

生态轨道理论的初步研究

——对生态学物理本质的探讨

张洪军

(白求恩医科大学基础医学院生物教研室 长春 130021)

摘要 迁移地将物质结构论中“轨道”这一物理学概念引入宏观体系研究中,提出“生态轨道理论”,从能量的角度探索生命活动的相互作用机制。分别对两种植物(草地早熟禾和连钱草)的空间分布和鸟类(大苇莺)在繁殖期育雏活动期间对食物资源竞争进行了研究,分析如下:①生命体在其生存空间内确定的生态轨道上运动发展变化,通过轨道区间场强与其它生命体发生相互作用。在因子综合作用下,呈现出一定的分布格局,围绕基态呈“等密度圈式”排列。②生态轨道数目: $n \leq 10$ 。各生态轨道在生态空间内的能量值(以种群地上生物量表示)随生命体扩散力的减弱而递增,符合 Logistic 曲线,而生命体在各生态轨道的能量值(以个体地上生物量表示)却随 n 的增加呈发散递减趋势,符合 Lindeman 十分之一定律。草地早熟禾和连钱草, $n=10$,大苇莺, $n=8$ 。③生态轨道在空间的叠加性导致生态轨道区间场强的变化,从而影响相互作用效应的大小,在两种植物生存空间内产生斑块和物种多样性现象。不同巢间距的大苇莺双亲在育雏活动期间对食物资源的竞争模型符合 Lotka-Volterra 方程,竞争系数如满足: $\alpha\beta < 1$,处于平衡态; $\alpha\beta = 0$,不产生相互作用; $\alpha\beta \geq 1$,处于竞争态。同时,也反映出双亲在栖息领域竞争能力的大小。

关键词: 生态轨道理论,生态轨道数目,轨道区间场强,相互作用机制,能量。

A PRELIMINARY STUDY ON ECOLOGICAL
ORBITAL THEORY

——DISCUSSIONS ON PHYSICAL ESSENCE OF ECOLOGY

Zhang Hongjun

(Department of Biology, Norman Bethune University of Medical Sciences, Changchun, 130021, China)

Abstract An advanced “Ecological Orbital theory” is presented in order to explore the interactive mechanisms of biological activities from the view of energy and to stimulate the transformation of the concept of “Orbit” from the theory of material structure to macroscopical system. The theory is based on the studies on the spatial pattern of plants (*Poa pratensis* and *Glechoma heteracea*) and the broody-activity-related-competition of birds (*Acrocephalus arundinaceus*) on food resources. The following is the major points of the theory:

(1) Under the comprehensive actions of many factors the biosome moves, develops

* 本文承蒙东北师范大学草地研究所杨允非教授的悉心指导,深表感谢。

收稿日期:1996-07-25,修改稿收到日期:1997-06-25。

and changes in different ecological orbits, interacts with other bionts through the intensity of orbital zone field, manifests a specific pattern of space distribution and arrays in an "Isopycnic Circle" around ground states.

(2) Ecological orbit number is less than or equal to 10 ($n \leq 10$). In the ecology space the ecological orbital energy value (the standing crop of population) increases progressively with an accompanying of the reduction of diffusion capabilities of biosomes, which tallies with "Logistic Equation". On the other hand the energy value of biont (the standing crop of one biont) in different ecological orbits manifests a progressively divergent decrease with an accompanying increase of ecological orbit number, which tallies with "Lindeman's Law". After the observation and analysis the author has determined that the orbit number of plants and bird are 10 and 8 respectively.

(3) The overlapped properties of ecological orbits leads to the variations of intensity of orbital zone field, which results in the interactions with different intensities among biosomes. The interactions leads to the formation of different patches and the species diversity species in plants and leads to the competitive and balanced state in bird. According the "Lotka-volterra Equation" if $\alpha\beta < 1$, the interactions of the birds is in balance state; if $\alpha\beta = 0$, the interactions of the birds is not competitive; if $\alpha\beta \geq 1$, the interactions of the birds is in competition state. And that reflects competitive capability of parents.

Key words: ecological orbital theory, ecological orbit number, interaction mechanism, intensity of orbital zone field, energy.

生命科学中宏观与微观两大方向的研究方法多有不同,但生命的内在规律却极为趋同,即:系统内部组分间能级的相互作用^[1~4],由于受研究方法限制,被认为近乎不可知性和不可测性,给一些生物生态机制问题的解释带来极大困难。为此,把现代量子理论和实验技术有机地结合是成为揭示其本质内涵的主要研究手段。

本文参阅国内外理论生态学工作者的著述及笔者的研究资料,用生态学观点首次提出“生态轨道理论”,旨在为生态学的理论研究提供一种新的思维方法。具体参数值由实验观测值确定。观测样地及材料为:植物是长春地区的草地早熟禾(*Poa pratensis*),连钱草(*Glechoma heteracea*);动物是长白山林缘、灌丛及草甸区的大苇莺(*Acrocephalus arundinaceus*)。

1 生态轨道理论及其特性

1.1 生态轨道

粒子或物体运动的路线,多指具有一定规则的任何一种闭合路径的运动,满足一个或几个给定条件的点的集合或直线的集合或曲线的集合。量子理论与统计物理学理论对其进行了详尽的描述,并以轨迹函数方程表示其运动变化过程^[5,6]。物质结构论中粒子或物体并不是孤立存在,而是在其轨道运动空间中与其它粒子或物体产生普遍联系的发展的相互作用,这种作用形式是通过轨道区间存在场强而产生的场效应,具有多组份、多维数、多变量及多层次性等多重特征,包括定域与非定域相互作用,是一可见量和可测量^[7~10]。微观体系轨道理论包括:原子轨道理论、分子轨道理论、杂化轨道理论和前线轨道理论等。

1869年 E. Haeckel 首次给生态学定义为“研究生物与环境相互关系的科学”之后,生态学逐渐发展成为研究生命系统与环境系统之间相互作用规律及其机理的一门多学科性学科^[11,12]。从能量角度出发,借助微观体系轨道理论阐明生态机制问题将是一个全新的思维方法。笔者认为生物体在其生存时空范围内

具有自己特定的生态轨道,通过轨道区间存在的场强进行物质交换、能量流动和信息传递,在不同生态轨道上的生命体各有其确定的能量,具有一系列分立的能量值,每一个这样的能量值称为一个能级,直观表达了体系内生命体在不同生态轨道的能级结构,本研究中用地上生物量表示。生态轨道数目的确定,要由实验观测结果的具体参数变量值确定,要考虑诸多因素:主要包括栖息环境的生物因子和非生物因子。目前,还很难给生态轨道下一个确切定义,初步定义为:运动发展变化的生命现象在其生存时空范围内的整合作用规律及其相互作用产生的效应。以数学关系式描述为:

$$E = \sum_{i=1}^n G_i V_i A_i f(x, y, z, t)$$

E :生命体所处生态轨道能量值, G_i :第*i*个生态轨道处环境生态效应系数, V_i :第*i*个生态轨道在空间坐标(x, y, z)和*t*时刻的能量值, A_i :生存时空范围内第*i*个生态因子产生的作用强度, $f(x, y, z, t)$:时间(*t*)和在生态空间(x, y, z)处轨迹变化函数方程。根据量子力学原理,原子中的每一个电子在空间的运动规律可用空间坐标(r, θ, φ)为自变量的波函数 $\Phi(r, \theta, \varphi)$ 来描述, $|\Phi|^2$ 表示几率密度, Φ 可写成径向函数 $R(r)$ 和角度函数 $Y(\theta, \varphi)$ 的乘积。 $f(x, y, z, t)$ 随*n*值, θ 角等参数变化,据微观体系的薛定谔方程示出运动状态变化规律^[4,6,8]。

1.2 生态轨道理论的特性

1.2.1 生态轨道在开放生态系统形成的非线性阶层序组合质变的时空范围内变化,生态系统内部各个要素之间形成一个动态的、呈等级的、分层次的、相互作用的组合体系,不同层次组合关系上都具有特定的生态轨道,且具有其特性,生命体由所处生态轨道跃迁到另一生态轨道,发生质的改变。不同生态轨道间通过轨道区间场强相互作用而波及整个生态系统。

1.2.2 不同生态轨道处生命体是无时不在运动发展变化地进行生命活动。系统内任一因子发生变化,将引起生命体所处生态轨道的能量值改变,从而影响本身及相邻生命体的生长、分布、生态适应性等生物生态学特性。

1.2.3 生态轨道在生态系统中是一可见量和可测量,并以轨迹函数方程表示其运动变化过程,围绕基态呈“等密度圈式”排列,生态轨道数目(*n*)小于或等于10($n \leq 10$)。随*n*的增加,生命体的扩散能力逐渐衰弱,系统内生命体扩散所能达到的最大轨道数目由诸多因子决定。实验中可观测到其在生态空间的分布、聚集和扩散现象,以及测量扩散到基态的空间距离,根据统计物理学方法确定生态轨道的空间位置。如草原上生长的蘑菇圈。

1.2.4 在生态系统内,生命体在各生态轨道的能量值由基态跃迁到扩散态的变化随*n*的增加呈梯度发散递减趋势,符合“Lindeman 十分之一定律”,具模拟性和预测性。生命体在其生态轨道序列上由第*n*-1生态轨道跃迁到第*n*生态轨道的耗能速率为 $R = (E_{n-1} - E_n) / E_{n-1}$, $E_{n1} > E_{n2} > E_{n3} > E_{n4} > E_{n5} > E_{n6} > E_{n7} > E_{n8} > E_{n9} > E_{n10}$,而生态轨道能级序列却恰恰相反,这与微观体系轨道理论相一致。

1.2.5 同一物种不同个体或不同物种间的生态轨道在其生态系统内重叠,由于生态轨道的叠加性而改变轨道区间场强,从而影响相互作用效应的大小。生态轨道的叠加性造成生命体在其生存时空范围内的能量值发生变化,使其与其它生命体的相互作用强度改变,产生正相互作用或负相互作用或中性作用。

2 理论分析及其应用

相互作用机制是生态学的实质性问题^[7,13,14]。轨道理论把物体运动变化归结为物体的能量变化,在吸收量子物理学的概念、原理和方法的基础上,本文着重研究生态轨道的空间分布和生态轨道间的相互作用。

2.1 植物的空间分布

植物空间扩展有两种方式,通过根或根状茎的无性繁殖和种子的有性繁殖。下面对草地早熟禾和连钱草生长期的实验观测结果予以分析。

对于单位面积内($0.10 \times 0.10 \text{m}^2$)各生态轨道的植株个体,在其生态空间内随*n*的增加,地上生物量变化如图1所示的曲线变化,当 $0 < n < 5$ 时,生物量变化曲线单调递增;当*n*=5时,生物量达到最大值;当*n*>5

时,生物量变化曲线单调锐减;当 $n=10$ 时,生物量为0,将不再扩展,可见能量起主导决定作用。这说明植株在生态轨道序列范围内,跃迁能力和扩散分布几率密度的相对大小,同时,对于一株植物来说,也反映出植株个体由基态的扩散态,扩散态能力(个体地上生物量表示)的变化趋势: $W_{n1} > W_{n2} > W_{n3} > W_{n4} > W_{n5} > W_{n6} > W_{n7} > W_{n8} > W_{n9} > W_{n10} >$ 。

对于各生态轨道的种群,随 n 的增加,地上生物量变化动态符合 Logistic 曲线,如图2所示。

$$W(n_s) = \frac{KW_0}{W_0 - (W_0 - K)e^{-r_0 n_s}}$$

$W(n_s)$: 处于 s 距离生成轨道 n 处的累积生物量;
 n : 生态轨道数目,与 s 密切相关;
 s : 距离,从基态到扩散态之间的距离;
 K : 种群在生态空间分布范围内最大生物量;
 r_0 : 随 n 增加,生物量变化增长率;
 W_0 : 处于基态生物量。

当基态 $W_0 > K, n > 5$ 时,地上生物量变化呈下降趋势,种群很难在空间内扩散分布, $n=5$ 时,地上生物量达到最大值;当 $K/2 \leq W_0 < K, 3 \leq n < 5$ 时,地上生物量变化呈凸形曲线,种群扩散很快,在生态空间内,种群扩散很快达到饱和状态;本研究中 $W_0 < K/2, 1 \leq n < 5$,地上生物量变化曲线呈“S”型,从分布于基态 n_1 到分布于扩散态 n_{10} 的生物量逐渐增加,达到生态空间内生物量的最大容纳量,即: $W_{n10} > W_{n9} > W_{n8} > W_{n7} > W_{n6} > W_{n5} > W_{n4} > W_{n3} > W_{n2} > W_{n1}$ 。由于跃迁几率的相对降低和其它物种的侵入,在 $n \geq 5$ 时,地上生物量的变化动态曲线围绕 K 值水平上下波动,达到饱和状态。

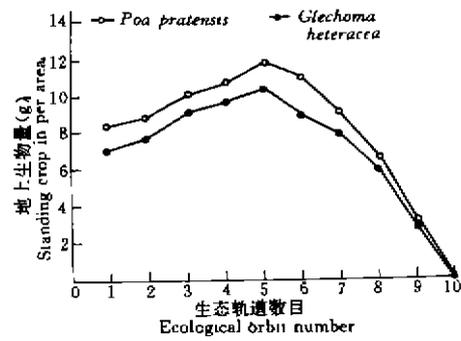


图1 单位面积内植株个体地上生物量随 n 值递增变化曲线
 Fig. 1 The relationship between the standing crop of bionts and different ecological orbits in per unit area

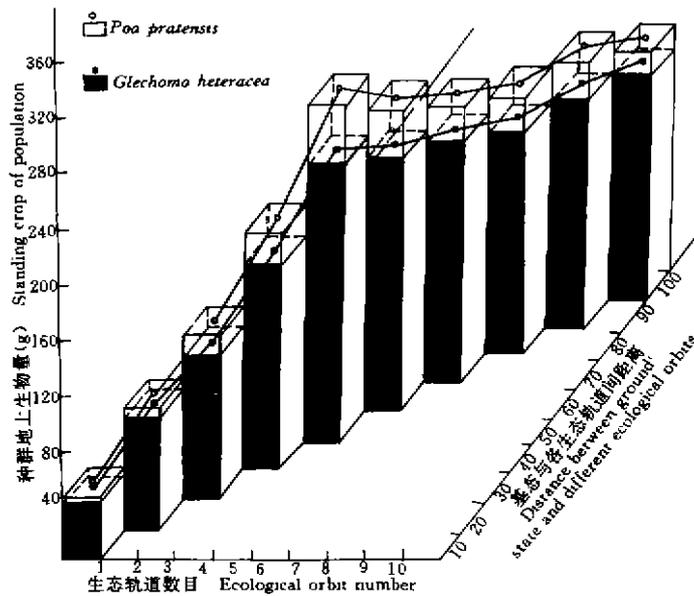


图2 种群地上生物量在不同生态轨道数目变化三维图

Fig. 2 The variations on three dimensional figure of the standing crop of population in different ecological orbits

推导原因包括:①植株地上部分和地下部分从环境体系摄取到的能量多少;②生态因子对种子散播距离远近的作用强度,如风能、流水作用、土壤质地和土壤结构等;③生态因素对地下营养器官作用的强弱;④子株(种子或繁殖器官)从亲株获得遗传力的大小;⑤其它生态因子的重要作用。同时,草地早熟禾从 $n=5$ 开始,连钱草从 $n=7$ 开始,有多个物种存在,在生态空间表现出多样态的分布格局,形成斑块等生态现象,说明不同生命体的生态轨道在生态空间内重叠,由于存在轨道区间场强而产生的场效应,株高随 n 的增加相对变高,跃迁几率也随之降低,说明种群密度是制约植物生长和分布的一个重要因素,如图3所示,黑点表示植株理想状态分布状况。

2.2 动物的相互作用

动物对资源的竞争分为两种类型:纯利用竞争和排他性资源保卫。鸟类对资源的利用一直是鸟类工作者研究的重要课题,以确定鸟类在何种条件下对资源的利用是利己的。大苇莺在繁殖期育雏活动期间,对食物资源竞争与利用的观测结果归纳如表1。育雏活动期间,两巢亲鸟对食物资源进行竞争过程中,存在的竞争系数(甲物种对乙物种进攻次数/累积观察时间 $\times 100\%$)满足: $\alpha\beta < 1$,处于平衡态; $\alpha\beta = 0$,不产生相互作用; $\alpha\beta \geq 1$,处于竞争态。同时,也反映出双亲在栖息领域竞争能力的大小。

两对大苇莺巢间距26.0m,第1对大苇莺(I A. a.)与第2对大苇莺(II A. a.)的 $\alpha\beta = 0.111$,小于1,处于平衡态。在繁殖季节的育雏活动期间,对食物资源进行竞争过程中,竞争次数少,两对亲鸟均能顺利完成育雏活动,幼鸟如期出飞,育雏活动初期,在 I A. a. 栖息领域 $n=1$ 处, II A. a. 对 I A. a. 存在5次激烈的攻击,进攻频率高;在 II A. a. 栖息领域各生态轨道处, I A. a. 对 II A. a. 的进攻频率低,无激烈的攻击和争斗。

两对大苇莺巢间距9.5m,第3对大苇莺(III A. a.)与第4对大苇莺(IV A. a.)的 $\alpha\beta = 2.917$,大于1,处于竞争态。近巢区、远巢区各生态轨道存在对食物资源的强烈竞争,亲鸟不能顺利完成育雏活动,幼鸟不能如期出飞,相比之下, IV A. a. 对 III A. a. 存在明显的干扰。

大苇莺在繁殖季节对食物资源及栖息领域的竞争符合 Lotka-Volterra 竞争模型:

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i \left(\frac{K_i - N_i - \alpha N_{ii}}{K_i} \right)$$

$$\frac{dN_{ii}}{dt} = r_{ii} N_{ii} \left(\frac{K_{ii} - N_{ii} - \alpha N_i}{K_{ii}} \right)$$

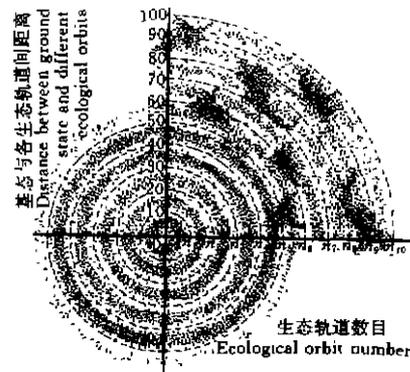


图3 植物空间分布模拟平面图 $n=10$ (虚线示轨迹)
Fig. 3 Simulate plane figure on space distribution of plants $n=10$

表1 大苇莺在不同生态轨道的竞争次数比较 ($n=8$)

Table 1 The comparison of competitive frequencies on *Acrocephalus arundinaceus* in different ecological orbits $n=8$

| 生态轨道编号 Number ecological orbits | 鸟类编号和竞争次数 Number the birds and competitive frequencies | |
|------------------------------------|---|--------------------------|
| | I A. a. — II A. a. | III A. a. — IV A. a. |
| I n1 | 5 | |
| I n3 | 1 | |
| I n7 | 2 | |
| II n1 | | 1 |
| II n2 | | 1 |
| II n4 | | 2 |
| II n6 | | 1 |
| II n8 | | 3 |
| III n1 | | 7 |
| III n2 | | 11 |
| III n4 | | 8 |
| III n6 | | 12 |
| III n7 | | 2 |
| IV n2 | | 3 |
| IV n4 | | 1 |
| IV n5 | | 17 |
| IV n8 | | 21 |
| 结果 Results | 平衡态 Balance state | 竞争态 Competition state |

$N_1, N_2=2$, 表示同一巢雌雄亲代, r : 双亲飞行取食次数增长率, K : 栖息地食物资源负载量, t : 飞行取食时间间距, α_1, N_1 对 N_2 的竞争系数, β_1, N_2 对 N_1 的竞争系数。

当 $K_{11} < K_1/\alpha_1, K_1 < K_2/\beta_1$ 时, 两巢亲鸟处于平衡态, 生态空间内存在动态平衡点 P_1 ; 当 $K_{11} > K_1/\alpha_1, K_1 > K_2/\beta_1$ 时, 两巢亲鸟处于竞争态, 生态空间内存在竞争点 P_2 。

根据观察结果发现: ①平衡态竞争次数少, 进攻频率低, 作用强度小。I A. a. 利用资源能力优于 I A. a., 对 I A. a. 近巢区 ($n1 \rightarrow n4$) 处攻击侵略次数多, I A. a. 是 I A. a. 的 1.5 倍; 远巢区 ($n4 \rightarrow n8$), I A. a. 是 I A. a. 的 2 倍。说明 I A. a. 具有的能量大于 I A. a., 消耗能量与从资源获得能量成正比例, 一段时间后达到稳定的平衡状态。②竞争态竞争次数多, 进攻频率高, 作用强度大。IV A. a. 利用资源能力优于 III A. a., 对 III A. a. 近巢区 ($n1 \rightarrow n4$) 攻击侵略次数多, IV A. a. 是 III A. a. 的 6.5 倍; 远巢区 ($n4 \rightarrow n8$), III A. a. 是 III A. a. 的 2.7 倍, 说明 IV A. a. 具有的能量远大于 III A. a., 消耗能量与获得能量不成比例, 育雏活动期间, 始终处于相互干扰状态。模拟如图 4 所示。

估算耗能经验公式为^[14,15]:

$$E = 102.0W^{0.64}$$

E : 鸟类飞行耗能 (kJ/h), W : 鸟类体重 (g)。由此可见, I A. a. 和 IV A. a. 本身能含量和从资源获得能量高于 I A. a. 和 III A. a.

3 讨论

目前, 在种群生态、群落生态和生态系统等研究领域建立了许多切合实际的理论模型和研究方法, 但在实践中表现出一定的局限性, 不能普遍应用于各种生态条件下的研究工作^[7,10]。生态轨道理论在生态研究和指导实践中是否具有生命力决定于其应用前景, 理论建立的根本目的是为解决生物生态机制问题提供一种新的思维和研究方法。

3.1 生命体在其生态空间内分布格局及散布的研究

在对草地早熟禾和连钱草的分布格局观测中发现, 物种在其生态空间内的扩散能力具有一上限, 并不是无限制的, 决定这种扩散力的主导因素是系统本身的能量, 其次是环境生态因子的作用。借助于量子理论, 确定相应的参数以及结合局部环境因子的分析, 探讨系统内种群个体分布格局的强度和规模, 会给出生态学上有意义的信息。预测空间变化过程的趋势及规律, 在环境评价上会给人工合理调控利用提供理论依据。

3.2 生命体在其生存环境系统中与其它生命体相互作用机制的研究

生命体之间相互作用形式多样, 极其复杂, 归结起来包括正相互作用、负相互作用和中性作用^[12]。生命体在其生存时空范围内存在自己特定的生态轨道, 如有多个物种栖息在同一空间, 生态轨道叠加而产生场效应, 相互作用强度的大小决定于各生命体所处生态轨道的能量值大小。伴随物理学、数学、信息理论和计算机等学科在生态学研究领域的渗入, 对探求相互作用的生态机制和规律具有重要的指导意义^[2]。运用生态轨道理论研究相互作用机制还存在许多有待于进一步探讨的问题, 如生态轨道在生态空间叠加产生怎样的空间结构, 作用的强度和规模怎样用量子理论和统计物理学方法进行处理、数学分析和计算机模拟等一系列问题。

3.3 生命体对资源竞争利用模式的研究

现代竞争理论、生态位理论和生态场理论均对资源有限性这一问题作出了解释。如物种在何种条件下

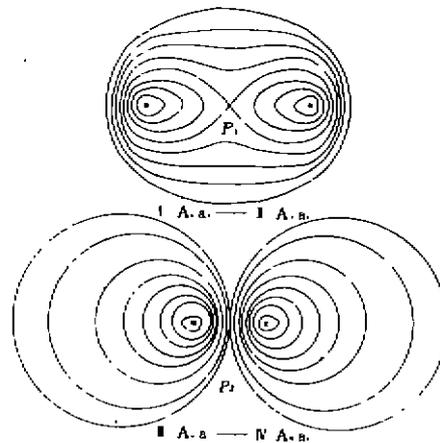


图4 不同巢间距离大苇莺竞争状态模拟图
(黑点示巢, 黑线示运动轨迹, $n=8$)

Fig. 4 Simulate plane figures on competition of the difference distances between nests in *Acrocephalus arundinaccus*, $n=8$

对资源的利用是有利的,种群个体在群落内的分化方式,以及群落进化过程中的生态对策。运用生态轨道理论确定繁殖期相邻两巢亲鸟在栖息领域内生态轨道的空间位置,从资源摄取能量和本身能含量平衡关系的角度出发,对大苇莺育雏活动期间进行飞行取食竞争的研究中,通过观察分析得到的结论与实际情况相一致。本文对平衡态和竞争态的理论分析还存在不足,如平衡态是稳定的还是不稳定的,将在下一步的工作中加以讨论。

3.4 行为生态学和景观生态学的研究

生命体在其生存时空范围内的行为方式、行为机制、生态学意义和进化意义受制于本身的生物学特性和栖息环境两个因素。其中主导作用因素是生命体本身在其栖息环境内各生态轨道处具有的能量。这一能量值的大小决定于其对其它物种的竞争能力、对环境的适应能力和对资源的最佳利用能力。大苇莺育幼行为反映出双亲对食物资源竞争能力的差异说明了这一点。另外,双亲(大苇莺)对雏鸟投入能量差异的研究也是一个饶有趣味的问题。

在生态学研究领域内,景观生态学可被认为是一门多学科构建、前景广阔和最具有生命力的新学科。运用生态轨道理论对完成景观生态分析、景观生态评价、景观生态规划设计具有重要的指导意义。如在景观生态规划设计方面,建立生态效益、经济效益和社会效益结合的人工复合生态系统,一个最重要指标是:能流的过程和特点,以便人工合理调控来提高复合生态系统的生产力。

3.5 生态系统、物质流、能量流和信息流的研究

物质、能量和信息是构成生态系统的3个基本要素,三者之间相互作用,相互制约构成一个具有高度组织性的复杂整体。能量维持着生态系统内部各要素之间的关系,形成一个相对独立体系,反映系统可测性、可比性,可调控性的特点。能量通过在各生态轨道能级间的流动完成信息的传递,是生态系统稳定性评估的一个重要量度^[16,17]。相对来说,植株个体(草地早熟禾和连钱草)由基态跃迁到扩散态的能力随 n 的增加而逐渐降低,而生态轨道能级序列却与其相反,这一结果与Lindeman^[23],Odum^[12]对生态系统能量转换率的研究结论相贴切。

3.6 边缘效应、界面理论、生态环境脆弱带和他感作用课题的研究

概括起来说,边缘效应、界面理论和生态环境脆弱带均指一定时空区域范围内,两个或两个以上的物质体系、能量体系和结构功能体系间形成的生态空间内产生的生态效应。从而影响物质交换、能量流动和信息传递。目前,对这些前沿课题的研究中仍存在不足。生态轨道在生态空间内的叠加性可直观、定量地模拟和预测空间分布格局、物流、能流和信息流的变化规律,从而确定一个切实可行的衡量指标体系。在对草地早熟禾和连钱草的观测中发现:由于生态轨道区间产生的场效应,草地早熟禾从 $n=5$ 开始种群密度降低,物种丰富;连钱草从 $n=7$ 开始,物种丰富,种群密度变化不大。这一问题有待进一步对其他物种的观测和研究,以便归纳出普遍性的规律。

广义上讲,他感作用包括相生作用和相克作用。通过生命体产生有活性的化学物质在生态系统内流动和传递,影响其它生命体的生长、发育、生态行为和进化对策。生态轨道理论期待以能量作为一个指标来表征和预测他感作用的作用范围、规律和潜力,以便将生态系统内生产者、消费者和分解者作为一个整体来研究他感作用的生态效应。

3.7 生态数学模拟和动态的研究

在生态系统随时间变化的过程中,各生命层次的能量转化动态是错综复杂的^[15,16]。因此,以量子物理学轨道理论为基础,统计物理方法学为工具,将微观体系的参数转化为宏观研究中实验观测的参数,建立生态轨道能量模型,阐述系统的动态变化规律、预测系统的发展趋势、阐述系统的作用机制具有重要的意义。

本文只对生态轨道和轨迹函数方程做了数学性描述和阐述,笔者正在推导能应用于实践的生态轨道函数方程的表达。对尚未解决的问题将进一步继续深入研究,尤其是 n 在生态空间内的确定;参数的选择;数学模型的构建;计算机进行模拟预测等方面的探讨。

参 考 文 献

- 1 Gates D M. *Biophysical ecology*. Springer-Verlay, New York, 1980,15~16
- 2 Lindeman R L. The trophic dynamic aspect of ecology, 1942, **23**(4):399~418
- 3 Odum H T. *Systems ecology: An introduction*. John, Wiley and sons, New York 1983,355~475
- 4 Schrödinger E. What is life? *The physical aspects of the living cell*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1944. 91
- 5 唐敖庆,江元生等. 分子轨道图形理论. 北京:科学出版社,1990
- 6 徐光宪,王祥云. 物质结构(第二版). 北京:高等教育出版社,1987
- 7 王德利. 植物生态场导论. 长春:吉林科学技术出版社,1994
- 8 刘次全. 量子生物学及其应用. 北京:高等教育出版社,1990
- 9 Farhing L. Nature of the ecology theories, *Ecol. Modelling*, 1988, **43**:129~132
- 10 Hsin-TW, Shape P H, et al. Ecological Field Theory (EFT): Aspatial analysis of resource in terference among plants. *Ecol. Modelling*, 1985, **29**,215~243
- 11 马世骏. 生态学发展趋势估计. 生态学进展,1988, **5**:1~2
- 12 Odum E P. *Basic Ecology*. CBS College Publishing, U,S, 1983
- 13 Bigwood D W. et al. Spatical pattern analysis and under various vulgara. 1988, **76**,157~171
- 14 Philipson J. *Ecological energetics*. Se. Martins Press, New York, 1966
- 15 祖元刚. 能量生态学引论. 长春:吉林科学技术出版社,1990
- 16 D M. Gates(孟繁静译). 生物圈中的能流. 生物科学参考资料(第二集). 北京:科学出版社,1973
- 17 祝廷成,祖元刚,董厚德. 生态平衡的基本标志和建立新的生态平衡的探讨. 生态学杂志,1980, **2**:51~54