

# 基于证据权模型的退耕还林(草)驱动力因素分析 ——以陕西省吴起县为例

度阳, 张道军, 姚顺波

(西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**以2000年、2011年的Landsat TM影像为数据源,通过遥感解译和GIS空间技术集成,得到吴起县两期土地利用覆盖分类图,采用证据权模型研究吴起县154个村2000—2011年退耕还林(草)的格局演变及内在驱动机制。结果表明:11年来,吴起县耕地面积显著减少,林地、草地面积明显增加;耕地有84.6%退耕成林地、草地,其中,耕地的坡度、距离公路的距离、人均耕地面积与退耕还林(草)的分布呈正相关关系;高程与退耕还林(草)的分布呈倒U形关系;道路密度与退耕还林(草)分布呈负相关关系,但是显著程度并不明显;阴坡退耕还林(草)面积相对于阳坡面积较大;距离农村道路的距离对退耕还林(草)的分布没有显著的影响。气象数据相关变量中,年均相对湿度与退耕还林(草)分布呈倒U形关系,20—20时平均年降水量与退耕还林(草)分布呈正相关关系。

**关键词:**退耕还林(草); 驱动力; 证据权模型; GIS遥感解译; 吴起县

**中图分类号:** F326.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2017)06-0319-08

## Analysis of the Driving Forces of SLCP Based on the Weights of Evidence Model

—A Case Study of Wuqi, Shaanxi Province

DUO Yang, ZHANG Daojun, YAO Shunbo

(College of Economics & Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Based on the data of the Landsat TM images in 2000 and 2011, the study aims to use the weights of evidence to get two classification maps of land use and cover in Wuqi County by interpreting remote sensing and GIS technology integration space, then to search the evolution pattern and the driving mechanism of Sloping Land Conversion Program (SLCP) in 154 villages of Wuqi during the two years. The results showed that the area of cultivated land in Wuqi reduced significantly, while the forestland and grassland area increased obviously in the past 11 years. 84.6% of farmland was converted into forestland and grassland. The slope gradient, the distance from highway, and the per capita arable land area have the positive correlation with the distribution of SLCP; the distribution of SLCP and elevation have an inverted U-shape relationship; road density and the distribution of SLCP are negatively correlated, which is not significant; the area of SLCP in sunny slope is greater than in shady slope; the distance to rural roads has no significant effect on the distribution of SLCP. Among the variables related to meteorological data, annual average relative humidity and SLCP are invertedly U-shaped correlated, and 20—20 average annual precipitation and the distribution of SLCP are positively correlated.

**Keywords:** Sloping Land Conversion Program; driving forces; the weights of evidence model; GIS remote sensing interpretation; Wuqi County

退耕还林(草)工程是目前国家启动的林业生态  
工程中规模最大、投资最多、群众参与积极性最高的

一项生态工程<sup>[1]</sup>。自1999年试点以来,退耕还林  
(草)工程共完成造林任务2820万hm<sup>2</sup>,其中退耕地

收稿日期:2016-12-21

修回日期:2017-01-05

资助项目:研究得到林业公益性行业科研专项“退耕还林工程效益监测、评估与优化技术”(201504424)和国家自然科学基金“空间变参数数  
矿预测信息研究综合模型”(41602336)的联合资助

第一作者:度阳(1991—),女,河南南阳人,在读硕士研究生,研究方向为资源经济与环境管理。E-mail:dymmsunny@163.com

通信作者:姚顺波(1964—),男,湖南南县人,教授,博士,研究方向为资源经济与环境管理。E-mail:yaoshunbo@163.com

造林 906.7 万  $\text{hm}^2$ , 宜林荒山荒地造林 1 626.7 万  $\text{hm}^2$ , 封山育林 286.6 万  $\text{hm}^2$  [2]。退耕还林(草)工程在保护和改善生态环境方面取得了巨大成效,同时也提高了农民的收入,促进了农业产业结构调整,带动了经济的发展,取得了显著的社会效益。2014 年中央 1 号文件指出“从 2014 年开始,继续在陡坡耕地,严重沙化耕地,重要水源地实施退耕还林还草”,我国已重新启动中断 6 a 多的退耕还林(草)工程。为使新一轮退耕还林(草)政策更加合理完善,效果更加显著,有必要对前期退耕还林(草)不同驱动力因素进行分析,探究当前退耕还林(草)工程的后续发展动力。

驱动力因素研究对于当前退耕还林(草)工程的实施尤为重要。农户为什么愿意参加退耕还林(草)?退耕还林(草)工程的区位选择受哪些因素的影响?已有文献主要从以下 3 个方面进行研究:从经济学的视角,强调基于“经济绩效”的驱动力因素,这种观点认为,退耕还林(草)是通过比较成本、收益、风险而做出的经济人理性选择,按照这个逻辑,农户参与退耕还林(草)等生态建设项目是因为其经济效益为正。例如:蒋海从农户经济利益入手,研究林业投资激励和政府财政补贴对退耕还林(草)的持续性和有效性的影响 [3];刘璨等从退耕还林(草)对粮食产量和农民收入的影响角度分析农民积极参与退耕还林(草)工程的原因 [4]。从生态环境视角,认为生态建设不一定是理性的经济分析,退耕还林(草)是一项保护生态环境的林业生态工程。谷振宾等认为对退耕还林(草)生态工程的可持续性和生态影响的研究对于退耕还林(草)的后续发展尤其重要 [5];孔凡斌认为建立并完善我国的生态补偿机制是新时期我国生态环境建设和保护战略的重要内容 [6]。从地形因素视角,主要研究土地利用覆盖变化,Arekhi 通过运用 GIS 技术和逻辑回归模型对伊朗伊姆市北部林地进行研究,选取林地破碎指数、海拔、到道路、居民点和林地边界的距离、坡度等 6 个因素,研究结果表明,林地退化主要发生在破碎的地块和靠近林地边缘的地块,坡度和到道路、居民点的距离与林地退化有负相关关系,海拔越高的地方林地退化的概率越低 [7],顾哲衍等以皖西金寨县为例,用多时相影像分析技术和景观指数分析法,分析退耕还林(草)工程实施前后金寨县森林景观格局的时空演变特征和内在驱动因素 [8],Mikaela Schmitt-Harsh 用遥感分析,土地转移矩阵和多元回归模型,研究了危地马拉土地利用覆盖变化动态和驱动两种主要的土地利用覆盖系统 [9]。

从现有研究来看,学者对退耕还林(草)工程的研究已经完成从理论阶段到实践阶段的转变,对退耕还林(草)工程的研究机制已经趋于成熟。但是研究多集中在其生态补偿机制和经济效益两方面,少有文献以土地利用/覆盖变化为基础,研究退耕还林(草)驱动力。本文以土地利用覆盖变化为研究对象,通过对吴起县 2000 年和 2011 年遥感影像的处理分析,得出吴起县 2000 年和 2011 年的土地利用现状图,并提取退耕还林(草)空间范围;进而运用证据权模型定量计算地形、社会经济和气象等因素对退耕还林(草)的影响,对退耕还林(草)政策的合理性和后续发展动力进行评价和分析。

## 1 研究区概况

吴起县作为全国退耕还林(草)示范县,自 1999 年退耕还林(草)以来,县域 90% 的坡耕地得到有效治理,水土流失治理率达 71.6%,林草覆盖率从 1999 年的 19.2% 提高到 62.9%,生态环境逐步改善。吴起县退耕还林(草)工程取得了显著的成果,对于西北地区乃至全国退耕还林(草)工程的实施都有借鉴意义,因此本研究以吴起县为例展开。

### 1.1 吴起县自然地理条件

吴起县隶属于陕西省延安市,位于延安市西北部。地处东经  $107^{\circ}38'$ — $108^{\circ}32'$ ,北纬  $36^{\circ}33'$ — $37^{\circ}24'$ ,海拔在 1 233~1 809 m。南北长 93.4 km,东西宽 79.89 km,总面积 3 791.5  $\text{km}^2$ 。全县地貌属黄土高原梁状丘陵沟壑区,境内有无定河与北洛河两大流域。吴起县属半干旱温带大陆性季风气候,年平均气温  $7.8^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温  $37.1^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温  $-25.1^{\circ}\text{C}$ 。年平均降雨量 483.4 mm,年平均无霜期 146 d。

### 1.2 吴起县退耕还林(草)工程实施概况

吴起县 1999 年一次性退耕 10.37 万  $\text{hm}^2$ ,只留下 2 万  $\text{hm}^2$  口粮田。截至 2012 年,全县累计完成退耕还林面积 16.3 万  $\text{hm}^2$ ,经国家确认兑现 12.32 万  $\text{hm}^2$ ,成为全国退得最早、还得最快、面积最大、群众得实惠最多的县份。吴起县先后被国家林业局、水利部、财政部等部委确定为“全国退耕还林试点示范县”、“全国造林先进县”、“全国十百千水保生态环境建设先进县”、“全国林业建设标准化示范县”、“全国水土保持先进集体”和“全国退耕还林与扶贫开发工作结合试点县”。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本文以吴起县 2000 年和 2011 年的 Landsat TM 影像为数据源,综合应用遥感数据和地理信息数据,首

先在遥感处理软件 ArcGIS 10.2 中对影像进行剪裁、几何校正、拼接,然后在 ENVI 5.2 中,面向对象特征分类提取遥感影像信息。根据各种地物的特征,人工分出一部分类别,然后计算机根据人工分类的结果自动提取各种遥感影像的信息。同时,根据 DEM 数字高程模型的地形特征统计各土地类型在坡度、坡向、高程的空间分布情况。气象数据来自于中国气象数据网 1981 年 2010 年 30 a 中国地面累年值数据集。

将遥感影像分类结果转成栅格格式图像(分辨率为 30 m),所有的栅格数据都被统一成栅格大小为 30 m×30 m,与 DEM 数据生成的地形因子栅格数据进行空间叠加运算,获得耕地、林地、草地的地表真实面积。把 2011 年的遥感解译影像和 2000 年的进行比较,研究 2000 年的耕地到 2011 年变成林地和草地的情况。

地形会直接影响地表物质的迁移与能量的转换。高程和坡度是土地资源固有的两个重要的环境因子,对土地利用和土地承载力有着直接的作用。高程和坡向决定了局地的温度和光照状况,坡度影响着局地的土壤保持和水源涵养能力;道路密度和道路距离表征耕地的交通便利情况,人均耕地面积反映研究区耕地后备资源;降水量和平均相对湿度直接影响农业的

发展和农作物的生长,因此选取以上指标研究吴起县退耕还林(草)工程的驱动力因素。

吴起县的高程 1 228~1 811 m,按照 100 m 的间距分为 7 个等级;根据重力、动力学等原理,及 2004 年“土地利用更新调查技术规定”<sup>[10]</sup>,本文中将坡度分为<2°,2°~6°,6°~15°,15°~25°,25°~35°,>35°6 个等级;在坡向上,正北方向为 0°,按照顺时针方向,分为北坡(337.5°~360°,0°~22.5°),东北坡(22.5°~67.5°),东坡(67.5°~112.5°),东南坡(112.5°~157.5°),南坡(157.5°~202.5°),西南坡(202.5°~247.5°),西坡(247.5°~292.5°)西北坡(292.5°~337.5°)8 个等级。道路分为公路和农村道路两类,其中农村道路又以 3 m 宽度为界限,分为两类。公路分为 100~200.5,200.5~500.5,500.5~1 000.5,1 000.5~2 500.5,2 500.5~4 000.5,4 000.5~6 000.5,6 000.5~10 000.5 m 共 7 个等级;农村道路分为 100~100.5,100.5~200.5,200.5~300.5,300.5~400.5,400.5~500.5,500.5~600.5,600.5~10 000.5 m 共 7 个等级。道路密度、人均耕地面积按一倍标准差进行分类,年平均相对湿度、20~20 时平均年降水量按照 1/2 倍标准差进行分类。各项操作均在软件 ArcGIS 10.2 支持下完成。各变量具体分级见表 1。

表 1 各影响因子分级

等级	坡向	坡度/ (°)	高程/ m	道路 距离 1/m	道路密度/ (m·m <sup>-2</sup> )	道路 距离 2/m	道路 距离 3/m	人均耕地 面积/m <sup>2</sup>	年均相对 湿度/%	20—20 时平均 年降水量/mm
1	N	<2	1228~1328	100~200.5	0.0000~0.0004	100~100.5	100~100.5	583~3137	52.1~52.3	371~375
2	NE	2~6	1328~1428	200.5~500.5	0.0004~0.0011	100.5~200.5	100.5~200.5	3138~5791	52.3~53.3	375~393
3	E	6~15	1428~1528	500.5~1000.5	0.0011~0.0018	200.5~300.5	200.5~300.5	5791~8443	53.3~54.2	393~411
4	SE	15~25	1528~1628	1000.5~2500.5	0.0018~0.0025	300.5~400.5	300.5~400.5	8443~11096	54.2~55.2	411~430
5	S	25~35	1628~1728	2500.5~4000.5	0.0025~0.0032	400.5~500.5	400.5~500.5	11096~13749	55.2~56.2	430~448
6	SW	>35	1728~1828	4000.5~6000.5	0.0032~0.0039	500.5~600.5	500.5~600.5	13749~16402	56.2~57.2	448~453
7	W			6000.5~10000.5	0.0039~0.0055	600.5~10000.5	600.5~10000.5	16402~19055	57.2~58.2	
8	WE							19055~32625	58.2~59.2	
9									59.2~60.1	

注:道路距离 1 指耕地距离公路的距离;道路距离 2 指耕地距离农村道路(大于等于 3 m)的距离;道路距离 3 指耕地距离农村道路(小于 3 m)的距离。

2.2 证据权模型

证据权方法是基于贝叶斯定理的一种数据驱动方法,是综合各种证据来支持一种假设的定量方法,该方法最初主要用在对医疗诊断的支持上。20 世纪 80 年代,加拿大地质学家 Agterberg 和数学家 Bonham-Cater 将证据权方法引入到矿产资源预测与评价中<sup>[11]</sup>。近年来,证据权法在滑坡敏感性评价和生态环境等多个领域也得到了广泛的应用。在证据权方法中,假设各影响因子之间是互相独立的。证据权方法与其他二元统计方法相比,其优点是不但考虑了

退耕还林(草)发生的充分率得到的正权重,还考虑了由退耕还林(草)发生的必要率得到的负权重,但是负权重表示影响级别以外的部分发生退耕还林(草)的概率,是对于不发生退耕还林(草)的贡献,本文没有对负权重单独进行分析,但最终权重的选择综合考虑了两者。证据权方法以贝叶斯统计概率为基础。基本原理是把每一种影响因子看作是二值证据图层,取值为“1”(表示该地块退耕,下同)或“0”(表示该地块没有退耕,下同),每个证据图层对退耕还林(草)的贡献就由该证据图层取值状态(“1”或“0”)的权重来确

定。证据权重值(及  $W^+, W^-$ )的计算依赖于二值图层 2 种状态各自对应面积、研究区域总面积以及二值图层中 2 种取值状态各自包含的退耕还林(草)面积和整个研究区域的退耕还林(草)总面积,然后通过贝叶斯公式综合各个证据图层权重,得到预测区域的后验概率。

对于退耕还林(草)驱动力因素评价来说,该方法基于退耕还林(草)区计算每个影响因子的权重。式(1)与式(2)用来计算影响因子发生的证据权,  $P\{B/D\}/P\{B/D^-\}$  代表退耕还林(草)发生的充分率,  $P\{B^-/D\}/P\{B^-/D^-\}$  代表退耕还林(草)发生的必要率。 $W^+$  表示当前影响因子级别发生退耕还林(草)的概率,其大小表示该影响因子级别与其内部发生退耕还林(草)的正相关系数,  $W^-$  表示影响因子级别以外的部分发生退耕还林(草)的概率,其大小表示该影响因子级别内部发生退耕还林(草)的负相关系数,两者的差值表示该影响因子级别内发生退耕还林(草)的权重。各项操作均在软件 GeoDAS 的支持下完成。

对照图 3,计算  $W^+, W^-$  值:

$$W^+ = \ln \frac{P(B/D)}{P(B/D^-)}$$

(1)

$$W^- = \ln \frac{P(B^-/D)}{P(B^-/D^-)}$$

(2)

$$C = W^+ - W^-$$

(3)

$$P(B/D) = \text{Area}(D \cap B) / \text{Area}(D)$$

(4)

$$P(B/D^-) = \text{Area}(D^- \cap B) / \text{Area}(D^-)$$

(5)

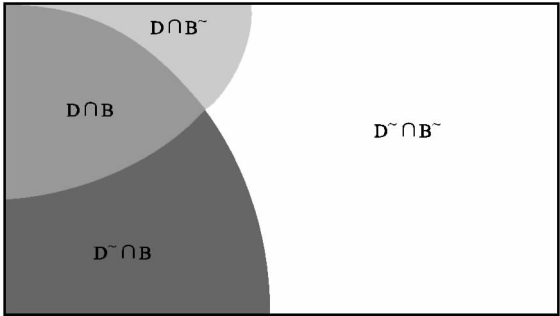
$$P(B^-/D) = \text{Area}(D \cap B^-) / \text{Area}(D)$$

(6)

$$P(B^-/D^-) = \text{Area}(D^- \cap B^-) / \text{Area}(D^-)$$

(7)

式中:  $\text{Area}()$  表示取特定集合的面积,各集合含义见图 1。



注:  $D$  表示有退耕还林(草)集合(图中浅蓝色填充部分);  $D^-$  表示无退耕还林(草)集合,  $B$  表示该证据权图层取值为“1”(图中深蓝色填充部分);  $B^-$  表示该证据权图层取值为“0”的单元集合;  $\cap$  表示交集,即同时存在。

图 1 二值证据图层与预测目标图层关系示意图

### 3 结果与分析

本文退耕还林(草)影响因子的选择从地形因素、气象因素、社会经济因素 3 个方面考量,选取坡向、坡度、高程、道路距离 1,道路距离 2,道路距离 3,道路密度、年平均相对湿度、20~20 时平均年降水量、人均耕地面积共 10 个影响因子,并用证据权模型计算各个影响因子不同等级的权重,计算结果见表 2。

表 2 基于吴起县退耕还林(草)的 10 个影响因子各个等级证据权计算

Value	Area	CArea	Points	CPoints	$W^+$	$S^+$	$W^-$	$S^-$	$C$	Sdev	$T$
坡向											
北坡	62421	62421	53938	53938	0.14	0.01	-0.01	0	0.16	0.01	12.87
东北坡	125838	125838	109888	109888	0.22	0.01	-0.05	0	0.27	0.01	29.25
东坡	151703	151703	131394	131394	0.16	0.01	-0.04	0	0.2	0.01	24.2
东南坡	96031	96031	80238	80238	-0.08	0.01	0.01	0	-0.1	0.01	-10.09
南坡	74788	74788	59074	59074	-0.38	0.01	0.06	0	-0.44	0.01	-45.2
西南坡	59193	59193	47169	47169	-0.34	0.01	0.04	0	-0.38	0.01	-34.84
西坡	50954	50954	43082	43082	-0.01	0.01	0	0	-0.01	0.01	-0.58
西北坡	47067	47067	40611	40611	0.13	0.01	-0.01	0	0.14	0.01	10.25
坡度											
<2°	11264	667995	6880	565394							
2°~6°	66370	656731	45663	558514	0.03	0	-1.26	0.02	1.29	0.02	65.58
6°~15°	223847	590361	186065	512851	0.18	0	-0.97	0.01	1.15	0.01	133.97
15°~25°	236120	366514	209069	326786	0.4	0.01	-0.37	0	0.77	0.01	111.27
25°~35°	109077	130394	98184	117717	0.52	0.01	-0.1	0	0.62	0.01	62.11
>35°	21317	21317	19533	19533	0.69	0.02	-0.02	0	0.7	0.02	28.2
高程/m											
1228~1328	18931	667995	9203	565394							
1328~1428	74966	649064	57020	556191	0.08	0	-1.76	0.01	1.85	0.01	123.29
1428~1528	221261	574098	182235	499171	0.19	0	-0.83	0.01	1.02	0.01	125.48
1528~1628	251874	352837	226568	316936	0.47	0.01	-0.39	0	0.86	0.01	121.99
1628~1728	92689	100963	83226	90368	0.44	0.01	-0.07	0	0.5	0.01	46.13
1728~1828	8274	8274	7142	7142	0.14	0.03	0	0	0.14	0.03	4.26

续表 2

Value	Area	CArea	Points	CPoints	W <sup>+</sup>	S <sup>+</sup>	W <sup>-</sup>	S <sup>-</sup>	C	Sdev	T
道路距离 1/m											
100~200.5	55361	667995	33768	565394							
200.5~500.5	47737	612634	37938	531626	0.17	0	-1.26	0.01	1.43	0.01	151.06
500.5~1000.5	58982	564897	50200	493688	0.23	0	-0.88	0.01	1.11	0.01	141.15
1000.5~2500.5	145028	505915	122181	443488	0.25	0	-0.6	0.01	0.85	0.01	118.69
2500.5~4000.5	115668	360887	100401	321307	0.39	0.01	-0.35	0	0.74	0.01	106.43
4000.5~6000.5	105587	245219	92986	220906	0.5	0.01	-0.23	0	0.73	0.01	92.58
6000.5~10000.5	139632	139632	127920	127920	0.68	0.01	-0.14	0	0.82	0.01	79.41
道路距离 2/m											
100~100.5	238521	667995	195421	565394							
100.5~200.5	148781	429474	124409	369973	0.12	0	-0.2	0.01	0.32	0.01	45.66
200.5~300.5	99780	280693	86213	245564	0.24	0.01	-0.15	0	0.39	0.01	54.67
300.5~400.5	64568	180913	56650	159351	0.29	0.01	-0.1	0	0.39	0.01	47.32
400.5~500.5	42181	116345	37285	102701	0.31	0.01	-0.06	0	0.37	0.01	37.64
500.5~600.5	27387	74164	24218	65416	0.31	0.01	-0.03	0	0.34	0.01	28.43
600.5~10000.5	46777	46777	41198	41198	0.29	0.01	-0.02	0	0.31	0.01	21.27
道路距离 3/m											
100~100.5	87215	667995	70823	565394							
100.5~200.5	87222	580780	71428	494571	0.04	0	-0.24	0.01	0.28	0.01	30.1
200.5~300.5	83031	493558	69185	423143	0.09	0	-0.22	0.01	0.31	0.01	41.56
300.5~400.5	76560	410527	65409	353958	0.13	0	-0.18	0.01	0.31	0.01	45.11
400.5~500.5	66639	333967	57520	288549	0.14	0.01	-0.13	0	0.27	0.01	39.82
500.5~600.5	56126	267328	48784	231029	0.14	0.01	-0.09	0	0.23	0.01	32.93
600.5~10000.5	211202	211202	182245	182245	0.13	0.01	-0.06	0	0.19	0.01	25.39
道路密度											
0.0000~0.0004	4851	4851	4076	4076	-0.05	0.04	0	0	-0.05	0.04	-1.2
0.0004~0.0011	38653	43504	33335	37411	0.11	0.01	-0.01	0	0.12	0.01	8.1
0.0011~0.0018	159496	203000	137103	174514	0.11	0.01	-0.04	0	0.15	0.01	19.86
0.0018~0.0025	257975	460975	220031	394545	0.07	0	-0.15	0.01	0.23	0.01	32.05
0.0025~0.0032	163595	624570	135777	530322	0.02	0	-0.27	0.01	0.29	0.01	23.09
0.0032~0.0039	39663	664233	32173	562495	0	0	-0.49	0.04	0.5	0.04	12.8
0.0039~0.0055	3762	667995	2899	565394							
人均耕地面积/m <sup>2</sup>											
583~3137	81568	667995	65757	565394							
3138~5791	175162	586427	143194	499637	0.04	0	-0.28	0.01	0.33	0.01	33.9
5791~8443	129880	411265	108631	356443	0.17	0	-0.23	0.01	0.4	0.01	57.99
8443~11096	130315	281385	113853	247812	0.29	0.01	-0.18	0	0.47	0.01	65.9
11096~13749	50113	151070	42321	133959	0.35	0.01	-0.09	0	0.44	0.01	49.12
13749~16402	29068	100957	26241	91638	0.58	0.01	-0.08	0	0.66	0.01	57.72
16402~19055	6971	71889	6597	65397	0.6	0.01	-0.06	0	0.66	0.01	49.02
19055~32625	64918	64918	58800	58800	0.56	0.01	-0.05	0	0.6	0.01	43.54
年平均相对湿度/%											
52.1~52.3	9345	667995	6220	565394							
52.3~53.3	65410	658650	42116	559174	0.02	0	-1.02	0.02	1.04	0.02	46.78
53.3~54.2	66257	593240	53706	517058	0.21	0	-1.1	0.01	1.31	0.01	152.81
54.2~55.2	87802	526983	78801	463352	0.28	0	-0.74	0.01	1.02	0.01	140.05
55.2~56.2	104899	439181	94006	384551	0.24	0	-0.38	0.01	0.62	0.01	90.82
56.2~57.2	116651	334282	103315	290545	0.19	0.01	-0.17	0	0.35	0.01	51.46
57.2~58.2	111321	217631	99331	187230	0.11	0.01	-0.05	0	0.16	0.01	21.89
58.2~59.2	62603	106310	51898	87899	-0.14	0.01	0.03	0	-0.17	0.01	-19.3
59.2~60.1	43707	43707	36001	36001	-0.17	0.01	0.01	0	-0.18	0.01	-13.61
20—20 时平均年降水量/mm											
371~375	2538	667995	2250	565394							
375~393	103504	665457	77272	563144	0	0	0.35	0.06	-0.35	0.06	-5.59
393~411	181947	561953	154662	485872	0.15	0	-0.61	0.01	0.76	0.01	93.42
411~430	222457	380006	199498	331210	0.21	0	-0.24	0	0.44	0.01	65.26
430~448	140601	157549	117698	131712	-0.08	0.01	0.02	0	-0.1	0.01	-13.09
448~453	16948	16948	14014	14014	-0.14	0.02	0	0	-0.15	0.02	-7.13

注: Value 表示影响因子及分级; Area 表示栅格数; CArea 表示累积栅格数; Points 表示退耕还林(草)栅格数; CPoints 表示累积退耕还林(草)栅格数; W<sup>+</sup> 表示当前影响因子级别发生退耕还林(草)的正权重; W<sup>-</sup> 表示影响因子级别以外的部分发生退耕还林(草)的负权重; S<sup>+</sup>, S<sup>-</sup> 分别表示 W<sup>+</sup>, W<sup>-</sup> 的标准差; C 表示该影响因子级别内发生退耕还林(草)的权重; Sdev 表示 C 的标准差; T 表示统计量。

### 3.1 地形驱动因素

(1) 坡向。坡向因素对农业的影响作用主要体现在阴坡和阳坡,退耕还林(草)在不同坡向的分布情况见图2。退耕还林(草)主要分布在北坡、东坡、东北坡、西北坡,其 $C$ 值分别为0.16,0.2,0.27,0.14(表2),其空间分布符合自然和社会规律,这主要是因为南坡、西坡和西南坡等阳坡光照充足、温度较高,但水分条件不好,因此退耕还林(草)效果不好;北坡、东坡和东北坡等阴坡光照较少,温度相对于阳坡较低,水分条件比阳坡好,退耕还林(草)效果相对较好,因此2000—2011年期间,吴起县退耕还林(草)效果较好的主要分布在阴坡,这与周文渊等<sup>[12]</sup>的研究结论一致。

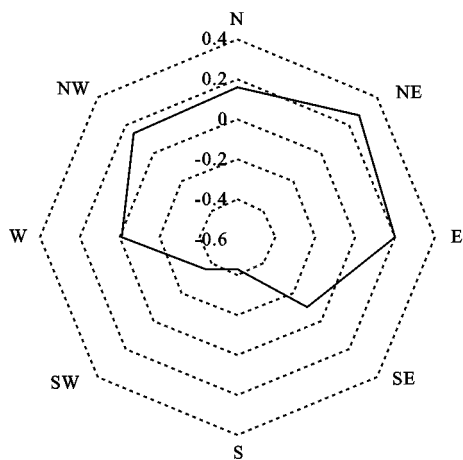


图2 坡向 $C$ 值分布

(2) 坡度。坡度是决定是否退耕还林(草)的重要条件。按照我国退耕还林(草)政策的基本要求: $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的耕地是主要的农作物种植区域,不需要退耕,是重点保护的耕地区域; $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的耕地需要采取工程措施以防止水土流失的发生,是退耕还林(草)的备选区域; $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 坡耕地作为林牧区域用地,需要退耕还林(草),是退耕还林(草)的必须区域; $35^{\circ}$ 以上的坡耕地是退耕还林(草)的紧迫区域,是我国治理水土流失的重要区域<sup>[13-14]</sup>。由表2可知,随着坡度的增加,退耕还林(草)正权重 $W^+$ 也逐渐变大,这表明2000—2011年期间,吴起县坡度较大的耕地,是退耕还林(草)发生的主要区域,同时坡度6个等级分类中, $C$ 值均为正(图3),表明退耕还林(草)区域的选择与耕地的坡度有着显著的正相关关系,这与我国的退耕还林(草)政策相吻合。

(3) 高程。高程每增加100 m,温度下降 $0.6^{\circ}\text{C}$ ,随着高程的增加,温度较低,不利于农作物的生长。由表2可知,高程分类的第4个等级正权重 $W^+$ 为0.47,达到了最大值,在高程相对较低或者较高的等级里,正权重 $W^+$ 都小于0.47,这是因为在高程较低

的地方,耕地都主要用于农作物的种植,在高程太高的地方,由于退耕还林(草)的操作难度较大,且后期的管护也比较困难,自然条件差,退耕还林(草)的质量相对较差,也可能是因为高程较高,虽然已经退耕,但是由于温度较低或者积雪的原因,林草生长状况较差或是林草已经死亡,在对遥感影像进行解译分类的过程中,这部分长势较差或是已经死亡的林地或草地被划为了耕地。整体上来看,高程与退耕还林(草)的分布呈倒U形关系。

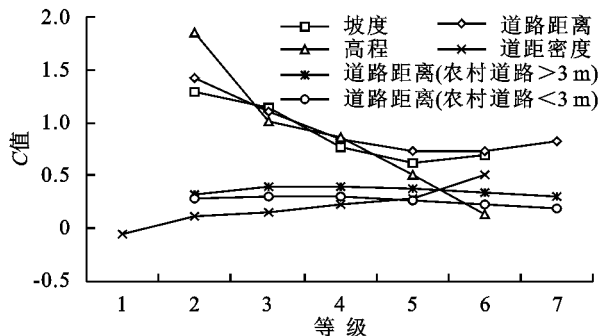


图3 地形驱动因素 $C$ 值分布

(4) 道路距离。本文根据权属划分公路和农村道路,公路属于国有土地,农村道路属于集体土地。耕地与公路的距离与退耕还林(草)的分布有着显著的正相关关系,耕地距离公路越远,退耕还林(草)面积越大。从表2可知,正权重 $W^+$ 随着耕地与公路距离的增加,逐渐变大。同时,显著值 $C$ 值均为正,且随着分类等级的变化,有着明显的波动趋势。这种分布规律是符合实际情况的,由于距离公路较近的耕地都是质量较好的耕地,便于耕种、收割,且收成相对较好;距离公路较远的耕地坡度大且耕地质量差,不利于耕种,是退耕还林(草)的首选区域。

耕地与农村道路的距离对退耕还林(草)的面积没有显著的影响作用。由表2可知,不同分类等级条件下,正权重 $W^+$ 的值没有明显的差别,但是大于3 m的农村道路,相对于小于3 m的农村道路,对退耕还林(草)的影响作用相对显著。这可能是由于农村道路的影响范围较小,本文在分类的过程中,以100 m为划分等级,在距离农村道路几百米范围内的耕地坡度和质量差别不大。但是道路宽度越大,对于耕种和收获来说都相对比较便利,因此农村道路的宽度不同,对退耕还林(草)的影响作用也不同,图3中大于3 m的农村道路对退耕还林(草)的显著值 $C$ 值明显高于小于3 m的农村道路的 $C$ 值。

(5) 道路密度。道路密度对于退耕还林(草)的影响作用并不显著,由图3可知,显著程度 $C$ 值均小于1,且有负值,正权重 $W^+$ 相对较小,但是由正权重值可以看出,道路密度越大,退耕还林(草)面积越

小。这可能是由于道路密度较大的地方,耕地是平地,道路密度小的地方耕地是坡耕地,坡耕地是退耕还林(草)的主要选择区域。此外,由于本文的道路密度包括了公路和农村道路,导致对于对退耕还林的影响作用并不显著。

在不同地形级别上,退耕还林(草)表现出不同的分布特征。退耕还林(草)主要分布在阴坡,其中东北坡  $C$  值为 0.27,最为显著;当坡度大于  $35^{\circ}$  时,正权重值达到最大,为 0.69;当高程为 1 528~1 628 m 时,正权重值为 0.47,最为显著;耕地距离公路的距离为 6 000.5~10 000.5 m 时,正权重值为 0.68;耕地距离农村道路的距离、道路密度在不同级别里正权重值都相对较小。因此地形因素中,对退耕还林(草)影响最显著的是坡度,坡度是决定是否退耕的重要条件,同时高程、坡向、耕地距离公路的距离对于退耕还林(草)也有显著的影响作用,耕地距离农村道路的距离、道路密度对退耕还林(草)的影响作用较小。

3.2 气象驱动因素

(1) 年平均相对湿度。湿度对林草的生长有着重要的影响作用。湿度的变化影响着农作物的抗逆性,主要表现在影响农作物的病虫害的发生,相对湿度的高低,对流行性疾病的影响程度较大<sup>[15]</sup>。由表 2 可知,正权重值  $W^+$  在第 4 个分类等级达到最大值,在第 8,9 个分类等级甚至是负值,因为平均湿度小,缺少水分,退耕还林(草)效果较差,随着平均相对湿度的增加,退耕还林(草)效果越好,  $W^+$  越大,但在第 8,9 个分类等级条件下,年平均相对湿度很大,但由于是峡谷地区,属于农田基本用地,因此  $W^+$  值是负值。由图 4 可知,总权重  $C$  值在第 8,9 两个分类等级条件下,分布在 0 值附近,表明对退耕还林(草)区林草的生长影响作用小,但在前 3 个分类等级条件下,  $C$  值均大于 1,对退耕还林(草)区林草的生长有着显著的影响作用。因此,年平均相对湿度与退耕还林(草)的分布呈倒 U 形关系。

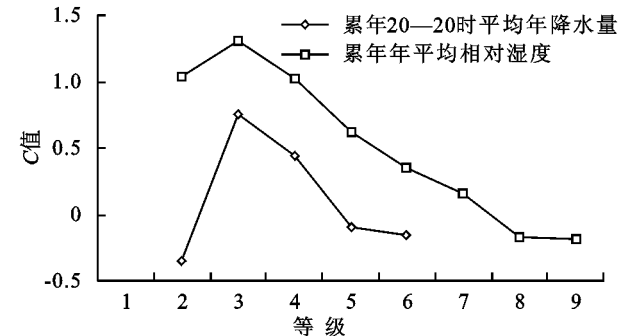


图 4 气象驱动因素  $C$  值分布

(2) 20—20 时平均年降水量。降水量直接影响了农业的发展和农作物的生长。从分析结果可知,当

降水量为 374~393 mm 时,退耕还林(草)区林草长势是最好的,但随着降水量的逐渐增加,正权重值  $W^+$  减小,甚至出现负值,这可能与吴起县的自然灾害雨涝有关,雨涝主要是暴雨和连阴雨,持续数天的连阴雨使垄作作物植株霉烂造成减产。由图 4 可知,总权重  $C$  值波动也较大,且相对较小,说明 20—20 时平均年降水量是对退耕还林(草)区林草生长影响较小的因子。

气象条件对农作物的生长有一定的影响作用。在相对湿度为 54.2%~55.2% 等级范围时,正权重值是 0.28,为最大值;20—20 时平均年降水量对退耕还林(草)的影响作用不显著。

3.3 社会经济驱动因素

人均耕地面积。人均耕地面积和退耕还林(草)的面积有着正相关的关系,人均耕地面积越多,退耕还林(草)面积也相对较多,从表 2 可知,随着人均耕地面积的增加,正权重  $W^+$  值的不断变大,但是在第 8 个分类等级中,  $W^+$  有微小的波动。传统的农民对土地有着特殊的情结,因为农民没有固定的收入来源,土地在一定程度上给农民的生活提供了保证,在调研过程中也发现,农民对于退耕还林(草)补贴到期之后国家的政策十分关注,如果国家停止了补贴,在退耕还林(草)没有收入的情况下,农民为了保障基本生活,也可能会选择复耕。因此人均耕地面积越少,退耕还林(草)的面积也相对较少,这也是政府在实施退耕还林(草)政策的过程中,考虑到农民实际情况,而采取的人性化措施。

以上分析可知,地形驱动因素对退耕还林(草)的分布有着显著的相关关系,尤其是高程、坡度等因素影响作用显著;气象因素对于退耕还林(草)有一定的影响,但作用并不显著;社会经济因素对退耕还林(草)有着显著的影响作用。

4 结论与讨论

(1) 地形因素与吴起县退耕还林(草)的分布有着显著的相关关系。高程与退耕还林(草)的分布呈倒 U 型关系。坡向对退耕还林(草)的分布也有显著的影响作用,退耕还林(草)主要分布在北坡、东坡、东北坡、西北坡等阴坡。退耕还林(草)区域的选择和耕地的坡度、耕地距离公路的距离有着显著的正相关关系耕地距离农村道路的距离对退耕还林(草)的面积没有显著的影响作用,但是大于 3 m 的农村道路,相对于小于 3 m 的农村道路,对退耕还林(草)的影响作用相对显著,道路密度对于退耕还林(草)的影响作用并不显著。

(2) 气象因素对退耕还林(草)有一定的影响,但影响作用并不显著。年平均相对湿度与退耕还林(草)的分布呈倒 U 形关系。年平均降雨量对退耕还林(草)区的林草生长有一定的影响,但影响作用较小。

(3) 社会经济因素对退耕还林(草)有着显著的影响作用。人均耕地面积和退耕还林(草)的面积有着正相关关系,人均耕地面积越多,退耕还林(草)面积也相对较多,这与基本口粮田项目建设的政策相吻合。

由以上分析可知,地形因素决定退耕还林(草)区位的选择和退耕质量以及后期管护的难易程度,气象因素影响退耕林草的长势和成活率,社会经济因素决定该地区是否有耕地资源实施退耕还林(草)。吴起县作为全国退耕还林第一县,在实施退耕还林(草)过程中,严格遵守国家政策,在坡度高、高程高、距离公路较远的耕地进行退耕,对其他地区退耕还林(草)工程的实施起到了示范效应。退耕还林(草)是一项综合性很强的工程,在新一轮退耕还林(草)过程中,政府在制定政策时应考虑地形因素、社会经济因素及当地气候条件的影响作用,使决策执行结果更具科学性,更加符合客观实际情况,提高退耕还林(草)工程的质量。

#### 参考文献:

- [1] 刘宗飞,姚顺波,渠美. 吴起农户相对贫困的动态演化: 1998—2011[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(3): 56-62.
- [2] 国家林业局. 中国林业统计年鉴[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [3] 蒋海. 中国退耕还林的微观投资激励与政策的持续性[J]. 中国农村经济, 2003(8): 30-36.
- [4] 刘璨,武斌,鹿永华. 中国退耕还林工程及其所产生的影

响[J]. 林业经济, 2009(10): 41-46.

- [5] 谷振宾,王立群. 我国退耕还林生态影响及其评估研究进展[J]. 生态经济, 2007(5): 27-29.
- [6] 孔凡斌. 生态补偿机制国际研究进展及中国政策选择[J]. 中国地质大学学报: 社会科学版, 2010, 10(2): 1-5.
- [7] Arekhi M S. Modeling spatial pattern of deforestation using GIS and logistic regression: A case study of northern Ilam forests, Ilam province, Iran[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(72): 16236-16249.
- [8] 顾哲衍,张金池,汪春林,等. 退耕还林对皖西金寨县森林景观格局演变的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 149-153.
- [9] Schmitt-Harsh M. Landscape change in Guatemala: Driving forces of forest and coffee agro-forest expansion and contraction from 1990 to 2010 [J]. Applied Geography, 2013, 40(2): 40-50.
- [10] 崔步礼,李小雁,姜广辉,等. 基于 DEM 的山地丘陵区土地利用/覆被研究: 以青海湖流域为例[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 871-880.
- [11] 张道军,成秋明,左仁广. 证据权模型中两种预测单元划分方式对比[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43(3): 1040-1052.
- [12] 周文渊,郭建英,孙保平,等. 吴起县退耕还林工程实施前后土地利用/覆盖变化[J]. 中国水土保持, 2010(7): 45-48.
- [13] 王思远,黄裕婕,陈志祥. 黄河流域退耕还林还草的遥感研究[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2005, 45(3): 306-309.
- [14] 许辉熙,薛万蓉. 考虑坡度因子与时序问题的小流域退耕还林时空决策分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2015(4): 30-32.
- [15] 刘燕强. 大气相对湿度变化趋势对农作物的影响研究[J]. 中国农业信息, 2013(7): 190-190.

(上接第 318 页)

- [37] 甘树,卢少勇,秦普丰,等. 太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价[J]. 环境科学, 2012, 33(9): 3064-3070.
- [38] 刘东艳,申旭红,王玉珏,等. 烟台四十里湾表层沉积物有机质来源及环境意义[J]. 海洋学报, 2012, 34(5): 205-212.
- [39] Prahl F G, Bennett J T, Carpenter R. The early diagenesis of aliphatic hydrocarbons and organic matter in sedimentary particulates from Dabob Bay, Washington [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1980, 44(12): 1967-1976.
- [40] 王天阳,王国祥. 昆承湖沉积物中重金属及营养元素的

污染特征[J]. 环境科学研究, 2008, 21(1): 51-58.

- [41] 刘恩峰,沈吉,朱育新,等. 太湖沉积物重金属及营养盐污染研究[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 507-512.
- [42] 张雷,郑丙辉,田自强,等. 西太湖典型河口区湖滨带表层沉积物营养评价[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(5): 4-9.
- [43] Krishnamurthy R V, Bhattacharya S K, Kusumgar S. Palaeoclimatic changes deduced from  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and C/N ratios of Karewa Lake sediments, India [J]. Nature, 1986, 323(11): 150-152.
- [44] 王苏民,冯敏. 内蒙古岱海湖泊环境变化与东南季风强弱的关系[J]. 中国科学 B 辑, 1991(7): 759-768.