

文章编号: 1008-2786-(2008)3-286-07

# 石羊河上游甘肃臭草型退化草地植被恢复过程

赵成章<sup>1,2</sup>, 龙瑞军<sup>2</sup>

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

2. 兰州大学青藏高原草地与牦牛研究中心, 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 研究了化学除莠+适度放牧条件下, 祁连山北坡甘肃臭草 (*Melica przewalskyi*) 草地群落的植被恢复过程。结果表明, 使用专用除草剂杀灭甘肃臭草后, 恢复草地在 2000~2006 年经历了甘肃臭草优势阶段、冷蒿+甘肃臭草阶段、冷蒿+阿尔泰针茅阶段、阿尔泰针茅+杂类草阶段等 4 个演替阶段。2006 年草地群落的植物种数比对照草地增加 4~7 种, 盖度和密度接近或高于对照草地, 甘肃臭草由优势种变为伴生种, 阿尔泰针茅 (*Stipa krylovii*) 成为优势种。与对照草地相比地下总根量减少 9.06%, 活根量提高 3.5%, 并且表现出深层化分布趋势, 0~50 cm 土层的含水量提高 7.2%。经过 7 a 的恢复演替, 草地群落的稳定性增加, 但是, 草地的地上生物量仍然较低, 杂类草所占比例较大, 尚未达到成熟群落状态。

**关键词:** 石羊河; 甘肃臭草; 退化草地; 植被群落; 恢复过程

**中图分类号:** S812.8

**文献标识码:** A

我国有天然草地  $4 \times 10^8 \text{ hm}^2$ , 占全球草地总面积的 13%, 居世界第二位。目前, 90% 的草地出现了不同程度的退化。其中毒杂草型退化草地已经成为广布于西部牧区天然草地的一种重要退化类型<sup>[1, 2]</sup>。退化草地中毒杂草的大量滋生繁衍, 破坏了草地生态系统的稳定性, 改变了草地群落的结构和功能, 严重制约着草地畜牧业生产的健康发展<sup>[3, 4]</sup>。

甘肃臭草 (*Melica przewalskyi*) 是分布于甘肃、青海、西藏等地高山草甸和草原的一种臭草属多年生草本植物<sup>[5, 6]</sup>, 由于味道怪异, 家畜不采食, 是西北牧区的主要毒杂草之一。近十几年来, 地处祁连山东段的石羊河上游地区, 高寒草原发生了较严重的退化, 原本在草群中零星分布的甘肃臭草以其根状茎的快速繁殖能力, 开始在北坡中山地带形成大量面积不等、形状各异以甘肃臭草种群聚集分布斑块为背景的退化草地群落, 其中甘肃臭草的盖度和地

上生物量分别达到 80%~90% 和 70~133 DM g/m<sup>2</sup>, 均显著高于斑块周围草地<sup>[7]</sup>。甘肃臭草单一种群斑块形成数年后, 退化草地群落出现自疏现象, 植被覆盖度下降至 30% 以下, 造成表土大量裸露, 导致了祁连山地严重的水土流失。

虽然甘肃臭草种群的扩散繁衍短期内增加了草地群落的地上生物量和冷季时草地的植被覆盖度, 但其种群由盛变衰的过程, 不仅降低了草地的生产能力, 而且直接破坏了草地的水源涵养功能, 对草地生态系统的安全构成了严重威胁。目前, 天然草地主要毒杂草生态特性及其退化草地形成机理研究受到了国内外学者的重视<sup>[8-12]</sup>, 但是, 毒杂草型退化草地植被恢复过程与机理研究相对薄弱, 尤其对甘肃臭草型退化草地植被恢复方面的研究未见报道。为此, 作者于 2000~2006 年在东祁连山石羊河上游选择甘肃臭草单一种群组成草地群落, 使用专用除草剂灭除甘肃臭草后, 对草地植被恢复过程进行了为

收稿日期 (Received date): 2008-01-03; 改回日期 (Accepted): 2008-02-28.

基金项目 (Foundation item): 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2007BAD46B07); GEF 项目 (052456 CHA-GS-Y-5) 资助 [Supported by the Eleventh Five year Plan of Science & Tech Program of China (2007BAD46B07), Foundation of GEF (052456 CHA-GS-Y-5)]。

作者简介 (Biography): 赵成章 (1967-), 男, 甘肃武威人, 博士, 副教授, 主要研究方向恢复生态学与区域可持续发展。[Zhao Chengzhang (1967-), male, Wuwei County of Gansu Province, associate professor, Doctor major in restoration ecology and sustainable development] E-mail: zhaozc@nwnu.edu.cn

期 7 a 的研究, 以期类似退化草地的恢复治理和持续管理提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域概况

研究区域位于祁连山北坡石羊河上游的甘肃省肃南裕固族自治县皇城镇月牙崖草原 ( $37^{\circ} 58' N$ ,  $101^{\circ} 47' E$ ), 具有大陆性气候和山地垂直气候特征, 海拔 2 640 m, 年均温  $13^{\circ}C$ ,  $\geq 0^{\circ}C$  的年积温 2 450  $^{\circ}C$ , 最热和最冷月气温分别为  $12 \sim 15^{\circ}C$  和  $-11 \sim -13^{\circ}C$ , 年降水量 350 mm 左右, 主要集中在 6~9 月, 蒸发量 1 500~1 800 mm, 相对湿度 65%, 年平均日照时数 2 800 h 无霜期短, 只有 90 d。土壤为山地栗钙土, 有机质 3.65%, 全氮 0.220%, 全磷 0.060%, 全钾 2.83%, 代换量  $15.1 m \cdot e/(100 g)$ , pH 值 8.4, 碳酸钙 10.75%。

试验区地处山地荒漠草原与干旱草原过渡带, 属于山地草原类, 坡地针茅组, 阿尔泰针茅型。受干旱气候的影响, 草地群落的植被覆盖度和地上生物量处于较低水平<sup>[7]</sup>。天然草地主要植物有阿尔泰针茅、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、甘肃臭草、扁穗冰草 (*Agropyron cristatum*)、草地早熟禾 (*Poa pratensis*)、狼毒 (*Stellera chamaejasme*)、披针叶黄华 (*Thermopsis lanceolata*)、阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*)、多茎萎陵菜 (*Potentilla multicaulis*)、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、异叶青兰 (*Dracocephalum heterophyllum*)、阿拉善独行菜 (*Lepidium alashanicum*)、南牡蒿 (*Artemisia eriopodai*)、碱韭 (*Allium polyrhizum*) 等。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地设置

2000-08 在地势相对平整的阿尔泰针茅 + 冷蒿草地群落中, 选取直径 80 m 左右近似圆形的甘肃臭草单一种群组成草地斑块作为实验样地, 在样地内随机设置 9 个  $10 \times 10 m^2$  的小区, 小区间隔 2 m, 其中 6 个小区进行草地恢复实验, 3 个小区为对照 (简称  $CK_1$ )。为了便于分析草地群落的恢复演替方向和过程, 在供试草地斑块东侧 30 m 处随机布置 3 个  $10 \times 10 m^2$  的对照小区 (简称  $CK_2$ ), 供试样地和  $CK_1$  的每个小区用竹签标记 100 株甘肃臭草用于观测灭效。

2000-08-10 上午, 在草地恢复实验小区以  $5 L/m^2$  的剂量叶面喷施一种新型除草剂——臭草利

宁 (专利申请号: 200610041854 X), 两组对照小区叶面喷施相同剂量的清水, 30 d 后实验小区甘肃臭草的死亡率达到 95% 以上, 次年春季标记甘肃臭草植株的返青率不足 7%, 对照小区所有植物生长正常。

#### 1.2.2 观测内容及方法

1. 草地群落数量特征测定: 2000 年至 2006-08-05~10 在各小区内随机布置 6 个  $1 \times 1 m^2$  的样方, 用网格法测定草地群落及各植物种的盖度, 用收获法和烘干法测定草地群落所有植物种的干重, 用计数法测定所有植物密度, 用卷尺测定各种植物的自然高度。

(1) 重要值测定: 采用相对密度、相对高度、相对盖度和相对重量计算草地植物群落主要植物的重要值, 计算公式

$$DC = \frac{D' + H' + C' + W'}{3}$$

式中  $DC$  为物种重要值,  $D'$  为相对密度,  $H'$  为相对高度,  $C'$  为相对盖度,  $W'$  为相对重量。

(2) 多样性测定: 采用 Shannon-Wiener 物种多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数三项指标, 计算公式:

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Pielou 均匀度指数

$$J = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Simpson 优势度指数

$$C = \sum_{i=1}^s (p_i)^2$$

式中  $P_i$  表示第  $i$  个物种重要值与群落物种总重要值之比,  $S$  为植物种数。

(3) 相似性系数测定: 采用计算公式

$$k_{\text{sorresen}} = \frac{2c}{a+b}$$

式中  $k_{\text{sorresen}}$  为相似性系数,  $c$  为两个植物群落共有的植物种数,  $a$ ,  $b$  分别为两个群落种的植物种数。

2. 草地地下生物量测定: 在测定草地地上生物量的同时, 各样地随机选取 10 个样点, 用内径 5 cm 的土钻分土层 (10 cm) 钻取 0~50 cm 土样。将采集的土样在 40 目的网孔筛中用流水冲洗, 拣出所有根系, 采用漂洗法分离活根和死根,  $65^{\circ}C$  下烘干 72 h 称重。

3. 土壤含水量测定: 各小区随机选取 10 个样点, 在 0~50 cm 土层内分土层 (10 cm) 打土钻用小

铝盒取样,用烘干法测定每个样点的土壤含水量。

2 结果分析

2.1 退化草地恢复过程中的主要群落特征

2.1.1 草地群落的物种丰富度变化

应用化学除莠技术防除甘肃臭草种群的措施,迅速改变了草地群落的资源供需格局,原来郁闭生长的甘肃臭草种群死亡后,裸露的地表为其他植物的定居繁衍提供了充足的资源条件。经过 7 a 的恢复生长,草地群落的物种丰富度逐步增加至 11 种,比对照草地 CK<sub>1</sub>和 CK<sub>2</sub>增加了 4~7 种。对照草地 (CK<sub>1</sub>)中的甘肃臭草种群在 2000~2006 年间出现了自疏现象,草地群落的植物增加至 4 种。

2.1.2 草地群落的盖度、密度和地上生物量变化

表 1 资料表明,2001~2003 年草地群落的总盖

度、密度和地上生物量绝对数量相对较低,但是 3 项指标的年均增幅分别达到 174.2%、155.8% 和 97.3%;2004~2006 年草地群落的盖度、密度和地上生物量的绝对数量有了较大幅度的增加,但是年均增幅较上一时段减小。

经过 7 a 的恢复,草地群落的盖度低于甘肃臭草群落 (CK<sub>1</sub>) 7%,而高于冷蒿 + 阿尔泰针茅群落 (CK<sub>2</sub>) 1.3%,密度比甘肃臭草群落 (CK<sub>1</sub>) 增加 11.2%,但是,草地群落的地上生物量只有阿尔泰针茅 + 冷蒿群落 (CK<sub>2</sub>) 的 77.0%。

2.2 草地恢复过程中主要植物种群的数量变化

随着供试草地植被的恢复,主要植物的种群数量特征出现了分异 (图 1)。甘肃臭草具有种子繁殖和克隆繁殖特性,2001 年供试草地群落中只有从受药害残存根系上萌发的个别甘肃臭草植株,从 2002 年开始,虽然甘肃臭草种群的分盖度、密度、高度和

表 1 草地群落的盖度、密度和地上生物量比较

Table 1 The coverage density and biomass of grassland community

对照物	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>
盖度 Coverage (%)	80 ± 4.7	3 ± 0.1	11 ± 0.4	20 ± 0.9	32 ± 1.3	53 ± 2.2	66 ± 2.8	72 ± 2.9	65 ± 2.8
密度 Density (plant/m <sup>2</sup> )	188 ± 6	11 ± 0.4	28 ± 1.1	72 ± 2.9	99 ± 3.6	149 ± 7.4	218 ± 10.9	196 ± 9.4	418 ± 19.2
生物量 Biomass (DM g/m <sup>2</sup> )	81 ± 3.8	2.1 ± 0.1	4.9 ± 0.2	7.9 ± 0.3	20.1 ± 0.8	33.6 ± 1.3	37.8 ± 1.5	82.9 ± 3.3	48.9 ± 1.9

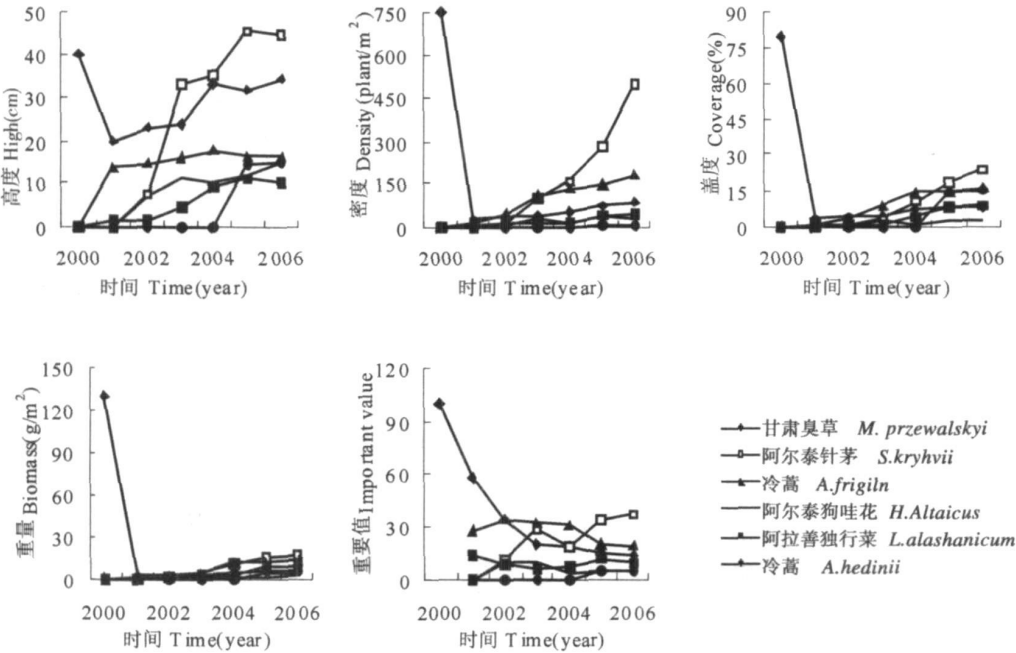


图 1 草地群落主要植物的种群特征

Fig 1 The character of m ajr plant in grassland community

地上生物量缓慢增加至 2006 年的 8%、88 株 /m<sup>2</sup>、34.3 cm 和 6.89 DM g/m<sup>2</sup>, 但是, 明显低于同期草地中其他植物的恢复速度, 甘肃臭草由草地群落的优势种逐渐变为伴生种。

土壤中残留的种子作为一种潜在植被, 是决定退化植被恢复进程和速度的主要内在因素之一, 当环境有利时则会迅速萌动, 将潜在植被变为现实植被<sup>[13]</sup>。冷蒿凭借土壤种子库的萌发, 于 2001 年在恢复草地中实现了初步定居, 2001~2004 年间成为草地群落的共优种。阿尔泰针茅的萌发时间比冷蒿推迟 1 a 凭借较快的生长繁衍速度, 在 2005~2006 年间取代甘肃臭草和冷蒿占据草地群落的优势地位。

紫菀、独行菜和南牡蒿等杂类草的生长繁衍分为 3 个阶段, 2001~2002 年为定居阶段, 盖度、密度和地上生物量较低, 属偶见种; 2003~2004 年杂类草的种群规模逐步扩大, 在草地群落中占据了一定的空间, 重要值达到 16.4%~17%; 2005~2006 年成为草地群落的共优种。

### 2.3 退化草地植被恢复过程的植物多样性指数变化

植被多样性指数可以解释草地群落演替趋势。草地群落恢复演替过程中, 随着物种多样性的增加群落的 Shannon-Wiener 多样性指数总体呈上升趋势, 受群落优势种群更替及其结构变化影响, 群落的 Pielou 均匀度指数表现出增减交替变化趋势, 而 Simpson 优势度指数总体呈下降趋势 (图 2)。

2000~2002 年, 草地群落的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数增加明显, 而 Simpson

优势度指数迅速下降。随着演替时间的延续, 草地群落的多样性指数缓慢增加趋势, 均匀度指数和优势度指数呈相对稳定状态。

### 2.4 退化草地恢复过程中植被群落的相似性变化

相似性系数能够表征植被恢复系列上和群落演替过程中物种组成结构的递进性和渐变性<sup>[14]</sup>。2001~2002 年间、2003~2004 年间和 2005~2006 年间供试草地群落的相似性指数分别为 0.92、0.90 和 0.83, 表明上述 3 个时段恢复草地群落的物种组成结构相似程度高 (表 2); 而 2000 年与 2002~2006 年间草地群落的相似性指数相对较小, 表明恢复草地的物种组成结构与治理前的退化草地相比发生了根本性变化。

### 2.5 草地群落的根系生物量变化

灭除甘肃臭草 7 a 后, 恢复草地的总根量及其分布格局发生了变化 (表 3)。供试草地的总根量低于对照草地 (CK<sub>1</sub>) 9.1%; 但是, 活根总量比对照草地增加了 3.5%, 而死根总量比对照草地下降 12.2%。

恢复草地 0~10 cm 土层的总根量、活根和死根量与对照草地差异不明显。恢复草地 10~20 cm 土层的总根量比对照草地减少 42.3%, 20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm 土层的活根总量分别比对照草地增加 56.3%、154.5% 和 566.7%。综上所述, 经过 7 a 的恢复草地群落的活根出现深层化分布趋势。

### 2.6 草地土壤含水量变化

恢复草地 2006~08 的土壤平均含水量达到 14.4%, 比对照草地提高了 7.2%。其中, 0~10 cm 土层的土壤含水量比对照草地降低了 4.8%, 其余土层的含水量均高于对照草地, 尤以 20~30 cm 和 30~40 cm 土层差异为甚, 分别较对照草地高了 16.1% 和 11.9% (图 3)。

## 3 讨论与结论

### 3.1 人为干扰甘肃臭草型退化草地的必要探讨

草地群落中各种植物种群的数量消长幅度取决于内在的生物学特性、外界营养条件和种内、种间相互作用等<sup>[16-18]</sup>。甘肃臭草在干旱生境的较高营养生殖水平, 以及对放牧干扰的适应性和依靠根状茎的克隆生殖进行种群扩散的繁殖策略, 是其对恶劣生境的一种适应性表现, 在自然状态下, 短期内不可

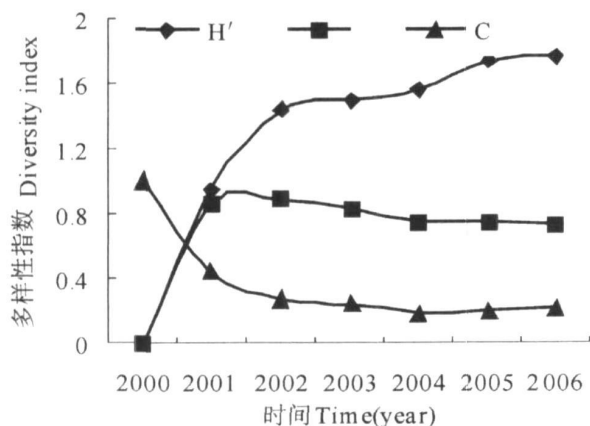


图 2 草地恢复过程中群落多样性指数变化 (2000~2006)

Fig.2 The change of diversity index of plant community during restoration of the grassland from 2000 to 2006

表 2 2000~ 2006年草地恢复过程中群落的相似性比较

Table 2 Compare to comparability of plant community in processe ofrestoration grassland from 2000 to 2006

时间	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
2000	1	0.67	0.33	0.29	0.22	0.18	0.17
2001		1	0.83	0.67	0.55	0.46	0.43
2002			1	0.77	0.75	0.67	0.63
2003				1	0.92	0.75	0.71
2004					1	0.77	0.75
2005						1	0.9
2006							1

表 3 2006- 08草地群落的地下根系生物量组成

Table 3 Composing of underground biomass of root in grassland community on August 2006

(单位 unit g/m<sup>3</sup>)

土层深度 Depth( cm )	恢复草地 restoration grassland			对照草地 comparison grassland( CK <sub>1</sub> )		
	活根 live root	死根 dead root	合计 total	活根 live root	死根 dead root	合计 total
0~ 10	623±24.9	1696±81.4	2319±106.3	652±27.4	1670±80.2	2321±107.5
10~ 20	52±2.3	415±18.7	467±21	56±2.5	753±34.6	809±37.1
20~ 30	73±3.2	428±18.8	501±22	48±2.3	429±19.3	476±21.6
30~ 40	28±1.3	107±5	135±6.3	11±0.4	137±6.7	147±7.2
40~ 50	20±0.9	55±2.8	74±3.6	3±0.2	88±4.2	91±4.4
合计 total	796±32.6	2700±126.7	3496±159.3	769±32.7	3076±145	3845±177.7

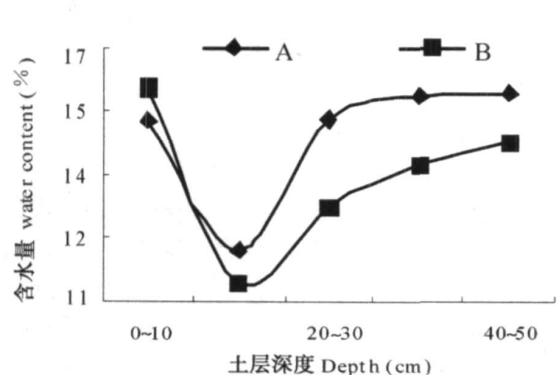


图 3 2006- 08治理草地 (A)和对照草地 (B)的含水量

Fig 3 Chenges of soilwater content in restoration grassland (A) and comparison grassland (B) on August 2006

能依靠种群之间的竞争逆转草地群落结构,借助人为干扰改变草地群落的成员型结构,为草地多样性恢复提供资源空间,是治理该类退化草地的必要手段。

3.2 甘肃臭草型退化草地生态修复途径探讨

生态恢复是指系统的结构和功能恢复到接近其

受干扰以前的状态,确认群落结构与功能间的联结已形成<sup>[21]</sup>。应用专用除草剂有效杀灭甘肃臭草后,在每年 4~ 11月禁牧条件下,经过 7 a的恢复草地群落的物种丰富度分别比对照草地增加了 57.1%~ 175%,其密度和盖度已经接近或高于两种对照草地;草地群落的活根占总根量的比例达到 23%,较对照草地高 3%。但是草地群落的地上生物量较低,杂类草比例较高,草地尚未达到成熟群落状态,仍然处于后期恢复阶段,在气候发生变化的条件下,草地群落能否演替到原生状态仍然是一个未知数,有待进一步研究。

3.3 甘肃臭草型退化草地的植被恢复过程探讨

植被恢复梯度上优势种在群落中的地位和作用对群落演替和环境演变起主导作用<sup>[19-20]</sup>,综合草地群落的成员型组成、年际间草地群落的相似性指数以及主要植物的生物学特征,认为退化草地植被恢复过程分为 4 个阶段: 1. 甘肃臭草优势阶段 (2000 年),叶面喷施除草剂 30 d后,2000- 09受药害后残存的甘肃臭草是草地群落中唯一的优势种群。2. 冷蒿 + 甘肃臭草阶段 (2001~ 2002年),这一阶段草

地群落地表的裸露度较大, 不利于植物的营养生长和实生苗萌发, 虽然植物增加至 5 种, 但是种群数量有限, 甘肃臭草和冷蒿占有明显优势。3. 冷蒿 + 阿尔泰针茅阶段 (2003~2004 年), 草地群落的物种丰富度、密度、盖度和地上生物量比前一阶段明显提高, 甘肃臭草由优势种变屈居为伴生种, 冷蒿和阿尔泰针茅成为草地群落的共优种。4. 阿尔泰针茅 + 杂类草阶段 (2005~2006 年), 该阶段阔叶杂类和阿尔泰针茅的种群数量增加, 成为草地群落的共优种。

## 参考文献 (References)

- [1] Zang Zhe. Silent crisis desertification and degeneration of grassland [J]. *Practical Science*, 2000, (4): 10~12 [张自和. 无声的危机 - 荒漠化与草原退化 [J]. 草业科学, 2000, (4): 10~12]
- [2] Zhao Chengzhang, Fan Shengyue. Y in Cu i q in. Causation of degenerated grassland and its sustainable development countermeasures in Qilian mountains of China [J]. *Journal of Desert Research*, 2004a, 24(2): 207~211 [赵成章, 樊胜岳, 殷翠琴. 祁连山区天然草原退化原因分析与可持续利用对策 [J]. 中国沙漠, 2004a, 24(2): 207~211]
- [3] Shi Zhicheng. Important poisonous plant in Chinese grassland [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1997, 140~150 [史志诚. 中国草地重要有毒植物 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997, 140~150]
- [4] Qiang Sheng. Weed science [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2001: 8~35 [强盛. 杂草学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 8~35]
- [5] Yang Dekui, Yang Meijuan, Wang Shuyun. Chromosome studies of *Melica* from Shandong [J]. *Shang Dong Science*, 2004, 17(1): 27~29 [杨德奎, 杨美娟, 王淑云. 山东臭草属植物的染色体研究 [J]. 山东科学, 2004, 17(1): 27~29]
- [6] Beijing Botany Research Institute. CAS. Iconographia Cormophytorum Sinicorum (Tomus IV) [M]. Beijing: Science Press, 1974: 26~209 [中国科学院北京植物研究所. 中国高等植物图鉴 (第五册) [M]. 科学出版社, 1974, 26~209]
- [7] Zhao Chengzhang, Fan Shengyue. Y in Cu i q in. Study on vegetation community structure of degraded grassland of noxious and miscellaneous grass type [J]. *Journal of Desert Research*, 2004b, 24(4): 507~512 [赵成章, 樊胜岳, 殷翠琴. 毒杂草型退化草地植被群落特征的研究 [J]. 中国沙漠, 2004b, 24(4): 507~512]
- [8] Wang Shiping, Li Yunhong, Wang Yanfen. Influence of different stocking rates on plant diversity of *artemisia frigida* community in Inner Mongolia steppe [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(1): 89~96 [汪诗平, 李永宏, 王艳芬, 等. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响 [J]. 植物学报, 2001, 43(1): 89~96]
- [9] Wang Wei, Liang Cunzhu, Liu Zhongling, et al. Mechanism of degradation succession in *Leymus chinensis* + *Stipa* grassland steppe community [J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 2000, 24(4): 468~472 [王伟, 梁存柱, 刘钟龄. 羊草 + 大针茅草原群落退化演替机理的研究 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 468~472]
- [10] Fowler N. The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions [J]. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1986, 17: 89~110.
- [11] Callaway R M, Aschehoug E T. Invasive plants versus their New and old neighbors: A mechanism for exotic invasion [J]. *Science*, 2000, 290: 521~523.
- [12] Rice E L. Allelopathy. 2nd ed [M]. New York: Academic Press, 1984.
- [13] Zhao Hailin, Su Yunzhong, Zhou Ruilian. Restoration mechanism of degraded vegetation in sandy areas of northern China [J]. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(3): 323~328 [赵哈林, 苏永中, 周瑞莲. 我国北方沙区退化植被的恢复机理 [J]. 中国沙漠, 2006, 26(3): 323~328]
- [14] Zhang Jiyi, Zhao Hailin, Zhang Tonghui. Dynamics of species diversity of communities in restoration processes in Horqin sandy land [J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 2004, 28(1): 86~92 [张继义, 赵哈林, 张铜会. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 86~92]
- [15] Grime J P. Control of species density in herbaceous vegetation [J]. *Journal of Environmental Management*, 1973, 3(1): 151~167.
- [16] Osen Y, Perevolotsky A, Kigel I. Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: interactions with small-scale spatial and temporal in primary productivity [J]. *Journal of Ecology*, 2002, 90: 936~946.
- [17] Qiu Ba, Du Guozheng. Light competition can cause a decline in diversity with increased productivity in an alpine meadow [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sinica*, 2004, 24(9): 1646~1650 [邱波, 杜国祯. 高寒草甸植物群落物种多样性和生产力关系的光竞争研究 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(9): 1646~1650]
- [18] Song Yongchang. Vegetation Ecology [M]. Shanghai: Huadong Normal University Press, 2001: 22~34 [宋永昌. 植被生态学 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 22~34]
- [19] Walker, B. H.. Biological diversity and ecological redundancy [J]. *Conservation Biology*, 1992, 6: 18~23.
- [20] Lawton, J. H. & V. K. Brown. Redundancy in ecosystems. In: Schulze E. D. & H. A. Mooney eds. Biodiversity and ecosystem function [M]. New York: Springer-Verlag, 1993.
- [21] Ren Hai, Peng Shaolin, Lu Hongfang. The restoration of degraded ecosystems and restoration ecology [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1760~1768 [任海, 彭少麟, 陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学 [J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1760~1768]
- [22] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems [J]. *Nature*, 1996, 379: 718~720.
- [23] Bullock J M, Pywell R F, Burke M J W, et al. Restoration of biodiversity enhances agricultural production [J]. *Ecology Letters*, 2001, 4: 185~189.
- [24] Grime J P. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate filter and founder effects [J]. *Ecology*, 1998, 79: 902~910.
- [25] Peterson G., Allen G R, Holling C S. Ecological resilience, biodiversity, and scale [J]. *Ecosystems*, 1998, 1: 6~18.
- [26] Hooper D. U. The role of complementary and competition in ecosystem responses to variation in plant diversity [J]. *Ecology*, 1998, 79: 704~719.

# Rehabilitation Process of Degraded *Melica Przewalskyi* Grassland in the Upper Reaches of Shiyang River

ZHAO Chengzhang<sup>1,2</sup>, LONG Ruijun<sup>2</sup>

(1. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Centre for Tibetan grassland and yak studies, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

**Abstract** The processes of vegetation rehabilitation were studied through applying special herbicide to control *Melica przewalskyi* Roshev and reducing grazing pressure in Qilian mountain. The results showed that after the management with special herbicide the grassland came through four succession phases for rehabilitating from 2000 to 2006: predominant stage of *Melica przewalskyi*, *Artemisia frigida* and *Melica przewalskyi* stage, *Artemisia frigida* and *Alai Stipa* stage, *Alai Stipa* and forbs stage.

Compared with control, the vegetation species in treated grassland increased 4 to 7 species in 2006, and no significant difference for cover and density. In this rehabilitating process, *Melica przewalskyi* from dominant species changed into companion species, and *Stipa Krylovii* became dominant species. Meanwhile, the total root biomass decreased 9.06% and living root biomass increased 3.5% compared with control. The changing of root biomass showed a deeply underground distribution trend. And average soil water content in 0~50 cm depth increased 7.21% compared with control in the same layer. After seven-year restoration, the vegetation coverage of the grassland reached 80%, and the stability of grassland community increased. However the above-ground biomass is still very low, and the forbs still take a large proportion, which showed that the grassland community is still in immature state.

**Key words** Shiyang River; *Melica przewalskyi*; degraded grassland; vegetation community; restoration process