

滇中易门地区富硒土壤物质来源及其天然富硒 野生菌初步研究

刘军平^{1,2)}, 李静^{1,2)}, 段向东^{2,3)}, 曹晓民^{1,2)}, 胡绍斌^{1,2)}, 李开毕^{2,5)}, 王路^{1,2)},
关学卿¹⁾, 曾文涛^{2,4)}, 刘发刚^{2,5)}, 张虎^{1,2)}, 俞赛赢^{1,2)}

1) 云南省地质调查院, 昆明, 650216;

2) 国土资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明, 650051;

3) 云南省国土规划设计院, 昆明, 650216; 4) 云南省地质环境监测院, 昆明, 650216

5) 云南省地质调查局, 昆明, 650051

内容提要: 不同地区、不同层位土壤中硒含量分布不均匀, 依据局部富硒土壤线索开发不同的天然富硒食品是发展当地特色农业研究的一个重要方向。云南省 1:25 万昆明—玉溪多目标地球化学调查及云南 1:5 万二街幅等四幅区域地质调查项目资料显示, 尽管云南省表层土壤总体相对贫硒, 但在滇中易门普家村—铜厂乡—西山村—狮子山—禄丰土官镇一带局部低山丘陵地区存在约 400 km² 的富硒土壤, 土壤硒平均含量达 0.54 μg/g, 而普家村菜子山一带土壤硒含量最高达 136 μg/g; 各地球化学剖面均显示出硒元素呈现出表聚性规律, 硒元素在表层土壤中均大于深层土壤, 而深层土壤硒含量则大于母岩硒含量, 不同的基岩岩性硒含量表现出炭质板岩大于泥质板岩大于粉砂质板岩大于白云岩, 与炭质、黏土质、泥质、有机质呈正相关性。并据此线索在当地新发现了大批天然富硒微生物(野生菌)及蔬菜。初步研究表明当地富硒土壤的形成与特定地质背景有关, 而生产天然富硒野生菌及蔬菜的土壤环境相对优越。

关键词: 硒; 富硒土壤; 天然富硒野生菌; 区域地质调查; 滇中易门地区

硒作为人体必备微量元素之一, 从 1817 年人类首次发现至今, 已经历了 200 多年, 通过多年的不断探索和研究, 人们对硒的认识上升到了更高水平, 硒对维持人体正常生理功能至关重要, 具有保护心肌健康、防衰老、抗氧化、增强人体免疫力、重金属解毒以及防癌、抗癌、治癌等功能(廖金凤, 2002; 罗程等, 2017); 人体中缺硒或摄入过量硒都会产生严重疾病, 前人已经从不同角度对硒在环境中的地球化学行为进行过一系列研究(Ajwa et al., 1998; Rayman, 2000; 雒昆利等, 2001; 张艳玲等, 2002; 王世纪等, 2004; 廖启林等, 2005, 2007)。人体硒主要来源于食物, 而植物性食物(作物)中的硒主要来源于土壤, 因此土壤硒含量的高低直接影响作物硒含量。土壤硒分布具有明显的地带性特征, 土壤硒含量多数在 0.01 μg/g~2.0 μg/g 之间。中国多数地

区土壤相对缺硒, 我国土壤硒平均值约为 0.29 μg/g(郑达贤等, 1986; 瞿建国等, 1998; 张艳玲等, 2002)。

云南更是中国主要缺硒土壤分布区之一, 目前为止, 云南省昭通地区、文山地区及宣威地区查明存在富硒土壤外, 其它地区均未报道; 云南昭通地区富硒土壤种植的苹果为富硒苹果; 云南文山地区土地质量地球化学调查表明富硒(大于 0.4 μg/g)土地面积约 1342 km², 为富硒三七特色植物种植提供有利条件; 云南宣威地区圈定富硒土壤约 4670 km², 很大程度上有力助推着宣威的富硒烟叶生产发展; 在总体贫硒的背景下, 局部地段分布有富硒土壤, 是发展绿色健康食品的基础, 符合云南省打造绿色食品的发展理念(廖启林等, 2007; 刘道荣等, 2019)。

2012 年云南 1:25 万昆明—玉溪多目标区域

注: 本文为云南省国土资源厅基金项目“云南省 1:5 万撒马基幅、因民幅、贵城幅、舒姑幅区域地质调查(编号: D201905)”及中国地质调查局项目“云南 1:5 万二街、易门、鸣矣河、上浦贝幅区域地质调查”(编号: DD20160017)、“云南区域地质调查片区总结与服务产品开发”(编号: 121201102000150012-02)的成果。

收稿日期: 2019-10-31; 改回日期: 2020-02-17; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2020.03.018

作者简介: 刘军平, 男, 1983 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事区域地质与构造地质调查研究; Email: 271090834@qq.com。

地球化学调查发现,易门县表层土壤硒含量较高,富硒土壤分布面积较大,但由于采样密度较稀,工作程度较低,数据资料难于直接用来指导富硒土地资源的开发利用^①。2016 年通过云南省 1:5 万二街、易门县等四幅区域地质调查项目进一步详查^②,在滇中易门普家村—铜厂乡—西山村—狮子山—禄丰土官镇一带的低山丘陵地段新发现局部富硒土壤,部分地段可作富硒有机化肥,开发利用前景良好,同时在当地富硒土壤中首次发现了天然富硒野外菌(微生物)及食用蔬菜。笔者等以易门县典型富硒区数据资料为依据,分析了易门县富硒土壤的分布特征、土壤硒含量的影响因素、地质背景及富硒农产品状况,以及为富硒土壤开发与保护及特色富硒农产品种植提供技术支撑。

1 研究区地质概况

近期云南省地质调查院在进行《云南省区域地质志》(第二版,修编)、云南省 1:5 万二街、易门县等 4 幅区域地质调查项目的工作中^{③④},通过野外地质调查、地球化学及系统的锆石 U-Pb 同位素年代学研究,发现滇中地区真正的中元古界出露面积很小;除汤丹—因民、晋宁—玉溪两个片区外,滇中其它地区出露的前寒武系浅变质岩系属中太古界—古元古界,由此新建立了中太古界元江群、新太古界普渡河群、古元古界易门群 3 个群级岩石地层单元,并进一步细分为 15 个组,由此解决了长期所谓“正八组”与“倒八组”的争议,它们记录了板块构造体制的启动、中太古代晚期蓝绿藻的大爆发、新太古代的大氧化事件、真核生物的首现、古元古代 Huronian 冰期事件、古元古代多细胞生物的首现、Lomagundi 事件、Columbia 超大陆事件等一系列地球早期的重大地质事件(高林志等,2018;李静等,2018;刘军平等,2018a,c,2019,2020a,b)。

研究区位于滇中易门地区,位于扬子陆块区之上扬子古陆块的康滇基底断隆带,地层区划隶属华南地层大区扬子地层区康滇地层分区之昆明地层小区。研究区出露地层主要有中太古界元江群、新太古界普渡河群、古元古界易门群、中元古界昆阳群及寒武系筇竹寺组(刘军平等,2020b)(图 1a)。中太古界元江群自下而上可划分为曼林组、迤纳厂组、岔河组、狮子山组、鹅头厂组、绿汁江组等 6 个组级岩石地层单位,为一套浅变质的陆源碎屑—碳酸盐岩—火山岩建造;新太古界普渡河群自下而上划分为茂麓组、龙头山组、麻地组等 3 个组级岩石地层单

位,为一套黑色碎屑岩—碳酸盐岩建造;古元古界易门群自下而上划分为阿不都组、罗洼垭组、亮山组、永靖哨组、西山村组、杉木箐组等 6 个组级岩石地层单元,总体为一套浅变质的陆源碎屑—碳酸盐岩夹火山岩建造;中元古界昆阳群自下而上划分为黄草岭组、黑山头组、富良棚组、大龙口组及美党组,为一套浅变质的陆源碎屑—碳酸盐岩及少量火山岩(李静等,2018;刘军平等,2018b,2020a);寒武系筇竹寺组为一套半深海相黑色页岩—粉砂岩组合^{⑤⑥}。

2 样品采集与分析

2.1 样品采集

本次研究的样品均采自易门—罗茨断裂以西,主要地层为古元古界易门群西山村组及寒武系筇竹寺组;其中表层土壤采样点按照网格化布设,采样布局兼顾均匀性与合理性,以便最大限度地控制测量面积,样品兼顾分布面积较大的林地、耕地、庄稼地等。庄稼地采样密度为 4 件/km²,林地、耕地采样密度为 1 件/km²,样品采集以代表性为主要原则,由多坑点采集 0~40 cm 表层土壤组合而成,共采集样品 200 件,每件野外质量 300 g。采样时避开明显污染点(化工厂、牲口养殖区等)、新近搬运外来土和垃圾堆等。采集的土壤样品晾干后,过 20 目筛,外送国土资源部昆明矿产资源监督检测中心分析。

野生菌(微生物)及食用蔬菜鲜样的采集则在每个采样点均匀、随机选择树势一致、无病虫害和机械损伤的 10 个以上植株,采集野生菌及蔬菜鲜样,每个鲜样重 100 g,装入保鲜袋,两天内送达国土资源部昆明矿产资源监督检测中心进行分析。本次研究总共采集微生物(野生菌)样品 100 件、蔬菜类样品 120 件。

2.2 分析测试

2.2.1 土壤样品分析测试

土壤样品过 20 目筛后送检样经无污染加工至 200 目,供化学测试。取试样 5 g,采用原子荧光分光光度法(AFS)测定 Se、Hg、As;取试样 10 g,采用封闭熔融电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定 Cd;称取适当样量,测定其他项目,其中 X 衍射分析仪器为日本理学 DMAX-ⅢA 型,工作电压:40 kV,电流 20 mA。

基岩样品薄片(光片)由南京宏创地矿实验室和湖北省地质实验室测试中心岩石矿物研究室完成,一般采手标本大小 3×6×9 cm³,磨片大小 2.4×2.4 cm²,厚度 0.03 mm。在显微镜下确定岩石的矿

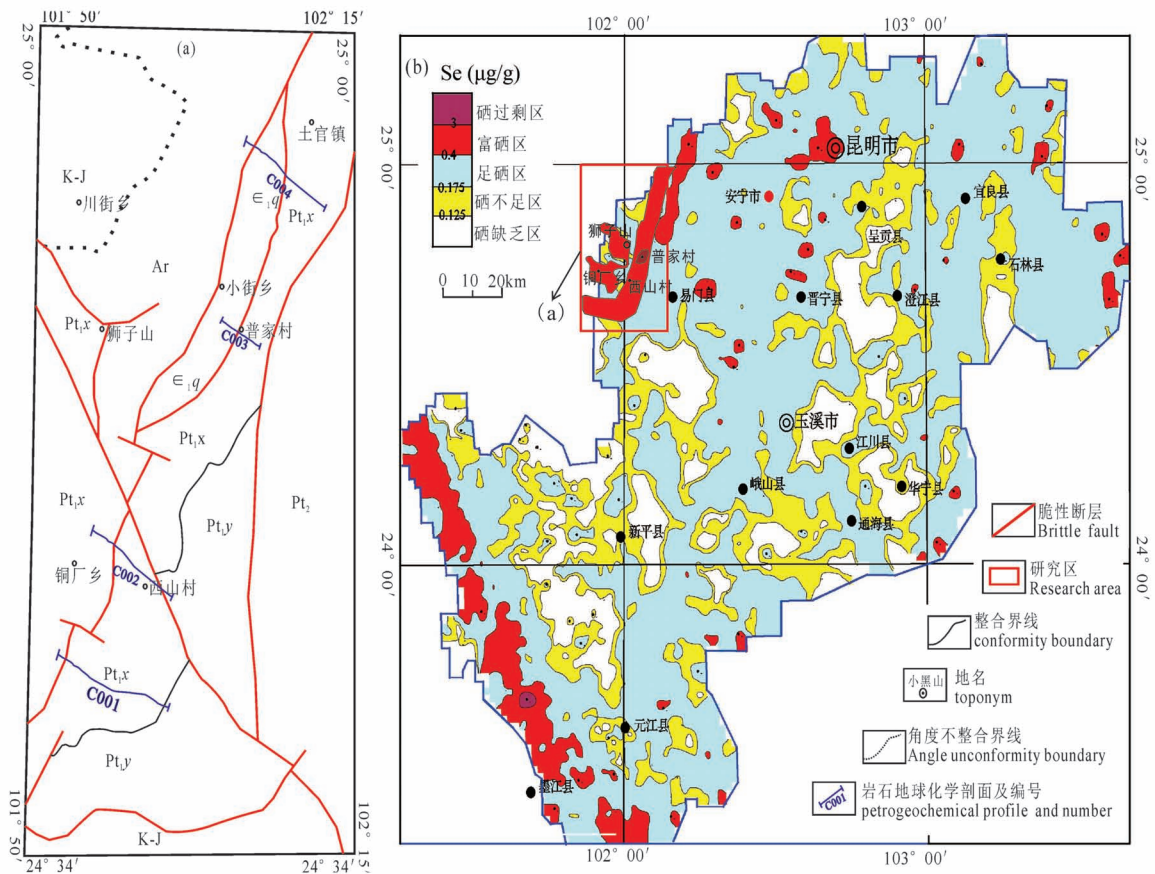
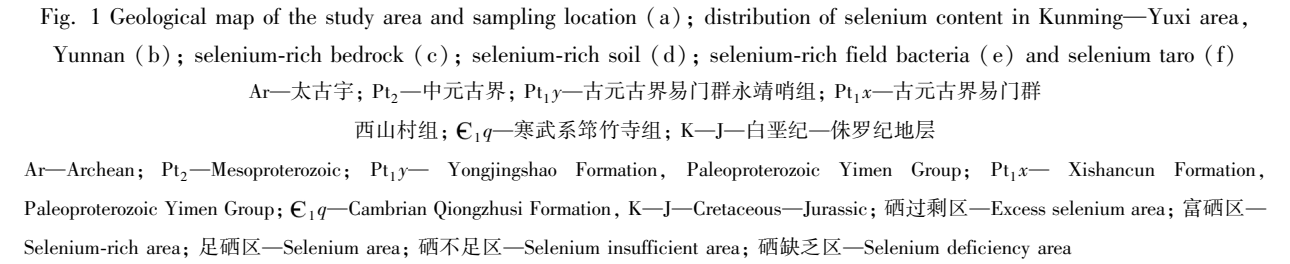


图 1 研究区地质简图及采样位置(a)、云南省昆明—玉溪地区硒含量分布图(b)、富硒基岩(c)、富硒土壤(d)、富硒野生菌(e)及富硒芋头(f)野外照片



物或碎屑颗粒的种类、结构、构造、矿物共生组合,对岩石定名、分类;测定岩石的沉积、变质变形等显微结构构造特征;鉴定岩石后期交代及矿化,测定不透明矿物的种类及含量,矿物共生组合特征;测定矿物的晶形、粒度、构造、蚀变、光性、物理性质等特征等。

2.2.2 微生物(野生菌)及食用蔬菜分析测试

样品原样称重后于烘箱 50℃ 烘干,再称重,计算含水率,于高速破碎机制成粉样,样品用纸袋外套塑料袋封装于干燥器中保存。以上样品干基制备所用的各种器具均选用惰性材料陶瓷进行封装,以避免样品间的污染。采用高压消解和微波消解相结合的方法进行预处理,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定农作物样品中 Se、Cd、Cr、As、Ni,采用原子荧光光谱法(AFS)测定 Hg。

3 易门地区富硒土壤的基本特征

3.1 易门地区富硒土壤母源分析

通过云南昭通、易门地区的 1/5 区调工作表明^{③④},云南富硒土壤的成因可分为风化次生富集和富硒基岩的风化富集两种。云南昭通地区富硒苹果、文山小草坝富硒天麻富硒土壤均为表生地质作用下,可溶性岩石化学风化的残留物,搬运堆积形成富硒红土。形成过程为碎屑岩的物理风化,粗碎屑残留在原地,细碎屑被搬运→在盆地边缘沉淀下来,形成富硒土壤。昭通地区的富硒土壤成因,蒙自、文山等碳酸盐岩广泛分布区的富硒土壤也可能是类似成因。易门地区的 1/5 万区调工作表明^⑤,富硒土壤是富硒基岩风化的产物;易门地区硒主要赋存于古元古界易门群西山村组黑板岩及寒武系筇竹寺组黑色页岩中,易门普家村一带基岩硒含量一般 10~30 μg/g,平均 15 μg/g,风化后土壤硒平均含量 30 μg/g,最高达 136 μg/g(如表 1),接近湖北恩施独立硒矿床的矿化品位(锥昆利等,2001;赵晗等,2018),与湖北恩施地区二叠系炭质页岩高硒土壤

表 1 滇中易门普家村一带古元古界易门群西山村组土壤及基岩硒含量特征表
Table 1 Table of selenium contents of soil and bedrock of the Xishancun Formation, Paleoproterozoic Yimen Group, in Pujia Village, Yimen County, central Yunnan

土壤种类	样品编号	岩性及采样深度	硒含量 (μg/g)	稀土含量 (μg/g)	土壤种类	样品编号	岩性及采样深度	硒含量 (μg/g)	稀土含量 (μg/g)
炭质板岩土壤样品	D6869-13	土壤样(表层)	36.3	588	基岩样	D6869-8	炭质板岩(30 cm)	25.2	402
	D6869-14	土壤样(2 cm)	34.9	327		D6869-12	炭质板岩(40 cm)	23.7	475
	D6869-20	土壤样(5 cm)	24.9	239		D6869-6	黏土化粉砂质板岩	22.1	399
	D6869-9	土壤样(7 cm)	22.4	334		D6869-3	粉砂质板岩	18.2	398
	D6869-4	土壤样(10 cm)	11.5	414		D6869-10	高岭土化炭化白云岩	11.3	376
	D6869-2	土壤样(15 cm)	10.3	337	土壤样	D6869-15	风化白云岩样	3.51	408
	D6869-11	土壤样(20 cm)	9.17	414		D6869-16	半风化白云岩样	0.34	36.4
蔬菜样	D6869-5	芋头	29.0	451	基岩样	D6869-17	白云岩样	1.01	356
	D6869-7	玉米	38.5	555		D6869-19	灰黄色含炭质粉砂质泥质板岩	10.7	219
	D6869-1	土豆	20.0	350					
					土壤样	D6869-21	土壤样(表层)	136	900

相似(杨良策等,2015),有发展有机硒肥产业的基础。古元古界易门群西山村组中硒是 2.0 Ga 前一次全球性的缺氧—富硒沉积事件,应属大氧化事件结束后,全球富氧大气崩溃,大气—海洋系统再次转为还原环境的记录,在波罗的海沿岸国家广泛分布(李静等,2018;刘军平等,2020a,b)。寒武系筇竹寺组黑色页岩赋存硒是 500 Ma 前左右一次全球性的缺氧—富硒沉积产物^②。

3.2 易门地区土壤硒含量影响因素

本次研究表明滇中易门地区富硒土壤总体表现为硒元素在表层土壤中均大于深层土壤,而深层土壤硒含量则大于母岩硒含量,不同的基岩岩性硒含量表现出炭质板岩大于泥质板岩大于粉砂质板岩大于白云岩,与炭质、黏土质、有机质、泥质呈正相关性,且与稀土含量也呈正相关性(表 1),部分地段稀土含量达到最低工业品位(标准 500 μg/g),土壤中硒往往与镉、汞、铬、砷和镍等重金属元素表现出一定的正相关关系,但本区重金属元素并未超标。

通过对黏土岩化炭质板岩风化土壤进行 X 衍

射分析,结果表明富硒矿土壤中矿物主要有有机质(30%~40%)、伊利石(20%~25%)、绿泥石(10%~15%)、石英(10%~15%)、钾长石(5%~10%);结合上述测试结果,笔者认为硒与伊利石、有机质有关,且存在一定的正相关性,初步认为硒可能以离子吸附形式存在(表 1),可能与滇中地区沉积吸附型锂赋存形式相似(Sun Baidong et al.,2019),但还有待进一步研究证实。

4 易门地区富硒农作物

4.1 易门地区天然富硒野生菌(微生物)

云南野生食用菌,生于山林、长于山林,是天然绿色食品,它富含多种维生素、优质蛋白及其它有益于人体的成分,营养丰富,风味独特,有的食用菌还有治疗癌症和多种疾病的药理作用,云南由此被誉为“真菌王国”。

本次对易门县铜厂乡、普子哨村及西山村等地富硒土壤(含 Se 均大于 0.4 μg/g,表 2)生长的野生食用菌(微生物)进行多次有针对性随机抽样调查

后,发现了野生食用菌含硒量普遍较高,含量 0.05~15 μg/g,均为富硒食用菌(刘书畅等,2018),其中干巴菌硒含量最高达 2~10 μg/g。研究表明,易门地区野生食用菌对硒元素的富集能力较强,吸附效率高、选择性较好(表 3);且野生食用菌硒含量是其对应生长土壤硒含量的 10 倍左右,部分达 20 倍左右,如干巴菌(*Thelephora ganbajun* Zang),这是目前云南发现对硒吸附能力最强的微生物;食用菌细胞壁上巯基、氨基等离子基团的存在使生物吸附成为其高效富集硒的最主要原因之一(郑达贤等,1986),但具体吸附原因还有待研究。

众所周知,食用菌本身具有很高的营养、经济价值,本次富硒的发现,可兼具其自身和硒两大优点,因此富硒食用菌具有很大的市场前景。

表 2 云南易门地区铜厂乡及西山村生长的富硒蔬菜及
野生食用菌土壤样测试结果

Table 2 Test results of soil samples of selenium-enriched vegetables and wild edible fungi grown in Tongchang Township and Xishan Village in Yimen area, Yunnan

样品采集地	样品编号	镉(Cd)	汞(Hg)	银(Ag)	硒(Se)	对应生长植物
		(μg/g)				
西山村土壤样	XSCJY-001	0.02	0.38	0.09	0.57	豌豆
	XSCTR-002	0.07	0.15	0.08	0.64	白菜
	XSCTR-003	0.33	0.14	0.09	0.19	苦菜
	XSCTR-004	0.25	0.12	0.07	0.18	油菜
	XSCTR-005	0.25	0.074	0.08	0.16	辣椒
铜厂乡土壤样	TCJY-006	0.09	0.21	0.14	0.65	蒜
	TCFT-007	0.18	0.19	0.40	0.61	茴香
	TCTR-008	0.77	0.42	0.14	0.79	大葱
	TCTR-009	0.68	0.27	0.12	0.61	蒜苗
	TCTR-010	0.31	0.18	0.23	1.23	苦菜
铜厂乡土壤样	YJSTR-06	0.02	0.058	0.04	0.40	青头菌 <i>Russula virescens</i>
	YJSTR-09	0.01	0.159	0.12	0.52	干巴菌 <i>Thelephora ganbajun</i> Zang
西山村土壤样	D8837-1-1	0.22	0.05	0.030	0.38	青头菌 <i>Russula virescens</i>
	D8837-2	0.33	0.032	0.06	0.40	鸡油菌 <i>cantharelluscibarius</i> fr
	D8837-3	0.34	0.05	0.035	0.45	松茸菌 <i>Tricholoma matsutake</i>

表 3 云南易门地区富硒蔬菜及野生食用菌测试结果

Table 3 Test results of selenium-enriched vegetables and Wild edible fungus inYimen area ,Yunnan

样品 采集地	样品编号	砷(As)	汞(Hg)	硒(Se)	镉(Cd)	铬(Cr)	镍(Ni)	蔬菜或野生食用菌名称
		(μg/g)						
西山村蔬菜样	XSCSC-001	0.45	0.005	0.012	0.39	0.41	3.16	豌豆
	XSCSC-002	0.30	0.048	0.006	0.68	1.34	2.11	白菜
	XSCSC-003	0.41	0.006	0.013	0.33	0.07	2.13	苦菜
	XSCSC-004	0.28	0.006	0.009	0.58	0.74	2.19	油菜
	XSCSC-005	0.37	0.005	0.011	0.27	0.55	3.06	辣椒
	XSCSC-006	0.52	0.003	0.010	1.22	0.08	1.47	蒜
铜厂乡蔬菜样	XSCSC-007	0.86	0.003	0.012	0.06	0.79	2.51	茴香
	XSCSC-008	0.95	0.004	0.010	0.12	0.86	1.01	大葱
	XSCSC-009	0.94	0.005	0.019	0.08	3.72	2.29	蒜苗
	XSCSC-010	0.35	0.007	0.036	0.30	0.07	1.73	苦菜
	XSCSC-011	0.23	0.003	0.010	0.05	0.07	1.46	豌豆
	XSCSC-012	0.26	0.004	0.016	0.10	0.55	0.99	大白菜
食用菌样 西山村野生	D8836-1-1	0.50	0.91	0.80	0.39	2.58	0.64	黄牛肝菌 <i>Boletus edulis</i>
	D8836-1-2	1.05	0.60	1.53	0.31	4.30	2.86	黄牛肝菌 <i>Boletus edulis</i>
	D8836-2-1	2.11	0.93	1.68	1.54	2.57	1.70	青头菌 <i>Russula virescens</i>
	D8836-2-2	1.73	0.94	0.50	0.87	3.87	1.26	青头菌 <i>Russula virescens</i>
食用菌样 铜厂乡野生	D8836-2-3	0.96	1.91	0.05	1.05	5.18	1.55	青头菌 <i>Russula virescens</i>
	D8836-6-4	1.16	0.04	6.35	2.25	2.65	1.44	干巴菌 <i>Thelephora ganbajun</i> Zang
	D8837-1-3	0.53	0.22	0.36	2.61	1.35	0.65	松茸菌 <i>Tricholoma matsutake</i>
	D8840-10-2	1.01	0.15	0.95	0.36	4.26	2.77	松茸菌 <i>Tricholoma matsutake</i>

4.2 易门地区富硒食用蔬菜

由湖北省地质实验测试中心及国土资源部昆明矿产资源监督检测中心通过对富硒土壤种植的蔬菜进行随机硒含量分析,蔬菜硒含量 0.006 ~ 0.036 μg/g,表明蔬菜均为高富硒蔬菜,其中苦菜硒含量最高达 0.036 μg/g(赵晗等,2018;王锐等,2018),为易门地区发展富硒农作物提供有利支撑;择代表性样品分析结果见表 3。

5 结论

(1)通过系统的路线追索及岩石地球化学剖面测制,查明了古元古界西山村组及寒武系筇竹寺组为富硒地层,古元古界西山村组为区内主要的富硒母源,富硒土壤面积约 400 km²,且圈定了一处富硒有机化肥产地,为易门地区划定永久基本农田、发展特色农业提供服务;为开发利用云南富硒土壤提供重要资料。

(2)查明了易门地区富硒土壤中硒元素在表层土壤中均大于深层土壤,而深层土壤硒含量则大于母岩硒含量,不同的基岩岩性硒含量表现出炭质板岩大于泥质板岩大于粉砂质板岩大于白云岩,与有机质、炭质、黏土质、泥质呈正相关性,且与稀土含量也呈正相关性,初步认为硒可能以离子吸附形式存

在。

(3)查明了易门地区富硒土壤种植的蔬菜及野生食用菌(微生物)均为高富硒产品,且蔬菜中以苦菜为最富硒,野生食用菌中以干巴菌(*Thelephora ganbajun* Zang)为最富硒,为易门地区特色农业种植指明方向。

致谢:矿化数据及 X 衍射得到了国土资源部昆明矿产资源监督检测中心乐智广主任及湖北省地质实验测试中心朱丹工程师、潘诗洋工程师的帮助。野外得到云南省地质调查院王小虎高工、杨功主任、杨爱平副主任、肖高强高工及易门县县政府、自然资源局、农业局领导的支持,审稿人提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢。

注 释 / Notes

- ① 云南省地质调查院. 2012. 1 : 25 万昆明—玉溪多目标区域地球化学调查地质调查报告.
- ② 云南省地质调查院. 2018. 云南省区域地质志(第二版,修测)地质调查报告.
- ③ 云南省地质调查院. 2018. 云南 1 : 5 万二街幅、易门县幅、鸣矣河幅、上浦贝幅区域地质调查报告.
- ④ 云南省地质调查院. 2016. 云南乌蒙山区 1 : 5 万龙树街幅、塘房幅、昭通县幅、鲁甸县幅区域地质调查报告.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese

with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “*” is in Chinese without English abstract)

高林志,张恒,张传恒,丁孝忠,尹崇玉,武振杰,宋彪. 2018. 滇东昆阳群地层序列的厘定及其在中国地层表的位置. 地质论评, 64(2): 283~298.

李静,刘桂春,刘军平,胡绍斌,曾文涛,孙柏东,张虎,邓仁宏,张志斌,刘发刚,段向东,俞赛赢,王晓峰,赵云江,周坤. 2018. 滇中地区早前寒武纪地质研究新进展. 地质通报, 37(11): 1957~1969.

廖金凤. 2002. 土壤环境中的硒对人和动物健康的影响. 广东微量元素科学, 9(3): 20~23.

廖启林,黄顺生,范迪富,吴新民,朱伯万,翁志华,华明,陈宝,冯金顺. 2005. 微量元素在湖积物、土壤的垂向分布与稻谷中的分配. 第四纪研究, 25(3): 331~339.

廖启林,华明,冯金顺,金洋,吴新民,颜朝阳,朱伯万. 2007. 苏南局部富硒土壤及其天然富硒茶叶初步研究. 中国地质, 34(2): 347~353.

刘道荣,徐虹,周漪,侯建国,宋元青,翁雍蓉. 2019. 浙西常山地区富硒土壤特征及成因分析. 物探与化探, 43(3): 658~666.

刘军平,曾文涛,徐云飞,孙柏东,胡绍斌,刘桂春,宋冬虎,吕勃烨,王晓峰. 2018a. 滇中易门地区约 1.85Ga 凝灰岩的厘定及其地质意义. 地质通报, 37(11): 2055~2062.

刘军平,曾文涛,徐云飞,胡绍斌,孙柏东,宋冬虎,吕勃烨,王伟. 2018b. 滇中峨山地区中元古界昆阳群黑山头组火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 37(11): 2063~2070.

刘军平,李静,孙柏东,胡绍斌,曾文涛,刘发刚,孙志明,丛峰,徐云飞. 2018c. 滇中易门地区发现化石新物种. 沉积与特提斯地质, 38(1): 37~40.

刘军平,李静,王伟,孙柏东,曾文涛,宋冬虎,关学卿,吕勃烨,郝学锋,孙鹏. 2019. 滇中易门地区早前寒武纪地层化石的发现及其意义. 沉积与特提斯地质, 39(4): 57~65.

刘军平,孙柏东,王晓峰,刘伟,马进华,关学卿,宋冬虎,吕勃烨. 2020a. 滇中禄丰地区中元古代早期球颗玄武岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其大地构造意义. 地质论评, 66(1): 35~51.

刘军平,李静,王根厚,孙柏东,胡绍斌,俞赛赢,王小虎,宋冬虎. 2020b. 扬子板块西南缘基性侵入岩锆石定年及地球化学特征——Columbia 超级大陆裂解的响应. 地质论评, 66(2): 350~364.

刘书畅,马布平,周忠发,杨林雷,李荣春. 2018. 富硒食用菌的研究进展. 食药两用菌, 26(2): 74~78.

罗程,陈梁凯,王晓倩,汪强,刘烈刚. 2017. 硒与疾病的流行病学研究及展望. 生物技术进展, 7(5): 493~500.

雒昆利,潘云唐,王五一. 2001. 南秦岭早古生代地层含硒量及硒的分布规律. 地质论评, 47(2): 211~217.

瞿建国,徐伯兴,龚书椿. 1998. 上海不同地区土壤中硒的形态分布及其有效性研究. 土壤学报, 35(3): 398~403.

王锐,余涛,杨忠芳,侯青叶,曾庆良,马宏宏. 2018. 富硒土壤硒生物有效性及影响因素研究. 长江流域资源与环境, 27(7): 1647~1654.

王世纪,吴晓勇,刘军保. 2004. 浙北地区土壤硒元素特征及其生态环境效应评价. 中国地质, 31(增刊): 118~125.

吴俊. 2018. 福建省寿宁县富硒土壤地球化学特征. 物探与化探, 42(2): 386~391.

谢薇,杨耀栋,侯佳渝,李国成,营桂芹. 2019. 天津市蓟州区富硒土壤成因与土壤硒来源研究. 物探与化探, 43(6): 1373~1381.

杨良策,李明龙,杨廷安,曹文胜. 2015. 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. 资源环境与工程, 29(6): 825~829.

张艳玲,潘根兴,李正文,陈金. 2002. 土壤—植物系统中硒的迁移转

化及低硒地区食物链中硒的调节. 土壤与环境, 11(4): 388~391.

赵晗,蔡超. 2018. 恩施地区玉米硒的生物可给性及其健康风险评估. 江苏农业科学, 46(4): 228~230.

郑达贤,李日邦,谭见安. 1986. 土壤—植物系统硒传输的研究. 地球科学, 6(1): 22~33.

Ajwa H A, Banuelos G S, Mayland H F. 1998. Selenium uptake by plants from soils amended with inorganic and organic materials. Journal of Environmental Quality, 27(5): 1218~1227.

Gao Linzhi, Zhang Heng, Zhan Chuanheng, Din Xiaozhong, Yin Chongyu, Wu Zhengjie, Song Biao. 2018. Collate and stipulate the sequences of the Mesoproterozoic Kunyang Group in eastern Yunnan and its position in stratigraphic column of China. Geological Review, 64(2): 283~298.

Li Jing, Liu Guichun, Liu Junping, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Sun Baidong, Zhang Hu, Deng Renhong, Zhang Zhibin, Liu Fagang, Duan Xiangdong, Yu Saiying, Wang Xiaofeng, Zhao Yunjiang, Zhou Kun. 2018. New progress in the study of early Pre-Cambrian geology of central Yunnan Province. Geological Bulletin of China, 37(11): 1957~1969.

Liao Jifeng. 2002. Effect of selenium in soil on health of human beings and animals. Guangdong Trace Elements Science, 9(3): 20~23.

Liao Qilin, Huang Shunsheng, Fan Difu, Wu Xinmin, Zhu Bowan, Weng Zhihua, Hua Ming, Chen Bao, Feng Jinshun. 2005. Vertical distribution in lake sediments and soils and partition within paddy for relevant trace elements; Preliminary testing part results from ecogeochemical survey in Jiangsu. Quaternary Sciences, 25(3): 331~339.

Liao Qilin, Hua Ming, Feng Jinshun, Jin Yang, Wu Xinmin, Yan Chaoyang, Zhu Bowan. 2007. Natural Se-rich tea in local Se-rich soils in southern Jiangsu. Geology in China, 34(2): 347~353.

Liu Daorong, Xu Hong, Zhou Yi, Hou Jianguo, Song Yuanqing, Weng Yongrong. 2019. Characteristics and genetic analysis of selenium-rich soil in Changshan County, western Zhejiang Province. Geophysical and Geochemical Exploration, 43(3): 658~666.

Liu Junping, Zeng Wentao, Xu Yunfei, Sun Baidong, Hu Shaobin, Liu Guichun, Song Donghu, Lu Boye, Wang Xiaofeng. 2018a. The definition and geological significance of tuffs about 1.85 Ga in Yimen area, central Yunnan Province. Geological Bulletin of China, 37(11): 2055~2062.

Liu Junping, Zeng Wentao, Xu Yunfei, Hu Shaobin, Sun Baidong, Song Donghu, Lu Boye, Wang Wei. 2018b. U-Pb dating of zircons of the volcanic rocks from Heishantou Formation of Mesoproterozoic Kunyang Group in Eshan County, central Yunnan Province, and its geological significance. Geological Bulletin of China, 37(11): 2063~2070.

Liu Junping, Li Jing, Sun Baidong, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Liu Fagang, Sun Zhiming, Cong Feng, Xu Yunfei. 2018c. The discovery of new fossil species in the Yimen region, central Yunnan. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 38(1): 37~40.

Liu Junping, Li Jing, Wang Wei, Sun Baidong, Zeng Wentao, Song Donghu, Guan Xueqing, Lu Boye, Hao Xuefeng, Sun Peng. 2019. The discovery and significance of the fossils from the Early Precambrian strata in the Yimen region, central Yunnan. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 39(4): 57~65.

Liu Junping, Sun Baidong, Wang Xiaofeng, Liu Wei, Ma Jinhua, Guan Xueqing, Song Donghu, Lu Boye. 2020a. The zircon U-Pb age, geochemical characteristics and tectonic significance of the spherical

basalt in the early Mesoproterozoic in Lufeng area central Yunnan. Geological Review, 66(1): 35~51.

Liu Junping, Li Jing, Wang Genhou, Sun Baidong, Hu Shaobin, Yu Saiying, Wang Xiaohu, Song Donghu. 2020b&. Geochemistry and U-Pb age of zircons of mafic intrusion in the southwestern margin of the Yangtze plate: Response to breakup of the Columbia supercontinent. Geological Review, 66(2): 350~364.

Liu Shuchang, Ma Buping, Zhou Zhongfa, Yang Linlei, Li Rongchun. 2018&. Research progress of selenium-enriched edible mushrooms. Edible and Medicinal Mushrooms, 26(2): 74~78.

Luo Cheng, Chen Liangkai, Wang Xiaoqian, Wang Qiang, Liu Liegang. 2017&. Selenium and disease: Epidemiologic studies and perspectives. Current Biotechnology, 7(5): 493~500.

Luo Kunli, Pan Yuntang, Wang Wuyi. 2001&. Selenium Content and Distribution Pattern in the Palaeozoic strata in the Southern Qinling Mountains. Geological Review, 47(2): 211~217.

Qu Jianguo, Xu Boxing, Gong Shuchun. 1998&. Study on speciation distribution and availability of selenium in different soils of Shanghai. Acta Pedologica Sinica, 35(3): 398~403.

Rayman M P. 2000. The importance of selenium to human health. The Lancet, 356(9225): 233~241.

Sun Baidong, Liu Junping, Wang Xiaohu, Dao Yan, Xu Guixiang, Cui Xiaozhuang, Guana Xueqing, Wang Wei, Song Donghu. 2019. Geochemical characteristics and genetic type of a lithium ore (mineralized) body in central Yunnan Province. China. China Geology, 2(3): 287~300.

Wang Rui, Yu Tao, Yang Zhongfang, Hou Qingye, Zeng Qingliang, Ma Honghong. 2018&. Bioavailability of soil selenium and its influencing factors in selenium-enriched soil. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 27(7): 1647~1654.

Wang Shiji, Wu Xiaoyong, Liu Junbao. 2004. Characteristics of elemental selenium in soils and evaluation of eco-environmental effects in northern Zhejiang. Geology in China, 31(Supp.): 118~125.

Wu Jun. 2018&. Geochemical characteristics of selenium-rich soil in Shouning County of Fujian Province. Geophysical & Geochemical Exploration, 42(2): 386~391.

Xie Wei, Yang Yaodong, Hou Jiayu, Li Guocheng, Tong Guiqin. 2019&. Studies on causes and influential factors of selenium-enriched soils in Jizhou district of Tianjin. Geophysical and Geochemical Exploration, 43(6): 1373~1381.

Yang Liangece, Li Minglong, Yang Tingan, Cao Wensheng. 2015&. Study on distribution characteristics of selenium content of surface soil and its influencing factors in Enshi City, Hubei Province. Resources Environment and Engineering, 29(6): 825~829.

Zhang Yanling, Pan Genxing, Li Wenwen, Chen Jin. 2002&. Translation of selenium in the system of soil—plant and it's regulation in food-chain. Soil and Environmental Sciences, 11(4): 388~391.

Zhao Yan, Cai Chao. 2018&. Bioavailability and health risk assessment of selenium in crops in Enshi area. Jiangsu Agricultural Sciences, 46(4): 228~230.

Zheng Daxian, Li Ribang, Tan Jianan. 1986&. Study on transport of selenium in soil—plant system. Earth Sciences, 6(1): 22~33.

Material sources of selenium-rich soil and its natural selenium-rich wild bacteria in Yimen area, central Yunnan

LIU Junping^{1,2)}, LI Jing^{1,2)}, DUAN Xiangdong^{2,3)}, CAO Xiaomin^{1,2)}, HU Shaobin^{1,2)}, LI Kaibi^{2,5)}, WANG Lu^{1,2)}, GUAN Xueqing¹⁾, ZENG Wentao^{2,4)}, LIU Fagang^{2,5)}, ZHANG Hu^{1,2)}, YU Saiying^{1,2)}

1) Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming, 650216;

2) MLR Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, Kunming, 650051;

3) Yunnan Institute of Land and Resources Planning and Design, Kunming, 650216;

4) Yunnan Institute of Geo-Environment Monitoring, Kunming, 650216

5) Yunnan Bureau of Geological Survey, Kunming, 650051

Objectives: The distribution of selenium in different regions and different layers of soil is uneven. The development of different natural selenium-enriched foods based on local selenium-enriched soil clues is an important direction for the development of local characteristic agricultural research. According to the data of 1 : 250000 target geochemical surveys in Yunnan Province and 1 : 50000 four regional geological surveys in Yunnan, the surface soil in Yunnan Province is relatively lean in selenium, but in the Yimen Pujia Village—Tongchang township—Xishan Village—Shizishan—Lufeng tuguan town, There are about 400 km² of selenium- enriched soil in the local low mountain .

Results: The average selenium content of soil is 0.54 μg/g, and the selenium content of local soil is 136 μg/g. The profiles show that the selenium element exhibits the phenomenon of surface aggregation. Selenium is larger than the deep soil in the topsoil, while the selenium content in the deep soil is larger than that in the parent rock.

Conclusions: The selenite content of different bedrocks shows carbonaceous slate. It is larger than argillaceous slate and larger than silty slate, which is positively correlated with carbonaceous, clayey and muddy. According to this clue, a large number of natural selenium-enriched wild mushrooms and vegetables were newly discovered in the

local area. Preliminary studies have shown that the formation of local selenium-enriched soil is related to the specific geological background, while the soil environment for producing natural selenium-enriched wild mushrooms and vegetables is relatively superior.

Keywords: selenium; selenium-enriched soil; natural selenium-enriched wild bacteria; regional geological survey; Yimen area of central Yunnan province

Acknowledgements: This paper is the results of regional geological survey of 1 : 50000 Samaki, Yinmin, Guicheng and Shugu in Yunnan Province(No. D201905), 1 : 50000 Erjie, Yimen, Mingyihe and Shangpubei in Yunnan Province(No. DD20160017), regional geological survey area summary and service product development in Yunnan Province (No. 121201102000150012-02).

First author: LIU Junping, male, born in 1983, senior engineer, master’s degree, mainly engaged in regional geological and structural geological investigation and research; Email: 271090834@qq.com

Manuscript received on: 2019-10-31; Accepted on: 2020-02-17; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2020. 03. 018

GEOLOGICAL REVIEW

Vol. 66 No. 3 2020

CONTENTS

Scholarly Discussion

On dynamic processes of the shallow-mantle system YANG Wencai(531)

Discussion on the Mesoproterozoic and Neoproterozoic major tectonic events in marginal area of the Yangtze Block
..... CHEN Jianshu, DAI Yaran,TANG Feng, PENG Chenglong, ZHANG Jiawei, ZHU Heshu, (554)
..... CHEN Xing, WANG Wenming , GONG Guiyuan

The logical fallacies on identification of the “glacial relics” in Mengshan Mountain——The paper “types, characteristics and dating data of glacial relics in Mount Mengshan Geopark, Shandong Province” as an example
..... WANG Nai’ ang, YU Xinran, ZHUANG Lichao,ZHANG Wenjia, GUO Ziping(568)

Study on biostratigraphic and magnetostratigraphic characteristics near the Cretaceous—Paleogene boundary in the Drill PYZK01 in the Pingyi Basin, Shandong Province
..... CHEN Jun, DU Shengxian, LIU Fengchen, CHEN Cheng, SONG Xiangsuo, (589)
..... YANG Bin, GAO Liming, LIANG Jipo, WU Kanglin, TIAN Xinglei

Characteristics and genesis of sucrosic dolomite in Middle Permian Chihsia Formation,Northwest Sichuan Basin;A case study from Shangsi section
..... LI Minglong,TAN Xiucheng, SU Chengpeng, LU Feifan, ZHANG Benjian, PAN Zhengyi, XIAO Di (609)

Evaporite deposits in the Qaidam Basin and their response to Quaternary glacial climates since marine oxygen isotope stage 6 (MIS6)
..... CHEN Andong, ZHENG Mianping, SONG Gao, WANG Xuefeng, LI Hongpu, HAN Guang, YUAN Wenhui (623)

Geochemical characteristics and tectonic environment of metabasalts in Guanzizhen, Tianshui, Western Qinling
..... CAO Yusen,HUANG Shiqi, ZHOU Weijian, LU Yang, LIU Zhiqiang, HUANG Dezhi(636)

U-Pb dating of zircons from Xiayuan and Hongyegang intrusives in Dikou area and their geological significance
..... LIU Huan, ZHAO Xilin, GE Yanpeng, ZHANG Jinguo, JIANG Jian, QIN Xianzhu (650)

LA-ICP-MS zircon U-Pb ages,geochemical characteristics of the monzogranites in Zalute Banner,Inner Mongolia, and their geological significances
..... LI Tengda,WANG Jingcao, YU Xiaofei,LI Yongsheng,GONG Fanying,LI Xuefeng(663)

Trace elements in zircon: constrain on magmatic differentiation——A case study on Triassic Wangxianling granitoid in southern Hunan Province
..... XU Man, DUAN Xiaoxia, CHEN Bin, WANG Zhiqiang, CHEN Yanjiao, LI Xunfei (684)

Magmatic consanguinity of the Late Triassic granites and rhyolites in eastern Qimantage: Constraints from geochronology, geochemistry and Nd-Pb isotopes
..... XU Bo, LI Yulong, SHI Lianchang, ZHANG Huiqing, MA Deqing, REN Xin, WANG Chengyong (697)