

哈尼梯田灌区生态需水评价

饶碧玉^{1,2}, 韩 英¹, 杨建荣¹, 罗绍芹¹

(1. 云南农业大学水利水电与建筑学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南农业大学水资源与节水灌溉重点实验室, 云南 昆明 650201)

摘要 针对云南省元阳县哈尼梯田灌区特点与实际情况, 选用层次分析法和数据包络分析法, 综合考虑自然、社会、水资源、生态环境等方面因素, 建立生态需水评价模型, 对灌区 2000 年和 2005 年的生态需水状况进行对比分析。结果表明, 生物丰度指数、径流系数、植被覆盖指数、干旱指数 4 个指标为影响生态需水的重要指标, 灌区 2005 年的生态需水状况比 2000 年有所改善, 与灌区实际情况基本相符。

关键词 哈尼梯田灌区 生态需水 层次分析法 数据包络分析法

中图分类号 X171.1 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2009)05-0049-05

Evaluation of ecological water demand in Hani terrace irrigated area

Rao Bi-yu^{1,2}, Han Ying¹, Yang Jian-rong¹, Luo Shao-qin¹

(1. College of Water Resources, Hydraulic Power and Architecture, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Key Laboratory of Water Resources and Water Saving Irrigation, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Based on the characteristics and real conditions of the Hani Terrace Irrigated Area in Yuanyang County, Yunnan Province, and considering comprehensively the natural, social, water resources and ecological factors, a model for evaluating the ecological water demand was established using the analytic hierarchy process (AHP) and data envelopment analysis (DEA). The model was applied to do the contrastive analysis of the ecological water demand in the irrigation area for the years of 2000 and 2005. The results showed that four indicators were important in predicting ecological water demand: the biological abundance index, the runoff coefficient, the vegetation index, and the drought index. The results also showed that the ecological water demand of the irrigation area in 2005 was improved over that in 2000, and this was basically supported by the actual conditions in the irrigation area.

Key words: Hani Terrace Irrigation Area; ecological water demand; analytic hierarchy process (AHP); data envelopment analysis (DEA)

由于水资源短缺, 对生态需水的研究, 尤其是灌区生态需水问题的研究一直被高度关注, 近年来不同学者根据不同灌区特点对生态需水进行了探索研究。本文以云南省元阳县哈尼梯田这一独特灌区为研究对象, 对灌区生态需水进行评价研究。

灌区生态需水是指维持一个灌区生态系统和谐与稳定所必需消耗的水分, 而对于生态环境脆弱的灌区来说, 生态需水是指为维护灌区生态环境不再进一步恶化并逐渐改善所需要消耗的水分。

本研究从元阳哈尼梯田灌区的特点与实际情况

出发, 以缓解灌区水资源矛盾、保护灌区生态环境为目标, 分别从主观和客观方面对灌区生态需水进行评价, 在分析灌区生态需水影响因素的基础上, 建立了灌区基于层次分析法和数据包络分析法的评价模型, 并对其不同年份生态需水状况进行对比分析, 为灌区生态环境改善和水资源合理利用提供参考依据。

1 灌区基本情况

1.1 自然地理

元阳哈尼梯田灌区位于云南省红河州元阳县的

中部,属亚热带季风气候区,最高海拔 1 800 m,最低海拔 700 m,年平均气温 16.4℃,最高气温 32.4℃,最低气温 -2.6℃,全年日照时数为 1 770.2 h,相对湿度 85%。由于受地理环境和地形条件的影响,立体气候明显,1 200 m 以下为河谷区,常年无霜,雨量充沛,蒸发量大,气候炎热;1 200 ~ 1 700 m 之间为中低山区,雨量较充沛,气候较温和;1 700 m 以上为中山区,多雾多雨。灌区地势南高北低,沟谷纵横,属红河南岸深切之中山坡地地貌,地形坡度变化不大,坡度在 15 ~ 35°之间。

1.2 水文水资源

灌区全年降雨量为 1 397.6 mm。雨季为 5 ~ 10 月,其降雨量占全年降雨量的 78%,降雨年内分布及空间分布不均匀。灌区最大蒸发量出现在 4 ~ 5 月,最大月蒸发值在 160 mm 左右,最小月蒸发值一般出现在 11 月 ~ 次年 1 月,在 60 mm 以下。灌区属红河南岸流域和藤条江上游流域,区内主要有者那河、麻栗寨河、大瓦遮河及阿勐控河。灌区流域年平均径流量可达 71 887.34 万 m³,水资源较为丰富,但河流位于灌区内海拔 200 m 处,可利用水资源量较小。

1.3 社会经济

据 2002 年元阳县统计资料,灌区总人口 7.31 万,占全县总人口的 20%,其中农业人口 6.81 万。财政总收入 346 万元,占全县财政总收入的 14.5%,财政支出 755.57 万元。灌区土地总面积 4.19 万 hm²,灌区现有耕地面积 1 万 hm²,其中水田 0.64 万 hm²,旱地 0.37 万 hm²,人均占有耕地面积 0.137 hm²。粮食总产 2 186 万 kg,人均有粮 299 kg。主要农作物有水稻、玉米、花生、黄豆、甘蔗、蔬菜等。

1.4 生态环境

梯田的开垦,有效地阻止了当地的山体滑坡和泥石流,层层梯田构成了一个个立体的水系,其独特的地理位置和地形决定了其特有的生物多样性。哈尼梯田森林茂密、水源丰富,但由于传统的劳作方式

和人为毁林开荒种植,造成灌区内部分地区生态失调、环境恶化,滑坡、泥石流等各种自然灾害经常发生。目前灌区存在的主要问题有 ①生态系统脆弱;②森林覆盖率降低,生物多样性减少,整体效应减弱;③水土流失严重,土壤肥力下降;④人畜饮用水源枯竭。

2 评价模型

通过分析水资源系统常用评价方法的优缺点及适用范围,本文为消除主观方法或客观方法单独使用造成的不足,建立基于层次分析法和数据包络分析法的生态需水评价模型,通过 MATLAB 计算软件求解计算模型。层次分析法建模过程主要步骤有:建立层次结构模型,构造判断矩阵与单排序及一致性检验,层次总排序及一致性检验,建立评价模型与评价值计算。数据包络分析法建模过程主要步骤有 选择评价单元 DMU,建立输入、输出评价指标体系,数据包络模型的选择和相对有效性计算。

2.1 层次分析法评价模型^[1-3]

通过分析灌区生态需水的影响因素,以自然因素、社会因素、水资源因素和生态环境因素构成指标体系。在评价计算时,针对实际情况选取 18 个可操作性较强的指标,按照层次分析法模型的步骤确定各指标权重及进行评价。为了说明灌区生态需水状况和变化趋势,选取 2000 年和 2005 年的数据资料,对灌区生态需水满足程度及改善情况作出分析判断。

2.1.1 构建递阶层次模型

根据层次分析法模型的原理及步骤,建立 1 个目标层,4 个准则层,18 个指标层的递阶层次结构模型,如图 1。

2.1.2 构造判断矩阵与单排序及一致性检验

a. 相对生态需水评价价值 A 总目标层,对准则层内指标 B₁ ~ B₄ 进行两两比较,得判断矩阵 A 及各

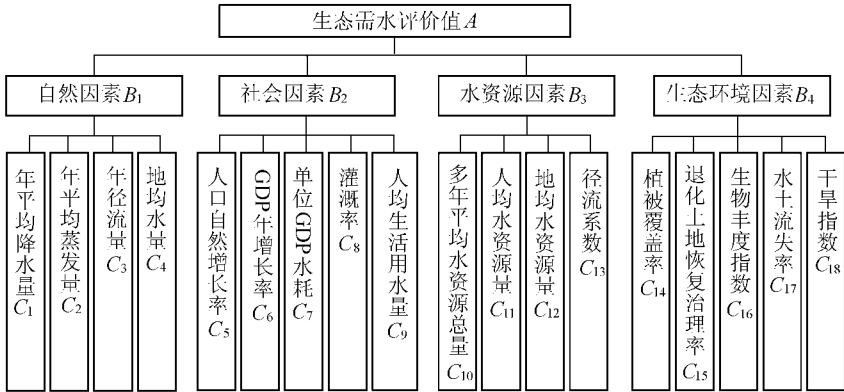


图 1 灌区生态需水递阶层次结构模型

指标单排序权值 w_j , 见式(1)。

$$A = \begin{array}{c|cccc|c} & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & W_j \\ \hline B_1 & 1 & 1/3 & 1/4 & 1/5 & 0.0738 \\ B_2 & 3 & 1 & 1/2 & 1/2 & 0.1925 \\ B_3 & 4 & 2 & 1 & 1/2 & 0.2944 \\ B_4 & 5 & 2 & 2 & 1 & 0.4393 \end{array} \quad (1)$$

$\lambda_{\max} = 4.0566, C_I = 0.0189, R_I = 0.90, C_R = C_I / R_I = 0.0210 < 0.1$, 判断矩阵 A 通过一致性检验。

b. 相对准则层的自然因素来说, 其内部各指标相对重要性判断矩阵 $B_1 (C_1 \sim C_4)$ 及相对重要性权值 w_j 见式(2)。

$$B_1 = \begin{array}{c|cccc|c} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & W_j \\ \hline C_1 & 1 & 1 & 1/4 & 1/5 & 0.0927 \\ C_2 & 1 & 1 & 1/3 & 1/4 & 0.1051 \\ C_3 & 4 & 3 & 1 & 1/2 & 0.3078 \\ C_4 & 5 & 4 & 2 & 1 & 0.4944 \end{array} \quad (2)$$

$\lambda_{\max} = 4.0325, C_I = 0.0108, R_I = 0.89, C_R = C_I / R_I = 0.0122 < 0.1$, 判断矩阵 B_1 通过一致性检验。

c. 相对准则层的社会因素来说, 其内部各指标相对重要性判断矩阵 $B_2 (C_5 \sim C_9)$ 及相对重要性权值 w_j 见式(3)。

$$B_2 = \begin{array}{c|ccccc|c} & C_5 & C_6 & C_7 & C_8 & C_9 & W_j \\ \hline C_5 & 1 & 1/2 & 1/4 & 1/3 & 1/5 & 0.0637 \\ C_6 & 2 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/3 & 0.1058 \\ C_7 & 4 & 3 & 1 & 2 & 2 & 0.3661 \\ C_8 & 3 & 2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 0.1778 \\ C_9 & 5 & 3 & 1/2 & 2 & 1 & 0.2865 \end{array} \quad (3)$$

$\lambda_{\max} = 5.0994, C_I = 0.0248, R_I = 1.12, C_R = C_I / R_I = 0.0222 < 0.1$, 判断矩阵 B_2 通过一致性检验。

d. 相对准则层的水资源因素来说, 其内部各指标相对重要性判断矩阵 $B_3 (C_{10} \sim C_{13})$ 及单排序权值 w_j 见式(4)。

$$B_3 = \begin{array}{c|cccc|c} & C_{10} & C_{11} & C_{12} & C_{13} & W_j \\ \hline C_{10} & 1 & 1/3 & 1/4 & 1/5 & 0.0729 \\ C_{11} & 3 & 1 & 1/2 & 1/3 & 0.1699 \\ C_{12} & 4 & 2 & 1 & 1/2 & 0.2844 \\ C_{13} & 5 & 3 & 2 & 1 & 0.4729 \end{array} \quad (4)$$

$\lambda_{\max} = 4.0511, C_I = 0.0170, R_I = 0.89, C_R = C_I / R_I = 0.0191 < 0.1$, 判断矩阵 B_3 通过一致性检验。

e. 相对准则层的生态环境因素来说, 其内部各指标相对重要性判断矩阵 $B_4 (C_{14} \sim C_{18})$ 及单排序权值 w_j 见式(5)。

$$B_4 = \begin{array}{c|ccccc|c} & C_{14} & C_{15} & C_{16} & C_{17} & C_{18} & W_j \\ \hline C_{14} & 1 & 3 & 1/2 & 2 & 1 & 0.2105 \\ C_{15} & 1/3 & 1 & 1/4 & 1/2 & 1/3 & 0.0714 \\ C_{16} & 2 & 4 & 1 & 4 & 2 & 0.3939 \\ C_{17} & 1/2 & 2 & 1/4 & 1 & 2 & 0.1592 \\ C_{18} & 1 & 3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 0.1650 \end{array} \quad (5)$$

$\lambda_{\max} = 5.2489, C_I = 0.0622, R_I = 1.12, C_R = C_I / R_I = 0.0556 < 0.1$, 判断矩阵 B_4 通过一致性检验。

2.1.3 层次总排序及一致性检验
进行目标总排序一致性检验：

$$C_{I_{\text{总}}} = \sum_{j=1}^m w_j C_{I_j} = 0.0738 \times 0.0108 + 0.1925 \times 0.0248 + 0.2944 \times 0.017 + 0.4393 \times 0.0622 = 0.0379$$

$$R_{I_{\text{总}}} = \sum_{j=1}^m w_j R_{I_j} = 0.0738 \times 0.89 + 0.1925 \times 1.12 + 0.2944 \times 0.89 + 0.4393 \times 1.12 = 1.0353$$

$C_{R_{\text{总}}} = C_{I_{\text{总}}} / R_{I_{\text{总}}} = 0.0366 < 0.1$, 层次总排序具有满意的一致性。

综合以上结果, 在总目标 A 下, 指标 $C_1 \sim C_{18}$ 的组合权重如表 1 所示。

表 1 $A - C$ 的组合权重

A	B_1	B_2	B_3	B_4	组合权重
	0.0738	0.1925	0.2944	0.4393	W_j
C_1	0.0927				0.0068
C_2	0.1051				0.0078
C_3	0.3078				0.0227
C_4	0.4944				0.0365
C_5		0.0637			0.0123
C_6		0.1058			0.0204
C_7		0.3661			0.0705
C_8		0.1778			0.0342
C_9		0.2865			0.0552
C_{10}			0.0729		0.0215
C_{11}			0.1699		0.0500
C_{12}			0.2844		0.0837
C_{13}			0.4729		0.1392
C_{14}				0.2105	0.0925
C_{15}				0.0714	0.0314
C_{16}				0.3939	0.1730
C_{17}				0.1592	0.0699
C_{18}				0.1650	0.0725

指标的组合权重值即为指标权重, 将指标权重值进行排序(表 2), 由表 2 可看出, 指标权重处于前 5 位的依次为生物丰度指数、径流系数、植被覆盖指数、地均水资源量、干旱指数 指标权重处于后 5 位的依次为年平均降水量、年平均蒸发量、人口自然增长率、GDP 年增长率、多年平均水资源总量。

2.1.4 评价模型与评价价值计算分析

2.1.4.1 对指标数据进行无量纲化处理

选取灌区 2000 年和 2005 年数据, 对生态需水指标数据进行无量纲化处理, 结果见表 3。

表 2 各指标权重值与排序

指标层	自然因素				社会因素				水资源因素				生态环境因素					
	年平均 降水量	年平均 蒸发量	年径 流量	地均 水量	人口自然 增长率	GDP年 增长率	单位 GDP 水耗	灌溉率	人均 生活 用水量	多年平均 水资源 总量	人均水 资源量	地均水 资源量	径流 系数	植被 覆盖 指数	退化土地 恢复 治理率	生物 丰度 指数	水土 流失率	干旱 指数
权重值	0.0068	0.0078	0.0227	0.0365	0.0123	0.0204	0.0705	0.0342	0.0552	0.0215	0.0500	0.0837	0.1392	0.0925	0.0314	0.1730	0.0699	0.0725
排序	18	17	13	10	16	15	6	11	8	14	9	4	2	3	12	1	7	5

表 3 灌区生态需水不同年指标值及无量纲化值

类别	年平均 降水量/ mm	年平均 蒸发量/ mm	年径 流量/ 万 m ³	地均 水量/ (万 m ³ · km ⁻²)	人口 自然 增长 率/%	GDP 年 增长 率/%	单位 GDP 水耗/ (m ³ ·万元 ⁻¹)	灌溉 率/%	生活 用水量/ (m ³ ·人 ⁻¹)	多年平均 水资源 总量/ 万 m ³	人均水 资源量/ m ³	地均 水资源量/ (m ³ ·hm ⁻²)	径流 系数	植被覆 盖指数	退化土 地恢复 治理率 /%	生物 丰度 指数	水土 流失 率/%	干旱 指数
2000 年 指标值	1389	1492	34090.76	97.88	0.8	9.6	32.36	61.1	50	41044.64	5638	40935	0.5853	0.3514	31.2	0.5257	26.2	0.9310
无量 纲化值	0.9933	0.9841	0.9283	1	0.1036	0.8889	1.0288	0.9760	0.9524	1	1.0132	1	0.9350	1	0.96	1.0052	1.065	1.0092
2005 年 指标值	1407.7	1540.1	39354.12	97.88	0.744	12	30.55	64.1	55	41044.64	5491	40935	0.6667	0.3514	33.8	0.5203	23.0	0.9140
无量 纲化值	1.0067	1.0159	1.0717	1	0.0964	1.1111	0.9712	1.0240	1.0476	1	0.9868	1	1.0650	1	1.04	0.9948	0.935	0.9908

2.1.4.2 灌区生态需水评价模型与评价价值计算分析

采用以下线性模型作为评价模型,分别计算准则层 4 个指标的评价值及目标层的综合评价值：

- a. 自然因素评价值为 $N_1 = \sum_{i=1}^4 W_{1i}C_{1i}$ ；
- b. 社会因素评价值为 $N_2 = \sum_{i=1}^5 W_{2i}C_{2i}$ ；
- c. 水资源因素评价值为 $N_3 = \sum_{i=1}^4 W_{3i}C_{3i}$ ；
- d. 生态环境因素评价值为 $N_4 = \sum_{i=1}^5 W_{4i}C_{4i}$ ；
- e. 灌区生态需水综合评价值为 $N = \sum_{i=1}^4 W_iN_i$ 。

式中： W_{1i} 、 C_{1i} ， W_{2i} 、 C_{2i} ， W_{3i} 、 C_{3i} ， W_{4i} 、 C_{4i} 分别为自然因素、社会因素、水资源因素、生态环境因素各项指标的权重和各指标的无量纲化值。

以上评价价值计算结果见表 4。

表 4 评价价值统计

年份	N_1	N_2	N_3	N_4	N
2000	0.0720	0.1368	0.2860	0.4373	0.3080
2005	0.0756	0.1958	0.3028	0.4384	0.3232

从表 4 可以看出,灌区 2005 年的生态需水综合评价价值 N 比 2000 年大,说明 2005 年的生态需水状况比 2000 年有所改善,其中 2005 年的自然状况、社会经济状况、水资源状况、生态环境状况与 2000 年相比均有变化,社会经济状况、水资源状况变化相对明显,说明灌区各方面得到了改善,从而使生态需水得到改善。

同时由计算结果可以看出,2000 年和 2005 年均

有 $N_4 > N_3 > N_2 > N_1$,即生态环境因素评价价值大于水资源因素评价价值大于社会因素评价价值大于自然因素评价价值,说明灌区的生态需水状况主要受生态环境因素影响,其次是水资源因素,再次是社会因素,影响最小的是自然因素。反映生态环境方面且权重较大的指标有生物丰度指数、植被覆盖指数、干旱指数,反映水资源状况且权重较大的指标有径流系数,因此应从植被建设和水资源保护利用等方面来进行,以改善灌区生态环境状况和水资源状况。

2.2 数据包络分析法评价模型^[1-2,4-6]

2.2.1 选择评价对象 DMU

根据评价对象 DMU 的选取原则,选取灌区 2000 年及 2005 年生态需水状况为不同评价单元进行相对有效性评价。

2.2.2 建立输入输出指标体系

仍然选取同样的 18 个指标,并按照建立输入输出指标的原则,分为输入型指标和输出型指标,如表 5 所示。

2.2.3 确定指标权重

将表 5 中输入输出指标的数据值代入 C^2R 模型的线性规划模型进行计算。经过模型运算得到各指标权重值,见表 6,并进行排序。由计算得的权重值可知,输入指标的相对重要性依次为:径流系数、干旱指数、人口自然增长率、单位 GDP 水耗、退化土地恢复治理率、灌溉率、地均水量、年蒸发量和年降水量、年径流量和多年平均水资源总量 输出指标的相对重要性依次为:植被覆盖指数、生物丰度指数、GDP 年增长率、水土流失率、人均生活用水量、地均水资源量、人均水资源量。从总体上看,植被覆盖指数、生物丰度指数、径流系数、干旱指数、GDP 年增长

表 5 输入输出指标及指标值

年份	输入指标										输出指标							
	年平均 降水量/ mm	年平均 蒸发量/ mm	年径 流量/ 万 m ³	地均 水量/ (万 m ³ · km ⁻²)	人口自然 增长率/%	单位 GDP 水耗/ (m ³ · 万元 ⁻¹)	灌溉 率/%	多年平 均水资 源总量/ 万 m ³	径流 系数	退化土 地恢复 治理率/%	干旱 指数	GDP 年 增长率/ %	人均生活 用水量/ m ³	人均水 资源量/ m ³	地均水 资源量/ (m ³ ·hm ⁻²)	植被 覆盖 指数	生物 丰度 指数	水土 流失 率/%
2000	1389	1492	34090.76	97.88	0.8	32.36	61.1	41044.64	0.5853	31.2	0.9310	9.6	50	5638	40935	0.3514	0.5257	26.2
2005	1407.7	1540.1	39354.12	97.88	0.744	30.55	64.1	41044.64	0.6667	33.8	0.9140	12	55	5491	40935	0.3514	0.5203	23.0

表 6 输入输出指标权重及排序

指标	输入指标										输出指标							
	年平均 降水量	年平均 蒸发量	年径 流量	地均 水量	人口自 然增长 率	单位 GDP 水耗	灌溉 率	多年平 均水资 源总量	径流 系数	退化土 地恢复 治理率	干旱 指数	GDP 年 增长率	生活 用水量	水资源 量	地均水 资源量	植被 覆盖 指数	生物 丰度 指数	水土 流失 率
2000 年	0.0001	0.0001	0.0000	0.0011	0.00111	0.0034	0.0013	0.0000	0.1491	0.0024	0.0775	0.0229	0.0036	0.0000	0.0000	0.8610	0.5699	0.0095
排序	13	13	14	12	0.0111	9	10	13	3	10	4	5	8	13	13	1	2	7
2005 年	0.0001	0.0001	0.0000	0.0011	0.0086	0.0000	0.0017	0.0026	0.1022	0.0031	0.0639	0.0205	0.0056	0.0003	0.0005	0.7416	0.4951	0.0118
排序	15	15	16	12	7	16	11	10	3	9	4	5	8	14	13	1	2	6

率这 5 个指标的权重排序处于前 5 位,说明这 5 个指标是影响灌区生态需水的重要指标。而年径流量、年平均降雨量、年平均蒸发量、人均水资源量、多年平均水资源总量等 5 个指标的权重排序处于后 5 位,说明对灌区生态需水影响相对较小。

2.2.4 确定相对效率值

根据 C^2R 模型计算得灌区 2000 年和 2005 年的相对效率值为 $h_1 = 1.0000, h_2 = 1.0000$ 。为了确认 2000 年和 2005 年的有效性,需利用 C^2R 模型中线性规划的对偶规划模型进行检验。将 2000 年和 2005 年的输入指标值和输出指标值代入对偶规划模型运算,检验上述 2 个评价对象的相对有效性,其结果列于表 7。

表 7 相对有效性检验结果

项目	2000 年	2005 年
θ^*	1.0000	1.0000
	0.0186	0.0000
	0.0192	0.0000
	0.3234	0.0000
	0.0014	0.0000
	0.0001	0.0000
	0.0005	0.0000
	0.0008	0.0000
	0.5656	0.0000
	0.0000	0.0000
s^{*-}	0.0004	0.0000
	0.0000	0.0000
	0.0015	0.0000
	0.0057	0.0000
	0.4506	0.0000
	0.2383	0.0000
	0.0000	0.0000
	0.0000	0.0000
s^{*+}	0.0014	0.0000

由表 7 可以看出,2005 年对应的最优解 $\theta_1^* = 1$

且 $s^{*-} = 0, s^{*+} = 0$,2000 年对应的最优解 $\theta_2^* = 1$,但 $s^{*-} \neq 0$ 且 $s^{*+} \neq 0$ 。2005 年的相对效率值是有效的,2000 年的相对效率值是弱有效的。因此,2005 年灌区的生态需水满足程度比 2000 年要高,说明 2005 年灌区的生态需水状况比 2000 年有所改善。

3 评价结果比较分析

将灌区生态需水指标值分别带入层次分析法模型和数据包络分析法模型进行计算,由层次分析法评价模型计算结果显示,处于前 5 位的指标为生物丰度指数、径流系数、植被覆盖指数、地均水资源量、干旱指数;由数据包络分析法评价模型计算结果显示,处于前 5 位的指标是植被覆盖指数、生物丰度指数、径流系数、干旱指数、GDP 年增长率。由前一种方法确定的权重主要反映决策者主观对指标重要程度的认识,而后一种方法确定的权重主要基于指标的客观数据,因此通过以上两个模型确定权重,可以补充单独使用一种方法造成的误差。选取在两种方法中都处于前 5 位的指标即生物丰度指数、径流系数、植被覆盖指数、干旱指数 4 个指标作为影响灌区生态需水的重要指标。

由以上 4 个重要指标可看出生态环境因素和水资源因素是影响灌区生态需水的重要因素。因此在灌区的管理建设方面应注重生态环境方面的改善与保护,以及水资源方面的规划管理与合理利用,应加强生物多样性、植被覆盖率及水资源保护利用。

两种评价模型结果还显示,灌区 2005 年的生态需水状况比 2000 年有所改善,说明随着对生态环境的重视,对灌区采取的生态环境保护和水资源利用方面的对策措施是合理有效的,改善了灌区生态环境状况和水资源状况。(下转第 73 页)

值对吸附效果十分显著,pH 值在 5 ~ 7 时对 Zn^{2+} 的吸附去除效果最好。其他因素如反应时间、温度、藻粉加入量等也会不同程度地影响吸附效果。

d. 用 Langmuir 吸附等温方程对小球藻吸附 Zn^{2+} 的行为进行热力学分析表明,小球藻对锌的吸附行为与 Langmuir 等温式有较好的相关性。

参考文献：

[1] 潘进芬,林荣根. 海洋微藻吸附重金属的机理研究[J]. 海洋科学,2000,2(24) 31-34.
[2] MALLICK N. Biotechnological potential of Chlorella vulgaris for accumulation of Cu and Ni from single and binary metal solutions[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology,

2003,19 695-701.
[3] MEHTA S K,TRIPATHI B N,GAUR J P. Enhanced sorption of Cu^{2+} and Ni^{2+} by acid-pretreated Chlorella vulgaris from single and binary metal solutions[J]. Journal of Applied Phycology, 2002,14 267-273.
[4] OMAR H H. Adsorption of zinc ions by *Scenedesmus obliquus* and *S. quadricauda* and its effect on growth and metabolism [J]. Biologia Plantarum,2002,45(2) 261-266.
[5] 叶锦韶,尹华,彭辉,等. 重金属的生物吸附研究进展[J]. 城市环境与城市生态,2001,14(3) 30-32.
[6] 陈春云,庄源益,刘斐,等. 染料在干污泥上的吸附平衡和动力学[J]. 安全与环境学报,2003,3 (3) 46-50.
[7] AKSU Z. Biosorption of reactive dyes by dried activated sludge : equilibrium and kinetic modeling [J]. Biochem Eng J,2001,7 : 79-84.
(收稿日期 2008-12-30 编辑 高渭文)

(上接第 43 页)

4 结 语

- a. 在水平方向,两断面水库水体的高锰酸盐指数和总氮浓度无明显差异。
- b. 在垂直方向,靠近库岸水体的高锰酸盐指数浓度无明显差异,而库中高锰酸盐指数浓度随着水深的加大逐渐变小 ;总氮浓度在两断面均是中层水大于表层水和深层水 ;随着水深的加大 DO 浓度明显降低。
- c. 根据土壤浸出实验结果及计算,该水库库区土壤中主要污染物浸出量分别为总氮 48.95 g/m²、总磷 0.50 g/m²、高锰酸盐指数 25.83 g/m²。
- d. 水库库区土壤养分在蓄水初期对水库水质

有一定影响,但由于淹没区以林地(非经济林)为主,故对水质影响不是很大。随着水库的正常运行,水体的不断交换,这种影响将会逐渐减弱并达到新的动态平衡。

参考文献：

[1] 张晟,刘景红,张全宁. 三峡水库成库初期氮、磷分布特征[J]. 水土保持学报,2005,19(4) 123-126.
[2] 李鱼,邓风君,李兴春,等. 青龙山水库土壤养分溶出对水质的影响[J]. 水资源保护,2000(1) 18-20.
[3] 劳家柱. 土壤农化分析手册[M]. 北京 :农业出版社, 1988 204-213.
[4] 杨钢. 三峡库区受淹土壤污染物释放量的试验研究[J]. 水土保持学报,2004,18(1) 111-114.
(收稿日期 2008-06-26 编辑 高渭文)

(上接第 53 页)

4 结论与讨论

本论文根据灌区特点与实际情况,选用层次分析法和数据包络分析法,综合考虑自然、社会、水资源、生态环境等方面因素,选取 18 个评价指标,分别建立生态需水评价模型,模型评价结果显示生物丰度指数、径流系数、植被覆盖指数、干旱指数 4 个指标为影响生态需水的重要指标,生态环境因素和水资源因素是影响灌区生态需水的重要因素,灌区 2005 年的生态需水状况比 2000 年有所改善,与灌区实际情况基本相符,说明本文建立的评价模型具有一定的合理性。

在以上评价过程中也存在一些问题,由于哈尼梯田灌区的复杂性,而人们对灌区认识的局限性,对评价指标体系的选取还需完善和更具针对性,特别是灌区处于不断的发展变化中,对灌区生态需水的评价也应是动态的 ;另外层次分析法虽是定性与定量相结合的评价方法,但主要还是一种主观评价方

法,评价结果难免带有主观因素,数据包络分析法虽是一种客观定量的方法,但由于基础数据获取方面的原因,及模型计算的简化,对评价结果的准确性和可靠性可能会有影响,因此对灌区生态需水的评价方法、评价模型、评价内容,还需作进一步的深入研究。

参考文献：

[1] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京 :科学出版社, 2002.
[2] 杜栋,庞庆华. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京 :清华大学出版社,2005.
[3] 舒卫萍,崔远来. 层次分析法在灌区综合评价中的应用 [J]. 中国农村水利水电,2005(6) 109-111.
[4] 李美娟,陈国宏. 数据包络分析法(DEA)的研究与应用 [J]. 中国工程科学,2003,5(6) 88-94.
[5] 彭育威,徐小湛,吴守宪. Matlab 在数据包络分析中的应用 [J]. 西南民族学院学报,2002,28(2) 139-143.
[6] 王筱明,郑新奇. 数据包络分析在城市土地利用中的应用 [J]. 山东师范大学学报 :自然科学版,2005,20(1) : 48-51.
(收稿日期 2008-11-28 编辑 高渭文)