

Advances in Hydrological and Water Resources Response to Land Use/Cover Change

Kediao He^{1,2}, Changqun Duan^{1*}, Shimei Yang², Keqiang Ji²

¹School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming Yunnan

²Yunnan Hydrology and Water Resources Bureau, Lijiang Branch, Lijiang Yunnan

Email: bluekey@126.com, * cn-ecology@126.com

Received: Jun. 4th, 2015; accepted: Jun. 23rd, 2015; published: Jun. 26th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With rapid economic development and population growth, the impacts of human activities on land surface have been increased. Land use and cover change (LUCC) has become driving forces varying hydrological processes and water resources. The research in this field has been the focus of attention and the international and national frontier. In this paper, research progress of hydrological and water resources response to LUCC was summarized, which was reviewed and discussed from points of view of hydrological elements response, such as water cycle, water yield as well as water quality. This article aims to gain some insight into the laws of hydrological change to LUCC, recognize correctly water resources variation features, and provide a scientific basis for rational analysis of hydrological and water resources, accurate flood prediction and sustainable development and utilization of water resources. Some conclusions of this paper were drawn as follows: 1) the impact of LUCC on water cycle, water flow and water quality has more variability in time and spatial scale. 2) LUCC may result in intensifying the hydrological cycle, driving hydrological factors variation such as precipitation, evaporative capacity and surface runoff, enhancing the frequency of extreme events, which finally may change regional water volume balance and have impact on the distribution of regional water resources. It is wise to give more attention to hydrological extreme events. 3) We should have serious consideration about the land use change in the basin and minimize its impact on water resources. 4) Unifying water quality, water yield and water zoology, the response of Water ecological carrying capacity to LUCC should be studied in recent future.

Keywords

Land Use and Coverchange, Water Cycle, Water Yield, Water Quality, Response, Advances

作者简介: 贺克雕, 女, 生于 1983 年 9 月, 云南大学博士研究生, 云南省水文水资源局丽江分局副局长, 工程师。

*通讯作者。

土地利用/覆被变化的水文水资源响应研究综述

贺克雕^{1,2}, 段昌群^{1*}, 杨世美², 季克强²

¹云南大学生态学与环境学院, 云南 昆明

²云南省水文水资源局丽江分局, 云南 丽江

Email: bluekey@126.com, cn-ecology@126.com

收稿日期: 2015年6月4日; 录用日期: 2015年6月23日; 发布日期: 2015年6月26日

摘要

随着社会经济和人口的持续增长, 人类活动对地球陆地表层系统作用的步伐加快, 土地利用/覆被变化(LUCC)成为影响水文水资源系统的主要驱动力, 已成为国内外研究的热点。本文从水循环、水量和地表水水质响应等方面概述了LUCC水文水资源响应的研究进展, 旨在深入了解LUCC影响下的水文变化规律, 准确把握水资源变化特征, 为水文水资源的合理分析、洪水灾害的准确预测及水资源的可持续开发利用提供科学依据。综合分析表明: 1) 土地利用/覆被变化对水循环、水量和水质的影响具有时间和空间尺度上的变异性; 2) LUCC将加剧水循环过程, 驱动降水量、蒸发量、地表径流等水文要素的变化, 增强水文极值事件发生频率, 改变区域水量平衡, 影响区域水资源分布, 应加强水文极值的研究; 3) 应慎重考虑流域内土地利用的转变, 将其对水资源的影响最小化; 4) 将水质、水量、水生态相统一的水生态承载力响应将是未来的一个研究方向。

关键词

土地利用/覆被变化, 水循环, 水量, 水质, 响应, 进展

1. 引言

随着人口的持续增长, 土地利用变化尤其是城市发展成为必然。人类活动对地球陆地表层系统作用的步伐、程度与广度是空前的, 陆地表层系统最重要的变化之一就是土地利用与土地覆盖的变化[1]。而土地利用/覆被变化(Land Use /Land Cover Change, LUCC)对水文水资源的影响最为重大。短期内, LUCC 是水文变化的主要驱动要素之一[2]。人口增长趋势、气候变化、国家政策和宏观经济活动等多重因素变化的驱动最终导致土地覆盖和土地利用的大量改变, 进而影响流域和区域尺度的水文系统[3]。LUCC 改变了地表植被的截留量、土壤水分的入渗能力和地表蒸发等因素, 进而影响着流域的水文情势和产汇流机制, 增大了流域洪涝灾害发生的频率和强度[2] [4]。水文要素的时空变异导致了水文特征的时空不对应及其频率的不一致性, 从而导致水文水资源分析计算的偏差、分析出来的水文规律失真、防洪供水决策及判断失误, 严重影响洪旱灾害预测和水资源开发利用[5]。

20 世纪, LUCC 导致了中国大部分河流流域的蒸散发、径流和水量的极大变化, 时空格局变异很大。最大的变化出现在 20 世纪后半叶, 几乎所有的河流流域都有蒸散发减少、水量和径流增加的趋势, 与之相反, 20 世纪前半叶, 珠江流域、长江流域和黄河流域等主要流域呈现出蒸散发增加、水量减少的趋势。20 世纪, 与耕地相关的土地转化是人类影响水资源的主要驱动力[6]。相关研究也支持了这一结论。诺敏河流域近 50 年土地利用方式发生了明显变化, 林地和草地分别减少 1940.1 km² 和 748.99 km², 与林草地的大面积减少相对应, 耕地面积增加 2741.7 km²。[7]长江三角洲地区耕地面积约占总面积的 38.6%, 自 1950 年至 2000 年 50 年来, 耕地数量经历了 3 次锐减, 近 15 年的数据表明, 长江三角洲地区耕地递减率为 0.55%, 高出全国平均水平近 1 倍[7]。

滇池松华坝水源区 1992~2001 年间, 土地利用类型转移以耕地、草地及未利用土地向林地的转换为主, 转化为林地的耕地、草地、未利用土地分别占 1992 年各自类型面积的 27.42% (2791.08 hm²)、36.59% (5633.01 hm²)、30.01% (601.29 hm²) [8]。

因此, 研究者[9]-[11]开展了大量以流域为单位的土地利用变化对水文过程的影响研究。径流深、侵蚀[12]、土壤流失和产沙量[13] [14]及水土资源平衡[15]等都会随着土地利用/覆被变化而变化。目前从事土地利用变化对水资源影响的研究大都体现在水质、产水量和地表径流几个方面。李丽娟等[2]提出, 土地利用/覆盖的变化直接体现和反映了人类活动的影响水平, 其对水文过程的影响主要表现为对水分循环过程及水量水质的改变作用方面。因此, 本文主要从水循环、水量和水质对 LUCC 的响应方面进行综述, 旨在深入了解 LUCC 影响下的水文变化规律, 准确把握水资源变化特征, 为水文水资源的合理分析、洪水灾害的准确预测及水资源的开发利用提供科学依据。

2. LUCC 的水循环响应

LUCC 将加剧水循环过程, 驱动降水量、蒸发量、地表径流等水文要素的变化, 增强水文极值事件发生频率, 改变区域水量平衡, 影响区域水资源分布。

2.1. 蒸发散

地表蒸发散由植被蒸腾和土壤蒸发两部分组成, 是水循环的重要过程之一, 降落到地球表面的降水 70% 通过蒸发散作用回到大气中。在水文要素中, 蒸发散对土地覆被变化更具敏感性。因此, 将蒸发散与森林相联系的研究很多。Mishra 等[16]在美国中西部开展的研究得出, 当一个网格单元的森林完全转变为耕地时, 蒸发散减少 15 mm。翟春玲等[17]在淮河流域采用极端土地利用/覆被法构建了 5 种土地覆被情景, 模拟结果表明: 常绿阔叶林覆被情景对蒸发量的影响较为显著, 年均蒸发量增加 5.6%。Zhang 等[18]指出, 森林采伐会导致蒸发量降低 0.8%~22.3%, 覆被从灌木向森林的转化会使蒸发量增加 2.3%~27.4%。

蒸发散存在时间和空间尺度上的差异。有研究者[18]指出, 干季森林采伐和植树造林引起的水文变化大于湿季。张殿君[19]对黄土高原典型流域甘肃天水罗玉沟流域的研究指出, 流域内蒸发量呈现西北高、东部低的空间分布规律, 尤其在植被覆盖区蒸发量比较大。汉江流域蒸发散能力模拟试验表明: 研究区域内蒸发散能力的空间分布差异较大, 地形是影响蒸发散能力空间分布的重要因素之一, 低海拔地区蒸发散能力较大, 高海拔地区蒸发散能力较小[20]。此外, 不同土地利用类型的蒸发量差异较大。据报道[19], 不同土地利用类型日蒸发量差异显著。基本规律为: 水体>林地>梯田>建筑用地。金翠等[21]对吉林省西部乾安县的研究表明, 土地覆被特点基本控制区域蒸发分布格局。Liu 等[22]对蒙古高原的研究指出, 蒸发散增加的次序为: 草地>半沙漠/沙漠>北方森林。

2.2. 地表径流

土地利用与覆被变化一方面影响流域的蒸发散性能, 另一方面通过地表覆被类型及程度的改变显著影响地表径流的产生。目前, 在诸多水文要素中, 地表径流对 LUCC 的响应研究最多[8] [13] [23]-[26]。LUCC 的径流变化主要与流域降雨、土地利用形式及其时空分布特征等有关。

不同土地利用形式对流域径流的贡献随着流域年平均降雨量的变化而变化, Santillan 等[27]对菲律宾南部流域的研究表明, 地表径流的显著增加与土地覆被的变化直接相关。杨宏伟和许崇育[28]研究认为, 林地面积的增加可导致年径流量减少; 年内分配上枯水期径流明显增加, 丰水期径流明显减少; 小于 15° 的林地面积增加引起的径流减少作用更为明显。土地利用/覆被变化对径流的影响还与降雨特征有关。Niehoff 等[29]认为, 高降雨强度的对流性暴雨事件比低降雨强度的平流性暴雨事件对径流的影响大。此外, 土地利用的时空分布影响着径流

的变化过程。Lan 等[30]研究指出,流域土地覆被向城市或部分城市用地转化导致年流量、年最大流量和夏秋季流量发生变化。Guo 等[31]对鄱阳湖流域的研究指出,由于植被及其季节性变化对蒸散发的影响,退耕还林后森林覆被的增加降低了湿季的流量,增加了干季的流量,从而减少了洪旱灾害的发生。流域中土地利用/覆被变化发生的位置也会对径流响应产生影响[32] [33]。土地覆被变化对径流的影响在高海拔和低海拔地区也表现各异,高海拔地区径流呈季节性变化,春季流量较大,夏季流量较小[30]。

2.3. 洪水过程

洪水过程是反映径流变化的一个重要因素,这里分开讨论。20 世纪以来,由于人类活动引起的土地利用/覆被变化越来越剧烈,全球洪涝灾害的频率远远高于以往任何时期[34]。尽管有些研究结论存在争议,但均表明 LUCC 对洪涝灾害有一定的贡献率。有研究者[4]认为,LUCC 洪水响应是体现人类活动对水循环影响的最佳研究对象。LUCC 主要通过影响暴雨产流过程、汇流过程而对洪水产生影响。通过影响地表的粗糙程度,进而控制地表径流的速率和洪泛区水流的速度,LUCC 还会影响地表容蓄水量和行洪路径,进而影响洪水演进的路径和速度,自然流域经土地利用变化后,雨水向河网水系汇集的路径改变,从而影响汇流时间[35],最终使洪水过程发生变化。因此,深入了解 LUCC 的洪水响应有助于对城市突发洪水事件、响应措施及洪泛区居民的疏散等做出规划,为有关部门将来的土地利用和洪水管理规划提供支持,以保护和降低政府和当地居民的生命财产损失。

近年来,LUCC 的洪水响应受到广泛关注,在洪水发生频率、洪峰、洪量和时滞等方面开展了很多研究,以国内的研究居多。在太湖流域[36]、长江上游梭磨河流域[37]、大清河流域[35]、洞庭湖流域[1]、太湖上游西苕溪流域[34]、晋江西溪流域[38]、长江三角洲[7]和深圳市[24]等地均有针对土地利用/覆被变化的洪水影响研究。研究表明,洪水过程的时相变化差异很大。土地覆被对径流系数的影响在较小的洪水事件(小于 2 年一遇)和较大的洪水事件(大于 2 年一遇)之间存在很大差别。在较小的洪水事件中,森林具有洪水减缓效应,对于较大的洪水事件,流域的情况不同会存在差异,尤其是前期土壤水分较高或是达到饱和状态的流域差异更大[23]。随着土地利用/覆被的变化,尤其是随着城市面积的增加和森林面积的减少,长时间尺度上的流量及峰值有少量的增加[33]。而洪水随着土地覆被的变化也十分显著。对于较大的洪水事件,森林面积的变化是影响洪水量和洪峰的主要因素,森林对洪峰和洪水量会产生消极影响,当其他土地利用类型转变为森林时,洪水量和洪峰会降低[39]。陈军锋和李秀彬[37]研究指出,相同的洪水重现期,流域全为有林地覆被的情景比无植被的情景洪峰流量减小 31.2%。Olang 等[40]在肯尼亚那恩多河流域的研究表明,在河流的上游地区,森林砍伐率较高的子流域洪峰流量增加 30%~47%,而整个流域的洪峰流量在研究时段内至少增加 16%。

2.4. 入渗

土壤水的入渗是水循环的一个关键过程,它控制着地表水与地下水之间的关系。而土壤是水入渗的界面,土壤特性在入渗过程中起着决定性作用。不同土地利用类型对降雨入渗强度有很大的影响。Neris 等[41]选取了 32 个研究站点,其土地利用和植被覆盖分为绿色森林、松树林和作物区三类,对渗透率和土壤特性包括有机物质含量、质地、结构、容积密度、保水性和疏水性等进行了研究。结果表明,绿色森林下的渗透极其迅速,渗透率为 796 mm/h,松树林下的渗透急剧下降,渗透率为 188 mm/h,以前的耕作土壤渗透率仅为 67 mm/h,说明土壤的结构性质(聚合性和稳定性)在入渗中发挥着主要作用。植被类型对土壤结构稳定性的影响归因于植被类型对土壤中有机物质含量和性质的影响。据赵峰[42]报道,吉林省中部(不含吉林市)1988 年~2000 年因土地利用/覆被变化使地下水资源入渗补给量减少了 $2.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。Nagy 等[43]指出,与森林向耕地转化相似,森林向城市用地的转化大大降低了水的入渗,不透水地面会增加径流速度。渗透率降低和径流速度增加会使城市的流量过程线发生变化,从而引起更快更大的脉冲流,这就是城市洪水更加频繁和激烈的反映。

水循环的这几个方面不是独立存在的，而是相互影响的。土地利用变化通过对蒸发、蓄水等过程的影响改变了地表径流，进而改变了土壤水的入渗和地下水补给。另外，还体现在影响下垫面产水量的变化和面源污染物的转化迁移过程。

3. LUCC 的水量响应

流域的水量与降雨量、蒸散发、地表径流和入渗等水循环过程密切相关，而水量往往与森林植被相关联。森林植被的水文作用在学术界引起了广泛的争论[44] [45]，主要存在三种观点，其一，森林植被的存在增加年径流量；其二，森林植被的存在减少年径流量；其三，森林植被的存在对年径流量基本无影响。这些研究结果的差异主要受到流域的气候条件、下垫面状况、流域面积、降水量、降水强度及分布、蒸散发量、地质地貌因素、水文地质因素、森林规模、时间因素和人为因素等影响。

因此，为深入了解 LUCC 对产水量的影响，从下垫面状况、降水量、时间因素和空间格局等方面开展的研究较多。Molina 等[46]指出，本地森林向牧场或耕地转变会增加年度总水量。Nagy 等[43]认为，森林采伐或再生长后，优势树种和功能类型会对水量变化进一步产生影响。Singh & Mishra [44]在印度半岛的四个流域，开展了混合原生林、成熟次生林和人工干扰林对径流系数的影响研究，探讨森林植被对水量的影响。翟春玲等[17]在淮河流域采用极端土地利用/覆被法构建了 5 种土地覆被情景，模拟结果表明：常绿阔叶林覆被情景对径流量的影响较为显著，年均径流深减少 16.7%；草地覆被情景对增加径流量作用显著，年均径流深增加 6.9%。唐丽霞等[47]对黄土高原清水河流域的研究指出，该流域年径流量在 1959~2005 年的 47 年间呈显著下降趋势，但该流域降水量没有出现明显的趋势性变化，流域年潜在蒸发散则呈显著上升趋势。

在时间尺度上，枯水年草地覆被情景下的土壤含水量变化较为剧烈。在空间分布上，各土地覆被情景的日径流量均表现为上游较小，中下游较大；土地覆被变化对流域下游雨季径流量空间分布影响较大，对流域中上游的雨季径流量的空间分布影响较小；而枯水季节，流域中上游各土地覆被情景下的日径流量空间分布存在较大的差异性[17]。Sun 等[48]指出，森林采伐会增加产水量且具有极大的空间变异性。森林采伐的水量变化具有滞后效应，这种较长的循环可以减缓植树造林对水量的负面影响。因此，研究只有持续几年时间才有可能完整地捕获森林的建造和生长对水文的影响，在森林采伐后，需要更长时间的研究来量化水量的变化。

4. LUCC 的地表水水质响应

水质决定着植物、动物和人类生命的健康和生存，水的量和质对满足饮用、灌溉、娱乐及其他用水的需求十分重要。流域地表水体的污染物主要来自于面源污染，径流量的增加会导致大部分污染物的增加，而人类的土地利用是非点源污染的主要影响动因。土地利用/覆被变化会对径流的特征及面源污染的产生和转移产生影响，最终导致水质发生变化。据报道[49]，与人类活动相关的区域主要离子的浓度最高，森林覆盖区域无机离子的浓度最低，可维持水质不变，农田覆盖区域对 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 浓度有显著影响，城市用地会对 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 HCO_3^- 产生影响。非渗透性土地覆被类型如居民、商业、工业和交通等人类活动量较多，BOD、COD 和油脂等的浓度比人类活动量较少的地方高[50]。

土地利用/覆被的季节性变化和位置变化极大地影响着河流水质。而景观在时间尺度上对水质的影响则主要体现在季节性变化和年际间的变化[51]。Wilson & Weng [50]也提出，地表水质量取决于 LUCC 的时空变化程度。点源污染不仅与农田中化肥、农药使用量、农田灌溉方式、耕作方式、地形条件等因子密切相关，而且在更大程度上将受到各种景观类型的空间分布格局的影响[52]。景观生态学的格局与过程理论解释了水体水质之间的空间差异性[53]。林地和农田对水体水质参数的浓度影响最大，是影响化学需氧量(COD_{Mn})、含沙量、总氮和电导率(EC)浓度的主要土地利用类型[54]。牧场的退化会导致水质的下降，突出了景观尺度上牧场的保护对水质管理的重要性[55]。景观的空间结构包括范围、分布、强度和人类土地利用频率等在决定自然的栖息地、水文过程和

营养物质循环方面起着重要作用。

森林覆被的总面积和空间分布影响着水的量和质。森林和水资源之间的复杂关系需引起科学家和社会公众的注意。森林与水资源的关系基于土地利用历史、地质、气候和地形等条件而变化[43]，因此，应慎重考虑流域内土地利用的转变，将其对水资源的影响最小化。

5. 研究展望

随着土地利用/覆被变化影响的加剧，水文过程发生了显著的变化，国内外学者已经意识到水文要素变异及其相应的水资源问题的重要性并开展了大量的研究。过去一段时期的研究已取得较大进展，得出许多结论和认识，但是，许多问题仍有待解决和加强研究。

1) 土地利用/覆被变化对水循环、水量、水质等水文要素的影响存在较大的时空差异，但受水文序列资料等条件的限制，较小时间尺度上的研究还有待加强。

2) 土地覆被变化对水文变量的影响有时是间接的，要揭示这些影响需从严格而精细的土地覆被分类和一系列统计学检验方面努力。目前国外具有较为完备的土壤分类与土地类型数据库，但是国外土壤分类系统与我国的并不一致，需要建立转换体系，并应逐步建立符合我国土壤分类体系的数据库。

3) 由于缺乏适当的方法和数据，跨越大流域的不同空间尺度来评估复杂的相互作用和累积行为，研究大流域的机制和过程存在困难[56]，将来应注重探讨水文过程影响的不确定性和敏感性分析方法，以及空间尺度上的扩展和转换对 LUCC 水文水资源效应的影响，加强机制和过程的研究。且目前的研究主要聚焦于洪水径流的变化，枯水径流的研究尚不多见，水文极值的研究还有待加强。

4) 目前 LUCC 的水文水资源响应研究未将水质、水量、水生态三者相统一，将三者结合的水生态承载力响应将是未来的一个研究方向。

参考文献 (References)

- [1] 王亚梅, 李忠武, 曾光明. 洞庭湖土地利用_覆被变化及洪涝灾害研究进展[J]. 四川环境, 2009, 28(5): 62-74.
WANG Yamei, LI Zhongwu, ZENG Guangming. Research progresses on land use and land cover change as well as flood disaster of Dongting Lake. Sichuan Environment, 2009, 28(5): 62-74. (in Chinese)
- [2] 李丽娟, 姜德娟, 李九一, 等. 土地利用_覆被变化的水文效应研究进展[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 211-224.
LI Lijuan, JIANG Dejuan, LI Jiuyi, et al. Advances in hydrological response to land use/land cover change. Journal of Natural Resources, 2007, 22(2): 211-224. (in Chinese)
- [3] LEGESSE, D., VALLET-COULOMB, C. and GASSE, F. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa case study South Central Ethiopi. Journal of Hydrology, 2003, 275: 67-85.
- [4] 万荣荣, 杨桂山. 流域 LUCC 水文效应研究中的若干问题探讨[J]. 地理科学进展, 2005, 24(3): 25-33.
WAN Rongrong, YANG Guishan. Discussion on some issues of hydrological effects of watershed land use and land cover change. Progress in Geography, 2005, 24(3): 25-33. (in Chinese)
- [5] 陈晓宏, 涂新军, 谢平, 等. 水文要素变异的人类活动影响研究进展[J]. 地球科学进展, 2010, 25(8): 800-811.
CHEN Xiaohong, TU Xinjun, XIE Ping, et al. Progresses in the research of human induced variability of hydrological elements. Advances in Earth Science, 2010, 25(8): 800-811. (in Chinese)
- [6] LIU, M. L., TIAN, H. Q., CHEN, G. S., et al. Effects of land-use and land-cover change on evapotranspiration and water yield in china during 1900-2000. Journal of the American Water Resources Association, 2008, 44(5): 1193-1207.
- [7] 李衡. 长江三角洲地区土地利用_覆被变化及其对洪灾孕灾环境的影响研究[D]. 南京大学, 2011.
LI Heng. Study on land use cover change and its impacts on flood disaster formative environment in the Yangtze River delta region. Nanjing University, 2011. (in Chinese)
- [8] 李滨勇. 松华坝水源区 LUCC 对地表径流影响的研究[D]. 云南师范大学, 2007.
LI Binyong. Study on the effect of land use/land cover change on surface runoff in Songhuaba water source conservation region. Yunnan Normal University, 2007. (in Chinese)

- [9] LIN, Y.-P., HONG, N.-M., CHIANG, L.-C., et al. Adaptation of land-use demands to the impact of climate change on the hydrological processes of an urbanized watershed. *International Journal of Environmental Research*, 2012, (9): 4083-4102.
- [10] BALDYGA, T. J., MILLER, S. N., DRIESE, K. L., et al. Assessing land cover change in Kenya's Mau Forest region using remotely sensed data. *African Journal of Ecology*, 2007, (46): 46-54.
- [11] CRUISE, J. F., LAYMON, C. A. and AL-HAMDAN, O. Z. Impact of 20 years of land-cover change on the hydrology of streams in the southeastern United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 2010, 46(6): 1159-1170.
- [12] BADAR, B., ROMSHOO, S. A. and KHAN, M. A. Modelling catchment hydrological responses in a Himalayan Lake as a function of changing land use and land cover. *Journal of Earth System Science*, 2013, 122(2): 433-449.
- [13] MAALIM, F. K., MELESSE, A. M., BELMONT, P., et al. Modeling the impact of land use changes on runoff and sediment yield in the Le Sueur watershed, Minnesota using Geo WEPP. *Catena*, 2013, 107: 35-45.
- [14] NADAL-ROMERO, E., LASANTA, T. and GARCÍA-RUIZ, J. M. Runoff and sediment yield from land under various uses in a Mediterranean mountain area long-term station. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2013, 38(4): 346-355.
- [15] 杨艳昭, 张伟科, 封志明, 等. 土地利用变化的水土资源平衡效应研究——以西辽河流域为例[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(3): 437-449.
YANG Yanzhao, ZHANG Weike, FENG Zhiming, et al. Land use change induced land and water resources balance—A case study on the Xiliaohe watershed. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(3): 437-449. (in Chinese)
- [16] MISHRA, V., CHERKAUER, K. A., NIYOGI, D., et al. A regional scale assessment of land use/land cover and climatic changes on water and energy cycle in the upper Mid West United States. *International Journal of CLIM*, 2010, 30(13): 2025-2044.
- [17] 翟春玲, 余钟波, 杨传国, 等. 极端土地覆被情景下的水文响应模拟[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2011, 50(4): 127-133.
ZHAI Chunling, YU Zhongbo, YANG Chuanguo, et al. Modeling of hydrologic responses on extreme land cover scenarios. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2011, 50(4): 127-133. (in Chinese)
- [18] ZHANG, X. N., LIU, Y. Y., FANG, Y. H., et al. Modeling and assessing hydrologic processes for historical and potential land cover change in the Duoyingping watershed, southwest China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2012, 53/54: 19-29.
- [19] 张殿君. SEBAL 模型区域优化及蒸散量与土地利用_覆被变化关系研究[D]. 北京林业大学, 2011.
ZHANG Dianjun. SEBAL Model Improved and study on the relationship between ET and LUCC. Beijing Forestry University, 2011. (in Chinese)
- [20] 袁飞. 考虑植被影响的水文过程模拟研究[D]. 河海大学, 2006.
YUAN Fei. Hydrological processes modeling considering the effect of vegetation. Hehai University, 2006. (in Chinese)
- [21] 金翠, 张柏, 宋开山, 等. 土地利用/覆被变化对区域蒸散发影响的遥感分析_以吉林省乾安县为例[J]. *干旱区研究*, 2009, 26(5): 734-743.
JIN Cui, ZHANG Bai, SONG Kaishan, et al. RS-based analysis on the effects of land use/cover change on regional evapotranspiration. *Arid Zone Research*, 2009, 26(5): 734-743. (in Chinese)
- [22] LIU, Y. L., ZHUANG, Q. L., CHEN, M., et al. Response of evapotranspiration and water availability to changing climate and land cover on the Mongolian Plateau during the 21st century. *Global and Planetary Change*, 2013, 108: 85-99.
- [23] SRIWONGSITANON, N., TAESOMBAT, W. Effects of land cover on runoff coefficient. *Journal of Hydrology*, 2011, 410(3-4): 226-238.
- [24] SHI, P. J., YUAN, Y., ZHENG, J. A., et al. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. *Catena*, 2007, 69(1): 31-35.
- [25] 朱丽, 秦富仓, 姚云峰. 华北土石山区土地利用/土地覆被变化的水文响应研究_以张家口云州水库流域为例[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(6): 224-228.
ZHU Li, QIN Fucang, YAO Yunfeng. Response of land use change to hydrological dynamics in Rocky Mountain area of north China—Based on Yunzhou reservoir of Zhangjiakou. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16(6): 224-228. (in Chinese)
- [26] 田鹏. 气候与土地利用变化对径流的影响研究[D]. 西北农林科技大学, 2012.
TIAN Peng. Impacts of climate and land use change on streamflow—A case study in the Poyang lake basin. Northwest A & F University, 2012. (in Chinese)
- [27] SANTILLAN, J., MAKINANO, M. and PARINGIT, E. Integrated landsat image analysis and hydrologic modeling to detect impacts of 25-year land-cover change on surface runoff in a Philippine watershed. *Remote Sensing*, 2011, 3(6): 1067-1087.
- [28] 杨宏伟, 许崇育. 东江流域典型子流域土地利用/覆被变化对地表径流影响[J]. *湖泊科学*, 2011, 23(6): 991-996.
YANG Hongwei, XU Chongyu. Effect of LUCC on runoff of three representative watersheds in Dongjiang river basin. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(6): 991-996. (in Chinese)

- [29] NIEHOFF, D., FRITSCH, U. and BRONSTERT, A. Land-use impacts on storm-runoff generation: Scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. *Journal of Hydrology*, 2002, 267(1-2): 80-93.
- [30] LAN, C., DENNIS, P. L., MARINA, A., et al. Effects of a century of land cover and climate change on the hydrology of the Puget Sound basin. *Hydrological Processes*, 2009, 23(6): 907-933.
- [31] GUO, H., HU, Q. and JIANG, T. Annual and seasonal stream flow responses to climate and land cover changes in the Poyang Lake basin, China. *Journal of Hydrology*, 2008, 355(1-4): 106-122.
- [32] WARBURTON, M. L., SCHULZE, R. E. and JEWITT, G. P. W. Hydrological impacts of land use change in three diverse South African catchments. *Journal of Hydrology*, 2012, 414-415: 118-135.
- [33] PETCHPRAYOON, P., BLANKEN, P. D., EKKAWATPANIT, C., et al. Hydrological impacts of land use/land cover change in a large river basin in central-northern Thailand. *International Journal of Climatology*, 2010, 30(13): 1917-1930.
- [34] 万荣荣, 杨桂山. 流域土地利用/覆被对洪峰的影响研究_以太湖上游西苕溪流域为例[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(2): 318-327.
WAN Rongrong, YANG Guishan. The influence of land-use and land-cover on flood peak—A case study of Xitiao River basin in the headwater region of Taihu lake. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(2): 318-327. (in Chinese)
- [35] 于静. 大清河流域土地利用/覆被变化对洪水径流影响问题的研究[D]. 天津大学, 2008.
YU Jing. Study on effects of land-use and land-cover change on flood in Daqinghe river basin. Tianjin University, 2008. (in Chinese)
- [36] 高俊峰. 太湖流域土地利用变化及洪涝灾害响应[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(2): 150-156.
GAO Junfeng. Flood response to land use change in Taihu lake basin. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 150-156. (in Chinese)
- [37] 陈军锋, 李秀彬. 土地覆被变化的水文响应模拟研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 833-836.
CHEN Junfeng, LI Xiubin. Simulation of hydrological response to land-cover changes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5): 833-836. (in Chinese)
- [38] 林峰. 晋江西流域土地利用_覆被变化的洪水响应研究[D]. 福建师范大学, 2010.
LIN Feng. Flood response to land-use and land-cover change in the Xixi watershed of Jinjiang river. Fujian Normal University, 2010. (in Chinese)
- [39] LI, J. Z., FENG, P. and WEI, Z. Z. Incorporating the data of different watersheds to estimate the effects of land use change on flood peak and volume using multi-linear regression. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2013, 18(8): 1183-1196.
- [40] OLANG, L. O., FURST, J. Effects of land cover change on flood peak discharges and runoff discharges and runoff volumes: Model estimates for the Nyando River Basin, Kenya. *Hydrological Processes*, 2011, 25(1): 80-89.
- [41] NERIS, J., JIMÉNEZ, C., FUENTES, J., et al. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena*, 2012, 98: 55-62.
- [42] 赵峰. 吉林省中部土地利用/覆被变化对水资源环境影响研究[D]. 吉林大学, 2005.
ZHAO Feng. Research on influence of land use/cover change on water resource and environment in central Jilin province. Jilin University, 2005. (in Chinese)
- [43] NAGY, R. C., LOCKABY, B. G., HELMS, B., et al. Water resources and land use and cover in a humid region: The southeastern United States. *Journal of Environmental Quality*, 2011, 40(3): 867-878.
- [44] SINGH, S., MISHRA, A. Spatio temporal analysis of the effects of forest covers on water yield in the Western Ghats of peninsular India. *Journal of Hydrology*, 2012, 446-447: 24-34.
- [45] 陈军锋, 李秀彬. 森林植被变化对流域水文影响的争论[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 474-480.
CHEN Junfeng, LI Xiubin. The impact of forest change on watershed hydrology—Discussing some controversies on forest hydrology. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 474-480. (in Chinese)
- [46] MOLINA, A., VANACKER, V., BALTHAZAR, V., et al. Complex land cover change, water and sediment yield in a degraded Andean environment. *Journal of Hydrology*, 2012, 472/473: 25-35.
- [47] 唐丽霞, 张志强, 王新杰, 等. 晋西黄土高原丘陵沟壑区清水河流域径流对土地利用与气候变化的响应[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(7): 800-810.
TANG Lixia, ZHANG Zhiqiang, WANG Xinjie, et al. Stream flow response to climate and land use changes in Qingshui River watershed in the loess hilly-gully region of Western Shanxi Province, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(7): 800-810. (in Chinese)
- [48] SUN, G., MCNULTY, S. G., LU, J., et al. Regional annual water yield from forest lands and its response to potential deforestation across the southeastern United States. *Journal of Hydrology*, 2005, 308(1-4): 258-268.

- [49] BAHAR, M. M., OHMORI, H. and YAMAMURO, M. Relationship between river water quality and land use in a small river basin running through the urbanizing area of central Japan. *Limnology*, 2008, 9(1): 19-26.
- [50] WILSON, C., WENG, Q. H. Assessing surface water quality and its relation with urban land cover changes in the lake calumet area, Greater Chicago. *Environmental Management*, 2010, 45(5): 1096-1111.
- [51] HUANG, J. L., KLEMAS, V. Using remote sensing of land cover change in coastal watersheds to predict downstream water quality. *Journal of Coastal Research*, 2012, 28(4): 930-944.
- [52] 陈利顶, 傅伯杰, 张淑荣, 等. 异质景观中非点源污染动态变化比较研究[J]. *生态学报*, 2002, 22(6): 808-816.
CHEN Liding, FU Bojie, ZHANG Shurong, et al. Comparative study on the dynamics of non-point source pollution in a heterogeneous landscape. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 808-816. (in Chinese)
- [53] 郭青海, 马克明, 张易. 城市土地利用异质性对湖泊水质的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 776-787.
GUO Qinghai, MA Keming, ZHANG Yi. Impact of land use pattern on lake water quality in urban region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 776-787. (in Chinese)
- [54] 李艳利, 徐宗学, 李艳粉, 等. 辽河流域水质状况及其对土地利用/覆被变化的响应[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(2): 72-77.
LI Yanli, XU Zongxue, LI Yanfen, et al. Water quality in Liaohe river basin and its response to land use and land cover change. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(2): 72-77. (in Chinese)
- [55] BATENI, F., FAKHERAN, S. and SOFFIANIAN, A. Assessment of land cover changes & water quality changes in the Zayandehroud River Basin between 1997-2008. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, 185(12): 10511-11051.
- [56] WEI, X. H., LIU, W. F. and ZHOU, P. C. Quantifying the relative contributions of forest change and climatic variability to hydrology in large watersheds a critical review of research methods. *Water*, 2013, 5(2): 728-746.