

DOI: 10.5846/stxb201212021725

李昌龙, 徐先英, 金红喜, 王多泽, 李菁菁. 玛曲高寒草甸沙化过程中群落结构与植物多样性. 生态学报, 2014, 34(14): 3953-3961.

Li C L, Xu X Y, Jin H X, Wang D Z, Li J J. Community structures and plant diversities in the desertification process of Maqu Alpine Meadow in Gansu. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(14): 3953-3961.

玛曲高寒草甸沙化过程中群落结构与植物多样性

李昌龙^{1,2,3,*}, 徐先英^{1,2,3}, 金红喜^{2,3}, 王多泽^{2,3}, 李菁菁^{1,3}

(1. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室, 武威 733000;

2. 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 民勤 733300; 3. 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070)

摘要:针对玛曲高寒草甸沙质荒漠化和水土流失日趋严重的问题,采用群落样方调查的方法,研究了潜在、轻度、中度和重度 4 种典型高寒沙化草甸的植被结构特征和 α 多样性与 β 多样性变化规律。结果表明:随着沙化程度的加剧,1) 群落植被盖度持续下降(分别为 99.216%, 80.078%, 49.895%, 36.398%)、物种数逐渐减少(分别为 53, 32, 14, 13)、群落结构趋向简单(重要值大于 1 的物种分别有 28, 16, 10, 8 种),典型高寒草甸优势种和伴生种逐渐退出群落,而适应沙质荒漠的物种逐渐占据群落中的优势地位,玛曲高寒草甸生态系统有向高寒沙质荒漠生态系统转化的趋势,群落以青藏苔草+高山早熟禾群落→青藏苔草+防风+高山嵩草群落→高山嵩草+防风+青藏苔草群落→毛穗赖草+藏虫实+青藏苔草+防风群落的方向演替;2) 群落丰富度和植物多样性指数均呈下降趋势,差异显著;均匀度指数先增加后减小,在轻度沙化草甸达到最大,但差异不显著;而群落优势度逐渐增加,在中度沙化草甸增加极显著;3) 潜在沙化草甸与沙化草甸之间的 Whittaker 指数差异极显著,中度沙化草甸与重度沙化草甸之间差异显著,而轻度沙化草甸与中度沙化草甸之间差异不显著。4) 潜在沙化草甸与 3 种沙化草甸和轻度沙化草甸与重度沙化草甸之间群落相异性系数较高(0.705—0.937),群落共有度指数较低(0.034—0.173),而重度沙化草甸与中度沙化草甸、轻度沙化草甸与中度沙化草甸之间群落相异性系数相对较低(0.545—0.553),群落共有度指数相对较高(0.293—0.303)。以上分析表明,玛曲高寒草甸在沙化过程中存在轻度沙化和重度沙化两个关键过程,因此对潜在沙化草甸应采取封育、禁牧、轮牧、抚育等科学管护措施,而对沙化草甸应采取草皮移植、补播、施肥等植被快速恢复措施和流沙治理措施进行生态修复,防止草甸沙化的加剧和蔓延。

关键词:玛曲; 高寒草甸; 沙化; 群落结构; 植物多样性

Community structures and plant diversities in the desertification process of Maqu Alpine Meadow in Gansu

LI Changlong^{1,2,3,*}, XU Xianying^{1,2,3}, JIN Hongxi^{2,3}, WANG Duoze^{2,3}, LI Jingjing^{1,3}

1 State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei 733000, China

2 Gansu Minqin National Field Observation and Research Station on Ecosystem of Desertification Rangeland, Minqin 733300, China

3 Gansu Desert Control and Research Institute, Lanzhou 730070, China

Abstract: Maqu alpine meadow is the important part of the Qinghai-Tibet Plateau and the main water conservation area in the upper reaches of Yellow River. But in recent years, the problems of the sandy desertification and soil erosion have become a serious threat to the ecological safety of the alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau. To solve these problems, this paper examined the vegetation structure characteristics and the variation of α and β diversity on the potential, slight, moderate and serve desertification meadows in Maqu alpine meadows using sampling survey methods from July to September 2008. The results showed that in the desertification processes of Maqu alpine meadows, 1) the community coverage dropped

基金项目:国家自然科学基金项目(31160111); 甘肃省创新团队项目(1207TTCA002)资助

收稿日期:2012-12-02; **网络出版日期:**2014-02-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lichlong1998@163.com.

gradually(99.216%, 80.078%, 49.895% and 36.398%, respectively), the species number also reduced gradually(53, 32, 14, 13, respectively), community structure took a trend of simplification(the number of the dominant species were 28, 16, 10, 8, respectively). The typical dominant and companion species of the alpine meadow also withdrew from the communities gradually, and the species adapted to the sandy environment occupied an important position in these plant communities. The typical Maqu alpine meadow ecosystem was gradually changing to the desertification alpine ecosystem, and experienced four stages, i.e., *Carex moorcroftii*+*Poa alpina* communities→*Carex moorcroftii* +*Saposhnikovia divaricata*+*Kobresia pygmaea* communities→*Kobresia pygmaea* +*Saposhnikovia divaricata* + *Carex moorcroftii* communities→*Leymus paboanus*+*Corispermum tibeticum* + *Carex moorcroftii* + *Saposhnikovia divaricata* communities. 2) The species richness, Shannon-Wiener indexes and Simpson indexes were declining significantly. The Pielou evenness indexes and Alatalo evenness indexes showed a decreasing trend following the first increasing, and it reached the maximum in the slight desertification meadow, but their differences were not significant. The dominant index was increasing significantly, and there was extremely significant difference between the moderate desertification meadow and the slight one. 3) In terms of Whittaker index, there were extremely significant differences between the potential desertification meadow and other three ones, and there was significant difference between the moderate desertification meadow and the severe one, whereas there was no difference between the slight desertification meadow and the moderate one. 4) The community dissimilarity coefficient between the potential desertification meadow and other three ones were greater (the value in the range of 0.705—0.937), while the community common indexes between them were lower (the value in the range of 0.034—0.173), and the trend between the slight desertification meadow and the severe one was similar. However, the community dissimilarity coefficients between the moderate desertification meadow and severe one and the slight desertification meadow and the moderate one were lower (the value in the range of 0.545—0.553), and the community common indexes were higher (the value in the range of 0.293—0.303). The analysis from all the results revealed that the slight and severe desertification stages were the most important phases in the desertification process of Maqu alpine meadow. So, the potential desertification meadow must be protected and managed scientifically in order to prevent desertification from occurring. Artificial measures, e.g., enclosure, rotational grazing and tending were applied. However, in the sandy desertification meadows, vegetation restoration measures, such as turf transplantation, reseeding, fertilization as well as sand control measures must be taken to prevent the exacerbating and spreading of desertification.

Key Words: Maqu; alpine meadow; desertification; community structure; plant diversity

玛曲县位于甘肃省西南部(100°45′45″—102°29′00″ E, 33°06′30″—34°30′15″ N),是青藏高原的重要组成部分和黄河上游地区的主要水源涵养区,高寒草甸是其最主要的自然资源和牧民赖以生存的重要物质基础,以亚高山草甸为主^[1]。但是玛曲高寒草甸在人为因素和自然因素的共同影响下,草甸生态系统发生了严重的沙化,沙化草甸面积达 53.3 km²,并且以平均每年 2 km²的速度递增^[2]。高寒草甸沙化导致土壤颗粒变粗,土壤水分和养分显著下降,群落结构及种群发生改变^[3-4],主要表现在大量高寒物种流失、植被盖度下降,植物多样性下降,生产力降低^[5-6],已严重威胁到高寒草甸生态系统的安全^[7-8]。尽管在玛曲高寒草甸的沙化机理、治理模

式、植被特征等方面开展了大量研究^[7,9-12],但是在植被结构和多样性对高寒草甸沙化过程的响应研究还比较薄弱^[13-14],因此,以玛曲高寒沙化草甸为例,系统研究玛曲高寒草甸沙化过程中的群落特征和植物多样性的变化,探讨植物多样性与高寒草甸沙化的动态关系,对玛曲高寒草甸资源的合理利用、生态修复以及提高畜牧业效益具有重要的现实意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

调查样地位于甘肃省玛曲县河曲马场境内,海拔 3436 m,地理位置为 102°12′45″E, 33°46′28″N。气候特点为冬春季漫长,严寒多风;夏秋季短,多雨

潮湿。年均气温 1.2 ℃,降水量 615 mm,年蒸发量 1352.4 mm,年均风速 2.5 m/s,最大风速 36 m/s,全年平均 8 级以上的大风日数 77 d,最多日数达 121 d,每年 12 月至翌年 5 月为大风季节。土壤类型为草甸土,地表部分或全部被沙土覆盖,植物稀疏,植物种类主要以青藏苔草 (*Carex moorcroftii*)、防风 (*Saposhnikovia divaricata*)、高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、藏虫实 (*Corispermum tibeticum*)、毛穗赖草 (*Leymus paboanus*) 和藏沙蒿 (*Artemisia wellbyi*) 等草本植物为主。沙化草甸最终演变为大型的流动沙丘,无任何植被类型。

1.2 研究方法

1.2.1 等级划分和样地调查

根据魏兴琥等^[14]的藏北高寒沙化草甸的划分

等级,将玛曲高寒沙化草甸分为轻度沙化、中度沙化和重度沙化 3 个等级的样地,另外在沙化草甸附近选择一个没有沙化迹象的样地(潜在沙化草甸)作为对照(表 1)。在每个样地设置 4 个 30 m×30 m 的大样方,在每个大样方内根据五点法设置 5 个 1 m×1 m 小样方,总计 20 个小样方,统计物种组成及种群数量。盖度和分盖度采用样线针刺法^[15],每样方沿对角线设置 2 条样线,每隔 25 cm 设置 1 个样点,统计每个物种出现的样点数,物种盖度=物种出现的样点数/总样点数。频度采用 1 m²的样圈法,在每个样地内随机设置 50 个样圈样方,统计物种组成,物种频度=物种出现的样圈数/总样圈数(图 1)。

表 1 玛曲高寒草甸沙化程度分级特征

Table 1 Classification of desertification degree and corresponding features in Maqu alpine meadow				
沙化等级 Desertification degree	地貌特征 Geomorphological features	植被优势种 Dominant populations	植被盖度/% Vegetation coverage	流沙覆盖度/% Sand coverage
潜在沙化 Potential desertification	高寒草甸	青藏苔草,高山早熟禾(<i>Poa alpina</i>)	>90	0
轻度沙化 Slight desertification	轻度风蚀或沙埋	青藏苔草,防风	50—90	0—5
中度沙化 Moderate desertification	中度风蚀或沙埋	高山嵩草,防风	30—50	5—25
重度沙化 Severe desertification	半流动沙丘或沙垄	毛穗赖草,藏虫实	0—30	>25

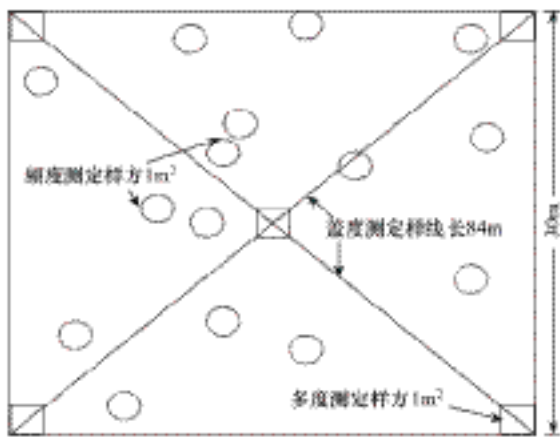


图 1 群落调查方法示意图

Fig.1 Schematic diagram of community survey methods

1.2.2 α 多样性指数测度方法

α 多样性测度反映群落内的物种多样性情况,用指标测定植物种多样性指数^[13]。

(1)群落物种丰富度及种群重要值

丰富度(*R*)用群落物种数表示;重要值=相对多度+相对盖度+相对频度,其中,相对多度=物种多

度/所有物种多度之和,相对盖度=物种盖度/所有物种盖度之和,相对频度=物种频度/所有物种频度之和。

(2) Shannon-Wiener 指数

$$H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{ni}{N} \ln \frac{ni}{N} \right)$$

Simpson 指数

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s \left(\frac{ni}{N} \right)^2$$

(3)均匀度是表示生态系统中各个种多度的均匀程度。采用两个指标测算:

Pielou 均匀度指数

$$J = \frac{H}{\ln S}$$

Alatalo 均匀度指数

$$Ea = \left(\left(\sum_{i=1}^s \left(\frac{ni}{N} \right)^2 \right)^{-1} - 1 \right) / (\exp(H) - 1)$$

(4)生态优势度是指群落优势集中于一个或几个植物种的程度。它把群落作为一个整体,而把各

个种的重要性总结为一个合适的度量体,以表示群落的组成结构特征:

$$C = \sum_{i=1}^s \left(\frac{ni(ni-1)}{N(N-1)} \right)$$

式中, ni 是第 i 种的个体数, N 是所有种个体数的总和, S 为种的总数。

1.2.3 β 多样性指数测度方法

β 多样性指数测度方法为二元属性数据测度法^[16],其中 Whittaker 指数 β_{ws} 直观反映 β 多样性与物种丰富度(S)之间的关系,物种完全相同的两个样方 β_{ws} 值为 0,物种完全不同的两个样方 β_{ws} 值为 1;相异性系数 CD 和群落共有度指数 CP 则从两个相反的角度反映不同群落(可能不出现在明显的环境梯度上或暂不清楚环境梯度) β 多样性的异同。

$$\text{Whittaker 指数 } \beta_{ws} = \frac{S}{ma} - 1$$

$$\text{相异性系数 } CD = 1 - \frac{2j}{a+b}$$

$$\text{群落共有度指数 } CP = \frac{j}{a+b-j}$$

式中, S 为群落中记录的物种总数; ma 为各样方或样本的平均物种数; a 与 b 分别为两群落各自的物

种数; j 为两群落共有的物种数。

1.2.4 数据分析

采用 Excel 和 SPSS 数据统计分析软件进行数据分析和处理。

2 结果

2.1 群落结构与种群优势度的变化

通过群落物种重要值分析表明,随着沙化程度的加剧,玛曲高寒草甸植物群落逐渐由潜在沙化的青藏苔草+高山早熟禾群落,向轻度沙化的青藏苔草+防风+高山嵩草群落、中度沙化的高山嵩草+防风+青藏苔草群落、重度沙化的毛穗赖草+藏虫实+青藏苔草方向演替(表 2)。群落盖度在整个沙化过程中逐渐降低,在轻度沙化过程中差异显著,许多伴生物种由于过度践踏而不适应环境而退出群落,而在中度沙化过程中差异极显著,主要是优质牧草高山早熟禾、紫羊茅等优势物种由于过度啃食或践踏导致种群的严重衰败,致使群落盖度下降。高寒草甸地表覆沙面积的逐渐增加,使得草甸生产力逐渐下降,高寒草甸优质牧草和有毒杂草的种类和数量急剧减少。

表 2 玛曲高寒草甸沙化过程中群落结构与种群重要值

Table 2 The communities structure and plant important values in the desertification process of Maqu alpine meadow

种群 Populations	群落盖度 Community coverage			
	潜在沙化 Potential desertification	轻度沙化 Slight desertification	中度沙化 Moderate desertification	重度沙化 Severe desertification
	99.216%	80.078%	49.895%	36.398%
青藏苔草 <i>Carex moorcroftii</i>	13.2605	20.4840	15.7478	14.1646
高山早熟禾 <i>Poa alpina</i>	11.8054	2.1279	—	—
紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	7.3836	4.5872	0.8808	—
钉柱委陵菜 <i>Potentilla saundersiana</i>	5.6539	—	—	—
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	4.6097	9.0795	10.2782	0.7726
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla ansrina</i>	3.6974	0.0293	—	—
毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>	3.4207	—	—	—
刺叶 <i>Acanthophyllum pungens</i>	3.4205	—	—	—
高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>	3.2005	0.0293	—	—
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	3.0099	—	—	—
雀麦 <i>Arrhenatherum elatius</i>	2.6838	—	—	—
线叶嵩草 <i>Kobresia capillifolia</i>	2.6158	13.3902	2.8617	1.1685
条叶银莲花 <i>Anemone trullifolia</i> var. <i>linearis</i>	2.4688	—	—	—
甘肃米口袋 <i>Gueldenstaedtia gansuensis</i>	2.4378	—	—	—
长毛风毛菊 <i>Saussurea hieracioides</i>	2.3065	—	—	—
川甘蒲公英 <i>Taraxacum lugubre</i>	2.2734	0.0190	—	—
黄轴橐吾 <i>Ligularia virgaurea</i>	1.8486	1.0819	—	—
兰石草 <i>Lancea tibetica</i>	1.8181	—	—	—

续表

种群 Populations	群落盖度 Community coverage			
	潜在沙化 Potential desertification	轻度沙化 Slight desertification	中度沙化 Moderate desertification	重度沙化 Severe desertification
	99.216%	80.078%	49.895%	36.398%
三裂碱毛茛 <i>Ranunculus hirtellus</i>	1.7168	—	—	—
青海苜蓿 <i>Medicago archiducisnicolai</i>	1.5769	0.0586	—	—
湿地繁缕 <i>Stellaria uda</i>	1.5731	—	—	—
多枝黄芪 <i>Aedicago polycladus</i>	1.5521	5.1619	1.1324	—
椭圆叶花锚 <i>Halenia elliptica</i>	1.5266	—	—	—
刺芒龙胆 <i>Gentiana aristata</i>	1.2618	—	—	—
毛果婆婆纳 <i>Veronica eriogyne</i>	1.2582	—	—	—
车前 <i>Plantago asiatica</i>	1.2483	—	—	—
蓝花韭 <i>Allium beesianum</i>	1.0883	—	—	—
异针茅 <i>Stipa aliena</i>	1.0431	6.8210	—	—
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	0.0269	14.4547	21.1146	10.7070
高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	0.1206	3.1019	22.9588	1.4349
尼泊尔蓼 <i>Polygonum nepalense</i>	0.0135	3.2471	—	—
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	0.8672	2.6733	10.3376	—
刺藜 <i>Chenopodium ari</i>	—	2.2544	—	—
矮二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	0.2408	1.5468	0.6834	—
毛穗赖草 <i>Leymus paboanus</i>	0.1382	1.5324	4.9303	39.5492
藏沙蒿 <i>Artemisia wellbyi</i>	0.0009	1.1029	—	—
微孔草 <i>Microula sikkimensis</i>	—	1.0880	0.0403	0.5519
女娄菜 <i>Silene aprica</i>	0.4199	1.0250	—	—
白花枝子花 <i>Dracocephalum heterophyllum</i>	—	0.0667	4.6505	0.2208
藏虫实 <i>Corispermum tibeticum</i>	—	0.5930	3.4462	28.4581
青藏狗娃花 <i>Heteropappus bowerii</i>	0.0427	0.9670	0.2015	1.1275
镰荚棘豆 <i>Oxytropis falcata</i>	—	—	—	1.4996
扁蕾 <i>Gentianopsis barbata</i>	0.6269	—	—	—
草玉梅 <i>Anemone dichotoma</i>	0.3477	—	—	—
绵毛风毛菊 <i>Saussurea brunneoplosa</i>	0.5045	—	—	—
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	0.1594	—	—	—
火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	0.2397	0.2052	—	—
甘肃棘豆 <i>Oxytropis kansuensis</i>	0.7073	0.6998	—	—
狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	0.0584	0.0293	—	—
青藏龙胆 <i>Gentiana futtereri</i>	0.0404	—	—	—
轮叶马先蒿 <i>Pedicularis verticillata</i>	0.0899	0.1553	—	—
蓬子菜 <i>Galium verum</i>	0.3531	0.3998	—	—
垂穗披碱草 <i>elymus nutans</i>	0.8750	—	—	—
黄管秦艽 <i>Gentiana officinalis</i>	0.3609	—	—	—
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.4886	0.6203	—	—
细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.9416	—	—	—
条叶银莲花 <i>Anemone trullifolia</i>	0.3194	—	—	—
金露梅 <i>potentilla fruticosa</i>	0.0135	—	—	—
露蕊乌头 <i>Aconitum gymnantrum</i>	—	0.7989	—	—
矮蔗草 <i>Scirpus pumilus</i>	—	0.0190	—	—
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	—	0.0667	—	—
异叶青兰 <i>Dracocephalum heterophyllum</i>	—	0.0667	—	0.4416
小叶忍冬 <i>Lonicera microphylla</i>	—	0.1933	—	—
直立角茴香 <i>Hypocoum erectum</i> L	—	0.2916	—	0.1294

群落物种变化特征,潜在沙化草甸共有物种 53 种,其中重要值大于 1 的有 28 种,占群落总物种数的 53%,而且除青藏苔草和高山早熟禾之外,其余物种之间重要值变化不明显。轻度沙化草甸共有物种 32 种,重要值大于 1 的有 16 种,占群落总物种数的 50%;中度沙化草甸共有物种 14 种,重要值大于 1 的有 10 种,占 71%,而重度沙化草甸共有物种 13 种,重要值大于 1 的有 8 种,占 61%。潜在沙化草甸中大多数物种在草甸沙化过程中退出群落或重要值逐渐减小,种群发育受到草甸沙化的严重影响。青藏苔草在不同沙化草甸群落中都占据一定的优势地位,表明其具有较强的适应土壤沙化能力。禾本科物种高山早熟禾、紫羊茅的重要值急剧下降,在中度沙化草甸已完全消失,而其它种群如鹅绒委陵菜、钉柱委陵菜、乳浆大戟等绝大多数物种在轻度沙化草甸已完全消失。垂穗披碱草、线叶嵩草、多枝黄芩、毛穗赖草、高山嵩草等物种在潜在沙化草甸中处于劣势,但由于其它种群的衰败或死亡,为其种群的发展提供了可能,而原本没有分布的藏虫实、镰荚棘

豆、微孔草等种群逐渐侵入。而随着草甸沙化的加剧,部分物种在中度沙化草甸或重度沙化草甸呈下降趋势,如垂穗披碱草、高山嵩草、猪毛蒿、防风等种群在中度沙化草甸达到最大,而线叶嵩草、多枝黄芩等物种在轻度沙化草甸达到最大。最终适应沙质土壤的毛穗赖草、藏虫实等种群其重要值逐渐增加,成为重度沙化草甸的优势种群。

2.2 α 多样性的变化

对玛曲高寒沙化草甸群落的 α 多样性指数进行分析(表 3)。随着草甸沙化程度的加剧,物种丰富度指数急剧下降,而在潜在沙化草甸向轻度沙化草甸转化过程中下降剧烈,表明地表沙化已严重破坏了高寒草甸物种的生存环境,导致多数高寒草甸物种不适应流沙环境而退出群落,而且沙化程度越高,差异越显著。Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数反映出相同的结果,植物多样性随着草甸沙化的加剧而逐渐减小。均匀度指数均呈现先增加后减小的趋势,在轻度沙化草甸达到最大。群落优势度逐渐增加,而在重度沙化草甸优势度指数最大。

表 3 玛曲高寒草甸沙化过程中 α 多样性指数的变化

Table 3 The change of α diversity indexes in the desertification process of Maqu alpine meadow

α 多样性指数 α diversities Index	潜在沙化 Potential desertification	轻度沙化 Slight desertification	中度沙化 Moderate desertification	重度沙化 Severe desertification
丰富度指数 Richness index	26.1333 $\pm$ 3.3352a	10.3333 $\pm$ 2.7839b	5.6667 $\pm$ 1.4974c	2.8750 $\pm$ 1.5864d
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	2.2108 $\pm$ 0.2141a	1.6530 $\pm$ 0.3321b	1.1302 $\pm$ 0.3803c	0.7962 $\pm$ 0.2636d
Simpson 指数 Simpson index	0.8216 $\pm$ 0.0652a	0.7537 $\pm$ 0.0756a	0.5758 $\pm$ 0.1953b	0.4529 $\pm$ 0.1452c
Pielou 均匀度 Pielou index	0.6798 $\pm$ 0.0747a	0.7157 $\pm$ 0.1075a	0.6569 $\pm$ 0.1874a	0.6775 $\pm$ 0.1677a
Alatalo 均匀度 Alatalo index	0.6118 $\pm$ 0.1196b	0.7696 $\pm$ 0.0623a	0.7190 $\pm$ 0.1608a	0.7191 $\pm$ 0.1538a
群落优势度 Dominant index	0.1784 $\pm$ 0.0652d	0.2458 $\pm$ 0.0756c	0.4142 $\pm$ 0.1953b	0.5495 $\pm$ 0.1428a

行内比较,含有相同字母表示均值间差异不显著,反之,差异显著($P<0.05$)

2.3 β 多样性的变化

2.3.1 Whittaker 指数变化

玛曲高寒沙化草甸的 Whittaker 指数(图 2)分析表明,高寒草甸在沙化过程中 β_{ws} 指数逐渐增加。潜在沙化草甸($\beta_{ws}=0.323\pm0.104$)与轻度沙化草甸($\beta_{ws}=0.458\pm0.162$)之间差异极显著($F=2.434, P<0.01$),中度沙化草甸与重度沙化草甸($\beta_{ws}=0.492\pm0.262$)之间差异显著($F=2.018, P<0.05$),而轻度沙化草甸与中度沙化草甸($\beta_{ws}=0.462\pm0.184$)之间差异不显著($F=1.302, P<0.05$)。潜在沙化草甸与 3 种沙化草甸之间物种分化程和生境的差异性较大,说明轻度沙化过程是高寒草甸沙化发生的关键过

程。而 3 种沙化草甸之间,轻度沙化草甸与中度沙化草甸之间差异不显著,物种分化程度较低,而与重度沙化草甸差异显著,物种分化程度较高,说明重度沙化过程是高寒草甸沙化加剧的关键过程。而且同一沙化草甸群落内部 β_{ws} 指数的标准误差随着草甸沙化程度的加剧也逐渐增大,表明草甸生境的破碎化程度逐渐加剧,群落稳定性逐渐下降。

2.3.2 群落间 β 多样性变化

玛曲高寒沙化草甸植物群落相异性系数 CD 和群落共有度指数 CP 多重比较结果(表 4),表明潜在沙化草甸与 3 种沙化草甸的群落相异性系数差异显著,而且随着沙化程度的加剧,差异越显著,说明它

们之间物种组成和生境差异较大。而 3 种沙化草甸之间,轻度沙化草甸与重度沙化草甸之间群落相异性系数较大,而重度沙化草甸与中度沙化草甸、轻度沙化草甸与中度沙化草甸之间差异不显著。同样,

群落共有度指数则表现出相反的特征,这是由于群落相异性系数和群落共有度指数从两个相反的角度对群落物种组成和生境差异进行描述。

表 4 不同沙化草甸群落相异性系数与群落共有度指数的多重比较

Table 4 Multiple comparison of the community dissimilarity and community possession indexes between the different desertification meadows

	PD-SLD	PD-MD	PD-SD	SLD-MD	SLD-SD
	CD:0.705±0.040	CD:0.850±0.051	CD:0.553±0.083	CD:0.553±0.083	CD:0.711±0.107
	CP: 0.173±0.028	CP: 0.081±0.030	CP: 0.293±0.070	CP: 0.293±0.070	CP: 0.174±0.077
PD-MD(CD:0.850±0.051/CP: 0.081±0.030)	* / *				
PD-SD(CD:0.937±0.024/CP: 0.034±0.012)	* * / * *				
SLD-MD(CD:0.553±0.083/CP: 0.293±0.070)	* / *				
SLD-SD(CD:0.711±0.107/CP: 0.174±0.077)	ns/ns				
MD-SD(CD:0.545±0.105/CP: 0.303±0.086)	* / *				

ns 表示无显著差异,*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$),CD:群落相异性系数 Community Dissimilarity,CP:群落共有度指数 Community Possession,PD:潜在沙化草甸 Potential Desertification,SLD:轻度沙化草甸 Slight desertification,MD:中度沙化草甸 Moderate desertification,SD:重度沙化草甸 Severe desertification

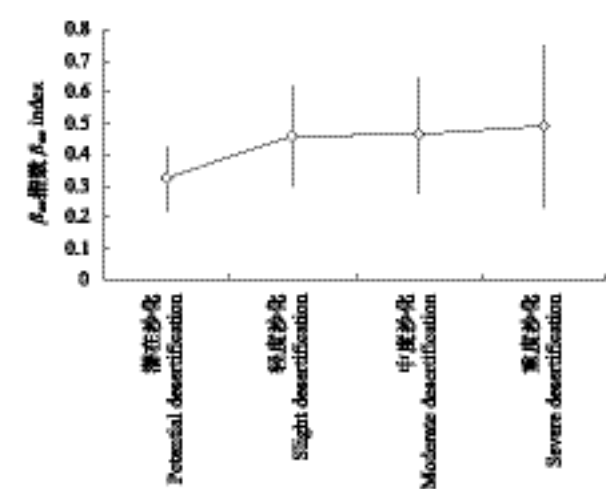


图 2 不同沙化草甸 β_{ws} 指数的变化

Fig.2 The change of β_{ws} index in the different desertification meadows

3 结论与讨论

3.1 群落结构与优势物种的变化

草甸沙化后破坏了土壤基质物理环境的稳定性,进而引发了土壤养分和水分的流失,表层土壤颗粒变粗,风沙流活动频繁,导致玛曲高寒草甸的群落结构和优势物种组成发生了质的变化^[3-4],主要体现在群落植被盖度的持续下降(99.216%, 80.078%, 49.895%, 36.398%)、物种数逐渐减少(53, 32, 14, 13种)、群落结构趋向简单(重要值大于1的物种有28, 16, 10, 8种)。随着高寒草甸沙化的加剧,适应

沙质土壤的物种逐渐占据草甸的优势地位,如青藏苔草、高山嵩草、垂穗披碱草、防风、藏沙蒿、毛穗赖草、藏虫实等种群。而王鹤龄等人^[17-18]研究认为异针茅、高山唐松草、乳浆大戟是沙化草甸的代表种,这主要是由于对草甸沙化程度的判定差异所造成的,本文根据群落植被盖度和地表覆沙面积进行判定^[14]。而玛曲高寒草甸的优势种群在整个沙化过程中表现出极大的差异性,许多高寒草甸的优势种和伴生种在沙化初级阶段就已经消失,如高山早熟禾、紫羊茅、乳浆大戟等种群,也为其它种群进一步发展提供空间,如垂穗披碱草、线叶嵩草、多枝黄芪、毛穗赖草、高山嵩草等种群,同时也为一些物种的入侵提供可能,如藏虫实、镰荚棘豆、微孔草等种群。由于生境的持续恶化,受土壤干旱和贫瘠以及风沙流的影响,适应沙质土壤的毛穗赖草、藏虫实、青藏苔草等种群其重要值逐渐增加,成为高寒沙化草甸的优势种群,群落结构趋于简单,初步体现高寒沙质荒漠的植被特征。

3.2 群落间 α 多样性的变化

玛曲高寒草甸随着沙化程度的加剧,物种丰富度、多样性逐渐下降,在轻度沙化过程中变化极显著,主要是由于牲畜的过度啃食或践踏,破坏了草甸土壤基质物理环境的稳定性,导致高寒草甸多数优势种和伴生种数量下降或消失,而在重度沙化过程中变化显著,主要是由于受持续放牧、土壤干旱、贫

瘠以及风沙流活动的影响,许多高寒草甸物种因不适应环境而退出群落。均匀度先增大后减小,在轻度沙化草甸达到最大,但差异不显著,主要是由于一部分高寒草甸物种的消失,为其它种群的发展提供可能,使适应生存的种群数量有所增加,导致群落均匀度增加,后期因环境的持续恶化而呈现下降趋势。而优势度指数逐渐增加,在中度沙化草甸差异极显著,是由于生存环境的持续恶化,大多数高寒草甸的物种退出群落,物种数量急剧下降,而适应沙质高寒荒漠的少数种群持续发展的结果。这些研究结果与魏兴琥等人^[14]在藏北高山嵩草沙化草甸的研究结果较为一致。

3.3 群落间 β 多样性变化

潜在沙化草甸与沙化草甸在生境和物种分化方面差异极显著,中度沙化草甸与重度沙化草甸之间物种分化的差异显著,而轻度沙化草甸与中度沙化之间物种分化的差异不显著,这与吕世海^[19]等人在呼伦贝尔沙化草甸的研究结果相一致。进一步分析表明玛曲高寒草甸在整个沙化过程中,存在潜在沙化草甸向轻度沙化草甸退化和中度沙化草甸向重度沙化草甸退化这两个关键过程,在物种和生境分化方面发生较大的跨越。第一为草甸沙化发生过程,主要是由于牲畜的过度啃食或践踏所致,而第二为沙化加剧过程,主要是由于环境因素(风沙流、土壤干旱和贫瘠等)和人为因素(持续放牧)共同所致,这与魏兴琥等^[14]等人的研究有所不同。同时在同一类型的沙化草甸内部标准误差也逐渐增加,说明沙化草甸的生境异质性和物种群居性随沙化的加剧而逐渐加大,主要是由于地表大面积裸露和风沙流活动的频繁发生,使高寒草甸生境的破碎化程度逐渐加剧。

以上分析表明玛曲高寒沙化草甸已严重背离高寒草甸生态系统,向高寒沙质荒漠生态系统转化。潜在沙化草甸沙化主要受牲畜的过度啃食或践踏所致,破坏了原有的群落结构和基质物理环境的稳定性,而影响草甸沙化加剧的不仅是人为因素(持续放牧),而是与环境因素(风沙流危害、土壤干旱和贫瘠)共同作用的结果^[9-10]。如果对沙化草甸不加以及时治理,最终会导致高寒草甸物种的流失和沙漠环境的形成^[20]。因此,对潜在沙化草甸应加强科学管护,采取封育、禁牧、轮牧、抚育等措施,进行植被

保护^[17,21],而对沙化草甸,应采取草皮移植、补播、施肥等生物措施与机械沙障相结合的技术措施,稳定土壤基质的物理环境和植被的快速恢复^[22-23],防止草甸沙化的加剧和蔓延。

感谢:感谢刘立超研究员、马全林研究员、朱淑娟副研究员对本文写作的帮助。

References:

- [1] Qian J, Wang G X, Ma J Z. Eco-environment problems and comprehensive controlling strategies in Maqu county in the upper reaches of Yellow River. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(3): 69-72.
- [2] Wang H, Yuan H B, Xu X H, Liu S J. Landscape structure of desertification grassland in source region of Yellow River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1665-1670.
- [3] Wang H, Ren J Z, Yuan H B. A study on the changes of soil physical properties in the desertification process of source regions of the yellow river using Maqu as an example. *Acta Pratacul Turae Sinica*, 2007, 16(1): 30-33.
- [4] Zou L N, Zhou Z Y, Yan S Y, Qin Y. Response of soil nutrients to different land utilization types in alpine meadow in Maqu. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(6): 80-87.
- [5] Zeng M M. Study on Cause and Environment Management of Grassland Degeneration in Maqu Alpine Meadow [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.
- [6] Han H T, Zhu X N. Climate change and human activities of Maqu area and its impact on eco-environment. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(4): 608-613.
- [7] Wang H. Study on Characteristic and Driving Mechanism of Desertification in Maqu Alpine Meadow [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2007.
- [8] Qi D C, Li G Y, Chen W Y, Chen W Q, Su Y X. Present status, causes and control countermeasures of natural grassland degeneration in Maqu county. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(2): 202-207.
- [9] Wang S P, Song L C, Han Y X, Feng J Y. Impacts of climate change on ecological environment in Maqu Grassland Gansu. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(4): 556-561.
- [10] Zhou Q, Liu F G, Zhang H F, Wang X M, Zhuo M C. Driving mechanism and status of desertification disaster in southern Qinghai high cold region. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(4): 39-45.
- [11] Niu S W, Ma L B, Zeng M M. Effect of overgrazing on grassland desertification in Maqu County. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 145-153.
- [12] Chen S Q, Wen L J, Lü S H, Chen C P, Ao Y H, Zhang Y, Bao Y. Study of NDVI and climate change in Maqu County, upstream

- of Yellow River Gansu. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(1): 131-136.
- [13] Chen W Y, Zheng H P, Qi D C, Li G Y, Liu Z H. Species diversity changes in converse successions of grassland in important eco-function area in the upper reaches of the Yellow River. Chinese Journal of Grassland, 2007, 29(6): 6-11.
- [14] Wei X H, Li S, Yang P, Dong Y X, Zhang C L. Changes of vegetation and diversity of alpine Kobresia (*Kobresia pygmaea*) steppe meadow in desertification process in Northern Tibet Plateau. Journal of Desert Research, 2007, 27(5): 750-757.
- [15] Zhang Q P, Zhang S S, Chen L, Shen Y Y. Identification and analysis of turf coverage with WinCAM software. Pratacultural Science, 2010, 27(7): 13-17.
- [16] Ma K P, Liu C R, Liu Y M. The measure methods of biological community diversity-the measure methods of β diversity. Chinese Biodiversity, 1995, 3(1): 38-43.
- [17] Wang H L, Niu J Y, Zhen H P, Chen Z X. Research on characteristics of plant niche and effects of fertilization on plant productivity in a Maqu alpine desertified meadow. Acta Pratacultural Sinica, 2008, 17(6): 18-24.
- [18] Chen Z X, Tian F P, Niu J Y, Wang J Q, Xuan C X. Study on characteristics of plant niche in Maqu alpine desertified meadow. Acta Agrestia Sinica, 2007, 15(6): 525-530.
- [19] Lü S H, Lu X S. Studies on biodiversity in the wind eroded and desertified vegetation of Hulunber Steppe. Chinese Journal of Grassland, 2006, 28(4): 6-10.
- [20] Verstraete M M. Defining desertification: a review. Climatic Change, 1986, 9(1/2): 5-18.
- [21] Liu B W, Jiang Z G. Impacts of grassland fencing on plant communities and conservation of a rare gazelle, the Przewalski's gazelle. Biodiversity Science, 2002, 10(3): 326-331.
- [22] Lü S H, Lu X S, Jin W L. Studies on wind erosion desertification and methods of reversion in Hulunber Steppe. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2005, 19(3): 59-63.
- [23] Chen W Y, Zheng H P, Qi D C, Li F Y, Chai C S, Liu Z H, Zong W J, Yang X G, Chen W Q. Study on restoration pattern of degraded grassland in first tune of Yellow River. Pratacultural Science, 2008, 25(6): 14-18.
- 30-33.
- [4] 邹丽娜, 周志宇, 颜淑云, 秦或. 玛曲高寒草地土壤养分对不同利用方式的响应. 中国草地学报, 2009, 31(6): 80-87.
- [5] 曾明明. 玛曲草地退化的成因及环境管理研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [6] 韩海涛, 祝小妮. 气候变化与人类活动对玛曲地区生态环境的影响. 中国沙漠, 2007, 27(4): 608-613.
- [7] 王辉. 玛曲高寒草甸沙化特征及沙化驱动机制研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [8] 戚登臣, 李广宇, 陈文业, 陈炜青, 苏永祥. 黄河上游玛曲县天然草场退化现状、成因及治理对策. 中国沙漠, 2006, 26(2): 202-207.
- [9] 王素萍, 宋连春, 韩永翔, 冯建英. 玛曲气候变化对生态环境的影响. 冰川冻土, 2006, 28(4): 556-561.
- [10] 周强, 刘峰贵, 张海峰, 王小梅, 卓玛措. 青海南部高寒区沙漠化灾害态势及驱动机制研究. 干旱区资源与环境, 2004, 18(4): 39-45.
- [11] 牛叔文, 马利邦, 曾明明. 过牧对玛曲草地沙化的影响. 生态学报, 2008, 28(1): 145-153.
- [12] 陈世强, 文莉娟, 吕世华, 陈昌平, 奥银焕, 张宇, 鲍艳. 黄河上游玛曲县植被指数与气候变化研究. 冰川冻土, 2007, 29(1): 131-136.
- [13] 陈文业, 郑华平, 戚登臣, 李广宇, 刘振恒. 黄河上游重大生态功能区草地逆型演替植物多样性变化研究. 中国草地学报, 2007, 29(6): 6-11.
- [14] 魏兴琥, 李森, 杨萍, 董玉祥, 张春来. 藏北高山高草草甸植被和多样性在沙漠化过程中的变化. 中国沙漠, 2007, 27(5): 750-757.
- [15] 张清平, 章山山, 陈露, 沈禹颖. 应用 WinCAM 软件判识分析草坪盖度. 草业科学, 2010, 27(7): 13-17.
- [16] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II- β 多样性的测度方法. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.
- [17] 王鹤龄, 牛俊义, 郑华平, 陈子萱. 玛曲高寒沙化草地生态位特征及其施肥改良研究. 草业学报, 2008, 17(6): 18-24.
- [18] 陈子萱, 田福平, 牛俊义, 王军强, 轩春香. 玛曲高寒沙化草地植物生态位特征研究. 草地学报, 2007, 15(6): 525-530.
- [19] 吕世海, 卢欣石. 呼伦贝尔草地风蚀沙化植被生物多样性研究. 中国草地学报, 2006, 28(4): 6-10.
- [21] 刘丙万, 蒋志刚. 青海湖草原围栏对植物群落的影响兼论濒危动物普氏原羚的保护. 生物多样性, 2002, 10(3): 326-331.
- [22] 吕世海, 卢欣石, 金维林. 呼伦贝尔草地风蚀沙漠化演变及其逆转研究. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 59-63.
- [23] 陈文业, 郑华平, 戚登臣, 李广宇, 柴春山, 刘正恒, 宗文杰, 杨鑫光, 陈炜青. 黄河首曲沙化草地恢复重建模式研究. 草业科学, 2008, 25(6): 14-18.

参考文献: