

# 人类活动效应对物种多样性影响的动力模拟

——以洪湖湿地生境毁坏对水鸟物种多样性的影响为例

刘会玉<sup>1</sup>, 林振山<sup>1\*</sup>, 张明阳<sup>2</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410025)

**摘要:**提出了随时间变化的人类活动效应对物种多样性影响的多物种竞争非自治动力模式,并以洪湖为例模拟了湿地水鸟物种多样性对人类活动效应(生境持续毁坏)的响应过程。模拟发现:对于强-强物种,生境的持续破坏使得湿地水鸟的物种多度大幅度减小,并发生优势种群的更替;对于弱-弱物种,将导致大批的弱物种种群迅速灭绝,而余下的弱物种种群将做准周期振荡;尽管停止对湿地生境的持续毁坏,仍会使一批弱物种种群继续走向灭绝,并且使得原来最强的几个种群最终灭绝。物种灭绝对生境毁坏的这种时间滞后性,即破碎的生境中存在着一些“活死者”,必须引起自然保护学家的关注,否则会低估了实际处于灭绝边缘的物种的数目,从而影响正确的物种保护决策的制订。

**关键词:**人类活动效应;物种多样性;洪湖湿地;生境毁坏;水鸟

**文章编号:**1000-0933(2006)02-0432-07 **中图分类号:**Q141 **文献标识码:**A

## The dynamical simulation of the effects of human activities on species diversity: A case study of the effects of human-caused habitat destruction on waterfowls' species diversity in Honghu wetland

LIU Hui-Yu<sup>1</sup>, LIN Zhen-Shan<sup>1\*</sup>, ZHANG Ming-Yang<sup>2</sup> (1. College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 2. Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Changsha 410025, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 432 - 438.

**Abstract:** Population explosion and human activities especially the pressures of land use and habitat destruction on environment, is one of the most important causes of the loss of species diversity. Species diversity is the bases of the survival and development of human being. Therefore, the study on the effects of human activities on species diversity is a hot issue of global biodiversity conservation. We have put forward a non-autonomous model of multispecies competitive coexistence model about the effects of human activities which is the function of time. Moreover, we have studied dynamically the effects of human activities on species diversity by simulating the response of species diversity of wetland waterfowls to human-caused habitat successive destruction as a case study. The simulated results showed that:

(1) When waterfowls are subject to successive habitat destruction, the responsive characteristics of superior-superior competitors are different from those of inferior-inferior competitors. For superior-superior competitors, the abundances of them will decline continually. The declining speed of more superior competitors is much higher than the less superior competitors because the more superior a species is, the more sensitive to habitat loss it is, which leads to the competitive rank and dominance species changing. For inferior-inferior competitors, the successive habitat destruction will lead to lots of much inferior competitors go extinct due to inadaptability to habitat loss and the rest oscillate quasi-periodically.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(40371108);国家“211”二期工程重大资助项目;南京师范大学学生基金资助项目(2004XK003)

**收稿日期:**2004-12-15;**修订日期:**2005-05-29

**作者简介:**刘会玉(1978~),女,湖南辰溪人,博士生,主要从事生态资源研究. E-mail:foozle@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: linzhenshan@njnu.edu.cn

**Foundation item:** The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40371108), National “211” Key Project and Student Foundation of Nanjing Normal University (No. 2004XK003)

**Received date:** 2004-12-15; **Accepted date:** 2005-05-29

**Biography:** LIU Hui-Yu, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecology and resources. E-mail: foozle@163.com

(2) When habitat destruction stop, for superior-superior competitors, the originally more superior competitors still decline continually and die out at the end, and originally less superior competitors keep as the dominance species; for inferior-inferior competitors, many inferior competitors will go extinct quickly, and the rest will oscillate quasi-periodically. All the living species will come to a new equilibrium after about 3000yr.

As mentioned above, although habitat destruction stop, some species still go extinct, which reveals there is a time debt for species extinction to respond to past habitat destruction, that is to say, there are some "living dead" species in present destroyed habitat. So more and more attentions must be taken to it from conservation biologists, or else, the number of endangered species will be underestimated and further the development of effective decision-making of biological conservation are affected disadvantageously.

**Key words:** effects of human activities; species diversity; Honghu wetland; habitat destruction; waterfowls

保护生物多样性尤其是物种多样性是当前国际社会瞩目的重大环境问题之一<sup>[1,2]</sup>。而研究人类活动效应对物种多样性的影响是当前生物多样性研究的核心问题和国际热点之一<sup>[1]</sup>。人类活动所引起的生境的破坏或片段化,过度掠夺动植物资源,外来种的入侵和环境质量的恶化被统称为“灭绝四重奏”<sup>[2]</sup>,并得到科学家们的广泛关注。而生境的破坏则被普遍认为是物种灭绝的最主要的原因<sup>[3-6]</sup>,因此,众多的专家开展了有关人类活动所引起的生境破坏对物种灭绝的影响<sup>[3-12]</sup>。该类研究主要开展的是人类活动所引起的瞬间破坏对物种灭绝的影响,体现在模式里是用一个参数来表示栖息地减少的量,因此这些模式都属于自治动力模式。在此基础上,该类研究成功地揭示了“子孙债”<sup>[7,8]</sup>、“活死者”<sup>[3]</sup>、种群灭绝的序以及种群在减少栖息地后的动力学特性<sup>[4,5]</sup>。但人类活动对生境的破坏实际上是个持续和变化的过程<sup>[13]</sup>。事实上,由于人类活动而导致栖息地的减少本身也是时间的函数。因此,本文引入人类活动的累积时间效应,提出了随时间变化的人类活动效应对物种多样性影响的多物种竞争的非自治动力模型。

洪湖湿地位于荆州市的洪湖市和监利县境内,是我国第三大淡水湖泊,是长江中下游最具代表性的湖泊之一,由300多个大小湖泊及大片沼泽组成。1950年洪湖还是个通江敞水湖,面积约为760km<sup>2</sup>。而从1951年到1982年,通过水利建设、江湖隔断和围垦分割,面积减少了54%。目前,洪湖湿地现有面积约为395.5km<sup>2</sup><sup>[14-18]</sup>。

在世界人口、粮食、能源压力越来越大的情况下湿地成为受人类活动的影响和冲击最大的自然生态系统和景观类型之一。研究人类活动造成的湿地生境破坏对湿地物种多样性的影响已成为当前湿地生物多样性保护研究的重要内容。本文所提出的问题是:人类活动对湿地资源的开发利用造成的生境持续破坏下,影响水鸟物种多样性及其物种多度的动力学机制和过程如何?传统的野外调查、实地考察、资料分析是无法回答这些问题的。这属于近几年国际资源-生态领域刚刚起步的有关生态复杂性预测的重大前沿问题<sup>[19]</sup>。由于涉及资源-生态系统的复杂性和非线性动力学模拟和预测问题,我国很少开展此类研究。

### 1 人类活动造成的生境持续破坏下的多物种竞争非自治动力模式

在不考虑迁移时,最早用于环境资源支撑下种群个数预测研究的模式是 Logistic 虫口模式:

$$\frac{dN}{dt} = rN(1 - N/N_m) - eN \quad (1)$$

式中, $r$ 为种群的内在增长率, $e$ 为死亡率, $N$ 为种群个数(虫口数)、 $N_m$ 为环境资源所能供给、承载的所有物种的种群个体总数目。

考虑种群的迁移后,用 $c$ 表示迁移繁殖率,将(1)式的两边同除以 $N_m$ ,并用 $p = N/N_m$ 表示某时刻物种多度,则(1)式可改写为:

$$\frac{dp}{dt} = cp(1 - p) - ep \quad (2)$$

由于人类活动是持续作用于环境的,对物种多样性的影响是持续的,所以,人类活动效应是时间的函数。

假设人类活动对环境的影响效应为  $D(t)$ , 那么在人类活动效应的影响下, 系统的剩余环境容纳量为  $(1 - D(t))$ , 从而提出了人类活动效应下的单物种种群动态模式:

$$\frac{dp}{dt} = cp(1 - D(t) - p) - ep \quad (3)$$

由于人类活动对物种多样性的影响效应即可以是线性的, 也可以是非线性的, 为了研究方便, 本文仅研究人类活动线性效应, 其表示如下:

$$D(t) = at + b \quad (4)$$

式中,  $a$  代表人类活动的强度,  $a$  越大, 人类活动效应越大;  $t$  为人类活动作用的时间;  $at$  是人类活动效应时间变化的部分; 而  $b$  则代表了在平均状态下人类活动的效应, 是人类活动效应不随时间变化的部分。

这样(3)改写为:

$$\frac{dp}{dt} = cp(1 - (at + b) - p) - ep \quad (5)$$

为将单物种模式扩展成为多物种竞争共存模式, 假设不同物种严格地通过竞争能力来排序, 群落里物种的共存是由于种间的竞争能力和迁移繁殖能力以及自然死亡率之间的动态平衡, 这种平衡要求竞争力弱的物种具有较强的迁移繁殖能力。同时, 假设强的物种可以侵占弱的物种的生境, 而弱的物种却不能入侵强的物种所占的生境, 并且物种不能在已毁坏的生境里存活。那么(5)式扩展为以下人类活动持续作用下的多物种竞争共存模式为:

$$\frac{dp_i}{dt} = c_i p_i \left( 1 - D(t) - \sum_{j=1}^i p_j \right) - e_i p_i - \sum_{j=1}^{i-1} p_j c_j p_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$D(t) = at + b$$

式中,  $i$  为某种群依照竞争能力在群落中的排序, 假定最强的物种具有最大的物种多度。模式(6)里描写人类活动导致的生境变化  $D(t)$  不仅是时间的函数, 而且可取正(生境破坏)或负(生境恢复)。由于模式(6)的右边已显含时间变量, 因此是非自治动力系统。对所研究的湿地资源而言, 人类活动对湿地的破坏是持续不断的, 因此  $D(t) > 0$ 。

## 2 数值模拟实验

有关洪湖湿地生境变化及水鸟种群组成及其数量变化的研究很多<sup>[14-18]</sup>, 但大多是基于野外调查, 没有涉及生境丧失和水鸟物种多样性组成变化的动力学过程和机制。为研究生境面积毁坏与水鸟物种多样性的关系, 将用非线性科学来模拟物种种群动态, 并与野外调查实际情况相比较。通过动力模型来研究水鸟物种多样性变化对生境面积变化的响应机制。表1是洪湖湿地面积、水鸟物种多样性及优势种群的变化。

表1 洪湖湿地面积、水鸟物种多样性及其优势种群的变化<sup>[14-18]</sup>

Table 1 Change of total area, waterfowls' species diversity and dominance species in Honghu wetland<sup>[14-18]</sup>

项目 Item	年份 Year					
	1950	1953	1967	1979	1982	1997
面积 Area(km <sup>2</sup> )	760	712.42	612.44	353	355	395.5
水鸟物种数 Number of waterfowls	106				87	39
优势物种 Dominance species	鸿雁、豆雁、灰雁 Anser cygnoides, Anser fabalis, A. anser			骨顶鸡、扇尾沙雉 Fulica atra, G. gallinago		骨顶鸡 Fulica atra

从表1可见, 1982年以前, 洪湖湿地生境的丧失实际上是一个持续的过程, 即生境丧失是时间的函数, 对5个时段的生境面积的毁坏率进行拟和, 得出生境丧失的时间函数如下:

$$D(t) = 0.0159t - 0.0253 \quad (7)$$

则模式(6)改写为:

$$\frac{dp_i}{dt} = c_i p_i \left( 1 - (0.0159t - 0.0253) - \sum_{j=1}^i p_j \right) - e_i p_i - \sum_{j=1}^{i-1} p_j c_j p_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

采用 Tilman<sup>[7-8]</sup> 的假设,即  $n$ -种群系统里各物种具有相等的死亡率  $e$ ,最强物种在群落中的比例为  $q$  (不同的  $q$  代表了不同的群落结构),生境未受破坏时,平衡态的各水鸟种群物种多度  $p_i^0$  和迁移繁殖率  $c_i$  均为几何级数分布:

$$e_i = e; p_i |_{D=0} = q(1-q)^{i-1}, c_i = e/(1-q)^{2i-1} \quad (9)$$

在本文中,为研究方便起见,并结合一些实际调查,假设最强水鸟种群的物种多度  $q = 0.078$ ,各个物种种群具有相同的死亡率,即  $e_i = 0.2/a$ 。根据以上假设条件以及模式(8)和式(9)。我们对洪湖水鸟物种多样性对湿地生境丧失的响应进行了数值模拟试验。

### 3 模拟结果与分析

假设在 1950 年,洪湖湿地处在一种自然的状态下,即受人类的干扰很小,水鸟群落发育比较成熟,种群组成比较稳定。如果生境在没有人干扰下,洪湖湿地上的 106 种水鸟将处于一种和谐、平衡状态下。图 1 是生境没有受到破坏下,水鸟群落的种群动态,即水鸟处于一种相对平衡、稳定状态,物种多度不发生变化,物种种群动态曲线是一条条平行线。

20 世纪 50 年代以来的大规模水利建设和大规模围垦活动,湿地面积缩减很快。图 2 是根据模式(8)和式(9),从 1950 ~ 1982 年生境在持续毁坏了 54% 时,湿地水鸟物种多样性对生境持续毁坏的响应的模拟结果。图 2a 是最强的 10 个物种(强-强物种)种群的响应过程,而图 2b 则是较弱的 6 个物种(弱-弱物种)种群的响应过程。

从图 2a 可见,最强的 10 个物种,在生境持续毁坏下,物种多度持续地下降,大概在 1975 年左右,这十个强物种的强弱关系发生质的变化,即原来较弱的 5 个物种变成了强物种,而原来最强的 5 个物种变成了较弱物种,使得群落的优势种群发生了更替。图 2a 的模拟结果与实际观察到的数据基本吻合。洪湖湿地在 20 世纪 50,60 年代,主要以豆雁、白额雁、鸿雁为主。而到了 20 世纪 80 年代,数量则大幅下降,使得洪湖水鸟的优势种群变成以骨顶鸡、扇尾沙雉为主。同时,从图 2b 可以看到弱-弱物种的多度做准周期的振荡,当这种物种多度振荡的幅度过大时,将使物种难以得到恢复而灭绝(当物种多度小于  $10^{-6}$  时,近似认为该种群灭绝)。从第 89 个物种开始,所有比它更弱的物种在这 33a 内逐渐灭绝,即当生境持续毁坏了 54% 时,洪湖湿地将在这 33a 内丧失最弱的 17 个物种,只余下较强的 88 个物种。这与实际调查得出的 87 个物种相差不大。Tilman<sup>[7,8]</sup> 等人在研究生境毁坏对物种灭绝的影响时片面的认为,强物种对生境毁坏的响应要比弱物种的敏感,且要先于弱物种灭绝。而从本文的模拟来看,当生境遭到毁坏时,仍将是较弱的物种因为适应不了生境的变化而首先灭绝。这是因为 Tilman 等<sup>[7,8]</sup> 模拟的仅是强-强物种之间的这种灭绝关系,即强-强物种中的原来较强的物种种群将率先灭绝,而忽略了弱-弱物种的灭绝。在本文中也证实生境毁坏将导致强-强物种的强弱关系发生更替,并导致原来较强的种群灭绝,从而实现优势种群的更替。

从表 1 可见,自 1982 年以来,由于围垦基本停止,洪湖湿地的面积变化很小,因此,假定 1982 年以来,人类停止了对洪湖湿地生境的持续破坏,从而使生境的毁坏率维持在 54% 左右,即  $D = 0.54$ ,那么物种多样性是如何变化的呢? 图 3 是根据模式(6)与式(9),模拟了 1982 年以来,生境毁坏停止后,强-强物种(a)和弱-弱物种(b)的多样性变化。从图 3a 可见,原来的强物种 1,2,3,4,5 继续衰退,分别在 2040、2060、2080、2140 年和 2280 年左右灭绝。而原来较弱的物种 6,7,8,9,10 物种则适应了生境的毁坏,逐渐开始恢复,物种多度回升,并且部分物种的多度开始振荡。而从图 3b 可见,比物种 55 更弱的物种将灭绝,而其它的弱物种仍然做准周期振

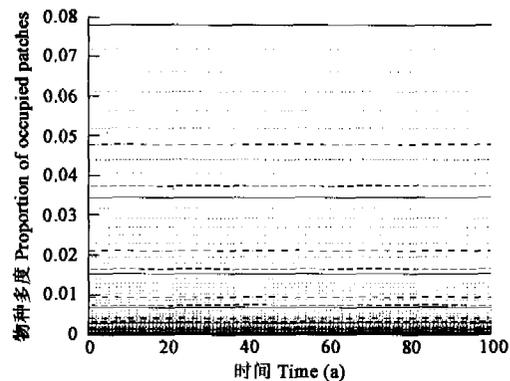


图 1 生境未受破坏 ( $D(t) = 0$ ) 下的水鸟物种多样性变化

Fig.1 Change of the waterfowls' diversity in the pristine habitat

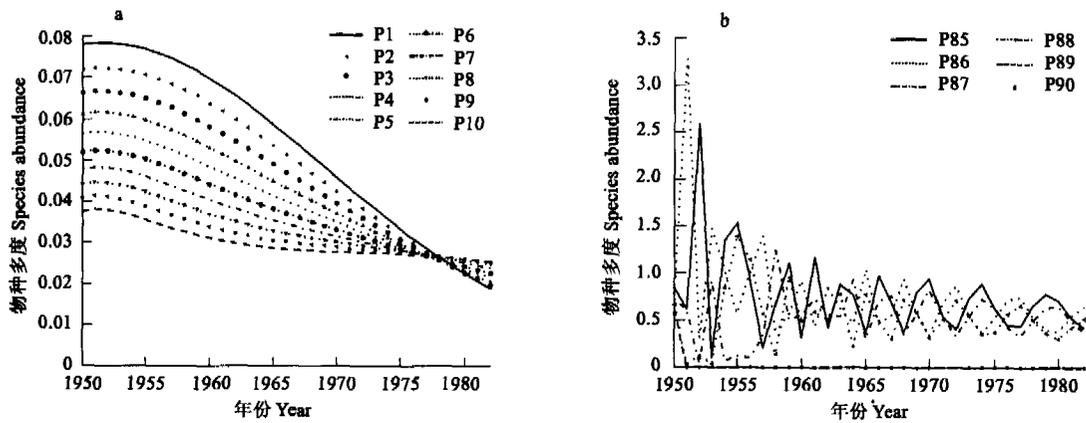


图 2 生境持续毁坏 54% ( $D(t) = 0.54$ ) 过程中,强-强物种(a)和弱-弱物种(b)的多样性变化

Fig.2 Responses of species diversity of superior-superior competitors(a) and inferior-inferior ones(b) to successive habitat destruction ( $D(t) = 0.54$ ) 其中 P1, P2, ..., P90 分别代表按竞争力排列的物种 1, 2, 3, ..., 90 where P1, P2, P3, ..., P90 denote species 1, 2, 3, ..., 90 ranked by competitive ability

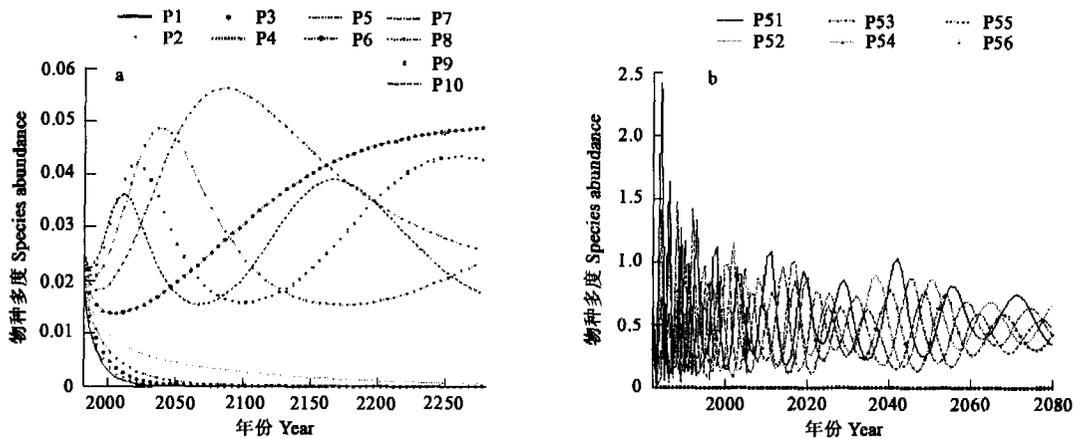


图 3 生境停止毁坏后,强-强物种(a)和弱-弱物种(b)物种多样性的响应.其中 P1, P2, ..., P56 分别代表依照竞争力排列的物种 1, 2, 3, ..., 56

Fig.3 Responses of species diversity of superior-superior competitors (a) and inferior-inferior ones (b) after habitat destruction stop, where P1, P2, P3, ..., P56 denote species 1, 2, 3, ..., 56 ranked by competitive abilities

荡。即在保持生境不变的条件下洪湖湿地的水鸟将保持在 50 种左右,这与表 1 调查得到的 39 个物种有一定的差距。这可能是因为一些很弱的水鸟种群数目很小,难以观察到;同时,一个更重要的原因是,近年来乱捕滥捞,过度围湖圈养,水质污染严重,导致生境质量下降,从某种角度说,生境质量的下降也是一种生境的破坏,因此会导致比模拟出来的更多的物种的灭绝。从以上分析可知,尽管人类活动已经停止对生境的毁坏,但是已有的生境毁坏仍会使部分弱物种在经历一段时间后快速灭绝,并导致原来最强的几个物种灭绝,但是灭绝的滞后时间相对弱物种来说更长。经模拟,没有灭绝的物种则大概需要经过 3000a 的振荡,最后才平衡下来。因此生境毁坏对物种的演化以及物种的灭绝的影响都存在时间的滞后性。

4 讨论

(1)湿地水鸟在生境遭受持续毁坏的时候,强-强物种种群的响应特征有异于弱-弱物种种群。对于强-强物种来说:所有强物种的多度将持续的下降,同时因为最强的几个物种对生境毁坏要敏感,使得其物种衰退速

度快于相对较弱的物种,使得物种的强弱关系改变,从而出现了优势种群的更替。对于弱-弱物种,在生境遭受持续毁坏下,最弱的几十个物种因为无法适应生境的破坏而很快灭绝,而余下的弱物种则做准周期振荡。

(2)在生境毁坏停止下来后,对于强-强物种,原来的几个优势种群仍继续衰退,并最终灭绝,而原来较弱的物种仍然保持优势种群的地位;对于弱-弱物种,仍有最弱的几十个物种在振荡中快速灭绝,而余下的物种则做准周期振荡。大概经历 3000a 左右的时间,所有没有灭绝的物种将到达一个新的平衡。

从以上分析可以看出,人类活动对湿地的持续破坏不仅导致物种多样性的大量减小,同时也导致物种多度的快速下降。即使人类停止了对生境的继续破坏,仍需要 3000a 左右的时间,使得物种种群重新达到平衡。即人类活动导致的生境的破坏对所有的物种种群都产生滞后影响。由于生境受人类活动的影响很大,近期变化很快,以至于生活其中的水鸟种群远未达到平衡态。在最糟糕的情况下,当前的生境已经过于破碎,无法再支撑一个有活力的群落。因此,必须采取措施,使湿地生境的丧失及破碎得以逆转,否则生境的波动将会使水鸟种群很快灭绝。由于某些物种的灭绝对生境毁坏具有滞后性,有关专家将这样的物种称为“活死者”(living dead)<sup>[3]</sup>。事实上,很难确定某一具体集合种群是否处于随机平衡状态下,也不知道当前生境中到底有多少因为过去生境的破坏所导致的“活死者”。因此,这给生物保护工作带来了一定的难度,容易低估实际处于灭绝边缘的物种的数目,从而影响正确的保护决策的制订;同时也从某种程度上影响了模拟结果的有效性。为此,保护物种现在所处的生境并不足以保证物种的长期存活<sup>[20]</sup>。必须想法恢复和提高这些“活死者”物种所处的生境质量,才能避免这些“活死者”的灭绝,从而有效的保护现有物种。

本文通过引进人类活动环境效应的函数,扩展了 Tilman 的多物种竞争共存模式。通过以洪湖湿地为例,研究了物种多样性对人类活动效应的动力响应机制。模拟的结果与实际观察到的结果吻合得比较好,并且能对物种多样性以及物种多度的未来演化走势进行预测,从而很好的揭示了物种多样性对人类活动效应(生境破坏)的响应机制。但是在本文中,仅仅考虑了人类活动对物种迁移率的影响,而实际上,人类活动的加剧往往会导致死亡率的增加。如何将死亡率  $e$  与  $D$  联系起来,并用数学表达之,有相当的难度,估计 10a 内都很难取得共识,同时,由于没有死亡率与的观测、统计资料,因此也无法用统计方法解决之。此外,除了人类活动所直接带来的环境效应如生境面积的变化会影响物种多样性化外,其他因素所引起的环境的恶化,气候的变异等也会影响物种多样性的变化,这使得模拟得到的结果与实际的情况有一定的差距,在预测绝对灭绝风险时,存在大量的不确定性,因此该方法有待于进一步地深入研究和完善。

## References:

- [ 1 ] Chen L Z, Qian Y Q. Frontiers in biodiversity science. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(6):565 ~ 572.
- [ 2 ] Osvaldo E S. Almost all about biodiversity. *Science*, 2003, 299(7):1521.
- [ 3 ] Hanski I. Metapopulation dynamics. *Nature*, 1998, 396:41 ~ 49.
- [ 4 ] Lin Z S. Simulating unintended effects restoration. *Ecol. Model.*, 2003, 164: 169 ~ 175.
- [ 5 ] Lin Z S, Qi X Z, Li B L. Can best competitors avoid extinction as habitat destruction? *Ecol. Model.*, 2005, 182:107 ~ 112.
- [ 6 ] Diamond J. Review of recent extinction's conservation for the twenty-first century. Oxford: Oxford University Press, 1989. 37 ~ 41.
- [ 7 ] Tilman D, May R. M, Lehman C L, *et al.* Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 1994, 371: 65 ~ 66.
- [ 8 ] Tilman D, Lehman C L, Yin C. Habitat destruction, dispersal, and deterministic extinction in competitive communities. *Am. Nat.*, 1997, 149:407 ~ 435.
- [ 9 ] Lin Z S, Wang S G. Study on the relation between the Animal Species extinction and habitat destruction, *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4):533 ~ 540.
- [ 10 ] Lin Z S. The influence of habitat destruction on the ecological effect of metapopulation. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3):480 ~ 485.
- [ 11 ] Neuhauser C. Habitat Destruction and Competitive Coexistence in Spatially Explicit Models with Local Interactions. *J. theor. Biol.*, 1998, 193:445 ~ 463.
- [ 12 ] Swihart R K, Feng Z L, Sladea N A, *et al.* Effects of Habitat Destruction and Resource Supplementation in a Predator-Prey Metapopulation Model. *J. Theor. Biol.*, 2001, 210: 287 ~ 303.
- [ 13 ] Liu H Y, Lin Z S, Zhang M Y. How species response to different habitat destruction caused by human activities. *Acta Pytoecologica Sinica*, 2005, 29(3): 429 ~ 435.
- [ 14 ] Wang F, Xie Q M. The succession trend and management countermeasure for Honghu wetland ecosystem. *Rural Eco-environment*, 1990, 6 (2):21 ~ 25.
- [ 15 ] Fang W Z, He D F, Wang X Y, *et al.* Studies on overwintering water birds in HONGHU Lakeland. *Journal of Central China Normal University (Nat. Sci.)*

1997, 31(4):464 ~ 467.

- [16] Yang Qiren, Wang Xiaoli, Wu F Q, *et al.* Report of investigation on birds in the Honghu wetland during 1996 ~ 1997. *Journal of Central China Normal University (Nat. Sci.)*, 1999, 33(2):263 ~ 25.
- [17] Li C L, Li X F, Jiang Y S. Wigeon in Honghu Lake. *Chinese Journal of Zoology*, 1990, 25(3):29 ~ 31.
- [18] Hu H X, Kang H L. Wetland waterfowl slipping into an impasse. *Forest & Humankind*, 2004, (7):22 ~ 23.
- [19] James S, *et al.* Ecological Forecasts: An Emerging Imperative. *Science*, 2001, 293: 657 ~ 660.
- [20] Hanski I, Ovaskainen O. Extinction debt at extinction threshold. *Conserv. Biol.*, 2002, 16:666 ~ 673.

#### 参考文献:

- [1] 陈灵芝, 钱迎倩. 生物多样性科学前沿. *生态学报*, 1997, 17(6):565 ~ 572.
- [9] 林振山, Larry L. 生境变化对集合种群系统生态效应的影响. *生态学报*, 2003, 23(3):480 ~ 486.
- [10] 林振山, 汪曙光. 栖息地破坏与动物物种灭绝关系的模拟研究. *生态学报*, 2002, 22(4):535 ~ 540.
- [13] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 物种演化对人类活动作用下不同性质栖息地破坏的响应. *植物生态学报*, 2005, 29(3), 429 ~ 435.
- [14] 王飞, 谢其明. 洪湖湿地生态系统的演替趋势及管理对策. *农村生态环境*, 1990, 6(2):21 ~ 25.
- [15] 方文珍, 何定富, 王兴媛等. 洪湖越冬水鸟的研究. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 1997, 31(4):464 ~ 467.
- [16] 杨其仁, 王小立, 吴发清等. 1996年 ~ 1997年洪湖湿地鸟类调查报告. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 1999, 33(2):263 ~ 25.
- [17] 李承龄, 李晓峰, 江永生. 洪湖的野鸭. *动物学杂志*, 1990, 25(3):29 ~ 31.
- [18] 胡鸿兴, 康洪莉. 渐入绝境的湿地水鸟. *林地和人类*, 2004, (7):22 ~ 23.