

太湖流域湖西区城市化空间过程及其生态效应

苏伟忠, 杨桂山, 陈 爽

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要:我国快速推进的城市化进程正对周围生态系统造成现实或潜在的威胁。基于 RS 和 GIS 技术,从镇域尺度探讨 1984 ~ 2004 年太湖流域城市化空间过程及其生态效应。(1)城镇用地轴向扩展明显:沿路三级邻域带 R1、R2、R3 在 1984 ~ 2004 年期间新增城镇用地面积累积平均百分比分别为 88.24%、90.23%、94.68%。(2)城镇用地扩展形态指数 *MFD* 与城镇公路连接数 *UR* 存在关系: $UR = UR3$ 时,扩展形态指数 $MFD \geq 1.5$; $UR = UR1$ 时, $1.2 < MFD < 1.5$; 而 $UR = UR2$ 时,城镇扩展形态与公路连接数关系不明显。(3)城镇用地扩展对生态用地减少和增加的贡献率都低: $CRR = 9.83\%$, $CRG = 3.11\%$, 集中发生在常武、镇江、丹阳、溧阳和宜兴等城市密集地区;全区生态用地减少源于耕地占用。(4)城镇用地扩展的生态格局胁迫突出,隔离度 $MID > 50$ 高值区占全区面积的 66.33%,形成两核两带:两核位于溧阳经济开发区和镇江谏壁镇-丹徒镇附近;两带分别是两核连线地带和溧阳城区-宜兴新街镇附件一带。

关键词:城市化;空间过程;生态效应;隔离度;太湖流域

文章编号:1000-0933(2008)09-4306-07 中图分类号:F301.2,Q146,TU984.1, 文献标识码:A

An empirical analysis of urbanization spatial process and its ecological effect in western Taihu Lake Watershed of China

SU Wei-Zhong, YANG Gui-Shan, CHEN Shuang

Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4306 ~ 4312.

Abstract: Across Taihu Lake watershed in China, landscape change associated with urbanization, particularly urban sprawl, has been significant during the last half century and is expected to continue through the next decades. We organized the study around key questions: how did urban land expand in the study area? What is the impact of urban spatial change on ecological land quantity and pattern? We adopted some spatial metrics by use of ArcMap and FragStat to answer these questions; applying Intersect and Buffer functions of ArcMap to analyze spatial relationships between urban land and road corridor; using *fractal dimension* (*FD*) based on FragStat to measure urban expansion form; getting the *contribution rate to ecological land growth* (*CRG*) and *contribution rate to ecological land reduction* (*CRR*) by urban land according to the transition matrix between ecological and urban land to describe impacts of urban land sprawl on ecological land quantity; developing *Insulation degree* (*ID*) to measure impacts of urban land sprawl on ecological land pattern. The major results are: (1) Urban land sprawled obviously along transportation corridors. Mean percentages of added urban land in buffer belts (R1, R2, and R3) are 88.24%, 90.23% and 94.68%, respectively. (2) The distribution curve of urban land expansion form (*FD*) showed a ring and "U" shape. Towns with $MFD \geq 1.5$ is around one wing *Ua* where 73.68% of urban nodes *UR3* are lied, and towns with $1.2 < MFD < 1.5$ is around the other wing *Ub* where 57.58% of urban nodes

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40435013, 40801222)

收稿日期:2007-09-08; **修订日期:**2008-01-14

作者简介:苏伟忠(1977 ~), 男, 山东莱芜市人, 博士, 主要从事城市化及其生态效应与调控研究. E-mail: weizhongsu@163.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Sciences Foundation of China (No. 40435013, 40801222)

Received date:2007-09-08; **Accepted date:**2008-01-14

Biography: SU Wei-Zhong, Ph. D., mainly engaged in urbanization and its ecological effect and planning. E-mail: weizhongsu@163.com

UR1 are lied, and but there is no evident relationship between MFD and numerous urban nodes UR2. (3) Impacts of urban land sprawl on ecological land reduction and growth are not both obvious. The CRR is 9.8% and CRG is only 3.1%. (4) Spatial impacts of urban land expansion on ecological land pattern are very evident. The area percentage of high-value area of MID was 66.33%. Two high-value cores located in Economic Development Area of Liyang city and Jianbi-Dantu town, and two high-value belts located in the area between tow cores and the region between Liyang city and Xinjie town where MID > 50, and the highest value of MID was high to 89.32.

Key Words: urbanization; spatial process; ecological effect; Insulation degree; Taihu Lake watershed

20 世纪 80 年代以来,快速增长的城市化过程严重干扰了我国的地表景观格局和自然生态过程。城市化与生态环境之间各种矛盾与胁迫的凸显引起国内外众多学者的关注。国外如 Dae-Sik Kim 等人运用 GIS 和 RS 手段研究首尔快速城市化地区的空间扩展特征及其生态响应^[1]。Jeffrey 从生态学角度,评价了俄勒冈州和华盛顿西部地区城市化引起的土地利用/覆盖变化特征及其生态意义^[2]。Ruth 分析了水资源对城市发展的约束与限制作用^[3]。Portnov 研究了巴勒斯坦南部内盖夫地区城市化进程,认为城市化可更有效地缓解生态环境压力^[4]。国内方创琳等定量揭示了干旱区城市化与生态环境之间的交互胁迫机制及耦合度变化^[5,6]。黄金川研究得出城市化与生态环境之间的交互耦合规律为一双指数曲线^[7]。车秀珍等认为快速城市化进程必将与生态环境产生冲突,资源条件及环境问题已成为中国城市发展的制约因素^[8]。胡廷兰等认为城市发展需借助城市生态支持系统的支撑^[9]。从城市化空间过程角度,方创琳认为 1985~2000 年河西走廊城市用地变化的区域生态环境影响不显著,对生态环境改善的贡献率为 4.7%^[10]。苏伟忠^①研究得出长江三角洲生态用地破碎化与县域尺度城镇簇群积聚形态相关性明显,而与城镇化规模参数关联性弱。重点流域城市化等大规模人类活动的生态影响、适应性列为 2006~2020 年国家中长期科技发展规划关键科学问题^[11]。太湖流域属长江三角洲下游水网区,城镇形成发展历史悠久:1980 年代“苏南模式”小城镇建设遍地开花,1990 年代以来开发区设置过多并呈散布之势,生态系统遭到严重破坏。如今太湖流域再次成为中国城市化进程的前沿地带,估计到 2020 年将成为我国新的巨大城市连绵区,对生态保护和区域可持续发展将产生严峻挑战。以可持续为标准是世界城市发展的趋势,现代流域管理按照可持续发展思想维护自然服务功能,调整土地利用结构与格局^[12~14]。由此,本文以太湖流域湖西区为例,从镇域尺度探讨近 20a 城市化空间过程及其生态效应,为流域可持续发展和管理提供科学依据。

1 研究方法

太湖流域湖西区包括常州市、无锡的宜兴市、镇江市,其西南为茅山和宜溧山地,中部是湖荡水网平原区,西北部分傍太湖和长江,自西向东形成源于宜溧和茅山地区入太湖的南溪水系和源于茅山地区入太湖的洮溧水系。城镇形成发展历史悠久,公路网密布,尤其近些年快速发展的开发区、旅游及设施建设对生态环境影响显著。

基础资料包括研究区土地利用和城镇公路网数据。土地利用数据基于 1984 和 2004 年两期 30m 分辨率 TM 影像数字化获得:首先进行 TM 图像的几何纠正,以 1990 年 1:10 万地形图为参考图像,分别对 1984 和 2004 年 TM 影像行配准,让其具有相同地理坐标,配准时 RMS(配准残差)控制在半个像元之内;然后通过手工数字化方式,得到 1984 年和 2004 年的土地利用矢量数据。城镇公路网数据基于土地利用和 2004 年公路矢量数据获得,即借助 ArcMap,通过一定法则处理城镇用地 LABEL 点与其周边公路空间关系,建立城镇公路网络图^[15]。根据其使用任务和性质,公路等级包括高速、一级、二级、三级、四级和等外等 6 个级别。

1.1 生态用地界定

现行全国土地分类体系以土地资源的人类利用方式为依据,未考虑土地生态功能。生态用地的狭义理解

① 苏伟忠,杨桂山. 长三角地区生态用地破碎度的城市化机制. 中国城市化会议论文集. 清华大学,2007

是指以发挥自然生态服务功能为主的土地资源,同时考虑人类干扰对生态服务功能发挥的影响程度。1997 年 Costanza 等人对全球土地类型的生态服务功能价值和类型进行了研究^[16],不同土地利用类型的生态服务功能价值大小和功能类型不同。本文基于全国土地利用分类体系,立足生态用地狭义理解,选择生态服务功能价值较高且人类干扰强度相对较小的土地类型作为生态用地(表 1)。

1.2 城市化空间过程

(1) 基于 ArcMap 邻域方法测度城镇用地轴向扩展:利用 ArcMap 的 Intersect 方法叠加 1984、2004 年城镇斑块,得到 1984 ~ 2004 年新增城镇用地斑块;利用 Buffer 邻域方法建立公路邻域地带;对邻域地带与新增城镇斑块进行 Intersect,统计镇域邻域带新增城镇斑块面积。(2) 基于分维数与城镇公路网络图测度扩展形态与道路连接数关系:利用城镇公路网络图,统计城镇

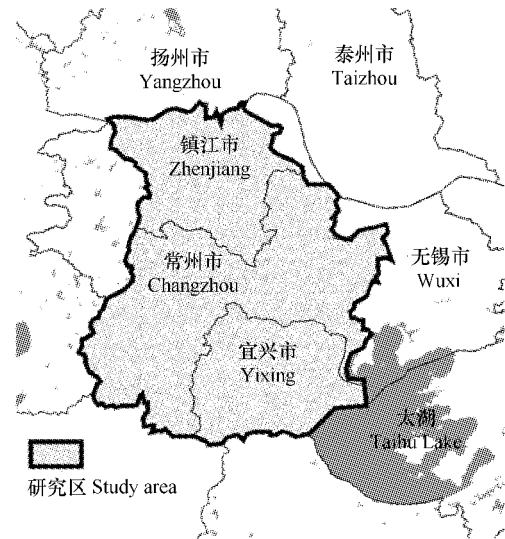


图 1 研究区

Fig. 1 The study area

表 1 基于现行全国土地分类体系的生态用地

Table 1 Ecological land based on current land classification system in China

级类 Classification		
1	2	3
农用地 Cultivated land	林地 Forest land	有林地 Wood land, 灌木林 Shrubbery land, 疏林地 Sparsely forested woodland, 未成林造林地 Yong afforestation land, 迹地 Slashes, 苗圃 Seedling nurseries
	园地 Garden plots	果园 Orchards, 桑园 Mulberry fields, 茶园 Tea plantations, 橡胶园 Rubber plantations, 其它园地 Other
	牧草地 Pasture land	天然草地 Natural grass land, 改良草地 Improved grass land, 人工草地 Man-made grass land
未利用地 Unused land	未利用土地 Unused land	荒草地 Wasted, 盐碱地 Saline-alkali, 沼泽地 Wet
	其它土地 Others	河流水面 River surface, 湖泊水面 Lake surface, 苇地 Reed land, 滩涂 Beaches and flats

节点公路连接数和连接等级;选择分维数指标计算新增城镇斑块分维数 FD (公式 1) 及镇域平均分维数 MFD :

$$FD = 2 \frac{\ln(p_{ij}/4)}{\ln a_{ij}} \quad (1)$$

式中, p_{ij} 为斑块 ij 周长, a_{ij} 为斑块 ij 面积, MFD 越大表示斑块形状越复杂。

1.3 城市化生态效应

城镇用地扩展导致生态用地斑块大小、数量、形状和斑块之间的距离和空间关系的改变。(1) 数量变化指数。利用两期土地利用数据统计土地利用类型之间的转换矩阵,计算城镇用地变化对生态用地减少的贡献率(CRR)和生态用地增加的贡献率(CRG)。(2) 隔离度(insulation degree)。城镇扩展一方面导致生态用地斑块之间距离和空间关系的格局改变,影响生态系统要素流动和功能特征;一方面导致生态与城镇用地之间的格局改变,引起生态系统要素类型、结构功能特征改变。严格意义上的破碎度只涉及斑块大小和数量,而本文初步构建的隔离度模型则侧重斑块距离和空间关系:

$$ID = a \frac{l_u}{l_{u0}} \left(\frac{d_{ue}}{d_{ue0}} \right)^{-1} \quad (2)$$

$$a = l_e r$$

式中, a 是目标斑块(生态用地)周长 l_e 和邻域半径 r 乘积, 目标斑块面积越大, 形态越复杂, a 就越大; l_u 和 l_{u0} 分别表示城镇斑块周长及其镇域平均值, d_{ue} 和 d_{ue0} 分别表示城镇斑块与目标斑块的距离及其镇域平均值。 d_{ue}/d_{ue0} 距离参数体现两者“接触”机会; l_u/l_{u0} 周长参数体现两者“接触”程度。镇域隔离度的平均值为 MID , 计算过程: 基于 2004 年生态用地斑块和 1984 ~ 2004 年新增城镇斑块做生态斑块邻域半径 r 邻域带; 统计邻域带新增城镇斑块周长 l_u 及与目标斑块距离 d_{ue} , 其中的距离计算基于斑块边与边的距离, 进而计算 ID 和 MID , $MID > 0$ 。 $MID = 0$ 说明给定邻域半径内无新增城镇斑块, 城镇扩展未改变生态格局, MID 越大表示城镇对生态格局干扰效应越明显。

2 结果与讨论

2.1 城镇用地变化的空间过程

2.1.1 城镇用地的轴向扩展

公路邻域地带采用三级划分体系, 即邻域半径由小到大分别为 r_1 、 r_2 、 r_3 , 对应邻域地带分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 。全区三级邻域带均覆盖了面积百分比超过 85% 的新增城镇用地, 邻域带 R_3 该值接近 95%。图 2a 为镇域公路邻域带新增城镇用地百分比分布曲线, 其中邻域带 R_3 为新增城镇用地百分比-位序分布曲线; 三条曲线总体呈下降趋势, 但邻域带 R_1 、 R_2 、 R_3 新增城镇用地面积百分比都超过 80%, 累积平均百分比分别为 88.24%、90.23%、94.68%, 其最小值分别为 82.39%、83.22%、87.23%, 城镇用地有明显沿路扩展的轴向特征。 R_2 和 R_3 曲线锯齿特征表明城镇用地在不同公路邻域带的面积分布有所差异: $\angle S_1$ 等于公路邻域带 R_2 和 R_1 新增城镇用地面积百分比的差值, $\angle S_2$ 等于公路邻域带 R_3 和 R_2 新增城镇用地面积百分比的差值, 图 2b 显示 $\angle S_1$ 变化较小, $\angle S_2$ 变化较大, 表明公路 R_2 邻域带城镇用地变化不大, R_3 邻域带是城镇在道路垂直方向上扩散的“热点”。

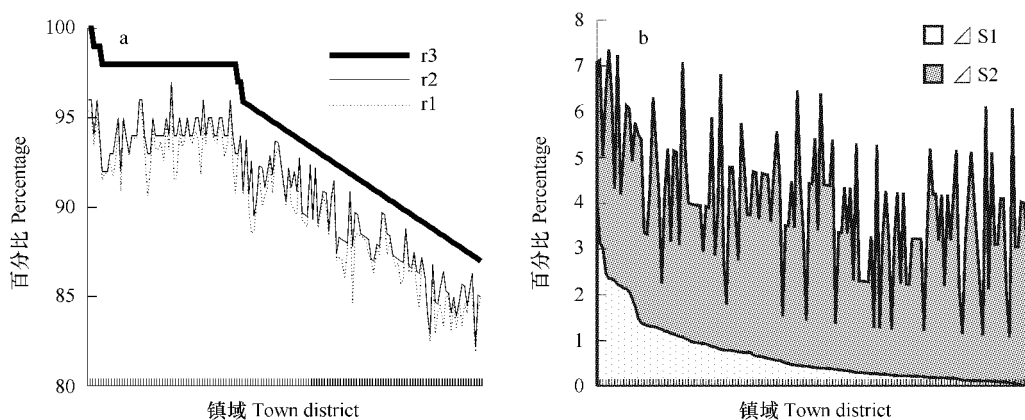


图 2 道路邻域带新增城镇用地面积百分比

Fig. 2 Percentage of added urban land area in road buffer belts

2.1.2 城镇扩展形态与道路连接数关系

若城镇有 n 条道路连接, 该城镇用地是否就有 n 条扩展轴, 扩展形态与其公路连接的数目是否存在一定关联? 基于无尺度结构方法, 苏伟忠研究发现苏南城镇节点的公路连接等级符合无尺度结构, 但公路连接数分布结构不符合无尺度特征, 即城镇节点公路连接数范围为 1 ~ 6^[17]。研究区作为苏南地区的组成部分, 城镇公路连接数取值也为 1 ~ 6。图 3 表示基于 ArcMap 的镇域城镇扩展形态分维数 MFD 的 Kernel 分布和城镇节点的公路连接数 UR , 其中 UR_1 、 UR_2 、 UR_3 分别表示城镇节点的公路连接数为 1 ~ 2、3 ~ 4、5 ~ 6。

由图 3 可知 MFD 分布形态呈环状和倒“U”形, 即 MFD 以宁沪沿线地带为高值核心区, 由此向外递减, 同时 MF 分布曲线脊线顶点的连线形成以常武城区为顶点面向西部的两翼, 即曲线 U 。(1) 曲线 U 上翼 U_a : 如多边形 T_a 。 $MFD > 1.5$, 城镇扩展形态较为复杂, 分布有 73.68% 的公路连接数为 5 ~ 6 的城镇节点 UR_3 , 主

要位于宁沪沿线地带,大部分公路处于等级公路。20世纪90年代以来各类开发区迅速在主城外缘和郊区卫星城镇兴起,城市化和工业化巨大的发展需求推动城镇快速沿路增长。西南和东部边缘区城镇节点 UR3 尽管拥有较多的公路条数,但属于山地丘陵或湖荡密集区域,可供城镇增长的适宜建设用地数量不足,城镇增长选择具备适宜建设用地多的交通轴线地带发展,而这些交通轴线基本与地区主干河道平行,数量不多,城镇用地扩展形态相对简单。(2)曲线 U 下翼 Ub:如多边形 Tb。1.2 < MFD < 1.5,城镇用地扩展形态较为简单,分布有 57.58% 的公路连接数 1~2 城镇节点 UR1,加上位于北部和东部同等大小 MFD 的 7 个城镇节点,共有 78.79% 的城镇节点位于 1.2 < MFD < 1.5 区。这些地区位于南部宜溧山地、镇江沿江和常州市区东部横山地区,大部分城镇节点 UR1 增长的经济社会动力不足,城镇用地沿其主要对外交通干道缓慢扩展,这些干道大部分属于等外公路。(3)大部分的城镇节点 UR2 散布各地,城镇扩展形态与公路连接数关系不明显。可见,湖西地区某些城镇节点的公路连接数对城镇用地扩展形态有影响,即城镇节点 UR3 扩展形态较复杂,城镇节点 UR1 扩展形态相对简单;但数量众多的城镇节点 UR2 扩展形态与其公路连接数之间的关系不明显。

2.2 城镇用地变化的生态效应

土地利用、城市化和工业化等高强度的人类活动对地球表面生态系统产生显著影响,基于景观生态学的这种影响表现在生态系统格局和过程两个基本方面,前者包括生态系统的景观组成和构型两个方面,后者包括生态系统的各类生态流和功能变化。根据景观生态学经典软件 Fragstats 中的景观指数(landscape metrics)界定,包括组成和构型两类:组成指数涉及斑块数量、面积和大小,本文选择斑块面积变化来反映城镇用地变化的生态效应;构型指数涉及距离和空间组合形态等,本文构建的指标基于距离参数。

2.2.1 对生态用地数量的胁迫效应

(1)分析 1984~2004 年生态用地数量减少和增加来源。图 4a 表示占用生态用地的主要土地类型,其中城镇用地占用率仅为 9.8%,其余超过 90% 的生态用地被耕地等其他用地占用。图 4b 表示生态用地增加来源,接近 97% 的生态用地来自退耕还林和乡村用地,集中在低山丘陵区,而仅有 3.1% 的新增生态用地来自城镇用地。可见,城镇用地无论对生态用地数量减少的占用率,还是对生态用地数量增加的贡献率都很低;生态用地数量减少的主要原因是耕地占用。(2)根据图 4a 城镇用地转生态用地和图 4c 生态用地转城镇用地的转换分布地区可知,常武城区、镇江和丹阳城区、溧阳和宜兴城区是城镇与生态用地转换集中区。除常武区外,此类地区生态用地数量多,耕地较少,城镇用地的生态用地占用因相对不足的耕地数量,而城镇用地的生态用地改善主要体现在城区周边人工绿化的建设。(3)据图 4c 城镇用地来源分析,城镇扩展具有耕地指向性和生态“障碍”特征。原城镇内缘区四周临近公路、地形平坦耕地往往成为城镇用地扩展和占用“热点”。而原城镇内缘区生态用地往往成为城镇扩展“障碍”:区域地质、水文工程条件及现代生态保护需求是当前城市建设用地适宜性评价的重要因子,生态用地往往属于不宜建设用地。生态“障碍”瓦解基于工程技术条件的改进和建设用地需求的推动,但会引致生态环境问题。

2.2.2 对生态用地格局的胁迫效应

(1)图 5 隔离度 MID 形成两个高值核心区和带,占全区面积的 66.33%:两核位于溧阳经济开发区及其附

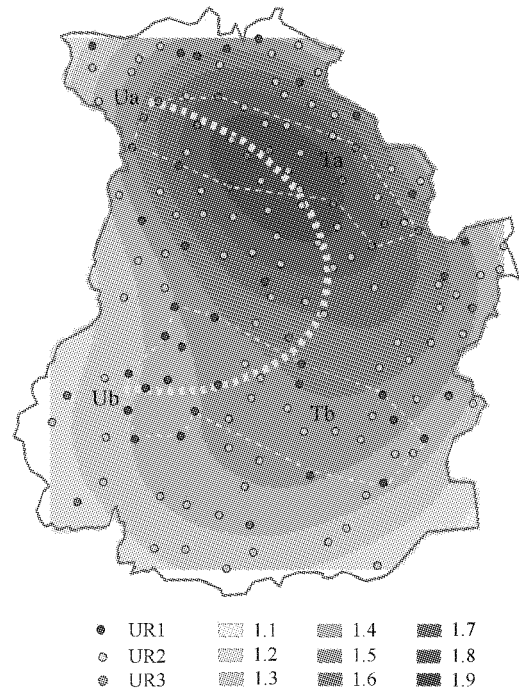


图3 城镇扩展形态与公路连接数空间关系

Fig. 3 Spatial relationships between MFD and UR

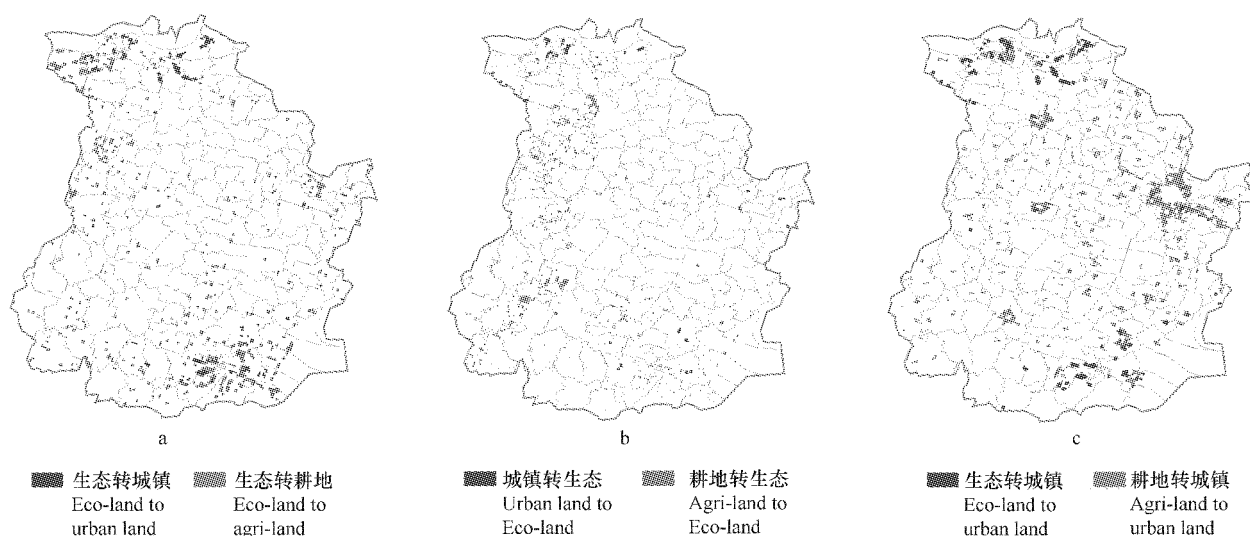


图4 主要土地利用转换矩阵

Fig. 4 Transition matrix among principal land use types

近和镇江谏壁镇-丹徒镇附近;两带分别是两核连线地带和溧阳城区-宜兴新街镇附件,这些地区隔离度 > 50 , 最高值溧阳经济开发区达 89.32。该区特征是生态用地数量多,以山体林地和水体为主,城镇用地对生态用地的占用集中在此,城镇用地扩展规模不是最大,但扩展速度快。根据 MID 公式:该区生态用地周长(面积与形态)大, a 大;城镇扩展形态指数 $1.2 < MFD < 1.5$ 且扩展较明显,则 l 大, d 小,因此 MID 大。可见,高隔离度地区城镇用地正迅速增加与生态用地的“接触”机会,并扩大着与生态用地的“接触”程度,改变生态用地格局,城镇用地的生态用地格局胁迫效应突出。需指出的是,“接触”机会和程度的增强主要来自镇域生态用地数量多,城镇扩展的生态用地占用规模相对较多的缘故。但这些地区城镇扩展形态并不很复杂,即大部分属于 $1.2 < MFD < 1.5$,与公路连接数关系较为明显。因此,依据城镇沿路轴向扩展特征,科学规划城镇扩展形态,重点调控城镇与生态用地邻接地带城镇功能和生态空间“绿道”保护格局,可缓解城市化的生态用地胁迫。(2)常武地区城镇扩展规模最大, l 大, d 小,但生态用地面积少且斑块小,即 a 很小,大量小斑块受本文低分辨率数据所限而被忽略,不能进入隔离度的计算阈值范围,因而 MID 相对较小。常武地区城镇用地所占比率非常高,生态用地格局和质的变化已进入高水平阶段,须采取生态创建战略,加大生态建设力度。事实上如前文所述,城镇用地的生态用地贡献率集中在此。假设常武地区与隔离度高值区具备同样数量的生态用地,由于常武地区城镇扩展规模最大,因而常武区隔离度将属于最高值,隔离度与城镇扩展形态指数分布将会一致。

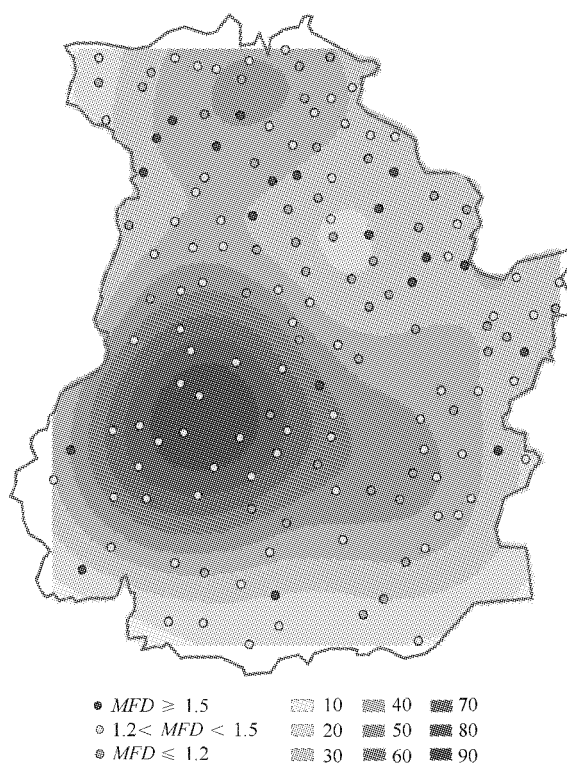


图5 隔离度与城镇扩展形态空间关系

Fig. 5 Spatial relationships between MID and MFD

3 结论

(1) 城镇用地呈明显沿路轴向扩展, 全区公路三级邻域带 R1、R2、R3 新增城镇用地平均面积百分比分别为 88.24%、90.23%、94.68%; 由 $\angle S1$ 、 $\angle S2$ 分布曲线表明新增城镇用地在公路 R2 邻域带分布较少, 在 R3 邻域带分布较多。

(2) 城镇扩展形态指数 *MFD* 呈环形和倒“U”形, 即以沿宁沪线地区为核心向外递减并沿曲线脊线顶点连线形成以常武城区为顶点面西的两翼: 上翼 Ua 区 $MFD > 1.5$, 城镇扩展形态较复杂, 拥有 73.68% 的城镇节点 UR3; 下翼 Ub 区 $1.2 < MFD < 1.5$, 城镇扩展形态较简单, 拥有 57.58% 的城镇节点 UR1; 但数量众多的城镇节点 UR2 扩展形态与其公路连接数之间无明显关系。

(3) 城镇扩展对生态用地数量胁迫和改善效应都不明显。城镇用地对生态用地减少的贡献率为 9.8%, 对生态用地增加的贡献率更低为 3.1%; 城镇用地与生态用地转换集中在城镇密集地区, 生态用数量减少归于耕地占用。

(4) 城镇用地的生态用地格局胁迫效应突出。隔离度 *MID* 形成两个高值核心区和带, 占全区面积的 66.33%; 两核位于溧阳经济开发区及其附近和镇江谏壁镇-丹徒镇附近; 两带分别是两核连线地带和溧阳城区-宜兴新街镇附件, 这些地区隔离度 > 50 , 最高值溧阳经济开发区达 89.32。城镇用地正迅速扩大着与生态用地的“接触”机会和程度。

References:

- [1] Dae-Sik Kim, Kei Mizuno, Shintaro Kobayashi. Analysis of urbanization characteristics causing farmland loss in a rapid growth area using GIS and RS. *Paddy Water Environment*, 2003, (1): 189–199.
- [2] Jeffrey D K, Alissa M, Ralph J A. Integrating urbanization into landscape-level ecological assessments. *Ecosystem*, 2001, (4): 3–18.
- [3] Ruth Meinzen-Dick, Paul P A. Urbanization and Intersectional Competition for Water. *Urbanization and Water*, 2001, (47): 27–51.
- [4] Portnov B A, Safriel U N. Combating desertification in the Negev: dry land agriculture vs. dry land urbanization. *Journal of Arid Environments*, 2004, (56): 659–680.
- [5] Fang C L, Huang J C, Bu W N. Theoretical Study on Urbanization Process and Ecological Effect with the Restriction of Water Resource of the arid area in Northwest China. *Arid Land Geography*, 2004, 27(1): 1–7.
- [6] Qiao B, Fang C L. The dynamic Coupling Model of the Harmonious Development between Urbanization and Eco-environment and its Application in Arid area. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3003–3009.
- [7] Huang J C, Fang C L. Analysis of Coupling Mechanism and Rules Between Urbanization and Eco-environment. *Geographical Research*, 2003, 22(2): 211–220.
- [8] Che X Z, Shang J C, Chen C. Study on Strategic Environmental Assessment in the Course of the Urbanization. *Geographical Science*, 2001, 21(6): 554–557.
- [9] Hu T L, He M C, Yang Z F. An Analytical Method on Limiting Factors of Urban Ecological Supporting System and its Application to Guangzhou City. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1493–1499.
- [10] Fang C L. Study Progress of Urbanization Process and Ecological impacts with the Restriction of Water Resource of the arid area in Northwest China. *Geographical Research*, 2005, 24(5): 822.
- [11] State Council of the People's Republic of China. Medium-term to Long-term National Planning Outlines for Science and Technology Development. *People's Daily*, 2002-2-9(11).
- [12] Gu C L. Recognition of Urbanization. *People's Daily*, 2002-8-26(3).
- [13] Yang G S, Yu X B, Li H P. Introduction to Integrated River Basic Management. Beijing: Science Press, 2004.
- [14] Shi P J, Song C Q, Jing G F. Strengthening the Study of Land Use/ Cover Change and its Impact on Eco-environmental Security. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(2): 161–168.
- [15] Su W Z, Yang G S, Zhen F. Research on town road network on base of free-scale structure. *Chinese Geographical Science*, 2007, 17(4): 311–316.
- [16] Constaza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* The Value of the World's Ecosystem Service and Nature Capital. *Nature*, 1997, 387: 253–260.
- [17] Su W Z, Yang Y B. Study on Urban Spatial Structure on Base of Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2007.

参考文献:

- [5] 方创琳, 黄金川, 步伟娜. 西北干旱区水资源约束下城市化过程及生态效应研究的理论探讨. *干旱区地理*, 2004, 27(1): 1–7.
- [6] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用. *生态学报*, 2005, 25(11): 3003–3009.
- [7] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. *地理研究*, 2003, 22(2): 211–220.
- [8] 车秀珍, 尚金城, 陈冲. 城市化进程中的战略环境影响评价(SEA)初探. *地理科学*, 2001, 21(6): 554–557.
- [9] 胡廷兰, 何孟常, 杨志峰. 城市生态支持系统瓶颈分析方法及应用研究. *生态学报*, 2004, 24(7): 1493–1499.
- [10] 方创琳. “水资源约束下西北干旱区城市化过程及生态效应”研究进展. *地理研究*, 2005, 24(5): 822.
- [11] 中华人民共和国国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006–2020). 人民日报, 第11版, 2006年2月9日.
- [12] 顾朝林. 城市化的再认识. 人民日报, 第3版, 2002年08月26日.
- [13] 杨桂山, 于秀波, 李恒鹏, 等. 流域综合管理导论. 北京: 科学出版社, 2004.
- [14] 史培军, 宋常青, 景贵飞. 加强我国土地利用/覆盖变化及其对生态环境安全影响的研究. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 161–168.
- [17] 苏伟忠, 杨英宝. 基于景观生态学的城市空间结构研究. 北京: 科学出版社, 2007.

要位于宁沪沿线地带,大部分公路处于等级公路。20世纪90年代以来各类开发区迅速在主城外缘和郊区卫星城镇兴起,城市化和工业化巨大的发展需求推动城镇快速沿路增长。西南和东部边缘区城镇节点 UR3 尽管拥有较多的公路条数,但属于山地丘陵或湖荡密集区域,可供城镇增长的适宜建设用地数量不足,城镇增长选择具备适宜建设用地多的交通轴线地带发展,而这些交通轴线基本与地区主干河道平行,数量不多,城镇用地扩展形态相对简单。(2)曲线 U 下翼 Ub:如多边形 Tb。 $1.2 < MFD < 1.5$,城镇用地扩展形态较为简单,分布有 57.58% 的公路连接数 1~2 城镇节点 UR1,加上位于北部和东部同等大小 MFD 的 7 个城镇节点,共有 78.79% 的城镇节点位于 $1.2 < MFD < 1.5$ 区。这些地区位于南部宜溧山地、镇江沿江和常州市区东部横山地区,大部分城镇节点 UR1 增长的经济社会动力不足,城镇用地沿其主要对外交通干道缓慢扩展,这些干道大部分属于等外公路。(3)大部分的城镇节点 UR2 散布各地,城镇扩展形态与公路连接数关系不明显。可见,湖西地区某些城镇节点的公路连接数对城镇用地扩展形态有影响,即城镇节点 UR3 扩展形态较复杂,城镇节点 UR1 扩展形态相对简单;但数量众多的城镇节点 UR2 扩展形态与其公路连接数之间的关系不明显。

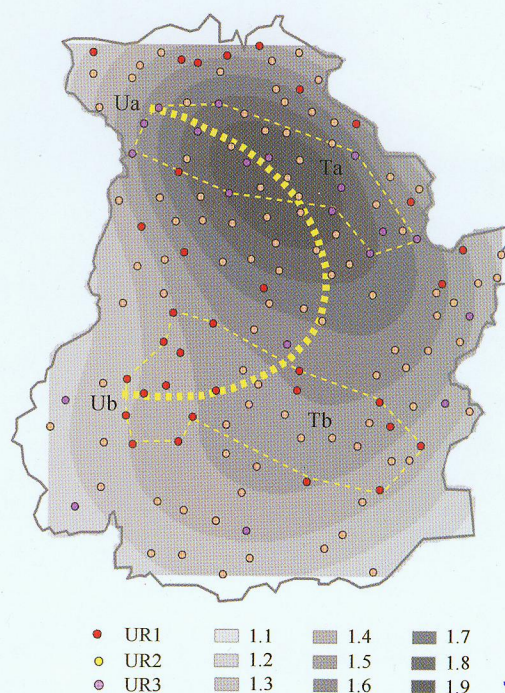


图3 城镇扩展形态与公路连接数空间关系

Fig. 3 Spatial relationships between MFD and UR

2.2 城镇用地变化的生态效应

土地利用、城市化和工业化等高强度的人类活动对地球表面生态系统产生显著影响,基于景观生态学的这种影响表现在生态系统格局和过程两个基本方面,前者包括生态系统的景观组成和构型两个方面,后者包括生态系统的各类生态流和功能变化。根据景观生态学经典软件 Fragstats 中的景观指数 (landscape metrics) 界定,包括组成和构型两类:组成指数涉及斑块数量、面积和大小,本文选择斑块面积变化来反映城镇用地变化的生态效应;构型指数涉及距离和空间组合形态等,本文构建的指标基于距离参数。

2.2.1 对生态用地数量的胁迫效应

(1)分析 1984~2004 年生态用地数量减少和增加来源。图 4a 表示占用生态用地的主要土地类型,其中城镇用地占用率仅为 9.8%,其余超过 90% 的生态用地被耕地等其他用地占用。图 4b 表示生态用地增加来源,接近 97% 的生态用地来自退耕还林和乡村用地,集中在低山丘陵区,而仅有 3.1% 的新增生态用地来自城镇用地。可见,城镇用地无论对生态用地数量减少的占用率,还是对生态用地数量增加的贡献率都很低;生态用地数量减少的主要原因是耕地占用。(2)根据图 4a 城镇用地转生态用地和图 4c 生态用地转城镇用地的转换分布地区可知,常武城区、镇江和丹阳城区、溧阳和宜兴城区是城镇与生态用地转换集中区。除常武区外,此类地区生态用地数量多,耕地较少,城镇用地的生态用地占用因相对不足的耕地数量,而城镇用地的生态用地改善主要体现在城区周边人工绿化的建设。(3)据图 4c 城镇用地来源分析,城镇扩展具有耕地指向性和生态“障碍”特征。原城镇内缘区四周临近公路、地形平坦耕地往往成为城镇用地扩展和占用“热点”。而原城镇内缘区生态用地往往成为城镇扩展“障碍”:区域地质、水文工程条件及现代生态保护需求是当前城市建设用地适宜性评价的重要因子,生态用地往往属于不宜建设用地。生态“障碍”瓦解基于工程技术条件的改进和建设用地需求的推动,但会引致生态环境问题。

2.2.2 对生态用地格局的胁迫效应

(1)图 5 隔离度 MID 形成两个高值核心区和带,占全区面积的 66.33%;两核位于溧阳经济开发区及其附

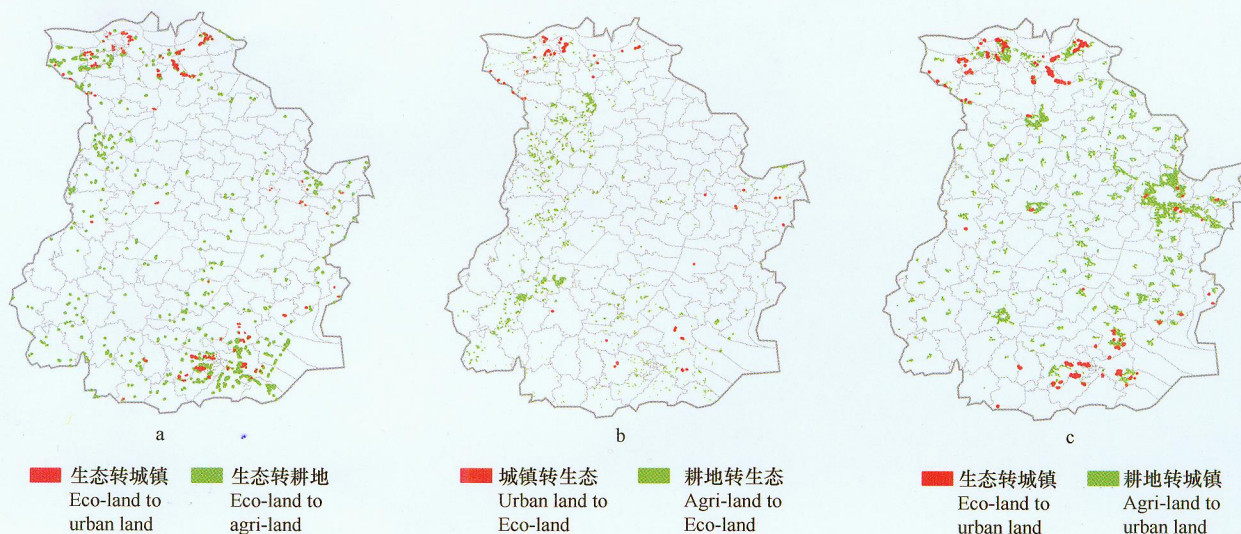


图4 主要土地利用转换矩阵

Fig. 4 Transition matrix among principal land use types

近和镇江谏壁镇-丹徒镇附近;两带分别是两核连线地带和溧阳城区-宜兴新街镇附件,这些地区隔离度 > 50 , 最高值溧阳经济开发区达 89.32。该区特征是生态用地数量多,以山体林地和水体为主,城镇用地对生态用地的占用集中在此,城镇用地扩展规模不是最大,但扩展速度快。根据 MID 公式:该区生态用地周长(面积与形态)大, a 大;城镇扩展形态指数 $1.2 < MFD < 1.5$ 且扩展较明显,则 l 大, d 小,因此 MID 大。可见,高隔离度地区城镇用地正迅速增加与生态用地的“接触”机会,并扩大着与生态用地的“接触”程度,改变生态用地格局,城镇用地的生态用地格局胁迫效应突出。需指出的是,“接触”机会和程度的增强主要来自镇域生态用地数量多,城镇扩展的生态用地占用规模相对较多的缘故。但这些地区城镇扩展形态并不很复杂,即大部分属于 $1.2 < MFD < 1.5$,与公路连接数关系较为明显。因此,依据城镇沿路轴向扩展特征,科学规划城镇扩展形态,重点调控城镇与生态用地邻接地带城镇功能和生态空间“绿道”保护格局,可缓解城市化的生态用地胁迫。

(2)常武地区城镇扩展规模最大, l 大, d 小,但生态用地面积少且斑块小,即 a 很小,大量小斑块受本文低分辨率数据所限而被忽略,不能进入隔离度的计算阈值范围,因而 MID 相对较小。常武地区城镇用地所占比率非常高,生态用地格局和质的变化已进入高水平阶段,须采取生态创建战略,加大生态建设力度。事实上如前文所述,城镇用地的生态用地贡献率集中在此。假设常武地区与隔离度高值区具备同样数量的生态用地,由于常武地区城镇扩展规模最大,因而常武区隔离度将属于最高值,隔离度与城镇扩展形态指数分布将会一致。

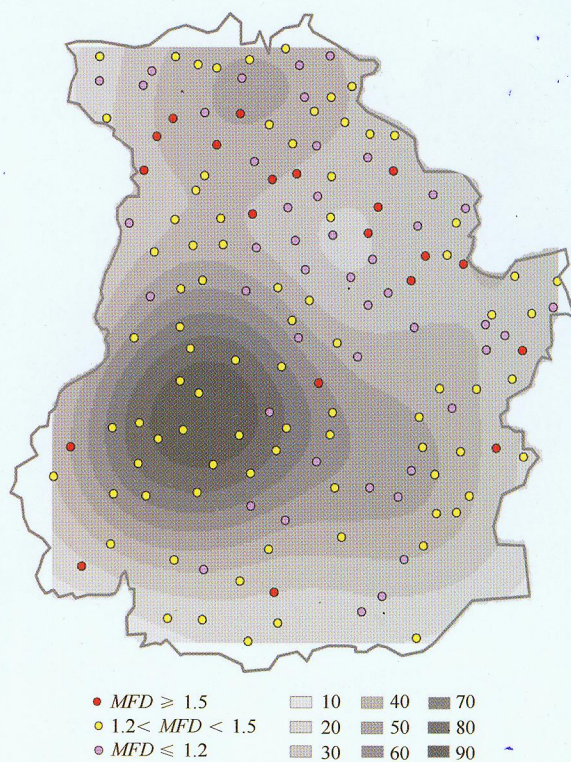


图5 隔离度与城镇扩展形态空间关系

Fig. 5 Spatial relationships between MID and MFD