

琉球群岛邻近海域浮游植物多样性的模糊综合评判*

孙 军 刘东艳 魏 皓 钱树本

(青岛海洋大学海洋生命学院 青岛 266003)

(青岛海洋大学物理海洋研究所 青岛 266003)

提要 基于 1997 年 7 月中日合作副热带环流调查的资料,运用模糊数学原理对琉球群岛岛链两侧副热带环流水域的海洋浮游植物多样性程度进行了模糊综合评判,界定了各浮游植物多样性指数的阈值评判集合。结果表明,此海域浮游植物的多样性程度是属于高的。用相同的多样性指数阈值评判集合对调查海域的浮游硅藻和甲藻分别进行多样性程度的模糊综合评判,结果表明浮游硅藻和甲藻的多样性程度评判结果有不同程度的下降,表明不能用与浮游植物相同的评判集合对同一群落的硅藻和甲藻分别进行评判。Shannon-Weaver 指数较适合于浮游植物多样性的模糊综合评判,但必需同其他多样性指数结合使用。

关键词 琉球群岛,浮游植物,多样性指数,模糊评判

中图分类号 Q948.1

海洋浮游植物群落的多样性,可以用种类组成、生物量分布和色素组成等一系列参数来表达,但使用最多的还是各种多样性指数。相对而言多样性指数具有最可信的生态学指示作用(Llyod *et al.*, 1968)。浮游植物生态评判中常用的多样性指标有:物种数量(S)、Margalef 物种丰富度指数(d_{Ma})、Shannon-Weaver 多样性指数(H')和均匀度指数(J)等。这些指数分别不同程度地反映群落的属性以及与环境的相关性。对于这些群落结构指数结果的解释,经典的方法是以研究者的经验为主,或者对所获结果进行简单的求和、矢量叠加、加乘和加权求和等方法进行综合评判。运用模糊数学的原理进行综合评判,能够对不同的评判因子实施灵敏地、客观地评价(Chevenet *et al.*, 1994; Guegan *et al.*, 1998; Pautou *et al.*, 1994)。

傅子琅(1996)和陈清潮等(1994)曾对南沙群岛海洋生物多样性进行了模糊综合评判,并依此确立了海洋生物多样性程度的评判集合。黑潮的存在与变异,对中国沿岸和日本以南及以东海域的海洋环境、沿海气象、渔业资源等均有较大影响(郭志刚等, 1999; 李风业等, 1999)。本文利用 1997 年 7 月,中日合作副热带环流调查中 42 个测站($23^{\circ} 30' N - 29^{\circ} 30' N$, $122^{\circ} 30' E - 130^{\circ} 30' E$)所获浮游植物样品,经鉴定、计数和分析,对此海区浮游植物多样性进行了模糊综合评判;界定了各浮游植物多样性指数(物种数量、Margalef

* 中日合作第二次副热带环流调查项目;国家自然科学基金项目,49676304 号。国家基础研究与重点项目, G1999043703 号。孙 军,男,出生于 1972 年 8 月,硕士,讲师, E-mail: sunjun@ouqd.edu.cn

收稿日期:1999-09-13,收修改稿日期:2000-08-10

物种丰富度指数、Shannon-weaver 多样性指数、Simpson 多样性指数和均匀度指数)的阈值评判集合,为今后开展这方面的多样性研究奠定基础。

1 研究方法

1.1 样品的来源、采集和处理

本研究资料是根据 1997 年 7 月中日合作副热带环流调查中 42 个测站(23°30'N—29°30'N, 122°30'E—130°30'E)采到的浮游植物样品经鉴定、计数分析而成(孙军等, 2000; 刘东艳等, 2000; Sun *et al.*, 2000)。调查范围见图 1。

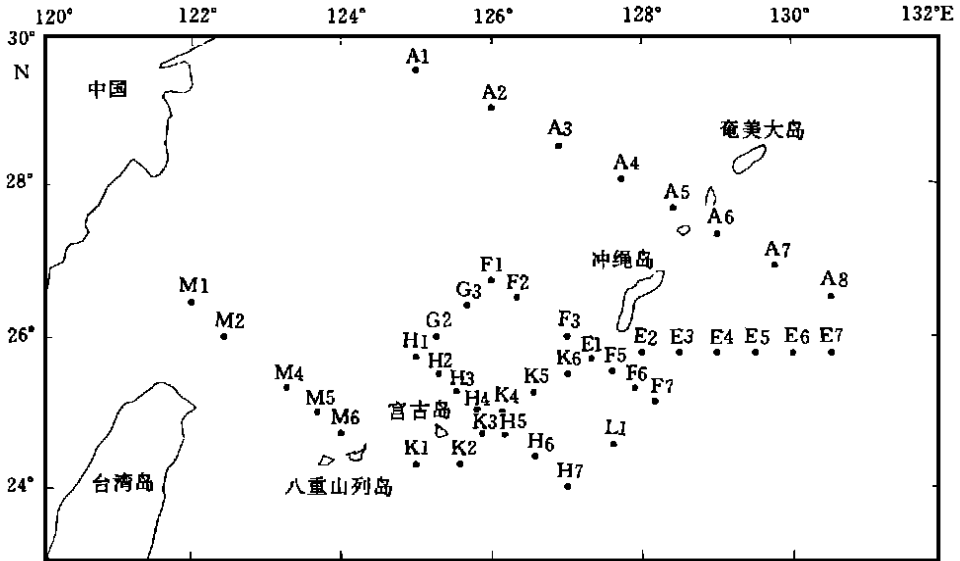


图 1 浮游植物调查站位图(A1 至 M6 为各断面调查站位)

Fig. 1 Survey area and phytoplankton sampling stations (A1 to M6 are the section stations)

现场采样工具为《海洋调查规范》(国家技术监督局, 1992)所规定的小型浮游生物网(网口直径为 37cm, 面积为 0.1m²; 网身全长 270cm; 筛绢网目为 173in/d/cm, 孔径约为 76μm)。采样时于各取样站垂直拖网 1 次(对于水深小于 200m 的站点由底至表拖网, 对于水深大于 200m 的站点由 200m 深处至表拖网)。样品用甲醛固定, 使福尔马林最终浓度不超过 2%。室内样品分析亦按《海洋调查规范》和《浮游植物手册》(Sournia, 1978)要求。标本鉴定和定量计数在显微镜下进行。

1.2 浮游植物群落结构指数的计算方法

Shannon-Weaver 多样性指数(H')(Shannon *et al.*, 1949):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i, H_{\max} = \log_2 S \quad (1)$$

式中, P_i 为第 i 种在样品中的数量比率, $P_i = N_i / N$; N_i 为第 i 种在样品中的个体数量; N 为样品中的个体数量; S 为总种类数。

$$\text{均匀度}(J) \text{ (Pielou, 1969): } J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (2)$$

$$\text{Simpson 多样性指数}(D) (\text{Simpson, 1949}): D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (3)$$

$$\text{物种丰富度 Margalef 指数}(d_{Ma}) (\text{Margalef, 1957}): d_{Ma} = \frac{(S-1)}{\ln N} \quad (4)$$

1.3 模糊综合评判的数学模型

模糊综合评判的数学模型主要参照傅子琅(1996), 并作适当修改。

$$1.3.1 \text{ 确定因素集合}(U) \quad U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\} \quad (5)$$

$$\text{确定评判集合}(V) \quad V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\} \quad (6)$$

$$1.3.2 \text{ 建立模糊矩阵}(R) \quad R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad (7)$$

1.3.3 确立因素 U 的权集(A) 令 A_i 为 i 个因素 U_i 所对应的权, 且一般规定 $\sum A_i = 1$, 从解集中选定若干权重分配 A_1, A_2, \dots, A_s , 计算各权集分配集 A_i 的评判指标,

$$B_i = A_i \times R (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

其中, B_i 为模糊评判集, A_i 为各权集, \times 为内积, 运用 $M(\wedge, \vee)$ 算子, 即先取小后取大。

计算贴近度以及最大贴近度所对应的权重, 最终选定权重分配。利用模糊关系方程 Tsukamoto 逆解法(赵德齐, 1995), 求解权集 A 。

$$1.3.4 \text{ 求因素的模糊综合评判集}(B) \quad B = A \times R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (9)$$

式中, b_i 为模糊子集 B 的第 i 种决断。

1.3.5 对评判结果作归一化处理模糊集合(C)

$$C = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n) = \left(\frac{b_1}{\sum b_i}, \frac{b_2}{\sum b_i}, \frac{b_3}{\sum b_i}, \dots, \frac{b_n}{\sum b_i} \right) \quad (10)$$

式中, c_i 为模糊子集 C 的第 i 种综合决断。

1.3.6 根据最佳隶属原则, 选隶属度最大值, 得出最终评判结果。

2 结果和讨论

2.1 调查区浮游植物种类组成及群落结构

调查区浮游植物种类繁多, 组成复杂, 经鉴定有 95 属 473 种(含 75 变种、22 变型)。在种类组成上甲藻占优势, 而在细胞丰度上硅藻占有绝对优势。硅藻的丰度占浮游植物总丰度的 95.4%, 甲藻的种类虽多, 但在丰度上仅占浮游植物总丰度的 2.3%, 另外蓝藻在丰度上占有一定比例(平均 $> 5 \times 10^4$ 条/ m^3), 而硅鞭藻分布虽广, 但丰度很少, 个别站位会出现极少的金藻、绿藻、黄藻。

调查区不同站位浮游植物的群落结构指数根据式(1)–(4) 求出, 如表 2。浮游硅藻和浮游甲藻的群落结构指数亦按以上方法求出。虽然理论上要求探明调查区浮游植物所有种类数以期计算多样性指数, 但在表 2 中物种数 S 不包括偶见种, 否则计算的 Shannon-Weaver 多样性指数(H')、均匀度(J)、Simpson 多样性指数(D) 和物种丰富度 Margalef 指数(d_{Ma}) 将与实际调查结果产生较大差异。

表 1 调查区浮游植物种类分类汇总(包含变种和变型)

Tab. 1 Different classes of phytoplankton in survey area (include varietate and forms)

门类	属	种	变种	变型	占总种数(%)
甲藻	24	246	58	15	52.0
硅藻	64	216	16	7	45.7
蓝藻	2	5	0	0	1.1
金藻	3	4	1	0	0.8
绿藻	2	2	0	0	0.4
小计	95	473	75	22	100.0

表 2 调查区浮游植物多样性指数

Tab. 2 The matrix of phytoplankton diversity index in survey area

站位	物种数 S	丰富度 d_{Ma}	多样性指数 H'	多样性指数 D	均匀度 J
A2	24	2.385	4.090	0.075	0.892
A1	61	5.309	3.922	0.161	0.661
A3	108	8.260	4.612	0.222	0.683
A4	20	2.146	3.627	0.016	0.839
A5	48	4.662	4.178	0.118	0.748
A6	72	7.246	5.276	0.264	0.855
A7	32	3.557	4.372	0.113	0.874
A8	29	3.287	4.206	0.090	0.866
E1	39	3.673	4.285	0.092	0.811
E2	34	3.351	4.474	0.125	0.879
E3	25	2.562	3.755	0.076	0.809
E4	37	3.691	4.479	0.163	0.860
E5	37	3.516	4.223	0.118	0.811
E6	22	2.460	4.100	0.058	0.919
E7	57	5.361	5.020	0.210	0.861
F1	43	3.693	3.511	0.287	0.647
F2	28	2.899	3.968	0.133	0.825
F3	29	2.958	3.922	0.090	0.807
F5	34	3.529	4.429	0.121	0.871
F6	30	3.008	4.094	0.098	0.834
F7	20	2.201	3.961	0.033	0.917
G2	32	3.037	4.076	0.088	0.815
G3	36	3.012	3.386	0.289	0.655
H1	32	3.033	3.731	0.182	0.746
H2	46	3.875	3.916	0.082	0.709
H3	28	2.916	4.092	0.076	0.851
H4	34	3.194	4.127	0.068	0.811
H5	36	3.627	4.312	0.120	0.834
H6	30	2.899	3.590	0.127	0.732
H7	33	3.407	4.196	0.186	0.832
I1	45	4.370	4.519	0.143	0.823
K1	22	2.396	3.988	0.067	0.894
K2	34	3.487	4.554	0.149	0.895
K3	28	2.980	4.165	0.138	0.866
K4	43	3.738	3.631	0.174	0.669
K5	32	3.377	4.338	0.133	0.868
K6	22	2.384	3.863	0.089	0.866
M1	13	1.316	3.308	0.025	0.894
M2	13	1.312	2.550	0.310	0.689
M4	39	3.559	4.105	0.122	0.777
M5	46	4.194	3.828	0.357	0.693
M6	33	3.013	3.491	0.197	0.692

2.2 调查区浮游植物多样性程度的模糊综合评判

2.2.1 确定调查区浮游植物多样性程度的因素集合和评判集合 理论上浮游植物多样性指数分布取决于群落中各种的相互作用, 所以其数值分布是呈钟型。在一个自然的群落中很少会有浮游植物 Shannon-weaver 指数超过 5。浮游植物多样性指数按 Shannon-weaver 指数以每细胞一个比特计的话(严格意义上以 2 为底数而不是以 e 为底数), 通常在近岸水域中为 1—2.5, 大洋中为 3.5—4.5, 河口区、污染水域和上升流区会有较低的数值。本文根据浮游植物在各大洋区、近岸区及河口区多样性指数的阈值范围(Margalef, 1978), 结合调查区海域浮游植物的个体数量、种类数量和多样性指数变动范围, 给各个评判因素进行频数划分, 并界定了浮游植物多样性评判界值(表 3)。根据表 2、表 3 可以得到琉球群岛附近海域浮游植物多样性程度在不同评判界值的评判因素集合(表 4)。

表 3 浮游植物多样性程度不同因素的阈值评判集合(V)

Tab. 3 The phytoplankton diversity indexes evaluation set of different factors at different levels

多样性指数	很低 I	低 II	一般 III	高 IV	很高 V
S	< 15	15—24	25—34	35—44	≥45
d_{Ma}	< 1.5	1.5—1.99	2—2.49	2.5—4	≥4
H'	< 1.5	1.5—2.49	2.5—3.49	3.5—4.5	≥4.5
D	< 0.03	0.03—0.04	0.05—0.09	0.1—0.2	≥0.2
J	< 0.68	0.68—0.73	0.74—0.79	0.80—0.88	≥0.88

表 4 调查区浮游植物多样性程度参数在不同界值的站位数

Tab. 4 The station numbers according to phytoplankton diversity index evaluation set in survey area

多样性程度	很低 I	低 II	一般 III	高 IV	很高 V
U_1	2	6	18	8	8
U_2	2	0	6	27	7
U_3	0	0	4	33	5
U_4	2	1	13	19	7
U_5	4	6	3	23	6

注: U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 和 U_5 分别为 S 、 d_{Ma} 、 H' 、 D 和 J 的多样性程度

2.2.2 求 UV 的模糊矩阵(R) 根据表 4 得到不同因素评价的模糊映射 $F: U \rightarrow F(V)$, 联合各因素评判, 得到模糊关系 $R = R_f$

$$R = \begin{pmatrix} 0.05 & 0.14 & 0.43 & 0.19 & 0.19 \\ 0.05 & 0.00 & 0.14 & 0.64 & 0.17 \\ 0.00 & 0.00 & 0.10 & 0.78 & 0.12 \\ 0.05 & 0.02 & 0.31 & 0.45 & 0.17 \\ 0.10 & 0.14 & 0.07 & 0.55 & 0.14 \end{pmatrix} \quad (11)$$

2.2.3 求权集(A) 采用最佳权重比较法, 首先通过评判因素 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 、 U_5 的相对重要性对比, 试选出几组权集 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 进行试算, 综合决断参照 Margalef (1978) 给出, 经过计算贴近度和最大贴近度对应的权重, 最后选定 $A = (0.1, 0.1, 0.4, 0.$

2, 0. 2) 为权集, 即突出 H' 的重要性。 S 和 d_{Ma} 都是基于海域内物种的个数考虑而忽略了个体的重要性, D 和 J 从概率统计的角度对多样性评判其结果与样本的容量有密切关系, 只有 H' 是基于信息论有坚实的理论基础, 所以选用以上的权集。 试求因素的模糊评判集 B 选用 $M(\wedge, V)$ 算子

$$B = A \times R_1 = (0. 1, 0. 1, 0. 4, 0. 2, 0. 2) \times \begin{pmatrix} 0. 05 & 0. 14 & 0. 43 & 0. 19 & 0. 19 \\ 0. 05 & 0. 00 & 0. 14 & 0. 64 & 0. 17 \\ 0. 00 & 0. 00 & 0. 10 & 0. 78 & 0. 12 \\ 0. 05 & 0. 02 & 0. 31 & 0. 45 & 0. 17 \\ 0. 10 & 0. 14 & 0. 07 & 0. 55 & 0. 14 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$= (0. 10, 0. 14, 0. 20, 0. 40, 0. 17)$$

采用模糊关系方程的逆解法, 求权集(A)。 令 B, R_1 为已知, 求 A 的最大解:

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \times \begin{pmatrix} 0. 05 & 0. 14 & 0. 43 & 0. 19 & 0. 19 \\ 0. 05 & 0. 00 & 0. 14 & 0. 64 & 0. 17 \\ 0. 00 & 0. 00 & 0. 10 & 0. 78 & 0. 12 \\ 0. 05 & 0. 02 & 0. 31 & 0. 45 & 0. 17 \\ 0. 10 & 0. 14 & 0. 07 & 0. 55 & 0. 14 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$= (0. 10, 0. 14, 0. 20, 0. 40, 0. 17)$$

根据模糊关系方程, 应用 Tsukamoto 方法(赵德齐, 1995) 求最大解。 得到最大解为:

$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \bar{X} = (0. 17, 0. 4, 0. 4, 0. 2, 0. 4)$, 经代回(13)式检验为最大解。 后归一化处理, 得到权集(A): $A = (0. 108, 0. 255, 0. 255, 0. 127, 0. 255)$

2. 2. 4 求因素的模糊综合评判集(B)

$$B = A \times R_1 = (0. 108, 0. 255, 0. 255, 0. 127, 0. 255) \times \begin{pmatrix} 0. 05 & 0. 14 & 0. 43 & 0. 19 & 0. 19 \\ 0. 05 & 0. 00 & 0. 14 & 0. 64 & 0. 17 \\ 0. 00 & 0. 00 & 0. 10 & 0. 78 & 0. 12 \\ 0. 05 & 0. 02 & 0. 31 & 0. 45 & 0. 17 \\ 0. 10 & 0. 14 & 0. 07 & 0. 55 & 0. 14 \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$= (0. 10, 0. 14, 0. 14, 0. 255, 0. 17)$$

2. 2. 5 综合评判结果(C)

$$C = \left[\frac{0. 1}{0. 805}, \frac{0. 14}{0. 805}, \frac{0. 14}{0. 805}, \frac{0. 255}{0. 805}, \frac{0. 17}{0. 805} \right] = (0. 124, 0. 174, 0. 174, 0. 317, 0. 211) \quad (15)$$

其中, 归一化处理模糊集合后, 得到隶属度的最大值为 0. 317, 可知 1997 年夏季琉球群岛附近海域浮游植物的多样性程度属于高的。

2. 3 调查区浮游硅藻和甲藻的多样性程度模糊综合评判

调查区浮游硅藻和浮游甲藻多样性指数的模糊矩阵如(16)和(17)式, 应用以上方法得到浮游硅藻权集 $A_{diatom} = (0. 1, 0. 1, 0. 27, 0. 26, 0. 27)$ 和浮游甲藻 $A_{dinoflagellate} = (0. 29, 0. 14, 0. 29, 0. 14, 0. 14)$ 。 对调查区浮游硅藻和甲藻的多样性程度的模糊综合评判结果如表 5。 调查区浮游硅藻多样性程度的评判结果介于一般和高之间, 浮游甲藻多样性程度的评判结果属于很低。 以上结果比整体浮游植物群落多样性程度的评判结果有不同程

度的降低。根据浮游甲藻的 Shannon-weaver 多样性指数和高均匀度说明此海区浮游植物群落属浮游植物群落阶段 III (Margalef, 1967, stage III), 调查区浮游甲藻的多样性应为高的, 与评判结果相悖。另根据多样性原理, 海区内海洋生物的多样性应包含尽可能多的信息, 如种类数和每个种的个体的数量, 甚至包括个体的大小和所持有的生物量。以上两点说明, 对于不同的浮游植物类群应使用不同的评判界值。

$$R_{\text{diatom}} = \begin{pmatrix} 0.19 & 0.40 & 0.31 & 0.05 & 0.05 \\ 0.17 & 0.19 & 0.36 & 0.21 & 0.07 \\ 0.00 & 0.02 & 0.38 & 0.53 & 0.07 \\ 0.29 & 0.14 & 0.19 & 0.26 & 0.12 \\ 0.10 & 0.14 & 0.07 & 0.55 & 0.14 \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$R_{\text{dinoflagellate}} = \begin{pmatrix} 0.76 & 0.22 & 0.02 & 0.00 & 0.00 \\ 0.02 & 0.03 & 0.05 & 0.88 & 0.02 \\ 0.60 & 0.38 & 0.02 & 0.00 & 0.00 \\ 0.38 & 0.22 & 0.19 & 0.19 & 0.02 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.02 & 0.98 \end{pmatrix} \quad (17)$$

表 5 调查区浮游硅藻和浮游甲藻的模糊综合评判结果

Tab. 5 The results of planktonic diatoms and dinoflagellates fuzzy evaluations in survey area

多样性程度	很低	低	一般	高	很高
浮游硅藻	0.24	0.13	0.25	0.25	0.13
浮游甲藻	0.29	0.28	0.14	0.14	0.15

2.4 浮游植物模糊综合评判多样性指数的选择

Travers(1971) 曾在地中海进行了较为全面的多样性指数的研究, 指出应用基于信息论的多样性指数 (H') 解释浮游生物群落结构最为恰当合理。Heip 等(1974) 从统计学显著性和直接观测相似性或相异性的比较得出, 浮游植物多样性研究时, 最好结合 H' 和 J 一起使用。Robinson 等(1984) 对 58 个实验微生物生态系进行了 7 种多样性指数的比较研究, 发现 H' 和 J 对外界强制函数变化的最为敏感。Valentin 等(1991), 经比较研究 8 种浮游植物多样性指数后, 认为 H' 与其他指数有最好的相关性。根据本文对浮游植物、浮游硅藻和浮游甲藻的最大贴适度权集研究的结果也表明, 浮游植物多样性指数中 H' 最为合理, 另外应结合 d_{Ma} 和 J 或其他包含信息组分 (information content) 的多样性指数一同使用。 H' 是源于信息论的, 所以在使用的过程中应注意信息量采集的充分程度, 否则将出现相悖的结果。

3 结论

3.1 1997 年 7 月琉球群岛岛链两侧海域浮游植物的多样性程度是高的。

3.2 应用模糊综合评判可以更好地进行较为客观的多样性评价。

3.3 对于不同的浮游植物类群不能用相同的模糊评判界值, 同样对于不同的海洋生物类群也不能用同样的模糊评判界值。

3.4 Shannon-Weaver 指数是较合理的浮游植物多样性指数, 但在模糊评判中应结合尽量多的多样性指数进行综合评判。

对于琉球群岛岛链两侧浮游植物的多样性程度模糊综合评判的结果说明,模糊综合评判可以灵敏地、客观地评价海区浮游植物的多样性程度,模糊评判阈值的界定为今后进行各海区浮游植物多样性提供了基本依据。

参 考 文 献

- 刘东艳,孙 军,钱树本,2000. 琉球群岛及其邻近海域的浮游甲藻——1997年夏季的种类组成和丰度分布. 见:国家海洋局科学技术司,中国海洋学文集(12). 北京:海洋出版社,170—182
- 孙 军,刘东艳,钱树本,2000. 琉球群岛及其邻近海域的浮游硅藻——1997年夏季的种类组成和丰度分布. 见:国家海洋局科学技术司,中国海洋学文集(12). 北京:海洋出版社,158—169
- 陈清潮,黄良民,尹健强等,1994. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究. 南沙群岛及其邻近海区生物多样性研究 I. 北京:海洋出版社,51—57
- 李凤业,史玉兰,何丽娟等,1999. 冲绳海槽晚更新世以来沉积速度的变化与沉积环境的关系. 海洋与湖沼,30(5): 540—545
- 赵德齐,1995. 模糊数学. 北京:中央民族大学出版社,117—124
- 郭志刚,杨作升,曲艳慧等,1999. 东海中陆架泥质区及其周边表层沉积物碳的分布与固碳能力的研究. 海洋与湖沼,30(4): 421—426
- 傅子琅,1996. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性程度的模糊综合评判. 南沙群岛及其邻近海区生物多样性研究 II. 北京:海洋出版社,44—50
- 国家技术监督局,1992. 海洋生物调查,海洋调查规范. 北京:中国标准出版社,17—20
- Chevenet F S, Doledec S, Chessel D, 1994. A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwat Biol*, 31: 259—309
- Guegan J F S, Lek S, Oberdorff T, 1998. Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *Nature*, 391: 382—384
- Heip C, Engels P, 1974. Comparing species diversity and evenness indices. *J Mar Biol Ass UK*, 54: 559—563
- Lloyd M, Zar J H, Karr J R, 1968. On the calculation of information——theoretical measures of diversity. *Amer Midland Nat*, 79: 257—272
- Margalef R, 1957. La teoria de la informacion en ecologia. *Mem R Acad Cienc Art*. Barcelona, 32: 373—449
- Margalef R, 1978. Diversity. In: Sournia A. ed. *Phytoplankton manual*. Monographs on oceanographic methodology 6 Paris: Unesco, 251—260
- Margalef R, 1967. Succession in marine populations. *Advg Frontiers Pl Sci*, New Delhi, 2: 137—188
- Pautou G, Arens M F, 1994. Theoretical habitat templates, species traits, and species richness: Floodplain vegetation in the Upper Rhone River. *Freshwat Biol*, 31: 507—522
- Pielou E C, 1969. An introduction to mathematical ecology. New York: Wiley-Interscience, 1—286
- Robinson J V, Sandgren C D, 1984. An experimental evaluation of diversity indices as environmental discriminators. *Hydrobiologia*, 108: 187—196
- Shannon E E, Weaver W, 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, Chicago, Ill. London: Univ. Illinois Press, 125
- Simpson E H, 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688
- Sournia A, 1978. *Phytoplankton manual*. In: Sournia A ed. *Monographs on Oceanographic Methodology* 6. Paris: Unesco, 1—337
- Sun Jun, Liu Dongyan, Qian Shuben, 2000. The standing crop distribution and species composition of phytoplankton near Ryukyu-gunto water and its correlation with the water mass in summer, 1997. In: Su Jian, Yuan Yaochu ed. *The Second China-Japan Joint Symposium on Cooperative Study of Subtropical Circulation System*. Beijing: China Ocean Press, 189—217

Travers M, 1971. Diversité du microplancton du Golfe de Marseille en 1964. *Mar Bio*, 8: 308—343

Valentin J L, Macedo-Saidah F E, Tenenbaum D R *et al*, 1991. The specific diversity indices for analysing phytoplankton succession. Application to the Cabo Frio (RJ, Brazil) upwelling ecosystem. *Neritica*, 6: 1—2

FUZZY EVALUATION ON THE MARINE PHYTOPLANKTON DIVERSITY OF RYUKYU-GUNTO AND ITS ADJACENT WATERS

SUN Jun, LIU Dong-Yan, WEI Hao, QIAN Shu-Ben

(*Marine Life Science College, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003*)

(*Institute of Physical Oceanography, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003*)

Abstract Based on the phytoplankton diversity data from the China-Japan joint investigation in subtropical circulation waters in summer 1997, and with the principle of Fuzzy Mathematics, the fuzzy evaluation is given on marine phytoplankton diversity around Ryukyu-gunto and its adjacent waters ($23^{\circ}30'N - 29^{\circ}30'N$, $122^{\circ}30'E - 130^{\circ}30'E$). Net phytoplankton samples from 42 grid stations were analyzed. Phytoplankton diversity indexes such as species abundance (S), Margalef species richness (d_M), Shannon-Weaver diversity index (H'), Simpson diversity index (D) and Pielou even index (J) are calculated and are taken as evaluation index. The phytoplankton diversity is determined by 5 grades: very low, low, normal, high and very high. The grade criteria to every evaluation index are given. The evaluation set of different diversity indexes has established for phytoplankton diversity fuzzy evaluation. The value of subordinate degree of evaluation indexes is determined for the stations. All the values of subordinate degree are composed of a fuzzy relationship matrix $R(5, 5)$. The given weight make up a vector $A(1, 5)$ according to the importance and reliability of evaluation index. Shannon-Weaver diversity index (H') is chosen as the most important one. The fuzzy equation is calculated by Tsukamoto method for validating the given weight. According to the maximum subordinate degree principle, the fuzzy evaluation set is calculated as a fuzzy vector $B = A \circ R$ by M arithmetic operators. The result shows that the phytoplankton diversity is high in the survey area. The same evaluation set is used for planktonic diatom and dinoflagellate fuzzy evaluation in the same survey area. However, the result is lower than that of phytoplankton fuzzy evaluation. This shows that it is not suitable to judge different phytoplankton groups by the same evaluation set. Although the Shannon-Weaver index is the best according to the discriminating methods, it should be connected with other "information content" base diversity indexes in fuzzy evaluation.

Key words Ryukyu-gunto, Phytoplankton, Diversity index, Fuzzy evaluation