

469-475

第16卷第5期

1996年10月

生态学报

ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol. 16, No. 5

Oct., 1996

鹿回头岸礁造礁石珊瑚 物种多样性的研究

于登攀

邹仁林

Q959.135.3

(中国科学院南海海洋研究所, 广州, 510301)

A

摘要 定量分析鹿回头岸礁造礁石珊瑚群落的种类组成, 选择 α -多样性和 β -多样性的度量方法, 分析了该群落造礁石珊瑚种、属和科的多样性及其与所处生境的关系。

结果表明: 鹿回头岸礁造礁石珊瑚群落的物种比较丰富, 多样性和均匀度指数都较高, 但在不同地段之间存在着明显的差异。水深中等的地段(2.4~5.0 m)的多样性指数高于较浅(1.5~2.0 m)和较深(5.5~6.5 m)地段; 潮间带与潮下带之间和礁平台与向海斜坡之间的两个过渡地带的生境条件复杂, 物种多样性和种类分布的混杂程度都高于其他地段。

关键词: 鹿回头岸礁, 造礁石珊瑚群落, α -多样性, β -多样性, 环境梯度。

物种多样性

STUDY ON THE SPECIES DIVERSITY OF THE SCLERATINAN CORAL COMMUNITY ON LUHUITOU FRINGING REEF

Yu Dengpan Zou Renlin

(South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301)

Abstract In this paper characteristics of taxa composition of the Scleratinian coral community on Luhuitou fringing reef were analyzed quantitatively. Using selected measure methods of α -diversity and β -diversity, the diversity of the species, genus family in this community and their relationship with the environmental conditions were analyzed. The results indicate that, the reef-building coral community on Luhuitou fringing reef had high values of species diversity and evenness indices. However, there were remarkable differences among different zones. The zones in moderate depth (2.5~5.0 m) had higher diversity indices than those of the shallower zone (1.5~2.0 m) and the deeper (5.5~6.5 m) zones. Both transitional zones between intertidal and subtidal zones and transitional zone between reef flat and seaward slope had the most complicated mosaic distribution pattern of species and the highest species diversity.

Key words: Luhuitou fringing reef, scleractinian coral community, α -diversity, β -diversity, environmental gradient.

• 国家科委基础性课题 PD85-31-03-09

收稿日期: 1994-06-24, 修改稿收到日期: 1996-01-25。

极高的生物多样性是珊瑚礁生态系统引人注目的主要特征^[1]。迄今已有的研究业已表明:绝大多数情况下,造礁石珊瑚是珊瑚礁群落中的关键生物类群,它们不仅以自身丰富的种类成为珊瑚礁生态系统生物多样性的主要成分,同时还是多达数万种喜礁生物栖息生境的主要构造者;有的学者还认为,近代珊瑚礁生态系统的功能在很大程度上取决于以造礁石珊瑚为主的造礁生物。因而造礁石珊瑚被视为珊瑚礁生态系统的“框架”成分^[2]。近 20 余年以来,伴随世界近岸海洋环境的恶化,珊瑚礁生态系统受破坏的程度日益加剧,世界野生动物组织已把珊瑚类列为 2 级濒危保护动物。但是,目前国内外对造礁石珊瑚物种多样性研究都尚处在早期发展阶段^[3]。现有的资料还远远不能满足珊瑚礁生态系统研究发展的需要,更难以满足为提出珊瑚礁生态系统保护和恢复的合理措施提供科学依据的迫切需求。针对这一现状,作者以国家级珊瑚礁保护区中的鹿回头岸礁为样地,应用 α -多样性和 β -多样性的度量方法,探讨了该海区造礁石珊瑚群落的物种多样性,以期对珊瑚礁生物多样性有更多的了解。

鹿回头岸礁曾发育着生长良好的造礁石珊瑚群落^[3,4],但在 60 年代中期至 70 年代遭到严重的人为破坏,整个礁平台几乎被完全翻过,原有群落的造礁石珊瑚所剩无几。现有群落组成中,90% 以上的群体年龄小于 20 a,种数也由原来的 90 余种下降到目前的不足 60 种。因此,本文所反映的既是特定区域环境条件下造礁石珊瑚群落生长发育的一个特例,也在一定程度上说明了造礁石珊瑚群落次生演替过程中物种多样性的特征。

1 材料与研究方法

1.1 样地的自然环境概况和取样设计 鹿回头岸礁(109°28'E, 18°13'N)位于海南岛最南端的三亚湾南部(图 1),是我国岸礁最为发育的地点之一,同时也是造礁石珊瑚的一个集中分布区^[3,4]。自西南岬角到小洲岛之间,岸线沿西南向东北方向延伸约 3 km 长。西南岬角地段的波浪冲击强烈,0.8 km 以内的礁平台几乎完全消失,仅发现零星分布的造礁石珊瑚。礁平台由西南向东北方向呈加宽趋势。基底状况、波浪及海流作用强度、水下光照强度等与造礁石珊瑚生长密切相关的环境条件在不同水深的地段之间有较大差异。

经实地勘察,确定样地范围为自西南岬角东北 1 km 处开始至小洲岛西南之间约 2 km 长的海区。为使取样反映环境梯度的变化,采用系统取样中的样条取样法,以 0.7 km 岸线长等距离间隔设垂直于岸线方向的 4 个样条(图 1),每个样条自潮间带造礁石珊瑚生长的上限延伸至造礁石珊瑚分布的下限为至。在每个样条上按等距离间隔取大小为 1 m×1 m 的正方形样方,样方之间的距离为 1 m。在由北向南的 4 个样条上分别设置了 135、214、168 和 118 个样方,测量记录了样方中每个造礁石珊瑚群体的种类、大小以及水深、基底状况和波浪作用强度等数据。共计取得 635 个样方、2038 个造礁石珊瑚群体的调查数据。

1.2 群落组成分析 对在 4 个样条上取样所得的 635 个样方的调查数据进行合并分析。计算出每个种的相对多度(该种的群体总数与群落所有种的群体¹⁾数之比)、相对覆盖度(该种的全部群体的覆盖面积与群落所有群体的总覆盖面积之比)和相对频度(该种的频度与所有种的频度总和之比,其中频度为一个种出现的样方总数与调查样方的总数之比,3 种数值的总和即为每个种的重要值^[5,6])。

1) 造礁石珊瑚是以群体为主的动物,取样和计算中把一个群体作为一个个体对待。

1.3 多样性指数的测度 群落物种多样性的研究方法和测度指数在国内外生态学文献中比较多。本文根据造礁石珊瑚群落的特点及取样数据的类型,选择应用了以下多样性指数。

1.3.1 α -多样性及均匀度 Shannon-Wiener 指数(D_{SW})和均匀度(R_{SW})^[5~8]

$$D_{SW} = - \sum P_i \log P_i \quad (1)$$

$$R_{SW} = D_{SW} / \log S \quad (2)$$

以上(1)~(2)式中 P_i 是一个群体属于第 i 种的概率,可以用 $P_i = N_i / N$ 求出; N_i 是第 i 个种的群体数; $N = \sum N_i$, 为全部种的群体数之和; S 为群落包含的种类。

1.3.2 β -多样性^[5~8]

a. Whittaker 指数(β_w) $\beta_w = (S/A) - 1 \quad (3)$

b. Wilson 指数(β_i) $\beta_i = (G+L)/2A \quad (4)$

(3)和(4)式中, S 为所研究系统中记录到的总种数; A 为群落环境梯度上所发现物种的平均数; G 是沿环境梯度增加的物种数; L 为沿环境梯度减少的物种数。

以上 4 种多样性指数在陆地生物群落研究中通常以种为测度单位,但在珊瑚生物群落研究中,由于水下取样调查的困难,以属和科等较高分类阶元为多样性的测度单位相当常见。考虑到生物分类的等级特征,同时进行种以上分类阶元为单位的多样性测度是有必要的,有助于更全面地反映一个特定群落的物种多样性特征^[6],同时也便于与其他学者的研究结论相对比。因而,本文把取样数据中的种分别归属于对应的属和科,应用以上公式,测度了属级和科级的多样性指数。

此外,应当指出,在分析群落不同地段的多样性指数随环境梯度的变化时,选择的梯度大小对计算结果的影响很大;一般说来,各指数值的大小随所对比的梯度的减小而减小,而变化幅度则随之增大,反之亦然。通过对比,本文给出了以 0.5 m 水深间隔作对比的分析结果。该水深范围可较好地反映出多样性指数在不同环境梯度上变化趋势,同时略大于调查期间的最大潮差(0.46 m),可在一定程度上消除取样时水深测量中的误差对分析结果的影响。图 2~3 中每个水深点的各指数值,对应的是以该水深为中心增减 0.25 m 水深范围内的地段,如 2.0 m 对应的水深范围为 1.75~2.25 m 的地段。

2 结果与讨论

2.1 群落种类组成的数量特征 对 4 个样条的全部取样数据按前面所述的方法在计算机上分析,所得结果归纳于表 1。该表说明了鹿回头岸礁现有造礁石珊瑚群落在科、属和种分类阶元水平上的组成和相对丰富度。在种级组成中,澄黄滨珊瑚(*P. lutea*)的重要值达 0.695,占种级重要值总和的 23%,远远高于其它种,是鹿回头现有造礁石珊瑚群落的优势种。占重要值百分比为 7%~1%的有 35 个种,而不足 1%的有 22 个种。可见绝大多数种的重要值都较低,反映出群落在种级组成上的均匀度较高。在属级组成中,重要值排在

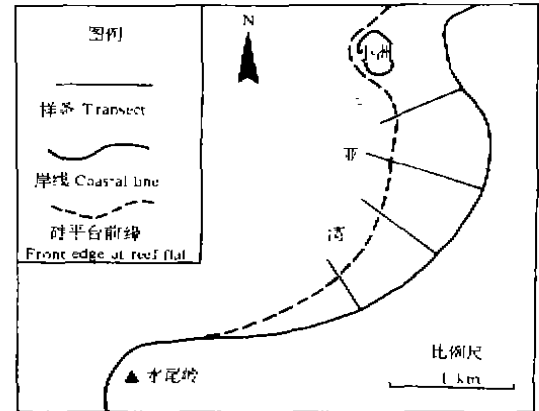


图 1 样地及样条位置示意图

Fig. 1 Study site and position of transects

前 3 位的是 *Porites*, *Goniastrea* 和 *Acropora*, 它们分别占属级重要值的 27%、16% 和 14%, 优势度较高; 其余 18 个属的重要值百分比均低于 10%。在科级组成中, 蜂巢珊瑚科 *Favidae*、滨珊瑚科 *Poritidae* 和鹿角珊瑚科 *Acroporidae* 为优势类群, 分别占科级重要值总和的 31%、23% 和 21%, 其余 7 个科的重要值百分比均低于 10%。

表 1 鹿回头岸礁造礁石珊瑚群落组成分析表

Table 1 Composition analysis of the *Sclera tinian* coral community on Lubultou fringing reef

科名(重要值序号) Family (Sequence)	属名(重要值序号) Genus (Sequence)	种名(重要值序号) Species (Sequence)	相对多度 Relative abundance	相对频度 Relative frequency	相对覆盖度 Relative coverage	重要值 Importance value
1. <i>Acroporidae</i> (3)	1. <i>A. crocopora</i> (3)	1. <i>A. armata</i> (55)	0.003	0.004	0.001	0.006
		2. <i>A. brueggemannii</i> (23)	0.004	0.005	0.016	0.025
		3. <i>A. conferta</i> (13)	0.017	0.020	0.039	0.076
		4. <i>A. corymbosa</i> (40)	0.003	0.004	0.001	0.008
		5. <i>A. decipiens</i> (14)	0.008	0.012	0.55	0.076
		6. <i>A. delicatula</i> (14)	0.002	0.001	0.001	0.004
		7. <i>A. dissimilis</i> (32)	0.004	0.005	0.010	0.019
		8. <i>A. formosa</i> (46)	0.002	0.003	0.002	0.006
		9. <i>A. haumei</i> (45)	0.001	0.001	0.001	0.007
		10. <i>A. humilis</i>	0.010	0.012	0.011	0.033
		11. <i>A. nasuta</i> (30)	0.007	0.009	0.004	0.020
		12. <i>A. prostrata</i> (5)	0.034	0.041	0.056	0.132
		13. <i>A. pulchra</i> (52)	0.001	0.001	0.001	0.003
		14. <i>A. valida</i> (24)	0.008	0.011	0.010	0.028
	2. <i>Astreopora</i> (10)	15. <i>A. myrophthalma</i> (15)	0.016	0.019	0.032	0.066
	3. <i>Montipora</i> (6)	16. <i>M. aenigmatica</i> (44)	0.001	0.001	0.005	0.007
		17. <i>M. cristagalli</i> (22)	0.008	0.011	0.012	0.030
		18. <i>M. hispida</i> (27)	0.009	0.009	0.006	0.025
		19. <i>M. ramosa</i> (38)	0.004	0.005	0.002	0.011
		20. <i>M. sinensis</i> (11)	0.023	0.025	0.033	0.081
		21. <i>M. trabeculata</i> (49)	0.001	0.001	0.002	0.005
		22. <i>M. truncata</i> (42)	0.001	0.001	0.000	0.003
		23. <i>P. decussata</i> (42)	0.004	0.004	0.000	0.008
2. <i>Agariciidae</i> (3)	4. <i>Pavona</i> (13)	24. <i>P. frondifera</i> (43)	0.002	0.003	0.003	0.008
		25. <i>P. minikoiensis</i> (58)	0.001	0.001	0.000	0.002
		26. <i>P. varians</i> (34)	0.005	0.007	0.003	0.015
		27. <i>T. peltata</i> (29)	0.008	0.011	0.005	0.023
3. <i>Dendrophyllidae</i> (6)	5. <i>Turbinaria</i> (14)	28. <i>C. serallia</i> (7)	0.037	0.037	0.041	0.115
4. <i>Favidae</i> (1)	6. <i>Cyphastrea</i> (7)	29. <i>D. heliopora</i> (37)	0.002	0.004	0.007	0.012
	7. <i>Diploastrea</i> (17)	30. <i>F. abdita</i> (41)	0.003	0.004	0.002	0.008
	8. <i>Favites</i> (9)	31. <i>F. matthaei</i> (18)				
	9. <i>Favia</i> (11)	32. <i>F. palauensis</i> (23)	0.010	0.002	0.007	0.029
		33. <i>F. speciosa</i> (26)	0.009	0.005	0.005	0.026
		34. <i>G. aspera</i> (2)	0.082	0.076	0.054	0.212
		35. <i>G. pectinata</i> (4)	0.050	0.051	0.039	0.140
	10. <i>Goniastrea</i> (2)	36. <i>G. retiformis</i> (8)	0.045	0.035	0.014	0.094
		37. <i>G. yumanarii</i> (17)	0.020	0.021	0.012	0.053

(续表 1)

科名(重要值序号)	属名(重要值序号)	种名(重要值序号)	相对多度	相对频度	相对覆盖度	重要值
Family	Genus	Species	Relative	Relative	Relative	Importance
(Sequence)	(Sequence)	(Sequence)	abundance	frequency	coverage	value
	11. <i>Hydnophora</i>	38. <i>H. contiguata</i> (53)	0.001	0.001	0.001	0.003
	(15)	39. <i>H. exesa</i> (50)	0.001	0.001	0.001	0.004
		40. <i>H. microconos</i> (20)	0.004	0.005	0.005	0.014
	12. <i>Leptastrea</i> (20)	41. <i>L. purpurea</i> (48)	0.002	0.003	0.001	0.006
	13. <i>Platygyra</i> (4)	42. <i>P. crosslandi</i> (3)	0.063	0.053	0.039	0.156
		43. <i>P. gracilis</i> (20)	0.014	0.015	0.011	0.040
		44. <i>P. rustica</i> (16)	0.026	0.32	0.012	0.065
		45. <i>P. ryukyuensis</i> (35)	0.006	0.004	0.004	0.015
5. Fungidae (6)	14. <i>Fungia</i> (21)	46. <i>F. echinata</i> (57)	0.001	0.001	0.000	0.002
6. Mussidae (9)	15. <i>Lobophyllia</i> (19)	47. <i>L. costata</i> (47)	0.002	0.003	0.001	0.006
	16. <i>Symphyllia</i> (16)	48. <i>S. agaricia</i> (33)	0.005	0.007	0.004	0.015
7. Oculimidae (4)	17. <i>Galaxea</i> (5)	49. <i>G. fascicularis</i> (10)	0.027	0.033	0.027	0.088
		50. <i>G. lamarchi</i> (6)	0.040	0.041	0.034	0.115
8. Pocilloporidae (5)	18. <i>Pocillopora</i> (8)	51. <i>P. damicornis</i> (9)	0.036	0.040	0.013	0.089
		52. <i>P. ligulata</i> (31)	0.008	0.007	0.004	0.020
9. Poritidae (2)	19. <i>Porites</i> (1)	53. <i>P. andrewsi</i> (12)	0.024	0.023	0.034	0.080
		54. <i>P. ruyumanaensis</i> (25)	0.008	0.012	0.008	0.028
		55. <i>P. lutea</i> (1)	0.252	0.191	0.251	0.695
		56. <i>P. pukoensis</i> (56)	0.001	0.001	0.000	0.002
	20. <i>Goniopora</i> (12)	57. <i>G. duofasciata</i> (19)	0.012	0.016	0.016	0.044
10. Thamnasteridae (10)	21. <i>Psammocora</i> (10)	58. <i>P. contigua</i> (39)	0.003	0.003	0.004	0.009

表 2 鹿回头岸礁造礁石珊瑚群落的多样性指数

Table 2 Diversity indices of the scleractinian coral community on Luhuitou fringing reef

项 目 Item	α -多样性指数 α -Diversity Indices		β -多样性指数 β -Diversity Indices	
	D_{SW}	R_{SW}	β_w	β_s
种级 Species-level	3.15	0.77	18.46	19.14
属级 Genus-level	2.19	0.73	6.20	6.84
科级 Family-level	1.55	0.67	3.248	3.82

2.2 α -多样性的均匀度 对群落总体的分析结果表明鹿回头岸礁造礁石珊瑚的多样性和均匀度较高(表 2),说明其种类组成的丰富度较高,但优势种不明显。这一点和在群落组成分析中得到的结论一致。 α -多样性和均匀度本身是仅具数量而无方向的度量指标^[6],但通过对其梯度变化的分析(图 2)则可看出不同地段上的群落结构以及生境条件方面的差异。

当多样性指数接近时,均匀度低的地段比均匀度高的地段优势种明显。例如,优势种 *P. lutea* 的重要值在 2.0 m 水深梯度上高达 20%,而在多样性指数相差不多,但均匀度较高的 3.5 m 水深梯度上仅为 13%。由此可见不同水深梯度上优势种的优势度随均匀度的递减而增高的趋势。在反映种数的多寡方面,如果两个地段的均匀度和群体数都较接近,则以多样性指数较高的地段的种数为多;反之亦然;例如,5.0 m 和 6.0 m 水深梯度的均匀度相近,但前者有 26 个种,后者有 18 个种,因而前者的多样性指数高于后者。然而,应当注意,均匀度是在给定种数的条件下,对不同种的群体分布均匀程度的测度^[6],单独

的均匀度指数因此并不能反映种类组成的丰富程度;如 1.5 m 水深梯度的多样性指数 D_{SW} 值最低,而均匀度指数 R_{SW} 值却最高。多样性指数较高的地段(如 2.5 m 水深),均匀度也可能较低(图 2)。由以上可见,推测种类的丰富度必须同时从多样性指数和均匀度两个方面考虑。

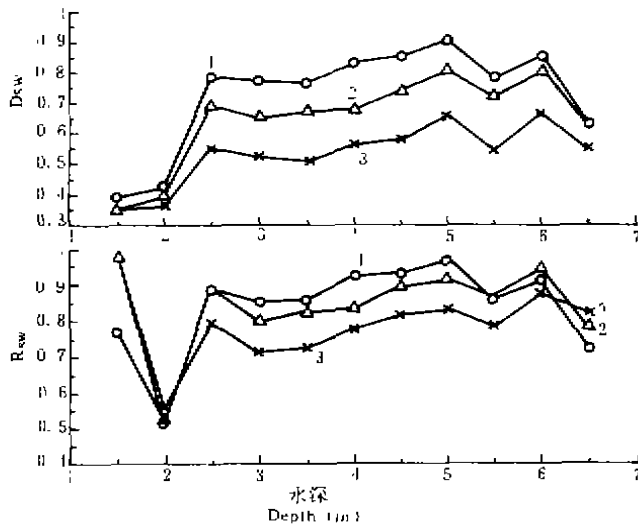


图 2 α -多样性指数的梯度变化

Fig. 2 Gradiental variation of α -diversity indices

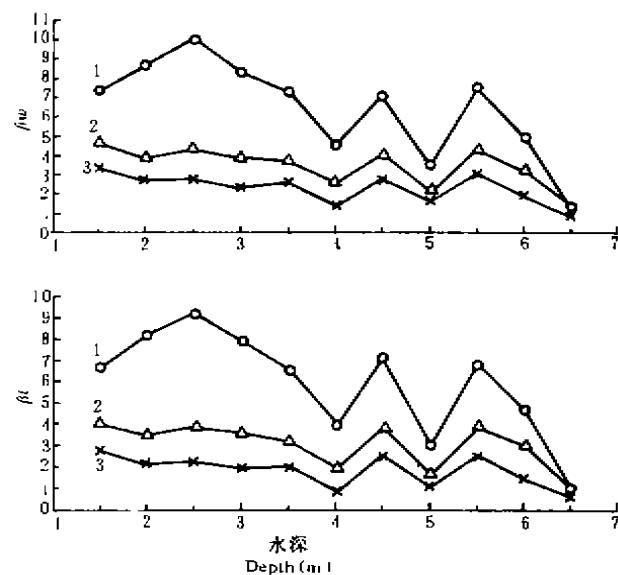
1 种级指数 Species level indices 2 属级指数 Genus level indices, 3 科级指数 Family level indices

空气中,仅有少数几种耐干旱的菊花珊瑚生长;较深的 5.5~6.0 m 是向海斜坡的前缘地带,光照强度较低,并且基底以珊瑚碎块和沙质为主,海流冲击强烈,因而只有个别几种鹿角珊瑚和滨珊瑚生长。这两个地段的生境条件均不利于大多数种类的生长,所以 α -多样性指数都很低。

2.3 β -多样性 对一个群落来说, β -多样性是物种沿着环境梯度从一个生境到另一个生境变化速率和差异程度的测度,不仅能反映出地段之间物种构成的差异,而且可以直接反映环境的异质性。由于其涵义与 α -多样性是有区别的,因而,大多数 β -多样性指数的测度是与 α -多样性相独立的^[5,6]。就本文选用的 β_w 和 β_i 指数而言,不同地段之间种类组成和数量差异越大,指数值就越高,意味着环境条件的变化越明显。2.5 m 和 5.5 m 处的 β_i 和 β_w 分别为最高和次高值,表明这两个过渡地段内的环境异质性较高。这一结果与由 α -多样性分析的间接判断相印证。 β -多样性的测度还揭示出 4.5 m 水深也是环境差异较大的地段,这和作者取样调查时的直观感觉相符合,该水深范围内的基底主要由珊瑚碎块、细沙和大小不等的礁石组成,基底条件介于较浅和较深的地段之间。

对比不同分类阶元的 β -多样性指数的梯度变化(图 3)可明显看出,在同一水深梯度上,科级和属级的 β_i 和 β_w 指数值的变化幅度均低于种级指数的变化幅度。例如,在 1.5~3.5 m 水深范围内,属级和科级的 β_i 和 β_w 指数无明显波动,而种级指数则有明显的起伏。其原因在于,该地段内优势度仅次于滨珊瑚属(*Porites*)的盔形珊瑚属(*Galaxea*)和蜂巢珊瑚

α -多样性和均匀度指数的梯度变化还可在一定程度上间接说明生境条件的差异。对造礁石珊瑚的生长和分布来说,水深实际上是一个包含随水深变化的光照、基底、波浪作用等多种因子在内的综合性梯度指标。一般而言,生境条件越适宜,多样性就越高。由 α -多样性指数 D_{SW} 和均匀度指数 R_{SW} 的梯度变化可见,该群落在中等水深(2.5~5.0 m)地段内的 α -多样性均匀度指数都较高,从水深 2.5 m 增加到 5.0 m 范围略呈升高的趋势,说明这一水深范围地段的生境条件适宜于大多数造礁石珊瑚的生长;而在该水深范围的两端,较浅的 1.5~2.0 m 是潮间带,潮水的涨落使该地段周期性地暴露于

图3 β -多样性指数的梯度变化Fig. 3 Gradiental variation of β -diversity indices

图注同图2, Note is same as fig. 2

属(*Favia*)有多个生态适应性不同的种,分别分布在该水深范围内的不同部位上,因而,以科和属为度量单位无法反映该地段的生境的异质性。由此可见,由于 β -多样性是以种类组成及数量的变化为依据的,在反映环境条件的异质性方面,当所研究生物类群的属、科等较高的分类阶元下的种数较多,而且这些种之间的生态适应性差别较大时,如果仍以较高的分类阶元为测度单位,则 β -多样性指数显然难以真实反映环境的异质性。所以,在这种情况下,应尽可能选用种为测度单位。

参 考 文 献

- 1 Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs, High diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state. *Science*, 1978. 199: 1320~1370
- 2 Endean R and Cameron A M. Trends and new perspectives in coral reef ecology. Z. Dubinsky(ed.), *Coral Reefs, Ecosystems of the World*. 25, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo: Elsevier. 1990. 469~487
- 3 邹仁林等. 海南岛浅水造礁石珊瑚. 北京: 科学出版社, 1975. 1~64
- 4 邹仁林等. 海南岛珊瑚垂直分带的初步研究. *海洋与湖沼*, 1966. 2(8): 153~160
- 5 Magurran A E. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton, New Jersey: Princeton Univ. Press. 1988. 61~81
- 6 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1990. 123~173
- 7 Cox, G. W. 蒋有绪译. 普通生态学实验手册. 北京: 科学出版社, 1978. 10~34
- 8 Pielou E C. 卢泽恩译. 数学生态学引论. 北京: 科学出版社, 1979. 24~26