

城市湿地损失和内涝灾害响应的遥感分析

——以武汉市南湖为例¹

曾忠平¹, 彭浩轩¹

(华中科技大学公共管理学院, 湖北 武汉 430070)

【摘要】：随着快速的城市化，城市湿地不断转化成建设用地，这打破了城市水量循环的均衡，城市内涝灾害的敏感性和危害性随之提高。选取城市快速扩张的武汉市南湖地区，基于 1988~2015 年近 30a 南湖湿地多时相遥感影像，以武汉市南湖 2016 年 7 月内涝灾害为对象，运用遥感和 GIS 手段，分析南湖湿地损失过程、驱动因素以及城市涝灾害的响应情况。结果表明：（1）1988~2015 年间南湖湿地持续损失，累计消减 1563hm²；南湖湿地损失经历了快速损失（1988~1996）→急剧损失（1996~2004）→缓慢损失（1996~2010）→相对静止（2010~2015）的 4 个阶段，每个阶段南湖湿地转化为建设用地量分别为 35.3、135、30、5.4hm²；损失过程从南湖湿地北部开始，逐渐向南部蔓延；（2）环湖地区房地产发展是湖泊湿地损失的主要原因，52%的损失湿地转换为住宅用地；（3）85.7%的内涝灾害区域位于原湖泊湿地内；南湖地区海拔较低，随着住宅用地以及其他建设用地对湖泊湿地的侵占，南湖地区不透水面面积增加，湿地蓄水排水能力下降，在降雨量较多的时段，原湖泊湿地更容易受到内涝侵袭。

【关键词】：城市湿地；湿地损失；内涝灾害；武汉市南湖

【中图分类号】：P426 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1004-8227（2018）04-0929-10

【DOI】：10.11870/cjlyzyyhj201804024

城市湿地在城市系统中发挥着调节区域气候、提供公共空间、保护生物多样性、蓄水防洪等功能，是城市重要的自然资源^[1]。城市化进程对城市湿地造成了巨大的空间压力，城市湿地不断被转化成建设用地为主的其他土地利用类型，湿地损失和下垫面的硬化导致城市渗水、蓄水能力下降，改变了城市原有的水循环系统，加剧了内涝发生的敏感性和危害性，对城市可持续发展带来了巨大挑战^[3]。快速城市化的背景下，在城市湿地区域土地利用方面，关于湿地变化及其对洪涝灾害影响的理解和考虑至关重要。近年来学术界对于城市地区土地利用变化的洪涝灾害响应给予了关注并取得了一定的成果，Dwivedi^[4]研究发现，在印度比哈尔邦地区，涝渍是土地利用变化引起的主要问题之一；Ludwig 等^[5]以澳大利亚东部城市地区为例，证明植被区域比裸地的地表径流损失低 25%；Gemma 等^[6]针对墨尔本城市规划提出重视开放空间与洪水管理的关系；在国内，孙喆、王玉鑫、Su、Yu 等学者也分别对北京、南京、天津、台北等城市的内涝问题展开了研究，这些研究探索不同城市下垫面对地表积水的影响，都指出了城市土地利用变化改变了城市地表汇流过程，建设用地的增加加大了城市地表径流量，是城市内涝的重要影响因素^[7~10]。

探索城市土地利用变化对城市内涝的影响机理是城市内涝研究的迫切问题之一^[11]，近年来一部分学者相继提出水量计算的

¹[收稿日期]：2017-06-05；[修回日期]：2017：09-18

[基金项目]：中央高校基本科研业务费专项资金资助项目（2017WKYXQY007）“城市湖泊湿地公园居民游憩行为空间分异形成机制研究”

[作者简介]：曾忠平（1972~），男，副教授，博士，主要研究方向为土地利用变化和土地信息系统。E-mail: zpzeng@hust.edu.cn

模型方法来推算和模拟不同土地利用类型上地表汇水过程，主要包括 SCS 模型、平面二维非恒定流圣维南方方程、校准的雨洪管理模型等^[12~14]，还有一部分学者根据城市土地利用、降雨和内涝数据采用相关分析等方法来探究城市内涝的相关因素^[15, 16]。既有研究多是关注城市内涝灾害与不同土地利用类型的数量变化的关系，将长时间序列土地利用空间变化和城市内涝关系纳入观察的较少，而且既有研究多是从土地利用变化整体角度出发，单独聚焦城市湿地变化及其对城市内涝灾害影响的还不多^[17, 18]。遥感技术具有宏观性和可回溯性的优势，能够快速提取不同时段城市地物空间和属性信息，在城市土地利用的动态变化的获取方面得到了广泛的应用^[12, 13]，这也可以对城市湿地损失过程和内涝灾害关系的探索，提供大范围 and 长时期数据集，帮助我们在城市湿地空间演变和城市内涝响应的研究中提供支持。

目前，武汉市已进入快速城市化阶段，城市中大量湖泊湿地资源被填占，造成了较大的内涝隐患，2016 年 7 月，武汉市南湖地区遭受严重内涝灾害，南湖地区数十条街道因内涝限制交通通行。部分住宅区内平均积水深度达 0.5~0.7m，最大积水深度达到 1.5m，南湖地区数千居民生活受到极大影响。因此，本文以 1988~2015 年近 30a 武汉市南湖湿地变化为例，基于多时相和高分辨的遥感影像，回溯武汉市南湖湿地的时空动态变化过程，分析湖泊湿地变化特征和驱动因素，结合武汉市南湖片区 2016 年 7 月的内涝灾害，从空间尺度探索城市湿地损失和城市内涝的关系，加强对城市土地利用变化和内涝响应机制的理解，这对我国尤其是长江中下游多湖泊城市制定合理的城市湖泊湿地区域的用地规划和城市湖泊湿地保护提供参考。

1、研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

武汉地处长江与汉水交汇处，市内湖泊众多，素有“百湖之市”的美誉。湖泊湿地资源丰富，据《武汉湖泊志》记载，截至 2014 年 5 月，武汉市共有 166 个湖泊，年均水位下湖泊水域面积达 803.2km²，湖泊湿地资源排中国城市首位。武汉市南湖隶属汤逊湖水系，位于武汉市雄楚大道南侧，武汉市二环到三环之间（图 1），是武汉市仅次于东湖和汤逊湖的第三大中湖，2015 年南湖湿地面积达 763.96hm²。上个世纪 90 年代以来，武汉的城市建设飞速发展，武汉诸多湖泊湿地出现了被填占现象^[21]，南湖是武汉市填占最严重的区域之一。



图 1 研究区位置

武汉市是亚热带季风性气候，年均降水量为 1302mm。根据 50a 极端降雨事件数据（1955~2005），武汉市每年至少有 5d 暴雨天气（24h 降水量大于 50mm），且多发生在夏季，近年来武汉市夏季一直遭受程度不同的内涝灾害。

1.2 数据来源

在图像质量满足本文研究的情况下，本文获取了 USGS 下 1988~2013 年 Landsat TM、ETM 和 OLI 的遥感信息，使用 ERDASImagine9.2 重采样到 30mx30m 及以上空间分辨率；基于搜狗地图 1: 9000 比例尺的卫星影像，通过影像截取和 GIS 栅格配准拼接得到研究区域 2015 年 0.6mx0.6m 高分率遥感影像（表 1）；DEM 数据来源于 ASTERGDDEM 数据库，分辨率 30m。其他数据包括武汉市 1: 10000 地形图和武汉市行政区图；《武汉市统计年鉴》1988~2015 年洪山区社会经济数据；武汉市 5a 一遇（3h88mm/24h166mm）降雨滞水风险图；武汉市 2016 年 7 月 6 日交通限制通告及 7 月 6 日~7 月 10 日社交媒体平台关于南湖内涝灾害的信息。

表 1 遥感数据情况

遥感源	时间	分辨率	提供者
Landsat-5TM	1998-07-10	30m	USGS
Landsat-5TM	1990-09-02	30m	USGS
Landsat-5TM	1992-11-10	30m	USGS
Landsat-5TM	1994-07-27	30m	USGS
Landsat-5TM	1996-12-23	30m	USGS
Landsat-5TM	1998-10-26	30m	USGS
Landsat-5TM	2000-10-31	30m	USGS
Landsat-7ETM+	2002-03-19	30m	USGS
Landsat-5TM	2004-09-24	30m	USGS
Landsat-5TM	2006-04-07	30m	USGS
Landsat-5TM	2008-12-08	30m	USGS
Landsat-5TM	2010-11-12	30m	USGS
Landsat-8OLI	2013-07-21	30m	USGS
QuickBird	2015-07	0.6m	搜狗卫星地图

1.3 研究方法

1.3.1 湖泊湿地提取

本文运用多时相的遥感数据获取湖泊湿地信息，利用武汉市 1: 10000 地形图，基于 ERDAS9.2 软件对影像进行几何纠正和图像增强。根据 Landsat5、Landsat7 和 Landsat8 的遥感影像特点，选择 TM（ETM+、OLI/TIRS）的 2、4 波段代表绿波段和近红外波段，采用近红外和绿光波段的比值生成 NDWI 水体指数图像突出湖泊湿地边界信息^[22]。在上述工作基础上，利用 ArcGIS10.3，采用人机交互方式，依次勾绘得到 1988、1990、1992、1994、1996、1998、2000、2002、2004、2006、2008、2010、2013、2015 年的湖泊湿地边界。

1.3.2 湖泊湿地转移矩阵分析

本文基于高分辨率遥感影像，绘制近年来研究区域的建设用地类型图。借助 GIS 工具，将建设用地类型图和湖泊湿地损失区域进行空间叠加，获取不同时期湖泊湿地转移建设用地情况，进行矩阵分析。

1.3.3 城市内涝点分析

本文收集了 100 篇 2016 年 7 月 6 日~7 月 10 日有关南湖内涝的新闻报道和自媒体信息,通过内容分析和文本挖掘收集信息中频繁出现的内涝点,根据武汉市历史高频滞水点和 2016 年 7 月 6 日武汉市交通限制通告,在研究区内共确定 35 个灾害点,绘制研究区内涝灾害分布图,与原湖泊湿地边界、研究区地形地势图、建设用地类型图和汇水区进行空间叠加和对比分析,获得湖泊湿地流向、区域地势以及内涝灾害的空间相关关系,在此基础上分析城市内涝对湖泊湿地损失的响应。

2、南湖湿地损失及驱动分析

2.1 南湖地区城市空间用地变化

武汉市城市建设呈现以长江和东西山体为轴的“十”字形扩张^[23]。南湖位于武汉城市扩张“十”字状的右下方,紧邻城市中心和光谷城市副中心,南湖西北距离城市中心距离不到 6.5km,东北与光谷副中心距离不到 5km,这就使得南湖容易受到城市向南建设扩张的挤压。1988 年,研究区林地、耕地、草地及水水域面积超过 60%^[24]。2015 年,南湖地区以建设用地为主,南湖湿地大量转换成住宅用地,在南湖西部和南湖北部原南湖湿地区域,现建成了风华天城、南湖雅园、金地格林小城、大华公园世家、保利中央公馆等住宅区。

2.2 南湖湿地变化的时空特征

图 2 显示,1988~2015 年间,南湖湿地面积持续损失,由 1988 年的 2326hm²降至 2015 年的 763hm²,27a 间共损失 1563hm²,平均年损失量为 93hm²。图 3 显示了每两年南湖损失量占损失总量的比重,反映了 1988~2015 年南湖流失的速率。根据各个时期损失速率的差异,可以将南湖损失划分为 1988~1996 年快速损失、1996~2004 年急速损失、2004~2010 年缓慢损失、2010~2014 年相对静止 4 个阶段。这 4 个阶段南湖年均损失量依次为 35.3、135、30、5.4hm²。在 1988~1996 年段和 2004~2010 年段,南湖损失维持在一个相对较低的数量。而在 1996~2004 年段,南湖大幅度消失。2004 年是湖泊湿地面积变化的转折点,2004 年之前,南湖损失量逐渐增多,2004 年以后,南湖损失量逐渐减少,到 2010 年之后,南湖面积相对静止。

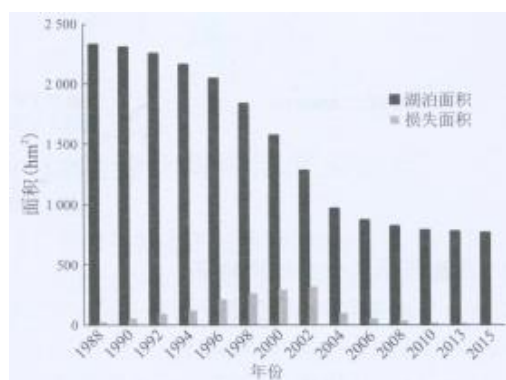


图 2 南湖湿地历年变化情况

图 4 显示了每个阶段南湖湿地损失的空间变化,南湖湿地损失在不同阶段和不同区域存在显著差异。在第一阶段(1988~1996 年),损失发生在南湖外围,损失的空间分布是均匀的(图 4a)。南湖损失以点状和线状为主,湿地主要转换为农用地、住宅和道路;在第二阶段(1996~2004 年),湿地西部、西北部和北部区域出现大幅损失(图 4b),损失以片状呈现,此期间武汉市房地产业蓬勃发展,大量湿地转为住宅区;在第三阶段(2004~2010 年),南湖损失量迅速下降,损失发生转移,由上一阶段西北区域向湿地西南扩散,在这一时期,房地产仍然起主导作用(图 4c);在第四阶段(2010~2015 年),南湖损失量

较少且集中在南湖沿岸（图 4d），在南湖西部和南部建成了一些绿地和公园。总的来看，南湖湿地损失大致遵循从湿地西北和东北向湿地南部扩散。

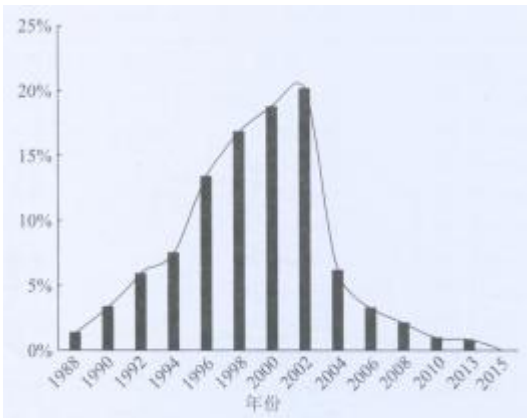


图 3 南湖湿地历年损失面积占总损失比重

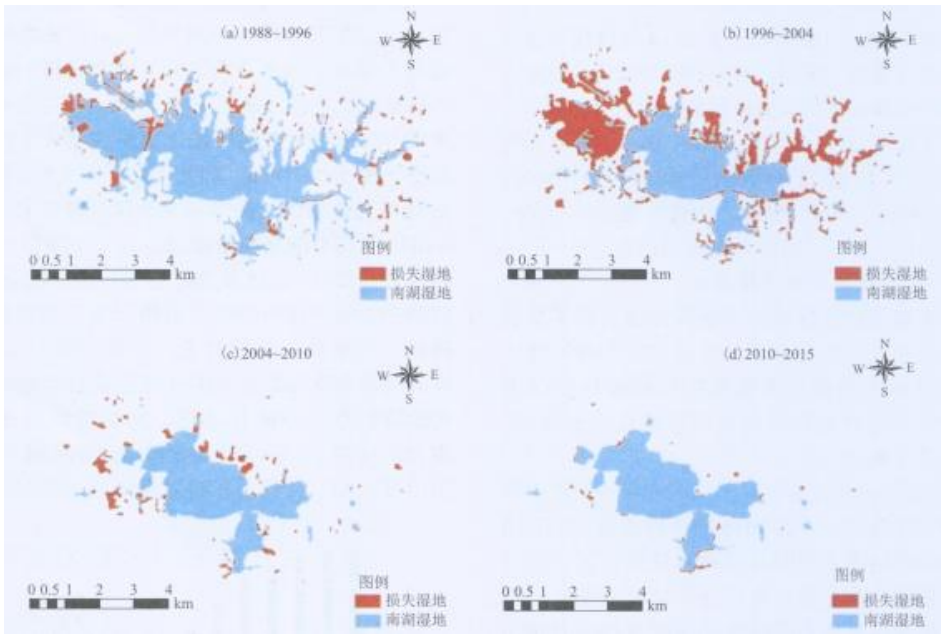


图 4 南湖湿地损失过程

2.3 南湖湿地变化的结构特征

表 2 是南湖湿地转移建设用地矩阵。1988~2015 年，83.9%的损失湿地转换为建设用地（1317hm²），具体来看，其中 61%转换为住宅用地，9.8%转换为交通设施用地，9.6%转换为学校用地，商服用地、政府机构用地以及绿地则分别占损失总面积的 8.5%、6.7%和 4.4%（表 2）。值得注意的是，住宅用地是湿地转换为建设用地中最主要的类型，其比重一直在 54.1%~62.5%之间。每个阶段湿地转交通设施用地和商业用地比重没有明显差异，分别保持在 7.5%~13.5%、67.6%~14.6%的区间内；湿地转换为学校用地和政府机构用地的过程集中发生在第二、三阶段（1996~2010）；绿地占损失湿地的比重不断增长，从第一阶段的 2.8%增加到第四阶段的 24.3%。

表 2 1988~2015 损失湿地转换建设用地情况 (hm²)

损失湿地转建设用地情况	1988~1996		1996~2004		2004~2010		2010~2015	
	面积	比例 (%)	面积	比例 (%)	面积	比例 (%)	面积	比例 (%)
建设用地	144	10.90	963	73.10	173	13.10	37	2.8
商服用地	21	14.60	73	7.60	15	8.70	3	8.1
住宅用地	90	62.50	591	62.40	102	59.00	20	54.1
公共与服务用地								
学校用地	10	6.90	103	10.70	14	8.10	0	0
政府机构用地	0	0	77	8.00	11	6.40	0	0
公园绿地	4	2.80	27	2.80	18	10.40	9	24.30
道路与交通设施用地	19	13.20	92	9.60	13	7.50	5	13.50

2.4 湿地变化的驱动分析

2.4.1 城市建设扩张

武汉市洪山区城市规划提出以环绕南湖周边地区构建“三横（珞喻路和雄楚大道、南湖大道）三纵（珞狮路、卓刀泉路、鲁磨路）”规划格局，主要交通道路规划发展带动城市道路网的完善，进一步推动了城市用地扩张，建设用地需求加大。

2.4.2 洪山区人口增长

人口是影响城市建设用地面积变化的直接驱动因素，人口规模直接决定着住房需求以及城市基础设施需求规模。1988~2015 年的 27a 间，洪山区人口增长了 42.9 万人，年均增长率为 2.3%。环南湖地区人口的不断增加，必然导致城市设施承载能力的需求提高，并推动城市住宅用地、商业用地、公共用地等的用地类型的增加，在原有土地有限的情况下，催生了向湖拿地、向湖要地情况的发生。

2.4.3 洪山区产业结构调整

90 年代末期，武汉市加快了传统产业的改造和新兴产业的开发，第三产业比重快速提升。由图 5 可以看出，武汉市洪山区的第三产业值持续增长，2015 年洪山区第三产业值已经占到了全区生产总值的 75%。第三产业的发展 and 产业结构的调整，引起了城市用地出现了新的结构变化，城市土地用地类型不断调整适应，房地产、金融和商业用地的需求增加，建设用地始终是南湖湿地主要转换方向。

2.4.4 房地产业发展

2000 到 2015 年间，武汉市房地产业投资由 101.29 亿增长到 1800 亿，极大刺激房地产业发展。南湖地区在武汉市城市规划中定位为“城市副中心”，预计到 2020 年南湖地区规划总面积 1310hm²，容纳居民 30 万人左右，环南湖地区保利、SOHO、金地等房地产业势而入。2003 年洪山区政府搬迁至南湖地区，众多高校新校区也选址南湖周边，这给予了环南湖地区的基础设施建设进一步的投入，也加大了社会对其政治文化中心的预期，南湖周边的区位优势更加明显，推动了南湖地区房地产业持续发展，南湖损失湿地主要转换成为住宅用地。

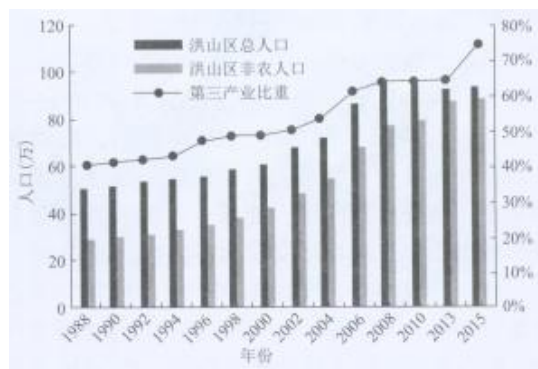
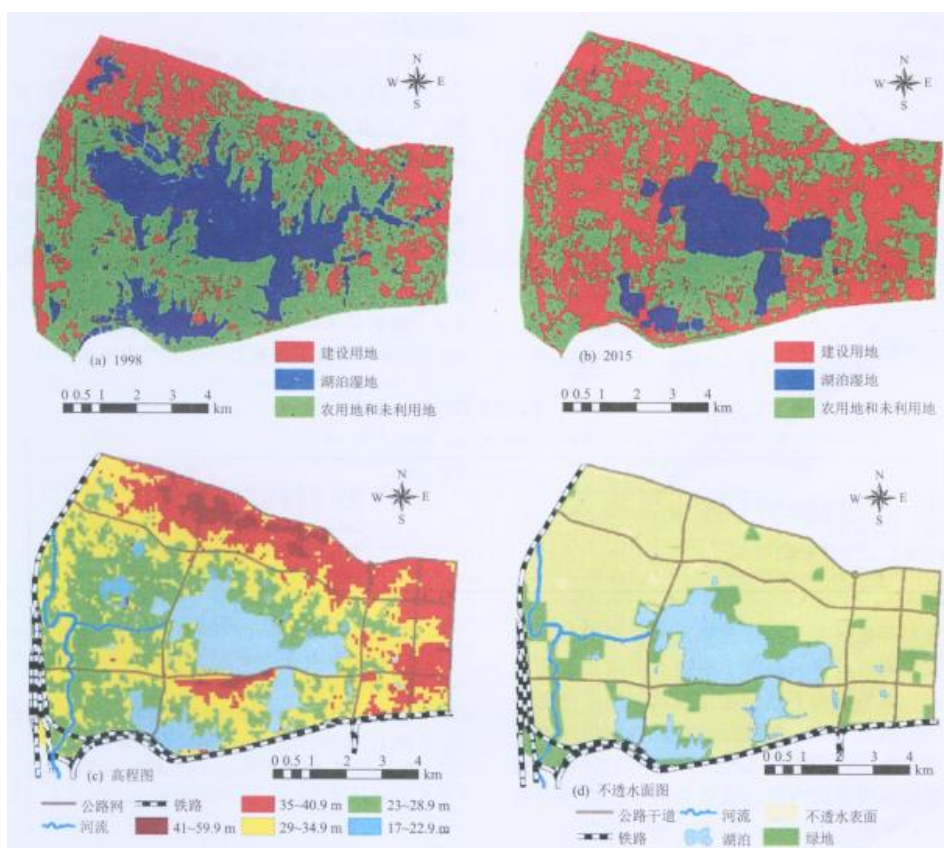


图 5 洪山区人口、第三产业变化

3、湿地变化与内涝响应分析

3.1 湿地缩减与不透水面增加

下垫面的改变对城市雨涝过程产生巨大影响，不透水面面积大幅增加，内涝可能性也随之增加^[25]。随着武汉城市化的推进，南湖地区用地类型发生剧烈变化，湿地持续减少并不断转化成建设用地。图 6a 和图 6b 对比可知，近 30a 间南湖地区建设用地急速扩张，南湖湿地覆盖率由 1988 年的 15.4% 下降到 2015 年的 5.1%，不透水面大幅增加（图 6e）对整个水量循环产生了相当大影响，一方面增加了水流过程中的汇水量，一方面减少了下垫面对径流的吸收量，导致水量循环失衡，加大了城市内涝风险。



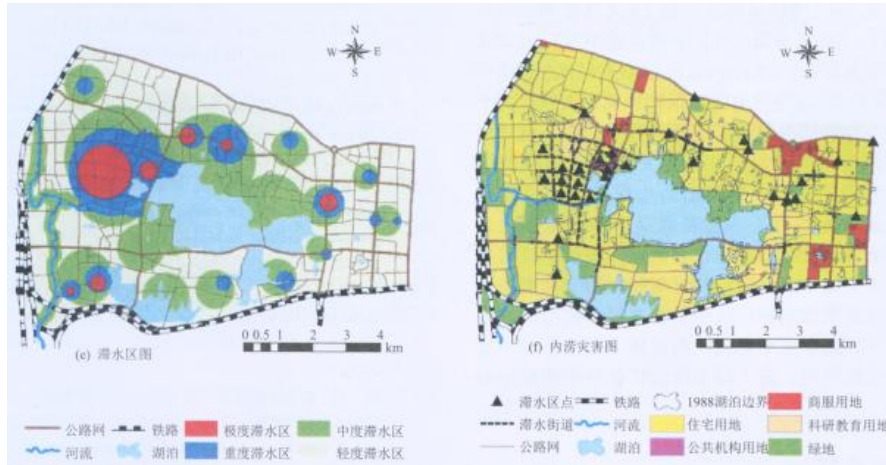


图 6 南湖地区 1988 (a)、2015 (b) 土地利用图；高程图 (c)；

不透水面图 (d)；滞水区图 (e) 和内涝灾害图 (f)

3.2 地区较低地势与封闭环境

根据研究区地势图可以看出，南湖湿地区域平均海拔为 22m，而且整体呈现“东高西低”特点。南湖湿地北部、东部和南部三面分别是洪山区海拔较高的桂子山、关山片区和狮子山，南湖湿地呈现“勺”状，“勺”口位于南湖湿地西部区域，成为湿地内容易集水的区域（图 6c）。南湖湿地区域相对封闭，其仅通过巡司河一条水道对外导水，区域积水通过巡司河向北向南分别排入长江以及汤逊湖。而整个巡司河排水河道过长，向北途径武泰闸排入长江河道长度超过 8km，向南排入汤逊湖或者通过汤逊湖泵站再排入长江的河道长度也超过了 15km，极端降雨条件下，南湖排水工作较为困难。较低的地势和过长的排水管道使得南湖地区本身就成为易集水区。

3.3 区域降水与水量平衡变化

图 7 是武汉市 1988~2015 年年降水量，近 30a 降水量最大值为 1870mm，最小值为 1000mm，可以看出 1991 年、1998 年、2004 年和 2013 年降水量较为突出，但是在 2000 年以前，南湖地区城市化速度较为缓慢，南湖地区不透水地表区域较小，南湖湿地广袤，能够有效吸收并储存大量的城市积水，较好地发挥调蓄功能。2000 年之后，南湖湿地缩减，南湖地区下垫面硬化，不透水地表面积增加，削弱了该地区地面的渗水容水能力，使得降雨积水不易被吸收容纳，在 2004 年和 2013 年南湖地区均出现内涝情况。2016 年武汉市武昌站年降水量达 2174mm，在 6 月 30 日~7 月 6 日，武汉市区域强降雨（7d 降雨 560.5mm），大大超过南湖库容量，周边地表汇水量大幅增加，多条街道和多个小区成为滞水的重灾区，南湖地区城市健康受到严重影响。（表 3）

3.4 南湖内涝点的空间分析

图 6e 是南湖地区内涝灾害分布图。在所出现内涝情况的 35 个街道及小区中，有 29 个落在 1988 年南湖湿地区域内，覆盖率达到 85.7%，内涝灾害点集中发生在原湖泊湿地区域。南湖内涝灾害点呈现片状分布和条状分布特点，片状分布主要集中在南湖湿地西部的原南湖湿地区域。南湖湿地西部建有大量住宅小区，道路网络密集，地面平整。南湖西部住宅区和南湖湖面海拔相差不大，均在 18~21m 之间，在暴雨条件下，地势低的区域面对南湖上升水位的顶托，小区排水系统基本失效，积水退去缓慢，部分小区水后几乎和南湖湖面融为一体，滞水深度超过 1m。条状分布主要是在南湖湿地北侧的雄楚大道及其他道路与雄楚大道交汇处，一方面这些地点位于原南湖湖汊区域，地势较低，容易汇水，另一方面现在街道路面较硬，透水性差，在暴雨条

件下，积水速度快，排水困难，成为内涝区域。

通过灾害点和两个时期湖泊叠加分析可以看出，尽管湿地损失不是城市内涝的唯一原因，但是在湖泊湿地损失区域，由于临近湖泊地势较低，湿地转换为建设用地后导致的湿地蓄水能力下降以及地表面硬化所导致的地表会汇水量增大等原因，湿地损失区域集水更快，排水更难，更容易发生内涝灾害，同时由于该区域小区密集，基础设施完善，商业发达，经济、人口密度高，在内涝灾害发生后，涝灾害所带来的危害性更大。

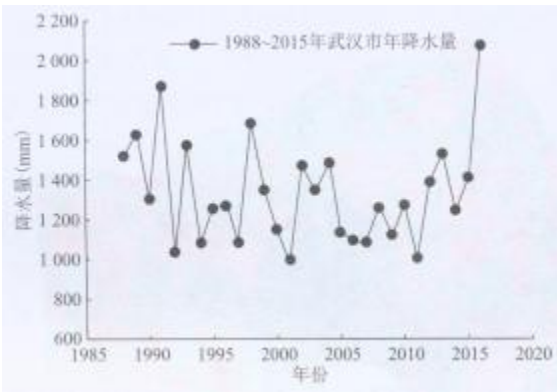


图 7 武汉市 1988~2015 年年降水量

表 3 南湖地区内涝灾害点

灾害点	个数	位于原湿地区域个数	来源
马湖新村、珞喻路与卓刀泉路交界处等	10	7	武汉市水务局武汉市高频滞水点
书城路、文治街等	13	10	2016 年 7 月 6 日武汉市交通限制通告
南湖雅园小区、风华天城小区等	12	12	2016 年 7 月 6 日社交媒体平台消息
合计	35	30	85.70%

4、结论与政策建议

4.1 结论

基于武汉市南湖地区 1988~2015 多时相和高分辨遥感数据，分析南湖湿地时空演变和对南湖内涝灾害响应，结论如下：

（1）1988~2015 年武汉南湖湿地持续损失，南湖湿地损失呈现出阶段性、方向性和结构性的特点，即一是不同时期湖泊湿地损失量存在差异，二是南湖湿地损失大致遵循从西北和东北向南扩散的方向，三是损失湿地主要转换为建设用地，建设用地下又以住宅用地为损失湿地的主要转换方向。

南湖水域损失的驱动因素有武汉市城市建设扩张方向、环南湖地区社会经济人口发展、相关湖泊保护规划的政策推动和遏制等，其中房地产发展是南湖湿地损失的主要因素：一方面，随着武汉市城市建设扩张，环南湖地区大力进行基础设施建设，南湖地区逐渐成为武汉市副中心；另一方面，环南湖地基础设施的完善以及政府规划的核心区位，大量人口进入南湖地区就业生活。区位优势明显以及人口的膨胀，吸引了大量房地产进入南湖，住宅用地需求旺盛，数量快速增长。在原有土地数量一定

的情况下，导致了导致“向湖拿地”、“与湖争地”的行为愈演愈烈，南湖湿地因此大量损失。

(2) 南湖湿地损失区域内更容易发生内涝灾害，且湿地损失也增加了南湖区域的内涝严重程度，一方面，南湖湿地的损失降低了该区域的渗水容水能力，损失湿地转化为建设用地，加大了下垫面汇水过程和汇水量；另一方面，南湖地区海拔较低，原湿地内部的小区街道也处在较低地势，在降雨增加的情况下，内涝灾害可能性和危险性都提尚。

4.2 政策建议

武汉市政府正在努力改善武汉市排水系统，然而，南湖湿地损失及内涝灾害证明，原湿地区域容易发生内涝灾害，是由于湖泊湿地调蓄水功能的下降，湖泊湿地下垫面硬化以及湖泊湿地地势过低等原因造成的。如果湿地不能得到很好地保护，城市海绵体含水量远小于降雨量的时候，利用泵浦排水来抵御内涝可能效果甚微，需要强有力的湿地保护政策来充当城市湿地的防洪堤。武汉市在 2002 年以来相继出台了《武汉市湖泊保护条例》、《武汉市湖泊保护条例实施细则》、《武汉市湖泊保护修订版》、《武汉市中心城区“三线一路”保护规划》等湖泊湿地保护和规划文件，对于湖泊湿地的填占起到了明显的遏制作用，但是也存在政策效果延时产生和保护力度不够强的可能，需要注意提早将湖泊纳入保护以及持续强化政策实施的效果。随着武汉市城市发展，武汉市远城区的湖泊湿地也逐渐进入城市扩张的视野，未来城市湖泊湿地的规划和利用必须更加谨慎。在武汉市这种长江中下游多湖泊城市的城市建设中，需要更加重视湖泊湿地在城市蓄水功能上的弹性作用，减少城市建设扩张对湖泊湿地的影响。

[参考文献]:

[1]张慧, 李智, 刘光, 等. 中国城市湿地研究进展[J]. 湿地科学, 2016 (01): 103-107.

[2]王建华, 吕宪国. 城市湿地概念和功能及中国城市湿地保护[J]. 生态学杂志, 2007 (04): 555-560.

[3]ZHANG H, MA W C, WANG X R. Rapid urbanization and implications for flood risk management in Hinterland of the Pearl River Delta, China: The Foshan Study[J]. Sensors, 2008, 8 (4): 2223-2239.

[4]DWIVEDI R S. Mapping waterlogged areas in part of the Indo-Gangetic plains using remote sensing data[J]. Geocarto International, 1997, 12 (3): 259-265.

[5]LUDWIG J A, WILCOX B P, BRESHEARS D D, et al .Vegetation patches and runoff-erosion as interacting eco-hydrological processes in semiarid landscapes[J]. Ecology, 2005 , 86 (2): 288-297.

[6]GEMMA S, SILVIA S N, EDWARD M, DARRYL L C. Water in the city : Green open spaces, land use planning and flood management—An Australian case study[J]. Land Use Policy, 2017, 63:

[7]孙喆. 北京中心城区内涝成因[J]. 地理研究, 2014, (9): 1668-1679.

[8]王玉鑫, 曾 燕, 邱新法, 等. 土地利用变化对城市积涝的影响研究——以南京市浦口区为例[J]. 气象科学, 2017, 37 (02): 231-238.

[9]PING Y, PING F, SHU H S. Flood influence evaluation of Xi-azhu Village construction land in Wuqing District in Tianjin City[J]. Advanced Materials Research , 2012 , 2091 (594):

-
- [10]SU Y S. Rebuild, retreat or resilience : urban flood vulnerability analysis and simulation in Taipei[J]. International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, 2017, 8 (02) :
- [11]张冬冬, 严登华, 王义成, 等. 城市内涝灾害风险评估及 综合应对研究进展[J]. 灾害学, 2014 (01) : 144-149.
- [12]李 丽, 王加虎, 郝振纯, 等. SCS 模型在黄河中游次洪模拟中的分布式应用[J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2012 (01) : 104-108.
- [13]朴希桐, 向立云. 下垫面变化对城市内涝的影响[J]. 中国防汛抗旱, 2014, (06) : 38-43.
- [14]陈晓燕, 张娜, 吴芳芳. 降雨和土地利用对地表径流的影响——以北京北护城河周边区域为例[J]. 自然资源学报, 2014 (08) : 1391-1402.
- [15]王芳. 淮河流域洪涝灾害评估研究[D]. 南京信息工程 大学, 2011.
- [16]张振国. 城市社区暴雨内涝灾害风险评估研究[D]. 上海 师范大学, 2014.
- [17]吴秀芹, 龙花楼, 高吉喜, 等. 江汉平原湿地功能下降与洪涝灾害关系分析[J]. 生态环境, 2005, (06) : 884-889.
- [18]涂金花. 武汉市湖泊湿地与洪涝灾害分析[A]. 武汉市人民政府. 坚持科学发展观推进自主创新促进国家创新型城市建设——武汉市第二届学术年会论文集[C]. 武汉市人 民政府: 2006: 6.
- [19]董斯扬, 薛娴, 尤全刚, 等. 近 40 年青藏高原湖泊面积变化遥感分析[J]. 湖泊科学, 2014, (04) : 535-544.
- [20]曾忠平, 卢新海. 城市湖泊时空演变的遥感分析——以武 汉市为例[J]. 湖泊科学, 2008 (05) : 648-654.
- [21]陈立. 武汉市湖泊湿地保护与治理面临的主要问题及其对策[J]. 长江论坛, 2016 (02) : 33-35.
- [22]Mcfeeters S K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing. 1996, 17 (7) : 1425-1432
- [23]曾忠平, 卢新海. 武汉城市用地结构演变模式研究[J]. 中国土地科学, 2009, (03) : 44-48.
- [24]卢会娟. 基于 RS 和 GIS 的武汉市南湖水域与土地利用演变研究[D]. 华中师范大学, 2011.
- [25]俞孔坚, 王思思, 李迪华, 等. 北京市生态安全格局及城市增长预景[J]. 生态学报, 2009 (03) : 1189-1204.