鸟兽物种多样性测度的 *G-F* 指数方法*

蒋志刚 纪力强

(中国科学院动物研究所 , 北京 100080)

摘 要 评价物种多样性是目前生物多样性研究中的一项紧迫任务。我们提出一种基于信息测度的 *G-F* 指数公式 ,利用生物普查得到的鸟类和兽类名录计算一个地区的物种多样性。首先计算属间的多样性(*G* 指数)和科间的多样性(*F* 指数) ,然后 ,再利用 *G* 指数和 *F* 指数的比值进行标准化 ,得出 *G-F* 指数。在这一指数体系中 ,*F* 指数包括科中和科间的多样性。如果 *G-F* 指数趋近 1 ,则代表科间多样性的 *F* 指数下降 ,或者代表属多样性的 *G* 指数上升 ;否则 *G-F* 指数趋近零或为负数。信息测度通常也用于生物群落的生态多样性。然而 ,*G-F* 指数与生态多样性不同。*G-F* 指数测定的一个地区一个生物类群中科属间的物种多样性 ,而生态多样性指数研究生物群落中物种组成及种间个体的多寡。利用 *G-F* 指数研究评估生物多样性保护有如下优点 (1)*G-F* 指数提供了一种简捷有效的生物多样性保护评估方法 ,因为在许多地点已经进行过生物普查 ,编写了动物、植物名录 (2)*G-F* 指数是一种标准化指数 ,可以进行不同地区间生物多样性比较。在动物界 ,特别是无脊椎动物中 ,尚未鉴定的物种占多数 ,而鸟类和兽类中尚未鉴定的物种很少。我们应用鸟类和兽类名录计算了 *G-F* 指数 ,选择了梵净山、大瑶山、伏牛山、凉水、北京—天津、海北、白音锡勒、青海湖和帕米尔高原等 9 个地区 ,进行了物种多样性的比较研究。结果表明 :在上述地区 ,鸟类的 *G* 指数高于兽类的 *G* 指数 ,但差异并不显著($p = 0. 11$)。鸟类的 *F* 指数显著地高于兽类的 *F* 指数($p < 0. 05$)。鸟类 *G-F* 指数与兽类 *G-F* 指数相关($r = 0. 68$, $p < 0. 05$)。

关键词 生物多样性 ,物种 ,生态多样性指数 ,物种名录

Avian-mammalian species diversity in nine representative sites in China/JIANG Zhi-Gang , JI Li-Qiang

Abstract Species check-lists of birds or mammals , normally accomplished after a general biological survey , are valuable for calculating the diversity index. We recommend a method that uses avian and mammalian species check-lists to assess the species diversity in an area. The first step is to compute the diversity indexes at the genus level (*G*-index) and the family level (*F*-index) , then to calculate the ratio of *G*-index and *F*-index as the *G - F* index . The *G* - index reflects the diversity at the genus level . The *F* - index has two components , i. e. the diversity within and the diversity among families. *G-F* index ranges between 0 and 1.

(1) *F*-index , D_F :

For a particular family k :

$$D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \tag{1}$$

Where n = the number of genera in the family k , $p_i = s_{ki}/S_k$, s_{ki} = the number of species in genus i , S_k = the total number of species in family k .

For overall *F*-index :

$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk} \tag{2}$$

Where m = the total number of families in the class

(2) *G*-index , D_G :

$$D_G = - \sum_{j=1}^p D_{Gi} = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j \tag{3}$$

Where $q_j = s_j/S$, s_j = the number of species in genus j , S = the total number of species in the class , p = the total number of genus in the class.

收稿日期 :1998 - 10 - 27 ;修改稿收到日期 :1999 - 03 - 04
* 本研究得到中国科学院(“百人计划”)、国家杰出青年基金(基金号 3770104)、国家自然科学基金(基金号 39725005)和中国科学院资源环境局九五重大项目(编号 :KZ - 95A1 - 105)的资助

(3)G-F index :
$$D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F} \tag{4}$$

We calculated the G-F indexes for nine representative sites. They are the Dayaoshan Mountain Nature Reserve , the Funiushan Mountain Nature Reserve , the Fanjingshan Mountain Nature Reserve , the Qinghai Lake Nature Reserve , the Haibei Alpine Ecosystem Research Station , the Liangshui Nature Reserve , the Beijing-Tianjin region , the Baiyinxile Grassland Ecosystem Research Station , and the Parmir Plateau for a comparative species diversity study. Based on the biological census data , such as the species check-lists of birds and mammals , G-F index provides a rapid and efficient assessment of biodiversity , because the species check-lists are readily available. In the study areas , the F-index of birds was significantly higher than that of mammals , indicating higher species diversity in birds than that in mammals at the study sites. The avian and mammalian G-F indexes of the study sites were closely correlated.

Key words biological diversity , species , ecological diversity , species check-list

Author 's address Institute of Zoology , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100080

自从《生物多样性公约》签订以来 ,各国日益重视生物多样性保护与研究。生物学家面临如何快速评估全球生物多样性这样一道难题^[1]。早期生态学文献中 ,测度多样性即是一个研究重点^[2,3]。多样性研究的先驱者们将研究重点放在测度一个生物群落中物种间的个体丰富度 ,以及沿某一环境梯度物种数量的变化。如利用多样性指数计算一个群落中物种间个体的多度和均匀度^[4-6]。

生物的不同结构层次上都存在着多样性。当我们将注意力从生物个体移到物种时 ,会发现在分类阶元属、科之间 ,物种的分布是不均匀的 ,据此可以计算物种的多样性。物种多样性是生物多样性的基本层次 ,研究、测度物种多样性具有重要意义^[7]。一个物种由一群可以相互交换遗传物质的个体组成 ,物种也是生物分类系统的基本单元^[8] ,因此物种应当是生物多样性研究的着眼点。有关物种的分类、特定地区的生物普查 ,人们已经开展了大量工作 ,采集了大量的数据。现在 ,我们面临的问题是如何利用这些生物本底资料 ,快速评估不同地区的物种多样性 ,这既是中国生物学家面临的问题 ,也是世界生物学家面临的艰巨任务。本文提出一种基于物种名录计算物种多样性的方法。

1 G-F 指数测度

生物界许多生物类群中有大量的物种有待人们去描述、定名^[7]。于是 ,在评估生物多样性时 ,必须考虑未知物种对测度结果的影响。鸟类和兽类物种数较少 ,并且鸟类和兽类中未知物种少 ,为了避免未知物种对生物多样性测度的影响 ,我们建议利用鸟类和兽类名录来测度物种多样性。

我们利用鸟类、兽类的分布名录 ,基于信息测度的 Shannon-Wiener 指数^[4] ,计算属的物种多样性 D_G 、科的多样性 D_F 以及标准化的 G-F 指数 ,并定义 :如果一个地区仅有 1 个物种 ,或者仅有几个分布在不同科的物种 ,则定义该地区 G-F 指数为零。

(1) F 指数 , D_F :

在一个特定的科 k :
$$D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \tag{1}$$

其中 : $p_i = s_{ki}/S_k$, S_k = 名录中 k 科中的物种数 , s_{ki} = 名录中 k 科 i 属中的物种数 , $n = k$ 科中的属数。

一个地区的 F 指数 :
$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk} \tag{2}$$

其中 : m = 名录中鸟纲或兽纲的科数。

$$(2) G \text{ 指数}, D_G: D_G = - \sum_{j=1}^p D_{Gi} = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j \quad (3)$$

其中: $q_j = s_j / S$, S = 名录中鸟纲或兽纲中的物种数, s_j = 鸟纲或兽纲中 j 属中的物种数, p = 鸟纲或兽纲中的属数。

$$(3) G-F \text{ 指数}: D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F} \quad (4)$$

规定: 如果鸟纲或兽纲中所有的科都是单种科, 即 $D_F = 0$ 时, 则规定该地区的 $G-F$ 指数为零, $D_{G-F} = 0$ 。

$G-F$ 指数的特征:

(1) 非单种科越多, $G-F$ 指数越高。因为 $p_i = s_{ki} / S_k = 1$; $D_{Fk} = 0$; 单种科对 F 指数(D_F)的贡献为零, 非单种科越多 $\frac{D_G}{D_F}$ 越小, $G-F$ 指数越高。

(2) $G-F$ 指数是 $0 \sim 1$ 的测度。 D_G 是 D_F 次一级分类阶元的多样性, 参照 Pielou^[4], $D_G \leq D_F$, 所以, 一般地 $0 \leq \frac{D_G}{D_F} \leq 1$ 。

2 计算实例

2.1 研究地点

中国疆域辽阔、地形复杂, 不同地区的生物多样性具有各自的特点。我们选择了9个不同地区: 大瑶山自然保护区、梵净山自然保护区、伏牛山自然保护区、黑龙江凉水自然保护区、北京—天津地区、海北高寒草甸生态系统定位研究站、白音锡勒草原生态系统定位研究站、青海湖和帕米尔高原来计算 $G-F$ 指数。这些地区具有代表性, 既有大城市和郊县, 还有草原、湖泊、高原、森林和山区。各地生物区系都进行过普查, 有物种名录可查。

青海湖自然保护区位于青藏高原东部。青海湖是我国最大的咸水湖, 环湖地区有沙漠山区、草原和半岛等景观, 总面积 4952 km^2 , 其中陆地面积 535 km^2 , 平均海拔 3300 m 以上。青海湖鸟岛是著名的鸟类繁殖地, 该地还是珍稀动物普氏原羚的唯一栖息地^[9]。

伏牛山自然保护区是一个由6个保护区组成的保护区群, 位于河南省西部, 总面积 400 km^2 。在人口稠密的中原地区, 伏牛山仍覆盖着茂密的森林, 是野生动物的避难所^[10]。伏牛山的动物区系具有古北界和东洋界成分。

黑龙江省凉水自然保护区位于东北小兴安岭林区, 50年代起凉水林场即为东北林学院的教学实习基地, 有关研究人员对该地的生态环境和生物区系进行过详尽的调查。凉水自然保护区的动物区系属于古北界^[11]。

海北高寒草甸生态系统定位站始建于1976年, 内蒙古白音锡勒草原生态系统定位站始建于1979年。两个定位站都是中国生态系统研究网络成员。海北高寒草甸生态系统定位站地区的植被主要为高寒草甸、高寒灌丛和沼泽草甸, 内蒙古白音锡勒草原生态系统定位站地区的植被主要为典型草原。两地植物群落结构简单, 动物种类较少。

帕米尔高原位于欧亚大陆腹地, 平均海拔高度 5000 m 。气候类型为干燥寒冷大陆性气候。年降水量为 100 mm 左右, 植被以矮小灌丛、草本植物为主, 动物区系与毗邻的青藏高原相似, 该地只发现了5种哺乳动物^[12]。

梵净山自然保护区位于贵州省, 总面积 387 km^2 , 随着山体海拔高度的升高, 年气温从 17.0°C 降至 5°C 。在高海拔地区, 植被保存相对完整, 从山脚到山顶, 依次分布着常绿阔叶林、

针阔混交林、落叶阔叶林、针叶林、灌丛和高山草甸。梵净山的动物区系属于东洋界^[13]。

作者总结了上述地区的鸟、兽分布名录。鸟类的分类系统和拉丁名依《中国鸟类系统检索》^[14], 兽类拉丁名按《世界动物名称》^[15]审定。对上述地区的鸟、兽分布名录, 首先依照公式 1 与 2 计算 G 指数和 F 指数, 然后用公式 3 计算 G - F 指数。对鸟类和兽类 G 指数、 F 指数之间的差异进行了 t 检验, 对不同研究地区的 G 指数或 F 指数差异应用最小显著差异法(LSD)进行了检验, 我们还对研究地区的鸟类与兽类的 G - F 指数进行了 Pearson 相关分析^[16]。

2.2 结果

9 个研究地区的鸟类的 G 指数高于兽类的 G 指数, 但差异并不显著($p = 0.11$)。鸟类的 F 指数显著地高于兽类的 F 指数($p < 0.05$)。不同地点鸟类或兽类的 G 指数和 F 指数差异极显著($p < 0.01$)。帕米尔高原的兽类 G 指数最低, 因为该地仅 5 种兽类。梵净山的兽类 G 指数最高。与其 G 指数相似, 帕米尔高原的 F 指数最低, 然而 F 指数以伏牛山最高。与兽类 G 指数相比较, 不同地区间鸟类的 G 指数相差较小, 帕米尔高原的鸟类 G 指数最低, 为 3.28, 伏牛山的鸟类 G 指数最高, 为 4.68。鸟类的科间多样性都显著地高于兽类的科间多样性, 伏牛山的鸟类 F 指数最高, 为 28.04, 帕米尔高原的鸟类 F 指数最低(表 1)。

表 1 大瑶山自然保护区、梵净山自然保护区、伏牛山自然保护区、黑龙江凉水自然保护区、北京—天津地区、海北高寒草甸生态系统定位研究站、白音锡勒草原生态系统定位研究站、青海湖和帕米尔高原的 G 指数和 F 指数。

Table 1 G -indexes and F -indexes of avian and mammalian faunas of the Dayaoshan Mountain Natural Reserve (DY), the Funiushan Mountain Natural Reserve(FN), Fanjingshan Mountain Natural Reserve(FJ), the Qinghai Lake Natural Reserve(QH), Haibei Alpine Ecosystem Research Station(HB), the Liangshui Natural Reserve(LS), Beijing-Tianjin Region(BT), Baiyinxile Grassland Ecosystem Research Station(BY), and Parmir Plateau (PM).

	鸟 类 Avian		兽 类 Mammal	
	G 指数 G -index	F 指数 F -index	G 指数 G -index	F 指数 F -index
大瑶山 DY	4.46	18.44	3.35	6.13
梵净山 FJ	4.32	20.96	6.19	12.66
伏牛山 FN	4.68	28.04	3.76	13.82
青海湖 QH	4.35	21.74	3.21	7.08
海 北 HB	3.87	11.43	2.84	3.35
京津地区 BJ	4.57	24.22	4.51	9.49
白音锡勒 BY	3.92	13.40	3.14	4.78
帕米尔 PM	3.83	10.28	1.61	0.69
凉水 LS	4.55	25.36	3.48	8.86

图 1 以鸟类的 G - F 指数(A)为横坐标, 兽类 G - F 指数(M)为纵坐标, 大瑶山自然保护区(DY), 梵净山自然保护区(FJ), 伏牛山自然保护区(FN), 黑龙江凉水自然保护区(LS), 北京—天津地区(BT), 海北高寒草甸生态系统定位研究站(HB), 白音锡勒草原生态系统定位研究站(BY), 青海湖(QH)和帕米尔高原(PM)的 G - F 指数的图示。图中的拟合直线方程为 : $A = 0.608 + 0.307M$

Fig. 1 Avian index (A) and mammalian G - F index (M) of the Dayaoshan Mountain Natural Reserve(DY), the Funiushan Mountain Natural Reserve (FN), Fanjingshan Mountain Natural Reserve (FJ), the Qinghai Lake Natural Reserve (QH), Haibei Alpine Ecosystem Research Station (HB), the Liangshui Natural Reserve (LS), Beijing-Tianjing Region (BT), Baiyinxile Grassland Ecosystem Research Station (BY), and Parmir Plateau (PM). Data was fitted with the linear equation : $A = 0.608 + 0.307M$

$G-F$ 指数综合了 G 指数与 F 指数。海北高寒草甸生态系统定位站的鸟兽 $G-F$ 指数最低。所有研究地区的鸟类 $G-F$ 指数均高于 0.5, 伏牛山的鸟类 $G-F$ 指数最高, 为 0.83。以鸟类 $G-F$ 指数为横轴, 以兽类 $G-F$ 指数为纵轴作图, 可以看到兽类 $G-F$ 指数的变异范围较鸟类 $G-F$ 指数大(图 1)。研究地区的鸟类与兽类的 $G-F$ 指数显著相关($r=0.68$, $p<0.05$)。

3 讨论

Williams^[17]指出:生物多样性可视作所有生物不可降低的复杂性,不存在一个单一的客观的指数测度生物多样性,只存在与特定目的相关的测定方法。本文提出的 $G-F$ 指数是为了测度物种多样性,与常规的群落生态多样性不同, $G-F$ 指数研究属、科水平上种的多样性,是基于物种数目的研究方法。而生态多样性研究群落中物种的个体数目,或者沿某一环境梯度,物种组成的变化,研究生态时空尺度中的物种间个体组成信息。Pielou^[18]曾建议利用信息测度种属的多样性,该方法仍是一种基于个体数目的生态多样性方法。生态多样性受出生率、死亡率、可利用资源以及种间、种内竞争的影响,于是,生态多样性应用于较短的时间尺度中生物群落研究。在一个生态系统中生物个体的生死是常见现象,而一个物种从一个地区消失则需要长得多的时间,于是, $G-F$ 指数反映了较长时间内一个地区的物种多样性。 G 指数、 F 指数和 $G-F$ 指数总结了动物区系中的物种组成信息。

由于 $G-F$ 指数测度物种多样性,符合生物多样性测度的目标。物种是进化中的一个间断性单元,是生物多样性的结构层次之一。在一个生态系统中,一个物种占有一个生态位。这种生态位是物种与生物的、非生物的生态环境之间关系的综合。同一属的物种,或多或少,具有相同的适应特征,尽管 Mayer 指出一个属有属的生态位,但是许多研究表明,同一属的物种生态位有差异。在一个科中的物种的外形相似,具有相同的进化适应。进一步而言,相同科、属的物种可能具有共同的起源^[19]。

$G-F$ 指数是测度物种多样性的一种尝试,但是一种快速、有效的方法。生物多样性研究涉及到大量数据收集与管理,这种管理包括生物多样性指数的计算与不同地区之间生物多样性指数的比较。于是,现代生物学家肩负评估生物多样性的重担^[7]。为了评价和保护生物多样性,我们需要一种简便快捷的生物多样性评价指数方法。

目前,我们仅仅描述和分类了地球上 15% 的物种^[20]。在一些生物门类,如无脊椎动物中,我们手头的资料是如此缺乏,妨碍了对这些生物门类的多样性评估。值得庆幸的是,有关鸟类与兽类的研究较彻底,我们能够利用鸟兽分布资料来评估物种多样性。

物种名录是一类有、无数据集,是科学考察的总结。物种名录是经常更新的,反映了当地生物多样性的最新信息。在生物多样性研究中,我们已经获得了多数地区的鸟类和兽类分布名录,因为鸟类、兽类相对要容易发现和鉴别。从已经建立的物种编目和生物多样性数据库中,我们也能提取出有关物种分布信息来计算 $G-F$ 指数。但是,正如 Droege 等^[21]指出的那样,我们并没有很好地利用物种名录来监测生物多样性。

Zall^[22]用 Jackknife 方法计算群落生态多样性指数的方差,他研究的是生态多样性的重复取样过程。为了得到方差的 Jackknife 估计值,每次可以从样本中剔除一个样本单元。当利用物种名录计算 $G-F$ 指数时,由于物种名录是在一个地区对物种进行总体计数而不是抽样的结果,因而,不再需要计算 $G-F$ 指数的方差。如果一种物种从一个地区消失,那么该物种将从物种名录中删去。当该地区新发现一个物种时,该地区的物种名录将增补一个新物种。

伏牛山位于古北界与东洋界的过渡地带,具有古北界和东洋界两大动物区系成分。于是

其鸟类与兽类 *G-F* 指数都很高。鸟类的 *G-F* 指数高于兽类 , 这种多样性是由于科间的多样性程度高 , 一个原因可能是由于中国的鸟类种数比兽类多 , 中国有 1024 种鸟类 , 只有 499 种兽类。另一个原因可能是鸟类的适应能力较兽类强 , 即使在帕米尔高原那样严酷的生境 , 鸟类种数也远远多于兽类。

理论上 , 可能存在 *F* 指数等于零的情形 , 那意味在一个地区一个纲中只分布着有一个物种 , 或者一个纲中只有几个分别属于不同科的种。这种情形下 , 我们定义 *F* 指数为零。实际中若这种情形即使存在 , 也是罕见的。如在帕米尔高原 , 仍生活着 5 种兽类。在未来的研究中 , 怎样估测未知物种对 *G-F* 指数的影响 , 是 *G-F* 指数的未来研究方向。除去应用于鸟兽的物种多样性研究之外 , *G-F* 指数亦可应用植物的物种多样性测度。

致谢 作者感谢袁德成、陶毅、钟文勤、徐延恭、宋延龄在本文写作过程中的有关讨论 , 张洁、孟智彬、王德华、邹学英、李迪强等人的帮助 , 刘岩录入文稿。

参 考 文 献

1 Wilson E O. The diversity of life. New York : W W Norton , 1992

2 Hough A F. A climax forest community on Sat Tionesta Creek in north-western Pennsylvania. *Ecology* , 1936 , 17 : 8 ~ 28

3 Fisher R A , Cobert A S , Wiliams B. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *J. Anim. Ecol.* , 1943 , 12 : 42 ~ 58

4 Pielou E C. An introduction to mathematical ecology. New York : Wiley-Interscience , 1969

5 马克平. 生物群落多样性的测度方法. 见 : 钱迎倩 , 马克平主编 , 生物多样性研究的原理与方法 , 北京 : 中国科学技术出版社 , 1994 , 141 ~ 165

6 马克平. 生态系统多样性. 见 : 蒋志刚 , 马克平 , 韩兴国主编 , 保护生物学 , 杭州 : 浙江科技出版社 , 1997 , 34 ~ 50

7 Wilson E O. Biodiversity. Washington D C : National Academy Press , 1988

8 Mayr E. The biological meaning of species. *Biol. J. Linn. Soc.* , 1969 , 1 : 311 ~ 320

9 蒋志刚 , 冯祚建 , 王祖望等. 普氏原羚的历史分布与现状. 兽类学报 , 1995 , 15 : 241 ~ 245

10 宋朝枢. 伏牛山自然保护区科学考察集 , 北京 : 中国林业出版社 , 1994

11 马建章 , 刘传照 , 张鹏. 凉水自然保护区研究(第一集). 哈尔滨 : 东北林业大学出版社 , 1993

12 钱燕文 , 张洁 , 郑宝贵等. 新疆南部的鸟兽. 北京 : 科学出版社 , 1965

13 辜永河 , 罗蓉. 梵净山自然保护区的兽类. 见 : 周政贤主编 , 梵净山研究 , 贵阳 : 贵州人民出版社 , 1990 , 428 ~ 436

14 郑作新. 中国鸟类系统检索. 北京 : 科学出版社 , 1966

15 汪松 , 王家骏 , 罗一行. 世界兽类名称. 北京 : 科学出版社 , 1994

16 Sokal R R , Rohlf F J. Biometry (Second Edition). New York : Freeman W H Company , 1981

17 Williams P. Measuring biodiversity value. *World Conservation* , 1996 , 96(1) : 12 ~ 14

18 Pielou E C. The measurement of diversity in different type of biological collections. *J. Theot. Biol.* , 1966 , 13 : 131 ~ 144

19 Mayr E , Linsley E G , Usinger R L. Methods and principles of systematic zoology. New York : McGraw-Hill , 1969

20 Jenkins R E. Information management for the conservation of biodiversity. In : Wilson E O (ed.) , *Biodiversity*. Washington D C : National Academy Press , 1988 , 231 ~ 239

21 Droege S , Cyr A , Larivee J. Checklist : An under-used tool for the inventory and monitoring of plants and animals. *Conservation Biology* , 1998 , 12 : 1134 ~ 1138

22 Zahl , S. Jackknifing an index of diversity. *Ecology* , 1977 58 : 907 ~ 913