

耕地生态位及其数学测度模型构建研究

牛海鹏

(河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

摘 要:生态位理论是生态学重要的基础理论之一。以生态位理论为基础,提出了耕地生态元和耕地生态位的概念,并对耕地生态位的主体、本质、类型、特征及其演替规律作了系统阐述;构建了耕地生态位数学测度模型,包括耕地生态位宽度模型、耕地生态位扩充压缩度模型、耕地生态位商模型和耕地数量生态位重心模型,从而为区域耕地数量和质量变化研究提供了新的理论与方法。

关键词:生态位;耕地生态元;数学测度模型

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)03-00011-04

Construction on the Cultivated Land Niche and Its Mathematical Model

NIU Hai peng

(School of Surveying and Land Informaton of HPU, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Niche theory is an important theory of ecology. The author firstly puts forward some concepts about cultivated land ecounit and cultivated land niche, and expounds its object, essence, types, chatacteristic and development law based on niche theory. Finally, cultivated land niche mathematical model is established including cultivated land niche, expansion-reduction-degree, niche quotient and quantity niche barycenter, which provides new theory and ways for the study on the change in the quantity and quality of cultivated land.

Key words: niche; cultivated land ecounit; mathematical model

耕地数量和质量变化研究是土地利用/土地覆被变化研究的主要内容,同时也是区域耕地可持续利用研究的重要组成部分。耕地是一“自然-经济-社会”复合生态系统,呈现出动态的复杂性及显著的变异性等特点,因此不能通过简单的方法去“解析”或“剖析”,而需要应用生态学理论与方法对耕地数量及质量变化作整体研究。生态位理论作为生态学的重要理论,能够很好地测度耕地生态关系持续变动过程中的“定格”,由于静态是相对的,而变化是绝对的,因而能够清晰地反映耕地生态系统的演替与发展^[1,2]。所以,运用生态位理论,从耕地生态系统自身的角度研究其数量与质量变化的态势规律、时空动态变化模型,具有重要的理论意义和实用价值。

1 耕地生态位内涵的界定

1.1 耕地生态元概念的提出

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”^[3-5]。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^[6]。

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。因此,耕地生态系统是一种特殊的生态元,即耕地生态元。

1.2 耕地生态位的内涵

1.2.1 耕地生态位概念的提出

耕地是人类生产最基本、最主要的生产资料,是生产粮食、棉花、蔬菜等农副产品的基地,是土地中的精华。耕地数量的多少、质量的肥瘠直接影响到国民经济的发展。同时,耕地生态系统也有着重要的生态意义,起着防止水土流失、改善区域气候的重要作用。

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

收稿日期:2005-07-27

基金项目:河南省科技攻关项目(0324430019);河南理工大学自然科学(青年)基金重点资助项目

作者简介:牛海鹏(1974-),男,河南南阳市人,硕士,主要从事土地生态方面的教学与研究。

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。总之,耕地生态位综合反映了区域耕地资源在区域中所占有的空间、所处的地位和所具有的功能以及与其它土地利用类型单元的相对关系。

1.2.2 耕地生态位的主体

耕地生态位描述的主体是耕地生态元,即能够进行物质能量转换、信息处理等生态过程的耕地生态系统。这与已提出的城市环境生态位、土地利用经济生态位以及城乡结合部生态位描述的主体不同,如城市环境生态位是指城市环境给人类活动所提供的多维因子空间。可见,城市环境生态位、土地利用生态位以及城乡结合部生态位仅是人类生态位的某一方面或人类利用的某一资源谱,其生态位主体是人类,而不是某一生态系统,仍属于人类生态位的范畴。因此,耕地生态位的研究是从研究对象自身系统的角度进行,既研究耕地生态系统(生态元)本身的自然、社会和经济条件,又研究耕地与其它土地利用类型生态元的相对关系。

1.2.3 耕地生态位的本质

从空间生态位、功能生态位和多维超体积生态位内涵界定可以看出,空间生态位、功能生态位和多维超体积生态位只是侧重点有所不同,但其实质是统一的。格林尼耳(J. Grinnel)最初在强调生态位的空间属性同时也提出了其功能内涵;埃尔顿(Elton)在着重指出生态位的功能性之时,其实也暗含着一个不言而喻的空间成份;哈奇森(Hutchinson)提出的“超体积生态位”,同样也涵盖了功能内涵和空间属性。基于此,耕地生态位的本质体现在以下几个方面:

空间生态位,即耕地生态元所占据的空间位置;

功能生态位,即耕地生态元在区域可持续发展过程中的地位、作用和功能,包括与其它土地利用类型生态元的相互关系;

多维超体积生态位,即允许或支撑耕地生态元存在的超体积,是 n 维因子中的超体积。

这三个方面是相辅相承的,割裂任何一个方面理解耕地生态位的含义,都是不准确的。

可见,耕地生态位既反映了耕地生态元在某一时期某一特定环境范围内所占据的空间位置,也反映了耕地生态元在某一环境中的数量、质量、气候、土壤、效益等生态因子所形成梯度上的位置,还反映了耕地生态元在某一区域可持续发展中所扮演的角色。

1.2.4 耕地生态位的类型

耕地生态位综合反映了耕地生态元在区域发展中所占有的空间、所处的地位和所具有的功能。从生态位的维数(因子)来看,耕地生态位包括自然生态位(耕地数量、土壤养分、坡度大小、污染程度等)、经济生态位(机械化水平、耕作方式、经济效益、粮食需求满足度等)和社会生态位(人民观念和政策法规)三方面。保护耕地资源、维持与提高土壤养分、减少环境污染等构成了耕地自然生态位,这是当前耕地保护的理論依据;耕地的机械化水平、耕作方式、比较经济效益、粮食需求满足度等构成了耕地经济生态位,是耕地保护实施的手段和工具。人民观念和国家政策等带来的社会影响力,构成了耕地社会生态位。显然,耕地社会生态位是耕地生态位变化的主要驱动力之一。就耕地保护来说,需要借助耕地的社会生态位来协调其经济生态位和自然生态位,从

而从总体上提高耕地的生态位,促进土地利用的合理分配和布局^[7]。

2 耕地生态位特征及其演化规律

2.1 耕地生态位特征

(1) 区域性。耕地生态元具有一定的区域性或等级性,县(区)级行政区域内的耕地可称为一耕地生态元,市、省级行政区域内的耕地也可称为一耕地生态元,某一流域或气候带内的耕地同样可称为一耕地生态元。因此,耕地生态位体现了耕地生态元在特定区域内经济和社会发展过程中的地位、作用和功能。

(2) 相对性。实际上,区域中其它土地利用类型单元,如园地、林地、牧草地、建设用地,同样具有耕地生态元的特性,即区域内各土地利用类型单元也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,同样具有生态元的一般特征。因此,区域内其它土地利用类型单元,即园地、林地、牧草地、建设用地等也可称为土地生态元,与耕地生态元一起在特定的区域生态系统中相互作用,体现着各自的地位与作用。可见,耕地生态元不断地与其它土地利用类型生态元相互作用,其功能、地位和作用也必然是在一定环境条件下与其它土地利用类型生态元的相对比较中体现出来的。

(3) 可调性。耕地生态位的存在是自然、经济和社会因子(条件)共同支撑的结果。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,并最终达到提高耕地生态位的目的。

(4) 定量可测性。耕地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生态位的大小、变化特征进行测度。

2.2 耕地生态位演化规律

区域耕地生态元作为一种特殊的自然-经济-社会复合生态系统,在其演变发展过程中,与一般生态元一样,受多种生态因子的综合影响。因此,生态位的一般理论,包括生态位态势理论、生态位扩充与压缩理论、生态位竞争理论、生态位排斥理论和生态位适宜度理论等同样适用于解释耕地生态元的演化和发展。

依据一般生态位态势理论,耕地生态位包含两个重要方面:一是耕地生态元的态(区域耕地数量、依附其上的人口、经济效益、生态效益等),即耕地生态元在特定时刻的状态,是过去发展以及与环境相互作用积累的结果;二是耕地生态元的势(面积变化量、人口增长率、经济效益变化量、生态效益变化量等),是耕地生态元在特定时间内对环境的现实影响力或支配力。态和势的有机结合综合体现了耕地生态元在区域生态系统中的相对地位和作用,即耕地生态位的大小(宽度)^[8]。

从整个人类发展过程来看,区域耕地生态位态和势的演化符合一般生态位态势演变规律。以区域耕地数量(态)和数量变化量(势)为例,在某一区域内,由于人类的迁入和人口的增加,耕地得到开发利用,不断扩展其数量,同时对区域经济的发展产生影响。区域耕地数量积累在幼年期是相对缓慢的,然后经历速生期迅速增加其数量,达到成熟期生长缓慢甚至停滞,即区域耕地数量态(面积)的变化呈“S”型曲线;而区域耕地生态系统对区域经济发展的现实影响力(耕地面积年变化量)在幼年期很小,速生期达到最大,成熟期又

变得很小,即势的变化呈“钟”型曲线(如图 1)。但在不同时段内,耕地数量(态)和数量变化量(势)的变化是呈震荡型曲线,其“势”甚至表现为负值。一般而言,在社会稳定、人口增加时期,耕地得到开发利用,数量急剧增加;在社会动荡、人口减少时期,耕地大面积荒芜,数量又急剧减少。

区域耕地生态系统(生态元)具有不断发展的潜力,当其处于有利的社会、经济、自然环境中,这种潜力便得以发挥,以无可阻挡的力量增长、繁荣和进化;当其处于不利的社会、经济、自然环境中,这种潜力便受到不同程度的制约,表现出减少、衰退甚至消亡。这种由于耕地生态系统发展潜力所引起的耕地生态位各种态和势的增加就称为耕地生态位的扩充;反之,当各种态和势的减少则称为耕地生态位的压缩。

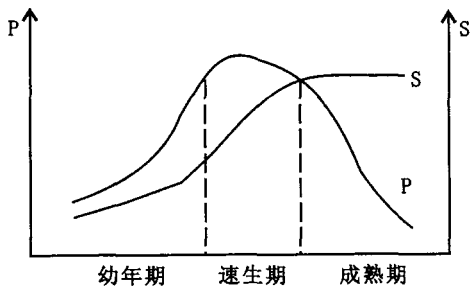


图 1 耕地生态位态势变化规律示意图

耕地生态位的扩充和压缩是通过耕地生态元与区域内其它土地利用类型生态元的竞争而得以实现的。当区域内的自然、经济和社会等生态因子发生变化,由于耕地生态元与其它土地利用类型生态元之间存在着生态位的重叠,即耕地生态位与其它土地利用类型生态位具有共同的生态维,在各种驱动因素形成的驱动力作用下产生了竞争,竞争的结果便表现为耕地生态位的各种态和势在一定时期内的扩充和压缩。

3 耕地生态位数学测度模型构建

3.1 耕地生态位(宽度)模型构建

态和势的有机结合综合体现了耕地生态元在区域生态系统中的相对地位和作用,即耕地生态位的大小(宽度)。因此,在测定耕地生态元的生态位(宽度)时,不仅要测定其状态(态),而且也要测定其对环境的影响力或支配力(势)^[9]。

耕地生态位是多维的,但在研究耕地生态位时,不可能掌握耕地生态位所有维的具体特征和参数,故可以根据研究的需要,将耕地生态位维数减少为若干个有效维数或某一维数进行生态位的测算。因此,耕地生态位(宽度)可采用单个指标或多个指标的综合进行测定。

基于此,特定区域内耕地生态位(宽度)数学测度模型可用下列方程式表示:

C = \frac{S + A P}{\sum_{j=1}^n (S_j + A_j P_j)} \tag{1}

式中: C——耕地生态位(宽度), j = 1, 2, ..., n——不同土地利用类型生态元, S——耕地生态元的态, P——耕地生态元的势, S_j——j 土地利用类型生态元的态, P_j——j 土地利用类型生态元的势, A 和 A_j——量纲转换系数。

式中的分子项,即耕地生态元的态 + A 乘以耕地生态元的势可视为耕地生态元的绝对生态位(宽度),与各种土地利用类型单元(含耕地)绝对生态位之和的比值则是耕地生态元的相对生态位(宽度),即耕地生态元生态位。

当考虑特定区域内耕地数量生态位时,就要首先调查测定其面积,以确定其态,然后调查测定其面积变化量,以确定

其势,经过量纲转换后,两者之和则可成为该区域内耕地生态元的绝对数量生态位,与该区域内所有土地利用类型生态元绝对数量生态位之和的比值是该区域内耕地生态元的数量生态位。

3.2 耕地生态位扩充压缩度模型构建

由于生态元无限增长的潜力所引起的态和势的增加称为生态元生态位的扩充。任何生态元都有无限扩充其生态位的潜力,试图占据更大的生存空间和发展空间,发挥更大的生态作用,对环境产生更大的影响。同时,由于生态位重叠导致生态元之间竞争作用的增强,在某一或某些生态元的生态位扩充的同时,使得其它生态元的生态位被压缩。对于区域生态系统中的土地利用类型生态元同样如此,当耕地被建设占用、生态退耕、灾毁或农业结构调整时,建设用地、林地等土地利用类型生态元的数量生态位实现扩充的同时,耕地数量生态位受到压缩。但需要指出的是:并非所有生态(维)因子的生态位在土地利用类型生态元之间都存在扩充和压缩的因果关系,如土地利用类型质量生态位、经济效益生态位和生态效益生态位。耕地质量生态位、经济效益生态位或生态效益生态位的扩充或压缩并不一定导致其它土地利用类型的质量生态位、经济效益生态位或生态效益生态位的压缩或扩充,相反有时会带动其它土地利用类型生态元的质量生态位、经济效益生态位或生态效益生态位实现同步扩充或同步压缩。

为了表示耕地生态位的扩充压缩程度,可用耕地生态位的势(态的变化量,可为正值、零和负值)与态(初始态)的比值进行量度。其数学模型如下:

T = \frac{P}{S} \times 1000 \% \tag{2}

式中: T——研究区域耕地生态元生态位扩充压缩度,即耕地生态元的“态”在特定时段内的扩充或压缩率(以千分率表示), P——研究区域耕地生态元生态位在特定时段内的势, S——研究区域特定时段初耕地生态元生态位的态。

T 实质上表征了在特定时段内耕地生态位扩充或压缩的方向和速度,一般而言:

当时 T > 0, 表示耕地生态位扩充, T 越大, 耕地生态位扩充速度越大;

当时 T < 0, 表示耕地生态位压缩, T 越小, 耕地生态位压缩速度越大;

当时 T = 0, 表示耕地生态位保持稳定状态。

3.3 耕地生态位商模型构建

耕地生态位可综合表示出耕地生态元在区域生态系统中的地位 and 作用,其值越大,表示耕地利用类型在研究区域中发挥的生态作用越大,并且可从逐年耕地生态位看出态的变化和势的大小。但在研究某一区域耕地生态元及其生态位变化情况时,往往与上一级区域内的生态位相比较,来分析本区域内耕地生态位态势的相对变化情况。基于此,本文提出耕地生态位商的概念,即研究区域耕地生态位与上一级区域耕地生态位的比值,以此度量研究区域耕地生态位相对于上一级区域耕地生态位的变化程度。其数学模型可如下表示:

Q = \frac{c}{C} \tag{3}

式中: Q——研究区域耕地生态元的生态位商, c——研究区域耕地生态元的生态位, C——上一级区域内耕地生态元的生态位。

耕地生态位商基本表征意义如下:

当耕地生态位商 Q > 1 时,表明研究区域耕地生态元生

态位大于上一级区域耕地生态元生态位;

当耕地生态位商 $Q < 1$ 时,表明研究区域耕地生态元生态位小于上一级区域耕地生态元生态位;

当耕地生态位商 $Q = 1$ 时,表明研究区域耕地生态元生态位等于上一级区域耕地生态元生态位。

根据耕地生态位商的大小可分析判断研究区域在上一级区域内,耕地生态元的优势程度。当耕地的质量生态位商 $Q > 1$ 时,则可判断研究区域耕地质量水平高于上一级区域内耕地总体质量水平,研究区域可能成为农业高产区;耕地的质量生态位商 $Q < 1$ 时,则可判断研究区域耕地质量水平低于上一级区域内耕地总体质量水平,研究区域可能受到某一或某些生态因子的制约,应因地制宜地进行中低产田改造;耕地的质量生态位商 $Q = 1$ 时,则可判断研究区域耕地质量水平与上一级区域内耕地总体质量水平相同,研究区域内耕地质量处于中等水平。

当耕地的数量生态位商 $Q > 1$ 时,则可判断研究区域耕地数量所占比率高于上一级区域内耕地所占比率;耕地的数量生态位商 $Q < 1$ 时,则可判断研究区域耕地数量比率低于上一级区域内耕地所占比率;耕地的数量生态位商 $Q = 1$ 时,则可判断研究区域耕地数量比率与上一级区域内耕地所占比率相同。

耕地生态位商更重要的表征意义在于:可根据耕地生态位商的逐年变化,判断研究区域耕地生态位的态势变化情况。如研究区域内耕地数量生态位商逐年减小,表明研究区域内各年耕地数量生态位的扩充压缩度小于上一级区域内耕地数量生态位的扩充压缩度;研究区域内耕地数量生态位商逐年增大,表明研究区域内各年耕地数量生态位的扩充压缩度大于上一级区域内各年耕地数量生态位的扩充压缩度。研究区域内耕地数量生态位商保持不变,表明研究区域内各年耕地数量生态位的扩充压缩度等于上一级区域内各年耕地数量生态位的扩充压缩度。

3.4 耕地数量生态位重心模型构建

人流、物流和能量的分布无不在空间上展开,各种物质和能量在空间上聚散和迁移,便产生了某一时刻的重心问题,重心的运动方向、速度和强度是表征某一物质在空间上变化的最好指标。同理,区域耕地数量在空间分布上的变化同样导致耕地分布重心的迁移。因此,耕地分布重心表征了区域耕地分布在空间上的集中性特征。通过研究区域耕地分布重心的变化,可以得到研究时期内耕地空间格局的变化规律,并依据其变化规律探求区域耕地变化的驱动因素和驱动力^[10,11]。

耕地分布重心的确定计算方法为:首先把研究区域分为

参考文献:

- [1] 罗小龙,甄峰.生态位态势理论在城乡结合部应用的初步研究[J].经济地理,2002,20:54-58.
- [2] 胡春雷,肖玲.生态位理论与方法在城市研究中的应用[J].地域研究与开发,2004,23(2):13-15.
- [3] Grinnell J. Geography and Evolution[J]. Ecology, 1924, 5: 225-229.
- [4] 马世骏.现代生态学透视[M].北京:科学出版社,1990.72-89.
- [5] 尚玉昌.现代生态学中的生态位理论[J].生态学进展,1988,5(2):77-84.
- [6] 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[J].农业现代学研究,1987,(6):30-33.
- [7] 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[J].自然资源学报,2002,17(6):677-691.
- [8] 朱春全.生态位态势理论与扩充假说[J].生态学报,1997,17(3):325-327.
- [9] 张光明,谢寿昌,袁牢山.木果石栎群优势种的生态位宽度与重叠[J].云南植物研究,2000,22(4):431-446.
- [10] 邵晓梅,杨勤业,张洪业.山东省耕地变化趋势及驱动力研究[J].地理研究,2001,20(3):298-305.
- [11] 何国松,祝国瑞.基于时空分析的贫困丘陵山区耕地变化机理研究[J].武汉大学学报,2004,29(6):508-512.

若干个小区,在大比例尺地图上确定每个小区的几何中心坐标或县城所在地的坐标,然后再乘以该小区耕地数量生态位,最后把乘积累加后除以各小区耕地生态位之和。

耕地分布重心以各小区耕地数量生态位而不以耕地面积作为计算的权重或依据,其原因是:首先数量生态位本身表征了各小区内耕地分布的优势度,其次耕地生态位对其数量变化的反应敏感程度优于绝对面积。因此以各小区耕地数量生态位作为权重确定耕地分布重心更能反映出研究区域耕地数量空间上的变化特征。

这种以耕地数量生态位作为基础测算出的耕地分布重心,称为耕地数量生态位重心,重心坐标用地图经纬度表示,其测算的数学模型为:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^m (C_{it} \times X_i)}{\sum_{i=1}^m C_{it}} \quad (4)$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^m (C_{it} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^m C_{it}}$$

式中: X_t 、 Y_t ——第 t 年研究区域耕地数量生态位重心的经纬度坐标; C_{it} ——第 i 个小区第 t 年耕地数量生态位; X_i 、 Y_i ——第 i 个小区的几何中心(或县城所在地)的经纬度坐标; m ——研究区内划分的小区总数。

在调查测算研究区内划分的各小区耕地数量生态位和几何中心(或县城所在地)的经纬度坐标的基础上,运用该模型可测算出研究时段的起止时间点的耕地数量生态位重心坐标,并可解算出耕地数量生态位重心移动的距离和迁移的方向。

耕地数量生态位重心移动的距离和迁移的方向有以下重要意义:

其一,耕地数量生态位重心移动的距离表征了研究区域耕地数量在某一时段内空间变化的不均匀程度。耕地数量生态位重心移动距离越大,表明研究区域在某一时段内耕地数量空间变化不均匀程度越大;反之,则越小。

其二,耕地数量生态位重心迁移的方向表征了研究区域耕地数量空间变化驱动因素或驱动力的来源以及驱动方向。

4 结 论

将生态位理论引入到区域耕地数量及质量变化研究中,一方面使对耕地这一自然-经济-社会复合生态系统的研究从自然生态系统的演替入手,有了新的科学理论依据;另一方面也是对现有耕地数量及质量变化研究方法的补充。

构建的耕地生态位数学测度模型可有效地量度区域耕地数量与质量变化的态势规律及时空动态变化特征。