

基于安徽省土地利用变化的地形梯度效应分析

吴见 王帅帅 谭靖

(1. 滁州学院地理信息与旅游学院, 安徽滁州 239000;
2. 安徽省地理信息集成应用协同创新中心, 安徽滁州 239000;
3. 北京航天泰坦科技股份有限公司, 北京 100083)

摘要: 为揭示地形因素与土地利用空间格局演变的关系, 以安徽省 2000 年、2005 年以及 2010 年 LandsatTM 影像和 DEM 数据为数据源, 利用坡向、地形起伏度、坡度变率和地形位指数多种地形因子, 并结合地学信息图谱分析理论从综合角度系统研究土地利用结构时空分异格局在地形梯度上的变化特点及其规律。结果表明: 1) 研究区主要的土地利用类型是耕地和林地, 其次是建设用地和未利用土地, 且建设用地面积逐期增加趋势显著。2) 2000-2010 年研究区不同土地利用类型在不同地形梯度区间的分异规律存在明显差异。低地形梯度范围是耕地、水域和建设用地的优势分布区; 中地形梯度范围是草地的集中分布区; 林地的优势分布区集中在高地形梯度范围。3) 2000-2010 年研究区土地利用图谱以稳定型和后期变化型为主, 低地形梯度和高地形梯度是稳定型图谱的集中分布区, 中低、中高和高地形梯度范围是后期变化型图谱的优势分布区。2000-2005 年林地的优势分布区有向较低地形位梯度扩张的趋势, 其中, 耕地是主要的转入来源。2005-2010 年耕地的优势分布区有向较高地形位梯度扩张的趋势, 变化模式主要为: “林地-耕地”、“未利用地-耕地”和“草地-耕地”。

关键词: 土地利用; 地形因子; 地形位指数; 土地利用变化图谱

中图分类号: P901 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-8227(2016)02-0239-10

DOI: 10.11 870/cjlyzyyhj20 1602009

土地是人类生产、生活不可或缺的环境要素, 是一个自然和社会经济综合体。土地利用覆被变化 (LUCC) 已成为现代地理学研究的核心问题。而土地利用空间格局与时空变化研究成为全球 LUCC 变化研究的核心内容, 地形作为自然环境中最基本的地理要素, 对区域内的物质与能量的转移以及再分配起重要作用。地形因素与土地利用结构联系密切, 不同地形、地貌特征下的土地利用格局是社会经济条件与自然条件相互作用的表现。地形要素对人类活动的约束力以及对不同土地利用类型空间分异的生态选择性, 使土地利用方向和方式在地形梯度上的分布呈明显的规律性, 在一定程度上是土地利用结构与空间分异格局形成的基础。数字高程模型 (DEM) 作为表达地面高程和形态的数学模型, 为研究土地利用结构在空间格局的变化规律提供了基础, 基于 DEM 的地形梯度与土地利用结构的关系研究成为目前不少学者研究的重要内容。龚文峰、郭洪峰等分别以哈尔滨市和北京平谷区为例, 以土地利用数据与 DEM 数据为数据源, 对地形梯度上区域土地利用格局与时空分异进行分析。代冬梅、崔卫国等利用 DEM, 探讨了土地利用结构在高程、坡度和坡向上的分布。李名勇等以福州市为例, 进行了基于高程约束的区域 LUCC 及其生态效应研究。

以往研究多是将地形高度和坡度作为参考因子, 而利用坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位指数等多种地形梯度因子从宏观角度分析土地利用空间结构的研究相对较少。因此, 从宏观角度利用多种地形梯度因子并结合地学信息图谱研究土地利用结构的时空分异格局在地形梯度上的变化, 对区域土地利用方式、土地利用优化布局及其规划工作具有更加科学性和现实意义, 相关研究也逐渐成为国际 LUCC 变化研究的重要方向。

1 研究区概况及数据预处理

1.1 研究区概况与土地利用状况

安徽省位于中国东南部，介于东经 114° 54' -119° 37'，北纬 29° 41' -34° 38' 之间，全省东西宽约 450km，南北长约 570 km，占地面积约 $13.96 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占全国总面积的 1.46%。地形起伏较大，最高海拔高程可达 1800 m 以上（图 1、2）。地貌以平原、丘陵和低山为主，分成淮河平原区，江淮台地丘陵区，皖西丘陵山地区，沿江平原区，皖南丘陵山地五个地貌区。在气候上属暖温带与亚热带的过渡地区，四季分明，气候温和，降水适中。耕地、林地、建设用地、水域、草地以及未利用地是全省主要的土地利用类型，其中耕地约 417 万 hm^2 ，林业用地面积约为 440 万 hm^2 ，建设用地面积约 340 万 hm^2 。

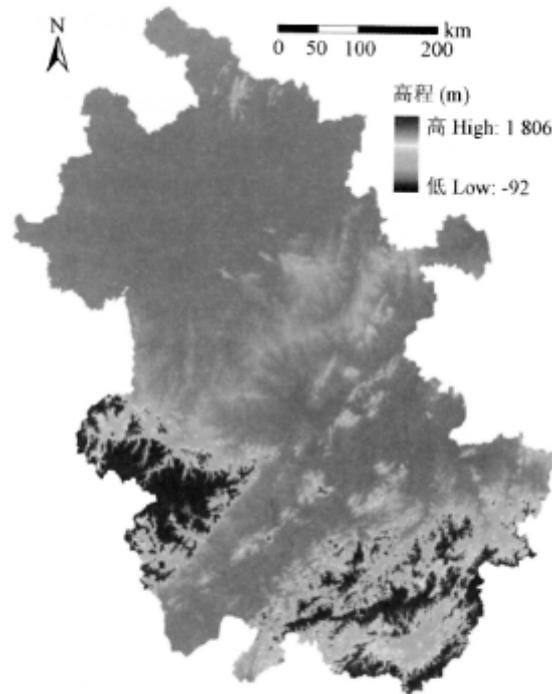


图 1 研究区高程图

Fig.1 Altitude of Study Area

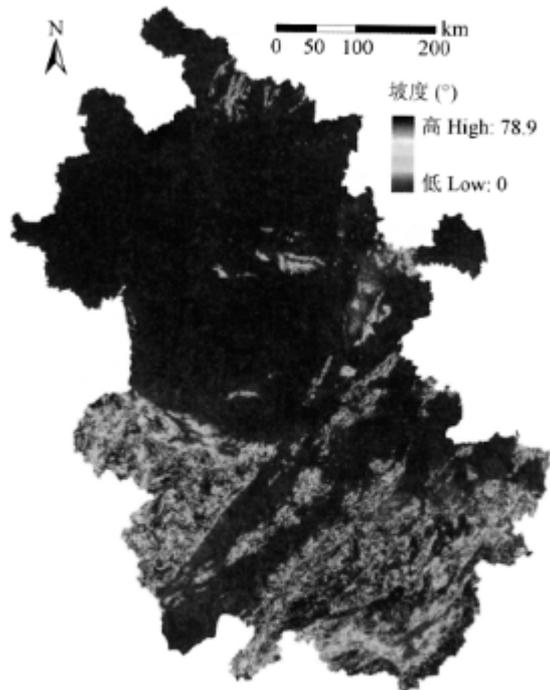


图2 研究区地形坡度
Fig.2 Slope of Study Area

1.2 数据获取与处理

地面高程数据是基于安徽省 1:25 万等高线得到的 DEM 数据，空间分辨率为 90m。以 2000 年、2005 年和 2010 年的 Landsat TM 影像为土地利用数据的数据源，运用 ENVI 5.0 软件进行辐射校正和几何校正处理，运用 Arcgis 10.0 软件根据研究区的行政边界对遥感影像进行裁剪，并结合安徽省 DEM 数据对 TM 影像进行配准和校正处理。结合 2001 年全国土地利用分类体系（征求意见稿）、安徽省 2000 年、2005 年和 2010 年的统计年鉴以及遥感影像的特点采用监督分类和人工目视解译相结合的方式将研究区划分为耕地、林地、建设用地、水域、草地以及未利用地共 6 种土地利用类型。借助 GPS 地面实测数据来检验解译精度，并利用混淆矩阵对解译结果进行分析，结果表明 3 期 TM 影像解译结果的解译精度分别为 86.76%，87.37% 和 88.05%，Kappa 系数分别为 0.80，0.79 和 0.83，均大于判别精度 0.7 的要求，满足研究需要。将解译所得的矢量数据转成 GRID 数据格式，以便于将其与基于 DEM 得到的坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位因子叠加分析。

2 研究方法

基于地形梯度因子等级划分，选取土地利用结构变化状况和分布指数，结合地学信息图谱 [3, 15] 分析土地利用格局在地形梯度上的时空演变过程，参考垂直地带性地理分析方法探讨土地利用格局在地形梯度上的分异规律。

2.1 土地利用变化信息图谱

运用 ArcGIS 10.0 的空间分析工具，得到研究区 2000-2010 年土地利用变化信息图谱，并划分为 5 种类型，即：1) 稳定型：在 2000-2010 年地类保持不变。2) 前期变化性：2000-2005 年变化，而 2005-2010 年未变化；3) 后期变化型：2005-2010 年变化，而 2000-2005 年未变化；4) 持续变化型：在 2000-2010 年至少发生两种类型的变化，初期和末期地类不同；计算公式为：

$$Y = (G_1) \times 10^{n-1} + (G_2) \times 10^{n-2} + \dots + (G_n) \times 10^{n-n} \quad (1)$$

式中： Y 为利用土地利用代码计算的4位编码的时空复合数据； n 为土地利用时期数目； G_1 ， G_2 ， G_n 为不同时期的土地利用单元^[9]。

2.2 地形因子梯度等级

基于地形因子对土地利用变化的影响程度的和数据可操作性，选取坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位4种地形因子探究其对土地利用结构的影响。

坡向作为重要的地形因子对局部日照时数和太阳辐射强度有重要影响，也是局部地区地表覆被、土壤水分、气候及生态特征的重要影响因子。坡度变率指地表高程相对于水平面在微分空间上的二阶导数，是地形剖面曲率的直观反映。地形起伏度是特定的区域内，最高海拔与最低海拔高程的差值，是描述地表形态和地貌类型的一项重要指标。地形位指数是将高程和坡度进行复合的地理因子，便于定量分析土地利用空间格局与地形梯度的关系（图3），其公式为：

$$T = \ln [(E/E_0 + 1) \times (S/S_0 + 1)] \quad (2)$$

式中： T 为地形位， E 和 S 分别为某点的高程

(m)和坡度(°)； E_0 和 S_0 分别为该点所在区域的平均高程(m)和坡度(°)^[6]。

基于数据特征的可定量性，对坡向因子、坡度变率、地形起伏度进行分级(表1)。使用等数量重分类法(Quantile Reclassify)对地形位(0.031~7.279)分为12级地形位，并分划为低、中低、中高和高4个地形位梯度(表2)。



图3 研究区地形位梯度分布

Fig.3 Distribution of Terrain Niche Gradient of Study Area

表1 坡向、坡度变率以及地形起伏度因子分级及面积比例

Tab.1 Classification and Area Proportion of Aspect, Slope Change Rate and Landform Relief

地形因子	分级	面积比例/(%)
坡向	平直坡	3.20
	阴坡	22.88
	半阳坡	25.67
	阳坡	23.56
	半阴坡	24.69
坡度变率(°)	1(0~1.0)	59.61
	2(1.0~3.0)	13.97
	3(3.0~5.0)	10.47
	4(5.0~7.0)	9.41
	5(7.0~9.0)	5.66
	6(>9.0)	0.88
地形起伏度(m)	1(0~50)	71.60
	2(50~100)	9.46
	3(100~200)	9.30
	4(200~300)	6.87
	5(>300)	2.77

表 2 地形因子分级及面积比例

Tab.2 Classification and Area Proportion of Terrain Niche

地形因子	分级	面积比例/(%)
低	1(0.031~0.637)	22.30
	2(0.637~1.243)	
	3(1.243~1.849)	
	4(1.849~2.455)	
中低	5(2.455~3.061)	28.07
	6(3.061~3.667)	
	7(3.667~4.273)	
中高	8(4.273~4.879)	24.25
	9(4.879~5.485)	
	10(5.485~6.091)	
高	11(6.091~6.697)	25.38
	12(6.697~7.279)	

2.3 地形因子梯度效应

为了消除土地利用类型和地形梯度区间的面积差异和的影响,使用地形分布指数揭示土地利用类型或土地利用变化信息图谱在不同地形梯度的分布特征,其公式为:

$$P = (S_{ie}/S_i) / (S_e/S) \quad (3)$$

式中: P 为分布指数; S_{ie} 为 e 地形区间上第 i 种土地利用类型的面积; S_i 为整个研究区内第 i 种土地利用类型的总面积; S_e 为整个研究区内 e 地形区间的总面积; S 为整个研究区域的面积^[21]。

3 结果分析

3.1 土地利用结构的地形梯度效应

3.1.1 土地利用结构的坡向梯度效应

据表 3 可知,研究区 2000-2010 年土地利用类型在坡向梯度上差异显著,坡向因子对耕地和建设用地的格局影响程度大于草地和未利用地。平直坡是耕地、水域和建设用地的优势分布区,水域在平直坡的分布优势最为显著。草地在阴坡和阳坡呈现优势分布,半阳坡和阳坡是建设用地的优势分布区,且分布指数都大于 1。

总体来看,2000-2010 年,耕地分布面积在平直坡和半阴坡上呈增加趋势,在阳坡、半阳坡和阴坡略有减少;林地分布面积在阴坡出现增加,而在其它坡向呈减少趋势;草地和建设用地分布面积在各个坡向上的变化趋势相同,在平直坡、阴坡和半阴坡呈减少趋势,在阳坡和半阳坡呈增加趋势;水域分布面积在平直坡、半阳坡和半阴坡呈增加趋势,在阴坡和阳坡呈减少趋势;未利用地在平直坡和阴坡呈增加趋势,其中在 2005-2010 年增加趋势明显,而在其它坡向呈减少趋势。

3.1.2 土地利用结构的坡度变率梯度效应

据表 4 可知,研究区 2000-2010 年土地利用类型的坡度变率梯度差异显著,土地利用类型在坡度变率 $0^\circ - 5.0^\circ$ 分布集中;坡度变率 $0^\circ - 1.0^\circ$ 梯度范围是耕地、水域、建设用地和未利用地的优势分布区;坡度变率 $1.0^\circ - 5.0^\circ$ 梯度范围的主要土地利用类型为林地和草地,且林地在坡度变率 $> 3.0^\circ$ 梯度的分布指数均大于 1;水域的优势分布区从 2000 年的 $0^\circ - 1.0^\circ$ 和 $> 5.0^\circ$ 梯度减少到 2010 年的 $0^\circ - 1.0^\circ$ 和 $> 9.0^\circ$ 梯度,分布集中区向 $< 3.0^\circ$ 梯度方向发

展；未利用地的优势分布区从 2000 年的 $<3.0^\circ$ 梯度扩展到 2010 年的 $>5.0^\circ$ 梯度。

表 3 研究区土地利用类型的坡向梯度差异
Tab.3 Aspect Gradient Difference of Land Use Types of Study Area

坡向级	土地利用类型面积比例(%)																	
	耕地			林地			建设用地			水域			草地			未利用地		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010
平直坡	1.03	1.17	1.25	0.63	0.47	0.35	4.36	4.11	3.02	3.26	4.35	6.58	0.84	0.77	0.71	1.05	1.27	1.64
阴坡	15.26	15.01	14.97	12.23	13.67	16.72	12.16	10.82	8.78	18.23	15.36	11.11	14.22	13.83	13.10	10.03	12.45	14.63
半阳坡	24.75	24.54	24.33	26.66	26.34	25.25	27.53	27.60	27.68	19.47	20.14	21.30	24.36	25.16	25.61	24.52	23.39	23.49
阳坡	26.37	25.36	24.69	23.24	22.05	22.63	25.87	26.35	26.91	28.96	28.01	27.41	24.57	25.08	26.38	27.13	26.18	24.94
半阴坡	32.59	33.92	34.76	37.24	37.47	35.05	30.08	31.12	33.61	30.08	32.14	33.60	36.01	35.16	34.20	37.27	36.71	35.30

坡向级	土地利用类型分布指数																	
	耕地			林地			建设用地			水域			草地			未利用地		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010
平直坡	1.32	1.37	1.43	0.35	0.28	0.20	2.36	2.16	2.02	4.01	3.89	3.75	0.39	0.37	0.36	2.98	2.39	2.15
阴坡	1.03	1.08	1.11	0.87	0.86	0.85	0.52	0.43	0.38	1.13	1.23	1.25	1.16	1.15	1.12	0.76	0.81	0.83
半阳坡	0.93	0.92	0.93	1.03	1.03	1.02	1.07	1.06	1.07	0.86	0.89	0.92	0.96	0.97	1.00	0.98	0.97	0.97
阳坡	0.87	0.84	0.84	0.88	0.90	0.91	1.17	1.19	1.21	0.66	0.65	0.63	1.11	1.12	1.13	0.91	0.89	0.87
半阴坡	1.16	1.18	1.20	1.03	1.02	1.02	0.89	0.91	0.92	1.25	1.28	1.30	1.00	0.99	0.97	1.07	1.05	1.03

表 4 研究区土地利用类型的坡度变率梯度差异
Tab.4 Gradient Difference of Slope Change Rate of Land Use Types of Study Area

坡度变率等级	土地利用类型面积比例(%)																	
	耕地			林地			建设用地			水域			草地			未利用地		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010
1	64.49	60.07	61.38	12.65	20.35	18.21	78.53	80.32	83.58	68.95	71.91	73.76	30.62	33.54	37.83	80.01	71.36	65.29
2	25.36	29.11	28.17	36.21	39.48	37.84	13.61	12.68	10.23	18.25	18.86	19.30	42.96	40.69	36.48	17.49	18.54	20.68
3	8.25	9.46	9.32	46.07	33.16	39.31	6.31	5.64	5.12	10.82	7.36	5.22	22.54	23.42	24.55	1.36	8.65	0.21
4	1.03	0.96	0.84	4.51	5.24	4.28	0.85	0.76	0.71	1.77	1.79	0.92	3.59	2.33	1.02	0.23	0.51	11.24
5	0.37	0.38	0.37	0.54	1.70	0.35	0.56	0.57	0.28	0.17	0.05	0.74	0.26	0.01	0.02	0.11	0.49	1.52
6	0.50	0.02	0.01	0.02	0.07	0.01	0.14	0.03	0.08	0.04	0.03	0.06	0.03	0.01	0.10	0.80	0.45	1.33

坡度变率等级	土地利用类型分布指数																	
	耕地			林地			建设用地			水域			草地			未利用地		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010
1	1.61	1.60	1.58	0.23	0.35	0.41	1.87	1.93	2.13	1.58	1.61	1.63	0.81	0.82	0.84	1.76	1.52	1.40
2	0.57	0.58	0.59	0.73	0.75	0.88	0.47	0.46	0.45	0.61	0.60	0.62	1.11	1.17	1.27	0.83	0.83	0.84
3	0.23	0.23	0.24	1.01	1.01	1.02	0.24	0.24	0.23	0.52	0.43	0.26	0.65	0.66	0.67	0.05	1.01	0.01
4	0.41	0.39	0.37	1.12	1.05	1.03	0.03	0.02	0.03	1.16	1.01	0.69	0.87	0.92	1.03	0.04	0.26	1.28
5	0.24	0.24	0.24	1.17	1.09	1.02	0.02	0.02	0.01	1.05	0.85	0.51	0.96	1.03	1.15	0.01	0.12	0.58
6	0.35	0.17	0.01	1.23	1.36	1.48	0.01	0.01	0	1.29	1.03	1.35	0.95	1.07	1.04	0.04	0.23	0.85

表 5 研究区土地利用类型的地形起伏度梯度差异
Tab.5 Landform Relief Gradient Difference of Land Use Types of Study Area

地形起伏度分级等级	土地利用类型面积比例(%)																	
	耕地			林地			建设用地			水域			草地			未利用地		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010
1	67.65	67.71	67.87	4.32	8.64	12.41	82.36	83.86	85.38	71.13	71.37	72.64	34.52	35.31	36.64	65.32	50.69	48.12
2	23.63	24.24	25.63	48.96	56.32	51.38	14.03	13.32	11.26	24.53	24.61	25.46	45.24	46.52	47.21	28.24	33.17	31.52
3	7.53	6.88	6.06	35.36	27.51	28.45	2.01	1.87	2.15	3.45	3.14	1.13	16.75	15.67	13.56	5.39	8.49	5.23
4	1.02	1.07	0.32	8.29	6.35	6.65	0.84	0.56	1.02	0.75	0.46	0.63	3.28	2.33	2.49	0.85	7.61	11.21
5	0.17	0.10	0.12	3.07	1.18	1.11	0.76	0.44	0.19	0.14	0.42	0.14	0.21	0.17	0.10	0.20	0.04	3.29

地形起伏度分级等级	土地利用类型分布指数																	
	耕地			林地			建设用地			水域			草地			未利用地		
	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010
1	2.03	1.99	1.95	0.13	0.25	0.31	2.45	2.67	2.86	2.01	2.11	1.96	0.65	0.75	0.83	1.91	1.75	1.25
2	0.38	0.39	0.41	1.21	1.26	1.35	0.22	0.21	0.19	0.45	0.41	0.44	1.01	1.13	1.32	0.56	0.61	0.67
3	0.23	0.22	0.21	0.87	0.86	0.83	0.05	0.04	0.05	0.12	0.11	0.11	0.34	0.35	0.36	0.27	0.24	0.23
4	0.08	0.05	0.02	0.41	0.34	0.32	0.04	0.11	0.17	0.04	0.04	0.03	0.15	0.14	0.11	0.14	1.13	1.02
5	0.05	0.03	0.01	1.14	0.89	0.69	0.35	0.21	0.11	0.07	0.06	0.07	0.09	0.07	0.06	0.10	0.06	0.13

总体来看，林地和草地的面积比例随着坡度变率的增加，呈现先增大后减小的变化趋势。其中，林地在 2000-2005 年的增加面积大于 2005-2010 年的增加面积。林地、草地和建设用地面积的增加主要发生在坡度变率 $<1.0^\circ$ 梯度，水域面积的增加主要发生在坡度变率 $<3.0^\circ$ 梯度，建设用地在坡度变率 $0^\circ - 1.0^\circ$ 梯度范围分布比例最大，未利用地的分布面积向高坡度变率梯度方向发展。

3. 1. 3 土地利用结构的地形起伏度梯度效应

据表 5 可知，研究区 2000-2010 年土地利用类型的地形起伏度梯度差异明显，土地利用类型在地形起伏度 0-100m 分布集中，其中在 0-50 m 梯度分布最为集中，是耕地、水域、建设用地的优势分布区；地形起伏度 $>50-100m$ 梯度的是林地和草地的优势分布区，其优势度在 2000-2005 年不断增大，在 2005-2010 年有所减少；地形起伏度 $>100-200 m$ 梯度的主要土地利用类型为林地和草地；林地、草地以及未利用地主要分布在地形起伏度 $>200 m$ 梯度范围。

总体来看，地形起伏度越小，耕地、建设用地以及水域所占比例越大，其中 2000-2010 年建设用地在 0-50 m 梯度范围分布比例最大。林地和草地在 50-100 m 梯度范围分布比例最大，林地面积的增加主要发生在 2000-2005 年。200-2010 年耕地、林地和草地在 0-100 m 梯度范围的分布比例呈增加趋势，林地与草地分布比例在 >100 m 梯度范围均有减少；林地在 0-50 m 梯度范围增加尤其明显，从 2000 年的 4.32% 增加到 2010 年的 14.41%；水域面积在 <100 m 梯度范围呈增加趋势，在 >100 m 梯度范围呈减少趋势；未利用地在 200-300 m 梯度范围面积比例变化最为明显。

表 6 研究区土地利用类型的地形位梯度差异
Tab.6 Terrain Niche Gradient Difference of Land Use Types of Study Area

地形位等级	土地利用类型分布指数																		
	耕地			林地			建设用地			水域			草地			未利用地			
	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010	
低	1	2.03	0.02	2.01	0.21	0.22	0.23	3.96	4.14	4.57	4.28	4.02	3.75	0.32	0.27	0.17	1.05	1.02	0.94
	2	1.89	1.93	1.97	0.20	0.20	0.19	2.38	2.38	2.39	3.01	2.78	2.64	0.66	0.63	0.56	0.95	0.97	1.01
	3	1.65	1.55	1.53	0.38	0.33	0.29	1.66	1.78	1.85	2.03	1.83	1.69	0.70	0.46	0.39	1.26	1.14	0.89
中低	4	1.26	1.31	1.37	0.42	0.36	0.32	1.34	1.27	1.25	1.55	1.47	1.12	0.95	0.98	1.04	0.86	0.81	0.73
	5	1.41	1.37	1.30	0.45	0.39	0.36	0.95	0.96	0.97	1.01	1.00	0.92	1.08	1.11	1.14	0.65	0.73	0.78
	6	1.36	1.28	1.25	0.68	0.71	0.73	0.86	0.85	0.83	0.85	0.84	0.83	1.02	1.01	1.03	0.95	0.92	0.84
中高	7	0.98	0.97	0.92	1.08	1.04	1.01	0.52	0.58	0.62	0.76	0.73	0.67	0.98	1.03	1.12	1.14	1.06	1.02
	8	0.87	0.93	0.99	1.35	1.21	1.02	0.48	0.43	0.36	0.56	0.54	0.48	1.07	1.08	1.10	1.10	1.08	0.98
	9	0.67	0.74	0.75	1.39	1.42	1.47	0.16	0.19	0.20	0.42	0.43	0.45	1.14	1.21	1.28	0.96	1.23	1.65
高	10	0.54	0.43	0.30	1.50	1.58	1.62	0.06	0.09	0.11	0.36	0.36	0.37	1.06	1.08	1.05	0.89	1.04	1.11
	11	0.13	0.15	0.17	1.78	1.82	1.96	0.04	0.08	0.13	0.13	0.17	0.19	1.10	1.01	1.13	1.05	1.17	1.16
	12	0.10	0.09	0.08	1.91	1.97	2.03	0.02	0.05	0.10	0.13	0.15	0.10	0.99	1.14	1.02	0.85	0.87	1.08

3. 1. 4 土地利用结构的地形位梯度效应

高程和坡度因子对不同土地利用类型的影响程度不同，因此不同土地利用类型在不同地形位梯度的分布指数差异显著。据表 6 可知，2000-2010 年耕地的分布指数随着地形位梯度的增加呈减少趋势，其在 1-6 级地形位分布集中；地形位越高林地的分布指数越大，地形梯度优势差异减小，7-12 级地形位梯度范围为其优势分布区；2000-2010 年草地的优势分布区不断增加，其分布指数随地形位梯度的增加呈现增加后减小的趋势，5-11 级地形位梯度范围为其优势分布区；建设用地和水域在低地形位梯度的分布优势最大，其中 2005-2010 年的建设用地的优势度大于 2000-2005 年的优势度，2000-2005 年水域的优势度大于 2005-2010 年；建设用地主要分布在低地形位梯度区；未利用地的优势分布区较为分散，且逐渐向高地形位梯度转移；水域面积多分布在低、中低地形位梯度，低地指向性明显，地形梯度优势差异减小，分布指数随地形位梯度的增加呈减小的趋势。

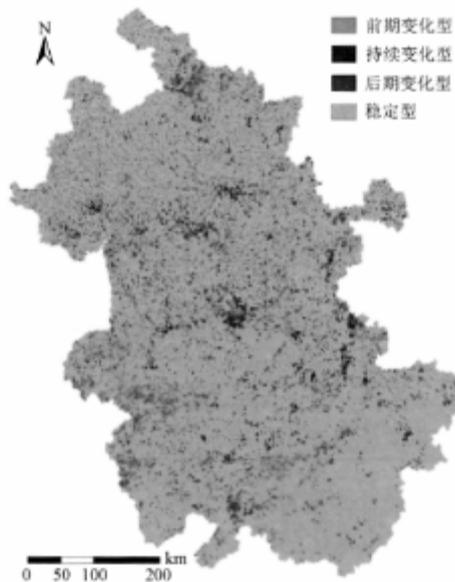


图 4 研究区土地利用图谱

Fig.4 Land Use Types of Study Area

3.2 土地利用图谱变化的地形梯度差异

采用 ARCGIS 10.0 的空间分析工具, 得到 2000-2010 年安徽省土地利用变化信息图谱 (图 4), 分析土地利用信息图谱在坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位上的梯度效应。

据图 4 可知, 研究区图谱类型在各梯度因子地形梯度上差异明显。稳定型分布面积最为广泛, 土地利用变化模式主要表现为“耕地-耕地-耕地”、“林地-林地-林地”和“建设用地-建设用地-建设用地”。其次是后期变化图谱类型, 变化模式以“耕地-耕地-林地”以及“耕地-耕地-建设用地”为主, 其面积为 6839.14km²。持续变化型次之, 变化模式以“耕地-草地-建设用地”以及“耕地-林地-建设用地”为主。前期变化型以“耕地-建设用地-建设用地”、“林地-耕地-耕地”和“耕地-林地-林地”为主, 其面积分别为 3031.47、3457.26 和 2685.64km²。

总体来看, 研究区的土地利用类型以耕地、林地和建设用地为主。2000-2005 年一方面经济发展较为迅速, 人地矛盾开始突出, 林地和未利用地被开辟成耕地或建设用地, 森林资源受到一定的破坏, 另一方面随着退耕还林政策的实施, 部分耕地还原为林地, 造林面积也在增加。随着经济的持续发展、城市化和城乡一体化进程的不断加快、人口的增长及对经济利益的追求, 致使部分林地开垦为耕地和建设用地, 表明该区域退耕还林政策贯彻力度不够, 建设用地增加趋势突出, 造林面积相比 2000-2005 年有所减少, 部分耕地还原为林地, 同时, 部分未利用地转化为草地。

3.2.1 土地利用图谱变化的坡向梯度差异

不同坡向因子对不同图谱类型的影响程度不同, 据图 5 可知, 图谱类型在平直坡上差异显著。平直坡是稳定型的集中分布区, 图谱类型主要为“耕地-耕地-耕地”, 前期变化型在平直坡和阳坡是集中分布, 半阳坡和阳坡接收的太阳辐射较多, 光照时数较长, 有利于农作物的生长, 其图谱类型主要为“林地-耕地-耕地”和“耕地-建设用地-建设用地”为主, 是开垦的集中区。后期变化型在阴坡和半阴坡上具有分布优势, 受退耕还林政策的影响, 图谱模式主要为“耕地-耕地-建设用地”和“耕地-耕地-林地”。在半阳坡、半阴坡和阴坡上呈现分布优势的是持续变化型。

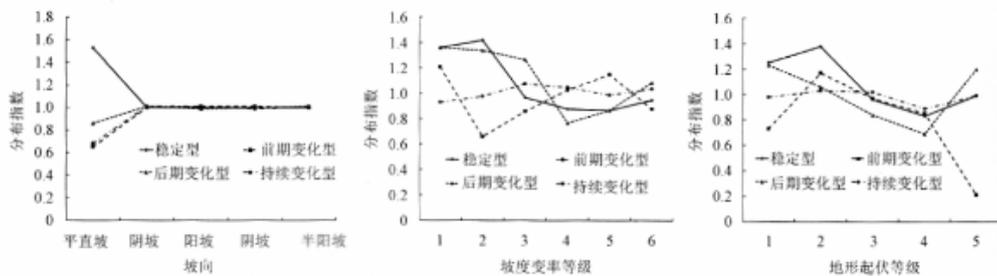


图 5 土地利用图谱的地形梯度分布指数

Fig.5 Distribution Index of Terrain Gradient for Land Use Types

3.2.2 土地利用图谱变化的坡度变率梯度差异

据图 5 可知, 研究区图谱类型的坡度变率梯度差异明显。稳定型分布指数随坡度变率的增加呈先减少后增加的趋势, 在 1.0°-3.0° 梯度范围分布指数最大, 在 >3.0° 梯度范围分布较为分散; 前期变化型的优势分布区较为分散, 主要为 1.0°-3.0° 和 5.0°-9.0° 梯度范围, 与稳定型相反, 在 1.0°-3.0° 前期变化型的分布指数最小; 后期变化型与稳定型相似, 其分布指数随坡度变率的增加呈先减少后增加的趋势, 在 0°-5.0° 梯度范围为其优势分布区, 图谱类型以“耕地-耕地-林地”和“耕地-耕地-建设用地”为主; 持续变化型在坡度变率梯度上的变化差异性较小, 其在 >3.0° 梯度范围分布指数大于 0°-3.0° 梯度, 主要表现为林地的转入。

3.2.3 土地利用图谱变化的地形起伏度梯度差异

据图 5 可知, 研究区图谱类型的地形起伏度梯度差异明显, 稳定型分布指数随地形起伏度等级的增加呈减少趋势; 前期变化型和持续变化型的变化趋势相似, 其分布指数随地形起伏梯

度等级的增加呈先增加后减少趋势，地形起伏度在 50-200 m 梯度范围是其优势分布区；后期变化型分布指数随地形起伏度等级的增加呈先增加后减少趋势，最大值出现在 0-50 m 梯度范围。

结果表明，土地利用变化图谱与地形起伏度的空间分布存在密切联系，2000-2010 年，“建设用地-建设用地-建设用地”、“耕地-耕地-耕地”和“耕地-耕地-建设用地”图谱在 0-50 m 地形起伏度等级分布集中；50-100 m 地形起伏度等级范围是“耕地-耕地-草地”、“林地-耕地-建设用地”和“耕地-耕地-林地”图谱的优势分布区；林地和草地在 100-200 m 地形起伏度等级范围的分布优势逐渐明显，主要图谱类型表现为“未利用地-林地-草地”、“草地-草地-林地”和“未利用地-草地-草地”；200-300 m 地形起伏度等级是林地和草地的集中分布区，图谱类型主要表现为“草地-林地-林地”、“林地-林地-林地”和“草地-草地-草地”，>300m 地形起伏度梯度范围是“未利用地-林地-林地”和“未利用地-草地-林地”的集中分布区。

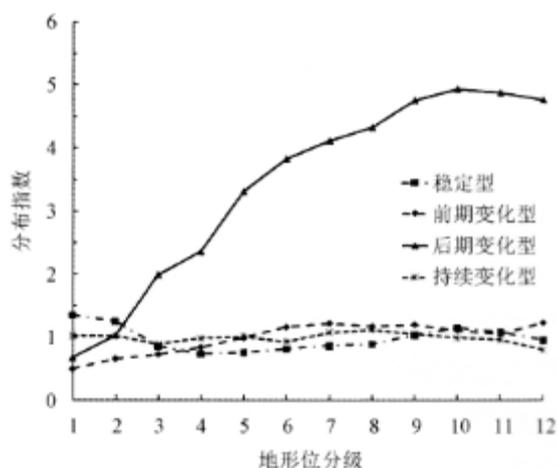


图 6 土地利用图谱的地形位梯度分布指数

Fig.6 Distribution Index of Terrain Niche Gradient for Land Use Types

3. 2. 4 土地利用图谱变化的地形位梯度差异

图 6 显示，图谱类型在地形位梯度上差异明显。稳定型随地形位梯度级别的增加呈先减小后增加的趋势，但在 10-12 级又出现一定幅度的减少，在 1-3 级具有分布优势；随着地形位梯度级别的增加，前期变化型分布指数总体呈增大趋势，但在 9-11 级出现小幅度的减少，在 5-8 级和 11-12 级具有分布优势；后期变化型随地形位梯度级别的增加呈增加的趋势，但在 11-12 级又呈现一定幅度的减少；持续变化型在 3-5 级地形位分布较为集中。

由图 6 可知，稳定型的“耕地-耕地-耕地”变化模式在 1-2 级地形位分布优势最大，低地形位梯度等级地形起伏相对较小，地势平坦开阔，便于农作物的耕作，是耕地的优势分布区。“林地-林地-林地”变化模式在 9-12 级地形位呈现优势分布，表明高地形位梯度是林地的集中分布区。“耕地-林地-林地”、“耕地-耕地-建设用地”和“耕地-林地-建设用地”分别在前期变化型、后期变化型和持续变化型中所占面积最大，分别在 5-10 级、>2 级和 3-5 级地形位梯度集中分布。低地形位梯度、中低地形位梯度、中高地形位梯度和高地形位梯度主要的图谱变化模式分别为“耕地-耕地-耕地”、“耕地-耕地-建设用地”、“草地-耕地-林地”和“林地-林地-林地”。

综上所述，随着坡度和高程的增加，限制了人类的活动范围，耕地和建设用地受地形的影响较大，主要分布在低地形梯度范围。另外，耕地与建设用地受人口增加及社会经济发展的影响较大，且耕地有不断向建设用地转移的趋势。在 2000-2005 年，随着国家退耕还林政策的实施，导致“耕地-林地”和“未利用地-林地”变化模式的增加，林地在中、高地形梯度范围的分布面积有所增加。在 2005-2010 年，由于人口压力和经济利益的驱使，出现毁林开荒现象，“未利用地-耕地”、“草地-耕地”和“林地-耕地”变化模式增加，致使耕地逐渐向高

地形梯度等级区转移。

4 讨论

总体来看,研究区土地利用变化在地形梯度上的差异显著,这与研究区的实际情况存在密切联系。从自然因素上看,由于自然因素对人类活动范围的限制能力较强,导致耕地和建设用对自然地形的选择性较大,研究区地形起伏度 0-100 m 的区域占总面积的 81.06%,是研究区耕地和建设用地在低地形梯度上呈现优势分布的主要因素。林地在中高、高地地形位梯度范围的分布指数都大于 1,表明林地在中高地地形梯度上的空间分布优势明显,其余地形梯度上多种优势地类共同分布,这就奠定了研究区土地利用垂直地带性空间分布的基本格局,即随着地形梯度等级的升高,林地的分布优势越大而耕地与建设用地的分布优势越小。表明自然因素在研究区土地利用格局变化地形梯度效应研究中起基础作用。从社会经济因素上看,随着国民经济的高速发展、人口的增长以及经济利益的驱使,人类社会经济活动范围不断扩大,加大了对草地、林地和未利用地的破坏、改造和利用,具体表现为耕地和建设用地的增加,所以社会经济因素在研究区土地利用格局变化地形梯度效应研究中起重要促进作用。从政策因素上看,自国家 1999 年推行“退耕还林”政策以来,安徽省积极响应国家号召,2000-2005 年间,林地转入面积增加较多,退耕还林效果较为突出。2005-2010 年,受社会经济因素的影响,退耕还林政策贯彻力度下降,林地转入面积逐渐减少。可见,政策因素是研究区土地利用空间格局变化地形梯度效应的又一推动因素。

本研究从多因子(坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位指数)和土地利用变化信息图谱两方面分析土地利用结构的时空变化,发现总体上坡向、坡度变率和地形起伏度都能反映土地利用格局的变化规律,但地形位因子对土地利用空间格局的变化规律反映效果较好,土地利用空间格局在地形位梯度上呈现一定的规律性。这与陈楠等、陈利顶等、高彦净等的研究结果基本相符。不同于孙丕苓等的研究结果,在土地利用变化图谱中后期变化型的分布指数有随地形位梯度的增加而增加的趋势,但与龚文峰等的研究结果基本一致。

5 结论

(1)研究区土地利用类型以耕地和林地为主,其次是建设用地和未利用土地,建设用地面积逐期增加趋势显著,而未利用土地面积逐渐减少。

(2)2000-2010 年研究区不同土地利用类型的分异规律在不同地形梯度区间存在明显差异。低地形梯度范围是耕地、水域和建设用地的优势分布区;中地形梯度范围是草地的集中分布区;林地的优势分布区集中在高地地形梯度范围。

(3)2000-2010 年研究区图谱类型以稳定型和后期变化型为主,稳定型主要分布在低地形梯度和高地地形梯度范围,中低、中高和高地形梯度范围是后期变化型的优势分布区。2000-2005 年林地的优势分布区有向较低地形位梯度扩张的趋势,其中,耕地是主要的转入来源。2005-2010 年耕地的优势分布区有向较高地形位梯度扩张的趋势,变化模式主要为“林地-耕地”、“草地-耕地”和“未利用地-耕地”。

本研究利用坡向、坡度变率、地形起伏度和地形位指数多种地形因子,从宏观角度并结合地学信息图谱深入探讨了土地利用结构的时空分异格局在地形梯度上的变化特点及其规律。安徽省土地利用规划应针对不同土地利用类型对地形梯度的选择性,因地制宜,科学规划,实现产业结构的合理调整、土地资源的优化配置和可持续发展。