

婴幼儿配方食品中矿物元素的检测

王小平^{1,2}, 刘忠莹¹, 王沿皓³, 何叶馨¹, 张定秋¹, 郑红毅¹, 王鑫^{1,2*}

(1. 四川省食品检验研究院, 四川 成都 610097; 2. 国家市场监管重点实验室(白酒监管技术), 四川 成都 610097; 3. 成都医学院, 四川 成都 611137)

摘要: 为解决部分婴幼儿配方食品中矿物元素检测不均的问题, 采用干法、湿法、微波法和复溶-微波法对样品进行消解检测, 结果表明: 干法消解的数据质量最差; 湿法与微波消解法检测的结果相比, 铜、铁、钾、镁、锰和钠的含量差异不显著($P>0.05$), 部分矿物元素(铜、铁、钾、钠、磷、锌)检测结果的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)减小, 但未达到预期。样品复溶后进行微波消解检测发现, 用水复溶后的大部分元素含量偏低, 特别是铁, 且检测的矿物元素 RSD 均较大, 而用 5% 硝酸复溶后, 元素含量均没有明显偏高和偏低, 且 RSD 均明显减小。因此, 通过 5% 硝酸复溶样品后进行微波消解检测婴幼儿配方食品中的矿物元素, 可以解决样品中矿物元素测定结果不均的问题。

关键词: 婴幼儿配方食品; 矿物元素; 干法; 湿法; 微波法

Detection of Mineral Elements in Infant Formula Food

WANG Xiao-ping^{1,2}, LIU Zhong-ying¹, WANG Yan-hao³, HE Ye-xin¹, ZHANG Ding-qiu¹,
ZHENG Hong-yi¹, WANG Xin^{1,2*}

(1. Sichuan Institute of Food Inspection, Chengdu 610097, Sichuan, China; 2. Key Laboratory of Baijiu Supervising Technology for State Market Regulation, Chengdu 610097, Sichuan, China; 3. Chengdu Medical College, Chengdu 611137, Sichuan, China)

Abstract: To solve the uneven detection of mineral elements in some infant formula food, this study used the dry method, wet method, microwave method, and reconstitution-microwave method to digest and detect samples. The results showed that the data quality of the dry method was the worst. As compared with the microwave method, the content of copper, iron, potassium, magnesium, manganese, and sodium of the wet method had no significant difference ($P>0.05$), and the relative standard deviation (RSD) of the detection results of some mineral elements (copper, iron, potassium, sodium, phosphorus, and zinc) was decreased but did not meet the expectations. The detection by the microwave method showed that after the samples were reconstituted, the content of most elements was low when samples were reconstituted with water, especially that of iron, and the RSD was relatively large. However, when samples were reconstituted with 5% nitric acid, the content was not significantly higher or lower, but the RSD was significantly reduced. Therefore, the detection of mineral elements in infant formula food by the microwave method after the reconstitution of samples with 5% nitric acid can solve the problem of uneven detection of mineral elements in samples.

Key words: infant formula food; mineral elements; dry method; wet method; microwave method

引文格式:

王小平, 刘忠莹, 王沿皓, 等. 婴幼儿配方食品中矿物元素的检测[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(7): 157-162.

WANG Xiaoping, LIU Zhongying, WANG Yanhao, et al. Detection of Mineral Elements in Infant Formula Food[J]. Food Research and Development, 2023, 44(7): 157-162.

作者简介: 王小平(1990—), 男(汉), 工程师, 硕士研究生, 研究方向: 食品检测。

* 通信作者: 王鑫(1983—), 女(汉), 高级工程师, 硕士研究生, 研究方向: 食品检测。

目前婴幼儿配方食品混合工艺主要有湿法和干法等工艺^[1-2],采用湿法工艺添加营养强化剂,会使各种维生素和矿物元素均匀性较好,但采用干法工艺添加营养强化剂,会导致部分维生素和矿物元素均匀性很差^[3-4]。国家标准对婴幼儿配方食品中的各种维生素和矿物元素含量均有严格要求,若产品均匀性很差,会导致检测结果的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)较大。因此,对检测技术提出了更高的要求,即检测结果要尽可能地反映样品真实添加量。

元素检测取样量较少,对于均匀性差的样品其检测结果的RSD很大,造成结果准确性低,增大取样量或选择取样量较大的前处理方式是解决该问题的重要手段之一。矿物元素检测最主要的消解方法有微波、湿法、干法等消解方法,3种方法适宜的固体样品称量依次为0.2 g~0.5 g、0.3 g~2.0 g、0.2 g~3.0 g^[5-6]。干法消解有称样量大、试剂用量少、有机物分解彻底、操作简单等优点,但存在消解时间长且部分目标元素易损失等缺点^[7-10];湿法消解有消解速度快、有机物分解彻底、设备简单等优点,但有试剂消耗量大、空白高、部分目标元素易损失等缺点^[11-14];微波消解有空白低且不易受污染、耗时短,消解完全、耗量少、避免待测元素损失等优点,但存在称样量小(样品代表性要求高)、仪器昂贵等缺点^[15-16]。不同消解方法各有优劣,因此,针对不同样品特性,选择合适的消解方法尤为重要。

本文针对矿物元素均匀性较差的婴幼儿配方食品,采用干法、湿法、微波、复溶-微波消解方法对其消解后进行检测,解决因婴幼儿配方食品中矿物元素均匀性差导致RSD大而准确性低的问题,为解决类似问题提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

婴幼儿配方食品:市售;钙、钠、钾、磷、镁、铁、锌、铜和锰标准溶液:国家有色金属及电子材料分析测试中心;硝酸(色谱级):美国 Thermo Fisher 公司;高氯酸(色谱级):成都市科隆化学品有限公司。

1.2 仪器与设备

ICPA 6300 MK2 电感耦合等离子体发射光谱、BF-51866KC-1 马弗炉:美国 Thermo Fisher 公司;TOPEX 微波消解仪、G-400G 赶酸器:上海屹尧仪器科技发展有限公司;EG37C 加热板:北京莱伯泰科仪器股份有限公司;ME204 电子天平:瑞士梅特勒-托利多公司;DL-1 电炉:北京中兴伟业仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品消解

干法消解:参照 GB 5009.268—2016《食品安全国

家标准 食品中多元素的测定》,称取 2 g 试样于坩埚中,在电炉上微火炭化至无烟,然后置于 550 ℃ 的马弗炉中灰化 6 h,冷却,加入 10 mL 硝酸溶液溶解,并用水定容至 100 mL,混匀备用。同时做空白试验。

湿法消解:参照 GB 5009.268—2016,称取适量样品于聚四氟乙烯消解器皿中,加入 10 mL 混合酸(高氯酸和硝酸的体积比为 1:9),加盖放置过夜(10 h~16 h),置于加热板消解,直至冒白烟,消化液呈无色透明,冷却至室温 25 ℃,用水定容至 50 mL,混匀备用。同时做空白试验。

微波消解:称取适量试样于微波消解内罐中,加入 7 mL 硝酸,置于微波消解仪中进行消解,冷却后取出内罐,置于赶酸器上,于 140 ℃ 赶酸至近干,用水定容至 50 mL,混匀备用。同时做空白试验。

复溶-微波消解:称取 20 g 样品于 250 mL 容量瓶中,加入适量的 50 ℃ 水或 5% 硝酸溶液溶解后,待溶液冷却后,超声 30 min,用水或 5% 硝酸溶液定容至刻度,摇匀,移取上述溶液 2 mL 于微波消解内罐中,采用上述微波消解方法进行消解。

1.3.2 样品测定

参考 GB 5009.268—2016 检测 Ca、Na、K、P、Mg、Fe、Zn、Cu 和 Mn 元素,具体仪器条件为射频功率:1 150 W;等离子观测方式:K、Na、Ca 垂直观测,Fe、Zn、Mg、Cu、Mn、P 水平观测;分析泵速:50 r/min;雾化器流量:0.60 L/min;辅助气流量:1 L/min;冲洗时间:40 s;K、Na、Ca、Fe、Zn、Mg、Cu、Mn 和 P 波长分别为 766.490、589.592、317.933、259.940、213.856、279.079、324.754、257.610、213.618 nm。

1.3.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件对检测数据进行统计分析和绘制表格,采用 SPSS 26.0 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 婴幼儿配方食品中矿物元素均匀性的检测结果

为调查市场中的婴幼儿配方食品中矿物元素的均匀性,随机市购 12 批次婴幼儿配方食品,对其中的钙、钠、钾、磷、镁、铁、锌、铜和锰等元素进行测定,分别称取 0.3 g 样品采用微波消解方法对其进行消解,平行检测 6 次,检测结果见表 1。

由表 1 可知,不同批次不同矿物元素检测结果的 RSD 差异较大,样品 3、样品 6 和样品 12 所测 9 种元素的 RSD 均不超过 2%,即这 3 批样品均匀性较好;而样品 8、样品 10 和样品 11 锰元素检测结果的 RSD 均超过了 40%,样品 8 甚至超过了 80%,说明这 3 批样品中的锰是极度不均匀的,此外这 3 批次的钾、钠、镁、

表1 12批次婴幼儿配方食品的9种矿物元素检测结果

Table 1 Detection of 9 mineral elements in 12 batches of infant formula food

样品编号	钙		钾		磷		钠		镁	
	含量/(mg/100 g)	RSD/%								
样品 1	556	0.9	781	1.6	395	1.7	224	0.8	56.6	1.5
样品 2	572	0.7	649	0.9	374	0.8	202	0.8	54.6	0.4
样品 3	484	0.6	746	0.7	328	1.1	248	0.6	56.3	0.5
样品 4	627	1.0	776	1.2	407	2.1	146	1.1	50.1	1.8
样品 5	651	0.6	736	0.5	412	1.1	212	0.7	50.9	1.3
样品 6	688	0.5	723	0.6	444	1.0	214	0.7	55.9	0.8
样品 7	456	1.3	787	1.5	261	2.7	195	1.3	42.5	2.4
样品 8	620	1.5	499	12.2	419	1.3	210	5.6	44.4	22.5
样品 9	518	1.1	524	1.4	285	2.5	208	1.4	35.6	1.7
样品 10	611	0.8	517	10.1	396	1.5	212	10.4	54.6	11.5
样品 11	599	0.9	535	13.2	390	0.3	219	8.6	56.4	31.1
样品 12	498	1.1	685	0.7	308	1.3	207	0.7	41.0	0.8

样品编号	铁		锌		铜		锰	
	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(μg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%
样品 1	7.26	1.2	4.33	11.0	390	12.2	87.4	10.4
样品 2	10.70	29.3	4.43	2.2	431	0.5	37.6	35.6
样品 3	7.83	1.1	4.43	0.9	429	0.6	46.7	1.1
样品 4	6.32	22.1	4.06	2.9	499	1.4	58.7	16.0
样品 5	9.14	11.5	4.50	1.3	411	2.3	60.4	5.5
样品 6	8.89	0.4	5.16	0.8	436	0.8	25.9	1.3
样品 7	6.57	13.7	5.27	2.8	419	11.0	124.3	13.3
样品 8	8.24	17.0	5.99	21.3	516	16.2	254.2	82.5
样品 9	5.14	7.3	4.63	3.4	314	3.7	289.2	5.6
样品 10	8.08	27.4	5.74	11.3	473	5.0	161.4	45.4
样品 11	7.99	21.2	5.68	11.5	458	12.3	242.2	47.5
样品 12	4.85	2.0	4.50	1.7	413	1.8	88.8	1.0

铁、锌和铜的RSD也均大于等于5%，说明这些矿物元素分布不均。12批次的钙和磷RSD均小于5%，说明钙、磷两元素在婴幼儿配方食品中分布较均匀；12批次中有9批次锰、8批次铁、5批次铜和4批次锌RSD超过5%，说明锰、铜、铁和锌在婴幼儿配方食品中的均匀性较差。这可能是因为不同厂家的生产工艺不同，辅料添加量和性质的不同造成不同厂家的产品、不同元素的均匀性有较大差别。

2.2 不同消解方法检测结果

结合2.1可知，相较于其他样品均匀性较差的为样品8、样品10和样品11，为考察不同消解方法是否能够克服样品不均的问题，采用3种不同的消解方法（干法、湿法、微波）对样品8、样品10和样品11进行消解检测，结果见表2。

由表2可知，不同消解方法检测出的铜和镁含量差异不显著($P>0.05$)，通过微波消解和湿法消解检测

表2 不同消解方法检测9种矿物元素的结果

Table 2 Detection of 9 mineral elements by different digestion methods

样品编号	消解方法	钙		铜		铁		钾		镁	
		含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(μg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%
样品 8	微波	609 ^a	0.9	500 ^a	11.7	7.99 ^a	14.3	568 ^a	7.3	54.6 ^a	11.3
	湿法	587 ^c	0.9	481 ^a	6.3	7.79 ^a	6.8	568 ^a	7.5	54.4 ^a	25.2
	干法	597 ^b	0.9	539 ^a	24.4	0.77 ^b	12.2	507 ^b	8.7	50.8 ^a	11.4

续表2 不同消解方法检测9种矿物元素的结果

Continue table 2 Detection of 9 mineral elements by different digestion methods

样品编号	消解方法	钙		铜		铁		钾		镁	
		含量/ (mg/100 g)	RSD/%	含量/ (μg/100 g)	RSD/%	含量/ (mg/100 g)	RSD/%	含量/ (mg/100 g)	RSD/%	含量/ (mg/100 g)	RSD/%
样品 10	微波	621 ^a	1.3	494 ^a	8.3	7.15 ^a	19.7	545 ^a	7.7	52.8 ^a	31.5
	湿法	608 ^{ab}	1.9	502 ^a	5.2	7.53 ^a	13.2	528 ^a	4.1	56.1 ^a	14.2
	干法	596 ^b	4.0	507 ^a	19.8	0.60 ^b	19.7	478 ^b	11.9	53.0 ^a	12.3
样品 11	微波	618 ^a	0.2	495 ^a	7.7	8.65 ^a	12.8	577 ^a	9.9	54.7 ^a	16.1
	湿法	610 ^{ab}	0.4	473 ^a	4.8	8.39 ^a	13.6	554 ^a	4.8	55.2 ^a	6.5
	干法	590 ^b	5.6	478 ^a	43.7	0.83 ^b	33.4	513 ^b	8.6	53.0 ^a	10.6

样品编号	消解方法	锰		钠		磷		锌	
		含量/ (μg/100 g)	RSD/%	含量/ (mg/100 g)	RSD/%	含量/ (mg/100 g)	RSD/%	含量/ (mg/100 g)	RSD/%
样品 8	微波	252 ^a	29.1	209 ^a	6.4	418 ^b	0.2	5.87 ^b	5.4
	湿法	243 ^a	36.3	203 ^a	5.4	424 ^a	0.5	6.24 ^{ab}	6.9
	干法	106 ^b	46.4	191 ^b	6.1	411 ^c	4.7	5.57 ^b	7.5
样品 10	微波	274 ^a	70.7	211 ^a	6.2	428 ^a	0.5	6.11 ^a	9.8
	湿法	177 ^{ab}	37.2	208 ^a	6.2	433 ^a	0.8	6.19 ^a	4.1
	干法	76 ^b	15.1	183 ^b	12.2	408 ^b	4.8	5.60 ^b	6.2
样品 11	微波	176 ^a	64.5	224 ^a	7.5	423 ^a	0.6	5.89 ^b	9.0
	湿法	274 ^{ab}	50.3	215 ^a	4.2	433 ^a	0.3	6.38 ^a	3.6
	干法	64 ^b	16.8	196 ^b	8.0	404 ^b	6.1	5.35 ^c	4.5

注:不同字母表示同一样品中同一元素含量的不同消解方法差异显著($P<0.05$)。

出的铁、钾、锰和钠含量差异不显著($P>0.05$);干法消解检测的9种元素含量除钙、铜、镁、锰和锌,其他元素含量与微波消解和湿法消解比较均有显著差异($P<0.05$),特别是铁元素,其测得含量仅是微波消解和湿法消解测得量的十分之一,这可能是由于干法消解是敞放式的消解且消解温度过高,造成部分元素在消解过程中损失。干法消解的结果最差,除样品8钙的RSD较小外,3批次的其他元素RSD均较大,因此干法消解不适合婴幼儿配方食品中矿物元素的检测。根据文献报道,增加试样称样量能够解决检测结果RSD较大的问题^[17-20],因此,本次微波消解称样量增加至0.5g,由表2可知,样品10和样品11的锰由原来的45.4%、47.5%

分别升高至70.7%、64.5%,因此,仅通过增加称样量不能解决这3个批次样品检测结果不均的问题。湿法消解检测结果与微波消解结果相似,仅减小了部分元素的RSD,如铜、铁、钾、钠、磷和锌,并没有彻底解决不均的问题。

2.3 复溶-微波消解检测结果

复溶可以在一定程度上解决样品均匀性问题^[17-20],微波消解是消解效果最好、最常用、操作最方便的消解方式,因此,本试验尝试采用将婴幼儿配方食品复溶后取混匀后的溶液进行微波消解。表3和表4分别为用水和5%硝酸复溶婴幼儿配方食品后微波消解的检测结果。

表3 水复溶检测结果

Table 3 Results of water reconstitution test

样品编号	钙		铜		铁		钾		镁	
	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(μg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%
样品 8	516	6.6	463	7.3	4.02	31.5	560	8.5	53.1	9.7
样品 10	555	6.9	491	2.1	1.92	36.9	580	1.6	53.8	6.3
样品 11	567	1.7	485	2.9	6.02	27.6	589	3.7	56.1	9.2

样品编号	锰		钠		磷		锌	
	含量/(μg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%
样品 8	250	15.2	205	10.3	323	15.5	5.50	7.2
样品 10	242	21.6	209	4.0	374	7.1	5.92	2.6
样品 11	239	16.2	205	7.3	384	2.0	5.62	4.0

表4 5%硝酸复溶检测结果

Table 4 Results of 5% nitric acid reconstitution test

样品编号	钙		铜		铁		钾		镁	
	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(μg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%
样品 8	641	3.7	562	4.2	6.73	7.7	607	3.8	53.8	4.0
样品 10	627	2.0	547	1.8	7.54	1.4	583	1.8	55.1	2.1
样品 11	609	3.1	515	1.6	7.51	3.9	560	4.1	51.5	2.5

样品编号	锰		钠		磷		锌	
	含量/(μg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%	含量/(mg/100 g)	RSD/%
样品 8	235	9.0	202	3.7	440	4.2	6.31	4.4
样品 10	251	10.6	196	3.0	430	2.4	5.99	3.1
样品 11	212	3.6	199	3.9	401	3.9	5.76	2.8

由表3可知,经水复溶后,一部分元素含量明显降低,如钙、铜和铁,特别是铁,样品10中铁仅检测出1.92 mg/100 g,这可能是因为水为中性,而大部分金属离子只能在酸性条件下存在,如铁离子沉淀的pH值范围是2.7~3.7,造成铁含量偏低;从检测结果的RSD可知,用水复溶后的RSD也较高,如钙、铁和锰。

由表4可知,采用5%硝酸复溶时,检测结果RSD较高的问题得到了很大的改善,3批婴幼儿配方食品的9种元素RSD都很小,最大是样品10的锰为10.6%;5%硝酸复溶3批婴幼儿配方食品检测9种元素的含量结果与2.1比较也没有明显的变化,由此可见5%硝酸复溶婴幼儿配方食品后进行微波消解可以解决婴幼儿配方食品矿物元素不均的问题。

3 结论

对市售12批次婴幼儿配方食品进行钙、钠、钾、磷、镁、铁、锌、铜和锰9种矿物元素检测,发现有3批次存在严重不均匀的现象,样品8的锰的RSD达到了82.5%,样品10和样品11有7种元素的RSD≥5%,其中锰也都超过了40%,将这3批婴幼儿配方食品分别采用微波消解、湿法消解、干法进行检测发现,干灰法检测出的含量与微波消解、湿法消解比较有4种矿物元素有显著性差异($P<0.05$),且大部分的RSD都很大,即干法消解不适合婴幼儿配方食品中矿物元素的检测;微波消解和湿法消解效果相似,检测出的含量大部分(铜、铁、钾、镁、锰和钠)是没有显著性的差异的($P>0.05$),这两种消解方法只是减小了部分元素的RSD,如铜、铁、钾、钠、磷和锌,还没彻底解决不均匀性的问题。用水复溶这3批不均匀的婴幼儿配方食品后,取溶液进行微波消解检测,发现一部分元素含量降低了,特别是铁,且RSD也很大;5%硝酸复溶后进行微波消解检测,检测的9种元素含量都没有出现明显的变化,且RSD都很小,最大的是样品10锰为10.6%,因此,5%硝酸复溶婴幼儿配方食品后进行微波消解检测,可以解

决婴幼儿配方食品中矿物元素不均的问题。

参考文献:

- CHEN M, SUN Q J. Current knowledge in the stabilization/destabilization of infant formula emulsions during processing as affected by formulations[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109: 435-447.
- 顾佳升. QS 婴幼儿乳粉新政: 工艺问题的商榷[J]. 中国乳业, 2014(3): 63-67.
GU Jiasheng. New QS of infant powdered milk: Discussion on the issues of processing behaviors[J]. China Dairy, 2014(3): 63-67.
- 张天博, 宋晓青, 杨凯, 等. 婴儿配方乳粉中营养成分均匀性分析[J]. 中国乳品工业, 2018, 46(3): 19-20.
ZHANG Tianbo, SONG Xiaoqing, YANG Kai, et al. Evaluating the homogeneity of infant formula[J]. China Dairy Industry, 2018, 46(3): 19-20.
- 柳俊, 李汉西, 黄琪评, 等. 优选特殊医学用途全营养配方食品的混合工艺[J]. 食品工业, 2021, 42(7): 68-70.
LIU Jun, LI Hanxi, HUANG Qiping, et al. Optimization of the mixing technology of nutritionally complete formula of FSMP[J]. The Food Industry, 2021, 42(7): 68-70.
- 王彦花, 郭楠楠, 齐贝贝. 不同前处理方法测定猪肝中重金属含量的比较[J]. 食品科技, 2021, 46(8): 298-302.
WANG Yanhua, GUO Nannan, QI Beibei. Comparison of different pretreatment methods for determination of heavy metal content in pork liver[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(8): 298-302.
- 高健会, 马兴, 张海滨, 等. 对婴幼儿配方食品中元素含量国标测定方法的改进研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(2): 159-161.
GAO Jianhui, MA Xing, ZHANG Haibin, et al. Improvement of national standard method on elemental detection in infant formula[J]. Food Research and Development, 2016, 37(2): 159-161.
- JUCHEN C R, BOAS M A V, POLETO C, et al. Trace elements in sediments in a city with agricultural development[J]. Environmental Quality Management, 2018, 27(3): 119-125.
- ZHANG N, LI Z X, ZHENG J B, et al. Multielemental analysis of botanical samples by ICP-OES and ICP-MS with focused infrared lightwave ashing for sample preparation[J]. Microchemical Journal, 2017, 134: 68-77.
- 李月娟, 吴霞明, 刘静, 等. 微波/湿法/干法消解——分光光度法测定馒头中的铝含量[J]. 中国酿造, 2013, 32(1): 148-151.
LI Yuejuan, WU Xiaming, LIU Jing, et al. Microwave/wet/dry digestion-spectrophotometric method using for determination of aluminum content of steamed bread[J]. China Brewing, 2013, 32(1): 148-151.

- [10] 曾一芳, 周志娥, 董开发, 等. 两种前处理方法对4种食用菌中重金属含量测定的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(16): 165-169.
ZENG Yifang, ZHOU Zhie, DONG Kaifa, et al. Effect of two pre-treatment methods on the determination of heavy metal content in[J]. Food Research and Development, 2020, 41(16): 165-169.
- [11] ASTOLFI M L, MARCONI E, VITIELLO G, et al. An optimized method for sample preparation and elemental analysis of extra-virgin olive oil by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2021, 360: 130027.
- [12] MANOUSI N, ZACHARIADIS G A. Development and application of an ICP-AES method for the determination of nutrient and toxic elements in savory snack products after autoclave dissolution[J]. Separations, 2020, 7(4): 66.
- [13] 苏霁玲, 李云芳, 徐娟, 等. ICP-MS法测定常见新鲜野生菌中22种常量元素研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 133-137.
SU Jiling, LI Yunfang, XU Juan, et al. Study of 22 kinds of common and trace elements in fresh wild grown mushrooms using ICP-MS[J]. Food Research and Development, 2021, 42(11): 133-137.
- [14] 郑咏琪, 肖杰文. ICP-MS法测定成人奶粉中26种金属元素前处理方法比对[J]. 现代食品, 2020(16): 187-189.
ZHENG Yongqi, XIAO Jiewen. ICP-MS method was used to compare the pretreatment methods of 26 metal elements in adult milk powder[J]. Modern Food, 2020(16): 187-189.
- [15] PERELONIA K B S, BENITEZ K C D, BANICOD R J S, et al. Validation of an analytical method for the determination of cadmium, lead and mercury in fish and fishery resources by graphite furnace and cold vapor atomic absorption spectrometry[J]. Food Control, 2021, 130: 108363.
- [16] 赵欣, 杨庆文, 韩建欣, 等. 微波消解-原子吸收光谱法测定山西老陈醋中微量元素[J]. 中国酿造, 2017, 36(3): 165-169.
ZHAO Xin, YANG Qingwen, HAN Jianxin, et al. Determination of trace elements in Shanxi aged vinegar by microwave digestion-atomic absorption spectrometry method[J]. China Brewing, 2017, 36(3): 165-169.
- [17] VINIĆ M, ARUFFO E, ANDREOLI F, et al. Quantification of heavy metals in oils with μL volume by laser induced breakdown spectroscopy and minimizing of the matrix effect[J]. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2020, 164: 105765.
- [18] 郭升平. 海洋沉积物中16种稀土元素成分标准物质的研制[J]. 福建分析测试, 2021, 30(6): 12-17.
GUO Shengping. Development of reference materials of 16 rare earth elements in marine sediments[J]. Fujian Analysis & Testing, 2021, 30(6): 12-17.
- [19] 刘久芹, 张淑芹, 李达龙. 取样过程对化学药物混合均匀性的影响性研究[J]. 广东化工, 2021, 48(20): 55-56.
LIU Jiuqin, ZHANG Shuqin, LI Dalong. Study on the sampling process effect on the chemical drug mixing uniformity[J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(20): 55-56.
- [20] 杨晓颖. 冻干牛血中铬成分分析标准物质研制[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2014.
YANG Xiaoying. Development of the certified reference material of chromium in lyophilized bovine blood[D]. Beijing: Chinese Center For Disease Control And Prevention, 2014.

加工编辑: 刘艳美
收稿日期: 2022-02-15

(上接第108页)

- [29] 盖晴晴. 水酶法提取牡丹籽油工艺改进及水相蛋白特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
GAI Qingqing. Process improvement on aqueous enzymatic extraction of peony seed oil and investigation on protein properties[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [30] MILLER L M, BOURASSA M W, SMITH R J. FTIR spectroscopic imaging of protein aggregation in living cells[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes, 2013, 1828(10): 2339-2346.
- [31] 江明珠. 超声波预处理辅助酶解制备大豆降糖肽及其作用机理[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
JIANG Mingzhu. Preparation and hypoglycemic mechanism of soybean peptides by ultrasonic pretreatment with enzymatic hydrolysis[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018.
- [32] 王晨, 马艳秋, 张梓湘, 等. 不同处理方法对蛋清蛋白免疫原性及结构的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(15): 93-100.
WANG Chen, MA Yanqiu, ZHANG Zixiang, et al. Effects of different processing methods on the immunogenicity and structure of egg white protein[J]. Food Science, 2022, 43(15): 93-100.
- [33] ZHAO Q L, WANG L F, HONG X, et al. Structural and functional properties of *Perilla* protein isolate extracted from oilseed residues and its utilization in Pickering emulsions[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 113: 106412.
- [34] 郑云芳, 李晨, 张芳, 等. 热处理对鲈鱼肌原纤维蛋白结构及功能特性的影响[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2022, 50(1): 139-146.
ZHENG Yunfang, LI Chen, ZHANG Fang, et al. Study on the relationship between structure and function of myofibrillar protein in *Lateolabrax japonicus* based on thermal treatment[J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition), 2022, 50(1): 139-146.
- [35] HU B, WANG H Y, HE L F, et al. A method for extracting oil from cherry seed by ultrasonic-microwave assisted aqueous enzymatic process and evaluation of its quality[J]. Journal of Chromatography A, 2019, 1587: 50-60.

加工编辑: 张昱
收稿日期: 2022-10-21