

引用格式:管青春,郝晋珉,许月卿,等.基于生态系统服务供需关系的农业生态管理分区[J].资源科学,2019,41(7):1359-1373. [Guan Q C, Hao J M, Xu Y Q, et al. Zoning of agroecological management based on the relationship between supply and demand of ecosystem services[J]. Resources Science, 2019, 41(7): 1359-1373.] DOI: 10.18402/resci.2019.07.16

基于生态系统服务供需关系的农业生态管理分区

管青春^{1,2},郝晋珉²,许月卿²,任国平³,康 蕾^{4,5}

(1. 中国石油大学(华东)海洋与空间信息学院,青岛 266580;2. 中国农业大学土地科学与技术学院,北京 100193;3. 湖南城市学院管理学院,益阳 413000;4. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室,北京 100101;5. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘 要:生态系统服务是人类赖以生存和发展的基础,厘清生态系统服务供给与需求的关系并对其分区管控有助于提升人类福祉。本文针对如何表征农业生态系统服务供需状态及其空间异质性问题,采用基于LUCC的生态系统服务矩阵,构建供需匹配度和供需协调度2个指标,并对2015年河北省曲周县村级行政单元农业生态系统服务状态和可持续能力进行评判;运用局部空间自相关分析,以局部空间集聚特征为依据,通过空间叠加产生的组合类型划分曲周县的农业生态管理区,并提出针对分区的管理措施。研究结果表明:①供需匹配度和供需协调度指标能实现区域内农业生态系统服务的整体评价,且具有可应用性和普适性。②2015年曲周县生态系统服务供需匹配度和协调度空间差异明显。区域供需匹配度为1.0647,处于一般均衡等级,表明2015年曲周县生态系统服务供需处于均衡状态;区域供需协调度为0.8977,处于良好协调状态,表明区域生态系统服务可持续能力较高。③将曲周县339个村级行政单元划分为4个一级生态管理区和12个二级生态管理亚区。提出的管理措施如下:生态保育区实施严格保护,禁止大规模建设;生态培育区实施综合保护,提升投产效益;生态改良区实施综合改良,促使生态环境转好;生态重构区实施整体生态整治和针对性生态重构。该研究结果可为区域的生态系统服务精细化管理、差异化保护提供思路。

关键词:农业生态系统;生态系统服务;供需匹配度;供需协调度;空间自相关;分区;河北省曲周县

DOI:10.18402/resci.2019.07.16

1 引言

生态系统服务是人类赖以生存和发展的基础^[1],农业生态系统作为人工-自然复合生态系统具有多种生态服务功能,正确认识农业生态系统服务供需关系并对其进行有效的管理,有助于区域福祉的提升^[2]。近年来,随着中国快速城镇化的推进,城市建设大量占用生态用地,人类对生态系统索取急速增长,打破了生态系统服务的供需平衡状态和协同关系,导致生态系统完整性受到威胁,生态系统结构出现斑块化、破碎化和脆弱化,生态系统服务供给能力下降,最终影响区域福祉提升^[3]。而农业生态管

理分区综合反映了区域生态系统服务的特征差异,是自然资源开发和生态环境保护空间差异化管理的重要依据^[4]。由于生态系统服务在外界环境影响下呈现出空间异质性,因此,科学合理分析生态系统服务空间分异和集聚特征,并据此划分农业生态管理区域,制定针对性的生态保护措施,对生态系统服务进行有效保护和精细化管理有着重要的意义。

目前,关于生态管理分区的研究已取得较多成果,主要集中于以下方面:①基于单一的生态系统服务供给类型差异开展分区研究,如湖泊营养物质分区^[5]、土壤水分分区^[6]、土壤管理分区^[7]、水生态分区^[8]

收稿日期:2018-10-22,修订日期:2019-04-17

基金项目:国家科技支撑计划项目(2015BAB06B01)。

作者简介:管青春,女,山东青岛人,博士生,研究方向为土地利用规划和社会-生态系统。E-mail: qingchun68628@126.com

通讯作者:郝晋珉,男,山西太谷人,博士,教授,研究方向为土地利用规划和区域可持续发展。E-mail: jmhao@cau.edu.cn

等;②基于生态系统服务差异化的分析框架开展分区研究,如要素-结构-功能框架分区^[4]、源-汇框架分区^[9]、生态修复框架分区^[10]、多级技术框架分区^[11]等;③基于生态系统服务属性开展分区研究,如生态系统服务簇分区^[12]、要素尺度特征分区^[13]、多元环境变量分区^[7]、结构特征分区^[14]等;此外,研究区域多以大尺度的流域和生态控制区为主,如巢湖流域^[15]、金沙江流域^[16]、太湖流域^[17]、丹江口水源区^[18]等;分区方法多元,如3S技术^[15]、等级层次分析法^[16]、水足迹^[19]、聚类分析法^[20]等。总体而言,对于生态管理分区研究已经日趋完善,极大地丰富了生态系统服务的内涵,为切实提升生态系统服务管理和完善其保护体系提供了理论基础和科学支撑,但仍存在以下不足:①区域生态系统服务是一个完整的体系,从一种或者几种服务类型角度对生态系统进行分区难以体现其整体状况,分区的结果有失偏颇;②已有的生态管理分区多强调从服务类型的供给角度进行分区,但生态系统服务是一个从供给到需求的流动过程,对生态需求及供给与需求之间的关系研究较少;③当前的生态管理分区研究区域主要集中在典型的流域和高敏感的区域且以大尺度为主,但大尺度的空间分析难以表征生态系统服务的内部差异,而针对以村级尺度的传统农业生态区开展分区管理的研究不多,导致分区结果的应用性较差;④生态系统服务作为空间实体,其本质上被赋予了特定的空间属性,表现出一定的空间集聚性,而采用数量聚类的方法却无法反映其空间的关联性和连续性,导致生态管理分区措施难以落地。

生态系统服务的产生依赖于生态系统结构和过程,即生态完整性^[21]。土地利用和土地覆被变化对生态系统的完整性有直接的影响,能够影响生态系统服务向人类社会提供商品和服务的能力,同时,人类对生态系统需求也随着供应能力和社会因素的影响而发生变化^[22]。生态系统服务从自然生态系统传递到社会经济系统为人类所使用,形成生态系统服务流,人类对生态系统生产的产品和服务的消费和使用形成需求。生态系统服务的潜在供给(Ecosystem Service Potential)即自然资本存量,是指特定区域在一定的时空范围内其生态系统依靠自身的完整性为人类提供的最大产品和服务^[23];

生态系统服务流即生态系统服务的实际供给(Ecosystem Service Flows),指特定时期和区域内自然系统能实际使用的生态系统服务和其他产出^[23]。生态系统服务需求即人类实际需求(Demand for Ecosystem Service),是人类在特定的时空对生态系统产品和服务的消费和使用^[23]。

河北省曲周县是中国北方粮食主产区和极具代表性的平原集约化农区,具有典型的农业生态系统特征,以粮食供给为主。自1973年开展“旱涝碱咸综合治理”项目以来,区域内景观类型发生了很大的变化。目前随着区域内耕地高产和农业高投入,以及人们生活水平的提高,农业生态系统服务供给和需求之间的矛盾突显。本文选择河北省曲周县作为研究区,采用基于LUCC的生态系统服务矩阵,获取不同空间上的生态系统服务能力,以此为基础构建供需匹配度和供需协调度2个指标,对2015年曲周县村级行政单元生态系统服务状态和可持续能力进行评判;运用局部空间自相关分析,以局部空间集聚特征为依据,通过空间叠加产生的组合类型划分曲周县农业生态管理区,提出针对分区的管理措施,为区域生态系统服务管理和保护提供科学借鉴。

2 研究区概况

曲周县位于河北省南部(114°50'30"E—115°13'30"E,36°34'45"N—36°57'57"N之间),处于华北平原,属暖温带半湿润大陆性季风气候区(图1)。全县年平均气温13.1℃,年平均降雨量为534.9 mm,降水量主要集中在7~9月,雨热同期。地面高程32.7~45.5 m,地势平坦。自然植被类型为针叶林、阔叶林、灌木丛。区域内耕地资源丰富,农作物常年播种面积74666.67 hm²,主要种植作物有小麦、玉米、高粱和棉花。2015年,曲周县总人口51.36万,农业人口占全县总人口96.9%,全县共有6个镇、4个乡。

3 研究方法 with 数据

3.1 研究方法

3.1.1 生态系统服务矩阵

生态系统服务矩阵是土地覆被类型(LULC)与生态系统服务潜在供给、实际供给(流)、需求联系的示范性矩阵^[23],该矩阵由Burkhard等^[24]提出,是通过专家对生态系统服务供给能力和人类需求的生

2019年7月

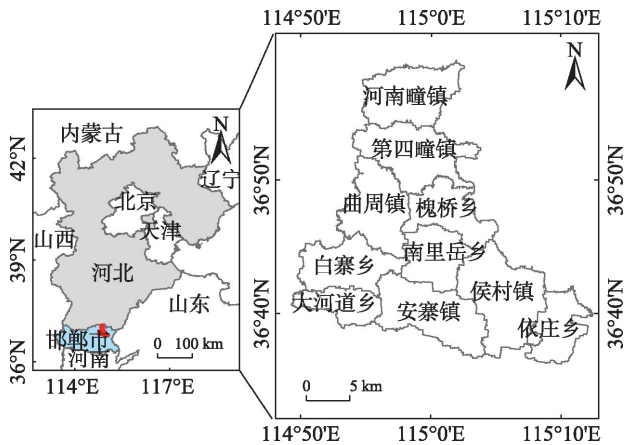


图1 中国河北省曲周县区位图

Figure 1 Location of Quzhou County in Hebei Province, China

物物理单元进行赋值,揭示土地利用变化下不同生态系统提供生态系统服务的能力^[22]。矩阵分值设定为0~5分,表征生态系统服务供给和需求的相关能力,其含义为:0=无相关能力,1=低相关能力,2=一般相关能力,3=中等相关能力,4=高相关能力,5=非常高相关能力^[22-24]。该方法较好地解决了生态系统服务供给和人类需求数据的复杂性和难以获取性而导致量纲难以统一的问题,为生态系统服务供给与人类需求之间构建了“桥梁”,该方法已被众多学者广泛应用于生态系统服务供需关系研究中并取得了较好的成果^[25-29]。

基于 Costanza 等^[31], de Groot 等^[32], MA^[1], Burkhard 等^[22]对生态系统服务分类的研究成果,及曲周县农业生态系统特征,将生态系统服务分为:生态完整性、调节服务、供给服务、文化服务。其中,考虑到生态完整性所涉及生态系统服务重复计算的问题^[22,32,33],故不将其纳入生态系统服务矩阵计算过程中。据此,构建了19项生态系统服务(x轴)与11种土地利用类型(y轴)相关联的生态系统服务潜在供给、实际供给、需求矩阵(表1-表3)。本文采用生态系统服务矩阵法开展研究,具体步骤如下:

(1)邀请咨询专家。课题组于2017年7月对不同专业知识背景且非常熟悉当地环境的11位专家进行了咨询。专家包括当地农业试验站从事农业景观研究人员2名、政府相关部门从事土地资源管理的工作人员2名、参与曲周县1973年“盐碱地综合治理”项目工作人员2名、以及来自高校相关领域(土地生态学、土壤学等)的专家5名。

(2)生态系统服务矩阵值获取。专家咨询采用每人1份问卷(共获得11份问卷),咨询问卷包括:“咨询目的”“研究路线与过程”“生态系统服务潜在供给、实际供给和需求的定义”“曲周县自然地理及社会概况”“2015年生态系统服务矩阵(潜在供给、实际供给和需求)评分表”。专家打分过程:①受访专家根据不同土地利用类型对相关生态系统服务类型的重要性进行独立评分,并根据每项生态系统服务对曲周县的总体重要性进行评分;②专家打分过程采取面对面访问,避免理解上的误差;③经过两轮咨询反馈取得专家一致意见(获得第一轮专家评分结果,采用计算算术平均值,并将生态系统服务矩阵值的结果反馈给各位专家进行修正),最终确定生态系统服务潜在供给、实际供给、需求矩阵值(表1-表3)。

(3)生态系统服务制图。将得到的矩阵值利用 ArcGIS 10.0 的矢量计算功能批量赋值于 30 m×30 m 的网格单元内,采用矩阵值和对应的土地利用类型面积相乘得到区域潜在供给、实际供给和需求的相关能力值。

3.1.2 生态系统服务供需评价指标

生态系统服务的传递过程包含潜在供给、实际供给(流)和需求3个基本环节。鉴于此,研究通过生态系统服务潜在供给、实际供给、需求之间的关系,采用潜在供给-需求、实际供给-需求分析生态系统服务从自然生态系统流向人类社会系统的动态耦合过程,构建“供需匹配度”和“供需协调度”2个指标,评估生态系统服务状态(图2)。

(1)生态系统服务供需匹配度

供需匹配度反映一定区域内生态系统服务潜在供给能否承载人类需求及承载程度,表征生态系统服务的潜在供给与人类需求之间的匹配状态。

$$\text{供需匹配度} = \frac{\text{潜在供给}}{\text{人类需求}}, \begin{cases} < 1, \text{亏损状态} \\ = 1, \text{平衡状态} \\ > 1, \text{盈余状态} \end{cases} \quad (1)$$

研究采用 ArcGIS10.0 的“自然断点法”将供需匹配度指标值分为3种类型和7个等级。其中,供需匹配度大于1时表示生态系统服务盈余,供给和需求匹配(包括:一般均衡等级(1.00, 1.10)、良好匹配等级(1.10, 2.00)、优质匹配等级(2.00, +∞)),生态系统服务供给和需求处于可承载状态;供需匹配度等于1时表示供给和需求完全均衡,生态系统服

表1 2015年曲周县生态系统服务潜在供给

Table 1 Ecosystem service potential matrix for Quzhou County, 2015

土地利用类型	调节服务								供给服务						文化服务				
	当地气候调节	空气质量调节	水量调节	侵蚀调节	水净化	自然灾害调节	害虫和疾病防控	授粉	农作物	饲料	水产养殖	淡水	木材	能源	休闲与生态旅游	景观美学享受	知识与教育	文化与传承	自然遗产
水浇地	2	2	2	2	0	0	1	2	5	2	0	0	0	3	1	2	4	4	4
旱地	3	2	2	3	1	2	1	3	5	5	0	0	0	3	1	2	4	4	4
园地	4	4	2	4	1	2	3	5	5	0	0	0	3	1	4	5	5	3	3
林地	5	5	3	5	5	4	5	4	0	1	0	0	5	1	5	5	5	3	5
草地	2	2	2	3	4	1	3	1	0	5	0	0	0	1	2	3	2	2	2
建设用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
交通用地	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
河流水面	4	2	5	0	5	3	3	0	0	0	5	5	0	1	5	5	4	4	4
坑塘水面	1	1	4	0	4	3	3	1	0	2	0	4	0	0	1	3	2	2	0
盐碱地	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	2	5	5	4
公园与绿地	2	3	2	3	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	0

表2 2015年曲周县生态系统服务实际供给

Table 2 Ecosystem service flow matrix for Quzhou County, 2015

土地利用类型	调节服务								供给服务						文化服务				
	当地气候调节	空气质量调节	水量调节	侵蚀调节	水净化	自然灾害调节	害虫和疾病防控	授粉	农作物	饲料	水产养殖	淡水	木材	能源	休闲与生态旅游	景观美学享受	知识与教育	文化与传承	自然遗产
水浇地	2	2	1	2	0	0	0	1	4	1	0	0	0	1	1	2	3	3	4
旱地	3	2	1	3	1	2	0	3	4	3	0	0	0	1	1	2	3	3	4
园地	4	4	2	4	1	2	0	3	4	0	0	0	2	0	1	1	4	2	2
林地	5	4	2	5	4	3	5	1	0	0	0	0	2	1	1	2	4	1	4
草地	2	1	1	3	4	1	1	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
建设用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
交通用地	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
河流水面	1	2	2	0	4	3	2	0	0	0	4	3	0	0	1	3	1	0	3
坑塘水面	2	2	2	0	2	3	1	0	0	0	3	3	0	0	2	2	2	1	1
盐碱地	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2
公园与绿地	2	2	1	3	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	0

表3 2015年曲周县生态系统服务需求

Table 3 Ecosystem service demand matrix for Quzhou County, 2015

土地利用类型	调节服务								供给服务						文化服务				
	当地气候调节	空气质量调节	水量调节	侵蚀调节	水净化	自然灾害调节	害虫和疾病防控	授粉	农作物	饲料	水产养殖	淡水	木材	能源	休闲与生态旅游	景观美学享受	知识与教育	文化与传承	自然遗产
水浇地	2	1	2	5	5	2	4	2	0	0	0	5	0	1	0	0	1	1	1
旱地	2	1	2	5	0	3	4	4	0	0	0	5	0	1	0	0	1	1	1
园地	5	1	2	1	3	3	4	3	0	0	0	3	1	1	4	4	5	1	0
林地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	5	1	5
草地	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	5	5	0	0
建设用地	5	5	4	2	5	5	1	1	5	0	5	5	3	5	4	5	4	5	4
交通用地	5	5	4	1	5	5	2	1	3	0	0	3	1	4	3	4	3	1	1
河流水面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	4	1	4
坑塘水面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	4	1	0
盐碱地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
公园与绿地	3	2	2	0	0	2	3	2	0	0	0	3	2	2	5	5	5	3	1

2019年7月

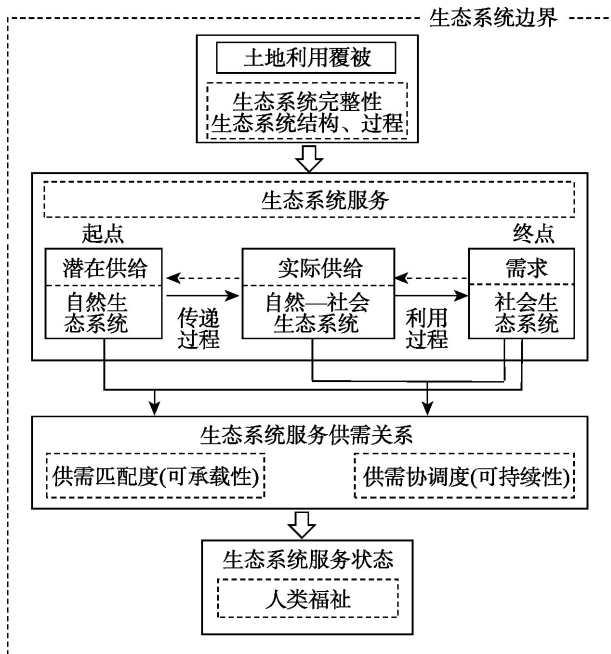


图2 生态系统服务分析框架

Figure 2 Analytical framework of supply and demand process of ecosystem services

务供给和需求处于均衡状态;供需匹配度小于1时表示生态系统服务亏损,供给和需求不匹配(包括:轻度失配等级(0.85, 1.00)、中度失配等级(0.50, 0.85)、严重失配等级(0.00, 0.50)),生态系统服务供给和需求处于不可承载状态。

(2) 生态系统服务供需协调度

供需协调度表征生态系统服务的实际供给和人类需求之间协调发展状况好坏程度,反映两者之间是否和谐一致和良性循环的关系,可揭示区域生态系统服务可持续能力的高低。公式如下:

$$\text{供需协调度} = \sqrt{\frac{\text{实际供给} \times \text{人类需求}}{((\text{实际供给} + \text{人类需求})/2)^2}} \quad (2)$$

根据公式可知,供需协调度(C_v)的取值[0, 1]。协调度(C_v)=1时,为最佳协调状态;协调度(C_v)=0时,为供需完全失调。研究借鉴MA^[34]的研究成果将供需协调度划分为12等。

$C_i =$	$\begin{cases} [0.00, 0.05) & \text{完全失调} \\ [0.05, 0.10) & \text{极度失调} \\ [0.10, 0.20) & \text{严重失调} \\ [0.20, 0.30) & \text{中度失调} \\ [0.30, 0.40) & \text{轻度失调} \\ [0.40, 0.50) & \text{濒临失调} \end{cases}$	$C_i =$	$\begin{cases} [0.50, 0.60) & \text{基本协调} \\ [0.60, 0.70) & \text{勉强协调} \\ [0.70, 0.80) & \text{初级协调} \\ [0.80, 0.90) & \text{中级协调} \\ [0.90, 0.95) & \text{良好协调} \\ [0.95, 1.00] & \text{优质协调} \end{cases}$
---------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.1.3 空间自相关分析

空间自相关分析主要研究地理要素之间相关性和探测空间的异质性^[35,36],包括全局空间自相关和局部空间自相关^[37]。本文采用全局空间自相关分析供需匹配度和供需协调度的空间分布整体特征,采用局部空间自相关分析供需匹配度和供需协调度的局部空间集聚特征,为生态分区提供科学基础。

运用全局Moran's I 统计量验证区域生态系统服务供需指标空间依赖程度,Moran's I 统计量在[-1, 1]之间, $I > 0$ 代表空间属性值呈正相关,趋于空间聚合; $I < 0$ 代表空间属性值呈负相关,趋于空间离散; $I = 0$ 代表没有通过显著性检验,趋于空间随机分布。本文采用 Z 值开展显著性检验,当 $Z > 1.96$ 或 $Z < -1.96$ ($\alpha = 0.05$)时,代表区域生态系统服务供需指标在空间上具有显著相关性^[38]。

对区域生态系统服务供需指标进行局部空间自相关分析,采用LISA集聚图分析区域生态系统服务供需指标的空间位置异质性。将区域局部空间相关性按照HH(高高型)、LL(低低型)、HL(高低型)、LH(低高型)和NN(非显著相关型)分成5种不同类型。其中,HH型和LL型为正相关,代表供需指标空间聚合程度高;HL型LH型为负相关,代表供需指标空间离散程度高;NN型代表非显著相关型,无明显的聚合和离散特征^[39]。

3.2 数据来源与处理

研究涉及数据主要来源于:①地理空间数据。主要来源于曲周县国土部门提供的2015年1:5000土地利用现状图;高程、坡度和坡向数据(分辨率30 m),通过数字高程DEM提取(来源: <http://datamirror.csdb.cn>, 2015年)并重新分类。根据区域土地利用特点将曲周县的土地利用类型划分为草地、公园绿地、旱地、河流水面、建设用地、交通过地、坑塘水面、林地、水浇地、盐碱地、园地。②社会经济数据。主要来源为曲周县统计部门提供的2015年《曲周县统计年鉴》《曲周县农业统计年鉴》等。③生态系统服务供需数据。通过生态系统服务矩阵,采用生态系统服务矩阵法获取,具体过程见3.1.1小节。

研究数据处理如下:为克服图斑面积过小导致局部空间自相关分析结果辨识性差的问题^[40],研究

以339个行政村为空间统计单元。考虑到孤立点或噪声点对数据产生影响,采用探索性数据分析法对离群值剔除,以降低基础数据中噪声点影响^[41]。

分区流程如下:①研究采用2015年曲周县栅格地图,运用生态系统服务的矩阵数据,对生态系统服务矩阵分值批量赋值到各土地利用类型栅格。②利用生态系统服务供需关系构建评价指标,采用ArcGIS10.0的分区统计功能分析生态系统服务供需类型和指标的空间分异特征。③以行政村为评价单元对构建的生态系统服务指标采用GeoDa1.6.7软件的空间相关性分析,以局部空间集聚特征为依据,通过空间叠加产生的组合类型划分曲周县的农业生态管理区。

4 结果与分析

4.1 生态系统服务潜在供给、实际供给、需求空间特征

图3为2015年曲周县生态系统服务潜在供给、实际供给、需求的空间格局:生态系统服务潜在供给高值区出现在北部的河南疃镇、第四疃镇和安寨镇,而低值区位于该区中部的曲周镇、槐桥乡和白寨镇;生态系统服务实际供给的高值区位于南部的白寨镇、大河道乡、安寨镇、侯村镇和依庄乡;生态系统服务需求的高值区主要分布在曲周镇、西南部的白寨镇、东部的槐桥乡和南里岳乡。

4.2 生态系统服务供需指标空间特征

通过计算得到,2015年曲周县生态系统服务供需匹配度分布范围为0.8235~1.7157,全域的生态系

统服务匹配度指标值为1.0647(一般均衡)。表明曲周县生态系统服务供需处于均衡状态,农业生态系统服务整体上能够满足县域内部的需求或消耗。从空间分异上看,生态系统服务供需匹配度呈东北、东南高,中西低的格局特征(图4)。其中,高值区域位于东南部的依庄乡和侯村镇指标值分别为1.7157和1.5578(良好匹配);低值区位于中部的曲周镇、南里岳乡和槐桥乡,指标值分别为0.8253(中度失配)、0.9648(轻度失配)和0.9799(轻度失配)。区域的差异性主要源于中部区域在人口增长、城镇空间扩张和产业崛起中,人类对建设用地需求的增加造成林地、草地和水域等土地利用类型被大量的侵占,破坏了生态平衡。

2015年曲周县生态系统服务供需协调度分布范围为0.6958~0.9453,全域的生态系统服务协调度指标值为0.8977(良好协调)。表明区域生态系统服务可持续能力较高,生态系统服务实际供给与人类需求关系处于良性循环和可持续状态。从空间分异上看,生态系统服务供需协调度呈中部低四周高的空间格局(图4)。其中,高值区位于东北部的河南疃镇、第四疃镇和西南部的大河道乡,指标值分别为0.9242、0.9453、0.9012(良好协调)。而中部的曲周镇、南里岳乡和白寨镇指标值较低,分别为0.6958(勉强协调)、0.7148(初级协调)、0.7243(初级协调)。主要原因为中部区域的人口密集,人口过快的增长和产业快速发展一方面使得实际供给快速消耗,进而导致生态系统的实际供给服务能力下

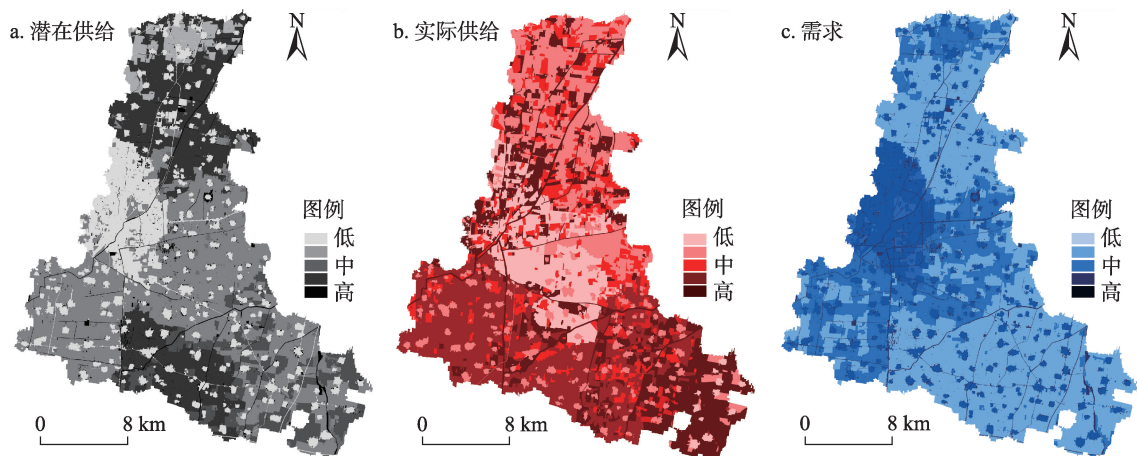


图3 2015年曲周县生态系统服务潜在供给(a)、实际供给(b)、需求(c)空间分布

Figure 3 Spatial distribution of ecosystem service potential (a), flow (b), and demand (c) matrices for Quzhou County, 2015

2019年7月

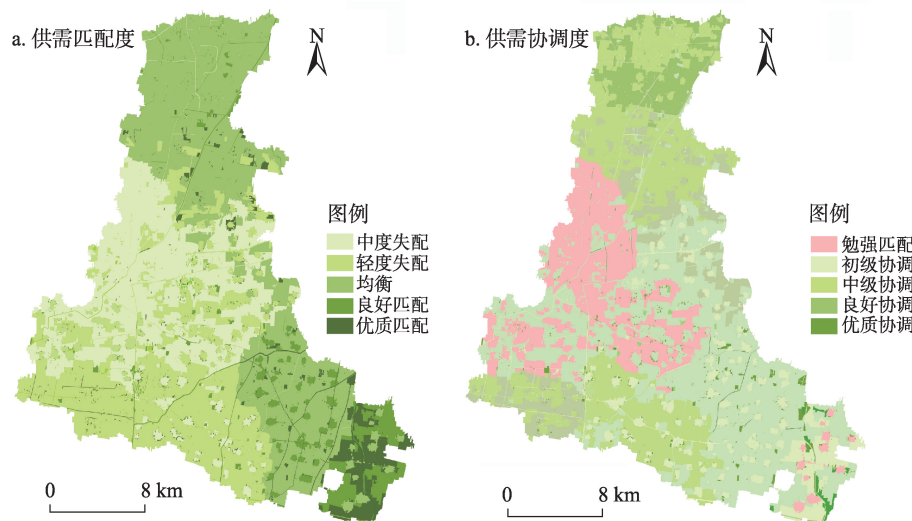


图4 2015年曲周县生态系统服务供需匹配度(a)、供需协调度(b)空间分布

Figure 4 Spatial distribution of ecosystem service supply and demand matching degree (a) and coordination degree (b) of Quzhou County, 2015

降;另一方面,随着区域经济和社会的快速发展,人类的物质需求呈非线性方式增长,且需求种类复杂多样,导致人类需求总量快速增加。

4.3 生态系统服务供需空间自相关结果

4.3.1 全局空间自相关结果

全局空间自相关检验结果显示,2015年曲周县行政村生态系统服务供需匹配度和供需协调度指标全局自相关Moran's I 值分别为0.712和0.829; Z 值分别为6.334和5.148,在5%水平上显著性。表明2015年曲周县生态系统服务供需匹配度和供需协调度空间分布存在较强的正相关性(接近1),2个指标值在空间呈现显著的聚集特征,可对2个指标进一步进行局部空间自相关分析。该结果表现出的空间集聚特征也验证了采用空间自相关分析进行生态管理分区的正确性。

4.3.2 局部空间自相关结果

通过表4的统计结果可知,供需匹配度和供需协调度的局部空间分布模式为:该区多数村级行政单元供需指标值局部空间自相关在95%置信度下非显著(NN型);生态系统服务供需匹配度和供需协调度正相关类型(HH型和LL型)数量表现为供需匹配度大于供需协调度,该结果与全局空间自相关结果一致。2个指标对应的LISA图,反映了各自相关类型在空间上的分布情况(图5)。

供需匹配度局部空间自相关分析结果显示,该

区出现5种自相关类型(表4和图5)。其中,HH型和LL型面积分别为13764.27 hm^2 和15435.98 hm^2 ,占总面积的20.34%和22.81%;HL型和LH型面积较小,2种类型占总面积的14.29%;NN型的行政村面积最大,占总面积的42.56%。空间上,供需匹配度HH型主要以团聚状分布为主,集中分布在该区北部和南部的“河南疃镇-第四疃镇-侯村镇-依庄乡区域”;HL型主要分布在该区的第四疃镇西部、大河道乡和安寨镇北部区域;LH型主要分布在白寨镇北部、槐桥乡和侯村镇的部分区域;LL型主要分布在该区中部的曲周镇中部和南里岳乡的北部区域。供需协调度局部空间自相关分析结果显示,该区同样出现5种自相关类型(表4和图5)。其中,HH型和LL型分别占总面积的17.54%和15.60%;HL型和LH型分别占总面积的10.69%和10.91%;NN型占总面积的45.28%。空间上,供需协调度集聚类型主要以“条带状”和“团聚状”为主。其中,HH型主要分布在河南疃镇南部、第四疃镇北部、侯村镇的东南部和依庄乡的西部;HL型分布在第四疃镇的西部、大河道乡北部和安寨镇北部;LH型分布在白寨镇的东部和槐桥乡的南部。

曲周县北部和南部的“河南疃镇-第四疃镇-侯村镇-依庄乡区域”成为高值集聚区主要原因为北部洼地区(河南疃镇和第四疃镇)虽生态质地差,但是土壤改良措施完善,多年的土地整理工程和盐碱

表4 2015年曲周县生态系统服务供需匹配度和供需协调度局部空间自相关类型统计表

Table 4 Statistics of local spatial autocorrelation types of ecosystem service supply and demand matching degree and coordination degree of Quzhou County, 2015

自相关类型	供需匹配度			供需协调度		
	行政村个数	面积/hm ²	面积占比/%	行政村个数	面积/hm ²	面积占比/%
HH型	87	13764.27	20.34	75	11865.75	17.54
HL型	21	3616.41	5.34	42	7232.82	10.69
LH型	32	6055.04	8.95	39	7379.58	10.91
LL型	98	15435.98	22.81	67	10553.17	15.60
NN型	101	28796.39	42.56	116	30636.77	45.28
总计	339	67668.09	100.00	339	67668.09	100.00

注:HH为高高型;HL为高低型;LH为低高型;LL为低低型;NN为非显著型。

地改良措施使该区域地类丰富、生物物种多样;同时人类需求在该区较小,形成供需匹配度和供需协调度高值集聚区。南部高平地(侯村镇和依庄乡)依托良好的灌溉条件和肥沃的土壤成为供需匹配度高值集聚区;而该区中部的曲周镇和南里岳乡为人口密集区,生境条件差成为供需协调度低值集聚区。该区的实际状况与供需匹配度LISA集聚图得到的集聚区在空间上基本符合。

4.4 农业生态管理分区

在前文基础上,对不同指标的集聚区进行空间叠加,按照集聚属性的一致性进行归并,对各个属性的组合类型进行分区统计,得到农业生态管理分区(图6)。①为体现集聚分区的内涵,研究根据集

聚组合类型分布情况(表5),将集聚行政村的阈值设定为5^[42]。②分区采用主导型和综合性的原则;③根据区域发展相关理论,区域之间存在扩散或极化效应^[43],局部空间自相关的正相关类型(HH型和LL型)表征空间扩散效应,而负相关(HL型和LH型)表征空间极化效应^[44]。将扩散集聚区相邻的NN型单元划入HH型和LL型扩散区;将极化集聚区相邻的NN型单元划入HL型和LH型极化区。

4.4.1 农业生态管理分区结果

根据供需匹配度和供需协调度局部空间自相关叠加结果得到13种组合类型(表6)。按照组合类型划分为生态保育区、生态培育区、生态改良区和生态重构区4种。

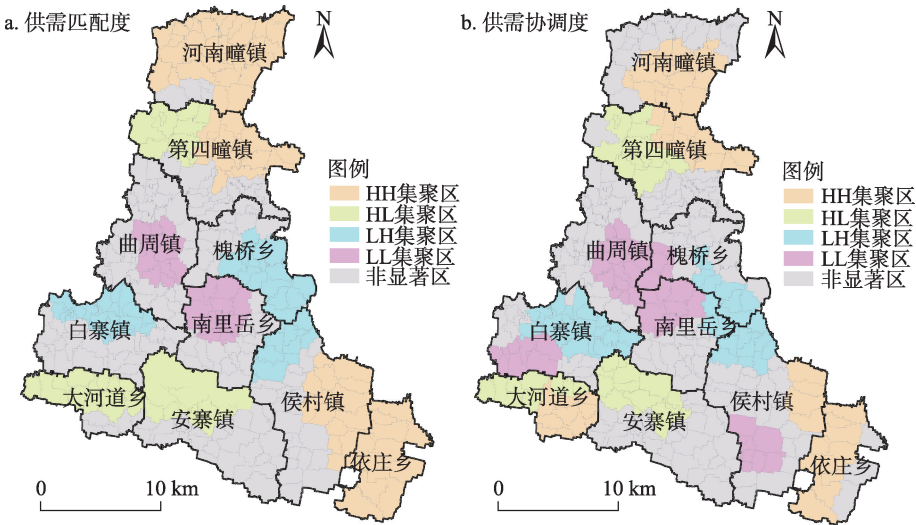


图5 2015年曲周县生态系统服务供需匹配度(a)、供需协调度(b)局部空间自相关分布

Figure 5 Local spatial agglomeration of ecosystem service supply and demand matching degree (a) and coordination degree (b) of Quzhou County, 2015

2019年7月

生态保育区以HH型集聚类型为主(包括HH型扩散区)。HH型是供需匹配度和供需协调度高分值聚集区,区域内生态本底好、生态系统服务供需处于盈余状态,供需关系处于优质协调状态,且内部呈明显均值状态。根据组合类型和农业生态管理内容的差异生态保育区包含核心保育区、优先保育区和一般保育区,辖64个行政村,占土地总面积的17.53%。其中,核心保育区主要分布在河南疃镇北部和依庄乡东南部等区域;优先保育区分布在河

南疃镇东部和依庄乡南部等区域;一般保育区分布在第四疃镇北部区域。

生态培育区以HL型集聚类型为主(包括HL型极化区)。HL型是供需匹配度和供需协调度分值中部高四周低,在空间极化效益影响下,高值区域极易被低值区域同化从而演化成LL型的“凸地”格局。该区生态系统服务供需处于盈余或均衡状态,供需关系处于优质或良好协调,包括优先培育区、重点培育区和适度培育区,辖82个行政村,占土地

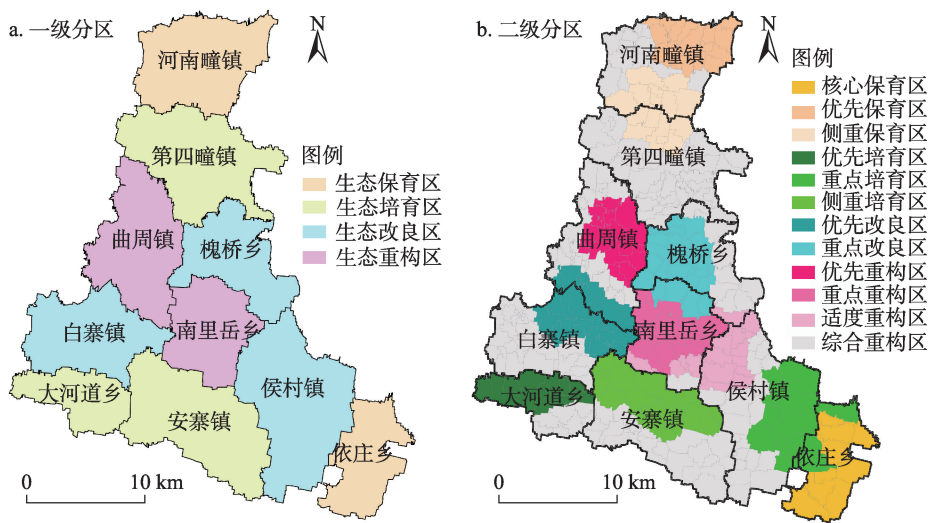


图6 2015年曲周县生态系管理分区图

Figure 6 Ecological management zoning of Quzhou County, 2015

表5 2015年曲周县生态系统服务供需匹配度和供需协调度局部空间自相关组合类型

Table 5 Combination of local spatial autocorrelation types of ecosystem service supply and demand matching degree and coordination degree of Quzhou County, 2015

序号	局部空间自相关类型		行政村个数	面积/hm ²	面积占比/%
	供需匹配度	供需协调度			
1	HH型	HH型	36	6667.56	9.85
2	HH型	NN型	13	2328.43	3.44
3	NN型	HH型	15	2869.80	4.24
4	HL型	HL型	39	6795.36	10.04
5	HL型	NN型	24	4058.64	6.00
6	NN型	HL型	19	3450.97	5.10
7	LH型	LH型	35	6168.40	9.12
8	LH型	NN型	4	581.68	0.86
9	NN型	LH型	3	597.48	0.88
10	LL型	LL型	44	6787.02	10.03
11	LL型	NN型	21	3731.47	5.51
12	NN型	LL型	19	3500.56	5.17
13	NN型	NN型	67	20130.72	29.75

表6 基于局部空间自相关的曲周县生态管理分区

Table 6 Zoning of ecological management based on local spatial autocorrelation in Quzhou County

一级分区	二级分区	局部空间自相关类型		管理措施	典型区域
		供需匹配度	供需协调度		
生态保育区	核心保育区	HH型	HH型	严格保护,禁止大规模开发	河南疃镇北部郑韩村、宁屯村等和依庄乡东南部的曹庄村、宋庄村等区域
	优先保育区	HH型	NN型	保护和维持现有的自然生态环境	河南疃镇东部的马屯村、连珠村等和依庄乡南部的西路庄村、牛疃村等区域
	一般保育区	NN型	HH型	维持现有的供需水平条件	第四疃镇北部的巩村、焦庄村、李庄村等区域
生态培育区	优先培育区	HL型	HL型	综合保护生态系统服务高值地类,提高利用产出能力和管理水平	大河道乡北部的孔庄村、赵逮庄村、西河道村等区域
	重点培育区	HL型	NN型	重点保护生态系统服务高值地类,提升投入产出效益	侯村镇东部的东王堡村、戚寨村、堤上村等区域
	适度培育区	NN型	HL型	重点保护生态系统服务高值地类,提高利用管理水平	安寨镇北部的后公城堡村、前公城堡村、南马店村、东屯村等区域
生态改良区	优先改良区	LH型	LH型	综合改善生态系统服务低值地类,利用水平和投入产出效益	白寨镇东北部的王村、东陈庄村、西陈庄村等区域
	重点改良区	LH型/NN型	LH型/NN型	重点改良生态系统服务低值地类,增加投入,挖掘潜能	槐桥乡西部的小秦庄村、陈袁庄村、西漳头村、乔堡村等区域
生态重构区	优先重构区	LL型	LL型	生境斑块连通和修复	曲周镇中部的后河东村、陈庄村、袁庄村、北甫村、南甫村、前河东村等区域
	重点重构区	LL型	NN型	生态修复和潜在节点重构	南里岳乡西北的史寨村、安上村、炒寨村、北里岳村、马兰村等区域
	适度重构区	NN型	LL型	生态廊道修复和生态网络重构	南里岳乡的东南部的杨军寨村、刘大寨村、封庄村等和侯村镇西北部的西高胡寨村、东高胡寨村等区域
	综合重构区	NN型	NN型	生态基质修复和生态退耕	非显著型区域

总面积的21.14%。其中,优先培育区占总面积的10.04%,分布在大河道乡北部区域;重点培育区辖24个行政村,分布在侯村镇东部区域;适度培育区面积为3450.97 hm²,分布在安寨镇北部区域。

生态改良区以LH型集聚类型为主(包括LH型极化区)。LH型为“凹地”格局,该区域内中部低四周高,在空间极化效益影响下,低值区易被高区同化,进而演化成HH型。由于生态改良区的极化区所辖行政村少于5,故该区涵盖优先改良区和重点改良区2种类型,辖42个行政村,占土地总面积的10.86%。其中,优先改良区的面积为6168.40 hm²,分布在白寨镇东北部区域;重点改良区的面积为581.68 hm²,分布在槐桥乡西部区域。

生态重构区以LL型和NN型为主(包括LL型扩散区和空间不相邻的非显著区)。LL型是供需匹配度和供需协调度低分值聚集区,区域内生态本底差、生态系统服务供需处于亏损状态,供需关系处于勉强协调状态,且内部呈明显均值状态。根据组合类型和生态问题的差异生态重构区包含优先重构区、重点重构区、适度重构区和综合重构区;辖

151个行政村,占土地总面积的50.46%。其中,优先重构区辖42个行政村,分布在曲周镇中部区域;重点重构区辖21个行政村,分布在南里岳乡西北部区域;适度重构区辖19个行政村,分布在南里岳乡的东南部 and 侯村镇西北部区域;综合重构区辖67个行政村,分散分布在曲周县。

4.4.2 农业生态分区管理措施

已有研究表明,通过有效的生态系统服务供需管理策略能实现各项生态系统服务的“双赢”^[45]。鉴于此,研究针对生态分区的结果,结合区域内部生态环境、生态系统服务供需状况和具体的生态问题对上述4种分区结果采取差异化的管理措施。

(1)生态保育区实施严格保护,禁止大规模建设。该区域内生态本底好、城镇扩张速度缓慢,生物多样性丰富,水源条件充足。该区的发展措施应考虑:①发展低管理强度的有机农业,注重林木的培育和种植,保护区域内的生境。②严格控制人口集聚增长和城镇扩张,优化区域内土地利用结构,依据土地生态特色,开展土地景观整治;③加强农用地基础设施、农田防护林和生态林业建设,提高

2019年7月

农田生态系统抗灾能力,保护农用地集中连片程度,强化农业生产功能。

(2)生态培育区实施综合保护,提升投产效益。该区域内供需匹配度和供需协调度高分值地块被低分值地块包围,内部均质性较差且存在空间负相关,故不适合集中连片开发,应加强对低值地块和不显著区域进行集中保护,提升投产效益。区域内农作物种植面积和畜牧渔业养殖面积较大,动植物资源丰富,是生物多样性的保存区。该区的发展措施应考虑:①注重农业产业结构调整以提高生态效益和提升生态系统服务。②在保持原有生态的基础上开展“土地整治+美丽乡村”建设,大力发展旅游观光农业提高农业休闲服务。③充分利用闲置土地,深度挖掘农村建设用地潜力,提升闲置土地的综合效益。

(3)生态改良区实施综合改良,促使生态环境转好。该区域均质性较差且存在空间负相关,故同样不适合集中连片开发。区域内虽然地形平坦开阔,热量条件充足,水浇地、旱地和园地景观较多,淡水供给服务突出。但是该区域由于地势低洼,易形成盐碱区。该区的发展措施应考虑:①丰富景观类型,提高生态系统完整性。建立沿河生态廊道,增加自然或半自然生境比例,增强生境间的连通度。此外,需大力发展现代农业技术,优化农作物品种,提高农作物单产和提升碳储存能量。②实施生态土地整治,提升生态效益。将生态性河渠、防护林、道路和农田进行综合整治,改善区域内耕地质量和土壤环境;注重景观斑块建设,实现农业规模化经营。

(4)生态重构区实施整体生态整治和针对性生态重构。该区域为城镇化发展的快速区,区域内植被较少且结构简单,是生物量贫乏区。该区的发展措施应考虑:①调整城市绿地景观格局,构建“绿色斑块、绿色廊道、湿地、农田”镶嵌的绿地生态系统^[46]。其中,曲周镇中部的优先重构区应修复已有的生境斑块,提升斑块稳定性;南里岳乡西北部的重点重构区应以生态经济发展为目标,推进生态空间优化;南里岳乡的东南部和侯村镇西北部的适度重构区应重视绿地的保护,突出绿地网络的社会—生态复合功能;对综合重构区的生态环境进行综合重构的同时对坡度较大的区域进行退耕、退草还林和还

水等生态退耕措施。②强化土地整治和废弃土地复垦。采用“防治结合”的措施严格控制农田污染物排放;实施山水路林村综合治理,增加林地面积提升植被覆盖率,促进生态系统的良性循环,改善区域内生物栖息地环境^[47]。

5 结论与讨论

5.1 结论

研究从生态系统服务供需关系的视角,依据生态系统服务潜在供给、实际供给和需求过程分析框架,构建了表征供需承载状态的供需匹配度指标和表征供需协调关系的供需协调度指标,采用基于LUCC的生态系统服务矩阵法对2015年曲周县村级行政单元生态系统服务状态和可持续能力进行评判,并运用局部空间自相关分析,以局部空间集聚特征为依据,通过空间叠加产生的组合类型划分曲周县的生态管理区,提出针对性生态分区的管理措施。通过研究得到以下结论:

(1)基于LUCC的生态系统服务矩阵构建的表征生态系统服务承载能力的供需匹配度指标和表征生态系统服务可持续能力的供需协调度指标,能实现区域生态系统服务状态的整体评价,且具有可应用性和普适性。

(2)2015年曲周县生态系统服务供需匹配度和协调度空间差异明显。曲周县供需匹配度为1.0647,处于一般均衡等级,且呈现东部高中西部低的空间格局,表明2015年曲周县生态系统服务供需处于均衡状态;区域供需协调度为0.8977,处于良好协调状态,呈现中部低四周高的空间格局,表明区域生态系统服务可持续能力较高。

(3)以生态系统服务供需空间特征为基础,采用局部空间自相关分析将曲周县339个村级行政单元划分为4个一级农业生态管理区和12个二级农业生态管理亚区,针对生态分区提出差异化的管理措施;生态保育区实施严格保护,禁止大规模建设;生态培育区实施综合保护,提升投产效益;生态改良区实施综合改良,促使生态环境转好;生态重构区实施整体生态整治和针对性生态重构。

5.2 讨论

研究基于生态系统服务潜在供给—实际供给(流)—需求关系框架,构建了供需匹配度和供需协调度2个指标,并对研究区生态系统服务供需特征

进行了分析和可视化表达,研究结果表明2个指标能成为生态系统服务分区的有效工具,但建议将生态系统服务潜在供给、实际供给和需求的评价结果与生物物理数据及成熟、公认的评价方法一起使用^[25],以提高评价精度。此外,由于生态系统服务矩阵法基于专家的主观判断,受到受访者经验、知识和态度的影响^[25,26],因此存在一定的主观性,在研究过程中应通过多种方法对专家评估结果进行迭代^[27]。例如在咨询专家类型特征方面甄选不同专业知识背景且具有代表性和权威性的专家进行打分,避免个体主观性,使评分结果具有科学性;在打分过程中告知专家评分详细的原则以及对专家的打分意见和结果进行整理、归纳、统计、再反馈,直至得到一致的意见,使评估结果具有客观性和可靠性;在数据计算方面采用科学的计算方法(如计算算术平均值),优化数据结果。

本文中的生态系统服务矩阵值与已有的相关研究^[23,25,26]较为一致,表现为林地、水域具有较高的潜在供给和实际供给能力,建设用地和未利用地相关能力较低。而水浇地、旱地、园地的农作物潜在供给和实际供给相关能力值较高;水浇地、旱地、草地的饲料潜在供给和实际供给相关能力值较高,原因为曲周县是传统的农业种植区,农作物主要以小麦和玉米为主,秸秆可作为畜牧业的主要饲料供给。河流水面、坑塘水面的淡水实际供给相关能力值较低,原因为近年来农业生产对地下水开采严重,地表水补给不足,水域面积萎缩,导致淡水供给能力降低。林地的木材实际供给相关能力值较低,原因为曲周县林地类型较为单一,全县无天然林地,主要以人工片林、四旁树和农田林网为主。上述结果表明生态系统服务矩阵值较符合曲周县的实际情况,数据值具有一定的可靠性和客观性。

尽管矩阵存在主观局限性,但该方法能够对各种数据进行综合,可应用到数据贫乏或数据复杂的区域^[23]以便比较区域间生态系统服务供需时空状态。该方法已经被很多的研究者成功应用到生态系统服务供需评价的诸多案例研究中,如Burkhard等^[22]对德国中部莱比锡地区进行了生态系统服务供需评估应用示范研究;Li等^[25]对中国太湖流域不同区域进行了供需状态比较;白杨等^[26]对中国太湖和白洋淀的生态系统服务供需进行了评估;Kaiser等^[28]

对泰国Phang Nga湾2004年印度洋海啸前后的生态系统服务供给状况进行了对比;Nedkov等^[29]对保加利亚北部MalkiIskar流域进行了洪水调节服务供需评估。

农业生态管理分区是在长时间的探索下形成的具有普适性系统化划分,但研究仅从空间角度开展研究,缺少时间序列的研究,使生态管理分区结果略有不足。研究从村级尺度对生态系统服务供需空间开展农业生态管理分区,并提出分区的管理措施,具有一定的新颖性和实际意义,可为区域土地整治规划提供有效的信息参考,提升区域农业生态环境综合效益;同时也可为中国北方平原农区生态分区管理提供科学借鉴。但多尺度的问题是生态学的核心问题之一,如何实现不同尺度上农业生态管理分区及分区管理措施在多尺度上演绎是未来研究的方向。

参考文献(References):

- [1] Millennium Ecosystem Assessment (MA). Millennium Ecosystem Assessment: Living Beyond Our Means: Natural Assets and Human Well-Being[R]. Washington: World Resources Institute, 2005.
- [2] Owuor M A, Icely J, Newton A, et al. Mapping of ecosystem services flow in Mida Creek, Kenya[J]. Ocean & Coastal Management, 2017, 140: 11–21.
- [3] 付梦娣, 肖能文, 赵志平, 等. 北京城市化进程对生态系统服务的影响[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 235–239. [Fu M D, Xiao N W, Zhao Z P, et al. Effects of urbanization on ecosystem services in Beijing[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(5): 235–239.]
- [4] 彭建, 胡熠娜, 吕慧玲, 等. 基于要素-结构-功能的生态功能分区: 以大理白族自治州为例[J]. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2251–2259. [Peng J, Hu Y N, Lv H L, et al. Ecological function zoning based on element-structure-function: A case study in Dali Bai Autonomous Prefecture[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(8): 2251–2259.]
- [5] 柯新利, 刘曼, 邓祥征. 湖泊营养物生态分区: 中国东北的分区试验[J]. 自然资源学报, 2014, 29(5): 789–800. [Ke X L, Liu M, Deng X Z. Ecoregion of lake nutrients: A case study of northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(5): 789–800.]
- [6] 杨文治, 马玉玺, 韩仕峰, 等. 黄土高原地区造林土壤水分生态分区研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(1): 1–9. [Yang W Z, Ma Y X, Han S F, et al. Soil water ecological regionalization of afforestation in Loess plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1994, 8(1): 1–9.]
- [7] 郭澎涛, 李茂芬, 林钊沐, 等. 基于多源环境变量的橡胶园土壤

2019年7月

- 管理分区[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 96–104. [Guo P T, Li M F, Lin Z M, et al. Delineating soil management zones in rubber plantation using multisource data of environmental variables[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(12): 96–104.]
- [8] 王玲玲, 张斌, 李扬, 等. 三峡库区水生态分区初探[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(5): 193–196. [Wang L L, Zhang B, Li Y, et al. Preliminary study on aquatic ecoregion in Three Gorges area [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(5): 193–196.]
- [9] 张云路, 李雄, 田野. 基于景观生态学“源-汇”理论的市域尺度生态功能分区: 以内蒙古通辽市为例[J]. 生态学报, 2018, 38(1): 65–72. [Zhang Y L, Li X, Tian Y. Study on ecological function zoning in the Municipal Administrative Area based on the landscape ecology source-sink theory: A case study of Tongliao, Inner Mongolia[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(1): 65–72.]
- [10] 吴建寨, 赵桂慎, 刘俊国, 等. 生态修复目标导向的河流生态功能分区初探[J]. 环境科学学报, 2011, 31(9): 1843–1850. [Wu J Z, Zhao G S, Liu J G, et al. River eco-regionalization oriented by ecological restoration[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(9): 1843–1850.]
- [11] 刘星才, 徐宗学, 徐琛. 水生态一、二级分区技术框架[J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4804–4814. [Liu X C, Xu Z X, Xu C. A framework for aquatic ecoregion zoning[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(17): 4804–4814.]
- [12] 李慧蕾, 彭建, 胡熠娜, 等. 基于生态系统服务簇的内蒙自治区生态功能分区[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2657–2666. [Li H L, Peng J, Hu Y N, et al. Ecological function zoning in Inner Mongolia Autonomous Region based on ecosystem service bundles [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(8): 2657–2666.]
- [13] 刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等. 流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系: 以辽河流域为例[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3613–3620. [Liu X C, Xu Z X, Zhang S R, et al. Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: A case study in the Liao River basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3613–3620.]
- [14] 樊灏, 黄艺, 曹晓峰, 等. 基于水生态系统结构特征的滇池流域水生态功能三级分区[J]. 环境科学学报, 2016, 36(4): 1447–1456. [Fan H, Huang Y, Cao X F, et al. Level III aquatic ecological function regionalization in Dianchi Lake basin based on the aquatic ecosystem structure[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(4): 1447–1456.]
- [15] 王传辉, 吴立, 王心源, 等. 基于遥感和GIS的巢湖流域生态功能分区研究[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5808–5817. [Wang C H, Wu L, Wang X Y, et al. RS and GIS based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin Anhui Province China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5808–5817.]
- [16] 高俊刚, 吴雪, 张懿锂, 等. 基于等级层次分析法的金沙江下游地区生态功能分区[J]. 生态学报, 2016, 36(1): 134–147. [Gao J G, Wu X, Zhang Y L, et al. Ecological function regionalization in the lower Jinsha River Basin using analytic hierarchy process method[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(1): 134–147.]
- [17] 高永年, 高俊峰. 太湖流域水生态功能分区[J]. 地理研究, 2010, 29(1): 111–117. [Gao Y N, Gao J F. Delineation of aquatic ecoregions in Taihu lake basin[J]. Geographical Research, 2010, 29(1): 111–117.]
- [18] 胡圣, 夏凡, 张爱静, 等. 丹江口水源区水生态功能一二级分区研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8): 1208–1217. [Hu S, Xia F, Zhang A J, et al. Level I and II aquatic eco-regionalization in the water source area of Danjiangkou reservoir[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(8): 1208–1217.]
- [19] 盖力强, 谢高地, 陈龙, 等. 基于水足迹的中国水生态功能分区[J]. 资源科学, 2012, 34(9): 1622–1628. [Gai L Q, Xie G D, Chen L, et al. Water eco-function zoning in China based on water footprints[J]. Resources Science, 2012, 34(9): 1622–1628.]
- [20] 柯新利, 刘曼, 邓祥征. 基于遥感反演参数与双约束空间聚类算法的湖泊营养物生态分区[J]. 地理科学进展, 2012, 31(3): 315–323. [Ke X L, Liu M, Deng X Z. Lake nutrient concentration oriented ecological division based on remote sensing inversion parameters and dual-constraint spatial clustering algorithm[J]. Progress in Geography, 2012, 31(3): 315–323.]
- [21] Müller F. Indicating ecosystem and landscape organization[J]. Ecological Indicators, 2005, 5(4): 280–294.
- [22] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets[J]. Ecological Indicators, 2012, 21: 17–29.
- [23] Burkhard B, Kandziora M, Hou Y, et al. Ecosystem service potential, flows and demands: Concepts for spatial localization, indication and quantification[J]. Landscape Online, 2014, 34(1): 1–32.
- [24] Burkhard B, Kroll F, Müller F, et al. Landscapes' capacities to provide ecosystem services: A concept for land-cover based assessments[J]. Landscape Online, 2009, 15(1): 1–22.
- [25] Li J H, Jiang H W, Bai Y, et al. Indicators for spatial-temporal comparisons of ecosystem service status between regions: A case study of the Taihu River Basin, China[J]. Ecological Indicators, 2016, 60: 1008–1016.
- [26] 白杨, 王敏, 李晖, 等. 生态系统服务供给与需求的理论与管理方法[J]. 生态学报, 2017, 37(17): 5846–5852. [Bai Y, Wang M, Li H, et al. Ecosystem service supply and demand: Theory and management application[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(17): 5846–5852.]
- [27] 刘颂, 杨莹, 王云才. 基于矩阵分析的水文调节服务供需关系时空分异研究: 以嘉兴市为例[J]. 生态学报, 2019, 39(4): 1189–1202. [Liu S, Yang Y, Wang Y C. Mapping supply and demand differentiation of hydrological regulation service based on matrix analysis: A case study of Jiaxing City, Zhejiang Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(4): 1189–1202.]
- [28] Kaiser G, Burkhard B, Römer H, et al. Mapping tsunami impacts on land cover and related ecosystem service supply in Phang Nga,

- Thailand[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2013, 13(12): 3095–3111.
- [29] Nedkov S, Burkhard B. Flood regulating ecosystem services—mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria [J]. Ecological Indicators, 2012, 21: 67–79.
- [30] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253–260.
- [31] de Groot R S, Wilson M A, Boumans R M. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological Economics, 2002, 41(3): 393–408.
- [32] Wallace K J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions[J]. Biological Conservation, 2007, 139(3–4): 235–246.
- [33] Costanza R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed[J]. Biological Conservation, 2008, 141(2): 350–352.
- [34] Ma L, Jin F J, Song Z Y, et al. Spatial coupling analysis of regional economic development and environmental pollution in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2013, 23(3): 525–537.
- [35] Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA[J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2): 93–115.
- [36] 马晓冬, 马荣华, 徐建刚. 基于ESDA-GIS的城镇群体空间结构[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 1048–1057. [Ma X D, Ma R H, Xu J G. Spatial structure of cities and towns with ESDA-GIS framework [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 1048–1057.]
- [37] 熊昌盛, 谭荣, 岳文泽. 基于局部空间自相关的高标准基本农田建设分区[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 276–284. [Xiong C S, Tan R, Yue W Z. Zoning of high standard farmland construction based on local indicators of spatial association[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(22): 276–284.]
- [38] 韦仕川, 熊昌盛, 栾乔林, 等. 基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 249–256. [Wei S C, Xiong C S, Luan Q L, et al. Protection zoning of arable land quality index based on local spatial autocorrelation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(18): 249–256.]
- [39] 张晗, 赵小敏, 欧阳真程, 等. 基于空间自相关的耕地质量空间差异特征及耕地保护分区: 以江西省上高县为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 304–312. [Zhang H, Zhao X M, Ouyang Z C, et al. Spatial disparity features and protection zoning of cultivated land quality based on spatial autocorrelation: A case study of Shanggao County, Jiangxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(1): 304–312.]
- [40] 孙英君, 王劲峰, 柏延臣. 地统计学方法进展研究[J]. 地球科学进展, 2004, 19(2): 268–274. [Sun Y J, Wang J F, Bai Y C. Study on progress of methods in geostatistics[J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(2): 268–274.]
- [41] Hair J F, Black W C, Babin B J, et al. Multivariate Data Analysis [M]. London: Prentice Hall, 2008.
- [42] 姜广辉, 何新, 马雯秋, 等. 基于空间自相关的农村居民点空间格局演变及其分区[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 265–273. [Jiang G H, He X, Ma W Q, et al. Rural settlements spatial pattern evolution and zoning district based on spatial autocorrelation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(13): 265–273.]
- [43] 朱英明, 姚士谋. 国外区域联系研究综述[J]. 世界地理研究, 2001, 10(2): 16–24. [Zhu Y M, Yao S M. Overview of studies of regional linkages in foreign countries[J]. World Regional Studies, 2001, 10(2): 16–24.]
- [44] 葛莹, 姚士谋, 蒲英霞, 等. 运用空间自相关分析集聚经济类型的地理格局[J]. 人文地理, 2005, (3): 21–25. [Ge Y, Yao S M, Pu Y X, et al. Application of spatial autocorrelation for the spatial patterns of urbanization and localization economy[J]. Human Geography, 2005, (3): 21–25.]
- [45] Goldstein J H, Caldarone G, Duarte T K, et al. Integrating ecosystem-service tradeoffs into land-use decisions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(19): 7565–7570.
- [46] 韩晔, 周忠学. 西安市农业生态系统服务间关系及空间分异[J]. 冰川冻土, 2016, 38(5): 1447–1458. [Han Y, Zhou Z X. Relationship among agro-ecosystem services and their spatial differentiation in the area of Xi'an City[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(5): 1447–1458.]
- [47] 周丁扬, 安萍莉, 姜广辉, 等. 泰安市农村居民点整理分区研究[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 497–504. [Zhou D Y, An P L, Jiang G H, et al. Sub-zoning in rural residential land consolidation in Taian City[J]. Resources Science, 2011, 33(3): 497–504.]

Zoning of agroecological management based on the relationship between supply and demand of ecosystem services

GUAN Qingchun^{1,2}, HAO Jinmin², XU Yueqing², REN Guoping³, KANG Lei^{4,5}

(1. School of Ocean and Spatial Information, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China; 2. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3. College of Management, Hunan City University, Yiyang 413000, China; 4. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China; 5. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Ecosystem services are the basis for human survival and development. Clarifying the relationship between supply and demand of ecosystem services and applying differentiated management and control can contribute to human well-being. This research aimed at characterizing the relationship between supply and demand of agroecosystem services and their spatial heterogeneity. It used ecosystem service matrix based on land use and cover change data to obtain ecosystem service capability in different spaces. Two indices—supply and demand matching degree and coordination degree—were formulated to evaluate the agroecosystem service status and sustainability of administrative village units in Quzhou County in 2015. Based on the characteristics of local spatial agglomeration, the agroecosystem management areas of Quzhou County were divided, and the management measures for the districts were put forward by using local spatial autocorrelation analysis. The results show that: (1) Supply and demand matching degree and coordination degree can realize the overall evaluation of natural resources in the region. (2) The spatial differences of the supply and demand matching degree and coordination degree of agroecosystem services in Quzhou County in 2015 were obvious. The matching degree of Quzhou County was 1.0647, which was at the general equilibrium level, indicating that the supply and demand of agroecosystem services was in an equilibrium state. The coordination degree of Quzhou County was 0.8977, which was in a state of good coordination, indicating that the sustainability of regional ecosystem services was high. (3) The 339 administrative village units in Quzhou County can be divided into four primary agroecological management areas and 12 secondary agroecological management subareas. Differential management measures are proposed for the ecological areas: Ecological conservation area shall be protected strictly and large-scale construction is prohibited. Ecological protection area shall be protected comprehensively to improve production efficiency. Ecological improvement area should implement comprehensive improvement measures in order to improve the ecosystem. Ecological reconstruction area should implement overall ecological rehabilitation and targeted ecological reconstruction. This study can provide some references for the fine management and differential protection of regional ecosystem services.

Key words: agroecosystem; ecosystem services; supply and demand matching degree; supply and demand coordination degree; spatial autocorrelation; zoning; Quzhou County, Hebei Province