

引用格式: 黄继雄,温少文,林嘉诚,等.多维视角下硒标准对比分析及发展路径研究[J].标准科学,2025(12):94-98+116.
HUANG Jixiong,WEN Shaowen, LIN Jiacheng,et al. Comparative Analysis of Selenium Standards and Research on Development Pathways from a Multidimensional Perspective [J].Standard Science,2025(12):94-98+116.

多维视角下硒标准对比分析及发展路径研究

黄继雄 温少文* 林嘉诚 梁译文

(广东省标准化研究院)

摘要:【目的】硒作为人体必需的微量营养元素,在维持机体健康稳态中具有不可替代的生物学功能。通过对现行标准进行比对分析,明确标准化优化方向,助力推动硒标准体系建设。【方法】采用多维度分析方法,梳理国内外硒标准化研究进展,重点针对产品规范类、检测技术类及认证评价类标准展开综合解析。【结果】结合硒产业生态化与集约化发展趋势,有针对性地提出标准化建设优化方案,具体包括建立健全硒产业标准体系、完善硒形态检测标准、构建全产业链追溯协同机制等实施路径。【结论】通过深入研究硒标准化建设与发展趋势,形成硒产业链标准化实施策略,为硒产业高质量发展提供理论支撑。

关键词: 硒; 标准; 标准对比; 标准体系

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2025.12.013

Comparative Analysis of Selenium Standards and Research on Development Pathways from a Multidimensional Perspective

HUANG Jixiong WEN Shaowen* LIN Jiacheng LIANG Yiwon

(Guangdong Institute of Standardization)

Abstract: [Objective] Selenium, as an essential trace nutrient for humans, plays an irreplaceable biological role in maintaining health homeostasis. Through comparative analysis of current standards, this study clarifies optimization pathways for standardization to advance the development of a robust selenium standards system. [Methods] Using a multidimensional analysis approach, this paper reviews domestic and international research progress on selenium standardization, with a comprehensive focus on standards related to product specifications, testing methodologies, and certification criteria. [Results] In combination with the ecological and intensive development trends of the selenium industry, targeted optimization strategies are proposed. These include establishing a comprehensive selenium industry standards system, refining standards for selenium speciation analysis, and constructing a traceability

基金项目: 本文受地勘基金项目“广东省地质勘查与城市地质专项”(项目编号: 2024-16, 2025-11)资助。

作者简介: 黄继雄, 硕士, 高级工程师, 研究方向为高新技术标准化。

温少文, 通信作者, 硕士, 工程师, 研究方向为农业及食品标准化。

林嘉诚, 硕士, 助理工程师, 研究方向为标准化理论和农业标准化。

梁译文, 硕士, 助理工程师, 研究方向为标准化理论和农业标准化。

coordination mechanism across the entire industry chain. [Conclusion] By investigating the standardization and development trends of selenium, this study formulates standardized implementation strategies for the industrial chain, providing theoretical underpinnings for the high-quality development of the selenium industry.

Keywords: selenium; standard; standard comparison; standards system

0 引言

随着全球健康消费水平的持续升级,消费者对功能性农产品及食品的需求呈现显著增长态势。硒元素作为人体必需的微量营养素,其生物学功能已获得科学界广泛认同,硒产品的开发与应用已成为农业与食品产业的核心发展领域。近年来,我国硒产业在规模化生产、标准化体系构建及品牌化运营方面取得显著突破,如恩施州、宜春市、安康市等典型区域产业规模呈现跨越式增长。值得注意的是,硒产业在硒含量精准检测技术、产品认证机制及质量追溯体系等关键环节仍面临系统性挑战。本文通过系统梳理国际、国家、行业及地方标准,分析标准的差异性,提出我国硒产业标准化工作优化的路径,以助力产业实现高质量发展。

1 国际硒标准化建设现状

1973年,世界卫生组织(WHO)正式确认硒为人体及动物生命活动必需的微量元素。人体硒缺乏将引发免疫机能衰退,继而诱发多种疾病风险。全球土壤硒含量普遍分布于 $0.1\text{ mg/kg} \sim 2.0\text{ mg/kg}$,均值约为 0.2 mg/kg ^[1],但在美国、加拿大、哥伦比亚、英国、中国及俄罗斯等国的富硒地质区域,硒元素浓度显著高于常规水平^[2]。

在标准化建设层面,截至2025年6月,经ISO官网以“selenium”为检索词系统查询,共有26项相关国际标准,涵盖工业、农业不同领域。其中涉及常规饮用水及产品检测领域的技术规范主要有以下标准:

(1) ISO/TS 17379-1:2013《Water quality—Determination of selenium—Part 1: Method using hydride generation atomic fluorescence spectrometry (HG-AFS)》提出采用氢化物发生原子荧光光谱法(HG-AFS)测定水样中硒含量,适用于饮用水、地表水、地下水和雨水,其适用范围为 $0.02\text{ }\mu\text{g/L} \sim 100\text{ }\mu\text{g/L}$,超出范围的样本需经稀释后检测。ISO/TS 17379-2:2013《Water quality—Determination of selenium—Part 2: Method using hydride generation atomic absorption spectrometry (HG-AAS)》提出采用氢化物发生原子吸收光谱法(HG-AAS)测定水中硒含量,适用范围相同,其检测范围为 $0.5\text{ }\mu\text{g/L} \sim 20\text{ }\mu\text{g/L}$,高浓度样本需经稀释处理,且该方法不适用于有机硒化合物的定量分析。

(2) ISO 20649:2015《Infant formula and adult nutritionals—Determination of chromium, selenium and molybdenum—Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)》提出采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)定量测定婴儿配方奶粉及成人营养品中铬(Cr)、硒(Se)、钼(Mo)3种元素的含量,该方法已在7种不同基质的实验室研究中得到验证。

(3) ISO 21424:2018《Milk, milk products, infant formula and adult nutritionals—Determination of minerals and trace elements—Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method》提出采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)定量测定牛奶、乳制品、婴儿配方奶粉及成人营养品中矿物质和微量元素,包括钙、铜、铁、镁、锰、磷、钾、钠、锌、铬、钼和硒等12种

元素,同时也适用于奶粉、乳清粉、黄油和奶酪的测定。该标准通过构建未知样本分析物/内标响应比与校准标准曲线的对应关系,实现多元素同步定量分析,尤其针对硒元素检测推荐采用 H_2 气模式以提升检测灵敏度。

2 国内硒产业与标准化现状

2.1 产业发展概况

在健康中国战略持续推进与国民健康膳食需求升级的双重驱动下,硒产业已逐步成为区域经济发展的战略性新兴产业。国务院及农业农村部等相关部委相继出台《“十四五”推进农业农村现代化规划》《全国乡村产业发展规划(2020—2025年)》等纲领性文件,系统部署富硒特色产业的培育与发展规划。现阶段,陕西、湖北、江西等省已形成硒产业集聚效应,围绕“硒产业”构建标准化生产体系、健全质量追溯机制、延伸加工流通链条,全面推进硒产业规模化种植、生态化发展、产业化经营的新格局。

在国家层面,2022年,国务院印发《关于开展第三次全国土壤普查的通知》,部分省份将富硒土地列为重点调查对象;2023年,农业农村部、国家标准化管理委员会、住房和城乡建设部联合发布《乡村振兴标准化行动方案》,文件明确提出“围绕增加绿色优质农产品供给,制定优质农产品标准,研制富硒等功能农业标准,推动农产品分等分级和包装标识标准化”。在省级层面,相关政策支撑体系逐步完善,如《湖北省富硒产业发展规划(2021—2025年)》、江西省的《加快推动富硒功能农业高质量发展三年行动方案(2023—2025年)》等文件相继出台。随着核心产区政策配套持续深化,地方已发布了一系列与硒相关的具体落地政策,如恩施州、安康市等地已形成“规划引领+专项行动”的政策支撑体系。2024年产业规模数据显示,湖北省恩施州富硒产业集群综合产值突破千亿元规模^[3],江西省宜春市、陕西省安康市硒产业增值效应显著。

2.2 标准化现状

截至2025年6月,全国涉及“硒”现行标准总量达729项。其中,国家标准44项、行业标准114项、地方标准206项、团体标准365项。内容涵盖土壤评价、种植技术、产品质量、检测方法等全产业链环节。

2.2.1 产品规范类标准

新发布的GB 28050—2025《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》明确指出,硒具有抗氧化作用,有助于维持免疫系统的正常生理功能。该标准将硒的NRV(营养素参考值)从2011版的 $50\mu\text{g}$ 调整至 $60\mu\text{g}$,与《中国居民膳食营养素参考摄入量(2023版)》(推荐成年人硒摄入量为 $60\sim 400\mu\text{g/d}$)^[4]形成有效衔接。此外,该标准规定每100克固体食品中硒含量 $\geq 30\%$ NRV(即 $\geq 18\mu\text{g}$),可标注“高或富含硒”;若硒含量 $\geq 15\%$ NRV(即 $\geq 9\mu\text{g}$)则可标注“来源硒、含有硒”,为硒产品标识管理提供有力依据。

2.2.2 检测技术类标准

硒元素在自然界中以无机态与有机态等多种形态存在。GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》明确规定了氢化物原子荧光光谱法(第一法)、荧光分光光度法(第二法)及电感耦合等离子体质谱法(第三法)3类检测方法。其中,第一法凭借干扰因素少、检出限低、灵敏度高、操作便捷及运行成本低等优势,已成为总硒测定的成熟技术方法^[5]。第二法采用2,3-二氨基萘(DAN)作为荧光试剂。该物质具有显著毒性和安全隐患,且易受基质干扰影响,实际应用存在明显局限性。第三法(ICP-MS)具备多元素同步检测能力与高灵敏度特性,依据GB 5009.268—2025《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》,当样品取样量为0.5 g时,硒元素检出限可达 0.01 mg/kg 。第三法还可实现不同价态硒及有机硒形态的精准分析,现已成为行业主流检测技术。

有机硒检测领域仍存在技术瓶颈与标准化空白。湖北省的DBS42/002—2022《食品安全地方标准 富有机硒食品硒含量要求》采用差

减法界定有机硒含量(总硒量—无机硒量),并明确规定有机硒占比不少于80%,但未对有机硒具体形态作出明确定义。该标准总硒检测按照GB 5009.93执行,无机硒(四价硒、六价硒)检测则按照DBS42/010—2018《食品安全地方标准 富硒食品中无机硒的测定方法》执行。随着检测技术进步,GB/T 1429—2023《农产品中五种硒元素形态的测定 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法》明确硒酸根(SeO_4^{2-})与亚硒酸根(SeO_3^{2-})为氧化态下的无机硒形态,有机硒涵盖硒代胱氨酸(SeCysSeCys)、硒代蛋氨酸(SeMet)及L-硒-甲基硒代半胱氨酸(MeSeCys)等形态。项建峰等^[6]实验结果显示,大米和茶叶样品中有机硒的主要形态为 SeMet 和 SeCysSeCys ,同时含有少量 Se(IV) 和 Se(VI) ,不含 MeSeCys 。不同生物体内硒形态分布及含量差异显著,主要受环境硒元素生物可利用性及物种特异性代谢富集机制影响,需建立更精准的生物体与食品硒含量检测体系,以支撑硒产品深度提取分离与精细化加工技术发展。

2.2.3 认证评价类标准

RB/T 138—2023《富硒产品认证技术规范》对富硒产品实施分类管理,具体划分为富硒农产

品(通过种植/养殖过程自然富集或生物强化形成)和富硒食品(以富硒农产品为原料加工或添加硒强化剂制成)2个类别,并进一步细化为种植、养殖、加工等6个专业分类。该标准明确不同类别产品总硒含量的范围值,其中“富硒谷物(不含稻谷)、豆类、薯类(不含马铃薯)、蔬菜(不含大蒜)、食用菌、肉类、蛋类”等类别参数参照GB/T 1135—2017《富硒农产品》设定,但此标准已更新至2024版,新增果品、饮料作物产品、乳类及水产品等类别。结合2024版标准要求,富硒产品硒含量指标见图1。

在认证模式方面,富硒农产品采取“型式试验+现场核查+获证后监督”三位一体认证模式;富硒食品则实施“型式试验+工厂审核+获证后监督”认证流程。认证过程中需对产地环境质量、生产工艺流程、产品特性指标及包装标识规范进行全面评估,确保产品信息的科学性与可信度。不过,该标准虽涵盖非生物强化及非营养强化产品认证范畴,但相关认证实施细则尚未形成完整框架,当前市场亦未建立非生物强化及非营养强化产品的专用标识体系,仍沿用“富硒产品”通用标识进行标注,未能体现出该类产品的优势。

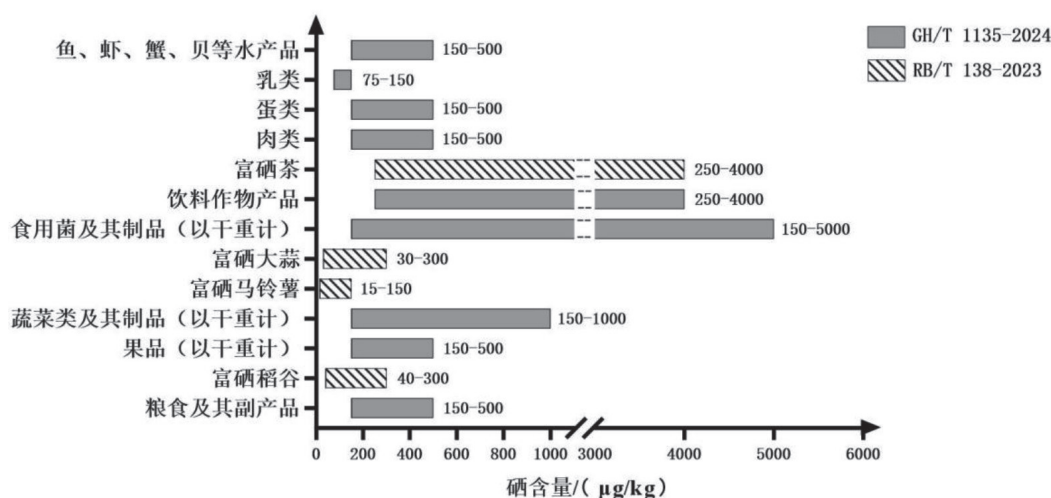


图1 富硒产品硒含量指标

3 提升我国硒产业标准化工作的实施路径

3.1 建立健全硒产业标准体系, 规范硒产业发展

我国硒资源空间分布呈现不均衡性, 区域间产业发展存在显著差异, 部分省、市天然富硒土地资源丰富, 但在产业链整合与延伸方面仍存在提升空间, 亟须基于区域特征完善标准体系建设。标准体系构建需重点强化基础通用标准、硒土地资源管控标准、硒产品全流程管理标准、质量控制标准4个模块。硒土地资源管控维度应系统规范地质勘查、土壤保护、资源利用与管控等方面; 硒产品全流程管理维度需涵盖种植养殖过程控制与加工技术标准, 具体包括产地环境标准、种质资源选育规程、标准化种植养殖技术规范、投入品管理制度, 以及产品分等分级标准、精深加工技术标准与标签标识规范等方面; 质量控制维度则应建立健全涵盖检验检测方法学、功能评价体系、质量认证制度及溯源机制等方面。通过标准体系的系统构建与实施, 可有效赋能现代农业转型升级, 增强硒产业核心竞争力。

3.2 完善硒形态检测标准, 强化产品安全保障能力

现行有机硒检测标准方法虽能有效检测总硒含量, 但其指标体系未能完整界定硒元素的具体化学形态。该技术的局限性导致其在实际应用过程中难以精准评估硒元素的生物可利用性及毒理安全性, 客观上制约了硒类食品的科学质量评价体系构建与规范化应用进程。GH/T 1135—2024《富硒农产品》已明确设定硒含量新阈值指标, 并针对特定农产品类别规定硒代氨基酸占比总硒含量要求不少于65%, 这凸显出深化有机硒检测标准化研究的迫切需求。鉴于谷物、蔬菜、肉类等不同品类硒产品在前处理工艺、仪器参数设置及操作流程等方面存在显著方法学差异^[7], 亟须建立以品类特征为导向的硒形态检测标准化方案, 确保检测数据的科学性与可比性。探索结合高分辨质谱(HRMS)等先进分析技术, 重点突破硒多糖、硒蛋白等复杂形态化合物的定性与定量检

测瓶颈, 同步提升方法灵敏度与结果溯源性。通过加快制定配套技术规范, 构建多维检测评价体系, 为硒产品品质控制及多元化开发利用提供技术支撑。

3.3 标准与认证联动, 构建全产业链追溯协同机制

作为稀缺性自然资源, 富硒土地是培育硒农产品的核心生产载体。研究表明, 农产品中硒元素富集水平与土壤硒含量呈显著正相关性, 且存在明显地域分异特征^[8]。根据行业标准DZ/T 0380—2021《天然富硒土地划定与标识》规定, 酸性土壤硒含量阈值设定为不少于0.40 mg/kg, 碱性土壤硒含量阈值则为不少于0.30 mg/kg。国内地质调查显示, 我国虽存在大面积天然富硒土地资源, 但监测数据显示, 其产出农产品硒含量普遍低于标准阈值, 难以满足品质认证要求。然而, 当前国家标准化体系尚未建立生物强化与非生物强化富硒农产品的差异化指标体系。基于此, 地方政府应着力推进富硒土地资源认证与产地标识体系建设, 通过构建覆盖“种植—加工—流通”全产业链的认证评价体系, 重点研究“天然富硒土地+富硒产品”复合认证、“天然富硒土地+富硒产品+有机产品”多重认证等创新模式, 以标准化建设为抓手建立认证追溯联动机制, 切实保障农副产品质量安全, 提升硒产品市场公信力, 推动功能农业发展。

4 结语

产业优化, 标准先行。通过系统整合国内外标准, 深入分析硒元素相关的产品规范类标准、检测技术类标准及认证评价类标准的核心要素与实施成效, 为我国硒产品质量安全体系的优化提供科学依据。面向产业升级需求, 硒领域应重点聚焦标准体系构建、技术标准升级、认证追溯机制完善等核心环节, 持续强化硒产品质量监管与品质提升工程。同步深化富硒食品精深加工技术研发, 强化产业链上下游协同创新机制, 推动产业链向高附加值环节延伸。

(下转第116页)

径,形成“创新—专利—标准—产业化”良性循环。携手行业龙头企业探索政企协同新范式,支持企业参与国际标准制定,推动福建省乌龙茶、运动鞋服等优势产业技术标准成为国际标杆。同时,增强企业在技术性贸易措施决策中的话语权,使其利益融入应对工作,激发其主动参与的积极性^[10]。

4 结语

技术性贸易措施带来的挑战,是福建省外贸升级的契机。唯有政企协同、多方发力、强化协作,方能锻造贸易韧性,推动福建省外贸在全球竞争中突围,从贸易大省迈向贸易强省,为助推福建省高质量发展注入持久动能。

参考文献

- [1] 全国技术性贸易措施影响评估与服务标准化工作组(SAC/SWG 33).技术性贸易措施 术语:GB/T 44974—2024[S].中国标准出版社,2024.
- [2] 福建省人民政府.去年我省外贸进出口1.99万亿元[EB/OL]. (2025-01-27)[2025-07-28]. https://www.fujian.gov.cn/xwdt/fjyw/202501/t20250127_6710041.htm.
- [3] 李润钊.福建外贸“踏浪”前行,向新向高势能强劲[N].工人日报,2025-05-12(4).
- [4] 郑璜.破多变之局 稳增长之基[N].福建日报,2025-03-19(1).
- [5] 福建省标准化研究院.福建省WTO/TBT通报咨询中心.福建省技术性贸易措施年度报告(2022)[M].北京:中国标准出版社,2024:176.
- [6] 卢江海.技术性贸易措施对福建省出口贸易的影响及应对策略研究[J].海峡科学,2019(4):64-67.
- [7] 王森,唐妍琪,王若雅,等.基于大数据的技术性贸易措施情报预警模式探究[J].标准科学,2024(6):46-52.
- [8] 刘智洋,韩振国,王森.RCEP技术性贸易措施落地实施对策与建议[J].标准科学,2022(10):20-25.
- [9] 刘树文,王世川,苏萌,等.新质生产力下市场监管技术性贸易措施工作体系高质量发展新模式构建研究[J].标准科学,2024(9):12-17.
- [10] 文芳,陈丽辉,陈菁,等.福建省制香产业出口风险分析与应对建议研究[J].标准科学,2024(8):133-140.

(上接第98页)

参考文献

- [1] 中国富硒农业产业技术创新联盟.中国富硒农业发展蓝皮书(2018)[M].北京:中国农业大学出版社,2018.
- [2] CHUA-TAN L,YARLAGADDA V N,VAN HULLEBUSCH E D,et al.Selenium:environmental significance,pollution,and biological treatment technologies[J].Biotechnol Adv,2016,34(5):886-907.
- [3] 曾维明,卢树彬.点硒成“金”向新而行[N].恩施日报,2025-03-14(1).
- [4] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量(2023版)[M].北京:人民卫生出版社,2023.
- [5] 吕洪亮,张美燕,张永和,等.富硒食品中元素硒检测技术的应用研究进展[J].盐科学与化工,2024,53(4):9-13.
- [6] 项建峰,吕婷婷,刘贤标,等.赣南地区农产品硒含量及硒形态特征分析[J].食品工业,2025,46(1):311-315.
- [7] 万梓琳,许春雪,安子怡,等.生物样品中硒形态及分析测试技术的研究进展[J].中国无机分析化学,2025,15(8):1156-1169.
- [8] FERRARI L,CATTANEO D M I R,ABBATE R,et al.Advances in selenium supplementation:From selenium-enriched yeast to potential selenium-enriched insects,and selenium nanoparticles[J].Animal Nutrition,2023,14:193-203.