

## 黔西北喀斯特区植被自然恢复演替过程中物种多样性研究

陈坤浩<sup>1</sup>, 谢永贵<sup>2</sup>, 沈有信<sup>3</sup>, 余刚国<sup>2</sup> (1 毕节学院环境与生命科学系, 贵州毕节 551700 2 贵州省毕节地区林业科学研究所, 贵州毕节 551700 3 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南昆明, 650223)

**摘要** 以空间代替时间方法研究了黔西北喀斯特地区植被自然恢复演替过程中草本群落阶段、藤刺灌丛阶段、灌乔林阶段、次生乔林阶段和顶级群落阶段的物种多样性, 分析各阶段群落的物种组成, 应用物种丰富度、Simpson指数、Shannon指数和Pielou均匀度指数研究各阶段草本层、灌木层、乔木层的物种多样性。结果表明, 在植被演替过程中, 乔木层物种丰富度逐渐增加, 灌木层和草本层的物种丰富度在藤刺灌丛阶段达到最大值, 以后随着乔木树种的发展而迅速下降; 草本层的Simpson指数和Shannon-Wiener指数在不同阶段上升后下降, 藤刺灌丛阶段达到峰值, 顶级群落阶段最低, Pielou均匀度指数在草本群落阶段最高, 且在藤刺灌丛阶段、灌乔过渡阶段及次生乔林阶段波动不大, 顶级群落阶段最低; 灌木层各项测度指标在不同演替阶段变化规律一致, 但峰值时期不同, Simpson指数和Shannon-Wiener指数在灌乔过渡阶段达到峰值, Pielou均匀度指数则在藤刺灌丛阶段达到最高; 乔木层Shannon-Wiener指数、Simpson指数和Pielou均匀度指数在次生乔林阶段均略高于顶级群落阶段, 可能与次生乔林阶段伐薪等人为干扰严重有关。

**关键词** 黔西北; 喀斯特; 自然演替; 物种组成; 物种多样性

**中图分类号** X176 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)23-11076-03

### Study on the Species Diversity during the Natural Succession of Degraded Karst Vegetation in Northwest Guizhou

CHEN Kun-hao et al (Department of Environment and Life Science Bijie University, Bijie, Guizhou 551700)

**Abstract** By using spacial method in stead of temporal method the species diversity in grass (G) stage, liana and thorny shrub (LS) stage, shrub and young tree (ST) stage, secondary forest (SF) stage and litter forest (LF) stage during the natural succession of degraded karst vegetation in Northwest Guizhou were studied. The species composition of different successional stages was analyzed including richness, Simpson index, Shannon index and Pielou evenness of grass, shrub and tree layers. Richness of trees went up during the successional process, but richness for shrub layer and grass layer peaked at LS stage and then went down. For grass layer, Simpson and Shannon-Wiener index were the highest at LS stage and the lowest at LF stage, and Pielou index was the highest at G stage and then changed slowly to get the lowest point at LF stage. For shrub layer, the three indices took almost the same changing pattern, however Simpson and Shannon-Wiener index peaked at ST stage and Pielou index peaked at LS stage. For tree layer, all the three indices of SF stage was little higher than indices of LF stage, which may related to the disturbances and fuel harvesting at SF stage.

**Key words** Northwest Guizhou; Karst; Natural succession; Species composition; Species biodiversity

受碳酸盐岩溶蚀性强、水文二维结构明显以及其适生植物具有嗜钙性、耐旱性和石生性等限制特点的综合影响, 喀斯特地区生态系统的稳定性和抗干扰性较差。喀斯特石漠化是土地荒漠化的主要类型之一, 是指在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下, 受人类不合理社会经济活动的干扰破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积出露, 土地生产力严重下降, 地表出现类似荒漠景观的土地退化过程<sup>[1]</sup>。喀斯特石漠化在我国主要集中分布于西南地区, 且以每年 2% 的速度在扩张<sup>[2]</sup>。地处黔西北的毕节试验区属典型喀斯特山区, 石漠化面积占全区总面积的 54.16%, 其中, 轻度及以上石漠化面积达 7 804.5 km<sup>2</sup>, 占土地总面积的 29.06%, 石漠化已成为制约试验区可持续发展的主要因素。

从 20 世纪 40 年代开始, 喀斯特退化生态系统的研究逐渐得到人们的重视, 特别是在喀斯特生态环境特点、喀斯特森林属性、群落结构、功能、种群生态及退化喀斯特森林自然恢复过程等方面开展了广泛的研究<sup>[3-7]</sup>, 但相关研究工作多集中在自然保护区及黔中地区进行, 有关喀斯特石漠化过程中的群落特征及物种多样性研究不多<sup>[8-10]</sup>, 特别是针对黔西北喀斯特地区植被恢复的研究未见报道。由于岩性、地质地貌、水文等自然环境的异质性, 加之人类经济活动的千差万别, 不同地域的石漠化类型不同, 自然恢复过程中因其演替规律、发展潜力及胁迫因子等存在差异, 从而形成不同的植

物群落类型。物种多样性是衡量群落结构与功能复杂性的一个重要指标<sup>[11]</sup>, 是植被和生态系统过程与功能最重要的特征<sup>[12]</sup>, 植被自然恢复的实质就是群落的进展演替, 植被恢复过程中物种多样性的变化反映了植被的恢复程度<sup>[13]</sup>。因此, 对黔西北喀斯特山区植被自然恢复演替过程中各阶段物种多样性进行研究, 可以很好地认识植被恢复过程中群落的组成、发展和变化规律, 能够为该地区喀斯特石漠化植被恢复的物种选择与优化配置提供依据, 有利于该地区的生态建设。

#### 1 研究地概况与方法

**1.1 研究地概况** 研究地大方县位于贵州省西北部, 毕节地区中部, 乌江支流六冲河北岸。地理位置 105°15'47"~106°08'04"E, 26°50'02"~27°36'04"N, 海拔 720~2 325 m, 因处于低纬度高海拔地区, 暖温带湿润季风气候明显, 年平均气温 11.8℃, 最高月平均气温 31.5℃, 最低月平均气温 -9.3℃, 年平均降雨量 1 180.8 mm, 年日照时数 1 335.5 h, 无霜期 257 d, 土壤以黄壤和石灰土为主。由于退耕还林等工程的大力实施, 人为干扰逐渐减少, 森林覆盖率由 1998 年的 14.6% 上升到 2006 年的 32.5%, 植被自然恢复演替过程中形成了草本群落、藤刺灌丛、灌乔林、次生乔林等不同阶段的植物群落类型。

**1.2 样地调查** 通过野外踏查, 根据退耕年限、群落的外部特征和内部结构, 选取草本群落阶段 (G)、藤刺灌丛阶段 (LS)、灌乔林阶段 (ST)、次生乔林阶段 (SF) 和顶级群落阶段 (LF) 的典型植被区域进行样地调查, 顶级群落样地位于大方福建柏保护区内, 每个演替阶段的群落各设置样地 3 块,

基金项目 国家科技支撑计划 (2007BAD53B00)。

作者简介 陈坤浩 (1969-), 男, 贵州金沙人, 副教授, 从事植物生态学及生物多样性研究。

收稿日期 2009-06-10

取样面积均为 20 m × 20 m, 将每个样地分割成 5 m × 5 m 的样方, 对每个样方内的乔木种类进行每木调查, 记录名称、高度和胸径, 灌木记录种类、数量、高度及盖度, 沿样地对角线设立 3 个 2 m × 2 m 小样方调查草本植物, 记录种类、多度、均高及盖度, 同时记录海拔、坡度、坡向等生境特征, 各样地环境资料见表 1。

表 1 样地环境资料

Table 1 The habitat conditions of the sample plots

演替阶段 Succession stages	退耕年限 Different abandoned years	坡向 Direction of slope	海拔/m Elevation	坡度/° Slope	群落盖度/% Community coverage
G	3	SE	1 450	25	72.43
LS	10	SW	1 470	25	86.75
ST	15	SW	1 480	30	90.18
SF	35	SE	1 470	25	94.35
LF	90	NE	1 400	45	95.83

1.3 资料处理 采用空间代替时间的方法分析各演替阶段的物种组成, 群落指标如下:

重要值:

$$\text{乔木层}(IV) = (\text{相对密度} + \text{相对显著度} + \text{相对频度}) \times 100$$

$$\text{灌木及草本层}(V) = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) \times 100$$

物种丰富度指数:  $S =$  样地中的物种数

$$\text{Simpson指数}: D = 1 - \sum P_i^2$$

$$\text{Shannon-Wiener指数}: H = - \sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou均匀度指数}: J = H / \ln S$$

式中,  $P_i = N_i / N$ , 即种  $i$  的相对重要值<sup>[14-15]</sup>;  $N_i$  为第  $i$  个物种的重要值;  $N$  为群落(样地)中所有物种重要值之和。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同恢复阶段的群落特征

2.1.1 草本群落阶段。恢复演替初期, 适应当地气候条件的一年生草本植物迅速侵入并在群落中占据重要地位, 常见种类有鬼针草 (*Bidens pilosa*)、一年蓬 (*Erigeron annuus*)、牛膝菊 (*Galinsoga parviflora*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、鼠尾粟 (*Sporobolus indicus* var *purpurea-suffusus*) 等。其中以鬼针草的重要值最大, 其次是一年蓬。随着演替的进行, 一些耐瘠、耐旱、喜光的多年生草本植物如白茅 (*Imperata cylindrica* var *majore*)、打破碗花花 (*Anemone hupehensis*)、蜈蚣草 (*Pteris vittata*)、糯米条 (*Gonostegia hirta*) 等也有少量个体开始侵入, 肉汁多浆的凹叶景天 (*Sedum marginatum*)、垂盆草 (*Sedum sarmentosum*) 在石面、石缝中也有分布。同时长年耕作导致基岩不断出露, 土被不连续, 负地形丰富, 部分低矮的阳性灌木和藤刺在耕作过程中得以保留, 主要种类有珍珠英莨 (*Viburnum foetidum* var *ceanothoides*)、竹叶椒 (*Zanthoxylum planispinum*)、亮叶岩豆藤 (*Millettia nitida*)、金银花 (*Lonicera japonica*) 等, 但个体数量较少, 盖度很低, 由于草本层发达, 整个群落的盖度达 72.43%。

2.1.2 藤刺灌丛阶段。多年生草本植物的大量侵入生长, 改善了严酷的喀斯特石漠化生境, 从而形成复杂多变的小环境, 为灌木侵入、定居提供了条件。随着灌木种类及个体的

增加, 草本层在群落中的作用逐渐降低, 阳性草本植物逐渐被中性和耐阴的种类取代, 群落高度及盖度逐渐增加。草本层的主要种类有白茅、地瓜 (*Ficus Tikoua*)、打破碗花花、苘草 (*Arthraxon hispidus*)、旋叶香青 (*Anaphalis conchata*)、三脉紫菀 (*Aster ageratoides*)、凤尾蕨 (*Pteris nervosa*) 等。特别是具有丰富不定根系, 匍匐呈垫状生长的地瓜, 具有极强的吸水、保水功能, 以其特殊的生活型高度适应干旱的喀斯特生境, 在群落中作用明显, 分布广泛。灌木层的盖度达 60% 左右, 主要种类有铁仔 (*Myrsine africana*)、异叶鼠李 (*Rhamnus heterophylla*)、薄叶鼠李 (*Rhamnus leptophylla*)、竹叶椒、珍珠英莨、匍匐栒子 (*Cotoneaster adpressus*)、火棘 (*Pyracantha fortuneana*)、光叶绣线菊 (*Spiraea japonica* var *fortunei*) 及耐瘠、耐旱的小舌紫菀 (*Aster albescens*) 等。小果蔷薇 (*Rosa cymosa*)、悬钩子蔷薇 (*R. rubus*)、金樱子 (*R. laevigata*) 等蔓生植物与亮叶岩豆藤、蓝果蛇葡萄 (*Ampelopsis bodinieri*)、粗齿铁线莲 (*Clematis argenticulida*)、何首乌 (*Polygonum multiflorum*)、鸡矢藤 (*Paecleria scandens*)、翼梗五味子 (*Schisandra henryi*) 等藤本植物及各种灌木一起组成灌木层, 形成特殊的藤刺灌丛群落外貌。

2.1.3 灌乔林阶段。该阶段是藤刺灌丛向次生乔林的过渡, 由于灌木层的形成使严酷的喀斯特生境得以进一步改善, 部分阳性乔木树种开始侵入, 如响叶杨 (*Populus adenopoda*)、香椿 (*Toona sinensis*)、多脉猫乳 (*Rhynchospora martinii*)、朴 (*Celtis tetrandra*) 等。灌木层主要有圆果化香 (*Platycarya longipes*)、金丝桃 (*Hypericum monogynum*)、铁仔、火棘、南天竹 (*Nandina domestica*)、小叶粉叶栒子 (*Cotoneaster glaucophyllus* var *meiophyllus*) 及耐阴的刺异叶花椒 (*Zanthoxylum dinorphyllum* var *spinifolium*)、川榛 (*Corylus heterophylla* var *sutchuenensis*) 等。群落高度及盖度进一步增加, 但层次不明显, 未形成真正的乔木层。草本层除苘草、地瓜等常见种外, 贯众 (*Cyrtium fortunei*)、狗脊 (*Woodwardia japonica*)、蕨 (*Pteridium aquilinum*) 等耐阴的蕨类也有较多分布。

2.1.4 次生乔林阶段。灌木层进一步退化, 阳性乔木大量侵入并快速发展, 形成乔木层, 群落生境好转。乔木层有响叶杨、槲栎 (*Quercus aliena*)、圆果化香、盐肤木 (*Rhus chinensis*)、刺楸 (*Kalopanax septemlobus*)、山苍子 (*Lusai cubeba*)、云南樟 (*Cinnamomum glanduliferum*) 等。阳性乔木树种的幼树与灌木树种共同形成灌木层, 乔木层的形成导致群落环境的阴蔽性增加, 灌木层和草本层的种类进一步减少, 灌木层主要有铁仔、薄叶鼠李、刺梨 (*Rosa roxburghii*)、小构树 (*Broussonetia raupferi*)、云实 (*Caesalpinia decapetala*)、云南双盾木 (*Dipelta yunnanensis*) 等, 草本层以中性和耐阴的物种为主, 如三脉紫菀、千里光 (*Senecio acandens*)、艾蒿 (*Artemisia argyi*)、贵州天名精 (*Capesium faberi*)、盾叶唐松草 (*Thalictrum ichangense*) 等。同时藤刺阶段的部分藤本继续发育形成层间植物, 如粗齿铁线莲、小叶菝葜 (*Smilax microphylla*)、何首乌、鸡矢藤等。

2.1.5 顶级群落阶段。随着时间的推移演替不断向增加群落稳定性方向发展, 石灰岩常绿、落叶阔叶混交林是黔西北地区亚热带石灰岩山地的顶极群落。该阶段群落层次明显, 群落高度和盖度均达到最大值。乔木层树种主要有青冈栎

(*Cyclobalanopsis glauca*)、窄叶石栎 (*Lithocarpus confines*)、云贵鹅耳枥 (*Capinus pubescens*)、化香 (*Platycarya strobilacea*)、石灰花楸 (*Sorbus folgneri*)、云南樟 (*Cinnamomum glanduliferum*)、香叶树 (*Lindera communis*)、朴、君迁子 (*Diospyros lotus*)、冬青 (*Ilex pupurea*)、穗序鹅掌柴 (*Schefflera delavayi*)等。由于乔木层较高的郁闭度,林下透光性差,灌木层中乔木的幼树、幼苗数量和灌木种类相对较少,主要有较为耐阴的西域旌节花 (*Stachyurus himalaicus*)、喜马拉雅青英叶 (*Helmwingia himalaica*)、湖北十大功劳 (*Mahonia confusa*)等。草本层仍

然以中性和耐阴的物种为主,如舌叶苔草 (*Carex ligulata*)、箭叶淫羊藿 (*Epidium sagittatum*)、鸢尾 (*Belamcanda tectonum*)、千里光、沿阶草 (*Ophiopogon bodinieri*)及生于岩石上的革叶粗筒苣苔 (*Briggsia mieri*)、吊石苣苔 (*Lysionotus pauciflorus*)、抱石莲 (*Lepidogrammitis drymoglossoides*)等。同时林隙的出现也为一些喜光喜湿的物种提供了生存的条件。

2.2 不同恢复阶段群落的物种多样性 按乔木、灌木、草本3种生活型对黔西北喀斯特山区植被自然恢复演替过程中各阶段物种多样性进行测度,结果见表2。

表2 不同演替阶段植物群落的物种多样性

Table 2 The species diversity of plant community in different successional stages

多样性指数 Diversity indices	层次 Layer	演替阶段 Succession stages				
		G	LS	ST	SF	LF
物种丰富度 (S) Species richness	乔木层 Tree layer	0	3	6	19	23
	灌木层 Shrub layer	9	54	57	21	18
	草本层 Herb layer	25	60	40	27	14
Simpson 指数 (D) Simpson index	乔木层 Tree layer	-	-	-	0.8026	0.8265
	灌木层 Shrub layer	0.7241	0.9253	0.9482	0.8147	0.8193
	草本层 Herb layer	0.8653	0.9542	0.9167	0.8695	0.7598
Shannon-Wiener 指数 (H) Shannon-Wiener index	乔木层 Tree layer	-	-	-	2.0986	2.3105
	灌木层 Shrub layer	1.2164	2.8765	2.8953	2.1043	1.9802
	草本层 Herb layer	2.6984	3.0124	2.5864	2.3659	1.5963
Pielou 均匀度指数 (J) Pielou evenness index	乔木层 Tree layer	-	-	-	0.7127	0.7368
	灌木层 Shrub layer	0.5536	0.7211	0.7167	0.6912	0.6851
	草本层 Herb layer	0.8383	0.7357	0.7011	0.7178	0.6049

2.2.1 不同恢复阶段的群落物种丰富度。黔西北喀斯特地区实施封山育林后,随着演替的进展,植被在自然恢复过程中乔木层的物种丰富度逐渐增加;灌木层和草本层的物种丰富度在藤刺灌丛阶段达到最大值,以后随着乔木树种的发展,群落生境荫蔽性增加,林中光照减弱,丰富度迅速下降。

2.2.2 不同演替阶段草本层物种多样性分析。草本层的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数在不同阶段表现为先上升后下降的规律,到藤刺灌丛阶段达到最大值,顶级群落阶段最低。而 Pielou 均匀度指数在草本群落阶段最高,并随时间的推移逐渐下降,且在藤刺灌丛阶段、灌乔过渡阶段及次生乔林阶段波动不大,顶级群落阶段最低。

2.2.3 不同演替阶段灌木层物种多样性分析。灌木层物种多样性的各项测度指标在不同演替阶段变化规律一致,呈先上升后下降趋势,但峰值出现在不同时期, Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数从草本到藤刺灌丛阶段迅速增加,灌乔过渡阶段达到峰值,次生乔林阶段和顶级群落阶段较为接近, Pielou 均匀度指数的峰值则出现在藤刺灌丛阶段,次生乔林阶段和顶级群落阶段波动不大。

2.2.4 不同演替阶段乔木层物种多样性分析。自然恢复演替在藤刺灌丛阶段即有极少量的乔木种类侵入,但由于喀斯特环境还十分严酷,个体生长较差,直到次生乔林阶段才形成真正的乔木层,乔木层 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数在次生乔林阶段均略高于顶级群落阶段,可能与次生乔林阶段伐薪等人为干扰严重有关。

### 3 结论与讨论

植被自然恢复的实质就是群落的进展演替,是新物种不断侵入并在群落内定居,系统稳定性逐渐增加的过程,植被

恢复过程中物种多样性的变化反映了植被的恢复程度。黔西北喀斯特区在恢复演替初期,对群落物种多样性影响最大的环境因子是群落的透光度,由于极度退化的喀斯特环境较为空旷,光照强度大,导致水分蒸发快,土壤含水量低,环境因子中水分与温度的波动大,从群落环境外散布来的繁殖体虽然较多,但只有能够适应干旱环境,具有高扩散能力的一年生草本植物能够以其特有的生活史对策快速侵入并定居下来,如鬼针草、一年蓬等,同时长年耕作导致土被不连续而形成的石沟、石缝、石面、石槽等小生境及其组合又增加了喀斯特小生境的异质性<sup>[16-18]</sup>,这些种类的侵入极大地改善了小生境的水分、光照和温度条件,加上人类对群落资源的利用小,对群落的干扰少,从而为更多物种的侵入奠定基础,群落物种丰富度得以迅速增加,10年左右即达到物种丰富度最高的藤刺灌丛阶段。随着演替的进程,生境进一步分化和种间竞争加剧,物种丰富度又逐渐下降,顶级群落阶段系统处于稳定的动态平衡中,物种相对稳定。但由于调查地受到的人为干扰强烈,如过度樵采、放牧等,使次生乔林阶段的物种丰富度反而略低于顶级群落阶段。

喀斯特退化群落在自然恢复过程中,物种多样性指数由草本群落阶段到灌乔过渡阶段逐渐稳定增加,将群落各层次物种多样性指数直接相加后,物种多样性指数在藤刺灌丛阶段和灌乔过渡阶段均维持较高值,这与该阶段复杂多变的小生境相关,说明高度异质性与多样化的小生境在很大程度上造就了喀斯特生态系统较高的物种多样性,与其他地区也相似。退化喀斯特群落自然恢复的关键是物种的更替,而物种多样性又是群落稳定性的一个重要尺度,均匀度指数反映了

(下转第 11083 页)

- Bienergy 2005 29 167-177
- [19] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆利用现状 [J]. 华中农业大学学报, 2002 21(3): 242-247
- [20] 张培栋, 杨艳丽, 李光全, 等. 中国农作物秸秆能源化潜力估算 [J]. 可再生能源, 2007 25(60): 80-83
- [21] 张福春, 朱志辉. 中国作物的收获指数 [J]. 中国农业科学, 1990 23(2): 83-87
- [22] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布 [J]. 自然资源学报, 2007 22(1): 9-18
- [23] 王丽, 李雪铭, 许妍. 中国大陆秸秆露天焚烧的经济学损失研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2008 22(2): 170-175
- [24] 钟华平, 岳燕珍, 樊江文. 中国作物秸秆资源及其利用 [J]. 资源科学, 2003 25(4): 62-67
- [25] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状 [J]. 农业工程学报, 2002 18(3): 87-91
- [26] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料资源 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [27] 苑亚茹. 我国有机废弃物的时空分布及其利用现状 [D]. 北京: 中国农业大学, 2008
- [28] 田宜水, 孟海波. 农作物秸秆开发利用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008 5-8
- [29] MOA/DOE Project Expert Team. Assessment of biomass resources availability in China [M]. Beijing China Environment Science Press 1998
- [30] YUK H KO, MATSUMURA, TOM OAK I, MOWA, H IROM I, YAMAMOTO. Amount availability and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan [J]. Biomass and Bienergy, 2005 29 347-354
- [31] JOHNSON J M, F, ALLMARAS R R, REICOSKY D C. Estimating source carbon from crop residue roots and rhizodeposits using the national grain-yield database [J]. Agronomy, 2006 98(3): 622-636
- [32] SPOUT BILL A. Handbook of energy for the world agriculture [M]. London Elsevier Applied Science 1990
- [33] LARSON W E, SWAN J B, PIERCE F J. Agronomic implications of using crop residues for energy [C] // LOCKERTZ W. Agriculture as a producer and consumer of energy AAAS Selected Symposium, 1982 91-122
- [34] GUPTA S C, ONSTAD C A, LARSON W E. Predicting the effects of tillage and crop residue management on soil erosion [J]. Soil Water Conserv, 1979 34 77-79
- [35] LAL R. The role of residue management in sustainable agricultural systems [J]. Sustain Agric, 1995 5 51-78
- [36] LAL R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel [J]. Environment International 2005 31 575-584
- [37] 中华人民共和国国家统计局. 中国农业统计资料汇编 1949-2004 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005
- [38] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴·2006 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006
- [39] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴·2007 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007
- [40] 张桂春, 刘宇鹏, 阎岭. 河北省发展循环农业的模式选择与体系构建 [J]. 商场现代化, 2007(32): 219
- [41] 宋林平. 中国·河北省首届循环农业暨秸秆综合利用实践与展望国际论坛会议简讯 [J]. 河北农机, 2007(6): 4
- [42] 孙万军, 严春晓. 河北着力提高秸秆综合利用水平 [J]. 河北农机, 2002(2): 13
- [43] 倪景仓. 河北省秋季农机作业成效显著 [J]. 农机科技推广, 2006(11): 28-25
- [44] 中华人民共和国国家统计局. 新中国五十年农业统计资料 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000
- [45] 河北省财政厅. 河北省今年农资综合直补总额 18 6 亿元, 比上年翻一番 [EB/OL]. 2007 [http://www.bd.gov.cn/Article\\_Show.asp?ArticleID=2779](http://www.bd.gov.cn/Article_Show.asp?ArticleID=2779)
- [46] 张岫英. 1999年我国秸秆机械化还田与禁烧工作成效显著 [J]. 中国生态农业学报, 2000(2): 81
- [47] 刘世平, 陈后庆, 聂新涛, 等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价 [J]. 农业工程学报, 2008 24(5): 51-56
- [48] 刘焯, 范丙全, 龚明波. 秸秆还田技术在中国生态农业发展中的作用 [J]. 中国农学通报, 2008 24(6): 404-407
- [49] 赵鹏, 陈卓. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响 [J]. 作物学报, 2008 34(6): 1014-1018
- [50] 王孝峰. 我国与世界钾资源及开发利用现状 [J]. 磷肥与复肥, 2005 20(1): 10-13
- [51] 王孝峰. 我国与世界钾资源及开发利用现状 (续完) [J]. 磷肥与复肥, 2005 20(2): 14-17
- [52] 刘东, 马林, 王方浩, 等. 中国猪粪尿 N 产生量及其分布的研究 [J]. 农业环境科学学报, 2007 26(4): 1591-1595
- [53] 马东红, 魏鹏, 苗万福. 河北“千万吨奶工程”项目启动 [EB/OL]. (2007-09-23) <http://www.sina.com.cn>
- [54] 李永合. 玉米秸秆青贮饲料的制作与应用 [J]. 北方牧业: 奶牛, 2006(9): 18
- [55] 徐刚毅, 刘泽辉. 青贮青饲玉米秸的利用现状和前景 [J]. 四川畜牧兽医, 2005 32(5): 42-43
- [56] 郭旭生, 崔慰贤. 提高秸秆利用率和营养价值的研究进展 [J]. 饲料工业, 2002 23(11): 12-15
- [57] 中国畜牧业年鉴编辑委员会. 中国畜牧业年鉴·2005 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005
- [58] 农业部科技教育司. 中国农村能源年鉴·2000-2008 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008

(上接第 11078 页)

群落个体数目分配的均匀程度, 个体数越均匀, 物种之间的相互关系就越复杂, 群落对于环境的变化及来自群落内部种群的波动就能得到较大的缓冲, 稳定性越强。乔木层的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数在次生乔林阶段高于顶级群落, 但均匀度指数则低于顶级群落, 且乔木层在该阶段群落中占据重要地位, 说明顶级群落的稳定性较强。黔西北地区只要采取封山育林措施, 尽力减少人为干扰, 群落物种多样性就会增加, 植被可以由草丛群落发展为藤刺灌丛群落、次生乔林群落, 并最终形成喀斯特森林。

#### 参考文献

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及科学内涵的探讨 [J]. 中国岩溶, 2002 21(2): 101-105
- [2] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价 [J]. 生态学报, 2005 25(3): 639-644
- [3] 杨汉奎, 程任泽. 贵州茂兰喀斯特森林群落生物量研究 [J]. 生态学报, 1991 11(4): 307-312
- [4] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 退化喀斯特森林自然恢复评价研究 [J]. 林业科学, 2000 36(6): 12-19
- [5] 喻理飞, 朱守谦, 祝小科, 等. 退化喀斯特森林恢复评价和修复技术 [J]. 贵州科学, 2002 20(1): 7-13
- [6] 朱守谦, 陈正仁, 魏鲁明. 退化喀斯特森林自然恢复的过程和格局 [J]. 贵州大学学报: 农业与生物科学版, 2002 21(1): 19-25
- [7] 李援越, 祝小科, 朱守谦. 退化喀斯特群落自然恢复程度评价 [J]. 南京林业大学学报, 2003 27(4): 31-34
- [8] 邓培雁. 贵州喀斯特地区种子植物物种多样性受损及其对策 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2000 8(3): 17-21
- [9] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 贵州喀斯特石漠化过程中植被特征的变化 [J]. 南京林业大学学报, 自然科学版, 2003 27(3): 26-30
- [10] 龙翠玲. 喀斯特森林林隙梯度物种多样性变化规律 [J]. 广西植物, 2008 28(1): 57-61
- [11] 谢晋阳, 陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征 [J]. 生态学报, 1994 14(4): 337-344
- [12] 温远光, 元昌安, 李信贤, 等. 大明山中山植被恢复过程植物物种多样性的变化 [J]. 植物生态学报, 1998 22(1): 33-40
- [13] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2003 2-15
- [14] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 I 丰富度、均匀度和物种多样性指数 [J]. 生态学报, 1995 15(3): 268-277
- [15] 高贤明, 黄建辉, 万师强, 等. 秦岭太白山弃耕地植被群落演替的生态学研究 II 演替系列的群落  $\alpha$  多样性特征 [J]. 生态学报, 1997 17(6): 619-625
- [16] 朱守谦. 喀斯特森林生态学研究 (I) [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1993
- [17] 朱守谦. 喀斯特森林生态学研究 (II) [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1997
- [18] 朱守谦. 喀斯特森林生态学研究 (III) [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003