

乔荣荣, 黄海涛, 董春媛, 等. 宁夏沿黄人工绿洲农田格局对景观多样性的影响——以卫宁平原灌区为例[J]. 中国沙漠, 2023, 43(2): 21–27.

宁夏沿黄人工绿洲农田格局对 景观多样性的影响 ——以卫宁平原灌区为例

乔荣荣¹, 黄海涛², 董春媛³, 罗立辉⁴, 常学礼³

(1. 南京大学 生命科学学院, 江苏 南京 210023; 2. 山东省烟台第五中学, 山东 烟台 264001; 3. 鲁东大学 资源
与环境工程学院, 山东 烟台 264025; 4. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 景观多样性是度量区域生态系统(土地利用/覆盖)类型数量和面积比例的集成指数, 是景观生态学研究中使用频率最高的指数。农田作为干旱半干旱区人工绿洲的主要景观组成类型, 是近半个世纪绿洲空间结构研究的焦点。本文采用2020年30 m分辨率的土地利用/覆盖数据, 借助地理探测器模型的空间分异因子解释力(q 统计量)和Moving Window法分析了宁夏沿黄人工绿洲卫宁平原灌区农田格局对景观多样性的影响。结果表明: 宁夏沿黄平原区景观多样性(LDI)变化受到了农田总面积(CA)和最大农田斑块指数(LPI)的显著影响, 但是它们与斑块间距离(Enn_{mn})和斑块类型周长-面积分维数(Pafrac)的交互作用更显著, 大于其单独影响。农田总面积和最大农田斑块指数不同级别对LDI都有显著影响; 斑块间距离和斑块类型周长-面积分维数分别为67~801 m($q>0.05$)和0.142~1.060时对景观多样性影响差异不显著, 不在此阈值范围内则对景观多样性有显著影响。

关键词: 地理探测器; 移动窗口法; 景观多样性; 农田格局; 绿洲

文章编号: 1000-694X(2023)02-021-07

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00101

中图分类号: P901

文献标志码: A

0 引言

农田是构成人工绿洲的主要土地利用/覆盖类型, 其核心部分是耕地辅以窄行防护林和小面积园田等各种人工农业种植区^[1-2], 在空间比例和经济产值上都是绿洲的主体, 是当地自然、社会和经济协调发展的核心^[3-4]。过去几十年中国绿洲经济发展伴随着农田和城镇扩张同时发生, 其中在面积增量上农田扩张贡献大于城镇化^[5-7]。

从景观多样性角度来看, 某一组成要素(斑块类型)快速扩张必将极大地改变景观组成、结构和功能^[8-10], 而景观多样性就是度量组成和结构的最好指标, 因为景观多样性指数计算依赖组成斑块类型数和其所拥有的面积比例^[11]。从干旱区绿洲景观研究现状来看, 主要强调绿洲或所在流域整体景

观结构变化与驱动因素分析, 研究热点几乎涉及到中国西北所有内陆河流域^[12-18]。这些研究基本探明了中国近几十年来干旱绿洲景观变化特点、农田扩张和城镇化对景观变化影响以及湿地和地表水体面积减少带来的景观多样性下降等诸多科学问题, 也在景观尺度解释了绿洲化与荒漠化过程对绿洲扩张的影响^[19-20], 并对绿洲景观变化与稳定性权衡、绿洲组分(景观要素)地理空间分异与稳定性关系等进行了详尽分析, 解释了绿洲冷岛效应形成机制和植被指数在表征绿洲时空稳定性等方面的优势^[21-24]。这些研究为深入理解绿洲景观变化-格局-功能关系奠定了基础, 但是在优势斑块类型对景观多样性影响方面尚缺乏详细的研究。为此, 本文借助地理探测器方法, 以宁夏沿黄绿洲的卫宁平原灌区为研究对象, 在考虑到斑块类型面积、形状、空间

收稿日期: 2022-04-19; 改回日期: 2022-07-07

资助项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2021BEG02010); 国家自然科学基金项目(41271193)

作者简介: 乔荣荣(1995—), 女, 山东济宁人, 博士研究生, 主要从事生态遥感研究。E-mail: rongrongqiao@126.com

通信作者: 常学礼(E-mail: xlchang@126.com)

距离和最大斑块优势等4个维度的前提下,分析农田斑块特征对绿洲景观多样性的影响。拟解决的科学问题是①在强调空间异质性基础上哪些农田格局指数是影响绿洲景观多样性的决定指数;②指数不同级别是否会对绿洲景观多样性产生影响差异。

1 研究区概况

卫宁平原灌区(37°18′—37°42′N, 105°00′—106°00′E)位于银川沿黄平原西南上游区,面积约1 241.6 km²(图1)。该区北面与内蒙古自治区阿拉善盟的腾格里沙漠相邻,南部与宁夏同心县的黄土高原区为伴。卫宁平原灌区核心区由中卫市沙坡

头区(原中卫县)和中宁县引黄灌溉绿洲组成。从土地利用结构来看,农田面积为836.4 km²,占研究区面积67.4%,林地、湿地和水面面积分别为63.4、19.9、56.5 km²。上述4种绿洲核心地类合计面积976.2 km²,占研究区面积78.6%以上。研究区湿地和人工灌渠密布,主要有沙坡头南北灌区、七星渠等。该区土壤以隐域性灌淤土和草甸土为主,天然植被以沿黄河分布的沙枣林和零散分布的灌丛湿地植被为主。主要植物种有沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、枸杞(*Lycium chinense*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)和芦苇(*Phragmites communis*)等。该区是国家级沿黄经济区的核心地区,也是国家生态功能区划中的重点区域。

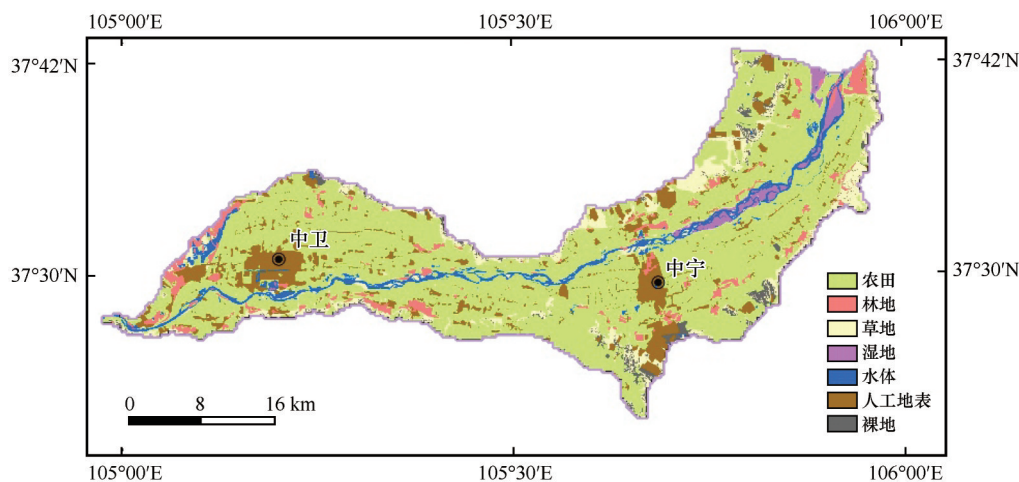


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

2 数据与方法

2.1 数据

景观数量化特征分析采用GlobeLand30 2020年产品数据(<http://www.globallandcover.com/>),空间分辨率30 m^[25]。研究区涉及的土地利用/覆盖类型包括农田、乔木林地、灌木林地、草地、湿地、水体、人工地表和裸地等8类。

2.2 方法

2.2.1 景观多样性与农田格局指数计算

景观多样性指数(Landscape Diversity Index, LDI)借用植物多样性中Shannon-Weiner Index进行计算,在Fragstats 4.2完成。在公式(1)中 P_i 为景观中第 i 类土地利用类型(或类型分级)占分析单元总

面积的比例。在本文研究中共有8种土地利用/覆盖类型,故 $n=8$ 。

$$LDI = -\sum_{i=1}^m P_i \times \ln P_i \quad (1)$$

考虑到完整代表斑块类型空间分布特征,选用景观级别分类(景观、类型和斑块)中的类型尺度有关指标,包括类型面积(Class Area, CA)、最大斑块面积指数(Largest Patch Index, LPI)、周长-面积分维数(Perimeter-area fractal dimension, Pa_{frac})和同类型中斑块间平均最邻近欧几里得距离(Euclidean nearest neighbor distance_mean, Enn_mn)4个指标分别表征研究区农田分布面积、最大斑块优势度、斑块形状和斑块间隔离关系等空间特征,计算公式依据文献[26]。所有农田格局指数用自然断点法分为五级(表1)。

表 1 农田格局指数(类型面积, *CA*; 平均最邻近欧几里得距离, *Enn_mn*; 最大斑块面积指数, *LPI*; 周长-面积分维数, *Pafrac*)分级

Table 1 Grading of pattern factors in farmland					
指数	级别	分级范围	指数	级别	分级范围
<i>CA</i> /hm ²	I	0~254	<i>LPI</i> %	I	0~25
	II	254~474		II	25~46
	III	474~631		III	46~65
	IV	631~771		IV	65~83
	V	771~918		V	83~100
<i>Enn_mn</i> /m	I	0~67	<i>Pafrac</i>	I	0.000~0.124
	II	67~188		II	0.124~0.412
	III	188~401		III	0.412~0.750
	IV	401~801		IV	0.750~1.060
	V	801~1 931		V	1.060~1.497

2.2.2 分析方法

所有景观指数计算在 Fragstats 4.2 中完成, *LDI*

等 5 个图层计算采用 Moving window 模块完成, 窗口阈值采用 3 000 m(尺度依赖特征分析揭示此尺度是研究区 *LDI* 拐点)。由于 Moving window 计算结果赋值于窗口中心像元并输出结果仍为 30 m, 形成数据量超出地理探测器软件支持阈限, 故对所有分析图层在 ArcGIS 中用 Aggregate(mean) 命令重整合至 300 m 分辨率(图 2)。

本文地理探测器应用主要解释研究区 *LDI* 空间分异与哪一个农田格局指数有关, 不同指数分级是否导致 *LDI* 空间分异产生差异。地理探测器原理在相关文献中有清楚介绍, 其核心包括建立在分区和总体方差之比基础上的分异因子探测, 公式为^[27]:

$$q = 1 - \sum_{i=1}^m N_i \sigma_i^2 / N \sigma^2$$

(2)

式中: *q* 为空间分异因子; *N_i* 和 *N* 分别为第 *i* 层和研究区栅格数; *σ_i* 和 *σ* 分别为第 *i* 层和研究区方差; *q* 值域为 [0, 1]。 *q* 值越大 *LDI* 空间分异(异质性)越明显。

交互探测核心是分析不同农田格局指数叠加

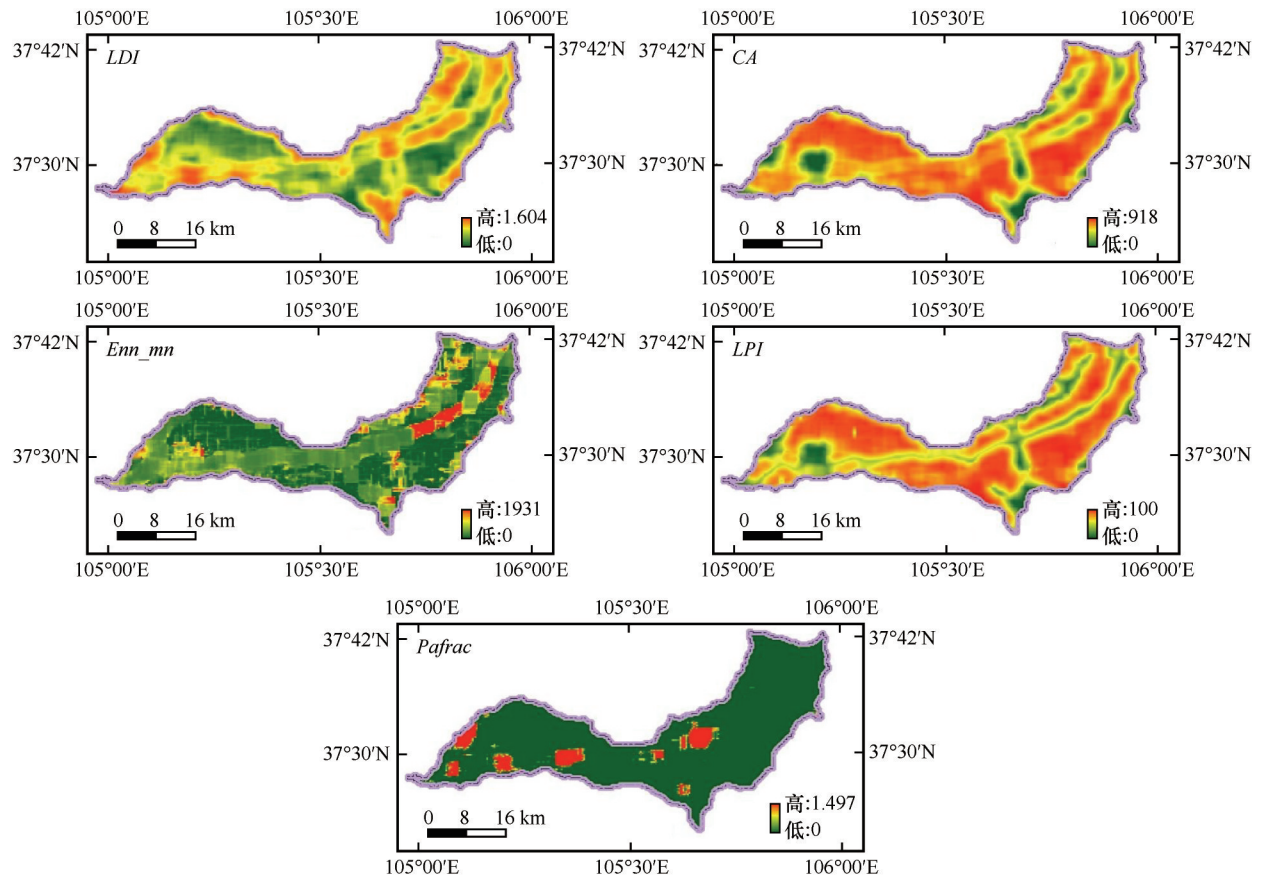


图 2 研究区 *LDI* 与农田格局指数 (*CA*, 类型面积; *Enn_mn*, 斑块间平均最邻近欧几里得距离; *LPI*, 最大斑块面积指数; *Pafrac*, 周长-面积分维数)

Fig.2 Distribution of *LDI* and farmland pattern factors in the study area (*CA*, Class Area; *Enn_mn*, Euclidean nearest neighbor distance_mean; *LPI*, Largest Patch Index; *Pafrac*, Perimeter-Area Fractal Dimension)

后获取的所有二因子交互分区 q 值在对应的分区独立、相加或组合极值(最大和最小)形成的阈值系列中的位置来确定,形成结果有非线性减弱(加强)、独立或双因子非线性增强等几种结果(表2)。生态探测是在交互探测基础上判断用于比较两农田格局指数交互对 LDI 的空间分布的影响是否有显著差异。显著性用 F 检查判定,在本文所用地理探测器模型中置信水平(α)设定为0.05。

表2 地理探测器模型因子交互作用类型

Table 2 Types of interaction between two independent variables in Geodetector Model

交互作用类型	判断准则
非线性增强	$q(x_1 \cap x_2) > q(x_1) + q(x_2)$
双因子增强	$q(x_1 \cap x_2) > q(x_1)$ 和 $q(x_2)$
单因子非线性减弱	$q(x_1 \cap x_2) < q(x_1)$ 或 $q(x_2)$
非线性减弱	$q(x_1 \cap x_2) < q(x_1)$ 和 $q(x_2)$
独立	$q(x_1 \cap x_2) = q(x_1) + q(x_2)$

风险区探测核心是判断任一个农田格局指数不同级别交互叠加区 q 值是否能通过 q 平均值统计学 t 检查,在本文地理探测模型中 α 也设定为0.05。

3 结果

3.1 农田格局指数对 LDI 空间异质性的影响

由表3可以看出,研究区不同农田格局指数对 LDI 的解释力(q 值)排序为 $CA > LPI > Enn_mn > Pafrac$,且均通过 F 显著性检验($P < 0.001$)。其中, CA 和 LPI 的解释力超过0.6,而 Enn_mn 和 $Pafrac$ 解释力不足0.35。从不同农田格局指数空间叠加区 q 值探测结果来看(表3),农田面积指数与其他指数重叠区域的 q 值都大于其单独值,其中除 $Enn_mn \cap Pafrac$ 重叠区 q 值(0.376)增加不明显,其他类型重

叠区 q 值(表4中黑体)都显著大于4种指数独立分布 q 值(表4中斜体)。 F 显著性检查表明,除 $Enn_mn \cap Pafrac$ 和 $LPI \cap Pafrac$ 重叠区,其他重叠区 q 值都达到了显著水平($P < 0.05$)。地理探测器模型输出的交互作用探测结果显示都为双因子非线性增强类型。

表3 不同农田格局指数(平均最邻近欧几里得距离, Enn_mn ;最大斑块面积指数, LPI ;周长-面积分维数, $Pafrac$;类型面积, CA)对景观多样性的解释力(q 值)

Table 3 The explanatory power (q -statistic) of different farmland pattern factors on LDI

	Enn_mn	LPI	$Pafrac$	CA
q	0.344	0.631	0.063	0.692
P	0.000	0.000	0.000	0.000

表4 不同农田格局指数(平均最邻近欧几里得距离, Enn_mn ;最大斑块面积指数, LPI ;周长-面积分维数, $Pafrac$;类型面积, CA)交互对景观多样性解释力(q 值)

Table 4 The explanatory power (q -statistic) of interactive detection between different farmland pattern factors on LDI

	Enn_mn	LPI	$Pafrac$	CA
Enn_mn	0.344			
LPI	0.701*	0.631		
$Pafrac$	0.376	0.644	0.063	
CA	0.751*	0.704*	0.709*	0.692

3.2 农田格局指数不同级别对 LDI 空间异质性的影响

在基本了解不同农田格局指数和指数组合对 LDI 异质性影响的基础上,同一指数不同级别的影响如何是下面讨论的主要问题。由图3可以看出,文中选定的4个农田格局指数不同级别对 LDI 空间异质性影响存在3种情况。反映农田总面积信息的

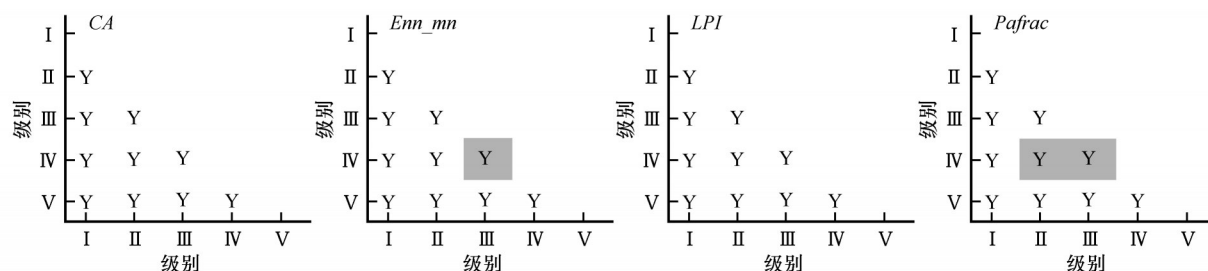


图3 不同农田格局指数(LDI ,景观多样性指数; CA ,类型面积; Enn_mn ,斑块间平均最邻近欧几里得距离; LPI ,最大斑块面积指数; $Pafrac$,周长-面积分维数)分级探测

Fig.3 Grading detector of different farmland pattern factors

CA 和最大斑块比例的 *LPI* 在 I—V 个级别间的 *t* 检查 ($\alpha=0.05$) 都存在显著性差异;反映农田斑块形状信息的 *Pafrac* 在第 IV 级别与第 II 级别和第 III 级别之间没有显著性差异(图 3 *Pafrac* 中阴影加黑字母);而反映农田斑块空间间隔距离信息的 *Enn_mn* 在第 III 级别和第 IV 级别间没有显著性差异(图 3 *Enn_mn* 中阴影加黑字母)。

3.3 农田格局指数交互和分级对 *LDI* 影响的空间分布特征

在基于地理探测器中的农田格局指数对 *LDI* 影响的单独作用、交互作用和分级作用基本清楚的基础上,在 ArcGIS 中对指数交互影响不显著区和同指数不同级别间不显著区进行提取,结果如图 4 和表 5。

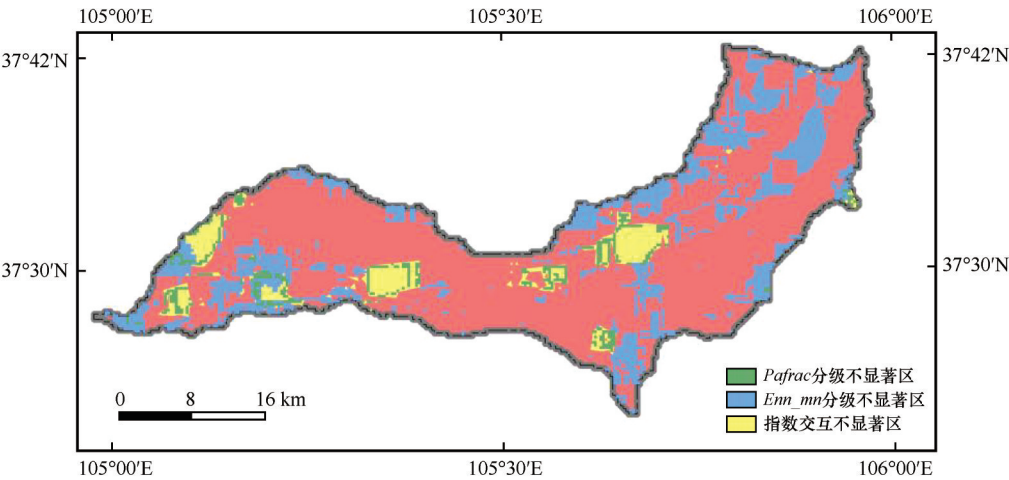


图 4 卫宁平原灌区指数交互与分级对景观多样性指数(*LDI*)影响的不显著区分布

Fig.4 Distribution of non-significant effects of factor interaction and grading on *LDI* in Zhongwei-Zhongning irrigation area

表 5 指数交互和指数分级中对景观多样性指数(*LDI*)影响不显著区域空间统计

Table 5 Statistics of regional space with no significant influence on *LDI* in factor interaction and factor classification

类别	面积/km ²	平均斑块面积/km ²	最大斑块比例/%	斑块间距离/m
<i>Pafrac</i> 分级不显著区	14.94	2.13	0.30	1 116
<i>Enn_mn</i> 分级不显著区	249.39	2.24	15.10	851.9
因子交互作用不显著区	122.44	2.61	24.80	717.5

因子交互作用不显著区 ($Enn_mn \cap Pafrac$ 和 $LPI \cap Pafrac$) 总面积为 122.44 km²。因子分级交互作用不显著区中的 *Pafrac* 因子 II、III 和 IV 级面积为 14.94 km², 占研究区面积 1.20%; *Enn_mn* 因子 III 和 IV 级面积为 249.39 km², 占研究区面积 20.09%。从两类(因子和级别交互)不显著区域的空间格局特点比较来看,因子交互作用不显著区在平均斑块面积和最大斑块比例两个指标上优势明显,分别为 2.61 km² 和 24.80%, 高于不同分级不显著区。但是在斑块间距离指标上最小为 717.5 m, 说明因子交互作用不显著区在空间上呈离散分布,这一点从图 4 中也可明显看出。从两种级别(*Pafrac* 和 *Enn_mn*) 空间特点比较来看, *Enn_mn* 分级不显著区在平均斑块面积和最大斑块比例两个指标上占优,分别为 2.24 km² 和 15.10%, 高于 *Pafrac* 不同级别不显著区。但是在斑块间距离指标上小于 *Pafrac* 为 851.9 m, 说明

Pafrac 分级不显著区在空间上离散性高于 *Enn_mn*。

4 讨论

景观多样性是建立在斑块类型数和面积比例基础上的,在任何一个研究区通过 Moving window 运算可实现不同分辨率的 *LDI* 二维空间表达^[28],同时也为地理探测器进行景观驱动机制变化分析增加了一个新思路^[14,29]。作为干旱半干旱人工绿洲主要组成部分和空间变化最显著类型,农田斑块格局对区域 *LDI* 变化具有显著影响。从因子独立分析来看, *CA* 是影响 *LDI* 的最显著因子, *q* 值为 0.692, 这一特点从诸多绿洲景观或土地利用变化研究中强调斑块类型面积是影响景观多样性的结论中获得佐证^[13,30-31]。同时,最大斑块指数 (*LPI*) 对 *LDI* 的影响也比较明显, *q* 值与 *CA* 近似为 0.631, 大斑块在景观中的作用在沙漠化、城市化和绿洲扩张等区域尺度研究中也清

晰的论述^[6,9,15,32]。而与已有相近似研究结果有所不同的是借助地理探测器和移动窗口方法不仅可分析斑块类型对 *LDI* 的影响程度,而且可判断不同农田格局指数空间特征对 *LDI* 影响的显著程度并实现空间表达。在 *CA* 等4个因子的6种组合中(表4), *CA* 与其他3个因子交互以及 *LPI* 与 *Enn_mn* 交互4种组合对 *LDI* 的影响达到了显著水平($P < 0.05$),显著区域占总面积71.41%,为886.62 km²,显著区面积是非显著区的2.5倍,说明在影响研究区 *LDI* 贡献中,因子交互作用占优势。事实上景观斑块格局不仅对景观多样性具有显著影响,而且是景观格局变化的主要驱动力,这一现象在分布于新疆和甘肃的人工绿洲区都有报道^[3,8,18-20]。基于地理探测器模型的疏勒河流域和石河子市景观生态风险评价也表明了人为干扰度是影响景观生态风险空间分布的主要因子^[19-20],而在人工绿洲景观空间表达上人为干扰主要表现在农业开垦和城镇扩张两个方面^[1-2]。

此外,不同因子分级平均值 *t* 检查分析表明, *CA* 和 *LPI* 因子在不同级别对 *LDI* 的影响都显著,但是斑块间距离因子中的Ⅱ、Ⅲ级和Ⅳ级对 *LDI* 影响差异不显著,从表1中反查可以获得斑块间距离无显著差异区间在67~801 m ($q > 0.05$);同时,斑块类型形状指数因子中的Ⅲ和Ⅳ级对 *LDI* 差异影响也不显著,从表1中反查可以获得 *Pafrac* 无显著差异区间在0.142~1.060。所以,从不同因子分级对 *LDI* 影响来看,当斑块间距离较小(Ⅰ级和Ⅱ级)或较大时(Ⅴ级)对 *LDI* 影响较大;同理,当斑块类型形状指数最小(Ⅰ)或最大(Ⅴ)时对 *LDI* 影响较大。

总的来看,采用地理探测器进行 *LDI* 空间异质性分析不仅可以实现二维空间表达,而且可对影响因子的作用(显著与否)范围进行空间分析,同时也可对影响因子在什么阈值范围内具有显著影响作出判断^[33-34]。但是需要强调的是,在景观研究中影响因子的选择和分区上必须严格控制其在空间表达上所具有的意义,避免选择表达属性相似的指数,导致分析结果重复。

5 结论

宁夏沿黄平原区景观多样性变化受到了农田的斑块类型面积和最大斑块指数显著影响,它们与斑块间最邻近欧几里得距离和斑块类型周长-面积分维数的交互作用大于其单独对景观多样性的影响,且影响更显著。斑块类型面积和最大斑块指数不同级别对

景观多样性都有显著影响;斑块间最邻近欧几里得距离和周长-面积分维数分别在67~801 m和0.142~1.060对景观多样性差异影响不显著,不在此阈值范围则对景观多样性有显著影响。

参考文献:

- [1] 吕新,杨磊,张风华,等.荒漠绿洲区农业特征及其可持续发展策略[J].中国沙漠,2005,25(4):599-603.
- [2] Wang T, Wang Z, Guo L, et al. Experiences and challenges of agricultural development in an artificial oasis: a review[J]. *Agricultural Systems*, 2021, 193: 103220.
- [3] 薛冬萍,薛杰,戴恒.和田绿洲景观破碎化特征及驱动因素[J].中国沙漠,2021,41(4):59-69.
- [4] Marcacci G, Gremion J, Mazenauer J, et al. Large-scale versus small-scale agriculture: disentangling the relative effects of the farming system and semi-natural habitats on birds' habitat preferences in the Ethiopian highlands[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, 289: 106737.
- [5] Liu C, Zhang F, Johnson V C, et al. Spatio-temporal variation of oasis landscape pattern in arid area: human or natural driving? [J]. *Ecological Indicators*, 2021, 125: 107495.
- [6] 常学礼,韩艳,孙小艳,等.干旱区绿洲扩展过程中的景观变化分析[J].中国沙漠,2012,32(3):857-862.
- [7] 高宇婷,于洋,孙凌霄,等.塔里木盆地南缘绿洲土地覆盖变化及驱动力[J].干旱区研究,2021,38(4):1172-1183.
- [8] 王新源,刘世增,陈翔,等.河西走廊绿洲面积动态及其驱动因素[J].中国沙漠,2019,39(4):212-219.
- [9] Dadashpoor H, Azizi P, Moghadas M. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 655: 707-719.
- [10] Fu B J, Hu C X, Chen L D, et al. Evaluating change in agricultural landscape pattern between 1980 and 2000 in the loess hilly region of Ansai County, China [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 114(2):387-396.
- [11] Lausch A, Herzog F. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability[J]. *Ecological Indicators*, 2002, 2(1):3-15.
- [12] 汤萃文,杨国靖,任珺,等.石羊河、黑河流域上游山地景观格局特征比较[J].冰川冻土,2010,32(5):1007-1014.
- [13] 贾毅,闫利,余凡,等.石羊河流域土地利用变化与景观格局分析[J].遥感信息,2016,31(5):66-73.
- [14] 孙丽蓉,周冬梅,岑国璋,等.基于地理探测器模型的疏勒河流域景观生态风险评价及驱动因素分析[J].干旱区地理,2021,44(5):1384-1395.
- [15] 张新焕,汪菲,侯艳军,等.三工河流域两种农田景观的差异及其成因[J].中国沙漠,2012,32(6):1786-1793.
- [16] Muyibul Z, Jianxin X, Muhtar P, et al. Spatiotemporal changes of land use/cover from 1995 to 2015 in an oasis in the middle reaches of the Keriya River, southern Tarim Basin, Northwest China [J]. *Catena*, 2018, 171: 416-425.

- [17] Pan N, Guan Q, Wang Q, et al. Spatial differentiation and driving mechanisms in ecosystem service value of arid region: a case study in the middle and lower reaches of Shule River Basin, NW China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 319: 128718.
- [18] 黄犁, 徐丽萍. 玛纳斯河流域绿洲时空演变及其景观格局变化[J]. *干旱区研究*, 2019, 36(5): 1261–1269.
- [19] 孙丽蓉, 周冬梅, 岑国璋, 等. 基于地理探测器模型的疏勒河流域景观生态[J]. *干旱区地理*, 2021, 44(5): 1384–1395.
- [20] 王莉红, 张军民. 基于地理探测器的绿洲城镇空间扩张驱动力分析: 以新疆石河子市为例[J]. *地域研究与开发*, 2019, 38(4): 68–74.
- [21] 张华, 安慧敏. 基于GEE的1987–2019年民勤绿洲NDVI变化特征及趋势分析[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(1): 28–36.
- [22] 毋兆鹏, 牛苏娟, 毛敏, 等. 精河流域绿洲“冷岛效应”时空格局遥感研究[J]. *国土资源遥感*, 2020, 32(3): 106–113.
- [23] 巩杰, 赵彩霞, 谢余初, 等. 基于景观格局的甘肃白龙江流域生态风险评价与管理[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(7): 2041–2048.
- [24] 薛文瑞, 杨自辉, 张永, 等. 民勤荒漠绿洲植被覆盖对地下水和降水变化的响应[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(8): 102–109.
- [25] Liu L, Zhang X, Chen X, et al. GLC_FCS30-2020: global land cover with fine classification system at 30 m in 2020[J]. *Earth System Science Data*, 2020, 13: 2753–2776.
- [26] Wu J, Shen W, Sun W, et al. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics[J]. *Landscape Ecology*, 2002, 17(8): 761–782.
- [27] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116–134.
- [28] 胡荣明, 杜嵩, 李朋飞, 等. 基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区景观破碎化及驱动力分析[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(3): 502–511.
- [29] Liu J, Xu Q, Yi J, et al. Analysis of the heterogeneity of urban expansion landscape patterns and driving factors based on a combined Multi-Order Adjacency Index and Geodetector Model[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 136: 108655.
- [30] 温玉玲, 李红波, 张小林, 等. 近30年来鄱阳湖环湖区土地利用与景观格局变化研究[J]. *环境科学学报*, 2022, 42(5): 1–10.
- [31] Seidl N P, Golobič M. Quantitative assessment of agricultural landscape heterogeneity[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 112: 106115.
- [32] 马雄德, 范立民, 张晓团, 等. 陕西省榆林市榆神府矿区土地荒漠化及其景观格局动态变化[J]. *灾害学*, 2015, 30(4): 126–129.
- [33] Huang S, Xiao L, Zhang Y, et al. Interactive effects of natural and anthropogenic factors on heterogenetic accumulations of heavy metals in surface soils through geodetector analysis[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 789: 147937.
- [34] 杨丽萍, 张静, 贡恩军, 等. GEE联合多源数据的西安市土地利用时空格局及驱动力分析[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(2): 279–288.

Analysis of the influence of farmland pattern on landscape diversity in artificial oasis along the Yellow River in Ningxia: a case study in Zhongwei-Zhongning Plain Irrigation District

Qiao Rongrong¹, Huang Haitao², Dong Chunyuan³, Luo Lihui⁴, Chang Xueli³

(1. School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 2. Yantai No.5 Middle School, Yantai 264001, Shandong, China; 3. School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China; 4. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Landscape diversity is an integrated index to measure the type and area proportion of land use / cover in regional ecosystems and the most frequently used index in the research of landscape ecology. As the main landscape component of artificial oases in arid and semi-arid, farmland has been one of the focus of research on the spatial structure of oasis in the past half a century. Based on the land use/cover data with a spatial resolution of 30 m in 2020, this study used the spatial differentiation factor explanatory power (q -statistic) of the geodetector model and method of the moving window to analyze the influence of farmland pattern on landscape diversity in Weining plain irrigation district of artificial oasis along the Yellow River in Ningxia. The results showed that the change of landscape diversity (LDI) in plains along the Yellow River in Ningxia was significantly affected by farmland total area (CA) and largest patch index (LPI), and their interaction with patch euclidean nearest neighbor distance (Enn_mn) and perimeter-area fractal dimension ($Pafrac$) was more significant than that alone. The grading study of different farmland pattern index showed that CA and LPI at different grade had a significant effects on LDI , Enn_mn and $Pafrac$ between 67–801 m ($q > 0.05$) and 0.142–1.060, respectively, which do not differ significantly in their effect on LDI , while those not within this threshold had a significant effect on LDI .

Key words: geodetector; moving window; landscape diversity; farmland pattern; oasis