

保安湖莲群丛分布格局分形特征的初步研究

潘文斌 蔡庆华

(中国科学院水生生物研究所,淡水生态与生物技术国家重点实验室,武汉 430072)

摘要:应用非线性科学中的分形几何理论,以保安湖扁担塘湖汊中的莲群丛为对象,研究该群丛小尺度水平格局的分形特征。主要应用计盒维数和信息维数公式计算群丛中莲种群和菱种群的个体分布格局的分维值,莲的计盒维数为1.92,信息维数为1.88;菱的计盒维数为1.04,信息维数为1.11。表明在采样区莲的空间占有程度远大于菱,是该时期的优势种,而菱则成为伴生种。莲在各尺度上的分布较均匀。最后讨论了莲的分维值在连续样方上的变化。

关键词:莲群丛;分形;尺度;水平格局;分维值

中图分类号: Q948.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2000)05-0405-07

莲 *Nelumbo nucifera* Gaertn. 和野菱 *Trapa insica* Sieb. et Zucc. 是两种具有经济价值的水生植物。莲是多年生的草本,其根状茎和种子皆可食用,整棵植株可作药用。野菱为一年生水生植物,其果实可供食用。国内对莲的研究涉及最多的是植被调查和群落结构研究,对菱的研究则集中于群落结构和分类方面的研究。近年来对于尺度、过程和格局的研究较多,这主要是由于对它们研究已成为探求生态系统的变化不可缺少的一部分^[1-6]。过去对莲群落的个体分布格局虽亦有报道,但应用分形几何理论研究它们的水平分布格局,不仅对水生植被的基础理论研究是一种补充,而且对合理利用其资源也有着重要意义。

1 材料与方法

保安湖(114°23'E, 30°15'N)位于湖北黄石的大冶市西北,为长江中游南岸的一个浅水草型湖泊。它东邻三山湖,西隔梁子湖,南邻保安镇,北濒长江,属于梁子湖湖群。常年平均气温为20℃左右,无霜期长达280d。湖表面积为39.3km²,由主体湖区、桥墩湖区、扁担塘、肖四海四个部分组成。

1996年8月24—25日对扁担塘的一个小湖汊中的自然莲群丛进行调查,样方为32×16m²的长方形。群丛的伴生种有菱和槐叶萍 *Salvinia natans* (L.) All., 水深为1.2—1.8m。研究个体分布时,考虑到莲群丛处于盛花期,且叶是光合作用的主要器官,故以莲的叶片和花果数为单位进行统计。而对于野菱则采取计其个体数的方法,这是考虑它

收稿日期:1999-10-15;修订日期:2000-05-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39670150)

作者简介:潘文斌(1973—),男,浙江临安人,博士,从事系统生态学及流域生态学方面的研究

的一个个体与一片莲叶占据近似大小的水平空间。统计的最小尺度为 $25 \times 25 \text{cm}$, 统计每个单位中的“个体数”。用于计算分形维数的公式如下:

a 计盒维数 用边长为 ϵ 的盒子覆盖分形体, $N(\epsilon)$ 为对应于划分尺度 ϵ 的非空盒子数, 则

$$D_b = - \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln \epsilon} \quad (1)$$

D_b 为计盒维数。

b 信息维数 在计盒维数中只考虑了格子的数目而没有考虑每个盒子所覆盖的点的多少, 信息维考虑了这一点:

$$D_I = - \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{I(\epsilon)}{\ln \epsilon} \quad (2)$$

其中 D_I 为信息维数, $I(\epsilon) = - \sum P_i \ln P_i$ 是尺度为 ϵ 时的 Shannon 信息量, 其中 P_i 为一个点落在第 i 个盒子中的概率, ϵ 为划分尺度(盒子的边长)。

数据由自编和通用统计软件在微机上处理。

2 结果

由于样方是 $32\text{m} \times 16\text{m}$ 的长方形, 将一角定为坐标原点, 在长度上每次移动 1m , 便可得到 33 个 $16\text{m} \times 16\text{m}$ 的小长方形。将其编号为 $0-32$ 。将处理得到的估计莲和野菱的分维的参数列于表 1、2 中。

从得到的数据来看, 八月份扁担塘湖汉中的莲群丛的莲处于其生长的旺季。莲种群对群丛的水平空间的占有程度高, 计盒维数 1.92 , 信息维数 1.88 。而且从相关系数 $r = -0.99915$ 来看, 在各尺度下莲的叶、花和果的分布格局是具有自相似性的, 且显著性水平较高。而菱的计盒维数只有 1.04 , 信息维数稍高, 为 1.11 , 对群丛水平空间的占有程度低。这主要是由于菱的盖度和生物量在六月份达到高峰, 到八月份已经处于衰退期。这说明了莲和菱在时间上有一定的生态位分化。但从菱的一个个体的叶的分布来看, 它仍具有占据较大空间的趋势。莲的分维值较高。几乎为 2 , 说明了其群集的程度高于菱。从表 1 中的非空盒子数来看, 在尺度等于 1 和 2m 时, 有的样方出现了该尺度下的所有盒子均有莲出现; 而在尺度为 4 和 8m 时, 所有的样方的盒子里都有莲出现。这和莲的根状茎系统的分枝、生叶式样的特征有关。可以估计在自然条件下, 一个完整的莲的占据的水平空间在 4m^2 和 16m^2 之间, 而 1m^2 和 2m^2 之间则是单个根状茎占据的空间。而菱的非空盒子数则只在尺度为 8m 时才达到饱和, 与在采样时观察到菱的个体以一种镶嵌的形式散布于莲种群的现象相一致, 这极可能与它的繁殖方式有关。上述数据说明了一个物种的分布格局与它的繁殖方式和生长型有关。

表 1 计算莲分维的参数

Tab.1 Parameters for fractal dimension calculation of *Nelumbo nucifera*

编号	花叶数量	参数	尺度(SCALE)单位:m					编号	花叶数量	参数	尺度(SCALE)单位:m				
			0.5	1.0	2.0	4.0	8.0				0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
0	1092	N(S)	655	229	64	16	4	17	1438	N(S)	813	249	64	16	4
		I	6.38	5.29	4.01	2.69	1.36			I	6.58	5.41	4.09	2.73	1.36
1	1103	N(S)	671	229	62	16	4	18	1472	N(S)	826	251	64	16	4
		I	6.39	5.29	4.00	2.68	1.35			I	6.59	5.43	4.10	2.74	1.37
2	1126	N(S)	677	230	62	16	4	19	1496	N(S)	838	252	64	16	4
		I	6.40	5.29	4.00	2.66	1.34			I	6.61	5.43	4.11	2.75	1.37
3	1139	N(S)	685	229	63	16	4	20	1523	N(S)	844	254	64	16	4
		I	6.41	5.30	4.01	2.67	1.34			I	6.62	5.45	4.11	2.75	1.38
4	1156	N(S)	691	231	64	16	4	21	1539	N(S)	853	254	64	16	4
		I	6.42	5.30	4.01	2.66	1.33			I	6.63	5.45	4.11	2.76	I
5	1173	N(S)	698	230	64	16	4	22	1558	N(S)	861	255	64	16	N(S)
		I	6.43	5.30	4.00	2.67	1.33			I	6.64	5.46	4.12	2.76	I
6	1201	N(S)	707	231	62	16	4	23	1573	N(S)	863	254	64	16	N(S)
		I	6.44	5.31	4.00	2.68	1.32			I	6.64	5.45	4.12	2.76	I
7	1225	N(S)	717	232	63	16	4	24	1580	N(S)	866	255	64	16	N(S)
		I	6.46	5.32	4.02	2.68	1.33			I	6.64	5.46	4.13	2.76	I
8	1236	N(S)	719	233	64	16	4	25	1605	N(S)	878	255	64	16	N(S)
		I	6.46	5.32	4.03	2.69	1.32			I	6.66	5.46	4.13	2.76	I
9	1257	N(S)	719	233	64	16	4	26	1614	N(S)	879	256	64	16	N(S)
		I	6.46	5.34	4.03	2.68	1.31			I	6.70	5.47	4.13	2.77	I
10	1278	N(S)	732	236	63	16	4	27	1606	N(S)	875	255	64	16	N(S)
		I	6.47	5.34	4.03	2.68	1.31			I	6.65	5.46	4.13	2.77	I
11	1297	N(S)	743	237	64	16	4	28	1604	N(S)	871	256	64	16	N(S)
		I	6.48	5.35	4.04	2.69	1.33			I	6.66	5.47	4.13	2.76	I
12	1317	N(S)	748	237	64	16	4	29	1600	N(S)	871	255	64	16	N(S)
		I	6.49	5.35	4.05	2.69	1.33			I	6.65	5.46	4.12	2.77	I
13	1335	N(S)	758	239	63	16	4	30	1594	N(S)	873	256	64	16	N(S)
		I	6.51	5.36	4.04	2.70	1.34			I	6.66	5.47	4.13	2.78	I
14	1356	N(S)	769	241	63	16	4	31	1585	N(S)	871	255	64	16	N(S)
		I	6.52	5.37	4.05	2.71	1.35			I	6.65	5.47	4.13	2.77	I
15	1377	N(S)	781	243	64	16	4	32	1600	N(S)	876	256	64	16	N(S)
		I	6.54	5.38	4.07	2.72	1.35			I	6.66	5.47	4.13	2.77	I
16	1398	N(S)	793	246	64	16	4								
		I	6.55	5.40	4.08	2.73	1.36								

表 2 计算菱分维的参数

Tab.2 Parameters for fractal dimension calculation of *Trapa insica*.

编号	花叶数量	参数	尺度(SCALE)单位:m					编号	花叶数量	参数	尺度(SCALE)单位:m				
			0.5	1.0	2.0	4.0	8.0				0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
0	320	N(S)	170	78	33	14	4	17	86	N(S)	61	45	26	12	4
		I	5.01	4.12	3.07	1.99	0.93			I	3.99	3.62	3.07	2.24	1.26
2	297	N(S)	160	81	35	13	4	18	86	N(S)	61	40	25	13	4
		I	4.94	4.08	3.04	1.85	0.94			I	3.99	3.51	2.98	2.25	1.28
2	269	N(S)	146	68	29	12	4	19	86	N(S)	61	45	27	12	4
		I	4.85	3.99	2.96	1.78	0.97			I	3.99	3.62	2.97	2.20	1.26
3	242	N(S)	133	71	29	12	4	20	81	N(S)	59	39	25	13	4
		I	4.75	3.95	2.93	1.82	1.03			I	3.97	3.49	2.92	2.27	1.30
4	210	N(S)	118	59	28	12	4	21	82	N(S)	60	44	26	14	4
		I	4.62	3.81	2.88	1.87	1.01			I	3.99	3.62	3.06	2.40	1.29
5	179	N(S)	107	64	31	14	4	22	83	N(S)	61	39	25	14	4
		I	4.53	3.87	2.91	2.05	1.06			I	4.00	3.49	3.00	2.45	1.31
6	162	N(S)	99	52	26	13	4	23	85	N(S)	63	44	27	14	4
		I	4.46	3.74	2.86	2.12	1.08			I	4.04	3.62	2.99	2.43	1.30
7	144	N(S)	92	58	26	14	4	24	88	N(S)	63	40	25	14	4
		I	4.40	3.82	2.92	2.23	1.14			I	4.03	3.51	2.91	2.39	1.30
8	124	N(S)	83	47	26	14	4	25	91	N(S)	64	44	26	13	4
		I	4.30	3.70	2.99	2.32	1.20			I	4.02	3.56	2.97	2.32	1.28
9	98	N(S)	70	50	29	13	4	26	97	N(S)	64	40	25	14	14
		I	4.15	3.72	3.11	2.24	1.12			I	4.00	3.43	2.80	2.23	1.23
10	88	N(S)	62	39	24	13	4	27	111	N(S)	70	47	30	14	4
		I	4.02	3.51	2.93	2.19	1.09			I	4.08	3.51	2.72	2.10	1.16
11	86	N(S)	61	46	25	12	4	28	124	N(S)	73	44	28	15	4
		I	4.00	3.64	2.88	2.18	1.09			I	4.12	3.45	2.65	1.98	1.07
12	84	N(S)	59	38	24	12	4	29	124	N(S)	72	48	28	14	4
		I	3.97	3.47	2.88	2.19	1.08			I	4.11	3.54	2.77	1.99	1.03
13	85	N(S)	60	45	26	14	4	30	129	N(S)	76	46	27	14	4
		I	3.99	3.62	3.04	2.31	1.17			I	4.17	3.51	2.66	1.84	0.91
14	86	N(S)	61	40	24	14	4	31	139	N(S)	82	49	31	14	4
		I	4.00	3.52	2.93	2.28	1.20			I	4.24	3.55	2.64	1.76	0.90
15	88	N(S)	63	46	26	14	4	32	141	N(S)	84	51	29	14	4
		I	4.04	3.65	2.93	2.26	1.22			I	4.27	3.62	2.69	1.82	0.93
16	92	N(S)	64	42	26	14	4								
		I	4.04	3.57	2.97	2.28	1.24								

根据表 1、2 的参数可以得到莲和菱的分维值(b 值),列于表 3。

表 3 莲和菱的计盒维数和信息维数值

Tab.3 Box-dimension and information dimension values of *Nelumbo nucifera* and *Trapa insica*.

编 号	莲的计盒维数和信息维数值						菱的计盒维数和信息维数值					
	$\ln(N(S)) = a - b\ln(S)$ ($p < 0.00006$)			$I = a - b\ln(S)$ ($p < 0.00002$)			$\ln(N(S)) = a - b\ln(S)$ ($p < 0.00740$)			$I = a - b\ln(S)$ ($p < 0.00373$)		
	a	b	-r	a	b	-r	a	b	-r	a	b	-r
0	5.34	1.86	0.99866	5.21	1.83	0.99929	4.32	1.33	0.99550	4.05	1.48	0.99934
1	5.34	1.86	0.99891	5.21	1.83	0.99934	4.32	1.33	0.99449	4.00	1.48	0.99865
2	5.34	1.87	0.99895	5.21	1.84	0.99940	4.18	1.29	0.99766	3.91	1.44	0.99835
3	5.35	1.87	0.99897	5.22	1.84	0.99937	4.16	1.27	0.99578	3.85	1.38	0.99837
4	5.36	1.87	0.99890	5.22	1.85	0.99941	4.05	1.21	0.99548	3.76	1.32	0.99934
5	5.36	1.87	0.99900	5.23	1.85	0.99945	4.07	1.17	0.98645	3.76	1.26	0.99794
6	5.36	1.88	0.99922	5.24	1.85	0.99946	3.93	1.13	0.99150	3.69	1.21	0.99798
7	5.37	1.88	0.99921	5.25	1.86	0.99943	3.94	1.11	0.98560	3.71	1.17	0.99510
8	5.38	1.88	0.99913	5.26	1.86	0.99938	3.84	1.05	0.98329	3.66	1.09	0.99228
9	5.38	1.89	0.99921	5.26	1.87	0.99934	3.80	1.02	0.97384	3.62	1.09	0.98354
10	5.38	1.89	0.99926	5.26	1.87	0.99936	3.64	0.95	0.97720	3.47	1.04	0.98697
11	5.39	1.90	0.99926	5.27	1.87	0.99941	3.69	0.98	0.97663	3.49	1.05	0.98623
12	5.40	1.90	0.99930	5.28	1.87	0.99943	3.61	0.94	0.97883	3.42	1.02	0.98665
13	5.40	1.90	0.99940	5.29	1.87	0.99951	3.70	0.95	0.96627	3.52	1.00	0.97866
14	5.41	1.91	0.99944	5.30	1.88	0.99951	3.65	0.94	0.97155	3.47	0.99	0.98686
15	5.42	1.91	0.99943	5.31	1.88	0.99948	3.72	0.97	0.96942	3.52	1.01	0.98782
16	5.43	1.92	0.99946	5.33	1.88	0.99949	3.70	0.96	0.97100	3.51	0.99	0.98813
17	5.44	1.93	0.99953	5.34	1.89	0.99954	3.69	0.98	0.97524	3.52	0.99	0.98357
18	5.45	1.94	0.99957	5.36	1.90	0.99952	3.65	0.95	0.97450	3.47	0.97	0.98875
19	5.46	1.94	0.99962	5.37	1.90	0.99955	3.69	0.98	0.97323	3.50	0.99	0.98840
20	5.47	1.94	0.99962	5.38	1.90	0.99953	3.63	0.94	0.97254	3.45	0.95	0.99016
21	5.47	1.95	0.99966	5.38	1.90	0.99960	3.69	0.95	0.96654	3.53	0.95	0.97907
22	5.47	1.95	0.99969	5.39	1.90	0.99957	3.65	0.93	0.96973	3.49	0.93	0.98096
23	5.47	1.95	0.99971	5.39	1.90	0.99960	3.72	0.96	0.96808	3.54	0.96	0.98291
24	5.48	1.95	0.99971	5.40	1.91	0.99955	3.67	0.95	0.97172	3.49	0.95	0.98696
25	5.48	1.96	0.99976	5.40	1.91	0.99963	3.71	0.98	0.97502	3.50	0.97	0.98784
26	5.48	1.96	0.99975	5.41	1.91	0.99958	3.68	0.95	0.97258	3.41	0.97	0.99273
27	5.48	1.95	0.99974	5.40	1.91	0.99960	3.80	1.00	0.96911	3.44	1.05	0.99660
28	5.48	1.95	0.99971	5.40	1.91	0.99956	3.79	0.99	0.97074	3.41	1.09	0.99862
29	5.48	1.95	0.99973	5.40	1.91	0.99961	3.80	1.11	0.97416	3.46	1.11	0.99621
30	5.48	1.95	0.99972	5.41	1.91	0.99958	3.80	1.02	0.97849	3.44	1.18	0.99840
31	5.48	1.95	0.99973	5.40	1.91	0.99959	3.88	1.05	0.97622	3.47	1.22	0.99913
32	5.48	1.95	0.99974	5.41	1.91	0.99958	3.89	1.06	0.98027	3.51	1.22	0.99848
整体	5.42	1.92	0.99915	5.32	1.88	0.99895	3.82	1.04	0.96784	3.58	1.10	0.97874

3 讨论

从公式计算结果来看,莲的分维值均大于 1,而小于 2,较合理;但菱的部分结果有小于 1 的现象(这部分结果均是在对采样条的中部的数据处理中得到的)。这可能是由于进行栅格化时,人为栅格化的假周期性造成,或在尺度为 0.25m 的情况下,已超出菱个体水平分布格局的分形特征范围。从信息维值(I)随尺度的增加而减小来看,该群丛内的莲和菱具有小尺度下的异质性。

一个有趣的现象是:各个样方中的莲的种群大小与编号有较好的相关关系,关系式如下:

$$\text{Population size} = 1101.18 + 18.3977(\text{Number}) \quad (3)$$

相关系数为 0.97992, $p < 0.00001$ 。这可能与水深的变化或种群扩散的方向性有关。同样样方中的菱的个体数在编号小于 11 的情况下,也可得到一个关系式:

$$\text{Population size} = 313.682 - 23.9545(\text{Number}) \quad (4)$$

相关系数为 -0.994885。

上述的结果与借助经典定性的研究方法对群丛的分析结果基本一致,这表明将分形几何理论用于大型水生植物群落格局或是更大尺度下的某变量的格局的分析是可行的。为了取得更好的结果,在大尺度下的格局研究需要结合地统计学方面区域化随机变量理论。如此才能更好地解释其中的生态学意义,得到的定量化的结果才会具有一定的尺度推绎价值。

参考文献:

- [1] 董全. 西方生态学近况[J]. 生态学报, 1996, 16(3): 314—324
- [2] 周进, 陈家宽. 湖北斧头湖浮叶水生植物群落学研究 II. 荇菜群落的结构[J]. 水生生物学报, 1996, 20(1): 49—56
- [3] K. Falconer(曾文曲译). 分形几何—数学基础及其应用[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1991
- [4] 李伟, 周进, 王微勤, 等. 斧头湖挺水植被的群落学研究 II. 莲群落 *Com. Nelumbo nucifera* 的结构[J]. 武汉植物学研究, 1992, 10(3): 273—279
- [5] 马克明, 张喜军, 陈继红, 等. 东北羊草草原群落格局的分数维(Fractal)理论研究 I. 分数维理论及其在小尺度水平格局研究中的应用[C]. 辛厚文主编. 分形理论及其应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993. 258—264
- [6] 邬建国. 生态学范式变迁综论[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 449—460
- [7] 蔡庆华, 赵斌, 潘文斌. 芦苇生长格局分形特征的初步研究[J]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 123—127
- [8] 陈家宽, 周进. 湖北斧头湖浮叶水生植物群落学研究 I. 菱群落的结构[J]. 水生生物学报, 1995, 19(1): 40—47

PRELIMINARY STUDIES ON FRACTAL CHARACTER OF HORIZONTAL PATTERN OF ASS. *NELUMBO NUCIFERA* IN BAOAN LAKE

PAN Wen-bin and CAI Qing-hua

(*Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Wuhan 430072*)

Abstract: We used the fractal geometric theory of non-linear science, studying the fractal character of the horizontal pattern of Ass. *Nelumbo nucifera* in Baoan Lake. Methods used to calculate fractal dimension values are box-dimension and information dimension. The results showed that the difference between in two macrophytes' the distribution of the association. *Nelumbo nucifera* was the dominant species in August. It was demonstrated that the box dimension of distribution of *Nelumbo nucifera* was 1.92, information dimension was 1.88; the box dimension of distribution of *Trapa insica* was 1.04, information dimension was 1.11. This result showed *Nelumbo nucifera* uniformly distributed at the given scales from 0.5m to 8m. The variety of the fractal dimension of *Nelumbo nucifera* in the sequent samples was discussed.

Key words: Association of *Nelumbo nucifera*; Fractal; Scale; Horizontal pattern; Fractal dimension