

富硒茶叶中硒含量的检测及相关标准的分析探讨

董亚蕾^{1#}, 刘文婧^{2#}, 曹进^{1*}

(1. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050; 2. 沃特世科技(上海)有限公司, 北京 100026)

摘要: **目的** 检测富硒茶叶的总硒含量, 剖析硒含量和标示值存在的问题, 梳理富硒茶的相关标准, 总结潜在质量安全监管问题。**方法** 采用微波消解法处理样品, 利用氢化物原子荧光光谱法测定富硒茶样品的硒含量, 分别与普通茶叶测定值和产品标示值进行对比分析。梳理了食品中硒的国家标准和富硒茶相关的地方标准、行业标准, 指出了富硒茶产业关键标准的缺陷可能导致潜在的质量安全问题。**结果** 富硒茶存在硒含量太低、达不到行业标准要求的问题, 产品标示值不准确、不规范。富硒茶产业发展迅速, 但其质量问题未引起足够重视, 关键技术规范和国家标准缺失, 对其质量监测的检验和评估仍不足。**结论** 富硒茶相关的标准不统一, 尚缺乏国家标准的规范。应尽快制定相关的国家标准, 加大对该产业的监管力度, 保证人们饮用健康。

关键词: 富硒茶; 硒含量; 标准

Determination of selenium in selenium-enriched tea and analysis of related standards

DONG Ya-Lei^{1#}, LIU Wen-Jing^{2#}, CAO Jin^{1*}

(1. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China; 2. Waters technologies (Shanghai) Ltd., Beijing 100026, China)

ABSTRACT: Objective To determine the total selenium in selenium-enriched tea sample, find out the problems about the selenium content and its labeling value, analyze the current standards related to selenium-rich tea and reveal the potential quality safety problems. **Methods** The tea samples were pretreated with microwave digestion, and the selenium content in selenium-enriched tea samples were determined by hydride generation atomic fluorescence spectrometry. The results were compared with common tea and their labeling values, respectively. Meanwhile, the industry standards and local standards about selenium-rich tea products were analyzed and the potential quality and safety problems that resulted from the absence of key national standard were pointed out. **Results** The actual selenium content in some selenium-enriched tea were too low and could not meet the related requirement in industry standards. The labeling values of some selenium-rich tea were inaccurate and irregular. Selenium-enriched tea industry had developed rapidly, but the quality problems had not attracted enough attention. The key technical specifications and national standards were missing, and the inspection and evaluation of quality monitoring of selenium-rich tea were still insufficient. **Conclusion** The standards about selenium-enriched tea are

基金项目: 国家自然科学基金项目(21405159)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (21405159)

[#] 董亚蕾与刘文婧为共同第一作者

[#] DONG Ya-Lei and LIU Wen-Jing are co-first authors

***通讯作者:** 曹进, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品、化妆品安全检测。E-mail: caojin@nicpbp.org.cn

***Corresponding author:** CAO Jin, Ph.D, Professor, National Institutes for Food and Drug Control, No. 2, Tiantan Xili, Dongcheng District, Beijing 100050, China. E-mail: caojin@nicpbp.org.cn

not uniform and the national standards are absent. So relevant national standards should be established as soon as possible, and the regulation should be enhanced to protect people's health.

KEY WORDS: selenium-enriched tea; selenium content; standard

1 引言

硒(selenium, Se)是一种人体必需的微量元素^[1], 与人的生命健康密切相关, 缺硒会引发克山病、大骨节病等地方性疾病。硒是动物体内一些抗氧化酶和硒蛋白的重要组成部分, 具有促进抗体合成、提高免疫力的作用^[2], 动物实验也证明通过适量补硒能够预防癌症^[3]。此外, 有研究表明人体硒含量通常与冠心病、急性心肌梗死等心血管疾病呈负相关^[4]。近年来人们逐步认识到补硒对于低硒人群对抗心血管疾病、调节免疫功能及防治癌症的功效^[5]。

人体所需要的硒主要来自食物, 食用富硒食品是膳食补硒、预防硒缺乏、调控硒营养的有效途径^[6]。随着我国居民保健需求的增加, 保健品市场不断扩大, 开发利用硒资源, 生产富硒食品、保健品, 已逐渐成为我国食品行业的一个新热点^[7]。富硒茶是理想的天然硒源, 通过饮茶可适当补充人体所需的硒元素。近几年富硒产业蓬勃发展, 富硒茶的生产规模也在逐年扩大, NY/T 600-2002《中华人民共和国农业行业标准 富硒茶》^[8]中规定了富硒茶的理化品质、含硒量、卫生指标、净含量、检验规则、包装运输等。有关富硒茶的其他地方标准虽多, 但缺乏统一的规范, 尤其是富硒茶的硒含量这一关键指标^[9]仍各有差异。硒的安全阈值范围较窄, 食品中硒含量较低达不到营养性的需求, 而过量摄入硒可能引起中毒, 导致头发和指甲脱落、神经系统疾病等^[10]。中国营养学会发布的《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013 版)》^[11]中提到, 对于成人来说, 硒的推荐摄入量为 60 μg/d, 可耐受最高摄入量为 400 μg/d, 平均需要量为 50 μg/d。因此, 人们在补硒过程中必须充分了解茶叶中的硒含量, 以达到适量饮用的目的。此外, 富硒茶外包装的标示值也应能准确反映产品真实的硒含量, 以达到正确指导消费者饮用的目的。因此对市售富硒茶叶中硒含量的检测十分必要。

茶叶中的硒含量最常用的检测方法是氢化物原子荧光光谱法^[12]、电感耦合等离子体质谱法^[13]等。本研究根据国家标准 GB 5009.93-2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》^[14], 通过微波消解-氢化物原子荧光光谱法测定了市售富硒茶叶及普通茶叶中的硒含量, 对检测结果进行了对比分析, 并总结梳理了富硒产品相关标准现状, 提出了可能潜在的质量安全问题, 为促进统一富硒茶标准的制定提供了技术支持。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

硝酸、硼氢化钠、铁氰化钾(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 硒单元素标准溶液(1000 μg/mL, 批号: 12041, 中国计量科学研究院);

富硒茶叶共 5 批, 普通茶叶共 3 批, 均通过网购获得, 经研磨后贮存备用。

PF 7 型原子荧光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); MARS-express 微波消解仪(美国 CEM 公司); Milli-Q 型纯水仪(美国 Sartorius 公司); BHW-09C 型敞开式电加热恒温炉(上海博通化学科技有限公司); METTLER AL204 型电子天平(美国 Mettler Toledo 公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 样品前处理过程

精密称取 0.2 g(精确至 0.001 g)的样品粉末, 置于清洗干净的聚四氟乙烯消解罐内, 分别加入硝酸 5.0 mL, 使样品充分浸没。消解罐敞口放入电加热恒温炉中, 于 100 ℃下加热 20 min 进行预消解。冷却至室温, 将消解罐拧上罐盖, 放入微波消解仪中, 设定程序进行微波消解, 程序见表 1。消解完毕后, 将消解罐取出冷却至室温。将敞口的消解罐置于电加热恒温炉中, 于 120 ℃下加热赶酸至约 1 mL 左右, 用超纯水定容至 25 mL 待测。测定前, 吸取 10.0 mL 试样消化液于 15 mL 离心管中, 分别加入盐酸 2.0 mL, 100 g/L 铁氰化钾溶液 1.0 mL, 混匀后通过氢化物原子荧光光谱法测定。每个样品平行处理 2 份, 并分别平行测定 2 次。

表 1 微波消解温度-时间程序
Table 1 Time-temperature program for microwave digestion

步骤	功率(W)	升温时间(min)	温度(℃)	保持时间(min)
1	1600	5	120	3
2	1600	6	150	2
3	1600	6	180	20

2.2.2 标准溶液配制

精密量取 1.0 mL 浓度为 1000 μg/mL 的硒标准溶液至 100 mL 容量瓶中, 用 0.5 mol/L 硝酸定容, 作为硒标准储备使用液; 精密量取 0.10 mL 硒标准储备使用液至 100 mL 容

量瓶中, 用 0.5 mol/L 硝酸定容, 作为硒标准使用液, 浓度为 10 μg/L。配制浓度为 0、2、4、6、8、10 μg/L 的标准曲线各浓度点, 取 10 mL 于离心管中, 分别加入盐酸 2.0 mL, 100 g/L 铁氰化钾溶液 1.0 mL,混匀, 制成标准工作曲线。

2.2.3 样品测定

仪器参考条件: 负高压: 320 V; 灯电流: 50 mA; 原子化温度: 200 ℃; 载气流量: 300 mL/min; 屏蔽气流量: 600 mL/min; 测量方式: 标准曲线法; 读数方式: 峰面积; 延迟时间: 1 s; 读数时间: 15 s; 加液时间: 8 s; 进样体积: 2 mL。

调谐好仪器的工作状态, 按照操作程序, 依次测定标准曲线溶液、空白样品溶液及各样品的荧光强度, 扣除背景吸收后, 计算得到各样品的硒含量。

3 结果与分析

3.1 方法确定及性能参数

茶叶样品经研磨后为粉末状, 加入消解液后先受热进行预消解, 随后进入微波消解仪进行充分消解, 最终定容并检测。因茶叶中有机物质含量较高, 对其进行预消解、微波消解等前处理时, 需确定样品量、消解试剂、定容体积等实验条件。

(1)样品量的确定

样品量大, 有利于获得准确的测定结果; 但样品量太大, 进行微波消解时, 大量的有机物质在强酸环境中容易发生剧烈反应, 在消解罐内有限的空间中产生过高的压强, 造成消解罐炸裂。因此, 经过优化, 将茶叶粉末样品的称样量控制在 0.2 g 左右, 可以避免该问题, 且不影响硒含量的准确测定。

(2)消解试剂的确定

根据国标 GB 5009.93-2017 中的方法^[14], 食品固体试样置于消化罐中后, 加入 10 mL 硝酸和 2 mL 过氧化氢为消解试剂。过氧化氢为辅助消解试剂, 协助氧化食品样品中有机物。实验中发现, 预消解时, 过氧化氢受热后释放氧气, 在消解罐内产生大量气泡, 茶叶粉末易随气泡喷出管外, 造成样品损失。茶叶样品量在 0.2 g 左右时, 不需要使用过氧化氢, 仅加入 5 mL 的硝酸即可将样品充分消解。硝酸用量太大不但造成浪费, 而且使赶酸过程的时间延长。因此, 本实验中选择 5 mL 硝酸为消解试剂。

(3)定容体积的确定

本实验中, 将充分消解后的样品赶酸后定容, 即可进行测定。经过预实验后, 确定适宜的定容体积为 25 mL。在此条件下, 不但能够充分满足平行测定的溶液需求量, 而且不需要进一步的稀释或浓缩, 可直接测定, 测定值在线性范围内。

样品经过微波消解前处理, 加入相应量的盐酸和铁氰化钾溶液进行充分还原后, 采用氢化物原子荧光光谱法直接测定硒含量。依据以上实验过程, 对该方法进行性能评价, 方法性能参数见表 2。

该方法中, 通过连续测定 11 份空白溶液的荧光强度, 计算出方法的检出限和定量限。硒标准溶液的浓度与荧光强度线性关系良好。对其中 1 份茶叶样品平行测定 6 次, 计算出结果的相对标准偏差(RSD)为 6.3%, 说明方法的精密度良好, 符合 GB 5009.93-2017^[14]的规定。以上结果表明, 微波消解-氢化物发生原子荧光光谱法测定茶叶中的硒含量, 检测限、精密度较好, 操作简便, 可满足日常检测的需要。

3.2 实际样品测定结果

依据本方法, 分别测定了各富硒茶叶中总硒的含量, 并测定了普通茶叶中的硒含量作为对比, 测定结果如表 3 所示; 5 批富硒茶叶产品的外包装中均声明了其富硒保健功能, 并注明了其硒含量, 标示含量见表 3。

表 3 中结果显示, 普通茶叶中硒含量较为接近, 平均值为 0.092 mg/kg。5 批富硒茶叶中的硒含量普遍高于普通茶叶, 但含量参差不齐。1 号、3 号、4 号样品中硒含量比普通茶叶中硒含量高 10 倍左右。2 号、5 号样品中硒含量分别为 0.14 mg/kg 和 0.11 mg/kg, 与富硒茶硒含量平均值 0.628 mg/kg 相比差距较大, 其硒含量是普通茶叶的 1.5 倍和 1.2 倍, 与普通茶叶更为接近。根据行业标准 NY/T 600-2002《富硒茶》^[8]中规定, 富硒茶叶中硒含量范围为 0.25~4.00 mg/kg。2 号和 5 号样品均达不到标准中关于硒含量的规定, 不能称之为富硒茶。

3.3 与外包装标示值的对比分析

将富硒茶产品的硒含量实测值, 与外包装上的硒含量标示值进行对比, 发现存在部分产品外包装标示值不规范、不准确的问题。一方面, 产品的标示值本身就不符合行业标准中的规定。如表 3 中, 3 号样品的标示值为 0.30~5.0 mg/kg, 标示值上限超过 NY/T 600-2002 中对硒含

表 2 方法的性能参数表
Table 2 Performance of the microwave digestion-AFS method for Se

线性范围 (μg/L)	线性回归方程	相关系数	检出限 (LOD, μg/L)	定量限 (LOQ, μg/L)	RSD (% , n=6)
1~10	Y=392.5671X-63.7038	0.9996	0.05	0.15	6.3

表 3 样品中硒含量的测定结果
Table 3 Determination results of Se in samples

样品名称	样品序号	标示含量 (mg/kg)	样品溶液测定值(μg/L)	样品中硒含量(mg/kg)	平均值(mg/kg)
富硒茶叶	1	0.20	7.43	0.94	0.628
	2	0.26	1.40	0.14	
	3	0.30~5.0	8.69	0.94	
	4	0.30	9.16	1.01	
	5	≥0.075	1.16	0.11	
普通茶叶	6	无	1.08	0.095	0.092
	7	无	0.811	0.094	
	8	无	0.712	0.086	

量规定的上限。5 号样品中硒含量标示值为不低于 0.075 mg/kg, 该数值低于 NY/T 600-2002《富硒茶》中硒含量规定的下限。说明部分富硒茶产品存在外包装标示值不规范的问题。

另一方面, 产品标示值不准确, 实测值与标示值相比差距较大。表 3 中, 1 号和 4 号样品的硒含量标示值分别为 0.20 mg/kg 和 0.30 mg/kg, 实测值分别为 0.94 mg/kg 和 1.01 mg/kg, 实测值分别高出标示值 4.7 倍和 3.4 倍。这种标示值与实测值间的较大差异侧面反映出富硒茶产业存在的一些问题。富硒茶生产企业大多规模较小, 普遍缺乏相应的生产加工技术规范, 对产品的总体质量控制能力薄弱。中小型富硒茶生产企业工艺相对落后, 生产批量小、批次多, 造成产品质量不稳定, 不同批次产品间差异较大^[9]。此外, 由于对出厂产品的检验能力不足, 产品外包装的标示值不能准确反映每一批次产品的真实硒含量。

3.4 富硒茶有关标准的分析探讨及可能存在的质量安全问题

随着人们对硒对抗心血管疾病、调节免疫功能、防治癌症等方面潜在功效的认识逐步加深, 富硒食品日益引起广泛关注。由于人们对硒的认识从有害元素转为有益元素, GB 2762《食品安全国家标准 食品中污染物限量》于 2012 年取消了硒的限量规定。目前国标对食品中硒的规定, 涉及 GB 1903 系列中的富硒酵母(GB 1903.21)、富硒食用菌粉(GB 1903.22)、硒化卡拉胶(GB 1903.23)、亚硒酸钠(GB 1903.9)、L-硒-甲基硒代半胱氨酸(GB 1903.12)等几种食品营养强化剂及富硒稻谷(GB/T 22499)中总硒含量, 并规定硒的检测依据为 GB 5009.93《食品安全国家标准 食品中硒的测定》。随着富硒食品和保健食品市场的扩大, 关于富硒产品的地方标准不断涌现, 尤其是 2010 年之后发布的地方标准数目较多, 标准的类型涉及加工技术规程、含量标准、测定方法、产地环境条件等。地方标准中涉及产

品种类包括茶叶、稻米、畜禽饲料、菜籽油、大蒜、娃娃菜、马铃薯、稻米等。其中富硒茶占大多数, 这主要是由于富硒茶产业发展迅速, 尤其是在地质条件上硒资源丰富的区域, 富硒茶生产企业较多, 产品种类多。针对富硒茶的地方标准也明显多于其他农产品, 表 4 中总结了针对富硒茶现行有效的行业标准和地方标准。随着富硒产业显现较大规模增长, 相关企业和地方政府也越来越重视标准对富硒产业发展的保障和推动作用。

针对富硒茶叶中的硒含量, 尚未有国标对此做出明确规定。目前仅有农业标准 NY/T 600-2002《富硒茶》较为全面地规定了富硒茶的理化品质、卫生指标、净含量、检验规则、包装运输等, 并规定富硒茶叶中硒含量范围为 0.25~4.00 mg/kg。富硒茶中硒的检测方法的标准 GB/T 21729-2008《茶叶中硒含量的检测方法》于 2017 年 10 月 6 日作废, 被 GB 5009.93-2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》替代。由于生产企业宣称富硒茶具有补硒功效, 富硒茶产品包装上的标签不但应符合 GB 7718-2011《食品安全国家标准 预包装食品标签通则》, 还应符合 GB 28050-2011《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》的规定, 按要求标注硒的含量。富硒产品的系列标准中, 与质量有关的关键指标是硒含量。NY/T 600-2002《富硒茶》中虽规定了硒含量范围, 但还没有上升到国家标准的层面。而地方标准中对硒含量的规定也不一致, 最低含量从 0.05 至 0.25 mg/kg, 最高限量从 2.5 至 5.0 mg/kg, 其他理化指标也存在差异^[15]。近年来各种类型的富硒茶产品不断涌现, 但是其含硒量是否属于安全食用范围, 仍缺乏统一的规定和系统的研究。

另一方面, 现有标准中仅规定了总硒的含量, 对于无机硒和有机硒的含量没有规定。有机硒比无机硒具有更高的生物活性, 且毒性较低^[16,17]。目前有关硒的国家检测方法标准和判定标准都是以总硒含量为依据, 有关硒形态的

表 4 针对富硒茶的行业标准和地方标准汇总表

Table 4 Summary about the industry standards and local standards for selenium-riched tea products

序号	标准号	标准名称	标准级别
1	NY/T 600-2002	富硒茶	农业标准
2	GH/T 1090-2014	富硒茶	行业标准
3	DB52/T 1003-2015	凤冈锌硒茶加工技术规程	地方标准
4	DB52/T 489-2015	凤冈锌硒茶	地方标准
5	DB42/T 143-2002	富硒茶	地方标准
6	DB61/T 307.1-2003	天然富硒茶标准	地方标准
7	DB61/T 307.2-2013	紫阳富硒茶 产地环境条件	地方标准
8	DB34/T 1752-2012	地理标志产品 石台富硒茶	地方标准
9	DBS42/ 002-2014	湖北省食品安全地方标准 富有机硒食品硒含量要求	地方标准

标准缺失,可能导致在市场上出现了一些通过添加无机硒来提高总硒含量的所谓“富硒”产品。但是人体的硒摄入量达到 400 μg/d 会导致头发脱落、指甲变脆易脱落、神经系统异常等,引起人体代谢功能紊乱^[10]。因此,对富硒食品中硒的形态分析与硒含量检测同样重要。目前对硒的形态分析主要有 2 种方法,一种是采用光谱法测定总硒含量,并提取出无机硒后利用光谱法检测无机硒的含量,通过差减法获得有机硒的含量^[18];另一种是对硒蛋白、硒代氨基酸进行提取分离后再进行检测^[19,20],直接测定有机硒的含量。但目前关于无机硒、硒蛋白、硒代氨基酸的测定方法尚无定论,我国也尚未出台关于食品中有机硒的含量要求和检测方法标准。

通过对富硒茶产品标准的梳理,显示我国富硒茶相关的标准仍跟不上产业的快速发展。尤其是富硒茶中硒含量、硒形态等关键标准仍缺失。富硒茶的生产技术规范也不统一,不能保障产品质量安全。富硒茶生产技术不规范、关键国标缺失,易造成产品中的实际硒含量与外包装标示值不相符、硒含量过高或过低等现象。硒的安全阈值很窄^[21],需要对食品中硒含量做出规定,在安全的阈值范围内保障人们日常饮食中的摄入量^[22]。在不了解茶叶中真实的硒含量及硒形态的情况下,不准确的外包装标示值无法指导人们的日常饮用,易导致消费者补硒过多或达不到补硒效果,对身体健康造成潜在影响。因此,应加快制定科学、合理的国家标准以统一规范富硒茶的生产和产品质量,通过加强质量监管来促进我国富硒茶产业的健康发展。

4 结 论

采用微波消解-氢化物发生原子荧光光谱法测定了富硒茶叶中的总硒含量,发现部分富硒茶硒含量达不到行业标准中的要求,部分富硒茶产品硒标示值存在不规范、不准确的问题。通过对与硒有关标准的梳理和分析,指出了

富硒茶行业仍存在关键国标缺失的问题。这些研究作为促进制定统一的富硒茶标准、加强富硒茶的质量安全监管提供了技术支撑。

富硒产品的乱象将导致潜在的食品安全隐患,给我 国食品的监督管理工作带来技术难题。为了保障人民饮食安全,应加强硒的监测力度,尽快统一规范富硒茶产品的国家规定和标准检测方法。此外,还应强化硒形态分析研究,制定硒形态分析检测标准,以保障富硒茶产品的质量和安全,促进富硒茶产业的发展,进一步保障我国居民的身体健康。

参考文献

[1] Ellis DR, Salt DE. Plant, selenium and human health [J]. Curr Opin Plant Biol, 2003, (6): 273–279.

[2] Schweizer U, Brauer AU, Kohrleb J, et al. Selenium and brain function: a poorly recognized liaison [J]. Brain Res Rev, 2004, 45: 164–178.

[3] Davis CD, Tsuji PA, Milner JA. Selenoproteins and cancer prevention [J]. Ann Rev Nutr, 2012, 32: 73–95.

[4] Mehdi Y, Hornick JL, Istasse L, et al. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions [J]. Molecules, 2013, 18(3): 3292–3111.

[5] Margaret P, Rayman D. The importance of selenium to human health [J]. Lancet, 2000, 356: 233–241.

[6] 杨旭,董文宾. 富硒食品的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 2091–2097.

Yang X, Dong WB. Research progress of Se-enriched food [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(6): 2091–2097.

[7] 吴正奇, 刘建林. 我国富硒食品的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2005, 6: 15–17.

Wu ZQ, Liu JL. The research progress of Se-enriched food in China [J]. Food Nutr China, 2005, 6: 15–17.

[8] NY/T 600-2002 中华人民共和国农业行业标准 富硒茶[S]. NY/T 600-2002 Chinese agricultural industry standard-Selenium-enriched tea [S].

- [9] 翁昆, 刘铁兵, 胡国桥, 等. 富硒茶的质量与标准[J]. 中国茶叶加工, 2014, (1): 5-7.
Weng K, Liu TB, Hu GQ, *et al.* Quality and standard of selenium-enriched tea [J]. Chin Tea Proc, 2014, (1): 5-7.
- [10] Whanger PDJ. Metabolism of selenium in humans [J]. J Trace Elem Exp Med, 1998, 11(2-3): 227-240.
- [11] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量(2013 版)[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
Chinese Nutrition Society. Chinese DRIs handbook [M]. Beijing: Science Publication, 2014.
- [12] 查河霞, 于平胜, 缪吉霞. 氢化物发生原子荧光法测定茶叶中硒[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(4): 639-640.
Zha HX, Yu PS, Miao JX. Determination of selenium in tea with hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2007, 17(4): 639-640.
- [13] 陈贵宇, 潘煜辰, 李清清, 等. 高效液相色谱-电感耦合等离子质谱法分析富硒茶叶中硒的形态[J]. 食品科学, 2017, 1-6, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20170628.1637.164.html>.
Chen GY, Pan YC, Li QQ, *et al.* Speciation analysis of selenium species in selenized tea by HPLC-ICP-MS [J]. Food Sci, 2017, 1-6, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20170628.1637.164.html>.
- [14] GB 5009.93-2017 食品安全国家标准 食品中硒的测定[S].
GB 5009.93-2017 National food safety standard-Determination of selenium in food [S].
- [15] 汪厚银, 李志, 赵镭. 富硒产品相关标准的技术动态分析[J]. 标准科学, 2014 (11): 28-34.
Wang HY, Li Z, Zhao L. Technological development in standards for Selenium-rich products [J]. Stand Sci, 2014 (11): 28-34.
- [16] Schrauzer GN, White DA. Elemental selenium in organic selenium compounds their chemistry and biology [J]. Bioinorg Chem, 1983, 8(3): 303-305.
- [17] Fairweather-Tait SJ, Collings R, Hurst R. Selenium bioavailability: current knowledge and future research requirements [J]. Am J Clin Nutr, 2010, 91(5): 1484-1491.
- [18] 刘铁兵, 屠海云, 陈美春, 等. 茶叶中有机硒的检测方法研究[J]. 浙江科技学院学报, 2013, 25 (5): 373-379.
Liu TB, Tu HY, Chen MC, *et al.* Research of detection methods of organic selenium in tea [J]. J Zhejiang University Sci Technol, 2013, 25(5): 373-379.
- [19] 董亚蕾, 刘文婧, 曹进, 等. 超高效液相色谱-串联三重四级杆质谱法测定富硒食品中的硒代氨基酸[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(7): 2401-2406.
Dong YL, Liu WJ, Cao J, *et al.* Determination of selenoaminoacid in selenium enriched foods by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(7): 2401-2406.
- [20] 高柱, 蔡芸梅, 彭传葵, 等. 富硒茶叶中硒的赋存形态研究[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(1): 31-33.
Gao Z, Cai HM, Peng CY, *et al.* Distribution rule and combined forms of selenium in selenium-enriched tea [J]. Food Nutr China, 2014, 20(1): 31-33.
- [21] Dumont E, Vanhaecke F, Cornelis R. Selenium speciation from food source to metabolites: A critical review [J]. Anal Bioanal Chem, 2006, 386: 1304-1323.
- [22] 彭祚全, 张欣, 牟敏, 等. 富硒食品含硒量范围标准的研究[J]. 微量元素与健康研究, 2013, 30(1): 41-43.
Peng ZQ, Zhang X, Mou M, *et al.* Research of selenium content range standard of Selenium-rich food [J]. Trace Elem Health, 2013, 30(1): 41-43.

(责任编辑: 王婷婷)

作者简介



董亚蕾, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: dongyalei@nifdc.org.cn



刘文婧, 应用工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: 2395410732@qq.com



曹进, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品、化妆品安全检测。
E-mail: caojin@nicbp.org.cn