

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.01.005

太湖流域水资源承载能力模糊综合评价

孙远斌¹,高 怡²,石亚东²,徐 枫²

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.水利部太湖流域管理局水文水资源监测局,江苏 无锡 214024)

摘要 在充分考虑太湖流域水资源开发利用现状及社会经济发展状况的基础上,采用驱动力-压力-状态-影响-反应模型,突出生态环境影响因子,建立符合太湖流域自身特点的水资源承载能力综合评价指标体系,并按照水资源状态、水资源与社会经济、水资源与生态环境 3 个方面对指标进行分类,运用层次分析法计算各指标权重,对太湖流域 2000—2006 年水资源承载能力进行模糊综合评价。评价结果表明,太湖流域水资源承载能力总体水平处于适载与超载的临界状态,提升空间有限。

关键词 水资源承载能力; DPSIR 模型; 评价指标; 层次分析法; 模糊综合评价法; 太湖流域

中图分类号 X26 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)01-0020-04

Fuzzy assessment of water resources carrying capacity in Taihu Basin

SUN Yuan-bin¹,GAO Yi²,SHI Ya-dong²,XU Feng²

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Monitoring Bureau of Hydrology and Water Resources, Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, China)

Abstract :Based on fully considering the status of water resources development and utilization and the socio-economic development in the Taihu Basin,a comprehensive evaluation index system of the water resources carrying capacity was established by using Driving forces-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) model,which put emphasis on the ecological environment impact factors and met the characteristics of the Taihu Basin. The indexes were classified according to water resources status,water resources and socio-economic and water resources and ecological environment. The AHP method was used to calculate the weights of each index and the fuzzy comprehensive evaluation of water resource carrying capacity in the Taihu Basin was carried out from 2000 to 2006. The evaluation results indicated that the overall level of the water resources carrying capacity in the Taihu Basin was contained in a critical state with the fitness and the overload,and its enhancement room was limited.

Key words :water resource carrying capacity; DPSIR model; evaluation index; analytic hierarchy process (AHP); fuzzy comprehensive evaluation method; Taihu Basin

太湖流域地处长江三角洲核心区域,北滨长江,南濒钱塘江,东临东海,西以天目山、茅山等山区为界,行政区划分属江苏、浙江、上海和安徽三省一市。流域面积 3.69 万 km²,其中 80% 为平原,流域河道总长约 12 万 km,密度达 3.3 km/km²,是典型的平原河网地区。流域多年平均水资源量为 176 亿 m³,人均本地水资源量仅为全国平均水平的 1/5。2006 年

太湖流域以占不到全国 0.4% 的土地面积、3.5% 的人口,创造了占全国 11% 的国内生产总值。太湖流域经济总量大、发展速度快,本地水资源不足、水污染严重、水生态环境恶化,水资源问题日益突出,已成为流域经济社会可持续发展的重要制约因素。因此,对太湖流域水资源承载能力进行研究显得非常必要^[1]。

作者简介 孙远斌(1986—),男,安徽巢湖人,硕士研究生,研究方向为区域水资源管理。E-mail :ssyybb8633@163.com

1 水资源承载能力内涵

水资源承载能力^[2]是指在特定的区域范围内,一定的生活、生产水平下,在保证水环境子系统生态功能的前提下,通过科学合理的分配措施,水资源所能满足现状和目标年中的人口、社会经济和生态环境需求的最大支撑能力。水资源承载能力研究是随着水资源、水生态、水环境危机等问题的日益突出而提出的,是一个国家或地区持续发展中各种自然资源承载能力的重要组成部分,也往往是水资源短缺地区制约人类社会发展的“瓶颈”;对一个国家或地区经济社会进步和人口发展规模有着至关重要的决定性作用。

2 评价指标体系及权重确定

2.1 评价指标体系

DPSIR (Driving forces pressure state impact response,简称为 DPSIR)模型^[3]是一种在环境系统中广泛使用的评价指标体系概念模型,是判断环境状态和环境问题因果关系的有效工具。它将表征一个自然系统的评价指标分成驱动力、压力、状态、影响和响应 5 种类型,每种类型又分成若干指标。基于 DPSIR 模型的原理,综合考虑太湖流域具有本地水资源不足、人均水资源量少、水质型缺水等特点,并借鉴太湖流域水资源规划及流域综合规划相关技术成果,笔者提出了 12 项指标^[4],并按照水资源状态、水资源与社会经济、水资源与生态环境 3 个方面进行分类,见表 1。

表 1 太湖流域水资源承载能力指标体系

准则层 B	指标层 C	定义	DPSIR 模型
B ₁ 水资源状态	C ₁	年人均水资源量(m ³)	状态指标
	C ₂	水资源开发利用率(%)	状态指标
	C ₃	工业用水重复利用率(%)	状态指标
B ₂ 水资源与社会经济	C ₄	人口密度(人/km ²)	驱动力指标
	C ₅	年人均 GDP(万元)	驱动力指标
	C ₆	万元 GDP 用水量(m ³)	压力指标
	C ₇	居民生活用水量 L/(人·d ⁻¹)	压力指标
	C ₈	水资源综合管理水平	响应指标
B ₃ 水资源与生态环境	C ₉	生态环境用水率(%)	压力指标
	C ₁₀	废污水处理率(%)	压力指标
	C ₁₁	水功能区达标比例(%)	影响指标
	C ₁₂	营养状态指数	影响指标

2.2 利用层次分析法计算各指标权重

利用层次分析法进行层次总排序^[5],可以得到太湖流域水资源承载能力指标体系中各指标的权重。经一致性检验,各单层次和总层次排序结果均具有满意的一致性,层次排序结果和各指标权重 W 见表 2。

表 2 层次总排序

层次 C	层次 B			W
	B ₁	B ₂	B ₃	
	0.30	0.54	0.16	
C ₁	0.74			0.22
C ₂	0.09			0.03
C ₃	0.17			0.05
C ₄		0.06		0.03
C ₅		0.12		0.06
C ₆		0.38		0.21
C ₇		0.19		0.10
C ₈		0.24		0.13
C ₉			0.07	0.01
C ₁₀			0.19	0.03
C ₁₁			0.44	0.07
C ₁₂			0.29	0.05

由表 2 可以看出太湖流域水资源承载能力评价各项指标权重情况。属于水资源状态方面的人均水资源量(C₁)占指标体系中最大比重,它集中反映了一个区域水资源承载能力的现状情势和发展空间。从某种程度上说,它也是一个区域经济社会发展、人口规模的限制因素和支撑条件。其次是社会经济指标中的万元 GDP 用水量(C₆),根据前面提到的 DPSIR 模型,它是指通过驱动力作用之后,直接施加在水资源系统之上的促使水资源系统发展变化的压力指标。万元 GDP 用水量与产业结构、科技水平、节水能力等有关,反映一个地区工业生产的先进程度,也是衡量一个区域水资源承载能力的重要指标。水功能区是全面管理水污染控制系统、维护和改善水环境的使用功能而专门划定和设计的区域,对一个区域的生态环境有着重要的影响,因此水功能区达标比例 C₁₁也占有相当权重。针对太湖流域经济社会发展、水资源现状、水生态环境方面的特点,评价指标体系突出了相应的指标权重,以便能够更好地揭示太湖流域的水资源承载能力的现状及发展趋势。

3 隶属度函数

隶属度函数是模糊综合评判的应用基础,正确构造隶属度函数是用好模糊综合评判的关键。由上述指标可知,不同的指标有不同的评价标准,难以用同一标准进行评价。因此,首先将评价指标分级,引入隶属函数 μ_{vi} ,将各指标用隶属函数表达,然后进行综合评价^[6]。

3.1 评价指标分级

根据太湖流域实际指标值,参考国内外经济发达地区各指标的平均水平状况以及中国生态省(市、县)建设标准等,进行流域各评价指标等级划分。把

表 3 综合评价指标的分级值

指标	年人均 水资源 量/m ³	水资源 开发利 用率/%	工业用 水重复利 用率/%	人口 密度/ (人·km ⁻²)	年人均 GDP/ 万元	万元 GDP 用水量/ m ³	居民生活 用水量/ (L·人·d ⁻¹)	水资源 综合管 理水平	生态环 境用水 率/%	废污水 处理 率/%	水功能 区达标 比例/%	营养 状态 指数
V ₁	> 3 000	< 30	> 85	< 80	< 0.3	< 50	< 150	> 90	> 5	> 90	> 90	< 5
V ₂	1 500 ~ 3 000	30 ~ 90	30 ~ 85	80 ~ 500	0.3 ~ 6.0	50 ~ 300	150 ~ 300	50 ~ 90	1 ~ 5	60 ~ 90	20 ~ 90	5 ~ 80
V ₃	< 1 500	> 90	< 30	> 500	> 6.0	> 300	> 300	< 50	< 1	< 50	< 20	> 80

上述 12 个评价指标划分为 V₁、V₂ 和 V₃ 3 个等级。V₁ 表示该区域水资源承载能力较强,水资源可持续利用度较高,水资源开发利用空间较大;V₃ 表示该区域水资源承载能力较弱,水资源进一步开发利用空间有限,易发生水资源短缺、水生态环境破坏乃至恶化等问题,水资源状况已明显制约社会经济的发展;V₂ 则为介于 V₁、V₃ 之间的状态。各指标的分级值见表 3。为了定量地反映各等级水资源承载能力状态,对评判集等级用 1 分制数量化:V₁ = 0.95, V₂ = 0.5, V₃ = 0.05。数值越高,水资源承载能力也就越强。

3.2 隶属度函数确定

笔者采用线性隶属度函数,取中间级中点处的隶属度为 1,两侧临界点的隶属度为 0.5,并使临界点处隶属度平滑过渡。规定 12 个评价指标构成的指标集为 C_i (i = 1, 2, …, 12),对应着评价集 V = {V₁, V₂, V₃} ,评判矩阵 R 中 r_{ij} 可以通过评价指标的实际数值对照各指标的分级来分析计算。对于评价指标 C_i 各评价级相对隶属度函数的计算公式为:

$$\mu_{v1} = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{k_1 - C_i}{k_2 - C_i}) & C_i < k_1 \\ 0.5(1 - \frac{C_i - k_1}{k_2 - k_1}) & k_1 \leq C_i < k_2 \\ 0 & C_i \geq k_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{v2} = \begin{cases} 0.5(1 - \frac{k_1 - C_i}{k_2 - C_i}) & C_i < k_1 \\ 0.5(1 + \frac{C_i - k_1}{k_2 - k_1}) & k_1 \leq C_i < k_2 \\ 0.5(1 + \frac{k_3 - C_i}{k_3 - k_2}) & k_2 \leq C_i < k_3 \\ 0.5(1 - \frac{k_3 - C_i}{k_2 - C_i}) & C_i \geq k_3 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{v3} = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{k_3 - C_i}{k_2 - C_i}) & C_i \geq k_3 \\ 0.5(1 - \frac{C_i - k_3}{k_2 - k_3}) & k_2 \leq C_i < k_3 \\ 0 & C_i < k_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中:μ_{v1}, μ_{v2}, μ_{v3} 分别为评价指标 C_i 在相应评价级上的隶属度;k₁ 为 V₁ 和 V₂ 的临界值;k₃ 为 V₂ 和 V₃ 的临界值;k₂ 为等级区间中点值。

对于评价因素 C₁、C₃、C₈、C₉、C₁₀、C₁₁,相对隶属度函数的计算公式只需将式(1)~(3)右端 C_i 区间号“≤”改为“≥”,而将“<”改为“>”后采用同样的计算式,即可通过上述公式可以算出各评判因素对应于各个等级的隶属度 r_{ij},其中 r_{i1} = μ_{v1}(C_i), r_{i2} = μ_{v2}(C_i), r_{i3} = μ_{v3}(C_i), i = 1, 2, …, 12。

4 太湖流域水资源承载能力模糊综合评价

4.1 评价资料整理

根据 2000—2006 年太湖流域水资源公报及太湖流域水资源综合规划相关成果^[7],整理出的相关指标数据见表 4。由于部分指标数据难以确定和量化,在征求相关专家意见后,进行了估算。

4.2 综合评价结果

根据隶属度函数公式分别计算统计出每个评判因素与各个等级的相对隶属度 r_{ij},从而求出每年的综合评判矩阵 R 的值。

由权重系数 W 和综合评判矩阵 R,求得太湖流域 2000—2006 年水资源承载能力最终的评判结果矩阵 B = W × R,同时求得相应的水资源承载能力的综合评分值 A,见表 5。

表 4 太湖流域 2000—2006 年水资源承载能力模糊综合评价指标

年份	人均水 资源量/ m ³	水资源 开发利 用率/%	工业用 水重复利 用率/%	人口密度/ (人·km ⁻²)	人均 GDP/ 万元	万元 GDP 用水量/ m ³	日居民 生活用 水量/L	水资源 综合管 理水平	生态环 境用水 率/%	废污水处 理率/%	水功能 区达标 比例/%	营养状态 指数
2000	373.4	62.7	50	996.4	2.7	294.7	135.3	70	2.4	50	21.6	59.6
2001	540.3	65.3	54	993.6	3.0	272.1	142.9	71	2.4	52	21.9	57.7
2002	664.8	68.9	58	1 000.7	3.3	229.0	136.8	72	2.7	54	22.2	58.1
2003	271.9	72.5	62	1 102.7	3.7	203.5	151.8	73	2.6	56	22.5	60.7
2004	304.8	75.1	66	1 119.6	4.4	188.5	156.0	74	2.9	58	22.7	62.5
2005	294.9	79.3	70	1 228.7	4.7	167.8	147.5	75	2.8	60	22.9	63.4
2006	308.4	82.0	74	1 285.1	5.2	147.6	145.6	76	2.2	62	23.1	65.1

$R_{2000} =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.20 & 0.80 \\ 0.00 & 0.96 & 0.05 \\ 0.00 & 0.86 & 0.14 \\ 0.00 & 0.15 & 0.85 \\ 0.08 & 0.92 & 0.00 \\ 0.00 & 0.52 & 0.48 \\ 0.58 & 0.42 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.85 & 0.15 \\ 0.00 & 0.50 & 0.50 \\ 0.00 & 0.52 & 0.48 \\ 0.00 & 0.77 & 0.23 \end{bmatrix}$	$R_{2001} =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.22 & 0.78 \\ 0.00 & 0.91 & 0.09 \\ 0.00 & 0.94 & 0.06 \\ 0.00 & 0.15 & 0.85 \\ 0.03 & 0.97 & 0.00 \\ 0.00 & 0.61 & 0.39 \\ 0.54 & 0.46 & 0.00 \\ 0.03 & 0.98 & 0.00 \\ 0.00 & 0.86 & 0.14 \\ 0.00 & 0.55 & 0.45 \\ 0.00 & 0.53 & 0.47 \\ 0.00 & 0.80 & 0.20 \end{bmatrix}$	$R_{2002} =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.24 & 0.76 \\ 0.00 & 0.85 & 0.15 \\ 0.01 & 0.99 & 0.00 \\ 0.00 & 0.15 & 0.85 \\ 0.00 & 0.97 & 0.03 \\ 0.00 & 0.78 & 0.22 \\ 0.57 & 0.43 & 0.00 \\ 0.05 & 0.95 & 0.00 \\ 0.00 & 0.92 & 0.08 \\ 0.00 & 0.60 & 0.40 \\ 0.00 & 0.53 & 0.47 \\ 0.00 & 0.79 & 0.21 \end{bmatrix}$	$R_{2003} =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.19 & 0.81 \\ 0.00 & 0.79 & 0.21 \\ 0.08 & 0.92 & 0.00 \\ 0.00 & 0.13 & 0.87 \\ 0.00 & 0.90 & 0.10 \\ 0.00 & 0.89 & 0.11 \\ 0.49 & 0.51 & 0.00 \\ 0.08 & 0.93 & 0.00 \\ 0.00 & 0.90 & 0.10 \\ 0.00 & 0.65 & 0.35 \\ 0.00 & 0.54 & 0.46 \\ 0.00 & 0.76 & 0.24 \end{bmatrix}$
$R_{2004} =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.19 & 0.81 \\ 0.00 & 0.75 & 0.25 \\ 0.15 & 0.85 & 0.00 \\ 0.00 & 0.13 & 0.87 \\ 0.00 & 0.78 & 0.22 \\ 0.00 & 0.95 & 0.05 \\ 0.46 & 0.54 & 0.00 \\ 0.10 & 0.90 & 0.00 \\ 0.00 & 0.99 & 0.01 \\ 0.00 & 0.70 & 0.30 \\ 0.00 & 0.54 & 0.46 \\ 0.00 & 0.73 & 0.27 \end{bmatrix}$	$R_{2005} =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.19 & 0.81 \\ 0.00 & 0.68 & 0.32 \\ 0.23 & 0.77 & 0.00 \\ 0.00 & 0.11 & 0.89 \\ 0.00 & 0.74 & 0.26 \\ 0.03 & 0.97 & 0.00 \\ 0.52 & 0.48 & 0.00 \\ 0.13 & 0.88 & 0.00 \\ 0.00 & 0.94 & 0.06 \\ 0.00 & 0.75 & 0.25 \\ 0.00 & 0.54 & 0.46 \\ 0.00 & 0.72 & 0.28 \end{bmatrix}$	$R_{2006} =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.19 & 0.81 \\ 0.00 & 0.63 & 0.37 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 \\ 0.00 & 0.11 & 0.89 \\ 0.00 & 0.65 & 0.35 \\ 0.11 & 0.89 & 0.00 \\ 0.53 & 0.47 & 0.00 \\ 0.15 & 0.85 & 0.00 \\ 0.00 & 0.79 & 0.21 \\ 0.00 & 0.80 & 0.20 \\ 0.00 & 0.54 & 0.46 \\ 0.00 & 0.70 & 0.30 \end{bmatrix}$		

表 5 太湖流域 2000—2006 年水资源承载力综合评价结果

年份	B			A
	V ₁	V ₂	V ₃	
2000	0.07	0.56	0.38	0.36
2001	0.06	0.59	0.35	0.37
2002	0.07	0.63	0.31	0.39
2003	0.06	0.63	0.30	0.39
2004	0.07	0.64	0.30	0.40
2005	0.09	0.62	0.29	0.41
2006	0.11	0.59	0.30	0.42

4.3 评价结果分析

用 A 值对总评价结果定性时,笔者提出将 A 值划分为一个范围,分别取 2 个临界值,即当 A 低于 0.4 时,认为是超载,而当 A 大于 0.7 时,认为是轻载,介于两者之间是适载^[8]。由表 5 可以看出,2000—2003 年,太湖流域水资源处于超载状态,2004—2006 年,太湖流域水资源处于适载状态,这主要得益于流域万元 GDP 用水量的逐年递减,它是产业结构调整 and 科学技术进步共同作用的结果。必须清醒地认识到,太湖流域水资源承载力正处于适载和超载的临界水平,仍有较强的超载迹象。评价结果与太湖流域 2000—2006 年的水资源承载力现状一致,这也印证了评价指标体系的科学性和合理性。

5 结 语

太湖流域人口密集,城市集中,经济发展迅速,水污染防治相对滞后,使得流域河网水质普遍超标、湖泊富营养化严重,流域一、二级水功能区整体达标率较低,流域呈现常年水质型缺水,饮用水水源地安全受到严重威胁^[9]。流域低缓的地形、独特的平原河网和感潮特征,使得河网水流不畅,流速缓慢,水体自净能力较低,流域水生态环境问题日益突出。

太湖流域为平原感潮河网地区,碟状地形和土地高度利用,省(市)间互为上下游、水流往复,水资源问题相对复杂,水资源承载力整体偏低。为了保证流域水资源的可持续利用,应实行最严格的水资源管理制度,有效实施《太湖流域取水许可总量控制指标方案》,实现对太湖流域河道外取水许可总量控制指标 249.48 亿 m³ 的有效监控,逐步调整流域产业布局 and 产业结构,合理转变经济增长方式和消费方式,进一步提高用水效率和废污水处理率,加强流域水资源调度 and 管理,促进流域水资源合理开发、利用、节约 and 保护,改善流域水资源和水环境状况,加快转变流域用水管理模式,推进节水型社会建设,实现流域经济社会与水资源环境协调发展。

(下转第 33 页)

减轻和防止地下水污染起到了显著的效果。

4 结论与建议

a. 根据垃圾场勘探试验、垃圾浸泡淋滤试验及地下水水流、溶质运移模型的预测成果,结合垃圾淋滤液的污染物在非饱和带中的运移规律,初步提出了南水北调工程受水区不同水文地质单元中非正规垃圾填埋场的控高水位,并优选出相应的控高水位,可为北京市科学调控南水北调工程受水区地下水位提供了技术支持。

b. 通过模型预测,在控高方案下,典型区地下水水质将得到很大的改善,地下水控高方案的实施对减轻和防止地下水污染起到了显著的效果。

c. 浸泡实验工作主要获得了淋溶浸泡作用下垃圾所产生的污染情况,考虑到地下水污染往往是多种因素共同作用的结果,应进一步开展模拟实验工作,查明地下水与垃圾之间水岩作用的生物、化学机理,掌握垃圾场对地下水污染的贡献程度,为垃圾污染预测及垃圾治理提供更可靠的实验数据和依据。

d. 今后应针对垃圾填埋污染羽的水平 and 垂向分布范围的确定、原位修复技术的精确选取及相关模型的运行参数等的精确确定做深入研究,建立垃

圾填埋场的污染组分对地下水影响的预测预警系统,为北京市地下水资源的精细化管理提供支撑。

参考文献：

[1] 北京市地质调查研究院.北京市垃圾处置的地质生态环境评价报告[R].北京:北京地质调查研究院,2000.
[2] 杨艳,王全九.层状土溶质运移特征及其参数分析[J].灌溉排水学报,2005,24(6):19-21.
[3] 郜洪强,樊延恩,丁文萍等.生活垃圾填埋场对地下水的污染研究[J].水资源保护,2009,25(5):61-64.
[4] 董维红,林学钰.浅层地下水氮污染的影响因素分析[J].吉林大学学报:地球科学版,2004,34(2):231-235.
[5] 魏秀琴.河南省平原地区浅层地下水总硬度的分布及演化趋势[J].水资源保护,2009,25(4):37-39.
[6] 董少刚,唐仲华,马腾,等.太原盆地地下水数值模拟[J].水资源保护,2009,25(2):25-27.
[7] 董维红.浅层地下水中氮的分布规律及污染机理研究:以松嫩盆地松花江北部为例[D].长春:吉林大学,2001.
[8] 李旭华,王心义.包气带中污染物迁移转化规律研究[J].西部探矿工程,2006,118(2):239-241.
[9] 刘春平,邵明安.土壤溶质锋运移的解析解[J].水土保持学报,2001,15(4):82-86.

(收稿日期:2009-11-19 编辑:高渭文)

(上接第 23 页)

参考文献：

[1] 戴薇,汪群,王华.太湖流域水资源承载力研究[J].水利经济,2005,23(6):11-15.
[2] 李娟,纪昌明.水资源承载力理论探析与研究发展趋势[J].人民长江,2004,35(10):41-45.
[3] 曹红军.浅评 DPSIR 模型[J].环境科学与技术,2005,28(1):110-111.
[4] 陈洋波,陈俊合,李长兴,等.基于 DPSIR 模型的深圳市水资源承载力评价指标体系[J].水利学报,2004(7):98-103.

[5] 王好芳,董增川.区域水资源可持续开发评价的层次分析法[J].水力发电,2002,28(7):12-14.
[6] 王好芳,龚实,郭乐.东江流域水资源承载力评价[J].水资源保护,2009,25(1):40-43.
[7] 水利部太湖流域管理局.太湖流域 2000-2006 年水资源公报[R].上海:水利部太湖流域管理局,2000-2006.
[8] 陈洋波,李长兴,冯智瑶,等.深圳市水资源承载力模糊综合评价[J].水力发电,2004,30(3):10-14.
[9] 崔广柏,陈星,余钟波.太湖流域富营养化控制机理研究[EB/OL].中国科技论文在线,http://211.68.23.123/was40/search,2007,2(6):424-429.

(收稿日期:2009-09-22 编辑:高渭文)

(上接第 27 页)

[5] 邱新法,刘昌明,曾燕.黄河流域近 40 年蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J].自然资源学报,2003,18(4):54-59.
[6] 王艳君,姜彤,许崇育.长江流域蒸发皿蒸发量及影响因素变化趋势[J].自然资源学报,2005,20(6):70-76.
[7] ZHANG Qiang, JIANG Tong, GENMMER M, et al. Precipitation, temperature and runoff analysis from 1950 to 2002 in the Yangtze basin, China[J]. Hydrological Sciences Journal, 2005,50(1):62-80.
[8] SU Bu-da, JIANG Tong, SHI Ya-feng, et al. Observed precipitation trends in the Yangtze River Basin from 1951-2002[J]. Journal of Geographical Science, 2004, 14(2):204-

208.
[9] 洪霞,陈建平.江西省 1960 年以来气温和降水变化趋势分析[J].江西气象科技,2004,27(2):20-22.
[10] 谢新民,郭洪宇,尹明万,等.我国华北地区蒸发能力及其变化趋势[J].水利规划与设计,2001(4):24-27.
[11] 陈吉琴.近 50 年来长江流域气象因素分析及蒸发变化原因初探[D].南京:河海大学,2007.
[12] 刘波.近四十年中国蒸发皿蒸发变化与气候变化的关系及潜在蒸散的估算[D].南京:南京信息工程大学,2005.

(收稿日期:2009-12-24 编辑:高渭文)