

# 浑善达克退化沙地草地生态恢复试验研究

刘美珍, 蒋高明\*, 李永庚, 高雷明, 于顺利, 牛书丽, 李凌浩

(中国科学院植物研究所植被数量生态学重点开放实验室, 北京 100093)

**摘要:**选择草地退化十分严重的浑善达克沙地腹地开展恢复生态学研究, 试图寻求沙地草地生态恢复的新途径。采取“以地养地”模式, 在小范围的土地上, 建立高产饲草基地, 使牲畜的压力逐步向高效地集中, 同时改变畜群结构, 解决当地牧民生活出路; 而大面积的退化草地, 主要借助自然力恢复。结果表明, 自然力在浑善达克沙地退化生态系统恢复中起到巨大的作用, 群落生物量、平均高度和总盖度 2 年后均随恢复时间增加而增加 ( $P < 0.05$ )。流动沙丘的裸沙, 经 2a 自然恢复后, 生物量达 1012 g/m<sup>2</sup>, 总盖度高达 60%。与对照相比, 封育 2a 后固定沙地群落盖度增加近 3 倍; 滩地群落生物量提高了 9 倍, 平均高度增加 4 倍。植被组成方面, 恢复前固定沙地以冷蒿 (*Artemisia frigida*)、糙隐子草 (*Cleistogens squarrosa*) 和寸草苔 (*Carex duriuscula*) 等为主, 恢复 2a 后冰草 (*Agropyron cristatum*)、褐沙蒿 (*Artemisia intramongolica*) 等占优势; 滩地植被中, 羊草 (*Leymus chinensis*)、披碱草 (*Elymus dahuricus*) 等逐步取代了灰绿藜 (*Chenopodium glaucum*) 和尖头叶藜 (*Chenopodium acuminatum*) 等。生态恢复不仅使自然生态系统得以保护, 而且带动了社会经济的发展, 项目中的正蓝旗巴音胡舒嘎查牧民, 在实验示范前后, 由每年每户平均投入约 1 万元去外地买草养畜转变为每户只用 1500 元左右在当地就可得到 2 万 kg 草; 幼畜成活率约提高 10%; 产奶量提高了 1 倍。结果表明, 只要消除放牧压力, 浑善达克退化沙地能够借助自然力实现恢复, 不需飞播和造林。在这个过程中, 高产饲草是减轻草场压力、降低牧业投入、保证牧民收入稳定增长等的重要前提。

**关键词:**退化生态系统; 沙地草地; 自然恢复; 社会经济; 浑善达克

## An experimental and demonstrational study on restoration of degraded ecosystems in Hunshandak Sandland

LIU Mei-Zhen, JIANG Gao-Ming, LI Yong-Geng, GAO Lei-Ming, YU Shun-Li, Niu Shu-Li, LI Ling-Hao (Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2719~2727.

**Abstract:** Many practices dealing with restoration of degraded ecosystems have been conducted around the world since 1920s. However, such practices came to being only after 1980s in China. Although a number of measures have been applied on various degraded ecosystems, methods used in China mainly focus on vegetation establishment while neglected the ability of natural process. Meanwhile, less attention had been paid to the production and livelihood requirements of the local people. Therefore, it is hard to maintain the positive effects of the practices in the point of sustainable development view. As one of the four largest

基金项目: 中国科学院重大创新资助项目 (KSCX1-08-02)

收稿日期: 2003-05-10; 修订日期: 2003-10-20

作者简介: 刘美珍 (1974~), 女, 内蒙古人, 博士生, 主要从事退化草地生态系统恢复和草原植物水分生理生态的研究。  
E-mail: liumeizhen@hotmail.com

\* 通信作者 Author for correspondence; E-mail: jgm@ht.rol.cn.net

Foundation item: Key Project of Chinese Academy of Sciences (No. KSCX1-08-02)

Received date: 2003-05-10; Accepted date: 2003-10-20

Biography: LIU Mei-Zhen, Ph. D. candidate, mainly engaged in the regeneration of degraded grassland and hydrological characteristics of xerophyte.

sand lands in China, Hunshandak Sandland was once the flourish grassland, but now it has been degraded seriously, with shifting sand dune accounting 50 % of the whole. The area of shifting dune is 20 folds of that 50 years ago. The strong wind, occurring always in the winter and the spring with an average speed of 4~5 m/s and the strongest 30m/s, greatly intensified the degradation. Furthermore, heave windy storms directly threaten the ecological environment of Beijing and Tianjin. So, it is urgent to restore such degraded ecosystems for the sake of both ecological security and survivals of local society.

The aim of this paper is to probe the probability of restoration of degraded grassland through natural process. The main methodology we utilized was to intensively plant forages for the animals in a small part of the lands (only 1%) of the village we chose, while the large part of the lands (99%) was enclosed for recovering by natural processes, without planting any trees or grasses via aerial seeding. Changes of natural vegetation, economic development and the changes of ideality of local people during the experimental period in a small village of Bayinhushu, Zhenglan Banner, were also investigated. The results showed that biomass, height and coverage of plant community in most of the habitats have been significantly increased after 2 years regeneration ( $P < 0.05$ ). The average biomass was 1012 g/m<sup>2</sup> and the mean coverage reached 60 % in shifting sand dunes where it was bare sand dunes before enclosing. In fixed sand dunes, total community coverage was 3 fold of that of control. The original dominated species *Artemisia frigida* and *Artemisia commutata* were replaced by *Artemisia intramongolica* and *Agropyron cristatum*, etc. The biomass in lowland was increased by 9 fold of control. Before experiment, the predominant species was *Chenopodium glaucum* and *Chenopodium acuminatum*, but now *Festuca ovina* and *Elymus dahuricus* are the ascendant species in the lowland. Economy of local society has developed greatly as well. For example, young stocks survival rate has increased by 10% and milk production by 200% from 1998 to 2002. This study reveals that degraded ecosystems in Hunshandak Sandland might be regenerated by natural process as long as the pasturing stress has been alleviated. In order to achieve this, however, planting higher efficient forage was vital so as to assure sustainable economic development and prevent further grassland degradation. Through this case study, we may suggest that the ecological restoration of Hunshandak degraded sand land should mainly depend largely on nature process rather than artificial vegetation reconstructions in the natural sand lands.

**Key words:** degraded ecosystem; sandy grassland; restoration; society economy; Hunshandak Sandland

文章编号:1000-0933(2003)12-2719-09 中图分类号:Q143 文献标识码:A

生态系统退化主要是由于人类不合理地利用自然资源造成生物生产力降低、生物多样性减少、生态系统结构与功能发生改变的过程,在外部形态上,退化生态系统表现为对自然或人为干扰较低的抵抗性、较弱的缓冲能力以及较强的敏感性和脆弱性等<sup>[1]</sup>。土地退化是生态系统退化的重要指标之一<sup>[2]</sup>,离开土壤,植被赖以生存的物质基础就丧失,这在沙地草地的退化中表现尤为突出。沙地草地退化所诱发的沙尘暴,带走的是不可弥补的大量宝贵土壤物质。生态恢复的重要任务就是要控制土地继续退化<sup>[3,4]</sup>,最终实现生态系统结构和功能的恢复<sup>[5,6]</sup>。在国外,早在 20 世纪 20~30 年代就围绕着各类退化土地(矿山废弃地、垃圾填埋场、弃耕地等)进行很多恢复生态学的实验工作<sup>[7~12]</sup>。我国自从 1980 年以后,也在各地陆续启动了一些项目进行退化生态系统的恢复试验工作<sup>[13~17]</sup>,取得了大量进展。然而,有些项目虽然局部成效好,但由于恢复的重点放在人工植被建设上,而忽视了自然生态系统本身的修复能力;同时缺乏对当地居民生产、生活中实际需求的充分考虑,致使恢复效果不能长期保持<sup>[18]</sup>。例如,在沙化退化草地的治理上,虽然国家投入了大量的治理费用,但“局部治理,整体恶化”的趋势不能阻止<sup>[19]</sup>。鉴于以上现实,中国科学院于 2000 年在全国启动了 5 类典型退化生态系统(黄土高原、典型草原、青藏高原、干旱河谷、戈壁荒漠)的试验示范研究,利用生态学、农学、畜牧业、工程学、社会学集成技术,解决社区发展问题,减轻草场压力,自然恢

复生态环境。本文报道内蒙古试区浑善达克的初步成果。本研究主要目的是,选择牧民生产、生活频繁,草地大面积严重退化地区,基于“以人为本”的指导思想,采用“以地养地”治理策略,借助高效集约化的土地使用满足社会经济发达的途径,探讨借助自然力恢复退化生态系统的可行性。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地点

本试验示范区设在中国科学院浑善达克沙地生态研究定位站,行政区划属内蒙古正蓝旗北部贺日斯台苏木的巴音胡舒嘎查(生产队),地处浑善达克沙地腹地( $43^{\circ}11'42''\sim 43^{\circ}56'47''N$ ;  $116^{\circ}08'15''\sim 116^{\circ}42'39''E$ )。该嘎查总面积  $7\,300\text{ hm}^2$ ,其中夏季牧场  $2\,668\text{ hm}^2$ ;牧户 72 户,总人口 322 人。气候属温带大陆性季风气候,多年平均降水量  $350\text{ mm}$  左右,生长季节(6~8 月份)  $252\text{ mm}$ 。本实验期间(2001~2002 年)生长季节以及总降水量均低于平均年份(图 1)。蒸发量为  $1\,925\text{ mm}$ ;年均温度为  $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;年平均风速  $4.5\text{ m/s}$ ;土壤基质为砾沙土;丘间低地地下水埋深  $1\sim 1.5\text{ m}$ 。自然植被以沙地榆(*Ulmus pumila* var. *sabulosa*)、黄柳(*Salix gordejewii*)、红柳(*Salix microstachya*)、羊草(*Leymus chinensis*)、赖草(*Leymus secalinus*)等为主<sup>[20]</sup>。

### 1.2 实验设计

2001 年 4 月对该嘎查  $2\,668\text{ hm}^2$  严重退化的夏季牧场进行围封,充分保障自然力的发挥,实行自然恢复的土地面积占 99%。区域内流动、半固定、固定沙丘和大部分的丘间低地禁止放牧、割草等人为干扰。选择地势平坦,水源条件好,交通方便的丘间低地约  $67\text{ hm}^2$ (约占全嘎查土地的 1%)建设高效饲料基地,于 2001 和 2002 年春季种植英红玉米(青贮饲料),补充冬春季枯草期和禁牧期的饲草供应。每年秋季,收获的玉米以优惠价  $0.1\text{ 元/kg}$ ,优先出售给该嘎查的牧民,牧民根据各自的牲畜数量购买适量玉米杆进行青贮。贫困户实行赊购,次年秋季卖掉牲畜后再还款。

### 1.3 群落调查

在实验区不同生境植物进行群落的样方调查,即选取流动沙地、半固定沙地、固定沙地、滩地、红柳林地 5 种生境设置样地。在 5 种生境的样地中分别设置 5 个  $1\text{ m}\times 1\text{ m}$  的草本样方;红柳样地还设置 5 个  $10\text{ m}\times 10\text{ m}$  灌木样方。样地总计 30 块,其中草本样地 25 块,灌木样地 5 块。在每一样地中分别记录植物种的高度、盖度、株数和每个种的地上生物量(干重)。于 2001 年和 2002 年 7~8 月分别进行两次调查。

### 1.4 资料获得

巴音胡舒嘎查及贺日斯台苏木牲畜数量及人均收入的数据从正蓝旗统计局获得;国家在正蓝旗生态建设投资数据取自正蓝旗人民政府生态建设办公室。

社会经济方面的数据由问卷调查获得,共得到问卷 72 份,其中有效问卷为 68 份,在此基础上对牧户分类,选择其中 24 户于 2001 年 12 月和 2003 年 3 月分别进行访谈。为使调查结果代表所有不同经济收入水平的家庭,访谈前根据村长和书记的建议,参照每户拥有的牲畜头数,对访谈对象进行分类:总牲畜头数超过 250 头的牧户代表该区的富裕户,不足 50 头的代表贫困户。

## 2 结果与分析

### 2.1 生态恢复效果

各群落生物量(图 2A)、平均高度(图 2B)和总盖度(图 3)均随恢复时间的增加显著增加( $P<0.05$ )。流动沙丘未恢复前为裸沙,2a 后生物量高达  $1012\text{ g/m}^2$ ,总盖度为 60%。与对照相比,围封 2a 后,固定沙丘总盖度提高了近 3 倍;滩地群落生物量提高 9 倍,平均高度增加 4 倍。植被组成方面,恢复前固定沙地以冷蒿(*Artemisia frigida*)、糙隐子草(*Cleistogens squarrosa*)和寸草苔(*Carex duriuscula*)等为主,2a 后冰草

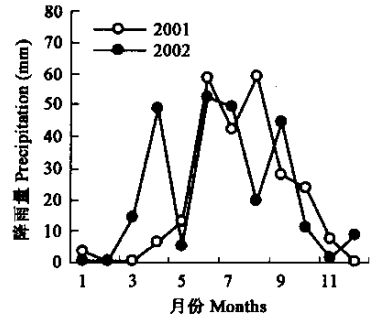


图 1 巴音胡舒嘎查 2001~2002 年各月总降雨量  
(数据由定位站工作人员测定)

Fig. 1 The total lunar precipitation in Bayinhushu village from 2001~2002. The data were measured at the experiment site by our members

(*Agropyron michnoi*)、褐沙蒿(*Artemisia intramongolica*)等占优势;滩地群落的优势植被由羊草(*Leymus chinensis*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)等取代了灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)和尖头叶藜(*Chenopodium acuminatum*)等。

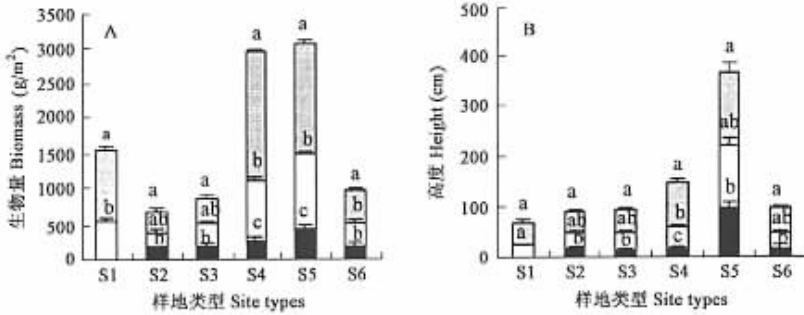


图 2 不同样地恢复前后群落生物量(A)及平均高度(B)的变化

Fig. 2 Changes of biomass and height of different community before and after regeneration in different sites

■未恢复 control; ▨恢复 1a 1 year after regeneration; ▩恢复 2a 2 years regeneration

S1: 流动沙丘 Shifting sand dunes; S2: 半固定沙丘 Semi-fixed sand dunes; S3: 固定沙丘 Fixed sand dunes; S4: 滩地 Lowland; S5: 红柳灌丛 Shrubs in *Salix microstachya*; S6: 红柳草本层 Grasses in *Salix microstachya*  
 图中每一柱内相同字母的差异不显著 In each column, the vertical with same lower case letters showed no significant difference at  $P=0.05$

2.2 生态恢复带来的经济效益

社会调查结果表明,自 1990 年以来,巴音胡舒嘎查 90%的牧户每年冬季需从外地购买草料。1998 至 2000 年,较富裕的牧户平均每年投入约 1~1.3 万元;中等富裕的牧户为 6 000~7 000 元(表 1),平均投入约 1 万元。而自 2001 年生态恢复试验开展后,牧户平均只用 1500 元在当地就可得到 2 万余斤草(干草+青贮玉米)(表 1)。由于青贮玉米有利于牲畜保膘,很受牧民欢迎。2001 和 2002 年冬季,全嘎查羊羔和牛犊的存活率为 98%,在此之前 3a 内冬羔的存活率只有 80%~90%,平均提高 10%;奶牛产奶量是 2000 年冬季的 1 倍多(表 2)。高效饲料除满足牧民需求和生产成本外,产生净利润约 30 万元(表 2)。自然恢复的天然草场在第 2 年不仅发挥了生态效益,也产生了明显的经济效益,干草的直接经济价值 80 万元(表 3)。因此放牧土地面积大大减少后,牧民的经济收入仍保持稳定增长,嘎查 2002 年人均收入比其所在的贺日斯台苏木平均值高 119 元(图 4)。

2.3 畜群结构变化

从图 5 可以看出,羊在总牲畜中所占比重较大,约为 57%~75%,牛占 22%~34%。其中 1990~1993 年 4a 内,山羊数量增长了 3 倍(图 5B)。这是因为从羔羊到出栏期的时间较短,养羊投入与产出周期短,因此大大刺激了只为眼前经济效益而不顾长远利益的短期经营行为。另外,羊绒市场的走俏也促使牧民大量饲养山羊。按照牧业规律,羊对草场的破坏较牛大得多,山羊的破坏性则更大。为了更好地保护这里的生态环境,在试验示范中,我们指导牧民进行牲畜结构调整,从整体

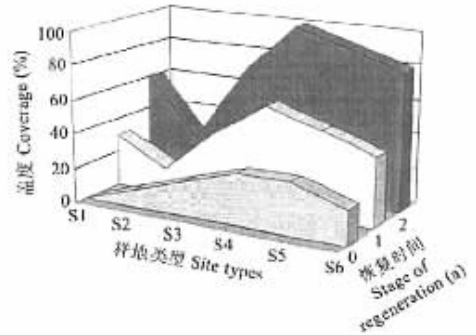


图 3 不同样地恢复前后群落总盖度变化

Fig. 3 Changes of coverage of different sites

S1: 流动沙丘 Shifting sand dunes; S2: 半固定沙丘 Semi-fixed sand dunes; S3: 固定沙丘 Fixed sand dunes; S4: 滩地 Lowland; S5: 红柳灌丛 Shrubs in *Salix microstachya*; S6: 红柳草本层 Grasses in *Salix microstachya*) before and after regeneration

上压缩牲畜数量,并且减少羊,尤其是山羊的数量,增加牛在牲畜中的比例。2002 年总牲畜 5 783 头(图 5A),是牲畜数量最多时 1993 年的一半,其中牛占 43%。

表 1 恢复实验前后巴音胡舒嘎查牧民平均每年冬季购买草料的投入比较(元,1998~2002 年)

Table 1 Cost for the forage and grass in winter from 1998 to 2002 in Bayinhushu village (RBM ¥)

富裕程度 Richness degree	1998		1999		2000		2001		2002	
	草 Grass	料 Forage	草 Grass	料 Forage	草 Grass	料 Forage	草 Grass	料 Forage	草 Grass	料 Forage
富裕户 Rich family	5000	3000	5500	5000	10000	3000	4000	500	2000	500
中等富裕户 Midrich family	1500	3500	2000	4000	3000	5000	2500	500	1000	500
贫困户 Poor family	1000	0	800	0	800	0	600	0	400	0

表 2 1998~2002 年冬季巴音胡舒嘎查幼畜成活率及牛奶产量

Table 2 Survival rate of young stocks and milk productivity in winter from 1998 to 2002

年度 Year	幼畜成活率 Survival rate(%)	产奶量 Milk productivity (g/d)
1998	85	9
1999	85	10
2000	88	11
2001	93	15
2002	98	20

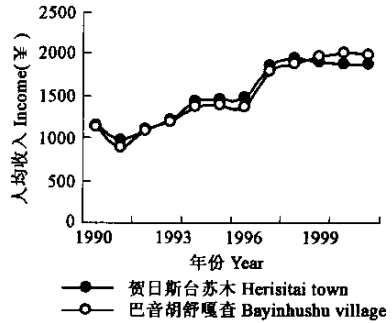


图 4 1990~2002 年贺日斯台苏木及巴音胡舒嘎查人均收入的变化

Fig. 4 The average incomes in Bayinhushu village and Herisitai town from 1990 to 2002

3 讨论

尽管一些学者认为,气候变化尤其是近年来发生的干旱是造成内蒙古草原生态退化的主要原因<sup>[21,22]</sup>,但本实验并不支持上述观点。在本研究进行的 2a(2001~2002 年)中,巴音胡舒嘎查的实际年降水量为 243mm 和 258mm,分别为多年平均值的 69%和 73%,其中

生长季(6~8 月份)分别为多年平均结果的 63%和 48%(图 1)。即使如此,近 2666hm<sup>2</sup> 围封草地的平均干草量为实验区外的 30 倍;距实验区 30km 外相邻嘎查约 300km<sup>2</sup> 的沙地草地依然退化严重,产草量不到 10kg/666.7m<sup>2</sup>。而在这 30km 的范围内,降水量基本一致,可见不能将生态退化简单归结为气候变化引起。在“怨天不尤人”观点指导下,进行生态恢复不能真正尊重自然生态系统的规律。国内外大量研究表明,干旱、半干旱地区人为因素如过渡采伐<sup>[23]</sup>,超载放牧<sup>[24,25]</sup>,农田弃耕<sup>[26]</sup>等是造成生态系统退化的根本原因<sup>[27~32]</sup>。巴音胡舒嘎查的草地退化主要是由于超载放牧所致,这可从以下几方面来解释:①自从 1985 草场承包以来,单一追求头数畜牧业的经营观念使该嘎查牲畜数量不到 10a 内翻了一番(图 5),可利用草地面积则由于植被的退化而不断缩小<sup>[33]</sup>。牲畜压力降低仅 2a 内,群落生物量、盖度及物种组成发生重大的变化说明草地退化主要为牲畜压力所致。②传统粗放经营的放牧方式已使草地的第一性生产力水平极低,为产出相同数量的畜产品,需要更多的草地和较长的资源利用时间,致使植被长期得不到“休养生息”而退

表 3 2001~2002 年巴音胡舒嘎查高效饲料及天然草场的经济效益分析

Table 3 Economic analysis of high efficient forage and natural pasture of Bayinhushu village from 2001~2002

年度 Years	高效饲料 High efficient forage				天然草场 Natural pasture			
	产量 Productivity (kg/666.7m <sup>2</sup> )	总产量 Total productivity (×10 <sup>4</sup> kg)	单价 Units price (元/kg)	总价值 Total (万元)	产量 Productivity (kg/666.7m <sup>2</sup> )	总产量 Total productivity (×10 <sup>4</sup> kg)	单价 Units price (元/kg)	总价值 Total (万元)
2001	4000	400	0.2	80	—	—	—	—
2002	6000	600	0.2	120	1250	200	0.4	80
合计 Total (万元)	—	—	—	200	—	—	—	80

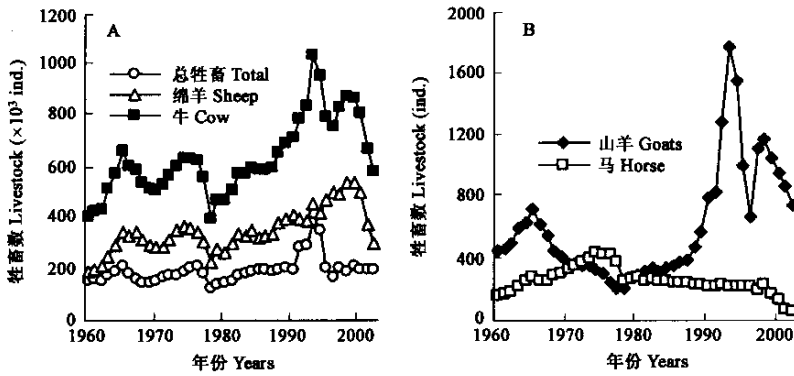


图5 1960~2002年巴音胡舒嘎查畜群结构的变化

Fig. 5 Changes of livestock construction in Bayinhushu village from 1960 to 2002

化。③更严重的是,过度利用的草地地表裸露,缺少枯草层,物质循环被阻断,元素损失严重,土壤团粒结构松散,表土层松动,土壤被侵蚀<sup>[34]</sup>,造成沙尘暴。本试验证明,只要解除草场的“牲畜压力”,植被完全有能力进行自然恢复(图2,3)。而国外对于退化土地的恢复也基本上是采取休养,自然恢复的办法完成的。美国于1985年颁布《农场法案》(Farm Act),在西部草原建立保护区进行自然恢复,同时给予农民一定的经济补偿,使长期困扰美国的黑风暴问题得以解决<sup>[35]</sup>;加拿大于1964年实施公共牧场计划(Community Pasture Program),对大草原的退化草地进行围栏封育,所有牧场建设永久植被保护<sup>[36]</sup>,成功地恢复了已经退化的草原。充分说明了自然力在退化生态系统恢复中的作用。

在土地利用上,提出了“以地养地”策略<sup>[36]</sup>,即在有水、电力、肥料等保证的地方建立人工高产饲草基地(以丘间低地为主),并进行生产与生活,腾出大量的退化土地进行自然恢复。单纯的依靠天然草场放牧的粗放经营不能保证畜牧业的稳定、持续发展<sup>[33]</sup>。美国人工草地面积达3000多万 $\text{hm}^2$ ,平均每亩人工草地饲养1个羊单位,而我国 $1\text{hm}^2$ 较好的典型草原才能养一只羊;新西兰人工草地面积占总草地面积的75%<sup>[33]</sup>。本研究同时表明,人工草地的建立对解决草原草畜平衡矛盾意义重大。而对于大面积退化沙地草地,恢复应以发挥自然力量为主<sup>[37]</sup>,这是最经济、最合理、最直接的途径。待自然恢复后,建立自然保护区,发展生态旅游等替代产业,反过来又可减少了人工草地的牲畜压力。

因此,退化生态系统恢复实际上涉及自然科学、社会科学、人文科学等许多方面的问题<sup>[38]</sup>,尤其是当地社区的参与。恢复中也应首先调动当地牧民的积极性,必须从解决他们生产和生活问题入手<sup>[32]</sup>,才能保障生态恢复的有效性,保证牧民生存环境不被破坏。使已退化的土地得以自然修复的前提是,保证牧民物质与文化生活水平不断提高。因此,只有解决水、电、生产工具、通讯、交通、教育等方面的实际问题,才能减少牧民对生存环境的压力。而本试验中,牧民最迫切的问题是牧草,牧草供应不足不可能实现退化草地恢复,相反解决了这一关键问题后,大量的费用投入后收效是显著的。例如,1999年至2002年,国家投入正兰旗的治沙造林费累计达1458万元<sup>①</sup>。按照巴音胡舒嘎查生产示范基地的基础设施建设所需费用为例来计算,如果这些经费中的50%用来发展社区经济,可以带动7个这样规模的嘎查摆脱由草场退化带来的贫穷,避免草场进一步退化。

总之,浑善达克退化沙地草地能够借助自然力恢复,围栏封育不仅使自然生态系统得以恢复,而且可以带来明显的经济效益。退化草地的恢复应以发挥自然力为主。在畜牧业生产上,人工种植一定数量的高产饲草,可以减缓自然生态系统的“牲畜压力”,使大面积的退化草地得以恢复,并弥补传统畜牧业牧草分配季节不平衡的缺点,保证畜牧业生产高效、稳定、可持续发展。在社会方面,改变牧民传统的靠天养畜的思

① 正蓝旗人民政府生态建设办公室. 正蓝旗生态建设项目汇总. 2003

想观念,解决他们的实际需求,才能调动他们积极参与到生态恢复的实践中。因此只有在正确的恢复理念的指导下,再加上当地牧民的参与,大面积退化的草地完全能够依靠自然力实现恢复,草地畜牧业才能实现可持续发展。

## References:

- [1] Zhang J N, Xu Q. The reason of ecological degradation. *Ecol. Science*, 1999, **18** (3): 27~32.
- [2] Allen E B, Covington W, Falk D A. Developing the conceptual basis for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 1997, **5**: 275~726.
- [3] Zhao P, Peng S L. Species and species diversity in relation with restoration and persistence of degraded ecosystem functions. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, **12** (1): 132~136.
- [4] Zhao X, Zhao W Z, Bao Y, et al. *Fragile Eco-environment and Treatment in Bashang*, Hebei Province. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1997.
- [5] Bradshaw A D. Restoration ecology and sustainable development. In: Urbanska K. and Webb N. R. eds. *Restoration Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 139~152.
- [6] Ding Y H. Discussion on several questions about ecology restoration. *J. Desert. Res.*, 2000, **20** (3): 341~344.
- [7] David M. Arizona ecologist puts stamp on forest restoration debate. *Science*, 2002, **297**: 2194~2196.
- [8] Dobson A P, Bradshaw A D, Baker A J M. Hopes for the future: Restoration Ecology and conservation biology. *Science*, 1997, **277**: 515~522.
- [9] Piekett S T A, Parker V T. Avoiding the old pitfalls: opportunities in a new discipline. *Restoration Ecology*, 1994, **2**: 75~79.
- [10] Thomas W, Schoener D A, Spiller L, et al. Natural restoration of the species area relation for a Lizard after a hurricane. *Science*, 2002, **295**: 1345~1347.
- [11] William W C. Helping western forests heal. *Nature*, 2000, **408**: 135~136.
- [12] Willy H V. Farming will only be sustainable when local people are truly involved. *Nature*, 2000, **408**: 133.
- [13] Zhu Z D, Zhao X L, Lin Y Q, et al. *Sandy Land Rehabilitation Engineering*. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1998.
- [14] Chang X L, Zhao H L, Yang C, et al. Influence of plant species diversity on productivity of sandy grassland in Kerqin Region. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, **11** (3): 395~398.
- [15] Liu X M, Zhao H L. *Research on Eco-environmental Integrated Control of Horqin Sandy Land*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Publishing House, 1993.
- [16] Yao H L, Wei C T. *The Research of Maowusu Sands Development and Treatment*. Hohhot: Inner Mongolia University Press, 1992.
- [17] Zhao G J, Liu Y H, Zhao M C. *Research on Environmental Integrated Control and Restoring Techniques*. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1993.
- [18] Liu Y X. The establishment and effect of protecting system along the Baotou-Lanzhou railway in Shapotou sandy area. *J. Desert. Res.*, 1987, **7** (4): 1~11.
- [19] Jiang G M. Ecological restoration of degraded ecosystem in western China: the opportunity and challenge in ecology. In: Jin J M ed. *International Advance Science and Technology Workshop on Biodiversity Conservation and Utilization*. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 2002. 16~19.
- [20] Zhu Z D, Wu Z, Liu S, et al. *The Introduction of Chinese Deserts*. Beijing: Sciences Press. 1980.
- [21] Ding Y H, Dai X S. Temperature variation in China during the last 100 years. *Meteorological Monthly*, 1994, **20**: 19~26.
- [22] Ye D Z, Zhou J F, Liu J Y. Causes of sand-stormy weather in northern China and control measures. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**: 513~520.
- [23] Rishk M A. Land degradation in the Nile Valley. *Ambio*, 1986, **15**: 226~230.
- [24] Robert R. Soil loss and population pressure on Java. *Ambio*, 1986, **15**: 14~18.

- [25] Ware H. Desertification and Population; Sub-Saharan. In: Michael H G. ed. *Desertification: Environmental Degradation in and around Arid Land*. Boulder, Colorado; Westview Press, 1997.
- [26] Mahtab F U, Karim Z. Population and agricultural land use; towards a sustainable food production system in Bangladesh. *Ambio*, 1992, **21**: 50~52.
- [27] Quan H. Study on sandstorms and aerosol transport roads in northwest China. *Environmental Science*, 1993, **14**: 60~64.
- [28] Ci L J, Liu Y P. Driving action of population increase on desertification. *J. Arid Land Res. and Environ.*, 2000, **14**: 28~33.
- [29] Qiu X F, Zeng Y, Miao Q L. Temporal-spatial distribution as well as tracks and source areas of Sand-dust storms in China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**: 316~322.
- [30] Tilman D, Knops J, Wedin D, et al. The influence of functional diversity and composition on ecosystem process. *Science*, 1997, **277**: 1300~1302.
- [31] Li Q F, Hu C Y, Wang M J. Analysis on the cause of environmental deterioration in Hunshandake sandy land region and countermeasures. *J. Arid Land Res. and Environ.*, 2001, **15** (3): 9~16.
- [32] Han N Y, Jiang G M, Li W J. *Management of the Degraded Ecosystems in Xilingol Biosphere Reserve*. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [33] Daoerjipalamu. *Intensive Pasture Stock Raising*. Beijing: Chinese Agricultural Science Technology Press. 1996.
- [34] Jiang G M. Strategy of regeneration of the degraded ecosystem in Hunshandak Sandland. *Chinese Science and Technology Forum*, 2002, **3**: 13~15.
- [35] Economic Research Service of United States Development of Agriculture (USDA). *The 2002 Farm Act.*, Washington: USDA, 2002.
- [36] Dyson I W. Canada's Prairie Conservation Action Plan. In: Fred B. D. and Fritz L. K. eds. *Prairie Conservation—Preserving North America's Most Endangered Ecosystems*. Regina: Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture Canada, 1996. 175~186.
- [37] Jiang G M. The problem of wind storm and its treatment. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2002, **6**: 419~423.
- [38] Peng S L. Some key points of restoration ecology. *Acta Ecologica Sinica*, **23** (7): 1249~1257.

#### 参考文献:

- [1] 章家恩, 徐琪. 生态退化的原因. *生态科学*, 1999, **18** (3): 27~32.
- [3] 赵平, 彭少麟. 种的多样性及退化生态系统功能的恢复和维持研究. *应用生态学报*, 2001, **12** (1): 132~136.
- [4] 赵雪, 赵文智, 宝音, 等. 河北坝上脆弱生态环境的整治. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [6] 丁运华. 生态恢复中的几个问题讨论. *中国沙漠*, 2000, **20** (3): 341~344.
- [13] 朱震达, 赵兴梁, 凌裕泉, 等. 沙地恢复工程. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [14] 常学礼, 赵哈林, 杨持, 等. 科尔沁沙地植物种多样性对草地生产力的影响. *应用生态学报*, 2001, **11** (3): 395~398.
- [15] 刘新民, 赵哈林. 科尔沁沙地生态环境综合整治研究. 兰州: 甘肃科技出版社, 1993.
- [16] 姚洪林, 魏成泰. 毛乌素沙地开发与治理研究. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1992.
- [17] 赵桂久, 刘燕华, 赵名茶. 环境整治与恢复工程研究. 北京: 北京科学技术出版, 1993.
- [18] 刘监心. 沙坡头包兰铁路线防护体系建立及其效应. *中国沙漠*, 1987, **7**(4): 1~11.
- [19] 蒋高明. 中国西部退化生态系统恢复的机遇和挑战. 见: 金鉴明主编. 生物多样性保护与利用高新科学技术国际研讨会论文集. 北京: 北京科学技术出版社, 2002. 16~19.
- [20] 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. 中国沙漠概论. 北京: 科学出版社, 1980.
- [21] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来温度变化. *气象*, 1994, **20**: 19~26.
- [22] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远. 关于我国华北沙尘暴天气的成因与治理对策. *地理学报*, 2000, **55**: 513~520.
- [27] 全浩. 关于中国西北地区沙尘暴及其黄沙气溶胶高空传输路线的探讨. *环境科学*, 1993, **14**: 60~64.



- [28] 慈龙骏, 刘玉平. 人口增长对荒漠化的驱动作用. 干旱区资源与环境, 2000, **14**: 28~33.
- [29] 邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径. 地理学报, 2001, **56**: 316~322.
- [31] 李青丰, 胡春元, 王明玖. 浑善达克沙地生态环境劣化原因分析及治理对策. 干旱区资源与环境, 2001, **15**(3): 9~16.
- [32] 韩念勇, 蒋高明, 李文军. 锡林郭勒生物圈保护区退化生态系统管理. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [33] 道尔吉帕拉木. 集约化草原畜牧业. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1996.
- [34] 蒋高明. 浑善达克沙地退化生态系统恢复的对策. 中国科技论坛, 2002, **3**: 13~15.
- [37] 蒋高明. 沙尘暴及其治理. 中国科学院院刊, 2002, **6**: 419~423.
- [38] 彭少麟, 陆宏芳. 恢复生态学焦点问题. 生态学报, **23** (7): 1249~1257.