$; B: 泛酸 UPLC-MS/MS 色谱图, 样品的泛酸质量浓度为 319.703 $\mu\text{g/L}$, 内标质量浓度为 10 $\mu\text{g/L}$ 。

图 1 维生素片中泛酸的 HPLC 及 UPLC-MS/MS 色谱图
Fig.1 Chromatograms of PA in vitamin tablets obtained by HPLC and UPLC-MS/MS

3 结 论

本研究根据泛酸的性质及各种样品基质的特点, 用亚铁氰化钾和乙酸锌除去样品中的蛋白质, 以乙腈和 0.1%

甲酸水溶液为流动相, 通过 Waters HSS T3 C_{18} 色谱柱分离, 同位素内标法定量, 建立了超高效液相色谱-同位素稀释质谱法测定食品中泛酸的方法。方法学验证表明其具有较宽的线性范围, 灵敏度高, 在米粉、固体饮料和特殊医学

配方食品等基质中都有较好的准确度和精密度。该方法前处理简单快捷, 与 GB 5009.210—2016 中的微生物方法相比, 测定时间大大减少, 有利于提高检测效率; 与 GB 5009.210—2016 的 HPLC 方法相比, 抗干扰能力更强, 得到比 HPLC 法更准确的测定结果。因此, 本方法的建立给泛酸的测定提供了更快速准确的途径, 可促进食品检测技术的发展。

参考文献

- [1] 沈同, 王镜岩. 生物化学(二)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
SHEN T, WANG JY. Biochemistry II [M]. Beijing: Higher Education Publishers, 1998.
- [2] GHEITA AA, GHEITA TA, KENAWY SA. The potential role of B₅: A stitch in time and switch in cytokine [J]. Phytother Res, 2020, 34(2): 306–314.
- [3] SHABBIR H, SHABBIR I, ASLAM M, *et al.* Fundamental aspects of vitamin B complex in human nourishment and fitness [J]. Am J Food Sci Health, 2020, 6(4): 109–118.
- [4] PETERSON CT, RODIONOV DA, OSTERMAN AL, *et al.* B vitamins and their role in immune regulation and cancer [J]. Nutrients, 2020, 12(11): 3380.
- [5] 杨延辉, 肖春玲. 泛酸的功能和生物合成[J]. 生命的化学, 2008, 28(4): 448–452.
YANG YH, XIAO CL. The functions and biosynthesis of pantothenic acid [J]. Chem Life, 2008, 28(4): 448–452.
- [6] MILLER W, RUCKER B. Present knowledge in nutrition [M]. Ames: John Wiley & Sons, 2012.
- [7] PATASSINI S, BEGLEY P, XU J, *et al.* Cerebral vitamin B₅ (D-pantothenic acid) deficiency as a potential cause of metabolic perturbation and neurodegeneration in Huntington's disease [J]. Metabolites, 2019, 9(6): 113.
- [8] COATES PM, BLACKMAN MR, CRAGG GM, *et al.* Encyclopedia of dietary supplements [M]. London and New York: Inform Healthcare, 2005.
- [9] 黄钟标, 吴思敏, 郑思珩, 等. 2 种微生物法测定婴幼儿乳粉中维生素 B₅ 含量的比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4713–4717.
HUANG ZB, WU SM, ZHENG SH, *et al.* Comparison of determination of vitamin B₅ in infant milk powder by 2 microbial methods [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(14): 4713–4717.
- [10] 张旭, 马妮, 郑洪. 微生物法测定食品中泛酸的含量[J]. 中国微生态学杂志, 2012, 24(7): 654–655.
ZHANG X, MA N, ZHENG H. Microbiological method for the detection of pantothenic acid in food [J]. Chin J Microecol, 2012, 24(7): 654–655.
- [11] 尹烁, 杨懿, 李永新, 等. 高效液相色谱法同时测定乳制品中的泛酸和生物素[J]. 现代预防医学, 2018, 45(4): 708–711.
YIN S, YANG Y, LI YX. Simultaneous determination of pantothenic acid and biotin in dairy products by high-performance liquid chromatography [J]. Mod Prev Med, 2018, 45(4): 708–711.
- [12] 刘琳, 刘岩, 段小娟, 等. 高效液相色谱法测定乳及乳制品中泛酸分析方法的改进[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(11): 4190–4194.
LIU L, LIN Y, DUAN XJ, *et al.* Optimization the method for determination of pantothenic acid in milk and dairy product by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(11): 4190–4194.
- [13] RAKUŠA ŽT, GROBIN A, ROŠKAR R. A comprehensive approach for the simultaneous analysis of all main water-soluble vitamins in multivitamin preparations by a stability-indicating HPLC-DAD method [J]. Food Chem, 2021, 337: 127768.
- [14] DE ASSIS RC, SOARES RLG, SIQUIRA ACP, *et al.* Determination of water-soluble vitamins and carotenoids in Brazilian tropical fruits by high performance liquid chromatography [J]. Heliyon, 2020, 6(10): e5307.
- [15] 方富良, 李娜. 超高效液相色谱-同位素稀释质谱法测定乳蛋白深度水解配方粉中的泛酸[J]. 食品安全导刊, 2018, (21): 69–70.
FANG FL, LI N. Determination of pantothenic acid in formula powder for deep hydrolysis of milk protein using ultra performance liquid chromatography-isotope dilution mass spectrometry [J]. Chin Food Saf Magaz, 2018, (21): 69–70.
- [16] 严华, 崔凤云, 别玮, 等. 超高效液相色谱-同位素稀释质谱法同时测定婴幼儿配方奶粉中 10 种水溶性维生素[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(17): 5871–5878.
YAN H, CUI FY, BIE W, *et al.* Simultaneous determination of 10 kinds of water soluble vitamins in infant formula by ultra performance liquid chromatography-isotope dilution mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(17): 5871–5878.
- [17] GILL B, SALDO S, MCGRAI L, *et al.* Rapid method for the determination of thiamine and pantothenic acid in infant formula and milk-based nutritional products by liquid chromatography–tandem mass spectrometry [J]. J AOAC Int, 2020, 103(3): 812–817.
- [18] GONTHIER A, BOULLANGER P, FAYOL V, *et al.* Development of an ELISA for pantothenic acid (vitamin B₅) for application in the nutrition and biological fields [J]. J Immunoass Immunoch, 1998, 19(2): 167–194.
- [19] ZENG L, GUO LL, WANG ZX, *et al.* Immunoassays for the rapid detection of pantothenic acid in pharmaceutical and food products [J]. Food Chem, 2021, 348: 129114.
- [20] SÁDECKÁ J, KARASOVÁ G, POLONSKÝ J. Determination of pantothenic acid in food by capillary isotachopheresis [J]. Eur Food Res Technol, 2003, 216(5): 440–444.

(责任编辑: 李磅礴 于梦娇)

作者简介



孙 宇, 硕士, 工程师, 主要研究方向为特殊食品成分检测分析技术。
E-mail: sunyu201007@163.com



刘 涛, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为食品、药品、农产品及日化产品检测研究。
E-mail: tony.liu@cti-cert.com