

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240624003

柱前衍生-高效液相色谱法测定特殊配方食品中的牛磺酸

王红青^{1,2}, 王馨远^{1,2*}, 茅佳^{1,2}, 曹青文^{1,2}, 孙亮^{1,2}, 王秀丽^{1,2}, 夏莹^{1,2}

(1. 杭州市食品药品检验科学研究院, 杭州 310017;
2. 浙江省市场监管乳及乳制品监管技术重点实验室, 杭州 310017)

摘要: **目的** 建立实心核颗粒技术-柱前衍生-高效液相色谱法测定氨基酸配方及蛋白水解配方等特殊配方食品中牛磺酸的分析方法。**方法** 样品加水溶解提取后沉淀蛋白, 上清液与足量丹磺酰氯衍生反应; 采用实心核颗粒 C₁₈ 色谱柱分离, 流动相为乙腈-乙酸钠溶液, 梯度洗脱, 高效液相色谱荧光检测器测定, 外标法定量。**结果** 牛磺酸峰型良好, 与杂质基线分离, 在 0~40.0 µg/mL 范围内线性良好($r^2>0.999$), 方法检出限和定量限分别为 0.04 mg/100 g、0.10 mg/100 g; 在低、中、高 3 个浓度水平下的平均回收率范围为 90.5%~105.4%, 相对标准偏差为 0.5%~8.1%。**结论** 该方法准确度高、重复性和稳定性好, 适用于氨基酸配方及蛋白水解配方等特殊配方食品的检测, 解决了国标方法检测氨基酸配方及深度水解蛋白乳粉等特殊配方食品中牛磺酸方法的不足。

关键词: 氨基酸配方及蛋白水解配方; 牛磺酸; 柱前衍生; 实心核颗粒技术; 高效液相色谱法

Determination of taurine in special formula foods by pre column derivative high performance liquid chromatography

WANG Hong-Qing^{1,2}, WANG Xin-Yuan^{1,2*}, MAO Jia^{1,2}, CAO Qing-Wen^{1,2},
SUN Liang^{1,2}, WANG Xiu-Li^{1,2}, XIA Ying^{1,2}

[1. Hangzhou Institute for Food and Drug Control and Research, Hangzhou 310017, China;
2. Key Laboratory of Milk and Dairy Regulatory Technology of Zhejiang Provincial
Administration for Market Regulation (Cultivation), Hangzhou 310017, China]

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of taurine in special formula foods such as amino acid formula and protein hydrolysate using solid-core particle technology-precolumn derivatization-high performance liquid chromatography. **Methods** After the samples were dissolved in water and the protein was precipitated, the supernatant was taken for derivative reaction with dansyl chloride. Later, samples were separated on a Cortecs C₁₈ column and gradient eluted with acetonitrile-sodium acetate solution as mobile phase, determined by fluorescence detector and quantified by external standard method. **Results** The results showed that the peak of taurine was good and separated from the impurity baseline, with good linearity in the range of 0~40.0 µg/mL ($r^2>0.999$), and the limit of detection and limit of quantification were 0.04 mg/100 g and 0.10 mg/100 g, respectively.

*通信作者: 王馨远, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为食品分析。E-mail: 158321865@qq.com

*Corresponding author: WANG Xin-Yuan, Master, Supervising Technician, Hangzhou Institute for Food and Drug Control and Research, Huilonghu Mansion, No.198, Yonghua Street, Shiqiao Road, Hangzhou 310017, China. E-mail: 158321865@qq.com

The average recoveries of taurine at low, medium and high spiked levels were 90.5%~105.4%, and the relative standard deviations were 0.5%~8.1%. **Conclusion** This method has high accuracy, good repeatability and stability, and is suitable for the detection of special formula foods such as amino acid formulas and protein hydrolysis formulas. It solves the shortcomings of the national standard method for detecting taurine in amino acid formulas and deeply hydrolyzed protein milk powder.

KEY WORDS: amino acid formula and protein hydrolyzed formula foods; taurine; pre column derivatization; solid core particle technology; high performance liquid chromatography

0 引言

牛磺酸是一种含硫的非蛋白氨基酸,对婴幼儿早期智力发育、神经系统、视力发育有很重要的作用,缺乏牛磺酸会导致婴幼儿视网膜功能紊乱^[1-2]。因此,许多国家把牛磺酸作为一种食品添加剂添加在婴幼儿食品中。在新生儿中,部分婴儿由于先天的因素,需要在早期或者长期使用特殊医学用途婴儿配方食品提供成长所需的营养。我国 GB 29922—2013《食品安全国家标准 特殊医学用途配方食品通则》规定特殊医学用途配方食品中牛磺酸的含量为不超过 3.1 mg/100 kJ。

牛磺酸的检测方法主要包括库仑滴定^[3]、酸碱滴定法^[4]、薄层色谱法^[5]、氨基酸分析仪测定法^[6-8]、离子色谱法^[9]、液相色谱法^[10-17]、液相色谱-串联质谱法^[18-25]、拉曼光谱法^[26]、二维液相色谱法^[27]等。薄层色谱法、比色法、离子色谱法、滴定法、拉曼光谱法等容易受到氨基酸的干扰,误差较大,液相色谱-串联质谱法成本较高,且目前没有标准检测方法。我国针对普通食品和乳粉中牛磺酸的测定,主要依据 GB 5009.169—2016《食品安全国家标准 食品中牛磺酸的测定》,采用柱前或柱后衍生处理,液相色谱法测定。

目前,市场上针对特殊人群的水解蛋白乳粉越来越多,水解蛋白乳粉将完整的大分子蛋白进行切割,变成小分子的蛋白甚至游离的氨基酸^[18]。特殊配方食品抽检监测中,牛磺酸的检测要求采用 GB 5009.169—2016 中的第二法-丹磺酰氯柱前衍生法,但该方法在建立时并没有考虑特殊医学用途配方食品基质的特殊性。氨基酸配方或蛋白水解配方特殊医学用途类食品,其基质和成分与普通婴幼儿配方乳粉有较大的区别。样品中存在大量水解氨基酸,会争夺衍生试剂,导致检测结果偏低,或者会因为杂质无法分离带来干扰而导致结果偏高^[21],给实验室监督检测、企业质量控制带来困扰。

鉴于此,本研究对 GB 5009.169—2016 第二法中的前处理方法进行优化,同时基于实心核颗粒色谱技术以实现目标物和杂质更好的分离,建立高效液相色谱法测定氨基酸配方或者蛋白水解配方食品中牛磺酸的方法,为解决特殊基质样品中牛磺酸检测问题提供方法参考。

1 材料与方法

1.1 仪器、试剂与材料

LC-20AD 岛津高效液相色谱仪[岛津国际贸易(上海)有限公司]; ME802 梅特勒百分之一电子天平、梅特勒 pH 计[梅特勒托利多仪器(上海)有限公司]; JAC-2010 超声波清洗器(韩国 JAC 公司); VORTEX 3 涡旋混合器[艾卡(广州)仪器设备有限公司]; MA600R 高速离心机(上海丰博生物科技有限公司); Milli-Q 超纯水仪(美国 Millipore 公司); DK-S28 恒温水浴锅(上海精宏实验设备有限公司); Waters Cortecs C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×150 mm, 2.7 μm, 美国 Waters 公司)。

乙腈(色谱纯,德国默克公司);冰乙酸、盐酸、乙酸、无水碳酸钠、盐酸甲胺、丹磺酰氯、亚铁氰化钾、乙酸锌(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

样品来源于日常监督抽检样品。

1.2 实验方法

称取 5.00 g 样品于锥形瓶中,加 40℃左右温水 40 mL,摇匀使试样溶解,放入超声振荡器提取 15 min。冷却到室温,加 1.0 mL 106 g/L 亚铁氰化钾溶液,涡旋混合,1.0 mL 219 g/L 乙酸锌溶液,涡旋混匀,转入 100 mL 容量瓶中,用水定容至刻度,充分混匀,样品于 8500 r/min 下离心 10 min。准确移取 1.00 mL 上清液到 10 mL 具塞棕色比色管中,加入 3.00 mL 80 mmol/L 碳酸钠缓冲液(1 mol/L 盐酸溶液调 pH 9.5),3.00 mL 1.5 mg/mL 丹磺酰氯溶液,充分混合,40℃避光衍生反应 2 h(1 h 后摇晃 1 次,使其充分反应),加入 20 mg/L 盐酸甲胺溶液 0.10 mL,涡旋混合终止反应,避光静置到沉淀完全。取上清液经 0.22 μm 微孔滤膜过滤,取滤液备用。另取标准工作液各 1.00 mL,与试液同步衍生后进样。

1.3 仪器工作条件

Waters Cortecs C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×150 mm, 2.7 μm),流动相 A 为 10 mmol/L 乙酸钠缓冲溶液(冰乙酸调 pH 4.2),B 为乙腈。梯度洗脱程序(B): 0~11.5 min, 30% B; 11.6~17.0 min, 30%~90% B; 17.1~20.0 min, 30% B; 流速 1.0 mL/min,进样体积 10 μL,柱温 45℃。荧光检测器:激发波长 330 nm,发射波长 530 nm。

1.4 数据处理

采用岛津 LC 20AD LabSolution 软件进行色谱图及数据处理;采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据整理统计,进行平均值和标准偏差等相关运算。

2 结果与分析

2.1 色谱柱的选择

研究选取 SB-C₁₈ (4.6 mm×250 mm, 5.0 μm)、InterSustain-C₁₈ (4.6 mm×250 mm, 5.0 μm)色谱柱,通过调节流动相比比例,都无法将牛磺酸和杂质很好地分离。由于氨基酸配方及蛋白水解配方特殊医学用途配方食品中含有大量的氨基酸,衍生上机时,大量的杂质峰严重干扰牛磺酸的测定,延长分析时间、优化梯度都很难基线分离(标样和实际样品谱图见图 1)。因为尝试选用 Waters Cortecs C₁₈ 色谱柱,Cortecs 实心核颗粒色谱技术是一种色谱填充新技术,可大大提高分离度及峰容量,具有更高的通量和更快的速度,从而实现普通液相色谱分离效率的最大化,能够灵活、快速地分离多种化合物,赋予化合物更优异的峰形,在复杂样品分析中发挥更高的分离度^[28]。最终选择的 Cortecs C₁₈ (4.6 mm×150 mm, 2.7 μm)色谱柱,成功实现了杂质和牛磺酸的基线分离,样品和标准品色谱图分别见图 2 和图 3。

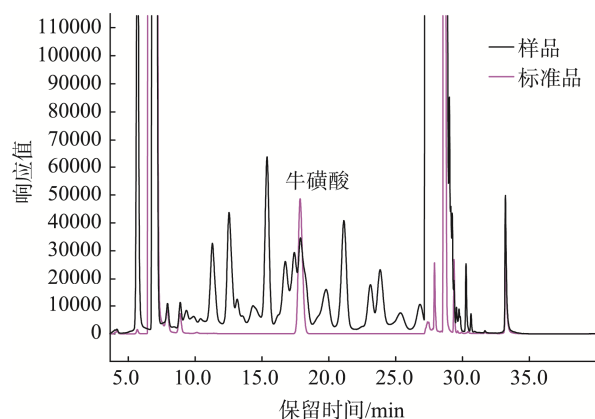


图 1 样品和标准品在常规 C₁₈ 色谱柱上的色谱图

Fig.1 Chromatograms of samples and standards on a conventional C₁₈ column

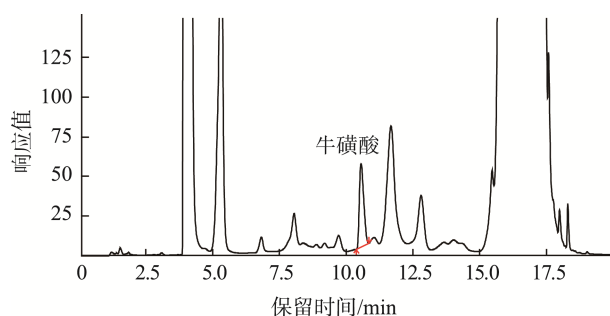


图 2 样品在 Cortecs C₁₈ 色谱柱上的色谱图

Fig.2 Chromatogram of the sample on Cortecs C₁₈ column

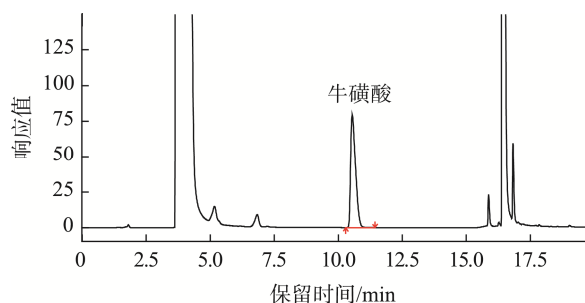


图 3 牛磺酸标准溶液的色谱图

Fig.3 Chromatogram of standard solution of taurine

2.2 提取条件的选择

振荡有利于提取溶剂和基质的充分混合,超声波能加速基质组织破壁,从而提高提取效率。本研究比较了质控样在 10、15、30、60 min 不同时间下采用超声振荡提取方式的提取效率,结果表明,当提取时间超过 15 min 以上,提取效率均在 95%以上,且无明显变化。为提高实验效率,最终选择超声振荡 15 min 为提取方式。

乳粉中含有脂肪、蛋白,衍生前需去除。使用蛋白沉淀剂是常用的沉淀蛋白的方法^[29-30]。参考文献[30]报道的条件,采用 106 g/L 亚铁氰化钾溶液和 219 g/L 乙酸锌溶液作为蛋白沉淀剂。

2.3 衍生条件的优化

衍生过程中,衍生试剂往往需要添加过量,因为氨基酸配方及蛋白水解配方特殊医学用途配方食品中含有大量的氨基酸,会与牛磺酸竞争衍生试剂,如果衍生试剂的使用量太小,会导致结果偏低。GB 5009.169—2016 中,碳酸钠缓冲液和丹磺酰氯溶液的使用量是 1 mL,使检测结果严重偏低。因此在本研究中改变衍生试剂的用量,分别加入 1.00、2.00、3.00 mL 碳酸钠缓冲液,1.00、2.00、3.00 mL 丹磺酰氯溶液。实验结果表明,对于氨基酸配方及蛋白水解配方特殊医学用途配方食品,当加入的衍生试剂为 3.00 mL 以上时,牛磺酸的峰面积不再继续增加,衍生试剂的量太大时,杂质干扰峰响应太大,同时会污染色谱柱,最终选择加入碳酸钠缓冲液和丹磺酰氯溶液各 3.00 mL。

2.4 标准曲线、检出限和定量限

按仪器工作条件对 0、5.0、10.0、20.0、30.0、40.0 μg/mL 牛磺酸标准工作溶液进行测定,以牛磺酸质量浓度为横坐标、峰面积为纵坐标绘制标准曲线。结果表明,质量浓度在 0~40.0 μg/mL 内,线性关系良好,线性回归方程为 $Y=34284X-4087$ ($r^2>0.999$)。标准溶液色谱图见图 3。方法的检出限和定量限以 3 倍和 10 倍信噪比(S/N)确定,分别为 0.04 mg/100 g 和 0.10 mg/100 g,达到 GB 5009.169—2016 要求,能够满足日常样品的监测。

2.5 精密度和回收率实验

在样品中分别添加 3 个水平(10、20、50 mg/100 g), 进行加标回收实验, 每个水平做 6 个平行。如表 1 所示, 平均加标回收率为 90.5%~105.4%, 相对标准偏差为 0.5%~8.1% (n=6)。本方法准确度和精密度较高、稳定性好, 能够满足日常检测需求。

2.6 样品分析

采用本研究方法检测牛磺酸质控样品(指定值 56.36 mg/100 g), 实测值的 Z 值为 0.68, 符合要求。采用本研究方法对监督抽检的 22 批氨基酸配方及蛋白水解配方特殊医学用途配方食品进行检测, 检测结果与标示值见表 2。结果说明在质控样品符合要求的前提下, 22 个样品的

表 1 回收率和精密度实验结果(n=6)
Table 1 Results of tests for recovery and precision (n=6)

样品	本底值/(mg/100 g)	加标量/(mg/100 g)	测定总量/(mg/100 g)	回收率/%	相对标准偏差/%
蛋白水解乳粉	35	10	44.05	90.5	8.1
		20	56.08	105.4	0.5
		50	82.55	95.1	4.5

表 2 样品中牛磺酸实测值及其标签明示值(mg/100 g)
Table 2 Measured taurine content versus label claimed of selected products (mg/100 g)

样品编号	技术要求	标示值	测定值
1	25.6~60	50.0	52.4
2	32.0~60	40.0	41.4
3	32.0~60	40.0	41.8
4	20.32~60	37.2	38.0
5	31.04~60	40.0	37.8
6	32.0~60	40.0	40.8
7	22.4~60	36.0	36.4
8	27.2~60	29.0	33.2
9	24.0~60	40.0	37.4
10	32.0~60	40.0	42.0
11	25.44~60	30.8	36.4
12	25.6~60	40.0	39.2
13	25.6~60	40.0	39.8
14	28.48~60	40.0	40.8
15	32.0~60	40.0	40.2
16	32.0~60	36.0	34.2
17	24.0~60	40.0	41.6
18	22.4~60	36.0	37.0
19	28.8~60	40.0	45.2
20	29.6~60	30.8	37.4
21	32.0~60	42.0	45.2
22	23.52~60	36.0	36.0

检测结果都和标示值接近, 样品结果基本符合企业质控要求, 本研究适用于复杂基质中牛磺酸的检测。

3 结 论

本研究优化了氨基酸配方及蛋白水解配方特殊医学用途配方食品中牛磺酸的检测方法, 针对样品的特殊性, 对 GB 5009.169—2016 前处理方法进行了优化, 延长了提

取时间, 增加了衍生试剂的用量, 同时基于实心核颗粒技术, 选取 Cortecs C₁₈ 色谱柱, 优化梯度洗脱程序, 有效解决了氨基酸配方及蛋白水解配方特殊医学用途配方食品中牛磺酸和其他氨基酸的分离问题, 提高了准确度和精密度, 解决了国标方法检测深度水解蛋白乳粉中牛磺酸方法的不足, 可满足氨基酸配方及蛋白水解配方特殊医学用途配方食品中牛磺酸的监测要求。

参考文献

[1] 王俊萍, 冀建军, 黄仁录. 牛磺酸营养研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2005, 41(12): 57-59.
WANG JP, JI JJ, HUANG RL. Recent advance in taurine nutrition [J]. Chin J Anim Sci, 2005, 41(12): 57-59.

[2] 王丽娟, 王勇. 牛磺酸药理作用的研究进展[J]. 天津药学, 2004, 16(5): 46-48.
WANG LJ, WANG Y. Advanced research of taurine in pharmacological actions [J]. Tianjin Pharm, 2004, 16(5): 46-48.

[3] 汤晨希, 徐登, 王慧玲, 等. 库仑滴定法快速测定牛磺酸含量[J]. 分析实验室, 2017, 36(10): 1202-1205.
TANG CX, XU D, WANG HL, et al. Rapid determination of taurine by coulometric titration [J]. Chin J Anal Lab, 2017, 36(10): 1202-1205.

[4] 陈骋, 赵基钢, 何庆功, 等. 酸碱中和滴定法测定环氧乙烷法合成牛磺酸含量[J]. 应用化工, 2019, 48(9): 2268-2270.
CHEN C, ZHAO JG, HE QG, et al. Determination of taurine synthesized from ethylene oxide by acid-base neutralization titration [J]. Appl Chem Ind, 2019, 48(9): 2268-2270.

[5] 周红梅, 卢福强. 薄层色谱法测定复方尿维氨滴眼液中牛磺酸的有关物质[J]. 黑龙江医药, 2013, 26(2): 189-190.
ZHOU HM, LU FQ. Thin layer chromatography method for determination of compound allantoin vitaminB6-E and aminoethylsulfonic acid eye drops of taurine related substances [J]. Heilongjiang Med J, 2013, 26(2): 189-190.

[6] 严俊, 徐柏杨, 颜琳琦, 等. L-8900 氨基酸分析仪检测不同形态保健食品中牛磺酸含量[J]. 食品工业, 2019, 40(11): 341-344.
YAN J, XU BY, YAN LQ, et al. Determination of taurine in different forms health food by L-8900 amino acid analyzer [J]. Food Ind, 2019, 40(11): 341-344.

- [7] 姜荷, 王红青, 孙岚, 等. 氨基酸分析仪测定功能性饮料中游离氨基酸[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(4): 763–764.
JIANG H, WANG HQ, SUN L, *et al.* Detecting free amino acids in functional drinks by AAA [J]. Chin J Health Lab Technol, 2010, 20(4): 763–764.
- [8] 王洪健, 周兴起, 冯志强, 等. 氨基酸自动分析仪测定食品中牛磺酸的方法建立[J]. 现代食品科技, 2012, 28(3): 348–350.
WANG HJ, ZHOU XQ, FENG ZQ, *et al.* Determination of taurine in food products by amino acid autoanalyzer [J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(3): 348–350.
- [9] 邹晓莉, 黎源倩, 曾红燕, 等. 脉冲安培检测-高效阴离子色谱对药品和保健食品中牛磺酸的快速测定[J]. 分析测试学报, 2009, 28(4): 470–473.
ZOU XL, LI YQ, ZENG HY, *et al.* Quick determination of taurine in drug and health food by pulse ampere detection-high performance anion exchange chromatography [J]. J Instru Anal, 2009, 28(4): 470–473.
- [10] 陈向明. 2,4-二硝基氟苯柱前衍生-高效液相色谱法测定牡蛎中牛磺酸[J]. 理化检验-化学分册, 2014, 50(5): 611–613.
CHEN XM. HPLC Determination of taurine in oyster with precolumn derivatization using 2,4-dinitrofluorobenzene as derivatizing reagent [J]. Phys Test Chem Anal (Part B: Chem Anal), 2014, 50(5): 611–613.
- [11] 刘柱, 陈万勤, 王瑾, 等. 酶解反应-柱前衍生-高效液相色谱法测定高淀粉类食品中的牛磺酸[J]. 理化检验-化学分册, 2013, 49(9): 1079–1082.
LIU Z, CHEN WQ, WANG J, *et al.* Determination of taurine in high-starch food by pre-column derivatization after enzymolysis-HPLC [J]. Phys Test Chem Anal (Part B: Chem Anal), 2013, 49(9): 1079–1082.
- [12] 袁辉, 高帅, 王传兴. 三种柱前衍生化法测定乳粉中牛磺酸含量的方法比较[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(3): 53–56.
YUAN H, GAO S, WANG CX. Comparison of three methods for determined taurine content in milk powder by pre-column derivatization [J]. China Dairy Ind, 2015, 43(3): 53–56.
- [13] 张冬生, 李强, 翟洪稳, 等. 柱前在线衍生-高效液相色谱法测定婴幼儿配方奶粉中牛磺酸[J]. 食品安全导刊, 2021, 18: 79–80.
ZHANG DS, LI Q, ZHAI HW, *et al.* Determination of taurine in infant formula milk powder by pre column online derivatization high performance liquid chromatography [J]. China Food Saf Magaz, 2021, 18: 79–80.
- [14] 林玉宙, 黄耀铨, 丛晓, 等. 柱前在线自动衍生-高效液相色谱法快速测定乳粉中牛磺酸[J]. 乳业科学与技术, 2015, 38(5): 21–24.
LIN YZ, HUANG YY, CONG X, *et al.* Rapid determination of taurine in milk powder by high performance liquid chromatography with on-line automated pre-column derivatization [J]. J Dairy Sci Technol, 2015, 38(5): 21–24.
- [15] 卞华, 翁史昱, 王亮. 基于二维液相色谱体系分析特殊医学用途奶粉中的牛磺酸含量[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 288–296.
BIAN H, WENG SY, WANG L. Analysis on the taurine in the milk powder with special medical purpose based on the two-dimensional liquid chromatography system [J]. J Chin Instit Food Sci Technol, 2022, 22(3): 288–296.
- [16] 陈晓峰, 周围, 解迎双. 超高效液相色谱串联质谱法直接测定婴幼儿乳粉中牛磺酸[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 280–285.
CHEN XF, ZHOU W, XIE YS. Direct determination of taurine in infant milk powder by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Sci, 2015, 36(24): 280–285.
- [17] 侯林丛, 李贤, 陆静, 等. 高效液相色谱法测定饲料及宠物食品中牛磺酸[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2021, 40(2): 39–43.
HOU LC, LI X, LU J, *et al.* Determination of taurine in infant formula milk powder by pre column online derivatization high performance liquid chromatography [J]. Jiangxi J Anim Husb Vet Med, 2021, 40(2): 39–43.
- [18] 张婷, 陈雷, 刘芸, 等. 高效液相色谱-高分辨质谱法测定乳粉中的牛磺酸[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 2086–2090.
ZHANG T, CHEN L, LIU Y, *et al.* Determination of taurine in milk powder by high performance liquid chromatography-high resolution mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(6): 2086–2090.
- [19] 林琳, 林毅侃, 庞贝妮, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定特殊医学用途婴儿乳粉中牛磺酸的含量[J]. 乳业科学与技术, 2020, 43(1): 5–8.
LIN L, LIN YK, PANG BN, *et al.* Determination of taurine content in infant formula for special medical purposes by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Dairy Sci Technol, 2020, 43(1): 5–8.
- [20] 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, 7: 69–70.
FANG FL, LI N. Determination of pantothenic acid in deep hydrolysis formula powder of milk protein by ultra high performance liquid chromatography-isotope dilution mass spectrometry [J]. China Food Saf Magaz, 2018, 7: 69–70.
- [21] 康明芹, 陈明岩, 汪岸英, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定保健食品中牛磺酸[J]. 理化检验-化学分册, 2018, 54(2): 153–156.
KANG MQ, CHEN MY, WANG ANY, *et al.* Determination of taurine in health-care food by HPLC-MS/MS [J]. Phys Test Chem Anal (Part B: Chem Anal), 2018, 54(2): 153–156.
- [22] 索德成, 肖志明, 王石, 等. 多重杂质吸附结合液相色谱串联质谱测定宠物饲料中牛磺酸[J]. 中国饲料, 2022, 22: 67–71.
SUO DC, XIAO ZM, WANG S, *et al.* Determination of taurine in pet feed by LC-MS/MS with multi-function impurity adsorption [J]. China Feed, 2022, 22: 67–71.
- [23] 卢兰香, 郑红, 武传香, 等. AQC 柱前衍生/UPLC-MS/MS 测定蜂蜜中的内源性氨基酸和牛磺酸成分[J]. 分析测试学报, 2022, 41(12): 1738–1745.
LU LX, ZHENG H, WU CX, *et al.* Determination of endogenous amino acids and taurine in honey by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with AQC pre-column derivation [J]. J Instrum Anal, 2022, 41(12): 1738–1745.
- [24] 卢兰香, 薛霞, 张艳侠, 等. 酸水解-酶水解-UPLC-MS/MS 测定特殊医学用途配方食品中多种氨基酸和牛磺酸[J]. 分析实验室, 2023, 42(12): 1622–1630.
LU XL, XUE X, ZHANG YX, *et al.* Determination of amino acids and taurine in formula foods for special medical by UPLC-MS/MS with acidic hydrolysis and enzymatic hydrolysis [J]. Chin J Anal Lab, 2023, 42(12): 1622–1630.
- [25] 周海珍, 栗亚琼, 王淑霞, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定猪肉及猪肉制品中牛磺酸含量[J]. 肉类研究, 2021, 35(2): 35–40.
ZHOU HZ, LI YQ, WANG SX, *et al.* Determination of taurine in pork and pork products by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Meat Res, 2021, 35(2): 35–40.

- [26] 赖源发, 胡佳, 庄峙厦, 等. 拉曼光谱法用于牛磺酸片鉴别及含量测定[J]. 药物分析杂志, 2017, 37(5): 777-782.
LAI YF, HU J, ZHUANG ZX, *et al.* Identification and assay of taurine tablets by Raman spectroscopy [J]. Chin J Pharm Anal, 2017, 37(5): 777-782.
- [27] 李雨墨, 迟秋池, 顾正健, 等. 在线净化二维液相色谱测定特殊医学配方食品中的牛磺酸[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(18): 298-305.
LI YM, CHI QC, GU ZJ, *et al.* Determination of taurine in food for special medical purpose by on-line purification two-dimensional high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2024, 15(18): 298-305.
- [28] 励炯, 曹青文, 王姣斐, 等. 基于空心核颗粒色谱技术结合 HPLC 法快速测定保健食品中非法添加 13 种降糖化学成分[J]. 中草药, 2017, 48(13): 2666-2673.
LI J, CAO QW, WANG JF, *et al.* Detection of 13 anti-diabetic drugs illegally added in health food by HPLC with solid nuclear particle chromatographic column Chinese [J]. Chin Tradit Herbal Drug, 2017, 48(13): 2666-2673.
- [29] 袁辉, 高帅, 王传兴. 三种柱前衍生化法测定乳粉中牛磺酸含量的方法比较[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(7): 53-56.
YUAN H, GAO S, WANG CX. Comparison of three methods for determined taurine content in milk powder by pre-column derivatization [J]. China Dairy Ind, 2015, 43(7): 53-56.
- [30] 刘常凯, 何林飞, 辛丽娜. 氨基酸分析仪检测婴幼儿奶粉中牛磺酸含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(12): 3957-3961.
LIU CK, HE LF, XIN LN. Determination of taurine content in infant milk powder by amino acid analyzer [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(12): 3957-3961.

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)

作者简介



王红青, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品分析。
E-mail: 38260311@qq.com



王馨远, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为食品分析。
E-mail: 158321865@qq.com