

基于多情景模拟的工矿废弃地复垦利用方向研究

——以江苏省盱眙县为例

韩悦, 蒲阳, 王慎敏

南京信息工程大学地理科学学院, 江苏 南京

Email: hanyue@nuist.edu.cn, puyangnew@126.com, wsmnju@126.com

收稿日期: 2021年4月1日; 录用日期: 2021年5月14日; 发布日期: 2021年5月21日

摘要

我国大量土地因工业及采矿活动遭到破坏, 而土地复垦率却相对较低, 为了消除工矿废弃地对生态环境造成的不利影响, 对工矿废弃地景观格局的分析显得尤为重要。本文以江苏省盱眙县工矿废弃地复垦后景观格局为研究对象, 依据各复垦方向服务价值设定耕地、园地、林地和草地4种复垦情景, 并根据地势、土壤质地等因素将盱眙县划分为西南和北部两个区域, 采用Fragstats软件计算不同情景的景观格局指数并对其进行分析和对比, 得出相对较优的盱眙县工矿废弃地复垦方向。结果表明, 盱眙县工矿废弃地复垦景观格局多情景模拟结果为西南地区复垦方向为林地, 北部地区复垦方向为耕地。上述研究过程可较好地应用于盱眙县工矿废弃地复垦利用方向研究, 进而可为类似区域工矿废弃地的可持续利用和生态环境保护提供决策参考。

关键词

土地复垦, 工矿废弃地, 盱眙县, 景观格局, 多情景模拟

Study on Reclamation and Utilization Direction of Desert Land of Industrial Mining Area Based on Multi-Scenario Simulation

—A Case Study of Xuyi County in Jiangsu Province

Yue Han, Yang Pu, Shenmin Wang

College of Geography, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu
Email: hanyue@nuist.edu.cn, puyangnew@126.com, wsmnju@126.com

Received: Apr. 1st, 2021; accepted: May 14th, 2021; published: May 21st, 2021

Abstract

A large amount of land in China has been destroyed due to industrial and mining activities, but the rate of land reclamation is relatively low. In order to eliminate the negative impact of desert land of industrial mining area on the ecological environment, it is particularly important to analyze the landscape pattern of industrial and mining abandoned land. This paper takes the landscape pattern of desert land of industrial mining area in Xuyi County, Jiangsu Province as the research object. According to the service value of each reclamation direction, four reclamation scenarios are set for cultivated land, garden land, woodland and grassland, and Xuyi is determined according to factors such as topography and soil texture. The county is divided into two regions, the southwest and the north. Fragstats software is used to calculate the landscape pattern index of different scenarios, analyze and compare them, and obtain a relatively better direction for the rehabilitation of desert land of industrial mining area in Xuyi County. The results show that the multi-scenario simulation results of the landscape pattern of desert land of industrial mining area reclamation in Xuyi County can conclude that the reclamation direction in the southwest is forest land and the reclamation direction in the north is cultivated land. The above research process can be better applied to the research on the reclamation and utilization of desert land of industrial mining area in Xuyi County, and can provide decision-making reference for the sustainable use of desert land of industrial mining area and ecological environment protection in similar areas.

Keywords

Reclamation, Desert Land of Industrial Mining Area, Xuyi County, Landscape Pattern, Multi-Scenario Simulation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,我国大量土地由于工业及采矿活动遭到破坏损毁,对自然生态系统、土壤及耕地资源、人居环境、土地集约利用等方面造成了深远的影响,因此保护土地资源、促进土地集约利用、改善区域环境迫在眉睫[1]。早在20世纪初,发达国家便开展了矿山土地修复工作[2],在土地复垦技术[3]、土地复垦效益[4]、污染源处理[5]、矿山废弃物利用[6]、景观评价[7]等方面进行了系列研究。土地复垦的研究尺度及研究内容都十分广泛,国内学者从复垦评价[8]、复垦效益[9]、地貌重塑[10]、生态修复[11]和生物多样性恢复[12]等多个方面进行了土地复垦的系统研究。

在采矿活动的人为干扰下,矿区景观功能变化或衰退,生态环境不断恶化,因此开展矿区景观格局与生态系统服务价值研究对于区域生态建设与保护、区域可持续发展具有十分重要的意义。我国在景观格局方面的研究起步于20世纪80年代,基于不同空间与时间尺度展开了对景观格局现状及变化规律的

分析,逐步将景观生态学与矿区生态环境保护相结合,在矿区开采与复垦后景观格局变化[13]、矿区景观格局指数粒度效应[14]和矿区景观生态规划[15]等方面进行了研究。生态系统服务价值评估大致可以分为两类:基于单位服务功能价格方法和基于单位面积价值当量因子法,当量因子法主要受到了 Costanza 研究的影响[16],相对于前者而言,当量因子法较为直观、数据需求低、评估全面且可比性高[17],因此从不同尺度对生态系统服务价值评估常采用该方法[18][19][20][21]。

盱眙县采矿历史悠久,属淮安市的矿业大县,凹凸棒石粘土的资源总量在 21.77 亿吨左右,资源潜力巨大,2015 年大中型矿山的比例达到 66%以上,已基本形成了以凹凸棒石粘土为依托的矿业优势,是国内重要的凹凸棒石粘土生产与销售基地,凹凸棒石粘土生产加工工业已经成为地方重要的经济产业之一;然而由于开采后未采取有效的环境保护措施,造成矿区环境恶化,因此需要对盱眙县工矿废弃地复垦进行研究。本文以江苏省盱眙县工矿废弃地为例,根据各复垦方向的生态服务价值设定复垦情景,据此基于景观生态学理论,运用景观格局指数对不同复垦情景的景观格局进行分析,从而得出相对较优的复垦方向,以期为盱眙县工矿废弃地重新利用提供相关科学依据。

2. 研究数据与方法

2.1. 研究区概况

盱眙县地处长江三角洲地区,位于江苏省淮安市西南部,介于北纬 $32^{\circ}43' \sim 33^{\circ}13'$ 、东经 $118^{\circ}11' \sim 118^{\circ}54'$ 之间。盱眙县地势西南高,多低山丘陵,东北多平原且地势较低,总体呈阶梯状倾斜。境内有低山、平原、丘岗、河湖圩区等多种地貌;土地利用面积为 2497 km^2 ,耕地是研究区内主要的土地利用类型,占 44.8%。盱眙县有部分工矿废弃地已完成复垦,比如象山矿山公园、玉皇山等均取得不错的成效,其目前因矿山开采而破坏和占用土地总面积约 17.64 km^2 (图 1),矿山地质环境治理任务仍然十分艰巨。为对其进行景观格局多情景模拟,对盱眙县进行复垦分区,由于盱眙县境内气温和降水差别不大,因此在分区时不考虑气温与降水因素。根据土壤质地、DEM、土地利用现状等进行分区(图 2)[22],得到盱眙县复垦分区图,将盱眙县分为西南区和北部区两个区域(图 3),西南区地势较高,农用地以林地、园地为主,北部区地势平坦,农用地以耕地为主。

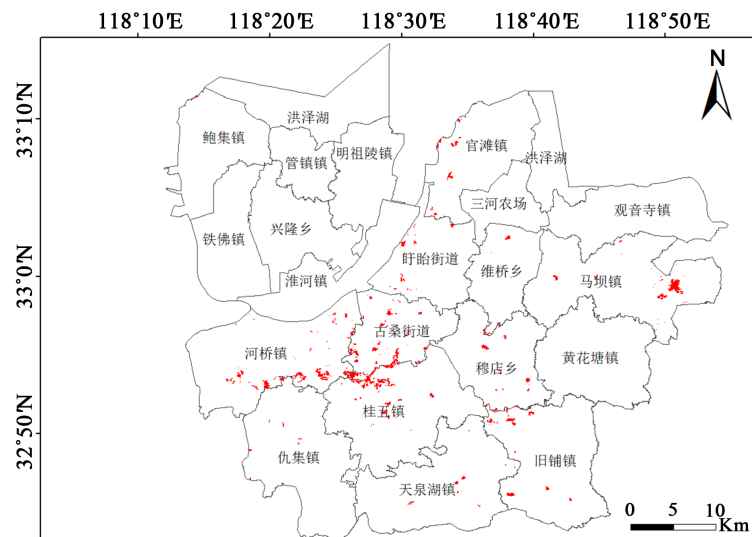


Figure 1. Distribution map of mining land in Xuyi County

图 1. 盱眙县采矿用地分布图

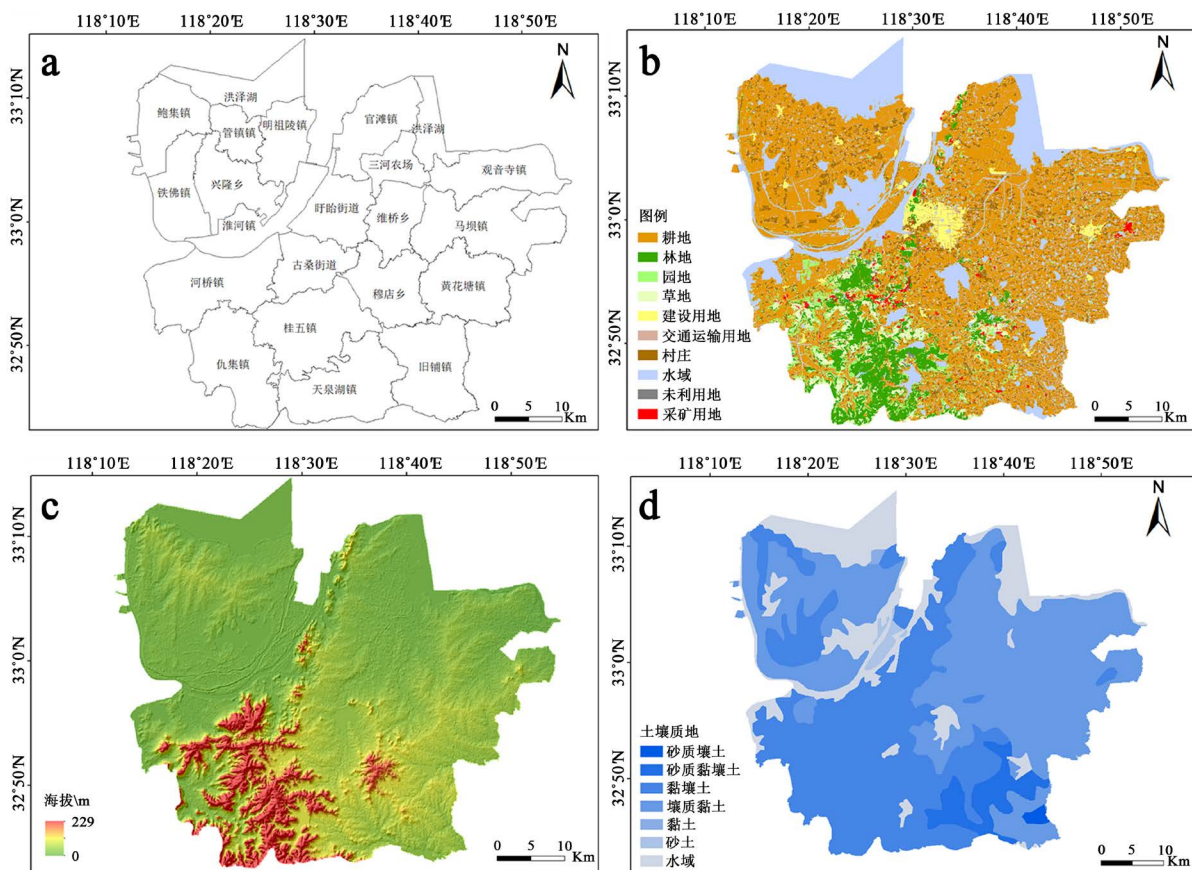


Figure 2. Indicators of Xuyi County. (a) The administrative zoning; (b) Land use status; (c) DEM; (d) Soil texture
图 2. 盱眙县各项指标图。(a) 行政区划图；(b) 土地利用类型图；(c) 地势图；(d) 土壤质地图

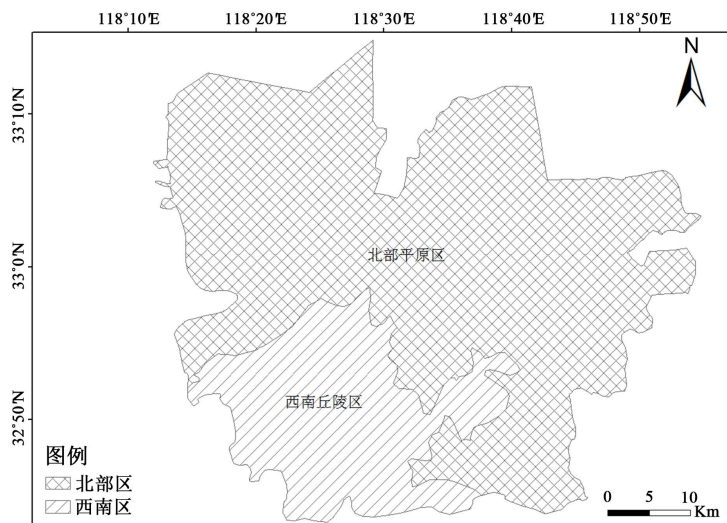


Figure 3. Reclamation division of Xuyi County
图 3. 盱眙县复垦分区

2.2. 数据来源

盱眙县国土局提供 2016 年盱眙县土地利用矢量数据，盱眙县粮食产量数据来自于《淮安统计年鉴

-2017年》，粮食价格来自《全国农产品成本收益资料汇编-2017》，归一化植被指数(NDVI)数据来自于中国科学院资源环境数据中心，净初级生产力(NPP)来自于MOD13A3数据。景观指数通过将盱眙县土地利用数据转化为100 m × 100 m的栅格数据导入Fragstats模型得出，通过对不同分辨率的结果进行比较，得出100 m × 100 m分辨率可以有效提取景观中所包含的信息同时不会使信息过于破碎。

2.3. 生态系统服务价值核算

参照近年来关于生态系统服务价值的研究，以谢高地等制定的中国生态系统服务价值当量表为基础[23]，对表征生态系统质量状况的生物量和植被覆盖度进行修正，计算公式如下[24]：

$$VC_p = n_i / N_i \times f_i / F_i \times V_0 \times VC_0 \quad (1)$$

$$VC_0 = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i \times p_i \times q_i}{M} \quad (2)$$

式中， VC_p 为研究区生态系统服务价值系数(元/hm²·a)， n_i 和 f_i 分别为研究区平均生物量和植被覆盖度， N_i 和 F_i 分别为我国平均生物量和植被覆盖度，本次研究用NPP数据代替生物量数据， V_0 为中国生态系统服务价值当量[25]， VC_0 为研究区单位面积农田生态系统提供粮食生产的经济价值(元/hm²·a)。 p_i 为研究区粮食作物平均价格(元/kg)， q_i 为粮食作物单产(kg/hm²)， m_i 为粮食作物面积(hm²)， M 为粮食作物总面积；通常认为农田在没有人力投入时的自然生态系统提供的经济价值为1/7 [26]。价值当量参考谢高地[23]等制定的“单位面积生态系统服务价值当量”，盱眙县旱地和水田面积比为3:7，因此耕地当量以其中的旱地和水田3:7的比例计算得出，林地对应阔叶，园地取林地和草地的平均值[27]，草地对应灌草丛，建设用地参考文献[28] [29]，由此得出盱眙县单位面积生态系统服务价值当量。植被覆盖度计算公式如下[30]：

$$F = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (3)$$

式中， $NDVI_{\max}$ 、 $NDVI_{\min}$ 表示NDVI最大值和最小值。ESV计算公式如下[31]：

$$ESV = \sum_k \sum_h A_k \times VC_{kh} \quad (4)$$

k 表示土地利用类型， h 表示生态服务类型， VC_k 表示第 k 类生态系统第 h 项服务价值系数(元/hm²)， ESV 表示生态系统服务价值(元/a)， A_k 表示第 k 类生态系统的面积(km²)。

2.4. 情景设立

根据盱眙县服务价值的计算结果，将剔除服务价值较低的复垦方向后其余土地类型设定为不同情景，通过比较其景观格局差异确定复垦方向。参考相关研究和实际复垦方向，比较研究区耕地、园地、林地、草地和建设用地服务价值，从中剔除服务价值较少的地类。

2.5. 景观格局分析

景观格局不仅是景观组分空间分布特征的表现，也是景观异质性的外在体现。景观指数可以体现其结构组成和空间配置等特征，高度浓缩景观格局信息[32]。利用ArcGIS10.2的空间分析模块将土地利用类型图转换为Grid格式，以Fragstats4.2软件为支撑，在参考前人研究的基础上[33]，从景观面积、形状复杂程度、聚集状况、优势度、多样性等方面选取7个能较全面反映整个景观格局特征的景观指数，分别是最大斑块面积指数(LPI)、边缘密度(ED)、邻近度指数(PROX)、斑块结合度(COHESION)、分离度指数(SPLIT)、香农多样性指数(SHDI)和聚集度指数(AI)，其中表明景观优势类型与同类型斑块连接程度的指数LPI与PROX为影响相对较大的因素。各指数计算方法如下：

1) 最大斑块面积指数(LPI)

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} \times 100 \quad (5)$$

a_{ij} 为斑块 ij 的面积; A 为景观总面积, LPI 为景观中最大斑块面积占整个景观面积的比例, 取值范围为 $0 < LPI \leq 100$; 当 LPI 越接近 0 时, 景观中最大斑块的面积越小[34], 景观中优势类型的优势程度也因此变小。

2) 边缘密度(ED)

$$ED = \frac{E}{A} * 10^6 \quad (6)$$

边缘密度表示景观中所有斑块边界总长度除景观总面积, ED 越大, 景观破碎化程度越大, 空间异质性也越大, ED 越小, 景观破碎化程度越小[34]。

3) 邻近度指数(PROX)

$$PROX = \sum_{i=1}^n \frac{a_{ijs}}{d_{ijs}^2} \quad (7)$$

a_{ijs} 表示处于斑块 ij 搜索范围内斑块 ijs 的面积, d_{ijs} 为斑块 ij 和 ijs 之间的距离。取值范围 $PROX > 0$, 如果值较小, 说明同类型斑块之间景观破碎度较高, 如果同类型斑块之间离散度较低, 说明景观总体连接度较高[14], 同时也是影响景观格局分析的重要因素。

4) 斑块结合度(COHESION)

$$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{j=1}^m P_{ij}}{\sum_{j=1}^m P_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \left(1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right)^{-1} \times 100\% \quad (8)$$

P_{ij} 为 ij 斑块周长, a_{ij} 为 ij 斑块面积, A 为景观总面积, COHESION 表示某一种斑块类型和周围相邻斑块类型的空间连接程度, 其取值范围为 $0 \leq COHESION < 100$, 值越大表明景观连接性越强[35]。

5) 分离度指数(SPLIT)

$$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2} \quad (9)$$

SPLIT 为景观面积的平方除所有斑块面积的平方和, 表征景观被分割的破碎程度, 反映景观空间结构的复杂性[36]。

(6) Shannon's 多样性指数(SHDI)

$$SHDI = -\sum_{i=1}^n (p_i \times \ln p_i) \quad (10)$$

p_i 为景观中斑块 i 的面积比重。空间异质性越大, SHDI 指数更高, 景观斑块类型越丰富[37]。

7) 聚集度指数(AI)

$$AI = \frac{s_{ii}}{\max(s_{ii})} \times 100\% \quad (11)$$

s_{ii} 表示相应景观类型的相似邻接斑块数量, 当某类型的破碎程度最大的时候, 该类型的聚合程度最低; 当斑块类型聚集成一个整体时, 该类型聚合程度最高[38]。

3. 结果与分析

3.1. 生态系统服务价值核算

根据公式(1)~(3)得出盱眙县 1 个标准当量因子的服务价值为 1977.11 元/hm², 由此得出各地类的单位面积生态服务价值系数(表 1)。单位面积服务价值的大小排序为林地 > 草地 > 园地 > 耕地 > 建设用地; 根据公式(4)得出各地类总服务价值(表 2), 根据盱眙县单位面积服务价值系数和各地类面积得出各地类总服务价值, 可以看出服务价值最高的是耕地为 18.29 亿元, 耕地也是盱眙县优势地类, 其次是林地, 服务价值为 15.65 亿元, 草地为 6.45 亿元, 园地为 6.83 亿元, 服务价值最低的是建设用地为 0.05 亿元, 建设用地在盱眙县面积占比也相对较小, 因此剔除服务价值较低的建设用地, 对复垦为耕地、园地、林地和草地这四个情景进行景观格局的多情景模拟分析。

Table 1. The coefficient of ecosystem service in Xuyi County

表 1. 盱眙县单位面积生态系统服务价值系数元/(hm²·a)

指标	耕地	园地	林地	草地	建设用地
生态价值系数	15,393.89	52,690.55	89,987.21	77,204.71	666.57

Table 2. Ecosystem service value in Xuyi County

表 2. 盱眙县生态系统服务价值(亿元/a)

生态系统服务	一级分类	耕地	园地	林地	草地	建设用地
供给服务	食物生产	6.62	0.33	0.19	0.12	0.00
	原料生产	0.85	0.18	0.42	0.18	0.00
	水资源供给	-8.55	-0.32	0.22	0.10	0.00
调节服务	气体调节	5.56	0.68	1.39	0.64	0.00
	气候调节	2.36	1.52	5.15	1.71	0.00
	净化环境	0.69	0.45	1.23	0.56	0.00
	水文调节	9.25	1.46	3.03	1.25	0.00
支持服务	土壤保持	1.47	0.64	1.69	0.79	0.00
	维持养分循环	0.79	0.08	0.13	0.06	0.00
	生物多样性	0.87	0.56	1.54	0.71	0.00
文化服务	美学景观	0.38	0.25	0.68	0.31	0.05
合计		18.29	6.83	15.65	6.45	0.05

3.2. 工矿废弃地景观格局多情景模拟

根据服务价值计算结果, 剔除服务价值较低的建设用地, 设定四种复垦情景, 即复垦为耕地情景、复垦为园地情景、复垦为林地情景和复垦为草地情景, 并与不复垦情景进行对比。

1) 盱眙县西南复垦区景观格局多情景模拟

盱眙县西南复垦区不同情景景观格局指数计算结果见表 3。LPI 可以反映景观中的优势类型, 可以看出林地情景中的景观优势类型的面积较大。草地情景的 ED 最小, 其次为林地情景, 表明复垦为草地的情景破碎度较低, 林地情景的破碎度次之。PROX 体现同类型斑块之间景观连接性, 其中林地情景的 PROX 值最高为 122.232, 表明林地情景斑块之间的连接性较好, 而园地情景的连接性较差。COHESION 表明

林地情景斑块与相邻斑块类型的空间连接度较高,且林地情景的 SPLIT 值最小表明林地情景的景观分离度最低,而园地情景的分离度值最高表明其景观破碎化较严重。AI 值最高的为草地情景,其次为林地情景,表明草地情景的景观聚集程度最高。从表中可以看出四种情景均比不复垦的情况景观格局连接性更好。综上所述,认为西南区复垦为林地的情景景观总体连接性较好,有利于提高研究区土地集约化管理水平。

Table 3. Landscape level index in different reclaimed scenarios in Xuyi Southwest County

表 3. 盱眙县西南复垦区不同复垦情景景观格局指数

复垦情景	LPI	ED	PROX_AM	COHESION	SPLIT	SHDI	AI
不复垦	16.561	76.622	97.525	92.339	36.181	1.843	61.875
耕地情景	16.561	75.968	111.573	92.716	35.247	1.767	62.172
林地情景	16.183	75.925	122.232	92.718	32.783	1.770	62.194
园地情景	16.561	76.190	97.604	92.446	36.106	1.784	62.065
草地情景	16.561	75.645	98.535	92.528	36.018	1.783	62.339

2) 盱眙县北部复垦区景观格局多情景模拟

盱眙县北部复垦区不同情景景观格局指数计算结果见表 4。从 LPI 可以看出耕地情景中的景观优势类型的面积较大。耕地情景的 ED 最小,表明复垦为耕地的情景。耕地情景的 PROX 值最高,表明耕地情景同类型斑块之间的连接性较好。COHESION 也表明耕地情景斑块与相邻斑块类型的空间连接度较高,且耕地情景的 SPLIT 值最小表明耕地情景的景观分离度最低,而园地情景的分离度值最高表明其景观破碎化较严重。AI 值最高的也为复垦为耕地的情景,耕地情景的景观聚集程度最高。从表中可以看出四种情景均比不复垦的情况景观格局连接性更好。综上所述,认为北部区复垦为耕地的情景景观总体连接性较好。

Table 4. Landscape level index in different reclaimed scenarios in Xuyi North County

表 4. 盱眙县北部复垦区不同复垦情景景观格局指数

复垦情景	LPI	ED	PROX_AM	COHESION	SPLIT	SHDI	AI
不复垦	18.479	56.536	4279.761	98.281	16.741	1.322	71.457
耕地情景	19.088	56.221	4390.018	98.360	16.031	1.295	71.606
林地情景	18.479	56.470	4279.770	98.283	16.740	1.314	71.484
园地情景	18.479	56.501	4279.767	98.282	16.741	1.310	71.468
草地情景	18.479	56.491	4279.765	98.282	16.741	1.317	71.477

4. 结论

本文基于生态系统服务价值建立了工矿废弃地土地复垦的多情景模拟方法,并以江苏省盱眙县工矿废弃地为例,将工矿废弃地复垦划分为耕地情景、林地情景、园地情景和草地情景 4 种复垦情景,分别分析这 4 种情景下的景观格局状况,并与不复垦情景进行对比,从而得出较优的复垦利用方向。本文对盱眙县进行复垦分区,主要分为西南和北部两个区域,采用 Fragstats 软件对每个分区不同情景的景观格局指数进行计算。盱眙县西南区 LPI、PROX、COHESION、SPLIT 值均为林地情景的值较好,北部区各景观格局指数值则表明复垦为耕地的情景景观格局较其他情景连接度高破碎度低,且 4 种情景均比不复

垦情景的景观格局效果好。因此盱眙县西南地区可以复垦为林地，北部地区可复垦为耕地，有利于提高研究区土地集约化管理水平，其土地利用效率也高于其他情景。

为保护生态环境，盱眙县需处理好发展与生态环境建设之间的矛盾，实现社会、经济、生态的协调发展，从而实现可持续发展。盱眙县矿产资源丰富，属淮安市的矿业大县，应加大对矿产资源开采中对环境影响的监管力度，强化矿产资源开采后的生态修复。本次研究所采用的方法可较好地应用于县域工矿废弃地复垦，为我国工矿废弃地重新利用提供新的思路。

基金项目

江苏省国土资源科技支撑资助项目(2017048)。

参考文献

- [1] 胡振琪. 再论土地复垦学[J]. 中国土地科学, 2019, 33(5): 1-8.
- [2] 王莉, 张和生. 国内外矿区土地复垦研究进展[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 294-300.
- [3] Thiffault, E., Webster, K., Lafleur, B., et al. (2017) Biophysical Indicators Based on Spatial Hierarchy for Informing Land Reclamation: The Case of the Lower Athabasca River (Alberta, Canada). *Ecological Indicators*, **72**, 173-184. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.020>
- [4] Lamb, D., Erskine, P.D. and Fletcher, A. (2015) Widening Gap between Expectations and Practice in Australian Mine-site Rehabilitation. *Ecological Management & Restoration*, **16**, 186-195. <https://doi.org/10.1111/emr.12179>
- [5] Kasztelewicz, Z. (2014) Approaches to Post-Mining Land Reclamation in Polish Open-Cast Lignite Mining. *Civil and Environmental Engineering Reports*, **12**, 55-67. <https://doi.org/10.2478/ceer-2014-0006>
- [6] Kalin, M. and Wheeler, W. (2011) Ecological Perspectives in Restoring Mine Waste Management Areas. *Procedia Environmental Sciences*, **9**, 90-95. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.11.015>
- [7] Haase, L.D. (2012) Valuing Post-Mining Landscapes Using an Ecosystem Services Approach—An Example from Germany. *Ecological Indicators*, **18**, 567-574. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.01.008>
- [8] 戴云仙, 乔光华, 翟正江, 等. 黑岱沟露天煤矿不同复垦模式效益分析与评价[J]. 中国矿业, 2017, 26(12): 139-142.
- [9] 彭玉玲, 林爱文, 王珂, 等. 资源枯竭型城市的工矿废弃地复垦利用综合效益评价——以黄石市七约山矿区为例[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(3): 161-166.
- [10] 王军, 张亚男, 郭义强. 矿区土地复垦与生态重建[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(6): 113-116.
- [11] 杨军, 常江, 王卫. 中小城镇采煤塌陷区生态修复规划研究[J]. 中国科技论文在线, 2011, 6(5): 329-332.
- [12] 王军, 李红涛, 郭义强, 等. 煤矿复垦生物多样性保护与恢复研究进展[J]. 地球科学进展, 2016, 31(2): 126-136.
- [13] 李保杰, 顾和和, 纪亚洲. 复垦矿区生态系统服务价值空间分异研究——以徐州市贾汪矿区为例[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(4): 749-756.
- [14] 吴未, 范诗薇, 许丽萍, 等. 无锡市景观指数的粒度效应研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(3): 413-424.
- [15] 冯莹雪, 曹颖. 矿业棕地景观生态设计实例分析及比较研究[J]. 中国科技论文, 2016, 11(21): 2492-2497.
- [16] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [17] 雷金睿, 陈宗铸, 陈小华, 等. 1980-2018 年海南岛土地利用与生态系统服务价值时空变化[J]. 生态学报, 2020, 40(14): 4760-4773.
- [18] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [19] 徐媛银, 孙思琦, 薛达元, 等. 基于地形梯度的赣南地区生态系统服务价值对人为干扰的空间响应[J]. 生态学报, 2019, 39(1): 97-107.
- [20] 李偲, 韩桂红, 海米提·依米提, 等. 土地利用变化对喀纳斯自然保护区生态系统服务价值的影响[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(3): 123-127.
- [21] 张天海, 田野, 徐舒, 等. 滨海城市土地利用格局演变及对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(21): 7572-7581.

- [22] 刘彤, 刘玉玲, 申文德, 等. 生态保护视角下的青海省土地复垦分区研究[J]. 中国矿业, 2018, 27(S1): 69-74.
- [23] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [24] 王燕, 高吉喜, 邹长新, 等. 生态保护红线划定及其生态资产变化研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(6): 2369-2376.
- [25] 邓伟, 周渝, 张勇, 等. 重庆市生态保护红线区生态系统服务价值时空演变特征及其驱动[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(1): 79-89.
- [26] 付永虎, 宗婷, 刘俊青, 等. 基于土地利用变化的连云港海岸带生态系统服务价值评估[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(12): 264-273.
- [27] 王振波, 方创琳, 王婧. 1991 年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式[J]. 地理学报, 2011, 66(12): 1657-1668.
- [28] 史洋洋, 吕晓, 黄贤金, 等. 江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应[J]. 自然资源学报, 2017, 32(6): 961-976.
- [29] 张兴榆, 黄贤金, 赵小凤. 江苏省沿海地区土地利用变化的生态系统服务价值核算[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 252-256.
- [30] 丁雪, 雷国平, 许端阳, 等. 1981-2010 年内蒙古沙漠化演变对区域生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 298-303.
- [31] 王永琪, 马姜明. 基于县域尺度珠江-西江经济带广西段土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 1-14.
- [32] 叶晶萍, 刘士余, 盛菲, 等. 寻乌河流域景观格局演变及其生态环境效应[J]. 生态学报, 2020, 40(14): 4737-4748.
- [33] 肖姚, 朱凤武, 周生路, 等. 经济发达地区影响土地生态质量的关键景观格局因子研究——以江苏省昆山市为例[J]. 自然资源学报, 2017, 32(10): 1731-1743.
- [34] 童晨, 李加林, 叶梦姚, 等. 东海区海岸带景观格局变化对生态系统服务价值的影响[J]. 浙江大学学报(理学版), 2020, 47(4): 492-506, 520.
- [35] 刘晓君, 李占斌, 李鹏, 等. 基于土地利用/覆被变化的流域景观格局与水沙响应关系研究[J]. 生态学报, 2016, 36(18): 5691-5700.
- [36] 王戈, 于强, 刘晓希, 等. 包头市景观格局时空演变研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 192-199.
- [37] 刘怡娜, 孔令桥, 肖焱, 等. 长江流域景观格局与生态系统水质净化服务的关系[J]. 生态学报, 2019, 39(3): 844-852.
- [38] 王俊俊, 弓弼. 西咸新区景观格局演变及其生态风险分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(2): 250-256.