

黄土丘陵区土地利用变化与地形梯度关系研究

庄逐舟¹, 黄秋昊¹, 石云²

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021)

摘要:土地利用/土地覆被变化(LUCC)是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式,是反映人类活动程度的重要因子。以彭阳县为例,应用 1995 年和 2014 年 25 m×25 m 的 DEM 数据和土地利用现状数据,运用 GIS 空间分析功能,采用地形位指数以及分布指数定量分析了 1995—2014 年彭阳县土地利用基于地形梯度的变化特征。结果表明:(1) 1995—2014 年,彭阳县耕地和未利用地面积大量减少,草地面积大量增加,林地、水域和建筑用地面积均有不同程度的增加;(2) 随着地形位的升高,耕地、水域、建筑用地的分布指数逐渐降低,林地和草地的分布指数逐渐升高,未利用地的分布指数先升后降。草地的优势分布区间增加了 2 个地形位,未利用地的优势分布区间降低了 2 个地形位;(3) 水域的优势度区间集中在低地形位区间,耕地和建筑用地的优势度区间集中于低中地形位区间,林地、草地和未利用地的优势度区间集中于中高地形位区间。

关键词:土地利用变化; 地形位指数; 分布指数; 彭阳县

中图分类号:F301

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)04-0331-07

Relationship Between the Land Use Change and the Terrain Gradient in Counties in the Loess Hilly and Gully Region

ZHUANG Zhuzhou¹, HUANG Qiuhao¹, SHI Yun²

(1. College of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Land-use/cover change (LUCC) is the most direct manifestation of the interaction between human activities and natural environment, and is an important factor to reflect the extent of human activities as well. Based on the DEM data in 1995 and 2014 and the land use status, we quantitatively analyzed the characteristics of land use change based on terrain gradient in Pengyang County with the aid of GIS space analysis and terrain niche index, dispersion index, and the comprehensive index. Firstly, from 1995 to 2014, the area of cultivated land and unused land decreased dramatically. The grassland area, on the other hand, increased significantly, and the area of woodland, water bodies and construction land also showed the increasing trend. Secondly, with the elevation of the terrain niche, the distribution index of cultivated land, water bodies and construction land declined, while areas of woodland and grassland were rising, and the distribution index of unused land first rose then declined. The dominance distribution section of grassland increased two terrain niches, while that of unused land decreased two. Overall, water bodies' dominance distribution section concentrates at the low position; cultivated land and construction land dominance distribution sections are mainly at the low-to-mid position and woodland, grassland and unused land dominance distribution sections are mainly at high position. Thirdly, compared with the comprehensive index of the extent of land use in 1995, that increased in all terrain niches in 2014. This research can provide the theoretical basis for the optimization of land use pattern and sustainable utilization of land resources in Pengyang County.

Keywords: land use change; terrain niche; distribution index; Pengyang County

土地利用变化是土地利用/覆被变化研究的重要内容^[1-2],也是全球环境变化和可持续发展研究的热点领域^[3-8]。地形是自然环境中的重要因素,地形特征在一定程度上决定土地利用的方向和方式^[9-13],其空间特征也影响是土地利用的演变过程^[14]。近年来,李增加等^[15]分析了西双版纳 1976—2007 年不同地形下的土地利用变化;崔步礼^[16]等以青海湖流域为例,从地形角度(坡度、坡向、高程)分析了流域内土地利用的空间分布格局;邱扬等^[17]从土地利用类型与地形分布格局的变化分析着手,研究黄土丘陵沟壑区小流域土地利用的时空分布格局及其影响因子;陈楠等^[18]基于地形位指数与分布指数,探究了巴中市不同地形梯度下不同土地利用结构的分布特征。上述研究均揭示了土地利用在地形梯度上呈现的变化规律,但研究区域较为集中于中国西南山区以及南方低山丘陵区,涉及黄土丘陵沟壑区土地利用空间分布与变化规律的研究相对较少。彭阳县位于宁夏回族自治区南部,地处黄土丘陵沟壑区,也是全国的重点水土保持区,以彭阳县为研究区,利用 GIS 的空间分析功能,结合 25 m×25 m 的 DEM 数据以及土地利用现状数据,采用地形位指数以及分布指数,定量分析彭阳县土地利用变化与地形梯度的关系,为黄土丘陵沟壑区县域土地空间格局研究、土地利用布局的优化及土地资源的可持续利用提供理论依据。

1 研究区概况

彭阳县位于宁夏回族自治区东南部,地处黄土高原中部丘陵沟壑区,地貌由梁峁、残垣、川地、和沟壑组成,其中以梁峁状丘陵为主,属黄土丘陵地貌,其间有河谷川台及残塬分布,地理坐标介于东经 106°32′—106°58′,北纬 35°41′—36°17′。土地总面积 2 529 km²,海拔 1 286~2 416 m,地形西北高,东南低,由西北向东南呈波状倾斜。境内有红河、茹河、安家川河纵横东西(均流入泾河),三河流域形成以 6 块残塬、2 条长川、1 条碎陵狭长河谷为主体,5 条大沟、100 多条小沟组成的沟壑纵横的复杂地貌,是宁夏地区水土流失最为严重的县域之一,同时也是全国重点水土保持区。

2 数据准备及研究方法

2.1 数据准备

研究选用数据源包括彭阳县 25 m×25 m,1995 年 TM 影像和 2014 年资源三号高分遥感影像,目视判读解译的 1995 年和 2014 年两期土地利用数据,并结合黄土丘陵沟壑区自身特点,将研究区土地利用/

覆被类型划分为耕地、林地、草地、水域、建筑用地和未利用地六类。其他数据包括统计及社会经济数据。

2.2 研究方法

2.2.1 数字地形分析 结合彭阳县的地形地貌特征,应用 25×25 m 的 DEM 数据以及地形分析,将由 DEM 中提取的高程、坡度信息进行分级(图 1—2)。高程以 200 m 为间隔,按<1 300,1 300~1 500,1 500~1 700,1 700~1 900,>1 900 m 分为五级;坡度按 0°~5°,5°~8°,8°~15°,15°~25°,25°~35°和>35°分为六级^[19-21]。

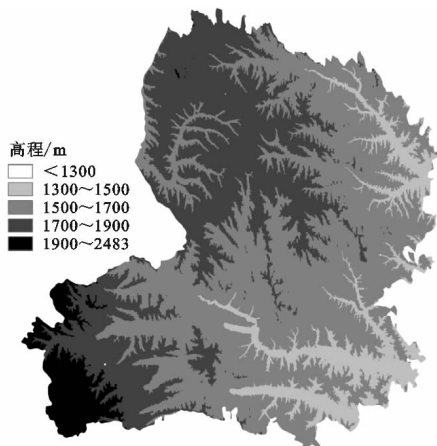


图 1 彭阳县高程分级

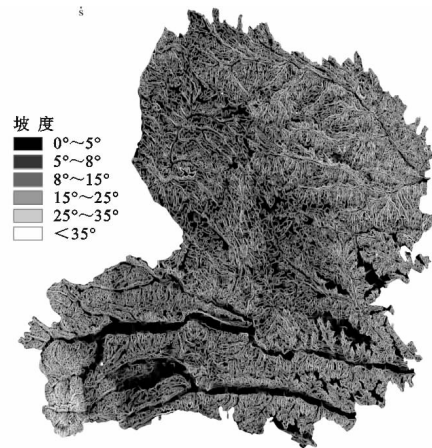


图 2 彭阳县坡度分级

2.2.2 地形位指数 结合 GIS 地形分析,将坡度和高程组合成一个地形位指数。该指数能够定量分析土地利用变化与地形梯度的关系,并能够综合描述坡度与高程变化对土地利用变化的影响^[22],其计算公式如式(1)所示:

$$T = \lg \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

式中: T 为地形位指数; E 和 \bar{E} 分别代表空间任意一点的高程值和该点所在区域内的平均高程值; S 和 \bar{S} 分别代表空间任意一点的坡度值和该点所在区域内的平均坡度值。高程越低、坡度越小的点,其地形位指数越小,反之则越大;高程较低但坡度较大或高程

较高但坡度较小的点,其地形位指数则居中。

2.2.3 地形位分布指数 分布指数是用来描述不同土地利用类型在地形位梯度上的分布情况^[22],分布指数可以消除地形位梯度分段和土地利用面积差异的影响。其公式如(2)所示:

$$P = (S_{ie}/S_i) \times (S/S_e) \tag{2}$$

式中: P 代表分布指数; e 地形因子, 分别为高程、坡度、地形位; S_{ie} 代表 e 地形因子特定等级下的 i 地类的面积; S_i 代表 i 地类的面积; S_e 代表整个区域 e 地形因子特定等级下的总面积; S 代表整个区域的面积。

分布指数是一个标准化、无量纲的指数^[22]。分布指数曲线越平缓,表明某种土地利用类型的分布与标准分布的偏离越小,其对地形差异的适宜性越大;反之,表明某种土地利用类型对地形具有较强的选择性,在其优势地形位上该组分发育较多。若 $P > 1$,表示地形位 e 是该土地利用类型分布的优势地形位, P 越大,优势越明显。反之若 $P < 1$,表示地形位 e 的该土地利用类型分布为非优势地形位。在强烈的人为干扰作用下,不同时期的 P 值变化体现了土地利用类型在相应地形位上发生的调整。

根据公式(1),在 ArcGIS 软件平台下,计算得到彭阳县地形位指数,并采用等数量重分类(quantile reclassify)法^[23]将地形位(0.276~1.030)划分为 13 级(等级间隔为 0.058),分属低、中、高地形位 3 个梯度,如表 1 所示。

表 1 彭阳县地形位分级

| 地形位 | 分级 | 区间 |
|-----|------|-------------|
| 低 | 1 级 | 0.276~0.334 |
| | 2 级 | 0.334~0.392 |
| | 3 级 | 0.392~0.450 |
| | 4 级 | 0.450~0.508 |
| | 5 级 | 0.508~0.566 |
| 中 | 6 级 | 0.566~0.624 |
| | 7 级 | 0.624~0.682 |
| | 8 级 | 0.682~0.740 |
| | 9 级 | 0.740~0.798 |
| | 10 级 | 0.798~0.856 |
| 高 | 11 级 | 0.856~0.914 |
| | 12 级 | 0.914~0.972 |
| | 13 级 | 0.972~1.030 |

3 结果与分析

3.1 基于高程分级的土地利用变化特征分析

根据高程分级图与土地利用图叠加得到彭阳县 1995 年和 2014 年各土地利用类型高程分级分布,并选择面积变化较大的耕地、草地和未利用地,各土地利用类型高程分级面积统计表,见表 2。彭阳县水域

和建筑用地只分布于高程小于 1 300 m 的区域内,耕地面积随高程增加而减少,这可能是因为高程高的区域不适合人们居住以及劳作。1995—2014 年,耕地和未利用地面积大量减少,草地面积大量增加。高程大于 1 300 m 的区域,土地利用主要由草地和耕地构成。变化较为明显的为耕地和未利用地,前者面积共减少 12 778 hm²;高程大于 1 700 m 的区域基本不存在耕地,后者面积共减少 66 916 hm²,1995 年分布于各高程分级,至 2014 年只分布于高程小于 1 300 m 的高程区域内。而水域和建筑用地虽只分布于高程小于 1 300 m 的区域内,但面积也都有所增加。

以上彭阳县 1995—2014 年土地利用类型分布在高程分级的变化体现区域生态恢复略有成效,从 20 世纪 90 年代开始,彭阳县大力施行封山禁牧、退耕还林还草、荒山造林等生态恢复工程,导致未利用地和耕地面积大量减少,生态环境得到很好的改善,草地面积大量增加,林地和水域面积也有所增加。此外,彭阳县经济发展势头迅猛,人口的增加以及生态移民的实施,使得建筑用地面积也呈现快速增长趋势。

3.2 基于坡度分级的土地利用变化特征分析

根据坡度分级图与土地利用图叠加得到彭阳县 1995 年和 2014 年各土地利用类型坡度分级分布图,并选择面积变化较大的耕地、草地和未利用地,各土地利用类型坡度分级面积统计表,见表 3。彭阳县水域和建筑用地的面积随着坡度的增大而减小,而其他土地利用类型面积随着坡度变化则没有明显的连续性变化。水域和建筑用地面积的增加主要发生在 0°~5°的坡度分级内,占研究期间相应地类增加面积的 94.75%和 66.72%。建筑用地面积的增加反映 20 a 来彭阳县的经济发展;林地面积的增加主要集中在坡度小于 25°的范围内,占研究期间林地增加面积的 95.06%。耕地和未利用地面积的减少体现在所有的坡度分级,大部分耕地和未利用地转化为草地也导致了草地面积在所有坡度分级内的增加。

从 1995 年以来,退耕还林还草、封山禁牧、荒山造林等生态恢复工程的实施,是彭阳县 1995—2014 年土地利用变化呈现坡度分级特征的最主要原因。

3.3 基于地形梯度的土地利用变化特征分析

结合彭阳县地形位指数,并分析彭阳县 1995 年和 2014 年耕地、林地、草地、水域、建筑用地和未利用地在各地形位上的分布指数,见图 3 所示。彭阳县土地利用类型在地形位梯度上的优势分布区间见表 4。

(1) 耕地。耕地的分布指数在地形位上表现为逐渐降低的趋势,1995 年和 2014 年的曲线形态基本相似,其优势度区间为 1~5,而在 6~13 区间耕地分

布指数均小于 1,但在地形位 2~5 的区间上 2014 年同时,随着地形位的增加,耕地的分布指数开始趋向于 0,表明该地形位区间内耕地的面积逐渐在减少。

表 2 彭阳县 1995 年与 2014 年各高程分级土地利用类型面积统计

| 土地利用类型 | 项目 | 高程分级/m | | | | | 合计 |
|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|
| | | <1300 | 1300~1500 | 1500~1700 | 1700~1900 | >1900 | |
| 耕地 | 1995 年 | 77128 | 3507 | 957 | 868 | 710 | 83170 |
| | 2014 年 | 67293 | 2949 | 150 | 0 | 0 | 70392 |
| | 面积变化 | -9835 | -558 | -807 | -868 | -710 | -12778 |
| 林地 | 1995 年 | 9363 | 37 | 0 | 0 | 0 | 9400 |
| | 2014 年 | 13273 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13273 |
| | 面积变化 | 3910 | -37 | 0 | 0 | 0 | 3873 |
| 草地 | 1995 年 | 79286 | 2114 | 6013 | 1832 | 0 | 89245 |
| | 2014 年 | 153158 | 2212 | 6509 | 2339 | 0 | 164218 |
| | 面积变化 | 73872 | 98 | 496 | 507 | 0 | 74973 |
| 水域 | 1995 年 | 766 | 0 | 0 | 0 | 0 | 766 |
| | 2014 年 | 1204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1204 |
| | 面积变化 | 438 | 0 | 0 | 0 | 0 | 438 |
| 建筑用地 | 1995 年 | 428 | 0 | 0 | 0 | 0 | 428 |
| | 2014 年 | 1636 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1636 |
| | 面积变化 | 1208 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1208 |
| 未利用地 | 1995 年 | 63764 | 48 | 2507 | 1159 | 0 | 67478 |
| | 2014 年 | 562 | 0 | 0 | 0 | 0 | 562 |
| | 面积变化 | -63202 | -48 | -2507 | -1159 | 0 | -66916 |

表 3 彭阳县 1995 年与 2014 年各坡度分级土地利用类型面积统计

| 土地利用类型 | 项目 | 坡度分级 | | | | | | 合计 |
|--------|--------|--------|-------|--------|---------|---------|------|--------|
| | | 0°~5° | 5°~8° | 8°~15° | 15°~25° | 25°~35° | >35° | |
| 耕地 | 1995 年 | 31312 | 10882 | 25873 | 13315 | 1666 | 122 | 83170 |
| | 2014 年 | 29042 | 9544 | 21473 | 9060 | 1210 | 63 | 70392 |
| | 面积变化 | -2270 | -1338 | -4400 | -4255 | -456 | -59 | -12778 |
| 林地 | 1995 年 | 2053 | 857 | 2343 | 2761 | 1143 | 243 | 9400 |
| | 2014 年 | 3079 | 1301 | 3550 | 3766 | 1291 | 286 | 13273 |
| | 面积变化 | 1026 | 444 | 1207 | 1005 | 148 | 43 | 3873 |
| 草地 | 1995 年 | 20995 | 8335 | 27348 | 24607 | 7056 | 904 | 89245 |
| | 2014 年 | 37020 | 15108 | 51299 | 46737 | 12620 | 1434 | 164218 |
| | 面积变化 | 16025 | 6773 | 23951 | 22130 | 5564 | 530 | 74973 |
| 水域 | 1995 年 | 585 | 58 | 65 | 40 | 18 | 0 | 766 |
| | 2014 年 | 1000 | 112 | 68 | 8 | 16 | 0 | 1204 |
| | 面积变化 | 415 | 54 | 3 | -32 | -2 | 0 | 438 |
| 建筑用地 | 1995 年 | 360 | 40 | 28 | 0 | 0 | 0 | 428 |
| | 2014 年 | 1166 | 208 | 194 | 63 | 5 | 0 | 1636 |
| | 面积变化 | 806 | 168 | 166 | 63 | 5 | 0 | 1208 |
| 未利用地 | 1995 年 | 14690 | 6454 | 21149 | 19790 | 4914 | 481 | 67478 |
| | 2014 年 | 168 | 67 | 131 | 168 | 27 | 1 | 562 |
| | 面积变化 | -14522 | -6387 | -21018 | -19622 | -4887 | -480 | -66916 |
| 合计 | | 71475 | 26340 | 76715 | 59802 | 15169 | 1784 | 251285 |

表 4 彭阳县土地利用类型在地形位梯度上的优势分布区间

| 年份 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建筑用地 | 未利用地 |
|------|-----|------|------|--------|------|------|
| 1995 | 1~5 | 7~13 | 7~13 | 1~2,13 | 1~4 | 6~11 |
| 2014 | 1~5 | 7~13 | 5~13 | 1~2 | 1~4 | 6~9 |

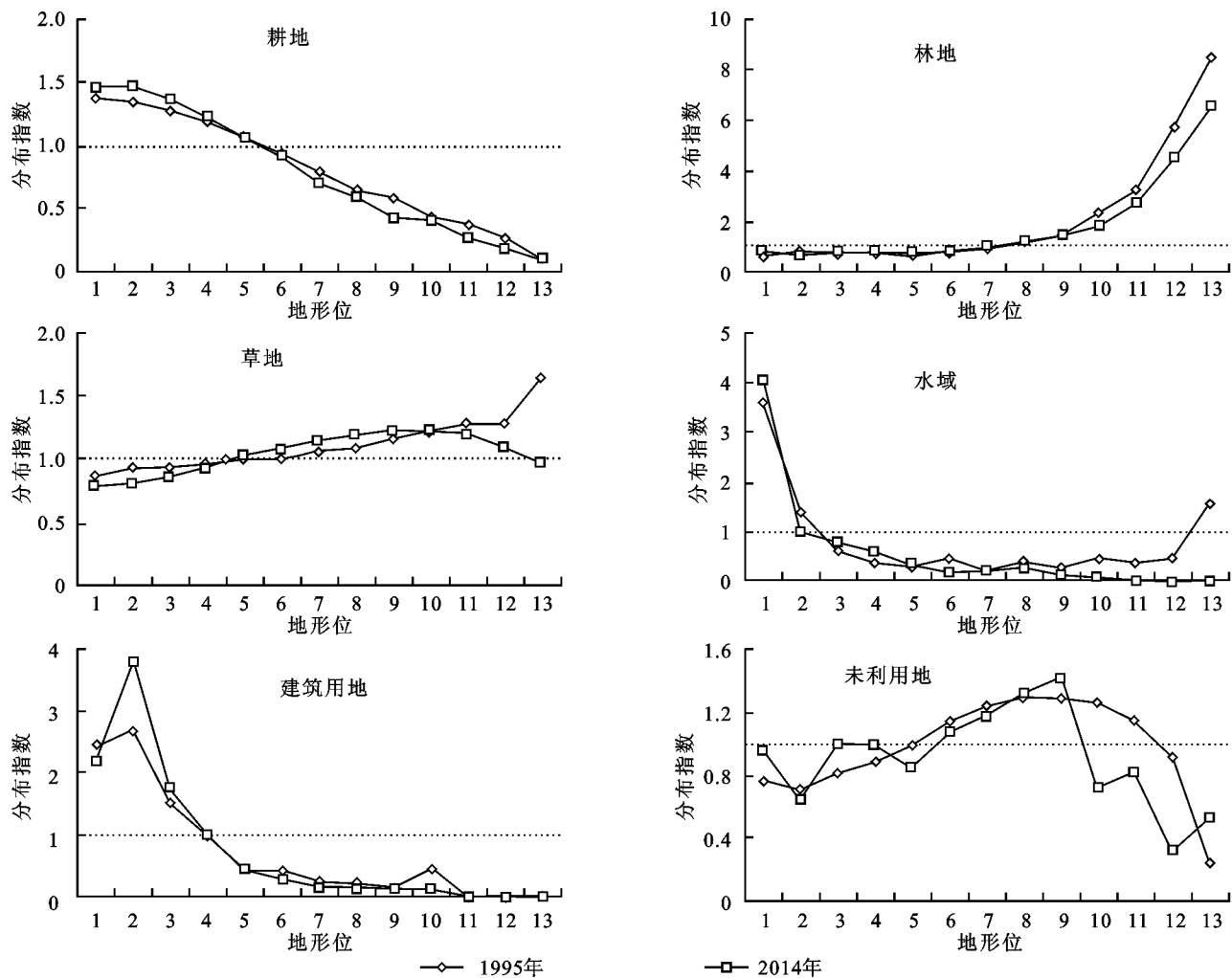


图3 基于地形位分级的彭阳县1995年和2014年各土地利用类型分布指数对比

(2) 林地。林地的分布指数在地形位上表现为逐渐升高的趋势,其优势度区间为7~13。2014年与1995年相比,在10~13地形位区间上,2014年的分布指数小于1995年的分布指数,表明林地分布趋向较高地形位区间。由于研究区域实行退耕还林还草并且调整了农业结构,减少了玉米、小麦等作物在坡耕地的种植,增加了桃、李、杏等经果林的种植。

(3) 草地。草地的分布指数在地形位上表现为逐渐升高的趋势,且优势分布区间最广,地形适应弹性最大,1995年的优势度区间为7~13而2014年的优势度区间为5~13。相比而言,1995年草地的优势度区间范围较小,分布区间范围也较小,2014年草地的优势度区间范围已扩展到第5区间,这与20a来彭阳县实施的退耕还林还草、荒山造林工程有密切关系。同时,草地优势度区间的变化与草地面积随坡度和高程梯度的变化相关。

(4) 水域。水域的分布指数随着地形位的增大而减小,第1和第2区间是水域的优势度区间。2014年与1995年相比,水域分布指数的变化较小,变化趋

势较为相似,优势度区间没有发生变化。而在3~13区间上分布指数接近于0,表明水域的分布对定形的选择有严格的限制,同时也表明这20a来水域所分布的地形保持稳定,没有发生较大变化,其主要分布在低地形位区域。

(5) 建筑用地。建筑用地的分布指数随着地形位的增大而减小,其优势度区间为1~4。2014年与1995年相比,在6~10地形位区间,2014年的分布指数均小于1995年的分布指数。说明随着社会经济的发展,人口的增加,在低地形位区域,居民用地、道路、采矿等建筑用地规模在不断扩张。此外,地形位指数从第11开始,分布指数减小至0,这主要是高地形位区间受地形限制较大,同时彭阳县这20a来实行了生态移民政策,将处于山区,交通不便,环境恶劣的居民迁移出来,导致较高地形位上没有建筑用地分布。

(6) 未利用地。未利用地的分布指数曲线1995年和2014存在较为明显的不同。1995年的分布指数曲线随着地形位的增大,分布指数先增大后减小,其优势度区间为6~11,而2014年的分布指数曲线

变化相对剧烈,特别是从第9地形位区间开始,分布指数分布指数直接降到1以下,其优势度区间范围也缩小为6~9。可以看出,彭阳县这20a来土地利用类型的变化,最主要便是集中在对未利用地的处理,通过荒山造林等生态恢复工程,将高地形位区间的未利用地大量转化为草地,使得2014年的未利用地的优势度区间范围较小,分布区间范围也较小。

除未利用地外,其他土地利用类型1995年和2014年的分布指数在地形位分布上较为一致。水域的优势度区间集中在低地形位区间,耕地和建筑用地的优势度区间集中于低中地形位区间,林地、草地和未利用地的优势度区间集中于中高地形位区间。1995—2014年,耕地、水域和建筑用地的地形位分布指数趋向减少,其分布趋向于较低的地形位区间,而林地、草地和未利用地则趋向于较高的地形位区间。

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 本文从高程、坡度单个因子以及地形位梯度两个方面,对彭阳县1995—2014年土地利用类型在地形梯度上的分布及变化特征进行研究分析,不难发现运用高程、坡度以及地形梯度都能够反映研究区域20a来土地利用的变化,并且总体上各土地利用类型在高程、坡度上的变化与在地形梯度上的变化一致,但是地形位更能反映土地利用在空间格局上的变化规律,例如近20a来草地面积在高程带和坡度带上均有大量增加但总体变化较为复杂,不过在地形位分布上呈现一定的规律性。

(2) 黄土丘陵沟壑区是生态环境极端脆弱区,经济贫困落后,该区域土地资源的可持续利用关系到区域生态安全,因此需要加强退耕还林草工程、荒山造林、水土保持生态修复、生态移民等工程引起的土地利用变化的影响研究,对评估区域土地资源可持续利用和生态环境重建具有重要指导意义。彭阳县20a的土地利用变化反映该区域生态恢复的重点与变化规律,彭阳县土地利用/覆被景观格局变化的时间节点为2000年,从土地利用数据充分反映了国家的退耕还林草工程、水土保持生态修复、生态移民等土地利用政策成为土地利用变化的重要影响因素。2007年国家对于退耕还林还草工程结构性调整,和水土保持工作的支持,实现水土资源可持续利用和生态环境可持续发展,保障和改善民生。

(3) 本文只是利用高程、坡度、地形位指数以及土地利用程度综合指数定量分析了在地形梯度上的土地利用变化特征,并没有考虑坡向以及其他地形因子的影

响,综合更多的地形因子对土地利用变化特征进行探究,并定量分析其变化是接下来可以继续研究的方向。

4.2 结论

(1) 1995—2014年,彭阳县耕地和未利用地面积大量减少,分别减少12 778,66 916 hm^2 ,草地面积大量增加,增加74 973 hm^2 ,林地、水域和建筑用地面积均有不同程度的增加,分别为3 873,438,1 208 hm^2 。

(2) 土地利用变化与高程的关系。1995年到2014年,彭阳县水域和建筑用地只分布于高程小于1 300 m的区域内,耕地面积随高程增加而减少;高程大于1 300 m的区域,土地利用类型主要为草地和耕地;高程大于1 700 m的区域基本无耕地;1995年耕地分布于各高程分级,2014年主要分布于高程小于1 300 m的高程区域内。(3) 土地利用变化与坡度的关系。1995—2014年,彭阳县水域和建筑用地的面积随着坡度的增大而减小,其他土地利用类型面积随着坡度变化则没有明显的连续性变化;由于坡度较大的区域并不适宜人们居住,因此1995年到2014年彭阳县建筑用地面积的增加集中在 $0^\circ\sim 5^\circ$ 的坡度分级内;林地面积的增加主要集中在坡度小于 25° 的范围内;耕地和未利用地面积的减少贯穿了所有的坡度分级;大部分耕地和未利用地转化为草地也导致了草地面积在所有坡度分级内的增加。

(4) 土地利用变化与地形位指数的关系。1995—2014年,随着地形位的升高,耕地、水域、建筑用地的分布指数逐渐降低;林地和草地的分布指数逐渐升高;未利用地的分布指数先升后降;草地的优势分布区间增加了2个地形位,未利用地的优势分布区间降低了2个地形位。整体而言,水域的优势度区间集中在低地形位区间,耕地和建筑用地的优势度区间集中于低中地形位区间,林地、草地和未利用地的优势度区间集中于中高地形位区间。研究期内,耕地、水域和建筑用地的地形位分布指数趋向减少,其分布趋向于较低的地形位区间,而林地、草地和未利用地则趋向于较高的地形位区间。

参考文献:

- [1] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change (LUCC): implementation strategy[R]. IGBP Rep. 48, IHDP Rep. 10, Int, 1999.
- [2] Liu Jiuyan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang, et al. Study on spatial pattern of land use change in China during 1995—2000[J]. Science in China: Series D, 2003, 46(4): 373-384.
- [3] Erickson D L. Rural land use and land cover change implications for local planning in the fiver Raisin watershed [J]. Land Use Police, 1995, 12(3): 223-236.

- [4] 刘纪远,布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究:基于卫星遥感数据[J]. 第四纪研究,2000,20(3):229-239.
- [5] 刘纪远,张增祥,庄大方,等. 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,2003,22(1):1-12.
- [6] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, et al. Study on spatial pattern of land use change in China during 1995—2000 [J]. Science in China,2003,48(4):373-384.
- [7] 赵坚,曹春香,贾慧聪,等. 干旱区土地利用/覆盖时空动态变化分析:以准格尔旗为例[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(8):93-96.
- [8] 吕静,常庆瑞. 黄土高原土石山区土地利用空间分布研究[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(8):93-96.
- [9] 崔卫国,文倩,刘艳艳,等. 基于DEM的醴陵市土地利用空格局分析[J]. 资源科学,2008,30(2):228-234.
- [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] 邹敏,吴泉源,逢杰武. 基于DEM的龙口市土地利用空间格局与时空变化研究[J]. 测绘科学,2007,32(6):174-175.
- [12] 汤国安,宋佳. 基于DEM坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):157-162.
- [13] 马士彬,张勇荣,安裕伦. 山区城市土地利用动态空间分布特征:以贵州省六盘水市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(3):489-496.
- [14] 吴学伟,龚文峰,袁力. 基于DEM黑龙省土地利用定量分析[J]. 东北林业大学学报,2009,37(9):74-75.
- [15] 李增加,马友鑫,李红梅,等. 西双版纳土地利用/覆被变化与地形的关系[J]. 植物生态学报,2008,32(5):1091-1103.
- [16] 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.
- [17] 邱扬,傅伯杰,王军,等. 黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其地形因子的关系[J]. 自然资源学报,2003,18(1):20-29.
- [18] 陈楠,杨武年,李娟,等. 巴中市丘陵山区土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 水土保持通报,2012,32(1):185-188.
- [19] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [20] 范红霞. 纸坊沟流域景观格局动态及地形分异研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [21] 井学辉. 新疆额尔齐斯河流域植被景观格局与生物多样性空间变化规律研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2008.
- [22] 喻红,曾辉,江子瀛,等. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. 地理科学,2001,21(2):64-69.
- [23] 李升发,董玉祥. 广州市土地利用垂直分层模式及其演变过程[J]. 自然资源学报,2013,28(6):1019-1029.

~~~~~

(上接第330页)

- [5] IPCC. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge:Cambridge University Press, 2012.
- [6] IPCC. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report [M]. Cambridge:Cambridge University Press, 2007.
- [7] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [8] 王希平,赵慧颖. 呼伦贝尔市林牧农业气候资源与区划 [M]. 北京:气象出版社,2006.
- [9] 池再香,莫建国,康学良,等. 基于GIS的贵州西部春薯种植气候适宜性精细化区划[J]. 中国农业气象,2012,33(1):93-97.
- [10] 池再香,杜正静,杨再禹,等. 贵州西部马铃薯生育期气候因子变化规律及其影响分析[J]. 中国农业气象,2012,33(3):417-423.
- [11] 姚玉璧,王润元,杨金虎,等. 黄土高原半湿润区气候变化对冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 生态学报,2012,33(3):417-423.
- [12] 毛飞,张光智,许祥德. 参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较[J]. 应用气象学报,2000,11(Z):119-124.
- [13] 姚玉璧,王瑞君,王润元,等. 黄土高原半湿润区玉米生长发育及产量形成对气候变化的响应[J]. 资源科学,2013,35(11):2273-2280.
- [14] 侯琼,乌兰巴特尔. 内蒙古典型草原区近40a气候变化及其对土壤水分的影响[J]. 气象科技,2006,34(1):102-106.
- [15] 王绍武,叶瑾林. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学,1995,19(5):545-553.
- [16] 张洁,白青华,马鸿勇. 气候变化对河西走廊中部地区主要农作物的影响[J]. 干旱气象,2013,31(2):303-308.