

# 秦岭火地塘林区地表水水质分析和综合评价

王德连<sup>1</sup>, 雷瑞德<sup>2\*</sup>, 王 谊<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源与环境学院; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:**以秦岭火地塘林区4个集水区径流水水质Ⅰa监测结果为依据,在分析水质状况的基础上,运用模糊数学综合评价方法对其进行综合评价。结果表明,板桥沟集水区径流水水质属于Ⅰ级水,火地沟集水区径流水水质属于Ⅱ级水;火地沟和板桥沟,火地1支沟和2支沟集水区径流水中各指标浓度分别具有相同的变化规律;火地沟和板桥沟集水区径流水中Mg、Ca、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、细菌总数、总大肠菌群数指标浓度高于火地1、2支沟,而K、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>指标浓度则表现为相反的趋势。

**关键词:**秦岭;水质状况;模糊数学;综合评价

**中图分类号:**S715 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2005)01-0025-04

## Water Quality Analysis and Comprehensive Evaluation of the Surface Water in Huoditang Forest Region of Qinling

WANG De-lian<sup>1</sup>, LEI Rui-de<sup>2</sup>, WANG Yi<sup>3</sup>

(1 College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

### 万方数据

**Abstract:** Based on the 1 year water quality and analysis monitoring among four watersheds in Huoditang forest region of Qinling mountains, this paper comprehensively evaluated the water quality by using fuzzy mathematics method. The evaluation results show that: the water quality in Banqiaogou watershed belongs to grade I and that in Huodigou watershed belongs to grade II. Most of the concentration indexes show similar characteristics between Huodigou branch 1 and 2. The concentrations of Mg, Ca, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, total bacterial count, coliform bacteria are more in Huodigou and Banqiaogou watersheds than those in Huodigou branch 1 and 2 watersheds, The concentrations of K, COD<sub>Cr</sub>, BOD<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> are less in Huodigou and Banqiaogou watersheds than those in Huodigou branch 1 and 2 watersheds.

**Key words:** Qinling; water quality; fuzzy mathematics; comprehensive evaluation

秦岭山脉是我国重要的水源涵养林区,是长江、黄河众多支流的发源地。陕西省水资源地域分配严重不均,约73%的地表水集中在秦岭以南<sup>[1]</sup>;秦岭南坡又是我国南水北调中线工程的主要水源区,其水质状况会对社会 and 经济发展产生重大影响。火地塘林区位于秦岭南坡中段中心地段,2003~2004年,笔者对区内4个集水区的水质状况进行了监测,并按国家地表水环境质量标准<sup>[2]</sup>对水质进行综合评价。关于秦岭火地塘林区基本概况已有多篇文献进行过报道<sup>[3~6]</sup>,这里不再赘述。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

分析材料为秦岭火地塘试验区4个集水区地表水水样,分别位于火地沟口、火地1支沟口、火地2支沟口、板桥沟口。

### 1.2 方法

**1.2.1 水样采集** 在4个集水区沟口处分别采集混合水样,分别盛于杀菌消毒过的塑料瓶、碘量瓶、玻璃瓶中,贴上标签,保存记录,分送陕西省环境监

收稿日期:2004-04-01

基金项目:国家林业局重点课题“陕西秦岭火地塘森林景观结构与生态功能”(2001-04)

作者简介:王德连(1972-),男,山东泰安人,讲师,硕士,主要从事森林水文方面的研究。

\* 通讯作者:雷瑞德。

测中心站和中国科学院水土保持研究所进行分析。每月采集水样 2~3 次。降雨历时很长时,降雨期间、降雨后各采集 1 次。

1.2.2 水样分析 水样分析项目主要有 pH 值、K、Na、Ca、Mg、Pb、Cd、Zn、Mn、Fe、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、DO、细菌总数和总大肠菌群数共 18 项。其中, pH 值用电位法; K、Na、Ca、Mg 测定用 2L5100 型原子吸收光谱; Pb、Cd 测定用 2L5100 型石墨炉原子吸收光谱; Zn、Mn、Fe 测定用 ICPQ-1000 型等离子发射光谱; N(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 测定用 DX-100 型离子色谱; COD<sub>Cr</sub> 测定用重铬酸盐法; BOD<sub>5</sub> 测定用稀释与接种法; DO 测定用碘量法; 细菌总数测定用稀释平板法; 总大肠菌群数测定用发酵法。

1.2.3 水质综合评价方法 根据已有的分级系统和监测数据处理结果,运用能够进行多指标的模糊

数学综合评价方法<sup>[7,8]</sup>,划分出水质隶属的级别。其评价方法主要由确定评判对象因素集、确定决策集、建立隶属函数、计算各因子权重和进行模糊综合评价等五步来组成。

2 结果与分析

2.1 各类水体水质状况分析<sup>[2,9]</sup>

2.1.1 pH 值、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 及一般矿质元素类 测定结果表明(表 1),4 个集水区径流水中 pH 值都在 7.5~8.5 之间,属于碱性水,符合生活饮用水水质标准。其中火地 2 支沟 pH 值略低一些,其它 3 个集水区径流水中 pH 值几乎相同。

各集水区径流水中 Na、Zn、Fe 含量变化不大。其中 Na、Fe 含量在地表水环境质量标准 I 级之内, Zn 的含量在 I~II 之间。

表 1 各类水体水质分析  
Table 1 Water quality analysis in different waters

水样来源	pH	含 量/mg · L <sup>-1</sup>												Cd/ μg · L <sup>-1</sup>	Pb/ μg · L <sup>-1</sup>	细菌总 数/个 · mL <sup>-1</sup>	总大肠 菌群/μg · L <sup>-1</sup>	
		Na	Mg	Ca	K	Zn	Fe	Mn	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>					DO
万方数据																		
火地沟口	8.03	1.07	5.54	45.51	1.04	0.034	0.030	++	+	0.757	1.05	6.63	0.38	8.71	0.043	1.80	625	
板桥沟口	8.02	1.51	4.12	43.27	1.34	0.036	0.023	++	+	0	75	2.85	5.91	0.26	8.54	0.128	2.27	276
火地 1 支沟	8.03	1.50	2.83	28.88	1.53	0.027	0.023	++	+	0.383	4.18	13.95	1.29	8.30	0.111	1.32	8	50
火地 2 支沟	7.82	1.28	3.23	34.20	1.90	0.031	0.035	++	+	0.439	5.45	16.56	1.28	8.41	0.088	1.74	26	50

注:“+”表示含量<0.01 mg · L<sup>-1</sup>;“++”表示含量<0.0001 mg · L<sup>-1</sup>。

各集水区径流水中 Mg、Ca、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量呈规律性变化,火地沟和板桥沟集水区含量相近,火地 1、2 支沟含量相近,且火地沟和板桥沟集水区含量比火地 1、2 支沟高。其中 Mg、Ca 含量符合生活饮用水水质标准,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量在地表水环境质量标准 I~II 之间。

各集水区径流水中 K 指标浓度也呈规律性变化,火地沟和板桥沟集水区含量相近,火地 1、2 支沟含量相近,且火地沟和板桥沟集水区含量比火地 1、2 支沟低。

各集水区径流水中 Mn 含量很小,在 0.000 1 mg · L<sup>-1</sup> 以下。

2.1.2 氧平衡类 根据测定结果(表 1),各集水区径流水中 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 含量表现规律和 K 指标一致,COD<sub>Cr</sub> 含量在地表水环境质量标准 I~III 之间,BOD<sub>5</sub> 含量在地表水环境质量标准 I~II 之间;各集水区径流水中 DO 含量变化不大,在地表水环境质量标准 I 级之内。

2.1.3 细菌类 各集水区径流水中细菌总数和总

大肠菌群数表现规律和 Mg、Ca、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 一致,细菌总数都在生活饮用水标准以内(板桥沟集水区除外);总大肠菌群含量在地表水环境质量标准 I~III 之间。

2.1.4 有害物质类 各集水区径流水中 Pb、Cd、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量都在地表水环境质量标准 I 级之内。NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 指标变化规律和 K、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 一致,Pb、Cd、PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 变化很小。

2.2 各类水体水质综合评价

2.2.1 评判对象因素确定 以《地表水环境质量标准》<sup>[2]</sup>为依据,从评价指标一定要反映水体本身特征和火地塘林区内不同水体水质的实际情况出发,对所监测的 18 项指标进行分析后,剔除了大量元素、pH 值、BOD<sub>5</sub> 以及细菌类指标,选取 Zn、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、Cd、Pb、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、DO 8 项作为评价指标(表 1)。

2.2.2 决策集确定 经过对不同水体中 Zn、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、Cd、Pb、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、DO 进行初步分析后,表明这 8 项指标含量均在生活饮用水水质标准

以内,而有部分指标含量超过《地表水环境质量标准》I 级标准,个别超过 II 和 III 标准。因此选择《地表水环境质量标准》作为评价标准,根据此标准将模糊评判的要求将水质分为 5 个等级。表 2 为根据《地表水环境质量标准》并结合火地塘林区实际情况而得出的决策集。

表 2 决策集

Table 2 Decision aggregate

项 目	级 别				
	I	II	III	IV	V
Zn	≤ 0.03	0.05	0.1	0.3	0.5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	≤ 8	10	15	20	25
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	≤ 0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
Cd	≤ 0.5	1	2	3	5
Pb	≤ 5	15	20	25	50
COD <sub>Cr</sub>	≤ 10	15	20	30	40
BOD <sub>5</sub>	≤ 1	3	4	6	10
DO	≥ 7.5	6	5	3	≤2

注: Cd 和 Pb 单位为  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 其余项目单位均为  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2.2.3 进行单因素评价,建立模糊矩阵 评判对象的因素集和决策集确定以后,根据模糊数学评价法可建立二者的模糊关系矩阵 R。

万方数据

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

$r_{ij}$ 表示第  $i$  种污染物的环境质量因子的数值可被评为第  $j$  级环境质量的可能性,即  $i$  对  $j$  的隶属度。可以把隶属度看成是污染物浓度和环境质量标准的函数。各因子隶属函数的建立方法如下:

对第 1 级环境质量

$$\mu_{u_1}^k(u_i) = \begin{cases} 0 & u_i \geq v_{12} \\ -\frac{u_i - v_{12}}{v_{12} - v_{11}} & v_{11} \leq u_i < v_{12} \\ 1 & u_i < v_{11} \end{cases}$$

对第  $j$  级环境质量

$$\mu_{u_j}^k(u_i) = \begin{cases} 0 & u_i \geq v_{j+1}, u_i \leq v_{j-1} \\ \frac{u_i - v_{j-1}}{v_j - v_{j-1}} & v_{j-1} < u_i < v_j \\ \frac{u_i - v_{j+1}}{v_j - v_{j+1}} & v_j < u_i < v_{j+1} \end{cases}$$

对第  $n$  级环境质量

$$\mu_{u_n}^k(u_i) = \begin{cases} 0 & u_i \leq v_{n-1} \\ \frac{u_i - v_{n-1}}{v_n - v_{n-1}} & v_{n-1} < u_i \leq v_n \\ 1 & u_i < v_n \end{cases}$$

依据上式先分别建立可评价因子的隶属函数,然后依据各水体水质指标值对每个评价因子确定其隶属度,各水体水质评价因子的隶属度集合则构成了该水体的水质模糊矩阵 R。如火地沟口监测点的模糊矩阵  $R_{\text{火}}$  为:

$$R_{\text{火}} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.05 & 0.95 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

同理,可求出其他 3 类水体水质的模糊矩阵。

2.2.4 评价指标权重的确定 由于各评价因子对某一环境综合体的贡献不同,因此,应按各因子在环境质量评价中作用的大小不同分别赋予不同的权重,并进行归一化。第  $i$  种污染因子在环境质量评价诸因子的权重系数为:

$$a_i = \frac{C_i/\bar{S}_i}{\sum_{i=1}^m (C_i/\bar{S}_i)}, \bar{S}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_{ij}$$

式中:  $C_i$ —某种污染物的监测浓度;  $\bar{S}_i$ —某种污染物的环境质量基点值。由此,可以确定评价因素的模糊权向量  $A = \{a_1, a_2, \cdots, a_m\}$ 。它是评价因素值的一个模糊子集。表 3 即为各水体水质每个评价指标的权重。

需要说明的是,DO 指标不是污染物,其值越大说明水质越好,故计算权重时应取其倒数。

2.2.5 模糊综合评价 单因素的模糊评价仅反应了一个因素对评价对象的影响,进行综合评价是综合考虑所有因素的影响,得出正确评价结果,确定环境质量等级的归属。在 R 与 A 求出后,模糊综合评价为:  $B = A \cdot R$ , 其  $B = (b_1, b_2, \cdots, b_n)$  是决策集上的一个模糊子集。如  $\sum b_i \neq 1$ , 将其归一化。其即为环境质量的综合评价结果。模糊综合评价共有 4 种计算模型,这里选取取小取大运算模型。通过计算可得出各类水体水质综合评价结果(表 4)。从综合评价结果得知,板桥沟集水区径流水水质属 I 级,火地沟、火地 1 支沟、火地 2 支沟集水区径流水水质属 II 级。此评价结果比较符合该林区水质状况。

3 结论

板桥沟集水区径流水水质属于 I 级,火地沟集

表 3 各水体水质评价指标的权重

Table 3 Index weightiness of water quality estimation in different waters

水样来源	Zn	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Cd	Pb	CODcr	BOD <sub>5</sub>	DO
火地沟口	0.092	0.008	0.366	0.009	0.042	0.154	0.042	0.288
板桥沟口	0.104	0.023	0.296	0.032	0.056	0.146	0.031	0.312
火地 1 支沟	0.066	0.029	0.167	0.023	0.027	0.290	0.128	0.270
火地 2 支沟	0.069	0.034	0.172	0.017	0.033	0.314	0.117	0.244

表 4 各水体水质综合评价结果

Table 4 Comprehensive estimation results of water quality in different waters

水样来源	级 别					隶属级别
	I	II	III	IV	V	
火地沟口	0.44	0.56	0	0	0	II
板桥沟口	0.56	0.44	0	0	0	I
火地 1 支沟	0.48	0.52	0	0	0	II
火地 2 支沟	0.28	0.36	0.36	0	0	II

水区径流水水质属于 II 级。

火地沟和板桥沟,火地 1 支沟和 2 支沟集水区径流水中各指标浓度分别具有相同的变化规律。

火地沟和板桥沟集水区径流水中 Mg、Ca、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、细菌总数、总大肠菌群数含量高于火地 1、2 支沟,而 K、CODcr、BOD<sub>5</sub>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量则表现为相反的趋向。方数据

参考文献:

[1] 雷瑞德. 陕西省林业可持续发展与生态环境建设区域性特征

的思考[J]. 西北林学院学报,2003,18(1):11-14.

[2] GHZBI-1999. 地表水环境质量标准[S]. 国家环境保护总局. 1999.

[3] 雷瑞德,吕瑜良. 锐齿栎林生态系统对水质的影响及评价[J]. 西北林学院学报,2003,18(4):1-4..

[4] 张胜利,雷瑞德,吕瑜良,等. 秦岭火地塘林区森林生态系统水量平衡研究[J]. 水土保持通报,2000,20(6):18-22..

[5] 党坤良. 秦岭火地塘林区不同林分的枯枝落叶层的测定及其在水源涵养中的意义[J]. 西北林学院学报,1984,1(1):35-42.

[6] 雷瑞德. 华山松林冠对降雨动能的影响[A]. 见:林业部科技司. 中国森林生态系统定位研究[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 245-251.

[7] 袁志发. 模糊数学在农林上的应用[M]. 杨陵:天则出版社. 1990.

[8] 刘春风,翟瑞彩. 基于模糊数学的水质分析[J]. 天津大学学报,2003,36(1):87-91.

[9] GB5749-1985. 生活饮用水卫生标准[S]. 国家环境保护总局. 1985.

(上接第 24 页)

[6] 冯玉龙,曹坤芳,冯志立. 四种热带雨林树种幼苗比叶重、光合特性和暗呼吸对生长光环境的适应[J]. 生态学报,2002,22(6):901-910.

[7] 雷瑞德,彭鸿,党坤良. 火地塘林区油松林的群落类型及结构特征的研究[J]. 西北林学院学报,1996,11(增刊):65-70.

[8] 陈福明,陈顺伟. 混和液法测定叶绿素含量的研究[J]. 林业科技通讯,1984(2):4-8.

[9] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplast[J]. Plant Physiology,1949,24:1-15.

[10] 索恩利 J H M. 植物生理的数学模型——植物与植物群体生理问题的数量研究[M]. 王天铎译. 北京:科学出版社,1983.

[11] 王世绩. 木本植物耐阴性的生理学原理[M]. 北京:科学出版社,1986.

[12] 曲仲湘,吴玉树,王煥校,等. 植物生态学[M]. 北京:高等教育出版社,1983.

[13] 王翼龙. 秦岭火地塘林区三个树种光合生理生态特性研究

[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2003.

[14] 文诗韵,杨思河,尹忠馥. 红松光合日进程测定[J]. 生态学杂志,1991,10(6):30-33.

[15] 郭连旺,沈允钢,武海,等. 杜仲光合特性的研究[J]. 植物学报,1996,38(4):283-286.

[16] 谢会成,姜志林,叶镜中. 麻栎光合作用的特性及其对 CO<sub>2</sub> 倍增的响应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2002,26(4):67-70.

[17] Boardman N K. Comparative photosynthesis of sun-and shade-plants[J]. Ann. Rev. Pl. Physiol. 1977, 28: 355-360.

[18] Hiro T. Physiological and ecological analysis of shade tolerance of plant[J]. Botl. Mag., 1964, 77: 3-9.

[19] 杨思河,姚建华. 不同林分树木叶绿素的含量及对叶绿素指标应用的想法[J]. 林业科技通讯,1984(6):7-10.

[20] 龚垒. 树木的光合作用与物质生产[M]. 北京:北京科学技术出版社,1989.