

塔里木胡杨自然保护区地下水理化特性相互关系研究

胡小韦^{1,2}, 海米提·依米提^{1,2,3}, 艾尼瓦尔·买买提^{1,2}, 木巴热克^{1,2}, 冯振忠⁴

(1. 绿洲生态系统安全与可持续发展实验室, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046;
3. 干旱半干旱区可持续发展国际研究中心, 乌鲁木齐 830046; 4. 塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000)

摘 要:通过对塔里木河胡杨林自然保护区地下水理化特性相互关系的研究, 结果表明: 地下水埋深和 pH 值与电导率、含盐量、矿化度的相关系数不大。电导率和含盐量、矿化度的相关系数分别为 0.974 和 0.984, 含盐量与矿化度相关系数为 0.998, 由此得出电导率与矿化度、含盐量回归模型。

关键词:地下水; 理化特性; 相关分析; 回归分析

中图分类号: P641.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)05-0320-04

Study on Correlation Between Physics and Chemistry Characteristic of Groundwater in Tarim *Populus euphratic* Nature Reserve Area

HU Xiao-wei^{1,2}, Hamit · Yimit^{1,2,3}, Anwar · Mohammed^{1,2}, Mubarek^{1,2}, FENG Zhen-zhong⁴

(1. Key Laboratory of Oasis Ecology and Sustainable Development, Urumqi 830046, China; 2. Resource and Environmental College of Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. International Center for Desert Affairs-Research for Sustainable Development in Semi-Arid and Arid Land, Urumqi 830046, China; 4. The Manage bureau of Tarim Basin in Kuerle, Kuerle, Xinjiang 841000, China)

Abstract: To study the correlation between physics and chemistry characteristic which were in the Tarim *Populus euphratic* nature reserve area, the conclusion show that the depth of the groundwater and pH have a poor correlativity with the conductivity, salinity, TDS. The conductivity and salinity, TDS turn the related coefficient is 0.992 and 0.984, the salinity and TDS's coefficient is 0.998. Therefore, the conductivity and TDS, salinity's regression model is made.

Key words: groundwater; physical and chemical characteristic; correlation analysis; regression analysis

塔里木河(以下简称塔河)流域地处我国西北极端干旱区,降水稀少,地带性荒漠植被十分稀疏,对生态环境起重要作用的是依靠地下水发育的非地带性中生和旱中生植被,其生长状况与地下水埋深及水质十分密切^[1]。在以水资源开发利用为核心的人类社会经济活动作用下,塔河流域自然生态过程发生了显著变化^[2],地下水位大幅度下降,生态系统严重受损,水质恶化,使得地下水中的盐分不断积累、浓缩,矿化度上升,咸化严重,植被死亡,地下水矿化度达到每升几克至十几克^[3]和耕地撂荒等一系列环境问题,严重影响了中下游绿洲社会经济的发展。加强地下水水质研究,分析地下水水质相互关系,对合理利用地下水、有效利用水资源具有重要的实际意义。

国内外学者一致认为,水质矿化度与电导率和可溶性总离子量有较高的相关性,矿化度和总可溶性固体也有极大的相关性^[4~10]。通过测定总可溶性固体、含盐量,用数理统计的方法推导总可溶性固体与电导率和溶解性总离子量的回归方程,建立总可溶性固体与电导率的回归方程后,测定地下水的总可溶性固体,即可获得待测样的电导率。

本文利用 2006 年 7 月野外调查和地下水水质调查分析,探讨保护区地下水水质的相关关系,并在此基础上建立了回归模型,确立含盐量、总可溶性固体与电导率的关系后,测定地下水的矿化度和含盐量,即可获得待测样的电导率,提高了精度和准确性,为野外考察或定点观测提供获得地下水总可溶性固体的简便、快速而准确的方法。也为塔河中游保护区的地下水水质研究和植被恢复提供依据,以及今后地下水监测及质量控制都有一定的参考价值。

1 研究区概况

塔河是我国最长的内陆河流,干流全长 1 321 km,其流域总面积为 $1.02 \times 10^6 \text{ km}^2$ ^[3],其中耕地为 $1.36 \times 10^6 \text{ hm}^2$,灌溉总面积超过 $2.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。塔里木胡杨林自然保护区地处塔克拉玛干大沙漠北缘,位于塔河中游,巴音郭楞蒙古自治州尉犁,轮台县境内,地理坐标为:北纬 $40^\circ 52' \sim 41^\circ 19'$,东经 $84^\circ 15' \sim 85^\circ 30'$,是属典型的温带大陆性平原区荒漠气候,降水稀少,蒸发强烈,多风,日照长,温差大,夏季炎热,冬季干冷。多年平均气温 0.7°C ,极端最高气温 43.6°C ,极端

收稿日期:2006-11-08

基金项目:国家自然科学基金项目(40661002);自治区高校重点研究项目(XJEDU2006I09);新疆绿洲生态重点实验室开放课题(XJDX02060401);“春晖计划”项目(新疆胡杨林资源及其保护)(030144)

作者简介:胡小韦(1982-),男,新疆阿克苏人,硕士研究生,主要从事干旱区水资源与环境研究。

通讯作者:海米提·依米提,教授,博导。

最低气温-0.9℃。>10℃的积温在 4 000~4 500℃之间,日照时数约 3 000 h^[11],无霜期 187~233 d。多年平均降水量 17.4~42.8 mm,蒸发能力为 1 125~1 600 mm,干旱指数为 17~50。海拔高度为 800~940 m,地面坡降 1/4 000 左右。保护区胡杨林总面积为 4 745 hm²。

2 数据处理与研究方法

2.1 样点数据及其处理

2.1.1 数据来源

野外调查:于 2006 年 7 月在新疆塔河胡杨保护区范围内沿河道用 GPS 定了 55 点并打井取水样,主要测定地下水的埋深、电导率、总可溶性固体、含盐量、pH,拍实地照片;由于打井比较困难和考虑本研究所需因子。有部分井是用当地农牧民的地下水井和中国科学院新疆分院监测塔里木河输水地下水位监测井,并在样地测定地下水位,取水样。在研究区沿输水河道两侧布置 55 个点做为监测地下水水位的监测点。用以监测河道两侧地下水位和地下水理化特性,取得地下水样并采用 sensION7 型实验室电导率仪和笔式 pH 计以及 WLTO1-B 地下水位测量仪,分析内容包括:总可溶性固体、pH、含盐量、电导率、测得地下水埋深等 5 项指标。

2.2 数据分析方法

应用 SPSS 12.0 软件进行以下分析计算:相关分析、方差分析、回归分析并建立模型。

3 分析过程

3.1 地下水理化特性相关分析

干旱区地下水位过高,使土壤发生盐渍化,对植物产生盐胁迫,地下水位过低,使上层土壤干旱,植物生长受到水分胁迫而生长不良,发生荒漠化^[1]。地下水电导率、pH 值是水文地球化学环境的重要指标,它们能灵敏地反映出地下水化学环境的变化^[12],水溶盐具有导电作用,其导电能力的强弱可用电导率表示。在一定浓度范围内,含盐量愈高,电导率也愈大,因此水样电导率的数值能反映含盐量的高低^[13]。总可溶性固体是地下水各组分浓度的总指标,地下水化学组分浓度的变化,特别是常量组分浓度的变化,随之引起总可溶性固体的变化。因此它能很好地反映地下水中物质组分在总体上的分布特征和变化趋势^[3],尤其能代表水质状况。

表 1 地下水理化特性的基本描述

	平均值	标准差	样品数
地下水埋/m	4.20	0.88	35
电导率/(s·m ⁻¹)	4.55	4.00	35
含盐量/%	2.38	2.36	35
总可溶性固体/(g·L ⁻¹)	2.35	2.26	35
pH	7.09	0.75	35

有几个数据因为条件的限制无法测得和有 5 个点的数据比较异常,所以在进行相关分析时,采用该变量所有非缺失值的均数进行填充和删除这几个异常点数据。删除这几个点数据后含盐量和总可溶性固体的平均值分别由 3.4 g/L 变为 2.38 g/L 和 3.32 g/L 变为 2.35 g/L,标准差也由 4.33 变为 2.36 和 4.09 变为 2.26。就更能反映研究区的真实情况。在应用 SPSS 12.0 软件处理时采用了 PEARSON 相关系数,通

过此模块几组变量之间最大相关分析(Bivariate)的结果可以判定,该结构包括:几组变量描述性统计表及变量相关关系表;相关系数大小及其显著水平检验结果表 1。

从表 1 可知:塔河两岸地下水埋深平均为 4.2 m,当地下水埋深在 3.5~4.0 m 时,土壤停止积盐,且塔河两岸的地下水位已经达到生态胁迫水位;地下水的矿化度为 2.35 g/L,当地下水的矿化度为 1~3 g/L 为微咸水^[1],表明塔河两岸地下水已经成为微咸水,而且地下水已经有偏碱性的倾向,这些数据都表明塔河中游保护区两岸的地下水都对其地表植被产生一定的胁迫。

表 2 地下水理化特性相关系数及其显著水平

	地下水埋深	电导率	含盐量	总可溶性固体	pH
地下水埋相关系数	1				
显著水平	.				
电导率 相关系数	-0.214	1			
显著水平	0.218	.			
含盐量 相关系数	-0.217	0.974*	1		
显著水平	0.210	0.000	.		
总可溶性固体 相关系数	-0.215	0.984*	0.998*	1	
显著水平	0.214	0.000	0.000	.	
pH 相关系数	0.139	0.078	0.039	0.044	1
显著水平	0.425	0.655	0.822	0.804	.

注:趋势速率值数据右上角*表示在 0.01 水平显著;无*表示在 0.10 水平显著。样品数 n=35。

从表 2 可知地下水埋深和 pH 与电导率、含盐量、总可溶性固体的相关系数不大。电导率和含盐量、总可溶性固体的相关系数分别为 0.974 和 0.984,自由度 f=33,在同一显著水平下,随着样本数的增大,临界值 r 减小。所以查自由度 f=30 时,R_{0.001}=0.554 1。显然所有的相关系数均大于 R_{0.01}=0.554 1,这说明电导率与含盐量、总可溶性固体相关概率高达 99.9%。同样可知含盐量与总可溶性固体也成高度的正相关。鉴于以上只反映了地下水理化特性相互关系的密切程度,却不能反映诸要素之间的量化程度。为了将诸要素相互关系具体化。引入回归分析方法来进一步研究地下水理化特性诸要素之间的数量关系。

3.2 地下水理化特性回归模型

3.2.1 回归分析模型原理

回归分析法是一种处理变量间相关关系的数理统计方法,它不仅可以提供变量间相关关系的数学表达式,而且可以利用概率统计知识对此关系进分析,以判别其有效性;还可以利用关系式,由一个或多个变量值,预测和控制另一个因变量的取值,进一步可以知道这种预测和控制达到了何种程度,并进行因素分析。回归分析法就是以统计回归概念为基础,采用多种类型的回归方法建立预测方程,包括一元线性、多元线性、非线性等。多元线性回归时要确定因变量与多个自变量之间的定量关系,它的数学模型为:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_m X_m + \epsilon \tag{1}$$

式中:β₀,β₁,β_m——待定参数;ε——随机变量,它表示除 x 以

外其它随机因素对 y 影响的总和。

其中: $E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_m X_m$ 为理论回归方程。

在实际问题研究中,事先并不能断定随机变量 y 与变量 X_1, X_2, \dots, X_m 之间确有线性关系,在进行回归参数估计前,用多元线性回归方程拟合随机变量 y 与变量 X_1, X_2, \dots, X_m 之间的关系,只是根据一些定性分析所作的一种假设。因此,当求出线性回归方程后,还需对回归方程进行显著性检验,一般采用两种统计方法对回归方程进行检验,一是回归方程显著性的 F 检验,另一个是回归系数显著性的 t 检验。

3.2.2 地下水理化特性多元线性回归分析模型的建立

地下水系统是一个由输入、输出及地质实体构成的一个复杂系统。本研究采取回归分析的方法,鉴于以上电导率、含盐量、总可溶性固体成高度正相关,以此建立数学模型,试图找到它们之间的量化关系,其基本思路为:要考查 m 个变量 X_1, X_2, \dots, X_m 与变量 y 之间的关系,共选择 n 个样点测试,每次测试数据为 $(y_i, X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{mi}), i = 1, 2, \dots, n$ 。如果 y 与 X_1, X_2, \dots, X_m 之间存在线性关系,则以上 n 组数据应满足:

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_{11} + \beta_2 X_{21} + \dots + \beta_m X_{m1} \tag{2}$$

$$y_2 = \beta_0 + \beta_1 X_{12} + \beta_2 X_{22} + \dots + \beta_m X_{m2} \tag{3}$$

.....

$$y_n = \beta_0 + \beta_1 X_{1n} + \beta_2 X_{2n} + \dots + \beta_m X_{mn} \tag{4}$$

此即为地下水理化特性预测的回归分析模型,可以用最小二乘法求解此方程组,限于篇幅,解法从略。用线性回归模型预测地下水水质,需要对回归方程进行显著性检验,通过回归方程的检验,若它是显著的,就可使用估计的回归直线对有关地下水水质进行预测。

根据以上相关关系大的建立数学模型:

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_3 X_3$$

式中: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ——待定系数。

3.2.3 回归分析模型的分析过程

从表 3 可以看出:分别进行了电导率与总可溶性固体;电导率与总可溶性固体、含盐量的逐步回归分析。其中,电导率与总可溶性固体、含盐量相关系数 R 为 0.998,说明自变量与因变量之间有高度的相关性。决定系数(R^2)为 0.997

(R^2 反映出总体回归效果,越接近 1 越好),即在因变量的变异中,有 99.97% 可由自变量的变化来解释。

表 3 模型总体参数

回归模型	相关系数 (R)	决定系数 (R^2)	调整决定 系数	估计值的 标准误差
1	0.996(a)	0.991	0.991	0.66545
2	0.998(b)	0.997	0.996	0.41792

a Predictors: (Constant), 总可溶性固体; b Predictors: (Constant), 总可溶性固体, 含盐量。

表 4 的方差分析可以看出回归模型 2 离差平方和为 1 904.297,残差平方和为 6.462,回归平方和为 1 910.759。回归方程作显著性检验中,统计量为 $F = 5451.648$,对应的置信水平 $P = 0.000(b)$,远比常用的置信水平 0.05 要小,因此差异有显著性意义,即此回归方程有必要成立。

表 4 回归方差分析

回归模型	平方和	自由度	均方差	F 值	显著水平
离差平方和	1893.931	1	1893.931	4276.942	0.000(a)
1 残差平方和	16.827	38	0.443		
回归平方和	1910.759	39			
离差平方和	1904.297	2	952.148	5451.648	0.000(b)
2 残差平方和	6.462	37	0.175		
回归平方和	1910.759	39			

a Predictors: (Constant), 总可溶性固体; b Predictors: (Constant), 总可溶性固体, 含盐量; c Dependent Variable: 电导率。

表 5 是用方差分析对每个因变量做偏回归分析。是关于回归系数及显著性检验的计算结果,系数显著性检验采用 t 检验。常数项 t 的显著性概率为 $0.058 > 0.05$,表示常数项与 0 无显著性差异,表明常数项不应出现在方程中。

总可溶性固体 t 的显著性概率为 $0.000 < 0.05$,表示总可溶性固体的系数与 0 有显著性差异,总可溶性固体应当作为解释变量出现在方程中。

含盐量 t 的显著性概率为 $0.000 < 0.05$,表示含盐量的系数与 0 有显著性差异,含盐量应当作为解释变量出现在方程中。

表 5 回归系数及显著性检验

回归模型	非标准化的回归系数		标准化的 回归系数 待定系数	T 值	显著水平	相关系数的检验		
	常数项	标准误差				零显著 水平	偏相关 系数	部分相关 系数
1	(Constan)	0.545	0.136	4.002	0.000			
	总可溶性固体/($g \cdot L^{-1}$)	0.002	0.000	0.996	65.398	0.000	0.996	0.996
2	(Constan)	0.190	0.097	1.953	0.058			
	总可溶性固体/($g \cdot L^{-1}$)	0.005	0.000	3.156	11.247	0.000	0.996	0.108
	含盐量/%	-3.496	0.454	-2.162	-7.704	0.000	0.992	-0.785

a Dependent Variable: 电导率。

3.2.4 采用标准回归方程,得出多元线性回归方程

需要指出的是,有常数项与无常数项是两种不同的数学模型,其决定系数的值不能作简单比较。究竟哪个回归方程更合适,必须把它们放到地下水实际中检验,才能得出正确的结论。实际应用中,是否保留常数项,由当地的具体情况来决定。这里我们应该采用不带常数项的方程来研究,即对

电导率的预测: $\beta_0 = 0, \beta_1 = 3.156, \beta_2 = -2.162$ 。

故电导率与总可溶性固体、含盐量回归模型:

$$y = 3.156X_1 - 2.162X_2 \quad (\text{置信系数取 } \alpha = 0.05)$$

式中: y ——电导率,单位为(s/m); X_1 ——总可溶性固体,单位为(g/L); X_2 ——含盐量。

4 结论

基于多元线性回归分析的理论和方法,应用统计软件 SPSS 12.0 对塔河中游胡杨林自然保护区地下水理化特性进行统计分析。结果表明:

(1)地下水埋深和 pH 与电导率、含盐量、总可溶性固体的相关系数不大。

(2)电导率和含盐量、总可溶性固体的相关系数分别为 0.974 和 0.984,含盐量与总可溶性固体的相关系数为 0.998,在 $P=0.01$ 水平下显著,这说明电导率与含盐量、总可溶性固体;含盐量与总可溶性固体相关概率高达 99.9%,电导率与总可溶性固体、含盐量存在高度正相关性,总可溶性固体、含盐量其中任何一个变化都会引起电导率的变化。

(3)应用统计软件 SPSS 12.0 得出电导率与总可溶性固体、含盐量回归模型: $y=3.156X_1-2.162X_2$ (置信系数取 $\alpha=0.05$)。

参考文献:

- [1] 樊自立,马英杰,张宏,等.塔里木河流域生态地下水位及其合理深度确定[J].干旱区地理,2004,27(1):67-69.
- [2] 陈永金,陈亚宁,李卫红,等.塔里木河下游地下水化学特征对生态输水的响应[J].地理学报,2005,(60):51-53.
- [3] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等.中国塔里木河水资源与生态问题研究[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000.
- [4] 李立人.百口泉地下水电导率与溶解性总固体相关性讨论[J].水污染治理油气田环境保护,1998,(9):3-15.

- [5] 陈果平.地下水电导率与总硬度相关关系的研究[J].技术交流,2000.110-111.
- [6] 李立人.地下水电导率与溶解性总固体相关性探讨[J].干旱环境监测,1999,13(2):34-35.
- [7] 杜鹏飞,李虹,海春兴,等.阴山北麓春季土壤含盐量及其与电导率的关系研究[J].内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版),2006,35(2):23-25.
- [8] 吴诗怡.塔克拉玛干沙漠地下水矿化度与电导率关系的研究[J].中国沙漠,1996,16(4):34-36.
- [9] 姚井华.用电导率测定地下水矿化度[J].中国环境监测,1986,2(2):31-33.
- [10] 李刚,王永冰.昌吉市地下水中离子总量与电导率间关系研究[J].地下水,1995,17(4):23-26.
- [11] 张宏安,曹海涛,李晓铃,等.塔里木河干流输水堤建设两岸天然植被的影响及保护对策[J].水电站设计.2004,20(1):56-58.
- [12] 伏小石,张平,张化,等.地下水 pH 值、电导率和浊度实时监测仪器[J].仪表技术与传感器,2004,11(3):45-48.
- [13] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1989.199-202.
- [14] 吴诗怡.塔克拉玛干沙漠地下水矿化度与电导率关系的研究[J].中国沙漠,1996,16(4):87-89.

(上接第 316 页)

4.2 生物措施

生物措施主要包括植树造林、草地建设等,增加土地的蓄水能力,提高枯水的可利用量。从长远利益来看,这是最治本的措施。1989 起贵州省各地实施了“长江上游水土保持重点防治工程”,长治工程每年投资 2 000 万元,以流域水系为单元,以恢复和增加森林植被为中心,以遏止水土流失为重点^[8]。各级政府也加大了力度进行治理,通过封山育林等,取得了明显成效,贵州的森林面积覆盖率由 2000 年的 30% 增加到 2005 年的 35%。喀斯特地区的枯水量有较大提高,但面对近几年工农业的快速发展、人口较快增长,需水量显著提高,枯季水资源问题还没有根本解决。

4.3 建设节水型社会

多山的贵州喀斯特地区,田高水低,取水困难,在技术和自然条件的约束下,要提高全民的节水意识,通过枯水资源的合理开发、高效利用,逐步解决城市和乡村的枯水资源的供需矛盾。贵州省的农业用水占总用水量的 55% 以上,而灌溉利用系数只有 0.3~0.5,节水潜力非常大。提高灌溉技术,进行喷灌、滴灌、土中渗灌等。另外,工业用水效率也较低,为了最大限度的减少资源的消耗量,可以进行水资源的循环利用、一水多用等。

4.4 防治水污染

随着经济的飞速发展,城市化的进程加快,工业废水和生活污水的排放量也在不断增加,水体污染日趋严重,加之

贵州省还有一些地区污水处理设施较滞后,不达标的污水排放到环境又会造成其它水体的污染,更加剧了枯水资源的供需矛盾。为此,城市地区应加大污水处理厂的建设,采用先进的污水处理技术,提高水的回收利用;农村地区应强化化肥、农药的合理利用,积极发展高效低残留的农药和化肥。

致谢:工作期间得到梁虹导师的悉心指导。

参考文献:

- [1] 杨明德,谭明,梁虹.喀斯特流域水文地貌系统[M].北京:地质出版社,1998.2-23.
- [2] 戴洪刚,梁虹,黄法苏.喀斯特枯水、干旱、灾害初探——以贵州省为例[J].贵州师范大学学报,2005,23(4):28-32.
- [3] 高贵龙,邓自民,熊康宁,等.喀斯特的呼唤与希望——贵州喀斯特生态环境建设与可持续发展[M].贵阳:贵州科技出版社,2003.
- [4] 梁虹.喀斯特流域空间尺度对洪水、枯水水文特征值影响初探——以贵州河流为例[J].中国岩溶,1997,16(2):122-128.
- [5] 梁虹,王剑.喀斯特地区流域岩性差异与洪、枯水特征值相关分析[J].中国岩溶,1998,(1):67-73.
- [6] 刘昌明.水文水资源研究理论与实践[M].北京:科学出版社,477-481.
- [7] World Meteorological Organization. International Meteorological Vocabulary (2nd)[C]. WMO,1992.
- [8] 贵州省防汛抗旱指挥部办公室、贵州省水文水资源局.贵州水旱灾害[M].贵阳:贵州人民出版社,1999.8-10.