

黄土丘陵区生态退耕中的景观格局演变及其地形驱动

刘栩如¹, 张琳¹, 杨磊², 邱扬¹, 王军³

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 中国科学院 生态环境研究中心
城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 3. 国土资源部 土地整理中心, 北京 100812)

摘要:黄土丘陵区大规模生态退耕对该区域土地利用、景观格局及其生态系统服务产生了重要影响。基于野外调查和 GIS 分析,以典型黄土丘陵小流域大南沟为例,分析了 1975—2007 年生态退耕前后土地利用结构变化、景观格局演变及其地形驱动。结果表明流域大规模退耕前有小面积弃耕现象,耕地和荒草地稍有减少,林地增加,斑块数量增加,景观格局趋于复杂,破碎化严重。2000 年大规模退耕以后,耕地大量减少,退耕地和荒草地约占流域面积 75%,林地增加,各景观类型形状趋于简单、分布趋于均匀和集中。随退耕年限增加,林地持续增加,存在小面积的复垦现象,流域景观结构趋于复杂,但整体格局趋于合理。相对海拔和坡度是生态退耕最重要的两个地形驱动因子,大规模退耕后,耕地和果园趋向于中低海拔和坡度较缓的区域分布,荒草地基本不变,退耕地和林地趋向于高海拔和较陡的区域分布。

关键词:黄土丘陵区; 生态退耕; 土地利用; 景观格局; 地形驱动

中图分类号: Q14; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0103-07

The Effects of Ecological Cropland-Conversion on Landscape Pattern Change and Its Topography Driving in Loess Hilly Region

LIU Xuru¹, ZHANG Lin¹, YANG Lei², QIU Yang¹, WANG Jun³

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

Abstract: Significant effects of large-scale ecological cropland-conversion on land use, landscape pattern and its ecosystem service have taken place in the loess hilly region. A typical small catchment in loess hilly region, Da'nangou Catchment, was chosen, and the field investigation and GIS analysis were combined to analyze the land use structure change, landscape pattern change and its topography driving during the period from 1975 to 2007. The results showed that the spontaneous shift of farmland occurred before large-scale ecological cropland-conversion, during this period, area of cropland and waste-grassland reduced a little while forestland increased. The number of patches became more, the landscape pattern became more complex and fragmentation became more serious. In 2000, area of cropland reduced greatly, the proportion of natural waste-grassland and abandoned land was 75% of the area of the whole catchment, and forestland increased after the implementation of large-scale ecological cropland conversion. Shape of all landscape types became simple and the distribution became homogeneous and concentration. With the increase of ecological cropland-conversion years, area of forestland increased continuously, but small area of cultivation occurred during this period. Meanwhile, landscape structure became more complex, but whole landscape pattern became more reasonable. Relative altitude and slope were the two most important topography impact factors on the ecological cropland conversion. After the implementation of large-scale ecological cropland conversion, the distribution of cropland and orchard tends to area with the lower altitude and gentle slope, and natural waste-grass-

收稿日期: 2014-12-11

修回日期: 2015-03-10

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(30970503, 41401209, 41390462)

第一作者: 刘栩如(1988—), 女, 辽宁本溪人, 硕士研究生, 研究方向为植物地理与景观生态。E-mail: 421254495@qq.com

通信作者: 邱扬(1969—), 男, 四川仁寿人, 博士, 副教授, 主要从事景观生态、干扰生态与植物生态、土地侵蚀与水土保持研究。E-mail: qiu yang69@263.net

land had no significant changes, while the distribution of abandoned land and forestland tends to the area with higher altitude and steep slope.

Keywords: loess hilly region; ecological cropland-conversion; land use; landscape pattern; topography driving

生态退耕是以生态恢复为目标,把人为干扰强烈的农地转化为林草地的过程,包括自然弃耕和人工恢复两种方式^[1]。生态退耕不仅影响土地利用的时空格局,还是土壤侵蚀、土壤质量、土壤水分、植被演替等生态过程和功能的重要影响因素^[2]。黄土丘陵沟壑区地形破碎,沟壑纵横,是我国水土流失最为严重、生态环境最为脆弱的地区之一^[3-4],生态退耕是该地区脆弱生态系统恢复的有效措施,也是影响该区域土地利用变化的重要政策措施^[5]。2000年以来黄土高原大规模退耕还林还草工程的实施,对该地区土地利用结构及景观格局产生重要影响,成为黄土高原景观格局与生态过程研究的一个重点问题^[6-10]。生态退耕的驱动力是当前研究的热点论题之一,针对不同尺度上生态退耕的驱动力已进行了一定的探讨^[11],生态退耕的时空格局及其驱动因子的研究已取得了一些成果^[12-14],但多数停留在二维阶段,仍有诸多问题需要研究^[1]。黄土丘陵区的地貌特征决定了地形是该地区土地利用的重要影响因素,针对景观格局演变的地形因素探讨是了解生态退耕驱动力的一个重要方面。本文以典型黄土丘陵区小流域陕西安塞县大南沟为例,将土地利用变化与景观格局过程结合起来,研究1975—2007年生态退耕过程中土地利用结构和景观格局演变及其地形驱动因子,尝试从水平和垂直三维空间探索其空间分异特征,进一步揭示景观演变驱动机制,最终实现土地利用变化动态的总体掌握,以期探讨生态退耕过程的时空格局及其生态环境效应,为黄土高原土地可持续利用提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省延安市安塞县大南沟小流域(109°16′—109°18′E, 36°54′—36°56′N),属延河一级支流,流域面积3.46 km²,海拔为1 075~1 370 m。多年平均降水量549 mm,其中75%的降雨集中在6—9月份,年际变率达74.5%。研究区为典型的黄土丘陵沟壑地貌,土壤类型为黄土母质发育而成的黄绵土,土质疏松,抗蚀抗冲性差,土壤侵蚀严重。流域土地利用主要有耕地、果园/经济林地、林地、灌木地、退耕地、荒草地。

1.2 数据获取

根据研究区历史及现在的土地利用状况,结合野外考察,将研究区土地利用划分为耕地、果园林地、林地/灌木地、退耕地、荒草地。其中耕地包括坡耕地和梯田,退耕地则是耕地退耕后形成的退耕幼林地,林地包括成熟乔木林地(成林刺槐林地和杨树林地)和灌木林地(柠条林地),果园则是苹果园地,荒草地则主要是沟谷内的多年荒草地。

收集了大南沟小流域1975年和1997年两期航空相片以及1997年1:1万地形图,其中1975年航片比例尺为1:1万,焦距114 mm,1997年航片比例尺为1:3.5万,焦距153 mm。1975年土地利用数据由航片目视解译获得。1998年土地利用数据是以1:1万地形图为底图,结合1997年航片解译结果,经1998年8—10月野外调查,采用对坡勾绘的方法获取。在1998年土地利用数据的基础上,分别于2002年、2004年、2005年和2007年在1:1万地形图上采用对坡勾绘的方法获取该年土地利用数据。6个时期的1:1万土地利用数据分别反映了大南沟小流域大规模退耕前(1975—1998年)、大规模退耕时期(1998—2002年)、大规模退耕后(2002—2007年)生态退耕的时间序列。

1.3 景观格局演变研究方法

在ArcGIS 9.3中由1:1万地形图生成5 m分辨率DEM,由DEM数据减去流域出口海拔得到流域相对海拔数据,流域的相对海拔范围为0~285 m,用1:1万DEM生成流域的坡度图、坡向图作为流域的地形因子数据。应用ArcGIS 9.3空间分析工具将各时期土地利用数据与地形因子数据叠加,进行各时期土地利用结构统计、土地利用转置以及景观格局演变的地形驱动因素分析。景观格局指数可定量反映景观结构组成及其空间配置特征,本研究在ArcGIS 9.3中将6个时期土地利用矢量数据转换为1 m分辨率栅格数据,采用景观格局分析软件Fragstats 3.3对6个时期景观结构数据进行景观格局分析,所采用景观格局指数及其意义参见文献[15—16]。

2 结果与分析

2.1 生态退耕中土地利用结构的演变

由表1可知,大规模退耕前流域内主要为耕地

(56.89%)和荒草地(33.64%)。在大规模退耕前已有退耕地出现,且占到流域面积的 10.80%,表明在政策性退耕之前已有自然弃耕现象。1975—1998 年林地和果园面积有所增加。大规模退耕以后,耕地面积大幅度减少,2002 年以后耕地面积比例均低于 9%,退耕地和荒草地则各占流域面积的 1/3 以上,林地面积则有较大幅度的增加。

表 1 1975—2007 年土地利用结构 %

土地利用类型	1975 年	1998 年	2002 年	2004 年	2005 年	2007 年
耕地	56.89	44.50	6.62	8.52	8.24	6.81
退耕地	0	10.80	37.47	36.37	36.65	38.86
荒草地	33.64	29.57	38.27	37.52	37.47	37.46
林地	8.37	12.77	15.37	15.32	15.38	15.38
果园	1.10	2.36	2.27	2.27	2.26	1.49

由表 2 可知,大规模退耕前,有部分荒草地(11.87%)

和林地(7.07%)转化为耕地;耕地和荒草地是林地的主要来源,表明这一阶段林地面积和位置发生了变化;果园主要由荒草地开垦而来。大规模退耕时期土地利用结构变化较大,退耕地中 72.72%来源于耕地;荒草地和林地面积增加,其中荒草地面积的增加主要来源于耕地(20.56%),林地面积的增加主要来自荒草地(28.55%)和耕地(23.44%);2002 年果园有 54.5%来源于耕地,表明果园的分布位置发生了变化。大规模退耕以后流域土地利用结构变化较小,2002—2004 年耕地面积稍有增加,原因是出现了小面积的复垦,其他土地类型的位置和面积均变化较小,至 2007 年,部分坡耕地再次退耕,期间还伴有小面积荒草地复垦。总体而言,2004—2007 年土地利用格局变化不大,2004 年以后土地利用格局基本呈稳定状态,1975—2004 年土地利用转置基本代表了研究区大规模生态退耕前后的土地利用转换状况。

表 2 1975—2007 年土地利用转入的比例 %

土地利用类型	时间	1998 年				
		耕地	退耕地	荒草地	林地	果园
耕地	1975 年	79.98	93.16	20.11	38.10	17.95
退耕地		0	0	0	0	0
荒草地		11.87	0	73.53	40.04	63.61
林地		7.07	6.84	5.31	21.86	5.37
果园		1.08	0	1.05	0	13.07
土地利用类型	时间	2002 年				
		耕地	退耕地	荒草地	林地	果园
耕地	1998 年	68.58	72.72	20.56	23.44	54.50
退耕地		0.22	21.63	5.89	2.74	0
荒草地		11.94	0.01	63.01	28.55	12.29
林地		8.76	5.33	8.85	42.70	10.77
果园		10.50	0.31	1.69	2.57	22.44
土地利用类型	时间	2004 年				
		耕地	退耕地	荒草地	林地	果园
耕地	2002 年	77.72	0	0	0	0
退耕地		12.50	100.00	0.08	0	0
荒草地		9.21	0	99.92	0	0
林地		0.57	0	0	100.00	0
果园		0	0	0	0	100.00

2.2 土地利用格局演变的地形驱动

黄土丘陵区地形破碎、沟壑纵横的地貌特征,决定了地形是该地区土地利用的关键制约因子,其中相对海拔、坡度、坡向是 3 个比较重要的因素。由图 1 可以看出,大规模退耕前耕地在各海拔范围分布较为均匀,大规模退耕后分布高度逐渐降低,表明退耕使得耕地逐渐趋向于中、低海拔处分布。荒草地主要分

布在沟沿线以下的陡坡上,各时期分布高度变化不大,说明沟谷荒草地受退耕影响较小。沟沿线以上区域在大规模退耕前多为坡耕地,2000 年以后全部退耕,转化为退耕地,因而退耕地多集中于高海拔区域。林地的分布高度在退耕前呈降低趋势,大规模退耕以后基本不变,而果园在退耕后则没有变化。1975 年耕地和林地主要分布高度为 75~225 m,荒草地主要

在 195 m 以下,果园主要分布在 135 m 以下。1998 年自发退耕的区域主要在中上坡,其他土地利用类型变化不大。2002 年以后,各土地利用高度分布变化不大,耕地集中在 75~165 m 的中下坡,90% 以上的

退耕地分布相对海拔在 105 m 以上,多于 95% 的荒草地分布在 195 m 以下的中下坡,林地集中在 105~255 m 的中坡和中上坡,果园集中在 75~165 m 的中坡和中下坡。

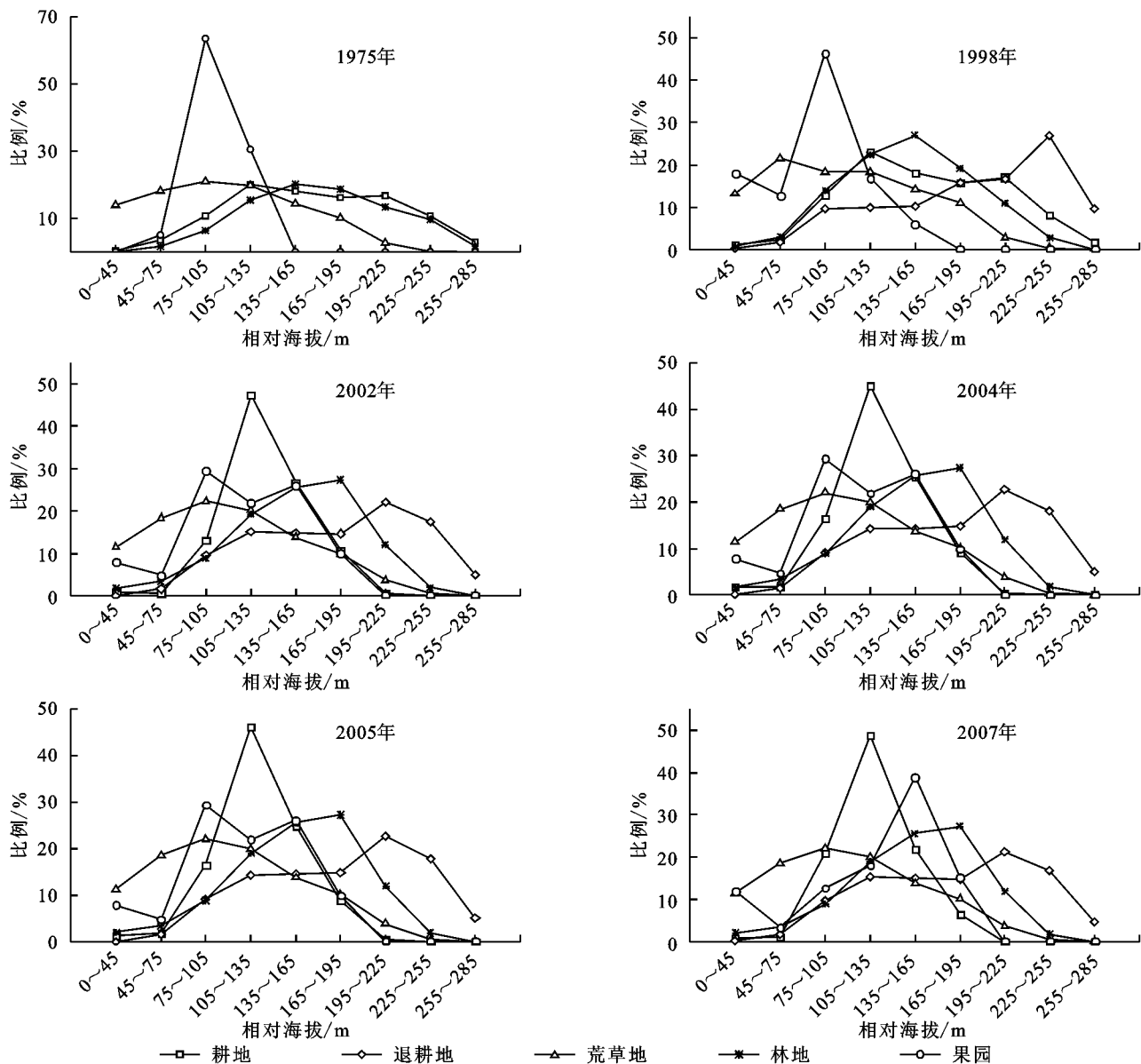


图 1 土地利用与相对海拔的关系

大规模退耕前各景观类型多集中在陡坡区域,缓坡区域的比例相对较少(图 2),其中 1998 年陡坡地开发利用最为严重。大规模退耕后,荒草地、退耕地和林地的坡度分布变化不大,均集中于陡坡地,耕地则主要集中在 $7^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的区域,且趋向于缓坡地,陡坡耕地大幅度减少,耕地在空间分布上的结构得以优化。果园的坡度分布和变化趋势类似于耕地,退耕以后超过 70% 的果园集中在 25° 以下区域,且主要分布在梯田上。

由图 3 可知,大规模退耕前,耕地、林地和荒草地多分布于北坡、东北坡和东坡,退耕地以东北向和东向坡较多,1975 年果园主要分布在西北坡,而 1998

年果园多分布于南坡、西南坡和西坡。大规模退耕以后,耕地、林地、荒草地的坡向分布没有大的变化,退耕地在各坡向均匀分布,这与退耕地大都位于山顶沟沿线以上有关,果园坡向发生较大变化,多分布在东坡和东北坡。

2.3 景观格局的演变

1975 年流域有耕地斑块 5 个,1998 年增至 33 个,破碎度由 1.44 变为 9.52。大规模退耕以后,2002 年耕地斑块减少为 9 个,但在 2004—2005 年又有复垦现象,耕地斑块数增加到 2007 年的 23 块,破碎度达到 6.63,此阶段耕地平均斑块面积减小。荒

草地主要分布在坡度大、人类活动难以到达的地区,除 1998 年分布较为集中外,其他各时期空间分布变化均较小。由表 3 可以看出,1975—1998 年林地面积增加,破碎程度增加,边界趋于复杂,1998—2002

年边界密度减小,形状趋于规则,2002 年以后呈稳定态势。果园在流域中的比重较小,1998 年前面积和数量均有增加,2002 年以后分布格局变化不大,随着 2006 年一块果园的废弃,聚集程度有所增加。

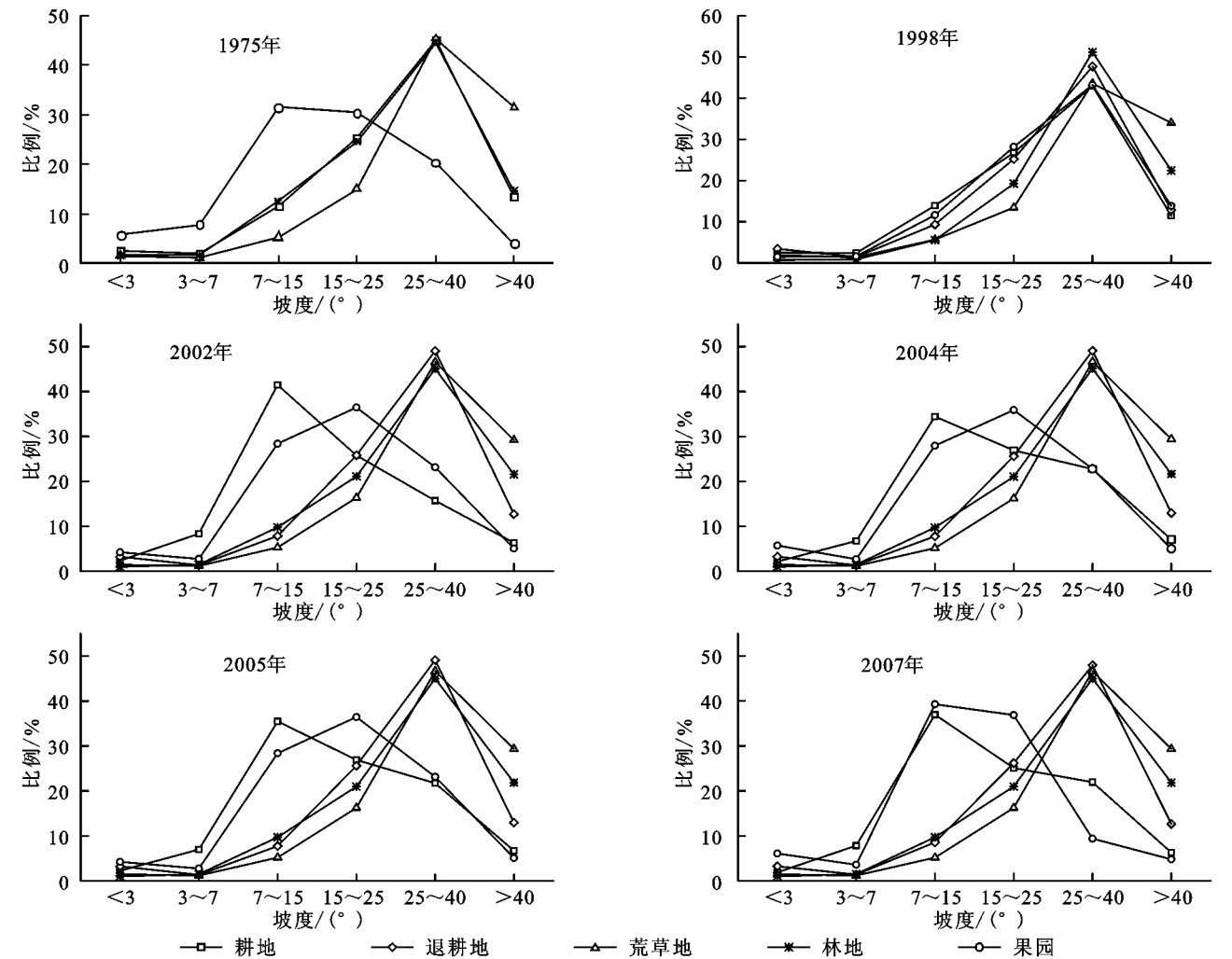


图 2 土地利用与坡度的关系

景观形状指数和分维数能反映景观类型空间分布的复杂程度,景观类型空间分布越复杂,这两项指数越高;分离度指示景观中不同斑块个体的分离程度,斑块越离散,分离度越高。

大规模退耕前耕地形状指数和分维数高于退耕后,分离度则在大规模退耕后显著增加,表明大规模退耕前耕地斑块面积大、形状复杂,连片集中分布,大规模退耕后耕地形状趋于简单,但分布分散。大规模退耕对退耕地的空间分布格局影响显著,其中边界密度和形状指数呈增大趋势,而分离度明显降低,表明退耕地面积增加、分布趋于集中,斑块形状趋于复杂。荒草地 1975—2007 年各项指数变化不大,尤其是大规模退耕后变化极小,反映出生态退耕对荒草地的空间格局没有大的影响。相比 1975 年和 1998 年,大规模退耕后林地景观形状指数、分维数、分离度

均减小,所以林地形状趋于规则,分布趋于集中。果园面积较小、分布分散,分离度较大,退耕后仅 2007 年稍有变化。

由表 4 可知,1975—1998 年流域斑块数增加了 45 个,多为原有大斑块破碎形成,使得斑块边界密集、景观形状趋于复杂、平均斑块面积减小、破碎程度加剧。大规模退耕以后,2002 年流域斑块数最少、边界密度最低、形状最为规则、破碎程度最低。之后的复垦现象使得耕地斑块增加,导致流域整体景观边界密度增加、形状趋于复杂。随着再次退耕,至 2007 年流域斑块数目趋于减少,形状趋于简单,破碎程度降低。蔓延度能考虑斑块类型之间的相邻关系,反映景观组分的空间配置特征。流域在 1975 年蔓延度最大,表明各景观类型空间配置最为集中,而退耕之后,蔓延度减小,各景观类型分散分布于整个流域。

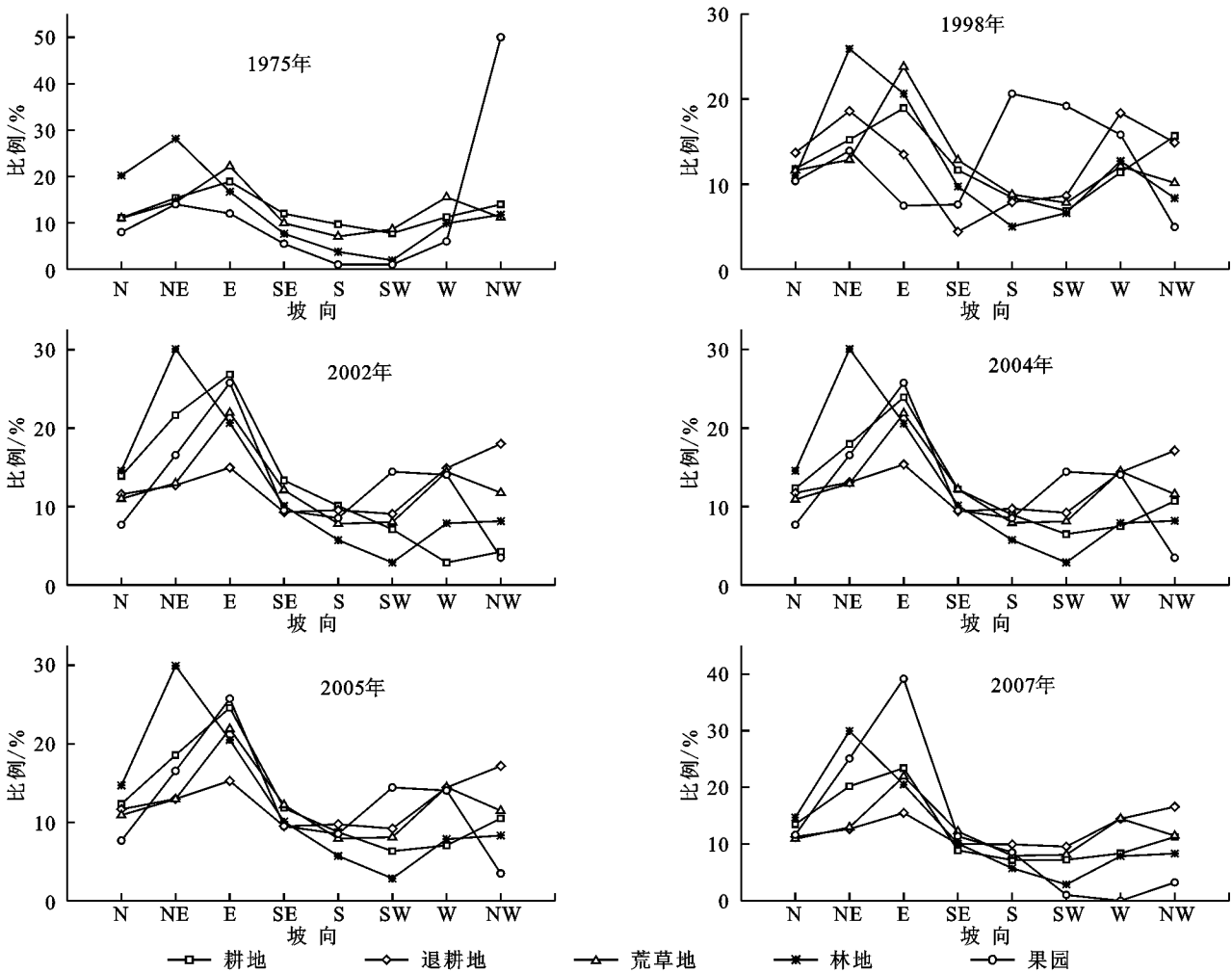


图 3 土地利用与坡向的关系

表 3 1975—2007 年各土地利用/景观类型的斑块特征

土地利用类型	年份	斑块数/个	平均斑块面积/(hm ² /个)	边界密度/(m·hm ⁻²)	破碎度	景观形状指数	分维数	分离度
耕地	1975	5	39.45	139.92	1.44	10.51	1.15	3.13
	1998	33	4.68	146.31	9.52	11.82	1.13	27.17
	2002	9	2.55	25.30	2.60	4.57	1.10	1062.72
	2004	31	0.95	41.96	8.94	6.69	1.08	990.49
	2005	27	1.06	39.31	7.79	6.38	1.09	993.20
	2007	23	1.03	31.45	6.63	5.61	1.09	1154.75
退耕地	1975	—	—	—	—	—	—	—
	1998	13	2.88	45.52	3.75	7.60	1.15	411.30
	2002	6	21.65	107.67	1.73	10.50	1.15	7.74
	2004	7	18.02	108.51	2.02	10.72	1.17	8.24
	2005	9	14.12	110.45	2.60	10.83	1.15	8.17
	2007	13	10.37	119.36	3.75	11.18	1.13	7.58
荒草地	1975	7	16.66	112.19	2.02	9.13	1.19	19.07
	1998	2	51.28	131.50	0.58	11.34	1.23	11.56
	2002	6	22.12	101.45	1.73	7.76	1.13	7.31
	2004	6	21.69	110.49	1.73	8.52	1.13	7.62
	2005	6	21.66	111.20	1.73	8.58	1.13	7.64
	2007	6	21.65	111.28	1.73	8.59	1.13	7.65

续表 3

土地利用类型	年份	斑块数/ 个	平均斑块 面积/(hm ² /个)	边界密度/ (m·hm ⁻²)	破碎度	景观形 状指数	分维数	分离度
林地	1975	12	2.74	51.08	3.46	7.72	1.14	549.87
	1998	17	2.60	66.61	4.90	8.68	1.14	318.47
	2002	19	2.80	63.34	5.48	7.54	1.11	83.64
	2004	19	2.80	63.98	5.48	7.62	1.11	84.37
	2005	19	2.81	63.83	5.48	7.59	1.11	84.28
	2007	19	2.81	63.83	5.48	7.59	1.11	84.28
果园	1975	1	3.82	5.65	0.28	2.50	1.17	8242.64
	1998	5	1.64	12.94	1.44	3.92	1.11	6940.19
	2002	5	1.58	9.97	1.44	3.08	1.09	5693.15
	2004	5	1.58	9.97	1.44	3.08	1.09	5693.15
	2005	5	1.58	9.97	1.44	3.08	1.09	5693.15
	2007	4	1.30	7.03	1.15	2.67	1.10	8670.36

表 4 1975—2007 年流域整体景观格局变化

格局指标	1975 年	1998 年	2002 年	2004 年	2005 年	2007 年
斑块数目/个	25	70	45	68	66	65
边界密度/(m·hm ⁻²)	151.97	201.44	153.87	167.45	167.38	166.48
景观形状指数	8.57	10.88	8.66	9.29	9.29	9.25
平均斑块面积/(hm ² /个)	13.87	4.95	7.71	5.10	5.25	5.33
最大斑块指数/%	56.55	29.41	36.97	36.22	36.16	36.28
破碎度	7.20	20.19	12.98	19.61	19.03	18.74
分维数	1.16	1.14	1.11	1.10	1.10	1.11
分离度	2.68	7.75	3.58	3.76	3.76	3.63
蔓延度/%	64.18	57.17	58.34	57.27	57.38	58.85
斑块丰富度(个·hm ⁻²)	1.15	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
Shannon 多样性指数	0.9447	1.3122	1.289	1.3189	1.3153	1.2689
Shannon 均匀度指数	0.6815	0.8153	0.8009	0.8195	0.8172	0.7884

景观多样性指景观单元在结构和功能方面的多样性,反映了景观类型的丰富性和异质性程度,景观多样性指数用来度量生态结构组成复杂的程度,指数越高生态系统结构就越复杂。斑块丰富度表示单位面积斑块类型的丰富程度,是景观类型多样性的体现。均匀度反映不同景观类型分配的均匀程度,均匀度越大,表明各景观类型比例分布越均匀。流域大规模退耕前斑块丰富度是 1.15,退耕地的出现使得斑块丰富度稳定在 1.44。1975—1998 年 Shannon 多样性和均匀度指数增加,表明景观结构变得复杂但分布趋于均匀。2002 年和 2007 年多样性和均匀度指数低于 2004 年和 2005 年,这是由于 2004 年和 2005 年流域复垦较为严重,使得景观多样性较高,随着退耕年限的增加,坡耕地复垦现象减少,流域景观多样性降低,破碎度降低,景观聚集程度增加,流域景观结构趋于合理。

3 结论

(1) 1975—2007 年,大南沟小流域土地利用结构及景观格局发生剧烈变化,流域耕地不断减少,而退耕

地和林地不断增加且分布趋于集中;荒草地受地形因子影响总体变化不大;果园面积和分布位置在退耕前后有较大变化。大规模退耕以后流域景观形状趋于规则,聚集程度增大,破碎程度降低,整体格局趋于合理。

(2) 通过景观格局演变与地形因子的分析发现各时期景观类型的空间分布格局受相对海拔和坡度影响较大,其中耕地分布格局变动最大,荒草地和林地较为稳定。大规模退耕前耕地散布于整个流域,退耕后向低海拔、坡度较缓的地方集中。退耕地广泛分布于沟沿线以上、坡度较陡的原坡耕地区域,分布的海拔较高。荒草地主要集中在沟沿线以下、坡度较大的地方。林地则有向高海拔分布的趋势。果园的分布格局总体上趋向于低海拔的缓坡地带。

参考文献:

[1] 邱扬,张英,韩静,等.生态退耕与植被演替的时空格局[J].生态学杂志,2008,27(11):2002-2009.

[2] Yang L, Chen L, Wei W, et al. Comparison of deep soil moisture in two re-vegetation watersheds in semi-arid regions[J]. Journal of Hydrology,2014,513(11):314-321.

- 发[J]. 内蒙古科技与经济, 2008, 17(171): 4-5.
- [12] 韩秀珍, 马建文, 布和敖斯尔, 等. 利用卫星 ETM 与样方统计数据研究西鄂尔多斯珍稀濒危植物种群分布规律[J]. 遥感学报, 2002, 6(2): 136-141.
- [13] 郝润梅. 西鄂尔多斯自然保护区生态环境保护问题研究[J]. 科学管理研究, 2000, 18(5): 73-74.
- [14] Zhao M, Running S W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009[J]. *Science*, 2010, 329(5994): 940-943.
- [15] 郝润梅. 内蒙古西部自然保护区生态环境保护可持续发展: 以西鄂尔多斯保护区为例[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 5-7.
- [16] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1417-1434.
- [17] 朴世龙, 方精云. 1982—1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 119-125.
- [18] 包刚, 包玉海, 覃志豪, 等. 近 10 年蒙古高原植被覆盖变化及其对气候的季节响应[J]. 地理科学, 2013, 33(5): 613-621.
- [19] 额尔敦格日乐. 3S 技术在西鄂尔多斯国家级自然保护区研究的应用[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2007.
- [20] 张宏斌, 唐华俊, 杨桂霞, 等. 2000—2008 年内蒙古草原 MODIS NDVI 时空特征变化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 168-175.
- [21] 毛飞, 孙涵, 张艳红, 等. 近 20 年藏北草地地表参数动态变化研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 166-171.
- [22] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [23] Piao S, Fang J, Zhou L, et al. Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999 [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984—2012), 2003, 108(D14): ACL1-1.
- [24] Guo L, Wu S, Zhao D, et al. NDVI-based vegetation change in Inner Mongolia from 1982 to 2006 and its relationship to climate at the biome scale[J]. *Advances in Meteorology*, 2014, 66(1): 79-92.
- [25] Tucker C J, Slayback D A, Pinzon J E, et al. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45(4): 184-190.
- [26] Mao D, Wang Z, Luo L, et al. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2012, 18: 528-536.

~~~~~

(上接第 109 页)

- [3] Shi H, Shao M. Soil and water loss from the Loess Plateau in China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2000, 45(1): 9-20.
- [4] 邱扬, 傅伯杰, 王勇. 土壤侵蚀时空变异及其与环境因子的时空关系[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 108-111.
- [5] 冉圣宏, 吕昌河, 王茜. 生态退耕对安塞县土地利用及其生态服务功能的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(3): 111-116.
- [6] 傅伯杰, 邱扬, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 717-722.
- [7] Chen L, Wei W, Fu B, et al. Soil and water conservation on the Loess Plateau in China: review and perspective[J]. *Progress in Physical Geography*, 2007, 31(4): 389-403.
- [8] 杨开宝, 刘国彬, 吴发启, 等. 黄土高原典型小流域综合治理的水文生态效应[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2042-2051.
- [9] 朱战强, 刘黎明, 张军连. 退耕还林对宁南黄土丘陵区景观格局的影响: 以中庄村典型小流域为例[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 146-154.
- [10] Fu B J, Wang Y F, Lu Y H, et al. The effects of land-use combinations on soil erosion: A case study in the Loess Plateau of China [J]. *Progress in Physical Geography*, 2009, 33(6): 793-804.
- [11] 黄淑玲, 周洪建, 王静爱, 等. 中国退耕还林(草)驱动力的多尺度分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(4): 112-116.
- [12] 何方, 吴楠, 李玲, 等. 淮河流域上游山丘区景观格局动态变化研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 32-38.
- [13] 郭程轩, 徐颂军, 巫细波. 佛山市景观格局变化及其动力梯度分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 238-243.
- [14] 谷长磊, 刘琳, 邱扬, 等. 黄土丘陵区生态退耕对草本层植物多样性的影响[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 99-103.
- [15] 邱扬, 杨磊, 王军, 等. 黄土丘陵小流域景观格局指数的粒度效应[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1159-1166.
- [16] 侯志华, 马义娟. 黄土高原汾河流域地表景观演变特征研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 92-98.