

医学地质遗迹概念和评价体系的建立

李宏博^{1,2}, 吕林素^{1,2}

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质博物馆, 北京 100034)

摘要:在分析和研究医学地质学和地质遗迹发展现状的基础上,首次提出了医学地质遗迹的概念,并对其进行了厘定。我国医学地质遗迹主要分布在“东北地区-太行山-黄土高原-武陵山-四川盆地-云贵高原”一线,地形特征复杂,大型断裂构造带集中。依据致病元素将医学地质遗迹分为 5 类:硒缺乏(克山病、大骨节病)医学地质遗迹、硒中毒医学地质遗迹、碘缺乏(地方性甲状腺肿)医学地质遗迹、氟中毒医学地质遗迹和地球化学元素致癌医学地质遗迹。以自然地质属性和科研价值为主要评价因子,建立了医学地质遗迹评价体系,并以湖北恩施硒中毒地质遗迹为实例进行评价,结果表明该评价体系具有实用性和可操作性。

关键词:医学地质遗迹;医学地质学;评价体系;评价因子;湖北恩施

中图分类号:P936;R188

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2009)06-0680-11

The establishment of the concept and assessment system of medical geoh heritage

LI Hong-bo^{1,2} and LÜ Lin-su^{1,2}

(1. College of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Geological Museum of China, Beijing 100034, China)

Abstract: Based on an analysis and study of the development of medical geology and geoh heritage, the authors put forward for the first time the concept of medical geoh heritage. Medical geoh heritages in China are mainly distributed along the zone from Northeast China through Taihang Mountain, Loess plateau, Wuling Mountain and Sichuan basin to Yunnan-Guizhou plateau, with complex topographic characteristics and fault tectonic belts. Medical geoh heritages can be classified into five types on the basis of pathogenic elements, namely, selenium deficiency (Keshan disease, Kaschin-beck disease), selenosis, iodine deficiency disorders (endemic goiter), endemic fluorosis and carcinogenic geochemical elements. With natural geological attributes and scientific values as the main evaluation factors, the authors built the assessment system of medical geoh heritage. The assessment of the selenosis medical geoh heritage in Enshi indicates that this assessment system is practicable and operable.

Key words: medical geoh heritage; medical geology; assessment system; evaluation factors; Enshi, Hubei

地质遗迹是指在地球演化的漫长地质历史时期,由地球内外动力的地质作用,形成发展并遗留下来的不可再生的各种地质体的总和(国土资源部地质环境司,2006),包括地质公园、自然文化遗产、矿山公园和自然保护区等。近年来,国际社会和各国政府纷纷意识到地质遗迹在科学研究、科普教育、生态环境保护 and 经济发展等方面都发挥着重要的作用,逐渐加大了对地质遗迹保护和研究的力度。2002年1月,联合国教科文组织提出了建立世界地质公园网络计划,其中涉及了14个地质分支学科,2008年,所涉及学科扩展到16个,但至

今未包含环境地质学及医学地质学方面的内容。医学地质学是地质学和医学的交叉学科,是研究自然地质因素(地质材料和过程)与生物(人类和动物)健康之间的关系,是认识和探索环境因素对地方性疾病地理分布影响的学科(Olle *et al.*, 2005)。地方性疾病的发生和流行与特定的地质环境有关,而这种地质环境的形成是各种地质作用的结果。因此,医学地质的研究内容与地质遗迹的定义是契合的,将医学地质纳入到地质遗迹体系中来可以丰富其内涵,拓展其外延,充分体现地质遗迹、地质环境与人类的密切共存关系。

收稿日期:2009-06-10;修订日期:2009-07-16

基金项目:国土资源部国家地质遗迹评价体系研究项目(1211130743002)

作者简介:李宏博(1978-),男,博士,助理研究员,主要从事矿物学、岩石学、矿床学方面的研究,E-mail:li-h-b@sina.com.cn.

建立医学地质遗迹具有重要的科研科普价值和社会实际意义。首先,它的建立将会对地方病防治工作的开展起到有力的促进作用;其次,它的建立将大大推动地质科学应用于与地质环境有关的医学问题的解决,增进地质学者和医学研究人员之间的交流和合作;第三,它的建立有利于地方病知识的科普宣传,使人类与地质环境和谐共存的理念更加深入人心,进而增强人们保护和改善地质环境的意识。但是,到目前为止医学地质遗迹的研究工作尚未开展,其概念尚未建立。本文通过对地质遗迹和医学地质学的发展现状和成果的研究和总结,对医学地质遗迹概念和评价体系的建立做了一些探索性工作,以期起到抛砖引玉的作用。

1 医学地质遗迹的概念和分类

1.1 医学地质遗迹概念的厘定

医学地质遗迹首先要有一个准确、科学、严谨的概念,但至今还没有一个严格的定义。本文基于前人的研究成果对医学地质遗迹做如下定义:医学地质遗迹是在内外动力地质营力作用下,形成、演化并遗留下来的引发生物体(人类和动物)病变的地球化学元素异常的地质环境遗迹。它是地质环境影响和作用于生物健康的实体证据,其承载体是制约着致病元素富集或贫乏的各种地质构造、地形地貌、矿产资源、岩石(成土母质)、土壤以及地质水体等地质单元。它具有不可复原性、有限性、地学性和地域性,是大自然和地质运动的产物和遗迹。

1.2 医学地质遗迹的分类

参照前人对地质遗迹的分类方法,根据致病元素、地理分布范围、地质因素影响程度和与其他地质遗迹的相关性,本文将医学地质遗迹分为5个大类:硒缺乏(克山病、大骨节病)医学地质遗迹、硒中毒医学地质遗迹、碘缺乏(地方性甲状腺肿)医学地质遗迹、氟中毒医学地质遗迹和地球化学元素致癌医学地质遗迹。

1.2.1 硒缺乏(克山病、大骨节病)医学地质遗迹

是指地方病(克山病、大骨节病)与区内低硒自然地质环境有明显相关性的遗迹,区内分布有典型的硒缺乏地质环境单元。

克山病的病变主要表现为严重的心肌变性、坏死和瘢痕。现已证明在我国存在一个低硒的生态区带,与克山病带的分布基本吻合。同时,硒制剂预防克山病也取得了显著效果。

因此,多数人认为环境低硒是克山病的重要致病因素之一(中华人民共和国地方病与环境图集编纂委员会,1989)。

大骨节病的病变表现为四肢关节对称性增粗、变形、屈伸困难和疼痛、四肢肌肉萎缩。调查表明,该病主要分布于低硒环境带。病区土壤、粮食和饮水硒含量都明显偏低,应用亚硒酸钠进行防治取得了较好的功效。因此,低硒地质环境与本病关系密切(中华人民共和国地方病与环境图集编纂委员会,1989)。

1.2.2 硒中毒医学地质遗迹

是指地方性硒中毒与区内地质环境中硒元素的富集有密切相关性的遗迹。硒中毒主要是由于摄入过多的硒造成的。急性硒中毒主要症状是腹痛、呼吸困难和运动失调,慢性硒中毒表现为脱毛、指甲变形和脱落等(邓英等,2005)。

1.2.3 碘缺乏(地方性甲状腺肿)医学地质遗迹

是指地方性甲状腺肿与区内低碘的自然地质环境有明显相关性的遗迹,区内分布有典型的碘缺乏地质环境单元。地方性甲状腺肿的病因基本明确,是由于地质环境缺碘导致的。其病变表现主要为甲状腺肿大,并压迫气管,造成呼吸困难(中华人民共和国地方病与环境图集编纂委员会,1989)。

1.2.4 氟中毒医学地质遗迹

是指地方性氟中毒与区内高氟自然地质环境有关的遗迹。区内具有典型的高氟地质环境。地方性氟中毒的病因已经清楚,主要是由于长期摄入过多的氟造成的。氟骨病的症状主要是肩、肘、膝和腰部大关节屈曲挛缩,四肢肌张力增强,关节活动功能障碍,氟斑牙的症状是牙齿釉质呈白垩状斑点或斑纹,牙齿易碎,甚至过早脱落。

1.2.5 地球化学元素致癌医学地质遗迹

是指区内地质环境中某种元素含量异常,并致使人体癌病变的遗迹。研究表明,可致癌的化学元素多达几十种,致癌性较强的有As、Cd、Co、Cu、Hg、Ni、Pb、Sc、Cs、Mg和Ca等(曾昭华等,2002)。引发的癌症包括胃癌、食管癌、肝癌、宫颈癌、肺癌、大肠癌、白血病、鼻咽癌及乳腺癌等(表1)。

2 医学地质遗迹的地质学背景及分布特征

2.1 医学地质遗迹的地质学背景

地质环境中的地球化学元素通过岩石-土壤(水)-植物(食物)-人体这个链条进入人体,源头元素含量的异常必然会

表1 As、Hg、Pb、Se与癌症死亡率的相关性

Table 1 Correlation between As, Hg, Pb, Se and cancer mortality

	肝癌	肺癌	白血病	胃癌	食管癌	大肠癌	乳腺癌	鼻咽癌	宫颈癌
As		非常显著	显著			非常显著	非常显著		
Hg	非常显著		较显著	显著			显著	非常显著	较显著
Pb				较显著	较显著			非常显著	非常显著
Se	较显著				较显著			非常显著	较显著

注:据曾昭华等(2002)整理。

影响处于链条末端人体中的元素含量的高低,时间一久,就会罹患地方病。因此,以地方病为主题的医学地质遗迹有着深刻的地质学背景,是内外动力地质营力共同作用的结果。

2.1.1 内动力地质作用对医学地质遗迹的约束

地球内动力作用使岩石圈产生了许多构造带,这些构造带多是大型造山带或深大断裂带集中的地方。由于断裂和裂隙的发育,这些地方也是联通地表和地壳深部乃至上地幔的通道。地球深部的岩浆和热液沿此通道进入地球表面的圈层(岩石圈、水圈、大气圈),它们是地球化学元素迁移的载体。因此,地方病的致病元素(如 F、I、Se 和 As 等)在岩石圈中的丰度和分布受构造运动、岩浆演化(部分熔融和分异结晶)、接触交代以及热液作用等内动力地质作用的制约。内动力地质作用是地球化学元素在岩石圈中分布的主导因素,而这些元素在岩石中的分布也是极不均匀的,因此造成了元素的富集或贫乏。地质环境中元素的不平衡就必然影响到生活在其中的人类和动物的健康状况。

此外,成矿作用也影响着地球化学元素的分布。例如铷异常带并不是因为带内岩石本身含铷量过高,而是在构造带内存在高铷金矿床、含煤层以及火山热液沉积物。它们富含了大量的铷,叠加在岩石背景值上造成了铷的地球化学异常。

2.1.2 外动力地质作用对医学地质遗迹的约束

岩石圈的物理或化学风化作用是地球化学元素自然迁移的起点。在风化作用下,基岩不断的崩解,颗粒越来越小,最后成为疏松多孔的散碎体,这就是土壤的母质。因此,从岩石、成土母质到土壤,存在着天然的物质继承关系。岩石的元素含量影响和约束着土壤中元素的含量。岩石中的地球化学元素进入水体主要是通过氧化淋滤作用发生的,大气降水将岩石风化过程中释放出的某些元素以可溶组分的形态带走,一部分进入地表径流水系,一部分渗入地下进入地下水系,进而影响了地表水循环中元素的迁移和富集。土壤和水是生物体赖以生存的物质基础,其中的化学元素异常必然反应到生物体中,从而导致地方病的发生。

2.2 医学地质遗迹的分布特征

医学地质遗迹是某种由地球化学元素缺乏或富集引起的地方性疾病的典型区域,其分布特征和规律必然遵循地方病分布的一般规律。为了将医学地质遗迹的理论研究落到实处,检验评价体系的可操作性,本文选取了 6 个试点,即黑龙江克山县硒缺乏(克山病)医学地质遗迹、四川阿坝州壤塘硒缺乏(大骨节病)医学地质遗迹、山西阳高县地方性氟中毒医学地质遗迹、新疆阿克苏碘缺乏(甲状腺肿)医学地质遗迹、湖北恩施硒中毒医学地质遗迹和内蒙古河套地区砷致癌医学地质遗迹作为医学地质遗迹评价体系的研究对象。

我国典型地方病主要分布在从东北到西南的一条相当宽的区带范围内(图 1)。从中国地形图上看,这个区域大部分位于我国的第二阶梯,即东北的大兴安岭—内蒙古高原—中部的黄土高原、太行山区、秦巴山区和鄂西山区—西南部的喜马拉雅山区、云贵高原和桂西山区。区内海拔 1 000~2

000 m,多山地、岗地、河谷和一些小型盆地或平原,且地质构造背景复杂,大型断裂带集中。该区域内各种地方病区集中、交叠,是地方病易发、流行严重的地区。同时,这个地区的偏远山区交通不便、经济欠发达,人民的生活水平和卫生医疗条件较差,是我国地发病防治的重点地区。因此,我国的医学地质遗迹也主要分布在这个地区。

3 医学地质遗迹评价体系

3.1 医学地质遗迹的评价方法

医学地质遗迹评价体系的建立是以遗迹的自然地质属性和科学研究价值为立足点,强调遗迹内地质体(断裂构造、地形地貌、岩石、矿产资源、土壤、水文以及气候)与地方病的相关性,并兼顾病区防治、遗迹保护情况及组合因素。

医学地质遗迹评价体系由高到低划分为 3 个层次:第 1 层次为权重因子层,该层的因子决定了整个体系评价权重的分配,包括主控因子、一般因子和附属因子;第 2 层次为属性因素层,该层是按照因子所反映遗迹属性和特征的不同侧重来对各个评价项进行归类,包括自然因素、科学因素、其他因素和组合因素;第 3 层次为评价项目层,即体系对遗迹的每一个具体评价项。

3.1.1 评价因子的厘定

主控因子是指最能反映遗迹的自然属性特征,最能体现该遗迹典型性和代表性的因子。一言以蔽之,主控因子是权重最大,能够对医学地质遗迹评价分级起到决定性作用的因子。因此,主控因子在体系中占有较大权重,包括自然因素和科学因素。

一般因子是指相对于主控因子权重较低,但对于医学地质遗迹评价不可或缺的因子,它体现了遗迹在保存完整度、地理位置以及地方病防控等方面的情况,包括其他因素。

附属因子是指反映医学地质遗迹概念外延内容的因子,比如区内有无其他类型地质遗迹,以及相互间的关系等。附属因子包括组合因素。

3.1.2 评价因素的厘定

自然因素是指能够体现医学地质遗迹自然属性的因素。前已述及,医学地质遗迹是内外动力地质作用的结果,因此,它与自然地质活动存在密不可分的联系,它必然保留了许多地质作用的印记。自然因素就是对这些属性和特征的归纳和总结。医学地质遗迹的自然属性包括遗迹内地质构造与地方病的相关性、遗迹内地形地貌与地方病的相关性、遗迹内岩石(成土母质)与地方病的相关性、遗迹内矿产资源与地方病的相关性、遗迹内土壤与地方病的相关性、遗迹内水文地质与地方病的相关性和遗迹内气候环境与地方病的相关性等评价项。

科学因素是指医学地质遗迹在医学地质、地球化学等学科上的科研价值和研究意义,包括典型性和科研价值这两个评价项。

其他因素是指医学地质遗迹在遗迹保护、区位交通以及

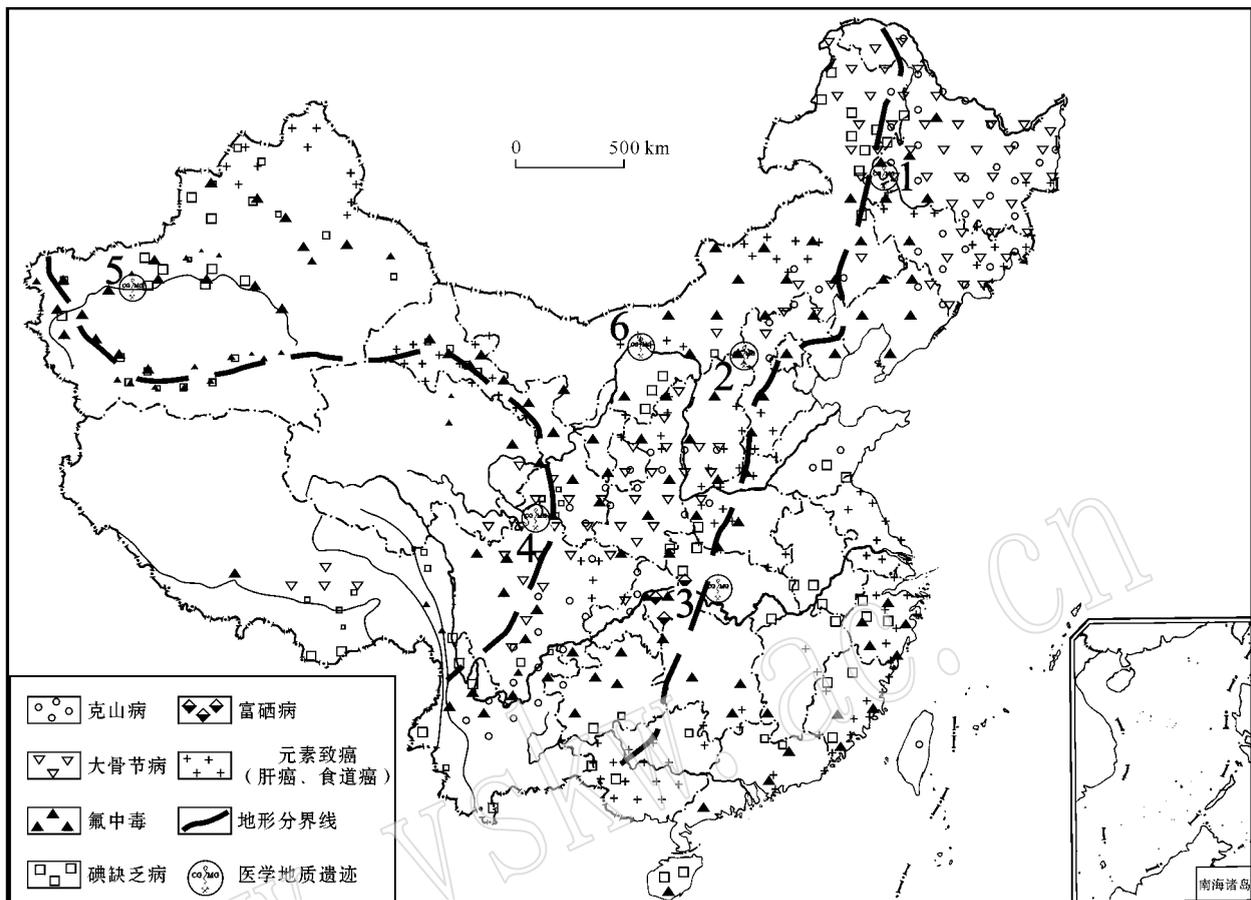


图 1 中国医学地质遗迹及主要地方病分布规律图(据中华人民共和国地方病与环境图集编纂委员会,1989;张光弟等,1994 修改)

Fig. 1 Distribution of medical geoheritages and main endemic diseases in China (after Compilation Committee of The Atlas of Endemic Diseases and Their Environments, 1989; Zhang Guangdi et al., 1994)

- 1—黑龙江克山县硒缺乏(克山病)医学地质遗迹; 2—山西阳高县地方性氟中毒医学地质遗迹; 3—湖北恩施硒中毒医学地质遗迹;
- 4—四川阿坝州壤塘硒缺乏(大骨节病)医学地质遗迹; 5—新疆阿克苏碘缺乏(甲状腺肿)医学地质遗迹; 6—内蒙古河套地区砷致癌医学地质遗迹

1—selenium deficiency (Keshan Disease) medical geoheritage of Keshan County, Heilongjiang Province; 2—endemic fluorosis medical geoheritage of Yanggao County, Shanxi Province; 3—selenosis medical geoheritage of Enshi; 4—selenium deficiency (Kaschin-beck disease) medical geoheritage of Aba, Sichuan Province; 5—iodine deficiency disorders (endemic goiter) medical geoheritage of Akesu, Xinjiang; 6—carcinogenic geochemical element (As) medical geoheritage of Hetao, Inner Mongolia

地方病防治等方面的情况,包括遗迹保护情况、区位交通、预防常识普及和防治情况等评价项。

组合因素是指医学地质遗迹区内有无其他类型地质遗迹以及相互间的关系,包括是否与其他地质遗迹共存等评价项。

3.2 医学地质遗迹评价项的选取

评价项是对医学地质遗迹的具体评价点,因此,所选取的评价项必须反映遗迹的真实情况。下面逐项对各个评价项做出说明。

3.2.1 典型性

典型性是指全国范围内该遗迹在同类遗迹中的代表性。该因子采用了量化的评价方法,以一系列国家标准为依据(如 GB 17018-1997 地方性氟中毒病区划分标准),通过遗迹中

地质环境致病元素的含量和病区发(患)病率来反映其典型性。

3.2.2 科研价值

医学地质遗迹往往是某种致病元素富集或贫乏的典型地区,区内的自然地质环境具有医学地质学和地球化学方面的重要研究价值,成为国内外学界研究的热点地区。科研价值评价项就是对遗迹在相关学科领域内的科学研究进展的程度,以及所取得的科研成果进行定性结合定量的评价。

3.2.3 医学地质遗迹内地质构造与地方病的相关性

如前所述,地质构造带对元素的地球化学运动有约束作用。元素的地球化学异常往往代表了地质构造作用的形迹,它的形态、走向、组合和规模与某些地质构造带基本一致,在这样的活动带内出现生物和人体的某些生理异常情况是必然的。这也正说明在构造带内流行的地方病可能正是受这种构

造作用的控制。比如,碘缺乏病(大骨节病)主要流行于大的造山带两侧(世界上主要集中于几大著名山脉,如喜马拉雅

山、阿尔卑斯山和安第斯山等);克山病病带主要集中在大兴安岭-太行山-武陵山-云贵高原构造带上(图2)。

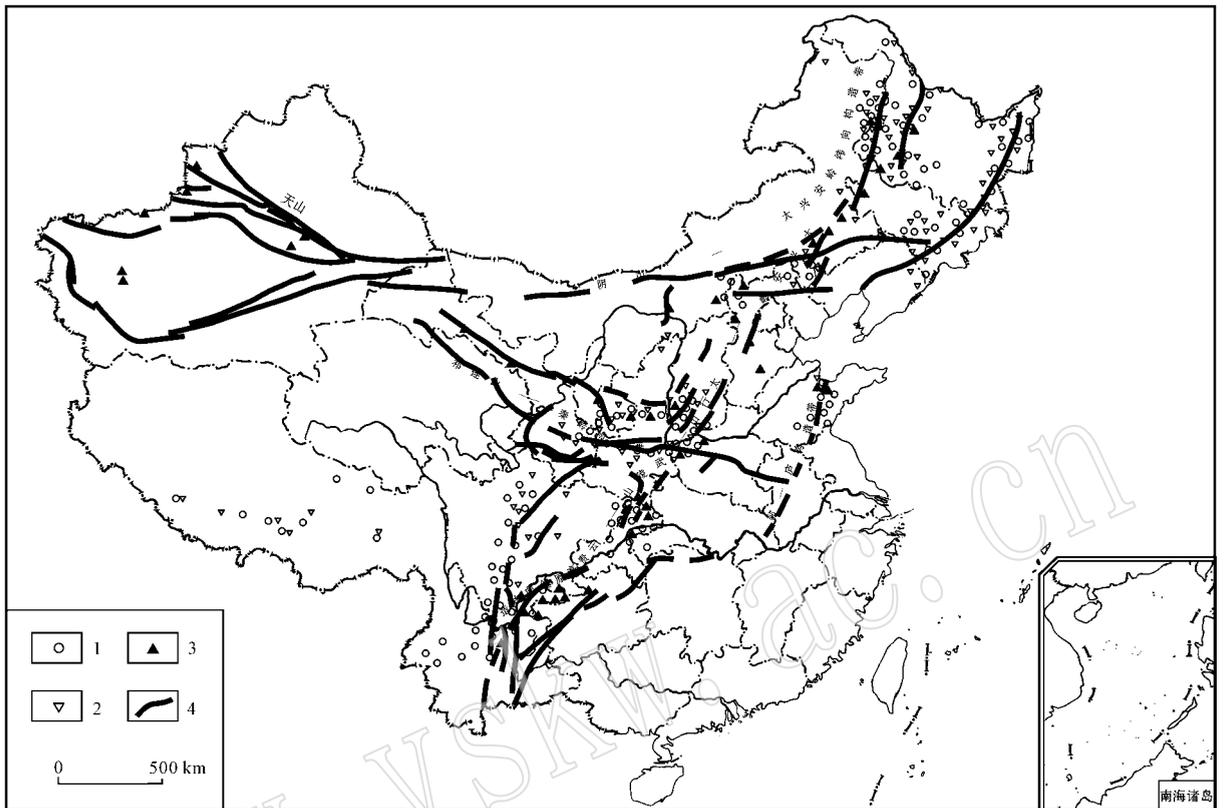


图2 中国地质构造带与地方病分布示意图(据罗卫等,2004修改)

Fig. 2 Sketch map showing the distribution of geological structures and endemic diseases in China(after Lou *et al.*, 2004)

1—克山病区;2—大骨节病区;3—氟中毒病区;4—构造带

1—Keshan disease area;2—Kaschin-beck disease area;3—fluorosis area;4—tectonic zone

3.2.4 医学地质遗迹内地形地貌与地方病的相关性

地形地貌对地球表层的化学物质组成会产生重要的影响,对局部地区元素的迁移、聚集、腐殖质的形成、堆积和流失都有约束作用。许多地方病的分布往往与地貌、微地貌密切相关。山地分水岭、岗地等高峻地形有利于元素的淋滤,引起F、I、Se、Ca、Fe、Mn、Cu和Zn等元素的地球化学异常,从而导致碘缺乏病、克山病和大骨节病等地方病的发生与流行。平原、封闭的小型盆地和谷地有利于元素的富集与腐殖质的堆积,各种生命元素趋于富集,往往导致氟中毒、硒中毒等地方病的发生。因此,地方病的分布与宏观地貌存在着必然的相关性。

3.2.5 医学地质遗迹内岩石(成土母质)与地方病的相关性

生命活动带内出现生物和人体的某些生理异常情况是必然的。这也正是因为岩石是土壤发育的母质,它直接影响着土壤中生命化学元素的含量。另外,岩石也影响着地表水和地下水地球化学元素的多寡。因此,岩石(成土母质)与地方病的发生和流行有着天然的联系,是医学地质遗迹重要的组成部分。以陕西省为例,大骨节病的重病区大多位于低硒岩石环境,即岩石和成土母质硒含量低于0.1 mg/kg甚至0.05 mg/kg的地区(图3),这反映了岩石和成土母质对地方

病的约束作用。

3.2.6 医学地质遗迹内矿产资源与地方病的相关性

某些地球化学元素往往富集在矿产资源中。这些矿床又多出现在断裂发育的构造活动带、接触交代带或沉积环境中,容易受到淋滤风化,其中的元素进入了地表水、土壤以及大气等生命环境系统中,进而影响人类的生命健康。例如,湖北恩施地区盛产石煤,石煤中富含硒资源,硒含量均值为143.9 mg/kg(牟素华等,2007)。出露浅的高硒石煤容易风化释放出硒,使附近的土壤硒含量增高,进而导致硒中毒的发生和流行。恩施地区的硒中毒发病村多处石煤带上(图4)。

3.2.7 医学地质遗迹内土壤与地方病的相关性

土壤是医学地质遗迹自然地质环境中重要的组成,是医学地质遗迹自然属性的重要体现之一,它对致病元素的约束主要表现在3个方面。

首先,土壤是人类生产生活的基石。人类所食用的农作物都是从土壤中生长出来的,农作物生长所需要的矿物质、养分和水分都是从土壤中汲取的。因此,土壤中地球化学元素含量的多寡将对农作物中元素的含量产生影响,也必然会对地方病的发生产生影响。

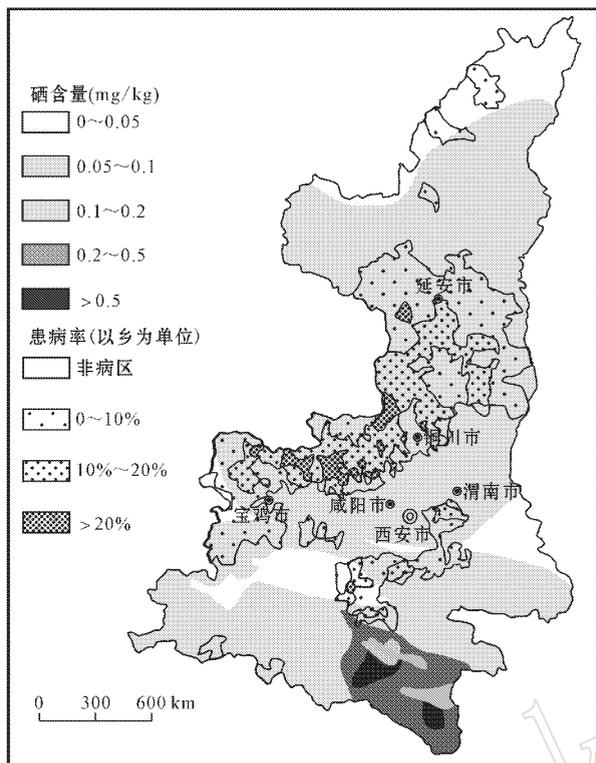


图 3 陕西省岩石和成土母质硒含量与大骨节病患病率相关性对比图(据中华人民共和国地方病与环境图集编纂委员会,1989 修改)

Fig. 3 Correlation between selenium content of rock-forming and soil-forming parent materials and Kashin-beck disease areas in Shannxi Province(after Compilation Committee of The Atlas of Endemic Diseases and Their Environments ,1989)

其次,土壤对人体健康的影响不仅仅是通过农作物一种途径。以土壤为起点的地球化学元素循环是一种立体模式,而土壤处于中心和枢纽的位置(图 5)。土壤中的元素经淋滤作用下渗入地下水,通过饮用水源进入人体。此外,土壤是一种表层生态系统,处于暴露状态,其中的某些元素可直接释放进入大气,通过呼吸系统进入人体,如氡气。

第三,通过对地方病病区的调查发现,区内的土壤类型存在一定的规律性。比如,克山病比较集中地分布在富含腐殖质、水分缺氧,呈还原条件的山地棕灰壤带、灰色森林土带、草甸黑土带、沼泽土带及黑土带。

3.2.8 医学地质遗迹内水文地质与地方病的相关性

人体所需的生命元素相当一部分来自于饮水,因此,饮用水源中某些元素的余缺会导致地方病的发生与流行。医学地质遗迹区内的水文地质条件,即地下水的类型、埋藏条件、径流条件和含水层岩性等,直接影响着饮水中与地方病相关元素的含量。当饮水中某些元素(如 F、I、Se、Cu、Zn、Sr、Fe、Mn、Ca 和 Mg 等)含量异常时,就会导致饮水型地方病的发生。研究证实,硒缺乏病(克山病和大骨节病)、碘缺乏病和氟中毒等地方病多分布于水文地质地球化学异常单元内,其病因多

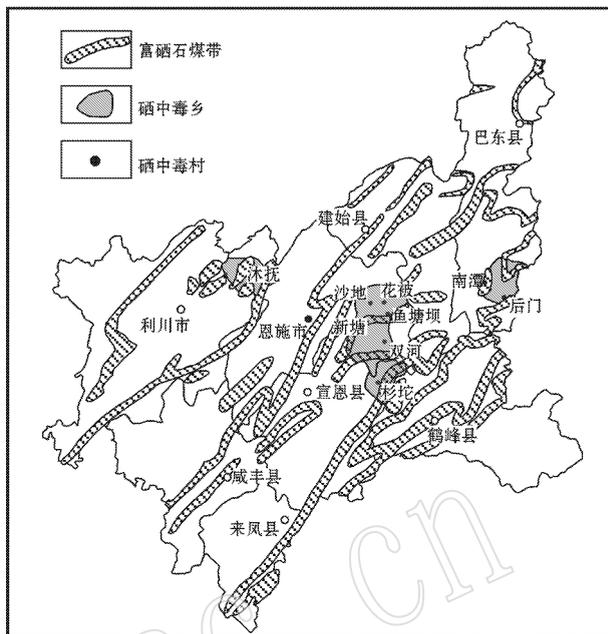


图 4 恩施地区富硒石煤与硒中毒发病区分布图(据李家熙等 2000,郑宝山等,1993 修改)

Fig. 4 Distribution of selenium-enriched stone coals and selenosis disease areas in Ensh(after Li Jiaksi et al. ,2000 ; Zheng Baoshan et al. ,1993)

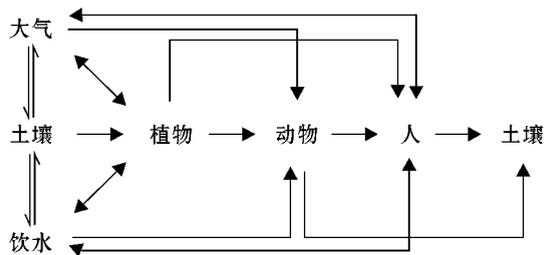


图 5 地球化学元素在土壤生态系统中的循环图解(据李家熙等 2000 修改)

Fig. 5 Map of cycling of geochemical elements(after Li Jiaksi et al. ,2000)

为饮水型。

水文地质对地方病的控制主要表现在对致病元素的分配和再分配上。一个水系流域往往会形成水文地球化学淋滤、淋滤迁移与元素富集 3 个带。淋滤带多出现致病元素的地球化学负异常,而在元素富集带则会形成生命元素的地球化学正异常。这两个带多是地方病区。南疆地区,前山带(淋滤带)居民区的饮水中碘的含量普遍低于 $3 \mu\text{g/L}$,而下游平原地区(元素富集带)的地下水含氟普遍高于 $1.1 \mu\text{g/L}$,从而导致了前山带多发碘缺乏病而平原绿洲带多发氟中毒(蒋歧鸣等,1993)。

3.2.9 医学地质遗迹内气候环境与地方病的相关性

气候与地方病有密切的关系,主要表现在降水和气温两

个方面。地方病的主要病带是暖温带干旱的大陆性气候,降水多集中在 6~8 月。雨季来临时,水量充沛,山地的岩石、矿物风化形成的风化物受降水径流淋溶,地球化学元素被携带流向山麓、平原区,造成元素的富集和贫乏,从而引发各种地方病。气温对地方病的影响表现在高温少雨、蒸发量大的干旱性气候地区,强烈的蒸发使山区径流带来的致病元素随水盐、土盐浓缩而相对富集,造成各种元素中毒型地方病的发生。

3.2.10 遗迹保护情况

医学地质遗迹是由区内与地方病有关的各种地质体构成的,这些地质体会遭受自然和人为的破坏。遗迹保护情况评价项就是对遗迹被保存的完整程度进行评价。如果遗迹保存较为完整和系统,则会有利于科学研究和开发利用,因此,将被赋予较高的分值。

3.2.11 防治情况

该评价项是对区内地方病的预防和治疗情况进行评价。该评价项主要是衡量病区是否采取了针对性的预防和治疗措施,地方病是否得到有效地控制。如果预防和治疗情况较好,将被赋予较高的分值。

3.2.12 区位交通

该评价项对医学地质遗迹所处地理位置以及交通条件进行定性结合定量地评价。一般认为,较好的地理位置和交通条件有利于发挥遗迹在科学研究方面的作用,同时有利于开发利用,会赋予较高的分值。

3.2.13 是否与其他地质遗迹共存

该评价项对应了医学地质遗迹的组合评价因素,即在同一地区是否还存在同类或其他类型的地质遗迹,以及和它们之间的关系。如果没有,则赋分值为零。如果存在,则从距离远近、是否有互补关系等方面进行评价。

3.3 医学地质遗迹评价体系的构建

根据对评价因子、评价因素和评价项的厘定和选取,本文建立了医学地质遗迹的评价体系:

根据评价项不同的权重,分别赋予了相应的分值,体系总评分为 100 分(表 2)。本体系中,按照医学地质遗迹分类将“典型性”评价项细分为 5 个小项,它们之间是选择关系。在对具体遗迹评价时,按照其所属分类项进行评分即可,无须全部填写。其中,“硒缺乏(克山病、大骨节病)医学地质遗迹典型性之下的‘病区划分(重、中和轻病区)’和‘土壤总硒’之间是并列关系,都要填写。自然因素之下分为 7 个评价项,它们是并列关系,均需填写。”“是否与其他地质遗迹共存”评价项下“区内没有同类或其他类型地质遗迹”和“区内有同类或其他类型地质遗迹”是选择关系,而后者下面的“相距远近”和“相互关系”是并列关系。“相距远近”和“相互关系”下的选项则是选择关系。本文参照地质公园的现行评级标准(世界级、国家级、省级和地方级),将医学地质遗迹分为四级,即一级 100~85 分、二级 84~70 分、三级 69~60 分、四级 60 分以下。将各个因子得分相加即是该遗迹的评价得分,分数属于哪一档,则该遗迹就被定为哪一级。

4 医学地质遗迹评价实例

4.1 基本概况和地质背景

湖北恩施硒中毒医学地质遗迹辖属于湖北省鄂西土家族苗族自治州。该州位于湖北省西南,面积 24 450 km²,人口 346.83 万。该州石煤资源丰富,已探明储量达 32 亿吨。石煤中蕴藏有丰富的硒资源,故恩施有“世界硒都”之称。

该区位于上扬子台褶带,地壳处于缓慢隆升阶段。出露地层为显生宙一套连续沉积层序,包括寒武纪以后的所有地层。富硒岩石层位主要集中在地台盖层稳定沉积时期($\epsilon-T_2$)。随着海进海退,硒多次循环富集。二叠纪-早三叠世发生大规模的峨眉山流溢玄武岩喷发,为本区提供了大量的硅质炭质沉积物质,硒富集在此时达到高峰(李家熙等,2000)。

4.2 评价因子分析

根据对恩施硒中毒病区的调查研究,对评价体系中的各个评价项进行了详细地分析和评估。

4.2.1 典型性

从恩施地区 10 个高硒区土壤总硒含量平均值结果看(表 3),各地差别较大,最高达 25.43 mg/kg,最低为 1.38 mg/kg。除晓关以外,土壤总硒含量均超过了 3 mg/kg 的标准。因此,该区属于硒富集区,具有硒中毒医学地质遗迹的典型性。

4.2.2 科研价值

由于恩施地区富硒环境的典型性,历来成为研究硒元素地球化学环境特征和硒中毒的热点地区。尤其在上世纪 80 年代末,对该区的硒环境及硒中毒研究达到了一个高峰,涉及了地质、地理、地球化学、预防医学和临床医学等领域,取得了举世公认的成绩,产生了重要的国际影响(李家熙等,2000)。

4.2.3 遗迹内地质构造与地方病的相关性

区内地质构造、岩层产状对富硒岩层出露有明显控制作用。本区富硒岩石大多分布在褶皱的两翼或向斜轴部,呈接近水平的低倾角产出。此外,在紧闭褶皱中出露的富硒岩石呈陡倾条带状产出(张光第等,1998)。

4.2.4 遗迹内地形地貌与地方病的相关性

区内地形地貌受云贵高原大娄山和武陵山的控制,具有北北东走向的山地地貌特征,山间盆地、河谷盆地及丘陵盆地发育,为地方病流行的典型地貌。调查发现,区内高硒区域多是低山丘陵地貌。这说明地形地貌与硒元素分布及硒中毒有相关性。

4.2.5 遗迹内岩石(成土母质)与地方病的相关性

高硒区的岩石含硒量结果表明(表 4),主要高硒岩石是白云岩、硅质炭质页岩、含炭硅质岩和钙硅炭质页岩,最高可达 352.00 mg/kg。对照表 3 可以看出,岩石的高硒含量对土壤硒含量有直接的影响,因此,区内高硒岩石对硒中毒的发生和流行存在明显的相关性。

4.2.6 遗迹内矿产资源与地方病的相关性

恩施地区石煤产量丰富,富含硒资源。其与区内硒中毒

表 2 医学地质遗迹评价因子赋分及实例评价结果表(湖北恩施硒中毒医学地质遗迹)

Table 2 Evaluation factors of medical geheritages and results of assessment (Enshi selenosis medical geoheritage)

评价因子	评价因素	评价项	评价依据	赋分	实例评价得分(恩施)	
主控因子 (65分)	科学因素 (25分)	典型性 (15分)	硒缺乏(克山病、大骨节病)医学地质遗迹典型性	轻病区: 年发病率 < 0.0005%	3	15
				中病区: 0.0005% ≤ 年发病率 ≤ 0.001%	6	
				重病区: 年发病率 ≥ 0.001%	10	
				土壤总硒 ≤ 0.125 mg/kg	5	
			大骨节病医学地质遗迹(病区以自然村为单位) ⁽²⁾⁽³⁾	轻病区: 患病率 < 10%	3	
				中病区: 10% ≤ 患病率 ≤ 20%	6	
		重病区: 患病率 > 20%	10			
			土壤总硒 ≤ 0.125 mg/kg	5		
		硒中毒医学地质遗迹典型性 ⁽²⁾	硒环境安全区: 0.125 mg/kg ≤ 土壤总硒 ≤ 3 mg/kg	5		
			硒富集区: 土壤总硒 > 3 mg/kg	15		
		碘缺乏(甲状腺肿)医学地质遗迹典型性 ⁽⁴⁾	区内为低碘地区: 饮用水含碘量 ≤ 300 μg/L; 发病率: 8~10岁儿童甲状腺肿率 ≤ 5%	5		
			区内为高碘地区: 饮用水含碘量 > 300 μg/L; 发病率: 8~10岁儿童甲状腺肿率 > 5%	15		
		氟中毒医学地质遗迹典型性 ⁽⁵⁾	区内为轻病区: 饮用水含氟量 ≤ 2.0 mg/L; 发病率: 8~12周岁儿童氟斑牙患病率 > 30%	5		
			区内为中等病区: 饮用水含氟量 2.0~4.0 mg/L; 发病率: 缺损型氟斑牙患病率 > 20%	10		
			区内为重病区: 饮用水含氟量 ≥ 4.0 mg/L; 发病率: 缺损型氟斑牙患病率 > 40%	15		
	地球化学元素致癌医学地质遗迹典型性(以砷为例) ⁽⁶⁾	区内为轻病区: 饮用水含砷量 ≤ 0.01 mg/L;	5			
		区内为中等病区: 饮用水含砷量 0.01~0.05 mg/L	10			
		区内为重病区: 饮用水含砷量 ≥ 0.05 mg/L	15			
	科研价值 (10分)	在该遗迹内未开展医学地质学、地球化学等学科的研究工作		3	10	
		在该遗迹内进行了医学地质学、地球化学等学科初步的研究工作, 取得了一定的科研成果		6		
		在该遗迹内进行了系统的医学地质学、地球化学等学科的研究工作, 取得了重要科研成果		10		
	自然因素 (40分)	遗迹内地质构造与地方病的相关性(6分)	区内无大型地质构造带, 不属于地球化学元素异常带		0	6
			区内有大型地质构造带, 属于地球化学元素异常带, 与地方病有明显相关性		6	
		遗迹内地形地貌与地方病的相关性(6分)	区内地形地貌与地方病无相关性		0	6
			区内地形地貌属于典型地方病多发类型, 与地方病有明显相关性		6	
遗迹内岩石(成土母质)与地方病的相关性(6分)		区内岩石(成土母质)所含致病元素符合地质环境标准, 与地方病无相关性		0	6	
		区内岩石(成土母质)所含致病元素超过地质环境标准, 与地方病有直接相关性		6		
遗迹内矿产资源与地方病的相关性(6分)		区内没有与地方病有直接相关性的矿产资源分布		0	6	
		区内某种矿产富含致病元素, 对土壤和水文有很大影响, 与地方病有直接相关性		6		
遗迹内土壤与地方病的相关性(6分)		区内土壤所含致病元素或可溶性致病元素符合地质环境标准, 与地方病无相关性		0	6	
		区内土壤所含致病元素或可溶性致病元素超过地质环境标准, 与地方病有直接相关性		6		
遗迹内水文地质与地方病的相关性(6分)	区内饮用水源所含致病元素符合地质环境标准, 与地方病无相关性		0	6		
	区内饮用水源所含致病元素超过地质环境标准, 与地方病有直接相关性		6			
遗迹内气候环境与地方病的相关性(4分)	区内气候条件与地方病无相关性		0	4		
	区内气候条件有利于致病元素的富集或流失, 与地方病有相关性		4			

续表 2
Continued Table 2

评价因子	评价因素	评价项	评价依据		赋分	实例评价得分(恩施)	
一般因子 (25分)	其他因素 (25分)	遗迹保护情况 (10分)	遗迹载体遭到自然和人为严重破坏		3		
			遗迹载体遭到自然和人为轻度破坏		6	6	
			遗迹载体完好, 未受破坏		10		
		防治情况 (10分)	尚未采取防治措施		3		
			采取一定的防治措施, 发病率有所降低		6		
			采取有效防治措施, 发病率降至国家卫生标准以下		10	10	
		区位交通 (5分)	地理区位和交通条件一般		1	1	
			地理区位较为优越, 交通较便利		3		
			地理区位优势, 交通便利		5		
附属因子 (10分)	组合因素 (10分)	是否与其他地质遗迹共存(10分) ⁽⁷⁾	区内没有同类或其他类型地质遗迹		0		
			相距远近	< 200 km		2	
				> 200 km		5	
			相互关系	无任何关联性		0	
				互补和促进关系		5	
医学地质遗迹分级	一级		100 ~ 85分				
	二级		84 ~ 70分			82分	
	三级		69 ~ 60分				
	四级		60分以下				

注 (1)中国地方病防治研究中心克山病研究所(1997)(2)张东威(1994)(3)山西省地方病防治研究所(1996)(4)山西省地方病防治研究所(2003)(5)中国地方病防治研究中心氟病研究所(1997)(6)中国环境科学研究院(2002)(7)UNESCO(2007)。

表 3 恩施硒中毒医学地质遗迹土壤总硒含量平均值统计表

mg/kg

Table 3 Selenium content in soil of Enshi selenosis medical geohitage

地点	沙地	花被	新塘	鱼塘坝	杉垵	芭蕉	罗家坝	晓关	自生桥	范家坪
含量	18.04	15.67	4.97	4.99	15.17	25.43	18.56	1.38	3.99	6.62

注 据李家熙等(2000)整理。

表 4 恩施硒中毒医学地质遗迹岩石含硒量表

mg/kg

Table 4 Selenium content in rock of Enshi selenosis medical geohitage

采样点	罗家坝		范家坪		沙地		自生桥	继昌	
	硅泥质白云岩	硅质炭质页岩	含炭硅质岩	钙硅炭质页岩	硅质岩条带	白云岩	硅质炭质页岩	钙硅炭质页岩	紫色砂岩
Se 含量	2.90, 3.00, 3.50	352.00, 330.00	82.00	230.00	22.80	156.00	59.60, 294.00	221.00	0.11, 0.04

注 据张光第等(1998)整理。

的发生和流行有明显相关性,在 3.2.6 小节中已做过论述。

4.2.7 遗迹内土壤与地方病的相关性

富硒土壤主要是砂质粘土,其母岩为残坡积层。以高硒中毒村鱼塘坝为例,土壤硒含量平均值为 4.99 mg/kg(表 3),

水溶性硒含量平均值为 0.02 mg/kg,可交换态硒平均值为 0.04 mg/kg,有机态硒高达 0.66 mg/kg。研究表明,有机态硒、可交换态硒、和水溶性硒与硒中毒存在相关性,而有机态硒是最主要的作用因素(李家熙等,2000)。因此区内土壤与

硒中毒有直接相关性。

4.2.8 遗迹内水文地质与地方病的相关性

区内居民大多饮用泉水或井水,饮水中硒浓度主要取决于

地下水在循环过程中流经或渗透岩石时对这些岩石硒的萃取。高硒区饮水中的硒含量都非常高,平均超过 $20.00 \mu\text{g/L}$ (表5),远远超过地质环境标准,与硒中毒有直接相关性。

表5 恩施硒中毒医学地质遗迹饮水硒含量表

Table 5 Selenium content in drinking water of Enshi selenosis medical geoheritage

$\mu\text{g/L}$

硒级别	高硒非中毒区					高硒中毒区				
	沙地	花被	新塘	鱼塘坝	杉垵	芭蕉	罗家坝	晓关	自生桥	范家坪
含量	38.10	275.00	7.30	40.40	11.90	24.40	44.20	30.30	0.46	13.30
平均值			24.40					22.53		

注 据李家熙等(2000)整理。

4.2.9 遗迹内气候环境与地方病的相关性

本区受东南热带季风和云贵高原双重影响,当东南季风弱时,本区容易受干旱气候影响,例如1959~1963年持续的严重旱灾,给本区农业生产带来毁灭性灾害。也正是这几年,本区硒中毒暴发流行(李家熙等,2000)。

4.2.10 遗迹保护情况

近年来,恩施加大了对硒资源的开发利用,一些地区的地质和生态环境遭到了轻度破坏。

4.2.11 防治情况

自20世纪60年代大规模暴发流行后,人群硒中毒现象已逐渐消失,猪的硒中毒还偶有发生。这与当地政府加强硒中毒防治力度,以及耕作习俗、膳食营养结构的改变密切相关(牟素华等,2007)。因此,恩施地区的硒中毒防治措施得当,成效明显。

4.2.12 区位交通

由于恩施地区位于鄂西偏远山区,地方经济总体发展水平较低,在交通基础设施建设方面投入资金不足。至2003年底,恩施公路里程总计8124.67 km,路网密度仅 0.4 km/km^2 ,还有10%的行政村未通公路(张士伦等,2008)。因此,恩施地区的区位交通条件较差。

4.2.13 是否与其他地质遗迹共存

到目前为止,恩施境内还没有任何地质遗迹、地质公园等建立。

4.3 地质遗迹等级评定

通过以上分析,湖北恩施硒中毒医学地质遗迹综合评价的结果是:总分82分,定为二级医学地质遗迹(表2)。经过实例检验证明,医学地质遗迹评价体系切实可行,具有实用性和可操作性。

5 结论

(1)医学地质遗迹的定义为:医学地质遗迹是在内外动力地质营力作用下,形成、演化并遗留下来的引发生物体(人类和动物)病变的地球化学元素异常地质环境遗迹。它是地质环境影响和作用于生物健康的实体证据,其载体是制约着致病元素富集或贫乏的各种地质构造、地形地貌、矿产资

源、岩石(成土母质)、土壤以及地质水体等地质单元。它具有不可复原性、有限性、地学性和地域性,是大自然和地质运动的产物和遗迹。

(2)医学地质遗迹初步分为5类:硒缺乏(克山病、大骨节病)医学地质遗迹、硒中毒医学地质遗迹、碘缺乏(地方性甲状腺肿)医学地质遗迹、氟中毒医学地质遗迹和地球化学元素致癌医学地质遗迹。

(3)医学地质遗迹主要分布在“东北地区——太行山——黄土高原——武陵山——四川盆地——云贵高原”一线。该区的地质特征是:地质构造背景复杂,断裂构造带交错集中,地形地貌以山地、岗地、河谷和小型盆地平原为主,是地方病易发流行的典型地形地貌。

(4)以遗迹的自然地质属性和科研价值为基础,建立了医学地质遗迹评价体系。该体系分3个层次,即权重因子层、属性因素层和评价项目层,共计100分,并将医学地质遗迹分为四级,即一级100~85分、二级84~70分、三级69~60分、四级60分以下。

(5)应用医学地质遗迹评价体系对湖北恩施硒中毒地质遗迹进行了综合评价,结果表明该体系具有实用性和可操作性。

致谢 本文在撰写过程中得到了程荣欣副馆长、张招崇教授、何庆成研究员、卢立伍研究员、程业明副研究员和张梅助理工程师的大力支持和帮助,在此表示最诚挚地感谢!

References

- Chinese Research Academy of Environmental Sciences. 2002. GB 3838-2002 Environmental Quality Standards for Surface Water [C]. Beijing: China Environmental Science Press, 3 (in Chinese).
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2007. Applicant's self-evaluation form for National Geoparks seeking assistance of UNESCO to become member of the Global Network of National Geopark [C] 4.
- Compilation Committee of *The atlas of endemic diseases and their environments in the People's Republic of China*. 1989. The atlas of endemic diseases and their environments in the People's Republic of

- China[M]. Beijing: Science press, 9~10, 40~43, 83~86, 113~114, 119~112, 156~159(in Chinese).
- Deng Ying, Fu Deqiang, Yang Yanmei, *et al.* 2005. Research and Prevention of selenium intoxication[J]. Liaoning Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine (7): 43(in Chinese with English abstract).
- Endemic Fluorosis Institute of Chinese Research Center for Endemic Disease Control. 1997. GB 17018-1997 The Standard of Defining the Endemic Fluorosis Area[C]. Beijing: Standards press of China, 1~2(in Chinese).
- Institute for Endemic Disease Prevention and Treatment of Shanxi Province. 1996. GB 16395-1996 The Standard of Defining the Kaschin-Beck Disease Area[C]. Beijing: Standards press of China, 1~2(in Chinese).
- Institute for Endemic Disease Prevention and Treatment of Shanxi Province. 2003. GB/T 19380-2003 Definition of the High Iodine in Drinking Water Regions and the Endemic High Iodine Goiter Areas[C]. Beijing: Standards press of China, 1~4(in Chinese).
- Jiang Qiming and Jiang Jianhua. 1993. Relationship between the sedimentary environment and endemic diseases in the regions at middle and lower reaches of Tarim River[J]. Arid Land Geography, 16(2): 52~57(in Chinese with English abstract).
- Keshan Disease Institute of Chinese Research Center for Endemic Disease Control. 1997. GB 17020-1997 The Standard of Defining the Endemic Keshan Disease Area and Types[C]. Beijing: Standards press of China, 1~2(in Chinese).
- Li Jiayi, Zhang Guangdi, Ge Xiaoli, *et al.* 2000. Prediction and Geochemical Environmental Character of Human Selenium Imbalances[M]. Beijing: Geological Press, 10~14, 109~129, 156~159, 161~162(in Chinese).
- Luo Wei and Huang Manxiang. 2004. Geological environment and endemic diseases[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 15(4): 1~5(in Chinese with English abstract).
- Mu Suhua, Hu Qituo and Yan Ling. 2007. Progress of Study on endemic selenium intoxication in Enshi of Hubei Province[J]. Chinese Journal of Public Health, 23(1): 95~96(in Chinese with English abstract).
- Olle Selinus, Brian Alloway, José A Centeno, *et al.* 2005. Essentials of Medical Geology[M]. Elsevier Academic Press, 1~12.
- The Department of Geo-environment of The Ministry of Land and Resources. 2006. National Geopark Construction Guide of China[M]. Beijing: China Land Press, 1~5(in Chinese).
- Zeng Shaohua, Liao Suping and Zeng Xueping. 2002. Discussion on correlation and classification of chemical elements and cancers[J]. Guizhou Environmental Protection Science and Technology, 8(3): 5~10(in Chinese with English abstract).
- Zhang Dongwei. 1994. Research on selenium content in soil and the standard of soil environment quality in China(briefing)[J]. Research of Soil and Water Conservation, 1(5): 1(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guangdi, Ge Xiaoli, Zhang Qiling, *et al.* 1998. Selenium geological and geochemical environmental background in Enshi, Hubei[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 19(1): 59~67(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guangdi, Sun Luren and Zhang Qiling. 1994. On the effect of geological structural-geochemical-environmental research in the regional cancer and endemic diseases investigations[J]. Chinese Geology, (8): 23~27(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shilun and Chang Sheng. 2008. Research on influence of traffic condition on tourism developing in mountainous areas[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 36(10): 4291~4293(in Chinese with English abstract).
- Zheng Baoshan, Zhou Huaiyang, Yan Liangrong, *et al.* 1993. The Se resource in Southwestern Hubei Province, China, and its exploitation strategy[J]. Journal of Natural Resources, 8(3): 204~212(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 邓英, 付德强, 杨艳梅, 等. 2005. 硒中毒的研究与防治[J]. 现代畜牧兽医 (7): 43.
- 国土资源部地质环境司. 2006. 中国国家地质公园建设工作指南[M]. 北京: 中国大地出版社, 1~5.
- 蒋岐鸣, 蒋建华. 1993. 塔里木河中、下游地区沉积环境与地方病的关系[J]. 干旱区地理, 16(2): 52~57.
- 李家熙, 张光弟, 葛晓立, 等. 2000. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[J]. 北京: 地质出版社, 10~14, 109~129, 156~159, 161~162.
- 罗卫, 黄满湘. 2004. 地质环境与地方病[J]. 地质灾害与环境保护, 15(4): 1~5.
- 牟素华, 胡启托, 颜玲. 2007. 湖北恩施地区地方性硒中毒研究进展[J]. 中国公共卫生, 23(1): 95~96.
- 山西省地方病防治研究所. 1996. GB16395-1996 大骨节病区判定和划分标准[C]. 北京: 中国标准出版社, 1~2.
- 山西省地方病防治研究所. 2003. GB/T 19380-2003 水源性高碘地区和地方性高碘甲状腺肿病区的划定[C]. 北京: 中国标准出版社, 1~4.
- 曾昭华, 廖苏平, 曾雪萍. 2002. 化学元素与癌症的相关性及其分类的探讨[J]. 贵州环保科技, 8(3): 5~10.
- 张东威. 1994. 中国土壤中硒及其土壤环境质量标准研究(简报)[J]. 水土保持研究, 1(5): 1.
- 张光弟, 葛晓立, 张绮玲, 等. 1998. 湖北恩施地区硒地质地球化学环境背景[J]. 地球学报, 19(1): 59~67.
- 张光弟, 孙鲁仁, 张绮玲. 1994. 癌症与地方病的地质构造-地球化学环境效应初步研究[J]. 中国地质, (8): 23~27.
- 张士伦, 常胜. 2008. 交通条件对山区旅游业发展的影响——以湖北省恩施州为例[J]. 安徽农业科学, 36(10): 4291~4293.
- 郑宝山, 周怀阳, 严良荣, 等. 1993. 鄂西的硒资源及其开发战略研究[J]. 自然资源学报, 8(3): 204~212.
- 中国地方病防治研究中心氟病研究所. 1997. GB 17018-1997 地方性氟中毒病区划分标准[C]. 北京: 中国标准出版社, 1~2.
- 中国地方病防治研究中心克山病研究所. 1997. GB 17020-1997 克山病区划定和类型划分[C]. 北京: 中国标准出版社, 1~2.
- 中国环境科学研究院. 2002. GB 3838-2002 地表水环境质量标准[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 3.
- 中华人民共和国地方病与环境图集编纂委员会. 1989. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京: 科学出版社, 9~10, 40~43, 83~86, 113~114, 119~112, 156~159.