

河北雄安新区建设的区域地表本底特征与生态管控

匡文慧¹, 杨天荣^{1,2}, 颜凤芹^{2,3}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102)

摘要: 河北雄安新区建设对于实施京津冀协同发展战略及有机疏解北京非首都功能、优化区域空间格局, 提升京津冀城市群生态系统服务和改善人居环境具有重要意义。本文基于多期遥感图像、土地利用/覆盖变化数据、生态系统服务评估数据以及高精度城市地表信息等专题数据集, 从雄安新区建设涉及的京津冀城市群区域背景和规划区覆盖范围两个层面揭示了新区建设的区域地表本底状态, 并提出了相应的生态保护与管控建议。结论表明: 京津冀城市群正呈现建设用地快速扩张以及由此导致的下垫面不透水地表高密度连绵集聚式态势, 城镇用地和城市不透水地表较2000年分别增长了1.27倍和1.43倍, 且接近15%的子流域水生态系统健康状况受到不透水地表的严重影响。雄安新区建设涉及的雄县、容城、安新三县以农田、乡镇及农村聚落和水域及湿地生态系统为主, 其开发建设应围绕实现疏解北京非首都功能为目标, 适度控制人口、产业规模, 建设宜居生态健康城市。规划初期, 应将其纳入国家海绵城市建设试点范畴, 参照国际低影响度开发模式, 加强城市绿色基础设施建设。基于当前下垫面特征, 前期规划应考虑构建新区与保定、北京和天津城市之间的绿化生态斑块和生态廊道; 新区内建设用地不透水地表整体比例应控制在60%之内, 核心区不超过70%。新区建设过程中需确立“以水定城”理念, 在新区基础设施建设、供排水方面充分考虑雨水收集和循环利用。

关键词: 雄安新区; 城市土地利用; 城市不透水地表; 京津冀城市群; 生态保护策略
DOI: 10.11821/dlxb201706001

1 引言

全球气候变暖和快速城市化正严重地影响着城市人居环境、生态系统服务乃至人类幸福安康 (Human Well-being)。纵观国际千年生态系统评估 (MA)、城市化与全球环境变化 (UGEC)、“未来地球 (Future Earth)”等重大研究计划以及“全球变化与城市生态”等国际重大学术成果, 城市生态系统服务的提升和人类福祉的改善已成为全球学者关注的焦点问题^[1-3]。

伴随全球快速的城市化进程, 中国城市正以史无前例的速度加速扩张, 特别是21世纪最初10年城市扩张速率是20世纪90年代的2.16倍^[4-5]。城市化导致的自然、半自然生态系统向人工生态系统转变, 会严重地影响生态系统结构、过程 (包括水、热等过程) 及服务功能 (包括支持、供给、调节和文化服务), 从而导致城市热岛和极端热事件加剧^[6-8]、雨洪灾害频发^[9]、大气环境污染加剧^[10]等问题。为提高环境适应性, 以抵御自然灾

收稿日期: 2017-04-25; 修订日期: 2017-05-22

基金项目: 北京市自然科学基金重点项目(8171004) [Foundation: Key Projects of Beijing Natural Science Foundation, No.8171004]

作者简介: 匡文慧(1978-), 男, 内蒙古乌兰察布人, 博士, 副研究员, 中国地理学会会员(S110010055M), 主要从事土地利用/覆被变化、城市生态学研究。E-mail: kuangwh@igsnrr.ac.cn

947-959 页

害风险、实现生态的可持续发展,将基于生态系统的适应性方法(Ecosystem-based approaches to Adaptation, EbA)^[11]和“弹性(Resilience)”概念^[12]应用于生态学领域,特别是以Holling等^[13]提出的“扰沌(Panarchy)和多尺度嵌套适应性循环模型”作为研究城市生态弹性的代表性模型,可为科学解答城市生态系统演化动力机制提供全新的理念和解决方法^[14]。

进入21世纪,“城市群”成为中国“新型城镇化”的主体区和经济发展的核心区,其健康持续协调发展对于中国乃至世界社会经济的可持续发展具有重要意义^[15-18]。自2015年4月中共中央政治局会议审议通过《京津冀协同发展战略》以来,作为中国第三大城市群的京津冀城市群,其协同发展已上升到国家战略层面。如何高效、准确提取城市群地区及其内部不同尺度地表覆盖信息并实现实时动态监测,以满足城市群整体规划和管理,实现城市群内部城市间的协同发展等应用需求意义重大^[19-20]。借助遥感手段,及时、准确地实现城市地表本底特征的动态监测已成为城镇化与其生态环境效应研究的热点内容之一,对于科学规划城镇、合理布局产业结构、完善城镇体系发展战略布局等均具有较强的指导意义^[21-24]。

2017年4月1日,中共中央、国务院决定设立河北雄安新区,拟定先行开发起步区面积约100 km²,中期发展区面积约200 km²,远期控制区面积约2000 km²,这也是继深圳经济特区和上海浦东新区之后又一具有全国意义的新区,是千年大计、国家大事。雄安新区建设是以习近平同志为核心的党中央作出的一项重大的历史性战略选择,对于京津冀协同发展和疏解北京非首都功能具有重要的战略意义。在这一国家重大战略提出的关键时刻,加强对新区建设的区域地表本底特征的认识,预估将来建设过程人口、建成区规模,提出土地利用、城市热岛等管控措施,揭示未来可能带来的生态和环境潜在风险,是当前规划和建设非常迫切的任务。本文基于长期积累的系列遥感图像、土地利用/覆盖变化数据、生态系统服务评估以及城镇用地高精度信息等专题数据集,对河北雄安新区生态系统状况进行全面系统分析,并提出针对性的生态管控策略,研究组于2017年4月8日向中共中央提交了“中科院专家关于加强河北雄安新区建设区域生态管控的建议”。在此基础上,从雄安新区建设涉及的京津冀城市群区域背景和规划区覆盖范围两个层面进行递进式论述,详细地对京津冀城市群21世纪以来城市扩张过程及不透水地表时空过程进行分析,刻画城市群地表人工建设用地分布特征,进而对雄安新区建设预期带来的生态风险进行科学预估,本文可为京津冀协同发展和雄安新区建设提供重要的科学参考。

2 研究区概况与数据源

2.1 研究区概况

京津冀城市群作为中国继长江三角洲、珠江三角洲的第三大城市群,是国家的政治、文化、国际交流和科技创新中心;土地总面积21.63万km²,包括北京、天津和河北省全域,常住人口1.11亿人,GDP总量达到66474.5亿元。改革开放以来,该区经济及社会高速发展,城镇体系发展失衡,与此同时也给区域生态环境造成了极大影响。2015年4月底,中共中央、国务院通过了《京津冀协同发展战略》,将推动京津冀协同发展定为国家重大战略。2017年4月1日中共中央、国务院提出建设“河北雄安新区”的决定,以疏解北京市非首都核心功能,调整优化城市空间结构为主,促进区域生态环境与社会经济的协调发展。

雄安新区规划范围涉及河北省保定市雄县、容城、安新三县(以下简称雄安三县)及周边部分区域,与京津形成等边三角形格局,距离分别约为110 km。雄安三县行政总面积为1557 km²,地形地貌以低海拔平原、洼地为主;海拔高程范围0~44 m,且平均海拔高程为4 m,其中近70%的土地处于海拔高程0~5 m范围,近25%的面积处于海拔高程5~10 m范围。2015年初,雄安三县户籍总人口113.02万人,其中农业人口72.20万人,占总人口的64%;非农人口总数共40.82万人,占总人口的36%;三县GDP总量为211.06亿元,其中第一产业、第二产业和第三产业增加值分别为28.69亿元、133.75亿元和48.62亿元(表1)。

表1 雄安三县行政区面积与2015年初人口经济规模

Tab. 1 Total area of administration area, population and economy gross of Xiong'an New District in 2015

县名称	行政区划 面积(km ²)	人口状况(万人)			经济状况(亿元)			
		户籍 总人口	农业 人口	非农业 人口	地区生产 总值	第一产业 增加值	第二产业 增加值	第三产业 增加值
容城县	314	27.31	13.73	13.58	57.75	9.71	34.15	13.89
安新县	729	46.30	32.35	13.95	62.56	8.85	36.04	17.67
雄县	514	39.41	26.12	13.29	90.75	10.13	63.56	17.06
总计	1557	113.02	72.20	40.82	211.06	28.69	133.75	48.62

注:数据来源于2015年《中国县域统计年鉴(县市卷)》。

2.2 数据来源

本文主要的数据源包括中国土地利用/覆盖变化数据、生态系统宏观结构数据、数字化地形地貌数据、土壤侵蚀遥感调查数据和植被净初级生产力数据等;并下载获取了美国国家航空航天局(NASA)发布的植被指数数据产品(<https://landsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/allData/6/MOD13Q1/>)和美国国家海洋和大气管理局(NOAA)发布的夜间灯光数据产品(<https://ngdc.noaa.gov/eog/download.html>),及来自Google Earth的高分辨率遥感影像。此外,还包括美国地质调查局(USGS)地球资源观测与科学中心(EROS)的子流域边界数据(http://eros.usgs.gov/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/asia),国家基础地理信息中心(<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>)的行政区划数据,以及其他社会经济、部门统计资料等。

2.3 城市群地表覆盖数据

本文所用城镇建设用地信息和生态系统结构信息由2000年、2005年、2010年和2015年中国土地利用/覆盖现状数据集(National Land Use Datasets of China, NLUD-China)提取而来。中国土地利用/覆盖现状数据集是采用每隔5年的Landsat TM/OLI、HJ-1A、ZY-3等卫星影像,按照统一的规范标准人工数字化解译获取,共包括耕地、林地、草地、水域、城乡建设用地及未利用地等6个一级类和25个二级类,且各期数据分类平均精度均在90%以上,满足1:10万比例尺制图精度要求^[5, 25-26]。

2000-2015年间每5年间隔的城市不透水地表分布信息,以城镇建设用地为空间掩码,以植被指数和夜间灯光遥感影像为数据源,采用Lu等^[27]提出的人居地不透水地表指数和匡文慧等^[28]针对该指数构建的回归校正参数,通过建立区域尺度不透水地表回归模型来实现。并选用2015年不透水地表提取信息为验证对象,采用Google Earth高分影像在随机采样点中的不透水地表解译结果,应用相关系数和均方根误差进行精度评价^[29-30]。结果表明,回归模型提取的2015年不透水地表评估信息与高分影像解译的不透水地表信息间相关系数达0.78,均方根误差为0.17,满足区域尺度分析的需求。

2.4 城市群地表生态遥感参数

本文主要应用植被覆盖状况、农田生产力及土壤侵蚀方面的生态遥感参数。其中,植被覆盖状况采用MODIS卫星获取的250 m MOD13Q1归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)来表示,对各月份预处理后的数据求取NDVI最大值。农田生产力数据由MODIS遥感数据以及气象数据,采用光能利用率模型VPM模拟而来^[31-33]。土壤侵蚀数据依据Landsat系列卫星及其他相关辅助数据,包括数字高程、土壤类型、植被覆盖度等,经过综合分析后采用全数字作业的人机交互判读分析方法获得^[34]。

此外,流域内不透水地表面积比例与生态系统潜在健康状况存在显著的相关性,不透水地表面积增加可对河流水生态系统造成严重影响^[35-40],本文将其作为城市化对水生态系统影响的评价指标。Bierwagen等^[41]研究发现当流域内不透水地表面积比例<1%时,其对流域水生态系统无影响;当流域内不透水地表面积比例为1%~5%,会造成轻微影响;当不透水地表面积比例为5%~10%,造成中度影响;当不透水地表面积比例为10%~25%,造成重度影响;当流域不透水地表面积比例>25%,将产生严重影响。本文采用子流域不透水地表指数模型公式来计算子流域内不透水地表面积比例,并采用上述阈值等级对流域水生态系统的潜在影响进行评估,具体公式详见匡文慧等^[28-30]相关研究。

3 结果与分析

3.1 京津冀城市群城市生态本底状况

3.1.1 城镇用地扩张时空动态特征 基于2000-2015年间京津冀城市群土地利用/覆盖遥感解译现状数据,提取历年城镇用地现状,结合全区各直辖市、地级市行政区划,获得其阶段性动态变化(图1)。由图1a可知,京津冀城市群在21世纪初15年间城镇扩张时空

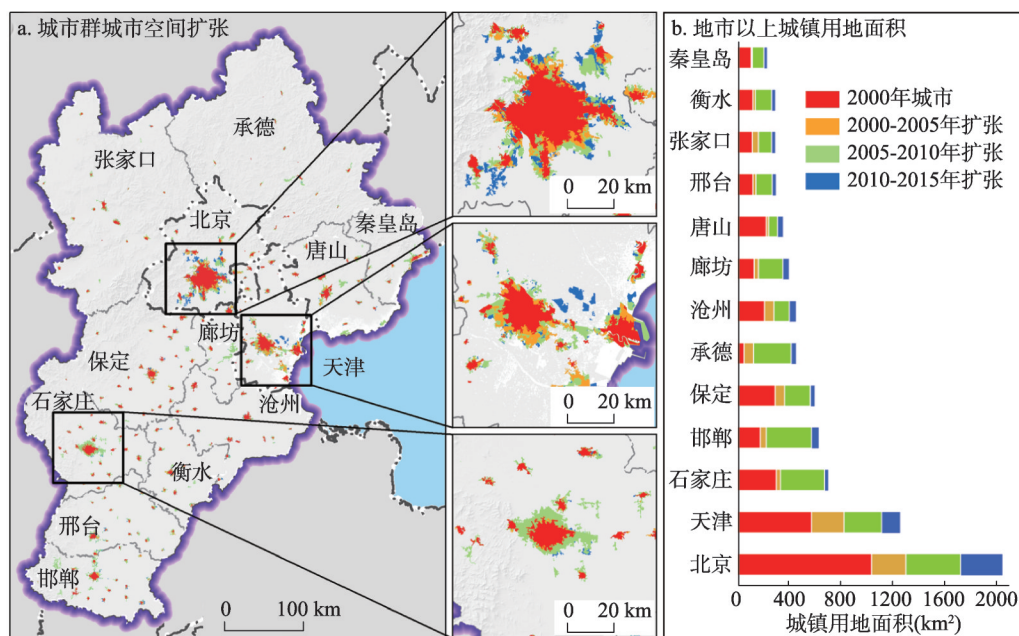


图1 2000-2015年京津冀城市群城市扩张动态变化

Fig. 1 Dynamic change of built-up area expansion in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration from 2000 to 2015

分异显著,以北京、天津两市为主各城市建成区均急剧扩张,在空间上呈现典型的蔓延式扩张模式。统计表明,进入21世纪以来,全区城镇用地面积自2000年共增加了4500.44 km²,约为2000年总面积的1.27倍,年均增加速度为300.03 km²/a。

不同城市在不同阶段扩张面积存在较大差异,以北京、天津、石家庄、唐山、邯郸和廊坊6个城市为主,城市用地扩张面积共占了整个区域的71.76%。其中,北京、天津两直辖市是该区城市扩张面积增加最多的城市;北京市共增加1004.78 km²,年均扩张速率为66.99 km²/a;天津以年均扩张45.53 km²/a的速率共扩张了682.95 km²。此外,河北省邯郸市、石家庄市、唐山市和廊坊市城市用地增长面积也较大,增长面积均在300 km²以上(图1b)。

3.1.2 城市不透水地表时空动态特征 21世纪以来,京津冀城市群不透水地表增长随城镇用地的扩张,呈现连绵集聚式增长态势(图2a)。统计表明,15年间全区城市不透水地表共增长了3491.73 km²,是2000年不透水地表总面积的1.43倍,年均扩张速率为

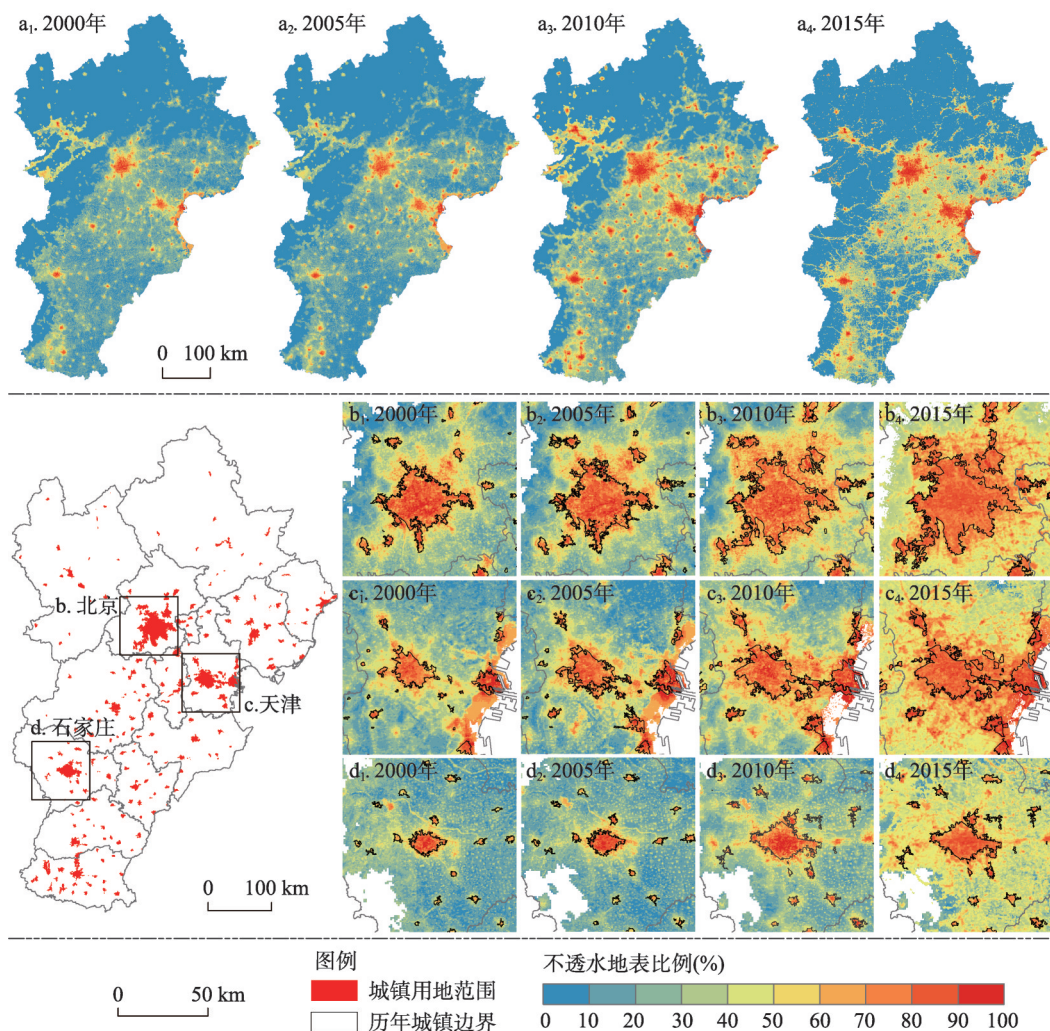


图2 京津冀城市群及典型城市不透水地表分布

Fig. 2 Distribution of impervious surface area in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration and its cities

232.78 km²/a。其中,北京、天津仍是不透水地表增长贡献最多的两个城市,其总面积分别增长了691.38 km²和581.45 km²,合占全区增长总面积的36.45%;唐山、邯郸、石家庄紧随其后,不透水地表总面积增长超过了300 km²,且三者增长共占全区总面积的27.83%;此外,廊坊、保定、邢台增长也较多;承德最少,仅增长了91.01 km²。到2015年,全区以北京市不透水地表面积最大,接近1500 km²;天津市次之,其面积超过1000 km²;石家庄、唐山、邯郸及保定也接近500 km²。

与城镇用地扩张趋势一致,各城市不透水地表亦呈现阶段性缓慢增长后突然增速、再降速的过程。其中,2000-2005年间,全区不透水地表增长了652.60 km²,且仍以北京、天津为主不透水地表大量增加,而其他城市面积增长较缓;到了2005-2010年,所有城市不透水地表均大幅度增速,该阶段不透水地表扩张速率是前一阶段的3.05倍;而到了2010-2015年间,该速率又突然降低,仅为第二个阶段的42.66%。

京津冀城市群三大城市(北京、天津和石家庄)城镇用地范围在15年间均有较大扩张,且其内部不透水地表也随城市扩张而逐渐向外蔓延,城市内部不透水地表面积比例多高于60%(图2b~2d)。而该区城市建成区以外区域也均以中等、较高密度不透水地表增长为主,辐射周边城乡交错带及近郊区等区域,造成城市及其周边不透水地表的连绵式布局与扩展。

基于全区92个子流域边界,统计2015年各子流域内不透水地表面积比例并进行水环境生态健康影响等级评价,可知全区超过60%的子流域受到不透水地表不同程度的影响,分布在该区东南大部分区域,其总面积比例达78.15%,且以受中、低度影响子流域面积比例最高,占全区的57%以上(图3,表2)。此外,受严重、重度影响的子流域面积约占全区的21.12%,特别是以北京到天津沿线各子流域受不透水地表影响最为严重;而其周边环渤海湾地区连同保定、石家庄及邯郸等地区部分子流域,主要受重度影响;中度影响子流域多分布在受严重影响子流域西南部地区,且分布较为连续;而低度影响子流域则包括北部、中部、南部三部分。

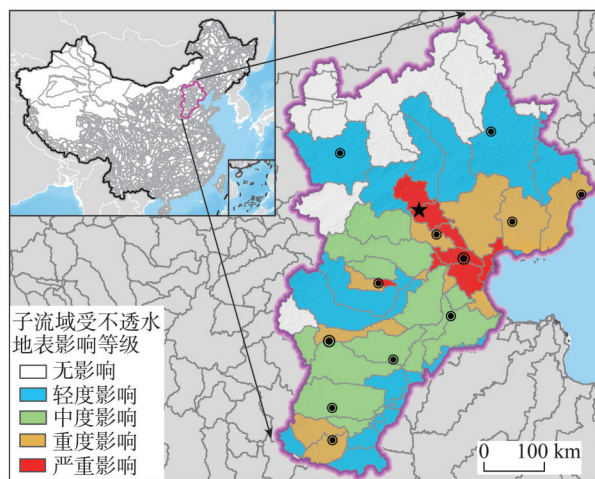


图3 子流域受不透水地表影响等级分布

Fig. 3 Rank distribution of impacts on sub-drainage basins by impervious surface area

3.2 雄安新区涉及三县生态系统状况及生态管控策略

3.2.1 雄安新区涉及三县生态系统宏观结构特征 通过2000-2015年,每隔5年的生态宏

表2 子流域受不透水地表影响等级状况统计

Tab. 2 Statistics of impacts on sub-drainage basins by impervious surface area

影响等级	子流域内不透水地表 面积比例(%)	子流域状况			
		数量(个)	数量比例(%)	面积(km ²)	面积比例(%)
无影响	0.0~1.0	36	39.13	47049.57	21.85
轻度影响	1.0~5.0	16	17.39	71577.27	33.25
中度影响	5.0~10.0	14	15.22	51203.34	23.78
重度影响	10.0~25.0	12	13.04	34548.59	16.05
严重影响	25.0~100.0	14	15.22	10920.65	5.07
总计		92	100.00	215299.4	100.00

观结构变化遥感监测发现，2015年末，雄安三县的农田、乡镇及农村聚落和水域面积相对较大（图4）。其中，农田生态系统面积最大，共1067.79 km²，占区域总面积的69%，且以旱地为主，仅在雄县有51.56 km²水田分布；其次为城镇和乡村聚落生态系统，面积共303.39 km²，占全区的19.49%，特别是乡镇及农村聚落类型占其面积的80%以上；再次为水域与湿地生态系统，面积共175.08 km²，占全区的11%，且以白洋淀淡水湖泊为主（表3）。

经2000年以来每隔5年的生态宏观结构变化遥感监测与分析，雄安三县近15年来城镇和乡村聚落扩张显著，总计扩张面积达113.89 km²，其中城镇建成区、乡镇和农村聚

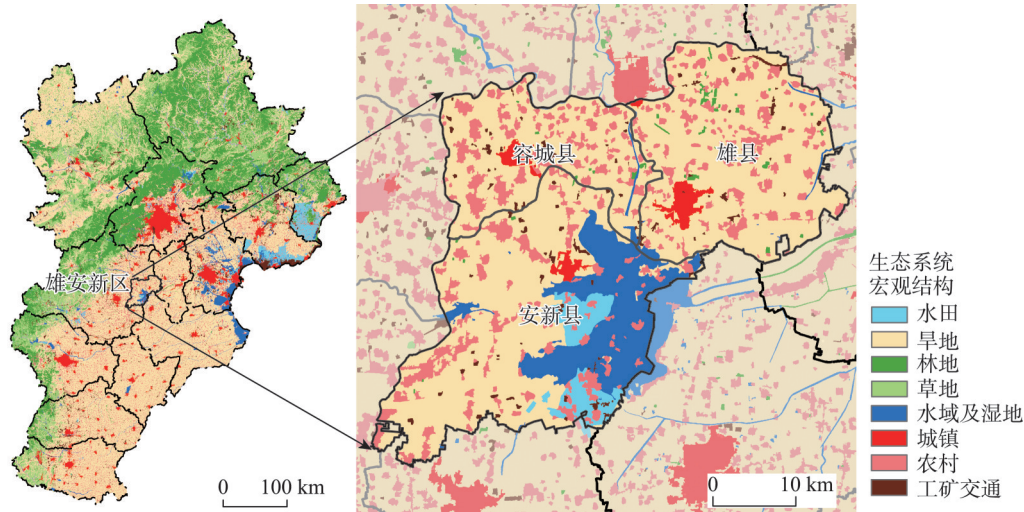


图4 2015年京津冀及雄安新区生态系统宏观结构现状

Fig. 4 Ecosystem structure in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration and the Xiong'an New District in 2015

表3 2015年雄安三县生态系统类型面积统计表(km²)

Tab. 3 The area of ecosystem classification of the Xiong'an New District in 2015 (km²)

县名称	农田		林地	水域及 湿地	城镇和乡村聚落		
	水田	旱地			城镇建成区	乡镇及农村聚落	独立工矿
容城县	0.00	224.72	1.59	5.70	9.22	67.29	5.22
雄县	51.56	391.61	1.02	163.90	7.56	99.79	10.55
安新县	0.00	399.90	6.51	5.48	17.58	79.74	6.42
总计	51.56	1016.23	9.12	175.08	34.37	246.82	22.20

落和独立工矿用地面积分别扩张了15.11 km²、82.99 km²和15.79 km²。与此同时, 雄安三县耕地面积、水域及湿地面积相应的分别减少了65.90 km²和96.80 km²。

由2015年雄安三县非农业人口比例(36%)和城镇建成区面积(34.37 km²)状况可知, 雄安三县城镇化水平较低; 而根据雄安新区规划涉及三县城镇与乡村建设用地不透水地表遥感监测发现, 2015年该区不透水地表总面积为110.45 km², 占雄安三县城镇和乡村聚落用地面积的36%。其中, 三县县城所在地建成区内不透水地表的面积为23.98 km², 平均不透水地表面积比例为70%; 而由于城市建设用地范围较小, 无明显的城市热岛现象。

3.2.2 雄安新区涉及三县生态系统服务现状 基于2000-2015年遥感数据产品、模型模拟结果等, 对雄安三县生态系统植被覆盖状况、农田生产能力、土壤侵蚀等生态系统因子进行评估。结果表明: 雄安三县生态系统植被覆盖状况、农田生产能力及土壤保持等生态系统服务良好。其中, 由于各项人为活动对植被的干扰程度增加, 导致雄安三县15年间的植被覆盖状况稍有退化, 到2015年植被指数基本稳定在0.79(图5a); 该区农田生态斑块以高产田为主, 约占全区农田总面积的76.4%, 农田生态系统较为优质(图5b)。由于植被覆盖状况较好、农田生态系统较为优越, 因此有效遏制了该区土壤侵蚀的发生, 其土壤侵蚀状况中以微度水蚀和风蚀为主, 属于中国土壤侵蚀微弱的区域。

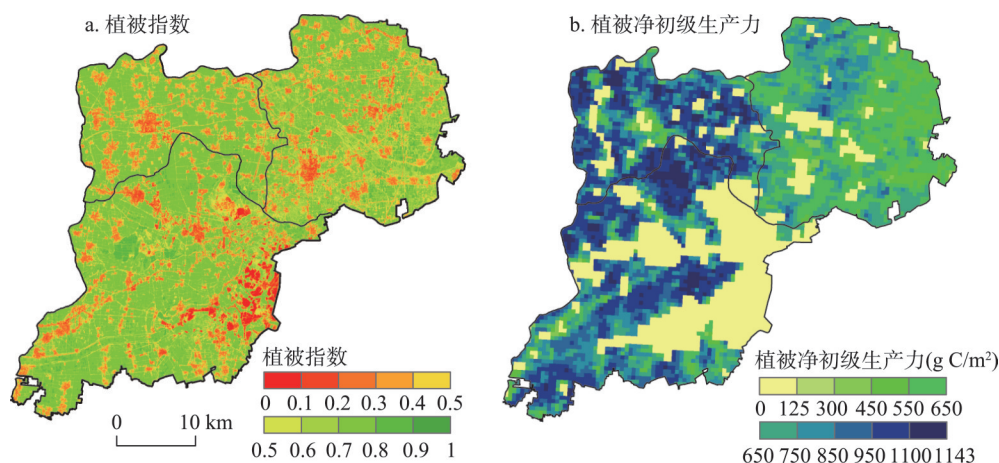


图5 雄安新区涉及三县生态系统植被指数和净初级生产力现状

Fig. 5 The NDVI and NPP of Xiongan New District in 2015

3.2.3 雄安新区建设未来生态潜在影响分析与预估 基于对雄安新区未来不同开发阶段生态环境潜在影响的综合分析及评价结果, 雄安新区建设开发具有优良的生态环境和较强的资源环境承载力。但从地形地势来看, 该区属于平原低洼地带(雄安三县平均高程为4 m, 70%的面积处于0~5 m); 而从生态系统类型来看, 除白洋淀淡水湖泊外, 该区周边近80 km范围内均以耕地为主, 故从城市足迹更大范围的生态源地考虑, 其周边缺乏森林等大型生态斑块或生态源地的保障。故对雄安新区未来建设规划需要围绕实现疏解北京非首都功能人口和产业目标, 适度控制人口、产业规模, 建设人口在500万以内的生态健康城市, 不宜发展特大或超大城市。针对上述因素, 提出雄安新区建设中对生态环境的潜在影响及其控制策略(表4)。

其中, 在雄安新区规划初期, 应将其纳入国家海绵城市建设试点范畴, 实施国际上的低影响度开发模式, 加强城市绿色基础设施建设; 各类规划从区域整体考虑, 构建新

表4 雄安新区建设生态环境潜在影响与控制策略

Tab. 4 The eco-environment potential impact and protection strategy for Xiong'an New District construction

新区建设预期影响与 调控指标	近期新区建设	中期新区建设		远期新区建设
	预期到2020年	预期到2025年	预期到2030年	预期到2050年
城市建成区人口规模	50~100万人	100~200万人	200~500万人	500万人以上
城市建成区用地规模	60~120 km ²	120~240 km ²	240~600 km ²	600 km ² 以上
城市土地利用与产业 调控模式	以疏解北京非首都功能承载人口和产业为主，除此以外需适度控制		加强边缘区生态隔离带建设，严控连绵集聚蔓延式增长	
地面硬化不透水地表 控制	建成区硬化不透水地表占比控制在60%以内		建成区硬化不透水地表面积占比控制在50%~60%，城市绿化率高于40%	
土地利用	以占用耕地和乡镇农村居民点为主，构建城区与白洋淀湖泊生态保护隔离带		加强与保定、北京和天津城市之间绿化生态斑块和生态廊道管控、防止沿交通轴线连续成片发展	
城市热岛	城市热岛空间范围扩展，但通过城市生态结构管控，热岛强度应控制在1℃		城市热岛空间范围继续扩展，通过科学规划，热岛强度应控制在1~1.5℃	
生态潜在影响与控制 策略	地势低洼，易受暴雨洪水的影响；建筑、人口、产业等集聚会降低生态系统水源涵养等服务功能		城市硬化不透水地表连片式扩展，加之地势较低，会增加洪水等灾害的风险性。必须考虑生态斑块和廊道镶嵌式的生态城市规划设计	
环境潜在影响与控制 策略	地势低洼平坦，高楼等建筑会影响局地大气扩散能力，会加剧灰霾等污染，除点源污染外，城市不透水地表会造成城市面源污染，影响白洋淀淡水水质。必须严格控制产业准入制度，高标准处理“三废”		所在子流域不透水地表面积比例超过15%~25%比例，严重影响流域生态系统健康状况，甚至对白洋淀水质产生严重影响。必须制定城市绿色发展路线图，指导“一张蓝图绘到底”的生态城市建设	

区与保定、北京和天津城市之间的绿化生态斑块和生态廊道，防止城市边缘区和交通沿线不透水下垫面集聚连绵式发展；建议新区开发除考虑绿化率指标外，建成区内不透水地表面积整体比例应不超过60%，核心区不超过70%。

而根据国际惯例，城市所在子流域不透水地表大于25%会对地表水环境和生态系统健康带来严重影响，甚至毁坏整个生态系统。新区开发预期会导致约数百平方公里的地面硬化，引发不透水地表（包括建筑、道路、广场等）面积增加，加之不利的地形地势条件，会导致地表雨洪发生频率增加，引发暴雨洪水灾害；同时，面临高强度城市热岛，以及大气扩散能力减弱等问题。此外，通过对比中国和美国典型城市不透水地表下垫面，发现当城市内特定区域不透水地表面积超过70%，城市热岛会呈现指数上升；城市所在子流域内不透水地表面积比例超过25%，受城市面源污染等影响，河流污染物氨氮、COD等指标会显著升高^[28]。因此，必须防止大规模连片城市建设导致的城市热环境损害，以及对白洋淀淡水湖泊水质的不利影响。对于雄安新区的城市内部而言，必须在规划设计中充分考虑防控低洼地带带来的暴雨洪灾，盛行风向风场强度弱带来的大气扩散差，以及城市热岛加剧等问题。

最后，尽管雄安新区拥有华北平原最大的淡水湖——白洋淀水资源保障，但是从水资源状况方面统筹考虑，新区地处海河流域的大清河子流域，雄安三县水资源总量为24620.74万m³，人均均为217 m³/人；同时，依据水利部门资料，安新县、雄县和容城县的地下水资源分别为轻度、中度超采和严重超采。因此，雄安三县支撑新区开发的地表水资源和地下水资源相对欠缺。故雄安新区的开发需确定“以水定城”的规划理念，充分考虑水资源承载力状况，并尽可能采取“海绵城市”建设思路及国际上推行的“低影响度开发”模式，在新区基础设施建设、供排水方面充分考虑雨水收集和循环利用，提高新区水资源、水生态和水环境的综合利用与保护水平。

4 结论与讨论

基于当前京津冀城市群协同发展战略,综合分析其自然和社会经济发展状况,提出建设雄安新区以有机疏解北京非首都功能,对于促进该区社会经济可持续发展、提升城市生态系统服务功能十分必要。依据Holling等^[13]提出的“多尺度嵌套适应循环”和“弹性”理论,城市生态系统动态演化过程,应该包括4个不同阶段:发展或开发阶段(Growth or Exploitation)、存储或积累阶段(Conservation or Accumulation)、崩溃和释放阶段(Collapse and Release)以及再组织和更新阶段(Reorganization and Renewal)。由上述理论,北京、天津以及石家庄、保定等城市均处于上述发展的不同阶段,当前雄安新区建设也是城市群发展到特定阶段的必然选择。Carpenter等^[40]指出一个具有弹性的系统应至少包括3方面的属性特征,即系统能够吸收外界干扰并仍保持相同状态的能力,系统的自组织能力以及系统学习和提高适应能力的程度。雄安新区作为国家“千年大计”的目标,通过国家政策的干预,对城市生态系统实现再组织和更新发展,提高生态系统的自组织和适应性能力具有重要意义。

21世纪以来,京津冀城市群城镇建设用地与城市不透水地表呈现高速扩张的趋势,城镇用地面积自2000年共增加了4500.44 km²,城市不透水地表增长了3491.73 km²,评估约占15%的子流域,其内部不透水地表面积比例大于25%,对于流域水生态系统健康状况产生严重影响。京津冀城市群整体下垫面问题,特别是不透水地表高密度连绵集聚式分布特征是导致城市群生态环境问题严峻的核心因素,这一问题应该得到足够重视和高度关注。雄安新区建设选址近临白洋淀淡水湖,尽管具有一定的资源环境优势,但从地形地貌特征、生态系统类型状况及城市雨洪调节、热岛调节、净化空气等功能方面综合考虑,其开发建设需加强生态管控与保护措施。

基于高分辨率遥感和生态模型获得地理生态专题信息^[42],从京津冀城市群区域背景和规划区覆盖范围两个尺度,充分认识河北雄安新区建设的区域生态系统过程、格局以及服务现状,预估未来城市发展可能带来的生态和环境潜在风险,提出预期不同发展阶段生态保护和管控策略,对于雄安新区前期规划与建设具有重要的应用价值。

参考文献(References)

- [1] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, et al. Global change and the ecology of cities. *Science*, 2008, 319(5864): 756-760.
- [2] Pickett S T A, McGrath B, Cadenasso M L, et al. Ecological resilience and resilient cities. *Building Research & Information*, 2014, 42(2): 143-157.
- [3] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, et al. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [4] Kuang W H, Chi W F, Lu D S, et al. A comparative analysis of megacity expansions in China and the U.S.: Patterns, rates and driving forces. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 132: 121-135.
- [5] Kuang W H, Liu J Y, Dong J W, et al. The rapid and massive urban and industrial land expansions in China between 1990 and 2010: A CLUD-based analysis of their trajectories, patterns, and drivers. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 145: 21-33.
- [6] Kuang W H, Dou Y Y, Zhang C, et al. Quantifying the heat flux regulation of metropolitan land use/land cover components by coupling remote sensing modeling with in situ measurement. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(1): 113-130.
- [7] Jones B, O'Neill B C, McDaniel L, et al. Future population exposure to US heat extremes. *Nature Climate Change*, 2015, 5(7): 652-655.

- [8] Lelieveld J, Evans J S, Fnais M, et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 2015, 525(7569): 367-371.
- [9] Jha A, Lamond J, Proverbs D, et al. Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. General Information, 2012, 52(5): 885-887.
- [10] Leichenko R. Climate change and urban resilience. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2011, 3(3): 164-168.
- [11] Jones H P, Hole D G, Zavaleta E S. Harnessing nature to help people adapt to climate change. *Nature Climate Change*, 2012, 2(7): 504-509.
- [12] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4(1): 1-23.
- [13] Holling C S, Gunderson L H. *Panarchy: Understanding Transformations in Systems of Humans and Nature. Resilience and Adaptive Cycles*. Washington: Island Press, 2002: 25-62.
- [14] Meerow S, Newell J P, Stults M. Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 147: 38-49.
- [15] Lu Dadao. The regional developing strategy, tendency and the development of Jing-Jin-Ji. *Social Science of Beijing*, 2008(6): 4-7. [陆大道. 我国区域发展的战略、态势及京津冀协调发展分析. *北京社会科学*, 2008(6): 4-7.]
- [16] Guo Rongchao, Miao Changhong, Xia Baolin, et al. Research on the model of optimization and reorganization of eco-spatial structure in urban agglomeration region and its application: A case study of the urban agglomeration in Central Plains Region. *Progress in Geography*, 2010, 29(3): 363-369. [郭荣朝, 苗长虹, 夏保林, 等. 城市群生态空间结构优化组合模式及对策: 以中原城市群为例. *地理科学进展*, 2010, 29(3): 363-369.]
- [17] Gu Chaolin. Study on urban agglomeration: Progress and prospects. *Geographical Research*, 2011, 30(5): 82-88. [顾朝林. 城市群研究进展与展望. *地理研究*, 2011, 30(5): 82-88.]
- [18] Fang Chuanglin. Progress and the future direction of research into urban agglomeration in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(8): 1130-1144. [方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向. *地理学报*, 2014, 69(8): 1130-1144.]
- [19] Fang Chuanglin, Zhou Chenghu, Gu Chaolin, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 531-550. [方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径. *地理学报*, 2016, 71(4): 531-550.]
- [20] Peng J, Liu Y X, Shen H, et al. Using impervious surfaces to detect urban expansion in Beijing of China in 2000s. *Chinese Geographical Science*, 2016, 26(2): 229-243.
- [21] Weng Q H, Lu D S. Landscape as a continuum: An examination of the urban landscape structures and dynamics of Indianapolis City, 1991-2000, by using satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(10): 2547-2577.
- [22] Wu J G, Jenerette G D, Buyantuyev A, et al. Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. *Ecological Complexity*, 2011, 8(1): 1-8.
- [23] Liu Zhenhuan, Wang Yanglin, Peng Jian. Quantifying spatiotemporal patterns dynamics of impervious surface in Shenzhen. *Geographical Research*, 2012, 31(8): 1535-1545. [刘珍环, 王仰麟, 彭建. 深圳市不透水表面的遥感监测与时空格局. *地理研究*, 2012, 31(8): 1535-1545.]
- [24] Kuang Wenhui, Chi Wenfeng, Lu Dengsheng, et al. *Remote Sensing Analysis and Ecological Control of Urban Surface Thermal Environment*. Beijing: Science Press, 2015: 109. [匡文慧, 迟文峰, 陆灯盛, 等. 市地表热环境遥感分析与生态调控. 北京: 科学出版社. 2015: 109.]
- [25] Liu Jiyan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000. *Science in China: Series D*, 2002, 32(12): 1031-1040. [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(12): 1031-1040.]
- [26] Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(4): 483-494.
- [27] Lu D S, Tian H Q, Zhou G M, et al. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multi-sensor remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(9): 3668-3679.
- [28] Kuang Wenhui, Liu Jiyan, Lu Dengsheng. Pattern of impervious surface change and its effect on water environment in the Beijing-Tianjin-Tangshan Metropolitan Area. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1486-1496. [匡文慧, 刘纪远,

- 陆灯盛. 京津唐城市群不透水地表增长格局以及水环境效应. 地理学报, 2011, 66(11): 1486-1496.]
- [29] Kuang W H, Chen L J, Liu J Y, et al. Remote sensing-based artificial surface cover classification in Asia and spatial pattern analysis. *Science China: Earth Sciences*, 2016, 59(9): 1720-1737.
- [30] Kuang W H, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal dynamics of impervious surface areas across China during the early 21st century. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(14): 1691-1701.
- [31] Xiao X M, Zhang Q Y, Braswell B, et al. Modeling gross primary production of temperate deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91(2): 256-270.
- [32] Yan Huimin, Liu Jiyan, Cao Mingkui. Spatial pattern and topographic control of China's agricultural productivity variability. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(2): 171-180. [闫慧敏, 刘纪远, 曹明奎. 中国农田生产力变化的空间格局及地形控制作用. 地理学报, 2007, 62(2): 171-180.]
- [33] Chen Jingqing, Yan Huimin, Wang Shaoqiang, et al. Estimation of gross primary productivity in Chinese terrestrial ecosystems by using VPM Model. *Quaternary Sciences*, 2014, 34(4): 732-742. [陈静清, 闫慧敏, 王绍强, 等. 中国陆地生态系统总初级生产力 VPM 遥感模型估算. 第四纪研究, 2014, 34(4): 732-742.]
- [34] Zhang Zengxiang, Zhao Xiaoli, Wang Xiao, et al. Remote Sensing Monitoring of Soil Erosion in China. Beijing: Planet Map Press, 2014: 23-30. [张增祥, 赵晓丽, 汪潇, 等. 中国土壤侵蚀遥感监测. 北京: 星球地图出版社, 2014: 23-30.]
- [35] Elvidge C D, Tuttle B T, Sutton P C, et al. Global distribution and density of constructed impervious surfaces. *Sensor*, 2007, 7(9): 1962-1979.
- [36] Griffin D M, Grizzard T J, Randall C W, et al. Analysis of non-point pollution export from small catchments. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 1980, 52(4): 780-790.
- [37] Peng J, Liu Y X, Wu J S, et al. Linking ecosystem services and landscape patterns to assess urban ecosystem health: A case study in Shenzhen City, China. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 143: 56-68.
- [38] Schueler T K. Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs. Washington: MWCOC, 1987: 1-10.
- [39] Schueler T K. The importance of imperviousness. *Watershed Protection Techniques*, 1994, 1: 100-101.
- [40] Carpenter S, Walker B, Anderies J M, et al. From metaphor to measurement: Resilience of what to what? *Ecosystems*, 2001, 4(8): 765-781.
- [41] Bierwagen B G, Theobald D T, Pyke C R, et al. National housing and impervious surface scenarios for integrated climate impact assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(49): 20887-20892.
- [42] Kuang W H, Yang T R, Liu A L, et al. An EcoCity model for regulating urban land cover structure and thermal environment: Taking Beijing as an example. *Science China Earth Sciences*, 2017, 60(6): 1098-1109.

Regional urban land-cover characteristics and ecological regulation during the construction of Xiong'an New District, Hebei Province, China

KUANG Wenhui¹, YANG Tianrong^{1,2}, YAN Fengqin^{2,3}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130102, China)

Abstract: Development of Xiong'an New District (XND) is integral to the implementation of the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) Integration Initiative. It is intended to ease the non-capital functions of Beijing, optimize regional spatial patterns, and enhance ecosystem services and living environment in this urban agglomeration. Applying multi-stage remote sensing (RS) images, land use/cover change (LULC) data, ecosystem services assessment data, and high-precision urban land-cover information, we reveal the regional land-cover characteristics of this new district as well as across the planned area of the entire BTH urban agglomeration. Corresponding ecological protection and management strategies are also proposed. Results indicated that built-up areas were rapidly expanding, leading to a continuous impervious surface at high density. Urban and impervious surface areas (ISAs) grew at rates 1.27 and 1.43 times higher than that in 2000, respectively, seriously affecting about 15% area of the sub-basins. Construction of XND mainly encompasses Xiongxian, Rongcheng, and Anxin counties, areas which predominantly comprise farmland, townships and rural settlements, water, and wetland ecosystems. The development and construction of XND should ease the non-capital functions of Beijing, as well as moderately control population and industrial growth. Thus, this development should be included within the national 'sponge city' construction pilot area in early planning stages, and reference should be made to international low-impact development modes in order to strengthen urban green infrastructural construction. Early stage planning based on the existing characteristics of the underlying surface should consider the construction of green ecological patches and ecological corridors between XND and the cities of Baoding, Beijing, and Tianjin. The proportion of impervious surfaces should not exceed 60%, while that of the core area should not exceed 70%. The development of XND needs to initiate the concept of 'planning a city according to water resource amount' and incorporate rainwater collection and recycling.

Keywords: Xiong'an New District; urban land use; urban impervious surface; Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration; ecological protection strategies