

长江三峡地区退化生态系统植物
群落物种多样性特征贺金生^① 陈伟烈^① 江明喜^② 金义兴^② 胡东^③ 路鹏^①^①中国科学院植物研究所 北京 100093, ^②中国科学院武汉植物研究所 武昌 430074
^③首都师范大学生物系 北京 100037

摘要 以三峡地区退化生态系统植物群落样地资料为基础,研究了不同退化类型、不同退化程度植物群落的物种多样性特征,分析了植物群落物种多样性与人为干扰和演替的关系,结果表明,受干扰较轻的退化类型,群落物种多样性比自然生态系统高,受干扰较严重的退化类型,群落物种多样性比自然生态系统低。随着生态系统的退化,群落物种丰富度先升高后又逐渐降低。从不同层次来看,乔木层物种多样性逐步减低,灌木层和草本层物种多样性则表现出先升高后又逐渐降低,退化森林生态系统各层次的物种多样性表现为灌木层、草本层>乔木层,和地带性生态系统常绿阔叶林的灌木层(包括乔木幼苗和幼树)>乔木层>草本层的格局有显著差别。若以空间代替时间,则表现出随着演替进程群落物种多样性升高后又降低。从群落各层次来看,乔木层随着演替进程物种多样性逐步升高,灌木层、草本层则先升高后又降低。

关键词: 退化生态系统,物种多样性,干扰,演替,三峡。

PLANT SPECIES DIVERSITY OF THE DEGRADED ECOSYSTEMS IN THE THREE GORGES REGION

He Jinsheng^① Chen Weilie^① Jiang Mingxi^②
Jin Yixing^② Hu Dong^③ Lu Peng^①^①Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, China^②Wuhan Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Wuchang, 430074, China^③Capital Normal University, Beijing, 100037, China

Abstract Plant species diversity of different types and different level of degraded ecosystems, and their correlation with human disturbance and succession were studied through field investigation. The results showed that slightly degraded communities had a higher species diversity, while the serious degraded ones had a lower diversity. In the course of degradation, plant community richness slightly increased and then decreased. In respect of different layer, species diversity of tree layer, shrub layer and herb layer decreased with a slight increase in shrub layer and herb layer in the first phase. Species diversity of shrub

• 中国科学院“八五”重点资助项目(KS85-107)和“八五”国家科技攻关资助项目(85-16-06)

本文初稿承蒙马克平研究员提出宝贵意见,李振宇研究员鉴定标本,黄建辉先生在写作中给予帮助,特此致谢。

收稿日期:1996-06-04,修改稿收到时间:1997-02-17。

layer and herb layer was larger than that of tree layer in the degraded forest types. This pattern was different from that for zonal evergreen broadleaf forest in which species diversity of shrub layer (including seedling and sapling) was large than that of tree layer. The species diversity of herb layer was the smallest. If different place of different stage instead of time course was used, community species diversity could increase and then decrease in the succession of communities. In the light of different layers, the species diversity of tree layer largely increased with succession, while those of shrub layer and herb layer increased first, and then decreased.

Key words: degraded ecosystem, species diversity, disturbance, succession, the Three Gorges Region.

生态学家对群落多样性的数量化和解释进行了不懈的努力^[1,2],尽管在多样性的功能和意义方面存在诸多疑问^[3],但是植物群落物种多样性(往往指植物种的多样性)作为生态系统多样性最直接和最易于观察研究的一个层次,一直受到重视。对植物群落多样性的研究多集中在自然生态系统方面^[4,5],它们在揭示群落与环境的关系上有重要作用。但是随着人们对自然资源不断开发利用,越来越多的生态系统变成了退化生态系统。退化生态系统在结构和功能方面与自然生态系统相比都发生了改变^[6,7],它们的物种多样性特点一直是人们感兴趣的问题。本文试图通过对三峡地区主要退化生态系统类型植物群落物种多样性的研究,揭示退化生态系统物种多样性的基本特征。

1 研究地区自然概况

三峡地区包括宜昌南津关至奉节的长江干流及两岸地区,北部包括大巴山以南至江边,南部包括长江—清江分水岭至江边地段,包括一系列的峡谷和宽谷。长江由西向东横穿巫山,形成举世闻名的长江三峡。三峡地区山地占67.8%,丘陵台地占29.5%,平地占0.9%,其它为1.8%^[8]。气候属亚热带湿润气候,处在中亚热带和北亚热带的过渡地带,年平均气温为16.5~19.0℃,1月平均气温3.4~7.2℃,7月平均气温达28~30℃,无霜期长达300~340d,该区降水丰沛,年平均降水量在1100mm左右,4~10月降水占全年的80%,但7~8月常有伏旱。石灰岩在三峡地区广为分布,土壤以黄壤、红壤、黄棕壤、棕色石灰土、水稻土、冲积土和粗骨土为主^[8]。

三峡地区位于我国东部的中亚热带北缘,地带性植被是以栲(*Castanopsis*)、楠(*Phoebe*)为主的常绿阔叶林^[9]。由于人类活动的巨大影响,原始性强的自然植被只有在中山以上地段才能见到,现在广泛分布的则是针叶林、针阔混交林、落叶阔叶林、灌丛和草丛等退化生态系统类型^[7,10](表1)。三峡地区的针叶林主要为马尾松(*Pinus massoniana*)林、柏木(*Cupressus funebris*)林及它们的疏林,落叶阔叶林主要有短柄枹栎(*Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*)林、栓皮栎(*Q. variabilis*)林等,针阔混交林常见的有马尾松、栓皮栎混交林。灌丛在三峡地区有着重要地位,其分布面积占库区总面积的20%,主要有黄栌(*Cotinus coggygria*)、檵木(*Loropetalum chinense*)、荆条(*Vitex negundo*)、铁仔(*Myrsine africana*)灌丛等。草丛主要有扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、白茅(*Imperata cylindrica* var. *major*)、芒(*Miscanthus*)草丛等。

2.1 样地调查

样地的设置采用典型取样法。取样面积乔木样方为20×20m²,灌木样方、草丛样方10×10m²。每个乔木样地设置4个10×10m²小样方,4个10×10m²灌木样方,4个10×10m²草本样方。记录项目主要包括:①乔木的高度、枝下高、胸径、冠幅;②灌木和草本的高度、盖度、株数、物候期;③生境因子如海拔、坡向、坡度、坡位、土壤类型等。

2.2 多样性指数的选择

测定群落物种多样性的指数常常是人们争论的焦点,有多种计算方法。为了能认真进行取舍,本文初

表1 三峡地区主要群落类型及分布的海拔、生境

Table 1 Main vegetation types and distribution in the Three Gorges Region

群落 Community types	海拔 Elevation	生境 Habitat
1 马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	200~1000	低山丘陵,红壤,黄壤黄棕壤
2 杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> forest	600~1200	低山丘陵,红壤,黄壤黄棕壤
3 柏木林 <i>Cupressus funebris</i> forest	300~1000	石灰岩地区,石灰土
4 栓皮栎林 <i>Quercus variabilis</i> forest	400~1200	低山丘陵,红壤,黄壤黄棕壤石灰土
5 油桐林 <i>Vernicia fordii</i> forest	200~800	低山丘陵
6 马尾松、栓皮栎混交林 <i>Pinus massoniana</i> , <i>Quercus variabilis</i> mixed forest	300~800	低山
7 青冈、栓皮栎混交林 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> , <i>Quercus variabilis</i> mixed forest	200~800	低山
8 乌冈栎林 <i>Quercus phillyraeoides</i> forest	1000~1200	石灰岩,土壤贫瘠
9 黄桷树丛 <i>Cotinus coggygria</i> shrubland	400~1500	黄壤黄,棕壤
10 槲木灌丛 <i>Loropetalum chinensis</i> shrubland	1500~800	石灰岩山坡
11 铁仔灌丛 <i>Myrsine africana</i> shrubland	150~800	石灰岩山坡
12 荆条灌丛 <i>Vitex negundo</i> shrubland	100~800	石灰岩地区
13 小果蔷薇灌丛 <i>Rosa cymosa</i> shrubland	300~1000	石灰岩地区,钙质土
14 盐肤木灌丛 <i>Rhus chinensis</i> shrubland	300~800	低山丘陵
15 悬钩子灌丛 <i>Rubus</i> sp. shrubland	100~800	石灰岩地区
16 马棘灌丛 <i>Indigofera pseudotinctoria</i> shrubland	200~800	低山
17 雀梅藤灌丛 <i>Segeretia thea</i> shrubland	200~800	石灰岩地区
18 野古草草丛 <i>Arundinella hirta</i> grassland	20~300	江边沙滩
19 扭黄茅草丛 <i>Heteropogon contortus</i> grassland	100~800	干旱山坡
20 耿草丛 <i>Miscanthus floridulus</i> grassland	100~800	江边,坡地
21 芒草丛 <i>Miscanthus sinensis</i> grassland	100~800	低山
22 斑茅草丛 <i>Saccharum arundinaceum</i> grassland	100~500	低山
23 荻草丛 <i>Arthraxon hispidus</i> grassland	200~600	干燥山坡

选较多应用6种物种多样性测度方法^[1,11]:

①丰富度(S) 指一个样地内所有物种项目;

②Simpson 指数 $D = N(N-1) / \sum_{i=1}^n n_i(n_i-1)$;

③Shannon-Wiener 指数 $H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$;

④种间相遇机率(PIE) $PIE = \sum_{i=1}^n n_i(N-n_i) / N(N-n_i)$;

⑤McIntosh 指数 $d = 1 - (\sum p_i^2)^{1/2}$;

⑥Pielou 的均匀度指数 $J = (- \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i) / \ln S$.

式中 P_i 为种 i 的相对重要值, n_i 为种 i 的重要值, N 为种 i 所在样方的各个种的重要值之和。

在对234组样方数据计算的基础上,经分析发现这些多样性指数可以分为3组,第1组包括 H' , PIE , McIntosh, Pielou 指数;第2组是 S ;第3组是 Simpson 指数。组内指数之间存在着非常显著的线性相关关系,如 H' 与 PIE , H' 与 McIntosh 指数; H' 与 J , 组间线性相关关系不显著,但 H' 与 $1/D$ 存在着极显著的线性相关关系(图1)。在有显著相关关系的多样性指数之间,选择1个就可以代表。因此,最后本文选择 S , H' , D

进行最后结果分析。

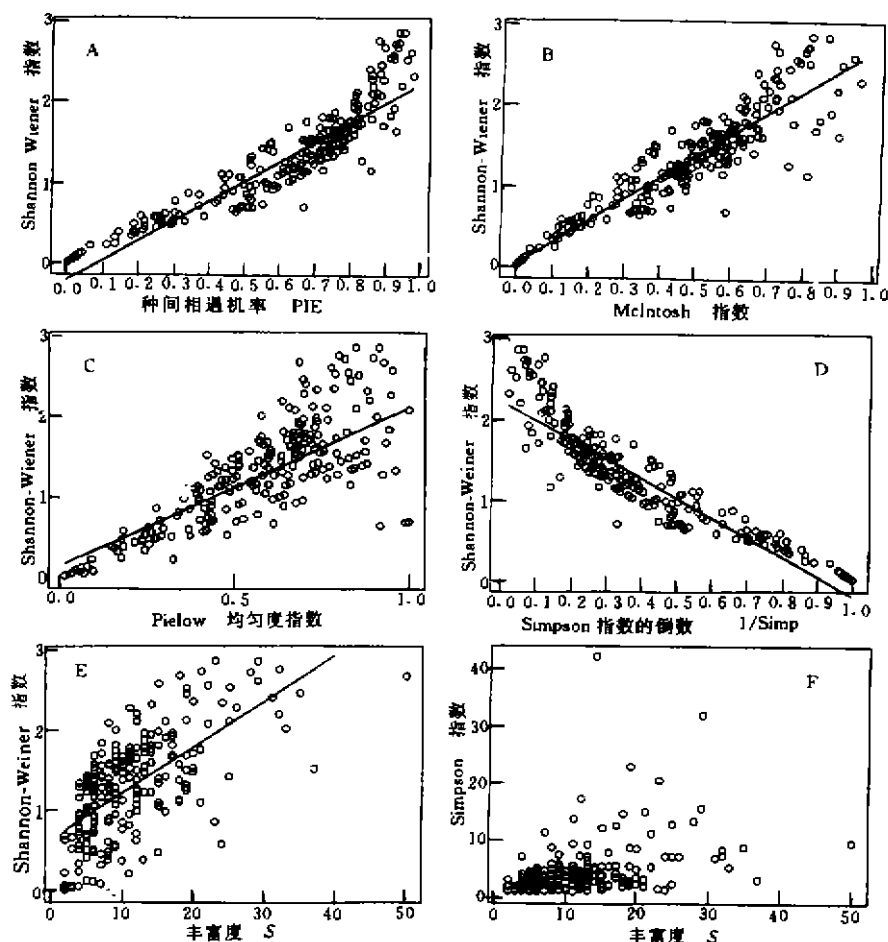


图1 6种物种多样性指数之间的关系

Fig 1 Correlations among diversity indices

A. $Y = -2.0E-01 + 2.43890X, n = 234, r^2 = 0.832, P < 0.0001$ B. $Y = 0.0417 + 2.68X, n = 234, r^2 = 0.829, P < 0.0001$ C. $Y = 0.146 + 1.96X, n = 234, r^2 = 0.506, P < 0.05$ D. $Y = 2.24 - 2.44/X, n = 234, r^2 = 0.831, P < 0.0001$ E. $Y = 0.648 + 0.0573X, n = 234, r^2 = 0.445, P < 0.0001$ F. $Y = 1.37994 + 0.2547X, n = 234, r^2 = 0.175, P < 0.0001$

2.3 资料分析

将样地资料按照森林、灌丛、草丛类型分别整理。森林群落分乔木层、灌木层和草本层；灌丛群落分灌木层和草本层。亚热带草丛常含有灌木种类和乔木幼树，但盖度很低，本文作一个层次处理。

3 结果

3.1 三峡地区主要退化森林类型物种多样性特点

表2为三峡地区9种主要森林群落类型的物种多样性指数。在这9种类型中，栲林、乌冈栎林是受人为活动影响较小的自然分布的群落类型，其它都是干扰程度较大的退化类型。从群落的物种丰富度来看，马尾松、栓皮栎混交林、青冈、栓皮栎混交林丰富度远远大于针叶林、落叶阔叶林和地带性类型 ($P < 0.001$)。在针叶林中，分布在水分、土壤条件较好生境下的杉木林丰富度较高。人工油桐林丰富度指数也比马尾松林、柏木林为高。

表2 三峡地区主要森林群落类型的物种多样性指数

Table 2 The species diversity indexes of the main forest types in the Three Gorges Region

群落类型 Community types	样地数 Plot Number	层次 Layer	丰富度 Richness(S)				Simpson 指数				Shannon 指数			
			最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	方差 S. D.	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	方差 S. D.	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	方差 S. D.
1 马尾松林	24	T*	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
		S	2	28	8.70	7.40	1.02	13.29	3.24	3.05	0.052	2.720	1.07	0.69
		H	4	18	9.92	4.44	1.71	12.61	4.67	2.63	0.716	2.11	1.43	0.37
2 杉木林	4	T	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
		S	14	29	21.75	6.18	14.97	42.18	23.27	12.84	2.32	2.86	2.69	0.26
		H	13	31	20.75	7.50	2.97	22.70	10.23	6.84	1.53	2.52	2.20	0.45
3 柏木林	4	T	1	1	1	0	0			1	0	0	0	0
		S	4	14	8.25	4.19	2.22	4.67	3.14	1.06	0.728	1.69	1.204	0.40
		H	6	14	9.50	0.76	3.06	4.87	3.99	0.764	1.31	1.76	1.51	0.19
4 栓皮栎林	7	T	2	12	7.75	4.35	1.13	3.22	1.80	0.96	0.22	1.48	0.75	0.53
		S	12	35	21.86	7.58	1.79	12.77	6.49	3.51	1.05	2.54	2.02	0.50
		H	10	29	15.14	6.62	3.75	31.85	10.39	10.15	1.54	2.68	1.98	0.47
5 油桐林	2	T	1	1	1	0			1	0			0	0
		S	11	24	17.50	9.19	7.03	9.23	8.13	1.56	2.27	2.33	2.30	0.04
		H	15	21	18	4.24	3.06	12.18	7.62	6.45	1.75	2.58	2.17	0.59
6 马尾松、栓皮栎 混交林	1	T			4				2.07				0.78	
		S			26				7.05				2.28	
		H			32				7.22				2.20	
7 青冈、栓皮栎 混交林	1	T			19				2.34				1.50	
		S			50				9.55				2.67	
		H			11				13.64				1.63	
8 乌冈栎林	1	T			19				8.68				2.45	
		S			11				3.98				1.63	
		H			10				1.43				0.77	
9 栲林	1	T			10				4.92				1.88	
		S			16				5.99				2.05	
		H			8				2.01				1.93	

* T, tree layer; S, shrub layer; H, Herb layer. 植物拉丁文见表1, species names were the same as in table 1.

按层次来划分植物群落的结构一直是植被描述的主要手段。本文根据三峡地区植被特点,把森林群落结构划分为3个层次,即乔木层、灌木层和草本层。从表5可以看出不同层次间物种多样性的差异,乔木层的物种多样性指数明显低于灌木层和草本层($p < 0.001$),而灌木层和草本层之间则差异不显著,这和我国东部亚热带地区地带性植被常绿阔叶林有明显差别。在干扰较小的常绿阔叶林中,各层次物种多样性表现为灌木层>乔木层>草本层^[12]。

3.2 三峡地区退化灌丛物种多样性

表3为三峡地区9种退化灌丛的物种多样性指数。根据群落的丰富度,灌丛物种多样性远远低于森林类型,并且灌丛间物种丰富度的差异要远比森林各类型之间差异小。在9种灌丛中,盐肤木灌丛、马棘灌丛物种多样性较低于其他类型($P < 0.05$)。从表5可以看出,根据 Simpson 指数,灌丛灌木层和草本层物种多样性之间差异不显著,而根据 H' 则差异显著。

表3 三峡地区主要灌丛群落类型的多样性指数

Table 3 The species diversity indexes of the main shrubland in the Three Gorges Region

群落类型 Community types	样地数 Plot Num- ber	层次 Layer	丰富度 Richness(S)				Simpson 指数				Shannon 指数			
			最小值	最大值	均值	方差	最小值	最大值	均值	方差	最小值	最大值	均值	方差
			Min	Max	Mean	S.D.	Min	Max	Mean	S.D.	Min	Max	Mean	S.D.
1 黄栌灌丛	5	S*	7	25	12.80	7.43	2.22	4.28	3.15	0.85	1.16	1.81	1.45	0.26
		H**	2	10	5.80	3.03	2.09	4.46	2.78	0.99	0.69	1.60	1.08	0.38
2 椎木灌丛	3	S	11	17	13.67	3.06	3.23	4.05	3.60	0.41	1.52	1.87	1.73	0.19
		H	4	12	7.00	4.36	2.28	17.35	7.70	8.98	0.94	2.20	1.47	0.65
3 铁仔灌丛	3	S	8	19	15.33	6.35	2.07	3.74	2.82	0.85	1.32	1.68	2.44	0.21
		H	4	12	8	4	2.41	4.17	3.06	0.97	0.96	1.55	1.26	0.29
4 荆条灌丛	6	S	6	9	7.20	1.64	1.04	3.83	2.17	1.14	0.11	1.44	0.84	0.52
		H	6	20	9.83	5.53	1.36	3.47	2.42	0.86	0.48	1.52	0.98	0.40
5 小果蔷薇灌丛1		S			10				4.75				1.55	
		H			5				1.04				0.12	
6 盐肤木灌丛	2	S	5	8	6.5	2.12	3.6	4.87	4.24	0.90	1.39	1.57	1.48	0.13
		H	4	5	4.5	0.71	1.49	3.42	2.46	1.36	0.52	1.36	0.94	0.60
7 悬钩子灌丛	1	S			3				1.93				0.67	
		H			5				1.94				0.68	
8 马棘灌丛	2	S	6	6	6	0	4.23	5.12	4.68	0.64	1.56	1.67	1.62	0.08
		H	4	6	5	1.41	2.02	2.37	2.20	0.25	0.70	0.91	0.81	0.15
9 雀梅藤灌丛	1	S			15				5.42				1.98	
		H			6				3.63				1.38	

* S, Shrub layer; ** H, Herb layer. 植物拉丁文见表1, species names were the same as in table 1.

3.3 三峡地区退化草丛物种多样性

表4为三峡地区6种草地的物种多样性指数,其中分布在干旱生境下的野古草草、扭黄茅草物种多样性较低,荻草草物种多样性相对较高。由表2~表4可明显看出草丛的物种多样性明显低于森林类型,而和灌丛之间差异不显著(见表5)。

4 讨论

在我国亚热带地区,由于人为活动的干扰而发生的生态系统的退化的过程基本是一致的,即地带性常绿阔叶林→常绿落叶阔叶混交林→落叶阔叶林或针阔混交林→针叶林→灌丛→草丛。反过来草丛在保护的情况下也可经上述途径的逆方向演替为地带性的常绿阔叶林^[7,13]。

表4 三峡地区主要草丛群落类型的多样性指数

Table 4 The species diversity indexes of the main grassland in the Three Gorges Region

群落类型 Community type	样地数 Plot Num- ber	丰富度 Richness(S)				Simpson 指数 Simpson index				Shannon 指数 Shannon index			
		最小值	最大值	均值	方差	最小值	最大值	均值	方差	最小值	最大值	均值	方差
		Min	Max	Mean	S.D.	Min	Max	Mean	S.D.	Min	Max	Mean	S.D.
1 野古草草	4	2	9	5.25	2.87	1.00	2.05	1.45	0.45	0.01	0.95	0.49	0.39
2 扭黄茅草	3	6	12	9.33	2.31	1.23	2.29	1.80	0.53	0.49	0.98	0.79	0.26
3 荻草	8	7	18	12.75	3.33	1.37	3.83	2.82	0.87	0.48	1.54	1.13	0.35
4 芒草	3	6	32	17	13.45	3.19	8.23	1.87	0.79	1.29	2.76	1.87	0.79
5 斑茅草	11	7	23	12.18	5.27	1.03	4.44	2.08	1.02	0.086	1.46	0.83	0.44
6 荻草	4	12	20	16.75	3.59	1.43	4.87	2.24	1.49	0.62	1.71	1.14	0.46

植物拉丁文见表1, Species names were the same as in table.

图2为这6个阶段植物群落各层次的物种多样性特征,可以看出沿6→5→4→3→2→1生态系统退化过程,乔木层物种多样性逐步减低,而灌木层和草本层则表现出先升高而后又逐渐降低,这表明,在三峡地区,自然生态系统(地带性生态系统)受到干扰后,乔木层物种多样性减低,而在干扰的初期,灌木层和草本层有一个升高的阶段。群落总的物种多样性(以丰富度表示),在干扰后的初期也有升高的趋势(图3),这是乔木层物种多样性降低和灌木层、草本层物种多样性增加的综合结果。当然,干扰本身只能减少或维持群落的物种多样性而不能增加群落物种多样性,但干扰可提供增加多样性的条件,物种多样性增加只是对干扰的反应,如种子的散布和萌发等^[14]。有人认为不太郁闭的森林群落由于有较丰富的阳光照射到草本层而使草本层物种多样性较高^[15],但也有人认为乔木层的稀疏引起林下不同光强及土壤的镶嵌,提供了更丰富的微环境^[2,16,17]。总之,干扰提供了物种多样性增加的环境条件。

本文可以看出在三峡地区,轻度干扰可以引起群落的物种多样性增加,但长期不断的干扰则使得群落物种多样性减低。这符合 Connell 的中度干扰假说,即最大物种多样性出现在中等程度干扰水平上^[18],和其他的一些研究结果^[19~22]也是一致的。因为在一些地区持续不断的干扰,不仅使得物种多样性减低,同时也改变了生境结构,使耐受性差的物种减少。如在草地上的研究表明,持续不断的火烧使得物种减少,改变了枯枝落叶层,使土壤暴露在阳光下,进一步恶化了生境^[23],在亚热带地区,同时人为活动可使枯枝落叶层减少,水土流失加剧,生境恶化^[6,7,10]。

若以空间代替时间,图2沿1→2→3→4→5→6的方向同时也是三峡地区植物群落的演替方向。这表明,从草丛到地带性的常绿阔叶林,植物群落丰富度先逐步上升到一个峰值,然后慢慢下降,峰值出现在针阔叶混交林和常绿落叶阔叶混交林阶段。这和其他地区的工作是一致的^[24]。如 Loucks 对威斯康辛南部森林群落100a的演替过程的研究^[25],Bazzaz 对 Illinois 南部落叶阔叶林弃耕地的演替过程的研究^[26],都表明随着演替进程,物种多样性首先增加,然后下降,并且当阳性树种和阴性树种在群落中同时出现时,达到最大值。从图3还可以看出,群落不同层次在演替过程中的变化是不一样的,乔木层(乔木树种)随着演替过程一直增加,而灌木层、草本层则先增加到峰值然后下降。这说明当演替过程后期乔木层郁闭时,林下灌木层、草本层减少。演替后期群落生物多样性减少是由于灌木、草本植物减少的缘故。不同的生境条件下,演替过程可能有差异,如 Auclair 和 Goff 的研究^[27]表明,在干旱的生境下,演替后期群落物种多样性没有减小的过程。

总之,就退化生态系统物种多样性而言,受人为干扰较轻的类型的物种多样性比自然生态系统物种多样性高,但大部分类型都比自然生态系统物种多样性低。从退化生态系统各层次的结构上看,和自然生态系统差异较大,自然生态系统各层次的物种多样性灌木层>乔木层>草本层的格局^[12],在退化生态系统则表现出草本层、灌木层>乔木层。生态系统退化,不仅物种多样性发生了改变,同时群落的区系组成也发生了重要变化,即使多样性维持不变,但组成结构上也发生了改变。

表5 各类型层次之间差异的显著性检验

(Mann-Whitney 方法)

Table 5 ANOVA analysis between different types and different layers

类型 层次 Type layer	显著性 p 系数 p ratio	多样性指数 Diversity indexes
森林 T vs S Forest	* * $P < 0.0045$	Simpson 指数 H'
森林 T vs H Forest	ns $P < 0.265$	Simpson 指数 H'
森林 H vs S Forest	* * $P < 0.0331$	Simpson 指数 H'
森林 vs 灌木 Forest vs shrub	ns	Simpson 指数 H'
森林 vs 草丛 Forest vs grassland	* * $P < 0.05$	Simpson 指数 H'
森林 vs 灌木 Forest vs shrub	* * $P < 0.05$	Simpson 指数 H'
森林 vs 草丛 Forest vs grassland	* * $P < 0.005$	Simpson 指数 H'
灌木 vs 草丛 Shrub vs grassland	ns	Simpson 指数 H'

* * 差异显著 significant different, ns 差异不显著 no significant.

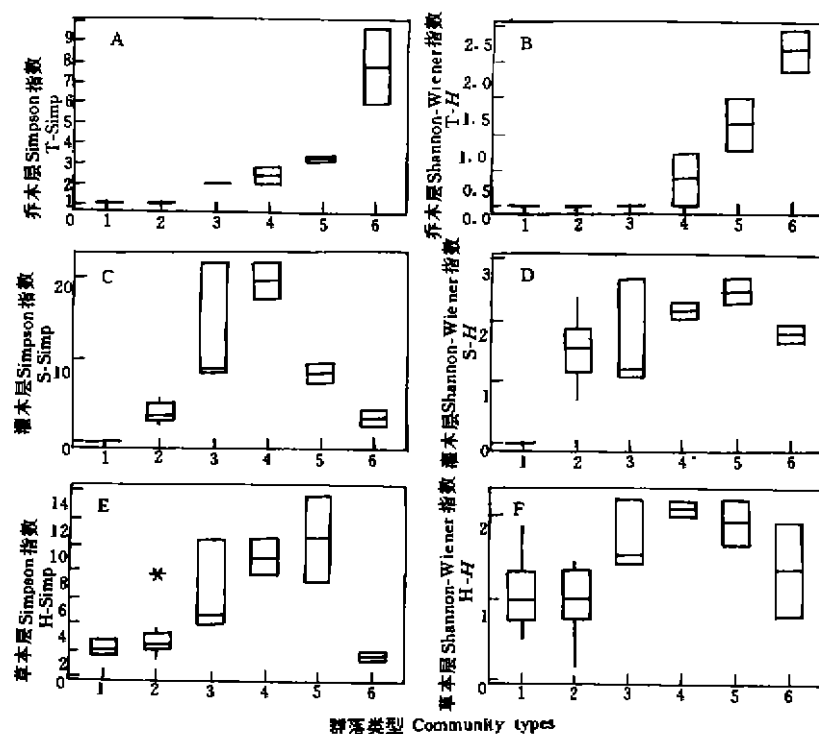


图2 不同群落类型中乔木层、灌木层、草本层物种多样性变化的尾箱图(Boxplot)

Fig. 2 Diversity boxplot of the tree layer, shrub layer and herb layer in different community types

1 草丛 Grassland, 2 灌丛 Shrubland, 3 针叶林 Coniferous forest, 4 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest, 5 针阔混交林和常绿落叶混交林 Coniferous, broad-leaved mixed forest and evergreen, deciduous mixed forest, 6 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest

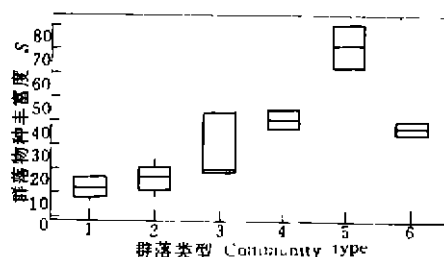


图3 不同群落类型中物种丰富度的变化规律(类型1~6同图2)

Fig. 3 Species richness changes in different community types

参 考 文 献

- 1 Fielou E C. *Ecological diversity*. John Wiley, New York, 1975
- 2 Whittaker R H and Niering W A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. (II) A gradient analysis of the south slope. *Ecology*. 1965, **46**: 429~452
- 3 Schulze E D, Mooney H A (eds). *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Berlin Heidelberg New York, 1993
- 4 Glenn-Lewin D C. Species diversity in North American temperate forest. *Vegetatio*. 1977, **33**: 153~162
- 5 Peet R K. *Forest vegetation of the east slope of the northern Colorado Front Range*. Ph. D. thesis, Cornell University,

- Ithaca, New York. 1975, 661
- 6 陈灵芝, 陈伟烈主编. 中国退化生态系统研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1995
 - 7 贺金生, 陈伟烈. 我国亚热带地区的退化生态系统: 类型、分布、结构特征及恢复途径. 陈灵芝、陈伟烈主编. 见: 中国退化生态系统研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 61~93
 - 8 陈国阶主编. 三峡工程对生态与环境的影响研究. 北京: 科学出版社, 1993
 - 9 吴征镒主编. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980
 - 10 陈伟烈, 张喜群, 梁松筠等. 三峡库区的植物与复合农业生态系统. 北京: 科学出版社, 1994
 - 11 马克平. 生物多样性的测度方法. 钱迎倩, 马克平主编. 见: 生物多样性的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 141~165
 - 12 贺金生, 陈伟烈, 李凌浩. 我国中亚热带东部常绿阔叶林生物多样性的特征. 植物生态学报. 1998, **22**(4): 219~228
 - 13 Peng Shao-Lin and Wang Bo-Sun. Forest succession at Dinghushan, Guangdong, China. *Chinese Journal of Botany*. 1995, **7**(1): 75~80
 - 14 Collins S L, Glenn S M and Gibson D J. Experiment analysis of intermediate disturbance and initial forest composition, decoupling cause and effect. *Ecology*. 1995, **76**(2): 486~492
 - 15 Moral R del. Diversity patterns in forest vegetation of the Wentachee Mountains, Washington. *Bull. Torrey Bot. Club*. 1972, **99**: 57~64
 - 16 Whittaker R H and Niering W A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. (V) Biomass, production, and diversity along the elevation gradient. *Ecology*. 1965, **56**: 771~790
 - 17 Whittaker R H. Evolution of species diversity in land communities, in Recht MK, Steere W C and Wallace B eds. *Evolutionary Biology*. 1977, **10**: 1~668
 - 18 Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Sciences*. 1978, **199**: 1302~1310
 - 19 Sousa W P. The role of disturbance in natural communities. *Annals Review of Ecology and Systematics*. 1984, **15**: 353~391
 - 20 Pickett S T A, Kolasa J, and Jones C G. *Ecological understanding the nature of theory and the theory of nature*. Academic Press, New York, USA, 1994
 - 21 Padisak J. The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity and equitability of phytoplankton in shallow lakes. *Hydrobiologia*. 1993, **249**: 135~156
 - 22 Peet R K, Gleen-Lewin D C and Walker-Wolf J. *Prediction of man's impact on plant species diversity*. Holzner W, Werger M J A, and Ikusima I eds. in: *Man's impact on vegetation*. Dr. W. Junk. The Hague, The Netherland. 1983, 41~54
 - 23 Hulbert L C. Causes of fire effects in tall grass prairie. *Ecology*. 1988, 46~58
 - 24 贺金生, 陈伟烈. 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征. 生态学报. 1997, **17**(1): 91~99
 - 25 Loucks O L. Evolution of diversity, efficiency, and community stability. *Am. Zool.* 1970, **10**: 17~25
 - 26 Bazzaz F A. Plant species diversity in old-field successional ecosystems in southern Illinois. *Ecology*. 1975, **56**: 485~488
 - 27 Auclair A N, and Goff F G. Diversity relations of upland forests in the Western Great Lakes area. *Am. Nat.* 1971, **105**: 499~528