

武汉城市圈的水源涵养功能重要性评价研究

白杨^{1,3}, 初东^{2*}, 田良¹, 冯宇³, 张哲³

(1. 海南大学, 海口 570228; 2. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 本文以武汉城市圈为研究对象, 分析城市发展对该区域水源涵养功能的影响。文中选取植被、气象、地形、土壤和人为5个因子, 分别以植被覆盖度、降水量、蒸发量、坡度、坡长、土壤层厚度和覆盖类型作为水源涵养功能重要性的评价指标, 综合采用专家判断矩阵和层次分析法构建其指标体系。利用遥感、GIS等空间分析技术对武汉城市圈水源涵养功能重要性进行评价, 并分析影响水源涵养功能的各单因子重要性的动态变化及空间分布格局。结果表明: 2000–2009年间, 武汉城市圈水源涵养功能呈现先增高后降低的趋势; 空间分布格局主要表现为武汉城市圈东北部、东南部低山丘陵地带的水源涵养功能重要性较高; 短时间尺度上, 人为活动所导致植被覆盖度的变化和覆盖类型的改变是影响水源涵养功能的主要因素。其中, 2005–2009年间, 人类不合理开发利用土地导致植被覆盖度降低、湖泊湿地减少是武汉城市圈水源涵养功能下降的主要原因。

关键词: 水源涵养功能; 重要性评价; 影响因子; 武汉城市圈

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2014.00233

1 引言

水源涵养功能是指生态系统内多个水文过程及其水文效应的综合表现, 也常被认为拦蓄降水或调节河川径流量的功能^[1]。水源涵养功能下降可导致水资源的不断枯竭。近年来, 水源涵养功能研究内容主要涵盖了水源涵养功能评价方法^[2–4]; 水源涵养功能的影响因子分析; 森林生态系统、湿地生态系统等不同类型生态系统的水源涵养能力物质量计算^[5–8], 以及水源涵养功能模型等^[9–11]。由于不同的生态系统, 其水源涵养的能力不同, 水文过程及水文效应也不一样, 一般从多尺度内涵、过程及其计量方法研究水源涵养功能。有研究表明^[12], 运用区域水量平衡原理计量区域水源涵养功能是一种科学有效的方法。如聂忆黄等基于水平衡原理和地表能量平衡原理对1982–2003年间青藏高原水源涵养生态价值进行计算和分析^[13]; 陈龙等运用InVEST模型研究澜沧江流域的水源涵养功能; 谢高地等运用Constanza等人的评估方法对青藏高原水源涵养价值评估^[14]。但由于不同的计量模型选取的指标

因子不一样, 时常造成同一研究区水源涵养量值不一样; 同时, 由于模型中的蒸发散/降水比值或径流系数等估值范围较大, 目前, 一般难以准确计算出生态系统的涵养水源总量。

本文以武汉城市圈为研究对象, 利用遥感、GIS等空间分析技术, 综合采用专家判断矩阵和层次分析法, 对2000–2009年间武汉城市圈水源涵养功能时空变化进行了定量研究。此方法避开了复杂的数量关系, 直接以水源涵养功能的影响因子获得。其中, 重要的参数可通过遥感数据获得, 脱离了地面站点资料的条件束缚, 更好地实现区域尺度上的水源涵养功能评估, 以期对武汉城市圈水源涵养功能恢复提供借鉴。

2 研究区地理特征与数据源分析

(1) 武汉城市圈位于湖北省境内, 又称“1+8”城市圈, 它是以武汉为圆心, 包括黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、天门、潜江周边8个城市所组成的城市圈, 地理位置为112°53′~115°12′E, 29°14′~31°

收稿日期: 2013–10–30; 修回日期: 2013–12–10。

基金项目: 基于生态系统管理的规划环境影响评价技术研究(201009021); 环境保护部公益项目(201209044-02); 环境保护部全国生态环境十年变化(2000–2010年)遥感调查与评估项目。

作者简介: 白杨(1989–), 男, 湖南长沙人, 硕士生, 主要从事区域生态学方面的研究。E-mail: baiyang0701@sohu.com

*通讯作者: 初东(1966–), 女, 吉林人, 高级工程师, 主要从事卫星遥感技术在环境应用领域的研究。E-mail: chdgs010@126.com

33°N, 总面积为 58 052 km², 是湖北省产业和生产最具有活力的区域, 也是湖北乃至长江中游最大、最密集的城市群。

武汉城市圈总体地势起伏不大, 地势南北稍高、中部略低。北部为鄂东北低山丘陵, 被桐柏山和大别山所环绕; 中部和西部为鄂东沿江平原和广阔的江汉平原, 湖泊众多, 河网密布, 且长江、汉江贯穿全境; 南部为低山丘陵, 属幕阜山脉。地貌类型多样, 包括山地、丘陵、岗地、平原、水域等, 其中平原面积较大, 湿地生态系统分布较广。

武汉城市圈属于典型的北亚热带季风气候, 雨量充沛、日照充足、夏季高温多雨、冬季寒冷少雨。年平均气温 15~20℃, 年均日照时数 1950~2210h, 无霜期为 250~300 d, 年平均降水量 1130~1600 mm。

武汉城市圈植被区系由中亚热带常绿阔叶林向北亚热带落叶阔叶林过度, 物种丰富, 兼有南北各种乔、灌、草植物物种, 马尾松、杉木、栎树分布普遍。但因人类长期活动, 除大别山区外, 很少有天然植被分布, 多为次生林或人工林等。

(2) 研究数据获取及处理: 植被覆盖度数据采用 2000~2009 年覆盖研究区的 MODIS 反射率数据(数据来源于美国国家航空航天局(NASA)网站); 1:25 万的 DEM 数据(数据来源于全国生态环境调查数据库); 1:100 万土壤类型数据(数据来源于土壤数据库); 气象数据覆盖研究区 2000~2009 年逐月的平均降水量、温度、蒸发量、风速, 以及各站点的经纬度和高程(数据来源于国家气象中心信息资料室); 2000、2005 和 2009 年 3 期土地利用数据(数据来源于土地利用数据库)。对以上相关数据处理后得到:

①植被覆盖度: 利用 NASA 研发的 MRT 软件对 MODIS 数据进行格式和投影转换, 同时完成图像的镶嵌和重采样。经过影像裁剪后用最大值合成法(MVC)逐像元选取研究区逐月的 NDVI(归一化植被指数)最大值。②气象数据: 用克里格插值法对获取的研究区和周边 22 个气象站点的降水量和蒸发量进行空间插值。③地形数据: 结合坡度坡长因子公式^[15-16], 运用 GIS 空间分析技术从 DEM 数据中提取坡度和坡长。

3 水源涵养功能重要性评价与影响分析

3.1 评价指标体系的建立

3.1.1 指标选择原则和评价指标的选择

指标确定的原则可归纳为科学性、综合性、主导性和实用性。同时选取的评价指标应包括自然和人为 2 个方面, 且既要有代表性, 又尽可能简洁并易于获取、切实可行。

区域生态系统水源涵养能力是由地表覆盖层涵水能力和土壤涵水能力构成, 它与地表层覆盖状况、植被类型和盖度、枯落物组成和现存量、土壤厚度及土壤物理性质等因素密切相关, 是植被和土壤综合作用的结果。其中, 植被类型和盖度直接影响植被以下雨水的可利用量, 地表层覆盖状况影响地表水分蒸发量及地表径流, 进入土壤中的水分受土壤的质地、孔隙度、有机质含量和土壤层厚度等因素的影响。

本文参考国内外水源涵养功能重要性评价的方法, 并结合研究区的实际情况, 选取植被、气象、地形、土壤和人为 5 个因子作为影响水源涵养功能重要性评价的主要因子。自然因素方面, 植被覆盖是描述生态系统的重要参数之一^[17], 一般而言, 植被生长茂盛, 其植被覆盖度较高, 植被含蓄水源能力强, 则水源涵养功能高; 相反, 植被稀少, 土地裸露, 则水源涵养功能低。一个区域的水源涵养量通常是由该区域的降水量、蒸发量及径流量决定, 降水量、蒸发量可作为分析水源涵养功能重要性的重要指标。坡度和坡长影响着区域地表的径流流速以及流量, 因而地形因子可作为影响区域水源涵养功能的重要因子。土壤是影响水源涵养功能的一个重要方面, 土壤蓄水能力可通过土壤层厚度和单位厚度蓄水能力实现, 土壤层厚度增加, 土壤蓄水能力增强。人为因素方面, 人类活动改变了一个区域的植被类型以及土地的利用类型等覆盖因子^[18-20], 从而导致区域水源涵养功能的变化。一般情况下, 建设用地土地利用类型的水源涵养功能较低, 森林生态系统的水源涵养功能较高。

3.1.2 评价指标权重确定及重要性等级划分

运用层次分析法(AHP)计算出各影响因子权重, 经构建专家判断矩阵、层次单排序及各因子一致性检验, 确定其水源涵养功能重要性评价的指标体系及权重(表 1)。

依据评价结果的可比性原则以及武汉城市圈的实际情况, 采用自然分界法将植被覆盖度、降水量、蒸发量、坡度、坡长、土壤层厚度和覆盖类型指标分别划分为 5 个等级。在此基础上, 对各个等级进行赋值, 赋值越大, 则表明水源涵养功能重要性

越高^[21](表2)。

表1 水源涵养功能重要性评价指标体系及权重值

Tab.1 The index system and weight of water conservation function importance assessment

目标层	准则层	指标层	指标层权重
水源涵养功能重要性	植被因子	植被覆盖度	0.2050
		降水量	0.1420
	气象因子	蒸发量	0.1118
		坡度	0.0717
	地形因子	坡长	0.0717
		土壤层厚度	0.0965
	土壤因子	覆盖类型	0.3013
		人为因子	

通过分析各个因子对水源涵养功能的影响,确定其权重,运用加权求和方法综合评价水源涵养功能的重要性。其公式为:

$$E_j = \sum c_{(i,j)} w_{ij} \quad (1)$$

式中, E_j 为 j 空间单元水源涵养功能重要性综合指数; $C_{(i,j)}$ 为 j 空间单元第 i 个因素重要性等级值; w_{ij} 为影响水源涵养功能重要性因子的权重。

3.2 影响水源涵养功能重要性的单因子分析

(1) 植被因子对水源涵养功能影响

植被因子对水源涵养功能重要性的影响可通过植被覆盖度状况作用于降水截留程度体现。植被截留降水主要受叶面积指数、根系深度及植被盖度等因素影响。武汉城市圈植被覆盖度空间变化主要特征为西部平原和东北部、东南部丘陵地带植被覆盖度较高,中部平原区较低;时间变化主要特征为2000-2009年间先增高后降低。由图1可见,

基于植被覆盖度的水源涵养功能极重要区和高度重要区主要分布在武汉城市圈的西部平原以及东北、东南丘陵地带,该区域植被覆盖度较高,水源涵养功能高。2000-2009年间,极重要区面积呈先增加后减少的趋势,由10 240km²增加到15 654km²,增加了10.22%,然后减少到10 552km²,减少了9.64%;高度重要区面积呈先减少后增加的趋势;由37 032km²减少到32 464km²,又增加到35 322km²,总体减少了3.23%;中度重要区呈先减少后增加的趋势,总体增加了2.03%;轻度重要区面积变化幅度小,仅略微增加0.02%;一般重要区面积先减少后增加,但总体增加幅度不大。

整体来说,人类不合理的开发,对林地等植被的破坏,导致植被覆盖度由原有增加趋势转化为下降趋势,严重影响区域生态系统水源涵养功能的充分发挥。

(2) 气象因子对水源涵养功能影响

降水量与蒸发量及径流量的差值决定区域水源涵养总量。降水量的多少是由降水强度与降水持续时间共同作用的结果。通过分析可知,武汉城市圈降水量的空间分布格局具体表现为由城市圈东南部向西北部逐渐递减。由图2可见,基于降水量的水源涵养功能极重要区和高度重要区分布于武汉城市圈东南部,该区域降水量较大,水源涵养功能重要性高。从表4可看出,极重要区面积先增加后减少,由14 352km²减少到2 318km²;高度重要区面积逐渐增加,由5 756km²最终增加到8 125km²;中度重要区和轻度重要区面积变化幅度相对较小;一般重要区面积有所增加,由10 936km²最终增加

表2 水源涵养功能重要性评价指标及分级

Tab.2 The index and classification of water conservation function importance assessment

指标	一般重要	轻度重要	中度重要	高度重要	极重要
植被覆盖度	[0, 0.2]	(0.2, 0.4]	(0.4, 0.6]	(0.6, 0.8]	(0.8, 1]
降水量(mm)	(0, 1188.7]	(1188.7, 1256.5]	(1256.5, 1344.7]	(1344.7, 1457.6]	(1457.6, 2209.6]
蒸发量(mm)	[156.1, 191.3]	[144.9, 156.1)	[132.6, 144.9)	[120.3, 132.6)	(0, 120.3)
坡度(°)	[23.5, 56.7]	[15.5, 23.5)	[9.1, 15.5)	[3.1, 9.1)	[0, 3.1)
坡长(m)	(0, 5]	(5, 10]	(10, 20]	(20, 50]	(50, 200]
土壤层厚度(cm)	(0, 78]	(78, 96]	(96, 106]	(106, 132]	(132, 230]
覆盖类型	城市建设用地	耕地、其他建设用地及未利用土地	水域	草地	林地
分级赋值	1	3	5	7	9
分级标准	(0, 3.7]	(3.7, 4.6]	(4.6, 5.5]	(5.5, 6.3]	(6.3, 8.3]

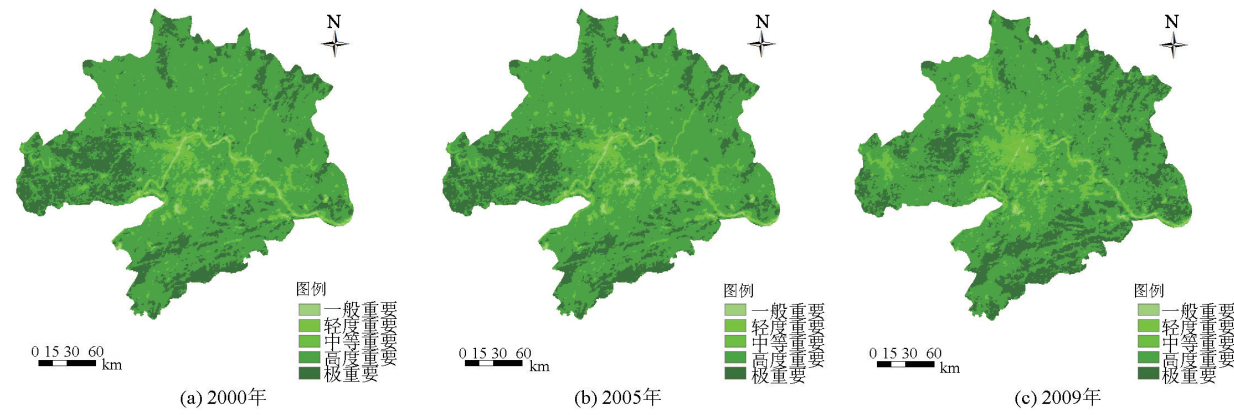


图1 基于植被覆盖度的水源涵养功能重要性评价

Fig.1 Water conservation function importance assessment based on vegetation coverage

表3 基于植被覆盖度的水源涵养功能重要性评价结果

Tab.3 The results of water conservation function importance assessment based on vegetation coverage

指标	面积(km ²)			占研究区面积比例(%)		
	2000年	2005年	2009年	2000年	2005年	2009年
一般重要	580	531	890	1.10	1.00	1.68
轻度重要	1066	1009	1076	2.01	1.91	2.03
中度重要	4015	3275	5093	7.59	6.19	9.62
高度重要	37 032	32 464	35 322	69.96	61.33	66.73
极重要	10 240	15 654	10 552	19.35	29.57	19.93

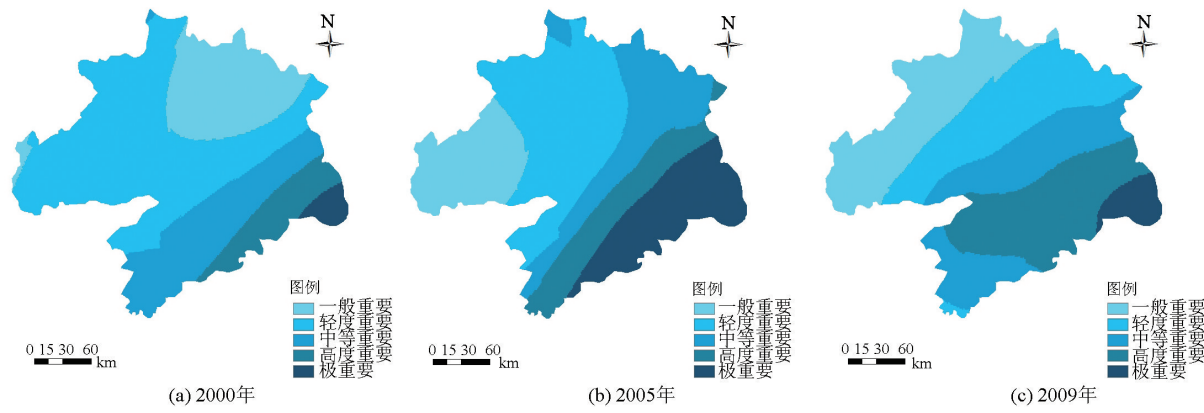


图2 基于降水量的水源涵养功能重要性评价

Fig.2 Water conservation function importance assessment based on precipitation

到16 976km²。由此可知,2000-2009年间,基于降水量的武汉城市圈水源涵养功能重要性程度呈先升高后降低的趋势。

蒸发量作为区域水源涵养量的一种输出形式,它是由水分蒸发、土壤蒸发和植物蒸腾共同作用的结果。武汉城市圈蒸发量的空间分布格局整体呈现出由城市圈北部向南部逐渐递增。通过分析得

知(图3),水源涵养功能重要性较高区域主要分布在武汉城市圈的北部地区,其中极重要区主要分布在东北部地区,整个区域的蒸发量呈现减少趋势,极重要区由2877km²最终增加到5508km²,重要区面积由9404 km²最终增加到16 890km²,而蒸发量较大的区域面积相对减少。因此,基于蒸发量的武汉城市圈水源涵养功能重要性程度呈现逐渐升高

表 4 基于气象因子的水源涵养功能重要性评价结果

Tab.4 The results of water conservation function importance assessment based on meteorological factors

指标	以降水量为指标的面积(km ²)			以蒸发量为指标的面积(km ²)		
	2000 年	2005 年	2009 年	2000 年	2005 年	2009 年
一般重要	10 936	10 933	16 976	12 247	4965	5814
轻度重要	19 633	12 760	17 180	12 622	10 991	9556
中度重要	9429	7350	8334	15 780	21 361	15 165
高度重要	5756	7538	8125	9404	12 823	16 890
极重要	7178	14 352	2318	2877	2793	5508

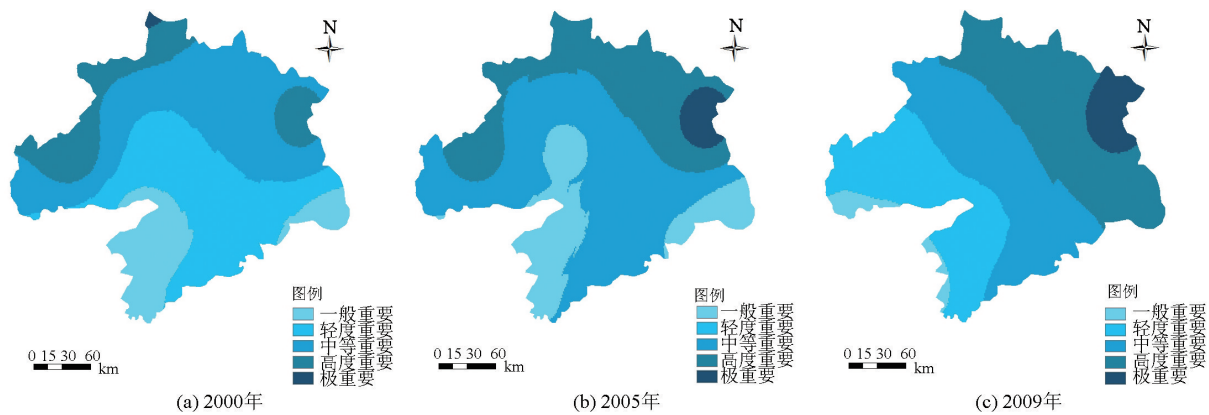


图 3 基于蒸发量的水源涵养功能重要性评价

Fig.3 Water conservation function importance assessment based on evaporation

的趋势。

(3) 地形因子对水源涵养功能影响

坡度和坡长通过对地表径流的影响从而改变着区域水源涵养功能。坡度大的区域,径流速度快,则径流入渗时间短、入渗量小;坡长长的区域,径流流程距离长,则径流入渗时间多、入渗量大。武汉城市圈的地势为南北稍高、中部略低。从坡度分析得知(图4),水源涵养功能极重要区主要位于地势平坦的鄂东沿江平原和广阔的江汉平原,占总面积的72.5%,而高度重要区、中等重要区、轻度重要区以及一般重要区主要分布于武汉城市圈东北部、东南部的低山丘陵地带。由于东北部、东南部低山丘陵地势较高,坡度值较大,径流流速较快,从而减少了径流入渗时间和入渗量,导致该区域的水源涵养功能重要性较低。

从坡长分析可知(图5),水源涵养功能极重要区、高度重要区、中等重要区和轻度重要区分布于武汉城市圈东北部、东南部的低山丘陵地带,而一般重要区主要分布在研究区的平原地带。地势高

的东北部、东南部低山丘陵坡长值较大,水流流程加长,径流的入渗时间增多,水源涵养能力提高,因而该区域的水源涵养功能重要性较为突出。

(4) 土壤因子对水源涵养功能影响

土壤蓄水能力影响着区域生态系统水源涵养功能,土壤蓄水能力是由土壤层厚度和土壤质地共同决定。武汉城市圈土壤层厚度整体呈现出南北部大、中部小,土壤质地大部分区域为粘土或壤土,整体蓄水能力高。通过分析得出(图6),区域内东北部、东南部的土壤蓄水能力相对较高。其中,基于土壤因子的水源涵养功能极重要区主要位于武汉城市圈东南部的低山丘陵地带,该区域土壤厚度较大,土壤贮积水分深度较高,涵养水源量大,因而水源涵养能力高。从表6可知,轻度重要区分布最广,面积达到32 465.3km²,占研究区面积61.33%,其主要分布在鄂东沿江平原和江汉平原,土壤贮蓄水分能力较弱;中度重要区面积分布相对较多,占研究区27.62%;而高度重要区和一般重要区分布面积少。

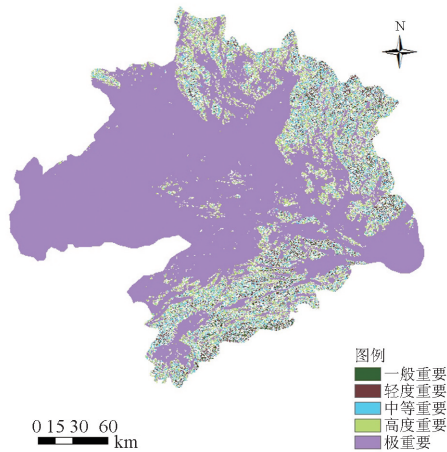


图4 基于坡度的水源涵养功能重要性评价
Fig.4 Water conservation function importance assessment based on slope

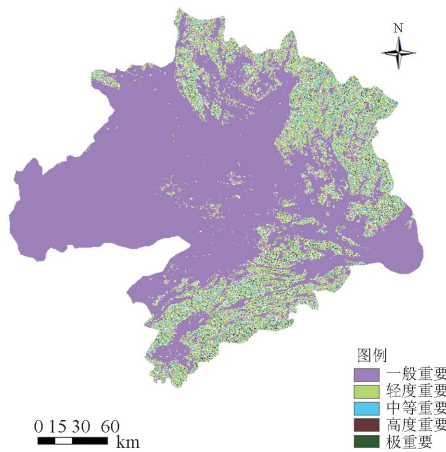


图5 基于坡长的水源涵养功能重要性评价
Fig.5 Water conservation function importance assessment based on slope length

表5 基于地形因子的水源涵养功能重要性评价结果

Tab.5 The results of water conservation function importance assessment based on topographical factors

指标	以坡度为指标的	以坡长为指标的
	面积(km ²)	面积(km ²)
一般重要	1258	45 608
轻度重要	3146	5449
中度重要	4664	1156
高度重要	5506	540
极重要	38 361	183

表6 基于土壤因子的水源涵养功能重要性评价结果

Tab.6 The results of water conservation function importance assessment based on soil factors

指标	面积(km ²)	占研究区面积比例(%)
一般重要	427.6	0.81
轻度重要	32 465.3	61.33
中度重要	14 622.3	27.62
高度重要	578.1	1.09
极重要	4839.7	9.14

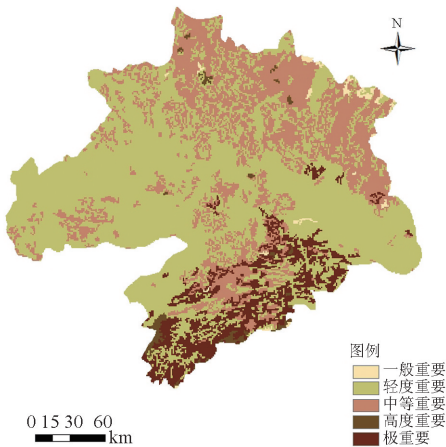


图6 基于土壤因子的水源涵养功能重要性评价
Fig.6 Water conservation function importance assessment based on soil factors

(5)人为因子对水源涵养功能的影响

人为因子对水源涵养功能影响主要通过人为活动改变地表层覆盖状况体现。地表层覆盖物对生态系统水源涵养能力有重要的影响,其具有抑制蒸发、缓和地表径流的作用。武汉城市圈近几年地表覆盖类型变化较大。通过分析可知(图7),基于人为因子的水源涵养功能极重要区和高度重要区主要分布在武汉城市圈东北部和东南部的林草地,由于植被含蓄水源能力强,该地带水源涵养功能高;水源涵养功能中度重要区主要分布在武汉城市圈内中部平原地区,此区域分布有大量的湿地生

态系统,由于湿地能含蓄水源、补充地下水、调节径流,该地带水源涵养功能较高;水源涵养功能一般重要区主要分布在武汉城市圈中部,城市用地将路面硬化,土地透水性能差,水源涵养能力弱,该地带水源涵养功能较低。从表7可知,2000-2009年间,极重要区、高度重要区和中度重要区的面积呈现出先增加后减少的趋势,轻度重要区的面积呈现出先减少后增加的趋势,而一般重要区的面积表现为逐渐增加的趋势。其中,极重要区由15 580km²增加到17 075km²,增加了9.6%,再减少到15 702 km²,减少了8.04%;高度重要区由1256km²增加到1501km²,又减少到863km²,变化幅度较大;中度重要区由5252km²增加到5934km²,之后减少到

表 7 基于人为因子的水源涵养功能重要性评价结果

Tab.7 The results of water conservation function importance assessment based on man-made factors

指标	面积(km ²)			占研究区面积比例(%)		
	2000 年	2005 年	2009 年	2000 年	2005 年	2009 年
一般重要	691	709	1234	1.31	1.34	2.33
轻度重要	30 151	27713	30 921	56.96	52.36	58.42
中度重要	5252	5934	4213	9.92	11.21	7.96
高度重要	1256	1501	863	2.37	2.84	1.63
极重要	15 580	17 075	15702	29.44	32.26	29.66

4213km², 最终总体减少了 19.78%; 轻度重要区面积变化幅度相对较小, 仅略微增加 2.55%; 一般重要区面积虽占研究区比例小, 但增加幅度大, 由 691km² 逐渐增加到 1234km², 总体增加了 78.58%。

由以上分析可知, 覆盖类型对水源涵养功能影响较大。近年来, 由于人类砍伐森林、破坏草地、围湖造田等一系列不合理的开发活动, 特别是城市化进程的加快导致城市圈内的水域面积和林草面积

大量减少, 城市用地面积迅速增加, 区域水源涵养功能变化较大。

3.3 水源涵养功能重要性的综合评价

运用地理信息系统空间分析软件分别将 3 期单因子进行空间叠加, 采用式(1)进行水源涵养功能重要性综合指数运算, 并依据分级标准综合评价 3 期武汉城市圈水源涵养功能的重要性(图 8)。整体

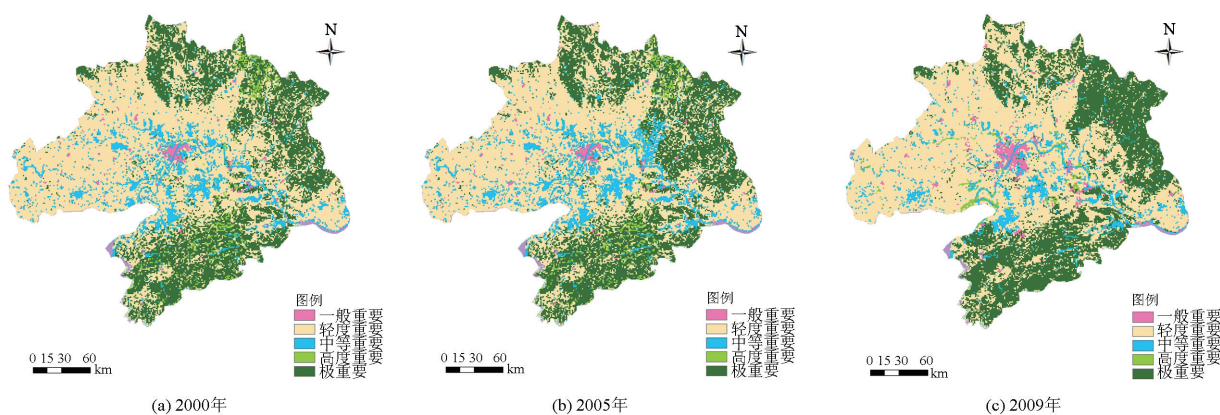


图 7 基于人为因子的水源涵养功能重要性评价

Fig.7 Water conservation function importance assessment based on man-made factors

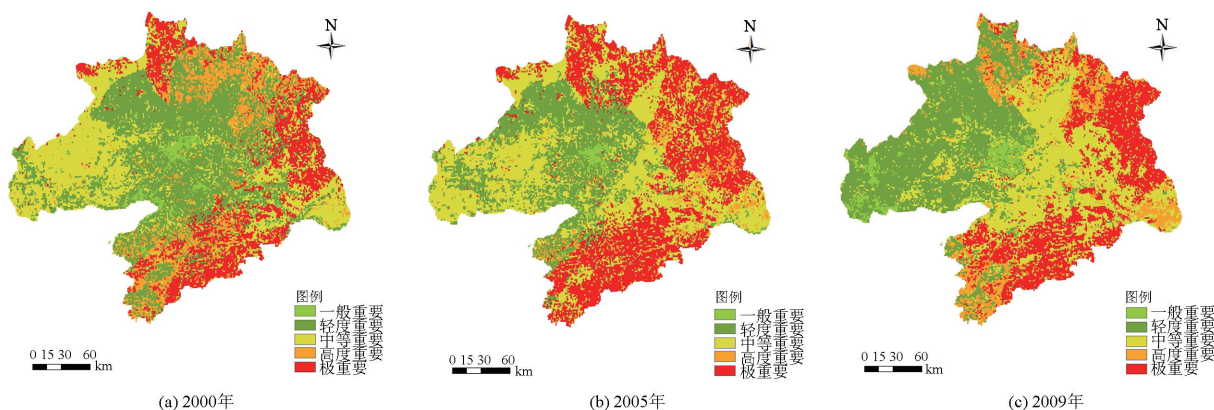


图 8 水源涵养功能重要性综合评价

Fig.8 Comprehensive assessment of water conservation function importance

上看,武汉城市圈水源涵养功能极重要区和高度重要区主要分布在东北、东南丘陵地带,同时北部区域孝感市境内也有少量分布,该地区植被覆盖度较高,覆盖类型主要以林地、草地为主,且降水量相对较大,土壤蓄水能力较高,水源涵养功能重要性程度高。中度重要区逐渐由西部江汉平原转移到鄂东沿江平原,该区域河流水系发达,湖泊较多,有大量湿地分布,水源涵养功能重要性程度较高。轻度重要区逐渐由鄂东沿江平原转移到西部江汉平原,该区域有大量耕地,其水源涵养功能较弱,加之人为活动的影响,区域水源功能重要性较低。一般重要区空间分布虽变化不大,但其面积增加幅度较为明显,主要分布于城镇建设用地周边,蓄水能力差,水源涵养功能重要性程度低。

总体上,2000–2009年间武汉城市圈区域内水源涵养功能重要性程度呈先增强后减弱的趋势。由表8可知,极重要区面积由9143km²增加到16119km²,而又减少到11397km²,变化幅度较大;高度重要区面积则先减少后增加,总体减少了2391km²,减少了26.8%;中度重要区和轻度重要区整体面积变化不大,但年际间变化幅度较大;一般重要区面积增加幅度较大,特别是2005–2009年间增加了1.1倍。

表8 武汉城市圈水源涵养功能重要性动态变化

Tab.8 Dynamic changes of water conservation function importance in Wuhan City Circle

年份	面积(km ²)				
	一般重要区	轻度重要区	中度重要区	高度重要区	极重要区
2000	1076	18786	15018	8910	9143
2005	838	11783	20935	3258	16119
2009	1796	16698	16523	6519	11397

4 结论

(1)本文综合考虑人为因素和自然因素,选取了植被因子、气象因子、地形因子、土壤因子和人为因子作为影响水源涵养功能重要性的主要因子,基于构建专家判断矩阵和层次分析法确定其指标权重,构建了水源涵养功能重要性评价模型,最终得出2000、2005和2009年3期水源涵养功能重要性的变化趋势。

(2)不合理开发利用土地导致了植被覆盖度降

低、湿地萎缩,水源涵养功能不断下降。因此,短时间内,人为因素是影响水源涵养功能的最主要原因。2000–2005年,武汉城市圈发展相对较缓,人类活动作用较小,且林地、水域保护相对较好,区域水源涵养功能较强;而2005–2009年,武汉城市圈发展较快,人类活动作用明显,土地利用变化较大,城镇建设用地快速增长,特别是乱砍滥伐等不合理行为导致植被覆盖度降低,湖泊、湿地等水域面积减少,湿地生态系统遭到破坏,最终造成区域水源涵养功能减弱。

(3)为了良好有序地推动武汉城市圈发展,应合理开发利用土地,禁止乱砍滥伐、围湖造田,有效保护城市周边的耕地、林地、草地和水域,防止水体污染,并做好桐柏山、大别山及幕阜山脉的林地保护工作,提高植被覆盖率,减少降水损失,最终提高武汉城市圈的水源涵养功能。

参考文献:

- [1] 张彪,李文华,谢高地,等.森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法[J].生态学报,2009,28(3):529-534.
- [2] 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [3] Daily G C. What are ecosystem services. // Daily G C (ed.). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*[M]. Washington DC: Island Press, 1997:1-10.
- [4] Black R E. Research issues in forest hydrology[J]. *Journal of the American Water Resource Association*, 1998,34(4): 723-728.
- [5] 刘世荣,孙鹏森,温远光.中国主要森林生态系统水文功能的比较研究(英文)[J].植物生态学报,2003,27(1):16-22.
- [6] Burt T P, Swank W T. Flow frequency responses to grass conversion and subsequent succession[J]. *Hydrological Processes*, 1992,6(2):179-188.
- [7] 刘敏超,李迪强,温琰茂,等.三江源地区生态系统水源涵养功能分析及其价值评估[J].长江流域资源与环境,2006,15(3):405-408.
- [8] 王晓学,沈会涛,李叙勇,等.森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法[J].生态学报,2013,33(4):1019-1030.
- [9] 傅斌,徐佩,王玉宽,等.都江堰水淹涵养功能空间格局[J].生态学报,2013,33(3):789-797.
- [10] 王晓学,李叙勇,莫菲,等.基于元胞自动机的森林水源涵养量模型新方法——概念与理论框架.生态学报,2010,30(20):5491-5500.
- [11] Kareiva P, Tallis H, Ricketts T H, et al. *Natural capital: Theory and practice of mapping ecosystem services*[M]. New York: Oxford Univ Press, 2011.

- [12] 孙立达,朱金兆.水土保持林体系综合效益研究与评价[J].四川林业科技,2001,22(1):15-23.
- [13] 聂忆黄,龚斌,衣学文.青藏高原水源涵养能力评估[J].水土保持研究,2009,16(5):210-212.
- [14] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [15] 张宏鸣,杨勤科,刘晴蕊,等.基于GIS的区域坡度坡长因子提取算法[J].计算机工程,2010,36(9):246-248.
- [16] 孔亚平,张科利,曹龙熹.土壤侵蚀研究中的坡长因子评价问题[J].水土保持研究,2008,15(4):43-48.
- [17] Leprieux C, Kerr Y H, Mastorchio S, *et al.* Monitoring vegetation cover across semi-arid regions comparison of remote observations from various scales[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(2):281-300.
- [18] 傅辉恩.森林土壤涵养水源功能的研究[J].林业科技通讯,1985(8):14-17.
- [19] 姜文来.森林涵养水源的价值核算研究[J].水土保持学报,2003,17(2):36-40.
- [20] 范世香,蒋德明,阿拉木萨,等.论森林在水源涵养中的作用[J].辽宁林业科技,2001,(5):22-25.
- [21] 王春菊,汤小华.GIS支持下的水源涵养功能评价研究[J].水土保持研究,2008,15(2):215-217.

Assessing the Importance of Water Conservation Function in Wuhan City Circle

BAI Yang^{1,3}, CHU Dong^{2*}, TIAN Liang¹, FENG Yu³ and ZHANG Zhe³

(1. Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Satellite Environment Application Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: In this paper, we analyzed the influence of city development on the regional water conservation function in Wuhan City Circle. Taking the factors of vegetation, meteorology, terrain, soil and man-made into account, we respectively selected vegetation cover, precipitation, evaporation, slope, slope length, soil thickness and coverage types as the assessment indicators of water conservation function importance. Based on a combination of the expert judgment matrix and AHP, the index system was built. Furthermore, we applied RS and GIS spatial analysis technology to analyze the dynamic change and the spatial distribution of each factor importance on the water conservation function, and then comprehensively assessed the function importance. The results showed that the intensity of the water conservation function importance increased first and then decreased from 2000 to 2009 in Wuhan City Circle, the area of the most important water conservation function increased from 9283 to 16 131 km², but then reduced to 11 258 km², the area of the general important water conservation function increased dramatically, especially from 2005 to 2009 it grew by 1.1 times. The Northeast of the city circle and in the Southeast of the hilly areas were much more important, and the factor of human activities that caused the changes in vegetation cover and coverage types played an important role on the water conservation function in short time. Recently, lots of unreasonable activities, such as deforestation, grass destruction, and farming around the lake turned out. Because of a significant reduction in water area, forest and grass owing to urban expansion, the water conservation function changed. The main reason why the water conservation function declined between 2005 and 2009 in Wuhan City Circle was that human being explored land irrationally which directly made a reduction in vegetation cover, and in areas of lakes and wetlands.

Key words: water conservation function; importance assessment; impact factors; Wuhan City Circle

*Corresponding author: CHU Dong, E-mail: chdgs010@126.com