

长江流域土地利用时空变化特征及其径流效应

徐 苏¹, 张永勇^{2,*}, 窦 明¹, 花瑞祥², 周宇建²

(1. 郑州大学水利与环境学院, 郑州 450001;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘 要:土地利用变化的径流效应是水循环研究中的重点内容之一。长江流域是中国最大的流域,土地利用变化及其径流效应分析是研究该流域径流演变、水旱灾害的基础。本文利用1980、1990、1995、2000、2005年五期土地利用数据,采用土地利用转移矩阵计算土地利用动态度、交换变量等指标,评价了长江流域土地利用的时空变化特征,识别关键变化区域及其变化原因。在此基础上,利用SCS模型的降水—径流方程,分析了土地利用变化的径流效应。研究表明:1980-2005年时期,长江流域土地转移活跃程度在第一(1980-1990年)和第四(2001-2005年)时期内明显高于1991-1995年和1996-2000年,中上游四川及其北部地区的活跃程度最大。1980-2005年期间水田、旱地、林地和草地面积变化幅度都在8%以内。但受不同时期环境保护和经济发展因素影响,耕地(水田和旱地)和林地、草地呈现相反的变化,而水域、未利用地和城镇用地相对变化较大;其中快速的城镇化导致城镇用地增幅最高,可达196.58%。土地利用变化直接导致流域的平均径流系数变大,变幅从-0.67%到0.80%,平均增幅0.05%,变化最显著的地区在城市化水平较高的长三角一带。径流系数的增加导致洪水发生的可能性增大。

关键词:土地利用;转移矩阵;交换变量;径流系数;SCS模型;长江流域

1 引言

土地利用变化是全球变化研究中的重要内容之一,而土地利用变化对流域水循环的影响一直是全球变化与水文学研究中的热点问题(夏军等, 2006)。伴随着全球变化的深入研究,土地利用变化得到广泛关注。土地利用变化不仅影响水文过程,也关系着生态环境和人类的可持续发展。因此,开展这方面的研究对于土地资源的合理利用,生态与环境的综合治理等具有重要意义。

自1995年国际地圈—生物圈计划(IGBP)和全球环境变化中人文领域计划(HDP)联合提出“土地利用和土地覆盖变化”(Land use and land cover

change, LUCC)研究计划以来,土地利用变化研究一直是全球变化研究的前沿热点课题(Tuner et al, 1995; Lambin et al, 1999, 2001; Geist et al, 2001; 李家洋等, 2005),到目前土地利用变化及其影响方面的研究已日益成熟。Brown等(2000)利用Landsat影像和马尔科夫转移矩阵分析了美国中西部的林地和非林地之间的变化。Shalaby等(2007)借助于遥感技术,解析了埃及西北海岸地区1987年和2001年两期土地覆盖图,发现旅游开发和农业生产使得该区域土地利用发生了很大改变。此外,土地利用变化并不仅限于面积变化的研究(施毅超等, 2008; Fan et al, 2016),如Langroodi等(2015)研究了土地利用/覆盖与地下水水质变化的关系;刘纪远等

收稿日期:2016-06;修订日期:2016-11。

基金项目:国家自然科学基金项目(41671024);中国科学院地理科学与资源研究所 优秀青年人才计划项目(2015RC201);中国科学院青年创新促进会项目(2014041) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41671024; “Bingwei” Excellent Talents in the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, No. 2015RC201; Youth Innovation Promotion Association, CAS, No. 2014041]。

作者简介:徐苏(1990-),男,硕士研究生,主要从事水文学及水资源领域研究,E-mail: xusu0925@163.com。

通讯作者:张永勇(1981-),男,湖北北京山人,博士,副研究员,主要从事环境水文学方面研究,E-mail: zhangyy003@igsrr.ac.cn。

引用格式:徐苏,张永勇,窦明,等. 2017. 长江流域土地利用时空变化特征及其径流效应[J]. 地理科学进展, 36(4): 426-436. [Xu S, Zhang Y Y, Dou M, et al. 2017. Spatial distribution of land use change in the Yangtze River Basin and the impact on runoff[J]. Progress in Geography, 36(4): 426-436.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.04.004

(2003, 2014)研究了20世纪80年代末以来中国土地利用的时空变化;多位科学家探索了基于土地转移矩阵探索土地利用演变历程(刘瑞等, 2010; 赵景辉等, 2012; 乔伟峰等, 2013)。可见,土地利用变化的研究趋于多元化。

长江流域是中国最重要的区域。随着经济发展,流域内土地利用发生巨大变化,泥石流和洪旱等灾害成为流域内生命财产和生态的巨大威胁,因此开展流域土地利用变化及其影响的研究极为重要。部分学者对流域内不同区域土地利用变化开展了较多研究,如郭冻等(2012)分析了长江源头地区海拔、坡度、坡向对草地退化的影响;权瑞松等(2009)探索了上海地区城市化对径流变化的影响。但针对全流域土地利用变化径流效应的相关研究较少,缺乏对流域整体土地利用动态变化的认知。本文利用1980年、1990年、1995年、2000年、2005年五期长江流域土地利用数据,在水资源三级分区尺度上利用多种土地利用变化指标深入评价了社会经济快速发展时期的1980-2005年土地利用变化的时空特征;在此基础上,运用与土地利用和径流系数均有紧密联系的径流曲线数,计算对比了各期径流系数的变化,分析了土地利用变化对流域径流的影响,研究结果可为长江流域径流情势演变、水资源安全等研究提供借鉴。

2 研究区域和研究方法

2.1 研究区域概况

长江流域(N24°27'-35°54', E90°33'-122°19')是中国第一大流域,横跨中国东、中、西部三大经济区共计19个省、自治区、直辖市,土地总面积约180万km²。流域内人口约占全国的30%,耕地占全国的1/4,农业生产值占全国农业总产值的40%,为全国重要的粮食基地。流域内水资源丰富,多年平均径流量约占全国河流径流总量的36%,为经济社会发展提供了重要的保障。长江流域地势西高东低,有高原、盆地、丘陵、平原等地形,土地利用较为复杂,因而研究其土地利用状况对流域内径流变化的影响分析、环境保护和经济发展等具有重要意义。为揭示流域内不同地区土地利用的时空变化特征,以水资源三级分区为依据,将全流域划分为45个小区,如图1所示。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用变化

(1) 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵用于展示土地转移的动向和数量,能详细反映某一时段内土地流转情况,常见的土地利用转移矩阵如表1。表中, A_i 表示第*i*种土地利用类型, S 代表面积。矩阵的行元素之和表

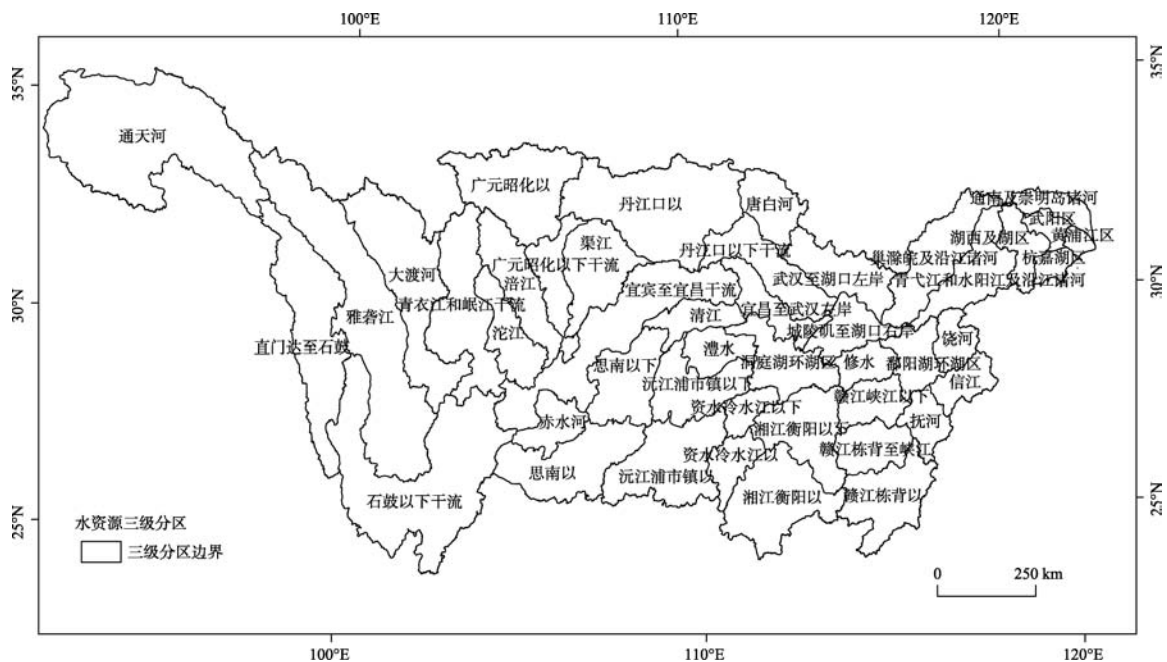


图1 长江流域三级分区图

Fig.1 Three-levels partition map of the Yangtze River Basin

表1 土地利用转移矩阵
Tab.1 Land use transition matrix

	A_1	A_2	...	A_i
A_1	S_{11}	S_{12}	...	S_{1n}
A_2	S_{21}	S_{22}	...	S_{2n}
...
A_i	S_{i1}	S_{i2}	...	S_{in}

示转移前该类土地的面积,某一列元素之和表示转移后该类用地的面积。 i, j 分别代表转移前后的用地类型,因此 S_{ij} 表示由 i 用地转移到 j 类用地的面积,矩阵对角线上的元素 $S_{ii}(i=j)$ 表示在研究期间第 i 类未变化的面积。通过土地利用转移矩阵可测度研究区内各类型的土地转移的方向和数量,作为分析土地变化的重要工具。

(2) 单项地类动态度

单项地类动态度(Land Use Dynamic Degree, LUDD),是指在研究期内某一类用地转化为其他类型用地与该地类转移初期面积的比值,反映该地类在转移期间的活跃程度。表达式如下:

$$LUDD_i = \frac{S_i - S_{ii}}{S_i} \frac{1}{T} \quad (1)$$

式中: i 为第 i 类型用地; S_i 为某地类转移前的面积; S_{ii} 为未发生转移的面积,单位为 km^2 ; T 为研究时间长度,根据研究区域的时间尺度选择不同的时间单位,本文中单位为年。

(3) 土地交换变化量

单项地类动态度仅揭示某类型用地在变化前后两期之间的面积净变化量,但不能完全反映地类的真实变化情况。例如,假设 A 类土地利用减少了 S 的面积,同时其他类的用地转化成 A 类用地面积也为 S ,假定其他类型没有转进或者转出,则该类用地的净变化量为0,此时用单项地类动态度并不能反映土地的实际交换情况,严重低估实际情况。因此本文用交换变化量来同时考虑某类用地转化为其他类型用地和其他类型用地转为该类型的面积之和,用 U 表示值的大小,计算公式如下:

$$U = \frac{S_A + S_C}{S_i} \quad (2)$$

式中: S_A 与 S_C 分别代表其他类型转为某一类型用地的面积和该类转为其他类型用地的面积, S_i 为转移前的面积。当交换变量值较大时说明研究区域内的土地利用活跃程度大,土地利用转移频繁。

2.2.2 土地利用变化的径流效应

为快速分析土地利用变化引起的径流变化,本文采用美国农业部土壤保持局开发的SCS水文模型。该模型中径流曲线数 CN 值与土地利用和径流系数均有紧密联系,从而可定量得到土地利用变化的径流效应。模型结构简单,输入参数少,广泛应用于不同尺度流域的径流模拟(史培军等, 2001; 张秀英等, 2003; 薛丽芳等, 2015)。SCS模型中的降雨—径流关系的表达式如下:

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - 0.2W)^2}{P + 0.8W}, & P \geq 0.2W \\ Q = 0, & P < 0.2W \end{cases} \quad (3)$$

式中: P 为降水量(mm); Q 是径流深(mm); W 为最大滞留量(mm); W 计算公式为:

$$W = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

式中: CN 为径流曲线数,反映降水前流域下垫面特征的综合参数,是一个无量纲参数。将公式(4)带入公式(3)中,整理得到径流系数 μ 为:

$$\begin{cases} \mu = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50.8\right)^2}{P\left(P + \frac{20320}{CN} - 203.2\right)}, & P \geq 0.2W \\ \mu = 0, & P < 0.2W \end{cases} \quad (5)$$

根据SCS模型定义, CN 值为土地利用类型、土壤类型、前期土壤湿润程度等下垫面因素的函数。一般来说,在降水量一定的条件下, CN 值越大产流量越大;在土壤状况相对稳定的情况下流域的 CN 值变化主要是由于土地利用变化造成的。长江流域多年平均降水量在 $400 \text{ mm} \sim 1600 \text{ mm}$ 之间,不同降水值条件下 CN 值与径流系数 μ 关系如图2所

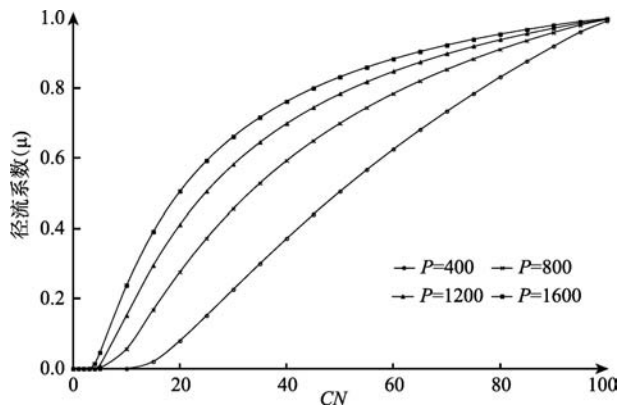


图2 径流曲线数(CN)值与径流系数(μ)关系曲线
Fig.2 Relations between curve number (CN) value and runoff coefficient in different precipitation conditions

示。从图中可以看出,在不同降水条件下 CN 和径流系数都呈正相关,因此通过计算 CN 值的变化可以快速推断径流系数的变化。

2.3 数据来源与处理

用于研究的土地利用数据来源较多,不同数据来源存在显著的差异性。因此为确保数据的一致性,文中选取了中国科学院资源环境科学数据中心基于Landsat TM/ETM遥感影像校准得到的1980年、1990年、1995年、2000年和2005年五期1:10万比例尺土地利用栅格图(图3)。这一时期也是中国经济社会发展最迅速,土地利用变化比较显著的阶段,研究该时段内的土地利用变化有重要意义。本文将1980-1990年作为第一个研究时期,1991-1995年为第二期,1996-2000年和2001-2005年分别为第三、四时期。在《全国土地分类标准》的基础上对研究区土地利用类型进行重新分类,划分为水田、旱地、林地、草地、水域、城镇用地和未利用土地7种用地类型。SCS模型提供了A、B、C和D组不同土壤类型,不同土地利用类型对应的 CN 值取值不同(表2),

其中A类为透水性很强的厚砂层、黄土层;B类为透水性较强的薄层黄土、沙壤土;C是透水中等的粘壤土等;D类是弱透水性的吸水后的膨胀土;上述4类土壤的产流能力依次增加。为快速计算长江流域径流系数变化,通过查阅资料(赵景辉等, 2012; 乔伟峰等, 2013),选取B组 CN 值进行计算。

3 结果与讨论

3.1 土地利用交换变量值

图4表明,第一和第四时期内活跃程度明显大于第二、三时期,第一、四时期的最大交换变量值分别为0.88、0.70,平均值分别为0.59和0.46;中间两期最大值为0.30,平均值分别为0.07和0.06。第一时期最大值出现在流域中部渠江、涪江区,最小值在源头通天河区和下游入海口一带。第二、三时期交换变量值分布地区较接近,最大值在江源区及金沙江段,其次在流域的中部地区,下游及以南地区交换变量值明显要小,在0.01~0.15之间。第四时期

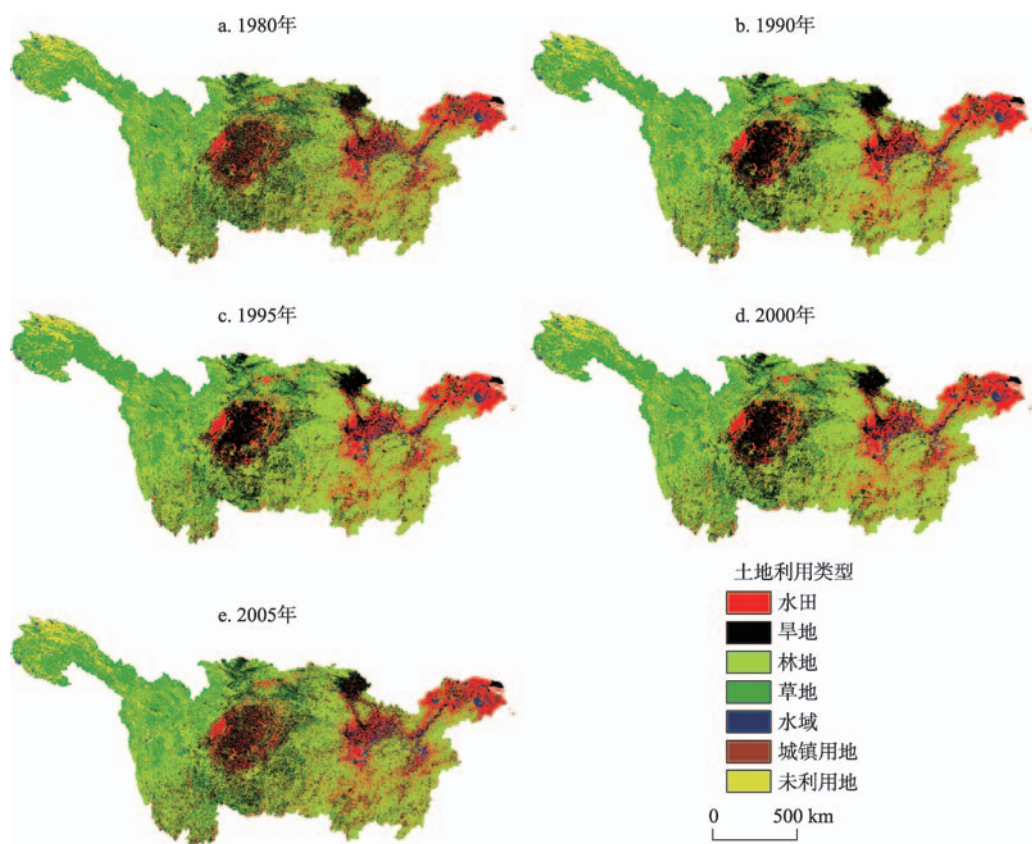


图3 1980-2005年长江流域五期土地利用类型分布

Fig.3 Land use maps of the Yangtze River Basin in five periods between 1980-2005

交换变量值明显大于中间两个时期,最大值出现在流域中部广元昭化和渠江区,上游地区活跃程度最小,多在0.22~0.33。流域的土地利用转移活跃程度

表2 4种不同土壤类型条件下CN值
Tab.2 Curve number (CN) values of four types of soil

土地利用类型	水文土壤组			
	A	B	C	D
水田	62	71	78	81
旱地	37	43	47	49
林地	25	55	70	77
草地	30	58	71	78
水域	98	98	98	98
建设用地	72	81	85	88
未利用地	76	85	94	94

经历了先减后增的变化,而地区分布上流域中上游地区的活跃程度比其他地区要高,流域中部四川一带活跃最明显。

3.2 各时期土地利用变化

各类型土地利用面积变化如表3所示。在第一个时期内林地和草地的面积分别增加了37212 km²和19336 km²,增幅分别为4.97%和4.48%;建设用地减少16476 km²,减幅70.59%,变幅是该期间最大的。中间时期面积变化值和变化率相对要小,其中草地在第二时期内增加11068 km²,第三时期减少9688 km²,变化幅度分别为2.52%和-2.15%;建设用地连续两个时期增加,先后增加2284 km²和1432 km²,增幅分别为32.39%和15.34%。其他几类

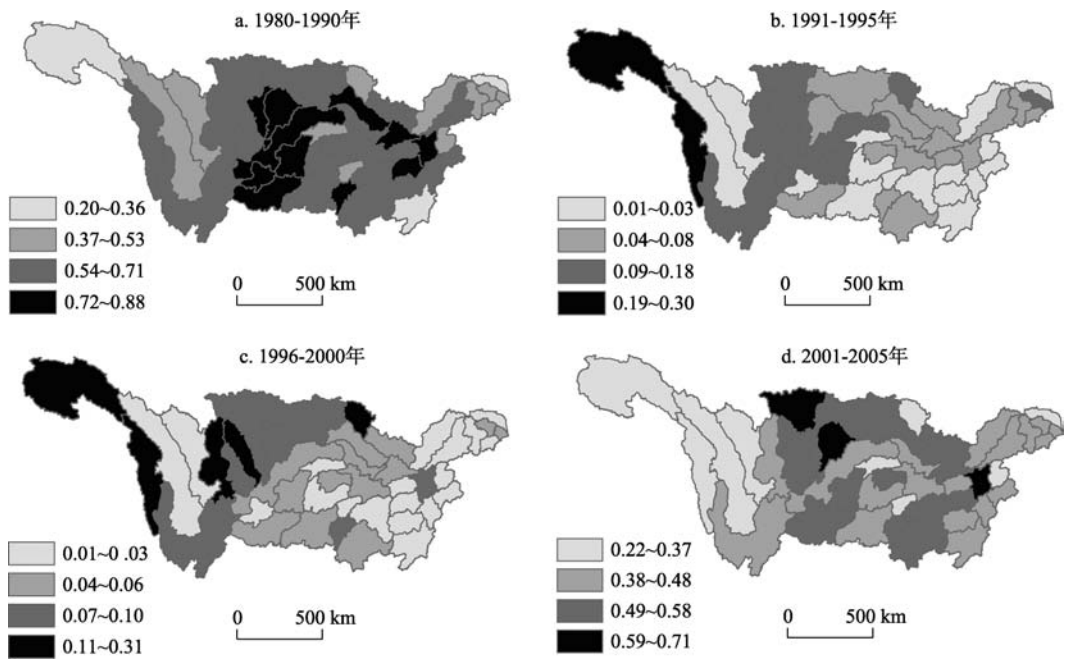


图4 交换变量值
Fig.4 Values of the swapping variables

表3 1980-2005年流域各类用地面积变化
Tab.3 Change in areas of different land use types of the Yangtze River Basin, 1980-2005

土地利用类型	1980-1990		1991-1995		1996-2000		2001-2005	
	面积变化/km ²	变化率/%	面积变化/km ²	变化率/%	面积变化/km ²	变化率/%	面积变化/km ²	变化率/%
水田	-6432	-2.24	-1612	-0.64	-2168	-0.87	1916	0.78
旱地	-18244	-7.01	-6048	-2.62	6040	2.68	15836	6.86
林地	37212	4.97	4320	0.56	-5568	-0.72	-34876	-4.52
草地	19336	4.48	11068	2.52	-9688	-2.15	-20880	-4.73
水域	-8220	-20.08	-508	-1.57	248	0.78	10800	33.82
建设用地	-16476	-70.59	2284	32.39	1432	15.34	21168	196.58
未利用地	-6820	-8.91	-9504	-13.64	9704	16.13	5660	8.12

先增后减或先减后增,除未利用地,其余的变化幅度都小于3%。第四时期内林地和草地面积减少最多,减幅分别为4.52%和4.73%;增幅最大的是建设用地,高达196.58%。研究期内耕地、水域和未利用地都呈增加的趋势变化,林地和草地面积先增后减,建设用地后3个时期持续增加,在各地类中变化最明显。这主要与中国自改革开放以来,城市化进程逐渐加快有关。

3.2.1 1980-1990年期间

该期间的土地利用变化相对于其他几个时期是最大的。水田在宜昌以下的多数地区呈增加趋势,其中环鄱阳湖区增幅最大(18%);宜昌以上的地区呈减少趋势,其中中部地区减少幅度最大(48%);源头到石鼓下地区减幅多在17%~34%。旱地在中上游地区增加明显,涪江等分区增加较多,澧水区增幅最大(75%),其余地区呈不同程度的减少。林地在中下游大部分地区增加,其中沅江和赣江一带增幅最大(14%),但入海口分区减少,且减幅最大(69%);上游地区呈减少趋势,减幅在0.5%~20%。草地在宜宾以上和中部的大部分地区呈增加趋势,增幅多在0.2%~19%;下游除通南区外,大多数地区减少,其中湘江赣江一带减少最明显。水域在流域内大部分分区都减少,只在城陵矶和汉江区增加,其中汉江区增加最大(29%);减少最多的在赤水河区(93%)。城镇用地仅在丹江口上等少数分区有增加,其中丹江口以上地区增幅最大(68%);其余地区减幅多在33%~63%。未利用地在冷水江和丹江口以上等分区增加,江源到石鼓、下游沿干流的一带减少1%~46%;流域中部清江、湘江等分区减幅最大,为46%~100%。受严重的水土流失等影响,流域耕地大部分变成未利用地或者转为林地草地,林地草地面积增加,环境保护问题受到重视。受篇幅

所限,图5仅展示变化幅度最大的城镇用地和未利用地类型。

3.2.2 1991-1995年期间

该期间水田仅在唐白河分区内增加44%,其余地区减少,在四川一带减幅最大(8%)。旱地在宜宾至宜昌段、澧水区和鄱阳湖环湖一带呈增加趋势,其中澧水区增幅最大(23%),其余地区减少,减幅多在0.4%~11%之间。林地在通天河和广元昭化一带及下游的青弋江区内减少,减幅最大在通天河区(33%),其余大部分地区增加0.4%~10%,最大增幅在沱江区(16%)。草地在流域大部分地区都增加,其中在广元昭化增幅最大(60%),在直门达、思南、丹江口区和湘江一带及下游减少,唐白河区减幅最大(41%)。水域在流域多数地区减少,减幅3%~10%,减少最多的在石鼓以下干流区(39%),在湘江、唐白河和丹江口区等地区增加。城镇用地在大渡河和沅江区减少,沅江区减少最多(50%),在源头区和入海口一带增加最明显,其余多数增幅55%~103%。未利用地在石鼓、涪江、丹江口下和湖西区内增加,丹江口下区增幅最大(80%),其余地区多数减幅1%~49%。这一期间耕地、水域、未利用地面积减少而林地草地增加,经济的发展促使城镇用地面积有明显增加,也加快了对未利用土地的开发和利用等。该期间部分土地利用变化如图6所示。

3.2.3 1996-2000年期间

1996-2000年期间水田在上游、中游南部区域和下游的干流沿途增加,其中涪江区增幅最大(9%),其余多数增加0.8%~5%;减少的地区分布在大渡河、丹江口和湘江区,其中唐白河区减幅最大(30%)。旱地在流域中部多数地区增加,增加0.5%~28%,其中增幅最大在通天河区(83%);雅砻江、澧水和修水鄱阳湖环湖区减少,其中减幅最大的在澧

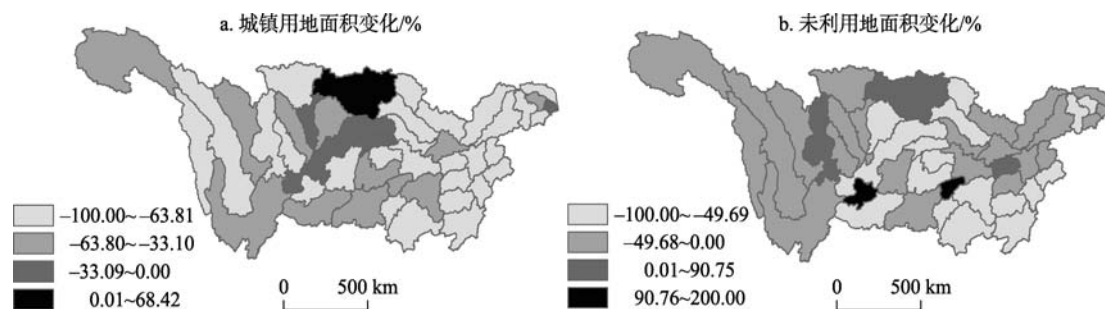


图5 1980-1990年城镇用地和未利用地面积变化

Fig.5 Change of urban land and unused land, 1980-1990

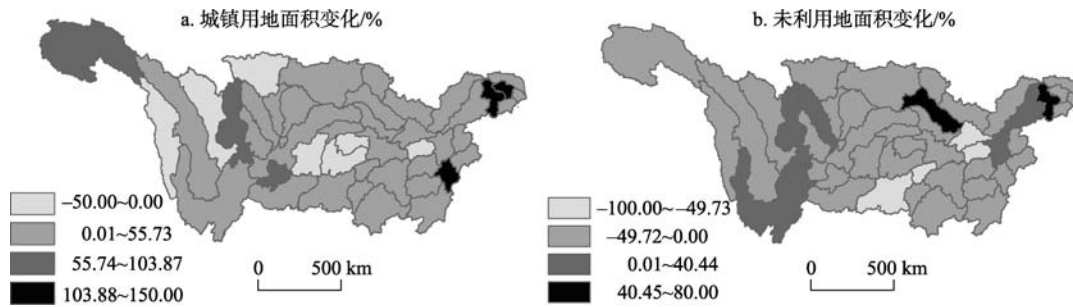


图6 1991-1995年城镇用地和未利用地面积变化

Fig.6 Change of urban land and unused land, 1991-1995

水区(19%)。林地仅在通天河和广元昭化区增加,其中通天河区增加47%,中上游多数地区减少0.1%~9%,而下游减少相对较多。草地在上游雅砻江四周、湘江以北和入海口地区呈增长趋势,增幅11%~23%,其中唐白河区增幅最大(36%);在广元昭化和湖西区减少明显。水域在沿干流区域增加,增幅52%~114%,其中广元昭化上区增加最多(180%);汉江区一带减少最明显,其中在唐白河区减少最多(38%)。城镇用地在通天河、赤水河及赣江区减少,其中赤水河区减幅最大(40%);其余地区都增加,其中思南以下区增加最多(173%)。未利用地在中上游支流和干流区内减少,其中在湘江区减幅最大(50%),赣江区内部分增幅43%~88%,沅江和湖口区增幅最大(100%)。由于该时期中国经济处于快速发展阶段,农业和城镇均发展迅速,出现了耕地和城镇用地明显增加的现象,因而也加重了对林地草地的破坏。追求最大的经济效益是驱动土地利用结构变化的重要因素。部分土地利用类型的变化如图7所示。

3.2.4 2001-2005年期间

该期间土地转移活跃度与第一期相似,土地转移量大,面积变化率高。水田在上游地区有小幅

增加,增幅1%~24%,中部增加明显,思南区增幅最大(78%);下游地区多数减少3%~15%,入海口区减少相对较多,其中武阳区减幅最大(22%)。旱地在通天河、清江、沅江、湘江区和下游的饶河区增幅相对较大,其中清江区增加最多(298%);沱江一带和渠江区减少明显,其中减幅最大的在涪江区(24%)。林地在源头到宜昌段和下游入海口一带增加,黄浦江区增幅最大(250%);宜昌以下到湖西区之间的地区减少0.3%~11%。草地在流域上游和中部宜宾至宜昌以南大片地区减幅在0.5%~55%,汉江、湘江区内增加明显,其中资水区增幅最大(61%)。其中黄浦江区减幅最大(100%);水域在整个流域都呈增加的趋势,多数增幅1%~144%。资水、赤水河区增加最明显,其中资水区增幅最大(700%)。城镇用地也是在整个流域呈增加趋势,其中宜昌以上的地区多数增幅在1%~166%,宜昌以下的区域增幅高达374%~573%,其中广元昭化区增幅最大(783%)。未利用地在多数地区增加0.4%~358%,而中部清江及丹江口以上地区减少明显,减幅多在0~50%。该时期土地利用增加最明显的是城镇用地,特别在经济发达的中下游地区,城镇化速度加快是其主要驱动力(图8)。

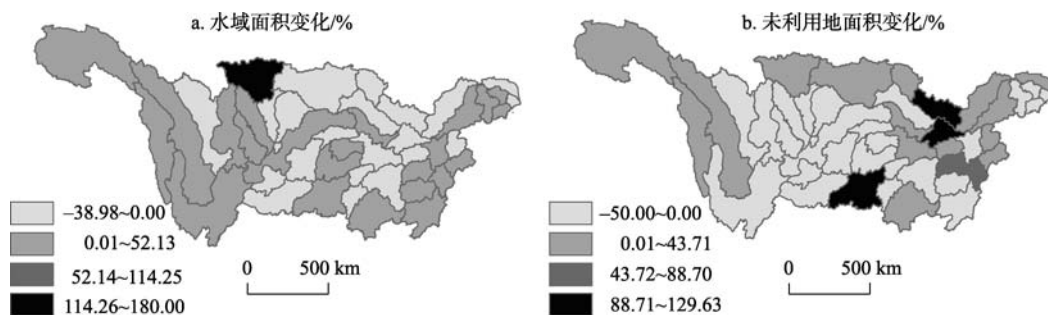


图7 1996-2000年水域和未利用地面积变化

Fig.7 Change of water body and unused land, 1996-2000

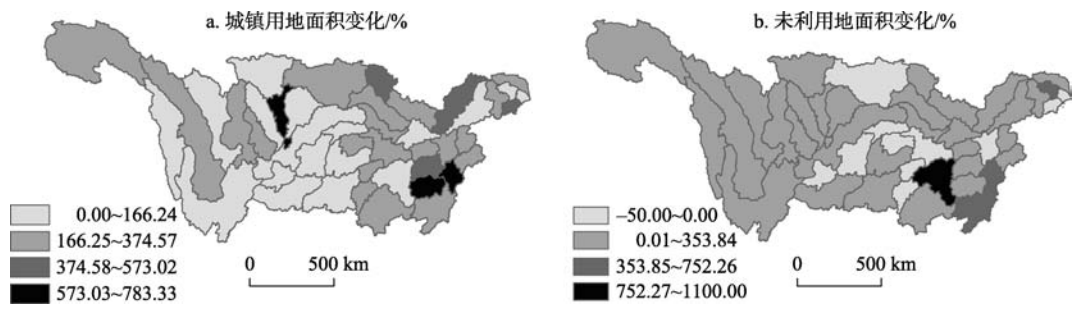


图8 2001-2005年城镇用地和未利用地面积变化
Fig.8 Change of urban land and unused land, 2001-2005

3.3 土地利用变化的径流效应

根据表2和不同区域的土地利用面积,计算得到流域每个分区内的CN值和平均CN值,表4为全流域平均CN值变化。由CN值的变化可以得到,前两个时期整个流域的平均CN减少,其中第一时期减少最多,减幅0.67%;第二时期仅减少0.02%;第三、四时期CN值持续增加,增幅分别为0.09%和0.8%;径流系数平均增加0.5%。根据公式(5)可以

表4 1980-2005年流域平均CN值及其变化
Tab.4 Mean curve number(CN) values and variation in the Yangtze River Basin, 1980-2005

年份	1980	1990	1995	2000	2005
流域平均CN值	74.43	73.93	73.92	73.98	74.57
变幅/%		-0.67	-0.02	0.09	0.80

推测整个流域径流系数呈增加变化,且增加的幅度大于先期减少的幅度,土地利用变化引起径流系数增加导致在相同降雨量的条件下流域内将产生更多的径流。各个时段内的径流系数变化如图9所示。

第一时期,除沱江和广元昭化以下地区增加外,流域内其余地区径流系数都减小(图9a),减幅多在0.01%~1.18%,其中下游地区的减幅比上游要大,主要是由于这一时期,流域内林地和草地大面积增加,致使蓄水能力提高;而产流较大的水域、城市用地等面积减少,使得整个流域产流能力下降,径流系数在多数地区减少。

第二时期,从源头到入海口径流系数呈减小到增加变化,尤其在流域的入海口区、洞庭湖环湖四周径流系数增加明显,其余区域仅有小幅增加。径流系数增加地区占总数的46.67%,增幅在0.01%~

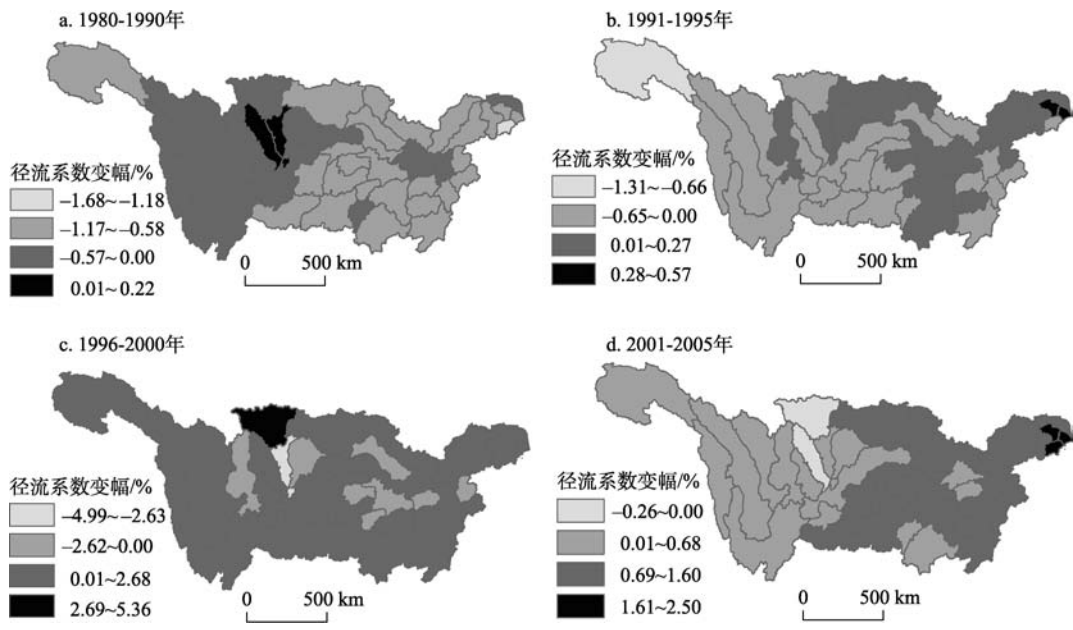


图9 1980-2005年径流系数变化图
Fig.9 Runoff coefficient variation, 1980-2005

0.57%;而减少的地区多集中在中上游,减幅0.02%~0.65%,其中源头区减幅最大。该期间林地、草地面积继续增加,但面积变化大小和变化率相对于上一期间则要小得多。由于产流系数较大的城镇用地面积增加明显,特别是在中下游地区,使得该时期径流系数增加的地区变多;由交换变量可知该时期土地转移量少,因此径流系数绝大部分变幅较小。

第三时期,径流系数减少的地区占17.78%,其中在广元昭化以下区减幅最大(4.99%),因该地区交换变量值大,土地转移频繁,林地增加幅度大使得区域内径流系数减小明显;广元昭化以上区增幅最大(5.36%),其余增加0.17%~2.68%。该期间林地和草地面积开始减少,产流大的水域面积则开始增加,城镇用地继续增加,整个流域径流系数增加的地区比减少的地区多。

第四时期,除广元昭化以上和涪江区径流系数减少外(分别减少0.26%和0.05%),其余区域内径流系数都增加,增幅多在0.18%~2.50%,而下游增幅明显大于中上游部分,其中上海一带增幅最大。主要是由于城镇面积增加使得不透水面积增加,导致径流量增加;而草地和林地减少使得蓄水能力下降,导致地表径流增加,最终使得整个流域的径流系数增加,特别是在城市化发展较快的下游地区,径流效应明显,与相关研究结论相一致(权瑞松等, 2009)。

4 结论

本文运用1980年、1990年、1995年、2000年和2005年五期土地利用数据,分析了长江流域1980-2005年期间土地利用格局的时空演变特征,以及由此引起的径流系数的变化。研究主要结论为:

(1) 1980-1990年时期和2001-2005年时期流域的土地转移最活跃,平均交换变量值分别为0.59和0.46,远大于1991-1995年和1996-2000年这两期平均值;且这两个时期各类型的土地利用面积变化值亦是最大。流域中部四川一带的土地转移活动最频繁,是研究期间最活跃的地区。面积变化最大的用地类型是林地和草地,都呈先增后减变化趋势;水田和旱地面积变化较大;主要是由于改革开放以

来,政府鼓励有计划地开垦荒地、围湖造田,导致农田面积增加;受全球气候变化和放牧的影响,上游长江源地区草场退化问题逐渐凸显(吴豪等, 2002; 郭冻等, 2012);根据1980-2005年的土地利用变化时空特征,对流域土地利用变化时空特征有详细的了解,可以根据这些特征预测未来土地利用变化情况。随着经济社会的发展,城市化进程加快,城镇面积明显扩张,增加幅度在各类用地中最大,特别是在城镇化相对较高的中下游地区尤为明显(郑国强等, 2003)。

(2) 长江流域土地利用变化导致径流系数呈增加趋势,下游地区增幅比中上游大。全流域径流系数增加0.80%,其中下游增幅为2.5%。主要是由于上游草场退化、荒漠等未利用地增加导致水源涵养能力减弱,水土流失严重;而中下游地区由于耕地和林地向城镇用地转变加快,引起城镇用地扩张,不透水面增加,由此导致径流系数增加;尤其在城市化较快的下游区域变化最明显(如上海及其周围的长三角地区)。本文基本探明了社会经济快速发展时期的1980-2005年期间长江流域土地利用变化格局及其径流效应。但受资料条件的限制,目前研究仍有一定局限性,今后仍需补充完善最新土地利用数据的收集和校准。

参考文献(Reference)

- 郭冻, 杜世宏, 薛达元, 等. 2012. 长江源区土地覆盖变化与草地退化格局的时空分异[J]. 应用生态学报, 23(5): 1219-1225. [Guo L, Du S H, Xu D Y, et al. 2012. Spatiotemporal differentiation of land cover change and grassland degradation pattern in Yangtze River headwaters area [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 23(5): 1219-1225.]
- 李家洋, 陈泮勤, 葛全胜, 等. 2005. 全球变化与人类活动的相互作用: 我国下阶段全球变化研究工作的重点[J]. 地球科学进展, 20(4): 371-377. [Li J Y, Chen P Q, Ge Q S, et al. 2005. Global change and human activities: Priorities of the global change research in next phase in China[J]. Advances in Earth Science, 20(4): 371-377.]
- 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 2014. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 69(1): 3-14. [Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geo-

- graphica Sinica, 69(1): 3-14.]
- 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 2003. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 22(1): 1-12. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F, et al. 2003. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. Geographical Research, 22(1): 1-12.]
- 刘瑞, 朱道林. 2010. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. 资源科学, 32(8): 1544-1550. [Liu R, Zhu D L. 2010. Methods for detecting land use changes based on the land use transition matrix[J]. Resources Science, 32(8): 1544-1550.]
- 乔伟峰, 盛业华, 方斌, 等. 2013. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘: 以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究, 32(8): 1497-1507. [Qiao W F, Sheng Y H, Fang B, et al. 2013. Land use change information mining in highly urbanized area based on transfer matrix: A case study of Suzhou, Jiangsu Province[J]. Geographical Research, 32(8): 1497-1507.]
- 权瑞松, 刘敏, 侯立军, 等. 2009. 土地利用动态变化对地表径流的影响: 以上海浦东新区为例[J]. 灾害学, 24(1): 44-49. [Quan R S, Liu M, Hou L J, et al. 2009. Impact of land use dynamic change on surface runoff: A case study on Shanghai Pudong New District [J]. Journal of Catastrophology, 24(1): 44-49.]
- 施毅超, 牛高华, 赵言文, 等. 2008. 长江三角洲地区土地利用变化与经济发展的关系[J]. 经济地理, 28(6): 982-985, 994. [Shi Y C, Niu G H, Zhao Y W, et al. 2008. Study on the relationship between land use change and economic development in Yangtze River Delta[J]. Economic Geography, 28(6): 982-985, 994.]
- 史培军, 袁艺, 陈晋. 2001. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. 生态学报, 21(7): 1041-1049. [Shi P J, Yuan Y, Chen J. 2001. The effect of land use on runoff in Shenzhen City of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 21(7): 1041-1049.]
- 吴豪, 虞孝感, 许刚. 2002. 长江源头地区生态环境保护与农业可持续发展初探[J]. 农业资源与环境学报, 19(2): 14-15. [Wu H, Yu X G, Xu G. 2002. Changjiang yuantou diqu shengtai huangjing baohu yu nongye kechixu fazhan chutan[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 19(2): 14-15.]
- 夏军, 左其亨. 2006. 国际水文科学研究的新进展[J]. 地理科学进展, 21(3): 256-261. [Xia J, Zuo Q T. 2006. Advances in international hydrological science research[J]. Progress in Geography, 21(3): 256-261.]
- 薛丽芳, 于红学, 郑青青, 等. 2015. 徐州市土地利用变化对径流的影响[J]. 水土保持通报, 35(2): 27-32. [Xue L F, Yu H X, Zheng Q Q, et al. 2015. Effects of land use change on runoff in Xuzhou City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 35(2): 27-32.]
- 张秀英, 孟飞, 丁宁. 2003. SCS模型在干旱半干旱区小流域径流估算中的应用[J]. 水土保持研究, 10(4): 172-174. [Zhang X Y, Meng F, Ding N. 2003. Application of SCS model to estimating the quantity of runoff of small watershed in semi-arid or arid region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 10(4): 172-174.]
- 赵景辉, 李廷智, 张华, 等. 2012. 土地流转马尔科夫概率矩阵的设定及应用: 以福建省泰宁县为例[J]. 中国农业资源与区划, 33(2): 23-27. [Zhao J H, Li T Z, Zhang H, et al. 2012. The setting and application of Markov probability matrix in land transfer[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 33(2): 23-27.]
- 郑国强, 江南, 于兴修. 2003. 长江下游沿线土地利用区域结构演化分析[J]. 自然资源学报, 18(5): 568-574. [Zheng G Q, Jiang N, Yu X X. 2003. Analysis of the evolved structure of land use in the lower Yangtze River basin[J]. Journal of Natural Resources, 18(5): 568-574.]
- Brown D G, Pijanowski B C, Duh J D, et al. 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the upper Midwest, USA.[J]. Journal of Environmental Management, 59(4): 247-263.
- Fan Q D, Ding S Y. 2016. Landscape pattern changes at a county scale: A case study in Fengqiu, Henan Province, China from 1990 to 2013[J]. Catena, 137: 152-160.
- Geist H J, Lambin E F. 2001. What drives tropical deforestation: A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence [R]. LUCC Report Series NO. 4.
- Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. 1999. Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy[R]. IGBP Report No. 48 and HDP Report No. 10. Stockholm: IGBP.
- Lambin E F, Turner B L, Geist H J, et al. 2001. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths [J]. Global Environmental Change, 11(4): 261-269.
- Langroodi S H M, Masoum M G, Nasiri H, et al. 2015. Spatial and temporal variability analysis of groundwater quantity to land-use/land-cover change in the Khanmirza agricultural plain in Iran[J]. Arabian Journal of Geosciences, 8(10): 8385-8397.

- Shalaby A, Tateishi R. 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt[J]. *Applied Geography*, 27(1): 28-41.
- Tuner B L II, Skole D, Sanderson S, et al. 1995. Land-use and land-cover change science/research plan[R]. IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7. Stockholm: IGBP.

Spatial distribution of land use change in the Yangtze River Basin and the impact on runoff

XU Su¹, ZHANG Yongyong^{2*}, DOU Ming¹, HUA Ruixiang², ZHOU Yujian²

(1. School of Water Conservancy & Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The impact of land use change on runoff is one of the key concerns in water cycle research. The Yangtze River Basin is the largest river basin in China, and land use change and its impact on runoff are key research questions for runoff variation and flood and drought hazards analyses of the basin. This study used land use data of the Yangtze River Basin in 1980, 1990, 1995, 2000 and 2005 to calculate the dynamic degree, swapping variable values, and other indexes between the four periods by land use transition matrix, evaluated spatial and temporal variation characteristics of land use, and identified key regions of change and driving factors in the basin. Based on the widely-used precipitation-runoff relationship of the Soil Conservation Service (SCS) model, runoff impacts caused by land use change were assessed. The results show that from 1980 to 2005, land transfer activity was more intense in the first (1980-1990) and the fourth (2001-2005) periods compared to the two periods in between (1991-1995, 1996-2000). The middle and upper reaches around Sichuan Province and to its north were the most active regions. Paddy land, dry land, woodland, and grassland areas changed slightly, less than 8%. Influenced by different approaches of environmental protection and economic development in the four periods, cultivated lands (paddy land and dry land) showed inverse changes with grassland, and water body, unused land, and urban land changed to a much greater extent. In particular, due to rapid urbanization, urban land increased by 196.58%. Land use change directly resulted in the increase of average runoff coefficient, which ranged from -0.67% ~0.80%, with the mean of 0.05%. The most obvious changes were in highly urbanized regions, particularly around the Yangtze River Delta region. Increase of runoff coefficient would raise the occurrence probability of flooding.

Key words: land use; transition matrix; swapping variables; runoff coefficient; Soil Conservation Service(SCS) model; Yangtze River Basin