

Water Production Change Analysis for River Basins Water Network under Influence of Human Activities

Yuzhen Zhang^{1,2}, Zhijun Yan^{2*}, Haitao Zhao³, Yueping Tang⁴, Huirong Wang², Chunxiao Xu²

¹Nanchang Institute of Technology, Nanchang Jiangxi

²State Key Laboratory of Hydrology and Water Resources and Hydraulic Engineering Science, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing Jiangsu

³Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

⁴Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology, Nanjing Jiangsu

Email: xiaohan891020@163.com, zjyan@nhri.cn

Received: Jul. 25th, 2015; accepted: Aug. 6th, 2015; published: Aug. 18th, 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

Water production change of hydrographic net area watershed is mainly caused by climate (precipitation, evaporation) changes and underlying surface (land use) changes. Climate change impacts on water yield significantly on a long-time scale, but in the short term, due to the rapid economic and social development, human activity alters the spatial patterns and processes of natural water cycle and adds the complexity of formation and changes in water production. Underlying surface change is one of the main drivers that influence water yield. This paper established water production model in plain hydrographic net area with four types of underlying surface, which are paddy fields, dry and non-arable land, construction land and water. It took Tai Lake basin as an example to analyze the variation of water production and runoff modulus in different periods since the foundation of the People's Republic of China, and the relationship between water production and land area. This article concluded the effect of changing in the underlying surface on spatial distribution of water resources.

Keywords

Human Activity, Water Network, Underlying Surface, Water Production Change

作者简介: 张玉珍(1989-), 女, 河南濮阳人, 硕士研究生, 主要从事水资源管理、水生态等方面相关研究工作。

*通讯作者。

文章引用: 张玉珍, 颜志俊, 赵海涛, 唐跃平, 王会容, 徐春晓. 人类活动环境影响下流域水网区产水量变化分析[J]. 水资源研究, 2015, 4(4): 353-359. <http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2015.44043>

人类活动环境影响下流域水网区产水量变化分析

张玉珍^{1,2}, 颜志俊^{2*}, 赵海涛³, 唐跃平⁴, 王会容², 徐春晓²

¹南昌工程学院, 江西 南昌

²南京水利科学研究所, 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京

³扬州大学, 江苏 扬州

⁴水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京

Email: xiaohan891020@163.com, zivan@nhri.cn

收稿日期: 2015年7月25日; 录用日期: 2015年8月6日; 发布日期: 2015年8月18日

摘要

流域平原水网区产水量变化的主要影响因素表现为气候(降水量、蒸发量)和下垫面(土地利用)的改变, 在较长时期尺度上, 气候变化对产水量的影响明显, 但在短时期内, 由于经济社会快速发展, 人类活动改变了水自然循环的空间格局和演变过程, 加剧了产水量形成与变化的复杂性, 下垫面变化是产水量变化的重要驱动因素之一。本文建立包括水田、旱地及非耕地、建设用地和水面四种下垫面类型的流域平原水网区产水量模型, 以太湖流域为例, 分析建国以来不同时期下垫面的产水量和产水模数变化、产水量与面积之间的关系, 得出下垫面变化对水资源量空间分布的影响等结论。

关键词

人类活动, 水网区, 下垫面, 产水量变化

1. 人类活动影响流域水网区产水量要素

人类活动对水资源的影响, 一是表现在气候的影响使降水量和蒸发量发生变化, 二是改变流域下垫面条件使产水量发生变化, 三是开采地下水资源。针对流域水网地区人类活动重点、作用强度以及影响程度, 本文重点分析人类活动改变流域平原水网区下垫面条件下的产水量变化, 目前, 国际上研究机构已把下垫面条件变化(土地利用变化)的水文响应作为全球变化的重要研究内容之一。

影响流域平原水网区产水量变化的人类活动主要有城镇化率增长、耕地减少、建设用地增加、圩区扩大增多、湖泊围垦等, 将流域平原水网区下垫面划分为水田、旱地(包括非耕地)、城镇建设用地和水面四种土地利用方式的类型, 基本上可以从产流特点上反映区域下垫面的变化情况, 按四种下垫面采用相应的模型分别计算可得到相应的地表水产水量。

2. 流域产汇流模型进展

目前, 国内外产汇流概念性模型的数量较多, 主要有 N.H.Crowford 和 R.K.Linsley 的 Stanford (斯坦福)模型(后来发展为 Hydrocomp 模型), 美国天气局的 Sacramento (萨克拉门托)模型, Sugawara 的 Tank (水箱)模型, 赵人俊的新安江模型[1], J.E.Nash 和 J.N.Sutcliffe 的英国水文研究所模型, 美国农业水文实验室的 Usdahl 模型, 以及 Boughton 模型, M.J.Kirkby 模型, J.L.Marivoet 模型[2]等。这些模型大多是针对山丘区流域的特点设计的, 其产水结构采用了基于 Horton 产水理论和山坡水文学产水理论, 这些模型并不能完全适用于平原水网地区的产

水特点。由于平原水网地区下垫面条件以及产汇流机制的复杂性，长期以来平原水网地区产水模型的研究相对落后于对山丘区产水模型的研究。近年来国内外对平原水网地区的产汇流计算方法做了许多探索，但主要是以流域防洪调度为目的，高俊峰对太湖流域 1986 年以来由于土地利用变化造成的汛期产水量进行了分析[3]，但由于计算历限于 5~9 月的汛期，下垫面变化后对非汛期产水量的影响没有考虑。

3. 流域水网区产水量模型

在自然条件下，如果流域平原水网区内无大的蓄水和取水工程的影响，一次降雨一般都能在一个月內转化为径流或被蒸发，仅有小部分仍滞留在土壤中，因此，在月水量平衡模型中已没有区别产水与汇流的必要，较之日径流过程，月径流过程已经概化掉了存在于较短时间尺度的一些随机不确定因素，土壤-植被-大气系统之间的相互作用，相互反馈使得月降雨、月蒸发、月径流这三个水文变量之间的相关关系更加密切。

3.1. 水面产水量计算

水面产水量为降雨量与蒸发量之差，即：

$$R_w = P - K_e \times E_o \quad (1)$$

式中：为时段(月)水面产水量(mm)，为时段(月)降雨量(mm)，为蒸发皿折算系数，为时段(月)蒸发皿蒸发量(mm)。

因为实际产水量是没有负值概念的，当时段蒸发量大于时段降雨量时，水面产流应为 0。但由于蒸发消耗了水体水量，对时段水量平衡是有影响的，将蒸发消耗的水体水量作为水体亏水量，即：

$$W_w = K_e \times E_o - P \quad (2)$$

式中，为水体亏水量，其他符号意义同前。

3.2. 城镇建设区产水量计算

城镇建设区特点是下垫面透水性较差，产水量可简单表示为降雨量乘以径流系数，即：

$$R_l = C_l \times P \quad (3)$$

式中：为时段(月)城镇建设区产水量(mm)，为径流系数，为时段(月)降雨量(mm)。

3.3. 水田产水量计算

在水稻生育期各个时段内，水田水分的变化可以用水量平衡方程表示为：

$$P + M - E - D = \Delta H \quad (4)$$

式中：为时段(月)降雨量(mm)，为时段(月)灌溉水量(mm)，为时段(月)田间需水量(mm)，为时段内(月)排水量(mm)，为时段(月)内水田水层深度变幅(mm)。

水稻生育期田间需水量包括植株蒸腾量、棵间蒸发量、土壤渗漏量。因此式可改写为：

$$P + M - \alpha \times K_e \times E_o - F - D = \Delta H \quad (5)$$

式中：为水稻需水系数，为蒸发皿折算系数，为时段(月)蒸发皿蒸发量(mm)，为时段(月)渗漏量(mm)，其他符号意义同前。

为了不影响水稻的正常生长，必须使水田水层深度的变化维持在一定范围内，低于水深下限则需及时灌溉，超过水深上限则需及时排水，月内水田水层变幅和其他各项相比数值较小，可以忽略，则：

$$P + M - \alpha \times K_e \times E_o - F - D = 0 \quad (6)$$

水田的产水由排水及渗漏形成的壤中径流两部分组成。在自然条件下，渗漏量在一个月內基本能从土壤中流出，可以不考虑土壤蓄水量的变化，因此有：

$$G = F \quad (7)$$

$$R_R = D + G = P + M - \alpha \times K_e \times E_o \quad (8)$$

式中：为时段(月)壤中径流量(mm)，为时段(月)水田产水量(mm)，其他符号意义同前。

灌溉水量来自当地水或外流域引水，由于这部分水量已经作为产水量计算，应从水田产水量中扣除以免重复计算。综上所述，时段(月)水田产水量为：

$$R_R = P - \alpha \times K_e \times E_o \times D_p \quad (9)$$

式中：为月内雨日率，其他符号意义同前。

3.4. 旱地及非耕地产水量计算

在平原河网地区，尤其是在水田占较大比重的情况下，地下水位较高，土壤含水量易于得到补充，可以采用蓄满产流公式计算，公式如下：

$$EE = EM \times \frac{W_D}{WM} \quad (10)$$

$$WMM = WM \times (1 + B) \quad (11)$$

$$A = WMM \times \left[1 - \left(1 - \frac{W_D}{WM} \right)^{\frac{1}{1+B}} \right] \quad (12)$$

当 $P - EE \leq 0$ 时，不产水，则：

$$R_D = 0 \quad (13)$$

当 $P - EE + A < WMM$ 时，产水量为：

$$R_D = P - EE - (WM - W_D) + WM \times \left(1 - \frac{P - EE + A}{WMM} \right)^{(1+B)} \quad (14)$$

当 $P - EE + A \geq WMM$ 时，产水量为：

$$R_D = P - EE - (WM - W_D) \quad (15)$$

式中： R_D 为时段(月)旱地产水量(mm)， EE 为时段(月)旱地蒸发量(mm)， EM 为时段(月)蒸散发能力(mm)， W_D 为时段(月)初始旱地土壤含水量(mm)， WM 为流域平均蓄水容量，即土层最大可能缺水量(mm)， B 为蓄水容量曲线指数。

3.5. 分区总产水量计算

各个分区的总产水量为各种下垫面产水量乘以相应的面积后相加，即：

$$R_S = A_w R_w + A_l R_l + A_R R_R + A_D R_D \quad (16)$$

式中： R_S 分区的总产水量(mm)， A_w 、 A_l 、 A_R 、 A_D 分别为水面、城镇建设区、水田及旱地面积的权重。

4. 太湖流域水网区产水量变化分析

4.1. 太湖流域水网

太湖流域水网河道总长约 12 万 km，河道密度达 3.25 km/km²，河流纵横交错，湖泊密布，是全国河道密度最大的水网区。流域内河道水系以太湖为中心，上游主要为西部的苕溪水系、南河水系及洮漏水系等，下游主

要为东部黄浦江水系、北部沿江水系和南部沿杭州湾水系。京杭运河穿越流域腹地及下游诸水系，全长 312 km (见图 1)。

4.2. 流域下垫面变化

人多地少一直是太湖流域经济社会可持续发展中面临的主要压力之一，流域平原水网区下垫面变化呈现耕地数量减少和建设用地增加的基本格局，下垫面情况见表 1。水田面积 2010 年比 1950 年增加了 6.2%，与 1980 年相比减少了 3.2%；旱地及非耕地减少幅度较大，到 1980 年减少了 11.4%，到 2000 年减少了 22.2%；建设用地快速增长 2010 年比 1950 年增加了 158.9%，比 1980 年增加了 74.7%；水域面积有所减少，主要是湖泊、滩地等围垦所致，2010 年比 1950 年减少 14.8%，比 1980 年减少 10.1%。

4.3. 流域水网区产水量变化

根据太湖流域 1956~2010 年降水量系列资料，采用“流域水网区产水量模型”，计算得出 1950 年、1980 年和 2010 年太湖流域下垫面条件下的多年平均产水量(见表 2)。

1950 年、1980 年和 2010 年太湖流域下垫面条件下的产水量分别为 151.2 亿 m^3 、155.1 亿 m^3 和 161.4 亿 m^3 。1980 年产水量比 1950 年增加了 3.9 亿 m^3 ，增长约 2.6%；2000 年产水量比 1980 年增加了 6.3 亿 m^3 ，增长约 4.1%。

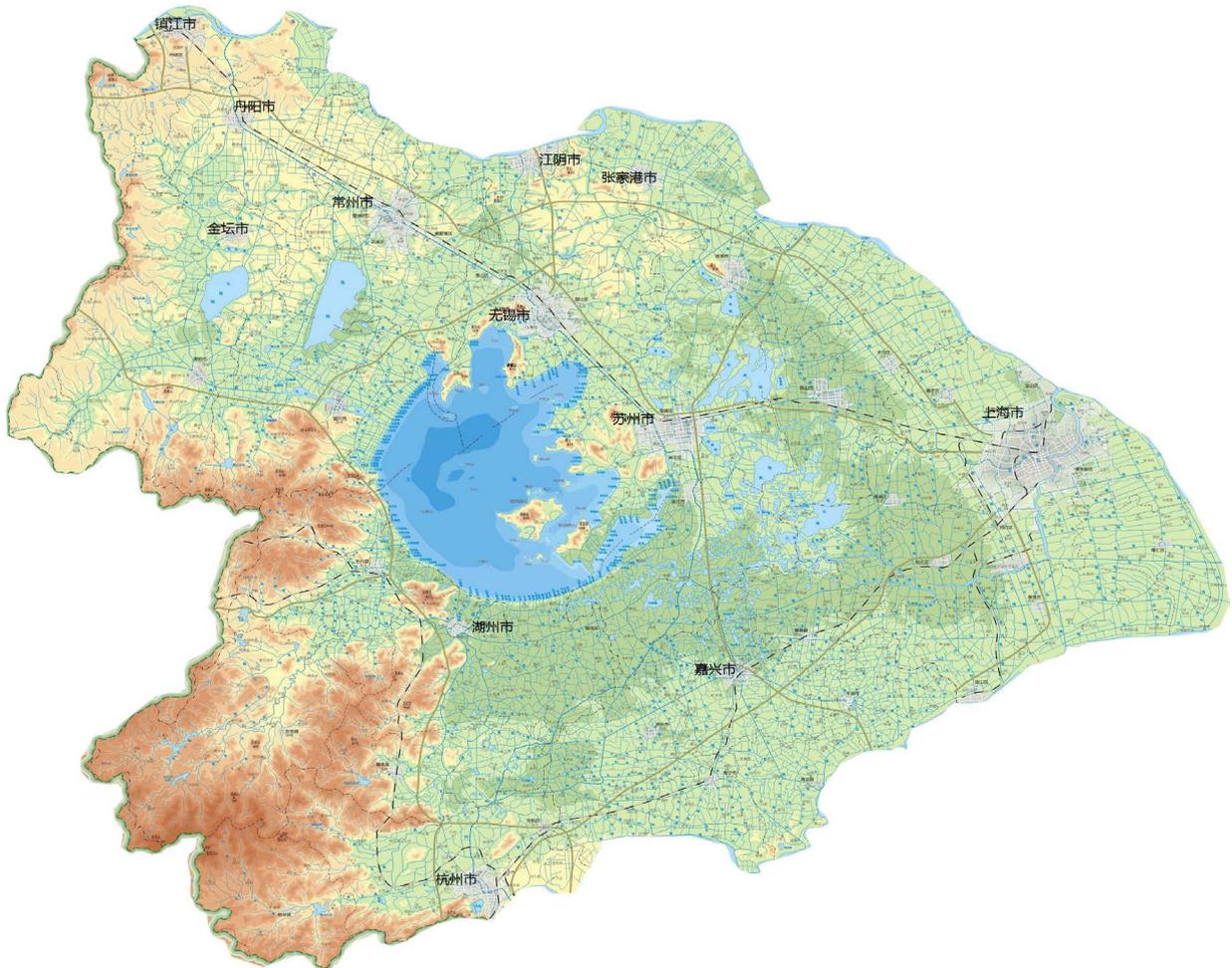


Figure 1. Taihu basin water network schematic
图 1. 太湖流域水网示意图

从表 2 明显看出，流域产水量的增加，主要是城镇建设用地的产水量增长较大。1980 年产水量比 1950 年增加了 7.3 亿 m³，增长约 51.4%；2010 年比 1980 年增加了 16.1 亿 m³，增长约 74.9%；旱地及非耕地产水量，随着面积的减小，其产水量相应减少。1980 年产水量比 1950 年增加减小 4.3 亿 m³；2010 年比 1980 年减小了 7.4 亿 m³；水域的产水量，随着面积的减小，其产水量也相应减少。水田的产水量，由于面积变化不大，所以产水量变化也不大；人类活动使得流域下垫面发生了变化，流域产水量随之发生变化，但总体来看，由于人类活动所造成的产水量变化不是太大，1950 年以来流域产水量增长了 6.7%。

4.4. 不同下垫面产水模数及关系分析

2010 年下垫面情况下，太湖流域面积 36,895 km²，相应的产水量 161.4 亿 m³，流域综合平均产水模数为 43.7 万 m³/km²，其中建设用地产水模数 59 万 m³/km²最大，其次水田产水模数 45.7 万 m³/km²，然后旱地及非耕地 41.1 万 m³/km²，水面 29 万 m³/km²最小。

太湖流域四种下垫面的产水量与面积之间呈极强的线性关系，相关系数达 0.95 以上(见图 2)。

Table 1. Underlying changes in the Taihu basin
表 1. 太湖流域下垫面变化情况

| 下垫面 | 面积 | 1950 年 | 1980 年 | 2010 年 |
|-----------------------|----------------------|--------|--------|--------|
| 水田 | 面积(km ²) | 10,880 | 11,930 | 11,558 |
| | 占总面积比例(%) | 29.5 | 32.4 | 31.3 |
| 旱地及非耕地 | 面积(km ²) | 16,950 | 15,010 | 13,183 |
| | 占总面积比例(%) | 45.9 | 40.7 | 35.7 |
| 建设用地 | 面积(km ²) | 2550 | 3780 | 6603 |
| | 占总面积比例(%) | 6.9 | 10.2 | 17.9 |
| 水面 | 面积(km ²) | 6515 | 6175 | 5551 |
| | 占总面积比例(%) | 17.7 | 16.7 | 15.1 |
| 总面积(km ²) | | 36,895 | 36,895 | 36,895 |

Table 2. Water production of Taihu River Basin water net (units: hundred million m³)
表 2. 太湖流域水网区产水量(单位: 亿 m³)

| 年份 | 水田 | 旱地及非耕地 | 建设用地 | 水面 | 产水量 |
|------|------|--------|------|------|-------|
| 1950 | 46.2 | 76.7 | 14.2 | 14.1 | 151.2 |
| 1980 | 49.8 | 71.0 | 21.5 | 12.8 | 155.1 |
| 2010 | 48.7 | 63.6 | 37.6 | 11.5 | 161.4 |

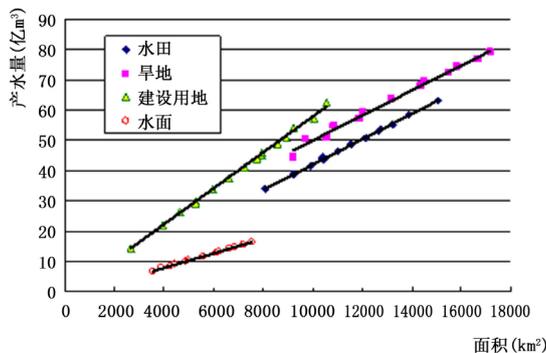


Figure 2. The relationship between the square and water production in Taihu River Basin
图 2. 太湖流域水网区产水量与面积的关系

从图 2 可以看出,太湖流域的四种下垫面产流量与面积的关系,产水量与面积成正比关系,面积增大,则产水量增加;面积减小,则产水量减少。其中建设用地产水量变化速率最大,水田、旱地及非耕地产水量变化速率次之,水面最小。随着太湖流域城镇化进程的加快,建设用地面积的扩展,相应耕地面积和水面的减小,流域产水量将会逐步增大。

5. 结论

1) 通过太湖流域下垫面变化下的产水量分析,下垫面变化对流域水网区总产水量影响不大,下垫面变更与产水量关系中,建设用地产水量变化率最大,水田、旱地及非耕地产水量变化率次之,水面产水量变化率最小。

2) 当水面、旱地和水田改为建设用地时,一般表现为增加了不透水层,使地表径流系数增大,会增加产水量;对水面改为水田,水面除蒸发外直接产流,并且作为调蓄面积,从产水量上来说,减少水面积,产水量是增加的;对旱地与非耕地改为水田,由于水田需要灌溉,尽管水稻蒸散腾发消耗水量,同时水田调蓄水量,但主要是消耗水田的灌溉水量(包括本地水和外来水),使的降雨在水田的排水增多,产水量增加。

3) 土地利用结构的改变还影响流域的产汇流过程,建设用地的增加使洪峰出现的时间提前,洪峰更高,洪涝过程缩短,洪量趋于集中;其次,可改变河流与河流、河流与湖荡之间的关系,影响洪水的排泄过程。

4) 土地利用结构发生变化,还会导致流域上下游水量空间分布和产流持续时间的变化。因为,绝大多数土地覆盖的变化都是由人类通过地表覆盖物的转化或改良而造成的,其目的是为了农业生产和居住。通过加强或者抑制渗透过程,会对水文过程产生显著影响,从而减少或者加快暴雨量的产生,造成水资源量在空间分布上的变化。

基金项目

“十二五”国家科技支撑计划课题(2013BAD21B03);水利部公益性行业科研专项经费项目(201301001);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y515016)。

参考文献 (References)

- [1] 赵人俊. 流域水文模拟——新安江模型与陕北模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
ZHAO Renjun. Watershed hydrological simulation—Xin'an River Three-Source Model and Northern Shanxi model. Beijing: Water Power Press, 1984. (in Chinese)
- [2] McCUEN, R. H. Hydrologic modeling. Prentice-Hall, USA, 1986.
- [3] 高俊峰, 闻余华. 太湖流域土地利用变化对流域产水量的影响[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 194-200.
GAO Junfeng, WEN Yuhua. The impact of the land use changes on Taihu River Basin. Geographical Sciences, 2002, 57(2): 194-200. (in Chinese)