

基于降水条件的城镇化与植被覆盖 协调发展研究

温小洁¹, 姚顺波^{2*}, 赵敏娟³

(1. 西北农林科技大学经济管理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源经济与环境管理研究中心, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学应用经济中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为探讨城镇化发展与植被覆盖状况的协调发展关系, 本文以黄河中上游的144个县域单元为研究对象, 基于2000、2005、2010及2015年4期的县域经济发展数据及MODIS-NDVI数据, 通过门槛回归模型, 以影响研究区域植被覆盖最主要的降水因素作为门槛变量, 具体分析不同降水条件下城镇化发展对植被覆盖的影响, 并提出以保护植被覆盖为基础的差异化城镇化发展策略。结果表明: ①随着城镇化的推进, 植被覆盖会进一步遭到破坏, 但降水因素在城镇化影响植被覆盖的过程中可发挥显著的正向调节作用, 从而促进城镇化与植被覆盖的协调发展; ②实现城镇化与植被覆盖的协调发展, 不仅取决于自身的降水条件, 还依赖于当地的生态工程建设及产业结构优化升级等多种因素。其中, 退耕还林(草)政策的实施可加速植被覆盖的修复进程, 提高区域环境的生态承载力, 有效缓解城镇化发展带给植被覆盖的负面影响; ③第二产业在经济发展中的比重增加会给植被覆盖带来严重威胁, 阻碍城镇化与植被覆盖的协调发展, 尤其是在年均降水量较少且生态脆弱的地区。

关键词:降水; 城镇化; 植被覆盖; 归一化植被指数; 门槛效应; 黄河中上游

1 引言

中共中央颁布实施的《国家新型城镇化规划(2014-2020年)》中明确指出, 城镇化是实现社会主义现代化的必经之路。城镇化发展可以推动农村人口转移, 促进城市基础设施投资建设, 从而扩大内需, 为经济的健康持续发展提供强大动力, 对全面建成小康社会具有十分重大的现实意义(刘彦随等, 2012)。据统计, 自改革开放以来, 中国仅用不到40年的时间将城镇化率从1978年的17.92%提升到2016年的57.40%(冯霞, 2016)。伴随着城镇化的

快速发展(范进等, 2012), 城镇人口迅速膨胀, 城镇建设用地需求无序增长, 特别是对城市周边耕地及林草地的大量占用, 致使生态用地不可避免地遭到破坏(易浪等, 2014; 肖骁等, 2017)。已有研究表明, 在中国西北地区人类活动对植被负作用区域已占到23.02%, 并且在黄土高原19.4%的区域植被覆盖度呈下降趋势(韦振锋等, 2014; 肖强等, 2016)。植被退化现象日益突出, 使得城镇化与植被覆盖间的协调发展问题亟待解决。

在此研究背景下, 一些学者开始关注城镇化进程对植被覆盖的影响, 并将其纳入植被覆盖驱动力

收稿日期: 2018-01-09; 修订日期: 2018-08-01。

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201504424); 教育部人文社会科学重点研究基地基金项目(14JJD790031); 国家自然科学基金项目(71473195); 国家社会科学基金项目(15ZDA052) [Foundation: Special Fund for Forest Scientific Research in the Public Welfare, No.201504424; The MOE Project of Key Research Institute of Humanities and Social Sciences in Universities, No.14JJD790031; National Natural Science Foundation of China, No.71473195; National Social Science Foundation of China, No.15ZDA052]。

作者简介: 温小洁(1994-), 女, 山西河津人, 硕士生, 主要从事资源经济与环境管理研究, E-mail: wenxiaojie3990@163.com。

通讯作者: 姚顺波(1964-), 男, 湖南南县人, 教授, 博士生导师, 主要从事资源经济与环境管理及林业政策效果评估研究, E-mail: yaoshunbo@163.com。

引用格式: 温小洁, 姚顺波, 赵敏娟. 2018. 基于降水条件的城镇化与植被覆盖协调发展研究[J]. 地理科学进展, 37(10): 1352-1361. [Wen X J, Yao S B, Zhao M J. 2018. Coordinating the development of urbanization and vegetation coverage based on precipitation[J]. Progress in Geography, 37(10): 1352-1361.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.10.005

范畴进行研究。目前,关于植被覆盖驱动力研究多从两方面入手,一是自然因素,主要包括气温、降水、高程及坡度等因素,研究成果已很丰富(杨胜天等, 2002; 戴声佩等, 2010; 张翀等, 2012; 韦振锋等, 2014; 张勃等, 2015);二是社会经济因素,主要包括城镇化发展、政策及人口等因素(蔡运龙, 2001; 韩贵锋, 2007)。其中,自然因素具有长期稳定性,而社会经济因素则表现得更为活跃,是现阶段植被覆盖影响因素研究的重要内容(摆万奇等, 1997)。基于此,本文针对城镇化与植被覆盖的发展关系研究作出以下梳理:研究成果方面,已有文献表明城镇化与植被覆盖具有显著负相关关系,尽管城市扩张范围有限,但其对植被覆盖的消极影响要远大于直接占用造成的影响(王静等, 2014; 李登科等, 2015; 李广宇等, 2015; 刘宪锋等, 2015);另有研究证实,城镇化在发展初期会对植被覆盖产生破坏作用,而在后期将会出现植被覆盖改善的情况(李超, 2013);研究方法方面,多数成果采用土地利用转移矩阵、结构方程及 Logistic 模型来研究城镇化对植被覆盖的影响;研究空间方面,现有研究尺度涉及全国、区域、省域、城市群、市及流域,也有从不同的地理位置、地形区及气候区等角度进行细化讨论。以上研究为学术界进一步探讨城镇化与植被覆盖的协调发展机制奠定了重要的基础。

值得注意的是,一方面,相关城镇化对植被覆盖影响的研究结论较为一致,即认为城镇化发展会对植被覆盖变化产生显著的负向影响,并且多数研究将其作为植被覆盖驱动力研究中的一部分内容进行讨论,但聚焦于二者关系研究且考虑自然条件调节作用的文章尚不多见。事实上,虽然人类活动日益频繁,但自然条件始终是影响植被生长的主要因素,因而有必要将自然因素纳入城镇化与植被覆盖协调发展的研究框架之中,从而为二者的协调发展提供更为可靠全面的理论支撑。另一方面,在黄土高原地区,降水因素始终是影响植被生长的限制性因子,并且二者呈显著正相关关系(张翀等, 2012; 易浪等, 2014; 肖强等, 2016)。因而,在降水条件利好的地区,植被生长态势及修复能力一般要优于降水不足的地区,这就直接决定了不同区域植被覆盖状况对人类活动的敏感程度不同(刘少华等, 2014)。最后,自 2002 年以来国家将县域经济纳入改革体系当中,使其成为中国国民经济的重要组成部分。但目前以县域为尺度进行城镇化与植被

覆盖的协调发展研究较少,因而仍存在很大的研究空间。综上所述,本文以黄河中上游的 144 个县域为研究对象,以影响该区域植被覆盖的关键因素——降水条件为切入点,在新的视角下,判断城镇化与植被覆盖之间是否存在非线性关系,并进一步分析在不同的降水条件下各县域城镇化发展与植被覆盖之间的非线性关系呈现何种趋势。以期探讨研究区域应如何结合降水条件的实际情况,调整自身的发展方式,保护植被生长及恢复,实现城镇化的有序推进,以此寻求城镇化与植被覆盖状况改善的协调发展之路,实现人与自然和谐共生。

2 数据和方法

2.1 研究区域概况

黄河作为中国第二大河流,全长约 5464 km,流域面积 $79.46 \times 10^4 \text{ km}^2$ (袁丽华等, 2013),其中黄河中上游占黄河流域总面积的 97%,地处黄土高原且流经干旱半干旱气候区,具有典型的大陆性季风气候特征,自然条件复杂,植被生长明显受到降水条件的制约(易浪等, 2014),水土流失严重,是典型的生态环境脆弱区及敏感区,并在地理位置及生态保护上具有十分重要的战略意义。基于《黄河年鉴》统计数据,本文以县域行政单元为研究尺度,共涉及陕甘宁三省的 144 个县域单元。

2.2 指标说明和数据来源

归一化植被指数(Normal Difference Vegetation Index, NDVI)可在较大时空尺度上有效监测植物生长状态及覆盖范围,与植被覆盖密度具有高度线性相关关系(张亚玲等, 2014; 张君等, 2017),因此本文选用 NDVI 指数表征植被覆盖状况,并作为本文的被解释变量。为深入探讨城镇化与植被覆盖的协调关系,选用城镇化率作为核心解释变量表示城镇化的发展水平(陈明星等, 2009; 潘爱民等, 2014; 吕添贵等, 2016),并利用建设用地增长率来表征。同时,为提高模型的解释力,避免因遗漏变量而造成估计偏差,控制变量的选择考虑了其他社会、经济及政策因素在城镇化影响植被覆盖变化过程中的作用。其中,李辉霞等(2011)及赵安周等(2016)将现阶段人类活动对植被覆盖的影响划分为以退耕还林(草)政策为主的正面影响和以城市扩张为主的负面影响,并认为退耕还林(草)等生态建设工程的实施可有效缓解植被覆盖退化这一现状;而合理的产

业结构也有利于植被覆盖状况的改善(韩贵锋, 2007; 蒋智, 2010);另外,人均固定资产投资可从资金角度衡量土地城镇化进程(郑玫等, 2008; 伍艺, 2014);GDP对植被覆盖的作用方向具有不确定性,负相关关系主要发生在主城区,而在偏远的山区出现正相关关系(韩贵锋等, 2008),同时由于人均GDP提高会使得人们更加注重生态质量,并对植被覆盖产生正向影响;人口素质直接影响居民环保意识,但这一指标只有在一定的经济水平下才会与环境损失之间产生负相关关系(张效莉, 2007),可利用普通中学在校人数对其进行表征(刘耀彬等, 2015)。在此基础上,本文通过“赤池信息准则(AIC)”及逐步回归对变量进行筛选,最终选用退耕还林政策、产业结构、人均固定资产投资、人均地区生产总值及人口素质5个指标作为控制变量。需指出的是,本文将退耕还林政策设置为虚拟变量而纳入控制变量之中,因研究县(市)均属退耕还林区,故默认2000年研究区均未实施该项政策,赋值为0;而2005、2010及2015年研究区已实施该项政策,赋值为1。

本文应用的NDVI数据来源于地理空间数据云2000-2015年的中国500 m月合成产品,并借助Arc-Map 10.2软件采用最大合成法(MVC)保留研究年份内的最大月NDVI值作为当年的NDVI值;降水数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/site/index.html>),运用插值法,得出研究区域各县(市)年均降水数据;土地利用类型数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心;此外,其他社会经济指标使用的原始数据均来源于《中国县(市)社会经济统计概要》及《中国区域经济统计年鉴》,部分缺失数据通过陕甘宁三省统计年鉴加以补充。各指标的具体设计方法如表1所示。

2.3 研究方法

为研究基于降水条件下的县域城镇化与植被覆盖的协调发展关系,本文首先通过交叉项判断城镇化发展与植被覆盖之间是否存在非线性关系;在确定非线性关系存在的基础上,使用门槛回归模型明确城镇化对植被覆盖产生不同影响的阈值,分析不同的降水条件在城镇化影响植被覆盖过程中的作用,并进一步讨论不同社会经济因素对植被覆盖的影响机理,以此促进城镇化与植被覆盖的协调发展。

根据Hansen(2000)提出的系统内生分组的非线性回归方法——门槛回归模型,以严格的统计推断方法对门槛值进行参数估计和假设检验,并运用Bootstrap方法估计门槛值的显著性(李欣等, 2015; 高文静等, 2017)。另外,为减少数据异方差,对变量作自然对数处理。基于此,单一门槛模型设定如下:

$$\ln NDVI_{ij} = \beta_1 \ln X_{ij} + \beta_2 \ln LU_{ij} I(RF_i \leq \gamma) + \beta_3 \ln LU_{ij} I(RF_i > \gamma) + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

式中: $\ln NDVI_{ij}$ 与 $\ln LU_{ij}$ 分别表示第*i*个县域*j*时期NDVI值和城镇化率的对数值; X_{ij} 表示一组对植被覆盖有影响的控制变量,主要包括人口、经济及产业结构等因素; β_1 、 β_2 及 β_3 为该回归方程的待定系数; RF_i 为门槛变量,表示第*i*个县域在研究期内的年均降水量; γ 为待估门槛值; I 为示性函数,当 RF_i 满足函数条件时,该值为1,反之取0; ε_{ij} 为随机扰动项。需要特别说明的是,本文研究区域的NDVI值均大于0。

若存在2个门槛值 γ_1 与 γ_2 时,可将(1)式拓展为:

$$\ln NDVI_{ij} = \beta_1 \ln X_{ij} + \beta_2 \ln LU_{ij} I(RF_i \leq \gamma_1) + \beta_3 \ln LU_{ij} I(\gamma_1 < RF_i \leq \gamma_2) + \beta_4 \ln LU_{ij} I(RF_i > \gamma_2) + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

式中: β_1 、 β_2 、 β_3 及 β_4 为该回归方程的待定系数。

表1 变量选取及其描述性统计
Tab.1 Variables and descriptive statistics

变量类型	变量	变量名称	变量说明	均值	标准差	样本个数
被解释变量	NDVI	归一化植被指数	数据提取	0.674	0.188	612
核心解释变量	LU	城镇化率	建设用地增速/%	16.388	24.341	590
门槛变量	RF	年均降水量	数据提取	471.800	132.922	612
控制变量	POLICY	退耕还林政策	虚拟变量;实施=1;未实施=0	-	-	612
	IS	产业结构	第二产业比重/%	0.401	0.235	511
	PFA	人均固定资产投资	人均基础建设投资完成额/(万元/人)	1.302	2.200	512
	PGDP	人均生产总值	人均GDP/(万元/人)	1.381	2.042	511
	PQ	人口素质	普通中学在校人数/人	20830	14367	517

3 结果与分析

3.1 交互项结果分析

为判断城镇化与植被覆盖间是否存在非线性关系,利用降水与城镇化的交互项对二者关系进行分析(表2)。从表2可以看出,LU的系数为负,且在1%水平上显著,说明随着城镇化的不断推进,植被覆盖状况呈现退化趋势,这意味着城镇化发展会对植被覆盖产生显著的胁迫作用,表明实现城镇化与植被覆盖协调发展的必要性与重要性。而交互项 $RF \times LU$ 的系数为正,且在1%水平上显著,说明降水条件在城镇化影响植被覆盖变化的过程中具有正向调节作用,即在降水因素的影响下,城镇化与植被覆盖之间存在非线性关系。

3.2 门槛模型结果分析

通过F统计量及相应的P值表明门槛效应的存在性,并在此基础上确定门槛值的个数,具体情况如表3所示。单一门槛与双重门槛均在1%的显著

性水平上显著,因而需要进一步通过门槛估计值的置信区间进行模型选择。

从表4可看出,单一门槛估计值的置信区间较大,无法起到收敛门槛值的效果。而双重门槛的估计值在95%置信区间的宽度较小,其中第一门槛值的宽度为4.74,第二门槛值的宽度已收敛为一点。结合图1分析,单一门槛模型中虚线为统计量LR值所对应的门槛估计临界线,其对应的RF值代表单一门槛模型所估计的门槛值区间。对比图2a-2b可知,双重门槛模型中虚线以下对应的门槛估计值在95%置信区间内的收敛效果更好,且第二门槛值已收敛为一点,表明双重门槛估计值基本可以准确划分样本类型。综上,本文选取效果最优的双重门槛模型。

根据双重门槛模型的回归结果可知,2个门槛值即 $\gamma_1=199.833$ 与 $\gamma_2=347.34$ 将144个样本类型划分为3组,分别为:组1, $RF \leq 199.833$;组2, $199.833 < RF \leq 347.34$;组3, $RF > 347.34$ 。本文通过ArcGIS软

表2 城镇化与植被覆盖间的非线性关系结果分析
Tab.2 The nonlinear relationship between urbanization and vegetation coverage

NDVI	相关系数	标准误	z值	P值	95%置信区间
LU	-0.020	0.111	5.06***	0.000	[0.344, 0.780]
$RF \times LU$	0.562	0.005	-4.20***	0.000	[-0.030, -0.011]
常数项	0.333	0.104	3.20***	0.001	[0.129, 0.537]

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平上显著。

表3 门槛效应检验结果
Tab.3 Threshold effect test

门槛变量	门槛模型	F值	P值	临界值		
				1%	5%	10%
RF	单一门槛	28.505***	0.000	9.284	5.163	4.255
	双重门槛	104.748***	0.000	-30.508	-37.246	-41.425
	三重门槛	0.000**	0.050	0.000	0.000	0.000

注:① ***、**、*分别表示在1%、5%、10%的显著性水平上显著;② P值与F值均通过Bootstrap反复抽样300次而得到。

表4 门槛估计值
Tab.4 Estimation of threshold values

门槛模型	门槛估计值	95%置信区间
单一门槛模型	496.530	[483.532, 525.545]
双重门槛模型		
第一门槛值	347.340	[342.600, 347.340]
第二门槛值	199.833	[199.833, 199.833]
三重门槛模型	262.093	[258.506, 265.680]

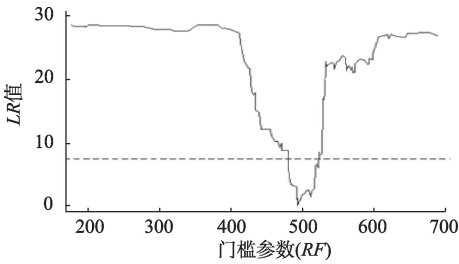


图1 单一门槛值估计
Fig.1 Estimation of single threshold value

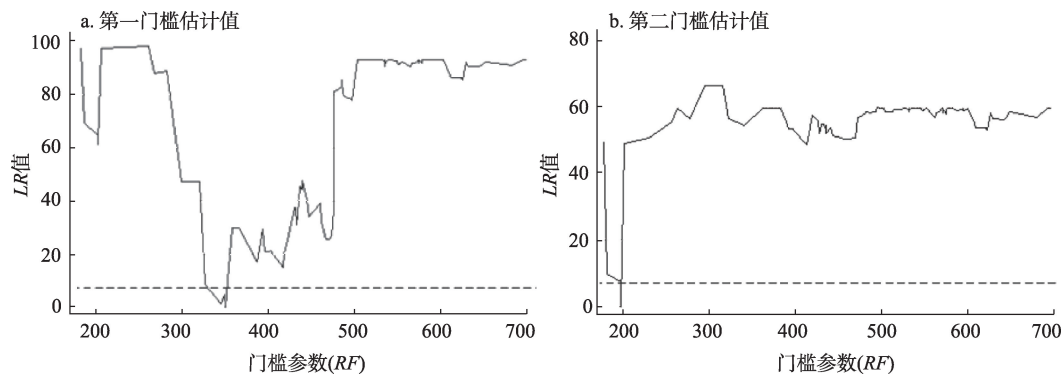


图2 双重门槛值估计

Fig.2 Estimation of the first threshold value (a) and the second threshold value (b)

件将3组样本进行可视化处理(图3),分别划分为未跨过第一门槛的县域、未跨过第二门槛的县域和跨过第二门槛的县域。其中,跨过第二门槛的县域多于未跨过第二门槛的县域,进一步说明降水在城镇化与植被覆盖协调发展过程中起到显著调节作用。

表5展示了双重门槛模型的回归结果,从中可知,以年均降水量 RF 为门槛变量时,城镇化率 LU 对 $NDVI$ 具有非线性关系且存在2个门槛值。当年

均降水量 $RF\leq 199.833\text{ mm}$ 时, LU_1 系数为 -0.019 ,未通过显著性检验;当年均降水量 $199.833\text{ mm}<RF\leq 347.34\text{ mm}$ 时, LU_2 系数为 -0.096 ,在1%水平上显著,表明处于该降水量的县域城镇化率 LU_2 每提高1%,其 $NDVI$ 值会下降0.096个百分点;当年均降水量 $RF>347.34\text{ mm}$ 时,城镇化率 LU_3 系数为 0.033 ,在1%水平上显著。这表示处于该降水量的县域城镇化率 LU_3 每提高1%,其 $NDVI$ 值会增加0.033个百分点。对比 LU_2 与 LU_3 的回归系数可知,当降水处于 $199.833\text{ mm}<RF\leq 347.34\text{ mm}$ 时,某县城镇化率的提高对植被覆盖产生的负向作用大约是降水量 $RF>347.34\text{ mm}$ 的县域城镇化正向作用的3倍。另外,本文借助ArcGIS软件,通过均值法计算得到2000-2015年 $NDVI$ 的空间分布图(图4)。同时利用降雨量栅格数据进行等值线处理,分别得到 347.34 mm 及 400 mm 等降水量线。本文将结合图3及图4的具体内容,对门槛回归结果作进一步分析。

根据图3-4,可得出以下门槛分布特征:

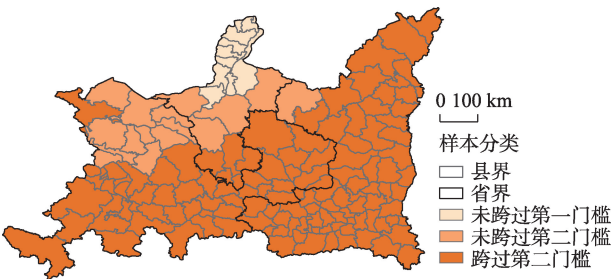


图3 样本单元划分图

Fig.3 Division of the samples

表5 双重门槛回归结果分析

Tab.5 Results of double threshold regression analysis

$\ln NDVI$	系数	标准误	t 值	P 值	95%置信区间
$POLICY$	0.084	0.025	3.34***	0.001	[0.035, 0.134]
$\ln IS$	-0.061	0.018	-3.35***	0.001	[-0.097, -0.025]
$\ln PFA$	-0.004	0.010	-0.38	0.707	[-0.023, 0.016]
$\ln PGDP$	0.071	0.017	4.19***	0.000	[-0.038, 0.105]
$\ln PQ$	-0.058	0.011	-5.32***	0.000	[-0.079, -0.036]
$\ln LU_1(RF\leq 199.833)$	-0.019	0.021	-0.90	0.368	[-0.060, 0.022]
$\ln LU_2(199.833<RF\leq 347.340)$	-0.096	0.014	-7.06***	0.000	[-0.123, -0.069]
$\ln LU_3(RF>347.340)$	0.033	0.009	3.65***	0.000	[0.015, 0.050]
常数项	-0.010	0.106	-0.09	0.925	[-0.217, -0.197]

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%的显著性水平上显著。

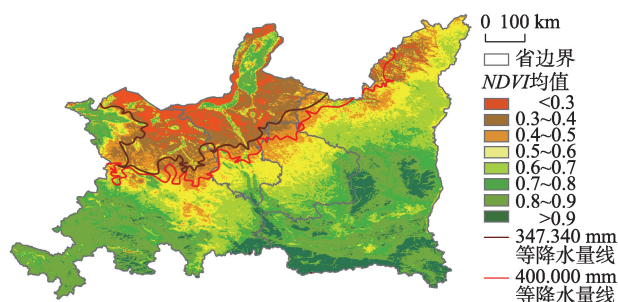


图4 黄河流域中上游地区NDVI空间分布

Fig.4 Spatial distribution of NDVI in the middle and upper reaches of the Yellow River Basin

(1) 未跨过第一门槛值的县域年均降水量小于199.833 mm, 主要集中分布在宁夏的北部地区, 地处河套平原, 地势平坦, 土壤肥沃, 光热资源丰富, 加之灌溉系统完善, 使得该区域种植业发达, 因而NDVI值处于较高水平, 植被覆盖状况良好。降水之所以未对城镇化与植被覆盖之间的协调机制产生明显的调节作用, 即当年均降水量 $RF \leq 199.833$ mm时, LU_i 结果不显著, 主要原因在于该地区产业结构以农业为主, 城镇化的发展并未体现在对农耕地的占用上, 同时黄河水的自流灌溉打破了降水对作物生长的制约作用, 使得降水对这部分地区的植被覆盖影响较弱。

(2) 未跨过第二门槛值的县域年均降水量小于347.34 mm, 主要集中分布在甘肃北部及宁夏中部。这些地区植被生长受到降水的制约作用, 自我修复能力较弱且修复速度慢, 覆盖状况较差, 同时为促进城镇化发展而对周边耕地及林草地的占用会对植被覆盖产生显著的负面影响, 直接导致该区域植被覆盖范围缩小或覆盖度降低, 阻碍城镇化与植被覆盖的协调发展。

(3) 跨过第二门槛值的县域年均降水量大于347.34 mm, 主要分布在陕西、宁夏南部及甘肃中西部。这些地区植被覆盖状况明显好于其他区域, 同时, 其城镇化的推进会对植被覆盖带来积极影响。究其原因主要在于该地区相对丰沛的降水可加速植被生长及修复, 缓解城镇化发展带给植被覆盖的负面作用, 同时城镇化带动人口向城市集聚, 产生生态空间释放效应, 降低人类活动对其他区域植被破坏的可能性, 为植被的恢复及改善提供契机, 有利于实现城镇化与植被覆盖的协调发展。

由表5进一步具体分析其他控制变量对植被覆盖的影响, 从而为城镇化与植被覆盖的协调发展方

案提供理论依据。*POLICY*的系数显著为正, 表明退耕还林(草)政策的实施进一步缓解了城镇化发展带给植被覆盖的压力。结合图3-4可以看出, NDVI空间分布主要以400 mm等降水量线为分界线, 界线以南地区的植被覆盖状况要明显优于界线以北的地区。按常理推断, 降水量低于400 mm的地区植被覆盖状况较为脆弱, 在城镇化的快速发展下更易遭到破坏, 因而应重点保护植被生长, 限制其城镇化的发展速度。但通过门槛回归可知, 降水的门槛估计值为347.340 mm, 低于400 mm, 并且只有年均降水量低于347.340 mm的地区, 其城镇化的发展才会对植被覆盖产生显著负面影响。也就是说, 年均降水量处于347.340 mm到400 mm之间的县域虽然NDVI指数较低, 植被覆盖状况劣于降水量较高的县域, 但从模型结果来看, 城镇化的发展并不会给这些县域的植被覆盖带来负面影响。出现这一现象的主要原因在于退耕还林(草)生态工程的实施对植被覆盖起到人工修复的作用, 缓解了城镇化发展带给植被覆盖的压力。此外, $\ln IS$ 的系数显著为负, 说明第二产业的发展会给植被覆盖带来负面影响, 因而降水量较低的县域要考虑自身生态承载力水平, 调整经济发展模式, 促进产业结构优化升级, 从而起到保护植被的作用, 促进城镇化与植被覆盖的协调发展。

4 讨论

本文的研究意义在于将自然条件纳入城镇化与植被覆盖协调发展体系之中, 验证了由于自然条件的空间差异性, 不同地区的植被覆盖对人类活动会表现出不同程度的承载力及敏感度; 并通过计算相关阈值, 明确研究区域植被覆盖针对城镇化发展的阈值体系, 为经济发展及植被保护提出差异化要求, 优化人地关系; 与此同时, 为新型城镇化过程中构建植被承载力预警机制提供决策依据, 防范风险, 实现区域可持续发展, 推进生态文明建设(Feng et al, 2016; 吕一河等, 2018)。降水作为影响干旱区与半干旱区植被覆盖的主要影响因素, 对城镇化进程与植被覆盖的协调发展具有显著的调节作用。但在其他气候区, 降水条件是否会对二者关系同样起到调节作用, 或者其他自然条件是否将在此过程中发挥着调节作用, 以及具体的影响机制如何实现, 有待进一步研究。同时, 植被对气候具有依赖

性,干旱化趋势与城镇化发展在植被退化过程中所占比重也需在未来进一步探明。另外,在本文研究过程中发现人口素质对植被覆盖具有负面影响,究其原因可能是在受教育人数和受教育水平提高的过程中,因发展经济的需要加大了对自然资源的利用意识,而未同步增强环保意识,因此出现了对环境损失的正向作用,未能给植被覆盖带来预期的积极影响;最后模型结果显示人均生产总值对植被覆盖会产生积极作用,结合相关文献可知(韩贵锋等, 2008),这种情况是有可能实现的,但对人口素质的负向影响及人均生产总值的正向作用尚需进一步验证。

5 结论与建议

本文通过交互项分析论证了降水在城镇化发展与植被覆盖之间存在非线性关系,即随着城镇化的推进,植被覆盖会进一步遭到破坏,但降水因素在这一过程中可发挥显著的正向调节作用。通过“门槛效应”确定双重门槛值的存在,即 199.833 mm 与 347.34 mm,明确在不同降水条件下城镇化发展对植被覆盖的影响差异,为因地制宜地实现城镇化与植被覆盖协调发展提供理论依据。通过门槛结果,可得出以下结论:

(1) 年均降水量不足 199.833 mm 的县域,主要分布在宁夏北部地区,因其以种植业为主的经济发展模式,未对植被覆盖产生显著负面影响;而年降水量高于 199.833 mm 且低于 347.34 mm 的县域,主要集中分布在甘肃北部和宁夏中北部,由于降水条件相对匮乏,植被生长及恢复能力受限,该区域城镇化发展会给植被覆盖带来不可忽视的负向作用。对于这类地区要严格控制发展速度,避免城镇人口的超速增长,缓解基础设施投资建设压力,严格规范土地流转行为,对于土地流转用途加以管制,提高土地利用率及土地的集约化程度,优化土地资源配置,为生态发展节约空间,从而推动该区域城镇化与植被覆盖的协调发展。

(2) 年均降水量高于 347.34 mm 的县域,主要分布在陕西、宁夏南部及甘肃中西部。由于降水条件相对较好,植被覆盖拥有较强的生长及自我修复能力;同时,城镇化发展推动农村剩余劳动力的转移,促进人口集聚,使得人类活动对周边地区植被覆盖的破坏因素下降,生态空间释放效应得以实现,为

植被生长及恢复提供契机,促进植被覆盖状况改善,因而该类区域可结合自身实际情况,进一步推进城镇化进程,同时防止盲目扩镇、建镇热,以此实现城镇化发展与植被覆盖改善的“双赢”。

(3) 实现城镇化与植被覆盖的协调发展,不仅仅取决于自身的降水条件,还要依赖于当地的生态工程建设及产业结构优化升级等多重因素。其中,退耕还林(草)政策的实施加速了植被覆盖的修复进程,提高区域环境的生态承载力,可有效地缓解城镇化发展给植被覆盖带来的负面影响,这充分肯定了国家生态保护工程的实施效果,并为今后生态工程的持续实施提供理论依据。

(4) 第二产业在经济发展中比重的增加会给植被覆盖带来严重威胁,尤其是在年均降水量较低且生态脆弱的地区。因而,为实现人与自然和谐共生的发展目标,各县域要结合自身自然条件的具体情况,调整经济增长方式,促进产业结构的优化升级,严格控制以无节制牺牲生态环境为代价的经济建设活动,加大惩治力度;同时,县政府要与林业等部门通力合作,密切关注植被覆盖的生长状况,保护生态环境,从而开启“既要金山银山,又要绿水青山”的经济发展新格局。

参考文献(References)

- 摆万奇, 赵士洞. 1997. 土地利用和土地覆盖变化研究模型综述[J]. 自然资源学报, 12(2): 74-80. [Bai W Q, Zhao S D. 1997. A comprehensive description of the models of land use and land cover change study[J]. Journal of Natural Resources, 12(2): 74-80.]
- 蔡运龙. 2001. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 20(6): 645-652. [Cai Y L. 2001. A study on land use/cover change: The need for a new integrated approach[J]. Geographical Research, 20(6): 645-652.]
- 陈明星, 陆大道, 张华. 2009. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报, 64(4): 387-398. [Chen M X, Lu D D, Zhang H. 2009. Comprehensive evaluation and the driving factors of China's urbanization [J]. Acta Geographica Sinica, 64(4): 387-398.]
- 戴声佩, 张勃, 王海军, 等. 2010. 中国西北地区植被覆盖变化驱动因子分析[J]. 干旱区地理, 33(4): 636-643. [Dai S P, Zhang B, Wang H J, et al. 2010. Vegetation cover change and its driving factors over Northwest China[J]. Arid Land Geography, 33(4): 636-643.]
- 范进, 赵定涛. 2012. 土地城镇化与人口城镇化协调性测定

- 及其影响因素[J]. 经济学家, (5): 61-67. [Fan J, Zhao D T. 2012. Tudi chengzhenhua yu renkou chengzhenhua xietiaoxing ceding jiqi yingxiang yinsu[J]. Economist, (5): 61-67.]
- 冯霞. 2016. 江苏省城镇化与生态环境协同发展的市际格局研究[J]. 经济问题探索, (12): 90-97. [Feng X. 2016. Jiangsusheng chengzhenhua yu shengtai huanjing xietong fazhan de shiji geju yanjiu[J]. Inquiry into Economic Issues, (12): 90-97.]
- 高文静, 柳亚琴, 潘明清. 2017. 工业化、城镇化对工业碳生产率的门槛效应分析[J]. 宏观经济研究, (4): 112-121. [Gao W J, Liu Y Q, Pan M Q. 2017. Gongyehua, chengzhenhua dui gongyetao shengchanlv de menkan xiaoying fenxi[J]. Macroeconomics, (4): 112-121.]
- 韩贵锋. 2007. 中国东部地区植被覆盖的时空变化及其人为因素的影响研究[D]. 上海: 华东师范大学. [Han G F. 2007. Spatio-temporal change of vegetation cover in East China and influence of artificial factors[D]. Shanghai, China: East China Normal University.]
- 韩贵锋, 徐建华. 2008. 人口与经济发展对植被的影响研究: 以重庆市为例[J]. 长江流域资源与环境, 17(5): 785-792. [Han G F, Xu J H. 2008. Influence of population and economic development on vegetation: A case study in Chongqing City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 17(5): 785-792.]
- 蒋智. 2010. 经济发展对植被覆盖变化的影响分析[D]. 重庆: 西南大学. [Jiang Z. 2010. Response of vegetation coverage to the development of economy[D]. Chongqing, China: Southeast University.]
- 李超. 2013. 人口发展与植被覆盖变化关系研究: 以广东省为例[D]. 北京: 中国科学院大学. [Li C. 2013. The relationship study of population factors and vegetation cover changes: A case of Guangdong province, China[D]. Beijing, China: University of Chinese Academy of Sciences.]
- 李登科, 范建忠, 权文婷. 2015. 陕西省植被退化及其驱动因素分析[J]. 生态学杂志, 34(10): 2907-2913. [Li D K, Fan J Z, Quan W T. 2015. Analysis of vegetation degradation and its driving factors in Shaanxi Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 34(10): 2907-2913.]
- 李广宇, 陈爽, 余成, 等. 2015. 长三角地区植被退化的空间格局及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 24(4): 572-577. [Li G Y, Chen S, Yu C, et al. 2015. Diminished vegetation greenness in Yangtze River Delta due to rapid unplanned urbanization[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 24(4): 572-577.]
- 李辉霞, 刘国华, 傅伯杰. 2011. 基于NDVI的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究[J]. 生态学报, 31(19): 5495-5504. [Li H X, Liu G H, Fu B J. 2011. Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region [J]. Acta Ecologica Sinica, 31(19): 5495-5504.]
- 李欣, 潘跃. 2015. 中国城市化与能源消费的非线性关系研究: 基于省际面板数据的门槛模型分析[J]. 中国人口·资源与环境, 25(S1): 1-5. [Li X, Pan Y. 2015. Nonlinear relationship between China's urbanization and energy consumption: A panel threshold regressions approach[J]. China Population, Resources and Environment, 25(S1): 1-5.]
- 刘少华, 严登华, 史晓亮, 等. 2014. 中国植被NDVI与气候因子的年际变化及相关性研究[J]. 干旱区地理, 37(3): 480-489. [Liu S H, Yan D H, Shi X L, et al. 2014. Inter-annual variability of vegetation NDVI, accumulated temperature and precipitation and their correlations in China[J]. Arid Land Geography, 37(3): 480-489.]
- 刘宪锋, 潘耀忠, 朱秀芳, 等. 2015. 2000-2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 地理学报, 70(5): 705-716. [Liu X F, Pan Y Z, Zhu X F, et al. 2015. Spatiotemporal variation of vegetation coverage in Qinling-Daba Mountains in relation to environmental factors[J]. Acta Geographica Sinica, 70(5): 705-716.]
- 刘彦随, 杨忍. 2012. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理[J]. 地理学报, 67(8): 1011-1020. [Liu Y S, Yang R. 2012. The spatial characteristics and formation mechanism of the county urbanization in China[J]. Acta Geographica Sinica, 67(8): 1011-1020.]
- 刘耀彬, 黄梦圆, 白彩全. 2015. 自然资源与经济增长: 基于金融发展门槛效应[J]. 自然资源学报, 30(12): 1982-1993. [Liu Y B, Huang M Y, Bai C Q. 2015. Natural resources and economic growth: Based on the threshold effect of financial development[J]. Journal of Natural Resources, 30(12): 1982-1993.]
- 吕添贵, 吴次芳, 李洪义, 等. 2016. 人口城镇化与土地城镇化协调性测度及优化: 以南昌市为例[J]. 地理科学, 36(2): 239-246. [Lyu T G, Wu C F, Li H Y, et al. 2016. The coordination and its optimization about population and land of urbanization: A case study of Nanchang City[J]. Scientia Geographica Sinica, 36(2): 239-246.]
- 吕一河, 傅微, 李婷, 等. 2018. 区域资源环境综合承载力研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 37(1): 130-138. [Lv Y H, Fu W, Li T, et al. 2018. Progress and prospects of research on integrated carrying capacity of regional resource-

- es and environment[J]. *Progress in Geography*, 37(1): 130-138.]
- 潘爱民, 刘友金. 2014. 湘江流域人口城镇化与土地城镇化失调程度及特征研究[J]. *经济地理*, 34(5): 63-68. [Pan A M, Liu Y J. 2014. The degree of imbalance between population urbanization and land urbanization of Xiangjiang River Basin[J]. *Economic Geography*, 34(5): 63-68.]
- 王静, 王克林, 张明阳, 等. 2014. 南方丘陵山地NDVI时空变化及其驱动因子分析[J]. *资源科学*, 36(8): 1712-1723. [Wang J, Wang K L, Zhang M Y, et al. 2014. Temporal-spatial variation in NDVI and drivers in hilly terrain of southern China[J]. *Resources Science*, 36(8): 1712-1723.]
- 韦振锋, 王德光, 张翀, 等. 2014. 1999-2010年中国西北地区植被覆盖对气候变化和人类活动的响应[J]. *中国沙漠*, 34(6): 1665-1670. [Wei Z F, Wang D G, Zhang C, et al. 2014. Response of vegetation cover to climate change and human activities in Northwest China during 1999-2010[J]. *Journal of Desert Research*, 34(6): 1665-1670.]
- 伍艺. 2014. 人均固定资产投资, 城镇化及农民收入效应研究: 来自四川省的证据[J]. *生态经济*, 30(8): 57-59. [Wu Y. 2014. Study on the per capital fixed asset investment, urbanization and farmer income effect: Evidence from Sichuan Province[J]. *Ecological Economy*, 30(8): 57-59.]
- 肖强, 陶建平, 肖洋. 2016. 黄土高原近10年植被覆盖的动态变化及驱动力[J]. *生态学报*, 36(23): 7594-7602. [Xiao Q, Tao J P, Xiao Y. 2016. Dynamic vegetation cover change over the past 10 years on the Loess Plateau, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 36(23): 7594-7602.]
- 肖骁, 李京忠, 韩彬, 等. 2017. 东北老工业区植被覆盖度时空特征及城市化关联分析[J]. *生态科学*, 36(6): 71-77. [Xiao X, Li J Z, Han B, et al. 2017. Spatial-temporal characteristics of vegetation coverage and its correlation with urbanization in traditional industrial area of Northeastern China[J]. *Ecological Science*, 36(6): 71-77.]
- 杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 2002. 近20年来黄河流域植被覆盖变化分析[J]. *地理学报*, 57(6): 679-684. [Yang S T, Liu C M, Sun R. 2002. The vegetation cover over last 20 years in Yellow River Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 57(6): 679-684.]
- 易浪, 任志远, 张翀, 等. 2014. 黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系[J]. *资源科学*, 36(1): 166-174. [Yi L, Ren Z Y, Zhang C, et al. 2014. Vegetation cover, climate and human activities on the Loess Plateau[J]. *Resources Science*, 36(1): 166-174.]
- 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等. 2013. 2000-2010年黄河流域植被覆盖的时空变化[J]. *生态学报*, 33(24): 7798-7806. [Yuan L H, Jiang W G, Shen W M, et al. 2013. The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 33(24): 7798-7806.]
- 张勃, 王东, 王桂钢, 等. 2015. 西南地区近14a植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. *长江流域资源与环境*, 24(6): 956-964. [Zhang B, Wang D, Wang G G, et al. 2015. Vegetation cover change over the Southwest China and its relation to climatic factors[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 24(6): 956-964.]
- 张翀, 任志远, 李小燕. 2012. 黄土高原植被对气温和降水的响应[J]. *中国农业科学*, 45(20): 4205-4215. [Zhang C, Ren Z Y, Li X Y. 2012. Research on vegetation response to temperature and precipitation in Loess Plateau[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 45(20): 4205-4215.]
- 张君, 延军平. 2017. 1982-2013年陕西不同植被类型NDVI变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 31(4): 86-92. [Zhang J, Yan J P. 2017. Characteristics of NDVI changes under the different vegetation types in Shaanxi Province from 1982 to 2013[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 31(4): 86-92.]
- 张效莉. 2007. 人口文化素质与生态环境相互作用机制的分析[J]. *统计教育*, (12): 50-52. [Zhang X L. 2007. Renkou wenhua suzhi yu shengtai huanjing xianghu zuoyong jizhi de fenxi[J]. *Statistical Education*, (12): 50-52.]
- 张亚玲, 苏惠敏, 张小勇. 2014. 1998-2012年黄河流域植被覆盖变化时空分析[J]. *中国沙漠*, 34(2): 597-602. [Zhang Y L, Su H M, Zhang X Y. 2014. The spatial-temporal changes of vegetation restoration in the Yellow River Basin from 1998 to 2012[J]. *Journal of Desert Research*, 34(2): 597-602.]
- 赵安周, 刘宪锋, 朱秀芳, 等. 2016. 2000-2014年黄土高原植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. *中国环境科学*, 36(5): 1568-1578. [Zhao A Z, Liu X F, Zhu X F, et al. 2016. Spatiotemporal analyses and associated driving forces of vegetation coverage change in the Loess Plateau[J]. *China Environmental Science*, 36(5): 1568-1578.]
- 郑玫, 傅强. 2008. 重庆市固定资产投资与城镇化率相关性的实证分析[J]. *发展研究*, (7): 69-72. [Zheng M, Fu Q. 2008. Chongqingshi guding zichan touzi yu chengzhenhualü xiangguanxing de shizheng fenxi[J]. *Development Research*, (7): 69-72.]
- Hansen B E. 2000. Sample splitting and threshold estimation [J]. *Econometrica*, 68(3): 575-603.

Feng X M, Fu B J, Piao S L, et al. 2016. Revegetation in China's Loess Plateau is approaching sustainable water re-

source limits[J]. *Nature Climate Change*, 6(11): 1019-1022.

Coordinating the development of urbanization and vegetation coverage based on precipitation

WEN Xiaojie¹, YAO Shunbo^{2*}, ZHAO Minjuan³

(1. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. Research Center for Resource Economics and Environment Management, Northwest A&F University,

Yangling 712100, Shaanxi, China; 3. Research Center for Applied Economics, Northwest

A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: In order to explore the coordinated development of urbanization and vegetation coverage, this study used the economic development and MODIS-NDVI data of 144 counties in the middle and upper reaches of the Yellow River Basin for 2000, 2005, 2010, and 2015 and the threshold regression model to analyze the influence of urbanization on vegetation coverage under different precipitation conditions. Precipitation was taken as the threshold variable that exerts the most significant impact on vegetation coverage. The results show that: (1) Along with the advancement of urbanization, vegetation covers are damaged, but precipitation during the process can play an important role in adjusting the relationship positively and promote the joint development of urbanization and the vegetation coverage. (2) The coordinated development of urbanization and vegetation coverage depends not only on precipitation, but also on local ecological construction, optimization and upgrading of industrial structure, and so on. The implementation of the Sloping Land Conversion Program on the Loess Plateau can accelerate the restoration of the vegetation cover, improve the ecological carrying capacity of the regional environment, and effectively alleviate the negative impact of urbanization development on vegetation coverage. (3) The increase of the proportion of the secondary industry in economic development poses a serious threat to the vegetation, which may halt the coordinated development of urbanization and vegetation coverage, especially in areas with low annual rainfall.

Key words: precipitation; urbanization; vegetation coverage; NDVI; threshold effect; middle and upper reaches of the Yellow River Basin