

洞庭湖流域中上游地区景观格局变化的水文响应

刘 明^{1,2}, 王克林^{1,*}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:将洞庭湖流域中上游地区 1980、1995 和 2000 年的 Landsat MSS 和 TM 卫星照片解译所得的景观数据,与经过最大似然估计法“消噪”的湘、资、沅、澧四水入湖水文站的年内最高洪峰水位、最大瞬时流量、年入湖径流量和年入湖泥沙量数据进行 Panel data 模型处理,并对处理后的景观和水文数据进行灰色分析和主成分分析。结果表明:研究区最高洪峰水位的变化受景观格局变化影响最大,入湖泥沙量的变化受景观格局变化影响最小。对最高洪峰水位变化影响最大的是山地水田、水库坑塘和灌木林地疏林地景观面积的变化,影响指数值分别达 -48.5、-48.1 和 45.2;对最大瞬时流量变化影响最大的是水库坑塘、水田(山地水田除外)和灌木林地疏林地景观面积的变化,影响指数值分别达 -41.9、41.2 和 41.2。有林地景观因林分差和林种结构单一,对各水文特征指标变化的影响较小,影响指数值分别仅为 -10.1、-13.5 和 -14.5。

关键词:景观格局; 水文响应; 驱动力; 洞庭湖流域

文章编号:1000-0933(2008)12-5970-10 中图分类号:X143 文献标识码:A

Analysis on hydrological responses to changes of landscape patterns in the middle and upper reaches of Dongting Lake Watershed

LIU Ming^{1,2}, WANG Ke-Lin^{1,*}

1 Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5970 ~ 5979.

Abstract: The landscape data used was interpreted from the Land MSS and TM satellite imagery for the middle and upper reaches of Dongting Lake watershed in 1980, 1995, and 2000. With the Maximum Likelihood method, noise, concealing trends which the hydrological indices represented, was eliminated. Hydrological indices include the yearly peak stage, the peak discharge, the yearly amount of runoff, and the yearly amount of sediment, values for which came from the hydrological stations located in the lake inlet of Xiang River, Zi River, Yuan River, and Li River. After being treated by the Panel Data Model, these landscape and hydrological data were analyzed by the method of Gray Connection analysis and the principal component analysis. The results showed: change of the peak stage is affected mostly by the landscape pattern change, and yearly sediment amount has impacted little affect. The peak stage change, lay on the increase or reduction of the landscape types, such as the mountain paddy fields, reservoirs and ponds, and shrub land and open forest land, whose influence values were -48.5, -48.1, and 45.2, respectively. The yearly peak discharge change is affected by the change of landscape types, including reservoirs, ponds, paddy fields (except mountain paddy fields), and shrub land and open forest land, whose influence values are -41.9, 41.2, and 41.2, respectively. Because the structure of the forest

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-SW-415)

收稿日期:2007-07-19; **修订日期:**2008-08-29

作者简介:刘明(1972~),男,湖南邵阳人,博士生,经济师,主要从事区域生态与区域发展研究. E-mail: mingliu6688@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Kelin@isa.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by Knowledge Innovation Project of CAS, (No. KZCX2-SW-415)

Received date: 2007-07-19; **Accepted date:** 2008-08-29

Biography: LIU Ming, Ph. D. candidate, mainly engaged in regional ecological and regional development. E-mail: mingliu6688@163.com

ages is not clear and the kinds of trees are simple, the effect of forest land on the change of hydrological characteristic indices is small, and the influence values are only -10.1 , -13.5 , and -14.5 , respectively.

Key Words: Landscape pattern; hydrology response; driving force; Dongting Lake watershed

生态水文和景观变化水文响应的研究较为常见^[1],许多学者分别从地貌、土壤、植被、土地利用及人类活动变化等不同角度,对其进行了深入探讨^[2~7],丰富了学科研究内容,促进了研究手段和方法的创新。这些研究也存在有一些亟待解决的问题,如多数研究集中于某一具体景观类型,对大尺度研究对象或者从系统化角度进行的量化分析不够^[8];研究结论有时存在着较大的差异,个别情况下甚至完全相反^[4];研究过程中较多的不确定性致使统计学分析方法使用受到限制等^[9~11]。因此,如何构建出更有效的技术方法体系,定量分析大尺度区域景观格局变化的水文响应关系,值得进一步尝试和探索。

洪涝灾害是影响洞庭湖流域生态安全的重要因素,引发该流域洪涝灾害的主要原因是江河湖泥沙淤积日益严重,洪水水位逐年升高^[12]。这些水文现象变化既是中上游地区地质、地貌和异常性气象因素共同作用的结果,也是景观格局改变导致地面径流及河湖水库调蓄能力变化等人为因素影响结果^[13]。本课题组研究发现,1980~2000年间,洞庭湖流域中上游地区景观格局变化主要表现为山地和丘陵区有林地、水田和疏林地景观的面积变化^[14]。本文拟对该区域景观格局变化的水文响应进行研究,旨在运用灰色分析等方法来解决景观变化生态效应研究中的不确定性问题,客观把握研究区景观格局改变对水文现象变化的驱动机制,为该流域洪涝的减灾防灾与生态治理提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

洞庭湖流域除洞庭湖区外,还包括湘、资、沅、澧四水,范围覆盖湖南全境及湖北、广西、贵州的部分地区,总面积 $263\ 000\text{ km}^2$,其中湖南境内流域面积占洞庭湖流域总面积的 82.7% 。本文将研究区限定为洞庭湖流域的湖南省境内部分(洞庭湖区除外,图1)。

研究区北部为平原,东、南、西三面环山,丘陵盆地内嵌,呈“凹”状地表结构。该区水系发达,河网稠密,向南呈聚辐式(扇形)水系格局,湘、资、沅、澧四水流域面积分别占研究区总面积的 49.2% 、 18.3% 、 24.7% 和 7.8% 。地貌以中山和丘陵为主,分别占研究区总面积的 31.8% 和 30.6% ;其次是岗地和低山,分别占 17.4% 和 16.6% ;平原所占比例最小,仅 3.6% 。研究区四季分明,光热充足,雨热同期,气候类型多样,年均降水 $1\ 427\text{ mm}$,降水的年内、年际以及空间变化较大。经济以农业为主,截至2003年底,流域总人口 $6\ 662$ 万人,其中农村人口 $4\ 431$ 万人,占总人口数的 66.5% ,高于全国 60% 的平均水平,人均土地面积 0.392 hm^2 ,人均耕地面积 0.055 hm^2 。

1.2 数据来源

1.2.1 景观数据来源与指数选择

通过 Landsat MSS 和 TM 卫星照片解译的研究区 1980、1995 年和 2000 年 3 期土地利用数据($1:100\ 000$)源于中国资源与环境数据库。在景观类型组成和变化信息提取时,参考了 1980 和 2000 年的湖南省土地利用类型图和 1998 年的 DEM 高程图。研究过程中,将研究区分成湘水、资水、沅水、澧水 4 个小流域的同时,还按海拔高程划分出 5 类高程区:海拔 50 m 以下为平原区,海拔 $50\sim 200\text{ m}$ 为岗地区,海拔 $200\sim 500\text{ m}$ 为丘陵区,海拔 $500\sim 800\text{ m}$ 为低山区,海拔在 800 m 以上为中山区。

根据目前常用的土地利用分类系统^[15],结合研究区土地利用实情,将该区划分为耕地、林地、草地、水域、建设地和未利用地 6 个一级景观类型,以及水田、旱地、有林地、灌木林地、疏林地、其它林地、高盖度草地、中盖度草地、低盖度草地、河渠、湖泊、水库坑塘、滩地、城镇建设地、农村聚落地、其它建设地(工矿和道路交通建设地等)、沼泽地、裸土地、裸岩石砾地 19 个二级景观类型。景观类型划分和景观信息提取过程、景观指数

选择见参考文献^[14,16,17]。

1.2.2 水文数据来源与特征指标选择

因为洞庭湖区任何一个水文站(点)的水位都不能代表全湖水位^[18~20],本研究以湘潭水文站(湘水流域)、桃江水文站(资水流域)、桃源水文站(沅水流域)、石门水文站(澧水流域) 1950~2003 年的实测数据,作为四水及研究区水文现象变化分析的基础。对其进行统计学特征分析后,选择年内最高洪峰水位、最大瞬时(入湖)流量、年入湖径流量和年入湖泥沙量作为表征研究区水文现象变化的特征指标^[19~22]。

考虑到水文数据样本必须对水文现象的周期波动、丰枯交替和特征值变化等具有代表性,本研究将影响水文现象变化的异常性气候、降水强度与范围以及移动路线变化等偶然因素看作为“噪声”^[21,22],模仿物理学中的噪声消除方法,运用最大似然估计法(maximum likelihood method)消噪^[23,24]。考虑到与景观数据对接,进行灰色分析时特别仅选取各水文特征指标在 1980、1995 年和 2000 年的最大似然值(表 1)。

1.3 研究方法

水文现象变化是多种自然和人为因素共同影响的结果,具有典型的灰色系统特性^[9,21,25]。考虑到本研究中景观数据和消噪后的水文数据在时间序列上样本量严重不足,无法满足经典统计学分析方法使用的条件^[9,21],本文借用经济学研究中的 Panel Data 模型处理方法,将四水流域看作为 4 个不同的截面。将这 4 个不同截面在 3 个不同时期的景观和水文数据转化成时间

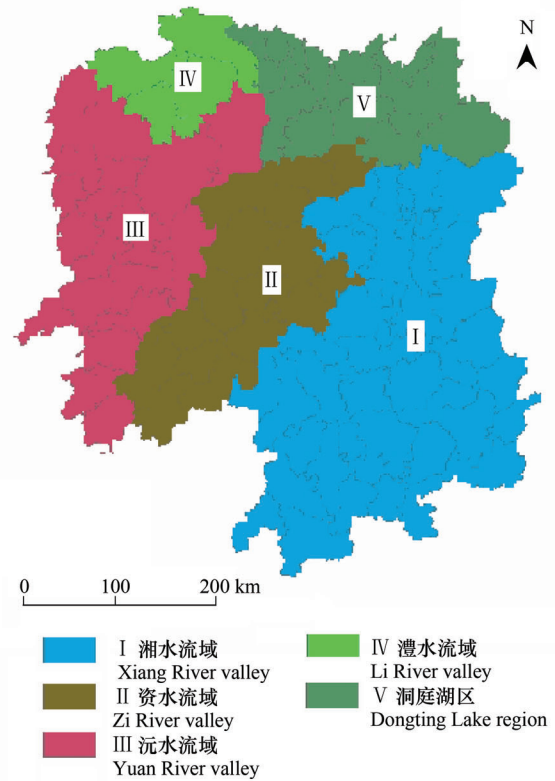


图 1 四水流域及洞庭湖区位置示意图

Fig. 1 Location of the four valleys and Dongting Lake region

I 湘水流域 Xiang River valley; II 资水流域 Zi River valley; III 沅水流域 Yuan River valley; IV 澧水流域 Li River valley; V 洞庭湖区 Dongting Lake region

表 1 各水文特征指标在 1980、1995 和 2000 年的最大似然值

Table 1 The maximum likelihood values of hydrological characteristic indices in 1980, 1995 and 2000

流域 Valley	年份 Year	最高洪峰水位(m) The peak stage	最大流量 ($\times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) The peak discharge	年入湖径流量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$) The yearly amount of runoff	年入湖泥沙量 ($\times 10^4 \text{ t}$) The yearly amount of sediment
湘水 Xiang River	1980	39.48	1.49	627	1225
	1995	39.51	1.41	749	744
	2000	39.43	1.41	726	597
资水 Zi River	1980	39.1	0.46	208	111
	1995	41.94	0.80	243	167
	2000	43.8	0.96	243	78
沅水 Yuan River	1980	41.12	1.48	605	876
	1995	44.60	2.24	796	691
	2000	42.77	1.94	678	360
澧水 Li River	1980	58.03	0.98	125	591
	1995	58.68	1.02	132	331
	2000	58.34	0.96	130	242
洞庭湖流域 Dongting Lake Watershed	1980	—	—	1.60×10^3	3.09×10^3
	1995	—	—	1.79×10^3	2.26×10^3
	2000	—	—	1.73×10^4	1.66×10^3

序列数据^[26,27]后,运用灰色分析方法计算出各景观指数变化与水文特征指标变化间的关联度,用主成分分析法计算出各景观指数变化对水文特征指标变化的贡献度,作为水文响应关系分析的基础。

景观格局变化的表现形式很多,对水文特征指标变化的影响也极其复杂。为了直观地表达出这种影响的大小和方向,本文构建出影响指数指标。按照影响指数值的计算结果,就可以推断出水文现象变化对景观格局变化的响应关系。影响指数的计算公式为:

$$E_i = 100\xi_{ij}\rho_{ij} \quad (i=1,2,\dots,19)$$

式中, E_i 为影响指数值($0 \leq E_i \leq 100$); ξ_{ij} 代表第*i*个景观指数变化与第*j*个水文特征指标变化间的关联度, ρ_{ij} 代表第*i*个景观指数变化对第*j*个水文特征指标变化的贡献度。如果值为正,则表明该景观指数的增减与水文特征指标的升降(增减)变化方向一致;否则二者变化方向相反。

2 结果与分析

2.1 四水水文现象变化特征

四水最高洪峰水位波动频繁,但波动幅度不大(图2)。多年来,湘、资、沅、澧四水最高洪峰水位平均值分别为38.7、40.8、42.0 m和58.4 m,其中沅水的波动幅度相对较大,标准差(standard deviation)值达4.4,分别是湘水、澧水和资水的1.13、1.16倍和1.33倍。沅水和澧水的最大瞬时流量值变化较大,标准差值均为 3.0×10^7 ,而湘水其次,资水最小(图3)。湘水和沅水年最大瞬时流量的极大值约为极小值的3倍,资水达6倍,澧水达11倍。沅水和湘水的年入湖径流量分别为652亿 m^3 和660亿 m^3 ,资水约为沅水的1/3,澧水不及湘水的1/4(图4)。澧水和资水年入湖径流量的年际变化相对较小,而湘水和沅水则较大。沅水、湘水年入湖泥沙量的均值分别为1 144万t和996万t,澧水为586万t,资水仅251万t。沅水年入湖泥沙量变化频繁而且变化幅度大,而资水、澧水基本稳定(图5)。20世纪80年代后,研究区年入湖泥沙量的变动幅度逐步减小,并呈稳定下降趋势。

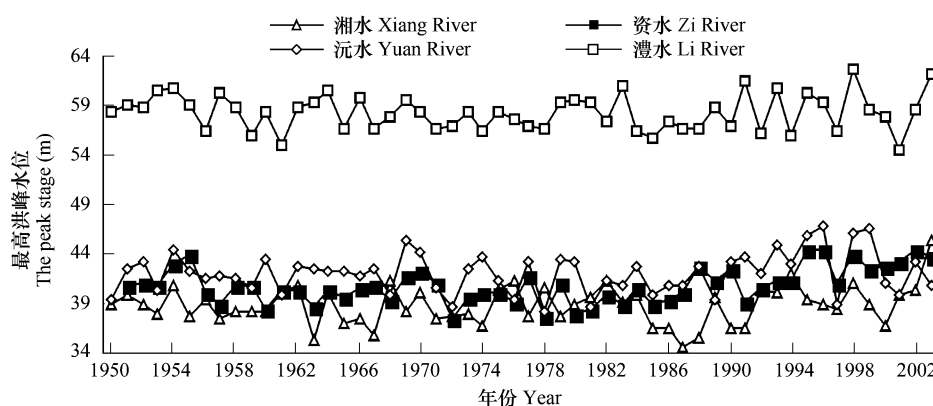


图2 四水最高洪峰水位的变化(1950~2003年)

Fig.2 Changes of the yearly peak stage in Xiang River, Zi River, Yuan River and Li River (1950—2003)

2.2 景观格局变化对水文现象变化的影响

2.2.1 各景观指数变化对水文特征指标变化的关联度

研究区各景观类型面积变化与水文特征指标变化间的关联度见表2。计算表2中各关联度数据列的均值(mean)和峰度系数(kurtosis),发现第1列普遍大于第3列,第3列普遍大于第2列,第2列普遍大于第4列。因此,按照灰色分析中优势分析的原理可得到^[21]:研究区内各景观类型面积的变化,对最高洪峰水位变化的影响最大,对入湖径流量和最大瞬时流量变化的影响相对较小,对入湖泥沙量变化的影响最小。

计算各格局指数变化与水文特征指标变化间的关联度,得到:①受格局指数变化影响最大的是最高洪峰水位,其次是最大瞬时流量,而年入湖泥沙量受影响最小。②对最高洪峰水位变化影响最大的CI(contagion index, 聚集度)指数,二者关联度达0.921;其次是LSI(landscape shape index, 斑块形状指数)和PD(patch

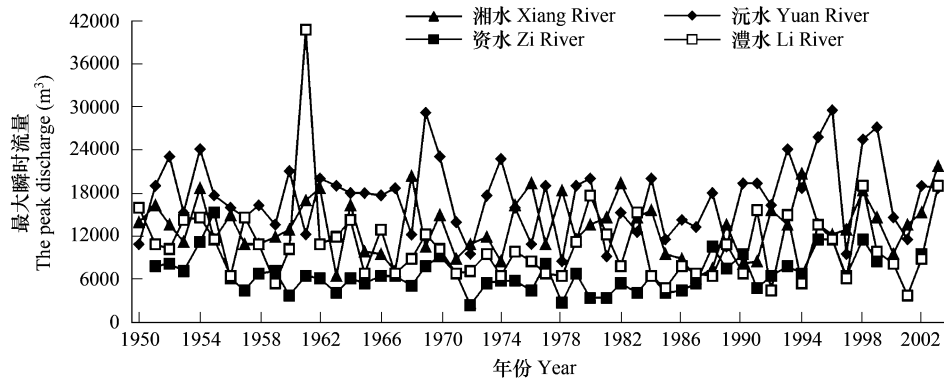


图3 四水最大瞬时流量的变化(1950~2003年)

Fig. 3 Changes of the yearly peak discharge in Xiang River, Zi River, Yuan River and Li River (1950–2003)

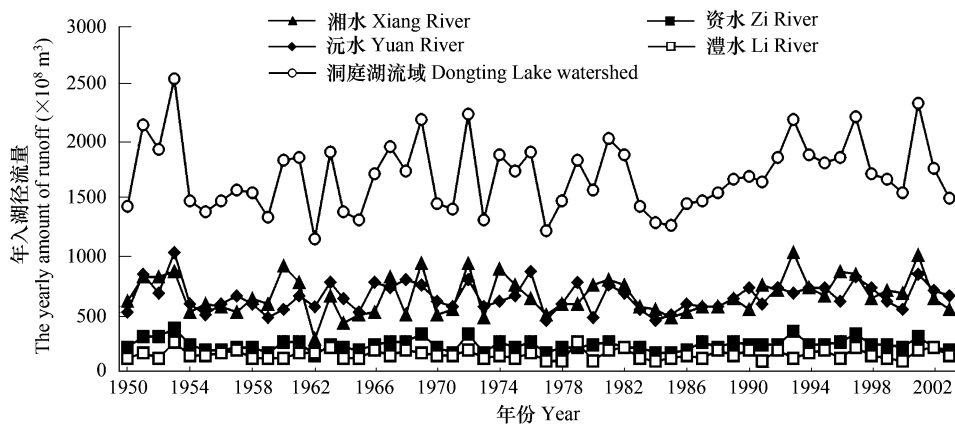


图4 四水及研究区年入湖径流量的变化(1950~2003年)

Fig. 4 Changes of the yearly amount of runoff in Xiang River, Zi River, Yuan River, Li River and Dongting Lake watershed (1950–2003)

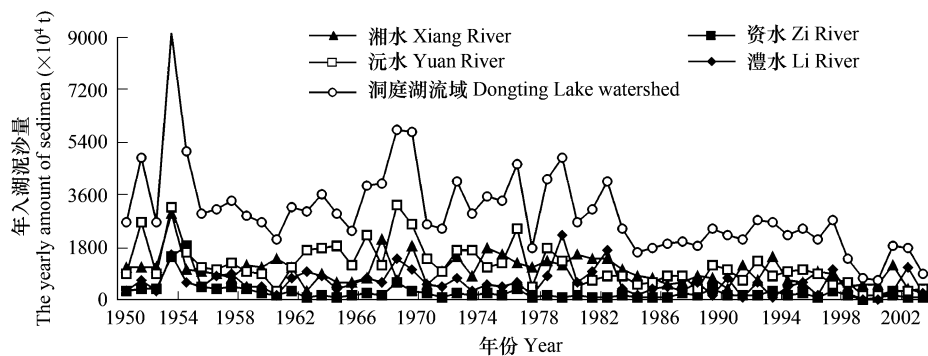


图5 四水及研究区年入湖泥沙量的变化(1950~2003年)

Fig. 5 Changes of the yearly amount of sediment in Xiang River, Zi River, Yuan River, Li River and Dongting Lake watershed (1950–2003)

density, 斑块密度)指数,关联度分别达0.921和0.879。对最大瞬时流量变化影响最大的是LSI指数,关联度达0.865;其次是PD和CI指数,关联度分别达0.853和0.845。③各格局指数变化对入湖泥沙量变化的影响相对较小,关联度均在0.57~0.60之间。

2.2.2 景观指数变化对水文特征指标变化的贡献

主成分分析结果(表3)表明,各景观类型面积变化对最高洪峰水位变化第1、2、3主成分的贡献率分别为49.9%、33.4%和13.9%。第1主成分中载荷较大的是丘陵水田、平原水田、丘陵旱地、有林地和水域景观,

表 2 各景观类型面积变化与水文特征指标变化间的关联度

Table 2 The gray correlation between landscape type area's change and hydrological indices' change

景观类型 Landscape type	最高洪峰水位 The peak stage	最大瞬时流量 The peak discharge	年入湖径流量 The yearly amount of runoff	年入湖泥沙量 The yearly amount of sediment
山地水田 Mountain paddy field	0.937	0.809	0.849	0.791
丘陵水田 Rough paddy field	0.957	0.825	0.872	0.781
平原水田 Plain paddy field	0.918	0.826	0.846	0.778
坡地水田 Slope paddy field	0.225	0.165	0.212	0.193
山地旱地 Mountain dry field	0.883	0.791	0.830	0.768
丘陵旱地 Rough dry field	0.942	0.828	0.850	0.781
平原旱地 Plain dry field	0.871	0.789	0.806	0.766
坡地旱地 Slope dry field	0.660	0.572	0.626	0.571
有林地 Forest land	0.929	0.815	0.850	0.790
灌木林地 Shrub land	0.931	0.803	0.843	0.786
疏林地 Open forest field	0.949	0.815	0.867	0.775
其它林地 Other forest land	0.823	0.758	0.775	0.807
高盖度草地 High coverage grassland	0.921	0.824	0.849	0.779
中盖度草地 Middle coverage grassland	0.948	0.814	0.854	0.773
低盖度草地 Low coverage grassland	0.706	0.637	0.668	0.578
河渠 River and ditch	0.909	0.799	0.831	0.791
湖泊 Lake	0.226	0.243	0.182	0.192
水库坑塘 Reservoir and pound	0.886	0.766	0.861	0.768
滩涂 Bottomland	0.784	0.747	0.728	0.777
城镇建设地 City and town area	0.936	0.813	0.902	0.747
农村聚落地 Village	0.909	0.809	0.841	0.790
其它建设地 Other built-up area	0.800	0.734	0.736	0.689
沼泽地 Swamp	—	—	0.000	—
裸土地 Bare land	0.188	0.203	0.212	0.193
裸岩砾石地 Rock and gravel area	—	—	—	—

载荷均在 0.91 以上,它们面积的增减和最高洪峰水位升降的方向相反。第 2 主成分中载荷较大的是山地旱地、灌木林地、疏林地、其它林地和中高盖度草地景观,它们面积的增减也与最高洪峰水位升降的方向相反。各景观类型面积变化对最大瞬时流量变化第 1、2、3 主成分的贡献率分别为 47.9%、36.3% 和 12.0%。第 1 主成分中载荷较大的是丘陵水田、平原水田、丘陵旱地、有林地和水域景观,载荷均在 0.91 以上,它们面积的增减和最大瞬时流量增减变化的方向一致。第 2 主成分中载荷较大的是山地旱地、有林地、其它林地等景观,它们面积的增减也与最大瞬时流量增减的变化方向一致。各景观类型面积变化对入湖泥沙量变化第 1、2、3 主成分的贡献率分别为 48.9%、34.5% 和 12.5%。第 1 主成分中的丘陵水田、平原水田、灌木林地、疏林地景观的载荷均在 0.92 以上,它们面积的增减和入湖泥沙量增减的变化方向一致。第 2 主成分中的山地旱地、疏林地、其它林地和高盖度草地景观的载荷均在 0.94 以上,它们面积的增减与入湖泥沙量增减的变化方向一致。

CI 指数变化对最高洪峰水位变化主成分载荷较大的是山地水田、丘陵水田、有林地和灌木林地景观,对最大瞬时流量变化主成分载荷较大的是山地水田、丘陵水田、其它林地、河渠和灌木林地景观,对入湖泥沙量变化主成分载荷较大的是山地水田、丘陵水田、其它林地和河渠景观。LSI 指数变化对各水文特征指标变化主成分中载荷较大的是丘陵水田、山地旱地、有林地、灌木林地、疏林地和水域景观,载荷均在 0.82 以上。MPS(mean patch size, 平均板块面积)指数变化对各水文特征指标变化的主成分,载荷较大的均为灌木林地、

表 3 各景观要素面积变化对水文特征指标变化的主成分载荷

水文指标 Hydrology index	Table 3 Matrix of principal component loadings for landscape type area 's change impacting on hydrological indices ' change								
	年内最高洪峰水位 The yearly peak stage			年内最大瞬时流量 The yearly peak discharge			年入湖泥沙量 The yearly amount of sediment		
	第 1 主成分 Component 1	第 2 主成分 Component 2	第 3 主成分 Component 3	第 1 主成分 Component 1	第 2 主成分 Component 2	第 3 主成分 Component 3	第 1 主成分 Component 1	第 2 主成分 Component 2	第 3 主成分 Component 3
山地水田 Mountain paddy field	-0.771	-0.146	-0.603	0.453	0.760	0.138	0.633	0.486	-0.350
丘陵水田 Rough paddy field	0.754	0.605	0.192	0.789	0.541	0.236	0.773	0.540	0.296
平原水田 Plain paddy field	0.976	-0.188	0.071	0.951	-0.267	0.128	0.949	-0.262	0.150
坡地水田 Slope paddy field	0.940	-0.248	-0.227	0.929	-0.326	-0.169	0.940	-0.302	-0.151
山地旱地 Mountain dry field	-0.197	-0.337	0.905	-0.277	-0.313	0.889	-0.307	-0.372	0.853
丘陵旱地 Rough dry field	-0.020	0.995	0.082	0.057	0.990	0.077	0.037	0.987	0.145
平原旱地 Plain dry field	0.961	-0.159	0.214	0.931	-0.236	0.270	0.922	-0.240	0.293
坡地旱地 Slope dry field	0.915	-0.141	-0.339	0.918	-0.220	-0.283	0.933	-0.187	-0.258
有林地 Forest land	-0.087	-0.485	0.698	-0.165	-0.472	0.706	-0.182	-0.513	0.663
灌木林地 Shrub land	0.882	0.191	0.417	0.867	0.118	0.463	0.845	0.102	0.509
疏林地 Open forest field	-0.217	0.948	0.207	-0.148	0.967	0.193	-0.173	0.948	0.246
其它林地 Other forest land	0.473	0.854	0.199	0.529	0.812	0.224	0.504	0.803	0.300
高盖度草地 High coverage grassland	-0.158	0.966	0.155	-0.086	0.975	0.145	-0.106	0.966	0.200
中盖度草地 Middle coverage grassland	-0.153	0.968	0.196	-0.084	0.977	0.184	-0.108	0.963	0.243
低盖度草地 Low coverage grassland	-0.397	0.850	-0.333	-0.305	0.876	-0.356	-0.306	0.893	-0.311
河渠 River and ditch	-0.743	0.409	-0.515	0.804	0.342	-0.470	0.813	0.379	-0.407
湖泊 Lake	0.839	0.538	0.009	-0.878	0.463	0.056	-0.866	0.473	0.126
水库坑塘 Reservoir and pound	-0.921	-0.096	-0.372	0.930	-0.175	-0.315	0.944	-0.142	-0.284
滩涂 Bottomland	0.946	-0.276	0.118	-0.911	-0.353	0.172	-0.906	-0.353	0.194

疏林地和其它林地景观。相比较而言,各格局指数变化对水文特征指标变化的影响程度,远低于各景观类型面积变化对水文特征指标变化的影响。

2.2.3 景观格局变化对水文现象变化的影响指数

由于在 1980 ~ 2000 年间,研究区景观格局变化主要体现为林地、水田和旱地景观面积的变化,尤其是二级景观类型中有林地、山地水田和灌木林地疏林地景观面积的变化^[14],加之各格局指数变化的显著性程度远低于其面积变化的显著性程度,各景观类型面积变化对水文现象变化的影响度远超过各格局指数变化对水文现象变化的影响程度,因此,本文在计算影响指数值时,仅考虑各景观类型面积变化对水文现象变化的影响。

结果表明(图 6),对最高洪峰水位变化影响最大的是山地水田和水库坑塘景观面积的变化,影响指数值分别达 -48.5 和 -48.1,它们面积的增减和最高洪峰水位升降的变化方向相反;其次是灌木林地疏林地景观和水田(山地水田除外,下同)景观面积的变化,影响指数值分别达 45.2 和 39.8,它们面积的增减和最高洪峰水位升降的变化方向相同。旱地(山地旱地除外,下同)、河流域、有林地和山地旱地景观面积的变化对最高洪峰水位变化的影响相对较小,影响指数值分别仅为 31.4、-27.8、-10.1 和 7.5。

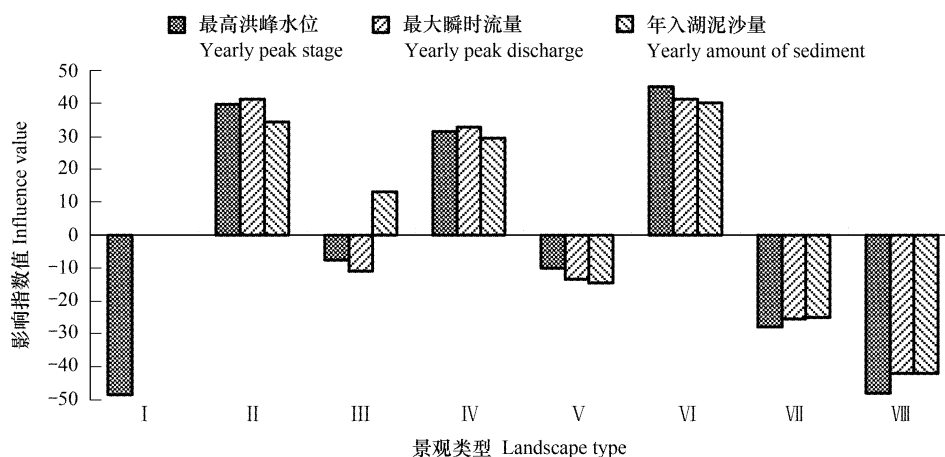


图 6 各主要景观类型面积变化对水文特征指标变化的影响指数值

Fig. 6 The influence value of these hydrological indices' change impacted by main kinds landscape type area

I 山地水田 Mountain paddy field; II 水田 Paddy field; III 山地旱地 Mountain dry land; IV 旱地 Dry land; V 有林地 Forest land; VI 灌木林地疏林地等 Shrub land and open forest land, et al; VII 河流域 River and ditch; VIII 水库坑塘 Reservoir and pond

影响最大瞬时流量变化最大的因素是水库坑塘景观面积的变化,影响指数值 -41.9,其面积的增减与最大瞬时流量增减的变化方向相反;其次是水田景观和灌木林地疏林地景观面积的变化,影响指数值均为 41.2,它们面积的增减与最高洪峰水位的升降变化方向相同。旱地、河流域、有林地和山地旱地景观面积的变化对最大瞬时流量变化的影响相对较小,影响指数值分别仅为 32.8、-25.4、-13.5 和 -11.0。

对入湖泥沙量变化影响最大的是水库坑塘景观面积的变化,影响指数值达 -42.0,其面积的增减和入湖泥沙量增减变化的方向相反;其次是灌木林地疏林地景观和山地水田景观面积的变化,影响指数值分别为 40.2 和 34.3,它们面积的增减与入湖泥沙量增减的变化方向相同。旱地、河流域、有林地和山地旱地景观面积的变化对入湖泥沙量变化的影响相对较小,影响指数值仅分别为 29.4、-25.1、-14.5 和 13.2。

2.3 景观格局变化对水文现象变化的驱动机制

水田景观具有一定蓄水作用,可以起到土壤水库的作用。但由于研究区内水田景观的蓄水期(4 ~ 7 月份)也是降水较为集中的时期,因此,其对径流的调蓄能力有限。而且蓄水后的水田景观,调蓄作用基本丧失,甚至还会加速径流的汇流速度。因此,水田景观面积的增加,会导致最高洪峰水位的上升和最大瞬时流量的增加。山地水田景观对调蓄径流延长径流滞留时间具有积极作用,但由于其地处山区,其对泥沙迁移的阻滞作用有限,尤其当降水强度较大时,它甚至还可以成为泥沙迁移的来源地。因此,山地水田景观面积的增

加,一方面对降低洪峰水位具有积极作用,但同时也会带来泥沙迁移量的增加。

灌木林地、疏林地和未成林地、园地、苗圃、迹地等林地景观,因为植被稀疏矮小,郁闭度低,对降水和径流的滞留能力弱,当降水强度较大或降水较为集中时,会产生水土流失的现象。它们面积的增加,会同时导致最高洪峰水位升高、最大瞬时流量和入湖泥沙量增加等现象的发生。

有林地景观对涵养水源和延长径流滞留时间具有积极作用,但由于研究区内有林地景观的近 80% 属于中幼林,其中针叶林占到近 80%,阔叶林仅占到 20%;林分差,林种结构单一,径流滞留能力和水土涵养能力十分有限。因此,其对降低最高洪峰水位、减少最大瞬时流量和减少入湖泥沙量的作用十分有限,影响指数均仅在 10~14.5 之间,远低于其它景观类型。

旱地景观的径流滞留能力十分有限,当降水达到一定强度后,其蓄水功能丧失,甚至还可能成为泥沙流失的来源地。因此,其面积的增减,会导致出现最高洪峰水位的升降、最大瞬时流量和年入湖泥沙量的增减。山地旱地景观具有较强的蓄水作用,其功能相当于小型的土壤水库,可以起到延长径流滞留时间,从而有利于降低最高洪峰水位,错开各集水区汇流时间。因此,在不超过一定降水强度的条件下,山地旱地的增减,会导致出现最高洪峰水位的下降或上升,最大瞬时流量的减少或增加。

3 结论

研究区内各流域的最高洪峰水位、最大瞬时流量在年际间变化频繁,说明其经常受到特定大气环流和异常性气象因素等的影响;它们的波动幅度不大,说明研究区内水文现象的长期变化,是景观格局变化复合气象、降水等因素共同作用的结果。就景观格局变化角度,则是水田、旱地、有林地、灌木林地、疏林地、河流水域和水库坑塘等景观面积变化共同影响的结果。

优势分析表明,研究区内最高洪峰水位的变化受景观格局变化的影响最大,入湖泥沙量的变化受景观格局变化影响最小。影响最高洪峰水位变化最主要的因素是水田、水库坑塘、灌木林地、疏林地等景观面积的变化,影响最大瞬时流量变化最主要的因素是水库坑塘、水田、灌木林地、疏林地、旱地景观面积的变化,影响入湖泥沙量变化最主要的因素是水库坑塘、灌木林地、疏林地、山地水田和旱地景观面积的变化。对水文现象变化影响最大的水库坑塘景观,尽管其占研究区总面积的比很小,但它对调蓄径流和改变径流滞留时间、阻滞泥沙迁移等非常有效,因此,水库坑塘景观面积的增加,对降低研究区内的最高洪峰水位、减少最大瞬时流量和减缓泥沙迁移,具有积极作用和较大的贡献。

Reference:

- [1] Huang Y L, Fu B J, Chen L D. Advances in eco-hydrological process research. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 580—587.
- [2] Calder I R, Hall R L, Astable H G, *et al.* The impact of land use change on water resources in sub-Saharan Africa: A modeling study of Lake Malawi. *Hydrol*, 1995, 170: 123—135.
- [3] Fohre N, Haverkamp S, Eckhardt K, *et al.* Hydrologic response to land use changes on the catchments scale. *Phys Chem Earth (B)*, 2001, 26(7): 577—582.
- [4] Chen J F, Li X B. Simulation of hydrological response to land-cover changes. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5): 833—836.
- [5] Sun G, Riekerk H, Comerford N B. Modeling the Hydrologic Impacts of Forest Harvesting on Florida Flatwoods. *Am Water Resour Assoc*, 1998, 34(4): 843—854.
- [6] Yang G J, Xiao D N, Zhou L H. Forest landscape pattern and its eco-hydrological effects of the Qilian Mountains in northwest China. *Advance in Water Science*, 2004, 15(4): 489—494.
- [7] Guo Y D, He Y, Deng W. Formation of landscape pattern in middle-low reaches of Taoer river and its impact on hydrology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(6): 32—35.
- [8] Li C W, Liu S R, Sun P S, *et al.* Analysis on landscape pattern and eco-hydrological characteristics at the upstream of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 691—698.
- [9] Wang M Y, Yang S T. Hydrological processes as well as thrie responses to scales. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1219—1228.
- [10] Zhang Q J, Fu B J, Chen L D. Several problems about landscape pattern change research. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(3): 264—270.
- [11] Chen J J, Zhang S W, Zhen D M. Uncertainty of the quantitative analysis on landscape patterns. *Arid Zone Research*, 2005, 22(1): 63—67.
- [12] Li J B, Wang K L, Qin J X, *et al.* The evolution of annual runoff and sediment in the Dongting Lake and their driving forces. *Acta Geographica*

- Sinica, 2005, 60(3): 503—510.
- [13] Li Y S, Li S Q. Problems and countermeasures on the agricultural flooding disaster in Hunan Province. *Research of Agricultural Modernization*, 1998, 19(2): 102—105.
- [14] Liu M, Wang K L. Change of landscape patterns and its driving forces in middle and upper reaches of Dongting Lake watershed. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 1317—1324.
- [15] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, *et al.* A primary study on spatial pattern of land-use changes in China during 1990—2000. *Science in China series D*, 2002, 32(2): 1031—1040.
- [16] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. Classification, application, and creation of landscape indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1): 121—125.
- [17] Li X Z, Bu R C, Chang Y, *et al.* The response of landscape metrics against pattern scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 123—124.
- [18] Tan X M. Study on the characteristic of water level change in Dongting Lake. *Bulletin of Water and Electricity*, 2002, (2): 25—26.
- [19] Peng C B. Study on the year-precipitation and runoff hydrology series representation in Hunan province. *Bulletin of Water and Electricity*, 2002, (4): 24—25.
- [20] Jin S G, Jiang S R. Analysis on hydrology characteristic at the entrance to Dongting Lake. *Bulletin of Water and Electricity*, 2001, 22(18): 24—26.
- [21] Liu M, Wang K L. Application of non-statistical methods to research on landscape pattern change. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(2): 58—62.
- [22] Ning M J, Zhou B D. The mechanism of flood disaster and reduction in Hunan Province in 1990s. *Journal of Hydrology*, 2002, 22(2): 47—50.
- [23] Su Z Y, Chen A L. The independent component analysis and its application in the geographical and environmental fields. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science Edition)*, 2005, 22(4): 16—20.
- [24] Lin Z M, Kang X L, Zhang L M. EM algorithm for estimating the noise deviation of the image in the wavelet domain. *Journal of Infrared Millim Waves*, 2001, 20(3): 199—202.
- [25] Zhang Z Q, Yu X X, Zhao Y T, *et al.* Advance in researches on the effect of forest on hydrological process. *Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 113—116.
- [26] Wu Y M, Xu J H. A spatial analysis on China's regional economic growth clustering. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(6): 654—659.
- [27] Zhang R, Ding R J, Yin L L, *et al.* The Panel data model of industrial structure change to our country energy expense's influence. *Market Modernization*, 2007, (1): 365—367.

参考文献:

- [1] 黄奕龙, 傅伯杰, 陈利顶. 生态水文过程研究进展. *生态学报*, 2003, 23(3): 580—587.
- [4] 陈军锋, 李秀彬. 土地覆被变化的水文响应模拟研究. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 833—836.
- [6] 杨国靖, 肖笃宁, 周立华. 祁连山森林景观格局对水文生态效应的影响. *水科学进展*, 2004, 15(4): 489—494.
- [7] 郭跃东, 何岩, 邓伟. 洮儿河中下游流域景观格局的形成及水环境效应分析. *水土保持学报*, 2003, 17(6): 32—35.
- [8] 李崇巍, 刘世荣, 孙鹏森, 等. 岷江上游景观格局及生态水文特征分析. *生态学报*, 2005, 25(4): 691—698.
- [9] 王鸣远, 杨素堂. 水文过程及其尺度响应. *生态学报*, 2008, 28(3): 1219—1228.
- [10] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题. *地理科学*, 2003, 23(3): 264—270.
- [11] 陈建军, 张树文, 郑冬梅. 景观格局定量分析中的不确定性. *干旱区研究*, 2005, 22(1): 63—67.
- [12] 李景保, 王克林, 秦建新, 等. 洞庭湖年径流泥沙的演变特征及其动因. *地理学报*, 2005, 60(3): 503—510.
- [13] 李阳生, 李绍清. 湖南农业的洪涝灾害问题及对策. *农业现代化研究*, 1998, 19(2): 102—105.
- [14] 刘明, 王克林. 洞庭湖流域中上游地区景观格局变化及其驱动力分析. *应用生态学报*, 2008, 19(6): 1317—1324.
- [15] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. *中国科学(D辑)*, 2002, 32(2): 1031—1040.
- [16] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 121—125.
- [17] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反应. *生态学杂志*, 2000, 24(1): 123—134.
- [18] 谭晓明. 洞庭湖水位变化特征. *湖南水利水电*, 2002, (2): 25—26.
- [19] 彭赤彬. 湖南省年降水及径流水文系列代表性研究. *湖南水利水电*, 2002, (4): 24—25.
- [20] 金升高, 江世荣. 洞庭湖湖口水文特征浅析. *水利水电快报*, 2001, 22(18): 24—26.
- [21] 刘明, 王克林. 非统计学方法在景观格局变化研究中的应用. *水土保持通报*, 2008, 28(2): 58—62.
- [22] 宁迈进, 周北达. 20 世纪 90 年代湖南省洪灾原因分析及减灾对策. *水文*, 2002, 22(2): 47—50.
- [23] 粟泽毅, 陈阿林. 独立分量分析方法及其在地理与环境科学中的应用. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 22(4): 16—20.
- [24] 林哲民, 康学雷, 张立明. 在小波域中进行图像噪声方差估计的 EM 方法. *红外与毫米波学报*, 2001, 20(3): 199—202.
- [25] 张志强, 余新晓, 赵玉涛, 等. 森林对水文过程影响研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 113—116.
- [26] 吴玉鸣, 徐建华. 中国区域经济增长集聚的空间统计分析. *地理科学*, 2004, 24(6): 654—659.
- [27] 张瑞, 丁日佳, 尹岚岚, 等. 产业结构变动对我国能源消费影响的 Panel data 模型. *商场现代化*, 2007, (1): 365—367.