

文章编号: 1002-0268 (2007) 10-0150-05

# 基于植被持续性的公路护坡植物 筛选研究与应用方式探讨

陈学平<sup>1,2</sup>, 江玉林<sup>1</sup>, 张洪江<sup>2</sup>, 张世俊<sup>3</sup>, 王 云<sup>1</sup>

(1. 交通部科学研究院 交通可持续发展研究中心, 北京 100029; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;  
3. 云南省公路科学技术研究所, 云南 昆明 650051)

**摘要:** 依托原云南楚大高速公路筛选试验小区, 观测了28个单播组合及10个混播组合8年间生长表现, 在利用常规生态学研究方法的基础上借鉴了景观生态学的斑块格局研究方法, 对观测期末演替形成的植物种类、斑块数、多样性指数及盖度高度综合优势比进行了测定, 从应用方式角度根据植物持续性、植物竞争力与扩散强度等方面将适用植物划分为混播先锋种、伴生种及建群种3种类型。指出单播群落具有均质化、多样化发展的趋势, 提出在新建公路植被建植中, 采用分斑块建立单播植物群落方式, 最终建立目标混交植物群落的新思路。

**关键词:** 环境工程; 适用护坡植物; 筛选; 可持续植被; 斑块

中图分类号: U418.9

文献标识码: A

## Plants Screening and Utilization Mode for Slope Protection Based on Sustainable Vegetation

CHEN Xue-ping<sup>1,2</sup>, JIANG Yu-lin<sup>1</sup>, ZHANG Hong-jiang<sup>2</sup>, ZHANG Shi-jun<sup>3</sup>, WANG Yun<sup>1</sup>

(1. Centre for Sustainable Transportation, China Academy of Transportation Science, Beijing 100029, China;

2. College of Water and Soil Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

3. Road Science and Technology Research Institute of Yunnan Province, Yunnan Kunming 650051, China)

**Abstract:** Based on previous experiment field of 28 single species and 10 mixed species on the roadside of Chuxiong-Dali freeway in Yunnan Province, following-up observation were implemented and lasted over 8 years. Landscape ecology is introduced to analyze plant categories, patch quantities, diversity indices and SDR based upon traditional ecological method. Utilization mode is classified into 3 types including pioneer species, accompanied species and key species based upon plants sustainability, competition ability and proliferate habit. Single species growing community tends to be equilibrium distribution and diversified, and new approach to mixed thicket by establishing single patched plant is suggested for the newly established roadside vegetation.

**Key words:** environmental engineering; plants for slope protection; screening, sustainable vegetation; patch

## 0 前言

公路尤其是高速公路建设在促进我国国民经济发展的同时也造成系列的环境问题。公路施工对地形、地貌、自然植被和景观的破坏, 将会引起水土流失以及生物多样性的减少; 大挖和大填将会增加地质脆弱带公路边坡的不稳定性; 景观的破坏还会造成视觉和

环境的污染<sup>[1]</sup>。公路开发建设项目是造成地区水土流失的重要来源, 从影响范围来看, 公路建设也不仅仅局限于公路征地范围内, 它已与公路穿越地的各种生态系统的发展变化联为一体。对路域生态系统进行恢复重建是公路生态环境保护的重要内容。植被恢复是生态系统重建的第1步<sup>[2,3]</sup>。目前国外已提出可持续路侧及综合植被管理措施的理念, 强调“以最低的生

收稿日期: 2006-10-22

基金项目: 交通部西部交通建设科技资助项目 (200331822333)

作者简介: 陈学平 (1973 -), 男, 四川眉山人, 在读博士, 副研究员, 从事公路路域恢复生态研究. (chenxueping@vip.sina.com)

命周期成本实现功能、环境与视觉效应目标的设计与养护管理综合措施<sup>[4]</sup>。我国公路生态工程建设发展起步晚,从高速公路开始兴建以来,虽然也取得了较大发展,水土流失得到了初步控制,区域生态环境也得到了有效改善,但在可持续植被建植管理方面考虑不足,尤其是植物选择利用研究较薄弱,大量护坡植物筛选都是短期内进行的<sup>[5,6]</sup>,对养护及无养护条件下植物长期表现缺乏研究,工程实践仍在大量采用外来草坪草种,木本植物筛选研究不足,植被退化已成为威胁公路安全的重要因子。因此筛选保水保土能力强、养护成本低,持续效果好,并适应公路环境的护坡植物就成为生态工程建设成败的关键。本试验研究依托原云南楚大高速公路植物筛选试验小区,进行了 8 年的观测研究,目的主要是:(1) 研究各种护坡植物在较长时间尺度上无养护条件下对边坡生境的适应能力;(2) 研究各种植物扩散、演替机制并探讨在公路边坡上的建植方式;(3) 在前人<sup>[7]</sup>对该试验草本植物研究基础上补充木本植物的建成研究结果。

## 1 试验地点概况

该片试验地位于云南省大理州祥云县下庄乡,即楚(雄)一大(理)高速公路 K257+108~450 处的下边坡,北纬 25°26',东经 100°47',海拔 2 001 m,阳坡,坡度为 45°。冬干夏湿,春旱严重,降雨分布极为不均,年均温 15.2℃,年降水量 829.6 mm。旱季持续时间长,且雨季来临迟,6~9 月降水量占全年降水量的 70%。

试验区土质为酸性紫色土,为公路建设挖方路段回填的生土,并夹杂一些碎石块,贫瘠、保水保肥能力较差。边坡防护方式为空心水泥砖围成的菱形格防护,种类试验布置于菱形格中。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 供试材料与小区设计

兼顾云南省野生植物、饲用植物的利用,同时引入部分草坪草种进行综合对比试验的原则下,选择了 28 种单播种类及 11 种混播组合。

小区面积 20 m<sup>2</sup>,3 重复,共 114 个小区,随机区组排列。播前施复合肥、过磷酸钙和有机肥(鸡粪)进行土壤改良,1998 年 7 月人工撒播,播后常规浇水养护,定期去除杂草;2000 年 8 月后不再给予任何养护措施,试验区还遭受牲畜放牧影响。在此条件下,观察植被在自然条件下的存活与生长,分析其持续能力,每年对各小区进行覆盖度、种类变化的调查

记录。

### 2.2 分析方法

在建植 2 年内,采用常规观测指标,如植被盖度、高度、生物量、物候期等。2 年后,随着植物间竞争与相互侵占扩散,小区界限日益不明显,每年进行小区内物种保存情况、覆盖状况调查,记录物种消亡时间。随着各植物种群呈现斑块化表现,2006 年 2 月,重新调查了视觉上可辨识的种群斑块类型。并引入了景观斑块格局多样性指数、种群盖度高度综合优势比,以对植物的侵占、消失与多样化程度进行定量判断<sup>[8]</sup>。

多样性指数的基本公式为

$$H = - \sum_{i=1}^n (P_k) \ln(P_k), \quad (1)$$

式中, $P_k$  是斑块类型  $k$  在景观中出现的概率(以该类斑块在景观中所占的面积比例来估算), $n$  是景观中斑块类型的总数。

盖度和高度测定:采用目测法测定样方内植物的分盖度并测量植株高度。根据计算不同植物种的盖度比、高度比和综合优势比(SDR)<sup>[9]</sup>的原理,提出植物类群盖度比、高度比及 SDR 计算公式:类群盖度比=(该类群的总盖度/群落中总盖度最大的类群盖度)×100%;类群高度比=(该类群的总高度/群落中总盖度最大的类群高度)×100%;SDR=((类群盖度比+类群高度比)/2)×100%。类群的总盖度是将样方记录的各种植物分盖度。

通过各指标测试数据集的协方差除以其标准偏差的乘积得出多样性指数与综合优势比间的相关系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 草本植物生长变化

#### 3.1.1 前 2 年生长表现

供试植物前 2 年的覆盖度见图 1。根据种群消涨特点,可将这些植物大致分成如下几类:

(1) 2 年间生长综合表现较好的种类

云南狼尾草、弯叶画眉草、东非狼尾草、紫花苜蓿、狗牙根、高羊茅、黑麦草和云南知风草等 8 种植物在 2 年间生长较佳,前 2 年植被覆盖度均在 60% 以上。云南狼尾草,弯叶画眉草第 2 年月均覆盖度超过 90%,为表现最优良的草种,非洲狗尾草,紫花苜蓿,狗牙根表现次之,月均盖度大于 80%。

(2) 第 2 年生长较佳的植物种类

有一些第 1 年生长较差,而第 2 年较好,包括百脉根、孔颖草、紫羊茅、红三叶、白三叶等 5 种植

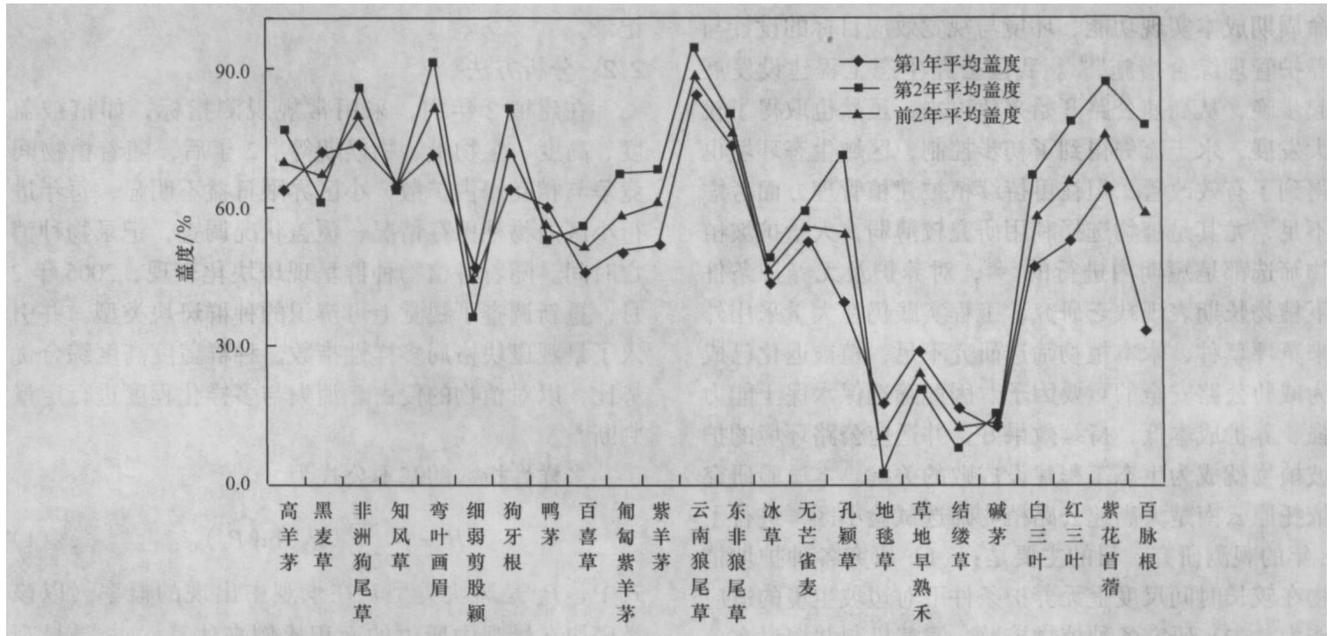


图1 单播植物前2年植被盖度

Fig. 1 Vegetation coverage for single plant community in the first 2 years

物, 第1年月均覆盖度不足40%, 第2年时达到近80%, 如百脉根。红三叶也由51.9%增加到78.3%, 白三叶、紫羊茅则由50%左右增加到接近70%。

### (3) 退化迅速的草本植物种类

在第2年, 一些植物平均盖度即已开始下降, 这类植物适应性较差, 包括: 地毯草, 黑麦草, 结缕草, 细弱翦股颖, 草地早熟禾, 鸭茅等6种。其中, 鸭茅和多年生黑麦草前期覆盖较佳, 可作为混播组合中的先锋植物, 以起到迅速覆盖坡面, 防止杂草侵入作用。如鸭茅第1年覆盖度为60%, 多年生黑麦草为71.7%, 第2年分别为60.4%及52.3%; 而地毯草、结缕草、细弱翦股颖、草地早熟禾等4种植物明显不适于该处条件, 退化迅速。

### (4) 混播植物生长评价

高羊茅、高羊茅混合种, 黑麦草、黑麦草混合种, 紫羊茅、匍匐紫羊茅等3种不同品种混播之间几乎没有差别。而种间混播与单种之间有着一定差异, 一般优于单一种。如第1年苜蓿+紫羊茅各月平均盖度为66%, 表现略优于单播苜蓿63.3%的盖度, 远优于紫羊茅51.4%的表现, 第2年盖度分别为89.4%, 86.6%及67.6%, 也反应出了类似规律; 波叶山蚂蝗+非洲狼尾草+虎尾草也有类似现象, 如种植第1年混播植被盖度为78.9%, 而非洲狼尾草单播盖度为72.9%, 第2年两者盖度分别为89.0%与79.8%。黑麦草+狗牙根+白三叶组合、马棘+白三叶组合也反应出类似规律。但也有例外, 如红三叶+

高羊茅+黑麦草组合中, 第1年混播月均盖度为69.1%, 略小于单播黑麦草71.7%的覆盖度, 第2年混播盖度85.1%, 才大于黑麦草60.4%及高羊茅76.5%。这是由于黑麦草具有显著的早期覆盖优势, 与其他种类混播会降低其前期优势度。

### 3.1.2 2年后群落特征变化

2年之后记录植物的保存状况, 直至本观察季末。结果见表1。可以看出, 各植物在后续生长中进一步分化, 主要有如下几方面:

#### (1) 各试验小区呈现种类多样化特征

由于草种间相互侵占, 原人为划分小区(植物种斑块)界线已不明显, 原各小区覆盖度均在60%~70%之间。2006年2月调查, 试验区在原114个斑块(小区)类型基础上, 已分化出了272个种群斑块类型。各种群的多样性指数及斑块数见图2。

#### (2) 各试验小区呈现外观一致化特征

可以看出, 一些物种逐渐成为各试验小区的共有种, 物种分布呈现均质化, 这使得小区外貌表现较为一致。侵入物种戟叶酸模、芒以及引进草种非洲狗尾草等3种具有较强的竞争力, 其覆盖度与侵占能力均较佳, 斑块数分别为49、35、33个, 主要分布在坡体的中下部, 但这些植被较高, 从而使边坡外观呈现均一特征。此外, 侵入较严重的物种还有鬼针草、紫茎泽兰等, 斑块数分别为22和13。白三叶形成的斑块数达到32个, 其多样性指数曲线与总斑块数呈现出较大分离, 反应出其种群扩张能力虽较佳, 但其覆

表 1 供试植物的年际表现  
Tab. 1 Plants performance over years

序号	种类及配比	各年的生长与存活状况							
		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	百脉根								
2	早熟禾								
3	地毯草								
4	孔颖草								
5	无芒雀麦								
6	东非狼尾草								
7	云南狼尾草								
8	苜蓿								
9	紫羊茅								
10	匍匐紫羊茅								
11	红三叶								
12	白三叶								
13	百喜草								
14	鸭茅								
15	弯叶画眉草								
16	细弱翦股颖								
17	狗牙根								
18	云南知风草								
19	狗尾草								
20	多年生黑麦草								
21	黑麦草混合								
22	高羊茅								
23	高羊茅混合								
24	碱茅								
25	冰草								
26	结缕草								
27	苦刺花								
28	黑荆树								

注: 表示植株存活较好, 或在所种植小区内基本上均有分布;  
表示植株保存较差, 在个别小区内已消失; 表示植株在所种植小区内已完全消失, 小区内植物已演替成其他物种。

盖度相对较差, 主要分布放牧践踏严重的上部。综合优势比与多样性指数变化较为一致, 两者具有较大的相关性, 相关系数为 0.92。多样性指数值较高的芒、戟叶酸模、非洲狗尾草等草种其综合优势也比较高, 群落的竞争力较强。高大草本植物的扩散并广为分布, 使各试验小区呈现外观一致化特征。

(3) 植物种类进一步分化

云南狼尾草、弯叶画眉草、东非狼尾草、紫花苜蓿、狗牙根、高羊茅、黑麦草、云南知风草等前 2 年表现较好的 8 个植物种, 及百脉根、孔颖草、紫羊茅、红三叶、白三叶等 5 个第 2 年生长较好的植物种: 黑麦草、红三叶 2 种植物已完全消失, 紫羊茅、百脉根已在部分小区内消失; 高羊茅、紫花苜蓿覆盖度大为降低。在前 2 年年表现相对较差的草种后续几年中陆续消失, 第 2 年覆盖度低于 60% 的草种, 经过 6 年的自然演替后全部消亡, 包括结缕草, 冰草、地毯草, 细弱翦股颖, 草地早熟禾, 碱茅, 鸭茅, 百喜草等 8 种。

3.2 混播小区及木本植物生长变化

播后 2 年, 草本与木本混播组合中, 由于东非狼尾草的优良表现, 该组合表现最佳, 木本植物波叶山蚂蝗对群落总盖度贡献较小; 马棘组合表现较佳, 第 2 年总盖度即达到 85.8%, 第 3 年达到 100%, 且马棘为优势种, 适应性强; 坡柳在组合前期生长较为缓慢, 但适应性强, 总体盖度稳步上升; 黑荆树前期生长速度较快, 植株初始密度达到近 700 株/m<sup>2</sup>, 但第 2

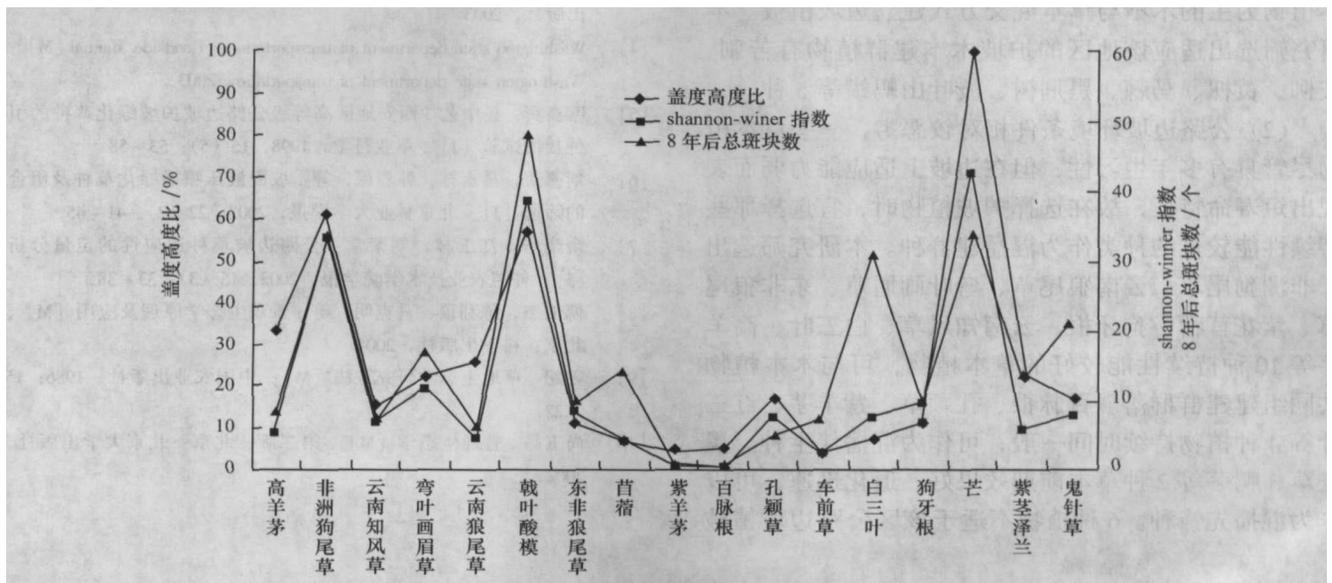


图 2 8年后草本植物群落斑块数、多样性指数及盖度高度比  
Fig. 2 Patch numbers, diversity indices and value of SDR of herbs community after 8 years

年大量立枯死亡,总盖度下降;云南松组合中初始木本植物密度也较大,达150余株/m<sup>2</sup>,但植株低矮,生长速度十分缓慢,第2年大量枯黄死亡,从群落中完全消失。

2006年时,黑荆树仅在一个小区成活4株,已长成高6、7m,胸径约10cm的大树,平均每年生长高度近1m;波叶山蚂蝗种群数量也大为扩张,甚至在其他一些单播小区中也有分布;马棘组合小区覆盖度略有下降,其中灌木马棘已逐渐退化,白三叶已演替成云南狼尾草、狗牙根等植物;苦刺前2年生长速度极为缓慢,第3年开始迅速生长,在第4年总盖度达到100%,并保持至观察期末,是唯一在8年间无退化的小区。在各小区中,木本植物中除了马棘受牲畜放牧影响略微退化之外,坡柳、黄槐受人为砍伐破坏也逐渐退化,黑荆树保存4株大树,苦刺保存最完好,其次为波叶山蚂蝗,这可能是由于这两种植物具有自我保护特性。苦刺植株上的枝刺可防卫人畜破坏,波叶山蚂蝗叶片粗糙,种子还易于粘在动物皮毛、人的衣物之上,加速其传播。

在供试木本植物中,除云南松外,其他5种植物都成功建植,并表现出对建植地环境良好的适应能力,只是由于人为破坏使一些植物而逐渐消亡。

#### 4 结论与讨论

(1) 混播物种整体优于单播种,木本植物整体优于草本植物。在西南地区护坡植被建植中,宜采用木本植物为主的木本与草本混交方式建立边坡植被。本研究筛选出适应该地区的护坡木本建群植物有苦刺、坡柳、黄槐、马棘、黑荆树、波叶山蚂蝗等5种。

(2) 公路边坡环境条件相对较恶劣,一些草本植物尽管具有多年生习性,但在边坡上适应能力弱而表现出短寿命特征,故在选择护坡植物时,宜选择那些持续性能较好的种类作为混播建群种。本研究筛选出了非洲狗尾草、云南狼尾草、弯叶画眉草、东非狼尾草、紫花苜蓿、狗牙根、云南知风草、白三叶、高羊茅等10种持续性能较好的草本植物,可与木本植物共同组建建群群落。百脉根、孔颖草、紫羊茅、红三叶等4种植物持续时间一般,可作为混播伴生种。黑麦草、鸭茅等2种草本前期效果好、退化迅速,可以作为混播先锋种。6种植物不适于该区公路边坡植被

建植,包括地毯草,细弱翦股颖,草地早熟禾,碱茅,结缕草,冰草等。

(3) 斑块状分布的单播群落会因为种群间相互侵入与扩散而呈现种类多样化、外观均质化特征,利用这一特性,可在边坡混交群落建植时分斑块建立单播植物群落,为各种植物在建植初期成功引入奠定基础,从而可最终实现所有目标乡土植物群落的建成。

人工植物群落的合理组合配比是一项复杂的研究课题,不同植物在生长速度、喜水喜肥、耐阴、耐旱等特性上的差异为混交植被的建成带来巨大挑战。长期以来,我们的大量研究一直强调通过混播方式实现混交群落的建立,但植物种群间竞争的复杂性,常常导致一些目标物种在初期建成失败,例如我们曾将速生型灌木与慢生型灌木进行混播,却只能建立速生类型。而公路绿化一般又需要在较短时间内实现边坡生物防护,稳定的植物群落应是种类丰富的混交群落。在坡面植被建植中,采用斑块化植被建植方法是一项具有广阔前景的技术手段,对于提高边坡防护成效,保证坡面人工植被群落的多样性具有重要的实践意义。

#### 参考文献:

- [1] 江玉林. 公路路域环境生态恢复研究与实践 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [2] 孙书存, 包维楷. 恢复生态学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] 彭少麟. 热带亚热带生态恢复的研究与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [4] Washington state department of transportation. Roadside Manual [M]. Washington state department of transportation, 2003.
- [5] 席嘉宾, 杨中艺. 西安地区高等级公路边坡护坡绿化草种的引种栽培试验 [J]. 草业科学, 1998, 15 (5): 53 - 58.
- [6] 刘德荣, 马永林, 韩烈保, 等. 坡面液压喷播绿化草种及组合的筛选 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 22 (2): 41 - 45.
- [7] 余晓华, 江玉林, 刘荣堂. 公路边坡草种适应性的定量分析 [J]. 仲恺农业技术学院学报, 2002, 15 (3): 33 - 38.
- [8] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 姜恕. 草地生态学研究方法 [M]. 中国农业出版社, 1986: 15 - 22.
- [10] 尚玉昌. 普通生态学 [M]. 第二版, 北京: 北京大学出版社, 2002.