

青海省大通县退耕还林区主要植物群落物种组成与多样性

秦 景¹, 贺康宁¹, 刘 硕¹, 郑佳丽¹, 王占林²

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 青海省农林科学院 林业研究所, 青海 西宁 810016)

摘要: 2008年3–8月, 对青海省大通县退耕还林区不同样地类型下不同植物群落进行全面考察, 综合分析了主要植物群落物种组成与多样性。结果表明: ①在不同生活型中, 物种多样性表现为草本层>灌木层>乔木层, 这与群落中各层次的物种组成情况相同。②不同群落间物种多样性也有较大的差异, 混交林相对纯林具有更高的物种多样性。③对不同起源地的群落多样性, 天然次生林>退耕地人工林>农耕地, 且退耕多年地段的群落物种多样性接近于天然次生林。④在不同的退耕时间序列上, 随着时间的推移, 群落逐渐趋于稳定, 群落物种多样性和丰富度呈“小—大—小”的变化过程, 而均匀度和优势度指数呈“大—小—大”的变化过程。退耕还林在保护生物多样性、恢复植被和改善生态环境等方面发挥着重要作用。在退耕还林还草过程中, 应注意合理的林草布局, 促进群落的稳定和更新。图2表4参15

关键词: 森林生态学; 物种组成; 物种多样性; 植物群落; 退耕还林; 青海省大通县

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)03-0410-07

Species composition and diversity for plant communities in conversion of farmland back to forest areas of Qinghai Province

QIN Jing¹, HE Kang-ning¹, LIU Shuo¹, ZHENG Jia-li¹, WANG Zhan-lin²

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Forestry, Qinghai Academy of Agriculture and Forestry, Xining 810016, Qinghai, China)

Abstract: Research on different plant communities of different plot types (conversion of farmland back to forests, natural secondary forest and farmland) was conducted in a project area that returned farmland to forests in Datong County, Qinghai Province from March to August in 2008. After analyzing species composition of the main plant communities (including 15 types, such as *Picea crassifolia* forests, *Picea crassifolia* -*Betula platyphylla* forests, *Picea crassifolia*-*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis* forest, *Larix principis-rupprechtii* forests, *Populus davidiana* forests, and *Sabina przewalskii* forests), species richness index (R_0), Gleason species richness index (I), Simpson ecological dominance index (D), Shannon-Weiner species diversity index (H), and Hill evenness index (E_5) of the community were calculated. Results showed that (1) the level of the species diversity in the community was herb > shrub > tree. Also, (2) the level of the species diversity in mixed forests was higher than pure forests. (3) According to land use, species diversity was: natural secondary forest > artificial forest on converted farmland > cropland. However, after 27 years diversity of the converted farmland was close to that of the natural secondary forest. (4) As conversion time increased, the community became more and more steady-state. The H and I were “small–big–small” and the D and E_5 were “big–small–big”. To promote stability and rejuvenation of plant

收稿日期: 2009-04-15; 修回日期: 2009-10-21

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A1203); 国家林业局资助项目[(2007)64号]; 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20070022028)

作者简介: 秦景, 博士, 从事林业生态工程和植物逆境生理等研究。E-mail: qinjing1208@163.com。通信作者: 贺康宁, 教授, 博士生导师, 从事林业生态工程和植物逆境生理等研究。E-mail: hkn@bjfu.edu.cn

communities when returning farmland to forests, logical distribution of species should be realized. [Ch, 2 fig. 4 tab. 15 ref.]

Key words: forest ecology; species composition; species diversity; plant community; conversion of farmland back to forests; Datong County of Qinghai Province

中国西部现已成为水土流失和土地荒漠化最为严重的地区^[1]。退耕还林还草、恢复林草植被是根治水土流失、防治荒漠化的根本性措施之一,也是解决西部生态问题的根本途径。当今,仿照自然植物群落结构在退耕地通过人工手段恢复林草植被后,其植被的结构、功能等方面的变化,是一个十分重要的研究课题^[2-3]。黄河上游脑山区的退耕还林还草工程于 20 世纪 80 年代初期开始,现保存有不同年代退耕的人工植被类型。通过“时空互换法”^[4-6]而形成人工植被类型的较长时间序列,也为开展相关研究提供了便利条件。本研究选择不同年份退耕还林地人工植被类型,并以农耕地作物类型(退耕前植被类型)和天然次生林类型(人工仿拟预期实现的终极植被类型)作为退耕地人工植被类型的对比,对所有这些类型的物种组成进行量化分析,同时对不同植被类型、不同土地类型和不同时间序列下的群落植物多样性进行分析研究,揭示退耕还林还草工程实施过程中植物群落物种多样性变化规律,为退耕还林还草模式的建立和完善提供理论基础和科学依据。

1 试验地概况

大通县位于青海省东北部,36°43′~37°23′N, 100°51′~101°56′E,地处黄土高原西部与青藏高原相接的祁连山地,境内最高海拔为 4 622 m,最低海拔 2 280 m。试验地位于大通县中腹的塔儿镇塔儿沟村,地处半浅山半脑山地区,平均海拔为 2 660 m。该地区为半干旱半湿润温凉性气候,年平均降水量为 457.8 mm,无霜期为 97 d,年平均水面蒸发量为 834.2 mm,最大蒸发出现在 4-6 月,表现出典型的北方春旱的特征。森林植被属寒温性常绿针叶林及落叶阔叶林类型,其分布状况有明显的坡向性和垂直地带性。研究对象主要为大通县境内不同时间序列的退耕地人工林,同时选取当地天然次生林和农耕地进行对比研究。

2 研究方法

2.1 植被调查

在调查中,根据具体地段的立地条件、植被及土地利用方式等因素,设置了 22 个标准地(包括 10 个退耕地人工林、8 个天然次生林和 4 个农耕地)。各个样地中设 3 个 20 m×30 m 乔木样方,各个乔木样方的中央及对角线位置上共设置 5 个 5 m×5 m 灌木和 5 个 1 m×1 m 的草本样方。共计调查乔木样方 54 个和灌木样方 90 个(农耕地不设乔木和灌木样方,单设 5 个 1 m×1 m 的草本样方进行调查)。乔木调查采用每木检尺法,重点调查乔木树种名称、树高、冠幅、株数、胸径、密度、郁闭度和林龄等;在进行下木、活地被物调查时,首先按高度分层,目测各层的总盖度,记录各灌木及草本的种类名称、高度、盖度、频度和分布状况等。同时,观察标准地的地形、地势和水文条件并划分立地条件类型和林型,记录每个样方的海拔高度、坡度、坡向、土层厚度、枯枝落叶层厚度和生物量等生境特征。

2.2 物种多样性分析方法

样地调查后,在计算出重要值^[7-9]的基础上,分别计算不同群落内乔木层、灌木层和草本层的物种丰富度指数、生态优势度指数、物种多样性指数和物种均匀度指数,以分析物种多样性变化趋势。

2.2.1 物种多样性计算方法 物种多样性常用物种丰富度指数、物种多样性指数、生态优势度指数和物种均匀度指数来表示。各指数的测定方法很多^[10]。本研究选用以下几个公式^[7-11]。丰富度指数 $R_0 = S$ 。其中 S 为群落中物种种数。Gleason 丰富度指数 $I = S / \ln A$ 。其中 S 为物种总数, A 为样地面积。

Simpson 优势度指数 $D = \sum_{i=1}^S P_i^2$ 。其中 P_i 为样地中各物种相对重要值, $P_i = N_i / N$, N_i 为某物种的重要

值, N 为所有物种的重要值之和。Shannon-Wiener 指数 $H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ 。Hill 均匀度指数 $E_5 = (1/\lambda)e^H$ 。

其中 H 为 Shannon-Wiener 指数, S 为物种总数。

2.2.2 修正综合优势比 本研究将研究区域作为一个系统, 将这一系统中所有植物群落, 按照分层结果, 统一选用频度、密度、高度和盖度这 4 个指标的最大值($F_{\max}$, $D_{\max}$, $H_{\max}$ 和 $C_{\max}$), 在纵向上(不同指标)用各指标的最大值统一进行归一化处理, 然后在横向上(不同标准地)进行合并运算, 得出不同

生活型植物种的修正综合优势比 $D_i = \frac{1}{4} \sum_j (F_{ij} / F_{\max} + D_{ij} / D_{\max} + H_{ij} / H_{\max} + C_{ij} / C_{\max})$ 。其中 i 为不同植物种, j 为不同标准地。

3 结果与分析

3.1 大通县植物生活型分类

根据 Whittaker 等的分类系统, 对大通县植物进行分层, 并对各生活型植物种总数进行统计。结果表明, 大通县境内维管束植物物种总共有 1 027 种, 分布在 83 科 368 属。其中, 乔木有 59 种, 占总物种数的 5.75%, 灌木有 130 种, 占总物种数的 12.66%, 草本有 815 种, 占总物种数的 79.36%。这说明, 大通县植物以草本为主; 同时, 该区位于青海省东部弧形山地湿润带上, 具有森林分布的条件。

3.2 物种组成的数量化分析

本研究选其中最主要的 3 个类型层次, 即乔木、灌木和草本作为研究对象, 用修正综合优势比对大通县退耕还林还草地各主要人工植被的物种组成特征进行数量化分析。

3.2.1 乔木层物种组成分析 调查中发现, 大通县主要乔木树种相对贫乏, 群落中乔木物种组成单一, 多为退耕地人工林和天然次生林, 且受人为影响大。其中青海云杉 *Picea crassifolia*, 祁连圆柏 *Sabina przewalskii*, 白桦 *Betula platyphylla* 和山杨 *Populus davidiana* 等为常见的乡土树种, 而华北落叶松 *Larix principis-rupprechtii*, 青杨 *Populus cathayana* 等为引进树种。由表 1 可知, 青海云杉是当地的优势建群树种, 其单种修正综合优势比总和占有所有乔木种总修正综合优势比的比例达到 37.44%, 出现频度占到 1/3。青海云杉形成多种天然次生或人工群落, 由其建群所形成的青海云杉群落是当地的地带性顶级群落。白桦是当地的先锋树种, 其单种修正综合优势比占总修正综合优势比的比例和频度仅次于青海云杉, 在许多立地条件下, 通过白桦-青海云杉群落阶段逐步向青海云杉顶极群落过渡。华北落叶松是引进的最重要的乔木树种, 其重要值、出现频度在各乔木树种中居第 3 位。青杨也是当地重要的引进树种, 能很好地适应当地的生境。山杨是当地的先锋树种, 但分布面积远次于白桦, 多通过与青海云杉的团块状混交阶段, 逐步向青海云杉顶极群落阶段过渡。祁连圆柏是当地阳坡生境的顶极群落, 对生境条件要求较高, 分布范围十分有限, 但具有很强的资源保护和借鉴价值。

表 1 大通县主要植被类型中乔木层物种组成

Table 1 Species composition of arbor layer in the main plant communities of Datong County

种名	单种修正综合优势比/%	占总修正综合优势比的比例/%	在样方中出现次数	频度/%
青海云杉 <i>Picea crassifolia</i>	3.57	37.44	18	33.33
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	2.73	28.58	15	27.78
华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	1.49	15.61	9	16.67
青杨 <i>Populus cathayana</i>	0.84	8.81	6	11.11
祁连圆柏 <i>Sabina przewalskii</i>	0.49	5.10	3	5.56
山杨 <i>Populus davidiana</i>	0.43	4.46	3	5.56

3.2.2 灌木层物种组成分析 由表 2 可知, 峨眉蔷薇 *Rosa omeiensis* 在青海省退耕地人工林中是最主

表 2 大通县主要植被类型中灌木层物种组成

Table 2 Species composition of shrub layer in the main plant communities of Datong County

种名	单种修正综合优势比/%	占总修正综合优势比的比例/%	在样方中出现次数	频度/%
峨眉蔷薇 <i>Rosa omeiensis</i>	1.72	11.31	22	24.44
栓翅卫矛 <i>Euonymus phellomanus</i>	1.42	9.32	28	31.11
灰栒子 <i>Cotoneaster acutifolius</i>	1.38	9.10	20	22.22
中国沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> ssp. <i>sinensis</i>	1.32	8.67	12	13.33
短叶锦鸡儿 <i>Caragana brevifolia</i>	1.05	6.91	25	27.78
红脉忍冬 <i>Lonicera nervosa</i>	0.93	6.11	16	17.78
扁刺蔷薇 <i>Rosa sweginzowii</i>	0.93	6.10	13	14.44
银露梅 <i>Potentilla glabra</i>	0.71	4.69	19	21.11
蒙古绣线菊 <i>Spiraea mongolica</i>	0.60	3.96	15	16.67
匍匐栒子 <i>Cotoneaster adpressus</i>	0.59	3.86	5	5.56
小叶茶藨子 <i>Ribes pulchellum</i>	0.57	3.77	15	16.67
山生柳 <i>Salix oritrepha</i>	0.54	3.57	5	5.56
秦岭小檗 <i>Berberis circumsterrata</i>	0.50	3.28	15	16.67
陕甘花楸 <i>Sorbus koehneana</i>	0.46	3.00	10	11.11
山杨(幼树) <i>Populus davidiana</i>	0.34	2.23	3	3.33
白桦(幼树) <i>Betula platyphylla</i>	0.31	2.01	5	5.56

要的优势灌木树种,有着最大的修正综合优势比。同时,中国沙棘 *Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis* 也是当地的十分重要的建群灌木种,能在极其恶劣的环境条件下生长,具有重要的种植地位。但由表 2 可看出,中国沙棘的单种修正综合优势比的比例居第 4 位,在所有灌木中不是最大的。因为修正综合优势比不仅与其单种在群落中的优势度有关,还与其在所有样方中出现的频度有关。中国沙棘为喜光植物,在林下阴湿处往往没有大片沙棘灌木的存在,其往往在林窗或生境更为恶劣的地方成群状分布,因而在所调查的群落中,中国沙棘出现的频度不是很大。但是其在整个大通县内植被中的地位和作用是不可忽视的。

3.2.3 草本层物种组成分析 退耕还林区草本植物种类丰富,是组成大通县植被的最基本部分。通过分析,将其分为 3 大类。第 1 类:常见种或主要优势种,包括草麻黄 *Ephedra sinica*, 草地早熟禾 *Poa pratensis*, 鼬瓣花 *Galeopsis bifida*, 密生薹草 *Carex crebra* 和东方草莓 *Fragaria orientalis* 等,各物种修正综合优势比多为 2.27% ~ 2.82%; 第 2 类:是耐荫的林下伴生种,包括美丽凤毛菊 *Saussurea superba*, 箭叶橐吾 *Ligularia sagitta*, 野芥麦 *Fagopyrum dibotrys*, 驴蹄草 *Caltha palustris* 等,各物种的修正综合优势多为 1.45% ~ 2.13%; 第 3 类:包括人工种植的主要农作物、药用植物(川赤芍 *Paeonia veitchii*, 车前草 *Plantago asiatica* 和火绒草 *Leontopodium leontopodioides* 等)及位于草本层中的乔木树种幼苗如青海云杉幼苗、灌木幼苗如金露梅 *Potentilla fruticosa* 等。各物种的修正综合优势多在 1.45% 以下。

3.3 物种多样性分析

3.3.1 不同植被类型群落物种多样性的比较 大通县的地带性植被为寒温性常绿针叶林类型及落叶阔叶林类型。表 3 所示的是根据 Twinspan 分类法^[6,11],并且结合大通的实际情况所列出的 15 种群落类型。由图 1 可知, Simpson 生态优势度指数(D), Shannon-Wiener 物种多样性指数(H)及 Hill 均匀度指数(E_5)在不同的群落间存在极大的差异,但同一群落类型间各个指数呈现出基本一致的趋势。其中,青海云杉+白桦林和山杨林群落的 H 最高。同时,由于两者分布于土壤和水分条件较好的生境中,物种组成非常丰富,因此, E_5 也很高。而华北落叶松群落的 H 较低,这是由于华北落叶松林下枯枝落

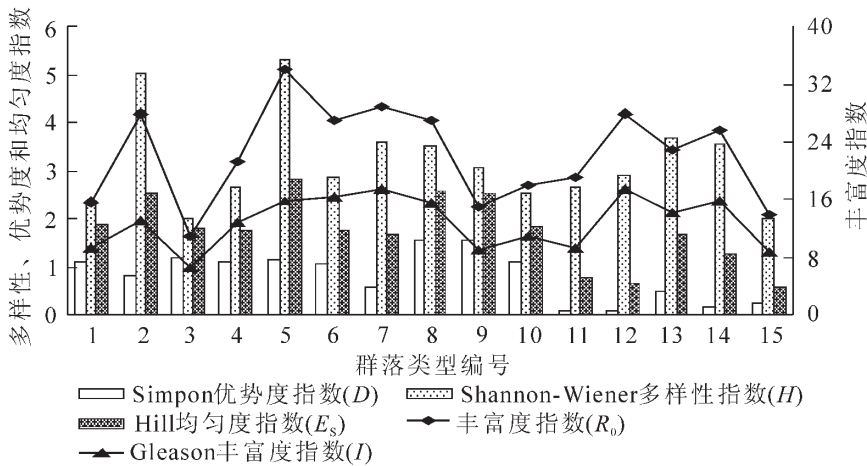


图 1 不同群落间物种多样性的比较

Figure 1 Comparison of diversity between different communities

叶较多，枯枝落叶层较厚，使得灌木和草本种类都有所减少，数量急剧下降，从而使得物种多样性降低。同样也可看出，匍匐栒子 *Cotoneaster adpressus* 灌木和中国沙棘灌木群落也具有较高的 H 值。究其原因，中国沙棘分布较散，且林窗多面积大，匍匐栒子成丛生状，虽然其丛下的草本发育不良，但周围的空地上的草本发育较好，因而两者多样性指数较高。

3.3.2 不同地类群落物种多样性的比较 表 4 所示的是立地条件相似的退耕地人工林、天然次生林和农耕地的各多样性指数差异性分析。从中可以看出，从农耕地到退耕地人工林到天然次生林， H ， I ， R_0 ， D 和 E_5 指数均逐步提高。

同时，不管是物种多样性、物种丰富度，还是物种均匀度和优势度，天然次生林总是遥遥领先，退耕地人工林相对较小，但已较为接近天然次生林，农耕地最小，并且显著小于天然次生林。由表 4 还可看出，退耕地人工林植物物种多样性指数在这一序列中，已高于其“出生地”的农耕地，而与天然次生林较为接近，反映出退耕地人工林植物正通过地上部分的作用，在群落中发挥着重大的作用。分析其原因，一方面是由于天然次生林为多年自然竞争的结果，而且群落结构完整，层次结构明显， R_0 高， E_5 也较大，因而具有较高的 H 值。而许多退耕地人工林的林龄也在 20 a 之上，虽然有人为控制作用的影响，但因为年限较为久远，群落环境在其中起主导作用，尤其是退耕地人工林，其多样性与天然次生林无显著差异。农耕地作物成分和层次结构单一，作物的优势地位明显，其多样性指标显著

表 3 青海省大通县退耕还林区主要群落类型

Table 3 Main plant communities in project area of returning farmland to forests, in Datong County, Qinhai Province

编号	群落类型	编号	群落类型
1	青海云杉林	9	白桦林
2	青海云杉-白桦林	10	白桦-中国沙棘林
3	青海云杉-中国沙棘林	11	川赤芍-杂草群落
4	华北落叶松林	12	紫花苜蓿-杂草群落
5	山杨林	13	匍匐栒子灌丛
6	祁连圆柏林	14	中国沙棘灌木林
7	青杨-白桦-中国沙棘林	15	农耕地群落
8	青杨-中国沙棘林		

表 4 农耕地、退耕地人工林与天然次生林物种多样性指数变化特征

Table 4 Characteristics of species diversity of farmland, converted farmland and natural forest

多样性指数	Shannon-Weiner 指数 H	Gleason 丰富度指数 I	丰富度指数 R_0	Simpson 优势度指数 D	Hill 均匀度指数 E_5
农耕地	2.22 ± 0.50 a	9.94 ± 3.09 a	16.00 ± 4.97 a	0.20 ± 0.11 a	0.64 ± 0.13 a
退耕地人工林	2.96 ± 0.53 b	12.74 ± 4.37 ab	21.10 ± 7.17 ab	0.92 ± 0.35 b	1.77 ± 0.44 b
天然次生林	3.92 ± 1.19 b	15.13 ± 1.88 b	27.63 ± 4.44 b	0.95 ± 0.42 b	2.19 ± 0.46 b

说明：表中数据为平均值±标准差。同列数据后不同小写字母表示同一指标不同地类群落间差异显著 ($P < 0.05$)。

低于退耕地人工林与天然此生林。

3.3.3 不同时间序列物种多样性变化分析 本研究以空间代替时间的方式,从当地顶极植物群落(青海云杉)的时间序列,来探讨不同时间序列群落物种多样性变化规律。从退耕地人工林中 1, 5, 14, 18, 23 和 27 年生的青海云杉林与 55 龄的天然次生林的物种多样性指数的比较来看(图2),就 R_0 而言,随着林龄的增长, R_0 有随林龄呈“钟型”变化(“小—大—小”)的变化趋势,从退耕初期的 15 种增加到退耕 18 年的 36 种再下降到退耕 27 a 的 10 种,且逐步向天然次生林靠近。 I 和 H 值与 R_0 的趋势基本相同,而 E_s 和 D 的变化不是特别明显,似乎有呈“大—小—大”的变化过程。这一情况,在很大程度上是当地植被在恢复演替过程中,种间关系在相互竞争、适应中趋于稳定的深刻反映。在青海云杉群落中,乔木层的单一化及针叶林特有的透光度较高等特征,形成了林下灌木、草本层的物种丰富度较高,尤其是草本层的物种丰富度较高,即草本层的多样性对群落的多样性的贡献值很大,而优势度指数则相反,由于乔木在样方中占有绝对优势的地位,所以群落的优势度在很大程度上是取决于乔木层。

4 结语

从对青海大通县物种组成的数量化分析及对不同起源地的物种多样性的分析中,可以看出,退耕还林还草工程的合理性,退耕还林还草工程不但对于保护脆弱的生态环境方面有着重要的作用,对于保护生物多样性,保护物种资源,促进群落的稳定方面也发挥着不可忽略的作用^[12-15]。并且,退耕地人工林的多样性指数,在经历着初期物种较少、中期较多、后期又趋于较少的演变过程,且各种多样性指数逐步向天然次生林靠近,说明了这些林分的仿拟结果是成功的。同时,同是退耕地人工林,混交林的多样性指数较高,这也说明在退耕还林工作中,应积极探索适合于当地自然条件的造林模式,优化林木结构,实行空间复合立体配置,在水平和垂直空间上进行一定的配置,包括实行不同高度植物间搭配(如林草、林灌和林药等),不同树种间的混交等,优化群落结构,以更好地实现其生态效应。

参考文献:

- [1] 李俊清, 崔国发. 西北地区天然林保护与退化生态系统恢复理论思考[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22 (7): 1 - 7.
LI Junqing, CUI Guofa. On nature forest protection and degraded ecosystem restoration in northwest China [J]. J Beijing For Univ, 2000, 22 (7): 1 - 7.
- [2] 范海兰, 洪伟, 洪滔, 等. 炼山对南酸枣人工林林下物种多样性的影响[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22 (5): 495 - 500.
FAN Hailan, HONG Wei, HONG Tao, et al. Effects of controlled burning on species diversity of undergrowth in *Chorospodias axillaris* plantations [J]. J Zhejiang For Coll, 2005, 22 (5): 495 - 500.
- [3] 陈世品. 福建青冈林恢复过程中植物物种多样性的变化[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21 (3): 258 - 262.
CHEN Shipin. Changes in species diversity of plants in *Cyclobalanopsis chungii* forest during the course of restoration [J]. J Zhejiang For Coll, 2004, 21 (3): 258 - 262.
- [4] 姚春生, 张增祥, 汪潇. 使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19 (6): 473 - 478.

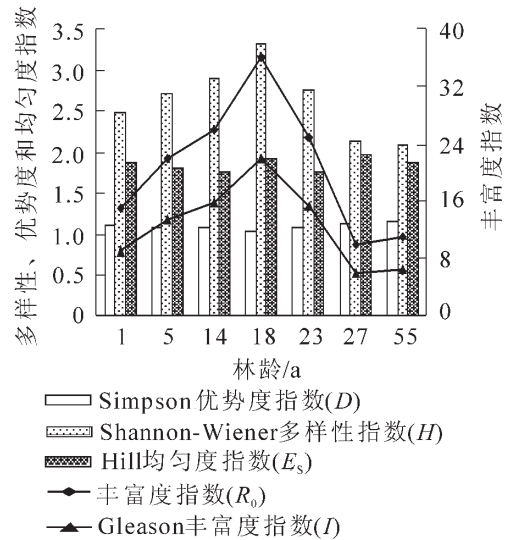


图2 不同退耕时间序列青海云杉林物种多样性的变化

Figure 2 Changes of species diversity of *Picea crassifolia* forestry of different converting time

- YAO Chunsheng, ZHANG Zengxiang, WANG Xiao. Evaluating soil moisture status in Xinjiang using the temperature vegetation dryness index (TVDI)[J]. *Remote Sens Technol Appl*, 2004, **19** (6): 473 – 478.
- [5] PRICE J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration [J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 1990, **28**: 940 – 948.
- [6] 刘秀珍, 张峰, 张金屯. 管岑山撂荒地植物群落演替过程中物种多样性研究[J]. 武汉植物学研究, 2008, **26** (4): 391 – 396.
- LIU Xiuzhen, ZHANG Feng, ZHANG Jintun. Study on species diversity during the succession of plant communities on abandoned farmlands in Guancen Mountains, Shanxi [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2008, **26** (4): 391 – 396.
- [7] 张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 芦芽山植物群落的多样性研究[J]. 生物多样性, 2000, **8** (4): 361 – 369.
- ZHANG Lixia, ZHANG Feng, SHANGGUAN Tieliang. Vegetation diversity of Luya Mountains [J]. *Chin Biodiversity*, 2000, **8** (4): 361 – 369.
- [8] 汤孟平, 周国模, 施拥军, 等. 天目山常绿阔叶林群落最小取样面积与物种多样性[J]. 浙江林学院学报, 2006, **23** (4): 357 – 361.
- TANG Mengping, ZHOU Guomo, SHI Yongjun, *et al.* Minimum sampling area and species diversity of evergreen broadleaved forest community in Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23** (4): 357 – 361.
- [9] 李贵祥, 施海静, 孟广涛, 等. 云南松原始林群落结构特征及物种多样性分析[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (4): 396 – 400.
- LI Guixiang, SHI Haijing, MENG Guangtao, *et al.* Community structural properties and species diversity in primary *Pinus yunnanensis* forest [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (4): 396 – 400.
- [10] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [11] 曹伟, 李岩, 王树良, 等. 东北阔叶红松林群落类型划分及物种多样性[J]. 应用生态学报, 2007, **18** (11): 2406 – 2411.
- CAO Wei, LI Yan, WANG Shuliang, *et al.* Community type and species diversity of broadleaved-Korean pine mixed forest in Northeast China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18** (11): 2406 – 2411.
- [12] 刘胜, 贺康宁, 常国梁, 等. 青海大通退耕还林地林分水分生产力研究[J]. 中国水土保持科学, 2006, **4** (1): 81 – 86.
- LIU Sheng, HE Kangning, CHANG Guoliang, *et al.* Water productivity of plantations in removal land from cultivation to afforestation in Datong of Qinghai [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2006, **4** (1): 81 – 86.
- [13] 贺康宁, 李世荣, 史常青, 等. 青海大通退耕还林工程区林木生产力和水分生产潜力研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, **27** (4): 44 – 51.
- HE Kangning, LI Shirong, SHI Changqing, *et al.* Tree productivity and water production potential in Returning Farmland to Forest Project in Datong County, Qinghai Province [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27** (4): 44 – 51.
- [14] 胡建忠, 郑佳丽, 沈晶玉. 退耕地人工植物群落根系生态位及其分布特征[J]. 生态学报, 2005, **25** (3): 481 – 490.
- HU Jianzhong, ZHENG Jiali, SHEN Jingyu. Discussion of root ecological niche and root distribution characteristics of artificial phyto-communities in rehabilitated fields [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25** (3): 481 – 490.
- [15] 杨光, 孙保平, 赵廷宁, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕还林工程植被恢复效益初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, **20** (2): 165 – 170.
- YANG Guang, SUN Baoping, ZHAO Tingning, *et al.* The effects of returning cropland to forest on re-vegetation in loess hilly region—Take Wuyi County in Shaanxi as an example [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2006, **20** (2): 165 – 170.