

doi:10.3799/dqkx.2010.100

四川若尔盖大骨节病区水环境致病因素

甘义群^{1,2}, 郭欣欣^{1,2}, 王焰新^{1,2}

1. 中国地质大学环境学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 为了从水环境的角度阐述大骨节病的成因机制, 以大骨节病高发的四川省若尔盖县为研究区, 系统采集了作为饮用水源的地下水和地表水样 38 件, 测试了其化学成分, 发现水中的常规组分和微量组分都偏低, 且饮用地表水较地下水更容易患病。通过水化学特征分析, 表明水环境中多种组分含量异常是导致病发的重要因素, 并从水动力和水化学方面解释了其组分含量异常的原因。采用因子分析的方法, 结合当地的区域水文地质条件, 进一步揭示了大骨节病发生机制与饮用水中 P、F、Se 和 Mn 4 种组分的含量密切相关, 饮用水中这 4 种组分含量越低, 大骨节病的发病率就越高。

关键词: 大骨节病; 水文地球化学; 因子分析; 若尔盖; 致病因素。

中图分类号: X143

文章编号: 1000-2383(2010)05-0867-06

收稿日期: 2010-05-31

Aquatic Environmental Conditions Responsible for Kashin-Beck Disease in Ruo'ergai County, Sichuan Province, China

GAN Yi-qun^{1,2}, GUO Xin-xin^{1,2}, WANG Yan-xin^{1,2}

1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: This paper focuses on the aquatic environmental conditions responsible for kashin-beck disease (KBD) within the Ruo'ergai County of Sichuan Province. A total of 38 groundwater and surface water samples were collected during September 2008. The water quality data sets in this research include major cations, anions, and trace elements. The results indicate that the drinking water in the KBD area has relatively low contents in both the major and trace elements and people drinking the surface water there are more likely to become KBD victims. Combined with the hydrological and hydrochemical evidence, it reveals that the KBD mainly results from the abnormal contents of multiple constituents in the drinking water. The multivariate analytical method factor analysis (FA) results further indicate that the KBD prevalence in the study area has close relationship with P, F, Se, Mn contents in drinking water and the lower the P, F, Se, and Mn contents are, the more the KBD cases are involved.

Key words: kashin-beck disease; groundwater geochemistry; factor analysis; Ruo'ergai County; pathogenic factor.

大骨节病(kashin-beck disease, KBD)是一种以人体软骨变形、坏死为主要表现形式的地方性骨关节病。本病常常呈多发性、对称性侵犯软骨内成骨型骨骼,导致软骨内成骨障碍、管状骨变短和继发的变形性关节炎(Hinsenkamp, 2001)。临床表现为关节疼痛、增粗变形、肌肉萎缩、运动障碍,严重者丧失劳动能力,终生残疾。大骨节病于 1848 年在俄罗斯最先被发现,我国从 1934 年在医学界开始出现该病

的报道。在世界范围内,大骨节病主要分布在俄罗斯、朝鲜和中国,总体上可认为是发生在中国、俄罗斯西伯利亚东南部和朝鲜西北部一种有明显地区性的地方病。目前,大骨节病在我国的黑龙江、吉林、辽宁、内蒙、河北、河南、山东、山西、陕西、四川、甘肃、青海、西藏和台湾 14 个省区都有分布,尤其以四川和西藏较为严重。我国在大骨节病区居住的人口为 3 000 万,其中 250 万人患病,在某些重病区的发病

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 40830748);中国地质调查局项目(No. 1212010813102)。

作者简介:甘义群(1977—),男,博士,副教授,主要从事水文地质和环境地质领域的教学、科研工作。E-mail: yiqungan@gmail.com

率可达到 8.0%~43.4%(Li *et al.*, 2009)。一般而言这些病区多分布于偏僻的农业区和牧业区,同时该病不仅出现在特定的地区,而且在同一个病区内不同的居民点病情也相差悬殊(即具有明显的“灶状”分布特点)。大骨节病主要发生于生长中的儿童和少年,成年人中新发病例很少;儿童一般在 7~8 岁开始发病,重病区的儿童发病可以提前(Wang *et al.*, 1999)。

大骨节病属于受多种环境因素影响并发的病症,其病因至今尚未取得统一认识,当前国内外主要有 4 种假说(Moreno-Reyes *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 2009):(1)低硒说。我国学者发现大骨节病与环境低硒有密切关系,但也有一些重要事实不支持低硒是本病的病因,目前比较多的人倾向于低硒只是本病发病的条件因素之一;(2)水中有机物中毒说。此学说认为本病是由于病区饮水被腐殖质污染所致;(3)真菌毒素说。该学说认为病区谷物被某种镰刀菌污染并形成耐热的毒性物质,居民因食用含此种毒素的食物而得病;(4)B19 微小病毒低硒条件下感染学说。此学说是刚提出的,目前正在研究中。现在国内外学术界都倾向于承认低硒说和水中有机物中毒说。

自 20 世纪末以来,随着人们生活条件的改善,大骨节病的发病率明显降低,但研究表明在我国西部某些地区大骨节病仍然非常严重,其病情得到了国家和地方政府的高度关注。目前有很多机构对大骨节病开展调查和防治措施研究,虽然病因还不十分明确,但病区的水、土等地质背景肯定是致病的重要载体,而这方面仍然缺乏系统、深入的研究。本文以我国大骨节病高发的四川省若尔盖县为研究区,全面、系统采集了该区地表水和地下水样,结合当地的区域水文地质条件和发病率背景,试图通过揭示病区水环境特征,从区域水环境的角度阐述大骨节病的成因机制,并为大骨节病的综合防治提供改水方面的依据。

1 研究区概况

研究区若尔盖县位于四川省阿坝藏族羌族自治州北部,地理坐标为东经 $102^{\circ}8' \sim 103^{\circ}36'$,北纬 $33^{\circ}3' \sim 34^{\circ}19'$,面积 $10\,164.21\text{ km}^2$,下辖 17 个乡镇、96 个行政村。地貌上是长江、黄河两大水系的分水岭区,西部丘状高原地貌,东部高山峡谷地貌,高原面上沼泽湿地发育。据国家《大骨节病区判断和划分标准 GB16395-1996》,四川省 28 个县(市)共有 154 个乡镇为大骨节病区,若尔盖县更是重病情患

病区,该县大骨节病患乡镇有 5 个,患病村有 23 个,患者 200 余户,近 6 000 余人。

研究区属高寒大陆性季风气候,总的特点是冬长、无夏、春秋短,气温低、温差大、降雨量少和气候垂直分带明显。受西伯利亚和内蒙古冷空气团的控制,冬季 11 月至翌年 4 月,出现寒冷、干燥、晴朗、少降雪、多大风、强日照和昼夜温差大的干寒冷气候;5 月至 10 月,受季风暖湿气流影响,降雨量丰富,并多雷雨和冰雹,其中 6 月至 8 月雨热同期;全年光源充足而热量欠缺。

研究区内交通相对闭塞,农村基础设施落后,人居环境卫生条件极差,加上长期受大骨节病的困扰造成生活质量极其低下、贫困交加。目前有相当数量的农牧民用水状况及卫生条件达不到农村生活文明建设的要求或存在严重的人畜饮用水困难,群众目前生活饮用水源主要利用地表水和浅层地下水(冲洪积层与坡残积层孔隙水),利用方式主要为直接饮用溪沟水、河水、泉水、土井水等。

2 样品采集和分析

样品采集以乡镇为单位,在四川省若尔盖县的病区和非病区共采集水样 38 件,其中地下水样 14 件,地表水样 24 件,且所采水样均为当地居民的饮用水源。每个水样点按不同的要求采集 5 组样品,分别用于水中阴离子、阳离子、微量元素、硒含量及形态以及氢氧同位素测试。所有样品处理好后保存于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰柜中运回实验室分析测定,其中,阴离子采用离子色谱分析,阳离子采用 ICP-AES 分析,微量元素采用 ICP-MS 分析,硒含量及形态采用原子荧光光谱仪分析,所有测试均在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室和生物地质与环境地质教育部重点实验室进行。

3 若尔盖大骨节病区水环境致病因素

3.1 不同饮用水源与大骨节病患率关系

根据野外取样和病情调查情况得知,若尔盖县居民饮用水源主要为地表水体,也有部分为浅层地下水。在采集的 38 件饮用水源中,有 30 件水样取得了相关的患病率数据,据此针对不同饮用水源的居民大骨节病患率进行了统计,结果如图 1。

从图 1 可知,将地表水作为饮用水源的居民,其

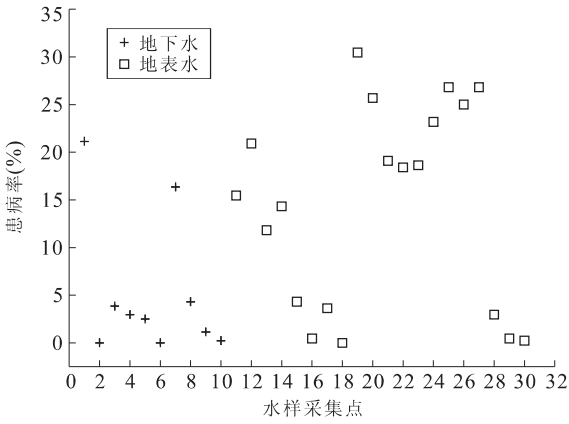


图 1 水样采集地大骨节病患病率分布

Fig. 1 Kashin-beck disease prevalence distribution at sampling sites

大骨节病患病率明显较饮用地下水的居民高,患病率达 15% 以上的重病村居民饮用水源基本都为地表沟水、溪水及流量较小的河水。饮用地下水的居民患病率基本都在 5% 以下,图 1 中 2 个饮用地下水患病率较高的点,位于若尔盖县班佑乡姜冬村和包座乡卓塘村,均为泉水,此泉水在居民饮用过程中受地表沟水混入影响较大,且流量不稳定,受降雨控制,表明为大气降水和地表水快速补给而形成的泉水。

3.2 水化学类型分析

根据若尔盖 14 个地下水样和 24 个地表水样分析测试的数据,发现该区无论是地下水还是地表水,其常量及微量组分含量都偏低(表 1),尤其是地表水中的常量组分更加明显。地下水中各种常量组分的含量都比地表水高,这种差异对于 F、P、Se、Mn 和 Si 含量尤其明显,具有统计意义。

从反应该地区基本水化学特征的三线图(图 2)上可以看出,该地区地下水和地表水的水化学类型基本都为 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ 型,地下水矿化度不超过 240 mg/L,平均为 95 mg/L,地表水矿化度更低,最大值不超过 104 mg/L,平均仅为 60 mg/L。

用 PHREEQC 软件计算该地区地下水及地表水矿物的饱和指数,结果表明:水中除成分为 CaCO_3 的矿物和白云岩矿物的饱和指数 $\text{SI} > 0$,处于饱和状态以外,其他矿物的饱和指数 $\text{SI} < 0$,矿物均处于不饱和状态。这主要是由于该地区地表、地下水流动快,水岩相互作用时间短,溶于水的常量、微量元素少,并随水迁移,使水中物质含量和矿化度均较低,水化学类型基本都为 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ 型。地下水的流速比地表水相对要慢许多,径流途径相对也 longer,使得浅层地下水中溶解的各种组分比地表水含量高一

些,但仍然不足以满足生物体对各种元素的需要,从而导致该地区饮用地下水的地区大骨节病的发病率虽比饮用地表水的地区低,但还是有患病人群出现。

3.3 因子分析

根据水样测试结果可知,水中的常量和微量元素总体上含量都较低,但并没有任何一个单项指标和患病率具有较好的相关性(表 2 和表 3),这也说明从水环境的角度而言,导致发生大骨节病并不是某一个元素的异常所致,而应该是水环境中多种元素含量异常综合所致。

因此,为了揭示导致大骨节病致病的水环境因素,有必要针对水环境中的各种变量进行进一步的分析,将具有代表性、且本质相同的变量归为一个因子。而因子分析正是研究从变量群中提取共性因子的有效统计技术(宇传华,2007),本文采用“探索性因子分析”方法分别对地表水和地下水中的主要变量进行因子分析,试图从水环境的角度寻求大骨节病的致病影响因素。

运用 SPSS 13.0 软件对若尔盖地区地下水及地表水的常量及微量组分进行因子分析,结果见表 4。

因子分析结果表明,地下水和地表水中的代表性因子分别呈现出不同的特征。

对于地下水而言共有 4 个因子:因子 1 代表的变量是 EC、Ca、Na、S、Sr、Cl、 NO_3 、 SO_4 和 HCO_3 等常规组分,解释了 52.103% 的变量。因子 2 代表的变量是 P、Se、F 和 Si 4 种组分,其中组分 Si 的因子荷载为负值,与组分 P、Se 和 F 的因子荷载相反,这种相反的关系表明,硅酸盐的水解作用抑制了 P、Se 和 F 向水中的释放。As 和 Mn 单独起作用,分别成为因子 3 和因子 4,表明 As 和 Mn 这两种组分和水中其他组分有不同的物质来源,结合该地区的岩性矿物资料分析得知,Mn 主要来源于含水层中的自生矿物(锰的氧化物与氢氧化物等)的溶滤,砷主要与可还原态的 Fe 的氧化物以及 Fe 的氢氧化物(如磁赤铁矿等)共存,这是水中砷的主要来源。

对于地表水而言共有 5 个因子:因子 1 代表的变量是 As、Ca、Si、P、F 和 Cl 等组分,其中 P、F 和 Cl 的因子荷载为负值,与该因子中其他组分尤其是 Si 相反,表明在地表水中同样存在硅酸盐的水解抑制 P、F 向水中释放的现象。因子 2 代表的变量是 EC、Mg、Na、Sr、 SO_4 和 HCO_3 等组分,但这个因子只解释了 32.996% 的变量,比地下水要低很多。地表水中 Mn 同样单独起作用,成为因子 3,表明地表水中的 Mn 同样主要来源于含水层中的自生矿物(锰的

表 1 地下水和地表水中常量、微量组分含量及患病率

Table 1 Major and trace element contents in drinking water and related KBD prevalence

指标	地下水			地表水		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
EC(μS)	1 081	202	433.3	471	81.9	269.7
As(mg/L)	0.200 9	0(<DL)	0.072 9	0.066 6	0(<DL)	0.046 7
Ca(mg/L)	141.762 9	0.787 2	56.531 8	66.129 8	2.069	36.215 9
K(mg/L)	5.631 2	0(<DL)	1.032 1	3.509 5	0(<DL)	0.282 1
Mg(mg/L)	60.024 8	6.535 9	25.529 1	47.948	2.791 7	15.730 7
Na(mg/L)	40.926 1	2.278	9.272 3	22.585 6	1.397 8	5.166 4
P(mg/L)	2.212	0.002	0.327 01	2.273	0.002	0.178 0
S(mg/L)	53.99	0.007	8.704 4	5.248	0.005 1	1.636 2
Si(mg/L)	7.84	0(<DL)	5.616 5	6.36	0(<DL)	3.546
F(mg/L)	0.926	0.102	0.316	1.688	0.028	0.172
Cl(mg/L)	102.068	2.759	16.207	13.730	2.567	4.444
NO ₃ (mg/L)	52.251	0.000	8.888	2.534	0.618	1.314
SO ₄ (mg/L)	209.103	2.924	33.013	16.871	1.717	6.577
HCO ₃ (mg/L)	501.890	146.264	276.561	355.549	60.227	190.277
Mn(mg/L)	0.651 2	0.012 1	0.101 0	0.145 9	0.013	0.036 0
Se(μg/L)	1.869 8	0.185 6	0.752 7	0.774 8	0.091 2	0.455 3
患病率(%)	30.5	0.2	14.7	21.1	0	6.7

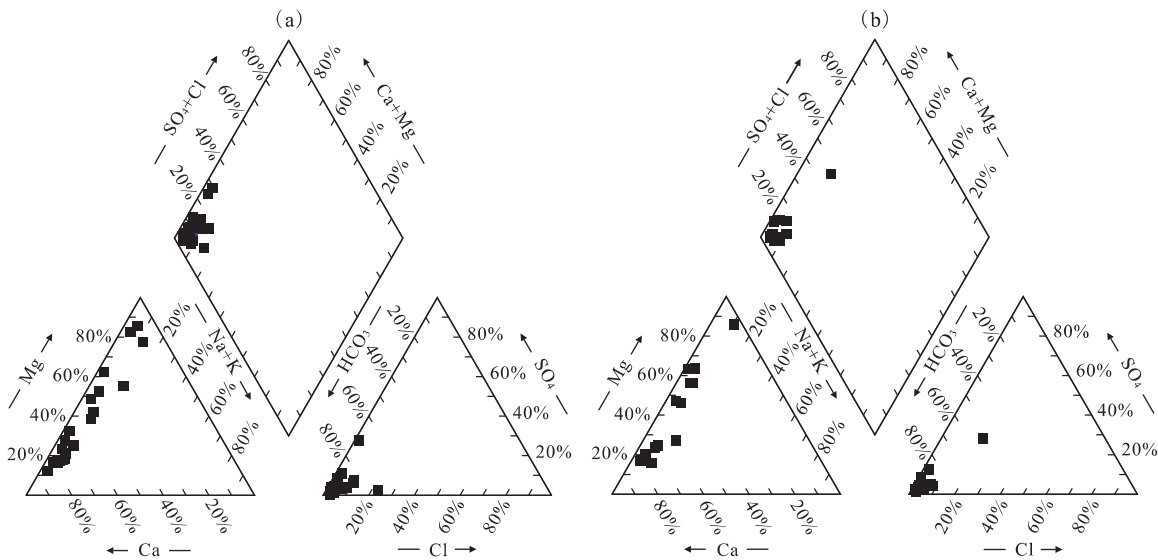


图 2 地表水(a)和地下水(b)三线图

Fig. 2 Piper diagrams of surface water samples (a) and groundwater samples (b)

氧化物与氢氧化物等)的溶滤。地表水中的 Se 也单独成为一个因子(因子 4),胡宽塔等(2000)研究表明,Se 在还原环境中的迁移速度更慢,地表水由于当地植被茂密,植物腐烂形成的腐殖层,消耗水中的氧气造成局部还原环境,导致 Se 比其他组分向水中释放的慢,这也是地表水中 Se 含量比地下水低的一个原因。地表水中的 NO₃ 单独成为因子 5,表明该地区地表水在一定程度上受人为活动的影响。

将地下水和地表水的因子得分分别与相应的大骨节病发病率进行回归分析,发现饮用地下水导致

大骨节病发病率和因子得分之间没有明显的相关关系,但在发病率高的地区因子 2 和因子 4 的得分明显较低。而针对地表水而言,发病率和因子得分的回归分析发现发病率和各因子之间存在以下关系:

$$KBDP = 5.387 \times F1 - 4.863 \times F3 - 0.916 \times F4 + 16.604, \quad (1)$$

其中,KBDP 表示大骨节病患率,F1~F4 分别表示因子 1~因子 4 的因子得分。

营养研究表明,人体骨骼正常生长、代谢所必需的元素主要有 Ca、P、F、Se 和 Mn 等,但由于当地

表 2 地下水患病率(KBDP)与饮水中常量组分相关系数

Table 2 Correlation matrix of element contents and KBD prevalence in groundwater													
	KBDP	Ca	Mg	Mn	Na	P	Se	Si	F	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
KBDP	1	−0.120	−0.121	−0.150	−0.083	−0.207	−0.217	0.093	−0.252	−0.173	−0.187	−0.056	−0.117
Ca		1	0.373	0.848	0.868	−0.590	−0.557	0.724	−0.531	0.827	0.880	0.822	0.814
Mg			1	0.486	0.483	−0.180	−0.129	−0.006	0.022	0.468	0.385	0.593	0.745
Mn				1	0.985	−0.119	−0.073	0.292	−0.066	0.998	0.965	0.988	0.856
Na					1	−0.172	−0.128	0.322	−0.105	0.982	0.954	0.981	0.872
P						1	0.998	−0.892	0.952	−0.076	−0.192	−0.124	−0.270
Se							1	−0.890	0.962	−0.032	−0.152	−0.076	−0.219
Si								1	−0.914	0.253	0.398	0.256	0.307
F									1	−0.031	−0.164	−0.056	−0.095
Cl										1	0.963	0.985	0.838
NO ₃											1	0.943	0.810
SO ₄												1	0.885
HCO ₃													1

表 3 地表水患病率(KBDP)与饮用水常量组分相关系数

Table 3 Correlation matrix of element contents and KBD prevalence in surface water													
	KBDP	Ca	Mg	Mn	Na	P	Se	Si	F	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
KBDP	1	0.387	0.203	−0.356	0.170	−0.536	−0.519	0.461	−0.589	−0.563	0.360	0.195	0.119
Ca		1	0.254	0.203	0.238	−0.767	−0.747	0.850	−0.763	−0.557	0.118	−0.153	0.267
Mg			1	−0.263	0.667	0.018	0.022	0.087	0.004	−0.004	0.274	0.687	0.832
Mn				1	−0.111	−0.095	−0.107	0.347	−0.028	−0.016	−0.299	−0.405	−0.054
Na					1	−0.170	−0.180	0.082	−0.196	−0.033	0.099	0.742	0.495
P						1	0.933	−0.797	0.872	0.869	0.023	0.301	0.127
Se							1	−0.773	0.896	0.682	0.074	0.205	0.144
Si								1	−0.753	−0.643	−0.019	−0.301	0.173
F									1	0.598	0.042	0.111	0.105
Cl										1	−0.131	0.384	0.064
NO ₃											1	0.031	0.380
SO ₄												1	0.572
HCO ₃													1

表 4 四次方最大旋转因子荷载结果

Table 4 Rotated component matrix										
指标	地下水					地表水				
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
EC	0.926	0.069	0.350	0.004	−0.082	0.877	0.236	0.293	0.057	
As	0.036	−0.328	0.684	0.134	0.965	0.106	0.099	0.025	−0.038	
Ca	0.852	−0.480	−0.030	0.101	0.802	0.250	0.261	0.179	−0.003	
Mg	0.317	0.058	0.872	−0.237	0.030	0.888	−0.040	0.179	0.200	
Mn	0.194	−0.034	−0.059	0.958	0.135	−0.232	0.854	−0.189	−0.182	
Na	0.982	−0.045	0.033	0.036	0.171	0.837	−0.110	−0.326	−0.238	
P	−0.108	0.949	−0.259	0.042	−0.982	0.059	0.103	0.044	0.040	
S	0.981	−0.027	0.067	0.049	0.488	0.746	−0.318	−0.206	−0.054	
Se	0.552	0.712	−0.419	−0.067	0.313	0.178	−0.191	0.847	−0.145	
Si	0.265	−0.823	−0.055	0.305	0.868	0.104	0.340	0.186	0.063	
Sr	0.955	−0.066	0.087	−0.049	0.399	0.860	−0.153	0.083	0.106	
F	−0.045	0.938	0.013	0.185	−0.902	−0.040	0.135	−0.007	0.158	
Cl	0.979	0.034	−0.074	0.093	−0.834	0.142	0.149	0.061	−0.254	
NO ₃	0.962	−0.082	−0.188	−0.019	0.027	0.316	−0.173	−0.127	0.864	
SO ₄	0.984	0.016	0.037	0.045	−0.266	0.856	−0.270	−0.163	−0.119	
HCO ₃	0.731	−0.037	0.598	−0.040	−0.044	0.835	0.303	0.155	0.316	
方差贡献率	52.103	19.338	12.582	7.214	33.909	32.996	8.751	7.297	7.040	
累积方差贡献率	52.103	71.441	84.023	91.236	33.909	66.905	75.656	82.953	89.993	

饮用水中并不缺钙,结合以上因子分析结果,可知该地区大骨节病发病率和饮用水中的 P、F、Se 和 Mn 这 4 种组分的含量密切相关,饮用水中这 4 种组分含量越低,大骨节病的发病率就越高。

4 结论

通过对大骨节病高发区若尔盖县的水环境特征的分析,本文从水环境的角度论述了大骨节病的致病影响因素,得到如下结论:

(1)若尔盖大骨节病区饮用水中常量和微量元素含量都偏低,地表水中尤为明显,饮用地表水也较饮用地下水更容易患病。(2)导致研究区饮用水中各种组分含量偏低的原因主要有两个:一是水动力方面,由于地处高山和高山峡谷区,山地径流较快,水—岩作用时间短、强度弱,使得溶于水中的元素含量偏低;二是水化学方面,由于该区硅酸盐矿物丰富,植被茂密、有机质来源丰富,在地表及水体中形成大量的腐植酸,硅酸盐的水解及有机质腐化过程耗氧形成的酸性还原环境,对地表水体中各种组分尤其对 P、F 和 Se 向水中的释放有很大的抑制作用。(3)水、土等地质背景条件是引发大骨节病的重要因素。从水环境的角度而言,大骨节病发生机制与饮水中 P、F、Se 和 Mn 4 种组分的含量密切相关,饮用水中这 4 种组分含量越低,大骨节病的发病率就越高。

References

Hinsenkamp, M., 2001. Kashin-beck disease. *International Orthopaedics*, 25(3):133. doi:10.1007/s002640000177

Hu, K. R., Cao, Y. Q., Tian, L. Y., 2000. The ecological environment hydrogeochemical model related to elements' richness or deficiency. *World Geology*, 19(4): 350—354, 360 (in Chinese with English abstract).

Li, S. J., Li, W., Hu, X., et al., 2009. Soil selenium concentration and Kashin-beck disease prevalence in Tibet, China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 3(1):62—68. doi:10.1007/s11783—009—0009—4

Moreno-Reyes, R., Suetens, C., Mathieu, F., et al., 1998. Kashin-beck osteoarthropathy in rural Tibet in relation to selenium and iodine status. *The New England Journal of Medicine*, 339(16):1112—1120.

Wang, Z. H., 1999. Historical review of the research progression and the control in Kashin-beck disease, China. *China, J. Endemiol.*, 18:161—163.

Yu, C. H., 2007. SPSS and statistical analysis. Publishing House of Electronics Industry, Beijing, 507—508 (in Chinese).

Zhang, Y., Guo, X., Ping, Z., et al., 2009. Main source of drinking water and familial aggregation of Kashin-beck disease: a population based on case-control family study. *Annals of Epidemiology*, 19(8):560—566. doi:10.1016/j.annepidem.2009.04.007

附中文参考文献

胡宽琰, 曹玉清, 田莉玉, 2000. 与元素丰缺有关的水文地球化学生态环境模型. *世界地质*, 19(4): 350—354, 360.

宇传华, 2007. SPSS 与统计分析. 北京: 电子工业出版社, 507—508.