

# 基于地形梯度的冀西北山地丘陵区 土地利用格局变化分析

——以河北省怀来县为例

牛志君<sup>1</sup>, 赵建利<sup>3</sup>, 王晓晴<sup>1</sup>, 封乾<sup>1</sup>, 郝丽娜<sup>2</sup>, 哈凯<sup>1</sup>, 王树涛<sup>2</sup>

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 国土资源学院,  
河北 保定 071000; 3. 河北省国土资源利用规划院, 石家庄 050000)

**摘要:**为研究山地丘陵地区土地利用格局在地形差异上的演变规律,明确自然和人文因素在土地利用变化中的作用,基于RS和ArcGIS空间分析技术,利用地形位指数和分布指数,研究了河北省怀来县1993—2013年土地利用变化在地形差异上的时空分异特征。结果表明:六种土地利用类型空间分布及其变化均受到地形因子的影响和制约。水域的优势位主要分布在高程为300~500 m、坡度 $0^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 以及地形位级别为二级的区域;建设用地和耕地多分布于高程为500~700 m、坡度 $0^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 以及地形位级别为一级的区域;园地的地形适应性强于耕地,其分布的区域相对于耕地更加广泛,林地和未利用地则主要分布于高程900 m以上、坡度 $6^{\circ}$ 以上的区域,林地在地形位较高的级别更有优势。该文为今后怀来县土地资源的合理利用和科学规划提供依据与指导。

**关键词:**土地利用; 山地丘陵区; 地形; 分布指数

**中图分类号:** P963; P208

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2017)04-0095-08

## Analysis of Land Use Patterns and Temporal Changes in Hilly Region of Northwest Hebei Based on Terrain Gradient —A Case Study of Huailai County in Hebei Province

NIU Zhijun<sup>1</sup>, Zhao Jianli<sup>3</sup>, WANG Xiaoqing<sup>1</sup>, FENG Qian<sup>1</sup>, HAO Lina<sup>2</sup>, HA Kai<sup>1</sup>, WANG Shutao<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding,  
Hebei 071000, China; 2. College of Land and Resources, Agricultural University of Hebei, Baoding,  
Hebei 071001, China; 3. Hebei Institute of land and Resources Planning, Shijiazhuang 050000, China)

**Abstract:** In order to explore the evolution law of land use pattern in different terrains of hilly regions, and to clarify the function of natural and human factors to land use change, we took Huailai County as an example to examine the spatial and temporal variation characteristics of land use change in different terrains during the period from 1993 to 2013 by using the topographic index and distribution index based on the spatial analysis technology of RS and ArcGIS. The results show that the spatial distribution and the change situation of the six land use types were all influenced by the topographic factor. Dominant position in water area mainly distributed in the regions with elevation of 300~500 m, the slope was  $0^{\circ}\sim 6^{\circ}$  and the terrain level was second level; the construction land and cultivated land distributed in the regions with elevation of 500~700 m, the slope was  $0^{\circ}\sim 6^{\circ}$  and the terrain level was first level; the terrain adaptability of garden plot was better than cultivated land, whose distribution regions were wider than cultivated land; forest and unused land mainly distributed in the regions with the elevation above 900 m and slope above  $6^{\circ}$ , and forest had advantage in a higher level of terrain. These results can provide basis and guidance for the reasonable use and scientific planning of the land resources in Huailai County, which means a lot for the sustainable development.

**Keywords:** land use; hilly regions; terrain; distribution index

地形是影响人类生产生活等活动的一个关键的环境因子,人类对土地的利用和改造受自然条件的制约,特别是高程和坡度,其对区域内的光、温、水、养分起到再分配的作用<sup>[1-4]</sup>。因此,地形因子是决定区域土地利用空间格局的关键因素之一<sup>[5-6]</sup>,山地丘陵地区大多是贫困和生态脆弱地区,其土地利用类型的地形梯度变化对人类的生产和生活都产生了巨大的影响<sup>[7]</sup>。国内外学者从 DEM 中提取地形因子并探究了地形因子与土地利用的关系<sup>[8-12]</sup>,但大多是基于高程、坡度等单一地形因子进行的土地利用数量结构的研究<sup>[13-16]</sup>,从单一地形因子分析土地利用格局存在一定的局限性,而综合选择多个地形因子对土地利用时空分异规律及其驱动力的定量化研究相对较少。针对复杂的土地利用格局,选取具有代表性的多个地形因子进行分析,将有助于更深入的了解土地利用格局内在形成与地形环境因子外部作用相互关系。

本文基于 RS 和 GIS 技术以河北省怀来县为例,怀来县作为冀西北山地丘陵的典型代表区域,具有两山夹一川的地形特点,地形地貌复杂多样,土地利用变化受地形影响较为严重,区域内生态环境脆弱、水土流失严重,面临着较大的生态压力,同时,怀来县作为“京北生态新区”的核心区,是土地利用变化的敏感性区域。因此,本文以怀来县作为研究区域,选取 1993 年、2003 年以及 2013 年的 Landsat-TM 卫星数据,将坡度、高程数据进行有效结合,确定在不同地形位上的分布指数以及级别划分,从而揭示土地利用变化中,自然和人为对土地利用变化的影响,以及为区域土地资源合理利用、保护区域生态环境提供理论支撑,对深入研究地形因素对土地利用方式的影响程度及土地利用优化布局模式具有重要的意义。

## 1 研究区概况

怀来县位于河北省张家口市东南,其东南紧邻北京的昌平和延庆,距北京市中心 100 km,地处冀北山地,燕山山脉西南端,东经  $115^{\circ}16'$ — $115^{\circ}58'$ ,北纬  $40^{\circ}4'$ — $40^{\circ}35'$ 。怀来县境内由北向南的地貌类型为山地—盆地—山地,故有两山夹一川之称,且南部山地的海拔要高于北部山地,区域内地形起伏差异较大,其中,最高海拔可以达到 1 977.6 m,最低海拔 394 m,该区域属温带大陆性季风气候,具有雨热同期、四季分明的特点。地貌形态主要有河川平原、丘陵和山地等类型,受地形地貌影响,怀来县土地利用形成较为明显的区域分布特征。丘陵主要分布在山

地与河川平原过渡地带,面积  $450.25\text{ km}^2$ ,占全县总面积的 25%。山地主要分布在县境南北,面积为  $749.22\text{ km}^2$ ,占全县总面积的 41.6%。据统计全县总人口数是 35.7 万,农业人口为 24.87 万,非农业人口为 10.83 万,分别占总人口的 70.83% 和 29.17%。全县平均人口密度  $200.1\text{ 人/km}^2$ ,人口自然增长率 6.35%。冀西北山地丘陵地区生态脆弱,位于该区的怀来县土地资源相对缺乏,在国家加强京津冀协调发展的大背景下,怀来县作为环京津生态保护区,主要担负着北京市生态屏障的重要作用,在强化冀北地区的生态屏障、水源保护功能和缓解北京的环境压力等方面发挥着重要的作用。

## 2 数据准备及研究方法

### 2.1 数据来源与处理

2.1.1 遥感数据解译 本文所采用的高程以及坡度数据为 DEM 数据,数据的空间分辨率为  $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ ,土地利用数据从地理空间数据云下载,选用 1993 年、2003 年以及 2013 年的 Landsat-TM/ETM 为数据源,其成像时间均选择在秋季,轨道号均为 122/33,数据空间分辨率为  $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 。参照全国土地利用现状分类将怀来县土地利用类型分为水域、耕地、林地、建设用地、园地和其他土地六大类。利用 ENVI 4.8 软件对 2013 年的遥感影像进行二次多项式几何校正,保证纠正后误差小于 0.5 个像元。将该遥感影像作为参考,采用 Image to Image 模块完成 1993 年、2003 年遥感影像自动配准,以行政区作为掩膜完成遥感图像的裁剪,采用监督分类并结合人机交互的方法完成遥感影像的分类,分别用代码 1,2,3,...,6 来表示,并借助于地面实测数据(GPS 野外调查)来检验解译精度,随机选取若干样点,利用混淆矩阵法进行评价分析,结果表明 3 期遥感影像分类结果的总体精度分别为 83.83%, 83.21% 和 87.69%,解译精度均超过了 80%(图 1)。

2.1.2 地形因子分级 本研究选取了高程、坡度和地形位指数。对于高程级别的划分,由于研究区的高程在 300 m 以上,在 1 100 m 以上土地利用类型呈现单一化,通过对比发现,以 100 m 为一级的划分方式使得土地利用类型高程梯度性差异不明显,而以过大的高程差划分又使得某一高程级别的土地分布面积过大,也不能很好的体现土地利用的高程梯度性,为能较好体现土地利用分布随高程变化的特征,应用 ArcGIS 中 Equal Interval 划分方法,选取以 200 m 高程差为一级,将研究区高程划分为 5 个级别:300~500 m,500~700 m,700~900 m,900~1 100 m 和

1 100 m 以上。坡度的分级则参考相关的划分标准进行了划分<sup>[17-20]</sup>,依次为 0°~2°,2°~6°,6°~15°,15°~25°及 25°以上 5 个级别(图 2)。地形位指数综合描

述了高程与坡度,参考有关文献<sup>[18]</sup>,并结合研究区域实际状况,将地形位指数(0.69~3.03)划分为等分的 10 个级别<sup>[21-23]</sup>。

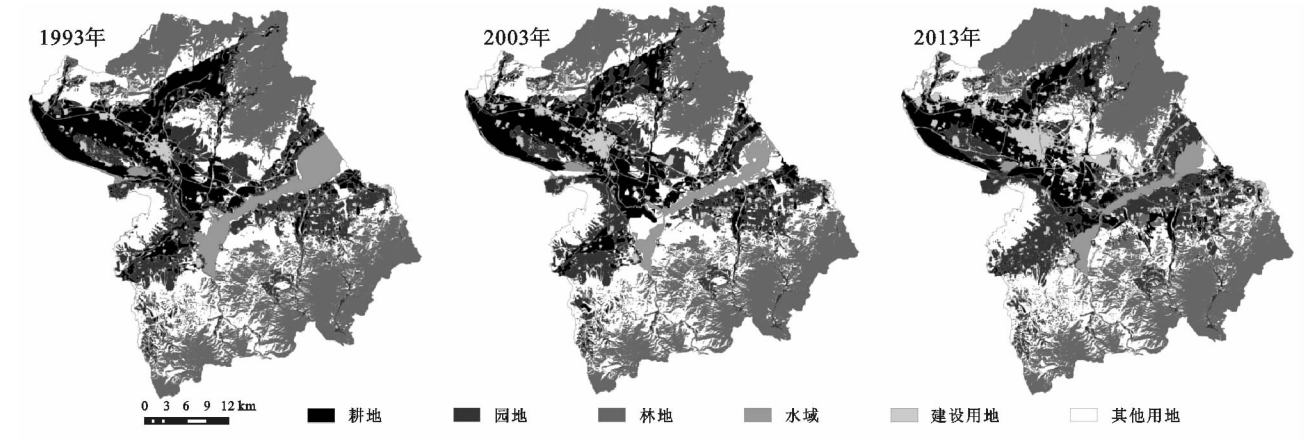


图 1 怀来县土地利用现状

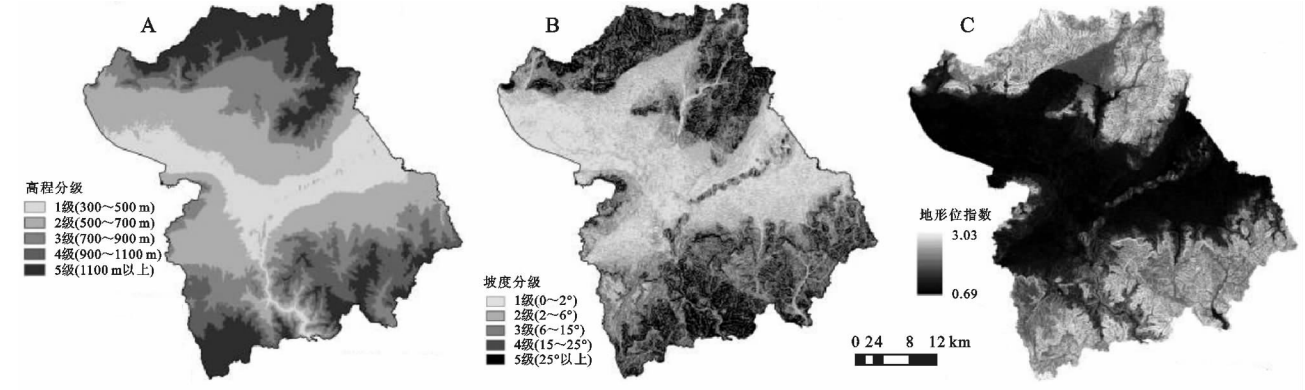


图 2 研究区地形因子

2.2 研究方法

2.2.1 地形位指数 地形位指数可以综合描述高程与坡度变化对土地利用空间格局的影响,其计算公式如式(1)所示:

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

式中: $T$ 为地形位指数; $E$ 和 $\bar{E}$ 分别表示区域中任意一点的高程值及该点所在区域的平均高程值; $S$ 和 $\bar{S}$ 分别为区域中任意一点的坡度值及所在区域的平均坡度值。高程越高、坡度越大的点,其地形位指数越大,反之则越小;高程较高但坡度较小或高程较小坡度较高的点,其地形位指数位于居中。

2.2.2 分布指数 地形位指数可以反映地形条件对土地空间分布的影响,即在地形位梯度上不同土地类型出现的频率。为消除面积差异产生的量纲影响,本研究采用分布指数来描述不同土地类型在地形位梯度上的分布,公式如(2)所示:

$$P=\left(\frac{S_{ie}}{S_i}\right)\times\left(\frac{S}{S_e}\right)$$
 (2)

式中: $P$ 代表分布指数; $e$ 代表地形因子,分别为高

程、坡度、地形起伏度; $S_{ie}$ 代表 $e$ 地形因子特定等级下的 $i$ 类土地的面积; $S_i$ 是 $i$ 类土地的面积; $S_e$ 是整个区域 $e$ 地形因子特定等级下的土地总面积; $S$ 是整个区域面积。分布指数变化越小,表明某种地类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,则表明某种地类对地形具有较强的选择性<sup>[24-27]</sup>。当分布指数 $P=1$ 时,表示某地类在某种地形上的比重与该地类的比重相等;当 $P>1$ 时,表明某地类在该地形上的比重大于该地类总面积在研究区的比重,将 $P>1$ 的区间设定为土地利用类型的优势位。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

由表 1 可知,怀来县土地利用类型主要为林地和未利用地,三个时期两种地类的面积之和均超过怀来县总面积的 50%。林地和未利用地这两种地类构成了怀来县土地利用的基质,表明生态保护在怀来县社会经济发展过程中的重要地位,其中耕地的面积从

1993—2013年呈现逐渐较少的趋势,从1993年的18.39%降到2013年的14.15%;相反建设用地呈现不断上升的趋势,到2013年已经达到整个地类面积的7.81%,但是建设用地和水域所占比例都较少。人类生产生活对水资源需求的增加及干旱等因素是水域面积减少的主要原因,其中1993—2003年减少的最多,达到2 997.59 hm<sup>2</sup>,由于人类提高了保护环境意识,积极响应退耕还林的政策,在这期间林地面积则一直持续增加,增加幅度较小;在总体来看,耕地一直持续减少,在20 a内减少了7 561.6 hm<sup>2</sup>,其中人类开发建设活动占用了大量的耕地,是耕地减少的重要原因;而

怀来县的土地结构主要还是农林生产为主,1993—2013年建设用地和园地变化均呈现持续上升的趋势,2003—2013年增加的最多,分别为42 280.2 hm<sup>2</sup>和2 298.08 hm<sup>2</sup>。1993—2013年末利用地呈现先上升后下降的趋势,整体而言减少了1 094.45 hm<sup>2</sup>,但是仍然占整个怀来县土地利用面积的27.69%,需要继续大力开发其他用地,提高土地利用效率。近几年随着人类社会经济活动的不断扩大,部分耕地转向了经济效益更好的园地,1993—2013年园地的面积增加了4 496.49 hm<sup>2</sup>,怀来县不断发展种植园区,开始集体规模经营。

表1 1993—2013年怀来县土地利用面积统计

地类	1993年		2003年		2013年	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
水域	9618.88	5.40	6621.29	3.71	5509.27	3.09
耕地	32785.53	18.39	29522.55	16.56	25223.93	14.15
林地	50425.54	28.29	50463.74	28.31	52548.93	29.48
建设用地	7776.74	4.36	9694.21	5.44	13922.52	7.81
园地	27174.61	15.25	29373.12	16.48	31671.10	17.77
未利用地	50450.92	28.31	52557.31	29.49	49356.47	27.69

### 3.2 基于高程梯度的土地利用类型分布特征分析

利用 ArcGIS 的 Raster Calculator 将通过遥感解译的各年份土地利用现状图与 DEM 高程图进行叠加,汇总后得到表2。从土地利用类型上看,水域主要分布在前4个级别并且随高程的上升而呈现大幅度的下降趋势,其中在300~500 m为绝对优势地类,水域随着海拔的增加逐渐体现出对高程的劣势适应性,在1 100 m以上几乎没有水域的存在,分布指数也趋近于零值;林地作为山地丘陵区域主要的地类类型,随着高程级别的增加呈现上升趋势,且变化幅度最大,1993—2013年各个高程级别上变化微弱,高程级别在900 m以上是其主要的优势区域,由于人类对生态环境的日益重视以及退耕还林还草政策的成功实施,越来越多的区域将被划定成为生态保护与建设的重点区域;耕地、园地、建设用地以及未利用地的优势区域均在500~700 m,四种地类的面积也随高程级别的增加而呈现倒“U”型分布,由于在500~700 m高程级别上自然条件和人为因素的影响较大,耕地和园地的适应性也越大,同样在500~700 m高程级别上人类开发建设活动也最为活跃。怀来县域内未利用地的主要类型为荒草地和裸地,是对未利用地适应性评价的重点区域,未利用地的优势区域主要在500~700 m以及700~900 m,1993—2013年整个山地丘陵区域的未利用地都在不断减少,对未利用地的开发与利用将日益成为发展的重点。从土地利用类

型在不同年份不同高程级别上的分布变化来看,水域面积在300~500 m这一高程级别上处于优势,但是在1993—2013年这20 a内持续减少4 059.50 hm<sup>2</sup>,分布指数也随之降低了0.31,水域面积在这20 a内减少幅度较大,冀西北山地丘陵区水资源缺乏的问题也将显现出来;耕地的分布指数在300~500 m级别上随时间呈增长趋势,但是其面积却随着时间而呈减少的变化趋势,说明这一级别上耕地面积减少的比例相对于耕地减少总量来说较少,从而使得这一级别耕地的分布指数增加,在500~700 m的高程级别上虽然处于优势位,但在20 a内耕地面积却减少了5 470.4 hm<sup>2</sup>;林地的面积主要分布在900~1 100 m以及1 100 m以上,其增加的幅度相对较小,分布指数也趋于稳定,林地作为山地丘陵区域的优势地类,其面积的基数较大,相对于其他地类没有明显的变化,适合在海拔相对较高的区域,有利于生态环境的保护与利用;而未利用地面积及分布指数则呈现先上升后下降的趋势,在各个高程级别上分布较为分散,未利用地的开发与利用应加大力度,因地制宜,在不同高程级别上采用不同的利用方式。

整体来看,建设用地在时间和空间上均呈增长的趋势,在各个高程级别上耕地持续减少部分转变为经济效益更好的园地,绝大部分却被建设用地的开发所占用。怀来县县域近20 a内不断转型到经济效应更为

明显的园地,葡萄园区的建立促进了经济的快速发展,园地除了在 500~700 m 高程级别上有所减少以外,其他各级别均有所增加,其原因主要是 500~700 m 高程级别建设用地更有竞争力。林地相对于建设用地和园地等地类来说竞争力相对较小,在我国实施退耕还林还草的政策下,林地的面积一直保持上升趋势。而水域面积的不断减少与地形、自然以及人为因素的限制性有着必然的联系。为实现土地资源的可持续利用,必然要在各个高程级别上有针对性的进行

土地资源的优化配置,在 300~500 m 和 500~700 m 水域的优势级别内,应注重生态保护,尤其是对水资源的保护以及持续利用;在 500~700 m 高程级别上处理好经济发展和耕地保护之间的矛盾,保证 1.2 亿  $\text{hm}^2$  耕地红线不变的条件下,发展“生态—经济—环境”的优良模式;在 700~900 m 高程级别上应该协调不同地类之间的分布,做到相辅相成协同发展;在 900~1 100 m 以及 1 100 m 以上海拔较高的区域内,林地的保护和未利用地的开发利用将成为重中之重。

表 2 研究区不同高程带上各土地利用类型的面积和分布指数

土地利用 类型	年份	高程级别									
		300~500 m		500~700 m		700~900 m		900~1100 m		1100 m 以上	
		面积/ $\text{hm}^2$	分布指数	面积/ $\text{hm}^2$	分布指数	面积/ $\text{hm}^2$	分布指数	面积/ $\text{hm}^2$	分布指数	面积/ $\text{hm}^2$	分布指数
水域	1993	8873.42	5.85	714.63	0.24	29.2	0.02	1.63	0	0	0
	2003	5934.83	5.68	666.03	0.32	19.04	0.01	1.39	0	0	0
	2013	4813.92	5.54	673.51	0.39	20.53	0.02	1.31	0	0	0
耕地	1993	8795.61	1.70	17896.32	1.74	4401.00	0.70	1382.01	0.26	310.59	0.05
	2003	8724.22	1.87	15910.33	1.72	3303.91	0.58	1279.08	0.27	305.01	0.06
	2013	8680.39	2.18	12425.92	1.57	2812.51	0.58	967.62	0.24	337.49	0.08
林地	1993	111.31	0.01	1616.16	0.10	8335.01	0.86	14767.37	1.82	25595.69	2.89
	2003	81.18	0.01	1594.19	0.10	8340.73	0.86	14773.62	1.82	25674.02	2.90
	2013	113.92	0.01	1819.92	0.11	8439.79	0.83	15219.21	1.80	26956.09	2.92
建设用地	1993	1306.11	1.06	4980.40	2.04	963.68	0.64	403.53	0.32	123.02	0.09
	2003	1492.87	0.98	6645.42	2.19	1023.01	0.55	404.39	0.26	128.52	0.08
	2013	2126.53	0.97	9747.42	2.23	1352.22	0.50	519.31	0.23	177.04	0.07
园地	1993	5980.14	1.40	14321.18	1.68	3367.02	0.64	3028.23	0.69	478.04	0.10
	2003	6524.61	1.41	14750.61	1.60	4469.38	0.79	3155.51	0.67	473.01	0.09
	2013	8095.04	1.62	14525.46	1.46	4658.27	0.76	3794.16	0.74	598.17	0.11
未利用地	1993	3044.66	0.38	16319.22	1.03	17195.02	1.77	9106.09	1.12	4785.93	0.54
	2003	5353.38	0.65	16281.39	0.99	17134.81	1.69	9074.91	1.07	4712.82	0.51
	2013	4281.47	0.55	16655.54	1.08	17007.55	1.79	8187.37	1.03	3224.54	0.37

3.3 基于坡度梯度的土地利用类型分布特征分析

由表 3 可知,从土地类型上看,随着坡度的增加,各地类呈现出明显的坡度地带性分布特征,耕地、水域、建设用地以及园地的优势位均分布在 0°~2°和 2°~6°两个坡度级别上,林地和未利用的优势位则分布在大于 6°的坡度级别上。在 1993—2013 年水域面积随时间和坡度分级均呈现不断减少的趋势,且在较低坡度级别上减少的更加明显,其中 0°~2°和 2°~6°坡度级别上水域面积分别减少了 2 473.96  $\text{hm}^2$  和 1 429.93 $\text{hm}^2$ ,相对于坡度级别较高的地带分布面积与变化趋势均不明显;同样耕地面积在 0°~2°和 2°~6°坡度级别上占据绝对优势,变化趋势显著,地形优势与自然因素决定耕地的敏感性和适宜性。林地则

不同于耕地,相反大面积的林地分布于坡度较高的区域,坡度的限制性给予林地选择高坡度的优势;建设用地的开发毋庸置疑将位于人类活动最为密切的地带,面积在各坡度级别上均呈现增长的趋势,面积增加最多的在 2°~6°坡度级别上,增加了 2 792.24  $\text{hm}^2$ ,其分布指数在 1993—2013 年增加了 0.05,2°~6°的坡度级别同样是人类生产生活最适宜的,与建设用地的面积和分布指数呈现正相关的态势。随着经济的发展,人们在追求利益最大化的前提下,以怀来县域为代表的冀西北山地丘陵区逐步开始发展以葡萄园区为代表的经济园地,木质藤本植物对于水分、阳光、有机质的要求较高,对于地形坡度的影响也较为突出,坡度位于 0°~2°园地的面积增加最多为

2 616.71 hm<sup>2</sup>,相应的分布指数增加了 0.16。未利用地的面积在 0°~2°和 2°~6°坡度级别上呈现倒“U”的态势,其峰值分别为 4 966.59 hm<sup>2</sup> 和 10 526.47 hm<sup>2</sup>,在坡度大于 6°的地形上,未利用地面积以及其分布指数以微弱的趋势在逐步减少。

综合分析来看,在不同坡度上各地类的分布呈现出不同的竞争优势,其中耕地和建设用地的竞争最为激烈,在保证耕地红线不变的情况下,建设用地的开发对于经济的带动最为明显,相对而言其生态服务价值较低,在整个土地利用过程中如何处理好耕地与建设用地的关系,避免过度占用耕地是土地可持续发展

利用的重要环节。而水域、耕地、建设用地及园地在 0°~2°和 2°~6°坡度级别上的其竞争优势:建设用地>园地>耕地>水域,近些年由于人为和自然的因素加上水域利用在地形上的限制性,导致水域面积的逐步减少。因此,在这两个坡度级别上更应注重对水源地进一步的保护,严禁过度污染利用,同时协调好水域与耕地和园地之间的关系,合理灌溉,避免造成水资源的浪费。林地和未利用地在坡度比较大的区域具有竞争优势,未利用地的开发部分让林地的面积增加,有利于生态环境保护。此外特别是 15°~25°和 25°以上的区域,由于生态环境比较脆弱敏感,应该限制开发利用。

表 3 研究区不同坡度带上各土地利用类型的面积和分布指数

土地利用类型	年份	坡度分级									
		0°~2°		2°~6°		6°~15°		15°~25°		25°以上	
		面积/hm <sup>2</sup>	分布指数	面积/hm <sup>2</sup>	分布指数	面积/hm <sup>2</sup>	分布指数	面积/hm <sup>2</sup>	分布指数	面积/hm <sup>2</sup>	分布指数
水域	1993	3872.89	1.85	3236.04	1.40	1734.02	0.84	521.69	0.28	254.24	0.20
	2003	2092.84	1.45	2144.43	1.35	1620.55	1.15	511.64	0.40	251.83	0.29
	2013	1398.93	1.16	1806.11	1.36	1556.45	1.32	496.13	0.46	251.65	0.34
耕地	1993	18512.22	2.59	12855.65	1.63	1326.18	0.19	83.14	0.01	8.34	0.00
	2003	17368.73	2.70	10886.66	1.54	1180.44	0.19	79.51	0.01	7.21	0.00
	2013	15160.04	2.75	9283.60	1.53	730.65	0.14	46.08	0.01	3.56	0.00
林地	1993	279.16	0.03	1822.00	0.15	12334.21	1.14	20379.75	2.07	15610.42	2.34
	2003	240.65	0.02	1801.46	0.15	12345.92	1.14	20431.49	2.07	15644.22	2.34
	2013	296.67	0.03	1981.77	0.16	12823.14	1.14	21212.50	2.07	16234.85	2.33
建设用地	1993	3221.30	1.90	3316.05	1.78	839.51	0.51	272.62	0.18	127.26	0.12
	2003	4167.61	1.97	4226.55	1.82	882.69	0.43	284.15	0.15	133.21	0.10
	2013	5745.11	1.89	6108.29	1.83	1425.22	0.48	451.20	0.17	192.70	0.10
园地	1993	9074.24	1.53	12212.13	1.87	4833.58	0.83	876.71	0.17	177.95	0.05
	2003	10052.34	1.57	13225.93	1.87	4985.46	0.79	932.47	0.16	176.92	0.05
	2013	11690.95	1.69	13311.43	1.75	5279.10	0.78	1148.01	0.19	241.61	0.06
未利用地	1993	3928.85	0.36	9369.89	0.77	17110.86	1.59	12609.31	1.28	7432.01	1.11
	2003	4966.59	0.43	10526.47	0.83	17073.59	1.52	12594.04	1.23	7396.62	1.06
	2013	4597.05	0.43	10320.42	0.87	16363.95	1.55	11389.35	1.18	6685.70	1.02

3.4 基于地形位梯度的土地利用类型分布特征分析

将地形位指数(0.69~3.03)分级图与 3 期土地利用现状图叠加,分别计算 3 期土地利用类型在这 10 个地形位区段上的分布指数,并将分布指数  $p>1$  的地形位定义为优势地形位区间,结果见图 3。水域、耕地、建设用地、园地主要分布于低地形位区,中地形位区主要分布着未利用地,林地则在高地形位分布广泛。不同土地利用类型在地形位上的分布随时间的变化规律而变化。水域的分布指数在 1993—2013 年的曲线形态在较低地形位上变化较大,分布指数最大值出现在第 2 级别地形位上,到第二级别时

出现峰值,呈现先增加后减少趋势,随着地形位级别的升高逐渐趋于平缓;耕地的绝对优势位在第一级别就达到最高值,从第二级别开始陡然下降,随后又回到平稳时期;林地和建设用地的优势地形位曲线呈一次线性函数分布,林地逐级递增且各年份林地的地形位分布指数基本保持不变,说明林地景观属于相对稳定性景观,在山地丘陵区林地在不同地形上具有很强的适应性,其优势位区间保持在 5~10 级别。建设用地呈下降趋势,其优势位分布区间集中在 1~2 级别上,其他级别的分布指数在同一级别上随着年份的变化呈现减少的趋势,但变化不明显。园地的分布指数

在1~6级别的地形位上呈现波动性变化,各年份之间分布指数曲线形态几乎没有变化,2013年优势度分布区间相对1993年增加了第四级别的优势;未利

用地的分布指数曲线形态呈现倒“U”型,存在最大峰值,优势区间最大值出现在第3级别上,优势度区间在20 a内呈现不断缩小的态势。

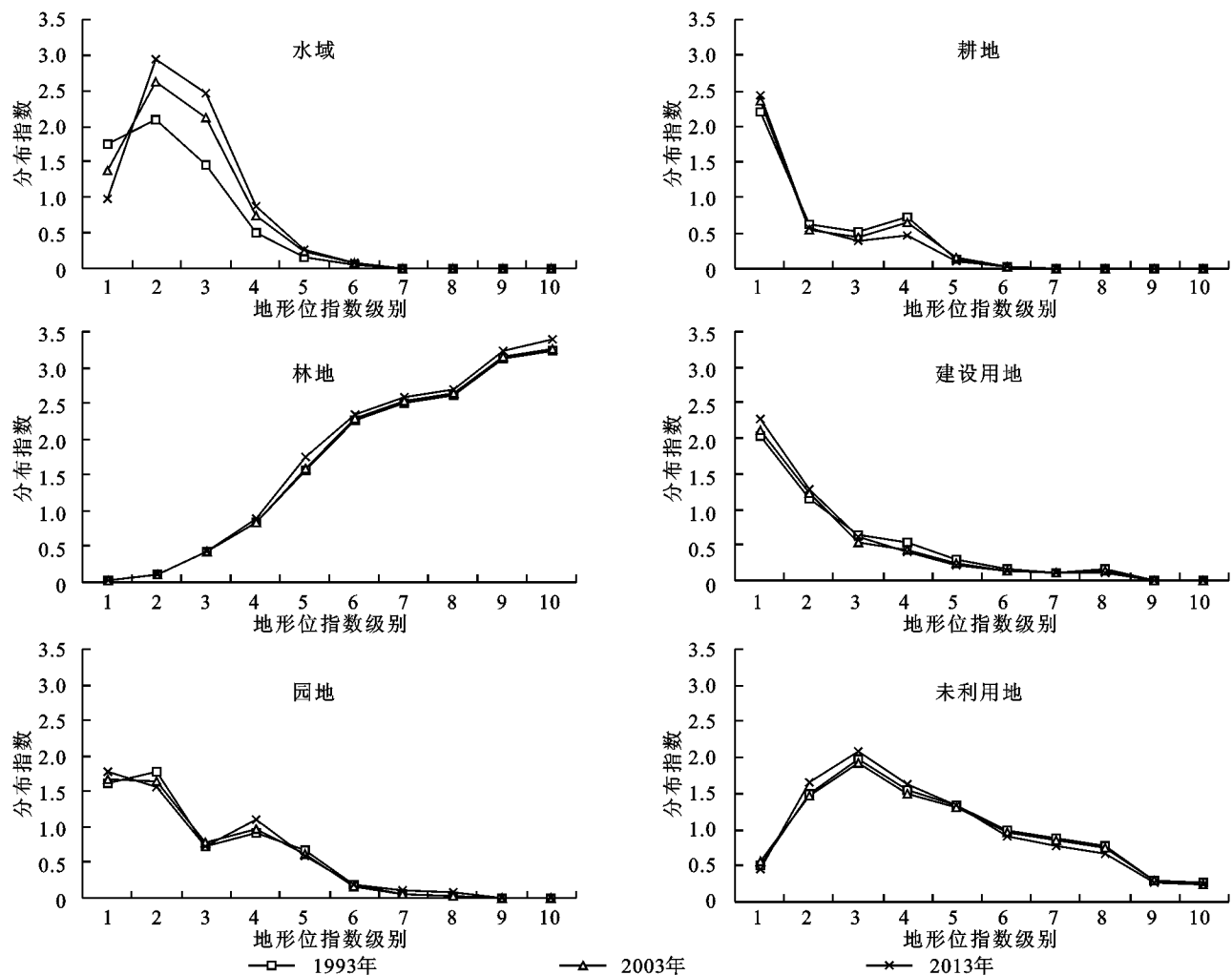


图3 研究区各土地利用类型在地形位指数梯度上的分布

## 4 结论

(1) 山地丘陵区土地利用类型分布特征呈现一定地形梯度性。在较低级别的高程、坡度和地形位区域,与人类生产生活密切的城乡建设用地、耕地、园地、水域分布面积较大,且这4种地类分布指数的优势位均分布在较低的地形级别上,而林地和未利用地则主要分布在较高地形级别的区域,较高的地形级别限制了人类的开发利用,加之生态保护的需要,使其起到了主要的生态屏障作用。

(2) 怀来县在近20 a内土地利用变化最明显主要以林地的变化模式为主,对于地处冀西北山地丘陵区的怀来县县域地类变化不明显,一直处于稳定的发展。人们逐渐由大田作物向高效益的经济园地方向发展,怀来县域葡萄园区的建立标志着经济收益最大化已经慢慢成为发展趋势。

(3) 山地丘陵区中水域和未利用地的优势地形位均呈现先增后减的趋势,并且从1993—2013年其浮动态势基本不变,都存在峰值;而耕地、建设用地和园地则随着地形位级别的增加呈现下降趋势,并且逐渐趋于稳定;研究区林地分布指数随地形位级别的上升而持续上升,表现出相对稳定的景观特征,说明山地丘陵区林地在不同地形上具有很强的适应性。

### 参考文献:

- [1] 喻红,曾辉,江子瀛.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(1):64-69.
- [2] 梁发超,刘黎明.基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析:以湖南省浏阳市为例[J].资源科学,2010,32(11):2138-2144.
- [3] 陈利顶,杨爽,冯晓明.土地利用变化的地形梯度特征与空间扩展:以北京市海淀区和延庆县为例[J].地理研究,2008,27(6):1225-1234.

- [4] 冯朝阳,于勇,高吉喜,等.地形因子对京西门头沟区土地利用/覆盖变化的影响[J].山地学报,2007,25(3):274-279.
- [5] 许宁,张广录,刘紫玉.基于地形梯度的河北省太行山区土地利用时空变异研究[J].中国生态农业学报,2013,21(10):1284-1292.
- [6] 孙然好,陈利顶,张百平,等.山地景观垂直分异研究进展[J].应用生态学报,2009,20(7):1617-1624.
- [7] 郭洪峰,许月卿,吴艳芳.基于地形梯度的土地利用格局与时空变化分析:以北京市平谷区为例[J].经济地理,2013,33(1):160-166.
- [8] 刘瑞民,杨志峰,沈珍瑶,等.基于 DEM 的长江上游土地利用分析[J].地理科学进展,2006,25(1):102-108.
- [9] 崔卫国,文倩,刘艳艳,等.基于 DEM 的醴陵市土地利用空间格局分析[J].资源科学,2008,30(2):228-234.
- [10] Jozef M, Ian S Evans. Elementary Forms for Land Surface Segmentation: The Theoretical Basis of Terrain Analysis and Geomorphological Mapping [J]. *Geomorphology*, 2008, 95 (3/4):236-259.
- [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):173-175.
- [12] 孙丽,陈焕伟.运用 DEM 剖析土地利用类型的分布及时空变化[J].山地学报,2004,22(6):762-766.
- [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] 钟德燕,常庆瑞,宋丰骥.黄土丘陵沟壑区土地利用空间分布与地形因子关系研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(6):102-107.
- [15] Mottet A, Ladet S, Coque N, et al. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the pyrenees [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2006, 114(2):296-310.
- [16] 韦乐章,邓南荣,吴志峰,等.粤北山区地形因素对耕地分布及其动态变化的影响[J].山地学报,2008,26(1):76-83.
- [17] 汤国安,宋佳.基于 DEM 坡度制图图中坡度分级方法的比较研究[J].水土保持学报,2006,20(2):157-192.
- [18] 龚文峰,袁力,范文义.基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J].农业工程学报,2013,29(2):250-259.
- [19] 斯钧浪,齐伟,曲衍波,等.胶东山区县域土地利用在地形梯度上的分布特征[J].应用生态学报,2009,20(3):679-685.
- [20] 黄培之,刘泽慧.基于地形梯度方向的山脊线和山谷线的提取[J].武汉大学学报:信息科学版,2005,30(5):396-399.
- [21] 陈楠,杨武年,李娟.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.
- [22] 梁国付,韩艳,丁圣彦.伏牛山北坡森林景观变化的地形梯度特征分析[J].地理科学,2010,30(2):242-247.
- [23] 高彦净,巩杰,贾珍珍,等.甘肃白龙江流域土地利用在地形梯度上的空间分布[J].兰州大学学报:自然科学版,2014(5).
- [24] 申怀飞,吴国玺,丁圣彦.豫西黄河流域土地利用空间格局地形梯度特征分析[J].地域研究与开发,2012,31(3):159-162.
- [25] 刘玲,王勇,谢世友,等.基于 GIS 的岩溶区土地利用的地形梯度分布研究:以酉阳县板溪乡为例[J].中国岩溶,2013(4):462-471.
- [26] 刘文,陈世发.基于 GIS 的土地利用变化的地形梯度分析:以韶关市大塘镇为例[J].水土保持研究,2015,22(3):79-82.
- [27] 赵艳霞,武爱彬,刘欣,等.浅山丘陵区土地利用地形梯度特征与生态服务价值响应[J].水土保持研究,2014,21(3):141-145.