

浙江省土地利用格局时空变化及生态风险评价¹

田鹏¹, 李加林^{1, 2}, 史小丽³, 王丽佳¹, 刘瑞清¹

(1. 宁波大学地理与空间信息技术系, 浙江宁波 315211; 2. 宁波大学东海研究院, 浙江宁波 315211; 3. 宁波大学学报编辑部, 浙江宁波 315211)

【摘要】 基于 1990~2015 年浙江省 6 期的土地利用数据, 分析土地利用的时空变化, 构建生态风险指数, 对不同时期的浙江省土地利用生态风险进行了评价。结果表明: (1) 浙江省土地利用变化表现为耕地大量减少而建设用地剧增; 土地利用转移方向主要为耕地、林地、水域向建设用地转移; 其中以 2000~2005 年和 2010~2015 年土地利用动态度最高; (2) 浙江省生态环境质量下降。中生态风险区是区域的主导类型, 较高、高生态风险区向外扩张, 高值区主要分布在杭州湾附近, 沿海区域, 杭州西南部、衢州和金华三市接壤区域。低等级生态风险区分布在相邻高等级生态风险区的周围, 大致成圈层状向外扩散; (3) 土地利用生态风险等级转换差异较大。生态风险转移主要是由低向高等级转换, 且其生态风险等级年均转换速率呈上升趋势, 生态风险转换主要发生在城市、沿海区域如杭州湾附近、温州、台州沿海等经济发展活跃的地区; (4) 浙江省各地级市生态风险值时空分异较大。各市生态风险值主要呈上升趋势, 宁波市生态风险变化最大, 衢州市变化最小。空间分布上, 杭州市生态风险值最高, 远大于其他地级市, 舟山市生态风险值最低。

【关键词】 土地利用 土地利用动态度 生态风险指数 浙江省

【中图分类号】 X24 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1004-8227 (2018) 12-2697-10

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201812006

土地利用变化反映了全球环境变化, 也是人类活动与自然环境相互作用的综合表现^[1, 2]。在人类活动占主导的区域里, 不同土地利用方式和强度所产生的生态影响具有区域性和积累性, 并且可以直接作用在生态环境系统的结构和组成上^[3]。因此, 基于土地利用的生态风险评价越来越具有现实意义和科学意义。

目前国内基于土地利用的生态风险评价主要集中在流域、城镇区域^[4], 研究方法主要是从景观角度来构建生态风险指数, 通过 ArcGIS 软件的空间处理, 来分析生态风险的时空演变。如赵岩洁等^[4]、巩杰等^[5]、李谢辉等^[6], 借助空间统计学的相关方法, 分别对甘肃白龙河流域、三峡库区小流域、渭河区域进行生态风险评价。谢花林等^[7]、肖琳等^[8]、任志远等^[9] 分别对城市、省域进行生态风险评价。本文分析了研究区土地利用时空格局变化, 鉴于土地利用格局变化对研究区

生态系统可能产生的不利后果, 构建了生态风险指数, 对土地利用格局变化引起的生态风险进行评价。而当前, 基于土地利用的生态风险评价对于省域大尺度的研究较少, 特别是东南沿海的发达省份。浙江省作为中国经济最具活力的省份之一, 经

¹收稿日期: 2018-02-26; 修回日期: 2018-03-30

基金项目: 2017 年度宁波市与中国社科院战略合作研究课题《宁波海湾开发与保护策略研究》(NZKT201706); 宁波大学 2018 年度研究生科研创新基金资助项目 (G18128)

作者简介: 田鹏 (1994~), 男, 硕士研究生, 主要从事土地利用与规划研究。E-mail: tppyang@163.com

通讯作者 E-mail: nbnj2001@163.com

济繁荣，城市密集，交通便利，人类活动对土地利用的强度越来越深，土地利用变化引起的生态风险演化在我国具有典型性，进行生态风险演化研究不仅可为浙江省合理利用土地、生态环境保护提供一定的理论依据，而且可为我国其他省份所借鉴。

1 研究区概况

浙江省地处 $27^{\circ} 12' \sim 31^{\circ} 31' N$ 和 $118^{\circ} 00' \sim 123^{\circ} 00' E$ 之间，中国东南沿海中部（图 1）。浙江省土地面积 10.55 万 km^2 ，海岸线约长 2253.7 km。浙江省地势自西南向东北方向递减，西南、中部、东北部地区地形分别以山地、丘陵、冲积平原为主。亚热带季风气候区，雨热充沛。浙江省包括 11 个地级市，靠近海洋，对内对外交通便利，开发历史悠久，经济基础好，经济发达。在工业化和城市化进程中，土地利用结构发生较大变化，人类活动加大对土地资源的开发加重了土地利用的生态风险程度。



图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

以浙江省 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 6 个时期的 LandsatTM/OLI 遥感影像为基础，影像在地理空间数据云获取，空间分辨率均为 30 m，每个时期包括轨道号为 118-39、118-40 的 2 景影像，利用 ENVI5.0 遥感软件对各期影像实施校正、配准、图像拼接等操作，并结合浙江省各地级市的行政边界图对影像进行裁剪，获得研究区范围。最后对遥感影像进行土地利用类型的目视解译和人机交互解译，经检验精度均在 0.87 以上，符合要求，得到研究区各时期的土地利用数据^[10]。根据全国土地资源分类系统和研究区内的实际情况，把研究区分为耕地、林地、草地、建设用地、水域、未利用地 6 种土地利用类型^[11, 12]。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态分析方法

对研究区不同的土地利用数据在 ArcGIS10.3 里进行相交处理,分析不同类型间转化的数量和转换方向^[13]。土地利用动态度包括单一和综合土地利用动态度,分别表示土地利用类型的数量变化情况和整体变化情况,具体模型详见文献^[14]。

2.2.2 生态风险指数的构建

借鉴已有研究^[15~17]渔网宜采用平均斑块面积的 2~5 倍,为更好的表现生态风险空间分布,基于等间距网格采样法,本文采用了 15km×15km 的渔网,得到 601 个采样小区,计算得到每一个样本的生态风险指数,并把它作为该样本中心的生态风险值。

本文引入景观干扰度指数、脆弱度指数和损失度指数来构建浙江省生态风险评价指数^[18~20]。景观干扰度指数表示各种景观受到外界干扰的程度^[21~23]。表达式: $E_i = aC_i + bN_i + cD_i$ (1)

式中: E_i 为景观干扰度指数; C_i 为景观破碎度指数; N_i 为景观分离度指数; D_i 为景观优势度指数; a 、 b 、 c 分别是其对应的权重,借鉴已有成果^[21~23],采用 0.6、0.3、0.1。

景观脆弱度指数 (F_i) 表示景观的生态系统结构的脆弱性,即值越高,生态系统越不稳定。借鉴已有成果,将 6 种景观类型按抵抗外界影响能力分级,由低到高分别是未利用地、水域、耕地、草地、林地、建设用地,并通过归一化计算出景观脆弱度指数^[21~23]。

景观损失度 (R_i) 反映不同景观受到外界影响时其自身的损失程度^[23~25]。景观生态风险指数表达式:

$$ERLi = \sum_{i=1}^N \frac{A_{ki}}{AK} Ri \quad (2)$$

式中: $ERLi$ 为第 i 个样本的生态风险指数; A_{ki} 为第 k 个样本区内景观类型 i 的面积; AK 为第 k 个样本的面积^[24,25]。

2.2.3 空间分析方法

地统计学方法是一种检测、模拟和估计变量在某一特定的研究区域内的相关关系和分布状况的统计方法 [26]。借助地统计学里的半方差变异函数,对数据进行优化,通过克里金插值生成生态风险图^[26]。为了更好地对各期生态风险进行分析,基于自然断点法,统一间隔为 0.002,分为 5 个生态风险等级,低生态风险区 ($ERI < 0.0062$),较低生态风险区 ($0.0062 < ERI < 0.0082$),中生态风险区 ($0.0082 < ERI < 0.0102$),较高生态风险区 ($0.0102 \leq ERI < 0.0122$),高生态风险区 ($ERI \geq 0.0122$)。

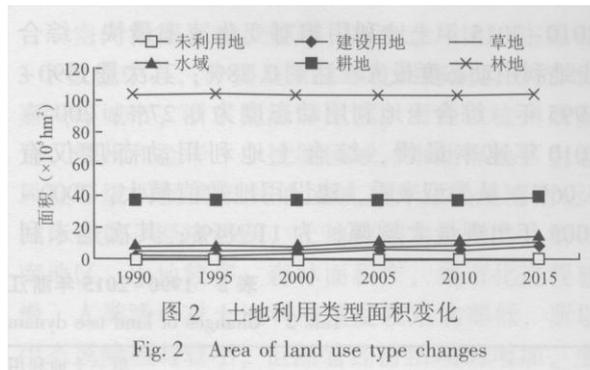
3 结果与分析

3.1 土地利用时空变化

3.1.1 总量变化分析

1990~2015 年间浙江省土地利用数据的统计分析 (图 2) 表示。浙江省土地利用总面积呈上升趋势,至研究期末,面积增加了 99025.51hm²,增长比例达到 0.96%,这主要是频繁的围填海活动导致,且围填海规模增长过快。建设用地面积发生显著的变化,比重上升了 5.47%,增长率为 197.35%,增加了 574308.17hm²,2005 年以后建设用地面积快速增加。耕地、林地、未利用地面积减少,比重下降分别为 4.95%、1.24%、0.02%,减少幅度分别为 16.53%、1.02%、38.96%,耕地面积减少最大,减少了 488399.56hm²。

草地、水域面积变化幅度小，呈总体上升趋势，比重分别上升了 0.29%、0.46%，增长率分别为 14.81%、16.25%。



3.1.2 土地利用结构的变化

土地利用转移中（表 1），设 M%为初转出比重，N%为末转入比重。主要变化为：未利用地类型转移概率最高，转移概率达到 68.80%，其中 83.64%转化为林地，而转化来源 51.93%来自于草地，37.44%来自于林地。建设用地转入来源多、面积变化大，而自身转移概率最低，为 1.87%，其中转出中 43.71%转成耕地，46.2%转成水域；补充来源主要是耕地，为 80.32%。

表 1 1990-2015 年浙江省土地利用转移矩阵 (hm²)
Tab. 1 Transition matrix of each land use type in Zhejiang province during 1990-2015

土地利用类型	未利用地	建设用地	耕地	林地	草地	水域	M%合计	1990 年
未利用地	2 044.65	402.93	48.97	3 771.05	220.97	64.87		6 553.44
M%	-	8.94%	1.09%	83.64%	4.90%	1.44%	100.00%	
N%	-	0.07%	0.09%	5.01%	0.62%	0.13%		
建设用地	0.00	285 500	2 380.56	230.32	314.45	2521.23		290 946.56
M%	0.00%	-	43.71%	4.23%	5.77%	46.29%	100.00%	
N%	0.00%	-	4.41%	0.31%	0.88%	4.95%		
耕地	82.55	442 200.00	2 406 300.00	63 058.14	3 290.29	38 326.72		2 953 257.70
M%	0.02%	80.85%	-	11.53%	0.60%	7.01%	100.00%	
N%	4.69%	80.32%	-	83.70%	9.17%	75.22%		
林地	658.36	80 155.40	24 391.43	6 404 900.00	26 337.28	9 638.36		6 546 080.83
M%	0.47%	56.77%	17.28%	-	18.65%	6.83%	100.00%	
N%	37.44%	14.56%	45.15%	-	73.37%	18.92%		
草地	913.28	5 556.23	1 013.70	7 215.06	201 500.00	400.83		216 599.10
M%	6.05%	36.80%	6.71%	47.78%	-	2.65%	100.00%	
N%	51.93%	1.01%	1.88%	9.58%	-	0.79%		
水域	104.39	22 212.75	26 189.52	1 064.59	5 733.96	255 100.00		310 405.21
M%	0.19%	40.16%	47.35%	1.92%	10.37%	-	100.00%	
N%	5.94%	4.03%	48.48%	1.41%	15.97%	-		
N%合计	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%		
2015 年	3 803.24	836 027.31	2 460 324.18	6 480 239.16	237 396.94	306 052.02		10 323 842.84

耕地发生转移最多, 其中 80.85%转换为建设用地, 11.53%转为林地; 转入来源中水域占 48.48%, 林地占 45.15%。林地转移概率较低, 为 2.16%, 其中转出建设用地占 56.77%; 转入来源中耕地占 83.70%。

草地主要转化为建设用地和林地, 其中转出林地占 47.78%, 建设用地占 36.80%, 转入来源中林地占 73.37%, 水域占 15.97%。水域向耕地、建设用地转移, 转入来源为耕地, 转移概率为 17.82%, 转出耕地为 47.35%, 建设用地为 40.16%, 转入来源耕地占 75.22%。

3.1.3 土地利用动态变化

通过计算得到浙江省各期土地利用动态指数(表 2), 发现: 从整体来看, 2000~2005 年和 2010~2015 年土地利用相对变化速率最快, 综合土地利用动态度最大, 达到 0.28%; 其次是 1990~1995 年, 综合土地利用动态度为 0.27%; 2005~2010 年速率最慢, 综合土地利用动态度仅有 0.06%。从类型来看, 建设用地数值最大, 2000~2005 年出现最大增幅, 为 11.94%; 其次是未利用地, 1990~1995 年急剧减少, 减幅为 7.66%; 耕地和林地动态度呈负数, 表明土地利用强度较大, 土地利用面积减少; 草地和水域动态度先减少后增加。总体而言, 1990~2015 年, 浙江省的土地利用动态度起伏变化, 在 2000~2005 年和 2010~2015 年土地利用强度最大。

表 2 1990~2015 年浙江省土地利用动态指数变化
Tab. 2 Changes of land use dynamic index in Zhejiang during 1990-2015

时期	单一土地利用动态度						-综合土地利用动态度 (%)
	未利用地 (%)	建设用地 (%)	耕地 (%)	林地 (%)	草地 (%)	水域 (%)	
1990-1995	-7.66	2.50	-0.71	0.21	1.50	-0.70	0.27
1995-2000	-0.11	1.83	-0.05	-0.10	-0.32	0.65	0.17
2000-2005	-0.52	11.94	-1.39	-0.10	-0.08	1.08	0.28
2005-2010	-0.15	1.68	-0.33	-0.03	0.32	0.07	0.06
2010-2015	0.58	7.97	-1.04	-0.19	1.45	2.06	0.28

3.2 土地利用生态风险评价

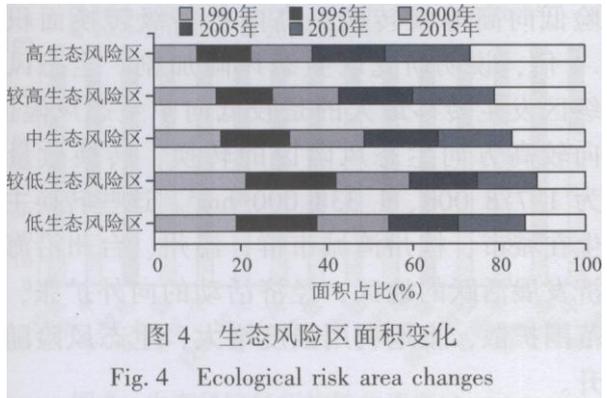
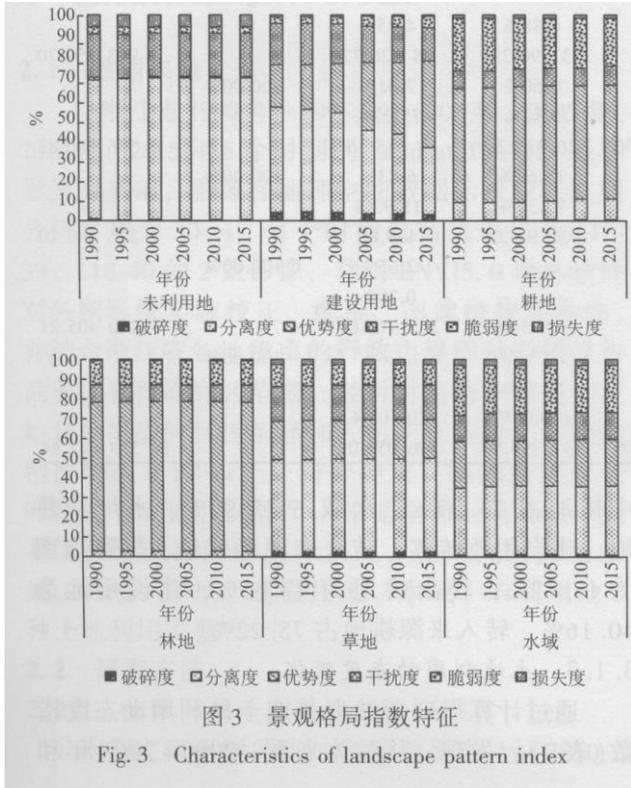
3.2.1 景观格局特征

通过 ArcGIS10.3 和 Fragstats4.2, 可操作得到浙江省不同时期不同景观类型的景观格局指数, 各景观格局指数反映了人类活动对景观类型的影响, 其景观类型的转变, 继而累积转移威胁到生态系统的稳定性和可持续性。现分析其景观格局指数特征发现(图 3):25a 期间, 各类型景观指数都发生很大的改变。未利用地分散, 分离度较大, 损失度总体增加; 建设用地面积随着城镇化扩张而增加, 分布日益聚集, 优势度增长; 耕地、草地、水域面积逐渐减少, 破碎度和分离度增加, 干扰度也逐渐增加, 导致损失度上升; 林地为研究区主导景观类型, 占地面积大, 破碎度和分离度较小, 但随着森林被砍伐和林地被占用, 林地的损失度也逐渐增加。

3.2.2 土地利用生态风险时空分异

通过对浙江省土地利用格局时空变化的分析, 发现浙江省土地利用强度较大, 建设用地面积扩张、耕地、林地面积减少, 土地利用转移主要以耕地、林地、水域转向建设用地为主。这都表明研究区土地利用格局时空变化差异较大, 工业化、城市化

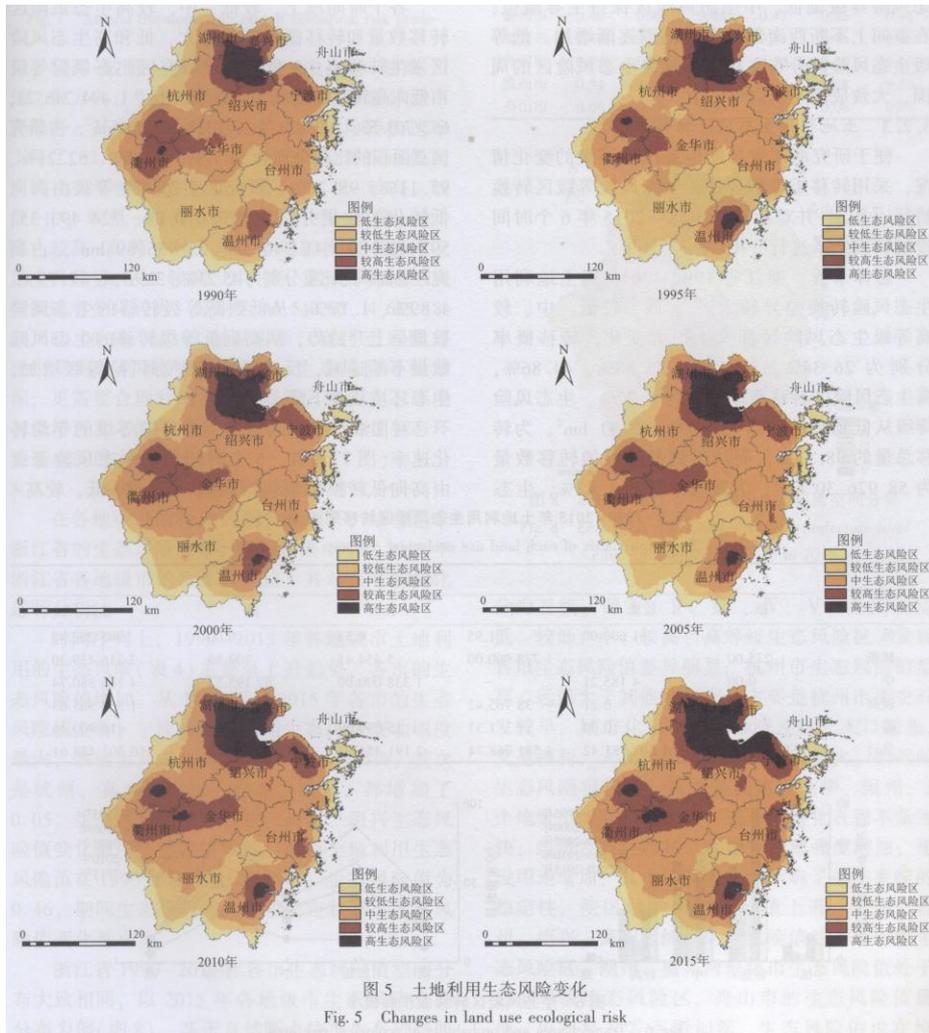
等人类活动对土地利用类型的改变，作用到不同的生态系统中，通过不断累积和转化，使土地利用变化引起的生态风险也开始增加。基于土地利用格局变化，引入生态风险指数，来客观的分析浙江省土地利用生态风险的时间和空间变化(图 4、图 5)，发现 1990-2015 年研究区土地利用生态风险时空分异较大。



时间序列上，浙江省低生态风险区面积减少，波动幅度较小。较低生态风险区变化较大，下降了 1518653.88hm²。中生态风险区一直是研究区生态风险的主导类型，在 2015 年占总面积的 44.38%，面积增加了 405388hm²。较高生态风险区面积整体上升，共增加了 681888.40hm²，增长率为 45.17%。高生态风险区持续增长，且增长速度在 2000 年后逐渐加快，面积增加了 692704.95hm²，增长率为 166.16%。这也表明研究区生态风险的加重，且生态风险呈增长趋势。

空间特征上看：较高、高生态风险区主要有 3 个极值中心，分别是东北部杭州湾附近的杭州、嘉兴等城市，浙东南沿海地区，浙西以杭州西南角、衢州和金华 3 个接壤区域。东北部地区生态风险等级明显高于其他区域，因为杭州湾附近，城市密集，经济活跃，土地利用集约度高。浙西南地区，山地较多，森林面积广，城市化进程较慢，人类活动对土地利用程度较东北部低，

所以生态风险相对较小，但随着经济活动的增加，生态风险等级也在增加。西部地区的高值中心如杭州西南、衢州市和金华市附近，主要土地利用类型为耕地、水域和建设用地，由于城市的建设、对耕地和水域的大力开发，导致生态风险值上升。沿海地区生态风险等级逐渐增加，主要是沿海地区经济建设，建设用地增加和水域面积减少，生态风险上升。总体上，城市、开发区、沿海港口等土地利用程度高的区域，生态风险等级高，而郊区及农村等地域土地利用程度较低，生态风险等级偏低。中生态风险区保持主导地位，在空间上不断西南部扩散，范围逐渐增加。低等级生态风险区分布在相邻高等级生态风险区的周围，大致成圈层状向外扩散。



3.2.3 土地利用生态风险转移分析

便于研究浙江省各期生态风险等级的变化情况，采用转移矩阵来分析各生态风险等级区转换特征^[27, 28]，并对浙江省 1990~2015 年 6 个时间段的转换结果进行分析（表 3、图 6）。

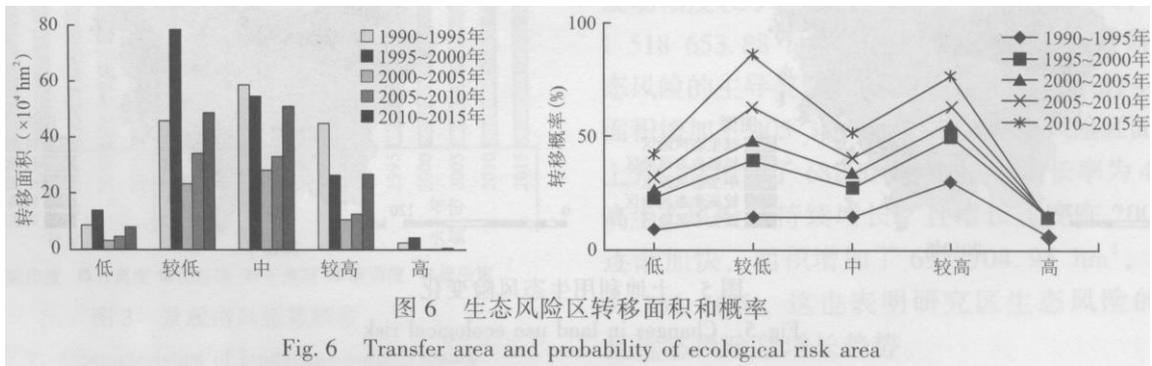
总体来看，浙江省 1990-2015 年土地利用生态风险转换差异较大^[29]。低、较低、中、较高等级生态风险区都发生很大变化，转移概率分别为 26.34%、55.48%、33.88%、44.86%，高生态风险区转移概率低，为 3.77%。生态风险等级从低到高的转移共 4091462.31hm²，为转移总量的 98.58%，而从高到低等级的转移数量为 58926.30hm²，为转移总量的 1.42%，生态风险低向局等级转换是局向低等级转换面积的 69.4 倍，说明研究区生态风险加剧。生态风险等级区发生转移最大的是较低向中生态风险区、中向较高方向生态风险区的转换，转换数量分别为 1778000、1338000hm²。这些转换主要发生在城市，杭州湾城市群，温州、台州沿

海等经济发展活跃的地区，经济活动的向外扩张，城市范围扩散，土地利用强度增大，生态风险随之上升。

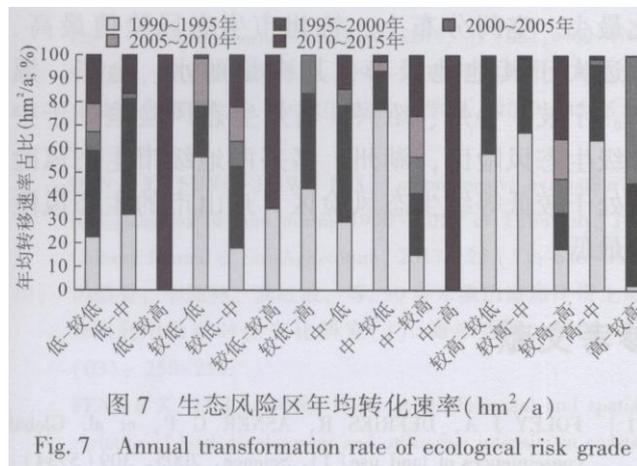
表 3 1990-2015 年土地利用生态风险区转移矩阵 (hm²)

Tab. 3 Transition matrix of each land use ecological risk area during 2000-2005

1990 年	2015 年					总计
	低	较低	中	较高	高	
低	-	261 600.00	1.95	0.53	0.00	993 202.49
较低	275.00	-	1 778 000.00	5 454.41	709.89	3 216 439.30
中	0.00	4 185.21	-	1 338 000.00	69 195.53	4 166 380.74
较高	0.00	0.21	38 765.42	-	638 500.00	1 509 565.63
高	0.00	0.00	1.37	15 699.09	-	416 900.46
总计	73 1875.00	1 697 785.42	4 571 768.74	2 191 454.03	1 109 605.41	10 302 488.61



各个时间段上，较低、中、较高生态风险区转移数量和转移概率变化较大，低和高生态风险区发生转移小。5 个时间段研究区生态风险等级由低向高转移的面积为 880365.18、1494218.23、652703.53、803823.58、1327103.13hm²，占研究区总面积的比重分别为 54.77%、67.35%、52.21%、95.11%、98.23%。研究区生态风险等级由高向低转化的数量分别为 727070.09、724493.35、597463.59、41340.58、23936.69hm²，占研究区总面积的比重分别为 45.23%、32.65%、47.79%、4.89%、1.77%。从低到高等级转移的生态风险数量呈上升趋势，从高到低等级转移的生态风险数量不断递减，反映了区域生态风险等级增加，生态环境质量下降。



对比浙江省不同时期生态风险等级的年均转化速率（图 7）可知，5 个时间段的生态风险等级由高向低转换类型包括较低-低，中-低，较高-态风险区转移矩阵低，较高-较低，较高-中，高-中，高-较高^[30]等 7 种方向，生态风险的年均转换速率总体呈下降趋势，其中较高-中变化最大，年均转换速率下降了 62948.58hm²/a。生态风险等级由低向高转换类型包括低-较低、低-中，低-较高，较低-中，较低-较高，较低-高，中-较高，中-高，较高-高等 9 种方向，年均转换速率总体上呈上升趋势，中-较高、中-高、较高-高的年均转换速率变化较大，分别为 40540.00、4655.18、26580.00hm²/a。这也说明浙江省生态风险等级由低向高转换的面积增加，生态风险等级加深，更需要合理利用和规划资源，协调生态环境与经济开发之间的冲突，缓解人类活动对生态环境造成的巨大压力^[31, 32]。

3.2.4 土地利用生态风险各地级市时空分异

在各地级市的行政区划矢量图下，结合整个浙江省的生态风险分布，整理得到 1990~2015 年浙江省各地级市的生态风险值，并对其时空变化进行分析。

时间序列上，1990~2015 年各地级市土地利用的生态风险（表 4）主要呈上升趋势，各市的生态风险值增加。从 1990 年和 2015 年各市的生态风险值上看，宁波市土地利用生态风险变动幅度最大，数值上升了 0.09，增长率为 19.1%。其次是杭州、嘉兴、丽水、台州、温州，都增加了 0.05，生态风险值增长较快。舟山、绍兴生态风险值变化幅度小，数值较低。衢州土地利用生态风险值在 1990 年和 2015 年相等，生态风险值为 0.46，期间生态风险值处于较稳定状态，生态风险值变化最小。

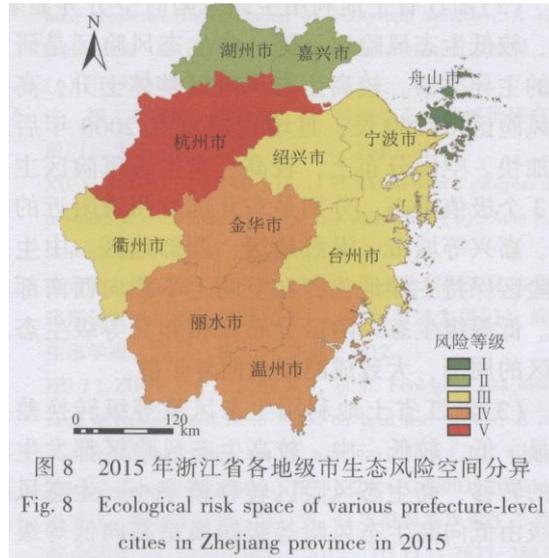
表 4 1990~2015 年浙江省各地级市生态风险值

Tab. 4 Ecological risk values of various prefecture-level cities in Zhejiang province during 1990-2015

地级市-	1990 年	1995 年	生态风险值		2010 年	2015 年
			2000 年	2005 年		
杭州市	0.87	0.93	0.90	0.92	0.92	0.92
湖州市	0.32	0.31	0.33	0.34	0.35	0.36
嘉兴市	0.28	0.28	0.29	0.31	0.31	0.33
金华市	0.56	0.54	0.57	0.58	0.59	0.60
丽水市	0.69	0.71	0.71	0.72	0.72	0.73
宁波市	0.45	0.45	0.48	0.49	0.49	0.54
衢州市	0.46	0.43	0.45	0.45	0.45	0.46
绍兴市	0.44	0.43	0.44	0.45	0.46	0.46
台州市	0.47	0.48	0.49	0.50	0.50	0.52
温州市	0.54	0.56	0.56	0.57	0.58	0.59
舟山市	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07

浙江省 1990-2015 年各市生态风险值空间分布大致相同，以 2015 年各地级市生态风险空间分布为例（图 8），基于自然断点法把生态风险值分为五级，即 I、II、III、IV、V，分别对应低、较低、中、较高、高等级生态风险区，发现各市生态风险值差异明显。杭州市生态风险值最高，远远大于其他地级市，主要是杭州市历史开发较早，城市化水平高，经济发达，人口密集，交通便利，人类对土地的开发强度较大，引起的生态风险也较高。其次是丽水、金华、温州，3 个地级市的面积较大，在随着城市化进程不断加快，经济发展对森林、水域等用地强度增加，建设用地增加，其土地利用变化影响了生态系统的稳定性，使区域的生态风险值上升。宁波、台州、绍兴、衢州地级市生态风险值处于中等生态风险区，湖州、嘉兴两地级市生态风险值处于较低等级生态风险区。舟山市的生态风险值最低，但海岛开发逐渐加深，生态风险值也在增加，就相对于浙江省陆地区域来

说，舟山市经济开发增加引起的生态风险值相对较小。



4 结论

(1) 浙江省土地利用结构变化明显。建设用地面积快速扩张，增加了 574308.17hm²，耕地面积减少最大，减少了 488399.56hm²。建设用地转入来源多，转移概率低，主要转为水域，转入来源为耕地。耕地发生转移面积最大，主要转为建设用地，来源为水域、林地，其他类型用地转换不明显。各个时期土地利用程度呈波动起伏状态，在 2000~2005 年和 2010~2015 年土地利用程度最高。

(2) 浙江省土地利用生态风险时空分异显著。低、较低生态风险区下降，中生态风险区是研究区的主导类型。较高生态风险区整体上升，高生态风险区持续增长，且增长速度在 2000 年后逐渐加快。空间分布上，较高、高生态风险区主要有 3 个极值中心，分别是东北部杭州湾附近的杭州、嘉兴等城市，沿海地区，西部地区。中生态风险区保持主导地位，在空间上不断向西南部扩散。低等级生态风险区分布在相邻高等级生态风险区的周围，大致成圈层状向外扩散。

(3) 浙江省土地利用生态风险等级转换差异明显。低、较低、中、较高生态风险区都发生较大的转移，高生态风险区转移概率小。生态风险等级由低向高生态风险等级转换是高向低等级转换面积的 69.4 倍。生态风险等级区发生转移最大的是较低向中生态风险区、中向较高生态风险区的转换，转换数量分别为 1778000hm²、1338000hm²。这些转换主要集中发生在城市，沿海地区，如杭州湾城市群、温州、台州沿海等经济发展活跃地区，土地利用强度较大。

(4) 浙江省各时期生态风险等级年均转化速率差异显著。生态风险等级由高向低转换的年均转换速率总体呈下降趋势，而由低向高转换年均转换速率总体上呈上升趋势。说明浙江省生态风险等级由低向高转换的面积增加，生态风险加剧，更需要合理利用和规划资源，缓和人类相关活动对环境造成的巨大压力。

(5) 浙江省各地级市生态风险值时空分异显著。各市生态风险值增加，生态风险范围扩大。宁波市土地利用生态风险值变化最大，衢州市变化最小。空间分布上，杭州市生态风险值最高，远远大于其他地级市，其次是丽水、金华、温州。宁波、台州、绍兴、衢州生态风险值处于中等级生态风险区，湖州、嘉兴两地级市生态风险值处于较低等级生态风险区，舟山市的生态风险值最低。

参考文献:

- [1] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, et al. Global consequences of land use [J]. Science, 2005, 309 (5734): 570-574.
- [2] LI B LT, JANETOS AC, VERBURG P H, et al. Land system architecture: using land systems to adapt and mitigate global environmental change [J]. Global Environmental Change, 2013, 23(2) : 395-397.
- [3] 曾辉, 刘国军. 基于景观结构的区域生态风险分析[J]. 中国环境科学, 1999, 19(5): 454-457.
- ZENG H, LIU G J. Analysis of regional ecological risk analysis based on landscape structure [J]. China Environmental Science, 1999, 19(5) : 454-457.
- [4] 赵岩洁, 李阳兵, 邵景安. 基于土地利用变化的三峡库区 小流域生态风险评价——以草堂溪为例 U]. 自然资源学 报, 2013, 28(06) : 944-956.
- ZHAO Y J LI Y B, SHAO J A. Ecological risk assessment of small watershed of the Three Gorges reservoir area based on land use change—A case study of Caotang river[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28 (06) : 944-956.
- [5] 巩杰, 谢余初, 赵彩霞, 等. 甘肃白龙江流域景观生态 风险评价及其时空分异[J]. 中国环境科学, 2014, 34 (08) : 2153-2160.
- GAO J, ZHAO C X, XIE Y C, et al. Landscape ecological risk assessment and its spatiotemporal variation of the Bailongjiang watershed, Gansu. [J]. China Environmental Science, 2014, 34 (08) : 2153-2160.
- [6] 李谢辉, 王磊, 李景宜. 基于 GIS 的渭河下游河流沿线 区域生态风险评价[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5523-5534.
- LI X H, WANG L, LI J Y. Ecological risk assessment based on GIS in rivers along the lower Weihe river [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (10) : 5523-5534.
- [7] 谢花林. 基于景观结构的土地利用生态风险空间特征分析——以江西兴国县为例[J]. 中国环境科学, 2011, 31(4) : 688-695.
- XIE H L. Spatial characteristic analysis of land use eco-risk based on landscape structure: A case study in the Xingguo county, Jiangxi province [J]. Chinese Environmental Science, 2011, 31 (4) : 688-695.
- [8] 肖琳, 田光进. 天津市土地利用生态风险评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(02) : 469-476.
- XIAO L, TIAN G J. Eco-risk assessment of land use in Tianjin city[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33 (02): 469-476.
- [9] 任志远, 孙艺杰, 吴林筱. 1990~2012 年榆林市土地生态 风险综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(5): 656-664.
- REN Z Y, SUN Y J, WU L X. Comprehensive evaluation of ecological risk of land during 1990-2012 in Yulin city [J].

Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25 (5) : 656-664.

[10] 冯佰香,李加林,龚虹波,等. 30年来象山港海岸带土地 开发利用强度时空变化研究 U]. 海洋通报,2017, 36 (03) : 250-259.

FENG B X, LI J L GONG H B, et al. Temporal and spatial variation of land development and utilization intensity in coastal zone of the Xiangshangang Bay[J]. Marine Science, 2017 , 36 (03) : 250-259.

[11] 史利江,王圣云,姚晓军,等. 1994~2006年上海市土地 利用时空变化特征及驱动力分析[J]. 长江流域资源与环 境, 2012, 21(12) : 1468-1479.

SHI L J, WANG S Y, YAO X J, et al. Spatial and temporal variation characteristics and driving forces of land use and its driving force in Shanghai city from 1994 to 2006 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21 (12): 1468-1479.

[12] ZHANG Y, LEI G P, LIN J, et al. Spatiotemporal change and its ecological risk of landscape pattern in different spatial scales in Zhalong Nature Reserve [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31 (5) : 1250 -1256.

[13] 佟光臣,林杰,陈杭,等. 1986~2013年南京市土地 利用/覆被景观格局时空变化及驱动力因素分析[J]. 水土 保持研究, 2017, 24(02) : 240-245.

TONG G C, LIN J, CHEN H, et al. Analysis of spatial and temporal changes and driving forces of land use/cover landscape pattern in Nanjing city from 1986 to 2013 [J]. Soil and Water Conservation Research, 2014, 24(02): 240-245.

[14] 朱会义,李秀彬.关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论 U]. 地理学报, 2003, 58(5) : 643-650.

ZHU H Y, LI X B. Discussion on the index method of regional land use change [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5) : 643-650.

[15] LEUVEN R S E W, ISABELLE P. Riverine landscape dynamics and ecological risk assessment [J] • Freshwater Biology, 2010, 47(4) : 845-865.

[16] 彭建,党威雄,刘焱序,等. 景观生态风险评价研究进展与展望 U]. 地理学报, 2015, 70(04): 664-677.

PENG J, DANG W X, LIU Y X, et al. Review on landscape ecological risk assessment [J] • Acta Geographica Sinica, 2015, 70(04) : 664-677.

[17] 赵卫权,杨振华,苏维词,等. 基于景观格局演变的流域 生态风险评价与管控——以贵州赤水河流域为例[J]. 长 江流域资源与环境, 2017, 26(08) : 1218-1227.

ZHAO W Q, YANG Z H, SU W C, et al. Ecological risk assessment and management of watershed based on landscape pattern change-A case study of the Chishui river basin in Guizhou, [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26 (08) : 1218-1227.

-
- [18] 刘世梁, 刘琦, 张兆苓, 等. 云南省红河流域景观生态 风险及驱动力分析[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3728- 3734.
- LIU S L, LIU Q, ZHANG Z L, et al. Landscape ecological risk and driving force analysis in Red River Basin [J]. Acta Ecologi- ca Sinica, 2014, 34(13) : 3728-3734.
- [19] 王涛, 张超, 于晓童, 等. 洱海流域土地利用变化及 其对景观生态风险的影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36 (7) : 2003-2009.
- WANGT, ZHANG C, YU XT, et al. Effect of land use change on landscape ecological security in Erhai basin [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 36(7): 2003-2009.
- [20] 王云, 周忠学, 郭钟哲. 都市农业景观破碎化过程对生 态系统服务价值的影响——以西安市为例[J]. 地理研究, 2014, 33(6) : 1097-1105.
- WANG Y, ZHOU Z X, GUO Z Z. Impact of the urban agricul- tural landscape fragmentation on ecosystem services: A case study of Xi ’ an city [J] • Geographical Research, 2014, 33 (6) : J 1097-1105.
- [21] 许妍, 高俊峰, 赵家虎, 等. 流域生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(1): 284-292.
- XU Y, GAO J F, ZHAO J H, et al. The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment [J]. Acta Eco- logica Sinica, 2012, 32 (1) : 284-292.
- [22] 胡金龙, 周志翔, 滕明君, 等. 基于土地利用变化的典型 喀斯特流域生态风险评估——以漓江流域为例[J]. 应用 生态学报, 2017, 28(6) : 2003-2012.
- HU J L ZHOU Z X, TENG M J, et al. Ecological risk assess- ment of typical karst basin based on land use change: A case study of Lijiang river basin, southern China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013 , 28(6) : 2003-2012.
- [23] 杜宇飞, 李小玉, 高宾, 等. 辽宁沿海城市带生态风险 综合评价[J]. 生态学杂志, 2012, 31(11) : 2877-2883.
- DU Y F, LI X Y, Gao B, et al. Integrative assessment of ecological risk in coastal cities of Liaoning province, northeast China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31 (11): 2877-2883.
- [24] 周汝佳, 张永战, 何华春. 基于土地利用变化的盐城海岸 带生态风险评价[J]. 地理研究, 2016, 35(06): 1017- 1028.
- ZHOU R J, ZHANG Y Z, HE H C. Ecological risk assessment based on land use changes in the coastal area in Yancheng city [J]. Geographical Research, 2016, 35(06) : 1017-1028.
- [25] PAUKERT C P, PITTS K L, WHITTIER J B, et al. Develop- ment and assessment of a landscape-scale ecological threat index for the lower Colorado river basin [J]. Ecological Indicators, 2011, 11(2) : 304-310.
- [26] 徐谅慧. 岸线开发影响下的浙江省海岸类型及景观演化研究[D]. 宁波大学, 2015.
- XU L H. Study on coastal type and landscape evolution of Zhejiang province under the influence of shoreline development

[D]. Ningbo university, 2015.

[27] 黄木易,何翔.巢湖流域土地景观格局变化及生态风险 驱动力研究[门].长江流域资源与环境,2016, 25(05): 743-750.

HUANG M Y, HE X. Study on landscape pattern changes and driving force of ecological risk in Chaohu river basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2016, 25 (05) : 743-750.

[28] 李加林,徐凉慧,杨磊,等.浙江省海岸带景观生态风 险格局演变研究[J].水土保持学报,2016, 30(01): 93- 299, 314.

LI J L, XU L H, YANG L, et al. Study on the evolution of landscape ecological risk pattern in coastal zone of Zhejiang province [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30(01): 93-299, 314.

[29] LI J L, PU R L, GONG H B, et al. Evolution characteristics of landscape ecological risk patterns in coastal zones in Zhejiang province, China[J]. Sustainability, 2017, 9(4) : 584.

[30] 刘永超,李加林,袁麒麟,等.象山港流域景观生态风险格局分析[J].海洋通报,2016, 35(01): 21-29.

LIU Y C, LI J L YUAN Q X, et al. Patterns of landscape ecological risks in Xiangshangang bay basin of China[J]. Ocean Bulletin, 2016, 35 (01) : 21-29.

[31] 徐兰,罗维,周宝同.基于土地利用变化的农牧交错 带典型流域生态风险评价——以洋河为例[门].自然资源 学报,2015, 30(4) : 580- 590.

XU L, LUO W, ZHOU B T. Landscape ecological risk assess-ment of farming-pastoral ecozone based on land use change —A case study of the Yanghe watershed, China [J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30 (4): 580-590.

[32] 高宾,李小玉,李志刚,等.基于景观格局的锦州湾沿 海经济开发区生态风险分析 U].生态学报,2011, 31 (12) : 3441-3450.

GAO B, LI X Y, LI Z G, et al. Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou bay based on land-scape pattern [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (12): 3441-3450.