

扎龙湿地生态系统需水量*

王建群¹, 韩丽¹, 马铁民²

(1: 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)

(2: 水利部松辽水利委员会水文局, 长春 130000)

摘要:对扎龙湿地生态系统需水量计算方法进行了研究,提出了适宜生态环境需水量和最小生态环境需水量计算方法;对扎龙湿地湖泊水库、明水沼泽和芦苇沼泽面积上的生态环境需水量、扎龙湿地适宜生态环境需水量及最小生态环境需水量进行了计算和分析:1986-2002年扎龙自然保护区生态环境需水量的变化范围为 $5.22 \times 10^8 \text{ m}^3 - 5.92 \times 10^8 \text{ m}^3$;扎龙湿地自然保护区的适宜生态环境需水量为 $5.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、保证率为75%的最小生态环境需水量为 $2.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,保证率为95%的最小生态环境需水量 $3.54 \times 10^8 \text{ m}^3$.

关键词:湿地;生态环境需水;水资源;生态安全;可持续发展;扎龙湿地

Eco-environmental water requirement in the Zhalong Wetland

WANG Jianqun¹, HAN Li¹ & MA Tiemin²

(1: State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

(2: Hydrology Bureau of Soliao Water Resources Committee, Changchun 130000, P. R. China)

Abstract: The method for calculating the eco-environmental water requirement in the Zhalong Wetland are studied, and the methods for calculating the appropriate quantity of the eco-environmental water requirement and calculating the minimum quantity of the eco-environmental water requirement are put forward. The eco-environmental water requirement in all kinds of the land use area in the Zhalong wetland including the lake, in the swampland saturating with water and in the swampland covering with bulrush, the appropriate quantity of the eco-environmental water requirement and the minimum quantity of the eco-environmental water requirement are calculated and analyzed. It is concluded that, the quantity of the eco-environmental water requirement in the whole Zhalong Wetland varies from 522 millions m^3 to 592 millions m^3 during from 1986 to 2002, the appropriate quantity of the eco-environmental water requirement is 555 millions m^3 , the minimum quantity of the eco-environmental water requirement with the assuring probability of 75% is 289 millions m^3 and the minimum quantity of the eco-environmental water requirement with the assuring probability of 95% is 354 millions m^3 .

Keywords: Wetland; eco-environmental water requirement; water resources; ecological security; sustainable development; Zhalong Wetland

湿地是水陆相互作用形成的特殊自然综合体,是自然界最具生产力的生态系统和人类最重要的生成环境之一。水资源是湿地保护的主要目标,湿地生态系统需水规律的研究对湿地生态系统的保护有着重要的意义。因此,湿地生态需水量的研究作为生态需水问题研究的组成部分得到了人们的重视。文献^[1]就湿地生态环境需水量的概念进行了阐述。文献^[2]对湿地生态环境需水量进行了等级划分。文献^[3]对浅水湖泊型湿地南四湖湿地生态环境需水量进行了研究。文献^[4]对具有河口湿地、河成决口洼地、河-海成扇形洼地、海成滨海沼泽地、湖库湿地、塘坑和沟渠湿地类型的天津湿地系统生态需水量进行了分析计算。文献^[5]对

* 2005-05-08 收稿;2005-09-16 收修改稿。王建群,男,1960年生,博士、教授。E-mail: wjqibm@vip.163.com.

沼泽型湿地洪河国家级自然保护区湿地生态环境需水进行了计算. 以上关于湿地生态环境需水量研究的文献, 较少考虑生态环境需水量的年际变化和年内变化规律. 生态环境需水量是一个变量, 它随时间和地点不同而不同, 同时也与生态环境保护目标密切相关. 影响生态环境需水量的因素很多, 有许多机理尚不清楚, 目前生态环境需水计算不能反映其对生态系统稳定性的影响, 不能体现它的满足程度及其波动性, 因此研究分析生态环境需水空间和时间上的变化规律是十分必要的.

位于我国松嫩平原乌裕尔河下游、黑龙江省齐齐哈尔市东南 26 km 处的扎龙湿地, 地理坐标 N 46°48′-47°31.5′; E 123°51.5′-124°37.5′, 是我国最大的以鹤类为主的珍禽鸟类和湿地生态类型的国家级自然保护区, 1992 年被列入国际重要湿地名录. 近年随着人口的增加, 经济的发展, 特别是近年的连续干旱, 使湿地面积和鹤类数量明显减少, 生物多样性遭到破坏, 扎龙湿地面临萎缩甚至消亡的威胁, 扎龙湿地生态系统急待拯救, 扎龙湿地的生态环境用水问题, 成为人们关心的焦点. 为保护扎龙湿地, 尽快恢复湿地功能, 水利部门组织实施了应急调水工程, 从 2001 年起, 每年由中部引嫩工程向扎龙湿地补水, 五年来共补水 $11.5 \times 10^8 \text{ m}^3$. 水资源是湿地保护的主要目标, 扎龙湿地引水工程的实施为缓解扎龙自然保护区湿地水资源短缺提供了契机, 也为再调和合理配置生态环境需水提供了良机. 但如何有效分配从嫩江调来的水资源, 在保护生产、生活用水的同时, 给湿地生态环境以最适宜的水量, 是一个急待解决的问题. 开展扎龙湿地生态系统需水规律的研究, 对扎龙湿地乃至其它类似湿地的生态环境保护、使湿地走向生态效益、经济效益和社会效益良性循环的轨道有着重要的意义.

1 扎龙湿地生态环境需水量计算方法

1.1 生态环境需水量计算类型

扎龙自然保护区湿地生态环境的主要问题是上游产流区水土流失、入境水量减少, 湿地植被退化、涵蓄水源功能减弱, 以及土壤盐渍化、水质污染、生物多样性受到威胁等. 生态环境保护就是要在经济发展的同时使这些生态环境问题缓解、消除, 至少使其不对经济可持续发展造成危害.

扎龙自然保护区土地利用类型主要为耕地、居民地、湖泊、草地、盐碱地、芦苇沼泽、明水沼泽等. 由于平原湖泊湿地的特点, 用水稀释或冲洗污染物和土壤中过多的盐份将会给湿地造成更严重的危害, 因而盐渍化和污染问题只能靠改造生产和灌溉技术, 堵住问题发生的源头, 生态环境需水量计算时不考虑稀释和冲淡用水. 乌裕尔河中下游(包括自然保护区)的草地绝大部分是依赖天然降水的荒漠和荒漠草地, 既不必要也不可能分出水量对其进行大面积的灌溉改良, 对这类草地退化问题只能采取减轻载畜压力, 使其自然恢复的方法. 湖泊水生生物除自身生长繁殖需水外, 还需要保持一个重要的水生生态环境的空间—水生生物栖息地, 为许多水生生物提供必需的生息空间、产卵和越冬的场所. 湖泊水位下降导致湖泊生态环境恶化, 湖泊干涸将对湖泊生态系统造成毁灭性的破坏. 因此, 维持扎龙湿地湖泊正常水位和补充湖泊生态系统蒸发等消耗的水分应计入湿地生态需水的计算范围. 扎龙自然保护区湿地沼泽周围以地表水和地下水为主要补给来源的天然植被, 包括湿地芦苇、盐生和中生灌丛及部分草甸草地, 既是自然保护区的生态屏障, 又是核心区重要动植物种类资源的栖息地. 这部分天然植被维持正常生长和更新需要消耗的水分应计入湿地生态需水的统计范围. 扎龙湿地植物种类多达 460 种, 在计算植物需水量时只能选择关键物种. 根据扎龙自然保护区湿地植被的基本特征, 亦即沼泽类型以草丛沼泽为主, 而草丛沼泽中以芦苇群落为主, 还分布有小面积苔草群落、香蒲群落、菖蒲群落等. 因此, 扎龙湿地植物生态需水量计算主要是以芦苇为主的生态需水量计算.

由此可见, 扎龙湿地生态系统需水量计算包括湖泊生态环境需水量计算、湿地植物需水量计算、湿地土壤需水量计算、野生动物栖息地需水量计算等部分; 需计入生态需水的主要类型是自然保护区的全部湿地湖泊生态环境需水量、明水沼泽生态环境需水量和芦苇沼泽(包括芦苇和土壤)生态环境需水量等部分.

1.2 湖泊生态环境需水量计算方法

湖泊生态需水量是指为保证特定发展阶段的湖泊生态系统结构与功能并保护生物多样性所需要的一定质量的水量, 包括湖泊生物需水量、湖泊蒸散发需水量和水生生物栖息地需水量; 湖泊环境需水量是以生态环境现状为出发点, 为保证湖泊发挥正常的环境功能, 为维护生态环境不再恶化并逐步改善所需的一定

质量的水量,包括污染物稀释需水量、防止湖水盐化需水量、航运需水量、景观建设和保护需水量. 湖泊洼地生态环境需水量主要考虑为维持湖泊湿地特定的水、盐以及水生生态条件,湖泊洼地一年内消耗的水量. 根据水量平衡的原理,在无吸水的自然条件下,对于湖泊洼地有:

$$\Delta W = P + R - D - E + \Delta W_g \quad (1)$$

式中, ΔW 为湖泊洼地蓄水量的变化量 (m^3/a); P 为降水量 (m^3/a); R 为入湖水量 (m^3/a); D 为出湖水量 (m^3/a); E 为湖泊洼地水面的蒸发量 (m^3/a); ΔW_g 为地下水变化量 (m^3/a).

为维持湖泊湿地的生态环境功能,要求湖泊洼地蓄水量不发生变化,即 $\Delta W = 0$,对北方河流而言,由于蒸发 E 大于降水量 P ,因此在地下水水位维持动态平衡的条件下 ($\Delta W_g = 0$),必须有相当一部分补充湖水量消耗于湖泊洼地水面的蒸散发. 因此,可以认为湖泊洼地的生态环境用水主要是用以维持湖泊洼地水量平衡而消耗于水面蒸散的净水量,其计算公式表示如下:

$$W_E = \sum A(E - P) \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中, W_E 为湖泊洼地的生态环境需水量 (m^3/a); A 为湖泊洼地的水面面积 (m^2); E 为相应水面的蒸发能力 (mm); P 为湖泊洼地上的降水量 (mm).

1.3 湿地植物需水量计算方法

湿地植物需水量包括四部分:植物同化过程耗水和植物体内包含的水分、蒸腾耗水、湿地植株表面蒸发耗水以及土壤蒸发耗水. 前两部分是植物生理过程所必需的,称为生理需水,后两部分是植物生活环境条件形成中所必需的,称为生态需水. 其中蒸腾耗水和土壤蒸发是最主要耗水项目,占植物需水量的 99%,其他两项仅占 1%. 因而把植物需水量近似理解为植物叶面蒸腾和棵间土壤蒸发的水量之和,称为蒸散发量. 从理论上可表达为^[6]:

$$dW_p/dt = A(t)ET_m(t) \quad (3)$$

式中, W_p 为植物需水量; $A(t)$ 为湿植被面积; ET_m 为蒸散发量; t 为时间,多以月为单位.

1.4 湿地土壤需水量计算方法

土壤含水量是计算土壤需水量的基础和依据,湿地土壤含水量可用以下公式计算:

$$S = W_e h \quad (4)$$

式中, S 为土壤储水量 (mm); W_e 为土壤容积湿度; h 为土层厚度 (mm).

在一定的时空尺度内,土壤具有一定的含水量,但土壤中的含水量并不能代表土壤的需水量,因此,土壤含水量不是解决土壤需水量的办法,但却是一个参照. 不同的湿地土壤,持水量、含水量和水特性不同,需水量就会有差异. 湿地生态环境需水量计算公式为^[1]:

$$Q_t = \alpha\gamma H_t A_t \quad (5)$$

式中, Q_t 为土壤需水量, α 为田间持水量或饱和持水量百分比,根据研究的土壤类型而定, γ 为土壤容重, H_t 为土壤厚度, A_t 为湿地土壤面积.

1.5 野生动物栖息地需水量计算方法

野生动物栖息地需水量是鱼类、鸟类等栖息、繁殖需要的基本水量. 以湿地的不同类型为基础,找出关键保护物种,如鱼类或鸟类,根据正常年份鸟类或鱼类在该区栖息、繁殖的范围内计算其正常水量,为避免与湿地土壤需水量的重复,这里只计算地表以上低洼地的蓄水量(满足野生动物栖息、繁殖的必须水量).

野生动物栖息地需水量可用下式计算^[7,8]:

$$Q_1 = 1/6(A_b + A_t + \sqrt{A_t A_b})\delta_1(T_1 + B) \quad (6)$$

$$Q_2 = 1/6(A_b + A_m + \sqrt{A_m A_b})\delta_2(T_2 + B) \quad (7)$$

式中, Q_1, Q_2 分别为野生动物栖息地理想需水量和最小需水量; A_b 为湿地区正常年面积, A_t 为洪水期湿地面积, A_m 为枯水期湿地面积; T_1 为洪水期水平面高度, T_2 为枯水期水平面高度, B 为正常年水平面高度; δ_1, δ_2 分别为水平面高度订正系数.

1.6 适宜与最小生态环境需水量计算方法

湿地适宜生态环境需水量是维持湿地生态环境现状并使湿地生态环境得到逐步改善相应的需水量. 本文认为,可以基于多年平均来水情况计算特定湿地面积上的适宜生态环境需水量. 扎龙湿地湖泊水库、明水

沼泽和芦苇沼泽面积是逐年动态变化的.因此,根据湖泊水库、明水沼泽和芦苇沼泽面积等土地类型面积和多年平均降雨过程计算的扎龙湿地生态环境需水量也是逐年动态变化的.要计算扎龙湿地适宜生态环境需水量,需确定扎龙湿地湖泊水库、明水沼泽和芦苇沼泽面积等主要土地类型的适宜面积,然后再根据多年平均降雨过程计算各类适宜面积相应的生态环境需水量,相加得扎龙湿地适宜生态环境需水量.

最小生态环境需水量是系统维持自身发展所需的最低水量,低于这一水量,对应的生态系统就会逐渐萎缩、退化甚至消失.扎龙湿地自然保护区核心区是划定的保护珍稀、濒危动植物的核心区域,维持核心区的生态功能不发生退化的根本条件,就是维持核心区适宜面积下生态系统所需的生态耗水量.此生态耗水量即认为是扎龙自然保护区湿地的最小生态环境需水量.本文认为,给定土地利用面积上的适宜生态环境需水量是维持现状的多年平均结果,给定土地利用面积上的最小生态环境需水量必须考虑保证率的概念;扎龙湿地最小生态环境需水量应该是扎龙湿地自然保护区核心区面积上的具有一定保证率的生态环境需水量,可以根据设计降雨过程计算.

2 扎龙湿地生态环境需水量计算

2.1 土地利用类型和面积

为了迅速查清扎龙自然保护区历史上不同水平年土地利用的变化情况,收集了覆盖扎龙自然保护区范围 1986 年至 2002 年 12 个时期的美国 LandsatTM 标准假彩色合成遥感影像(其空间分辨率为 $30\text{m} \times 30\text{m}$),采用现代遥感技术和地理信息系统技术结合野外考察对收集的遥感影像进行了解译,提取了扎龙湿地生态系统需水量计算所需的不同时期土地利用类型和面积参数(表 1).2002 年扎龙自然保护区湿地功能分区内各土地利用类型和面积(表 2).由表 2 中数据可以看出,核心区内主要是沼泽分布,面积为 605.51 km^2 ,占核心区总面积 83.67%,耕地、居民地很少,说明人类活动较低;缓冲区主要是沼泽、草地为主,两者总面积为 530.06 km^2 ,占缓冲区总面积 81.65%;外围区是沼泽、耕地、草地为主,另外,居民地主要分布于此,占总耕地面积 85.69%.

表 1 扎龙自然保护区不同时期土地利用类型和面积(单位: km^2)

Tab. 1 Land use type and their areas in the Zalong nature reserve in different periods(unit: km^2)

时间(年.月)	耕地	居民地	湖、水库	草地	盐碱地	芦苇沼泽	明水沼泽	合计
1986.11	242.38	19.29	102.53	372.67	57.22	657.05	648.86	2100.00
1988.9	237.65	19.43	119.22	362.27	59.34	796.42	505.67	2100.00
1989.8	244.67	19.39	86.79	314.35	101.01	1015.30	318.49	2100.00
1998.5	264.63	19.70	165.34	294.37	113.19	677.55	565.22	2100.00
1998.10	265.75	19.71	86.72	253.06	77.36	848.84	448.57	2100.00
1999.10	264.89	20.61	91.14	278.56	105.59	847.17	492.04	2100.00
2000.9	261.92	20.61	101.86	296.28	105.32	1170.59	143.42	2100.00
2001.4	250.59	20.61	94.17	292.02	104.70	1243.54	69.70	2100.00
2001.10	250.59	20.61	67.13	291.87	112.27	1206.95	125.92	2100.00
2002.4	263.98	20.67	93.61	318.85	124.39	1168.91	109.59	2100.00
2002.7	250.59	20.61	84.67	316.55	106.44	960.54	360.60	2100.00
2002.10	250.49	20.61	86.98	315.39	108.41	989.57	328.55	2100.00

2.2 逐年各月生态环境需水过程

根据 1956-2000 年系列逐年各月降雨量和水面蒸发量数据计算各月多年平均降雨量和水面蒸发量数据;根据多年平均降雨量过程、多年平均水面蒸发量过程和芦苇蒸腾量试验资料、表 1 中的湖泊水库、明水沼泽和芦苇沼泽面积等土地类型面积系列,计算相应的湖泊水库生态环境需水量、明水沼泽生态环境需水

量、芦苇沼泽(包括芦苇和土壤)生态环境需水量,三部分相加得扎龙自然保护区生态环境需水量(由2.1节的分析知),计算结果见表3。从表3可以看出,1986-2002年扎龙自然保护区生态环境需水量的变化范围为 $5.22 \times 10^8 \text{ m}^3 - 5.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表2 2002年扎龙自然保护区湿地功能分区内土地利用类型和面积(单位:km²)

Tab. 2 The types of the land use and their areas in the functional area of the Zhalong nature reserve in 2002 (the unit: km²)

土地利用类型	核心区	缓冲区	外围区	小计
耕地	18.81	56.77	174.9	250.48
居民地	1.23	2.66	16.72	20.61
湖、水库	18.51	31.74	36.73	86.98
芦苇沼泽	461.77	324.81	203.00	989.58
明水沼泽	143.74	83.21	101.60	328.55
草地	66.50	122.04	126.85	315.39
盐碱地	13.16	27.96	67.29	108.41
合计	723.72	649.19	727.09	2100.00

表3 扎龙自然保护区不同时期生态环境需水量过程(单位:10⁶m³)

Tab. 3 The sequence of the eco-environment water requirement quantity in the Zhalong nature reserve in different period(the unit:10⁶m³)

时间(年.月)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
1986.11	2.95	9.49	35.23	106.82	130.84	89.86	24.57	57.25	69.85	38.34	14.08	2.26	581.53
1988.9	1.94	6.24	23.13	88.31	115.88	86.58	43.47	68.14	68.32	27.92	9.24	1.48	540.66
1989.8	1.26	4.05	15.00	82.09	116.09	93.82	65.55	85.94	74.98	21.85	5.99	0.97	567.62
1998.5	2.26	7.29	27.05	90.63	114.66	82.07	31.84	58.44	64.28	30.74	10.81	1.73	521.80
1998.10	1.97	6.34	23.52	91.73	121.02	90.96	47.12	72.55	71.86	28.67	9.39	1.51	566.70
1999.10	1.80	5.82	21.59	87.59	116.68	88.64	48.35	72.30	70.14	26.83	8.63	1.39	549.77
2000.9	0.76	2.45	9.08	77.35	115.91	98.80	81.33	98.56	79.59	17.40	3.63	0.58	585.45
2001.4	0.51	1.64	6.07	74.63	115.31	100.86	88.90	104.47	81.55	15.08	2.42	0.39	591.87
2001.10	0.60	1.93	7.15	75.08	114.68	99.33	85.41	101.49	80.21	15.83	2.85	0.46	585.02
2002.4	0.63	2.02	7.53	73.98	112.38	96.88	82.29	98.32	78.17	15.90	3.00	0.48	571.63
2002.7	1.38	4.44	16.49	82.49	114.83	91.37	60.42	81.45	72.85	22.83	6.58	1.06	556.23
2002.10	1.29	4.15	15.39	81.61	114.82	92.32	63.37	83.82	73.72	22.01	6.15	0.99	559.61

2.3 适宜生态环境需水量

据表1、2及扎龙自然保护区管理局的意见,确定扎龙湿地湖泊水库、明水沼泽和芦苇沼泽的适宜面积分别为93 km²、343 km²、965 km²。根据多年平均降雨量过程、多年平均水面蒸发量过程和芦苇蒸腾量试验资料计算湖泊水库、明水沼泽和芦苇沼泽等适宜面积上相应的生态环境需水量,三部分相加得扎龙湿地适宜生态环境需水量为 $5.55 \times 10^8 \text{ m}^3$,可得相应的生态环境需水过程(表4)。水分供应满足适宜生态环境需水量 $5.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 时,就可维持现状湿地湖泊、植被不再萎缩与退化,珍稀濒危动植物及其栖息地得以保护。

2.4 最小生态环境需水量

扎龙自然保护区核心区现状(2002年)湖泊、明水沼泽和芦苇沼泽面积分别为18.51 km²、143.74 km²、461.77 km²(表2),结合设计降雨过程计算相应的生态环境需水量得保证率为75%的最小生态环境需水量为 $2.88 \times 10^8 \text{ m}^3$,保证率为95%的最小生态环境需水量 $3.54 \times 10^8 \text{ m}^3$,相应的生态环境需水过程见表4。根

据调查结果,平均每对鹤繁殖需求面积为 2 km^2 ,这些面积可以保证 460 只以上的丹顶鹤的生存,完全满足需要保护的丹顶鹤的生存需要,因此,计算结果满足湿地保护的珍稀动物生存的生态环境需水需要。

表 4 扎龙自然保护区生态环境需水量过程(单位: 10^6 m^3)

Tab. 4 The sequence of the eco-environment water requirement quantity in the Zhalong nature reserve
(the unit: 10^6 m^3)

需水量	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
适宜	1.35	4.35	16.14	81.97	114.46	91.32	60.99	81.81	72.84	22.55	6.45	1.04	555.28
最小 (保证率 75%)	0.54	1.77	6.55	40.44	58.28	47.93	35.56	45.27	38.41	10.23	2.61	0.42	287.99
最小 (保证率 95%)	0.67	2.17	8.05	49.71	71.63	58.91	43.72	55.64	47.21	12.57	3.21	0.51	353.99

3 结论与建议

对扎龙湿地生态系统需水量问题包括生态需水量计算方法、扎龙自然保护区不同时期生态环境需水量过程、适宜生态环境需水量与最小生态环境需水量及相应的需水过程等进行了研究.但由于问题的复杂性,有些问题的分析和研究还不完善,有些问题还未涉及,还有待进一步深入研究.今后至少应加强对以下问题进行研究:

(1) 研究从流域角度去研究解决扎龙湿地的生态需水问题.加强流域水资源统一管理,优化水资源配置,调整上游产业布局,建立节水型生态农业,应该是解决扎龙湿地生态需水问题的主要途径.

(2) 研究从洪水资源利用的角度解决湿地需水的可行性.应该充分利用嫩江洪水资源来满足扎龙湿地生态需水.

(3) 研究如何做到人与湿地和谐相处.湿地保护应该依靠其天然自我修复能力,应减少人类活动的影响、减少人为干预,做到人与湿地和谐相处.

致谢:感谢扎龙湿地水资源规划项目组的支持和帮助!

4 参考文献

- [1] 崔保山,杨志峰. 湿地生态环境需水量研究. 环境科学学报,2002,22(2):219-224.
- [2] 崔保山,杨志峰. 湿地生态环境需水量等级划分与实例分析. 资源科学,2003,25(1):21-28.
- [3] 张绪良. 南四湖湿地生态环境需水量研究. 齐齐哈尔大学学报,2004,20(2):69-72.
- [4] 王东胜,朱瑶,谭红武等. 天津湿地及生态需水量分析. 科学技术与工程,2004,4(2):127-130.
- [5] 滦兆擎,邓伟,朱宝光. 洪河国家级自然保护区湿地生态环境需水初探. 干旱区资源与环境,2004,18(1):59-63.
- [6] Hughes R M, Whittier T R, Thiele J E, Tomassen L P. Lake and stream indicators for the United States Environmental Protection Agency's Environmental Monitoring and Assessment Program. In: Daninel H, Mckenzie D, Hyatt E, Shukla V P. Ecological Indicators. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992: 305-335.
- [7] Henry C P, Amoros C. Restoration ecology of riverine wetlands: I. a scientific base. *Environmental Management*, 1995,19(6):891-896.
- [8] Henry C P, Amoros C, Giuliani Y. Restoration ecology of riverine wetlands: II. an example in former channel of the Rhone River. *Environmental Management*, 1995,19(6):897-902.