

基于生态位适宜度的耕地可持续利用评价

牛海鹏^{1,2}, 赵同谦², 张安录^{1,*}, 李明秋²

(1. 华中农业大学土地管理学院, 武汉 430070; 2. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000)

摘要: 耕地可持续利用评价是土地利用研究的重要内容。基于生态位理论, 从区域耕地生态系统整体性出发, 提出耕地生态元和耕地生态位的概念, 并在此基础上构建了耕地可持续利用生态位适宜度评价模型 (F_i 模型)。然后, 将所构建模型应用于河南省焦作市耕地可持续利用评价之中, 测度了 1997 ~ 2006 年期间焦作市耕地可持续利用生态位适宜度 F_i 值。为了便于对照分析, 采用限制因子模型 ($NF_{\min-i}$ 模型) 和希尔伯特空间模型 (CH_i 模型) 进行耕地可持续利用生态位适宜度 $NF_{\min-i}$ 值和 CH_i 值的测算。测算结果表明: (1) 1997 ~ 2006 年期间, F_i 值总体上呈递增趋势, 从 1997 年的 0.5088 增加到 2006 年的 0.6503, 表明支撑焦作市耕地可持续利用的自然、经济和社会因子总体上呈良性发展趋势, 即耕地可持续利用现实生态位趋于最适生态位。(2) 1997 ~ 2006 年期间, F_i 与 CH_i 值各年间的变化规律一致, 与 $NF_{\min-i}$ 值总体变化规律一致, 表明运用 F_i 模型进行耕地可持续利用评价具有较强的科学性和现实性。同时, F_i 值有利于从综合角度表征区域耕地总体可持续利用水平。(3) 利用最适生态位解释区域耕地可持续利用评价标准, 以及运用 n 维资源 (条件) 生态位与最适生态位的匹配这一基本思想进行区域耕地可持续利用评价, 生态意义明确, 便于依据生态位适宜度值的大小及其变化制定区域耕地利用方案和措施。

关键词: 耕地可持续利用; 生态位适宜度; 现实生态位; 最适生态位; F_i 值

文章编号: 1000-0933(2009)10-5535-09 中图分类号: Q149, S181, X171 文献标识码: A

Cultivated land sustainable use evaluation based on niche-fitness

NIU Hai-Peng^{1,2}, ZHAO Tong-Qian², ZHANG An-Lu^{1,*}, LI Ming-Qiu²

1 College of Land Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070, China

2 School of Surveying and Land Information Engineering of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5535 ~ 5543.

Abstract: It is an important topic in land use researches to carry out cultivated land sustainable evaluation. In this paper, the concepts of cultivated land eco-unit and cultivated land niche are put forward, and the niche-fitness model (F_i model) is constructed based on niche theory and cultivated land ecosystem theory. The F_i model deduced by absolute difference between two groups of standardization numerical value, can effectively measure the level of cultivated land sustainable use of a region. It can express suitability degree between real niche (X_m) and optimal niche (X_a) in an area. Then, the model is applied to measure the cultivated land niche-fitness of Jiaozuo during the years 1997 — 2006. As a contrast, the restriction factor model ($NF_{\min-i}$ model) and Hibert space model (CH_i model) are also used as a measurement of the niche-fitness of cultivated land sustainable use. The results show that: (1) The value of F_i increases from 0.5088 to 0.6503 during 1997 — 2006, evidently indicating that the influencing factors related to nature, economy and society keep a good development trend. In other words, the real niche of cultivated land sustainable use tends to the optimal niche. But there is a fluctuation state during the years 1997 — 2002, which shows relevant policy of protecting cultivated land can not be thoroughly carried out. The maximum value of F_i is only 0.6503 during the years 1997 — 2006, which primarily deciphers the inconsistency between real niche and required niche. Consequently, the government should take pertinent measures to largely promote the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70773047); 国家“十一五”科技支撑计划重点资助项目 (2006BAB15B05); 国家教育部博士点基金项目 (20070504020); 河南省科技计划项目 (072400430810)

收稿日期: 2008-07-07; 修订日期: 2008-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanglanlu@sina.com

cultivated land sustainable use. (2) The changes of the value of F_i are in coincidence with the variations of the value of CH_i and the value of $NF_{\min-i}$, remarkably denoting that the F_i model is scientific and realistic in cultivated land sustainable use evaluation. The cultivated land niche-fitness value of F_i has a wide distribution of $0.5088 \leq F_i \leq 0.6503$ in interval of $[0, 1]$, as compared with CH_i value of $0.7613 \leq CH_i \leq 0.8775$. In addition, the F_i model has lots of advantages due to the alternative parameter α . Moreover, the value of F_i can properly represent the overall measurement of cultivated land sustainable use niche-fitness as compared with the value of $NF_{\min-i}$. (3) The results reveal that the optimal niche can be regarded as the criterion of cultivated land sustainable use, and the matching way can be used to carry out cultivated land sustainable use evaluation. All these offer the theories and ways for cultivated land sustainable use evaluation.

Key Words: cultivated land sustainable use; niche-fitness; real niche; optimal niche; the value of F_i

随着社会经济发展和城镇化工业化进程的加快,土地压力日益加重,而耕地压力尤其突出,主要表现在:人均耕地数量少,耕地减少速度快;耕地质量低,中低产田所占比重较大;耕地退化、水土流失等问题严重。土地资源的合理利用是社会经济发展的立足之本,耕地资源的可持续利用则是其中最基本的核心内容。社会经济发展要求耕地资源的生产能力和景观环境必须满足人类日益增长的物质文化生活的需要。因此,如何实现耕地的可持续利用已是当务之急,而进行耕地可持续利用评价则是探求耕地可持续利用影响因子,实现耕地可持续利用的必要步骤。

目前,国内外学者已提出多种耕地可持续利用评价方法^[1-7]:(1)“生态-经济-社会框架”,认为生态的持续性是土地持续利用的基础,强调生态过程的影响。其特点是强调了不同空间尺度评价的不同侧重点,指标涉及范围较广,但动态监测性和预测性较差。(2)“土地总量平衡加土地永续利用框架”,认为可持续农业土地利用是指环境不退化、技术运用适当、经济能够维持、社会能够接受的土地利用。并据此建立了包括农用地和非农用地结构、数量、质量三方面的评价指标体系。其特点是强调经济、社会、生态效益的协调一致,具有一定的现势性,但指标的可操作性较差。(3)“压力-状态-响应”(PSR)框架,其中压力表示造成不可持续发展的一些因素,状态表示可持续发展过程中资源环境的状态,响应表示人类为促进可持续发展所采取的对策,通过压力、状态、响应指标构成一条直接反映具体问题的指标链。该框架的特点是适合于以解决问题为目标的分析工作,但不能很好的处理可持续性的多维问题,同时在建立指标体系时常常无法严格区分状态、压力和响应指标的基本不同点^[8]。

生态位理论是生态学重要的基础理论,随着研究的深入,生态位理论研究的对象已从原来的群落、种群扩展到产业结构、耕作制度、种植方式,随后又延展到城市环境、区域资源等具有物质转化、能量转换、信息处理功能的实体单元^[9,10],如陈亮、王如松等应用生态位理论对城市等社会-经济-自然等复合生态系统进行了评价分析^[11]。随后,生态位理论与适宜度评价相结合,在各研究领域也得到了广泛应用。李自珍等运用生态位适宜度模型对人工林植物的水分、沙区植物种进行了评价和分析^[12-15],朴顺姬等对科尔沁沙地差巴嘎蒿种群进行了生态位适宜度分析^[16],都取得了较好的效果。在生态位适宜度和土地利用评价相结合方面,欧阳志云、王如松等较早地运用生态位适宜度模型进行土地适宜性评价^[17,18]。于婧、聂艳等以江汉平原后湖地区耕地为研究对象,将生态位适宜度方法引入到耕地多宜性评价之中^[19]。王筱明以济南市为研究区域,构建了耕地生态位适宜度评价模型,并将其应用于退耕还林决策^[20]。俞艳、何建华以武汉市黄陂区为试验区,建立了基于生态位适宜度的土地生态经济适宜性评价模型^[21]。但上述研究皆以区域内各土地单元相对于某一作物类型进行评价,而从区域耕地整体出发,进行可持续利用生态位适宜度评价则有待进行探索。因此,基于生态位理论提出耕地生态元和生态位概念,并据此构建区域耕地可持续利用生态位适宜度评价模型,不仅可以克服以往评价模型的缺点和局限性,并且可进一步完善和丰富耕地可持续利用评价理论体系。

1 研究方法

1.1 区域耕地生态位的提出

生态位的概念及其内涵经历了一个不断发展的过程。其中,最著名的是 1917 年格林尼尔(J. Grinnell)提

出的“空间生态位”或“生境生态位”,1927 年埃尔顿(Elton)提出的“营养生态位”或“功能生态位”和 1957 年哈奇森(Hutchinson)提出的“超体积生态位”^[22~24]。另外,我国学者刘建国于 1987 年提出了生态元的概念,即自然-经济-社会复合生态系统中能够进行物质转化、能量转换、信息处理等生态过程的功能单元,它既可以是各个生物组织层次(如基因、细胞、器官、景观、社会-经济-自然复合生态系统、生物圈乃至整个地球),也可以是一些其它功能单元(如企业、农户、产业结构、耕作制度、种植方式等经济实体),并在此基础上,刘建国和马世骏提出了生态元的生态位概念,从而为生态位理论在资源利用、评价和生态保护等方面的应用提供了理论基础^[25]。

耕地生态系统是人工培育下的土地生态系统,耕地生态是介于自然生态系统(如原始草地和森林生态系统)和人工生态系统(如城市生态系统)之间的一种特殊生态形式。可见,区域耕地生态系统其实质是一“自然-经济-社会”复合生态系统,是一种能够进行物质能量转换、信息处理等生态过程的功能单元,具有生态元的一般特征。可见,耕地生态系统是一种特殊的生态元,即耕地生态元。因此,耕地生态位的概念可表述为:耕地生态元在区域生态可持续发展过程中的地位、作用和功能以及与其它土地利用类型生态元的相对关系。该种地位、作用和功能是耕地的自然、经济和社会条件(因子)所共同显示出的一种综合性的外在表现。因此,耕地生态位,即耕地在区域可持续发展过程中的地位、作用和功能的存在是耕地的自然、经济和社会因子(条件)共同支撑的结果。所以,耕地生态位也可表述为允许或支撑耕地生态元存在的超体积,即 n 维因子中的超体积。随着技术水平的进步和社会的发展,各种自然、经济和社会因子的可调性越来越强,人类可通过技术手段、工程措施、政策导向改善耕地生态位赖以存在的各种条件,从而达到调控耕地数量、提高耕地质量和耕地产出量,并最终实现耕地的可持续利用。耕地生态位具有定量可测性,如耕地可持续利用生态位赖以存在的各因子所具有的具体特征和参数,在一定条件下可通过调查、统计等方法予以表达,并且可采用一定的数学模型对耕地可持续利用生态位的大小、变化特征进行测度^[26,27]。

1.2 耕地可持续利用生态位适宜度评价模型建立

可见,区域耕地的可持续利用必须以各种资源(条件)为支撑和基础,包括耕地可持续利用所要求的自然条件、经济条件和社会条件,它们共同构成一个多维的资源(条件)空间,也可以说是生态因子空间。其中,区域耕地资源可持续利用所需的各种资源因子构成的资源生态位空间,称为最适资源生态位空间;而区域耕地的现实资源构成对应的资源生态位空间,称为现实资源生态位空间。二者之间的匹配关系,反映了区域耕地现状资源条件对其可持续利用的适宜性程度,其度量可以用生态位适宜度来估计。当区域耕地的现状资源(条件)完全满足经济发展的要求时,耕地可持续利用生态位适宜度为 1,而当资源条件完全不满足其对应的资源需求时,耕地可持续利用生态位适宜度为 0。由此看出,生态位适宜度反映了区域耕地可持续利用的资源需求与现状资源生态因子之间是否良好匹配的关系^[28~30]。

以区域耕地资源可持续利用生态位为研究对象,假定考虑了 m 年内耕地资源可持续利用相关的 n 个生态因子。将 n 个生态因子量化后的标准化值分别记作 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 则各年份值可记作 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$, X_i 表示第 i 年($i = 1, 2, \dots, m$)特定区域耕地资源可持续利用的一个现实生态位,它是 n 维资源空间中的点。另外,在区域耕地资源可持续利用的过程中,第 j 种资源的最适值记作 $x_{aj}(j = 1, 2, \dots, n)$, 全部 x_{aj} 构成的数组记作 $X_a = (x_{a1}, x_{a2}, \dots, x_{an})$, 称 X_a 为区域耕地资源可持续利用的最适生态位。显然它是耕地生态位属性的一种定量描述^[15,31]。若把表征耕地资源可持续利用生态位的 n 维空间中的区域记作 E^n , 则 $X_i \in E^n, X_a \in E^n$ 。

区域耕地资源可持续利用的生态位适宜度是表征其属性的最适资源生态位 X_a 与表征其自然经济社会条件的现实资源位 X_i 之间的贴进度,其数学模型的一般形式为^[15]:

$$F_i = \phi(X_i, X_a), X_a \in E^n, X_i \in E^n$$

假定对特定区域耕地可持续利用下的 n 个生态位因子进行观测,观测期限为 m 年。

首先计算 x_{ij} 与 x_{aj} 之间的绝对差:

$$\delta_{ij} = |x_{ij} - x_{aj}| \quad (1)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

记 δ_{ij} 的最大值和最小值分别为:

$$\delta_{\max} = \max \{ \delta_{ij} \} = \max \{ |x_{ij} - x_{aj}| \} \quad (2)$$

$$\delta_{\min} = \min \{ \delta_{ij} \} = \min \{ |x_{ij} - x_{aj}| \} \quad (3)$$

然后由此建立的区域耕地可持续利用生态位适宜度模型为:

$$F_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min \{ |x_{ij} - x_{aj}| \} + \alpha \times \max \{ |x_{ij} - x_{aj}| \}}{|x_{ij} - x_{aj}| + \alpha \times \max \{ |x_{ij} - x_{aj}| \}} \quad (4)$$

式中, F_i 表示第 i 年的耕地可持续利用生态位适宜度; α 为模型参数 ($0 \leq \alpha \leq 1$)。关于参数 α 的估算, 可以假定当 $\delta_{ij} = \bar{\delta}_{ij}$ 时, $F_i = 0.5$, 即用下式估算:

$$\bar{\delta}_{ij} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \quad (5)$$

$$\frac{\delta_{\min} + \alpha \times \delta_{\max}}{\bar{\delta}_{ij} + \alpha \times \delta_{\max}} = 0.5 \quad (6)$$

由此式可解出 α 值。

2 研究案例与结果分析

2.1 研究区域概况

焦作市位于河南省西北部, 北依太行山, 与山西省接壤; 南临黄河, 与郑州、洛阳毗邻; 东接新乡, 西邻济源。地处东经 $112^{\circ}43'31'' \sim 113^{\circ}38'35''$, 北纬 $34^{\circ}41'03'' \sim 35^{\circ}29'45''$ 之间, 东西长约 102.05 km, 南北宽 75.43 km, 全区土地总面积 4000.89 km²。全市处于中纬度地区, 属暖温带大陆性季风气候, 四季分明, 雨量集中; 年最高气温 43.3℃, 最低气温 -17.9℃, 平均气温 14.4℃; 年平均日照总时数为 2422.7 h, 日照百分率为 55%; 全年太阳辐射总量为 491.12 kJ/cm², 有效积温 4874.8℃, 平均无霜期 237 d。土壤以雏形土、淋溶土为主, 伴有新成土、变性土、盐成土、人为土等类型。2006 年全市耕地面积 192513 hm², 农田水利设施较为完善, 粮食播面单产较高, 农作物类型主要有小麦、玉米、水稻、山药等。

2.2 因子选取及其最适值确定

在参考有关资料的基础上, 结合研究区域的实际情况, 确定评价指标选取的原则: ①选取对区域耕地可持续利用水平具有重大影响的主导限制因素; ②从自然、经济和社会 3 个方面进行因子选取; ③所选取的因子应具有差异较大、相关性较小特征; ④在时间序列上, 各因子应具有动态性; ⑤为实现定量评价, 尽可能选择可测量的因子^[32]。基于上述原则, 选取焦作市耕地可持续利用评价的生态位因子, 并确定各因子的最适值 (表 1)。

表 1 焦作市耕地可持续利用最适生态位

Table 1 The optimal niche of cultivated land sustainable use in Jiaozuo

因子 Factors	最适值 Optimal value	因子 Factors	最适值 Optimal value
耕地面积 Cultivated land area (hm ²)	208330	机耕面积比率 Machinery farming rate (%)	100
高产田比率 High yield cultivated land rate (%)	100	复种指数 Multiple crop index (%)	190
人均粮食占有量 (千克/人) Per Capita grain possession (kg/person)	564	粮食播面单产 Average yield per sown area (kg/hm ²)	9250
非坡耕地面积比率 Non-slope cultivated land rate (%)	100	耕地占补平衡系数 Requisition compensation balance coefficient (%)	110
林地覆盖率 Forest coverage rate (%)	35	耕地保护公众认知度 Recognition of cultivated land protection (%)	100
工业废水排放达标率 Industrial waste-water goal attainment rate (%)	100	农田林网控制率 Farmland forest networks shelter controlling rate (%)	100
有效灌溉率 Effective irrigation rate (%)	100	农作物良种覆盖率 Well-bred crop rate (%)	100

各因子最适值确定方法如下:①耕地面积,经过近几年较大力度的退耕还林(园),焦作市目前坡耕地面积较少,且坡度多为 $2 \sim 6^\circ$ 。依据对耕地后备资源的调查评价,增耕潜力为 15817hm^2 ,同时依据城镇建设用地增加和农村居民点建设用地减少相挂钩的原则,在2006年耕地面积 192513hm^2 的基础上,确定区域耕地面积最适值为 208330hm^2 。②人均粮食占有量,在国家规定的人均 450kg 小康生活标准基础上,加上饲料粮、工业用粮、种子用粮、储备粮、损耗粮以及外调粮等,确定人均粮食占有量为 504kg 。但研究时段内部分年份人均粮食占有量大于该数值,由于该因子期望值趋于最大值,故以1997~2006年期间最大值为最适值。③林木覆盖率,林木在保护生态环境,保持陆地生态平衡中起着关键的作用。一般认为,一个国家或地区的林地面积,要求达到区域总面积的30%,且分布比较均衡,才能在保护生态平衡,控制水、旱、风、沙等自然灾害,保障农业生产,促进耕地可持续利用方面发挥较大效应。根据焦作市林木覆盖率现状、潜力和林业部门相关规划,确定35%为林木覆盖率的最适值。④复种指数。随着农业科技水平的提高和国家对农业投入的逐年增加,土地的利用程度将会越来越高,但复种指数不能太高,否则会造成对土地的掠夺性经营,根据焦作市实际,综合确定农作物的复种指数最适值为190%。⑤粮食播面单产。焦作市处于暖温带地区,依据区域气候生产潜力,通过中低产田改造、农田水利基础设施改善、节水灌溉工程、增加科技和物质投入等途径,粮食播面单产可进一步提高。因此,在目前生产水平的基础上,采用趋势外推法,确定粮食播面单产最适值为 $9250\text{kg}/\text{hm}^2$ 。⑥耕地占补平衡系数。耕地占补平衡系数为年度补充耕地面积与建设占用耕地面积之比。依据占补平衡有余和循序渐进的原则,确定一定时期内耕地占补平衡系数为110%。⑦其他因子。根据高产田比率、非坡耕地面积比率、工业废水排放率、有效灌溉率、机耕面积比率、耕地保护公众认知度、农田林网控制率和农作物良种覆盖率等因子内在特性,确定以上各因子最适值为100%。

2.3 数据来源及其标准化处理

耕地面积、耕地占补平衡系数、非坡耕地面积来源于国土部门历年土地变更和坡耕地调查,耕地保护公众认知度来源于历年问卷调查,农作物良种覆盖率和农田林网控制率在农业和林业部门相关资料和历年抽样调查的基础上综合确定,其它数据来源于历年统计年鉴。各因子数据如表2所示。

数据的标准化处理过程为:首先进行无量纲化处理,即各因子均用实际观测值与观测最大值之比表示, i 年 j 因子数值以 $\hat{x}_{ij}$ 表示,无量纲化后的相应最适值以 $\hat{x}_{aj}$ 表示。然后采用如下公式标准化:

$$x_{ij} = \hat{x}_{ij} / \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \hat{x}_{aj} \quad (7)$$

$$x_{aj} = \hat{x}_{aj} / \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \hat{x}_{aj} \quad (8)$$

式中, x_{ij} 表示 i 年 j 因子标准化值, x_{aj} 表示 j 因子最适值的标准化值, $j=1,2,\dots,14$ 。各因子变量标准化后的值如表3所示。

2.4 耕地可持续利用适宜度值测算

由公式(2)和公式(3)可知 δ_{ij} 的最大值 $\delta_{\max}=0.7955$,最小值 $\delta_{\min}=0$,进而可由公式(5)求得 $\bar{\delta}_{ij}=0.2033$,由公式(6)解得 $\alpha=0.2556$ 。依据公式(4),可测算出1997~2006年的耕地可持续利用生态位适宜度值 F_i 。为了便于对照分析,同时采用限制因子模型和希尔伯特空间模型进行耕地可持续利用生态位适宜度值的测算。

限制因子模型该模型为:

$$NF_{\min-i} = \min \left\{ \frac{x_{ij}}{x_{aj}} \right\} \quad (9)$$

式中, $NF_{\min-i}$ 为 i 年耕地可持续利用适宜度值, x_{ij} 和 x_{aj} 为 i 年第 j 个生态因子的实际值和最适值, $i=1,2,\dots,10$; $j=1,2,\dots,14$ 。

表 2 焦作市 1997~2006 年耕地可持续利用生态因子实际值

Table 2 The observation value of cultivated land sustainable use factors in Jiaozuo during the years 1997~2006

年份 Year	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
耕地面积 Cultivated land area (hm ²)	200111	198892	198794	197832	197495	194326	192432	192795	192739	192513
高产田比率 High yield cultivated land rate(%)	71.02	71.76	72.23	73.10	74.36	76.67	78.75	79.10	79.43	80.04
人均粮食占有量(千克/人) Per capita grain possession (kg/person)	564	558	549	506	497	453	404	467	472	510
非坡耕地面积比率 Non-slope cultivated land rate (%)	91.54	91.66	91.66	92.13	92.17	93.51	94.33	94.34	94.37	94.41
林地覆盖率 Forest coverage rate (%)	18.3	18.3	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	24.3	28.2	28.2
工业废水排放达标率 Industrial waste-water goal attainment rate(%)	44.17	18.77	64.31	50.62	90.6	86.29	94.59	95.94	97.84	98.11
有效灌溉率 Effective irrigation rate(%)	79.58	79.88	79.65	80.37	79.30	80.43	81.15	81.91	82.12	82.49
机耕面积比率 Machinery farming rate (%)	78.3	77.59	76.26	77.17	76.83	77.80	74.30	75.27	71.71	71.89
复种指数 Multiple crop index (%)	142.97	147.44	147.57	150.86	162.20	163.25	163.69	172.16	175.89	183.23
粮食播面单产 Average yield per sown area (kg/hm ²)	7369	7570	7657	7341	6710	6447	6118	6778	6869	7037
耕地占补平衡系数 Requisition compensation balance coefficient(%)	17.21	17.19	66.56	51.51	40.04	48.51	100.18	100.32	101.87	103.42
耕地保护公众认知度 Recognition of cultivated land protection (%)	77.30	79.50	80.21	81.98	82.23	82.78	83.26	84.25	85.79	86.30
农田林网控制率 Farmland forest networks shelter controlling rate (%)	78.71	79.34	79.79	80.21	81.23	81.98	82.76	83.57	84.67	85.20
农作物良种覆盖率 Well-bred crop rate (%)	83.21	84.67	86.92	87.45	88.12	89.12	92.31	93.44	94.26	95.04

希尔伯特空间模型为:

$$CH_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_j^n \left(\frac{x_{ij}}{x_{aj}} \right)^2} \quad (10)$$

式中, x_{ij} 和 x_{aj} 同上。

各年 F_i 、 $NF_{\min-i}$ 和 CH_i 如图 1 所示。

2.5 测算结果分析

(1) 运用所构建的耕地可持续利用生态位适宜度模型进行河南省焦作市耕地可持续利用评价,从测算结果看:1997~2006 年期间, F_i 值总体上呈递增趋势,从 1997 年的 0.5088 增加到 2006 年的 0.6503,表明支撑焦作市耕地可持续利用的自然、经济和社会因子总体上呈良性发展趋势,即耕地可持续利用实际生态位趋于最适生态位,尤其是表征耕地总体自然质量高低的中高产田比率,表征耕地数量和生态管护的耕地占补平衡系数、非坡耕地面积比率、林地覆盖率、工业废水排放达标率,表征耕地设施条件的农田林网控制率、有效灌溉率,表征耕地利用程度的复种指数,表征技术投入的农作物良种覆盖率,表征公众参与的耕地保护公众认知度

表3 焦作市1997~2006年耕地可持续利用生态因子标准化值

Table 3 The standardization value of cultivated land sustainable use factors in Jiaozuo during the years 1997~2006

年份 Year	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
耕地面积 Cultivated land area	0.8864	0.8810	0.8806	0.8764	0.8749	0.8608	0.8524	0.8540	0.8538	0.8528
高产田比率 High yield cultivated land rate	0.7865	0.7947	0.8000	0.8096	0.8235	0.8491	0.8722	0.8760	0.8797	0.8864
人均粮食占有量 Per capita grain possession	0.8864	0.8763	0.8634	0.7956	0.7805	0.7119	0.6349	0.7344	0.7415	0.8017
非坡耕地面积比率 Non-slope cultivated land	0.8595	0.8607	0.8607	0.8650	0.8654	0.8780	0.8857	0.8858	0.8860	0.8864
林地覆盖率 Forest coverage rate	0.5752	0.5752	0.7136	0.7136	0.7136	0.7136	0.7136	0.7639	0.8864	0.8864
工业废水排放达标率 Industrial waste-water goal attainment rate	0.3991	0.1696	0.5811	0.4574	0.8186	0.7796	0.8546	0.8668	0.8840	0.8864
有效灌溉率 Effective irrigation rate	0.8552	0.8584	0.8559	0.8636	0.8521	0.8643	0.8721	0.8802	0.8825	0.8865
机耕面积比率 Machinery farming rate	0.8864	0.8784	0.8633	0.8736	0.8698	0.8808	0.8411	0.8521	0.8119	0.8139
复种指数 Multiple crop index	0.6917	0.7133	0.7139	0.7298	0.7847	0.7898	0.7919	0.8329	0.8509	0.8865
粮食播面单产 Average yield per sown area	0.8531	0.8764	0.8864	0.8499	0.7768	0.7464	0.7083	0.7847	0.7952	0.8147
耕地占补平衡系数 Requisition compensation balance coefficient	0.1475	0.1473	0.5705	0.4415	0.3432	0.4158	0.8587	0.8599	0.8732	0.8864
耕地保护公众认知度 Recognition of cultivated land protection	0.7940	0.8166	0.8239	0.8421	0.8446	0.8503	0.8552	0.8654	0.8812	0.8864
农田林网控制率 Farmland forest networks shelter controlling rate	0.8189	0.8255	0.8302	0.8345	0.8451	0.8529	0.8611	0.8695	0.8809	0.8864
农作物良种覆盖率 Well-bred crop rate	0.7761	0.7897	0.8107	0.8157	0.8219	0.8312	0.8610	0.8715	0.8792	0.8864

等因子观测值均趋于其最适值。但在1997至2002年期间, F_i 值略有波动,1998年、1999年和2002年所测算出的 F_i 值均低于上一年度,表明在此期间耕地利用和保护的相关政策、措施存在实施不到位、执行力度不够等问题,如工业废水排放达标率1998年为18.77%,2000年也仅为50.62%,耕地占补平衡系数1998年和2001年仅达到17.19%和48.51%。同时可以看到,1997~2006年, F_i 值最大仅为0.6503,说明焦作市耕地可持续利用现实生态位与其需求生态位尚不符合,政府应运用经济、规划、行政、法律等手段进一步加强和促进耕地的可持续利用。

(2)从评价结果可以看到, F_i 与 CH_i 值各年间的变化规律一致,与 $NF_{\min-i}$ 值总体变化规律一致,表明运用 F_i 模型进行耕地可持续利用评价具有较强的科学性和现实性。另外, F_i 模型测算出的耕地可持续生态位适宜度值与 CH_i 模型测算值相比,在区间[0,1]上有较宽

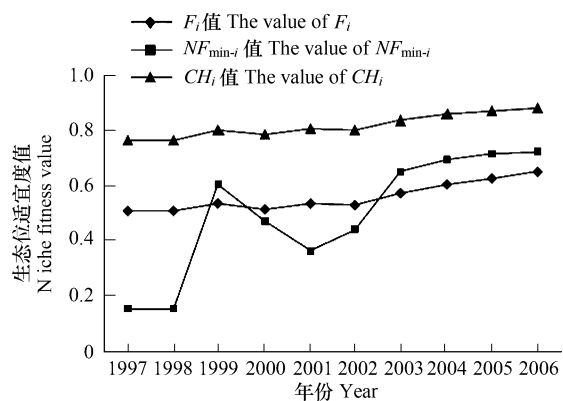


图1 焦作市1997~2006年耕地可持续利用生态位适宜度值

Fig.1 The niche fitness value of cultivated land sustainable use in Jiaozuo during the years 1997~2006

分布,前者分布范围为 $0.5088 \leq F_i \leq 0.6503$,后者分布范围为 $0.7613 \leq CH_i \leq 0.8775$ 。同时, F_i 模型含有一个可供选择的参数 α (一般而言, α 愈小 F_i 值分辨率愈高),因此它在实际应用上具有较多的优越性。与 $NF_{\min-i}$ 值相比, F_i 测度的是支撑区域耕地可持续利用各生态因子值与其最适值之间的综合量度,而 $NF_{\min-i}$ 则凸现的是现实资源位因子中最显著限制因子与其最适值之间的关系,波动性较大,所以 F_i 值更利于从综合角度表征区域耕地总体可持续利用水平。

3 结论与讨论

(1) 本文从区域耕地生态系统整体出发,提出耕地生态元和耕地生态位的概念,并在此基础上构建耕地可持续利用生态位适宜度模型。该模型在建模思路不同于限制因子模型、希尔伯特空间模型以及百分比相似性模型,它是通过计算两组标准化数据间的绝对差,由此构造的一种测定区域耕地可持续利用生态位适宜度的公式,其实质是支撑耕地可持续利用的现实资源生态位与最适生态位间的一种几何贴近度。

(2) 与传统的耕地可持续利用评价方法相比,基于生态位适宜度的耕地可持续利用评价方法具有较为显著的优点:① 利用最适生态位解释区域耕地可持续利用评价标准,以及运用 n 维资源(条件)生态位与最适生态位的匹配这一基本思想进行区域耕地可持续利用评价,生态意义明确,丰富了耕地可持续利用评价理论和方法,从而为从生态位的角度研究区域耕地的利用、发展和演变提供了可能;② 同时,测算出 F_i 值能够反映区域耕地所处的现实条件对其最佳可持续利用水平的适宜性程度,便于不同地区根据生态位适宜度值的大小制定区域耕地利用方案和措施。

(2) 从研究过程和结果看,表征耕地可持续利用生态位适宜度的 F_i 值不仅与各因子观测值与其最适值密切相关,同时也与最适值的选取和观测值、最适值标准化方法相关。从耕地生态位适宜度值的指示意义看,将 F_i 与限制因子模型所测算出来的 $NF_{\min-i}$ 值结合起来,效果更佳,有利于从总体水平和最大限制因子两个角度衡量区域耕地可持续利用水平。

References:

- [1] Turner M G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annu Rev Ecol Syst*, 1989, (20):171—197.
- [2] Bindraban P S, Stoorvogel D M, Jansen D M, *et al.* Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2000, 81:103—112.
- [3] Michelle L M Graymore, Neil G Sipe, Roy E Rickson. Regional sustainability: How useful are current tools of sustainability assessment at the regional scale. *Ecological Economics*, 2008, 67:362—372.
- [4] Erin O Sills, Jill L. Caviglia-Harris. Evolution of the Amazonian frontier: land values in Rondonia, Brazil. *Land Use Policy*, 2008, 26:55—67.
- [5] Stomph T J, Fresco L O, Keulen H. Land use system evaluation: concepts and methodology. *Agricultural Systems*, 1994(44):243—255.
- [6] Fermont A M, van Asten P J A, Giller K E. Increasing land pressure in East Africa: The change role of cassava and consequences for sustainability of farming systems. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2008, 128: 239—250.
- [7] Guo X D, Qiu Y, Lian G, *et al.* The progress and prospect of land quality indicators based on “press-state-response” framework. *Progress in Geography*, 2003, 22(5):479—489.
- [8] Gong L F, Du Q Y. A discussion on appraisal index system for sustainable use of cultivated land. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 2002, 19(5):30—33.
- [9] Meng D Y, Lu Y Q. A study on the city based on the niche theory. *Areal Research and Development*, 2008, 27(2):56—58.
- [10] Wang H H, Liu Y F. Research on optimal allocation model of land resource based on niche and CA. *China Population, Resources and Environment*, 2008, 18(2):97—102.
- [11] Chen L, Wang R S, Wang Z L. Niche assessment of China provincial social-economic-natural complex ecosystems in 2003. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 8(8):1794—1800.
- [12] Li Z Z, Huang Z S. Fitness analysis of water niches of artificial forest plants in Shapotou area. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 1995, 15(5):97—101.
- [13] Li Z Z, Huang Z S, Tang H P. Numerical simulation of niche fitness process of plants in sandy area. *Journal of Lanzhou University*, 1996, 32(2):108—114.
- [14] Li Z Z, Lin H. The niche-fitness model of crop population and its application. *Ecological Modelling*, 1997, 104:199—203.
- [15] Li Z Z, Hui C, Xu Z M, *et al.* Mathematical model of niche construction for desert vegetation and its applications. *Journal of Glaciology and*

- Geocryology, 2002, 24(4):387—392.
- [16] Piao S J, Wang Z J, Gu X L, *et al.* Analysis of niche fitness of artemisia halodendron population on Horqin sandy land. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(4):593—600.
- [17] Ouyang Z Y. Niche suitability model and its application in land use planning. *Environmental Science*, 1994, 6(4):449—456.
- [18] Ouyang Z Y, Wang R S, Fu G N. Ecological niche suitability model and its application in land suitability assessment. *Acta Ecologica Sin.*, 1996, 16(2):113—120.
- [19] Yu J, Nie Y, Zhou Y, *et al.* Niche-fitness theory and its application to GIS-based multi-suitability evaluation of cultivated land. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2):190—196.
- [20] Wang X M. Application of ecological niche suitability evaluation model to decision-making for converting cultivated land into forests. *Transactions of the CASE*, 2007, 8(2):113—116.
- [21] Yu Y, He J H. Land eco-economical suitability evaluation based on niche fitness. *Transactions of the CASE*. 2008, 24(1):124—127.
- [22] Grinnell J. Geography and Evolution. *Ecology*, 1924, 5: 225—229.
- [23] Leibold M. A. The niche concept revisited: mechanistic models and community context. *Ecology*, 1995, 6(5):1371—1382.
- [24] Shang Y C. The theory of niche in the contemporary ecology. *Process of Ecology*, 1998, 5(2):72—84.
- [25] Liu J G. The development of the niche theory and its application in rural ecoengineering. *Research of Agricultural Modernization*, 1987, 6:30—33.
- [26] Hu C L, Xiao L. The application of the niche theories and methods in the research of city. *Areal Research and Development*, 2004, 23(2):13—15.
- [27] Zhang X, Ge X D, Pu L J. A study on the economic niche of land use theory and mechanisms of cropland conservation. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6):677—682.
- [28] Zhang G M, Xie S C. Niche breadths and overlaps of dominant species of lithocarpus xylocarpus community in Ailao Mountains, Yunnan, China. *Acta Botanica Yunnanica*, 2000, 22(4):431—446.
- [29] Liao H J, Xu J H, Yue W Z. Contrastive analysis in space and on time of urban ecosystem niche-fitness. *Ecologic Science*, 2003, 22(4):300—304.
- [30] May R M. On the theory of niche overlap. *Theoretical Population Biology*, 1974(5):297—332.
- [31] Laland K N, Odling F J, Feldman M W. The evolutionary consequences of niche construction: a theoretical investigation using two-locus theory. *Journal of Evolutionary Biology*, 1996, 13(9):293—316.
- [32] Ulrich Walz. Monitoring of landscape change and functions in Saxony(Eastern Germany)-methods and indicators. *Ecological Indicators*, 2008, 8: 807—817.

参考文献:

- [7] 郭旭东, 邱扬, 连纲, 等. 基于 PSR 框架的土地质量指标体系研究进展与展望. *地理科学进展*, 2003, 22(5):479—489.
- [8] 龚丽芳, 杜清运. 耕地可持续利用评价指标体系初探. *国土资源科技管理*, 2002, 19(5):30—33.
- [9] 孟德友, 陆玉麒. 基于生态位理论的城市生态位研究. *地域研究与开发*, 2008, 27(2):56—58.
- [10] 王汉花, 刘艳芳. 基于生态位与约束 CA 的土地资源优化配置模型研究. *中国人口资源与环境*, 2008, 18(2):97—102.
- [11] 陈亮, 王如松, 王志理. 2003 年中国省域社会-经济-自然复合生态系统生态位评价. *应用生态学报*, 2007, 8(8):1794—1800.
- [12] 李自珍, 黄子琛. 沙坡头地区人工林植物的水分生态位适宜度分析. *西北植物学报*, 1995, 15(5):97—101.
- [13] 李自珍, 黄子琛, 唐海萍. 沙区植物种的生态位适宜度过程数值模拟. *兰州大学学报*, 1996, 32(2):108—114.
- [15] 李自珍, 惠苍, 徐中民, 等. 沙区植物生态位构建的数学模型及其应用研究. *冰川冻土*, 2002, 24(4):387—392.
- [16] 朴顺姬, 王振杰, 颜秀灵, 等. 科尔沁沙地差巴嘎蒿种群生态位适宜度分析. *植物生态学报*, 2006, 30(4):593—600.
- [18] 欧阳志云, 王如松, 符桂南. 生态位适宜度模型及其在土地利用适宜性评价中的应用. *生态学报*, 1996, 16(2):113—120.
- [19] 于婧, 聂艳, 周勇, 等. 生态位适宜度方法在基于 GIS 的耕地多适宜性评价中的应用. *土壤学报*, 2006, 43(2):190—196.
- [20] 王筱明. 生态位适宜度评价模型在退耕还林决策中的应用. *农业工程学报*, 2007, 8(2):113—116.
- [21] 俞艳, 何建华. 基于生态位适宜度的土地生态经济适宜性评价. *农业工程学报*, 2008, 24(1):124—127.
- [24] 尚玉昌. 现代生态学中的生态位理论. *生态学进展*, 1988, 5(2):77—84.
- [25] 刘建国. 生态位理论的发展及其在农村生态工程建设中的应用. *农业现代化研究*, 1987, 6:30—33.
- [26] 胡春雷, 肖玲. 生态位理论与方法在城市研究中的应用. *地域研究与开发*, 2004, 23(2):13—15.
- [27] 张侠, 葛向东, 濮励杰, 等. 土地利用的经济生态位分析和耕地保护机制研究. *自然资源学报*, 2002, 17(6):677—682.
- [28] 张光明, 谢寿昌. 哀牢山木果石砾群优势种的生态位宽度与重叠. *云南植物研究*, 2000, 22(4):431—446.
- [29] 廖红娟, 徐建华, 岳文泽. 城市生态系统适宜度的时空对比分析. *生态科学*, 2003, 22(4):300—304.