

湖北四湖流域景观结构变化对汛期湖泊水位影响的模拟分析

金卫斌, 胡秉民

(浙江大学农业生态研究所, 浙江 杭州 310029)

摘要:借助于水文学对不同下垫面状态的产流模式研究的成果,建立了计算四湖流域两个调蓄湖泊汛期洪峰水位的模型。模拟分析的结果表明,在 4 种同样的降雨条件下,景观结构变化使长湖汛期日水位平均增加 0.0831~1.3223m,最大增加 0.1579~1.8583m,使洪湖汛期日水位平均增加 1.0810~2.3008m,最大增加 1.4101~2.4864m。证明景观结构变化是引起洪涝灾害加剧的重要原因且景观结构变化对湖泊洪峰水位的影响存在一种累加效应。景观结构的调整也是控制洪涝灾害的重要途径。

关键词:景观结构; 产流模式; 湖泊水位; 洪涝灾害; 累加效应

A modeling analysis for the effect of the changing landscape structure in Sihui Watershed in Hubei Province on the lakes' water level in flooding period

JIN Wei-Bin, HU Bing-Min (Agricultural Ecology Institute in Zhejiang University, Hangzhou, China, 310029). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 642~648.

Abstract: The areas of forestry in the upper reach and lakes in the lower reach of many watersheds have been on the decrease, so the flood problem has become more frequent and worse in China. Great attention must be paid to research about the effect of the changing landscape structure on the hydrological process of watershed.

The watershed in study here, Sihui watershed in Hubei, China, is a plain consisting of paddy field, fishpond, lake and dry land. There were different runoff-yield models for the four kinds of landscape structure in hydrology. There were two big lakes which can store up the excess flood in the watershed, one was Changhu located in the upper reach and another was Honghu in the lower. By the use of these runoff-yield models, one watershed's model for computing the two lakes' water level in the watershed was made. In the model, the landscape structure of the watershed and the rainfall were used as input variances. Because much change of the landscape structure took place between 1950' and 1980', which was the result of reclaiming lake to field in the period, the area of lakes in the watershed decreased from 2783.4 km² to 691.96 km², the two data of the landscape structure were put to the model as input value to analyze the effect caused by it on the lakes' water level. Big floods took place in 1980, 1983, 1991 and 1996 in the watershed, so the rainfalls in the four years were also put in the model as input values.

基金项目:湖北省自然科学基金资助项目(99J105)

收稿日期:2001-11-17; **修订日期:**2002-04-15

作者简介:金卫斌(1961~),男,湖北洪湖人,博士,副教授,主要从事流域生态方面的研究。W. b. jin@263. sina. com

Foundation item: Natural Science Foundation of Hubei Province

Received date: 2001-11-17 **Accepted date:** 2002-04-15

Biography: Jin Wei-Bin, Ph. D., Associate professor, Worked mainly at watershed ecology.

The every-day water level of the two lakes in the four flooding periods under the two kinds of landscape structure in 1950' and 1980' were obtained from the modeling. When the every day' rainfall in flooding period in 1980 was put in the model, the every-day level of Changhu with the landscape structure in 1980' increased 1.3223m on average and the maximum increase amounted to 1.8583m compared with the landscape structure in 1950', and that of Honghu, the average increase was 2.3008m and the maximum increase 2.4864m. When the rainfalls in 1983,1991 and 1996 were put in the model, the average increases were 0.1303m, 0.0831m and 0.1347m respectively, and the maximum increases 0.2001m, 0.1809m and 0.1579m for Changhu while that of Honghu were 1.7200m, 1.0810m and 1.7865m and the maximum increases 2.0982m, 1.4101m and 2.1010m. It was proved that the change of the landscape structure was one important cause of worsening floods. There was a cumulative effect of changing landscape structure on the lakes' water level in flooding period, which can be seen from the fact that the increase of the lakes' water level increased with the increase of the rainfall. In the watershed, the effect of the changing landscape structure on the water level makes it a problem to ensure the safety of the people and their belongings in the area in flooding period. The adjusting of the landscape structure is necessary to control flood.

Key words: landscape structure; runoff-yield model; lakes'water level; flood; cumulative effect

文章编号:1000-0933(2003)04-0642-07 中图分类号:P333.1,X43 文献标识码:A

在中国,越来越频繁的洪涝灾害引起社会对流域生态问题的关注^[1],从而对景观生态学提出了研究流域景观结构变化对流域水文过程影响的新课题^[2]。事实上,在我国各地出现的洪涝灾害趋于频繁化、重创化的形势,均与流域景观结构的变化有关,主要表现在上游的林地面积极减少和中下游用于调蓄的湖泊面积减少两个方面^[1]。因此,量化地研究流域景观结构变化对流域水文过程的影响是流域生态学应该加以重视的问题^[3,4]。从水文学的角度看,一个流域的景观结构实质上构成了流域水文过程的下垫面因素,不同的景观类型属于不同的下垫面状态,在一定的降雨条件下,就会具有不同的产流模式,由各种景观类型组合而成的流域景观结构就会对流域的降雨径流关系产生影响。本文以位于长江中游北岸的湖北四湖流域为例,根据水文学中对各种下垫面状况产流模式研究的成果^[5,6],建立了计算两个调蓄湖泊水位的模型,模拟分析了景观结构变化对汛期洪峰水位的影响,希望能对流域生态学的研究提供借鉴,同时为本地区的退田还湖工程提供定量与定位性的依据。

1 研究区域和研究方法

四湖流域的干流又称内荆河或四湖总干渠,是长江北岸的一级支流。其东、南、北分别以长江干堤、东荆河(长江的另一条支流)大堤、汉江大堤为界,是一个以平原湖区为主的大圩区。流域面积 10375.5km²。长湖和洪湖分别是流域上游和中下游的调蓄湖泊。由于流域大部分地区都处于堤防保护之下,在汛期来临时,外江(河)水位高于内垸,流域内极易形成渍涝,各个小排区将多余的地表径流排入干流后,主要通过湖泊调蓄和大型泵站提排入江(河)。因此,两个湖泊的水位就成为表征流域洪涝状态的主要指标^[7]。

1.1 不同景观类型的降雨-产流模式

在南方平原湖区,旱地、水田、渔池、水面是对降雨径流关系有着明显不同影响的下垫面因素,因此必须对这四种基本的景观类型的降雨产流机制分别进行研究。王腊春等给出过太湖流域旱地、水田、水面 3 种下垫面的产流模式^[5,6],考虑到四湖流域与太湖流域的自然地理条件相似,且鱼池产流具有与水田相同的性质,因此本文直接采用了太湖流域的模式。

1.2 湖泊水位的动态模型

四湖流域的湖泊,其水位取决于湖泊初始的水量和集水区的入湖流量。根据湖泊水量平衡方程,可以建立湖泊蓄水量动态模型:

$$L(t+1)=L(t)+(P-E)\times A\times 1000+\lambda(t)-\delta(t)$$

(1)

式中, $L(t+1)$ 和 $L(t)$ 分别为时段 $t+1$ 和 t 时的湖泊蓄水量(m^3); A 为湖泊面积(km^2); $\lambda(t)$ 为时段 t 时的入湖水量(m^3); $\delta(t)$ 为时段内的排湖流量(m^3), 包括自排和电排两个部分。

根据四湖地区的实际情况, 湖泊的入湖流量主要是由降雨以后各个排区将多余的水量以提排的形式, 通过排水干渠排入湖泊形成的, 因此可以不考虑地下径流的影响; 各区的产流一般在 $1\sim 2\text{d}$ 内即可引起湖泊水位的起涨, 因此以 1d 为模型的时段长。入湖流量按照总产流扣除土壤下渗进行估算。即:

$$\lambda(t) = f_{\text{水}} R_{\text{水}}(t) + f_{\text{田}} [R_{\text{田}}(t) - aR_{\text{田}}(t)] + f_{\text{旱}} [R_{\text{旱}}(t) - bR_{\text{旱}}(t)] + f_{\text{渔}} R_{\text{渔}}(t) \tag{2}$$

式中, a 和 b 分别是水田和旱地的土壤下渗系数。 $f_{\text{水}}$ 、 $f_{\text{田}}$ 、 $f_{\text{旱}}$ 、 $f_{\text{渔}}$ 分别表示水面、水田、旱地、渔池的面积比例($\%$), $R_{\text{水}}(t)$ 、 $R_{\text{田}}(t)$ 、 $R_{\text{旱}}(t)$ 、 $R_{\text{渔}}(t)$ 则分别表示水面、水田、旱地、渔池的降雨深(mm)。

在计算出各个湖泊的时段蓄水量以后, 根据各个湖泊的容量-水位关系, 通过插值估计, 计算出各时段的湖泊水位。

1.3 模型参数的率定与数据

参照文献^[5], 水面产流模式中的蒸发折算系数和水田蒸发系数取为 0.9 ; 旱地产流计算中的流域平均最大蓄水量根据两大湖泊的最大湖容量在集水面积(分区的面积)上平均后估计为 120 mm , 初始的流域蓄水量也按实际水位对应的湖容量在集水面积上平均而得到。流域的景观结构现状和 $1950\sim 1988$ 年的景观结构的变化情况、分别根据中科院武汉测地所编制的《四湖地区土地利用现状图》(1997 年, 比例尺 $1:200000$) 和湖北省水利勘测院编制的《湖北省湖泊变迁图集》(1988 年) 得到(表 1)。降雨和蒸发资料由荆州农业气象站提供, 湖泊水位及水位-容量关系数据由荆州市水文水资源局提供。水田和渔池产流计算中的耐淹水深、适宜水深、水田和旱地的下渗系数等参数由 1980 年、 1983 年、 1991 年、 1996 年 4 个大水年份 $5\sim 9$ 月份的降雨、蒸发数据和湖泊水位数据, 通过上述模型试算后优选率定。即事先给定各参数的初始值, 将 4 个年份中从 6 月 1 日至 9 月 30 日的降雨、蒸发数据和排湖流量数据输入到模型(1)和(2)中, 求出逐日的分区总产流、入湖流量、湖泊水位, 以模型计算出的月最高水位为洪峰水位的代表, 与 4 个年份各月的实际最高水位进行比较, 以判断参数的有效性。不断调整参数取值后, 使模拟精度达到令人满意的程度为止。所有的计算均由计算机语言 C++ 编写的计算程序来完成。

表 1 四湖流域景观结构变化情况

Table 1 The change of landscape structure in Sihy watershed						
景观类型 Types	1950'			1980'		
	上区 Up division	中下区 Mid. and down	合计 Whole watershed	上区 Up division	中下区 Mid. and down	合计 Whole watershed
湖泊 Lake (km^2)	240.10	2543.30	2783.40	161.30	530.66	691.96
其他水面 Other water (km^2)	36.31	177.91	214.22	67.29	199.79	267.08
水田 Paddy (km^2)	1987.72	2530.50	4518.21	2015.93	3902.70	5918.62
旱地 Dryland (km^2)	960.62	1826.20	2786.82	977.75	2384.60	3362.36
渔池 Fishpond (km^2)	15.25	57.10	72.35	17.73	117.24	134.97

1.4 模型的应用

为了解景观结构变化对湖泊洪峰水位的影响, 仍以 4 个大水年份汛期降雨、蒸发资料输入到经过优选率定参数后的模型中, 改变模型中各种景观类型的面积就可以考察洪峰水位的变化情况。由于 20 世纪 50 年代以后本地区发生了一次较大规模的围湖垦殖活动, 使景观结构发生了较大的改变, 到 1980 年以后, 这种围垦活动基本上没有再发生过, 为研究方便起见, 以 20 世纪 50 年代和 80 年代的景观结构数据(表 1) 作为分析的依据。

2 结果与分析

2.1 模型参数的率定结果及模型的模拟精度

模型最后所用数据田、渔池、旱地的有关参数见表 2。
采用上述参数后, 模型计算出的长湖在 4 个年份的汛期各月最高水位与实际数据的比较见表 2。

表 2 水田、渔池、旱地的有关参数的取值									
Table 2 Some value of parameter concerned to paddy, fishpond, dryland used in the model									
景观类型 Types	耐淹水深 H_p (mm)				适宜水深 H_m (mm)				下渗系数 Infiltrate coefficient
	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	
水田 Paddy	200	300	400	500	150	200	250	300	0.03
渔池 Fishpond	1550				1250				0
旱地 Dryland									0.12

表 3 汛期长湖月最高水位模拟												
Table 3 The modeling results about maxium water level in Changhu												
年份 Year	6 月 June			7 月 July			8 月 Aug.			9 月 Sept.		
	实测最 高水位	模拟最 高水位	误差	实测最 高水位	模拟最 高水位	误差	实测最 高水位	模拟最 高水位	误差	实测最 高水位	模拟最 高水位	误差
	Actual value(m)	Modeling value(m)	Error (m)	Actual value(m)	Modeling value(m)	Error (m)	Actual value(m)	Modeling value(m)	Error (m)	Actual value(m)	Modeling value(m)	Error (m)
1980	31.62	31.95	+0.27	33.00	33.10	+0.10	33.11	33.37	+0.26	32.97	32.93	-0.04
1983	31.08	30.75	-0.23	33.22	33.48	+0.26	32.65	32.68	+0.03	32.33	32.07	-0.26
1991	30.59	30.68	+0.09	33.01	32.98	-0.03	31.95	32.06	+0.11	31.24	31.15	-0.07
1996	30.76	30.71	-0.05	33.01	33.15	+0.14	33.26	33.42	+0.16	32.28	32.27	-0.01

根据模拟计算的结果看,长湖月最高水位的模拟值与实测值的绝对误差均小于 0.27 m,模型及其参数具有一定的可信度。

2.2 不同景观结构对两个湖泊洪峰水位影响的模拟

以 4 个大水年份的降雨、蒸发资料为输入,分别将 1950' 和 1980' 的景观结构数据代入到模型中,在不考虑外排的条件下,模拟出不同景观结构时湖泊水位的逐日变化情况如图 1。

由图 1 可知,在各种给定的降雨条件下,1980' 的两个湖泊汛期逐日水位都高于 1950' 的水位。其中长湖水位的增加值均小于洪湖。表 4 进一步给出了长湖和洪湖逐日水位增加值的特点。

根据表 1 给出的资料,在经历了从 1950' 后期开始的大规模围湖垦殖活动之后,四湖地区的景观结构发生了较大的变化,最主要的变化是大量的湖泊面积被农田代替了。湖泊总面积由 2783.4km² 下降为 691.96 km²,其中长湖所在的流域上区湖泊面积由 240.10 km² 下降为 161.30 km²,洪湖所在的中下区的湖泊面积由 2543.30 km² 减少为 530.66 km²。图 1 和表 6 给出的模拟计算结果表明,洪湖水位的增加值普遍高于长湖,显然这主要是由于洪湖的水位-容量关系发生了较大变化引起的;两个湖泊在雨量大(如 1980 年型)时的水位增加值高于雨量少(如 1991 年型)时的增加值,说明湖泊面积的减少对调蓄水量能力的削弱存在某种非线性的放大或累加效应。

以下结合大水年份实际受灾情况对四湖流域景观结构变化的影响进行分析。以 1980 年类型的降雨为例,模型计算出的长湖最高水位,在 1950' 的景观结构条件下是 32.76m,而在 1980' 的景观结构条件下则为 34.40m,前者意味着长湖水位只比警戒水位(31.00m)高 1.76m,而后者已经超出长湖库堤的高度(34m)。在这种情况下,电排的启用和向下区的排水就是必须的了。事实上,在 1980 年,不仅向下区排放了 3.5 亿 m³ 的水,增加了中下区的压力,同时还在上区进行了分洪,才保证了长湖库堤的安全。洪湖的情况,模型计算的洪湖最高水位,在 1950' 的景观结构条件下是 27.52m,而在 1980' 的景观结构条件下则为 29.87m,洪湖湖堤现在经过加高以后也仅为 28m,也就是说,如果是 1950' 的景观结构条件,尚可基本确保调蓄,而在 1980' 的景观结构条件下,按照 27.5m 的安全水位,将多出 8.15 亿 m³ 的涝水,虽然中下区能够参加统排的调蓄数据 510m³/s,全部启用 20d 左右也能够排完,但本流域汛期外江水位一般都会限制提排能力的发挥,因此洪涝风险较高。实际上在 1980 年,洪湖湖堤的高度普遍不足 27m,当年中下区因分洪、

溃堤受淹没的面积达 211.27km²。

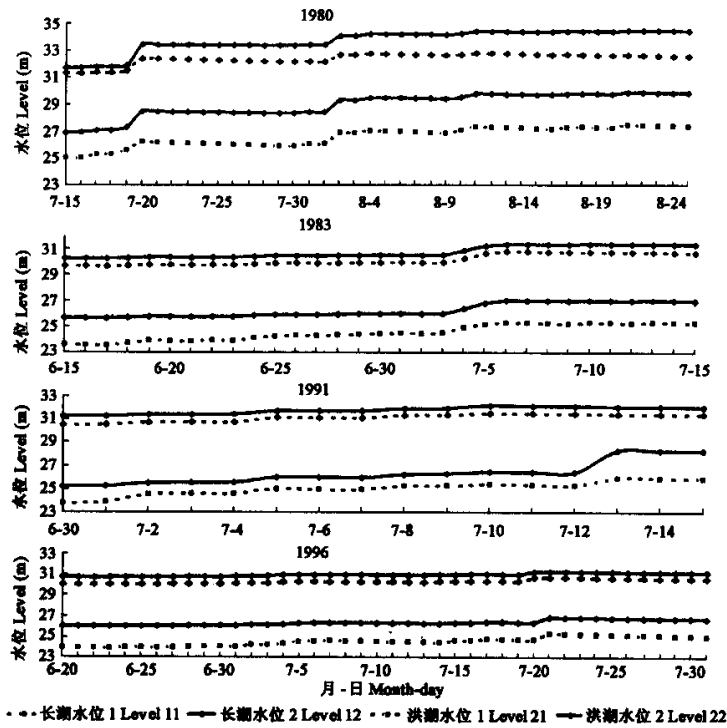


图 1 4 种汛期情况两个湖泊在两种景观结构下的逐日水位模拟结果

Fig.1 Modeling results of the every day's water level of the two lakes in the four kinds of flooding periods
* 图中的“长湖水位 1”和“洪湖水位 1”表示两个湖泊以 20 世纪 50 年代时景观结构模拟出的水位 ‘lev. 11’and ‘lev. 21’are the water levels of the two lakes modeled by the use of landscape structure in 1950~1960.
图中的“长湖水位 2”和“洪湖水位 2”表示两个湖泊以 80 年代时景观结构模拟出的水位 ‘lev. 12’and ‘lev. 22’are the water levels of the two lakes modeled by the use of landscape structure in 1980~1990

表 4 模拟的湖泊水位变化的几个特征值

Table 4 Some modeling water level chracteristic value of the lakes								
降雨情况 Falling types	雨期 Falling days(d)	总雨量 Falling amount (mm)	长湖逐日水位增加值(m) The increase of every day's water level in Changhu			洪湖逐日水位增加值(m) The increase of every day's water level in Honghu		
			平均 Average	最大 Max.	最小 Min.	平均 Average	最大 Max.	最小 Min.
1980 年型 1980 type	42	631.4	1.3223	1.8583	0.3750	2.3008	2.4864	1.6740
1983 年型 1983 type	31	360.6	0.1303	0.2001	0.1002	1.7200	2.0982	1.4400
1991 年型 1991 type	16	378.3	0.0831	0.1809	0.0000	1.0810	1.4101	0.9203
1996 年型 1996 type	32	384.3	0.1347	0.1579	0.0620	1.7865	2.1010	1.5484

3 讨论

研究土地利用或土地覆盖变化对自然环境及经济社会各方面的影响,近年已经成为相关研究领域内的一个热点问题。史培军等研究过洞庭湖地区以农户为单位的土地利用结构对受涝灾程度的影响^[8]。国外学者对流域森林湿地面积减少后的水文效应也有过一些研究^[9,10]。但利用水文机制模型来揭示景观结构对水文过程的影响机理的研究则都是对一些尺度较小的流域做的比较成功^[9~11]。对于象四湖流域这样的流域面积在 10 000km² 以上的流域,要考虑用一个包括地形、植被、河网等诸多因子的水文模型,几乎就是不可能的,也是不必要的。本文所利用的模型,实质上只考虑了各种景观要素的产流过程,当景观结构发生变化时,在一定的降雨条件下,一方面是总产流量会发生相应的变化,另一方面是湖泊调蓄容量也因其面积的变化而变化,最终导致湖泊水位呈现出各种变化格局,这样就在一定程度上揭示了景观结构变化对洪涝灾害影响的基本过程。同时对发生这种影响的定量与定位的特征有所认识。四湖流域在最近 50a 中,因人类进行了大规模的围湖垦殖活动,使 75.14% 的湖泊面积转变成了农田或鱼池,根据模型计算结果,按照 1980、1983、1991、1996 等 4 个年份汛期降雨情况,上述的景观结构变化使长湖最高水位分别提高 1.8583、0.2001、0.1809、0.1579m,使洪湖最高日水位分别提高了 2.4864、2.0982、1.4101、2.1010 m。在遇到 1980 年类型的降雨情况时,仅依靠现有的堤防和泵站并不足以保证区域内人民生命财产的安全。景观生态结构的调整对于区域洪涝灾害的控制是十分必要的。

文献^[12~14]报道了有关人类活动对流域湿地功能的累加效应的一系列研究结果。实际上也只是给出了累加效应研究的一个框架和若干实例研究。有关累加效应的数量化描述模型仍然很欠缺^[15]。本文所建立的模型也给出了一个由湿地消失而引起累加效应的实例。由于四湖流域的湖泊面积大量减少,提高了汛期湖泊水位,两个湖泊在雨量大时的水位增加值高于雨量小时的增加值,表明在受到洪涝威胁时(即雨量大时),围垦活动所引起的受灾风险呈加速而非线性地增加趋势。通过这样的分析,围湖垦殖对洪涝风险的累加效应有可能得到量化的描述,并为确定可接受的围垦强度的阈值(threshold)或退田还湖的标准提供依据。这显然是一个值得关注的课题。

利用不同景观类型的产流模式建立的湖泊水位模拟模型,能够对较大尺度流域景观结构变化引起的调蓄湖泊水位变化进行计算,从而理解景观结构变化对流域水文过程的影响机理。同时也为设计具有防灾减灾功能的景观结构提供依据。

References:

- [1] Li W H. Flood of Yantze river and ecological Restoration. *Journal of Natural Resources*, 1999, **14**(1): 1~8.
- [2] Zhao Y, Li Y H, Chao Y. Flood prevention function of Panjin wetland at Liaohu delta. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, **11**(2): 261~264.
- [3] Wu G, Cai Q H. Expression as a whole of research content of the watershed ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, **18**(6): 572~578.
- [4] Deng H B, Wang Q L, Cai Q H. Watershed ecology-new discipline, new idea and new approach. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, **9**(4): 443~449.
- [5] Wang L C, Xie S P, Zhou Y K, *et al.* Submerged simulation and waterlogging in Taihu watershed. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(1): 46~54.
- [6] Wang L C, Peng P, Zhou Y K, *et al.* Study on mechanism of runoff-yield in plain polders. *Journal of Nanjing University*, 1997, **33**(1): 156~160.
- [7] Bai X T, Ou G H, Long Z Q, *et al.* Modeling approach for optimal planning of Sihui drainage system. *Journal of Water Conservation*, 1998, (6): 41~45.
- [8] Shi P J, Zhou W G, Fang W H, *et al.* Mechanism of influence of landuse changing on agricultural natural disaster (Ⅱ). *Journal of Natural Disaster*, 1999, **8**(3): 22~29.
- [9] Akiko, and Futoshi Nakamura. The influence of land-changes on hydrology and riparian environment in a northern Japanese landscape. *Landscape Ecology*, 1999, **14**: 543~556.

[10] Andersson L and Sivertun A. A GIS-suported method for detecting the hydrological mosaic and the role of man as a hydrological factor. *Landscape Ecology*, 1991, **5**(2):107~124

[11] Bedford B L, Preston E M. Developing the scientific basis for assessing cumulative effects of wetland loss and degradation on landscape function: status, perspectives, and prospects. *Environmental Management*,1988,**12**(5): 751~772.

[12] Hirsch A. Regulatory context for cumulative impact research. *Environmental Management*,1988,**12**(5): 715~724.

[13] Gosselinke L G, Gray P S, Lyndon C L, *et al.* Landscape Conservation in a Forested Wetland Watershed. *Bioscience*,1990,**40**:588~599.

[14] Paster J. Using simulation models and GIS to integrate ecosystem and landscape ecology, *Watersheld management*, spring-verlag, New York,U. S. A,1992. 324~347.

[15] Risser P G. General concepts for measureing cumulative impacts on wetland ecosysystems. *Environmental Management*,1988,**12**(5):585~589.

参考文献:

[1] 李文华. 长江洪水与生态建设. 自然资源学报,1999,**14**(1):1~8.

[2] 赵翌, 李月艳, 曹宇. 辽河三角洲盘锦湿地防洪功能研究. 应用生态学报,2000,**11**(2):261~264.

[3] 吴刚, 蔡庆华. 流域生态学研究内容的整体表达. 生态学报,1998,**18**(6):572~578.

[4] 邓红兵, 王庆礼, 蔡庆华. 流域生态学——新学科,新概念,新途径. 应用生态学报,1998,**9**(4): 443~449.

[5] 王腊春, 谢顺平, 周寅康, 等. 太湖流域洪涝灾害淹没范围模拟. 地理学报,2000,**55**(1):46~54.

[6] 王腊春, 彭鹏, 周寅康, 等. 平原圩区降雨产流机制研究. 南京大学学报,1997,**33**(1):156~160.

[7] 白宪台,欧光华,龙子泉,等. 四湖排水系统运行规划优化模型化方法. 水利学报,1998,(6):41~45.

[8] 史培军, 周武光, 方伟华, 等. 景观结构变化对农业自然灾害的影响机制(Ⅱ). 自然灾害学报,1999,**8**(3):22~29.