

竞争指数及其在小红珠绢蝶保护生物学研究中的应用

马祖飞, 李典谟*

(中国科学院动物研究所农业虫鼠害国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 利用多样性指数和种群动态相结合, 建立竞争指数对小红珠绢蝶东灵山种群的濒危机制进行分析。结果表明, 小红珠绢蝶的竞争指数在不同年份的下降过程中有不同的变化。以此为依据可以准确地判断出对该种群动态影响的环境因子。这一方法有很高的普适性, 可应用于昆虫种群的保护生物学研究。

关键词: 多样性指数; 种群动态; 竞争指数; 濒危机制; 昆虫

Competition Index and Application to Conservation Biology of *Parnassius nomion*

MA Zu-Fei, LI Dian-Mo* (The State Key Laboratory of Integrated Management of Insect and Rodent Pests in Agriculture, Institute of Zoology, CAS, Beijing 100080, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1695~1698.

Abstract: Study on dangerous species' biology and population ecology is still a very important subject in biodiversity conservation research. However, there are few studies on internal mechanism between the protected species and the components of community, especially the synchronization of dangerous species population dynamics and fluctuation of concomitant species diversity. Caughley presented the common distinguish method and protect procedure of descending population (1994). He reported that the study of a descending population should base on long time observation and general knowledge of the species. However, Caughley's method is difficult to apply when the descending population is a small population. First of all these populations descend so quickly and may extinct before people know them. Secondly, it is difficult to get individual number for small population and information of random disturbing to their mortality. We have studied a local population of *Parnassius nomion* and the other butterflies on the spot. Loss of habitat and increase of natural enemy are two factors to cause *Parnassius nomion* population decrease on Dongling Mountain peak from 1998 to 2001. But these two factors play different roles in different years. In this paper the competition index is presented as $D_j = P_j^2 / \lambda; P_j = N_j / N; \lambda = \sum (N_i(N_i - 1) / N(N - 1))$. D_j is the competition index of the j th species, N_j is the individual number of the j th species on the spot, and N is the total individual number on the spot. λ is relating with the biodiversity and $1 - \lambda$ is the Simpson index as a measure for biodiversity. The change of competition index can be used to determine what is the major effect to cause *Parnassius nomion* population fluctuations. From 1998 to 2000, competition index of *Parnassius nomion* population had a small change with the descending of the population density, so the loss of habitat was the main factor. In 2001, its competition index decreased rapidly with the population density, so the natural enemy is the main factor. The results of this paper

基 金 项 目: 国家自然科学基金重大资助项目(39893360); 中国科学院创新方向资助项目(KSCX2-1-02和KSCX2-SW-103)

* 通讯联系人 Author for correspondence, Email: Lidm@panda. ioz. ac. cn

收稿日期: 2002-07-17; 修订日期: 2002-08-20

作者简介: 马祖飞(1974-), 安徽庐江人, 博士, 助理研究员。主要从事系统生态学、数学生态学、保护生物学研究。Email: mazf@panda. ioz. ac. cn

show that the competition index is a useful tool to reveal which is the major effect to cause small and descending population to be dangerous.

Key words: diversity index; population dynamics; competition index; endanger mechanism; insect species
文章编号: 1000-0933(2002)10-1695-04 中图分类号: Q141, Q16 文献标识码: A

探索灭绝过程和阐明物种存活必要条件是保护生物学的中心课题^[1]。目前种群生存力分析模型只是以单个物种作为对象^[2,3], 还未考察种间作用对目标种的影响。与脊椎动物如哺乳动物和鸟类相比, 对昆虫应用传统的种群生存力研究方法存在很大困难。首先, 昆虫的生活史复杂, 个体较小, 种数繁多。分类学家发现, 从长度为 10m 到长度为 1cm 的动物, 长度每减少 10 倍, 物种数将增加 100 倍^[4]。生物学家对昆虫的了解还远远不够。对于昆虫的生物学的认识极其缺乏, 野外昆虫种类生命参数的获取非常困难。其次, 保护生物学家习惯于将目光集中在生物群落的旗舰种和关键种。这些物种往往对应着生物链顶端的物种或群落中的优势种。而在群落内部, 分布着大量共存的昆虫种类, 对于绝大多数的昆虫种类很难被发现独自对于生态系统的维持或演替起着不可或缺的关键作用。昆虫在生物群落中连接着复杂的食物网, 对生态系统的影响一般难以测定。很多昆虫种类在被充分了解之前即已灭绝。对大量种群生存受到威胁的昆虫的保护生物学研究需要快速、综合的方法, 判断出其种群下降或濒危的原因, 找到针对性的保护对策。将目标种的种群动态与多样性指数变动相结合, 可以为确定种群下降的原因提供依据。

1 竞争指数及其计算

对于濒危种群所在的群落多样性, 不仅要考虑目标种个体在群落个体总数中的比例, 还要结合多样性指数的变化考察目标种群的动态与多样性变化之间的联系, 根据目标种的变化与其他种的变化是否同步判断出目标种群下降的原因, 从而分析出目标种群的濒危机制。

设: 群落内有 i 个物种, 第 j 个是目标种, 竞争指数

$$D_j = P_j^2 / \lambda$$
$$P_j = N_j / N \quad \lambda = \sum (N_i(N_i - 1) / N(N - 1))$$

P_j 为目标种种群个体数占群落内个体总数的比例。 P_j 的变化反应了目标种在群落内所有个体中占有比重的变化。

λ 又称为 Simpson 指数或优势度指数, 是对多样性的反面即集中性 (concentration) 的测量^[5]。生态学家用 $1 - \lambda$ 作为多样性测度指标^[6~8]。

竞争指数 D 有以下特性: (1) $0 \leq D_j \leq 1$ 。当 j 物种绝灭时, $D_j = 0$ 。当 j 的个体数占绝对优势时, D_j 趋于 1, 当且仅当只有 j 物种存活时, $D_j = 1$ 。(2) D_j 的数值的变化还决定于其他物种个体数与目标种个体数是否同比率增减, 若是, 则 D_j 值保持不变。(3) 当目标种群个体在群落总个体中的比例不变时, 群落的多样性越高, D_j 值越高。

2 小红珠绢蝶的生物学初步研究

小红珠绢蝶 (*Parnassius nomion* Fischer) 属绢蝶属绢蝶科, 是我国红色名录收录的濒危保护动物, 其分布为朝鲜、日本、俄罗斯和中国。在我国的分布南线以秦岭、祁连山为界。北京市、黑龙江省、吉林省、新疆维吾尔自治区、青海省均有分布^[9,10]。北京地区延庆、门头沟曾有采集记录^[11,12], 但以前从未有过其种群及栖息地报道。东灵山区, 位于北京西部与河北省交界处, 经纬度为北纬 40°1", 东经 115°27", 属太行山脉小五台山区余脉, 气候类型为温带半湿润季风气候, 年均温度 2~8℃, 昼夜温差大, 年均降水量 700mm 以上, 植被随海拔分层明显, 植物种类多样, 蝴蝶多样性较高。海拔 2000m 以上昼夜温差更大, 夏季光照强烈, 植被类型为典型亚高山草甸。经过 1998~2001 年的考察, 确定了东灵山主峰南向坡地为一个典型小红珠绢蝶种群栖息地, 海拔为 2200~2300m, 坡面角 30°, 坡度较平缓, 下连坡谷, 约 2000~3000m², 植被为亚高山草甸, 下接天然灌丛和人工针叶林。其中栖息地主要蝴蝶种类有山地白眼蝶 (*Melanargia montana*)、纤小豹蛱蝶 (*Brenthis ino*)、万寿菊蛱蝶 (*Gen* sp.) 和小红珠绢蝶 (*Parnassius nomion*)。小红珠绢蝶的生活周期为 1a。在东灵山地区, 成虫的年度动态从 6 月中旬开始, 至 9 月下旬结束。从 7 月上旬到 8 月上旬为成虫盛发期, 因此

这一期间对成虫数量的调查可以作为当年度种群数量的依据。在成虫盛发期,小红珠绢蝶的日动态很有规律。每日 10:00 以后,成虫开始飞翔、取食,正午时,成虫上升到山顶追逐。15:00 以后成虫活动减少。成虫日活动高峰出现在正午前后。

3 实验设计与主要方法

作者以东灵山小红珠绢蝶所在栖息地的蝴蝶种类组成的群落为研究对象。从 1998~2001 年进行了定点、定时观察。通过目测法对种群进行估测。首先调查并确定了绢蝶的年活动高峰和日活动高峰,以活动高峰的 3 次计数(每年的 7 月 14 日、7 月 24 日和 8 月 3 日)平均值作为对本年度种群大小的相对估计,有效的观测都在晴天进行。以每日 12:00~13:00 所观察到的成虫次数作为当日成虫数量依据。为了消除天气、观察时段的干扰,对所有蝴蝶种类的观测同时进行。

在东灵山顶峰同一栖息地上的蝴蝶种类主要有山地白眼蝶(*Melanargia montana*)、纤小豹蛱蝶(*Brenthis ino*)、闪蓝灰蝶(*Gen sp.*)和小红珠绢蝶(*Parnassius nomion*)。作者同步考察了这 4 种蝴蝶 1998~2001 年间的动态,并以这 4 种蝴蝶的数量计算小红珠绢蝶竞争指数。

4 结果与分析

除了小红珠绢蝶以外,其他 3 种蝴蝶种群在考察期间也都有不同程度的下降(表 1),但与小红珠绢蝶种群动态(表 1)有明显区别。图 1 为 1998~2001 年间小红珠绢蝶的竞争指数、个体数和栖息地各种蝶类总个体数的变化情况。 D_j 为小红珠绢蝶竞争指数; N 为标准化后的蝶类总个体数, $N=N_k/N_{\max}$,即 k 年度蝶类总个体数除以 1998 年度蝶类总个体数; N_j 为标准化后的小红珠绢蝶个体数, $N_j=N_{jk}/N_{j\max}$,即 k 年度小红珠绢蝶个体数除以 1998 年度小红珠绢蝶个体数。竞争指数的变化与否说明了小红珠绢蝶种群下降原因的不同类型。当小红珠绢蝶种群下降时,若竞争指数变化很小,说明是由于选择性弱的因子造成所有蝴蝶种群同时下降(1999 年)。相反,当竞争指数迅速下降时,说明对小红珠绢蝶有强选择性的因子起主导作用(2001 年)。竞争指数的变动可靠地分辨出种群所受干扰的类型。从 1998~2000 年,小红珠绢蝶种群数量下降的同时其竞争指数变动很小,说明小红珠绢蝶与其他蝶类受到了同样的威胁,因此栖息地的破坏起主要作用,草甸生境的缩小造成各种蝴蝶的种群同时衰减。2001 年,小红珠绢蝶种群数量下降的同时竞争指数下降很大,说明尽管从马匹的数量上反映出栖息地仍然受到威胁,但天敌的增加起主要作用,而且天敌对小红珠绢蝶有强烈的选择作用。这可能是由以下因素造成的:①小红珠绢蝶个体较大,体色白色,在草甸背景下容易被鸟类识别;②绢蝶飞行缓慢,更易被捕食。

表 1 1998~2001 年度各种蝶类种群动态

项目 Item	年份 Year											
	1998			1999			2000			2001		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
小红珠绢蝶种群个体数 Population size of <i>Parnassius nomion</i>	21	24	22	13	16	14	14	15	11	3	6	5
平均 Mean	22.3			14.3			13.3			4.7		
闪蓝灰蝶种群个体数 Population size of <i>Gen sp.</i>	9	11	10	6	7	5	6	8	7	7	6	5
平均 Mean	10			6			7			6		
纤小豹蛱蝶种群个体数 Population size of <i>Brenthis ino</i>	22	14	16	15	11	12	16	13	10	14	11	12
平均 Mean	17.3			12.7			13			12.3		
山地白眼蝶种群个体数 Population size of <i>Melanargia montana</i>	17	14	13	11	10	8	9	7	6	7	8	5
平均 Mean	14.7			9.7			7.3			6.7		

1 为当年 7 月 14 日调查数据 For data in July 14; 2 为当年 7 月 24 日调查数据 For data in July 24; 3 为当年 8 月 3 日调查数据 For data in August 3

5 讨论 万方数据

对稀有种、衰败种的生物学和种群生态学研究是生物多样性保护的重要主题^[13,14]。而最为普通地对于

生物多样性的认识即来自于物种丰富度,包括在一个地区、一个栖息地或一个进化枝系中的物种丰富度^[15]。

全球已被科学描述过的物种有 175 万,其中昆虫约 95 万种;估计现存大约有 1300 万~1400 万个物种,其中昆虫约 800 万种^[16]。昆虫和包括线虫在内的微小生物物种,在物种多样性中占据了 95% 以上的部分,它们将会对食物网和土壤中动物群系和丰富度的变化造成极大的影响,如果没有它们,那将导致鸟类和其他尚存的陆地脊椎动物群系中的绝大部分面临灭绝^[17]。已有的对于昆虫的保护生物学研究与昆虫在物种多样性中占据的比例很不相称。而且,对于保护目标种的种群生态学与生物多样性变化之间内在联系的研究仍很缺乏。Caughley 提出鉴别下降种群的方法和保护程序^[3]。但是当下降种群同时又是小种群时,由于以下特点使得 Caughley 的方法难以应用:① 紧迫性。大量的小种群(例如雨林中的昆虫种群)在人们尚未认识之前可能已经灭绝了。② 困难性。由于种群数量小,其生态学和遗传学的资料极其缺乏,同时随机因素特别是人为干扰对种群的存活影响很大。利用共存种多样性指数和目标种种群动态计算出的竞争指数是研究复杂种间关系的重要指标,特别是对于种数巨大的昆虫类型。通过对小红珠绢蝶(*Parnassius nomion* Fischer)东灵山局部种群的研究证明,共存种多样性指数的变化与目标种种群动态的同步性分析可以快速、准确地鉴别出绢蝶的濒危机制。生物多样性变化对种群濒危原因的鉴别作用,为对大量小种群特别是昆虫种群进行保护生物学研究提供了理论工具和应用方法。

参考文献

[1] Shaffer M L. Population viability analysis. *Conservation Biology*, 1990, **4**(1): 39~40.

[2] Boyce M S. Population viability analysis. *Annual Review Ecology and Systematics*, 1992, **23**:481~506.

[3] Caughley G. Directions in conservation biology. *Journal of Animal Ecology*, 1994, **63**:215~244.

[4] May R M. How many species inhabit the earth? *Scientific American*, 1992, **267**(October):42~48.

[5] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, **163**:688.

[6] Greenberg S H. The measurement of linguistic diversity. *Language*, 1956, **32**:109~115.

[7] Magurran A E. Ecological diversity and its measurement. New Jersey: Princeton University Press, 1988.

[8] Ma K P(马克平). Measurement of biodiversity. In:Qian Y Q(钱迎倩)ed. *Principle and methods of biodiversity studies* (in Chinese). Beijing: Chineses Scientific & Technological Press, 1994.

[9] Li C L(李传隆), Zhu B Y(朱宝云). *Plates Collection of Chinese Butterflies* (in Chinese). Shanghai: Shanghai Yuandong Press, 1992.

[10] Zhou Y(周尧). *Chinese Butterflies* (in Chinese). Zhengzhou: Henan Scientific Press, 1995.

[11] Yang H(杨宏), Wang C H(王春浩), Yu P(禹平). *Primitive Colors Plates Collection of Beijing Butterflies* (in Chinese). Beijing: Scientific & Technological Literature Press, 1994.

[12] Zhang L(张立), Wang H L(王红利). The Category, Distribution and Change with Season of Butterflies in Xiaolongmen Forestry Centre Region in Beijing. *Acta Beijing Normal University* (in Chinese) (北京师范大学学报), 1998, **34**(2):244~247.

[13] Lubchenco J, et al. The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. *Ecology*, 1991, **72**:371~412.

[14] Reid W V and Miller K R. Keeping Options Alive: The Scientific Basis for Conserving Biodiversity. Washington, D. C. : World Resource Institute, 1989.

[15] Purvis A and Hector A. Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 2000, **405**:212~219.

[16] Heywood V H, et al, eds. Global Biodiversity Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

[17] Ehrlich P R. Population biology of checkerspot butterflies and the preservation of global biodiversity. *Oikos*, 1992, **63**:177~189.

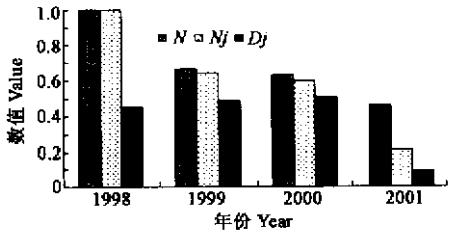


图 1 1998~2001 年间小红珠绢蝶竞争指数、个体数和蝶类总个体数变化

Fig. 1 The fluctuations of competition index and population size of *Parnassius nomion* and total individuals number of butterflies

D_j 为小红珠绢蝶竞争指数; N 为标准化后的蝶类总个体数; N_j 为标准化后的小红珠绢蝶个体数, D_j for competition index of *Parnassius nomion*; N for total individuals number of butterflies after standardization; N_j for population size of *Parnassius nomion* after standardization