

基于地统计学和 GIS 的鄱阳湖流域降雨空间差异分析

原立峰^{1,2,3}, 杨桂山², 李恒鹏², 张增信⁴

(1. 南京邮电大学 地理与生物信息学院, 南京 210003; 2. 中科院 南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;

3. 教育部 虚拟地理环境重点实验室, 南京 210046; 4. 南京林业大学 江苏省林业生态工程重点实验室, 南京 210037)

摘 要:降雨空间分布对于区域水文模拟、水资源规划与管理、旱涝灾害评估以及水土保持等均具有基础性意义。利用鄱阳湖流域 16 个气象站点 1960—2008 年共 49 a 的逐月降雨资料, 运用地统计学理论、结合 GIS 技术研究了鄱阳湖流域降雨空间分布特征。结果表明: (1) 流域多年平均降雨的空间分布整体呈现为由西南向东北, 以及由西北向东北梯次递增的趋势; (2) 代际降雨高值中心一般发生在庐山和玉山一带, 低值中心发生在赣南赣州、遂川一带; (3) 鄱阳湖流域 16 个气象站点各季节多年平均降雨属弱或中等变异, 在该流域适合选用高斯模型进行季节性降雨空间插值。

关键词:鄱阳湖; 降雨; 地统计学; GIS

中图分类号: P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)04-0034-05

Study on Variation Rule of Rainfall Spatial Distribution in Poyang Lake Basin Based on Geostatistic Method and GIS

YUAN Li-feng^{1,2,3}, YANG Gui-shan², LI Heng-peng², ZHANG Zeng-xin⁴

(1. College of Geography & Biological Information, Nanjing University of Posts and Telecommunications,

Nanjing 210003, China; 2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences,

Nanjing 210008, China; 3. Key Lab of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing 210046,

China; 4. Jiangsu Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Monthly rainfall data in 16 meteorological stations in Poyang lake basin through 1960 to 2008 were used to analyze spatial distribution of rainfall based on geostatistic and GIS technology. The results show that: (1) the spatial distribution of the average annual rainfall shows an increasing tendency from the south-west to the northeast and from the northwest to northeast; (2) the high value center of inter-generational rainfall have generally arisen in Lushan Mountain and Yushan, and the low value center of that occurs in Ganzhou, Suichuan of the southern of Jiangxi; (3) spatial analysis of the seasonal rainfall change shows that the seasonal average annual rainfalls belong to a weak or moderate variability level. In addition, it is good to make use of Gaussian model to simulate spatial distribution of seasonal rainfall, so Gaussian model should be used for seasonal rainfall spatial interpolation.

Key words: Poyang Lake; rainfall; geostatistics; GIS

降雨作为多数地理模型, 尤其是分布式水文模型中的主要输入项, 其空间分布不均匀性对流域产汇流的形成起着决定性作用, 降雨的空间分布规律是影响径流和泥沙模拟的主要因素^[1-2]。如何识别在全球气候变化和人类活动双重背景下的水文特征要素变化,

找出规律, 已成为水文水资源研究中的热点问题之一。由于降雨是一个非常复杂的过程, 受到多种因素的影响, 具有很强的不确定性, 所以降雨的时空分布研究受到众多学者的关注^[3-5]。目前, 对降雨空间分布特征的研究主要集中在空间插值方法应用^[6-8]、新

收稿日期: 2013-01-06

修回日期: 2013-01-31

资助项目: 国家自然科学基金项目 (41001158, 41271500); 中国博士后基金 (20090461148); 虚拟地理环境教育部重点实验室开放基金 (2010VGE05)

作者简介: 原立峰 (1978—), 男, 汉族, 山西太原人, 博士, 副教授, 中国地理学会会员。主要从事地表过程分析与模拟、遥感和 GIS 应用方面的教学和研究工作。E-mail: yuanlifeng7833@126.com

通信作者: 杨桂山 (1965—), 男, 江苏兴化人, 研究员, 博士, 主要从事区域环境变化与灾害影响、资源利用与环境效应研究。E-mail: gsyang@niglas.ac.cn

理论和新方法应用^[9-10]、地形要素对降雨空间分布的影响^[11]等方面。鄱阳湖作为我国最大、也是水质最好的淡水湖,在中国素有“大陆之肾”的美誉,被列为世界湿地和生物多样性保护热点地区,环鄱阳湖生态经济区建设已经上升为国家战略。然而,对于该流域降雨空间分布的相关研究成果尚不多见。本文以搜集到的鄱阳湖流域 1960—2008 年间 16 个气象站点逐月降雨实测资料为基础,运用地统计学方法和 GIS 技术,对流域多年平均降雨、代际降雨以及季节性降雨的空间分布特征进行分析,揭示流域降雨空间变异及规律,从而为该区域水文水资源研究和生态环境建设提供部分理论和实践依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

鄱阳湖位于江西省北部,长江中下游交接处南岸,地理范围为北纬 28°22′—29°45′,东经 115°22′—116°45′。鄱阳湖是一个季节性、吞吐性湖泊,它承接赣江、抚河、信江、饶河、修水及其它直接入湖的中小河流来水,经调蓄后由湖口向北注入长江^[12]。鄱阳湖流域东、西、南群山环抱,地势较高,与北部低海拔的鄱阳湖区形成一个完整的流域。流域内山地占 36%,丘陵占 42%,岗地和平原占 12%,水面占 10%。流域属于东南季风区的亚热带季风气候,气候温和,降水丰沛,雨热同季,四季分明。年平均降水量为 1 400~1 800 mm,50%左右的降水集中在 4—6 月,蒸发量为 700~800 mm。流域内降雨径流时空分布不均,年内、年际变化明显,具有明显的季节性和区域性,且洪旱灾害频繁^[13]。

1.2 数据预处理与研究方法

鄱阳湖流域降雨月值资料来自“中国气象科学数据共享服务网”(http://cdc.cma.gov.cn/)。搜集鄱阳湖流域内修水、宜春、吉安、宁冈、遂川、赣州、庐山、波阳、景德镇、南昌、樟树、贵溪、玉山、南城、广昌和寻乌共 16 个国家级气象站 1960—2008 年逐月降雨资料,按月求和统计出年降雨数据,采用算数平均法对个别站点缺失数据进行插补订正,并利用贝叶斯法对这 16 个站点的降雨资料进行一致性检验,全部通过 95%置信度检验。研究区气象站点分布见图 1。

由于地统计分析需要空间数据具有正态分布特征,所以在进行降雨空间插值之前,采用 QQPlot 分布图对降雨数据进行分析。对流域 16 个站点多年平均降雨量数据的 QQ 图检测结果基本呈一条直线,说明原始数据符合正态分布,无需对其进行变换,可直接用于空间插值。



图 1 鄱阳湖流域气象站点分布示意图

本研究采用反距离权插法 (Inverse Distance Weighted, IDW) 对 16 个气象站点多年平均降雨及其代际变化进行空间插值,分析流域内降雨的空间分布特征;对 1960—2008 年流域内 16 个站点春、夏、秋、冬各季节降雨的平均值、方差和变异系数等数量特征进行统计分析,利用非参数检验 Kolmogorov-Smirnov(K-S)方法检验季节性降雨数据分布特征,分析流域降雨随季节变化的空间差异;用 GS+ 软件进行变异函数分析,得到参数值,选择最优模型;并利用 ArcGIS 的地统计分析扩展模块进行降雨空间 Kriging 插值分析^[14]。

2 结果与分析

2.1 流域多年平均降雨量空间分布特征

为了能直观地显示鄱阳湖流域降雨量的空间分布特征,利用 ArcGIS 软件的 Geostatistical Analyst 地统计空间分析模块中的 IDW 插值方法对流域内 16 个气象站点的多年平均降雨量数据进行空间插值,得到流域平均降雨量空间分布(图 2)。

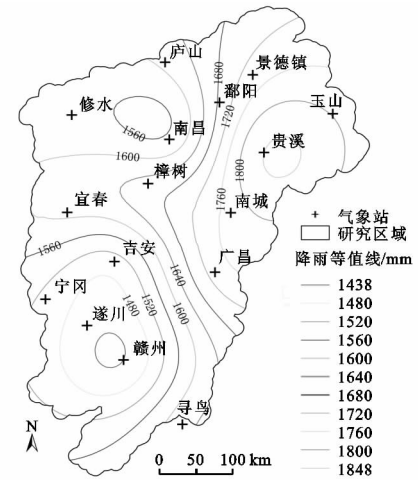


图 2 多年平均降雨等值线

从图 2 中可以看出,年均降雨量等值线图中出现了两个比较明显的极值中心:第一个是以贵溪为代表的 1 848 mm 高值中心,位于流域东北方向;第二个是以赣州为代表的 1 439 mm 低值中心,位于流域西南方向。南昌站位于流域西北方向,多年平均降雨为 1 560 mm,处于两极值之间。可见鄱阳湖流域降雨量的空间分布整体呈现为由西南向东北,以及由西北向东北梯次递增的趋势。

2.2 流域代际降雨量时空差异特征

为分析流域 1960—2008 年间不同年代降雨量的时空分异,采用 ArcGIS 地统计空间分析模块中的 IDW 插值方法,对 16 个站点不同年代的降雨分布进行了空间插值,对插值结果按照“Geometric Interval 法”分为 10 等,插值结果见图 3。

从图 3 中可以看出,1960s 流域降雨量空间分布为由西南向东北依次递增,最大降雨量出现在赣东玉山、贵溪一带,可达 2 432.49~3 943.95 mm;最小降雨量出现在赣南的赣州、遂川地区,仅 1 361.58~1 378.35 mm。1970s 的降雨量空间分布依旧是由西南向东北依次递增,但降雨高值中心由赣东玉山一带移至赣北庐山附近,最大值达到 1 943.29~2 060.35 mm,降雨低值中心依旧为赣南赣州、吉安一带,最小值为 1 430.52~1 478.14 mm。1980s 的降雨量空间分布特征和 20 世纪 70 年代并无太大差别,降雨高值中心依旧在庐山一带,最大值达到 1 896.14~1 950.66 mm,降雨低值中心也依旧是赣南遂川附近,最小值为 1 378.7~1 445.28 mm。进入 1990s,流域降雨量较 20 世纪 70、80 年代明显增多,整个赣北庐山、景德镇、玉山、贵溪一带的年均降雨量都接近 2 000 mm 或在 2 000 mm 以上,降雨高值中心庐山站的年降雨量达到 2 139.65~2 275.92 mm,降雨低值中心赣南遂川、赣州一带的降雨量也达到了 1 496.88~1 588.14 mm。降雨空间分布呈现为由西南向东北的条带式分割特征。从流域降雨的空间分布上可以看出,进入 21 世纪以后,流域降雨量较 20 世纪 90 年代明显减少,流域西部修水、宜春和南部的赣州一带的降雨量较少,仅有 1 413.12~1 446.07 mm,而流域北部降雨高值中心庐山一带的降雨量达到 1 839.55~1 927.29 mm,赣东部的玉山、贵溪和广昌一带降雨量也比较多,达到 1 700 mm 以上。

2.3 流域季节性降雨量时空分异特征

区域化变量既有随机性又有结构性,其随机性特征可用经典统计学进行描述,降雨在空间上呈随机分布,其变异系数(C_v)的大小反映了随机变量的离散程度,即可以表征降雨空间变异性的 大小。变异系数 $C_v \leq 0.1$ 时,呈弱变异性, $0.1 < C_v \leq 1$ 为中等变异

性, $C_v \geq 1$ 呈强变异性^[15]。统计分析表明,鄱阳湖流域 16 个气象站点各季节多年平均降雨量属弱或中等变异(表 1)。

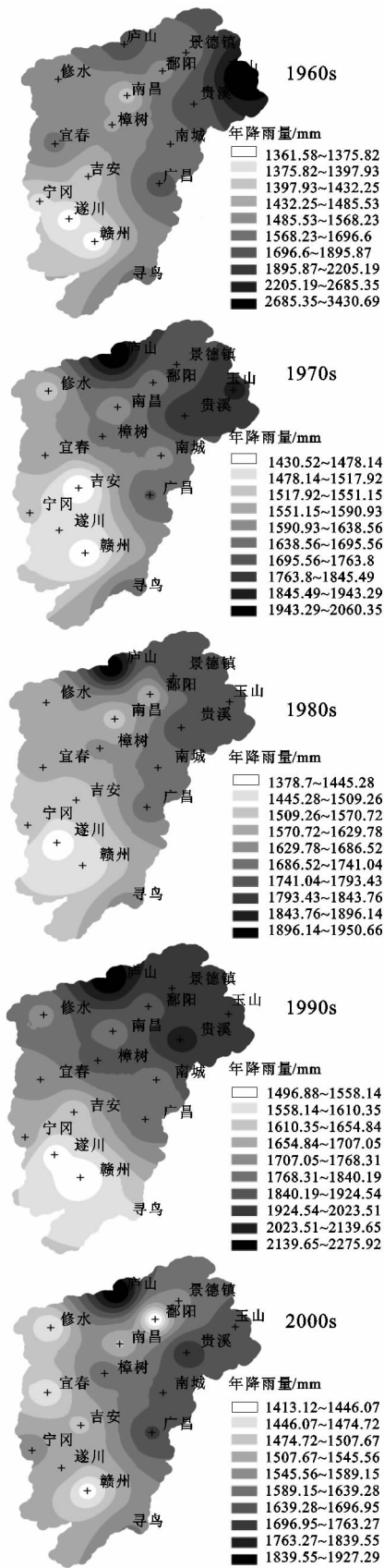


图 3 不同年代降雨量空间插值

表 1 鄱阳湖流域 16 个气象站四季平均降雨量描述性统计

项目	样点数	最小值/mm	最大值/mm	均值/mm	标准差	变异系数	偏度	峰度	K-S 值	分布类型
春	16	502.87	723.60	631.57	60.34	0.10	−0.203	2.660	0.377	正态
夏	16	457.20	802.68	567.52	80.79	0.14	1.456	5.588	0.856	正态
秋	16	188.34	341.97	226.37	36.85	0.16	2.083	7.223	1.039	正态
冬	16	184.25	261.89	222.62	22.46	0.10	0.090	2.279	0.362	正态

变异函数对区域化变量进行空间变异分析的前提是变量或变量的转化值必须符合正态分布,以消除比例效应。样点原始数据经 K-S 法检验后的参数值测定认为,流域降雨量显示出一定的偏斜效应(表 1)。显著水平值(K-S 值) 0.05,数据符合正态分布,能直接在变异函数分析系统中使用。

经 GS⁺ 7.0 软件分析得到鄱阳湖流域降雨空间变异函数模型有关参数值(表 2),其中块金效应值(C_0)表示小于取样尺度和分析误差等引起的随机方差, C 值表示由结构因素引起的结构方差,基台值

(C_0+C)表示数据序列的最大方差,反映系统内的总变异。结构效应值 $C/(C_0+C)$ 表示结构方差占总方差的比例,即数据序列的结构效应,反映出降雨的空间依赖性。通常, $C/(C_0+C)>75\%$ 时说明空间相关性极强,其空间异质性主要是由空间结构性因素引起的;在 $25\%\sim75\%$ 时具有中等空间相关性;当 $<25\%$ 时空间相关性较弱^[16]。变程表征了区域变量的空间自相关范围,即流域各站点降雨的空间自相关距离。样本间距小于变程的样点具有空间自相关性,大于变程的样点则不相关。

表 2 鄱阳湖流域降雨函数变异模型及其参数

项目	模型	块金效应 (C_0)	基台值 (C_0+C)	$[C/(C_0+C)]/$ %	变程/ m	决定系数 R^2	残差 RSS	自动 拟合
春	线性	1.0	8615.84	1.0	4.52	0.733	3.14×10^7	✓
	球状	1.0	8615.84	1.0	6.63	0.731	3.2×10^7	
	指数	10	10733.84	0.999	14.424	0.726	3.38×10^7	
	高斯	10	10043.84	0.999	4.751	0.741	2.65×10^7	
夏	线性	3200.0	14350.18	0.777	4.97	0.573	1.29×10^8	✓
	球状	10.0	11160.18	0.999	0.001	0.410	1.61×10^8	
	指数	3240.0	14390.18	0.775	10.47	0.582	1.25×10^8	
	高斯	10.0	11160.18	0.999	1.455	0.656	1.77×10^8	
秋	线性	863.0	4706.92	0.817	6.06	0.611	1.38×10^7	✓
	球状	752.0	4595.92	0.836	7.93	0.612	1.42×10^7	
	指数	806.0	4649.92	0.827	12.48	0.615	1.35×10^7	
	高斯	1181.0	5024.92	0.765	7.91	0.616	1.39×10^7	
冬	线性	97.9	639.38	0.847	4.90	0.670	2.39×10^5	✓
	球状	79.1	620.58	0.873	6.46	0.669	2.41×10^5	
	指数	40.4	581.89	0.931	8.23	0.664	2.41×10^5	
	高斯	173.6	715.09	0.757	6.30	0.677	2.39×10^5	

由表 2 可以看出,春、夏、秋、冬四季的 $C/(C_0+C)$ 值均大于 75%,说明流域季节性降雨的空间相关性强。以秋季降雨指数模型为例, $C/(C_0+C)$ 值为 82.7%,大于 75%,表明降雨具有高度的空间自相关性,是结构性因素和随机性因素共同影响的结果,其中,随机因素的影响占 17.3%,结构性因素的影响占 82.7%。

选择线性、球状、指数和高斯 4 种模型模拟研究区域季节性降雨空间变异规律,鉴于最优模型的选择取决于变异函数理论模型的 4 个拟合参数,首先考虑决定系数 R^2 ,其次是残差 RSS,然后是变程和块金值的大小。依据该原则,认为高斯模型对于四季降雨空间分布的拟合程度好,其中冬季的拟合系数最低,为

0.616,故在该流域应选用高斯模型进行降雨季节空间插值。基于高斯模型的流域各季节降雨模拟结果见图 4。

从图 4 中可以看出,研究区域 1960—2008 年间各季节降雨中,春季降雨以贵溪、玉山和广昌一带最大,范围为 692~724 mm,遂川一带最小,范围为 503~545 mm;夏季降雨以庐山一带最大,范围为 733~803 mm,遂川、赣州和吉安一带最小,范围为 457~491 mm;秋季降雨以庐山、玉山一带最大,范围为 287~342 mm;南城、广昌一带最小,范围为 188~200 mm;冬季降雨以玉山一带最大,范围为 251~262 mm,遂川、赣州、寻乌一带最小,范围为 184~195 mm。

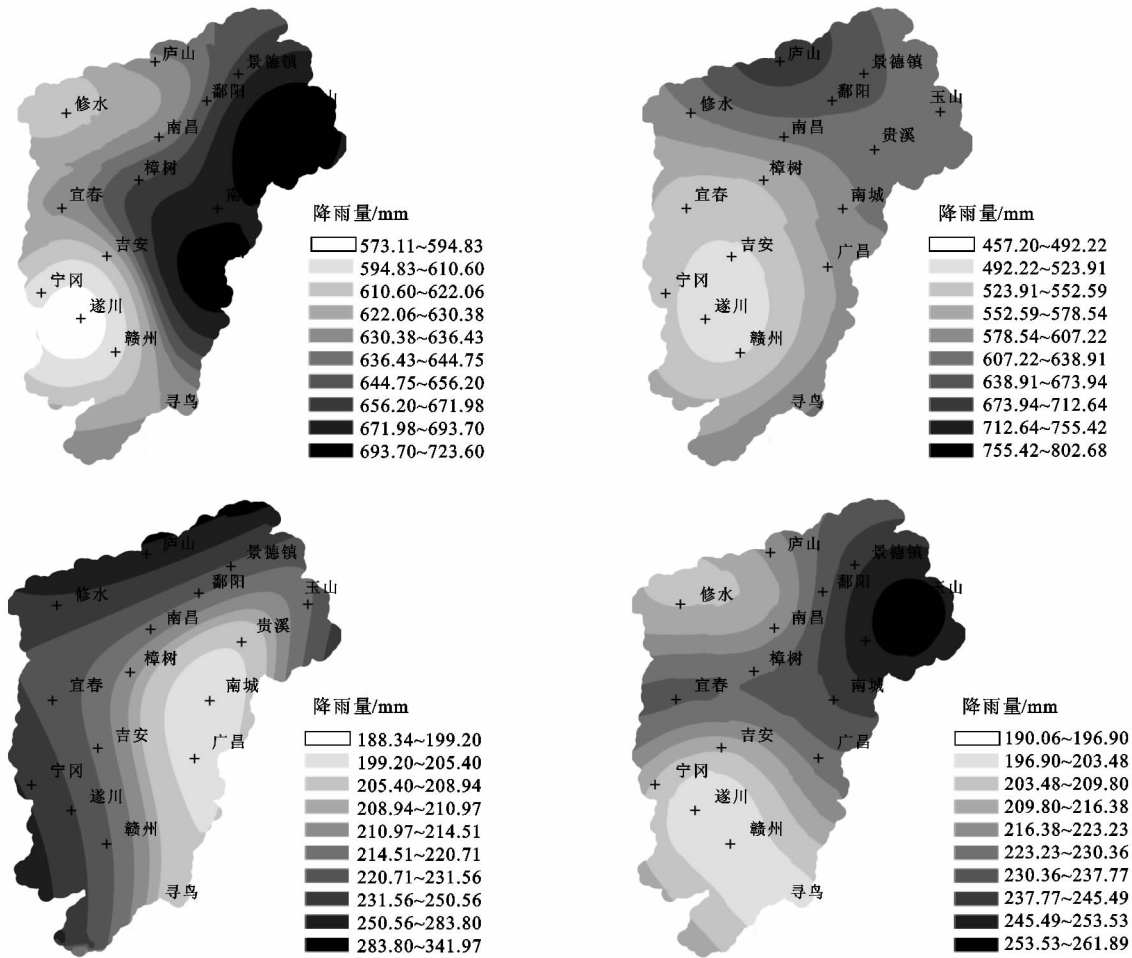


图 4 流域 1960—2008 年间各个季节降雨量空间分布

3 结论

利用地统计学方法,结合 GIS 技术,能够很好地反映鄱阳湖流域 1960—2008 年间降雨量的时空分异规律。研究表明:(1) 鄱阳湖流域年均降雨量形成了两个比较明显的极值中心:一是以贵溪为代表的 1 848 mm 高值中心,位于流域东北方向;二是以赣州为代表的 1 439 mm 低值中心,位于流域西南方向。流域多年平均降雨量的空间分布整体呈现为由西南向东北,以及由西北向东北梯次递增的趋势;分析其原因主要与北亚热带气候受大陆冷高压和西太平洋副热带高压影响有关。(2) 降雨年代际变化空间差异分析表明:代际降雨高值中心一般发生在庐山和玉山一带,降雨低值中心发生在赣南赣州、遂川一带;(3) 降雨季节变化的空间分析表明:鄱阳湖流域 16 个站点各季节多年平均降雨属弱或中等变异。此外,高斯模型对于四季降雨空间模拟拟合程度好,故在该流域应该选用高斯模型进行降雨季节变化空间插值。

参考文献:

[1] 张继国,谢平,龚艳冰,等. 降雨信息空间插值研究评述

与展望[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):6-9.

[2] 张雪松,郝芳华,张建永. 降雨空间分布不均匀性对流域径流和泥沙模拟影响研究[J]. 水土保持研究,2004,11(1):9-12.

[3] 刘鹏,张万昌. 考虑数据变换的泾河流域月降雨空间插值[J]. 水土保持研究,2008,15(4):1-4.

[4] 田风霞,赵传燕,冯兆东. 黄土高原地区降水的空间分布[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2009,45(5):1-5.

[5] 马良,左长青,孙劭,等. 山东省降雨侵蚀力空间分布特征及简易方程的研究[J]. 水土保持研究,2010,17(2):28-31.

[6] 董晓华,薄会娟,邓霞,等. 降雨空间插值方法及在清江流域的应用[J]. 三峡大学学报:自然科学版,2009,31(6):6-10.

[7] 何葵,傅德平,赵志敏,等. 基于 GIS 的新疆降水空间插值方法分析[J]. 水土保持研究,2008,15(6):35-37.

[8] 石朋,芮孝芳. 降雨空间插值方法的比较与改进[J]. 河海大学学报:自然科学版,2005,33(4):361-365.

[9] 刘德地,陈晓宏,楼章华. 基于云模型的降雨时空分布特性分析[J]. 水利学报,2009,40(7):850-856.

[10] 陈晓宏,刘德地,王兆礼. 降雨空间分布模式识别[J]. 水利学报,2006,37(6):711-715.

土壤的有机质含量主要与土壤有机质的矿化分解和动植物凋谢残体、根系、河水周期性淹没及大气降水等外源有机物的输入有关。所以, 滨岸缓冲带植物能够通过吸收、截留、吸附、分解等作用减少湖泊水体中的碳、氮、磷的含量。

4 结 论

(1) 骆马湖东南岸滨岸缓冲带土壤 TN 含量为 0.82~1.71 mg/g, TP 含量为 0.01~0.91 mg/g, 有机质含量为 1.01~6.89 mg/g。有草区的 TN、TP 及有机质的平均含量均大于无草区。

(2) 无草区土壤 TN、TP、有机质含量分布具有较大的空间异质性, 有草区土壤营养元素含量分布具有较小的异质性。空间变异大小顺序为: 无草区 TP > 无草区 TN > 有草区有机质 > 无草区有机质 > 有草区 TP > 有草区 TN。无草区 TN、TP 含量变异中, 随机因素和结构性因素都起到重要作用, 有草区的空间变异性主要受结构性因素影响。

(3) 在骆马湖滨岸缓冲带, 不同的植物群落对氮磷的截留、富集效率差异不大; 植物群落对有机质的截留作用不明显, 有草区和无草区的有机质含量的性质较为接近。

(4) 滨岸缓冲带植物能够通过吸收、截留、吸附、分解等作用减少湖泊水体中的碳、氮、磷的含量。其它区域的不同植物群落对不同污染物的截留作用、防止水土流失的作用、不同区域的最佳滨岸带长度和坡度等有待进一步研究。

参考文献:

[1] 赵杭美, 由文辉, 罗扬, 等. 滨岸缓冲带在河道生态修复中的应用研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(4): 116-122.

[2] 程洪, 颜传盛, 李建庆, 等. 草本植物根系网的固土机制模式与力学试验研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 62-65.

[3] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 等. 湖滨带的功能及其管理[J]. 生态环境, 2005, 14(2): 294-298.

(上接第 38 页)

[11] 张红平, 周锁铨. 山地降水的空间分布特征研究综述[J]. 陕西气象, 2004(6): 27-29.

[12] 樊述全. 鄱阳湖流域降雨时空分布规律及其水文响应[D]. 南京: 河海大学, 2007.

[13] 刘健, 张奇, 左海军, 等. 鄱阳湖流域径流模型[J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 570-578.

[14] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教

[4] 郭彬, 汤兰, 唐莉华, 等. 滨岸缓冲带截留污染物机理和效果的研究进展[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 257-262.

[5] 高大文, 杨帆. 滨岸缓冲带在水源地农业面源污染防治上的应用[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(10): 92-100.

[6] 秦明周. 美国土地利用的生物环境保护工程措施: 缓冲带[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 119-121.

[7] 戴尔·米勒. 美国的生物护岸工程[J]. 水利水电快报, 2000, 21(24): 8-10.

[8] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 951-954.

[9] 董凤丽, 袁峻峰, 马翠欣. 滨岸缓冲带对农业面源污染 NH_4^+-N , TP 的吸收效果[J]. 上海师范大学学报: 自然科学版, 2004, 33(2): 93-97.

[10] 王敏, 吴建强, 黄沈发, 等. 不同坡度缓冲带径流污染净化效果及其最佳宽度[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4951-4956.

[11] Narumalani S, Zhou Y C, Jensen J R. Application of remote sensing and geographic information system to the delineation and analysis of riparian buffer zones[J]. Aquatic Botany, 1997, 58(3/4): 393-409.

[12] 吉国强, 韩伟宏, 赵国斌. 不同缓冲带植物在滨岸缓冲带中的作用[J]. 山西农业科学, 2011, 39(8): 850-852.

[13] 白军红, 王庆改, 余国营. 吉林省向海沼泽湿地土壤中氮素分布特征及生产效应研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 113-116.

[14] 李秀珍, 肖笃宁, 胡远满, 等. 湿地养分截留功能的空间模拟: II. 模型的完善和应用[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 486-495.

[15] 白军红, 邓伟, 朱颜明. 湿地生物地球化学过程研究进展[J]. 生态学杂志, 2002, 21(1): 53-57.

[16] Xie Y H, Yu D, Ren B. Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants[J]. Aquatic Botany, 2004, 80(1): 29-37.

[17] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统模型研究进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(3): 352-355.

[18] Wetzel R G, Comers H. The role of the littoral zone and detritus in lake metabolism[J]. Aich Hydrobiologie, 1979, 13: 145-161.

程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[15] 门明新, 字振荣, 许皞, 等. 基于地统计学的河北省降雨侵蚀力空间格局研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(11): 2270-2277.

[16] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 等. 基于地统计学和 GIS 的土壤速效养分空间变异研究: 以四川盆地两个自然村为例[J]. 山地学报, 2006, 24(增刊): 153-160.