

樟村坪磷矿废弃地植物群落的形成与演替

陈芳清¹, 卢 斌¹, 王祥荣²

(1. 三峡大学生物系, 宜昌 443000; 2. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433)

摘要:通过分析湖北省宜昌县樟村坪磷矿废弃地植被的组成、空间结构、各成分综合优势比及其群集度的变化以及植物分布与环境因子的相关性等问题,探讨了该地植被恢复过程中植物群落形成与演替的一般规律。结果表明,废弃地 6 种演替植物群落的形成是先锋植物种类入侵、定居、群聚和竞争的结果,在植物群落形成与演替的过程中,各种类成分的种群数量及综合优势比呈动态变化,废弃地植物群落形成与演替的过程按演替序列可分为 3 个阶段。植物群落形成与演替还与环境因子有关,废弃地高浓度的土壤速效磷是影响植物生长与分布的胁迫因子。伴随着群落的形成与演替,植物群落的物种多样性呈逐渐增加的趋势。

关键词:植物群落;演替;物种多样性;磷矿废弃地;樟村坪

Formation and succession of plant community on phosphate mining wasteland in Zhangcunping, Southwest, Hubei Province, China

CHEN Fang-Qing¹, LU Bin¹, WANG Xiang-Rong² (1. *Department of Biology, Three Gorges University, Yichang, China, 443000*; 2. *Department of Environmental Science & Engineering, Fudan University, Shanghai, China, 200433*)

Abstract: The phosphate mining wasteland in Zhangcunping, Hubei Province, China, is consisted of stripped mining topsoil and abandoned mining stone, which is stabilized by a tail mine dam. The wasteland sampled by the authors is located in a valley which just like many other phosphate mining wastelands in this mountain area. As a serious damaged ecosystem, the wasteland often recover slowly and produce an impacting on environment. No active remedy has been conducted on the phosphate mining wasteland in Zhangcunping. In order to assess the vegetation restoration on this kind of wasteland and put forward suggestions for environmental protection in this area, the authors took the field investigations on the wastelands in 1997 and 1999. Vegetation sampling was conducted along seven transects run from the center of a typical mining wasteland site. Herbaceous vegetation was sampled in 1m×1m quadrates and shrubs and vines were sampled in 5m×5m quadrates.

The natural formation of plant community on mining wasteland usually goes through seeds spread, establishment, colonization, and species competition. There are many facts affecting the re-vegetating progress, such as pioneer species, soil character, and slop direction and degree, which result in different restoration progress on mining wasteland. The authors sort them into primary restoration succession serials. Some slopes rehabilitate slowly, the composition and structure of community are very simple at the experimental sites; on the other hand, some slopes do fast, and their community composition and structure are complex. According to the data collected in 1997, after five-year primary natural restoration, six plant communities are composed from fortyeight species occurred in 129 plots, which belong to 23 families, including 5 graminoid, 30 forb, 4 vine, 7 shrub, and 2 tree species. The authors divided these communities into three

基金项目:湖北省教委科研基金资助项目(三峡地区废弃地植被恢复与重建的研究)

收稿日期:1999-12-02;修订日期:2000-09-10

作者简介:陈芳清(1968-),男,江西清江人,硕士,副教授。主要从事植物生态学方面的研究。

primary succession stages during the restoration progress, the mono-dominant species community, the sub-dominant species community, and the co-dominant species community according to their community composition and structure level. The first succession stage, the mono-dominant species community, has only one dominant species whose important values is much higher than that of other species, so that the community has simple composition, structure, and species diversity. For example, the *Humulus scandens* community is consisted of six plant species, and its Simpson's diversity index is 0.1837; The composition and structure of second succession stage, called subdominant species community, are more complex than the first stage, and there are some species whose important values are near to that of dominant species in the community, and the species diversity of community increases gradually. The *Aster subulatus* community, the *Setaria viridis* community, and the *Arthraxon hispidus* community belong to this type. The *Aster subulatus* community, for example, has nineteen species. Its Simpson's species diversity index increases to 0.7182. The third succession stage of the co-dominant species community, such as the *Setaria viridis* + *Aster subulatus* community and the *Arthraxon hispidus* + *Aster subulatus* community, is composed of the most species with the most complex structure. The *Arthraxon hispidus* + *Aster subulatus* community has twenty-five species which including six woody species and its Simpson's species diversity index reaches 0.8270. Those indicate that the composition, structure and species biodiversity change from one stage to another stage along with the formation and succession of plant community, but at the same time the species important value fluctuate among the different stages, some species' increase, other's reduce. It reveals the species replace during the primary restoration succession. The data of field sample investigation also indicate that the restoration progress is related with environmental factors, effective phosphate concentration is a coercing fact impacting the growth and distribution of plant species.

In big mining wasteland, the authors usually take many active manual remedies such as flying ash, adding soil, changing pH, seeding grass, and planting tree to manage the damaged ecosystem, What should we do with the small and sporadic mining wasteland in mountain area? As natural restoring vegetation with relative rich species composition and good recover percentage, the restoration of the experimental site on phosphate mining wasteland in Zhangcunping is successful comparing to other mining wastelands. The authors contribute its succession to rich species diversity in surrounding vegetation, small size, manual tail mine dam, and no disturbance. Rich species diversity in surrounding vegetation provide good species resource for restoration. Small size makes the spreading of seeds from local vegetation easy. Manual tail mine dam stabilizes the soil and reduce the run-off; no disturbance keeps the sustaining vegetation succession. The authors suggest that all of the mining wasteland in Zhangcunping should be managed primarily like the sites sampled by the authors. The authors also hope the mining company can take forward step, such as adding soil, planting native trees, to promote the rehabilitation of wasteland.

Key words: plant community; succession; species diversity; phosphate mining wasteland; Zhangcunping
文章编号:1000-0933(2001)08-1347-07 中图分类号:Q948 文献标识码:A

矿业废弃地是由于工业采矿所形成的不经改造无法使用的土地。一般分为 3 种类型,一种是剥离表土、开采的废石及低品位矿石堆积而成的废石堆积地;另一种是随矿物开采形成的大量的采空区及塌陷区;还有一种是利用各种分选方法选出精矿物后的剩余物排放形成的尾矿废弃地^[1~3]。矿业废弃地的生态系统受干扰程度大、系统的恢复过程慢,往往对周围环境产生较大的影响,对它的治理与研究始终是恢复生态学的一个主要研究内容。由于急于消除矿业废弃地对环境的负面作用,国内外对矿业废弃地的研究多侧重于退化生态系统人工恢复与重建的方法与技术,而对于其植被的自然恢复过程及特征则研究报道的较少^[4,5]。事实上,积极开展这方面的研究,对于了解矿业废弃地植被形成与演替的规律和机理是极有帮助

的,进而可以指导矿业废弃地植被的恢复与重建工作。樟村坪磷矿废弃地属于前面所述的第一种矿业废弃地类型,它是由各矿井沿山冲倾倒的废矿渣及地表剥离土堆积而成的。本文研究了自然状态下其植被恢复与形成的过程及特征,以求为整个三峡地区磷矿废弃地的植被恢复与重建以及生态环境保护提供参考。

樟村坪位于北纬 31°07′06″~31°28′28″,东经 110°02′07″~111°05′07″,为湖北省宜昌县的一个山区小镇,地处三峡库区,属于长江防护林的建设区域。按照我国植被的地带性分析,该地属于亚热带常绿阔叶林区域,但由于处于中亚热带北缘,且海拔高度多在 900~1300m 之间,其典型植被为常绿和落叶阔叶混交林^[6,7]。废弃地周围分布有当地常见的由壳斗科(*Fagaceae*)、樟科(*Lauraceae*)和槭树科(*Aceraceae*)的一些树种为优势种的杂木林。

1 研究方法

1.1 样方设置及调查

试验地设在海拔高度为 1028m 的 1028 号矿井废弃地,该废弃地已废弃 5a,位于一条山冲中,三面环山,在坡底建有尾砂坝,共有 4 个堆积坡和 1 个平台,面积约 3.5hm²。野外调查时间为 1997 年 8 月和 1999 年 8 月,主要数据来自于 1997 年的调查。试验根据坡向、坡度和植物分布状况,从坡顶到坡底分别设置了 7 条样线,然后在每条样线两侧沿海拔梯度相间设置样方,样方面积 1m×1m,共设置样方 129 个。调查每个样方的植物种类、每种植物的数量、群集度、高度及盖度。草(*Humulus scandens*)及灌木类植物按 5m×5m 的规格调查与统计。

1.2 土壤样品的采集与分析^[8]

在每个样坡的坡顶、坡腰、坡底采集土壤样品,采集深度为 0~20cm,分析各样品的 pH 值、有机质含量及速效性氮、磷、钾的含量。有机质的测定用水合热法,速效氮的测定用扩散吸收法,速效磷的测定用 NaHCO₃ 浸提-钼锑比色法,速效钾的测定用四苯硼钠比浊法。

1.3 植物群落特征值的测定^[9,10]

植物种的群集度按 Braun-Blanquet 方法分 5 级测定。

优势度以综合优势比测定,综合优势比: $SDR_i = (\text{高度比} + \text{密度比} + \text{盖度比} + \text{频度比}) / 4 \times 100\%$

物种多样性采用 Simpson 多样性指数测定: $D = 1 - \sum P_i^2$

物种丰富度采用 Margalef 丰富度指数测定: $O = (S - 1) / \ln N$

物种分布的均匀度采用 Shannon-Weiner 指数测定: $E = H / H_{\max}$,其中 $H = - \sum P_i \log_2 P_i$, $H_{\max} = \log_2 S$

式中 P_i 是第 i 个种的个体数 N_i 占总个体数 N 的比例, S 是群落中的总种数, H 是实际观察的种类多样性, H_{\max} 是最大的种类多样性。

2 结果与分析

2.1 废弃地植物群落的形成与演替

表 1 显示,樟村坪磷矿废弃地试验地的植被由 48 种植物组成,不少组成成分具有较高 的群集度,表明许多地段的植被是由先锋种入侵、定居、群聚、竞争而形成的,具有原生演替的特征。根据群落建群种的不同,磷矿废弃地的植被可分为 6 种演替植物群落类型。由于先锋种类的不同及其所处坡向、坡度、土壤类型、土壤速效性养分等环境因子的差异,各群落的组成与结构水平有一定程度的差异,分别处于植被恢复过程的单优势种群落、(具)次优势种群落和共优势种群落 3 个演替阶段。单优势种群落处在废弃地植物群落的形成与演替的第一阶段,种类少,建群种优势度极为突出,群落结构简单。例如 草群落只有 6 种植物,结构简单, 草的群集度为 5,综合优势比达到 90.33,在群落中呈成群分布。群落是 草入侵、定居后,由其母体在周围产生一些新个体,形成密度大、盖度高的种群后发育而成的。在该群落中,其它植物种类的定居和生长受到阻碍。(具)次优势种群落是单优势种群落因群落内植物种类的竞争产生了次优势种而演替形成的。在(具)次优势种群落中优势种的优势度有所下降,分布的均匀性增加,而次优势种的优势度有所提高,分布的均匀性下降。其群落的组成与结构比单优势种群落稍复杂一些。荇草群落、钻叶紫菀群落和

表 1 磷矿废弃地植被形成与演替过程中各种类成分的变化
Table 1 The changes of species component during vegetation formation and succession on the Phosphate mining wasteland

植 物 种 类 Species	单优势种群落 Monodominant species community				(具)次优势种群落 Subdominant species community				共优势种群落 Codominant species community			
	1		2		3		4		5		6	
	SDR ⁷	S ⁸	SDR	S	SDR	S	SDR	S	SDR	S	SDR	S
钻叶紫菀 ^①			90.87	4	51.63	3	37.05	2	58.49	3	52.22	3
侧蒿 ^②			53.81	3	39.43	1	39.08	3	27.21	2	41.96	3
青蒿 ^③	22.41	1	43.76	2			31.19	2	23.44	1	43.26	3
茵陈蒿 ^④			40.59	2							18.45	1
艾蒿 ^⑤			50.58	2	56.59	3	34.58	2	50.58	2	32.06	2
婆婆针 ^⑥									21.80	1		
旋叶香青 ^⑦			56.17	3					11.51	1	37.74	2
山苦荬 ^⑧	14.55	1									7.69	1
华帚菊 ^⑨			17.95	1			9.90	1			11.60	1
风毛菊 ^⑩									9.72	1		
林泽兰 ^⑪									7.58	1		
一年蓬 ^⑫							11.60	1	7.99	1	7.14	1
刺儿菜 ^⑬					9.53	1			6.57	1	9.38	1
千里光 ^⑭			26.94	1	32.64	2					17.14	1
蔗茅 ^⑮			47.97	2	39.39	2			39.17	3	48.82	2
荩草 ^⑯					43.32	3	83.32	5	34.91	2	81.23	4
狗尾草 ^⑰	34.21	2	42.70	3	84.11	4	27.83	2	67.83	4	42.20	2
雀稗 ^⑱	26.54	2	16.22	1					31.26	2	6.58	1
细长早熟禾 ^⑲									28.23	2		
小鱼仙草 ^⑳									6.94	1	21.88	2
韩信草 ^㉑							21.31	1	12.38	1		
石芥 ^㉒					12.20	1	26.57	2	12.52	1	4.39	1
长萼堇菜 ^㉓			19.64	1	12.76	1			7.74	1		
蔓茎堇菜 ^㉔					14.15	1			29.23	1		
蝇子草 ^㉕							18.61	1			17.80	1
繁缕 ^㉖					6.20	1			3.96	1		
巴东醉鱼草 ^㉗					17.04	1			20.75	2	17.25	1
珊瑚苣苔 ^㉘			23.67	1					24.04	2	18.63	1
铁马鞭 ^㉙									76.24	4		
杭子梢 ^㉚			39.58	1			19.34	1			52.31	3
管花马兜铃 ^㉛			33.98	1	25.09	1					11.58	1
酢浆草 ^㉜			9.47	1			14.09	2	16.99	2		
车前草 ^㉝			8.35	1	6.40	1			5.91	1		
龙芽草 ^㉞	32.64	2							6.36	1		
插田泡 ^㉟							32.26	1	6.92	1		
盐肤木 ^㊱									16.58	2		
博落 ^㊲			29.54	1							38.24	2
马尾松 ^㊳											11.33	1
窃衣 ^㊴							20.64	2				
野柿 ^㊵							50.36	2				
鄂报春 ^㊶			37.58	1							19.75	1
草 ^㊷	90.33	5										
打碗花 ^㊸							7.63	1				
鸭跖草 ^㊹							9.61	1				
苦荞麦 ^㊺							8.24	1				
马鞭草 ^㊻							5.78	1				
川鄂小檗 ^㊼									10.30	1		
千屈菜 ^㊽									11.62	2		

* : 1. 草群落 *Humulus scandens* Comm. 2.钻叶紫菀群落 *Aster subulatus* Comm. 3.狗尾草群落 *Setaria viridis* Comm. 4.荩草群落 *Arthraxon hispidus* Comm. 5. 狗尾草+钻叶紫菀群落 *Setaria viridis* + *Aster subulatus* Comm. 6.荩草+钻叶紫菀群落 *Arthraxon hispidus* + *Aster subulatus* Comm. 7.缩合优势比 Summed dominance ratio SDR. 8.群集度 Sociability S. ① *Aster subulatus*, ② *Artemisia deversa*, ③ *A. caruifolia*, ④ *A. capillaris*, ⑤ *A. argyi*, ⑥ *Bidens bipinnata*, ⑦ *Anaphalis contorta*, ⑧ *Ixeris chinensis*, ⑨ *Pertya sinensis*, ⑩ *Saussurea japonica*, ⑪ *Eupatorium lindleyanum*, ⑫ *Erigeron annuus*, ⑬ *Cephalanoplos segetum*, ⑭ *Senecio scandens*, ⑮ *Erianthus rufipilus*, ⑯ *Arthraxon hispidus*, ⑰ *Setaria viridis*, ⑱ *Paspalum thunbergii*, ⑲ *Poa proluxior*, ⑳ *Orthodon diantherus*, ㉑ *Scutellavia indica*, ㉒ *Mosla scabr*, ㉓ *Viola inconspicua*, ㉔ *V. diffusa*, ㉕ *Silene fortunei*, ㉖ *Stellaria media*, ㉗ *Buddleja albiflora*, ㉘ *Corallodiscus cordatulis*, ㉙ *Lespedeza pilosa*, ㉚ *Campylotropis macrocarpa*, ㉛ *Aristolochia tubiflora*, ㉜ *Patrinia scabiosaeifolia*, ㉝ *Plantago asiatica*, ㉞ *Agrimonia pilosa*, ㉟ *Rubus biflorus*, ㊱ *Rhus chinensis*, ㊲ *Macleaya ordata*, ㊳ *Pinus massoniana*, ㊴ *Torilis scabra*, ㊵ *Diospyros kaki* var. *sylvestris*, ㊶ *Primula obconica*, ㊷ *Humulus scandens*, ㊸ *Calystegia hederacea*, ㊹ *Commelina communis*, ㊺ *Fagopyrum tataricum*, ㊻ *Verbena officinalis*, ㊼ *Berberis henryana*, ㊽ *Lythrum salicaria*

狗尾草群落属于这一类型。在这些群落中,尽管荩草、钻叶紫菀、狗尾草这 3 种建群种的优势度和群集度在各自的群落中仍为最大,但各群落中出现了其它一些具有较高优势度和群集度的次优势种,例如狗尾草群落中建群种狗尾草的优势比为 84.11,群集度为 4,而次优势种艾蒿的优势比和群集度也达到了 56.59 和 3。它们的先锋群落是分别以荩草、钻叶紫菀和狗尾草为建群种的单优势种群落(少量样方中出现)。共优势种群落是次优势种群落进一步演替而来的,群落中植物种类的竞争达到了一定平衡,有一种以上的优势种。狗尾草+钻叶紫菀群落和荩草+钻叶紫菀群落属于此类。在狗尾草+钻叶紫菀群落中狗尾草的优势比为 67.89,群集度为 4,钻叶紫菀的优势比也达到了 58.49,群集度为 3,两个优势种的优势比和群集度比较接近,群落中各植物种类分布相对较均匀。

2.2 废弃地植物群落形成与演替过程中植物种类成分的消长

随着废弃地植物群落的形成与演替,种类成分也在不断变化。图 1 显示了废弃地植被中 6 种主要植物的优势比在群落的形成与演替过程中的动态变化。在植物群落的形成与演替中,有些物种的数量和优势比不断增加,在群落中的地位逐渐提高。例如,青蒿在草群落中的优势比为 22.40,是一种偶见种;在荩草群落中增加到 31.19,形成一定的群聚水平,出现频率增加,为一种伴生种;而在荩草+钻叶紫菀群落中其优势比达到了 43.62,是一种次优势种。另一些物种的数量和优势比则随着植物群落的形成与演替逐渐减少,地位不断下降。例如,狗尾草在狗尾草群落中是建群种,其优势比为 84.11,而在狗尾草+钻叶紫菀群落中为共优种,其优势比降至 67.89。还有一些植物的数量和优势比在植物群落的形成与演替过程中呈非规律性变化。

2.3 影响废弃地植物群落的形成与演替的主要环境因子

废弃地植物群落的形成与演替过程受环境因子的综合影响,但在磷矿废弃地这种特殊的立地条件下,土壤条件是最主要的影响因素。以几种优势种植物在多样坡的分布状况与多样坡土壤的速效性养分、有机质、土壤酸碱度作相关分析,结果显示,樟村坪磷矿废弃地植被几种优势种植物的生长与分布都与土壤速效磷浓度存在着显著的负相关性(相关系数为负数,相关水平大多达到 0.01)。一般土壤速效磷浓度为 4~25mg/L,而樟村坪磷矿废弃地土壤速效磷浓度在 20mg/L 以上,有的达到 125mg/L。高浓度的土壤速效磷成为影响植物的生长与分布的胁迫因子,废弃地植物群落的形成与演替因而受到它的影响。分布于土壤速效磷浓度相对较低坡地的植物群落有 47 种植物,而分布于其它土壤速效磷浓度高于 40mg/L 坡地的荩草群落、钻叶紫菀群落和草群落只有 26 种植物。草群落所分布坡地的土壤速效磷浓度高达 125mg/L,废弃地植被中的许多植物都难以在该生境中定居、存活,群落中只有 6 种植物,占优势的植物为草、龙芽草等几种能耐高浓度土壤速效磷的物种。该地段的群落一定时期内将难以向组成与结构稍复杂些的(具)次优势种群落演替。

2.4 植物群落形成与演替过程中物种多样性的变化

在磷矿废弃地植被的形成与演替过程中,由于空间的异质性增加,群落的生物量增加,生境进一步分

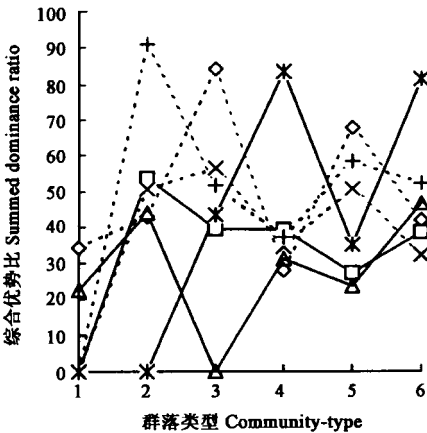


图 1 磷矿废弃地植被主要植物种类的综合优势比动态

Fig. 1 The dynamics of Summeed dominance ratio of main species on the phosphate mining wasteland

-◇-:狗尾草 *Setaria viridis* -□-:侧蒿 *Artemisia deversa* -×-:艾蒿 *A. Argyi* -△-:青蒿 *A. Caruifolia* -+-:钻叶紫菀 *Aster subulatus* -★-:荩草 *Arthraxon hispidus*

1: 草群落 *Humulus scandens* Comm. 2:钻叶紫菀群落 *Aster subulatus* Comm. 3:狗尾草群落 *Setaria viridis* Comm. 4:荩草群落 *Arthraxon hispidus* Comm 5:狗尾草+钻叶紫菀群 *Setaria viridis* + *Aster subulatus* Comm. 6:荩草+钻叶紫菀群落 *Arthraxon hispidus* + *Aster subulatus* Comm.

化,群落的生活型组成不断丰富,植物种数和群落的物种多样性随之增加^[11~14]。图 2 为磷矿废弃地植被的物种多样性指数、均匀度指数和丰富度指数在植物群落的形成与演替过程中的动态变化。草群落处于植被恢复的第 1 阶段,群落的生活型单调,只有 6 种草本植物。物种多样性指数、均匀度指数和丰富度指数分别为 0.1837,0.2240 和 0.8120,均处于最低水平;狗尾草群落、荩草群落处于植被恢复的第 2 阶段,群落的物种数增加到 18 和 20 种,群落的生活型组成逐渐丰富,出现了常绿木本和落叶木本植物的分布。物种多样性指数有所增加。处于同一演替阶段的钻叶紫菀群落虽然只有 19 种植物,丰富度水平较低,但由于具有较高的均匀度,其物种多样性指数达到了 0.7182,在废弃地植物群落中处于较高水平;第 3 演替阶段的狗尾草+钻叶紫菀群落和荩草+钻叶紫菀群落的生活型组成进一步丰富,木本植物种类均达到了 6 种,物种多样性水平进一步增加,分别为 0.6279 和 0.8270。

表 2 磷矿废弃地被优势种的分布与土壤养分的相关性分析

Table 2 The correlation analyses between distribution of dominant species and soil nutrient

植物种类 Species	有机质 Organic matter		速效氮 Effective nitrogen		速效磷 Effective phosphate		酸碱度 pH	
	CC	C	CC	C	CC	C	CC	C
狗尾草	0.6803	0.05	0.6519	0.05	-0.6212	0.05	-0.7992	0.01
钻叶紫	-0.1851	不显著	0.3620	不显著	-0.7655	0.01	0.3396	不显著
侧蒿	0.0402	不显著	0.5348	不显著	-0.7690	0.01	-0.5612	不显著
艾蒿	0.2893	不显著	-0.6635	0.05	-0.8166	0.01	-0.09890	0.001
青蒿	0.1021	不显著	0.4308	不显著	-0.7245	0.01	-0.3726	不显著

* 相关系数 CC; Correlative coefficient, 相关水平 C; Correlativity

3 讨论

原生裸地上植物群落的形成与演替是一种由先锋植物种类的入侵、定居、群聚、竞争的过程。先锋植物种类凭其种群优势影响后入侵者的定居与生长发育,它往往决定裸地最初形成的群落类型^[15,16]。樟村坪磷矿废弃地虽然是一种次生裸地,但其植被恢复过程却具有原生演替的特征,大多地段的植物群落都是由各入侵植物种类经定居、竞争达到一种动态平衡时形成的。由于坡向、坡度、光照条件、土壤结构及土壤养分等生态因素以及先锋植物种类的差异,所产生的 6 种演替群落类型的组成与结构水平均有一定的差异,演替进程不一致,分别处于单优势种群落、次优势种群落和共优势种群落 3 个演替阶段。环境条件对植物群落的形成演替及其组成与结构有着重要影响^[12,13,16,17]。磷矿废弃地的土壤速效磷含量是一个重要影响因子,它不仅影响到群落的组成与结构,还影响到群落形成与演替的进程与方向。在土壤速效磷含量较高的废弃地地段,只有一些能耐磷的植物分布在那里,优势植物是草等耐磷能力较强的物种,群落将较长期地停留在该阶段。长江三峡地区的主要草丛的 Simpson 物种多样性一般在 1.0 以上^[12,18]。相比之下,磷矿废弃地的物种多样性显得较低,这与废弃地的土壤结构差、基质不稳定、有机质含量低、速效磷含量高等土壤条件有关。在

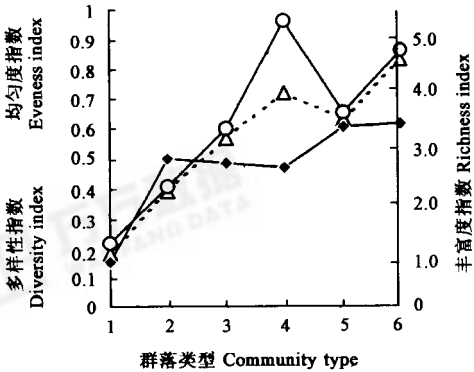


图 2 植被形成与演替过程中多样性的变化趋势
Fig. 2 Dynamics of species diversity during vegetation-formation and succession
-Δ-: 多样性指数 -○-: 均匀度指数 -◆-: 丰富度指数; 1: 草群落 *Humulus scandens* Comm. 2: 荩草群落 *Arthraxon hispidus* Comm. 3: 狗尾草群落 *Setaria viridis* Comm. 4: 钻叶紫菀群落 *Aster subulatus* Comm. 5: 狗尾草+钻叶紫菀群落 *Setaria viridis* + *Aster subulatus* Comm. 6: 荩草-钻叶紫菀群落 *Arthraxon hispidus* + *Aster subulatus* Comm.

这种特殊土壤类型上,许多植物的定居和生长发育受到影响,使得群落的组成与结构简单,抗干扰能力差。

植被的次生演替过程受到其周围植被的影响^[16]。樟村坪磷矿废弃地所分布的 48 种植物均为当地的分布种,废弃地所形成的群落类型也为当地较常见的草丛^[6,7,12,18]。废弃地的长期演替趋势符合由次生裸地→草丛→灌丛→森林的一般趋势,样方调查中所出现的灌木种类已说明了这一点。

生态系统的自然恢复能力存在着地域差异。在寒冷和干燥的气候条件下,自然恢复速度比较慢;而在温暖潮湿的气候条件下,自然恢复速度比较快^[4,19]。樟村坪磷矿废弃地所属地——宜昌处于中亚热带和北亚热带的交汇地带,属亚热带季风性湿润气候。其植被的恢复过程相对较快,在较短的时期内便自然形成了具灌木植物的草丛。表明该地区的磷矿废弃地具备较强的植被恢复能力。生态系统的自我恢复往往较为缓慢,而人为恢复可在一定程度上改变生态系统演替的方向和速度,并可缩短其恢复周期^[1,4,5]。适当的工程治理既有利于废弃地的植被恢复,又能减少对河流的污染。本文所调查的样地是属于建立了尾沙坝的废弃地,其土壤基质的流动性相对较低,水土流失较少,植被恢复状况相对较好。那些未经工程治理的废弃地数年后仍停留在几乎裸露的状态。因此,要促进废弃地上植被的恢复与重建及矿区的环境保护,最重要的是对磷矿渣堆积坡地进行及时的工程治理,减少土壤基质的流动和水土流失。同时在保护好现有植被基础上,对面积较大的废弃地进行人工造林,种植一些耐旱、耐贫瘠和高浓度磷的植物种类,如实地调查中所出现马尾松、草、野柿、盐肤木和插田泡等。

参考文献

- [1] 格默尔 RP. 倪彭年译. 工业废弃地的植物定居. 北京: 科学出版社, 1987.
- [2] 郭焕成. 我国的土地恢复. 生态学报, 1990, **10**(1): 24~26.
- [3] Bradshaw A. 程志勤译. 西欧废弃地的管理与恢复. 生态学报, 1990, **10**(1): 28~35.
- [4] 章家恩, 徐 琪. 恢复生态学研究的一些基本问题探讨. 应用生态学报, 1999, **10**(1): 109~113.
- [5] 李玉臣, 吉日格拉. 矿区废弃地的生态恢复研究. 生态学报, 1995, **15**(3): 339~343.
- [6] 王映明. 湖北植被区划(下). 武汉植物学研究, 1985, **3**(2): 165~174.
- [7] 金义兴. 湖北西陵峡地区的植被. 武汉植物学研究, 1987, **5**(2): 147~158.
- [8] 孙 羲, 等. 农业化学试验. 上海: 上海科技出版社, 1983. 4~26.
- [9] Peet R K. The measurement of species diversity. *Ann. Rev. Ecol. System*, 1974, **5**: 285~307.
- [10] 李 博. 普通生态学. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1993. 111~114.
- [11] Bazzaz F A. Plant species diversity in old-field successional ecosystem in southern Illinois. *Ecology*, 1975, **56**: 485~488.
- [12] 陈芳清, 卢 斌. 稀归飞播油松林的物种多样性. 生物多样性, 1997, **5**(4): 281~286.
- [13] 杨玉盛, 何宗明, 丘仁辉, 等. 严重退化生态系统不同恢复和重建措施的植物多样性与地力差异研究. 生态学报, 1999, **19**(4): 490~494.
- [14] Peng Shao-lin and Wang Bo-sun. Forest succession at Dihushan, Guangdong, China. *Chinese Journal of Botany*, 1995, **7**(1): 75~80.
- [15] 曲仲湘, 吴玉树, 王焕校, 等. 植物生态学. 北京: 高等教育出版社, 1987. 213~222.
- [16] Borgegard S O. Vegetation development in abandoned gravel pits: effect of surrounding vegetation, substrate and regionality. *Journal of Vegetation Science*, 1990, **1**: 670~680.
- [17] John Eand Dale M R T. Environmental correlates of species distribution in a saxicolous lichen community. *Journal of Vegetation Science*, 1990, **1**: 385~392.
- [18] 贺金生, 陈伟烈, 江明喜, 等. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征. 生态学报, 1998, **18**(4): 399~407.
- [19] 余作岳, 彭少麟主编. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究. 广州: 广东科学技术出版社, 1996. 1~35.