

# 胶东山区景观格局与环境因子关系研究\*

——以山东省栖霞市为例

宋萍<sup>1</sup> 齐伟<sup>1\*\*</sup> 徐柏琪<sup>1</sup> 李哲<sup>1</sup> 路超<sup>2</sup> 张圣武<sup>3</sup>

(1. 山东农业大学资源与环境学院 泰安 271018; 2. 潍坊市国土资源局奎文分局 潍坊 261041;

3. 泰安市国土资源局 泰安 271018)

**摘要** 为揭示山区景观格局分布特征,在 ARCGIS 和 CANOCO for Windows 4.5 软件支持下,利用 2003 年和 2010 年山东省栖霞市土地利用景观类型图、DEM 图和土壤图等数据,建立栖霞市地学数据库,采用 CCA 排序法,分析了在不同时间尺度下栖霞市土地利用类型与环境因子的关系。结果表明:(1)2003 年和 2010 年 CCA 排序的前 4 个排序轴的累积景观-环境解释量分别为 98.8%和 98.7%,而且呈现减小趋势;但从景观与环境的相关系数可以看出,2003 年比 2010 年的相关系数大;两年的特征值总量分别为 0.572 和 0.808。(2)环境因子对景观格局分布的贡献率随着时间变化而有所差异;而且 2003 年和 2010 年研究区土地利用格局变化不大,除未利用地外,其他 6 种土地利用类型空间差异不明显。(3)2003 年和 2010 年土地景观格局和环境因子的关系呈现相似的规律性。对土地利用格局重要性影响比较大的因子主要为日照时数、坡度和海拔;日照时数较长、海拔较低、坡度较小的地区分布的主要是水域、建设用地,而未利用地和草地主要分布在日照时数较短、海拔较高、坡度较大的地区。通过景观格局与环境因子关系研究,揭示了栖霞市土地利用景观格局分布特征,可以为农业结构调整提供理论依据,为土地利用格局优化提供参考依据。

**关键词** 景观格局 环境因子 CCA 排序 时间变化 土地利用类型 山东省栖霞市

**中图分类号:** F301.24; Q142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2013)03-0386-07

## Relationship between landscape pattern and environmental factors in Jiaodong mountain region —The case of Qixia City in Shandong Province

SONG Ping<sup>1</sup>, QI Wei<sup>1</sup>, XU Bai-Qi<sup>1</sup>, LI Zhe<sup>1</sup>, LU Chao<sup>2</sup>, ZHANG Sheng-Wu<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2. Kuiwen Branch of the Land Resources Bureau in Weifang City, Weifang 261041, China; 3. Land Resources Bureau in Tai'an City, Tai'an 271018, China)

**Abstract** To determine the distribution characteristics of landscape patterns in mountain regions, the case of Qixia City was investigated and a geological database built for grid datum using the 2003/2010 land use/landscape pattern map, DEM map, soil map, etc. of Qixia City. These data were processed in ARCGIS and CANOCO environments on Windows 4.5 platform. CCA (canonical correlation analysis) ranking method was used in the study to comparatively analyze changes in landscape pattern and environmental factors in different years in Qixia City. The results showed that percent cumulative variances of landscape-environment relation were respectively 98.8% and 98.7% in 2003 and 2010, indicating a decreasing trend. However, correlation analysis between landscape and environment showed a higher coefficient for 2003 than for 2010. Meanwhile total eigen-values of the ordination axes were 0.572 and 0.808, respectively. Different environmental factors had different impacts on landscape pattern with time. There was little change in land use/landscape pattern between 2003 and 2010. In addition, the other six land use types were not obviously different, except for unused land. There were similar regularities in the relationship between landscape pattern and environmental factors for 2003 and 2010. The main factors with major impact on landscape were sunshine hours, slope gradient and altitude. Water surface and build-up land were in areas with higher sunshine hours, lower altitudes and gentler slopes. However, unused land and grassland were mainly in the other areas. Through land use/landscape pattern and environmental factor relationship, this paper determined land use/landscape

\* 山东省科技攻关项目(2009GG10009062)资助

\*\* 通讯作者: 齐伟(1970—),男,博士,教授,研究方向为土地利用与信息技术。E-mail: qiwei@sdau.edu.cn

宋萍(1987—),女,硕士研究生,研究方向为土地利用与规划。E-mail: songpingsdau@163.com

收稿日期: 2012-09-03 接受日期: 2012-11-22

pattern distribution characteristics in Qixia City. This study therefore provided theoretical basis for adjustments in agricultural land structure and in the general land use structure for optimized land use in the study area and beyond.

**Key words** Landscape pattern, Environmental factor, CCA ranking, Temporal variation, Land use type, Qixia City of Shandong Province

(Received Sep. 3, 2012; accepted Nov. 22, 2012)

景观格局时空分异与环境因素关系密切<sup>[1]</sup>,是自然和人为长期影响的结果。随着景观生态学理论与应用研究的发展,景观格局与环境关系的定量化研究进展迅速<sup>[2]</sup>,土地作为景观的重要组成部分,明确土地利用景观格局与环境因素的关系对指导土地结构优化、合理利用土地资源等具有重要意义<sup>[3]</sup>。生态环境因子为景观格局的形成与演变提供了背景因素,是导致区域土地利用类型转换的重要驱动因子<sup>[4]</sup>。山区地形条件复杂,导致土壤、日照、温度、降水等生态因子时空变异性较大,决定了土地利用景观格局的空间分异性比较复杂<sup>[5]</sup>。近年来,丘杨、陈利顶、侯世全、岳文泽等<sup>[6-10]</sup>学者利用景观格局指数对景观格局在时间维上进行了大量研究,揭示了土地利用景观格局动态演变机制,但是对景观格局在空间梯度上的变化,尤其是景观类型随环境梯度的分布规律及其相互关系的研究较少。而典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)可以结合多个环境因子同时分析多个环境因子的相关性以及环境因子和景观格局关系<sup>[11-16]</sup>,岳跃民等<sup>[13]</sup>基于CCA排序法研究了土壤和环境的关系,李玉霞等<sup>[15]</sup>用排序法研究了湿地植被与环境的关系,研究证明,CCA排序法可以将结果简单明了地表示在同一排序图上,能够较为客观地反映景观格局分布与环境因子的关系,已在植物群落和环境关系的研究中得到广泛应用。

CCA排序在生态学方面主要用于研究植物群落和环境关系<sup>[3,5,17-21]</sup>,本文引入CCA排序方法对山东省栖霞市土地利用景观格局的时空分异特征及其与环境梯度的关系进行分析,在此基础上研究土地利用景观格局与环境关系随时间的变化情况,以期揭示栖霞市土地利用景观格局在自然环境因素影响下的分异特征,为土地利用格局优化和生态环境建设提供参考依据,为农业结构调整提供理论基础。

## 1 研究区概况

山东省栖霞市位于胶东半岛中部,经纬度为 $120^{\circ}33' \sim 121^{\circ}15'E$ 、 $37^{\circ}05' \sim 37^{\circ}32'N$ ,土地总面积为 $2\,017.7\text{ km}^2$ ,境内群山起伏,丘陵连绵,地形复杂,海拔 $30 \sim 815\text{ m}$ ,大小山峰 $2\,500$ 余座,海拔 $400\text{ m}$ 以上的低山 $118$ 座,属典型山地丘陵地形。地处暖温带湿润半湿润季风气候区,年平均气温 $11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年

降水量 $770\text{ mm}$ 左右,四季分明,光照充足,年日照总时数均值约 $2\,690\text{ h}$ 。

## 2 研究方法与数据处理

利用ERDAS软件,将2003年和2010年两期TM遥感数据,通过遥感解译,获得栖霞市2003年和2010年土地利用景观分布图,以ARCGIS为技术平台,采用网格取样法,提取海拔、坡度、坡向、土壤质地、有机质含量、年日照时数、年积温、年降水量等8个环境因子。利用CANOCO for Windows 4.5软件将环境因子分别与两期土地利用类型数据进行典范对应分析(CCA排序),研究环境因子对景观格局重要性的贡献程度及其随时间的变化。

### 2.1 建立地学数据库

在ERDAS软件中对2003年和2010年栖霞市TM遥感影像图进行遥感解译,得到栖霞市2003年和2010年耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地等7类用地的土地利用景观分布图(图1)。

利用MAPGIS软件,以栖霞市等高距为 $5\text{ m}$ 、比例尺为 $1:2.5 \times 10^6$ 的地形图为数据源,经处理后生成 $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ 分辨率的DEM模型。在ARCGIS平台下,以DEM模型为基础提取海拔、坡度和坡向等地形因子。以2003年4月对63个果园土壤样品的试验测定结果为依据,通过空间插值获取土壤有机质含量,根据栖霞市 $1:1 \times 10^6$ 土壤图和土壤志等资料,提取土壤质地分布图。结合栖霞市19个气象观测站多年气象统计资料,运用多元回归和空间插值方法对 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 年积温、年降水量和年日照时数的空间分布进行高精度模拟<sup>[22-23]</sup>。

### 2.2 网格样点取样

利用ArcTool Box下的Data Management Tools模块,Great Fishnet功能绘制网格,网格单元大小为 $20 \times 20$ 栅格,实际面积为 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ ,得到研究区样点图层,用研究区边界图层进行切割,删除边界线外的样点。对切割后的样点图层按照从左到右,由下至上的原则进行统一编号,形成研究区样点属性数据库,生成 $8\,014$ 个样方。

在Excel表中,形成2003年和2010年样方-土地利用类型面积比例矩阵和样方-环境因子值矩阵。利用CANOCO for Windows 4.5软件中的WCanImp模块,将样方-土地利用类型面积比例矩阵和样方-

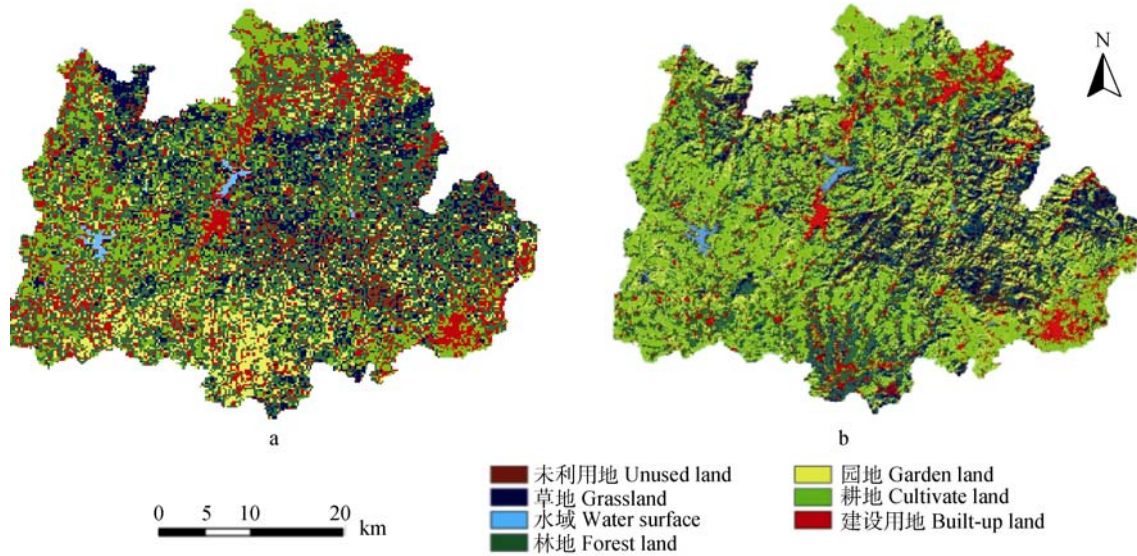


图 1 2003 年(a)和 2010 年(b)山东省栖霞市土地利用景观类型图

Fig. 1 Land-use landscape pattern maps of Qixia City, Shandong Province in 2003 (a) and 2010 (b)

环境因子矩阵转换为软件规定的格式, 分别将两年的 2 个矩阵输入 CANOCO for Windows 4.5 软件中进行 CCA 排序分析。

### 2.3 典范对应分析

典范对应分析是由对应分析 (correspondence analysis, CA) 或叫相互平均 (reciprocal averaging, RA) 修改而成的, 结合了对应分析和多元回归分析<sup>[20]</sup>, 其基本思路是先用 CA/RA 对景观类型数据进行计算, 得到排序坐标值, 再与环境数据线性结合<sup>[21]</sup>, 这样得到的样方排序值既反映了土地利用类型的景观分布特征, 也反映了环境因子对景观格局的影响。应用国际通用的 CANOCO for Windows 4.5 分析软件和与此相关的作图软件对研究区景观数据进行分析<sup>[24]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 排序轴特征值及其与景观因子的相关性分析

特征值是衡量排序轴重要性的指标, 根据各排序轴的特征值可计算出其对景观类型数据方差以及景观-环境关系的解释量<sup>[25]</sup>。由表 1 可见, 两期 CCA 排序的前 4 个排序轴的累积景观-环境解释量分别为 98.8% 和 98.7%, 表明前 4 个排序轴集中了全部排序轴所反映的土地利用景观格局-环境关系的绝大部分信息, 而且呈现减小趋势, 表明从解释量上看, 2003 年优于 2010 年; 但从景观与环境的相关系数可以看出, 2003 年比 2010 年的相关系数大, 表明 2003 年景观数据排序轴与环境数据排序轴的相关性比 2010 年大; 两期的特征值总量为 0.572 和 0.808, 2010 年的特征值明显高于 2003 年, 表明其在描述样地(景观类型)间关系上体现出优越性。

### 3.2 土地利用景观格局与环境相关性分析

图 2 中, 排序轴(即空间的“维”)可以反映一定的生态梯度, 通过排序可以分析环境因子与排序轴的关系, 发现与排序轴相关性较大的环境因子, 也可以较为直观地得到影响土地利用景观格局分布的主要环境因子<sup>[26]</sup>。环境因子与 CCA 排序图中第 1、2 轴的关系中, 箭头表示环境因子, 箭头连线的长短表示环境因子对景观重要性的影响大小, 箭头连线与排序轴的夹角大小表示环境因子与排序轴的相关性大小, 箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间相关性的正负。相互垂直的因子之间相关性不显著, 夹角小于 90° 的因子之间彼此正相关, 大于 90° 的因子彼此负相关<sup>[13]</sup>。

从土地利用类型到代表环境因子的箭头的投影位置用来表示不同用地类型与某种环境因子下的相关性大小, 距离箭头位置越近, 代表该地类与这个环境因子的正相关性越大, 位于箭头另一端的则表示负相关性越大<sup>[27]</sup>。

#### 3.2.1 2003 年土地利用景观格局与环境相关性分析

结合 2003 年环境因子与排序轴的相关系数表(表 2)以及第 1、2 轴的排序图(图 2)分析可知: CCA 排序的第 1 轴主要反映了海拔(0.660 5)、坡度(0.833 8)和日照时数(-0.832 5)的变化, 还可反映出年积温(0.527 1)、年降水量(0.453 1)和土壤质地(-0.437 7)的变化。沿第 1 轴从左到右, 海拔、坡度、年积温和年降水量均呈现增加趋势, 日照时数逐渐缩短, 土壤质地逐渐由轻壤土、砂壤土到中壤土和砂质土变化。

CCA 排序第 2 轴主要反映了海拔(0.099 1)、土壤质地(-0.173 5)和年降水量(-0.174 6)3 个环境因子

表 1 特征值、景观-环境相关系数以及对景观-环境关系解释的累积百分比  
Table 1 Eigenvalues, landscape-environment correlation coefficient and cumulative percentage variance of landscape-environment relation

年份 Year	特征值 Eigenvalue					景观与环境相关系数 Landscape-environment correlations				累积景观-环境解释量 Cumulative percentage variance of landscape-environment relation (%)			
	1	2	3	4	合计 Total	1	2	3	4	1	2	3	4
2003	0.186	0.029	0.014	0.007	0.572	0.922	0.554	0.472	0.339	78.2	90.2	96.0	98.8
2010	0.223	0.047	0.034	0.007	0.808	0.890	0.537	0.595	0.272	70.7	85.8	96.5	98.7

1、2、3、4 表示 CCA 排序图中前 4 个排序轴 1, 2, 3, 4 mean the first four ordination axes in the CCA ordination diagrams, respectively.

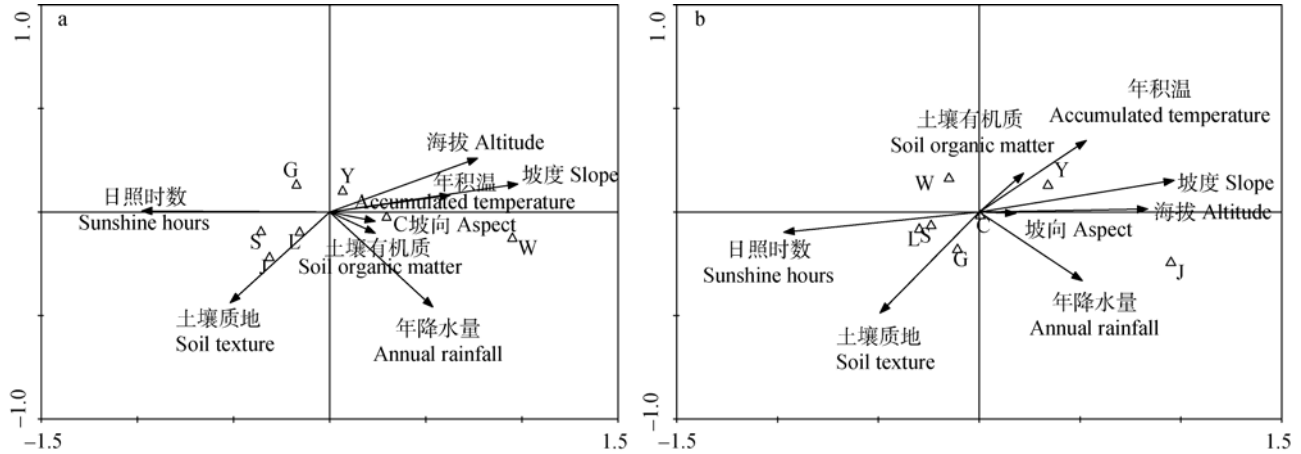


图 2 2003 年(a)和 2010 年(b)土地利用类型-环境因子排序图

Fig. 2 CCA ordination diagrams of land use types/environmental factors in 2003 (a) and 2010 (b)

Y: 园地 Garden land; J: 建设用地 Built-up land; C: 草地 Grassland; G: 耕地 Cultivated land; W: 未利用地 Unused land; L: 林地 Forest land; S: 水域 Water surface.

的变化。沿第 2 轴从下到上, 海拔由低变高, 而年降水量呈减小趋势, 土壤质地逐渐由轻壤土、砂壤土到中壤土和砂质土变化。第 3 轴和第 4 轴所代表的环境意义有所不同, 海拔、坡向、年降水量、有机质和年积温与第 3 轴的相关性较大, 相关系数分别为 0.106 5、0.144 9、-0.223 0、-0.157 4 和 -0.225 5。坡向和第 4 轴关系较大, 相关系数为 -0.175 1。

图 2 中可以看出, 第 1 轴主要代表坡度的变化, 各土地利用类型随坡度变化的规律为: 随着坡度增加, 园地、草地和未利用地的面积逐渐增加, 而且这 3 种土地利用类型与坡度的正相关性逐渐增加。同时, 随着坡度增加而逐渐减少的土地利用类型是建设用地、水域、林地和耕地, 且其与坡度的负相关性逐渐减小。

第 2 轴主要反映的是土地利用类型与年降水量的关系, 随着年降水量的增加而增加的景观类型是未利用地和草地, 且其与年降水量的正相关性逐渐减小; 随着年降水量增加而减少的景观类型是园地、林地、建设用地、水域和耕地, 且负相关性逐渐增大。此外, 排序图上空间距离较近的土地利用类型处于相似的环境中, 因此各土地利用类型之间

的距离可以表示地类分布差异性, 由图 2 可知, 除未利用地外, 其他土地利用类型的分布差异性不大, 其中水域、建设用地、耕地和林地空间差异性最小, 主要是因为人们多依水而居, 耕地距居民点和水域较近, 方便取水、生活和耕作, 而现在多发展种植经济林, 与耕地交叉分布。

### 3.2.2 2010 年土地利用景观格局与环境相关性分析

结合表 2、图 2 分析可知: CCA 排序的第 1 轴主要反映了海拔(0.709 9)、坡度(0.822 2)和日照时数(-0.823 8)的变化, 还可反映出年积温(0.451 1)、年降水量(0.433 9)和土壤质地(-0.418 5)的变化。沿第 1 轴从左到右, 海拔、坡度、年积温和年降水量均呈现增加趋势, 日照时数逐渐缩短, 土壤质地由轻壤土、砂壤土到中壤土和砂质土变化。排序轴第 2 轴主要反映年积温(0.151 0)、土壤质地(-0.213 1)和年降水量(-0.144 9)3 个环境因子的变化。沿第 2 轴从下到上, 年积温由低变高, 而年降水量呈减小趋势, 土壤质地由轻壤土、砂壤土到中壤土和砂质土变化。而海拔、年降水量、有机质和年积温与第 3 轴的相关性较大, 相关系数分别为 0.158 2、-0.213 4、-0.210 4 和 -0.249 0。有机质和坡向与第 4 轴相关性

表 2 2003 年和 2010 年环境因子与典范对应分析前 4 排序轴的相关系数  
Table 2 Correlation coefficients of canonical correspondence analysis for the first four ordination axes with environmental variables in the year of 2003 and 2010

年份 Year	排序轴 Ordination axes	海拔 Altitude	坡度 Slope	坡向 Aspect	年降水量 Annual rainfall	日照时数 Hours of sunshine	土壤质地 Soil texture	土壤有机质 Soil organic matter	年积温 Annual accumulated temperature
2003	1	0.660 5	0.833 8	0.194 9	0.453 1	-0.832 5	-0.437 7	0.197 6	0.527 1
	2	0.099 1	0.056 1	-0.019 6	-0.174 6	0.003 8	-0.173 5	-0.031 0	0.043 1
	3	0.106 5	-0.038 2	0.144 9	-0.223 0	-0.038 8	0.072 0	-0.157 4	-0.225 5
	4	0.073 8	0.013 4	-0.175 1	-0.046 6	0.006 5	0.010 5	0.019 2	-0.072 5
2010	1	0.709 9	0.822 2	0.153 4	0.433 9	-0.823 8	-0.418 5	0.187 1	0.451 1
	2	0.006 1	0.067 1	-0.002 9	-0.144 9	-0.042 4	-0.213 1	0.081 9	0.151 0
	3	0.158 2	-0.034 5	-0.050 5	-0.213 4	0.007 2	-0.037 1	-0.210 4	-0.249 0
	4	0.008 5	0.012 9	0.114 4	0.019 6	-0.001 1	0.012 9	-0.114 0	0.027 5

较大, 相关系数分别为-0.114 0 和 0.114 4。

从图 2 可知, 第 1 轴主要代表坡度和年日照时数的变化, 各土地利用类型沿坡度梯度变化的规律为: 随着坡度增加, 林地、草地和未利用地的面积逐渐增加。水域、建设用地、园地和耕地随坡度变化呈现相反趋势。各土地利用类型随日照时数变化的规律为: 随着年日照时数增加, 水域、建设用地、园地和耕地的面积逐渐增加。而林地、草地和未利用地的面积随着日照时数的增加逐渐减少。

第 2 轴主要反映的是土地利用类型与土壤质地、年积温、年降水量的关系。与土壤质地呈正相关性的是水域、建设用地、园地和林地; 呈负相关性的是耕地、草地和未利用地。随年积温增加而增加的土地利用类型是未利用地、草地、耕地和林地; 呈负相关性的土地利用类型是园地、建设用地和水域。随着年降水量的增加而增加的景观类型是未利用地、草地、园地和林地; 随着年降水量增加而减少的景观类型是建设用地、水域和耕地。

### 3.2.3 2003 年与 2010 年土地利用景观格局与环境关系对比分析

从表 2 和图 2 可以看出, 土地利用类型与各环境因子的关系随时间变化存在差异, 从环境因子与排序轴的相关系数大小可以看出, 对景观格局重要性影响程度最大的是日照时数, 随着时间的变化, 年日照时数与第 1 轴的相关系数分别为-0.832 5 和 -0.823 8, 呈现增大趋势, 由此可以看出年日照时数的变化对土地利用类型的分布影响较大; 随时间变化, 土地利用类型随日照时数的变化规律基本一致, 变化不大。日照时数较长的地区分布的主要是水域和建设用地, 而未利用地和草地主要分布在日照时数较短的地区。

2003 年与 2010 年坡度与第 1 轴的相关系数分别为 0.833 8 和 0.822 2, 随时间变化呈现减小趋势。

在较低坡度上分布较多的都是建设用地和水域, 而较大的坡度上为未利用地, 分析结果与实际情况基本相符。

海拔对景观类型的影响程度也较大, 其与第 1 轴的相关系数依次为: 0.660 5 和 0.709 9。在不同时间尺度上, 各土地利用类型随海拔的变化规律略有调整, 但变化不明显。沿海拔变化的土地利用类型为: 水域、建设用地、耕地、园地、林地、草地、未利用地, 在较高海拔上分布的主要是未利用地, 而建设用地和水域主要分布在海拔较低的地区。其他环境因子与排序轴的相关系数较小。

通过分析环境因子对景观格局的影响程度可知(表 2), 随着时间的变化, 各个环境因子对景观格局类型分布的贡献程度不同, 海拔随时间变化逐渐增大; 其他环境因子均呈现减小趋势。另外从排序图上可以看出, 从 2003 年到 2010 年研究区土地利用景观格局分布情况有微小变化, 但变化不大。

## 4 讨论与结论

CCA 排序将结果简单明了地表示在同一排序图上, 既反映了样方种类组成及生态重要值对群落的作用, 同时也反映了环境因子的影响, CCA 排序图包含大量信息, 本文通过分析发现利用 CCA 典范对应分析, 可以直观、明了地分析随时间变化, 环境因子影响程度的变化, 以及土地利用景观格局的空间分异性, 可以为进一步研究土地利用景观格局与环境之间的关系提供基础数据。

研究结果表明: 通过典范对应分析发现, 不同环境因子对不同土地利用类型的影响程度存在明显差异, 对土地利用景观格局重要性影响比较大的因子主要为日照时数、坡度、海拔、年积温、年降水量和土壤质地。分析 7 种土地利用类型与各环境因

子关系可以得到对土地利用分布格局影响较大的环境因子,从而指导研究区土地资源的合理规划利用,对农业结构调整具有重要的指导意义。从排序图中还可以分析出土地利用景观格局的空间差异性,揭示栖霞市土地利用景观格局分布特征,为土地利用格局优化和农业结构调整提供了参考依据。

通过分析表明,地形因子与其他环境因子之间存在密切相关性,也是影响土地利用分布特征的主要因子,这为解释生态过程的空间演变提供了重要依据。而且,地形因子在反映空间异质性上有着突出的表现力,沈泽昊<sup>[2]</sup>通过研究森林样带植被-环境关系研究也表明,地形特征对生态过程的影响是一个非常重要而且有待深入的研究方向。另外,通过CCA排序可以简单、直接地分析出景观格局随环境梯度的变化特征,弥补了前人主要侧重景观格局随时间维度分布特征的不足。

本文主要分析了2003年和2010年研究区的土地景观格局与环境因子的关系及其对比变化,侧重于景观的格局和时间变化研究,缺乏关于尺度变化的研究。尺度变化对研究结果具有重要影响,有可能对景观格局与环境关系的尺度效应分析具有重大意义。因此,全面、细化、精准地揭示土地利用景观格局和环境因子间的生态关系,还有待于更深入研究。

## 参考文献

- [1] 张峰, 张金屯. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 421-427  
Zhang F, Zhang J T. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou, Lishan Mountain Nature Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(3): 421-427
- [2] 沈泽昊. 山地森林样带植被-环境关系的多尺度研究[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 461-470  
Shen Z H. A multi-scale study on the vegetation-environment relationship of a mountain forest transect[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(4): 461-470
- [3] 张斌, 张金屯, 苏日古嘎, 等. 协惯量分析与典范对应分析在植物群落排序中的应用比较[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 824-851  
Zhang B, Zhang J T, Suriguga, et al. A comparison of co-inertia analysis and canonical correspondence analysis in plant community ordination[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(5): 824-851
- [4] 赵志轩, 张彪, 金鑫, 等. 海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1925-1935  
Zhao Z X, Zhang B, Jin X, et al. Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(7): 1925-1935
- [5] 申卫军, 邬建国, 任海, 等. 空间幅度变化对景观格局分析的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2219-2231  
Shen W J, Wu J G, Ren H, et al. Effects of changing spatial extent on landscape pattern analysis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(11): 2219-2231
- [6] 丘杨, 傅伯杰. 异质景观中水土流失的空间变异与尺度变异[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 330-337  
Qiu Y, Fu B J. Spatial variation and scale variation in soil and water loss in heterogeneous landscape: A review[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(2): 330-337
- [7] 陈利顶, 吕一河, 傅伯杰, 等. 基于模式识别的景观格局分析与尺度转换研究框架[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 663-670  
Chen L D, Lv Y H, Fu B J, et al. A framework on landscape pattern analysis and scale change by using pattern recognition approach[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 663-670
- [8] 李秋华, 韩博平. 基于CCA的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2355-2364  
Li Q H, Han B P. Structure and dynamics of phytoplankton community based CCA analysis in a pumped storage reservoir[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6): 2355-2364
- [9] 侯世全, 刘云, 夏训峰. 小尺度城市边缘区景观格局指数与小气候环境因子的相关性研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3): 188-192  
Hou S Q, Liu Y, Xia X F. Research on relativity between environmental factors and landscape pattern indexes of urban fringe area in small scale[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(3): 188-192
- [10] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究——以城市热环境和植被指数为例[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1450-1460  
Yue W Z, Xu J H, Xu L H. An analysis on eco-environmental effect of urban land use based on remote sensing images: A case study of urban thermal environment and NDVI[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1450-1460
- [11] 李崇巍, 刘丽娟, 孙鹏森, 等. 岷江上游植被格局与环境关系的研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(4): 404-409  
Li C W, Liu L J, Sun P S, et al. A study on the relationship between vegetation pattern and environment in upstream of Minjiang River[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2005, 41(4): 404-409
- [12] 龙花楼, 李秀彬. 长江沿线样带土地利用格局及其影响因素分析[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 417-425  
Long H L, Li X B. Land use pattern in transect of the Yangtze River and its influential factors[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 417-425
- [13] 岳跃民, 王克林, 张伟, 等. 基于典范对应分析的喀斯特峰丛洼地土壤-环境关系研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 243-249  
Yue Y M, Wang K L, Zhang W, et al. Relationships between soil and environment in peak-cluster depression areas of Karst Region based on canonical correspondence analysis[J]. Environmental Science, 2008, 29(5): 243-249
- [14] 索安宁, 洪军, 林勇, 等. 黄土高原景观格局与水土流失关系研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1719-1723  
Suo A N, Hong J, Lin Y, et al. Relationships between soil and

- water loss and landscape pattern on loess plateau[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(9): 1719–1723
- [15] 李玉霞, 周华荣. 干旱区湿地景观植物群落与环境因子的关系[J]. *生态与农村环境学报*, 2011, 27(6): 43–49  
Li Y X, Zhou H R. Relationship between wetland landscape plant communities and environment factors in arid zone[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(6): 43–49
- [16] 唐艳凌, 章光新. 流域单元景观格局与农业非点源污染的关系[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(4): 740–746  
Tang Y L, Zhang G X. Relationships between watershed unit landscape pattern and agricultural non-point source pollution[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(4): 740–746
- [17] 吴璐璐, 季梦成, 严雄梁, 等. 阳际峰自然保护区地面苔藓植物分布与环境因子关系研究[J]. *武汉植物学研究*, 2010, 28(3): 324–329  
Wu L L, Ji M C, Yan X L, et al. Study on the relationships between terrestrial bryophytes and environmental factors in Yangjifeng Nature Reserve, China[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2010, 28(3): 324–329
- [18] 刘秋锋, 康慕谊, 刘全儒, 等. 中条山东段森林乔木树种分布的环境梯度分析与种组划分[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(11): 1306–1311  
Liu Q F, Kang M Y, Liu Q R, et al. Environmental gradient analysis and species group division of tree species distribution in eastern Zhongtiao Mountain[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(11): 1306–1311
- [19] 张元明, 陈亚宁, 张道远. 塔里木河中游植物群落与环境因子的关系[J]. *地理学报*, 2003, 58(1): 109–118  
Zhang Y M, Chen Y N, Zhang D Y. Plant communities and their interpretations with environmental factors in the middle reaches of the Tarim River[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 109–118
- [20] 冯纛, 张元明, 潘伯荣. 天山北坡中段草地类型的生态梯度组合格局与环境分析研究[J]. *干旱区地理*, 2006, 9(2): 237–243  
Feng Y, Zhang Y M, Pan B R. Grassland types with environmental relations in middle zone of northern slope of Tianshan Mountains[J]. *Arid Land Geography*, 2006, 9(2): 237–243
- [21] 寇思勇, 赵成义, 李军, 等. 塔里木河干流荒漠河岸林植物群落多元分析及其土壤环境解释[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(3): 156–161  
Kou S Y, Zhao C Y, Li J, et al. Multivariate analysis and soil-environmental interpretation for plant communities of desert riparian forest in mainstream of Tarim River[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(3): 156–161
- [22] 赵东娟, 齐伟, 赵胜亭, 等. 基于 GIS 的山区县域土地利用格局优化研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(2): 101–106  
Zhao D J, Qi W, Zhao S T, et al. Land use pattern optimization in mountainous areas at county level based on GIS[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(2): 101–106
- [23] 曲衍波, 齐伟, 赵胜亭, 等. 胶东山区县域优质苹果生态适宜性评价及潜力分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(6): 109–114  
Qu Y B, Qi W, Zhao S T, et al. Ecological suitability evaluation and potential analysis of top-quality apple in Jiaodong Mountainous Areas at county level[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(6): 109–114
- [24] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 等. 环境因子对大亚湾人工鱼礁上附着生物分布的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(8): 4053–4060  
Zhang W, Li C H, Jia X P, et al. Canonical correspondence analysis between attaching organisms and environmental factors on artificial reef in the Daya Bay[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4053–4060
- [25] Ter Braak C J F. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis[J]. *Vegetatio*, 1987, 69(1/3): 69–77
- [26] 朱源, 康慕谊. 排序和广义线性模型与广义可加模型在植物种与环境关系研究中的应用[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(7): 807–811  
Zhu Y, Kang M Y. Application of ordination and GLM/GAM in the research of the relationship between plant species and environment[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(7): 807–811
- [27] 游魏斌, 林巧香, 何东进, 等. 天宝岩自然保护区森林景观格局与环境关系的尺度效应分析[J]. *应用与环境生物学报*, 2011, 17(5): 638–644  
You W B, Lin Q X, He D J, et al. Scale effect of relationship between forest landscape pattern and environmental factors in the Tianbaoyan Nature Reserve, China[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2011, 17(5): 638–644