

# 耕地景观生态安全评价方法及其应用

裴欢<sup>1</sup>, 魏勇<sup>2</sup>, 王晓妍<sup>1</sup>, 覃志豪<sup>3</sup>, 侯春良<sup>1</sup>

(1. 燕山大学信息科学与工程学院, 秦皇岛 066004; 2. 燕山大学里仁学院, 秦皇岛 066004;  
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100101)

**摘要:** 耕地作为重要战略资源, 其生态安全关系到区域稳定及社会可持续发展。该研究以秦皇岛东北部低山丘陵及东部沿海耕地景观为研究对象, 以景观生态学及生态安全理论为依据, 构建耕地景观生态安全评价模型, 利用1990年、2000年和2010年3期TM(ETM+)遥感影像, 对研究区耕地景观生态安全进行综合评价, 并对生态安全格局、重心演变及其驱动力进行分析。结果表明: 研究区耕地景观生态安全不断降低, 耕地景观生态安全指数从1993年的0.63下降为2000年的0.50, 低山丘陵区的耕地破碎化更为严重, 其生态安全低于沿海区域; 研究区域耕地景观生态安全格局变化明显, 1993-2000年, Ⅰ级区基本无变化, Ⅱ级区相互转化, 2000-2010年, Ⅰ级区和Ⅱ级区均出现了扩展, 大部分由Ⅱ级区转化而来; 近20a来, 耕地景观生态安全重心逐渐向秦皇岛市相邻区域靠近, 沿海地区耕地景观生态安全明显增强。降雨量及径流量的减少、人口及经济增长以及土地利用政策是耕地景观生态安全格局变化主要驱动因素。

**关键词:** 土地利用; 农村地区; 生态; 耕地; 景观生态安全; 驱动因素; 秦皇岛

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.09.026

中图分类号: F301.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-09-0212-08

裴欢, 魏勇, 王晓妍, 等. 耕地景观生态安全评价方法及其应用[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 212-219.

Pei Huan, Wei Yong, Wang Xiaoyan, et al. Method of cultivated land landscape ecological security evaluation and its application[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(9): 212-219. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

生态安全是指维护人类社会可持续发展所需的生态环境受自然因素和人类活动以及二者共同作用而产生的生态安全隐患, 对人类生态安全空间暂未构成破坏与威胁的状态或演变趋势的可能性<sup>[1-2]</sup>。生态安全包括国土资源安全、生物安全、生态系统安全、环境与健康安全等<sup>[3]</sup>。近年来, 人类社会与生态环境交互不断深入, 产生了诸如环境污染、土地退化、生物多样性减少等一系列全球性和区域性的生态安全问题。生态安全已关系到人类生存和社会发展, 已成为了当前研究的热点<sup>[4-5]</sup>。耕地是土地资源的精华, 其数量、质量对于保障国家粮食安全和维护社会经济稳定持续发展具有非常重要的意义<sup>[6-7]</sup>。

随着人类对耕地资源利用强度的增加, 耕地资源的稀缺性增强, 耕地系统所受压力及脆弱性日益增强, 其生态安全成为亟待解决的问题。国内外针对城市、流域、山地等各种景观的生态安全性进行了研究与论证, 所用方法主要包括综合指数分析法、层次分析法、主成分投影法、模糊物元模型及正态云模型等<sup>[8-14]</sup>。现有对耕地生态安全问题的研究主要集中在耕地生态安全评价指标选取及评价模型构建<sup>[15-16]</sup>、生态安全现状评价与格局分析<sup>[17-18]</sup>以及变化趋势模拟<sup>[19]</sup>等方面。评价指标的选取主要集中在社会、经济及自然要素, 如耕地利用率、有机质、景观多样性指数、污染指数、农民人均收入、水土流失等。

景观生态学将生态学中结构与功能的关系研究与地理学中人地相互关系研究融为一体, 为地学复杂问题的综合研究提供了一个有力的工具, 将景观生态学原理与分析方法应用到生态安全评价中, 可充分发挥景观结构组分易于保存信息的优势, 还可基于不同尺度研究生态安全现状及动态演变趋势, 对掌握区域生态安全格局及演变具有重要意义。目前, 基于景观格局的生态安全评价得到了广

收稿日期: 2013-11-26 修订日期: 2014-04-14

基金项目: 河北省自然科学基金项目(D2014203218); 国家973项目(2010CB951504)资助; 河北省科技支撑计划项目(12277637)

作者简介: 裴欢(1982-), 女, 甘肃民勤县人, 博士, 讲师, 研究方向为生态系统脆弱性。秦皇岛 燕山大学信息科学与工程学院, 066004。Email: 1982197950@163.com

通信作者: 覃志豪(1962-), 男, 广西南宁人, 博士, 研究员。主要研究方向为农业灾害机理, 热红外遥感。北京 中国农业科学院农业资源与区划研究所, 100101。Email: qinzh@caas.net.cn

泛应用,如虞继进等<sup>[20]</sup>应用建筑用地指数、归一化植被指数、生物丰度指数等对福建省龙岩城市景观生态安全进行了评价;杨青生等<sup>[21]</sup>选择人口密度、景观斑块密度、景观脆弱度等指标构建综合景观生态安全指数对东莞市景观生态安全进行了分析;Zhang 等<sup>[22]</sup>运用景观聚集度、破碎度以及分离度指数构建生态安全指数对元河流域进行了生态安全评价。这些研究为基于景观格局的生态安全评价提供了基本方法和思路,丰富了生态安全评价的理论及方法体系。耕地景观生态安全与其他系统生态安全研究具有一致的目标与内涵,其从耕地景观内部结构及相互作用关系出发,分析耕地景观格局对生态安全的影响,对区域耕地系统的生态安全格局及演变进行分析,以寻求解决区域生态环境问题的对策。另外,生态安全不是瞬间结果,而是一个动态过程,因此对生态安全演变的分析应是生态安全研究的重点内容。

秦皇岛作为中国首批优秀旅游城市,对生态安全具有较高要求。随着旅游资源的不断开发以及城市的扩展,耕地景观结构发生了明显变化,其景观生态安全格局也随之有所转变。特别是东部沿海区域,人类开发活动频繁,对耕地景观产生了较大影响,生态安全格局与驱动机制研究越来越引起重视。本研究河北省沿海城市秦皇岛东部沿海区域为例,基于景观生态安全理论与方法,选择代表耕地结构、形状的景观格局指数构建耕地生态景观安全评价模型。在此基础上,综合运用遥感技术及GIS空间分析技术,对研究区1993-2010年间耕地景观生态安全格局演变及变化机制进行分析,以期为区域耕地管理政策的制定以及保障耕地资源可持续利用提供科学依据。

## 1 研究区概况

秦皇岛位于河北省东北部,地处 $118^{\circ}33' \sim 119^{\circ}51'E$ , $39^{\circ}24' \sim 40^{\circ}37'N$ 之内(见图1)。辖山海关,北戴河及海港区3个城市区和抚宁、昌黎、卢龙、青龙满族自治县4个县,土地总面积 $7\ 812.4\text{ km}^2$ ,占河北省土地面积的4.15%。秦皇岛南临渤海,海岸线 $162.7\text{ km}$ ,因受海洋影响较大,气候比较温和,年均气温 $11.2$ ,年降雨量 $551.7\text{ mm}$ ,属于温带季风气候,具有得天独厚的农作物种植条件。然而,由于长期不合理的耕作方式,耕地以中低产田为主,有机质含量低,农药、化肥的持续使用造成土地板结化,地力下降,总体质量不高。特别是北部山区和中部山地丘陵区耕地分布零散,不利于机械化生产,农业生产效率低。1996-2005年全市人均

耕地从 $760\text{ m}^2$ 减少到 $653.34\text{ m}^2$ ,低于全国和河北省平均水平( $933.34\text{ m}^2$ ),人均耕地占有量小,耕地保护压力大。本研究选择秦皇岛东北部抚宁县及秦皇岛市辖区为研究区域,以抚宁县11个乡镇,包括驻操营、石门寨、大新寨、台营、茶棚、抚宁、牛头崖、榆关、留守营、深河、杜庄及秦皇岛市辖区为研究单元。该区域地貌类型多样,地势北高南低,呈现出山地-丘陵-平原-海岸滩涂阶梯分布,延伸到海。

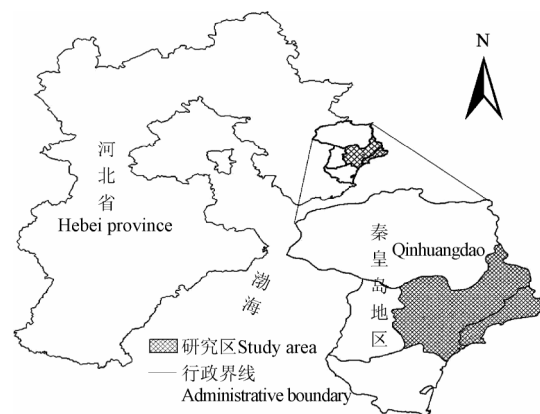


图1 研究区区域位置示意图

Fig.1 Sketch map of location of study area

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本文所用的数据包括研究区1993年8月及2010年9月的landsat 5 TM影像,2000年9月的landsat 7 ETM+影像,3个时期的数据具有较好的时相统一,保证遥感解译结果的对比性。另外获取了研究区土地利用分类图,用于遥感影像分类结果的验证。气象及社会经济统计数据来源于2010年秦皇岛市统计年鉴及社会经济统计公报。

### 2.2 遥感数据的解译与精度分析

首先对遥感图像进行格式转换、波段叠加、图像增强和图像裁剪等预处理。根据《土地利用分类》国家标准定义分类模板,对研究区域采用一级分类,将研究区分为耕地、林地、草地、水体、居民地、未利用地和其他7大类。结合Google earth 高清影像以及研究区土地利用矢量图,建立合适的解译标志,采用最大似然分类对研究区3期影像进行了分类,图2为遥感影像分类图。精度的验证以Google earth 及相关的历史图集资料为基准,随机选择了1000个点为验证点,计算Kappa系数及分类总精度。结果表明1993年、2000年、2010年的遥感分类Kappa系数分别为0.73、0.79、0.80,分类总精度分别为78.67%、80.64%、80.92%,分类精度能够满足研究需要。

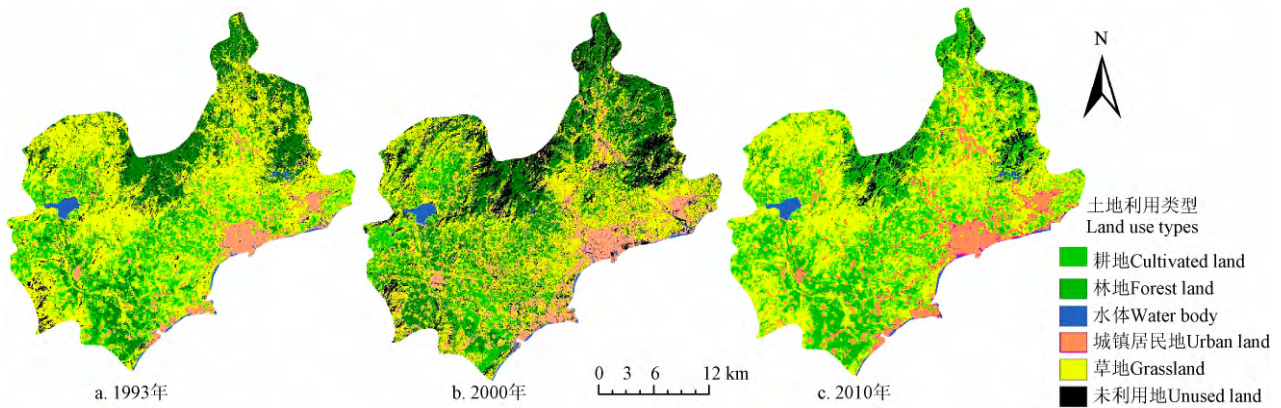


图2 研究区遥感影像分类图

Fig.1 Map of remote sensing image classification of study area

### 2.3 耕地景观生态安全评价模型构建

景观指数指能够高度概括景观格局信息,反映结构组成和空间配置等方面特征的简单定量指标,这些定量指标信息含量高、说明功能强,正被广泛应用于目前的景观安全评价中。耕地景观生态安全指在长期的自然或人为的干扰下,导致耕地景观生态环境由单一向复杂、均质向异质、连续向不连续变化,干扰的程度越大,景观生态环境的安全程度就越低。本研究借鉴已有研究成果<sup>[23-24]</sup>,从斑块类型水平和景观水平上进行分析,选取反映耕地结构、形状的景观格局指数,涉及到的景观格局指数及其生态学意义如下:

1) 边界破碎度 (edge density, ED): 用于揭示景观或类型被边界分割的程度,是景观破碎化程度的直接反映。

2) 破碎度 (patch density, PD): 表征景观被分割的破碎程度,在一定程度反映人为对景观的干扰强度。破碎度越大,景观安全性越小。

3) 面积加权平均形状因子 (area weighted mean shape index, AWMSI): 是度量景观空间格局复杂性的重要指标之一,直接影响耕地利用和管理的方便程度及利用效率。其值越大,耕地利用效率越低。

4) 分离度 (division,  $D$ ): 用于揭示景观类型中斑块个体的分离程度。 $D$  值越大,斑块分离性越高,抵御风险的能力越小,景观安全性越低。

5) 分维数 (fractal dimension,  $F$ ): 反映了在一定的观测尺度上,斑块和景观格局的复杂程度,也反映了人类活动对景观格局的影响。分维数理论值范围常在 1~2 之间,越接近 2,代表一种自相关为 0 的随机布朗运动的形状,处于最不稳定的状态。

6) 景观脆弱度 (vulnerability,  $V$ ): 某种景观类型受到外界干扰超出自身的调节能力而表现出对干扰的敏感程度。景观脆弱度越大,表明景观受

外界的干扰程度越大,敏感性越高,抵御风险的能力越小,景观安全性越小。

综合上述各个景观指数的生态学意义,选择反映耕地生产效率、稳定度及恢复力的景观格局指数建立脆弱度模型,公式如下:

$$V = \alpha \times AWMSI + \beta \times F + \gamma \times D \quad (1)$$

式中: $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为因子的权重;AWMSI 为面积加权的平均形状因子; $F$  为分维数; $D$  为分离度。对耕地景观脆弱度的权重取值采用层次分析法,确定  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别为 0.59、0.28、0.13。

本文以国内外研究成果为基础<sup>[18,20]</sup>,充分考虑耕地景观特点,结合研究区域特征,构建耕地景观生态安全评价模型。该模型以景观脆弱度、边界破碎度和景观类型破碎度为变量,同时为了使得评价结果具有可比性,模型所得结果位于 0~1 之间。公式如下:

$$ES = 1 - [(PD + ED) \times 2.5V] \quad (2)$$

式中:ES 为景观生态安全指数;ED 为景观类型边界破碎度;PD 为景观类型破碎度; $V$  为景观脆弱度。

### 2.4 耕地景观生态安全重心变化

耕地景观生态安全格局的不均衡,会在空间分布的平面上产生一个分布重心。本研究从景观生态安全格局空间分布重心的角度,采用平均重心法计算重心分布,进一步分析研究区域耕地景观生态安全格局的变化情况<sup>[25]</sup>。景观生态安全格局空间分布重心计算公式为:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (3)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (4)$$

式中: $X$ 、 $Y$  分别为研究区耕地景观生态安全分布重心坐标; $C_i$  表示第  $i$  个研究单元的耕地景观生态安全指数; $X_i$ 、 $Y_i$  分别表示第  $i$  个评价单元的重心坐标。

### 3 结果与分析

#### 3.1 耕地景观生态安全总体特征

计算了 3 个时期耕地景观平均生态安全指数，如表 1 所示。结果表明，研究区耕地景观生态安全性不断降低，1993 年研究区耕地景观平均生态安全指数为 0.63，到 2000 年下降到 0.60，2010 年继续减小，下降到 0.50。近年来随着人为干扰强度的日

益加大，耕地破碎度增加，破碎度从 1993 年的 0.12 增加大 2010 的 0.15，耕地斑块形状也愈加不规则，面积加权平均形状因子从 1993 年的 0.42 增加大 2010 的 0.58，耕地的管理难度增加，整体脆弱性增加。抚宁县 3 个时期的耕地景观平均安全指数分别为 0.61、0.59 和 0.47，均低于整个研究区及秦皇岛市区平均安全指数，低山丘陵区的耕地破碎化更严重，景观安全性亦更低。

表 1 1993 年、2000 年及 2010 年研究区各研究单元景观格局指数计算结果

Table 1 Results of landscape pattern indexes for each study unit of study area in 1993, 2000 and 2010

| 评价单元<br>Evaluation unit | 1993 年 |      |       |      |      | 2000 年 |      |       |      |      | 2010 年 |      |       |      |      |
|-------------------------|--------|------|-------|------|------|--------|------|-------|------|------|--------|------|-------|------|------|
|                         | PD     | ED   | AWMSI | V    | ES   | PD     | ED   | AWMSI | V    | ES   | PD     | ED   | AWMSI | V    | ES   |
| 驻操营                     | 0.09   | 0.11 | 0.38  | 0.52 | 0.74 | 0.12   | 0.16 | 0.60  | 0.62 | 0.56 | 0.14   | 0.16 | 0.60  | 0.67 | 0.50 |
| 石门寨                     | 0.16   | 0.18 | 0.50  | 0.64 | 0.46 | 0.09   | 0.08 | 0.50  | 0.57 | 0.76 | 0.12   | 0.12 | 0.48  | 0.59 | 0.65 |
| 大新寨                     | 0.20   | 0.24 | 0.74  | 0.76 | 0.16 | 0.20   | 0.18 | 0.76  | 0.78 | 0.25 | 0.20   | 0.20 | 0.81  | 0.81 | 0.19 |
| 台营                      | 0.14   | 0.12 | 0.45  | 0.60 | 0.61 | 0.09   | 0.10 | 0.37  | 0.55 | 0.74 | 0.10   | 0.11 | 0.49  | 0.60 | 0.68 |
| 茶棚                      | 0.02   | 0.06 | 0.23  | 0.46 | 0.91 | 0.13   | 0.21 | 0.64  | 0.63 | 0.46 | 0.17   | 0.16 | 0.77  | 0.76 | 0.37 |
| 抚宁                      | 0.13   | 0.11 | 0.40  | 0.58 | 0.65 | 0.10   | 0.09 | 0.47  | 0.61 | 0.71 | 0.21   | 0.17 | 0.87  | 0.82 | 0.22 |
| 牛头崖                     | 0.13   | 0.13 | 0.41  | 0.57 | 0.63 | 0.18   | 0.18 | 0.68  | 0.72 | 0.35 | 0.13   | 0.12 | 0.59  | 0.64 | 0.60 |
| 榆关                      | 0.04   | 0.10 | 0.27  | 0.50 | 0.82 | 0.07   | 0.07 | 0.19  | 0.41 | 0.86 | 0.21   | 0.18 | 0.23  | 0.83 | 0.20 |
| 留守营                     | 0.13   | 0.12 | 0.42  | 0.58 | 0.64 | 0.12   | 0.17 | 0.58  | 0.60 | 0.57 | 0.13   | 0.16 | 0.65  | 0.65 | 0.53 |
| 深河                      | 0.13   | 0.17 | 0.49  | 0.62 | 0.54 | 0.14   | 0.11 | 0.51  | 0.60 | 0.63 | 0.16   | 0.12 | 0.54  | 0.62 | 0.57 |
| 杜庄                      | 0.15   | 0.17 | 0.45  | 0.59 | 0.53 | 0.15   | 0.12 | 0.58  | 0.59 | 0.60 | 0.17   | 0.08 | 0.59  | 0.61 | 0.62 |
| 秦皇岛                     | 0.06   | 0.06 | 0.35  | 0.55 | 0.83 | 0.09   | 0.12 | 0.54  | 0.63 | 0.67 | 0.05   | 0.02 | 0.32  | 0.52 | 0.91 |
| 抚宁县                     | 0.12   | 0.14 | 0.43  | 0.58 | 0.61 | 0.13   | 0.13 | 0.53  | 0.61 | 0.59 | 0.16   | 0.14 | 0.60  | 0.69 | 0.47 |
| 平均值                     | 0.12   | 0.13 | 0.42  | 0.58 | 0.63 | 0.12   | 0.13 | 0.54  | 0.61 | 0.60 | 0.15   | 0.13 | 0.58  | 0.68 | 0.50 |

注：PD 为景观类型破碎度；ED 为景观类型边界破碎度；AWMSI 为面积加权平均形状因子；V 为景观脆弱度；ES 为景观生态安全指数。  
Note : PD is patch density; ED is edge density; AWMSI is area weighted mean shape index; V is Vulnerability and ES is ecological security.

#### 3.2 耕地景观生态演变特点

对 3 个时期耕地景观安全指数进行 Natural Break 分级，结合分级结果，将景观安全指数分为 3 个级别：Ⅰ级区 (ES ≤ 0.3)，Ⅱ级区 (0.3 < ES ≤ 0.65)，Ⅲ级区 (0.65 < ES ≤ 1)。分级结果如图 3 所示。由图 3 可知，研究区 3 个时期耕地景观生态安全格局

差异显著，1993 年耕地景观生态安全 Ⅰ级区主要分布在研究区北部地区的大新寨镇，Ⅱ级区所占面积最大，呈连片状分布，主要分布在研究区东北部地区的石门寨以及向西南延生，形成带状区域；Ⅲ级区分布比较散，如中部的榆关镇，西部的茶棚乡以及沿海的秦皇岛市区。

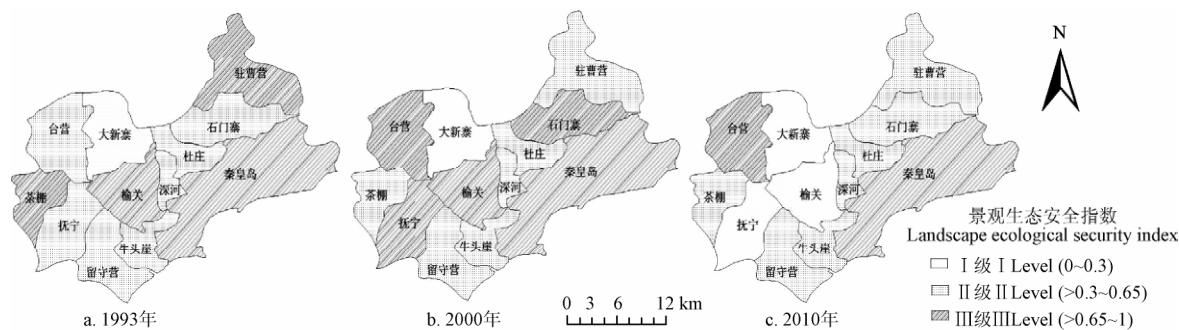


图 3 研究区耕地景观生态安全分级图

Fig.3 Grading map of landscape ecological security of study area

1993 - 2000 年研究区域耕地景观生态安全格局变化的主要特征为：Ⅰ级区基本无变化，主要还是分布在大新寨镇。Ⅱ级区变化比较显著，两级区域相互转化，台营镇、抚宁镇和石门寨镇由原来的Ⅱ级区转化为Ⅲ级区，驻操营镇与茶棚乡由原来的Ⅲ级区转化为Ⅱ级区。耕地景观生态安全级别的转化一方面是由于一系列的土地整治措施，如平整耕地、改造农居等，减少了优质耕地内零星、闲置地的斑块数量，有效改善了耕地破碎化程度，增加了耕地景观生态安全。另一方面，人地关系的不均衡及小城镇的扩张又使耕地破碎化加大，两者相互作用最终使得耕地景观生态安全发生变化。

2000 - 2010 年，Ⅱ级区和Ⅲ级区均出现了扩展，大部分由Ⅲ级区转化而来，耕地景观生态安全Ⅱ级区的范围明显缩小，榆关镇和抚宁镇由Ⅲ级区转化为Ⅱ级区。2 个镇距抚宁县城近，避免不了耕地面积逐渐减少，人地矛盾更加突出。另外，研究表明，耕地整理强度加大，需要整理的地块越多，对耕地景观的干扰强度也就越大，使得破碎化程度增强，耕地景观生态安全度降低，其对耕地生态安全的影响起到双刃剑的作用<sup>[26]</sup>。

### 3.3 耕地景观生态安全重心变化

进一步分析研究区耕地景观生态安全格局的变化，计算了耕地景观生态安全重心并生成重心转移图，如图 4 所示。可以看出，1993 - 2000 年研究区域耕地景观生态安全格局的重心向东北方向转移，转移距离为 1 446.67 m，2000 - 2010 年重心继续向偏东方向转移，转移距离为 4 004.87 m。可见，耕地景观生态安全重心逐渐向秦皇岛市相邻区域靠近，土地整治使耕地景观破碎度明显下降，沿海地区耕地景观生态安全性明显增强。

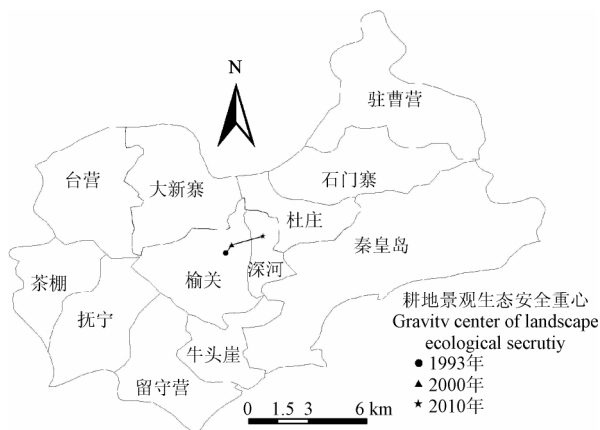


图 4 研究区耕地景观生态安全重心转移图

Fig.4 Gravity center transferring map of landscape ecological security in study area

### 3.4 耕地景观生态安全变化驱动因素

景观生态安全的变化是多重因素综合作用的结果，自然和社会经济因素共同驱动着耕地景观格局的演变。对于秦皇岛沿海地区来说，自然因素主要是降水量的急剧减少和由此导致的径流量的变化。社会经济因素主要是人口及经济的增长以及土地利用政策的深远影响。

1) 降水量的逐年减少是耕地景观生态安全变化的主要驱动因素。统计了 1993 - 2010 年秦皇岛地区降水量变化情况，结果显示，秦皇岛市多年平均降水量逐年减少，从 1993 年的 600 mm 下降到 2010 年的不足 200 mm，总的变化趋势是从北部山区向南部沿海逐渐减少。降水量的减少，导致土地干旱，水田面积大幅度减少，耕地面积严重缩减，农作物种类减少，耕地类型交替导致耕地景观的稳定度下降，生态安全整体下降。

2) 河流径流量的减少是耕地景观生态安全格局变化的直接动因。气候变暖和降水量的逐年降低，使河流径流也明显减少，其幅度超过了 30%。河流径流减少给耕地生态系统带来广泛复杂的影响，不仅使耕地面积锐减，而且使耕地系统变得脆弱。有研究表明，到河流的距离是耕地景观演变的主要原因<sup>[27]</sup>，河流流量的减少甚至干涸，使得分布于河流附近的耕地不断缩减，连片耕地变得更加破碎，形状更加复杂，导致景观安全程度下降。研究区耕地景观破碎度由 1993 年的 0.12 上升到 2010 年的 0.15，耕地边界复杂度也有所增加，3 个时期的 AWMSI 值分别为 0.42、0.54 和 0.58。随着区域内几条主要河流如大石河、戴河等的径流量的不断减少，这些和所经过的地区的耕地景观格局变化显著，这一现象在位于中部地区的抚宁镇附近表现的尤为突出。

3) 人口的增长及经济的快速发展加快了耕地景观生态安全的变化。秦皇岛人口增长非常迅速，从 1999 - 2010 年 10 a 内共增加 20 万人，增长了 7.27%，年平均增长率达到 0.7%。耕地景观格局变化与人口增长之间有明显的联系，人口增多，居民地面积急剧增加，部分增加面积由耕地转化而来。在人口密集区，人口数量的增多还导致土地利用程度加深，耕地破碎度的增大，安全性降低，这在人地关系紧张的抚宁镇表现尤为明显。另外，经济的快速发展带动了城市化的进程，独立工矿、二三产业用地的增加破坏了耕地的连续性，也影响了拥有耕地的农户的耕作行为。

4) 农业科技水平的提高及土地利用政策对耕地景观生态安全格局的变化具有深远影响。随着农业技术水平的提高，农户开始寻找提高收入的新的耕

地经营方式，由传统的农作物种植逐渐向相对利益较高的园地、坑塘等用地类型转变，致使耕地面积减少，耕地格局发生改变。耕地面积缩减的同时，耕地连接度下降，分离度增加，导致景观安全程度下降。

土地利用政策是影响耕地细碎化程度的非确定性外部因素，1980 年以来中国在实行家庭联产承包责任制后，各地采用了对耕地在数量上按人口均分，在质量上远近搭配的做法。考虑耕地等级（土壤类型、道路通达状况、灌排方便程度）进行分配必然会引起一户经营多个地块的现象，而按人口均分则引起地块大小分布不均和地块间的相互穿插，两者共同导致农户土地经营分散化、细碎化，耕地景观生态安全性降低。直到 2001 年中国实施了严格有效地耕地保护政策，尤其是一定规模基本农田保护区的建立，在一定程度上抑制了耕地的细碎化程度，促进了土地的规模经营，对耕地景观生态安全的提高起到了促进作用。

#### 4 结论与讨论

通过分析秦皇岛耕地景观生态安全格局及动态变化特征，可得到如下结论：

1) 研究区耕地景观结构变化导致景观生态安全程度在时空分布特征差异性较强，低山丘陵区耕地景观生态安全程度低于沿海区域。在这 17a 期间，耕地景观生态安全程度呈下降趋势，其值从 1993 年的 0.63 下降到 2010 年的 0.50，并且不同等级区域转化显著。耕地景观生态安全重心逐渐向秦皇岛市相邻区域靠近，沿海地区耕地景观生态安全性明显增强。

2) 自然因素及经济因素共同驱动着研究区耕地景观生态安全格局的演变，降雨量及径流量减少，导致耕地面积严重缩减，农作物种类减少，破碎度增加，最终导致研究区内耕地景观生态安全性整体下降。人口的增长及经济的快速发展加快了城乡部地区耕地细碎化程度，耕地的平均分配也导致了耕地破碎化，共同影响了耕地景观生态安全。

3) 人类开发活动主要在景观层次上进行，耕地景观格局的变化必然会引起耕地质量及利用效率的改变。因此，对于耕地生态安全来说，基于耕地景观形状及结构构建评价模型研究生态安全是可行的。本研究运用景观格局指数描述耕地景观结构，并构建耕地景观生态安全模型进行实证分析，这对于其他类型的景观生态安全研究也具有一定的示范应用价值。

由于缺少相应的数据，对耕地景观生态安全驱动因素分析仅进行了定性的探讨，今后可采用数理

统计法揭示耕地景观生态安全演变的驱动机制，为区域未来耕地保护、土地综合整治项目的顺利开展，农用地的布局提供参与与借鉴。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王耕, 王利, 吴伟. 区域生态安全概念及评价体系的再认识[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 1627 - 1637.  
Wang Geng, Wang Li, Wu Wei. Recognition on regional ecological security definition and assessment system[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(4): 1627 - 1637. (in Chinese with English abstract)
- [2] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6305 - 6310.  
Xie Hualin. Review and the outlook of land use ecological security pattern[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6305 - 6310. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘喜韬, 鲍艳, 胡振琪, 等. 闭矿后矿区土地复垦生态安全评价研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 102 - 106.  
Liu Xitao, Bao Yan, Hu Zhenqi, et al. Ecological security assessment of land reclamation for mine areas after mine closure[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(8): 102 - 106. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李月臣. 中国北方 13 省市生态安全动态变化分析[J]. 地理研究, 2008, 27(5): 1150 - 1160.  
Li Yuechen. The dynamic change of ecological security in northern China[J]. Geographical Research, 2008, 27(5): 1150 - 1160. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李中才, 刘林德, 孙玉峰, 等. 基于 PSR 方法的区域生态安全评价[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6495 - 6503.  
Li Zhongcai, Liu Linde, Sun Yufeng, et al. Assessment method of regional ecological security based on pressure-state-response model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(23): 6495 - 6503. (in Chinese with English abstract)
- [6] 石淑芹, 陈佑启, 姚艳敏, 等. 东北地区耕地自然质量与利用质量评价[J]. 资源科学, 2008, 30(3): 378 - 384.  
Shi Shuqin, Chen Youqi, Yao Yanmin, et al. Assessing natural quality and use quality of cultivated land in northeast China[J]. Resources Science, 2008, 30(3): 378 - 384. (in Chinese with English abstract)
- [7] 孔祥斌, 刘灵伟, 秦静. 基于农户土地利用行为的北京大兴区耕地质量评价[J]. 地理学报, 2008, 63(8): 856 - 868.  
Kong Xiangbin, Liu Linwei, Qin Jing. Arable land evaluation based on the household land use behavior in Daxing district of Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(8): 856 - 868. (in Chinese with English abstract)
- [8] 龚建周, 夏北成, 刘彦随. 基于空间统计学方法的广州市生态安全空间异质性研究[J]. 生态学报, 2010, 30(20): 5626 - 5634.  
Gong Jianzhou, Xia Beicheng, Liu Yansui. Study on spatial temporal heterogeneities of urban ecological security of Guangzhou based on spatial statistics[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(20): 5626 - 5634. (in Chinese with English abstract)

- [9] 钟祥浩, 刘淑珍, 王小丹, 等. 西藏高原生态安全研究[J]. 山地学报, 2010, 28(1): 1 - 10.  
Zhong Xianghao, Liu Shuzheng, Wang Xiaodan, et al. Research of ecological security on the Tibet Plateau[J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(1): 1 - 10. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王娟, 崔保山, 姚华荣, 等. 纵向岭谷区澜沧江流域景观生态安全时空分异特征[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1681 - 1690.  
Wang Juan, Cui Baoshan, Yao Huarong, et al. The temporal and spatial characteristic of landscape ecological security at Lancang River watershed of longitudinal range gorge region in southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1681 - 1690. (in Chinese with English abstract)
- [11] Su Shiliang, Li Dan, Yu Xiang, et al. Assessing land ecological security in Shanghai(China) based on catastrophe theory[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2011, 25(6): 737 - 746.
- [12] 黄辉玲, 罗文斌, 吴次芳, 等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 316 - 322.  
Huang Huiling, Luo Wenbin, Wu Cifang, et al. Evaluation of land eco-security based on matter element analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(3): 316 - 322. (in Chinese with English abstract)
- [13] 余健, 房莉, 仓定帮, 等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 260 - 266.  
Yu Jian, Fang Li, Cang Dingbang, et al. Evaluation of land eco-security in Wanjiang district base on entropy weight and matter element model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 260 - 266. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张杨, 严金明, 江平, 等. 基于正态云模型的湖北省土地资源生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 252 - 258.  
Zhang Yang, Yan Jinming, Jiang Ping, et al. Normal cloud model based evaluation of land resources ecological security in Hubei province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(22): 252 - 258. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘彦随, 杨子生. 我国土地资源学研究新进展及其展望[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 354 - 360.  
Liu Yansui, Yang Zisheng. New progress and its prospects of land resources sciences research in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(2): 354 - 360. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李明月, 赖笑娟. 基于BP神经网络方法的都市土地生态安全评价——以广州市为例[J]. 经济地理, 2011, 31(2): 289 - 293.  
Li Mingyue, Lai Xiaojuan. Evaluation on ecological security of urban land base on BP neural network: A case study of Guangzhou[J]. Economic Geography, 2011, 31(2): 289 - 293. (in Chinese with English abstract)
- [17] 朱红波, 张安录. 我国耕地资源生态安全的时空差异分析[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(6): 755 - 758.  
Zhu Hongbo, Zhang Anlu. Analysis on spatial temporal difference in ecological security of cultivated land resources in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(6): 755 - 758. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王千, 金晓斌. 河北省耕地生态安全及空间聚集格局[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 338 - 344.  
Wang Qian, Jin Xiaobin. Cultivated land ecological security and spatial aggregation Pattern in Hebei Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 338 - 344. (in Chinese with English abstract)
- [19] 姜广辉, 赵婷婷, 段增强, 等. 北京山区耕地质量变化及未来趋势模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 304 - 311.  
Jiang Guanghui, Zhao Tingting, Duan Zengqiang, et al. Cultivated land quality change and its future trend modeling in Beijing mountainous area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(10): 304 - 311. (in Chinese with English abstract)
- [20] 虞继进, 陈雪玲, 陈绍杰. 基于遥感和PSR模型的城市景观生态安全评价——以福建省龙岩市为例[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 143 - 149.  
Yu Jijing, Chen Xuelling, Chen Shaojie, et al. Urban landscape ecological security assessment based on remote sensing and PSR model: A case study in Longyan city, Fujian province[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(1): 143 - 149. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杨青生, 乔纪纲, 艾彬. 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1230 - 1239.  
Yang Qingsheng, Qiao Jigang, Ai Bin. Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1230 - 1239. (in Chinese with English abstract)
- [22] Zhang Zhaoliang, Liu Shiliang, Dong Shikui. Ecological security assessment of Yuan River watershed based on landscape pattern and soil erosion[J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 32(2): 613 - 618.
- [23] 韩振华, 李建东, 殷红, 等. 基于景观格局的辽河三角洲湿地生态安全分析[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 701 - 705.  
Han Zhenhua, Li Jianshe, Ying Hong, et al. Analysis of ecological security of wetland in Liaohe River delta based on the landscape pattern[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(3): 701 - 705. (in Chinese with English abstract)
- [24] 黄宁, 杨绵海, 林志兰, 等. 厦门市海岸带景观格局变化及其对生态安全的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(12): 3193 - 3202.  
Huang Ning, Yang Mianhai, Lin Zhilan, et al. Landscape pattern changes of Xiamen coastal zone and their impacts on local ecological security[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(12): 3193 - 3202. (in Chinese with English abstract)
- [25] 高杨, 黄华梅, 吴志峰. 基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价[J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5894 - 5903.

- Gao Yang, Huang Huamei, Wu Zhifeng. Landscape ecological security assessment based on projection pursuit[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5894 - 5903. (in Chinese with English abstract)
- [26] 王珂, 李君, 徐俊锋, 等. 乡镇耕地整理对耕地景观破碎度的影响研究[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(1): 41 - 44.
- Wang Ke, Li Jun, Xu Junfeng, et al. Impacts of farmland consolidation on farmland landscape[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(1): 41 - 44. (in Chinese with English abstract)
- [27] 刘淼, 胡远满, 布仁仓, 等. 岷江上游耕地景观变化研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7): 82 - 86.
- Liu Miao, Hu Yuanman, Bu Rencang, et al. Farmland landscape change in the Upper Reaches of Minjiang River[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2006, 22(7): 82 - 86. (in Chinese with English abstract)

## Method of cultivated land landscape ecological security evaluation and its application

Pei Huan<sup>1</sup>, Wei Yong<sup>2</sup>, Wang Xiaoyan<sup>1</sup>, Qin Zhihao<sup>3</sup>, Hou Chunliang<sup>1</sup>

(1. *College of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004 China;* 2. *Liren College of Yanshan University, Qinhuangdao 066004 China;* 3. *Institute of Agro-Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100101, China*)

**Abstract:** Ecological security is very important for regional development and society stability, and it has become a hot topic currently. The concept of ecological security can be understood from two aspects, namely the broader sense and the narrower sense. In a broader sense, ecological security includes natural, economic, and social ecological security, while in a narrow sense, it means the security of natural and half natural ecological system, including ecological system and environment security. As special public resources, the quantity and quality of cultivated land are closely related to national food security and social stability, and has great significance in the maintenance of national security. In this study, taking the cultivated land in eastern low hills and coastal region of Qinhuangdao, China as the research area, a cultivated land landscape ecological security evaluation model was built based on the principles of landscape ecology and ecological security. The model contained five landscape pattern indexes including fragmentation, isolation, fractal dimension and shape factor, which could reflect production efficiency, stability and resilience of cultivated land. With three TM(ETM+) remote sensing images in 1990, 2000, and 2010 as well as GIS techniques, the landscape ecological security of cultivated land in the research area was comprehensively evaluated based on each town unit, and the evolution of landscape ecological security pattern and gravity center was analyzed using center of gravity method. At last, the driving factors of landscape ecological security evolution were discussed. The results showed that the landscape ecological security of cultivated land in the research area had been declining all the time with the value decreasing from 0.63 in 1993 to 0.5 in 2000. The fragmentation of cultivated land in low mountainous and hilly areas was more serious, so its landscape ecological security was lower than coastal area. The landscape ecological security was divided into three levels according to Natural Break grading result of three years including level when ecological security was equal or less than 0.3, level when ecological security was greater than 0.3 and equal or less than 0.65, and level when ecological security was equal or greater than 0.65. In addition, this study demonstrated that the pattern of landscape ecological security changed obviously. From 1993 to 2000, the I level area had no noticeable change, but the and level area were converted to each another. From 2000 to 2010, the and level area were expanded, which were converted from the level area. In the past 20 years, the gravity center of landscape ecological security of cultivated land had transferred to the adjacent regions of Qinhuangdao city. It indicated that the landscape ecological security of coastal area had been increased obviously. The reduction of rainfall and runoff, with the rapid increase in economy and population, and governmental policy decision all had a profound effect on the landscape ecological security variation of cultivated land. This study applied landscape pattern index to describe the landscape structure of cultivated land in ecological security study. The studies on ecological security evaluation of cultivated land are conducive to protection of fragile ecological environment and local sustainable development of cultivated land resources.

**Key words:** land use; rural areas; ecology; cultivated land; landscape ecological security; driving factors; Qinhuangdao