

公路碾压干扰下群落植物多样性 ——以藏北矮嵩草草甸为例

张锦华^{1,2}, 张新全¹, 刘淑珍², 鄢 燕², 张建国²

(1. 四川农业大学动物科技学院, 雅安 625014; 2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要:运用时空替换法,以空间变换替代时间变换,对公路碾压干扰下藏北矮嵩草草甸恢复演替中不同阶段群落植物多样性进行研究。结果表明:各草地群落样方中共出现高等植物 33 种,其中菊、豆、禾本科和蔷薇科合计 16 种,占 48.48%,在其自然恢复演替所起的作用最大;莎草科植物作为顶级群落的建群种具有重要作用。物种构成具有明显的阶段性特征:演替前期以 1 年生和 2 年生植物为主;中期多年生草本植物逐渐占据优势;后期矮嵩草成为单优势种;菊叶萎陵菜和二裂萎陵菜几乎贯穿始终。物种积聚主要是在演替前期和中期完成,其积聚过程符合二次曲线。演替后期群落植物多样性程度最高,多样性随演替进程表现为逻辑斯谛增长规律:前期群落物种丰富度较低,均匀度较高,生态优势度也比较高,但综合多样性较低;中期群落的均匀度下降,生态优势度也同时下降,综合多样性高;后期矮嵩草成为群落的单优势种,群落的均匀度和生态优势度均下降,综合多样性仍然增加。

关键词:植物多样性;青藏公路;碾压干扰;矮嵩草草甸

文章编号:1000-0933(2006)09-2957-07 中图分类号:Q948, S533.9, S812 文献标识码:A

Plant diversity of trampling disturbance *Kobresia humilis* community in Naqu, Tibet

ZHANG Jin-Hua^{1,2}, ZHANG Xin-Quan¹, LIU Shu-Zhen², YAN Yan², ZHANG Jian-Guo² (1. Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science & Water Resources Ministry, Chengdu 610041 China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2957 ~ 2963.

Abstract: Plant diversity is an important indicator of community succession processes. The change of community plant diversity during restoration succession processes of high mountain meadow in Naqu County, Tibet, 31°30'56.2"~32°06'18.5"N and 91°55'15.5"~92°16'51.4"E, was investigated. Five sampling sites with similar physical conditions but different succession stages were selected. The method of spatial changes in place of temporal changes was applied for field survey and data analysis. During repair work on the Qi-Zang Road at various times since 1973, traffic was diverted directly onto the adjacent grassland. Each time that the repair work was finished, the grassland began to recover from the trampling disturbance. The selection of sampling sites was dependent on the reconstruction of this road during 1973, 1984, 1991~1996 and 2004, which represent restoration years of 30, 20, 10 and 0, respectively. Grassland within animal pens was selected for comparison. The investigation was conducted in August of 2004 when the vegetation was most abundant. The plant species, the vegetation coverage, the number of tillers, the frequency, the height and the weight were investigated.

Thirty-three plant species belonging to 12 families and 23 genera were found in the inventoried quadrates during the recovery process. About 48% seed plants of the total species were *Leguminosae*, *Gramineae*, *Compositae* and *Rosaceae*, and suggested the high-plants in four big families play important roles in natural vegetation recovery, while *Kobresia* play an important role in ultimate communities. The plant species components changed with each succession stage. The plant species were mainly annual

基金项目: 西藏高原生态环境脆弱性与生态安全预警系统研究资助项目(2004CCA03600)

收稿日期: 2005-07-24; 修订日期: 2006-01-20

作者简介: 张锦华(1973~)男, 满族, 内蒙古人, 博士生, 主要从事草地教学与研究. E-mail: zhangjinhua990@msn.com

Foundation item: The project was supported by the eco-frangibility and eco-security alarm system in Tibet (No. 2004CCA03600)

Received date: 2005-07-24; Accepted date: 2006-01-20

Biography: ZHANG Jin-Hua, Ph.D. candidate, mainly engaged in grassland. E-mail: zhangjinhua990@msn.com

and biennial during the early succession stages, perennial species during the middle succession stages and predominantly *Kobresia humilis* during the late succession stages. *Potentilla bifurca* and *Potentilla tanaletfolia* were both found during all five stages. The accumulated number (y) of family, genus, and species during the succession process varied quadratically with the stages ($y = a + bt + ct^2$). Moreover, the increase rate of plant species during the early period was high, and about 48 % of total species recovered in the first 20 years.

The plant diversity (y) of Simpson index, Shannon-Wiener index, Margalef index, Pielou index and Complex index during the succession process varied logistically with the stages (t), ($y = a/(1 + e^{-(t-t_0)/b})$). The plant diversity was low during the early stage, higher during the middle stage, and highest during the entire late stage.

Key words: plant diversity; mountain meadow; trampling disturbance; Tibet

植物群落特征的恢复是退化生态系统恢复与重建的重要内容与标志,草地的生物多样性是维持区域草地生态系统稳定和生产的基础^[1~3]。人类工程(青藏公路和青藏铁路)和冻土退化给青藏高原高海拔地区相对脆弱的草地生态系统带来了相当大的影响^[4~6],经常导致草地生态系统结构和功能的改变,从而影响整个区域的生态过程^[7,8],不仅对本区,而且对其毗邻地区的生物,以及生物与环境相互作用组成的生态系统产生深刻影响^[9,10]。所以,合理运用生态学原理、探讨建造人工植被与自然修复相结合的途径将有助于加快青藏高原地区的植被建设^[11]。基于此,通过对青藏高原那曲段公路两侧主要植被类型——矮生嵩草草甸在碾压破坏下次生草地的典型样方调查,探讨公路碾压破坏植被自然恢复演替过程中群落特征的演化规律,这对于探讨青藏高原地区植被的自然演替规律以及回答人工植被建设中出现的一些关键性问题、并进一步指导该地区的植被建设具有重要的理论价值与实际意义。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于西藏那曲地区,地理坐标为 83°52'~95°01'E、29°56'~36°41'N,大部分地区年均温 -4~-4℃,大于 10℃ 的积温为 86~452℃。多年平均降水量 420.7~695.5mm,属于高寒半湿润气候,为典型的高寒草甸和草原带^[13]。地势南北高中间低,地貌主要为高山宽谷和高原湖盆地貌^[13]。

为了保证样方立地条件具有可比性和代表性,相同类型间的野外调查限定在一个较小的范围内进行,调查样方的最远距离为 2km,相对高差小于 20m;根据走访选择同一地段或不同地段(自然地理和植被相近)不同恢复年限植被进行调查。样地土壤类型主要为高山草甸土,0~20cm 土层有机质含量在 18~45g/kg 之间,对照为 127g/kg,0~20cm 土壤含水量在 20%~29%之间,围封草地土壤含水量为 54.8%,土壤 pH 在 6.9~8.5 之间,各样地生态环境条件基本一致。其立地条件和土壤状况见表 1。

表 1 青藏公路沿线碾压干扰矮嵩草草甸样方立地条件

Table 1 The site conditions of quadrates along Qingzang road on Tibet Plateau

编号 No.	恢复时间 (a)	海拔(m) Altitude	纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude	土壤含水量 Soil moisture (%)	土壤有机质 Organic matters(g/kg)	土壤容重 BD(g/cm ³)
1 *	0	4540	31°32'45"	92°01'03"	34.4	42.511	1.496
2	10	4540	31°32'45"	92°01'03"	23.6	18.697	1.516
3	20	4540	31°32'45"	92°01'03"	25.8	34.997	1.278
4	30	4567	32°06'19"	92°16'51"	28.5	42.146	1.242
5	围封 Aniaml pen	4540	31°32'45"	92°01'03"	54.8	127.1525	0.885

* 1. 矮嵩草群丛 *Kobresia humilis*, 2. 早熟禾群丛 *Poa annual*, 3. 菊叶委陵菜群丛 *Potentilla tanaletfolia*, 4. 二裂委陵菜群丛 *Potentilla bifurca*, 5. 矮嵩草群丛 *Kobresia humilis*

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置 踏查了青藏公路西藏那曲段及部分支线,发现公路碾压使草地植被严重破坏,不同的生态环境、植被类型、施工强度以及治理措施对植被恢复有着重要影响。青藏公路自 1954 年通车以来经历了两次重大的改造和零星的改造,一次为 1973~1985 年将原来的沙石路面改为柏油路面,1991 年 8 月至 1996 年 8 月,对青藏公路的病害路段进行整治;1954 年的碾压痕迹难以确定,因此在走访调查的基础上确定了恢复 30a (1973 年改造开始)、20a (1984 年改造结束)、10a (1991~1996 年病害公路改造)和 0a (2004 年公路叉口有新的碾压痕迹)4 个梯度的样地,围栏保护群落为对照。

1.2.2 群落学调查 于 2004 年 8 月对上述样地进行群落学调查。具体方法是,在某一地点(利用 GPS 进行定位,记录样方点的位置、海拔、坡度、坡向等),选择代表性植被地段确定样地范围,然后沿公路垂直方向间隔一定距离(2~20m 不等,视草地植被其在该地的分布范围大小而定),选择 5~10 个代表性的样方(样方面积 1.0m×1.0m,重复 4 次)。样方确定后,对样方进行植物群落学调查,主要调查内容包括:植物种类、植被盖度、多度、频度、高度、地上部分重量。记录样地的地貌和样方的微地貌,描述其生境。

1.2.3 数据处理 分别计算以下指数:

(1) 物种丰富度 Margalef 指数 (Ima)

$$Ima = (S - 1) / \ln N$$

(2) Shannor Wiener 物种多样性指数 (H)

$$H = - \sum (P_i \times \ln P_i) \quad (P_i = N_i / N)$$

(3) Pielou 群落均匀度指数 (J)

$$J = (- \sum (P_i \times \ln P_i)) / \ln S$$

(4) Simpson 指数 (λ)

$$\lambda = \log(N(N - 1) / \sum N_i(N_i - 1))$$

(5) 均优丰综合多样性指数 (C)

$$C = (J - \lambda) S$$

式中, S 为物种数目, N_i 为样方中第 i 个物种的个体数,并且 $\sum N_i = N$ 。

2 结果和分析

2.1 群落物种构成

2.1.1 物种构成特征 野外调查结果表明,碾压干扰下各种草地群落样方共出现高等植物 33 种,分属于 12 科 23 属,其中菊科 4 属 5 种,豆科 2 属 2 种,禾本科 3 属 5 种,蔷薇科 2 属 4 种,四大科合计 11 属 16 种,占全部种数的 48.48 % (见表 2),在其自然恢复演替过程中所起的作用最大。此外莎草科(2 属 4 种)、石竹科(4 属 4 种),其余均为单属单种,包括:唇形科、蓼科、十字花科、毛茛科、玄参科、景天科、百合科等。其中莎草科在植被恢复演替中特别重要,其组分是草地演替顶级群落的建群种,而石竹科和景天科的部分成分是其重要的伴生种,尤以藏布红景天 (*Rhodiola sangpo-tibetana*)、垫状蚤缀 (*Arenaria bryophylla*) 和藓状雪灵芝 (*Arenaria bryophylla*) 为重要。豆科植物在演替的不同阶段其物种数目和所占的比重都比较小,一般只有 1~2 种,在演替的初级阶段甚至没有豆科植物出现,这与该地区恶劣的环境条件和豆科物种匮乏一致。随着演替时间的延长,植物群落也逐渐由草原演替到草甸,其物种构成也呈较明显的增加趋势,但后期四大科所占的比例却呈显著下降的趋势,表明群落的物种构成在逐渐向复杂化方向发展。

依据植物生长型分类系统,调查样方中共出现草本植物 32 种,灌木 1 种,常见的植物种类主要有:小叶棘豆 (*Oxytropis microphylla*)、落草 (*Koeleria cristata*)、紫花茅 (*Stipa Purpurea*)、高山早熟禾 (*Poa slpigena*)、早熟禾 (*Poa anua*)、矮火绒草 (*Leontopodium pusillum*)、垫状凤毛菊 (*Saussurea eopygmea*)、西藏蒲公英 (*Taraxacum tibetanum*)、藏沙蒿 (*Artemisia wellbyi*)、二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*)、菊叶委陵菜 (*Potentilla tanaletfolia*)、矮生蒿草 (*Kobresia humilis*)、高山蒿草 (*Kobresia pygmaea*)、青藏苔草 (*Carex moorcroftii*)、垫状蚤缀、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、碎米蕨叶马先蒿 (*Pedicularis cheilanthifolia*)、藏布红景天等。

另外,小叶金露梅 (*Betulaplathyphylla*) 是调查区唯一出现的一种木本植物。如上物种构成不同演替阶段植物群落的建群种或优势种,其中对植被演替有重要影响的植物主要有蔷薇科萎陵菜属植物、禾本科早熟禾属植物、菊科蒿属植物、豆科棘豆属 (*Oxytropis*) 植物、石竹科植物、莎草科苔草属植物和蒿草属植物,它们是该地区植被演替过程中主要的建群种或共建种。

如上特征表明,藏北矮嵩草高寒草甸地区草本植物相对较为发达,而木本种类特别是能够形成优势种群的木本种类相对较为贫乏,这与当地相对较为寒冷严酷的自然条件有密切关系。当然相对于天然植被严重匮乏的整个藏西北地区来讲,其植物多样性是比较高的,这对于恢复与重建青藏高原地区的自然植被具有重要价值,是当前人工植被建设中乡土林草种遴选的重要基地。

表 2 不同群落植物科属种构成

Table 2 The composition of plant family, genus and species in different communities

编号 No.	群丛 Community	科 Family	属 Genus	种 Species	四大科种数分布 Species distribution in the four big families					
					豆科 Leguminosae	禾本科 Gramineae	菊科 Compositae	蔷薇科 Rosaceae	合计 Total	占总数 Proportion in total %
1	矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	6	7	9	1	1	1	2	5	56.67
2	早熟禾 <i>Poa annua</i>	6	8	10	0	3	1	1	5	50.00
3	菊叶萎陵菜 <i>Potentilla tanaletfolia</i>	6	9	10	1	2	2	2	7	70.00
4	二裂萎陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	8	10	14	1	3	1	3	8	57.14
5	矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	9	16	17	1	2	3	2	8	47.06

2.1.2 植物群落物种构成的动态 恢复演替过程中物种构成表现出明显的阶段性特征,其植物科属种的变化随演替进程的发展呈二次函数变化(图 1),相应的回归方程依次为:

$$F = 6.6 - 0.9143t + 0.2857t^2$$

$$n = 15, R = 0.9710^*$$

$$G = 9.0 - 1.9571t + 0.6429t^2$$

$$n = 15, R = 0.9460^*$$

$$S = 10.00 - 1.4286t + 0.5714t^2$$

$$n = 15, R = 0.9843^*$$

式中, F , G 与 S 依次为植被恢复演替 t 阶段样方中出现的高等植物科、属、种的数目, n 为统计样本数, R 为相关系数,标注*和**表示相关系数达到统计显著水平和极显著水平($\alpha = 0.05$ 和 0.01)。科的变化比较小,经历了一个缓慢增加的过程。第 1、2、3 阶段科的数量基本没有变化,其主要物种主要集中在禾本科、豆科、菊科、蔷薇科和石竹科等,这一方面说明该地区植物物种在科这一层次上的单调性,另一方面说明碾压干扰演替群落先锋植物以四大科和石竹科为主。第 4、5 阶段群落植物科的数量增加迅速,其植物物种最为丰富。属和种的数量动态相似,而且其的数量也非常接近(相差 0~4 个单位),其动态与种的变化趋势一致,前期增加缓慢后期增加迅速,所不同的是属和种的变化幅度比较大,属的数量由 7 增加到 16;种的数量则由 9 增加到 17。

物种构成的阶段性特征最为明显。在先锋草地阶段(1、2 阶段)群落构成主要以 1 年生和 2 年生植物为主,如禾本科的早熟禾(*Poa annua*)、十字花科的独行菜(*Lepidium apetalum*)、紫草科的鹤虱(*Lappula echinata*)、菊科的蒿类植物等。在演替的中期(3、4 阶段),多年生草本植物逐渐替代 1 年生和 2 年生植物,首先出现的是菊叶萎陵菜、二裂萎陵菜、藓状雪灵芝、藏布红景天、矮火绒草等,继而出现高山早熟禾、矮嵩草、棘豆、银落草、紫花针茅、紫苞凤毛菊、西藏蒲公英、藏沙蒿、垫状蚤缀等。在演替的后期矮嵩草成为群落单优势种。菊叶萎陵菜和二裂萎陵菜是群落向草甸化方向演替中几乎贯穿始终,仅在群落先锋阶段和顶级阶段处于劣势地位,说明这其在该地区恢复演替中的重要地位。

植物物种积聚过程表现为前期缓慢、中后期增长迅速的过程,演替过程中累积出现的科属种数目随着演替进程的发展为逻辑斯蒂(Logistic)函数特征(图 2),回归方程依次为:

$$F = 302.7296 / (1 + e^{(t - 23.0252) / 5.5788})$$

$$n = 15, R = 0.9803^*$$

(4)

$$G = 262.8691 / (1 + e^{(t - 13.0667) / 3.4268})$$

$$n = 15, R = 0.9947^*$$

(5)

$$S = 352.0814 / (1 + e^{(t - 11.7025) / 2.9580})$$

$$n = 15, R = 0.9934^*$$

(6)

物种累积主要在演替中期完成。其中科在第 1 阶段科数达到总科数的 50 % ,第 2 阶段达到 58.33 % ,第 4 阶段达到 75 %。属的积聚在第 1 阶段完成 30.43 % ,第 2、3 阶段达到 47.82 和 56.52 ,第 4 阶段达到 73.91 %。种的积聚在第 1~4 阶段分别完成 27.27 %、42.42 %、48.48 和 75.76 %。从图 2 可以看出科属种随着演替进程逐渐分散 ,科内和属内物种在增加 ,而科的增加较少。

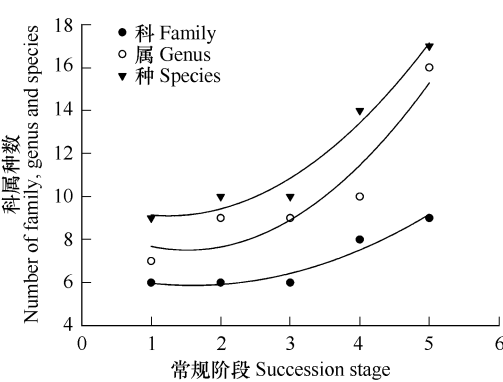


图 1 不同演替阶段植物科属种的变化

Fig.1 the change of numbers of family , Genus and species in diferent succession stage

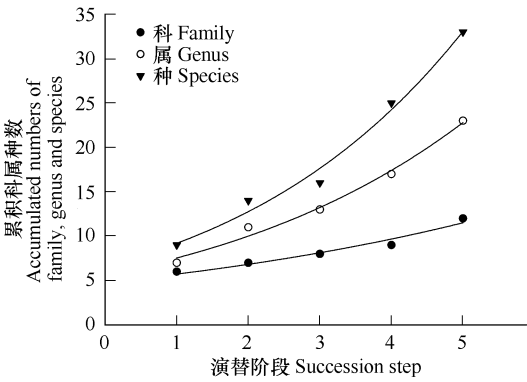


图 2 累计植物科属种的变化

Fig.2 the change of accumulated numbers of family , Genus and species in deferent succession stage

2.2 不同演替阶段植物多样性变化

不同演替阶段植物多样性测度结果表明 ,群落的 Simpson 指数、Shannon-wiener 指数、Margalef 指数、Pielou 均匀度指数、综合多样性均为逻辑斯蒂函数变化规律(图 3) ,其中除 Margalef 指数显著性较低外 ,其它指数均显著。各指数回归方程如下:

$$\lambda = 0.3344 / (1 + e^{-(t - 4.8606) / 0.3260})$$

$$n = 15, R = 0.9635^{**}$$

(7)

$$H = 1.0456 / (1 + e^{-(t - 5.0435) / 0.0883})$$

$$n = 15, R = 0.9428^*$$

(8)

$$Ima = 15.0828 / (1 + e^{-(t - 21.3401) / 8.3698})$$

$$n = 15, R = 0.8902^{(*)}$$

(9)

$$J = 42.9984 / (1 + e^{((t - 15.9137) / 3.8017)})$$

$$n = 15, R = 0.8956^*$$

(10)

$$C = 0.4562 / (1 + e^{-(t - 4.9998) / 0.4311})$$

$$n = 15, R = 0.8956^*$$

(11)

式中,λ ,H , Ima ,J 与 C 依次为植被恢复演替 t 阶段样方多样性指数 ,n 为统计样本数 ,R 为相关系数 ,标注 * 和 ** 表示相关系数达到统计显著水平和极显著水平 (α = 0.05 和 0.01)。Simpson 指数、Shannon-wiener 指数、Pielou 均匀度指数变化趋势一致 ,随着演替进程群落多样性、均匀度均表现为小幅度下降 ;而物种丰富度 Margalef 指数则持续增加 ;综合多样性指数持续增加。

先锋植物阶段,群落的物种丰富度较低,优势种以1年生和越年生的植物(如早熟禾、高原芥、独行菜等)为主,这些植物种群数量庞大,群落的均匀度较高,生态优势度 λ 也较高,但综合多样性较低。后期由于菊科和禾本科的多年生植物(如菊叶委陵菜、二裂委陵菜等)逐渐成为群落的优势种,这类植物具有株丛相对比较大、种群数量少等特点,群落的均匀度下降,生态优势度也同时下降,综合多样性增加。

3 讨论

矮嵩草为典型的寒冷中生植物,以它为建群种所组成的群落主要分布在拉萨河以东、念青唐古拉山以南的山地阳坡,青藏公路以东的唐古拉山南坡,以及青海、甘肃、川西等地。其植株低矮,生长茂密,群落结构简单,仅草本一层。青藏高原隆升严酷的自然环境造就了高寒草甸,其群落具有植物种类少、以温带科属为主、多年生草本植物占绝对优势、植物低矮等特点^[12]。据不完全统计,那曲地区高等植物300余种^[11],是草地生态系统中植物种类比较贫乏的一种,调查中草地样方中出现33种高等植物,而西北的子午岭则出现草本植物85种,灌木18^[11];西南地区的物种则更为丰富。植物种类的贫乏和严酷的自然环境造就了该地区独特的草地群落,同时也极大地限制了外来物种的定居和繁衍,正是由于这种特殊性决定了在植被恢复中外来物种的局限性。西藏解放以来在草地改良中多次引进国内外的牧草品种,但迄今为止能够适应海拔4000m以上高原的也只有2~3种,因此发掘本土植物资源是今后该地区植被恢复和生态建设中应重点开展的工作。

矮嵩草草甸在天然次生恢复的过程中,丰富度指数,均匀度指数和多样性指数的变化趋势基本一致。高寒矮嵩草草甸群落覆盖度较大,致密^[10],在原生群落中,其它草种生存或入侵相对困难,形成相对稳定的顶级群落,而受到轻微干扰后,群落的覆盖度会受到影响和不同程度的破损,原来的顶级平衡状态被打破,优势种群对光和水等资源的垄断利用格局被破坏,这给其它物种的入侵提供了有利条件,也给原来群落内已存在,但资源利用能力较弱的物种生长提供了便利,随着上述两种状况的发生,其物种多样性高于原始群落^[13]。这说明公路碾压后的群落破坏严重,原来的植被被破坏,所有物种的生境变化很大,物种的恢复从裸地开始,但由于海拔高,温度低,生长季短,物种入侵或土壤中种子发芽生长难度大,恢复相对困难。尽管在人为干扰强度上,多样性的变化与放牧对植被群落多样性的影响基本类似,均随梯度增加,多样性降低^[10]。一般地多样性随着干扰程度呈现中间膨胀的特征^[2],但矮嵩草群落恢复中却以原生群落最高,这说明干扰下其恢复进程缓慢,尚未进入演替中期物种膨胀的阶段,同时也说明该地区气候严酷,恢复进程缓慢。

References:

- [1] Li Y Y, Shao M A. The change of plant diversity during natural recovery process of vegetation in Ziuling area. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 351 ~ 360.
- [2] Bai Y F, Li L H, Huang J H, et al. The influence of plant diversity and functional composition on ecosystem stability of four Stipa communities in the Inner Mongolia Plateau. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(3): 280 ~ 287.
- [3] Tilman D & Downing J A. Biodiversity and stability in grassland. *Nature*, 1994, 367: 363 ~ 365.
- [4] Pei Z Y, Ou Y H, Zhou C P. A study on carbon fluxes from alpine grassland ecosystem on Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (2): 231 ~ 236.
- [5] Zhang Z H, Gao Z G, Wu S Q. Problems facing to prairie culture in western alpine regions and its sustainable development. *Acta Pratacul-turae Sinica*, 2002, 11(3): 29 ~ 33.
- [6] Zhang Y L, Yan J Z, Liu L S, et al. Impact of Qinghai-Xizang highway on land use and landscape pattern change: from Golmud to Tanggula shanpass.

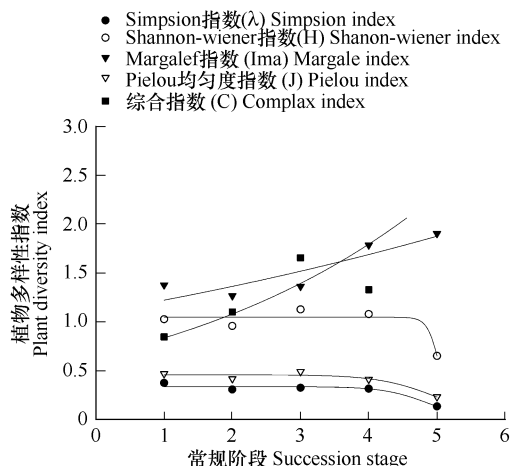


图3 不同演替阶段群落多样性指数

Fig. 3 Plant diversity index of different succession stage

- Acta Geographica Sinica, 2002, 57(3):253~266.
- [7] Naeem S, Li S. Biodiversity enhances ecosystem reliability. Nature, 1997, 390:507~509.
- [8] Chen T, Yang M X, Feng Y H, *et al.* Spatial distribution of stable carbon isotope compositions of plants leaves in the north of the Ti-betan Plateau. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(1):83~87.
- [9] Zhou X M, *et al.* The Kobresia Grassland in China. Beijing: Science Press, 2001. 1~27.
- [10] Yang L M, Han M, Li J D. Plant diversity change in steppe communities along a grazing disturbance in the northeast China transect. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(1):110~114.
- [11] Liu S Z, *et al.* Studies on Grassland Degradation and Desertification of Naqu Prefecture in Tibet Autonomous Region. Lhasa: Tibet People's Press, 1999. 21~44.
- [12] Chen P, Zhou M, Wang Q J, *et al.* Study on the niche of the plant species in alpine meadow. In: the Haibei research station of alpine meadow ecosystem, CAS ed: Alpine meadow ecosystem. Beijing: Science Press, 1995. 73~90.
- [13] Guo Z G, Wang G X, Shen Y Y, *et al.* Plants species diversity of grassland plant communities in permafrost regions of the northern Qinghai-Tibet Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2004, (24) 1: 149~155.

参考文献:

- [1] 李裕元, 邵明安. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化. 生态学报, 2004, 24(2):351~360.
- [4] 裴志勇, 欧阳华, 周才平. 青藏高原高寒草原碳排放及其迁移过程研究. 生态学报, 2003, 23(2):231~236.
- [5] 张自和, 郭正刚, 吴素琴. 西部高寒地区草业面临的问题与可持续发展. 草业学报, 2002, 11(3):29~33.
- [6] 张锦锂, 阎建忠, 刘林山, 等. 青藏公路对区域土地利用和景观格局的影响——以格尔木至唐古拉山段为例. 地理学报, 2002, 57(3):253~266.
- [8] 陈拓, 杨梅学, 冯虎元, 等. 青藏高原北部植物叶片碳同位素组成的空间特征. 冰川冻土, 2003, 25(1):83~87.
- [9] 周兴民, 等. 中国蒿草草甸. 北京: 科学出版社, 2001. 1~27.
- [10] 杨利民, 韩梅, 李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化. 植物生态学报, 2001, 25(1):110~114.
- [11] 刘淑珍等. 西藏自治区那曲地区草地退化沙化研究. 拉萨: 西藏人民出版社, 1999. 21~44.
- [12] 陈波, 周兴民, 王启基, 等. 高寒草甸植物种群的生态位研究. 见高寒草甸生态系统, 中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站编著. 北京: 科学出版社, 1995. 73~90.
- [13] 郭正刚, 王根绪, 沈禹颖, 等. 青藏高原北部多年冻土区草地植物多样性. 生态学报, 2004, 1(24):149~155.