

区域生态系统景观结构演化定量评价方法

詹 巍¹, 徐福留^{1*}, 赵臻彦¹, 郝君宜¹, 赵珊珊¹, 张 颖¹, 胡维平²

(1. 北京大学环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要: 为了在更宏观层次上评价人类活动对区域生态系统景观格局的影响, 设计了一种三角图方法。根据自然景观指数、半自然半人工景观指数和人工景观指数的相对比例及其变化, 该方法把区域生态系统分为 4 种景观结构类型以及 6 种变化趋势, 即自然型景观、半自然半人工型景观、人工型景观和混合型景观, 自然化-人工化趋势、自然化趋势、自然化-半自然半人工化趋势、半自然半人工化趋势、半自然半人工化-人工化趋势和人工化趋势, 这些景观结构类型和变化趋势分别对应于三角图中的不同区域和演化方向。青岛城阳区、深圳龙华区及海口市的应用实例表明, 该方法原理简单, 计算简便, 结果直观, 可以很好地用于在较宏观层次上分析人类活动对区域景观格局的影响。

关键词: 区域生态系统; 景观格局; 演化趋势; 景观指数; 三角图法; 定量评价

A methodological researches on quantitative assessment for the dynamic trends of landscape structure in regional ecosystems

ZHAN Wei¹, XU Fu-Liu^{1*}, ZHAO Zhen-Yan¹, HAO Jun-Yi¹, ZHAO Shan-Shan¹, ZHANG Ying¹, HU Wei-Ping² (1. College of Environmental Sciences and MOE Laboratory for Earth Surface Process, Peking University, Beijing, 100871, China; 2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2263~2268.

Abstract: A novel Triangle Methodology was designed to macroscopically assess the effects of human acuties on landscape pattern. Based on the intensity of anthropogenic effects, regional landscape was identified as three categories; a natural landscape, a half-natural half-artificial landscape, and an artificial landscape. The status and dynamic trends of landscape structure were then evaluated by examining the interrelationships among three aggregate landscape indices; a natural landscape index (NLI), a half-natural half-artificial landscape index (HNALI), and an artificial landscape index (ALI). The three elements were then combined within a triangular framework to show the basic visual representation and interconnectivity of three indices. Each axis is read in an anticlockwise direction from zero to 100%. Further, each of the axes is equally divided into four segments or ranges as: 0~25%, 25%~50%, 50%~75%, and 755%~100% allowing the diagram to illustrate relative percentage combinations of the three aggregate landscape indices ALI, NLI and HNALI. In addition, the triangle is further sub-divided into four areas A、B、C, and D expressing four types of landscape structure: nature-type landscape, half-natural half-artificial type landscape, artificial type landscape, and mixed landscape. Within any one triangle, there are six possible trends in movement according to the relative percentage changes in the three aggregate indexes: naturalization-artificialization trend, naturalization trend, naturalization-half-naturalization half-artificialization trend, half-naturalization half-artificialization trend, half-naturalization half-artificialization-artificialization trend, and artificialization trend. Depending on the relative position of data points associated with alternative data sets, the corresponding the status and dynamic trends in

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40271101, 40024101, 40332015); 国家水利部资助项目(JJ-XX-2002029)

收稿日期: 2003-07-04; **修订日期:** 2004-04-19

作者简介: 詹 巍(1980~), 男, 安徽人, 硕士生, 主要从事系统生态学研究。

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

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No. 40271101, 40024101, 40332015); National Water Conservation Department(No. JJ-XX-2002029)

Received date: 2003-07-04; **Accepted date:** 2004-04-19

Biography: ZHAN Wei, Master candidate, mainly engaged in ecosystem ecology.

万方数据

landscape structure can then be determined.

The assessment results from the Cheng-Yang region in Qing-Dao City and Long-Hua region in Shen-Zhen City as well as from Hai-Kou City suggest that the Triangle Methodology is a valuable uncomplicated tool with ease of calculation and intuitional results. It could be widely used for quantitatively assessing the effects of human acutities on regional landscape patterns.

Key words: regional ecosystem; landscape pattern; dynamic trend; landscape index; Triangle Methodology; quantitative assessment

文章编号:1000-0933(2004)10-2263-06 中图分类号:Q149 文献标识码:A

景观生态学是近年来迅速发展的一门新兴学科。景观空间格局及其演化趋势是其重要研究内容之一,并已提出了一些数量化方法^[1~8],如景观多样性指数、均匀度指数、优势度指数、镶嵌度指数、聚集度指数、分离度指数、孔隙度指数、生境破碎化指数、以及斑块的分形分析等。利用破碎度和分离度可以分析景观要素的空间结构及其变化;利用多样性指数可以分析景观要素的复杂性;利用孔隙度指数可以分析不同尺度下景观要素空间变化规律。本文的目的是探讨一种在更宏观层次上直观评价区域生态系统景观结构特征及其演化趋势的定量方法,以期与现有方法相配合,更好的开展人类活动对区域景观格局影响的研究。

1 区域生态系统景观结构特征及其演化趋势的定量评价方法

1.1 区域生态系统景观结构组成

表 1 青岛市城阳区区域生态系统景观结构组成

Table 1 Landscape structure elements of regional ecosystem in Chengyang Region of Qingdao City		
一级景观单元 First class landscape	二级景观单元 Second class landscape	三级景观单元 Third class landscape
自然景观 Natural landscape	森林景观 Forest landscape	乔木林景观 Arbor landscape
		灌木林景观 Shrubbery landscape
		疏林地景观 Greens landscape
		植树造林景观 Forestation landscape
		苗圃景观 Nursery landscape
		河流景观 River landscape
		水库景观 Reservoir landscape
		坑塘景观 Pond landscape
		沟渠景观 Canal landscape
		滩涂景观 Beach landscape
		苇地景观 Reed landscape
		水工建筑景观 Water conservancy construction landscape
半自然半人工景观 Half natural & half artificial landscape	农田景观 Farm landscape	水浇田景观 Paddy field landscape
		旱田景观 Glebe landscape
		菜田景观 Vegetable landscape
		果园景观 Orchard landscape
		茶园景观 Tea garden landscape
		其他园林景观 Other Orchard-garden landscape
人工景观 Artificial landscape	城镇村及工矿景观 Town, village, plant & mine landscape	城市景观 Urban landscape
		建制镇景观 Town landscape
		农村景观 Village landscape
		工矿景观 plant & mine landscape
		盐田景观 Saline landscape
		特殊用地景观 Special land landscape
		铁路景观 Railway landscape
		公路景观 Highway landscape
		农村道路景观 Village roadway landscape
		民用机场景观 Civilian aerodrome landscape
		港口码头景观 Port & dock landscape
	交通景观 Traffic landscape	

为了在更宏观层次上分析景观结构特征及其演化趋势,本研究把现有不同土地利用类型按照自然景观、人工景观以及半自然半人工景观进行组合,这样可形成区域生态系统的三级景观结构。以青岛市城阳区为例,其区域生态系统的三级景观结构如表 1 所示。

1.2 区域生态系统景观结构三角图的设计

在宏观层次上研究区域生态系统景观结构的特征及其变化,也就是研究自然、人工以及半自然半人工 3 个一级景观的变化,可以分别利用 3 个组合指数,即自然景观指数、人工景观指数以及半自然半人工景观指数来表示各自在区域生态系统中的百分比。根据 3 个指数的相对大小,可以判断人为干扰的程度,如自然景观指数越大,表明景观的人为干扰越小;人工景观指数越大,表明景观的人为干扰越大。

上述 3 个指数的相互关系见图 1。图 1 为等边三角图形,3 个顶点分别为 3 个组合指数,其中自然景观指数为上顶点(*NLI*),半自然半人工景观指数(*HNALI*)为左下顶点,人工景观指数(*ALI*)为右下顶点;*X*、*Y* 和 *Z* 轴分别为 *ALI*、*NLI* 和 *HNALI*,每个轴按逆时针方向从 0 到 100% 等分。表示 *ALI*、*NLI* 和 *HNALI* 的相对百分比。为了讨论方便,该三角图可进一步划分为 A、B、C、D 四个区域,分别对应于 4 种景观结构类型,即自然型景观、半自然半人工型景观、人工型景观和混合型景观(见图 1 和表 2)。根据 3 个景观指数百分比的相对变化,在三角图中可以辨别出 $T_1 \sim T_6$ 种演化趋势,分别为自然化-人工化趋势、自然化趋势、自然化-半自然半人工化趋势、半自然半人工化趋势、半自然半人工化-人工化趋势和人工化趋势(见图 1 和表 3)。这样,根据不同地区或不同时间的数据点在三角图中的位置和变化趋势,就可以定量评价区域生态系统景观结构的特征及其变化,进而判断人类活动对区域景观格局的影响。

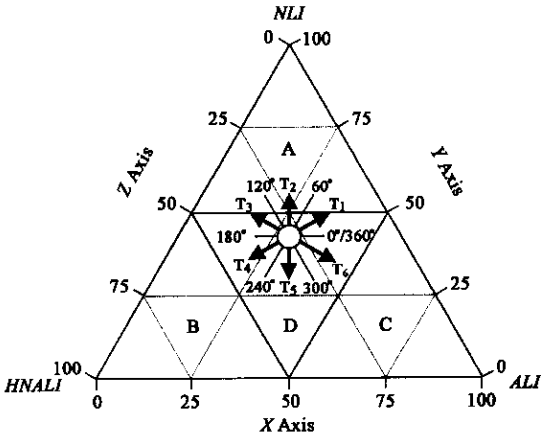


图 1 区域生态系统景观结构类型及变化趋势

Fig. 1 Categories and dynamic trends of landscape structure in regional ecosystem

NLI 自然景观指数 Natural Landscape Index; *HNALI* 半自然半人工景观指数 Half Natural & Artificial Landscape Index; *ALI* 人工景观指数 Artificial Landscape Index

A 自然型景观 Nature-type Landscape; B 半自然半人工型景观 Half-Natural & Half-Artificial Type Landscape; C 人工型景观 Artificial Type Landscape; D 混合型景观 Mixed Landscape

T_1 自然化-人工化趋势 Naturalization-Artificialization Trend; T_2 自然化趋势 Naturalization Trend; T_3 自然化-半自然半人工化趋势 Naturalization-Half-Naturalization & Half-Artificialization Trend; T_4 半自然半人工化趋势 Half-Naturalization & Half-Artificialization Trend; T_5 半自然半人工化-人工化趋势 Half-Naturalization & Half-Artificialization-Artificialization Trend; T_6 人工化趋势 Artificialization Trend; 下同 the same below

表 2 区域生态系统景观结构类型及其特征

Table 2 Categories and their characteristics of landscape structure in regional ecosystem

类型代号 Type code	类型名称 Type name	景观指数变化范围 (%) Variation ranges for landscape index (%)		
		自然景观指数 (<i>NLI</i>)	半自然半人工景观指数 (<i>HNALI</i>)	人工景观指数 (<i>ALI</i>)
A	自然型景观 Natural Type Landscape	50~100	0~50	0~50
B	半自然半人工型景观 Half-Natural & Half-Artificial Type Landscape	0~50	50~100	0~50
C	人工型景观 Artificial Type Landscape	0~50	0~50	50~100
D	混合型景观 Mixed Landscape	0~50	0~50	0~50

* *NLI* 自然景观指数 Nature Landscape Index; *HNALI* 半自然半人工景观指数 Half-Natural & Half-Artificial Landscape Index; *ALI* 人工景观指数 Artificial Landscape Index

1.3 景观指数的计算

自然景观指数(*NLI*)、半自然半人工景观指数(*HNALI*)和人工景观指数(*ALI*)的计算公式如下:

$$NLI = \sum_{i=1}^n (NLS_i / S) \times 100$$

(1)

$$HNALI = \sum_{j=1}^n (HNALS_j / S) \times 100$$

(2)

万方数据

$$ALI = \sum_{k=1}^p (ALS_k / S) \times 100$$

(3)

式中, NLS_i 表示第 i 个 2 级或 3 级自然景观的面积, $HNALS_j$ 表示第 j 个 2 级或 3 级半自然半人工景观的面积, ALS_k 为第 j 个 2 级或 3 级人工景观的面积, S 为区域总面积。各个 2 级或 3 级景观的面积可以由统计资料或遥感影像解译得到。

由上述公式可以看出, NLI 、 $HNALI$ 和 ALI 分别为 1 级自然景观、半自然半人工景观和人工景观在区域总面积中所占的百分比, 并分别为各自相应的 2 级或 3 级景观的面积百分比之和。

表 3 区域生态系统景观结构变化趋势及其特征

Table 3 Dynamic trends and their features of landscape structure in regional ecosystem						
趋势代号 Trend code	趋势方向 Trend direction	景观指数相对比例变化 * Relative ratio variation for landscape index			变化趋势名称 Trend name	
		<i>NLI</i>	<i>HNALI</i>	<i>ALI</i>		
T ₁	0°~60°	增加 increase	减少 decrease	增加 increase	自然化-人工化趋势 Naturalization-Artificialization Trend	
T ₂	60°~120°	增加 increase	减少 decrease	减少 decrease	自然化趋势 Naturalization Trend	
T ₃	120°~180°	增加 increase	增加 increase	减少 decrease	自然化-半自然半人工化趋势 Naturalization-Half-Naturalization & Half-Artificialization Trend	
T ₄	180°~240°	减少 decrease	增加 increase	减少 decrease	半自然半人工化趋势 Half-Naturalization & Half-Artificialization Trend	
T ₅	240°~300°	减少 decrease	增加 increase	增加 increase	半自然半人工化-人工化趋势 Half-Naturalization & Half-Artificialization-Artificialization Trend	
T ₆	300°~360°	减少 decrease	减少 decrease	增加 increase	人工化趋势 Artificialization Trend	

* NLI 自然景观指数 Nature Landscape Index; $HNALI$ 半自然半人工景观指数 Half-Natural & Half-Artificial Landscape Index; ALI 人工景观指数 Artificial Landscape Index

2 方法应用

2.1 实例 1 青岛市城阳区区域生态系统景观结构特征及其变化趋势

根据青岛市城阳区土地利用的统计和规划资料, 利用上述公式(1)、(2)、(3)可分别计算出 1986、1996 和 2010 年城阳区各镇自然景观指数(NLI)、半自然半人工景观指数($HNALI$)和人工景观指数(ALI), 计算结果见表 4, 其景观结构特征及其变化趋势见图 2。

由图 2 可以看出, 青岛市城阳区 8 个镇区域生态系统景观结构及其演化特征如下: (1)景观结构在空间上存在差异。1986 年, 惜福和夏庄为混合型景观结构, 并临近自然型景观; 红岛和城阳为半自然半人工型景观结构; 河套为混合型景观结构, 并临近半自然半人工型景观; 棘洪滩、上马和流亭为典型的混合型景观结构。(2)城阳区区域生态系统景观结构演化的主要趋势为 T_1 , 即自然化-人工化趋势, 主要包括惜福、夏庄、河套、棘洪滩和城阳 5 个镇, 表明半自然半人工景观比例减少, 自然景观和人工景观比例增加; 1986~1996 年的上马镇及 1996~2010 年的红岛和流亭两镇的景观结构演化趋势为 T_6 , 即人工化趋势。(3)流亭和城阳两镇是城阳区变化最快的两个地区。流亭镇从 1996 年的混合型景观结构变化为 2010 年的人工景观结构; 城阳镇由 1986 和 1996 年的半自然半人工型景观结构变化为 2010 年的混合型景观结构。这是因为流亭镇更靠近青岛市中心, 并且是青岛市向北扩展的主要地区; 而城阳镇是城阳区的政治、经济与文化中心。两者都是快速城市化的地区, 是城阳区受人类活动影响最大的地区。城阳区各镇不同年份一级和二级景观单元的比例及其变化关系详见表 4。

2.2 实例 2 深圳龙华地区 and 海口市区域生态系统景观结构特征及其变化趋势

根据文献的数据^[10], 经计算可以得到深圳龙华地区以及海口市不同年份的自然景观指数(NLI)、半自然半人工景观指数($HNALI$)和人工景观指数(ALI), 计算结果见表 5 与表 6; 它们的景观结构特征及其变化趋势见图 3。

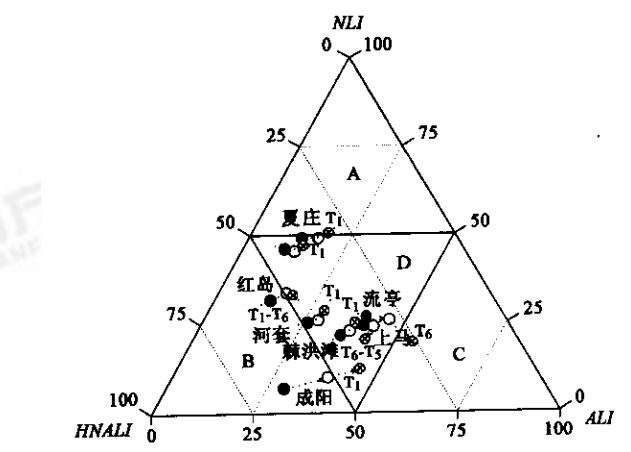


图 2 青岛市城阳区八镇区域生态系统景观结构特征及变化趋势
Fig. 2 Characteristics and dynamic trends of landscape structure in regional ecosystems at eight townships in Qing-Dao City

和城阳两镇是城阳区变化最快的两个地区。流亭镇从 1996 年的混合型景观结构变化为 2010 年的人工景观结构; 城阳镇由 1986 和 1996 年的半自然半人工型景观结构变化为 2010 年的混合型景观结构。这是因为流亭镇更靠近青岛市中心, 并且是青岛市向北扩展的主要地区; 而城阳镇是城阳区的政治、经济与文化中心。两者都是快速城市化的地区, 是城阳区受人类活动影响最大的地区。城阳区各镇不同年份一级和二级景观单元的比例及其变化关系详见表 4。

表 4 青岛市城阳区各镇不同年份区域生态系统景观指数(%)

Table 4 Landscape index (%) of each regional township ecosystems in Chengyang Area of Qingdiao City										
镇名 Township name	年份 Year	自然景观指数(NLI)			半自然半人工景观指数(HNALI)			人工景观指数(ALI)		
		Nature Landscape Index			Half-Natural & Half-Artificial Landscape Index			Artificial Landscape Index		
		森林 Forest	水体 Waters	合计 Sum	农田 Farm	园林 Orchard	荒地 Wasteland	合计 Sum	城镇村 及工矿	交通 Road
惜福 Xi-Fu	1986	42.8	3.3	46.1	24.5	13.3	5.3	43.1	9.2	1.6
	1996	41.7	3.3	45.0	23.9	13.1	5.3	42.3	11.0	1.6
	2010	43.5	3.3	46.8	24.1	12.5	2.5	39.1	12.5	1.6
夏庄 Xia-Zhuang	1986	39.1	8.9	48.0	19.6	15.1	3.4	38.1	11.6	2.3
	1996	39.5	9.2	48.7	17.5	13.7	3.3	34.5	14.1	2.6
	2010	40.7	9.4	50.1	16.9	12.2	1.9	31.0	15.7	3.1
流亭 Liu-Ting	1986	0.8	25.0	25.8	27.9	1.6	4.8	34.3	34.7	5.1
	1996	0.8	24.9	25.7	23.3	1.2	4.5	29.0	38.2	7.0
	2010	0.7	18.8	19.5	20.9	0.6	4.3	25.8	39.2	15.5
城阳 Cheng-Yang	1986	1.6	5.0	6.6	56.4	2.7	4.8	63.9	24.8	4.6
	1996	4.3	5.0	9.8	44.0	2.5	6.0	52.5	33.7	4.6
	2010	3.7	8.0	11.7	37.4	2.2	3.7	43.3	40.1	5.0
棘洪滩 Ji-Hong-Tan	1986	1.0	21.0	22.0	33.4	0.0	7.4	40.8	33.6	3.5
	1996	1.3	21.0	22.3	32.4	0.0	7.4	39.8	35.1	2.7
	2010	1.3	23.1	24.4	34.3	0.0	3.0	37.3	35.3	2.9
上马 Shang-Ma	1986	1.3	22.6	23.9	35.2	0.0	0.6	35.8	38.1	2.2
	1996	1.3	22.5	23.8	33.3	0.0	0.6	33.9	39.2	3.1
	2010	0.2	20.4	20.6	36.0	0.0	0.6	36.6	39.8	3.1
河套 He-Tao	1986	0.5	24.8	25.3	33.8	0.5	14.8	49.1	24.6	1.4
	1996	0.6	24.9	25.5	31.6	0.6	14.6	46.8	25.3	2.8
	2010	0.6	28.0	28.6	34.3	0.6	8.3	43.2	25.7	2.8
红岛 Hone-Dao	1986	0.5	31.7	32.2	45.9	0.5	7.7	54.1	12.0	2.1
	1996	1.6	31.8	33.4	42.7	1.6	7.3	51.6	13.2	3.3
	2010	1.6	31.4	33.0	42.6	1.6	6.0	50.2	14.7	3.6
平均 Average	1986	11.1	17.8	28.9	33.2	11.1	6.2	50.5	24.8	2.8
	1996	11.4	17.9	29.3	30.1	11.4	6.2	47.7	27.2	3.3
	2010	11.6	18.0	29.6	30.3	11.6	3.6	45.5	28.6	4.4

* 城镇村及工矿 Town, village, plant & mine

由图 3 可以看出,深圳龙华地区区域生态系统景观结构特征及其变化趋势:(1)1988~1996 年,该区景观结构为混合型,其中,1988 年和 1990 年靠近自然型景观结构和半自然半人工型景观结构;不同年份各景观指数的比例详见表 5。(2)1988~1990 年以及 1994~1996 年,其景观结构变化趋势为 T₅,即半自然半人工化-人工化趋势;而 1990~1994 年,其景观结构变化趋势为 T₆,即人工化趋势。这表明,从 1988 年到 1996 年,深圳龙华地区自然景观指数不断减少,人工景观指数不断增加。由表 5 可以看出,其自然景观指数从 1988 年的 48.27%快速下降到 1996 年的 25.47%,年均下降约 2.85%;而人工景观指数则从 1988 年的 5.74%快速上升到 1996 年的 32.78%,年均上升约 3.38%。这反映人类活动对深圳市龙华地区区域生态系统景观结构的影响较大。

表 5 深圳龙华地区不同年份区域生态系统景观指数(%)

Table 5 Landscape index (%) of regional ecosystems in Longhua Area of Shenzhen City									
年份 Year	自然景观指数(NLI)			半自然半人工景观指数(HNALI)			人工景观指数(ALI)		
	Nature Landscape Index			Half-Natural & Half-Artificial Landscape Index			Artificial Landscape Index		
	水体 Waters	林地 Forest	合计 Sum	农田 Farm	果园 Orchard	合计 Sum	城镇 City & Town	开发区 Exploiture area	合计 Sum
1988	1.31	46.96	48.27	24.35	21.64	45.99	3.67	2.07	5.74
1990	0.77	40.92	41.69	23.70	24.48	48.18	5.44	4.69	10.13
1992	2.47	33.22	35.69	19.71	23.43	43.14	9.87	11.29	21.16
1994	2.35	30.20	32.55	16.43	21.57	38.00	12.71	16.73	29.44
1996	1.47	24.00	25.47	18.94	22.79	41.73	17.49	15.29	32.78

海口市区域生态系统景观结构特征及其变化趋势也可由图 3 看出:(1)其景观结构类型,1986~1996 年为混合型,2000 年为人工型并靠近混合型;其景观指数的比例详见表 6。(2)其景观结构变化趋势,1986~1996 为 T₆,即人工化趋势,1996~2000 年为 T~5,即半自然半人工化-人工化趋势。这些趋势表明,从 1986 年到 2000 年,海口市自然景观指数不断减少,人工景观指数不断增加。由表 6 可以看出,其自然景观指数从 1986 年的 41.15%下降到 2000 年的 27.42%,年均下降约 0.98%;人工景观

指数则从 1986 年的 18.58% 上升到 2000 年的 50.26%，年均上升约 2.26%；半自然半人工指数则表现为先下降后升高。据文献 [10] 研究结果，从 1986 年到 2000 年海口市林地、水体、沙地、农田等自然和半自然景观向城市、农村居民点和独立工矿建设用地等人文景观的变化；并且，在 1986~1996 年的变化较快，而在 1996~2000 年由于城市开发受国家宏观调控政策的控制，其变化较慢。

4 结论与讨论

根据上述研究可以得出如下结论：

(1) 本文提出的三角图法能很直观的反映区域生态系统一级景观结构特征及其演化趋势，易于在较宏观的层次上研究人类活动对区域生态系统景观格局的影响；(2) 该方法原理简单，计算简便，结果直观，是一种值得推广的研究区域景观格局的定量方法。

该方法在研究区域生态系统景观单元的空间格局方面存在一定的局限性，也不能研究 2 级和 3 级景观单元的空间演化。因此，只有与现有有关方法相配合，才能在较宏观与较微观两个层次上研究区域景观格局及其时空演化特征。

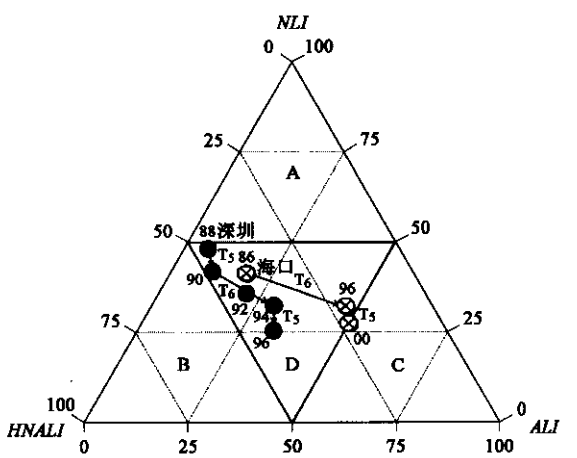


图 3 深圳、海口区域生态系统景观结构的长期变化趋势

Fig. 3 Long-term dynamic trends of landscape structure in regional ecosystems in Shenzhen and Haikou

表 6 海口市不同年份区域生态系统景观指数 (%)

年份 Year	自然景观指数 Nature Landscape Index				半自然半人工景观指数 Half-Natural & Half-Artificial Landscape Index			人工景观指数 Artificial Landscape Index			
	林地 Forest	草地 Meadow	水体 Waters	合计 Sum	农田 Farm	沙地 Sandlot	合计 Sum	城市 City	农村 Village	工矿 Plant & mine	合计 Sum
	Forest	Meadow	Waters	Sum	Farm	Sandlot	Sum	City	Village	Plant & mine	Sum
1986	28.56	1.66	10.93	41.15	36.07	4.19	40.26	12.37	1.12	5.09	18.58
1996	28.51	1.66	1.84	32.01	20.08	0.71	20.79	38.29	2.17	6.74	47.20
2000	24.05	1.66	1.71	27.42	22.32	0.00	22.32	39.92	2.63	7.71	50.26

References:

[1] Wu Y G, Li H B. Quantitative methods in landscape ecology. In: Lu J G ed. Hot topics for modern ecology. Beijing: Chinese Scientific & Technological Press, 1992. 30~40.

[2] Fu B J. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(2): 116~120.

[3] Fu B J. Landscape diversity analysis and mapping. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(4): 345~350.

[4] Monica G Turner, Rober H Gardner. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity. Springer-Verlag, 1990.

[5] Hulshoff R M. Landscape indices describing a Dutch Landscape. *Landscape Ecology*, 1995, **10**(2):101~111.

[6] O'neill R V, Krummel J R, Garder R H, *et al*. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, **1**: 153~162.

[7] Li H and Reyonlds J F. A new contagion index to quantify spatial pattern of landscape. *Landscape Ecology*, 1993, **8**: 155~162.

[8] Olsen E R, Ramsey R D, Winn D S. A modified factual dimension as a measure of landscape diversity. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1993, **59**: 1571~1520.

[9] Zeng H, Liu G J. Analysis of regional ecological risk based on landscape structure. *China Environmental Science*, 1999, **19**(5): 454~457.

[10] Tian G J, Zhang Z X, Zhang G P, *et al*. Landscape Dynamic Change Pattern of Haikou City by TM Imagery and GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(7): 1028~1034.

参考文献:

[1] 伍业刚,李哈滨. 景观生态学的数量研究方法. 见: 刘建国主编. 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 30~40.

[2] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. 生态学报, 1995, **15**(2): 116~120.

[3] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究. 生态学报, 1995, **15**(4): 345~350.

[9] 曾辉, 刘国军. 基于景观结构的区域生态分析. 中国环境科学, 1999, **19**(5): 454~457.

[10] 田光进, 张增祥, 张国平, 等. 基于遥感与 GIS 的海口市景观格局动态演化. 生态学报, 2002, **22**(7): 1028~1034.