

基于景观功能网络概念的景观格局优化 ——以台湾地区乌溪流域典型区为例

张小飞^{1,2}, 王仰麟^{1,2*}, 李正国¹

(1. 北京大学环境学院, 北京 100871; 2. 北京大学深圳研究生院, 深圳 518055)

摘要:景观格局连通度与景观功能联系程度息息相关, 不论维持生态稳定或促进城市社会经济发展, 都必须提升景观结构的空间联系。选择台湾地区乌溪流域典型区为研究区, 面对台湾地区城市发展所造成的生态环境品质降低及自然栖息地破碎化等问题, 期望通过生态功能网络构建, 维护生态稳定及制约建成区的无序蔓延。基于景观功能与结构相互作用理论, 景观功能的强度受景观类型、空间结构及相对距离的影响而产生差异, 利用耗费距离模型, 结合景观类型、景观格局特征、景观功能相互作用以及生态系统服务功能价值等分析方法, 分析了台湾地区乌溪流域典型区的生态功能空间差异, 进而基于最小累积耗费算法构建生态廊道, 提出景观格局优化方案, 以作为台湾地区未来景观生态建设的参考。

关键词:景观功能网络; 景观格局优化; 最小耗费距离模型; 台湾地区

文章编号:1000-0933(2005)07-1707-07 **中图分类号:**Q149 **文献标识码:**A

Landscape pattern optimization based upon the concept of landscape functions network: a case study in Taiwan, China

CHANG Hsiao-Fei^{1,2}, WANG Yang-Lin^{1,2*}, LI Zheng-Guo¹ (1. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871 China; 2. Graduate School of Shenzhen, Peking University Shenzhen 518055, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1707~1713.

Abstract: Aiming at maintaining ecological balance and promoting economical development, it is necessary to strengthen the spatial connections among the landscape units whose functions are similar. The growing awareness of the negative effects of habitat fragmentation on natural systems has resulted in a rapidly increasing number of actions to reduce current fragmentation of natural systems as well as a growing demand for scientific tools to predict and evaluate the effect of landscape changes on connectivity in the natural world.

Landscape contains a spatial structure that formed by contacting corridors and patches. Interaction of flow, energy and material in a landscape must depend on the landscape network structure. In order to maintain ecological balance and restrain out-of-order urban sprawl in Taiwan, China, this paper attempts to construct a landscape functional network based on 'least-cost' modeling in Wuxi watershed. 'Least-cost' modeling (available as a toolbox in GIS-systems) has been used to calculate 'effective distance', a measure for distance modified with the cost to move between habitat patches based on detailed geographical information on the landscape as well as behavioral aspects of the organisms. We will apply this method to the small-scaled landscape system in Taiwan, China. Based on the theory of interaction between landscape function and pattern, this study analyzes the spatial difference of the ecological function in Wuxi watershed and discusses the landscape pattern optimization proposal. It would help future landscape ecological development in Taiwan, China.

The importance of technical aspect and ecological assumption underlying this modeling method is discussed as well. The

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40471002); 国家自然科学基金重大研究计划项目(90102018)

收稿日期:2005-01-04; **修订日期:**2005-04-10

作者简介:张小飞(1977~), 女, 中国台湾人, 博士, 主要从事景观生态与土地利用研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: ylwang@urban.pku.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 40071002); National Key Research Project for Natural Science Foundation of China (No. 90102018)

Received date: 2005-01-04; **Accepted date:** 2005-04-10

Biography: CHANG Hsiao-Fei, Ph. D., mainly engaged in landscape ecology and land use.

method is shown to be a flexible tool to model functional connectivity between landscape units and mobility of organisms as well as in scenario building and evaluation in wild life protection projects and applied land management projects. Since ‘effective distance’ has the same units as Euclidean distance (m), it may be a straightforward way to include both landscape and behavioral aspects in other models which consider distance as a measure for isolation.

Key words: landscape function network; landscape pattern optimization; ‘least-cost’ modeling; Taiwan, China

景观的功能需基于自身结构的基础,而功能亦是结构的体现。其中,景观结构是指内部各要素相互作用的秩序,景观功能则是指整体对外界的作用,因此一定的景观结构应有相应的景观功能,而景观功能在各个结构单元间产生的复杂关系,每个结构单元皆有特殊的发生背景、存在价值、优势、威胁及与必须处理的相互关系^[1~3]。

相对于传统依赖空间联系的景观网络,景观功能网络更强调功能的联系。景观功能网络的概念是基于景观生态学上的景观格局连通度与景观功能联系程度相关的假设,强调藉由加强景观结构的间联系以提升景观功能。以动植物为例,除了需要足够数量的生境外,其生长和繁殖还往往需要景观中栖息地斑块间有一定的连续性,许多生态学过程都在不同程度上受到斑块间的距离和排列格局影响,而城市内部经济活动的运作亦是需要一定密集的建成区及交通网来支持^[5~7]。

景观功能的空间作用受自然、社会经济及景观格局影响,故分析其空间差异时,需基于不同景观功能需要,考虑相关驱动与限制因子的空间分布,并结合功能随着距离衰减的空间特性进行量化。为落实景观功能与结构的联系,在此采用耗费距离模型(Cost distance modeling)^[8]。耗费距离模型是对现实的一种抽象表达,指由于地理空间的变化而带来的“耗费”差异^[9],可为景观功能随着格局变化的空间连续过程提供分析依据。目前,耗费距离模型的主要用于政治中心的影响范围划分^[10]、土地利用优化^[9]、道路路径选择^[11]及利用物种在栖息地斑块中迁徙的可达性^[12],模拟生态功能连通性在空间的变化。

本研究利用耗费距离模型,针对台湾岛乌溪流域的典型区,探讨在考虑景观格局的影响因素下,景观功能空间联系最佳路径,以对景观格局进行优化。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

在台湾地区西部平原地区,城市与农业景观为优势景观类型。随着人为活动的日益加剧,大面积的建成区及错综的交通路线,阻隔了地区的生态联系,其结果不仅导致景观多样性降低、生物栖息地丧失,也导致建设用地的恣意蔓延以及生态用地(包含天然林残存斑块与人为绿地、绿廊等)的孤立化。

本研究选定乌溪流域大肚溪河岸作为典型区(图1)。该区位于台中县大肚乡,处于乌溪流域内部的城市区边缘地带,两侧分别为大肚溪及玉田山。为分析研究区景观特征,利用2001年航空照片进行目视解译,将其景观类型划分为林地、灌草地、农地、水体、建成区及交通用地等6类。

从景观类型分布图(图1)来看,该区的景观组合具有明显的河岸—农地—建成区(交通)—农地—灌草—森林的斜向带状分布特点,受中心区建设用地及交通路线影响,水体及绿地的生态功能联系受到阻碍。在未来的景观格局优化时急需加强其生态功能联系,降低城市景观对生态功能的影响。

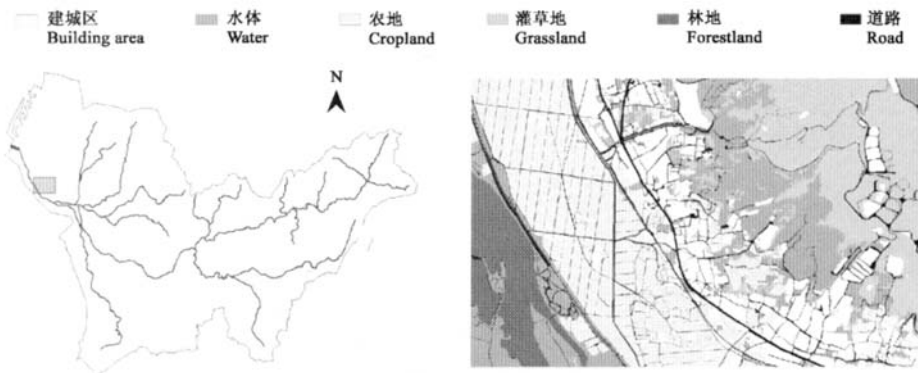


图1 研究区位与景观类型

Fig. 1 The location and landscape type in study area

1.2 景观格局优化目标

基于景观生态学上的景观格局连通度与景观功能联系程度相关的假设^[13,14],本研究针对典型区城市发展阻碍生态功能联系的问题,结合规划理论与景观生态学原理,在强化生态功能空间联系的目标下,制定景观格局优化目标及方法。

为达到提升生物多样性、维持物质、能量流通、维持景观格局的稳定及提升生活环境品质等目标,本研究拟采取扩大核心生态斑块面积、调整植被结构、建立垫脚石 (stepping stones)、强化及构建联系廊道、设置缓冲区、提升景观异质性及增加绿地覆盖面积等方式^[1,2,11,15~18],但在实际的空间优化时必须考虑景观类型的空间作用以及景观功能冲突的范围。

表 1 景观格局优化目标、方法及指针
Table 1 Optimized targets, methods and index of landscape pattern

景观格局优化目标 Landscape pattern optimized targets	景观格局优化方法 Landscape pattern optimized methods	景观格局评价指标 Evaluation index of landscape pattern
提升生物多样性 Promoting bio-diversity	扩大核心生态斑块面积 Enlarging the area of core eco-patch 调整植被结构 Adjusting vegetation structure	最大斑块面积 Largest patch area 植被覆盖的比例 Percent of vegetation cover 本地物种比例 Percent of native species 景观类型多样性 Landscape type diversity
维持物质、能量流通 Maintaining material conservation, energy circulation	建立垫脚石 Establishing stepping stones 强化及构建联系廊道 Strengthening and building connecting corridor	斑块密度 Patch density 周长面积比 Ratio of perimeter and area 廊道宽度、密度 Width and density of corridor 连通度 Connectance index 蔓延度 Contagion index
维持景观格局的稳定 Maintaining the balance of landscape pattern	设置缓冲区 Setting buffer 提升景观异质性 Promoting landscape heterogeneity	缓冲区宽度 Width of buffer 景观类型多样性 Diversity of landscape type
提升生活环境品质 Promoting life and environment quality	增加绿地覆盖面积 Increasing the percent of greenbelt area	植被覆盖比例 Percent of vegetation cover

1.3 景观功能的空间作用关系

不同的景观功能需要不同的景观类型支持亦受其影响^[19,20]。例如,绿带与水体在空间上便能相互支持,森林可保护土壤涵养水源,河流亦可提供植物生长所需的水分和养分;但森林与水体的质量却会受到建成区的冲击,由于土地资源有限,建成区与道路开发所带来的车流与人流会降低植被覆盖程度,产生废弃物污染水面,故在景观功能上发生冲突^[21~23]。因此,本研究基于景观功能与类型间的关系,分析生态与城市两种主要景观了类型在空间上的作用关系(表 2),从而明确空间上的功能冲突的具体位置,以此作为景观格局优化的依据。

表 2 景观功能的空间作用关系
Table 2 Spatial relationship of landscape function

景观类型 Landscape type	生态功能类型 Eco-function type		过渡功能类型 Buffer-function type		城市功能类型 Urban-function type	
	林地 Forestland	水体 Water	灌草地 Grassland	农地 Cropland	建成区 Building area	道路 Road
建成区 Building area	--	--	-	+	...	++
农地 Cropland	-	-	+	...	+	+
林地 Forestland	...	++	+	-	--	--
灌草地 Grassland	+	+	...	+	-	-
水体 Water	++	...	+	-	--	--
道路 Road	--	--	-	+	++	...

...表示同类型内部的相互关系,不存在类型间冲突或互利共生;++ 表示互利共生,两种类型相互作用有助于强化景观功能;+ 表示虽不会强化景观功能但具有一定的正向影响;- 表示虽不影响景观功能主体,但对其造成一定的妨碍;-- 表示相互制约,对景观功能产生分割或冲击

1.4 耗费距离模型简介

耗费距离 (Cost distance),或最小加权距离 (Shortest weighted distance)与普通欧氏距离相似之处,在于强调点与点之间空

间上的相对关系,但耗费距离不同于点与点之间实际距离,而是通过确定物质、能量在不同表面的耗费系数来计算^{①②}。所有的耗费距离分析都需要输入源点和耗费系数。其中源点指功能的汇聚中心,可能包含一个或多个区域,也可能是相连或不相连的;耗费系数(Cost coefficient)表示每个单元对于某种物体或现象运动通过时的摩擦系数。其值的高低代表通过的难易程度。这些耗费可能是旅行时间、金钱或精力等等^[8],对于源点(Source point)所在单元,赋值为 1,表示其对运动的阻碍最小。

耗费距离方程基于图论(Graph theory)的原理,可以表示每个单元距最近源点的最小累积耗费距离(Accumulative cost distance),目的是用来识别与选取功能源点之间的最小耗费方向和路径。方程的算法利用了节点/链接的表示方式(图 2)。在这样的表示方式中,每个单元的中心被当作是节点,节点与节点之间通过链接来联系。每个链接都具有一定的阻抗,其取决于链接所联系的单元的耗费值与运动的方向^{[24]②}。

如果从单元 i 前往 4 个直接相邻的单元 $i+1$,那耗费距离将是所在单元与前往单元耗费系数总和的一半,即:

$$N_{i+1} = N_i + (r_i + r_{i+1}) / 2$$

式中, N_i 与 r_i 分别代表所在单元 i 的累积耗费值与耗费系数, N_{i+1} 与 r_{i+1} 代表前往单元 $i+1$ 的累积耗费值与耗费系数。

如果从单元前往 4 个对角相邻的单元,那耗费距离计算方式则为:

$$N_{i+1} = N_i + \sqrt{2} \times (r_i + r_{i+1}) / 2$$

按照最小累积耗费距离计算的方法,通过 ARC/INFO 中 GRID 模块的 Cost distance 功能循环计算,可得研究区生态功能最小累积耗费距离表面,并藉此判定生态功能在空间中的分布差异。而后,基于 Cost path 功能,可由景观功能累积耗费表面分别得到最小功能耗费方向(Minimum-cost path)与路径(Minimum-cost direction)。依据上述结果,得出景观功能网络的空间分布及城市与生态功能间的相互作用关系。

2 结果与讨论

2.1 景观格局分析

通过对研究区景观格局分析,可见,森林地属大肚山与玉田山的连绵带,由于地势变化剧烈不适宜城市发展,成为台中市西南部郊区重要的生态绿地,其面积较大且形状完整,是重要的野生动物栖息地,并为当地居民提供休闲娱乐场所;灌草地则分布于森林地周围,属森林与农地、建成区的过渡带,亦散布于建成区间,是林地受人为干扰后恢复的初期景观类型;建成区则主要位于研究区中部,交通用地包括南北联系的铁路(海线)、省道、县道以及乡道;农地则主要分布于研究区西部介于水体与建成区中间,依赖于灌溉水源及受人类活动影响(图 1)。

在景观格局特征方面(表 3),数量上以农地所占的面积比例最大(27.16%),其次为灌草(20.86%)及森林(19.53%)。在空间分布上以道路的分部最广且均匀;在斑块形状方面,以农地的形状最为规整,且空间分布联系紧密,这与人为的管理有极大的关系;除农地外,在同类景观分布的邻接程度上,森林及建成区的联系程度亦较其它景观高,其中建成区主要沿交通干线扩展,故紧密分布于交通路线两侧,森林则因为受城市开发影响,退至玉田山顶部。

2.2 生态功能空间强度

为提供景观格局调控方案,在此结合上述各景观类型的格局特征(表 3)与其服务功能价值(表 4)以分析生态功能的空间差异。做法上先以 100m×100m 的网格将研究区划分为面积一致的单元,依据各单元内部景观组成、格局特征与服务功能价值特征,计算该网格的生态功能强度值(图 3),其结果同时作为耗费距离分析时制定耗费系数的依据。

研究区生态功能可分为两部分,其中森林生态功能在研究区东北角的分布最广且完整,主要受山体影响除零星的交通路线外大面积的建成区不易进入,向外的联系以农地边缘残存的林地、城市绿化带为主,具有环境绿化、栖息地提供、休闲娱乐等功能

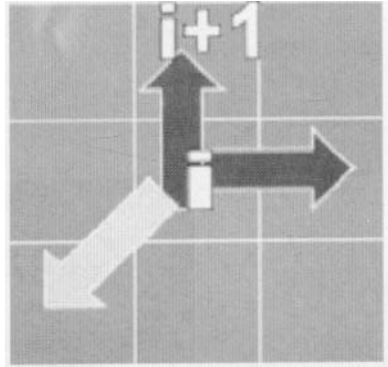


图 2 最小耗费距离模型算法^[24]
Fig. 2 Algorithm underlying 'least-cost' modeling^[24]

① Villalba S, Gulínck H, Verbeulen G, et al. Relationship between patch connectivity and the occurrence of the European red squirrel, *Sciurus vulgaris*, in forest fragments within heterogeneous landscapes. In: Dover, J. W., Bunce, R. G. H., Eds. *Key Concepts in Landscape Ecology*. Preston, 1998, 205~220
② Walker, R., Craighead, L. In: *Proceedings of the ESRI European User Conference on Analyzing Wildlife Movement Corridors in Montana Using GIS*, Copenhagen, 1997. 1~18

能;另外,水体生态功能则位于研究区西南部,起着饮用水提供、农地灌溉、休闲游憩、物质流通等功能。向外的联系包括河道及灌溉水渠,但进入建成区河道多以硬铺面为主,除物质流通的功能外,其它的功能多被破坏。而农地的灌溉渠道由于受作物水分需要的影响必须做季节性的调节,其它的功能亦无法发挥的。整体而言,研究区的生态功能具有流通性及功能质量不佳的问题。

表 3 研究区景观类型及其格局特征

Table 3 Landscape type and pattern characteristic in study area					
景观类型 Landscape type	面积比 PLAND	最大斑块指数 LPI	景观形状指数 LSI	相似邻接比例 PLADJ	散布与并列指数 IJI
建成区 Building area	16.61	0.68	23.71	98.39	77.80
农地 Cropland	27.16	0.62	21.30	98.87	69.17
森林 Forestland	19.53	3.73	23.00	98.56	64.88
灌草地 Grassland	20.86	7.14	34.16	97.93	85.75
水体 Water	8.14	5.64	26.51	97.43	75.50
道路 Road	7.70	7.14	88.77	91.15	97.62

2.3 生态廊道的确立

廊道是景观结构中相当特殊的元素,可同时起着分割与联系的功能,由于廊道有断开是确定通道与屏障功能效率的重要因素^[1],通常以连通性来测定廊道功能的强度。产生廊道效应的实质在于围绕廊道一定范围内存在效益梯度场,廊道效益由中心向外逐步衰减,遵循距离衰减率^[26]。

本研究采用构建生态廊道的方式,优化现况的景观格局。在廊道的选取上采用耗费距离模型,首先选取生态功能源点,计算生态功能累积耗费距离表面(图 4),加以确定最小耗费路径,从而获得生态廊道的空间位置(图 5)。

2.4 景观功能在空间上的相互作用

为了解景观功能及类型在空间中的相互关系,在此就 100m×100m 研究单元进行内部景观类型组成分析,每个单元内 80% 以上面积属同一景观类型,则视其具有单一的景观功能;若单元内存在两类或多类景观类型,则参照景观功能的空间作用关系(表 2)确定冲突是否存在。最后选出景观功能存在相互制约及轻微妨害的空间位置(图 6)。

2.5 景观格局优化方案

叠合生态廊道位置及景观功能冲突点,可得在加强生态功能联系的目标下,迫切需要及需要进行优化的空间范围(图 7)。由于景观格局存在的问题源于城市景观对生态景观的功能影响,故在此建议采用提高生态用地面积、植被覆盖的比例、本地植被比例、景观类型多样性及设置缓冲区等方法,降低范围内的功能冲突。其次,在联系廊道构建上亦可结合原本的水体与森林分布,提高生态景观在空间上的功能联系,并适当增加廊道宽度,以巩固其功能。

3 结论与讨论

台湾地区的土地资源有限,建成区的发展已近于饱和,人类主导的农业或城市景观,已成为各景观类型中优势的类型,并威胁着支持生态稳定与环境质量的森林、湿地、草原等自然景观的维系,造成大范围景观的单一化,也使得自然景观出现破碎、消失等现象,故于景观功能网络的构建中,更着重透过生态功能网络维护生态稳定及制衡建成区的蔓延。

景观功能受景观类型、空间结构及相对距离的影响,产生空间分布上的差异,传统单纯构建廊道进行生态功能联系的方法,往往因为忽略了周边的景观特征,此得廊道构建的结果缺乏空间依据或无法有效提升景观功能联系。结合耗费距离模型的景观功能网络构建模式,可整合景观类型、生态系统服务功能、景观格局等参数,修正生态网络的联系廊道,可提供最小生态功能消耗的联系路径,并可提供具体景观生态建设时的新思路。

表 4 研究区各景观类型生态系统服务功能价值^[25]

Table 4 Ecosystem services value of Landscape types in study area^[25]

景观类型 Landscape type	生态系统服务功能价值 Ecosystem services value (Yuan/hm ²)
建成区 Building area	0
农地 Cropland	760
森林 Forestland	26840
灌草地 Grassland	5840
水体 Water	70193
道路 Road	0

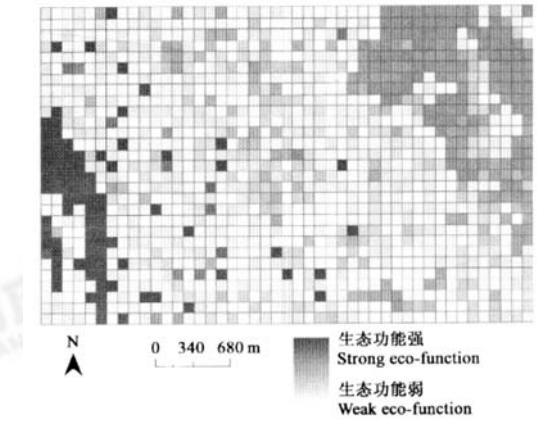


图 3 研究区生态功能空间强度

Fig. 3 Distribution of eco-function intensity in study area

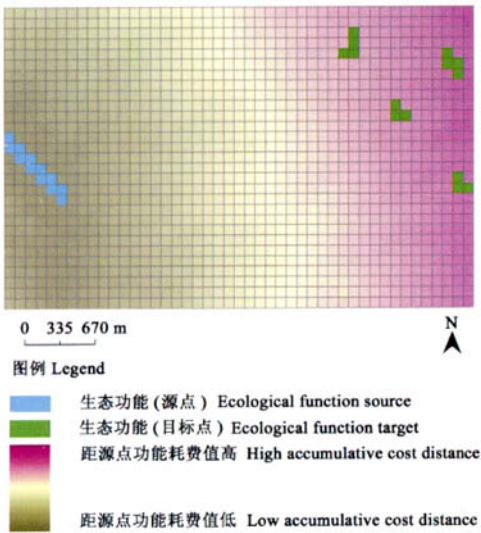


图 4 研究区累积耗费距离表面
Fig. 4 Accumulative cost distance surface in study area

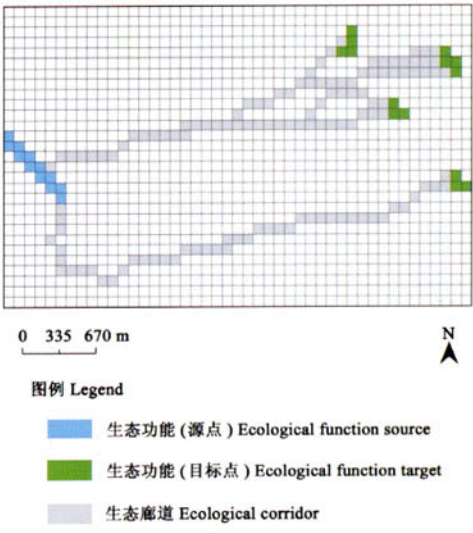


图 5 研究区生态廊道的理想路径
Fig. 5 Ideal path of ecological corridor in study area

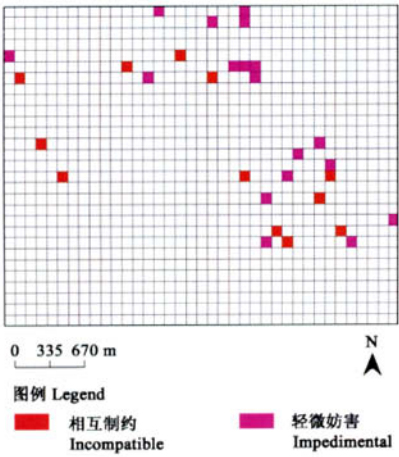


图 6 研究区景观功能冲突单元
Fig. 6 Incompatible cells of landscape function in study area

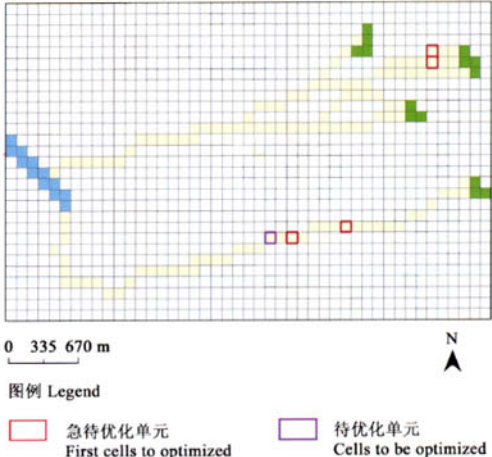


图 7 研究区景观格局优化范围
Fig. 7 Cells to be optimized in study area

由于本研究针对城市发展对景观的生态功能联系造成妨碍的前提下,将研究区景观类型简化为支持生态功能、城市功能及身处其间的过渡区域。建议后续研究可就其它功能及组成的景观类型进行更详细的划分,并就影响景观功能空间差异的相关参数进行修正。

References:

- [1] Fu B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* *The principle and application of landscape ecology*. Beijing: Science Press, 2002. 52~56.
- [2] Wu J G. Landscape ecology: concepts and theories. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, **19**(1): 42~52.
- [3] Ehrlich P R, Wheye D. Non-adaptive hilltopping behavior in male checkerspot butterflies (*Euphydryas editha*). *Am. Nat.*, 1986, **127**, 477~483.
- [4] Harris L D. *The Fragmented Forest: Island Biogeography Theory and the Preservation of Biotic Diversity*. Chicago: University of Chicago Press, 1984.
- [5] Taylor P D, Fahrig L, Henein K, *et al.* Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 1993, **68**, 571~573.
- [6] Tischendorf L, Fahrig L. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 2000, **90**, 7~19.
- [7] Tischendorf L, Fahrig L. On the use of connectivity measures in spatial ecology. A reply. *Oikos*, 2001, **95**, 152~155.
- [8] Michels E, Cottenie K, Neys L, *et al.* Geographical and genetic distances among zooplankton populations in a set of interconnected ponds: a plea for using GIS modeling of the effective geographical distance. *Mol. Ecol.*, 2001, **10**, 1929~1938.
- [9] Niu Z G, Li B G, Zhang F R. Optimum Land-Use Patterns Based on Regional Available Soil Water. *Transactions of the CSAE*, 2002, **18** (3): 173~177.
- [10] Hare T S. Using measures of cost distance in the estimation of polity boundaries in the Postclassic Yauhtepec valley, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 2004, **31** : 799~814.
- [11] Chen X D, Yang W N, Luo H. Research on Algorithm of Road Routing Model Based on Grid Data. *HIGHWAY*, 2004, **5** : 6~9.
- [12] Schadt S, Knauer F, Kaczensky P, *et al.* Rule-based assessment of suitable habitat and patch connectivity for *Eurasian Lynx* in Germany. *Ecol. Appl.*, 2002, **12** , 1469~1483.
- [13] Wiens J A. Metapopulation dynamics and landscape ecology. In: Hanski, I. A., Gilpin, M. E. Eds. *Metapopulation Biology: Ecology, Genetics, and Evolution*. London: Academic Press, 1997. 512~521.
- [14] Wiens J A, Schooley R L, Weeks Jr R D. Patchy landscapes and animal movements: do beetles percolate? *Oikos*, 1997, **78**, 257~264.
- [15] Tischendorf L, Fahrig L. On the usage and measurement of landscape connectivity, *Oikos*, 2000, **90**, 7~19.
- [16] Tischendorf L, Fahrig L. On the use of connectivity measures in spatial ecology. A reply. *Oikos*, 2001, **95**, 152~155.
- [17] Moilanen A, Hanski I. On the use of connectivity measures in spatial ecology. *Oikos*, 2001, **95**, 147~151.
- [18] Ricketts T H. The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *Am. Nat.*, 2001, **158**, 87~99.
- [19] Jongman R H G, Külvik M, Kristiansen I. European ecological networks and greenways. *Landscape and Urban Planning*, 2004, **68**: 305~319.
- [20] Schrijnen P J. Infrastructure networks and red-green patterns in city regions. *Landscape and Urban Planning*, 2000, **48**: 191~204.
- [21] Kühn M. Greenbelt and Green Heart: separating and integrating landscapes in European city regions. *Landscape and Urban Planning*, 2003, **64**: 19~27.
- [22] Howard E. *Garden Cities of Tomorrow*. Faber & Faber, London, 1946.
- [23] Wheeler C P. *Urban Habitats*. London: Rytledge. 1999.
- [24] Adriaensen F, Chardon J P, Blust G D, *et al.* The application of 'least-cost' modeling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 2003, **64**: 233~247.
- [25] Costanza R, d'Arge R, Groot R D, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 1998, **25**: 3~15.
- [26] Zong Y G. The corridor of effects in urban ecological landscape planning——a case study on Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19** (2): 145~150.

参考文献:

- [1] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用. 北京:科学出版社,2001. 52~56.
- [2] 郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京:高等教育出版社, 2000. 42~52.
- [9] 牛振国,李保国,张凤荣. 基于区域土壤水分供给量的土地利用优化模式. 农业工程学报, 2002, **18**(3): 173~177.
- [11] 陈雪冬,杨武年,罗虎. 基于栅格数据道路选线模型算法的应用研究. 公路, 2004, **5**: 6~9.
- [26] 宗跃光. 城市景观生态规划中的廊道效应研究——以北京市区为例. 生态学报, 1999, **19**(2): 145~150.