中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

快速城镇化地区土地利用变化的地形梯度特征分析——以榆次区为例

陈学兄，张小军，韩伟宏

引用本文:
陈学兄, 张小军, 韩伟宏. 快速城镇化地区土地利用变化的地形梯度特征分析——以榆次区为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(10): 1637–1648.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200224

(向下翻页，阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化

Spatial–temporal changes of ecosystem service values in Xiangxi region based on terrain

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(4): 623–631 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180751

渭北旱塬县域土地利用时空演变规律研究*——以合阳县为例

Land use dynamics in Weibei upland in China – A case study of Heyang County

中国生态农业学报. 2016, 24(11): 1565–1574 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160510

喀斯特山地土地利用变化的垂直分布特征

Vertical distribution of land use in karst mountainous region

中国生态农业学报. 2016, 24(12): 1693–1702 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160456

基于改进指数和法的地形因素对土地利用变化影响程度评价

Evaluation of influencing of terrain factors on land use change based on improved Index Sum Method

中国生态农业学报. 2018, 26(3): 442–452 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170593

鄂尔多斯高原泊江海子流域土地利用动态变化及驱动因素分析

Characteristics and driving factors of land use change in the Bojiang Lake Basin in Ordos Plateau, China

中国生态农业学报. 2017, 25(11): 1693–1706 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170012

中国生态农业学报(中英文) 2020 年 10 月 第 28 卷 第 10 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Oct. 2020, 28(10): 1637−1648

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200224

陈学兄, 张小军, 韩伟宏. 快速城镇化地区土地利用变化的地形梯度特征分析——以榆次区为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(10): 1637−1648

CHEN X X, ZHANG X J, HAN W H. Land use change with topographic gradients in the Yuci District rapid urbanization area[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(10): 1637−1648

快速城镇化地区土地利用变化的地形梯度特征分析*

——以榆次区为例

陈学兄[1,2], 张小军[3], 韩伟宏[4]

(1. 山西农业大学资源环境学院 太谷 030801; 2. 山西农业大学农业资源与环境国家级实验教学示范中心 太谷 030801; 3. 山西农业大学园艺学院 太谷 030801; 4. 山西农业大学经济管理学院(农业资源与经济研究所) 太原 030006)

摘 要: 为探讨快速城镇化地区——山西省晋中市榆次区不同地形梯度上的土地利用变化特征, 本研究以 2000 年、2008 年和 2016 年 3 期影像和 ASTER GDEM 为数据源, 分析 2000—2016 年间土地利用变化的时空特征, 选用坡向、坡度变率、地形起伏度、地形位指数和土地利用类型分布指数对土地利用的地形梯度分布特征和变化过程进行分析。结果表明: 1)2000—2016 年, 榆次区建设用地主要向西北方向扩张, 主要分布在地形起伏度<30 m、坡度变率<2°、阳坡和半阳坡及地形位为 1~3 级的地区。土地利用以建设用地、耕地和未利用地为主, 其中耕地所占面积最大, 2000 年、2008 年和 2016 年的平均比例为 46.91%。2000—2008 年建设用地面积增加 43.07 km^2, 未利用地面积减少 37.33 km^2; 2008—2016 年未利用地面积减少 221.00 km^2, 而耕地面积和建设用地面积分别增加 170.61 km^2 和 37.36 km^2。2)在坡度变率、地形起伏度和地形位梯度上, 建设用地、耕地和水域主要分布于低梯度带, 而林地和未利用地分布于中高梯度带; 建设用地和耕地在平地、阳坡和半阳坡呈分布优势, 林地在阴坡和半阴坡具有分布优势, 而未利用地的优势分布区为阳坡和半阳坡; 2000—2016 年耕地的主要分布区向地形起伏度>30 m、坡度变率为 2°~15°、地形位为 4~11 级的区域扩张。榆次区土地利用变化地形梯度差异明显, 地形因素、人类活动、政策因素、交通和区位为其主导因素。该研究结果为区域城镇化过程中的土地合理规划利用提供科学依据, 为生态环境治理提供决策支持。

关键词: 土地利用变化; 地形梯度; 地形位指数; 分布指数; 榆次区

中图分类号: F301.24 开放科学码(资源服务)标识码(OSID):

Land use change with topographic gradients in the Yuci District rapid urbanization area*

CHEN Xuexiong[1,2], ZHANG Xiaojun[3], HAN Weihong[4]

(1. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. National Experimental Teaching Demonstration Center for Agricultural Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 3. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 4. College of Economics & Management, Shanxi Agricultural University (Institute of Agricultural Resources and Economics), Taiyuan 030006, China)

* 山西省高等学校科技创新项目(2020L0136)、山西省重点研发计划重点项目(201703D211002-1-2)和山西农业大学引进人才博士科研启动项目(2014YJ02)资助

陈学兄, 主要研究方向为“3S”技术及应用研究、基于 GIS 的水土流失评价研究。E-mail: chenxx0505@126.com

收稿日期: 2020-03-26 接受日期: 2020-07-25

* This study was supported by the Scientific and Technological Innovation Programs of Higher Education Institutions in Shanxi (2020L0136), the Key Research and Development Project of Shanxi Province (201703D211002-1-2) and the Introduced Talent Doctoral Research Project of Shanxi Agricultural University (2014YJ02).

Corresponding author, CHEN Xuexiong, E-mail: chenxx0505@126.com

Received Mar. 26, 2020; accepted Jul. 25, 2020

Abstract: The influence of topographic factors on land use change is significant for land use and cover change research. In order to explore the characteristics of land use change with different topographic gradients, in this study, ASTER GDEM data and remote sensing data of Yuci District in 2000, 2008, and 2016 were used to analyze the spatio-temporal characteristics of land use change from 2000 to 2016. The distribution characteristics and varying development of each land use type with aspect gradient, slope change rate, landform relief, and terrain niche were analyzed. The results showed the following: 1) from 2000 to 2016, construction land expanded primarily to the northwest and was mainly distributed in areas with a landform relief less than 30 m, a slope change rate less than 2°, a sunny slope or semi-sunny slope, and a terrain niche grade area of 1–3. The land uses of Yuci District were mainly construction, crop land, and unused land, which accounted for more than 93% of the research area. The crop land area is the largest, accounting for an average 46.91% of total land area in 2000, 2008, and 2016. The land use change was characterized by a decrease in unused land area and an increase in crop and construction land areas. The construction land area increased by 43.07 km^2, while the unused land area decreased by 37.33 km^2 from 2000 to 2008. However, from 2008 to 2016, the unused land area decreased by 221.00 km^2, while the crop and construction land areas increased by 170.61 km^2 and 37.36 km^2, respectively. 2) Construction land, crop land, and water were mainly distributed on low gradients of landform relief, slope change rate, and terrain niche. Conversely, forest land and unused land were mainly distributed on middle and high gradients of the three topographic factors. The construction land and crop land was predominantly distributed on flat land, with sunny or semi-sunny slopes, while forest land was predominantly distributed along shady and semi-shady slopes. The distribution of unused land was predominantly along sunny and semi-sunny slopes. From 2000 to 2016, the main distribution area of crop land gradually expanded to areas with a landform relief greater than 30 m, a slope change rate of 2°–15°, and a terrain niche of 4–7 grade area. There were evident differences in the topographic gradient of land use change as a result of topographic factors, human activity, policy factors, transportation, and location. Therefore, this study provides a scientific basis for rational planning and utilization of land in the process of regional urbanization and decision support for ecological environment management.

Keywords: Land use change; Topographic gradient; Terrain niche index; Distribution index; Yuci District

土地利用/覆盖变化是全球环境变化研究的核心内容之一[1-4]，已成为地理学、生态学、经济学及相关交叉学科的研究热点和重点领域之一。土地利用/覆盖变化是在多种自然和人文因素共同影响下发生的，涉及的自然因素很多，比如地形、自然灾害、气候、水文等[3,5]。地形因素对土地利用变化的影响是土地利用/覆盖变化研究的重要内容[1,6-8]。地形的特点及其变化在一定程度上决定着区域土地利用变化的方式和方向[1,9-10]。地形因子是土地利用格局形成的基础，且其空间特征影响土地利用的演变过程[11]。地形对土地利用变化的影响是不同地形因素综合作用的结果，单一地形因素无法综合反映地形的影响作用[3]。地形梯度分析的主要指标有高程、坡向、坡度、坡度变率、地形起伏度、地形位指数、分布指数等[6]。其中，地形位指数将高程和坡度合二为一分析地形梯度对土地利用的影响，是当前应用较广泛的一种方法[12]。目前国内外一些学者开展了有关土地利用变化地形梯度分异特征的研究，研究区域集中在干旱半干旱区[1]、区域流域[2,9,13]、高原区[6,13-15]、珠江三角洲地区[7]、浅山丘陵区[8]、沿海低山丘陵区[16]、太行山区[17]、湿地[18]、冀西北间山盆地区[19]、典型城市(如：运城[3]、哈尔滨[10]、重庆[12]、北京市[20]、井冈山市[21])以及国家森林重点区[22]等，研究内容主要包括：利用高程[23]或坡度因子[24]、高程和坡度2个因子[13,15]、高程和坡度及坡向3个因子[8-9,20,22]或者地形起伏度因子[25]分析地形对土地利用格局变化的影响；使用高程和坡度构建的地形综合指数分析土地利用变化与地形因子的关系[3-7]；综合高程和坡度，结合地学信息图谱理论分析土地利用变化的地形梯度特征[10-11,14,19]；利用高程、坡度、地形位指数分析地形对土地利用类型分布、动态变化及景观格局的作用[21]等方面，已有的研究大多是将高程、坡度等作为单一因素进行分析，且主要侧重于分析微观地形因子对土地利用格局变化的影响，而使用坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位指数对土地利用变化地形梯度分布特征的研究相对较少。因此，将单因素与多因素、微观与宏观地形因子相结合，综合系统地分析土地利用变化的地形梯度特征对合理利用土地资源具有重要意义。

榆次区作为山西省晋中市政治、经济和文化中心，是城镇化进程较快和研究环境资源变化的典型区域，境内地形地貌复杂多样，地形对土地利用变化的影响较明显；同时，榆次区作为省城太原市的卫星城市，是土地利用变化的敏感性区域。鉴于此，

本研究以快速城镇化地区榆次区为研究对象, 利用2000年、2008年和2016年的Landsat系列影像和ASTER GDEM数据, 选用坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位因子, 分析地形因素对该区土地利用格局变化的影响以及土地利用变化的地形梯度分布特征, 以期为该区城镇化过程中的土地合理规划利用和生态环境治理等方面提供依据。

1　研究区概况

榆次区地处山西省中部的晋中盆地(112°34′~113°08′E, 37°23′~37°54′N), 辖9个街道、6个镇和4个乡, 总人口69万, 其中乡村人口14.8万, 是晋中市城市化及市民人口比率最高的区县, 距离省城太原25 km, 总面积1 328 km²。东部与寿阳县相连, 西与清徐县相邻, 南和太谷县接壤, 西北与太原市接壤, 东南与和顺、榆社相邻, 素有省城“南大门”之称。地形总体东高西低, 向内渐趋平缓, 依海拔高度分为平川区、中低土石山区和黄土丘陵沟壑区3类。境内土壤以褐土为主, 为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候, 农业气候条件较优越, 共有12条河流, 其中潇河为汾河的主要支流, 在榆次境内长40 km, 径流面积为467 km²。

2　数据来源与研究方法

2.1　数据获取与处理

基础数据: 2000年9月的Landsat 7 TM影像、2008年9月的Landsat 4-5 TM影像、2016年9月的Landsat 8 OLI_TIRS影像、30 m分辨率的ASTER GDEM和榆次区行政边界。运用ENVI 4.7对3期影像数据进行辐射定标、大气校正等预处理, 利用行政边界裁剪出榆次区范围的遥感影像, 使用人机交互解译方式提取土地信息。研究区土地利用类型划分为5类(图1), 因草地多为荒废的土地, 与未利用地并为了一类。2000年、2008年和2016年的分类总体精度分别为97.635 1%、94.776 1%、96.629 2%, Kappa系数分别为0.950 7、0.889 6、0.950 7。将解译所得3期土地利用矢量数据转换为像元大小为30 m的栅格数据(图1), 以保持数据的统一性。

2.2　研究方法

2.2.1　地形梯度等级划分

本研究选取坡向、坡度变率、地形起伏度、地形位指数分析地形对土地利用变化的影响, 使用ASTER GDEM高程数据提取各地形因子。

1)坡向影响局部地面接收阳光和重新分配太阳辐射量, 影响局部地区气候特征差异、作物生长适宜程度、土壤水分等[1]。

2)坡度变率, 即在所提取的坡度基础上再求一次坡度, 它在一定程度上反映地形的剖面曲率信息[1]。

3)地形起伏度为描述一个区域地形特征的宏观性指标, 可使用邻域分析法提取[26-27]。

4)地形位指数是高程和坡度的组合, 公式如下[1-2,10-12,14,16-19,28]:

$$T=\log\left[\left(E/\overline{E}+1\right)\times\left(S/\overline{S}+1\right)\right] \tag{1}$$

式中: T为地形位指数; E为某点的高程(m); S为某点的坡度(°); $\overline{E}$为某点所在区域的平均高程(m); $\overline{S}$为某点所在区域内的平均坡度(°)。若高程(E)越高、坡度(S)越大, 则地形位(T)的值就越大, 反之则越小。

对不同地形因子进行分级, 并计算不同等级所对应面积、面积比例, 结果如表1所示。

2.2.2　地形梯度特征分析

利用分布指数(I_D)分析各土地利用类型在不同地形梯度上的分布特征, 公式如下[1-2,10-12,14,16-19,29]:

$$I_D=(A_{ie}/A_i)/(A_e/A) \tag{2}$$

式中: A_{ie}为第i种土地利用类型在第e级地形区的面积, A_i为第i种土地利用类型的总面积, A_e为第e级地形区的土地总面积, A为研究区总面积。若I_D>1, 说明第i种地类在第e级地形上属于优势分布, I_D 值越大, 优势度就越高, 表示第i种土地利用类型在e级地形上的适宜程度和分布程度高; 若I_D<1, 则相反。

3　结果与分析

3.1　土地利用变化分析

榆次区2000年、2008年和2016年土地利用现状如图1所示。为掌握研究区2000年和2016年不同土地利用类型之间的动态变化转移情况, 利用ArcGIS的空间分析工具(Tabulate Area), 使用2000年和2016年的土地利用类型数据求得2000—2016年不同土地利用类型面积转移矩阵, 结果如表2所示。并对2000—2016年各类土地利用类型所占面积和面积比进行了统计计算, 结果如表3所示。

由图1和表2可知, 2000—2016年榆次区建设用地外扩明显, 16年间建设用地面积增加118.52 km², 主要来源于耕地和未利用地, 且向西北部方向扩张明显, 尤其是与太原市交汇处扩张情况更加明显, 其主要原因是太榆同城化政策对榆次区北部和太原市南部的城市建设产生了重大影响; 2016年耕地增加298.84 km², 约91%由未利用地转化而来, 在榆次东南部地区增加明显; 2000—2016年间, 未利用地面积减少330.44 km², 主要转化为了耕地、建设用地和林地。

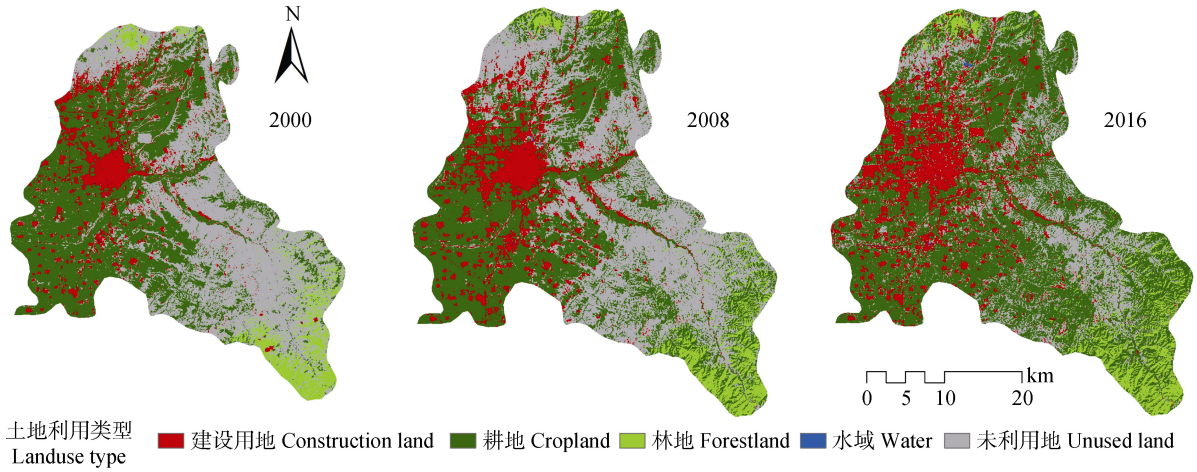

图 1 2000—2016 年榆次区土地利用现状图

Fig. 1 Land use changes in Yuci District from 2000 to 2016

表 1 研究区不同地形因子分级、面积及面积百分比

Table 1 Areas and area percentages of topographic factors in different classification groups in the study area of Yuci District

地形因子 Topographic factor	分级 Classification			面积 Area (km^2)	面积比例 Area proportion (%)
地形起伏度	0~30			541.55	41.37
Landform relief (m)	30~70			477.91	36.50
	>70			289.73	22.13
坡度变率	0~2			436.20	33.32
Slope change rate (°)	2~6			611.50	46.71
	6~15			250.63	19.14
	15~25			10.52	0.80
	25~35			0.34	0.03
	>35			0.01	0.00
坡向	平地 Flat land (−1~0)			21.60	1.65
Aspect (°)	阴坡 Shady slope (0~45, 315~360)			284.78	21.75
	半阴坡 Semi-shady slope (45~90, 270~315)			316.92	24.21
	半阳坡 Semi-sunny slope (90~135, 225~270)			330.11	25.21
	阳坡 Sunny slope (135~225)			355.79	27.18
地形位	低	1	0.56~0.71	54.18	32.80
Terrain niche	Low	2	0.71~0.87	179.13	
		3	0.87~1.03	196.13	
		4	1.03~1.18	167.14	
	中低	5	1.18~1.34	142.25	42.46
	Mid-low	6	1.34~1.50	128.50	
		7	1.50~1.65	118.00	
	中高	8	1.65~1.81	111.01	23.54
	Mid-high	9	1.81~1.97	95.05	
		10	1.97~2.12	67.10	
		11	2.12~2.28	35.03	
	高 High	12	2.28~2.43	12.40	1.20
		13	2.43~2.59	2.74	
		14	2.59~2.75	0.50	
		15	2.75~2.90	0.04	

表 2　2000—2016 年榆次区土地利用转移矩阵

Table 2　Transfer matrix of land use types in Yuci District from 2000 to 2016　　km^2

转移矩阵 Transfer matrix		2016 年 Year 2016					2000 年合计 Sum in 2000	2000 年转移量 Transfer amount in 2000
		建设用地 Construction land	耕地 Crop land	林地 Forest land	水域 Water	未利用地 Unused land		
2000 年 Year 2000	建设用地 Construction land	90.82	15.95	1.25	0.66	20.23	128.91	38.09
	耕地 Crop land	80.14	428.20	1.50	0.60	48.55	558.99	130.79
	林地 Forest land	0.58	10.86	64.28	0.10	3.25	79.07	14.79
	水域 Water	0.36	0.09	0.03	0.74	0.08	1.30	0.56
	未利用地 Unused land	37.44	271.94	20.69	0.37	210.49	540.93	330.44
2016 年合计 Sum in 2016		209.34	727.04	87.75	2.47	282.60	1 309.20	
2016 年增量 Increment in 2016		118.52	298.84	23.47	1.73	72.11		514.67

2000—2016年不同土地利用类型所占面积差异显著(表3)。建设用地、耕地和未利用地为主要地类，三者占研究区总面积的93%以上。其中耕地比例最大，2000年、2008年和2016年平均为46.91%，而未利用地和建设用地的平均比例分别为33.79%和12.99%。2000—2016年林地平均面积仅占总面积的6.18%，水域所占面积最小，均不超过总面积的0.2%。2008—2016年榆次区土地利用变化的主要特征为耕地和建设用地面积增加，未利用地面积减少；其中，耕地面积增幅最大，增加了170.61 km^2，建设用地面积增加了37.36 km^2，而未利用地面积减少了221 km^2；林地和水域面积变化不显著。2000—2008 年榆次区建设用地面积增加了43.07 km^2，未利用地面积减少了37.33 km^2；耕地和林地面积有所减少，二者减少的面积相当，而在2008—2016年是增加的，且耕地较林地增幅显著。建设用地和水域各时段均增加，水域面积为小幅增加，其变化并不明显。2008—2016年间，除未利用地面积明显减少外，其他土地利用类型的面积均有所增加，未利用地主要转化为了耕地、建设用地和林地，城市扩张显著，影响了该区的土地利用变化模式。

表 3　2000—2016 年榆次区土地利用变化情况

Table 3　Land use change in Yuci District from 2000 to 2016

土地利用类型 Land use type	2000 年 Year 2000		2008 年 Year 2008		2016 年 Year 2016		面积变化 Area change (km^2)	
	面积 Area (km^2)	比例 Proportion (%)	面积 Area (km^2)	比例 Proportion (%)	面积 Area (km^2)	比例 Proportion (%)	2000–2008	2008–2016
建设用地 Construction land	128.91	9.85	171.98	13.14	209.34	15.99	43.07	37.36
耕地 Crop land	558.99	42.70	556.43	42.50	727.04	55.53	–2.56	170.61
林地 Forest land	79.07	6.04	75.85	5.79	87.75	6.70	–3.22	11.90
水域 Water	1.30	0.09	1.34	0.10	2.47	0.19	0.04	1.13
未利用地 Unused land	540.93	41.32	503.60	38.47	282.60	21.59	–37.33	–221.00

3.2　土地利用结构变化的地形起伏度梯度差异

将2000年、2008年和2016年的土地利用类型数据分别与地形起伏度做叠加分析，统计不同土地利用类型在不同地形起伏度的面积，并对其分布指数进行计算，结果如表4所示。

由表 4 可知, 2000—2016 年，建设用地和耕地面积随地形起伏度增大而减少，而林地面积在不断增加，未利用地所占面积呈先增大后减小趋势，2000 年和 2008 年水域面积呈先增加后减少趋势，而 2016 年的水域面积不断减少。2000—2008 年在 0~30 m 梯度建设用地增加 43.73 km^2，耕地减少 51.93 km^2，说明由于人口增加和城市化进程的加快，建设用地面积相应增加，耕地被占用。2008—2016 年，在 30~70 m 梯度耕地所占面积增加最为显著，增加 112.18 km^2，而未利用地面积减少 129.48 km^2，说明耕地的主要分布区域逐渐向较高的地形起伏度区域扩张；在>70 m 梯度林地面积增加 7.59 km^2，水域面积在 0~30 m 梯度增加最明显。

地形起伏度<30 m 梯度为建设用地和耕地的优势分布区，二者的分布指数随地形起伏度的增加而持续减小；30~70 m 和>70 m 梯度是未利用地的优势分布区；2000—2016 年水域的分布指数在

0~30 m 梯度逐年增加，而在 30~70 m 和>70 m 梯度逐年减少；林地的分布指数随地形起伏度的增加而持续增大，在地形起伏度>70 m 梯度具有分布优势。

表 4 2000—2016 年榆次区土地利用类型的地形起伏度梯度差异

Table 4 Landform relief gradient difference of land use types in Yuci District during 2000–2016

土地利用类型 Land use type	年份 Year	地形起伏度 Landform relief (m)					
		0~30	30~70	>70	0~30	30~70	>70
		面积、面积变化量 Area, area change (km^2)			分布指数 Distribution index		
建设用地 Construction land	2000	98.74	26.37	3.79	1.88	0.54	0.14
	2008	142.47	27.14	2.35	2.03	0.43	0.06
	2016	161.97	40.62	6.72	1.89	0.52	0.15
	2000—2008	43.73	0.77	–1.44			
	2008—2016	19.50	13.48	4.37			
耕地 Crop land	2000	369.80	158.58	30.50	1.61	0.76	0.23
	2008	317.87	160.97	77.46	1.39	0.78	0.64
	2016	316.63	273.15	137.08	1.06	1.02	0.86
	2000—2008	–51.93	2.39	46.96			
	2008—2016	–1.24	112.18	59.62			
林地 Forest land	2000	0.12	16.95	61.96	0.00	0.58	3.56
	2008	0.22	16.74	58.85	0.01	0.60	3.55
	2016	1.02	20.26	66.44	0.03	0.62	3.44
	2000—2008	0.10	–0.21	–3.11			
	2008—2016	0.80	3.52	7.59			
水域 Water	2000	0.28	0.44	0.33	0.54	0.91	1.14
	2008	0.41	0.45	0.23	0.76	0.91	0.77
	2016	1.13	0.74	0.31	1.12	0.81	0.57
	2000—2008	0.13	0.01	–0.10			
	2008—2016	0.72	0.29	0.08			
未利用地 Unused land	2000	72.44	275.34	193.02	0.32	1.38	1.64
	2008	80.40	272.37	150.70	0.39	1.46	1.36
	2016	60.59	142.89	79.04	0.52	1.37	1.27
	2000—2008	7.96	–2.97	–42.32			
	2008—2016	–19.81	–129.48	–71.66			

3.3 土地利用结构变化的坡度变率梯度差异

将 2000 年、2008 年和 2016 年的土地利用类型数据分别与坡度变率做叠加分析，统计不同坡度变率上不同土地利用类型的面积，并计算相应的分布指数，结果如表 5 所示。

由表5可知，坡度变率0°~15°是研究区各土地利用类型的主要分布区域。2000—2016年，在各坡度变率梯度建设用地的面积均为逐年增加，其中2000—2008年在坡度变率0°~2°梯度增加最为显著，增加了28.88 km^2，建设用地面积随着坡度变率的增大而持续减小，而林地、水域和未利用地的面积在2°~6°梯度有所增加，在>6°梯度上三者的面积又逐渐减少；2000年随着坡度变率的增大耕地的面积逐渐减小，而2008年和2016年耕地所占面积呈现先增大后减少的趋势，其增加面积在2°~6°梯度。2000—2016年建设用地和耕地均在坡度变率0°~2°梯度具有分布优势；林地在6°~35°梯度具有分布优势，且在15°~25°梯度分布优势最为显著；水域主要分布在坡度变率为<25°的区域；未利用地在2°~25°梯度的分布指数均大于1，为其优势分布区。

表 5　2000—2016 年榆次区土地利用类型的坡度变率梯度差异

Table 5　Gradient difference of slope change rate of land use types in Yuci District during 2000–2016

土地利用类型 Land use type	年份 Year	坡度变率 Slope change rate (°)											
		0~2	2~6	6~15	15~25	25~35	>35	0~2	2~6	6~15	15~25	25~35	>35
		面积、面积变化量 Area, area change (km^2)						分布指数 Distribution index					
建设用地 Construction land	2000	74.23	47.06	7.31	0.36	0.03	0.00	1.73	0.78	0.30	0.35	0.90	0.00
	2008	103.11	60.83	7.42	0.54	0.06	0.00	1.80	0.78	0.23	0.39	1.34	0.00
	2016	115.45	78.59	14.25	0.94	0.07	0.00	1.66	0.80	0.36	0.55	1.29	0.00
	2000—2008	28.88	13.77	0.11	0.18	0.03	0.00						
	2008—2016	12.34	17.76	6.83	0.40	0.01	0.00						
耕地 Crop land	2000	248.62	245.22	61.78	3.42	0.17	0.00	1.34	0.94	0.57	0.75	1.17	0.00
	2008	218.86	248.22	84.57	4.37	0.16	0.00	1.18	0.95	0.79	0.97	1.11	0.00
	2016	244.42	346.81	129.83	5.51	0.15	0.00	1.01	1.02	0.93	0.94	0.80	0.00
	2000—2008	–29.76	3.00	22.79	0.95	–0.01	0.00						
	2008—2016	25.56	98.59	45.26	1.14	–0.01	0.00						
林地 Forest land	2000	7.97	36.78	32.67	1.61	0.02	0.00	0.30	0.99	2.16	2.51	0.97	0.00
	2008	7.67	35.42	31.16	1.51	0.02	0.00	0.30	1.00	2.15	2.46	1.02	0.00
	2016	9.22	40.56	36.17	1.71	0.03	0.00	0.32	0.99	2.15	2.41	1.32	0.00
	2000—2008	–0.30	–1.36	–1.51	–0.10	0.00	0.00						
	2008—2016	1.55	5.14	5.01	0.20	0.01	0.00						
水域 Water	2000	0.23	0.46	0.30	0.01	0.00	0.00	0.53	0.76	1.21	0.95	0.00	0.00
	2008	0.34	0.51	0.19	0.00	0.00	0.00	0.76	0.81	0.74	0.00	0.00	0.00
	2016	0.86	0.90	0.38	0.01	0.00	0.00	1.05	0.78	0.80	0.50	0.00	0.00
	2000—2008	0.11	0.05	–0.11	–0.01	0.00	0.00						
	2008—2016	0.52	0.38	0.19	0.01	0.00	0.00						
未利用地 Unused land	2000	105.04	282.17	148.60	5.24	0.12	0.00	0.58	1.12	1.44	1.20	0.85	0.00
	2008	105.77	266.22	127.11	4.20	0.10	0.00	0.63	1.13	1.32	1.03	0.77	0.00
	2016	65.78	144.33	69.82	2.46	0.08	0.00	0.70	1.09	1.29	1.07	1.09	0.00
	2000—2008	0.73	–15.95	–21.49	–1.04	–0.02	0.00						
	2008—2016	–39.99	–121.89	–57.29	–1.74	–0.02	0.00						

3.4　土地利用结构变化的坡向梯度差异

将 2000 年、2008 年和 2016 年的土地利用类型数据分别与坡向做叠加分析，统计不同土地利用类型在不同坡向上的面积，并对其分布指数进行计算，结果如表 6 所示。

由表 6 可知, 2000—2016 年，在不同坡向上建设用地的面积逐年增加，在阳坡 2008 年较 2000 年增加最为显著，增加 13.92 km^2；未利用地的面积均为减少趋势，且 2008—2016 年减少较为明显，尤其在半阳坡和阳坡，分别减少 59.15 km^2 和 70.50 km^2；耕地面积在平地、半阳坡和阳坡呈先下降后增加趋势，其中在阳坡变化最明显，2008 年较 2000 年减少 4.16 km^2, 2016 年较 2008 年增加 58.88 km^2，而在阴坡和半阴坡是逐年增加的；林地面积在平地略有增加，其他坡向上呈先下降后增加趋势，其中在阴坡增加最多，增加 6.60 km^2；水域面积在平地、阴坡和半阳坡逐年增加，而在其他坡向先下降后增加，变化相差不大，总体面积均略有增加。

不同坡向各土地利用类型的分布优势差异明显。建设用地在平地、阳坡和半阳坡呈现分布优势，尤其在平地最为显著；平地和阳坡为耕地的主要优势分布区；阳坡和半阳坡是未利用地的主要优势分布区，而林地在阴坡和半阴坡具有分布优势；水域在不同坡向上的分布程度相差不大。

表 6 2000—2016 年榆次区土地利用类型的坡向梯度差异

Table 6 Aspect gradient difference of land use types in Yuci District during 2000–2016

土地利用类型 Land use type	年份 Year	坡向 Aspect									
		平地 Flat land	阴坡 Shady slope	半阴坡 Semi-shady slope	半阳坡 Semi-sunny slope	阳坡 Sunny slope	平地 Flat land	阴坡 Shady slope	半阴坡 Semi-shady slope	半阳坡 Semi-sunny slope	阳坡 Sunny slope
		面积、面积变化量 Area, area change (km^2)					分布指数 Distribution index				
建设用地 Construction land	2000	3.68	24.07	31.00	34.87	35.35	1.76	0.75	0.99	1.07	1.01
	2008	5.45	32.15	39.06	46.01	49.27	1.92	0.86	0.94	1.06	1.05
	2016	6.21	39.93	48.06	55.11	59.99	1.80	0.88	0.95	1.05	1.05
	2000—2008	1.77	8.08	8.06	11.14	13.92					
	2008—2016	0.76	7.78	9.00	9.10	10.72					
耕地 Crop land	2000	13.76	118.95	127.54	138.77	160.18	1.49	0.98	0.94	0.99	1.05
	2008	12.25	121.86	128.34	137.72	156.02	1.33	1.01	0.95	0.98	1.03
	2016	12.35	146.87	166.28	186.33	214.90	1.03	0.93	0.95	1.02	1.09
	2000—2008	–1.51	2.91	0.80	–1.05	–4.16					
	2008—2016	0.10	25.01	37.94	48.61	58.88					
林地 Forest land	2000	0.40	31.79	28.23	12.98	5.67	0.31	1.85	1.48	0.65	0.26
	2008	0.40	31.67	27.17	11.86	4.70	0.32	1.92	1.48	0.62	0.23
	2016	0.47	38.27	30.70	13.00	5.27	0.32	2.01	1.45	0.59	0.22
	2000—2008	0.00	–0.12	–1.06	–1.12	–0.97					
	2008—2016	0.07	6.60	3.53	1.14	0.57					
水域 Water	2000	0.01	0.18	0.33	0.24	0.25	0.47	0.64	1.05	0.73	0.71
	2008	0.02	0.25	0.29	0.24	0.24	0.90	0.86	0.89	0.71	0.66
	2016	0.04	0.45	0.55	0.53	0.57	0.98	0.84	0.92	0.85	0.85
	2000—2008	0.01	0.07	–0.04	0.00	–0.01					
	2008—2016	0.02	0.20	0.26	0.29	0.33					
未利用地 Unused land	2000	3.91	109.84	129.83	143.24	154.35	0.44	0.93	0.99	1.05	1.05
	2008	3.62	98.67	121.81	134.01	145.28	0.44	0.90	1.00	1.06	1.06
	2016	2.68	59.09	71.09	74.86	74.78	0.57	0.96	1.04	1.05	0.97
	2000—2008	–0.29	–11.17	–8.02	–9.23	–9.07					
	2008—2016	–0.94	–39.58	–50.72	–59.15	–70.50					

3.5 土地利用结构变化的地形位梯度差异

将 2000 年、2008 年和 2016 年的土地利用类型数据分别与地形位做叠加分析，统计不同土地利用类型在不同地形位上的面积，并对其分布指数进行计算，结果如表 7 所示。

由表 7 可知，2000—2016 年随着地形位的增大，建设用地所占面积不断减小，主要分布在低级(1~3 级)、中低(4~7 级)地形梯度区，且在低、中低地形梯度区其面积逐年增加，尤其在 2000—2008 年的低地形梯度区变化明显，增加 37.23 km^2。2000—2008 年低地形梯度区耕地面积减少 40.24 km^2，而 2008—2016 年的中低地形梯度区其面积增加 105.37 km^2。2000—2016 年在不同地形位梯度上林地的面积均呈先减少后增加的趋势，中高(8~11 级)地形梯度区为其主要分布区。水域主要分布在 1~7 级地形位。2000—2016 年在低、中低地形位梯度上未利用地的面积呈先增加后减少的趋势，而在中高(8~11 级)、高(12~15 级)地形位梯度上其面积逐渐减少；其中在 2008—2016 年的中低地形梯度区其面积显著减少，减少 125.08 km^2。

2000—2016 年 1~3 级地形位是建设用地和耕地的优势分布区，建设用地的分布指数随地形位的增加而不断减小，耕地的地形梯度分布优势逐年降低；随地形位的增大，林地的分布指数持续增大，8~15 级地形位为其优势分布区，尤其在 12~15 级地形位最为显著；未利用地的优势分布区主要集中在 4~11 级地形位。

表 7　2000—2016 年榆次区土地利用类型的地形位梯度差异

Table 7　Terrain niche gradient difference of land use types in Yuci District during 2000–2016

土地利用类型 Land use type	年份 Year	地形位 Terrain niche							
		低 Low (1~3 level)	中低 Mid-low (4~7 level)	中高 Mid-high (8~11 level)	高 High (12~15 level)	低 Low (1~3 level)	中低 Mid-low (4~7 level)	中高 Mid-high (8~11 level)	高 High (12~15 level)
		面积、面积变化量 Area, area change (km^2)				分布指数 Distribution index			
建设用地 Construction land	2000	81.78	41.35	5.57	0.18	1.93	0.75	0.18	0.12
	2008	119.01	50.05	2.78	0.11	2.11	0.68	0.07	0.05
	2016	133.91	67.02	8.22	0.14	1.95	0.75	0.17	0.06
	2000—2008	37.23	8.70	−2.79	−0.07				
	2008—2016	14.90	16.97	5.44	0.03				
耕地 Crop land	2000	284.00	235.45	38.36	0.94	1.55	0.99	0.29	0.14
	2008	243.76	224.11	83.01	5.28	1.34	0.95	0.63	0.79
	2016	243.30	329.48	147.82	6.12	1.02	1.07	0.86	0.70
	2000—2008	−40.24	−11.34	44.65	4.34				
	2008—2016	−0.46	105.37	64.81	0.84				
林地 Forest land	2000	0.35	12.81	57.91	7.92	0.01	0.38	3.11	8.35
	2008	0.32	12.49	55.63	7.36	0.01	0.39	3.12	8.09
	2016	0.98	14.85	64.07	7.78	0.03	0.40	3.10	7.39
	2000—2008	−0.03	−0.32	−2.28	−0.56				
	2008—2016	0.66	2.36	8.44	0.42				
水域 Water	2000	0.27	0.51	0.21	0.01	0.63	0.92	0.69	0.64
	2008	0.41	0.49	0.14	0.00	0.93	0.86	0.44	0.00
	2016	1.00	0.87	0.24	0.01	1.23	0.83	0.41	0.34
	2000—2008	0.14	−0.02	−0.07	−0.01				
	2008—2016	0.59	0.38	0.10	0.01				
未利用地 Unused land	2000	62.48	265.28	206.34	6.62	0.35	1.15	1.62	1.02
	2008	65.37	268.28	166.81	2.92	0.40	1.25	1.41	0.48
	2016	49.67	143.20	88.02	1.62	0.54	1.19	1.32	0.48
	2000—2008	2.89	3.00	−39.53	−3.70				
	2008—2016	−15.70	−125.08	−78.79	−1.30				

4　讨论与结论

地形作为土地的重要背景，影响着农业生产活动、农业用地的开垦和建设用地的空间分布，并导致土地利用类型发生变化，它对土地利用变化的影响是不同地形因素综合作用的结果。对单一地形因素进行分析无法反映其影响作用[3]，而已有相关研究大多是对高程、坡度、坡向等单一因素[8-9,13,15,20,22-25]或者结合地学信息图谱理论[10-11,14,19]等进行分析，且侧重于分析微观地形因子对土地利用格局变化的影响。本文在已有研究的基础上，选取快速城镇化地区为研究区，将单因素与多因素、微观与宏观地形因子相结合，综合系统地分析了土地利用变化的地形梯度特征，这对城镇化过程中土地资源的合理利用和生态环境治理等具有重要指导意义。

榆次区土地利用梯度变化受多种因素影响，主要为地形因素、人类活动、政策因素、交通和区位等。研究区坡度为0°~25°的区域占总面积的98.17%，高程<1 200 m的区域占80.92%，这决定了该区土地利用空间分布的格局，与孙丕苓等[1]、李京京等[2]的研究结论相似。地形因素会影响人类活动(如农耕、工程建设等)，所以与人类生产生活密切相关的土地利用类型，如建设用地、耕地和水域均分布在低地形梯度上，而林地和未利用地主要分布在人类活动干扰较弱的中高地形梯度上；另外，人口压力导致建设用地和耕地的需求不断增加，未利用地大量转化为了建设用地、耕地等，导致研究区土地利用的

格局发生了变化，前人研究[2,10,30]也表明人类活动影响土地利用格局变化。太榆同城化政策对榆次区北部和太原市南部的城市建设产生了重大影响，2000—2016年榆次区建设用地不断地向外扩张，主要向西北部方向扩张，尤其是与太原市交汇处扩张情况更加明显(图1)。榆次地处三晋腹地，距离太原市25 km，境内铁路、公路交通运输网呈辐射状连接山西省内外，这对该区域土地利用格局变化起推动作用。可以看出，榆次区土地利用变化地形梯度差异明显，地形因素、人类活动、政策因素、交通和区位为其主导因素。本研究并未深入分析相邻城市的吸引、交通、区位等对土地利用变化地形梯度所造成的影响，今后还有待进一步研究。

本研究以快速城镇化地区榆次区为研究对象，利用2000年、2008年和2016年3期土地利用类型和ASTER GDEM数据，选用坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位因子，对该区土地利用变化的地形梯度分布特征进行了分析，结论如下:

1)2000—2016年榆次区建设用地主要向西北部方向扩张，尤其是与太原市交汇处扩张更加明显，结合不同地形因子分析得出，榆次区城市扩张主要分布在地形起伏度为0~30 m、坡度变率<2°、阳坡、半阳坡和地形位为1~3级的地区，其次是地形起伏度为30~70 m、坡度变率为2°~6°、半阴坡、阴坡和地形位为4~7级的地区；2000—2016年榆次区不同地类的面积比例差异明显。土地利用以建设用地、耕地和未利用地为主，三者占研究区总面积的93%以上；耕地面积和建设用地面积分别增加170.61 km^2和37.36 km^2，而未利用地面积减少221 km^2。

2)2000—2016年随着地形起伏度的增大，建设用地和耕地所占面积不断减小，0~30 m梯度为二者的优势分布区；林地的分布指数随地形起伏度的增加而持续增大，在>70 m梯度具有分布优势；未利用地所占面积呈先增大后减小趋势，30~70 m和>70 m梯度是未利用地的优势分布区；2000—2016年水域的分布指数在0~30 m梯度逐年增加，而在30~70 m和>70 m梯度逐年减少；2000—2008年在0~30 m梯度建设用地面积变化最为明显，增加43.73 km^2；2008—2016年，在30~70 m梯度耕地所占面积增加最为显著，增加112.18 km^2，而未利用地面积减少最多，减少129.48 km^2，在>70 m梯度林地面积增加7.59 km^2，水域面积在0~30 m梯度增加最大。

3)榆次区各土地利用类型主要分布在坡度变率为0°~15°的区域。2000—2016年随着坡度变率的增大建设用地的面积逐渐减小，建设用地和耕地在0°~2°梯度具有分布优势；林地、水域和未利用地所占面积在2°~6°梯度有所增加，而在>6°梯度的区域逐渐减少；林地在6°~35°梯度具有分布优势，水域主要分布在坡度变率为<25°的区域，未利用地主要分布在2°~25°梯度的区域。

4)2000—2016年，在不同坡向建设用地的面积逐年增加，阳坡2008年较2000年增加13.92 km^2，平地、阳坡和半阳坡为其主要优势分布区；未利用地的面积均为减少趋势，在半阳坡和阳坡分别减少59.15 km^2和70.50 km^2；耕地的优势分布区主要为平地和阳坡，在阳坡面积变化最为明显，2008年较2000年减少4.16 km^2，2016年较2008年增加58.88 km^2；林地面积在阴坡增加最大，增加6.60 km^2，林地在阴坡和半阴坡具有分布优势，而阳坡和半阳坡是未利用地的主要优势分布区；水域在不同坡向上的分布程度相差不大。

5)2000—2016 年随着地形位的增大，建设用地所占面积不断减小，在低(1~3 级)地形梯度区 2008 年较 2000 年增加 37.23 km^2；耕地面积在 2000—2008 年的低地形梯度区减少 40.24 km^2，而在 2008—2016 年的中低(4~7 级)地形梯度区显著增加，增加 105.37 km^2，1~3 级地形位是建设用地和耕地的主要优势分布区；随地形位的增大，林地的分布指数持续增大，8~15 级地形位为其优势分布区，尤其在 12~15 级地形位最为显著；水域主要分布在 1~7 级地形位；不同地形位梯度上未利用地的面积均为减少，在 2008—2016 年的中低地形梯度区其面积显著减少，减少 125.08 km^2，4~11 级地形位为其优势分布区。

参考文献 References

[1] 孙丕苓，许月卿，王数. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 277–288
SUN P L, XU Y Q, WANG S. Terrain gradient effect analysis of land use change in poverty area around Beijing and Tianjin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(14): 277–288

[2] 李京京，吕哲敏，石小平，等. 基于地形梯度的汾河流域土地利用时空变化分析[J]. 农业工程学报，2016，32(7): 230–236
LI J J, LYU Z M, SHI X P, et al. Spatiotemporal variations analysis for land use in Fen River Basin based on terrain gradient[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(7): 230–236

[3] 余正军，任志远，卢锦容，等. 基于地形综合指数的土地利用动态变化研究——以山西省运城市为例[J]. 宁夏大学学

报: 自然科学版, 2013, 34(3): 270–274
YU Z J, REN Z Y, LU J R, et al. Study on land use dynamic changes based on the topographic composite index — Take the Yuncheng for example[J]. Journal of Ningxia University: Natural Science Edition, 2013, 34(3): 270–274

[4] RADOSLAVA K, KIZEKOVÁ M, NOVÁČEK J, et al. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: A case study of Slovakia from 1782 to 2006[J]. Land Use Policy, 2014, 36: 554–566

[5] 毛蒋兴, 闫小培. 中国城市土地快速变化的特征与机制——以深圳为例[M]. 南京: 南京大学出版社, 2009
MAO J X, YAN X P. Characteristics and Mechanism of Rapid Change of Urban Land in China: A Case Study of Shenzhen[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2009

[6] 郜红娟, 张朝琼, 张凤太. 基于地形梯度的贵州省土地利用时空变化分析[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(1): 62–70
GAO H J, ZHANG C Q, ZHANG F T. Spatio-temporal patterns of land use change in Guizhou Province based on terrain gradient[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2015, 33(1): 62–70

[7] 毛蒋兴, 李志刚, 闫小培, 等. 深圳土地利用时空变化与地形因子的关系研究[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(2): 71–76
MAO J X, LI Z G, YAN X P, et al. Research on the spatio-temporal changes of land use in relation to topography factors in Shenzhen City[J]. Geography and Geo-Information Science, 2008, 24(2): 71–76

[8] 武爱彬, 刘欣, 赵艳霞. 地形因子对浅山丘陵区土地利用类型分布与转换的影响——以燕山浅山丘陵区为例[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(1): 103–107
WU A B, LIU X, ZHAO Y X. Influences of topographic on distribution and change of land use types in hilly region — Taking Yanshan hilly region as an example[J]. Research of Agricultural modernization, 2014, 35(1): 103–107

[9] 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
CUI B L, LI X Y, JIANG G H, et al. Study on land use/cover in mountain area based on the DEM — Taking the Qinghai Lake basin as an example[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(5): 871–880

[10] 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
GONG W F, YUAN L, FAN W Y. Analysis on land use pattern changes in Harbin based on terrain gradient[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(2): 250–259

[11] 吴见, 张艳, 谭靖, 等. 安徽省土地利用地形梯度格局变化分析[J]. 遥感信息, 2016, 31(4): 108–115
WU J, ZHANG Y, TAN J, et al. Analysis on land use terrain gradient pattern changes in Anhui Province[J]. Remote Sensing Information, 2016, 31(4): 108–115

[12] 李靖, 廖和平, 蔡进, 等. 山地城市边缘土地利用格局与变化的地形梯度分布特征分析——以重庆市巴南区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 296–305
LI J, LIAO H P, CAI J, et al. Distribution characteristic on terrain gradient of land use pattern and change in the fringe of mountainous cities: A case study of Banan District in Chongqing[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(2): 296–305

[13] LI Z, LIU W Z, ZHENG F L. The land use changes and its relationship with topographic factors in the Jing river catchment on the Loess Plateau of China[J]. SpringerPlus, 2013, 2(1): 1–6

[14] 董顺舟, 赵宇鸾, 李秀彬. 基于地形梯度的高原山地区土地利用格局时空特征——以贵州省盘县为例[J]. 水土保持研究, 2017, 24(2): 213–222
DONG S Z, ZHAO Y L, LI X B. Spatiotemporal patterns of land use change in plateau region based on the terrain gradient — A case study in Panxian County, Guizhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(2): 213–222

[15] BIRHANU L, HAILU B T, BEKELE T, et al. Land use/land cover change along elevation and slope gradient in highlands of Ethiopia[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2019, 16: 100260

[16] 陈颐, 林毅伟, 朱志鹏, 等. 莆田市土地利用格局的地形梯度特征变化及尺度效应[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(1): 102–107
CHEN Y, LIN Y W, ZHU Z P, et al. Characteristic change and scaling effect of the land use pattern in Putian City based on the terrain gradient[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2017, 44(1): 102–107

[17] 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
XU N, ZHANG G L, LIU Z Y. Spatial-temporal variability of land use with terrain gradient in Taihang Mountain, Hebei Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(10): 1284–1292

[18] 范双云. 基于地形梯度的环洞庭湖区土地利用格局变化分析[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2014
FAN S Y. Analysis on land use pattern changes in pan-Dongting lake area based on terrain gradient[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2014

[19] 薄广涛, 牛志君, 郭义强, 等. 冀西北间山盆地区土地利用变化地形梯度效应——以河北省怀来县为例[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 226–231
BO G T, NIU Z J, GUO Y Q, et al. Effect of terrain gradient on land use change in basin of mountains typical district in Northwestern Hebei — A case study in Huailai County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1): 226–231

[20] WU X P, TANG Z Y, CUI H T, et al. Land cover dynamics of different topographic conditions in Beijing, China[J]. Frontiers of Biology in China, 2007, 2(4): 463–473

[21] 臧玉珠, 刘彦随, 杨园园. 山区县域土地利用格局变化及其地形梯度效应——以井冈山市为例[J]. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1391–1404

ZANG Y Z, LIU Y S, YANG Y Y. Land use pattern change and its topographic gradient effect in the mountainous areas: A case study of Jinggangshan City[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(7): 1391–1404

[22] BIRHANE E, ASHFARE H, FENTA A A, et al. Land use land cover changes along topographic gradients in Hugumburda national forest priority area, Northern Ethiopia[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2019, 13: 61–68

[23] QASIM M, HUBACEK K, TERMANSEN M, et al. Modelling land use change across elevation gradients in district Swat, Pakistan[J]. Regional Environmental Change, 2013, 13(3): 567–581

[24] LU L, GUO L, ZHAO S T. Land use and land cover change on slope in Qiandongnan prefecture of southwest China[J]. Journal of Mountain Science, 2014, 11(3): 762–773

[25] 白希选, 严翼. 武陵山区地形起伏度特征及其与土地利用的变化关系[J]. 武汉工程大学学报, 2020, 42(1): 73–78
BAI X X, YAN Y. Characteristics of topographic relief amplitude and its relationship with land use change in Wuling mountainous area[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2020, 42(1): 73–78

[26] 陈学兄, 常庆瑞, 郭碧云, 等. 基于 SRTM DEM 数据的中国地形起伏度分析研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2013, 21(4): 670–678
CHEN X X, CHANG Q R, GUO B Y, et al. Analytical study of the relief amplitude in China based on SRTM Dem data[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2013, 21(4): 670–678

[27] 陈学兄, 常庆瑞, 毕如田, 等. 地形起伏度最佳统计单元算法的比较研究[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 52–56
CHEN X X, CHANG Q R, BI R T, et al. Comparison study on the best statistical unit algorithms of relief amplitude[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(1): 52–56

[28] 陈奕竹, 肖轶, 孙思琦, 等. 基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(4): 623–631
CHEN Y Z, XIAO Y, SUN S Q, et al. Spatial-temporal changes of ecosystem service values in Xiangxi region based on terrain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(4): 623–631

[29] 刘京, 陈涛, 常庆瑞, 等. 渭北旱塬县域土地利用时空演变规律研究——以合阳县为例[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(11): 1565–1574
LIU J, CHEN T, CHANG Q R, et al. Land use dynamics in Weibei upland in China — A case study of Heyang County[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(11): 1565–1574

[30] DEMISSIE F, YESHITILA K, KINDU M, et al. Land use/Land cover changes and their causes in Libokemkem District of South Gonder, Ethiopia[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2017, 8: 224–230

欢迎订阅 2021 年《北方园艺》

中文核心期刊(1992—2017)

中国农业核心期刊

美国化学文摘社(CAS)收录期刊

2015、2016、2018 年期刊数字影响力 100 强

《北方园艺》是由黑龙江省农业科学院主管，黑龙江省园艺学会、黑龙江省农业科学院主办的园艺类综合性学术期刊。创刊以来，《北方园艺》始终与时代同频，策划新栏目，报道行业热点，不断推出具有创新价值、学术价值和实用价值的科研成果，在全国园艺类核心期刊中排名第三；在新时代背景下，《北方园艺》积极推动传统媒体与新兴媒体的融合发展，探索新型出版模式，设有专属投稿网站和微信公众号，学术传播力不断提升。

为增加文章的可读性和更好地体现研究成果，本刊增加了内文和封二新品种彩版宣传；作者也可将团队试验成果以音视频形式在本刊微信公众号传播，具体事宜联系编辑部。

栏目设置：研究论文、研究简报、设施园艺、园林花卉、资源环境生态、贮藏加工检测、中草药、食用菌、专题综述、产业论坛、农业信息技术、农业经济、农业经纬、实用技术、新品种(彩版封二)。

国际标准刊号: ISSN 1001-0009　国内统一刊号: CN 23-1247/S

邮发代号: 14-150

半月刊　每月 15、30 日出版　单价: 20.00 元　全年: 480.00 元

全国各地邮局均可订阅，或直接向编辑部汇款订阅。

投稿网址: www.haasep.cn

地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部

邮编: 150086

电话: 0451-86694145

信箱: bfyybjb@vip.163.com