南京农业大学学报 2012,35(1):80-86
Journal of Nanjing Agricultural University http://nauxb.njau.edu.cn

李云驹,潘剑君,许建初,等.气候和土地利用变化对松华坝流域水资源的相对作用研究[J].南京农业大学学报,2012,35(1):80-86

气候和土地利用变化对松华坝流域水资源的相对作用研究

李云驹[1,2],潘剑君[1*],许建初[2,3],苏宇芳[3,4]

(1.南京农业大学资源与环境科学学院,江苏 南京 210095;2.中国科学院昆明植物研究所,3.山地生态系统研究中心,云南 昆明 650204;4.云南省社会科学院,云南 昆明 650032)

摘要:以云南省滇池松华坝流域为研究对象,利用分布式水文模型(SWAT)探讨了气候和土地利用变化对河道径流和总氮的影响及对水资源变化的相对作用,模拟分析了气候变化背景下两者相对作用程度的变化。结果表明:气候是流域内河道径流变化的主要原因,贡献率为63.1%~96.6%。土地利用对河道径流变化的影响整体上偏小,但是差异较大;在降雨减少或不变时土地利用的贡献率为12.2%~36.9%,在降雨增加时贡献率为3.4%~5.2%。从土地利用类型的变化来看,耕地减少和草地增加可增加河道径流量,反之则减少。气候和土地利用变化都是影响水体总氮变化的主要原因,贡献率分别为68.2%和68.5%,而两者对水体总氮的影响在不同时期差异较大。当总氮数量变化较大,或者减少量超过40%时,土地利用的贡献率比较大,而当总氮负荷增加或者减少幅度较小时,气候的贡献率比较大。土地利用类型和总氮变化量之间的相关性分析表明,耕地面积与总氮变化显著正相关($r=0.814$),草地面积与总氮变化显著负相关($r=-0.895$),而林地面积与总氮变化相关性不显著。

关键词:土地利用;气候变化;水资源;松华坝流域
中图分类号:P333.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2030(2012)01-0080-07

Relative impacts of climate and land use changes on water resource in Songhuaba watershed

LI Yun-ju[1,2],PAN Jian-jun[1*],XU Jian-chu[2,3],SU Yu-fang[3,4]

(1. College of Resources and Environmental Sciences,Nanjing Agricultural University,Nanjing 210095,China;2. Kunming Institute of Botany,3. Centre for Mountain Ecosystem Studies,Chinese Academy of Sciences,Kunming 650204,China;4. Yunnan Academy of Social Sciences,Kunming 650032,China)

Abstract: In Songhuaba watershed(a vital part of Dianchi,the largest freshwater lake in Yunnan Province),the relative contribution of climate changes and land use to changes in water resource were studied. Effects of climate changes and land use on streamflow and total nitrogen load in Songhuaba watershed were analyzed by soil and water assessment tool(SWAT),a distributed hydrologic model. Particularly,the relative impacts of climate and land use changes on water resource under simulated climatic conditions were studied. Results showed that climate change was the most important factor influencing streamflow in Songhuaba watershed,accounting for 63.1%-96.6% of the total value. Land use had little impact on streamflow as a whole,but great variations were detected under different conditions. When rainfall decreased or remained stable,the contribution of land use impact on streamflow was 12.2%-36.9%. However,the contribution of land use was only 3.4%-5.2% when rainfall increased. In terms of land use types,decrease in cropland or increase in grassland led to an increase in streamflow,while increase in cropland or decrease in grassland was associated with a decrease in streamflow. Both climate changes and land use were key factors influencing total nitrogen load in Songhuaba watershed,contributing 68.2% and 68.5%,respectively. However,the results showed that rainfall had no significant influence on total nitrogen load. The relative contribution of land use and climate changes to nitrogen load varied under different circumstances. Land use had a higher determination coefficient on total nitrogen when a dramatic change happened in the total nitrogen value(changes above 40.0%),otherwise climate changes had a higher determination coefficient. Based on the correlation analysis between land use and total nitrogen load,cropland area had a significant positive correlation($r=0.814$) with total nitrogen load,while grassland had a significant negative correlation($r=-0.895$) with total nitrogen load in the water. No obvious correlation between forest area and total nitrogen load was found.

Key words: land use;climate change;water resource;Songhuaba watershed

收稿日期:2011-04-14
基金项目:中国科学院昆明植物研究所知识创新工程项目(20071201)
作者简介:李云驹,博士研究生。* 通讯作者:潘剑君,教授,博导,研究方向为土壤资源调查与评价、遥感和GIS应用,E-mail:jpan@njau.edu.cn。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

水资源危机是影响人类生存和地球环境的主要问题之一,也是当前社会面临的主要问题。气候和土地利用变化是影响水资源配置和水环境状况的主要原因[1-6]。然而由于研究主体、角度、方法和目的不同[7-8],使研究结论不一致。这不仅反映出气候与土地利用变化对水资源影响的复杂性和不确定性,也暗示气候和土地利用两者之间存在较大的交互效应[7]。对气候-水-人类活动相互作用的研究和认识有利于理解未来水资源变化结果的不确定性和建立应对水资源变化的适应性管理策略。尽管通过模型结合不同时期土地利用和历史气象资料序列分析径流变化的研究已经很多[9-11],但由于空间尺度和流域特征的不同,研究结果呈现不同的变化规律[12-14]。并且,多数研究主要集中在较大尺度流域,缺乏气候和土地利用变化条件下两者对水资源的相对作用研究。而结合全球气候变化的大背景,探讨气候和土地利用变化对水质影响的研究则更少。

云南省地处高原,具有独特的生态脆弱性和气候敏感性,容易受到气候和人类活动变化的影响,因而水资源情况更为复杂和多变。松华坝水库是昆明市城市供水的主要水源,占市区供水总量的 50%,承担着昆明城区 300 万人口的供水任务[15]。尽管该流域在 1981 年就被划为水源保护区,限制工业发展,但是随着近年来以蔬菜、花卉为主的经济和粮食作物生产中化肥和农药施用量的增加,流域水质持续下降,严重威胁着昆明市城区的饮水安全和可持续发展。因此,开展松华坝流域气候和土地利用变化对水资源的响应研究对昆明市社会发展和滇池流域治理具有重要的经济价值和社会意义。

本研究选取西南山区的典型农业流域——松华坝流域为研究对象,利用分布式水文模型(the soil and water assessment tool,SWAT),分析气候和土地利用变化对河道径流和径流中总氮含量的相对作用程度,揭示水资源变化与气候和土地利用变化的关系,为水源保护和流域管理提供理论依据。

1　数据与方法

1.1　研究区域概况

松华坝流域地处云贵高原主体滇东高原,东北窄,西南宽,地势由东北向西南倾斜(图 1)。流域面积 629.8 km^2,位于 102°54′~102°59′E,25°10′~25°28′N,南北长 36 km,东西宽 24 km,属金沙江滇池水系,处于滇池流域的最北端,面积约为滇池流域的 1/5,其水量供应是整个滇池水量交换的 42%。流域平均海拔 2 238 m,海拔 2 000 m 以上的山区、半山区占总面积的 93.5%,气候上具有十分显著的山地、低纬、季风

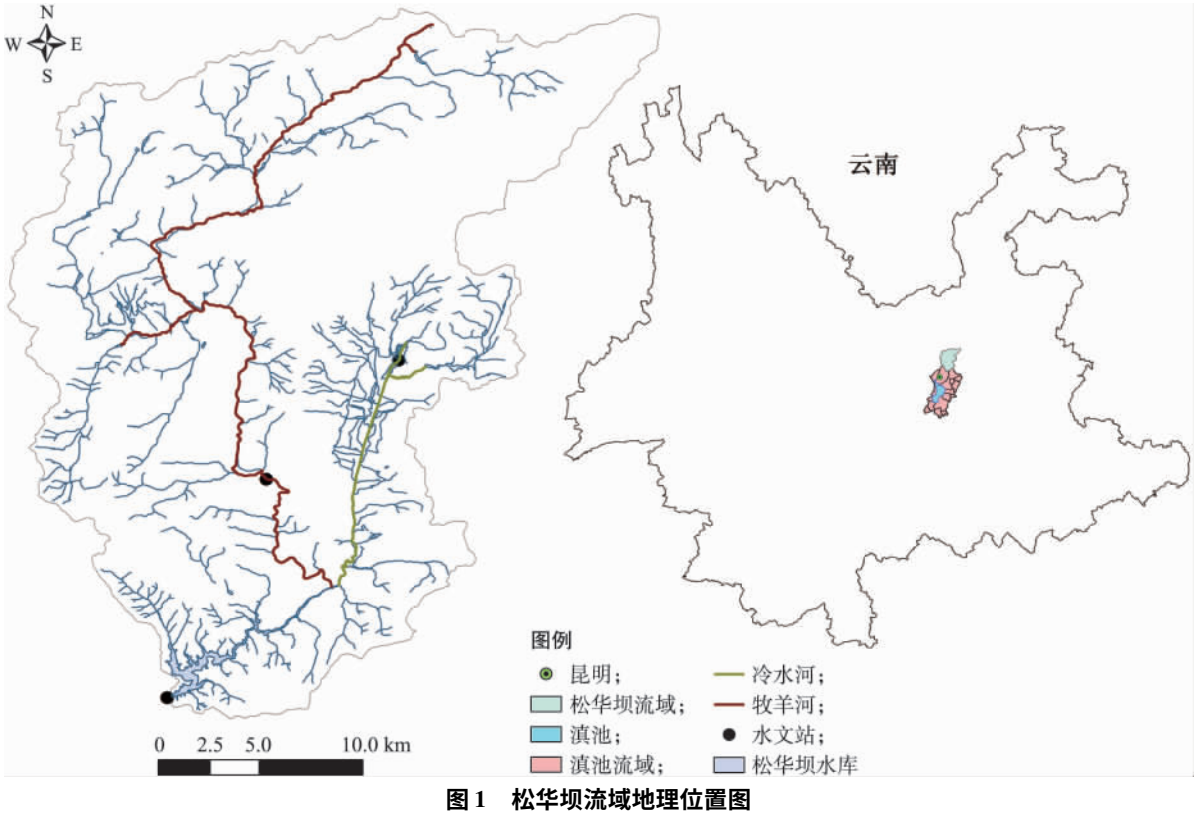

图 1　松华坝流域地理位置图

Fig. 1　Location of Songhuaba watershed

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

特征。流域多年平均降雨量为 998.6 mm,多年平均气温 15.1 ℃。流域内基本没有工业,农业人口占 96.6%,产业结构主要以种植业为主,是典型的山地农业流域。松华坝水库始建于 1958 年,设计总库容 2.29 亿 m^3。1994 至 2007 年,松华坝水库累计向昆明主城供水 19.1 亿 m^3,年均供水 1.36 亿 m^3。1991—1995 年水库水质在Ⅱ和Ⅲ类之间波动,1996—2004 年为Ⅲ类,2005—2007 年水库水质为Ⅳ类,2008 年一季度为Ⅳ类,主要成分为总氮超标。

1.2 土地利用和气候数据的来源

利用遥感卫星影像(1974 年美国陆地卫星 Landsat MSS 影像,1992 年 Landsat TM 影像,2002 年 Landsat ETM+影像,2008 年美国 ASTER 影像)将流域土地利用类型划分为耕地、林地、荒草地、水体和居民地。气候数据来源于昆明气象站和各个水文站,主要包括年平均降雨量和气温数据。研究期间分为 4 个时期。Ⅰ:1983—1987 年,采用 1974 年土地利用/覆被图;Ⅱ:1988—1993 年,采用 1992 年土地利用/覆被图;Ⅲ:1994—2002 年,采用 2002 年土地利用/覆被图;Ⅳ:2003—2009 年,采用 2008 年土地利用/覆被图。松华坝流域不同时期气候和土地利用的变化情况见表 1。

表 1 松华坝流域不同时期的气候和土地利用变化

Table 1 Changes of land use and climate conditions in Songhuaba watershed during different period

时期 Period	气候变化 Climate change			土地利用变化/% Land use change				
	降雨量/mm Rainfall	降雨量变化比例/% Rainfall change rate	气温/℃ Temperature	水体 Water body	耕地 Farmland	林地 Forest	居民地 Settlement	荒草地 Grassland
Ⅰ~Ⅱ	-67.9	-7.1	0.16	-0.15	-9.6	2.0	1.5	6.2
Ⅰ~Ⅲ	58.1	6.0	1.12	0.13	-3.5	0.5	2.3	0.6
Ⅰ~Ⅳ	0.1	0.0	1.34	0.53	-13.5	6.2	3.1	3.7
Ⅱ~Ⅲ	126.0	14.1	0.96	0.28	6.1	-1.5	0.8	-5.6
Ⅱ~Ⅳ	68.0	7.6	1.18	0.68	-4.1	4.2	1.6	-2.5
Ⅲ~Ⅳ	-58.0	-5.7	0.22	0.45	-10.0	5.7	0.8	3.1

注:时期 Period Ⅰ.1983—1987 年;Ⅱ.1988—1993 年;Ⅲ.1994—2002 年;Ⅳ.2003—2009 年

1.3 SWAT 模型的模拟与评价

采用分布式水文模型(SWAT)[16]模拟分析气候和土地利用变化对水资源的相对作用程度。松华坝流域共划分为 26 个子流域,271 个水文响应单元,其中水文响应单元的划分采用土地利用 10%、土壤 20%、坡度 20% 的阈值。

模型率定和验证采用 Moriasi 等[17]的方法,率定过程采用偏差百分比(*PBIAS*)、Nash-Sutcliffe 效率系数(*NSE*)和模拟值误差平方根(*RMSE*)与观测值标准差($STDEV_{obs}$)的比值(*RSR*)3 个统计参数来评价。3 个统计参数的定义如下:

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y_i^{sim})}{\sum_{i=1}^{n} Y_i^{obs}} \times 100$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y^{mean})^2}$$

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y^{mean})^2}}$$

式中:Y_i^{obs} 为模拟期间第 i 个观测值;Y_i^{sim} 为模拟期间第 i 个模拟值;Y^{mean} 为模拟期间观测平均值。$PBIAS=0$ 表示模拟与实测值完美吻合,$PBIAS>0$ 表示模拟值小于实测值,而 $PBIAS<0$ 表示模拟值大于实测值;$NSE=1$ 表示模拟达到最理想的状态,当 *NSE* 变幅在 0~1 之间表明模拟结果在接受范围;*RSR* 越低,表示 *RMSE* 越小,模型模拟的结果越好。其评价标准见表 2。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　模型月模拟结果评价标准[17]

Table 2　Assessment criteria for modeling results using monthly data

评价等级 Evaluation ranks	*RSR*	*NSE*	*PBIAS*		
			河道径流 Streamflow	泥沙 Sediment	氮、磷 N,P
很好 Very good	$0 \leqslant RSR \leqslant 0.5$	$0.75 \leqslant NSE \leqslant 1.0$	$PBIAS < \pm 10$	$PBIAS < \pm 15$	$PBIAS < \pm 25$
好 Good	$0.5 < RSR \leqslant 0.6$	$0.65 \leqslant NSE < 0.75$	$\pm 10 \leqslant PBIAS < \pm 15$	$\pm 15 \leqslant PBIAS < \pm 30$	$\pm 25 \leqslant PBIAS < \pm 40$
满意 Satisfied	$0.6 < RSR \leqslant 0.7$	$0.5 \leqslant NSE < 0.65$	$\pm 15 \leqslant PBIAS < \pm 25$	$\pm 30 \leqslant PBIAS < \pm 55$	$\pm 40 \leqslant PBIAS < \pm 70$
不满意 Unsatisfied	$RSR > 0.7$	$NSE < 0.5$	$PBIAS \geqslant \pm 25$	$PBIAS \geqslant \pm 55$	$PBIAS \geqslant \pm 70$

注: *PBIAS*: 偏差百分比 Percent bias; *NSE*: Nash-Sutcliffe 效率系数 Nash-Sutcliffe efficiency; *RSR*: 模拟值误差平方根与观测值标准差的比值 Ratio of the root mean square error to the standard deviation of measured data

模型水文部分选取 1994—1998 年作为率定期,1999—2002 年作为验证期; 总氮部分选取 1999—2000 年作为率定期,2001—2002 年作为验证期。水文部分的率定包括地表径流、基流和河道径流。率定过程中首先进行月地表径流率定,使月地表径流模拟值与月地表径流实测值的偏差百分比、效率系数、模拟值误差平方根与观测值标准差的比值满足月评价标准要求,然后再对基流和河道径流进行率定。水文验证数据利用流域出口水文站的月监测数据。总氮验证数据利用实测总氮数据和日流量数据的月负荷估计值。模型率定中调整的参数有土壤湿润条件下 SCS 初始径流曲线数(CN2)、土壤可利用水量(SOL_AWC)、土壤蒸发补偿系数(ESCO)、基流消退系数(Alpha_BF)、浅层含水层产生基流的阈值(GWQMN)、地下水再蒸发系数(GW_REVAP)、地下水滞后时间(GW_DELAY)、浅层地下水再蒸发的阈值(REVAPMN)、深蓄水层渗透比(RCHRG_DP)、氮渗漏系数(NPERCO)、生物混合效率系数(BIOMIX)、收获指数(HVSTI)、土壤流失方程中植物覆盖度因子(C_USLE)、土壤流失方程中水土保持措施因子(P_USLE)。

1.4　径流和总氮对土地利用及气候变化响应的作用分割

在一定时期内,水资源的变化受到气候和下垫面(土地利用)条件改变的影响。假定气候不发生变化,理论上水资源的变化是由土地利用变化引起的。同理,若土地利用不发生变化,水资源的变化应该是由气候变化引起的[18-19]。通过这种方法可以分析气候和土地利用变化对水资源变化的相对作用。下面以 2 个不同时期的水资源变化为例来说明分析过程。假定在 SWAT 模型中时期Ⅰ的气候和土地利用条件下的河道径流模拟值为 A,气候条件为时期Ⅱ和土地利用为时期Ⅰ的河道径流模拟值为 B,气候条件为时期Ⅰ和土地利用为时期Ⅱ的河道径流模拟值为 C,时期Ⅱ的土地利用和气候条件下的河道径流模拟值为 D。由前面的假设可知,B 和 A 的差值是由气候变化引起的,C 和 A 的差值是由土地利用引起的,而 D 和 A 的差值是由气候和土地利用共同作用的。因此土地利用对河道径流的作用程度即为(C-A)/(D-A),而气候对河道径流的作用程度则为(B-A)/(D-A)。理论上 B+C=D+A,实际误差应为模型误差或其他条件变化所引起的[20]。其他时期的计算依此类推。总氮的分析方法与河道径流的相同。

2　结果与分析

2.1　模型的适应性

SWAT 模型模拟结果评价见表 3。水文部分,从 *PBIAS* 来看,地表径流、基流和河道径流率定期的模拟效果分别为很好、好和很好,验证期模拟效果分别为很好、满意和好。从 *NSE* 参数来看,地表径流、河道径流率定期和验证期模拟效果均达到很好; 基流模拟期达到好,验证期达到满意。从 *RSR* 参数来看,地表径流、河道径流率定期和验证期均达到很好; 基流率定期模拟效果达到好,验证期模拟效果达到满意。总氮部分,从 *PBLAS* 来看,率定期达到很好,验证期达到好,*NSE*、*RSR* 率定期达到好,验证期达到很好。总体来看,模型模拟的效果至少达到满意,部分达到好和很好,说明模型模拟具有较高的可信度,模拟结果可以应用于流域的径流和总氮研究。

表 3　SWAT 模型对松华坝流域水文过程和河道径流总氮的模拟率定和验证结果

Table 3　Assessment of calibration/verification of SWAT modeling on hydrologic processes and total nitrogen load in Songhuaba watershed

时期 Period	地表径流 Surface runoff			基流 Base flow			河道径流 Streamflow			河道径流总氮 Total nitrogen load streamflow		
	PBIAS	*NSE*	*RSR*	*PBIAS*	*NSE*	*RSR*	*PBIAS*	*NSE*	*RSR*	*PBIAS*	*NSE*	*RSR*
率定期 Calibration period	-9.98	0.83	0.41	10.62	0.74	0.51	6.31	0.87	0.36	1.36	0.67	0.58
验证期 Validation period	-4.90	0.81	0.43	17.08	0.55	0.67	12.07	0.80	0.45	-16.32	0.80	0.44

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 气候与土地利用变化对径流的相对作用

模拟结果显示，从时期Ⅰ至时期Ⅱ气候变化和土地利用/覆被变化总共使流域河道径流减少9.0 mm，其中气候变化(土地利用/覆被保持不变)导致河道径流减少14.9 mm，占总变化的165.6%，土地利用/覆被变化(气候变化保持不变)导致河道总径流增加3.5 mm，占总变化的38.9%(表4)。剔除掉增加减少方向的不一致，只考虑绝对值的影响，则土地利用变化对河道径流变化作用程度(修正值，即气候和土地利用变化引起的径流变化量取绝对值，并除以两者之和求得各自的作用程度)为19%。土地利用、气候变化引起的河道径流变化量之和与总的河道径流变化量之间存在2.4 mm的差值(表4)。

表4 松华坝流域不同时期气候和土地利用对水资源变化的作用比较

Table 4 Comparison of the influence between climate and land use changes on water resource in Songhuaba watershed during different periods

时期 Period	径流变化量/mm Streamflow			总量变化比/% Ratio of gross change	作用程度/% Contribution				差值/mm Difference
	气候 Climate	土地利用 Land use	总量 Gross		气候 Climate	修正值* Correction	土地利用 Land use	修正值 Correction	
Ⅰ~Ⅱ	-14.9	3.5	-9.0	-3.6	165.6	81.0	-38.9	19.0	27.8
Ⅰ~Ⅲ	46.4	2.0	49.1	20.0	94.5	95.9	4.1	4.1	-1.4
Ⅰ~Ⅳ	7.7	4.5	15.4	6.3	49.8	63.1	29.3	36.9	-20.9
Ⅱ~Ⅲ	63.6	-3.5	58.0	24.5	109.7	94.8	-6.1	5.2	3.6
Ⅱ~Ⅳ	25.3	0.9	24.3	10.3	104.2	96.6	3.5	3.4	7.7
Ⅲ~Ⅳ	-38.9	5.4	-33.7	-11.4	115.5	87.8	-15.9	12.2	-0.5

注：* 修正值指在计算作用程度时对数据取绝对值。

Note: * Absolute values were used for the correction in calculating the proportion of contribution.

研究结果表明，在过去20多年，流域内影响河道径流变化的主要原因是气候变化，其平均作用程度为86.5%，最高为96.6%，最低为63.1%。土地利用变化对河道径流变化的影响整体上偏小，但是差异较大。进一步分析表明，土地利用对河道径流变化的作用程度在降雨减少或不变的时候表现明显，在Ⅰ~Ⅱ、Ⅰ~Ⅳ、Ⅲ~Ⅳ时期，土地利用对河道径流变化的作用平均为22.7%；土地利用对河道径流变化的作用程度在降雨增加的时候表现不明显，在Ⅰ~Ⅲ、Ⅱ~Ⅲ、Ⅱ~Ⅳ时期，土地利用对河道径流变化的作用平均只有4.2%(表4)。

从土地利用类型的变化来看，耕地减少和林地增加将增加河道径流，反之将减少(表1和表4)。从耕地、林地和土地利用对河道径流变化量的相关性分析来看，耕地和河道径流的变化量之间极显著负相关($r=-0.957$，$P<0.01$)，而林地和河道径流的变化量之间相关性不显著。深入研究发现，当耕地变化相似时，林地和草地的变化对河道径流有较大影响。在降雨量变化不明显，耕地面积减少比例相似时，河道径流变化却较大。比较Ⅰ~Ⅱ、Ⅰ~Ⅲ时期的降雨量和河道径流发现，降雨量增加较少，而河道径流增加较多，降雨量减少较多，而河道径流减少较少，由此可以推断河道径流的较大变化不是降雨量变化引起的。进一步分析林地和草地的变化发现，林地比例增加和草地比例减小时，河道径流减少较多，增加较少。综上所述，林地增加和草地减少将减少河道径流，反之则增加。相关性分析表明，草地和河道径流显著正相关，而林地建设用地和河道径流则没有相关性。因此，在土地利用类型方面，耕地减少和草地增加可能会增加河道径流量，反之则减少，而林地对河道径流的影响不明显。

研究结果也进一步证实气候变化对区域水资源的重要性[21-22]，说明气候不仅仅通过降雨直接影响到河道径流，还在改变降雨的同时影响到土地利用对径流的作用程度。这一研究结果与马杏[19]对云南怒江柯街流域和张圣微等[9]对拉萨河流域的研究结果相似，而与王渺林等[11]对屈产河流域和王根绪等[13]对马营河流域的研究结果有所不同。这种差别可能和人类活动的强弱及区域特征等因素有关。中国西南山地流域农业生产基础薄弱，灌溉水利所占比例较低，而干旱半干旱地区的水资源利用强度较高，土地利用方式对水资源的影响可能就比较高。同时研究结果的不一致性也说明区域水资源变化的复杂性。

2.3 气候与土地利用变化对总氮的相对作用

和水文分析的方法一样，利用率定期的模型参数，分析气候和土地利用变化对河道径流中总氮负荷的影响。研究表明，气候和土地利用变化都是影响总氮变化的主要因素，但其作用程度在不同时期表现不同(表5)。在Ⅰ~Ⅱ、Ⅰ~Ⅲ、Ⅰ~Ⅳ时期，土地利用对总氮变化的作用程度平均为68.5%，在Ⅱ~Ⅲ、Ⅱ~Ⅳ、Ⅲ~Ⅳ时期，气候对总氮变化的作用程度平均为68.2%。气候对总氮变化的影响和降雨具有更复杂的关系，当降雨量变化相似时，气候对总氮变化的作用相差较大。进一步分析发现，当总氮数量有较大变

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

化时,或者减少量超过 40% 时,土地利用的作用比较大,而当总氮负荷增加或者减小较少时,气候的作用比较大。在Ⅱ~Ⅳ时期,总氮变化比例为 6.8%,而气候的影响高达 90%,土地利用的影响只有 10%。土地利用类型和总氮变化量之间的相关性分析表明,耕地面积与总氮变化显著正相关($r=0.814$),草地面积与总氮变化显著负相关($r=-0.895$),而林地面积与总氮变化没有显著相关性。综上所述,气候和土地利用变化对总氮的影响要比对水文的影响复杂,影响的决定因素也不稳定,但两者的作用都比较重要。

表 5　松华坝流域不同时期气候和土地利用变化对水质作用的比较

Table 5　Comparison of the influence between climate and land-use changes on water quality in Songhuaba watershed during different periods

时期 Period	河道径流总氮含量的变化/t Total nitrogen change in streamflow			总量变化比/% Ratio of gross change	作用程度/% Contribution				差值/mm Difference
	气候 Climate	土地利用 Land use	总量 Gross		气候 Climate	修正值 Correction	土地利用 Land use	修正值 Correction	
Ⅰ~Ⅱ	-80.6	-142.7	-192.5	-58.1	41.9	36.1	74.1	63.9	-16.0
Ⅰ~Ⅲ	-34.8	-117.3	-135.8	-41.0	25.6	22.9	86.4	77.1	12.0
Ⅰ~Ⅳ	-85.4	-155.5	-202.0	-61.0	42.3	35.5	77.0	64.5	19.3
Ⅱ~Ⅲ	32.5	25.0	56.7	40.9	57.3	56.5	44.1	43.5	1.4
Ⅱ~Ⅳ	-8.1	0.9	-9.4	-6.8	86.0	90.0	-10.0	10.0	-24.0
Ⅲ~Ⅳ	-45.0	-32.3	-66.2	-33.9	68.1	58.2	48.8	41.8	16.9

3　结论

本研究根据过去 20 多年的气候和土地利用变化资料,结合分布式水文模型 SWAT 探讨了气候和土地利用变化对水资源的作用程度和影响,主要结论如下:

1) 气候是流域内河道径流变化的主要原因,贡献率平均为 86.5%。土地利用对河道径流变化的影响整体上偏小,但是不同时期的差异较大; 在降雨减少或不变时,Ⅰ~Ⅱ、Ⅰ~Ⅲ、Ⅰ~Ⅳ时期土地利用的贡献率为 12.2% ~36.9%,在降雨增加时,Ⅱ~Ⅲ、Ⅱ~Ⅳ、Ⅲ~Ⅳ时期贡献率为 3.4% ~5.2%。从土地利用类型的变化来看,耕地减少和草地增加可能会增加河道径流量,反之则减少,而林地和河道径流变化的关系不明显。

2) 气候和土地利用变化都是影响总氮变化的主要原因,贡献率分别为 51.6% 和 48.4%。气候对总氮变化的影响和降雨没有明显的相关性,气候和土地利用变化对总氮的影响在不同时期有较大差异,当总氮数量有较大变化时,或者减少量超过 40% 时,土地利用的贡献率比较大,而当总氮负荷增加或者减小较少时,气候的贡献率比较大。

3) 尽管土地利用在松华坝流域对河道径流的影响有局限性,但是在降雨量减少的条件下,土地利用方式的改变,特别是植树或者种草对河道径流具有重要影响。实施流域管理或水源保护的政策和措施时,需要考虑到气候变化的潜在影响,特别是在极端气候增多的情况下,它可能会加剧土地利用对水环境的负面影响。

参考文献:

[1] Alcamo J,Flärke M,Märker M. Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes [J]. Hydrological Sciences Journal,2007,52(2):247-275

[2] Chaves J,Neill C,Germer S,et al. Land management impacts on runoff sources in small Amazon watersheds [J]. Hydrological Processes,2008,22(12):1766-1775

[3] Coe M T,Costa M H,Soares-Filho B S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River-land surface processes and atmospheric feedbacks [J]. Journal of Hydrology,2009,369(1/2):165-174

[4] Hall J,Murphy C. Vulnerability analysis of future public water supply under changing climate conditions: a study of the Moy catchment,western Ireland [J]. Water Resource Management,2010,24(13):3527-3545

[5] Hamilton S K. Biogeochemical implications of climate change for tropical rivers and floodplains [J]. Hydrobiologia,2010,657(1):19-35

[6] Veijalainen N,Dubrovin T,Marttunen M,et al. Climate change impacts on water resources and lake regulation in the Vuoksi watershed in Finland [J]. Water Resource Management,2010,24(13):3437-3459

[7] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis,Summary for Policymakers [M]. Cambridge: Cambridge University Press,2007

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[8] Calder I R. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions [J]. Land Use and Water Resources Research, 2002(2): 1-12
[9] 张圣微,雷玉平,姚琴,等. 土地覆被和气候变化对拉萨河流域径流量的影响 [J]. 水资源保护, 2010, 26(2): 39-44
[10] 唐丽霞,张志强,王新杰,等. 晋西黄土高原丘陵沟壑区清水利用与气候变化的响应 [J]. 植物生态学报, 2010, 34(7): 800-810
[11] 王渺林,夏成阳,郑发科. 气候波动和土地覆被变化对屈产河流域径流影响 [J]. 水资源研究, 2008, 29(4): 4-6
[12] 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
[13] 王根绪,张钰,刘桂民,等. 马营河流域 1967—2000 年土地利用变化对河流径流的影响 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(7): 671-681
[14] 夏军,刘春蓁,任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战 [J]. 地球科学进展, 2011, 26(1): 1-12
[15] 刘楚文. 松华坝水库水源区面源污染的防治 [J]. 水利规划与设计, 2006(6): 12-14, 49
[16] Arnold J, Srinivasan R, Muttiah R, et al. Large area hydrological modeling and assessment Part I: Model development [J]. Journal of the American Water Resources Association, 1998, 34(1): 73-89
[17] Moriasi D, Arnold J, van Liew M, et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations [J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50(3): 885-900
[18] Ma X, Xu J, Luo Y, et al. Response of hydrological processes to land-cover and climate changes in Kejie watershed, southwest China [J]. Hydrol Process, 2009, 23(8): 1179-1191
[19] 马杏. 柯街流域土地利用和气候变化的水文响应研究 [D]. 昆明: 中国科学院昆明植物研究所, 2008
[20] 陈军锋,李秀彬,张明. 模型模拟梭磨河流域气候波动和土地覆被变化对流域水文的影响 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 34(7): 668-674
[21] 张素梅,王宗明,张柏,等. 三江平原挠力河上游流域水文过程及其驱动力模型研究 [J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(1): 143-151
[22] Lahmer W, Pfützner B, Becker A. Assessment of land use and climate change impacts on the mesoscale [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2001, 26(7/8): 565-575

责任编辑:沈 波 刘怡辰

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net