

# 再论DG指数的性质与应用

廖崇惠\* 李健雄

(广东省昆虫研究所, 广州 510260)

**摘要:** 密度一类群指数(DG指数)是为研究复杂的土壤动物群落多样性而创建的, 其理论基础是土壤动物群落中各类群互不干扰和互利的关系大于互相竞争的关系, 因而公式中各类群是互相独立、互不影响的。DG指数自1990年建立以来, 经作者及同行学者在不同地带、不同生态系统和不同级别的土壤动物群落研究中运用, 都获得良好的效果, 能真实地反映群落的多样性状况, 显示出它具有广泛的适用性。用情景分析法(scenario analysis)探讨DG指数与Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )的预期效果, 结果显示, 当群落间种数差和均匀度( $J$ )差为正负相反的数值时, Shannon-Wiener指数与DG指数不一致。文中还对土壤动物群落多样性的概念、性质及指数适用性进行了讨论, 认为土壤动物群落在客观上不存在均匀的数量分布, 把“均匀度”看作是多样性的重要指标是不适宜的。DG指数虽然没有直接包含许多信息, 但能在广泛的情况下经得起检验, 因而具有重要的应用价值。

**关键词:** 土壤动物群落, DG指数, 多样性概念, 客观检验

## Re-evaluating the character and application of density-group index (DG)

Chonghui Liao\*, Jianxiong Li

Guangdong Institute of Entomology, Guangzhou 510260

**Abstract:** The DG index is established to evaluate the diversity of soil animal community. The theoretical basis of the DG index is that the non-interference and mutual benefit relationships are stronger than competition among soil animal groups, thus each group considered in the formula is independent. The DG index indicates the abundance and the importance of species implicitly. Since 1990, DG index has been successfully applied in the studies in different geographic locations and ecosystems with different soil animal communities. Compared with Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ), the community diversity evaluated by the DG index is much more consistent with the actual habitat conditions in most cases. The scenario analysis demonstrates that Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) may conflict with DG index if the differences in species and evenness are in contrary values (+ vs -) in two communities. We re-evaluated the features of soil animal community diversity and the applications of different indices, and found that it is not suitable to use the evenness as an important index because the homogeneity of quantitative distribution of soil animal community is rare in reality. Although the DG index is simple, it has been tested widely in various situations and holds a good potential as an index of soil animal diversity.

**Key words:** soil animal community, DG index, diversity notion, test

我国土壤动物群落研究开始于20世纪80年代, 是对长白山森林生态系统的土壤动物区系的调查(张荣祖等, 1980), 早期的土壤动物群落间差异的比较仅限于文字的描述, 包括种类数、优势度、优势种(数量上的)及各物种的百分组成等单因子的比较, 没有给出群落间整体差异的数值指标, 因而很难明

确地比较群落间的差异水平及其与环境的关系。从生态系统的角度研究土壤动物, 必须要从群落分析入手。多样性是群落分析的重要手段, 常用的多样性指标是Shannon-Wiener指数( $H'$ )和Pielou均匀度指数( $J$ ), 但在分类范围极大的土壤动物群落研究中应用这些指数, 大多数情况下都无法对实际情况进行

解释。1985–1988年间,我们在研究不同林龄人工林下土壤动物群落结构的差异时,创建了一个新的多样性指数——密度—类群指数( $DG$ ),用它能够很好地分析土壤动物群落的次生演替与发展过程(廖崇惠和陈茂乾, 1990)。之后,  $DG$ 指数还在多次研究中得到改进(廖崇惠和李健雄, 1996, 2000a,b; 廖崇惠等, 1997, 2003; 张卫信等, 2005; 李健雄等, 2006), 在国内也得到其他学者的肯定和应用。为进一步提高对 $DG$ 指数的认识及其应用推广, 本文拟进一步从理论上阐明 $DG$ 指数的性质, 从广泛的应用效果中论证其适用性, 并对土壤动物群落研究中的多样性概念及其指数表达进行讨论。

## 1 $DG$ 指数的生态学含义

$DG$ 指数经历了长期的考验, 逐渐地被有关的研究者接受并应用, 但是对指数的基本性质一直没有从理论上去深入探讨过。 $DG$ 指数是建立在如下的生态学基础上的: 在复杂的土壤动物群落中, 类群间的相互关系除了互相竞争的一面之外, 更多的是互不干扰和互利共存的一面, 群落中各类群都具有同等独立性(廖崇惠等, 1997), 每个类群对群落多样性的贡献, 不影响其他类群, 也不受其他类群的影响, 其贡献值的大小是由各群落中同类数量的最大值所决定的。 $DG$ 指数的公式如下(廖崇惠等, 1997):

$$DG = (g / G) \sum (D_i C_i / D_{i \max} C) \quad (1)$$

$$\text{或 } DG = (g / G) \sum (D_i E_i / D_{i \max} E) \quad (2)$$

式中 $C$ 为所研究的群落数;  $C_i$ 为第 $i$ 个类群在 $C$ 个群落中出现的次数;  $D_i$ 为第 $i$ 个类群的密度;  $D_{i \max}$ 为第 $i$ 类群在 $C$ 个群落中出现的密度最大值;  $g$ 为群落中的类群数;  $G$ 为各群落所包含的总类群数; 或用 $E$ 代替 $C$ ,  $E$ 为群落数乘以调查次数,  $E_i$ 是 $i$ 个类群在 $E$ 次调查中出现的次数(张卫信等, 2005)。

$DG$ 指数是在所研究的各群落间进行比较中得出的, 因而具有如下性质:

(1)  $DG$ 指数是对每个参与比较的群落的多样性进行数值的描述。

(2) 每个群落的 $DG$ 指数是由互不影响的各个类群的贡献值( $D_i C_i / D_{i \max} C$ )之和, 以及类群数之比值( $g/G$ )两个部分组成的。类群贡献值由各类群的相对个体密度, 即相对于各群落中同类的最大密度来决定的, 因而其最大贡献值为1, 而不管这个类群

的数量在群落中占多大的比例。在同一群落中, 每个类群的个体数都可能大于其他群落的同类, 并因而获得最大的贡献值。

(3)  $D_i / D_{i \max}$ 显示 $i$ 类群在群落中的生存状况, 故可称为生态值; 而 $C_i / C$ 则显示 $i$ 类群在群落中出现的几率, 故可称为重要值。这样,  $DG$ 指数所显示的多样性, 不仅考虑到群落中每个类群的生态因素, 也照顾到每个类群的重要性。

(4) 当一个群落中的类群数与各群落的总类群数相同, 而且每个类群的贡献值都为1时, 这个群落的 $DG$ 指数就获得最大的理论值, 该值即等于总类群数( $G$ )。实际上, 这种情况有可能发生。

(5) 在所涉及各个群落之间有一个共同的最大值, 因此各群落的 $DG$ 指数可以互相比较。

(6) 虽然密度和生物量都可以用来衡量物种数量, 但由于土壤动物个体差异太大, 一条线虫与一条蚯蚓其生物量是不能等同的, 它们对生态的影响力也不能等同, 因此直接用密度或个体数量(包括其百分比)来进行不同类群之间的比较有严重缺陷。而 $DG$ 指数只在同类群之间比较, 在很大程度上弥补了个体大小差异所带来的失误。用生物量来计算是最可靠的, 此时指数应改称生物量—类群指数( $D_b G$ )。但由于土壤动物生物量调查比较复杂, 不常进行, 只有偶然应用(廖崇惠等, 1997)。用生物量计算的结果, 数值当然不一样, 但所显示的结果是一样的。

## 2 $DG$ 指数的应用概况

$DG$ 指数自发表以来, 在我国土壤动物研究领域已有广泛的应用, 如对于中温带的松嫩平原、北—中亚热带不同土质的丘陵地、南亚热带和热带北缘的森林等不同地域与生态景观中土壤动物的调查。研究内容涉及不同类型退化植被恢复过程中的土壤动物群落变化(廖崇惠和李健雄, 1996; 刘满强等, 2002; 吴东辉等, 2004; 徐国良等, 2005a); 热带雨林在人为干扰下的土壤动物群落变化(杨效东和沙丽清, 2001; 杨效东等, 2001); 不同类型林地的土壤动物群落多样性差异比较(廖崇惠和李健雄, 2000b; 晏毓晨等, 2005; 阴环, 2006; 易兰和由文辉, 2006; 袁金荣等, 2006); 工业污染源对不同距离人工林带土壤动物群落多样性影响(王金凤等, 2007), 以及重金属(孙贤斌等, 2007)、农药(朱永恒

和刘功华, 2006)、大气氮沉降(徐国良等, 2005b)对土壤动物群落结构影响等。除以上以泛土壤动物群落为研究对象外, 还有一些以特定土壤动物类群为对象的, 如线虫(王邵军等, 2007)、蚯蚓(张卫信等, 2005)、地表甲虫(杨丽红和郑发科, 2007)等。除部分作者仅用DG指数进行多样性描述外(杨效东等, 2001; 徐国良等, 2005b; 张卫信等, 2005; 阴环, 2006; 易兰和由文辉, 2006; 朱永恒和刘功华, 2006; 张淑花等, 2008), 绝大多数作者都用各种指数与DG指数进行效果对比。

刘满强等(2002)用DG指数分析南方退化红壤地区不同人工林下的土壤节肢动物群落特征, 并通过主成分分析和鉴别分析证实, DG指数在指示群落特征上具有很高的代表性, 而且最能区分不同林地节肢动物群落的差异, 因而具有应用的潜力, 并认为对DG指数的应用值得高度重视。吴东辉等(2004)在研究东北地区草场的土壤动物群落变化时, 发现从退化草场到自然草场, 土壤动物群落的DG指数递增, 而H'指数递减, 认为只有DG指数最能解释自然恢复过程所产生的差异。李志伟等(2004)在广东省石门台自然保护区的研究中, 通过10个对比调查样方的分析, 也发现自然林和人工林的H'指数差异不显著, 无法解释土壤无脊椎动物群落多样性差异, 认为自然林的DG指数显著大于人工林的, 才能较合理地反映土壤动物群落的多样性状况。徐国良等(2005a)研究退化生态系统中不同类型人工林的土壤动物群落结构时, 也认为DG指数在显示群落间的差异上有很好的稳定性。

一些作者把DG指数与各种多样性指数堆叠起来, 但没有给予什么评论。从其资料上看, 用DG指数显示的结果优于其他指数 (Yuan & Liu, 2000; 晏毓晨等, 2005; 袁金荣等, 2006)。

### 3 DG指数与H'指数的应用效果对比

#### 3.1 不同情况下的应用效果对比

DG指数在创建之后, 在土壤动物相关领域的研究中总是能够给每个参与比较的群落一个合理的多样性指标, 并优于H'指数, 如廖崇惠等(1997)对于鼎湖山阔叶林与草坡之间的比较。草坡失去了原有森林植被, 土壤动物群落在种类及数量上都很少, 明显多样性较低, 但H'指数却很高; 南亚热带常绿阔叶林比较原始, 资源十分丰富, 土壤动物的

种类及数量都很多, 表明有较高多样性, 但H'指数却明显较低。

还有一些研究的结果表明, DG指数的应用效果与H'指数相同(杨效东和沙丽清, 2001; 孙贤斌等, 2007; 王金凤等, 2007), 但不多见。这一类研究有两个方面的共性: 第一, 所比较的是生境差异不大的群落。如杨效东和沙丽清(2001)分析曼仰广“龙山”林(MY)和城子“龙山”林(CZ)土壤动物群落的多样性, 发现用DG指数与用Shannon-Wiener(H')、Pielou(J)指数一样, 获得同样的效果。王金凤等(2007)对上海宝山钢铁厂内不同功能林带凋落物层中的土壤动物的研究也获得了同样的结果。第二, 所比较的群落生境差异极大, 如廖崇惠和李健雄(2000b)对海南尖峰岭的研究。极度退化的稀树草原, 不仅土壤动物很贫乏, 个体数量又过于集中于小型蚁类, 其集中度高于山地雨林的, 因而H'指数与DG指数一样都很低。

从历年不同作者对土壤动物群落多样性的研究结果可以看出DG指数和H'指数在应用效果的差异。表1中所比较的群落仅属于生境明显较好的和明显较差的两类。表中列出共16例: 用DG指数表示多样性时, 生境较好的群落几乎都高于生境较差的群落, 其差值之均数非常显著( $P < 0.01$ ); 用H'指数表示, 则有7/16的场合出现相反的情况, 两类生境间的差值均数不显著( $P > 0.10$ )。这个统计结果再进一步证实, DG指数在土壤动物群落多样性的研究中应用具有很大的可靠性, 而用H'指数则容易出现不合理的结果。

#### 3.2 DG指数与H'指数应用效果的情景分析

情景分析法是近几十年来在战争和企业管理中逐渐被广泛应用的一门预测未来动荡环境的重要技术(岳珍和赖茂生, 2006)。本文试用此法探讨土壤动物群落在什么情况下用H'指数会出现与DG指数不一致的现象。影响这两个群落指数的主要因素是群落中个体数分布的均匀性和物种的数量。在这两个因素的影响下, 群落的结构变化极为多样。两个群落比较时, 必然会出现如表2所列的4种情景。首先给可能出现的情景假设具体数据, 然后按公式分别计算H'和DG指数, 并比较其指示效果。设A和B群落的个体数都为100个: A群落种数多, 有10种; B群落种数少, 只有2种, 两个群落种的个体数分布均匀时, 每个种个体数相等, 不均匀时, 其中1

表1 DG指数和Shannon-Wiener指数(H')在较好与较差生境中的应用效果对比\*

Table 1 Comparison of applied result between DG and Shannon-Wiener diversity index (H') in good and poor habitat\*

	地点 Place	DG指数 DG index			Shannon-Wiener index (H')			Pielou (J) G - P	来源 Source
		较好生境 Good habitat (G)	较差生境 Poor habitat (P)	两生境差 G - P	较好生境 Good habitat (G)	较差生境 Poor habitat (P)	两生境差 G - P		
1	广东鼎湖山 Dinghushan, Guangdong	阔叶林 Broad-leaved forest (9.86)	草坡 Grassland (1.79)	8.07	阔叶林 Broad-leaved forest (0.77)	草坡 Grassland (1.23)	-0.46	-0.189	廖崇惠等, 1997
2	广东五华 Wuhua, Guangdong	阔叶林 Broad-leaved forest (8.32)	草坡 Grassland (1.22)	7.10	阔叶林 Broad-leaved forest (1.76)	草坡 Grassland (1.83)	-0.07	-0.107	
3	江西余江 (秋季) Yujiang, Jiangxi (Autumn)	小叶栎林 <i>Quercus chenii</i> forest (8.9)	马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest (3.6)	5.3	小叶栎林 <i>Quercus chenii</i> forest (1.77)	马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest (1.79)	-0.02	-0.230	刘满强等, 2002
4	吉林大安 (7月) Da'an, Jilin (July)	天然草场 Natural grassland (2.1)	退化草场 Degraded grassland (0.7)	1.4	天然草场 Natural grassland (0.2)	退化草场 Degraded grassland (1.5)	-0.3		吴东辉等, 2004
5	吉林大安 (8月) Da'an, Jilin (August)	天然草场 Natural grassland (1.7)	退化草场 Degraded grassland (0.5)	1.2	天然草场 Natural grassland (0.7)	退化草场 Degraded grassland (1.2)	-0.5		
6	广东石门台 Shimentai, Guangdong	天然林 Natural forest (10.7)	人工林 Artificial forest (2.37)	8.33	天然林 Natural forest (1.41)	人工林 Artificial forest (1.53)	-0.12	-0.191	李志伟等, 2004
7	湖南祁东县 Qidong, Hunan	桃树林 Peach forest (18.1)	松树林 Pine forest (3.7)	14.4	桃树林 Peach forest (3.74)	松树林 Pine forest (3.86)	-0.12	-0.220	晏毓晨等, 2005
8	广东鹤山 Heshan, Guangdong	荷木林 <i>Schima</i> forest (0.85)	松树林 Pine forest (0.55)	0.03	荷木林 <i>Schima</i> forest (0.85)	松树林 Pine forest (0.87)	-0.02	-0.045	张卫信等, 2005
9	福建西芹 Xiqin, Fujian	天然林 Natural forest (0.060)	荒地 Wasteland (0.056)	0.004	天然林 Natural forest (2.37)	荒地 Wasteland (2.45)	-0.08		王邵军等, 2007
10	云南西双版纳 <sup>1)</sup> Xishuangbanna, Yunnan	MY2.67 (9.69)	ML1.32 (2.82)	6.78	MY2.67 (3.77)	ML1.32 (3.46)	0.31	0.147	杨效东等, 2001
11	湖南永州 Yongzhou, Hunan	CZ2.29 (5.50)	ML1.32 (4.80)	0.70	CZ2.29 (3.53)	ML1.32 (3.50)	0.03	0.021	袁金荣等, 2006
12	广东茂名 Maoming, Guangdong	苗圃 Nursery (14.9)	松树林 Pine forest (7.5)	7.4	苗圃 Nursery (2.27)	松树 Pine forest (1.78)	0.49	0.038	
13	海南尖峰岭 Jianfengling, Hainan	有林 Woodland (16.7)	无林 Barren (4.0)	12.7	有林 Woodland (1.65)	无林 Barren (1.20)	0.45	0.058	李健雄等, 2006
14	江西余江(春季) Yujiang, Jiangxi (Spring)	山地雨林 Mountain rain forest (11.4)	稀树草原 Savanna (2.5)	9.9	山地雨林 Mountain rain forest (1.9)	稀树草原 Savanna (0.8)	0.9	0.315	廖崇惠和 李健雄, 2000b
15	吉林大安(10月) Da'an, Jilin (October)	小叶栎林 <i>Quercus chenii</i> forest (9.8)	马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest (3.0)	6.8	小叶栎林 <i>Quercus chenii</i> forest (2.0)	马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest (1.8)	0.2	0.469	刘满强等, 2002
		天然草场 Natural grassland (0.99)	退化草场 Degraded grassland (2.57)	-1.58	天然草场 Natural grassland (0.10)	退化草场 Degraded grassland (1.3)	-0.3		吴东辉等, 2004
	差值平均 <sup>2)</sup> Mean of the difference (mean ± SD)			5.38 ± 1.20 (P < 0.01)			0.34 ± 0.45 (P > 0.10)		

\* “较好生境”是指天然的、在培育的、落叶较易分解的、土壤有机质较丰富的生境; “较差生境”是指退化的、单一的、落叶难分解的、有机质较少的生境。MY2.67, 曼仰热带雨林, 有机质含量为2.67%; CZ2.29, 城子热带雨林, 有机质含量为2.29%; ML1.32, 勐仑热带雨林, 有机质含量为1.32%。

\* “Good habitat”, the habitat is natural, cultivated, the litter is easy to decompose, and the soil organic matter is rich. “Poor habitat”, the habitat is degraded, the litter is difficult to decompose and the soil is arid. MY2.67, Manyang tropical rainforest, the organic content is 2.67%; CZ2.29, Chengzi tropical rainforest, the organic content is 2.29%; ML1.32, Menglun tropical rainforest, the organic content is 1.32%.

表2 分别用 $DG$ 指数与 $H'$ 指数测度两个群落的多样性的结果比较Table 2 A comparison of the community diversity measured by  $DG$  index and Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ), respectively

情景 Scenario	群落A Community A	群落B Community B	比较结果 Result of comparison	
			$H'$	$DG$
1	不均匀, 种数多 Uneven, more species	不均匀, 种数少 Uneven, less species	A (0.542) > B (0.325)	A (5.10) > B (0.40)
2	不均匀, 种数多 Uneven, more species	均匀, 种数少 Even, less species	A (0.542) < B (0.693)	A (5.20) > B (0.32)
3	均匀, 种数多 Even, more species	不均匀, 种数少 Uneven, less species	A (2.303) > B (0.325)	A (6.0) > B (0.4)
4	均匀, 种数多 Even, more species	均匀, 种数少 Even, less species	A (2.303) > B (0.693)	A (4.40) > B (0.40)

群落设计: 每个群落的个体数均为100; 种数多者为10种, 种数少者为2种; 均匀时每个物种个体数均等; 不均匀时, 其中一个种的个体数占90%。

Design of community: Suppose there are 100 individuals in each community, "more species" means there are 10 species, "less species" means only 2 species in the community; "even" means each species contains the same individuals, "uneven" refers to the individual number for a specific species might occupy 90% of the total individuals.

个优势种的个体数就占有90个。按此设定, 分别计算每种情景下 $H'$ 和 $DG$ 指数的指示效果(表2), 结果如下:

(1)两种指数的效果不一致, 如情景2。用 $H'$ 指数时, 分布不均匀, 种数多的群落(0.542) < 均匀, 种数少的群落(0.693); 用 $DG$ 指数时, 则分布不均匀, 种数多的群落(5.20) > 均匀, 种数少的群落(0.32)。这一情景在土壤动物群落调查中出现得较多, 如表1所列1-9例, 占60%。各例中的较好生境与较差生境的群落之间, 种类数之差均为正, 因为较好生境的群落, 其种类数都较多。在这9例中凡查有群落Pielou均匀度指数( $J$ )的, 两生境之差均为负值。

(2)两种指数的效果一致, 如情景1、3、4。属于这种情况的, 在表2中有7例(10-15), 占40%。查得各例的种类数差和均匀度差都为正值。

情景3的群落A为分布较均匀, 种数较多的群落, 根据两种指数自身的原理, 该群落自然占尽优势, 两种指数都必定较高, 但这样的群落在实际中很少见。情景4, 群落A和B都是分布较均匀的, 它们在一起比较, 还是有高低之分的, 故这一对的比较, 在实际中不存在。

以上情况表明: 当两个群落间的种数差值与均匀度差值为正、负相反时,  $H'$ 指数对多样性的指示效果即与生境状况相反, 这在实际中的出现频率较高; 当两个同为正值(或负值)时,  $H'$ 指数的效果才同 $DG$ 指数一致, 与生境状况相符, 这在实际中的出现率较低。

#### 4 关于土壤动物研究中多样性的概念

目前所有土壤动物多样性的研究, 基本上都是属于群落物种多样性的范畴。关于物种多样性的概念, 不同学者有不同的诠释。但不管如何, 都认为“物种多样性是衡量一定地区生物资源丰富程度的一个客观指标”。对于这一共识应该有两个层次的理解: 第一, 所谓“资源的丰富程度”, 应该是物种种数和每个物种个体数量(或生物量)的共同丰富度。它不等同于单纯的物种种数的丰富度, 也不应该把物种个体数量的丰富度简单地理解为群落的个体总数。第二, 所谓客观指标, 指的是所给出的“多样性指标”是客观的, 是群落物种(资源)丰富度的真实反映。然而, 在实际的研究中, 群落物种多样性则常被认为是由组成群落的物种数目以及各物种的数量分布均匀度来构成的。事实上 $H'$ 指数也是在此基础上建立起来的。 $H'$ 指数表面上含有物种丰富度的因素, 但计算时却被均匀度抵消了(王永繁等, 2002), 因而该指数实际上只强调均匀度。许多人甚至把均匀度与多样性等同起来, 直接把 $H'$ 指数称为“多样性指数”, 而不顾多样性还有许多其他的含义。认为均匀度大, 多样性就大, 这是不合理的。

自然界物种之间的相互联系, 关系十分复杂。一个稳定的群落, 尤其是分类及体形大小跨度极大的土壤动物群落, 其物种间的个体数量是按一定比例分配的, 不存在数量分配均匀状态, 也绝不是分配越均匀就越稳定。一个群落物种的最大多样性,

应该是群落处于稳定状态下的“资源丰富度”。仅把均匀度( $H'$ 和 $J'$ )作为多样性指标是不客观的。用这两个指数来给研究对象做多样性指示,许多时候不能反映真实。从纯数学的角度看,各个物种在大小相等的前提下,只要数量均等,这个混合体就获得最大的均匀度和最大的多样性。但是自然的生物群落不是这样的混合体。群落中各物种个体大小不等,功能强弱不同,因此从生态学的角度看,群落物种的最大的均匀性,应该是在各物种达到功能上的平衡并保持群落稳定之时。此时各物种的个体数量或生物量分配具有特定的比例,但绝不是均等的。如果要把均匀度看作是多样性的重要参数,就应该把它理解为生态的或功能上的均匀度,而不是数量方面的均匀度。

关于多样性的含义,岳天祥(1999)认为应该包含丰富性和均匀性两个方面,其模型要包括物种种数、物种个体数、物种生物量和面积等参数,并通过数理推导,指出以均匀性为基础的 $H'$ 指数的缺点是:不能表达多样性的丰富性,没有任何面积参数的反映,忽视了生物量,在应用时每个物种的个体还必须在100个以上等。其实,所谓“丰富性”,是包含着物种种数的和每个物种个体数的丰富度两个方面的内容。 $DG$ 指数中的 $g/G$ 和 $\sum(D_i/D_{i\max})$ 就是丰富性的最好表达,而这里的“丰富性”,还隐含着面积和均匀性两个不同的概念。首先,用密度作基本计算,就是加入了面积的因素。没有面积,丰富性自身就没有任何意义。其次,丰富度实际上也与均匀性密切相关。当群落中各类群的数量与其他群落的相同类群相比较,都具最大值时:

$$D_{i1}/D_{i1\max} = D_{i2}/D_{i2\max} = \dots = D_{in}/D_{in\max} = 1$$

$$\sum(D_i/D_{i\max}) = g = G$$

即种 $D_{i1}$ 、 $D_{i2}$ 、 $\dots$ 、 $D_{in}$ 都达到最大生态值( $D_i/D_{i\max}$ ),也就是该群落的各类群都最丰富,生态分布获得最大的均匀性,同时也获最大的 $DG$ 值。

当群落中只有少数类群有最大的生态值,而其他类群的生态值趋于小时,

$$D_{i1}/D_{i1\max} = 1$$

$$D_{i2}/D_{i2\max} \approx D_{i3}/D_{i3\max} \approx \dots \approx D_{in}/D_{in\max} \rightarrow \neq 0$$

$$\sum(D_i/D_{i\max}) \rightarrow \neq 1$$

群落中各类群间的生态值差异越大,亦即生态均匀性越小, $DG$ 指数也越小。这些分析表明以丰富性为基础的 $DG$ 指数其实也隐含着物种生态分布的均匀

性。傅必谦等(2002)认为 $DG$ 指数最大的缺陷是没有考虑到群落物种数量分布的均匀性,但她所指的是绝对数量的均匀性,而这正是通常多样性分析受到困扰的根源。因为各类群个体差异悬殊,在自然界中也不存在数学的均匀性。 $DG$ 指数不含此参数弃此而隐含生态的均匀性,是客观的合理的。关于物种生物量参数,刘满强等(2002)也认为 $DG$ 指数没有考虑这方面是一个缺陷。其实生物量与物种个体数一样,都是对一个物种在数量上的表达。虽然相比之下,直接用个体数来表达有严重缺陷(即个体差异悬殊),但因此而把两者都作为参数,一同加入到模型中则是不必要的重叠,既然用了生物量就不必再用个体数。另一方面,如 $DG$ 指数,已把种的个体数变成种的“生态值”,回避了直接用个体数的缺陷,就不必再用生物量。

## 6 对多样性指数的评价问题

为计算复杂生物群落的多样性,近10年来曾出现过几个新指数。如,Wodarz等(1992)提出的 $WCI$ 指数,包括物种的丰度、个体的多度、优势度和生态因子等级等信息。Ferris等(2001)和Nuher(2001)在研究土壤线虫群落时都认为 $WCI$ 综合了与群落和种相关的多个信息,但对此未有实质的应用。傅必谦等(2002)提出复杂性指数( $C_j$ ),尝试用群落间的相对丰度( $r_j$ )来校正 $H'$ 指数。韩立亮等(2007)和王金凤等(2007)在研究土壤动物的多样性时,都将 $C_j$ 指数与其他指数( $H'$ 、均匀度、 $E$ 优势度 $C$ 、丰富度 $E$ )相比较,认为该指数更能说明土壤动物在空间的梯度变化,但未见与 $DG$ 指数进行比较的实例。 $C_j$ 指数能否适用于广阔的范围,尚待进一步验证。王永繁等(2002)以种类数和个体数的绝对值为计算基础,提出了新的多样性指数 $DIV$ 。但几年来,至少在土壤动物群落研究中未见响应。

用怎样的指数才能更好地表达土壤动物群落的多样性,这是个值得深入研究的问题。目前常用的各种多样性指数,其含义都比较单一,如种类数( $S$ )、优势度指数( $C$ )、Shannon-Wiener( $H'$ )指数、Pielou均匀度指数( $J$ )、Margalef丰富度指数( $D$ ),以及两个群落间比较的Jaccard( $q$ )或Gower( $S_g$ )相似性系数等等。同时并用这些指数,可以从多个角度去描述每个群落的多样性状况,但当研究群落不同空间 and 不同发展阶段的变化时,仅靠这些指数的堆砌是很

难进行比较,为深入研究群落变化的动向,于是出现了综合指数的探索。综合指数不是包罗所有信息就好。*WCI*纳入的信息最多,使得计算复杂,指数的含义也十分费解,大概因此未被广泛应用。各种单一的指数,从各自不同的角度(信息)反映群落的多样性,它们之间还存在密切的关联,因而也不是每个都一样地重要,创建一个综合指数,就不需要把所有的信息都直接纳入其中。衡量生物的多样性,需要的是“客观指标”。一个综合的指数,即使偏重或忽略了一些方面,只要它能够合理地解释实际状况,并具有普遍性就有其应用价值。*DG*指数没有正面涉及均匀度、优势度或生态因子,但在一定程度上对这些亦有所反映。它不仅仅是表达物种数及其个体多度,并且由于这两者在公式中的结合,在一定程度上也反映着物种数量的分布状况和生态资源的丰富度状况(包括种类和数量方面)。正如刘满强等(2002)所指出,*DG*指数实际上也隐含了群落的其他信息。

#### 参考文献

- Ferris H, Bongers T, de Goede RGM (2001) A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, **18**, 13–29.
- Fu BQ (傅必谦), Chen W (陈卫), Dong XH (董晓晖), Xing ZM (邢忠民), Gao W (高武) (2002) The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**, 215–223. (in Chinese with English abstract)
- Han LL (韩立亮), Wang Y (王勇), Wang GL (王广力), Zhang MW (张美文), Li B (李波) (2007) Soil animal diversity of wetland and farmland in Dongting Lake region. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 199–206. (in Chinese with English abstract)
- Li JX (李健雄), Liao CH (廖崇惠), Yang YP (杨悦屏), Liu SZ (刘世忠), Ke HH (柯宏华) (2006) Species composition and diversity of soil animals in oil shale dump in Maoming, Guangdong Province. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **26**, 989–998. (in Chinese with English abstract)
- Li ZW (李志伟), Tong XL (童晓立), Zhang WQ (张维球), Xie GZ (谢国忠), Dai KY (戴克元) (2004) Diversity of soil invertebrate assemblages in the forest of Shimentai Nature Reserve, Guangdong Province. *Journal of South China Agricultural University (Natural Science Edition)*(华南农业大学学报(自然科学版)), **25**(1), 80–84. (in Chinese with English abstract)
- Liao CH (廖崇惠), Chen MQ (陈茂乾) (1990) Secondary succession of soil animal community and its development process in tropical artificial forest. *Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **1**, 53–59. (in Chinese with English abstract)
- Liao CH (廖崇惠), Li JX (李健雄) (1996) The succession and function of animal communities in the process of rehabilitation in the tropical and subtropical degraded ecosystem. In: *Ecological Studies on Vegetation Rehabilitation of Tropical and Subtropical Degraded Ecosystems* (热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究)(eds Yu ZY (余作岳), Peng SL (彭少麟)), pp. 192–213. Guangdong Science & Technology Press, Guangzhou. (in Chinese)
- Liao CH (廖崇惠), Li JX (李健雄) (2000a) The community structure of soil animal in the tropics and southern subtropics of China. In: *Soil Animals of China* (中国土壤动物) (ed. Yin WY (尹文英)), pp. 77–100. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Liao CH (廖崇惠), Li JX (李健雄) (2000b) Effects of various vegetation types in tropics and south-subtropics on the differentiation of soil animal community. In: *Soil Animals of China* (中国土壤动物) (ed. Yin WY (尹文英)), pp. 125–134. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Liao CH (廖崇惠), Li JX (李健雄), Huang HT (黄海涛) (1997) Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**, 549–555. (in Chinese with English abstract)
- Liao CH (廖崇惠), Li JX (李健雄), Yang YP (杨悦屏), Zhang ZC (张振才) (2003) The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfeng Mountain, Hainan Island, China: Relationship between seasonal change of community structure and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**, 139–147. (in Chinese with English abstract)
- Liu MQ (刘满强), Hu F (胡锋), Li HX (李辉信), Chen XY (陈小云), He YQ (何圆球) (2002) Soil arthropod communities under different artificial woodland restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**, 54–61. (in Chinese with English abstract)
- Nuher DA (2001) Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*, **33**(4), 161–168.
- Sun XB (孙贤斌), Liu HY (刘红玉), Li YC (李玉成), Zhang XP (张小平) (2007) Impact of heavy metals pollution on the community structure and spatial distribution of soil animals. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **18**, 2080–2084. (in Chinese with English abstract)
- Wang JF (王金凤), You WH (由文辉) (2007) Community structure of soil meso- and micro- invertebrate in different habitats in Shanghai. *Ecology and Environment* (生态环境), **16**, 1238–1243. (in Chinese with English abstract)
- Wang JF (王金凤), You WH (由文辉), Yi L (易兰) (2007) Soil animal communities and their seasonal change in the greening litters of different functional zones in Baoshan Steel Plant, Shanghai. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 463–469. (in Chinese with English abstract)
- Wang SJ (王邵军), Cai QJ (蔡秋锦), Ruan HH (阮宏华)

- (2007) Soil nematode community response to vegetation restoration in northern Fujian. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 356–364. (in Chinese with English abstract)
- Wang YF (王永繁), Yu SX (余世孝), Liu WQ (刘蔚秋) (2002) A new species diversity index and its fractal analysis. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **26**, 391–395. (in Chinese with English abstract)
- Wodarz D, Aeschl E, Foissner W (1992) A weighted coenotic index (WCI): Description and application to soil animal assemblages. *Biology and Fertility of Soils*, **14**, 5–13.
- Wu DH (吴东辉), Hu K (胡克), Yin XQ (殷秀琴) (2004) Ecological characteristics of soil macro-animal community in mid-south Songnen degraded *Leymus chinensis* grassland under restoration succession. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), **13**(5), 121–126. (in Chinese with English abstract)
- Xu GL (徐国良), Zhou GY (周国逸), Mo JM (莫江明), Zhou XY (周小勇), Peng SJ (彭闪江) (2005a) The responses of soil fauna composition to forest restoration in Heshan. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **25**, 1670–1677. (in Chinese with English abstract)
- Xu GL (徐国良), Mo JM (莫江明), Zhou GY (周国逸) (2005b) Early responses of soil fauna in three typical forests of south subtropical China to simulated N deposition addition. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**, 1235–1240. (in Chinese with English abstract)
- Yan YC (晏毓晨), Yan HM (颜亨梅), Wang CJ (王常玖), Yuan JR (袁金荣), Lin ZG (林仲桂), Zhu YA (朱雅安) (2005) Community structure of soil animals in leanness soil in Hunan Province of China. *Research of Agricultural Modernization* (农业现代化研究), **26**, 154–157. (in Chinese with English abstract)
- Yang LH (杨丽红), Zheng FK (郑发科) (2007) Diversity of ground-dwelling beetles in Xiaozhaizigou Nature Reserve, Sichuan. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), **26**, 733–737. (in Chinese with English abstract)
- Yang XD (杨效东), Sha LQ (沙丽清) (2001) Species composition and diversity of soil mesofauna in the “Holy Hills” fragmentary tropical rain forest of Xishuangbanna, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **12**, 261–265. (in Chinese with English abstract)
- Yang XD (杨效东), Tang Y (唐勇), Tang JW (唐建维) (2001) Change in structure and diversity of soil arthropod communities after slash-and-burn of secondary forest in Xishuangbanna, Yunnan Province. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**, 222–227. (in Chinese with English abstract)
- Yin H (阴环) (2006) Study on the diversity of soil animal communities in two different artificial woodlands in Fen River region. *Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition)*(山西师范大学学报(自然科学版)), **20**(2), 74–77. (in Chinese with English abstract)
- Yi L (易兰), You WH (由文辉) (2006) Community structure and seasonal change of soil animals in *Castanopsis fargesii* forest at Tiantong, Zhejiang Province. *Journal of East China Normal University(Natural Science)*(华东师范大学学报(自然科学版)), (2), 112–120. (in Chinese with English abstract)
- Yuan JR (袁金荣), Zhu X (朱巽), Lin ZG (林仲桂), Zhu YA (朱雅安) (2006) On community diversity of soil animals in calcareous shale of Yongzhou area of Hunan. *Research of Agricultural Modernization* (农业现代化研究), **27**, 226–229. (in Chinese with English abstract)
- Yuan XZ, Liu H (2000) Studies on the diversity of soil animals in Taishan Mountain. *Journal of Forestry Research*, **11**, 109–113.
- Yue TX (岳天祥) (1999) Studies on models for biodiversity. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), **14**, 377–380. (in Chinese with English abstract)
- Yue Z (岳珍), Lai MS (赖茂生) (2006) Research progress abroad on scenario analysis. *Journal of Information* (情报杂志), (7), 59–60, 64. (in Chinese)
- Zhang RZ (张荣祖), Yang MX (杨明宪), Chen P (陈鹏), Zhang TW (张庭伟) (1980) Primary investigation of soil fauna in north slope forest ecosystem of Changbai Mountain. *Research Forest Ecosystem Research* (森林生态系统研究), (1), 257–264. (in Chinese with English abstract)
- Zhang SH (张淑花), Zhou LJ (周利军), Zhang XP (张雪萍) (2008) The characteristic analysis of soil fauna communities in the west sandy land region of Heilongjiang Province. *Journal of Suihua University* (绥化学院学报), **28**(1), 4–6. (in Chinese with English abstract)
- Zhang WX (张卫信), Li JX (李健雄), Guo MF (郭明昉), Liao CH (廖崇惠) (2005) Seasonal variation of earthworm community structure as correlated with environmental factors in three plantations of Heshan, Guangdong, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **25**, 1362–1370. (in Chinese with English abstract)
- Zhu YH (朱永恒), Liu GH (刘功华) (2006) The influence of Haloxypop-r-methyl pollution on the community structure of soil animal. *Journal of West Anhui University* (皖西学院学报), **22**(5), 126–130. (in Chinese with English abstract)