

恩施州天然硒资源特征及其开发利用研究进展

李卫东^{1,2}, 万海英², 朱云芬², 明佳佳², 向极钐², 殷红清², 杨永康^{1*}

1.恩施自治州农业科学院,湖北 恩施 445000;

2.湖北省富硒产业技术研究院,湖北 恩施 445000

摘要: 硒是人和动物所必需的微量元素,也是恩施的优势特色资源。从恩施州的硒资源特征、开发利用情况以及对硒研究的问题和建议两方面,探讨了恩施硒资源的研究现状,并对其未来对硒资源的开发利用方向进行了展望,以期为后续的硒相关研究以及富硒产品的产业开发提供参考和指导。

关键词: 恩施;硒资源;研究现状;开发利用

DOI:10.19586/j.2095-2341.2017.0099

Progress on Utilization and Characteristic of Natural Selenium Resources in Enshi Autonomous Prefecture

LI Weidong^{1,2}, WAN Haiying², ZHU Yunfen², MING Jiajia², XIANG Jiqian², YIN Hongqin², YANG Yongkang^{1*}

1.Enshi Autonomous Prefecture Academy of Agricultural Sciences, Hubei Enshi 445000, China;

2.Hubei Selenium Industrial Technology Research Institute, Hubei Enshi 445000, China

Abstract: Selenium (Se) is an essential micronutrient which has important benefits for animals and human. Se is the dominant characteristic resource in Enshi. Based on the Se resource characteristics, and its exploitation and utilization, the current research status of Se resource in Enshi were discussed, and the future direction on Se development and utilization was prospected. It was expected to provide the reference for the Se researches and industrial development of Se-enriched products.

Key words: Enshi; selenium resources; current research status; development and utilization

硒是人体所必需的微量元素。世界范围内,有 40 多个国家和地区缺硒,我国人民也因硒“隐性饥饿”而存在极大的健康风险。因此,硒资源的充分开发与合理利用具有重要意义。湖北省恩施州拥有世界上唯一探明的独立硒矿床和丰富的生物硒资源,享有“世界硒都”的美誉。恩施州硒资源的研究始于 20 世纪 60 年代,中国预防医学科学院营养与食品研究所杨光圻教授发现恩施渔塘坝的玉米中硒含量较高,其后中国科学院、中国地质科学院、中国农业科学院、第四军医大学和中国疾病预防控制中心等国内研究机构相继从地

质、矿产、营养、疾病、农业等方面对恩施渔塘坝独立硒矿床的成因、地球化学特征、硒资源利用以及高硒地区地方疾病的成因等进行了深入研究^[1~4]。目前,恩施州地方高校和研究机构在富硒植物、富硒动物、富硒微生物资源的应用方面进行了大量的基础性研究,尤其是在高聚硒植物莼叶碎米荠和高聚硒微生物资源的发现和系统研究方面取得了突破性进展^[5,6]。大力发展硒产业、充分开发硒资源,以“富硒、绿色、健康”为理念,提升恩施州农产品核心竞争力,推动硒产业快速健康发展。

收稿日期:2017-08-03; 接受日期:2017-08-21

基金项目:国家自然科学基金项目(31560579);湖北省科技支撑计划项目(2015BKA226)资助。

作者简介:李卫东,高级农艺师,主要从事硒资源开发利用研究。E-mail:360842122@qq.com。* 通信作者:杨永康,研究员,主要从事药用植物开发与利用研究。E-mail:939212501@qq.com

1 恩施州硒资源特征

1.1 恩施州硒矿、水资源特征

1.1.1 恩施州硒矿资源 恩施州硒矿资源丰富。在恩施市双河乡渔塘坝村发现了世界上迄今唯一探明的独立硒矿床,打破了“硒不能独立成矿床”的理论。该矿主矿床长 10 km、宽 4 km、厚 300 m,呈板块状结构,已探明硒储量 64 万 t,纯硒平均含量高达 3 637.5 mg/kg。恩施州范围内硒矿储量巨大,达 50 多亿 t,品位多为 500~5 500 mg/kg,最高可达 84 000 mg/kg^[2,7-9],表明恩施渔塘坝的硒含量在国内含量是较高的。

渔塘坝在恩施的含硒碳质页岩及石煤出露面积达 850 km²,分为南北二带,矿层厚度在 3.6~9.0 m 之间。硒矿床赋存于双河斜向西北翼下二叠统茅口组灰岩顶部含碳硅质岩及硅质页岩之上的薄层腐泥煤界面附近。含碳硅质岩具水平层理和纹层理,与含硅碳质页岩形成交错的韵律层,分布广泛,硒含量高,在双河渔塘坝达到高度富集,形成了独立的硒矿床。其硒矿石类型可分为含碳质硅质岩型、含硅质碳质页岩型和半暗腐泥煤型 3 类。硒矿石中矿物成分比较简单,主要矿物由玉髓、石英、碳质和水云母组成,次要矿物有赤铁矿、黄铁矿和含硒黄铁矿等^[7]。深入分析双河硒矿中硒的赋存形态发现,硒矿石中硒大部分赋存在有机质中,而有机质中的硒主要以纳米级的单质硒被紧密的包裹或者粘附于其中的形式存在,其次是少量的硒矿物和硒黄铁矿^[10,11]。

1.1.2 恩施州富硒水资源 恩施州水资源特点是年降水量大、水量充足,具有独立的水力优势,为生态农业建设提供水资源保障,同时由于恩施有着丰富的硒矿,经过长期的自然风化、雨水冲刷、微生物等作用使恩施水资源富含丰富的硒元素。中科院地球化学研究所检测双河高硒区的 4 份泉水样品发现硒含量在 27.2~50.2 μg/L,而恩施地表水检测出的硒含量为 0.27~342.86 μg/L,饮用水的硒含量范围为 0.37~40.9 μg/L,远远高于全球淡水含硒量 0.2 μg/L。湖北省水文地质工程地质大队对恩施市硒矿(山)泉水资源进行实地勘探,在 40 多处水源的基础上筛选出 5 处资源进行检测分析发现 5 处水源均含有矿泉水特征成分,即硒、锶两种元素成分。对泉水进行周期性监

测发现水质、水量、水温等动态指标均稳定,其他各项指标均符合国家矿泉水标准。恩施硒、锶山泉水大多位于清江及其支流沿岸不同背斜,泉区出露地层主要为上古生界二叠系下统茅口组—中生界三叠系下统嘉陵江组中、下段。恩施地区的硒主要呈吸附状态赋存在碳质页岩中,其次呈类质同象赋存于硫化物中,该地区地质页岩中的硒含量为 211 mg/kg,石煤硒含量为 182~227 mg/kg,土壤硒含量为 11.8~18.1 mg/kg,此种高硒地球化学环境为硒山泉水的形成提供了物质基础。恩施地区有利的富硒地层岩性组合条件、有利的地形构造因素、有利的地形地貌因素使得恩施水质富含硒元素且部分地区达到矿泉水标准^[12]。

1.2 恩施州硒农业资源

1.2.1 恩施州富硒土壤资源 恩施州以含硒岩系为母质的富硒土壤分布较为广泛,岩石中的硒经风化进入土壤和水体,土壤含硒量均值达到 0.6 mg/kg,远远高于全国的平均水平^[7]。富硒区生产的粮食、饲草饲料、畜牧产品、中草药及山泉水中的硒含量是国内其他地区的十几倍至几十倍,天然富硒农产品享誉中外,因此,2011 年“第十四届国际人与动物微量元素大会”授予恩施“世界硒都”称号。

恩施州富硒土壤资源分布广泛,以渔塘坝硒矿床为中心分布的高硒区,主要分布在芭蕉—盛家坝、沐抚—板桥、向家村—奇羊坝、罗针田—马者—铁厂坝、双河—红土溪—石窑、中间河—黄村—沙地花被等地。有学者对恩施州植烟土壤硒含量进行了研究,发现恩施州大部分区域土壤硒的垂直地理分布特性明显,即硒含量随海拔的升高而极显著地增加^[7]。

恩施州境内土壤硒含量高,但也存在不平衡性和有效性低等问题。对恩施市新塘乡表层土壤进行系统调查后发现表层土壤硒含量均值为 1.49 mg/kg,远超过全国表层土壤硒含量的水平,并且不同地质背景和土壤类型下硒的分布也存在较明显的差异^[13]。对整个恩施州烟区土壤进行硒背景调查发现,恩施州各个烟叶产区平均土壤硒含量为 0.34~0.92 mg/kg,依次为宣恩(0.92 mg/kg)、恩施(0.90 mg/kg)、鹤峰(0.77 mg/kg)、利川(0.65 mg/kg)、咸丰(0.52 mg/kg)、来凤(0.46 mg/kg)、科技园(0.44 mg/kg)、建始(0.39 mg/kg)、巴东

(0.34 mg/kg)。其中,宣恩土壤平均硒含量最高,巴东最低,巴东有 13% 的土壤硒含量不足或缺乏。来凤、利川、建始、巴东等产区 50% 以上土壤硒含量充足,恩施、鹤峰、咸丰、宣恩、利川等地 50% 以上的土壤硒含量富裕。土壤硒含量高 (2.00~3.00 mg/kg) 和过量 (>3.00 mg/kg) 的比例不足 10%,说明各个产区土壤硒含量丰富但引起中毒的可能性不大^[14]。

经中国科学院地理科学与资源研究所对恩施州土壤取样调查,恩施州大部分土壤中硒含量较高,但部分区域硒含量较低,不适宜农产品规模化种植,同时表明恩施高硒土壤中硒结合态分布基本可以分为 4 种类型,以有机结合态硒为主的、以元素态硒为主的、以有机结合态和元素态硒为主的和以有机结合态和硫化物/硒化物硒为主的,而可交换态和元素态硒次之,水溶态硒含量则很低^[15]。赵书军等^[16]研究表明,恩施州土壤硒含量分布变异系数为 89.3%~148.3%,区域内分布严重不均,土壤水溶性硒仅占总硒含量的 0.2%~2.6%,说明恩施州土壤有效态硒(水溶态硒和可交换态硒)含量较低。因此,构建全州土壤背景值数据库,建立安全高效简便的土壤硒活化、测土配方施肥技术体系是实行农业标准化产业化的重要手段。

1.2.2 恩施州富硒植物资源 硒的主要转化途径是从岩石→土壤→植物→动物→人体,从无机到有机,从低等到高等。植物中的硒生物有效性较高,相对无机硒更为安全。不同植物聚硒能力不同,在常见植物中,富集硒的能力由大到小的顺序为十字花科>豆科>谷类。植物主要是通过根系和叶面吸收硒酸盐、亚硒酸盐以及少数有机硒化合物^[7]。

恩施州具有丰富的纯天然富硒植物资源,在恩施州新塘乡双河渔塘坝硒矿区发现了一种野生植物资源堇叶碎米荠(*Cardamine violifolia*),硒含量达到 7 816 mg/kg,是目前世界上发现的聚硒能力最强的植物^[17]。恩施州农业科学院经过多年潜心研究已经形成了堇叶碎米荠野生驯化技术体系,构建了堇叶碎米荠露地和设施富硒栽培技术体系,实现了规模化种植^[18]。同时,对堇叶碎米荠中的蛋白质进行了分析检测、分离纯化和形态分析研究,研究显示,堇叶碎米荠蛋白质含量达到 24%;分离硒蛋白,硒含量达到 5 000 mg/kg,蛋白

质分子量 500~10 000 Da;蛋白质中硒形态主要为硒代蛋氨酸、硒代半胱氨酸和 L-硒甲基硒代半胱氨酸。

恩施州特色作物中茶叶、油菜、大蒜、花生、魔芋等经济作物的硒含量达 0.63~295 mg/kg;白菜、萝卜、南瓜、辣椒、茄子等蔬菜的硒含量为 2.00~60 mg/kg;玉米、小麦、黄豆、稻米等粮食作物的硒含量在 0.3~28 mg/kg。即使在恩施州土壤硒含量不高的地区,玉米硒含量也能达到 0.07 mg/kg 以上,是低硒区的 80~1 890 倍,恩施薯类及藤叶的硒含量是浙江、江苏等低硒区的 200~800 倍,野生饲草的硒含量是辽宁饲草的 193~880 倍,包菜、白菜、萝卜硒含量比陕西低硒区高出 3 700 倍^[19]。玉米和马铃薯作为恩施州特色粮食作物,是宝贵的富硒生物资源,能为人体摄入硒提供丰富的来源。同时,富硒饲草、富硒中草药、富硒烟叶等的硒含量比国内其他地区的同种植物高出数倍^[12]。米秀博等^[20]的研究表明,恩施地区天然生长的醉鱼草(*Buddleia lindleyana*)和水芹菜(*Oenanthe javanica*),总硒含量分别高达 531.4 mg/kg 和 213.1 mg/kg,从中检测出硒代胱氨酸、硒代蛋氨酸和无机硒,其中醉鱼草的 3 种形态硒的含量分别为 14.2 mg/kg、26.2 mg/kg 和 221.2 mg/kg,水芹菜的 3 种形态硒的含量分别为 4.24 mg/kg、28.49 mg/kg 和 169.9 mg/kg,这些天然富硒植物是提取天然有机硒的重要来源。朱建明等^[10]通过对恩施富硒区域渔塘坝植物硒含量进行分析,发现黄花菜、玉米、大厥、线尾厥硒含量平均值分别为 0.18 mg/kg、1.81 mg/kg、1.48 mg/kg 和 0.63 mg/kg。有学者通过对恩施高硒区的作物进行硒含量检测,发现大蒜硒含量平均为 15.4 mg/kg、大豆为 6.26 mg/kg、马铃薯为 0.59 mg/kg、烟叶为 0.61 mg/kg、萝卜菜为 3.81 mg/kg,这些作物的硒含量均达到富硒水平^[12]。黎妍妍等^[21]广泛分析了恩施地区烟叶的硒含量状况,硒含量范围为 0.002~3.170 mg/kg,均值为 0.216 mg/kg,上部烟叶平均硒含量高于 0.253 mg/kg,中部叶平均硒含量为 0.202 mg/kg,而河南、山东、辽宁等北方烟区和云南、贵州、四川等南方烟区的烟叶硒含量在 0.0516~0.0780 mg/kg 之间,表明恩施地区烟叶硒含量明显高于国内其他地区。万佐玺等^[22]在恩施市新塘、红土、双河和湖北民族学院苗圃 4 个地点采集薇菜样品,经测定薇菜根硒含量为

1.58~5.04 mg/kg, 茎硒含量为 1.97~5.52 mg/kg, 叶硒含量为 3.06~7.44 mg/kg, 说明薇菜能够吸收利用土壤中的硒, 这表明发展富硒薇菜是可行的。恩施地区土壤普遍富硒, 植物中硒含量普遍高于其他地区, 尤其是高硒区域更加明显, 为恩施州富硒产业的发展奠定了良好的基础。

1.2.3 恩施州富硒动物资源 微量元素硒可以促进畜禽生长、调节机体生理过程, 在动物营养中起着非常重要的作用。富硒畜禽产品增加了畜禽产品的附加值, 因此开发富硒饲草料以及生产富硒畜禽产品对人类健康具有重要意义。

恩施州的富硒畜禽产品主要为鸡、羊、牛和猪, 富硒肉制品的开发主要是在畜禽的日粮中添加富硒饲草料, 从而增加动物肌肉组织中硒的积累。恩施州农业科学院畜牧所在 20 多种引进饲草中筛选出富硒能力和产量较高的 3 种饲草, 分别是鲁梅克斯、菊苣和皇竹草, 硒含量分别达 10.425 mg/kg、7.646 mg/kg、19.845 mg/kg。采用富硒饲草喂养恩施黄牛 90 d 后, 牛肉的硒含量达 0.215~0.254 mg/kg, 牛肝中硒含量达 0.217~0.641 mg/kg, 牛心脏中硒含量为 0.219~0.568 mg/kg, 牛腹肌肉的硒含量为 0.218~0.246 mg/kg, 牛骨髓的硒含量范围为 0.125~0.169 mg/kg, 其中以牛肾中硒含量最高, 为 1.048~1.875 mg/kg。而山羊在屠宰前 90 d 开始喂养, 以富硒牧草为添加辅料, 采用圈养+放养相结合的模式, 经检测分析羊肝中硒含量为 0.050~0.395 mg/kg, 羊胸肌肉的硒含量范围为 0.025~0.169 mg/kg, 羊脊肉的硒含量为 0.031~0.469 mg/kg, 羊肾中硒含量最高, 范围为 0.120~1.136 mg/kg。恩施州硒研究院采用不同的硒源、不同的水平, 结合营养调控措施降低胆固醇, 形成富硒低胆固醇的养殖规程, 使鸡蛋的硒含量在 0.4~1.52 mg/kg 左右, 降低胆固醇 8% 左右^[19]。

恩施黑猪是国家地理保护标志的地方品种, 结合硒源的特点和剂量、作用方式、作用时间等, 恩施州硒研究院利用恩施特色植物资源研究出适合恩施黑猪的富硒无抗生素饲料, 喂养 30 d 后, 黑猪体重增重率达 25% 左右, 黑猪肌肉硒含量稳定在 0.17~0.40 mg/kg; 恩施豪猪人工饲养富硒无抗生素饲料后, 结果显示豪猪肉硒含量稳定在 0.3~0.6 mg/kg, 豪猪肝的硒含量为 0.20~0.34 mg/kg, 豪猪肺的硒含量为 0.15~0.22 mg/kg, 豪

猪肾的硒含量为 0.84~1.08 mg/kg。

1.2.4 恩施州富硒微生物资源 利用恩施州丰富的自然高硒资源寻找解硒、功能性高硒微生物, 是提高土壤有效硒转化、促进植物吸收和拓展硒多渠道利用的有效途径。彭祚全等^[23]对渔塘坝硒矿床样品中的微生物进行培养、分离、筛选、纯化等过程操作后, 筛选出 3 株具有超耐硒能力的菌株, 分别为鲍氏不动杆菌、地衣芽胞杆菌和枯草芽胞杆菌, 其中地衣芽胞杆菌和枯草芽胞杆菌在含硒量为 33 mg/L 的琼脂培养基中能正常生长并能还原无机硒为红色单质硒, 对缓解高硒地区的硒危害具有一定的应用价值。有学者采用富集培养及平板划线法分离恩施州高硒区天然高富硒微生物, 筛选出的高富硒微生物最高硒含量可达 34 782.52 mg/kg, 经过分析鉴定该菌株为异常威克汉姆酵母 (*Wickerhamomyces anomalus*), 对硒具有极高的耐受性及富集能力^[24]。同时, 副干酪乳杆菌富硒试验研究表明硒源对副干酪乳杆菌的生长具有明显促进作用。高耐硒微生物的发现, 对提高土壤硒有效性转化、开发富硒农产品等方面具有重要意义。

2 恩施州硒资源开发利用

2.1 恩施州硒资源应用研究

早在 1985-1988 年, 杨光圻教授主持卫生部“七五”攻关项目, 充分利用恩施硒中毒区、适硒区、贫硒区的硒特征资源, 在恩施开展了“硒的最大安全摄入量研究”, 该研究成果被 FAO、WHO、IAEA 联合采纳和推荐, 并沿用至今, 为人类健康作出了重要贡献。该项成果获国家科技进步二等奖、卫生部科技进步一等奖。

硒在土壤中的分布不均以及植物(动物)对硒吸收转化的差异性等因素导致不同品种的硒含量不稳定, 严重影响了硒产业的发展。基于植物(动物)硒营养特点的标准化种植(养殖)技术、植物(动物)硒营养强化剂、新食品原料、有机硒形态分析等研究是目前恩施州硒应用研究的主要内容。已形成富硒西兰花、富硒猕猴桃、富硒木瓜、富硒魔芋、富硒玉米、富硒马铃薯、富硒恩施黄牛、富硒恩施山羊、富硒鸡蛋、富硒恩施黑猪、富硒冷水鱼等种植(养殖)技术规程 11 项; 开发植物(动物)富硒生物无抗营养强化剂 4 种; 完成了《莖叶

碎米荠新食品原料》申报基础研究工作;《基于 HPLC-AF 的食品中无机硒的检测方法》通过了湖北省卫计委组织的专家评审。

2.2 恩施州富硒产品开发

2.2.1 富硒农产品开发 据“富硒农业产业技术创新联盟”的相关统计,目前恩施州从事硒产品生产、加工和销售的企业及专业合作社有 156 家,从产业分布来看,茶叶占 33%、粮油占 22%、畜牧占 18%、蔬菜占 16%,药材、水产、干鲜果等共占 11%^[20]。基于富硒土壤和硒营养强化,“湖北省第一历史名茶”及地理标志产品“恩施玉露”,硒含量为 0.26~25.5 mg/kg;“青钱通宝”富硒青钱柳茶硒含量 0.20~13.5 mg/kg;“恩施硒土豆”硒含量为 0.11~0.32 mg/kg;富硒猕猴桃硒含量(鲜果)为 0.130~2.40 mg/kg;富硒西兰花叶硒含量为 161.80~179.89 mg/kg;富硒白肋烟硒含量均值为 0.165 mg/kg;富硒道地药材硒含量为 0.45~235 mg/kg;富硒食用菌硒含量为 2.65~300 mg/kg;富硒鸡蛋硒含量为 0.20~1.25 mg/kg;富硒黑猪肉硒含量 0.20~0.35 mg/kg 等。基于富硒土壤和硒营养强化的富硒农产品规模尚处于中试规模。

2.2.2 富硒食品开发 基于恩施富硒原料的食品开发,充分考虑硒的生物学功能结合生物的特性,主要针对抗氧化、提高免疫力、调节血糖血脂等开展功能性食品开发,产品形态主要有富硒饮料(液体、固体)、功能性压片糖果、富硒化妆品、富硒初级加工产品等。产品实现了多元化,具有一定的市场规模,代表性产品“硒多宝”藤茶液态饮料硒含量 0.20 mg/L,“茂和”富硒刺梨汁硒含量达 0.03 mg/L,“柳棠茶”青钱柳固体饮料硒含量 6 mg/kg,“西特优”五性养身粉硒含量 48.7 mg/kg,“硒旺人生”压片糖果硒量 0.06 mg/片,“宜恒”山茶油硒含量 0.20 mg/L,“土家东西”面条和红薯粉条硒含量 0.25 mg/L,“硒多多”五谷杂粮粉硒含量 19.3 mg/kg 等。这些有针对性的功能性产品进入市场取得了良好的效果,具有广阔的市场前景,也进一步证明了硒的生物学功能。

2.2.3 富硒生物营养强化剂开发 无机硒的生物利用毒性是显而易见的,“安全、绿色、有机、功能”是未来农业和营养健康产品发展的方向,富硒生物硒营养强化剂的开发是必然趋势。恩施州

硒研究院充分利用硒矿和高硒区筛选的生物资源,针对植物、动物、人体开展生物硒营养强化剂的研究,并取得了阶段性进展。高聚硒植物茎叶碎米荠可有效应用于高硒肥料、饲料添加剂、食品添加剂等硒营养强化剂领域;超富硒酵母 XS-1 已成功应用到高硒肥料、饲料和功能食品方面。应用生物硒营养强化剂的产品质量理想,成本在可接受范围内。

3 展望

恩施州硒资源研究为人类健康作出了重要贡献,但在开发利用方面仍显不足。一是标准研究滞后。缺乏人体硒健康指标及定量分析方法;缺乏基于农业生物硒营养特性的农产品硒标准;缺乏食品中有机硒形态分析检测标准等。二是功能性研究滞后。恩施州特色作物丰富,不同作物聚硒特点及硒形态存在差异,由此开发的产品其功效及安全性也随之存在差异,目前的产品功效及适宜用量评价研究有待推进。三是系统性研究不够。硒资源开发利用研究是一项集地质、生物、营养、医学、药学等多学科的工作,目前主要集中在地质、土壤、农业等方面,不能适应健康产业对科技的要求。

硒元素是人体健康的重要元素,健康产业是一个永恒的产业,硒产业是恩施州农业供给侧结构性改革的重要方向。科技是硒产业快速有序发展的核心支撑,恩施州硒资源开发利用研究必须以市场为导向,立足优势生物资源,以高技术为支撑,实现“标准化、工业化、功能化、资本化”同步发展。一是高起点搭建开放式创新平台。站在国家富硒检测中心平台上,挥好领军人才、产业标准和龙头企业三大指挥棒的作用,积极抢占硒标准制订的话语权,争夺硒标准的控制权,建立全国乃至全球富硒农产品集散中心,全速推进“中国硒谷”建设。二是创新机制,凝聚国内外多学科创新资源,形成合力,协助发展,共同交流学习进步,充分实施资源共享、信息共享、成果共享,协助企业加强品牌建设和产品推广,提高产品知名度与市场占有率。以创新为理念、开放包容为态度,协调发展全面推进硒产业。三是科学规划,全面系统稳步推进。产业发展规划先行,以科学的规划为指南、以符合实际的方案为指导,协调好生态环

境、硒自然资源、恩施特色优势,全面系统保证恩施州硒经济和硒产业的稳步健康发展。四是保障基本创新基金。多渠道、多方向引进项目资金,形成硒项目创新“基金池”,保证项目基金的充足性,项目创新基金用于开发硒产品,保证项目资金流向的唯一性、专门性,为硒产业持续发展提供坚实的经济后盾。

参 考 文 献

- [1] 杨光圻,殷太安,刘胜杰,等. 补充硒预防克山病的途径和方法的研究[J]. 营养学报,1982,4(1):1-9.
- [2] 杨光圻. 人的地方性硒中毒和硒的水平[A]. 见:天津市医学科技情报研究所.美国营养进展基金会第一届国际营养学会议学术报告选编[C]. 美国营养进展基金会第一届国际营养学会议,1981,5.
- [3] 王鸿发,李均权.湖北恩施双河硒矿矿床地质特征[J].湖北地质,1996(2):10-21.
- [4] 郑翔,钱汉东,吴雪枚. 湖北恩施双河硒矿床地球化学特征及成因探讨[J].高校地质学报,2006,12(1):83-92.
- [5] 雷红灵,方响亮,周大寨. 董叶碎米茅硒蛋白的体内抗氧化作用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(1):201-205.
- [6] 雷磊,朱建明,王风平,等. 湖北恩施渔塘坝富硒碳质泥岩中的微生物多样性初探[J].地球与环境,2011,39(4):517-522.
- [7] 郭宇.恩施地区硒的地球化学研究及富硒作物栽培实验研究[D].北京:中国地质大学,博士学位论文,2012.
- [8] 郑宝山,严良荣,毛大钧,等. 鄂西的硒资源及其开发战略研究[J]. 自然资源学报,1993,8(3):204-212.
- [9] 宋成祖. 鄂西南渔塘坝沉积型硒矿化区概况[J]. 矿床地质,1989,8(3):83-89.
- [10] 朱建明,凌宏文,王明仕,等. 湖北渔塘坝高硒环境中硒的分布、迁移和生物可利用性[J]. 土壤学报,2005,42(5):133-141.
- [11] 朱建明,秦海波,李璐,等. 湖北恩施渔塘坝高硒土壤中硒的结合态[J]. 环境科学学报,2008,28(4):772-777.
- [12] 彭祚全,黄剑峰.世界硒都恩施硒资源研究概述[M]. 北京:清华大学出版社,2012.
- [13] 杨良策,李明龙,杨廷安,等. 湖北省恩施市表层土壤硒含量分布特征及其影响因素研究[J]. 资源环境与工程,2015,29(6):825-829,848.
- [14] 赵书军,饶雄飞,袁家富,等. 恩施州植烟区土壤养分现状及演变趋势[J]. 中国土壤与肥料,2015(2):33-37,62.
- [15] 韩文亮. 恩施渔塘坝富硒碳质岩中硒的形态分析[D].贵阳:中国科学院研究生院,硕士学位论文,2006.
- [16] 赵书军,陈红华,李锡宏,等. 恩施烟区土壤硒分布特征及其与烟叶硒的关系[J]. 中国烟草科学,2011,32(S1):63-66.
- [17] 邵树勋,郑宝山,罗充,等. 湖北恩施地区发现超富集硒植物[J]. 矿物学报,2006,26(2):130.
- [18] 向极钎,杨永康,殷红清,等. 董叶碎米茅人工补硒栽培技术研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2012(4):421-423.
- [19] 程水源. 硒与恩施[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2016.
- [20] 米秀博,邵树勋,汤璠,等. 湖北恩施地区天然富硒植物中硒形态的 HPLC-ICP-MS 分析[J]. 草业科学,2014(6):1173-1177.
- [21] 黎妍妍,李锡宏,赵书军,等. 恩施州植烟土壤及烟叶硒含量状况分析[J]. 中国烟草科学,2011(S1):67-70,75.
- [22] 万佐玺,易咏梅,杨兰芳,等. 薇菜含硒量的研究[J]. 湖北农业科学,2002(5):120-121.
- [23] 彭祚全,樊俊,向德恩,等. 3株超耐硒细菌的分离、筛选与鉴定[J]. 微量元素与健康研究,2012(3):4-6.
- [24] 帅超群,向极钎,谈弋,等. 恩施州渔塘坝硒矿区天然高富硒微生物的筛选与鉴定[J]. 化学与生物工程,2016(4):51-54.

硒应用技术与产品开发研究团队介绍见本刊 492 页。