

不同调控措施下恢复草地群落特征与主要种的生态位分析

陈波 周兴民 王启基 张堰青 沈振西

(中国科学院西北高原生物研究所)

摘 要

采用不同调控措施对恢复高寒草地的群落结构特征和主要植物种的生态位变化进行研究。结果表明：恢复后的植物群落内物种的丰富度、物种多样性、均匀性以及群落生态优势度均有明显变化。禾本科植物种的生态位宽度较大，在群落内的功能地位较为突出，矮嵩草 (*Koeleria humilis*) 却失去优势地位。杂类草的资源利用能力相对较弱，种间具有较大的资源利用相似性。细叶亚菊 (*Ajania tenuifolia*) 在杂类草中具有相对较大的资源利用能力。人为调控措施对高寒退化草地的恢复具有显著作用。

关键词：调控措施；群落结构特征；生态位

补播、施肥和松耙等人为调控措施，是恢复高寒退化草地和重建半人工草地的重要技术措施。国内外对不同类型的草地已进行过一些研究(任继周等, 1987; 杜国桢等, 1991; Campbell 等, 1986; Scarnechia, 1991; Wikeem 等, 1989)，但从多维营养资源位与植物种间关系上的研究尚未见报道。本文运用生态位理论，在不同资源维上，分析不同调控措施下草地群落结构特征和主要植物种群营养生态位之间的关系，进一步探讨植物种在营养资源谱上的利用关系，为高寒退化草地的恢复和重建提供科学依据。

研究方法

本研究于1991年7—8月在中国科学院海北高寒草甸生态系统开放实验站进行。站区的自然状况和植被概况已有报道(杨福国, 1982; 周兴民等, 1982)，不再赘述。

试验样地为进行松耙、补播、施肥 (Scarification, Replant and Apply fertilizer,

• 中国科学院网络台站重点支持项目和中国科学院重大项目《中国不同类型生态系统结构功能与提高生产力途径研究》基金资助。

SRF) 和松耙、补播 (Scarification and replant SR) 的半人工草地以及严重退化的对照样地 (Contrast, CP)。退化草地的恢复与重建措施和试验样地的设计见王启基等 (1995) 的报道。

在试验样地和对照样地内, 按 25×25 平方厘米样方进行取样 (考克斯, 1972), 测定植物群落内各个种的盖度、频度和生物量, 换算成重要值, 并测定土壤的营养元素即全 N、全 P、全 K 和速效 N、速效 P、速效 K 的含量。

植物群落结构特征包括种的丰富度、物种多样性、生态优势度和均匀度 (拉德维格, 1990) 以及群落内各植物种群在多维营养谱上的生态位宽度和生态位重叠。

物种丰富度指数选用 Margalef (1958) 指数 (R_1) 和 Menhinick (1964) 指数 (R_2)。

$$R_1 = \frac{S - 1}{\ln N} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

(1) 式和 (2) 式中的 S 指群落内植物的种数, N 是群落内所有种的重要值总和。以下各公式中的 S 和 N 的含义与 (1) (2) 式相同。

物种多样性公式分别用 Shannon—Weaver (1949) 指数 (H') 和 Hill 指数 (N_1 和 N_2)。

Shannon—Weaver 指数:

$$H' = - \sum \left[\left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right] \quad (3)$$

n_i 为第 i 个种在群落内的重要值。以下各式中 n_i 的含义均同。

Hill 指数:

$$N_A = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^{1/(1-A)} \quad (4)$$

其中 A 分为 3 阶, 即 $A=0, 1, 2$

当 $A=1$ 时, $N_1 = e^{H'}$

$$\text{当 } A=2 \text{ 时, } N_2 = \frac{1}{\sum \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}} \quad (5)$$

群落生态优势度用 Simpson (1949) 指数 (D)。

$$D = \sum \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (6)$$

均匀度分别用 Pielou (1975, 1977) 指数 (E_1)、Heip (1974) 指数 (E_2) 和校正的 Hill 指数 (E_3) 测定。

$$E_1 = H' / \ln(N) \quad (7)$$

$$E_2 = e^{H'} - 1 / (S - 1) \quad (8)$$

$$E_3 = \left[\sum \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} - 1 \right] / (e^{H'} - 1) \quad (9)$$

群落内植物种的生态位计测用王刚 (1984) 公式。将其生态位体积赋予 $\frac{1}{n}$ 的权值, 作为生态位宽度 (NB) 的计测公式, 以便值生态位宽度值域为 $[0, 1]$ 。式中 n 为生境因子

等级数。

$$NB = \frac{1}{n} \sum ni(x)Wk \quad (10)$$

生态位重叠 (NO) 公式:

$$NO = \frac{\sum \min[ni(x), nj(x)]Wk}{\max[\sum ni(x)Wk, \sum nj(x)Wk]} \quad (11)$$

(10) 式和 (11) 式中的 $ni(x)$ 和 $nj(x)$ 分别表示种 i 和种 j 的生态位函数, 即植物种的重要值。 Wk 是为纠正样地在生境梯度上分布不等间隔性而引入的资源位加权因子 (王刚等, 1984)。

结果与分析

1. 不同调控措施下的土壤营养元素含量和群落结构特征分析

不同调控措施下的土壤库内营养元素含量不同 (表1), 其中全 N (%)、全 P (%) 和全 K (%) 的平均含量中, 以全 P (%) 的平均含量在土壤库中的变化较大。与对照样地相比, 3项措施 (SRF) 和2项措施 (SR) 的半人工草地分别增加36.97%和38.66%, SRF处理区的速效 N (ppm) 和速效 P (ppm) 分别增加25.39%和107.65%; SR区的速效 N (ppm) 和速效 P (ppm) 分别增加5.17%和15.58%。由于人为调控措施的作用, 土壤库内的营养元素有较明显的变化, 而以速效 N (ppm) 和速效 P (ppm) 变化最大。

表1 不同调控措施下土壤 N、P、K 含量特征

Table 1 The N, P, K contents of the soil in different control measures

土壤深度 (cm) Depth of the soil (cm)	全 N (%) Total N (%)			全 P (%) Total P (%)			全 K (%) Total K (%)		
	SRF	SR	CP	SRF	SR	CP	SRF	SR	CP
0—10	0.382	0.421	0.431	0.157	0.179	0.105	1.615	1.636	1.750
10—20	0.364	0.364	0.366	0.162	0.160	0.133	1.555	1.648	1.740
20—30	0.347	0.305	0.305	0.170	0.155	0.119	1.516	1.639	1.790
X	0.364	0.363	0.368	0.163	0.165	0.119	1.562	1.641	1.760
	SRF	SR	CP	SRF	SR	CP	SRF	SR	CP
0—10	381.41	363.15	279.44	8.28	5.55	5.40	168.1	262.0	216.0
10—20	347.81	273.08	313.22	8.25	3.75	2.80	126.8	152.6	152.0
20—30	324.33	247.38	274.54	7.45	2.94	2.40	123.1	130.0	117.3
X	351.18	294.54	280.07	7.33	4.08	3.53	139.3	181.5	161.9

SRF, 松耙、补播和施肥; SR, 松耙、补播; CP, 退化的对照样地。

SRF, Scarification, replant and fertilizing, SR, scarification and replant, CP: control plot.

通过人为调控措施的作用,不仅使环境因子发生变化,同时群落结构及特征也相应产生明显变化(表2)。2种丰富度指数(R_1 和 R_2)显示,SRF区和SR区的物种丰富度均明显大于对照区。

表2 不同调控措施下植物群落生态结构特征

Table 2 The ecological structure of plant communities in different control measure

类型 Type	SRF	SR	CP
种数 Number of species	45	41	38
丰富度 Richness (R)			
R_1	9.822	9.339	6.678
R_2	3.295	3.163	2.267
多样性 Diversity			
H'	3.448	3.522	3.401
N_1	44.036	44.250	30.307
N_2	39.084	41.780	24.624
生态优势度 (D) Ecological dominance	0.0256	0.0239	0.0406
均匀度 Evenness			
E_1	0.906	0.949	0.935
E_2	0.768	0.816	0.721
E_3	0.885	0.942	0.806

多样性的3种计测指数 (H' , N_1 和 N_2) 以及3种均匀性指数 (E_1 , E_2 和 E_3) 也反映出这种趋势,即在SRF和SR处理区内的物种多样性和均匀性均明显大于对照区;但是生态优势度(D)则显示出相反的结果。作为群落水平上的一个综合指标,生态优势度越大,其群落内的物种多样性和均匀度指数则较低(Whittaker, 1975)。在生态优势度较大的对照区 ($D=0.0406$) 内,群落结构较为简单,物种组成较少,以杂类草为主,优质牧草所占比例不高。而在SRF和SR处理区内的群落生态优势度较小,D值分别为0.0256和0.0239,群落结构较复杂,物种组成较丰富,优质牧草得到恢复,群落结构组成和群落生境条件均有改善。

2. 植物种群的生态位宽度分析

在全N(%)、全P(%)、全K(%)、速效N(ppm)、速效P(ppm)和速效K(ppm)等6维营养资源谱上,优质牧草对资源的利用能力均较强(表3、表4),其中以垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、老芒麦(*E. sibiricus*)和早熟禾(*Poa alpigena*)在14个植物种中的生态位宽度较大,三者在全N(%)、全P(%)、全K(%)3维营养谱上的平均生态位宽度值分别是0.533、0.303和0.316;三者速效N(ppm)、速效P(ppm)、速效K(ppm)3维营养谱上的平均生态位宽度分别是0.343、0.284和0.212。而矮嵩草在全

N (%)、全 P (%)、全 K (%) 和速效 N (ppm)、速效 P (ppm)、速效 K (ppm) 上的平均生态位宽度值分别是 0.188 和 0.096。矮嵩草在群落内已不再处于优势地位。杂类草对生境资源的利用能力较差, 其中仅细叶亚菊和二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*) 对营养资源的利用能力相对较大。细叶亚菊在全 N (%)、全 P (%)、全 K (%) 3 维营养谱和速效 N (ppm)、速效 P (ppm)、速效 K (ppm) 3 维营养谱上的平均生态位宽度值分别是 0.376 和 0.210。二裂委陵菜平均生态位宽度值分别是 0.295 和 0.164。

表3 14个植物种在三维营养轴(全 N、全 P、全 K)上的生态位宽度值

Table 3 The niche breadths of 14 plant species on 3-dimension trophical axes (Total N, Total P, Total K)

植物种 Species	全 N Total N (%)	全 P Total P (%)	全 K Total K (%)	Nb
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.338	0.469	0.790	0.533
老芒麦 <i>E. sibiricus</i>	0.293	0.274	0.343	0.303
早熟禾 <i>Poa alpigena</i>	0.208	0.310	0.519	0.346
藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.030	0.077	0.044	0.050
紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	0.172	0.307	0.576	0.352
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	0.090	0.164	0.310	0.188
黑褐苔草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.114	0.187	0.358	0.219
蒙古蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.150	0.271	0.522	0.314
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.108	0.101	0.146	0.119
细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.202	0.327	0.599	0.376
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.115	0.109	0.062	0.095
二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>	0.158	0.251	0.475	0.295
雅毛茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.105	0.162	0.309	0.192
钝叶银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.087	0.081	0.118	0.096

表4 14个植物种在三维营养轴(速效 N、速效 P、速效 K)上的生态位宽度值

Table 4 The niche breadths of 14 plant species on the 3-dimension trophical axes (Quickacting N, Quickacting P, Quickacting K)

植物种 Species	速效 N Quickacting N (ppm)	速效 P Quickacting P (ppm)	速效 K Quickacting K (ppm)	Nb
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.491	0.266	0.273	0.343
老芒麦 <i>E. sibiricus</i>	0.425	0.239	0.188	0.284
早熟禾 <i>Poa alpigena</i>	0.301	0.163	0.173	0.212
藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.118	0.068	0.047	0.077
紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	0.249	0.130	0.161	0.180
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	0.131	0.069	0.090	0.096
黑褐苔草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.165	0.087	0.104	0.119
蒙古蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.218	0.114	0.145	0.159
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.158	0.088	0.072	0.106
细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.293	0.156	0.181	0.210
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.166	0.095	0.078	0.113
二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>	0.229	0.121	0.141	0.164
雅毛茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.152	0.080	0.093	0.118
钝叶银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.127	0.071	0.058	0.083

3. 植物种对间的生态位重叠值分析

14个主要植物种在全 N (%)、全 P (%)、全 K (%) 3维营养资源谱上的生态位重叠值分别见表5、表6和表7。生态位重叠值在一定程度上反映出物种间对资源的利用关系。

补播的老芒麦在全 N (%)、全 P (%)、全 K (%) 3维营养轴上与垂穗披碱草和早熟禾的生态位重叠值分别是0.850、0.573、0.431和0.615、0.543、0.401，其中在全 N (%)营养轴上的生态位重叠值均最大。早熟禾在3维营养轴上与垂穗披碱草的生态位重叠

表5 14个植物种在全 N(%)营养轴上的生态位置叠值

Table 5 The niche overlaps of 14 plant species on the trophical axes of the total N(%)

植 物 种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1													
老 芒 麦 <i>E. sibiricus</i>	0.850	1												
早 熟 禾 <i>Poa alpigena</i>	0.611	0.615	1											
藏 异 燕 麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.234	0.277	0.390	1										
紫 羊 茅 <i>Festuca rubra</i>	0.505	0.469	0.790	0.470	1									
矮 嵩 草 <i>Kobresia humilis</i>	0.264	0.244	0.436	0.500	0.525	1								
黑 褐 苔 草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.339	0.324	0.550	0.475	0.660	0.797	1							
蒙 古 蒲 公 英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.441	0.409	0.706	0.470	0.873	0.601	0.760	1						
乳 白 香 青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.324	0.373	0.526	0.639	0.632	0.661	0.828	0.753	1					
细 叶 亚 菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.600	0.580	0.804	0.400	0.840	0.449	0.560	0.740	0.539	1				
鹅 绒 委 陵 菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.340	0.512	0.551	0.709	0.510	0.393	0.471	0.470	0.602	0.530	1			
二 裂 委 陵 菜 <i>P. bifurca</i>	0.465	0.457	0.734	0.487	0.880	0.572	0.720	0.910	0.690	0.783	0.487	1		
雅 毛 茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.310	0.307	0.507	0.478	0.611	0.830	0.920	0.698	0.823	0.516	0.434	0.661	1	
钝 叶 银 莲 花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.261	0.297	0.420	0.631	0.510	0.791	0.760	0.581	0.806	0.435	0.486	0.557	0.780	1

表6 14个植物种在全 P(%) 营养轴上的生态位置叠值

Table 6 The niche overlaps of 14 plant species on the trophical axes of the total P(%)

植 物 种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1													
老 芒 麦 <i>E. sibiricus</i>	0.573	1												
早 熟 禾 <i>Poa alpigena</i>	0.662	0.543	1											
藏 异 燕 麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.164	0.281	0.248	1										
紫 羊 茅 <i>Festuca rubra</i>	0.654	0.416	0.868	0.251	1									
矮 嵩 草 <i>Kobresia humilis</i>	0.350	0.244	0.528	0.262	0.534	1								
黑 褐 苔 草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.398	0.320	0.602	0.275	0.609	0.878	1							
蒙 古 蒲 公 英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.577	0.404	0.813	0.248	0.882	0.606	0.691	1						
乳 白 香 青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.216	0.370	0.326	0.650	0.330	0.407	0.465	0.374	1					
细 叶 亚 菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.697	0.483	0.884	0.235	0.908	0.502	0.571	0.828	0.310	1				
鹅 绒 委 陵 菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.232	0.397	0.350	0.708	0.271	0.262	0.275	0.248	0.605	0.312	1			
二 裂 委 陵 菜 <i>P. bifurca</i>	0.535	0.451	0.791	0.291	0.798	0.654	0.745	0.714	0.403	0.767	0.291	1		
雅 毛 茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.345	0.302	0.521	0.292	0.527	0.888	0.865	0.597	0.512	0.494	0.292	0.644	1	
钝 叶 银 莲 花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.173	0.297	0.262	0.646	0.265	0.407	0.429	0.301	0.804	0.249	0.483	0.324	0.470	1

表7 14个植物种在全 K(%)营养轴上的生态位重叠值

Table 7 The niche overlaps of 14 plant species on the trophical axes of the total K(%)

植物种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1													
老芒麦 <i>E. sibiricus</i>	0.431	1												
早熟禾 <i>Poa alpigena</i>	0.657	0.401	1											
藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.055	0.273	0.084	1										
紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	0.729	0.318	0.858	0.076	1									
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	0.393	0.284	0.598	0.079	0.539	1								
黑褐苔草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.426	0.392	0.689	0.082	0.621	0.868	1							
蒙古蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.661	0.329	0.924	0.073	0.907	0.594	0.685	1						
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.185	0.426	0.281	0.256	0.253	0.313	0.385	0.280	1					
细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.759	0.382	0.846	0.073	0.924	0.518	0.596	0.871	0.243	1				
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.078	0.180	0.119	0.708	0.082	0.079	0.088	0.073	0.256	0.097	1			
二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>	0.602	0.412	0.884	0.087	0.793	0.653	0.753	0.863	0.307	0.793	0.087	1		
雅毛茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.391	0.396	0.594	0.087	0.536	0.870	0.863	0.591	0.439	0.515	0.087	0.649	1	
钝叶银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.149	0.344	0.227	0.253	0.205	0.313	0.328	0.226	0.808	0.197	0.253	0.248	0.372	1

值分别是0.611、0.662和0.657。生态位宽度较大的细叶亚菊在全 N (%)、全 P (%) 和全 K (%) 3维营养轴上与垂穗披碱草、早熟禾、老芒麦的生态位重叠值也均较大，与垂穗披碱草的生态位重叠值分别是0.600、0.697和0.759，与早熟禾的重叠值分别是0.804、0.884和0.846，与老芒麦的重叠值分别是0.580、0.483和0.382。细叶亚菊与紫羊茅 (*Fes-*

tuca rubra) 在全 N (%)、全 P (%) 和全 K (%) 3 维营养轴上的生态位重叠值也较大, 分别是 0.840、0.908 和 0.924。由于全 N (%)、全 P (%) 和全 K (%) 之间没有一定的相关关系:

$$P = 0.3955 - 0.6042N \quad r = -0.4116 < R_{0.01}$$

$$K = 0.7901 + 2.1318N \quad r = 0.7590 < R_{0.01}$$

$$P = 1.9214 - 1.7306P \quad r = -0.9053 < R_{0.01}$$

故在这些生态因子之间不呈现显著相关的三维营养谱上, 其总生态位重叠值应是各单维营养谱上生态位重叠值的乘积 α (May, 1975) (表 8)。在这些多维营养轴上的植物种对

表 8 14 个植物种在三维营养轴(全 N、全 P、全 K)上的生态位重叠值(乘积 α)
Table 8 The niche overlaps (product α) of 14 plant species on the 3-dimension
trophical axes (Total N, Total P, Total K)

植 物 种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1													
老 芒 麦 <i>E. sibiricus</i>	0.210	1												
早 熟 禾 <i>Poa alpigena</i>	0.267	0.134	1											
藏 异 燕 麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.002	0.009	0.008	1										
紫 羊 茅 <i>Festuca rubra</i>	0.242	0.062	0.590	0.009	1									
矮 嵩 草 <i>Kobresia humilis</i>	0.037	0.017	0.138	0.010	0.152	1								
黑 褐 苔 草 <i>Carex atrov-fusca</i>	0.057	0.041	0.227	0.011	0.251	0.606	1							
蒙 古 蒲 公 英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.169	0.054	0.530	0.009	0.699	0.217	0.359	1						
乳 白 香 青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.013	0.059	0.048	0.106	0.053	0.084	0.148	0.076	1					
细 叶 亚 菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.316	0.107	0.666	0.007	0.704	0.116	0.192	0.536	0.041	1				
鹅 城 委 陵 菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.006	0.028	0.023	0.355	0.017	0.008	0.011	0.009	0.094	0.016	1			
二 裂 委 陵 菜 <i>P. bifurca</i>	0.150	0.085	0.512	0.012	0.556	0.245	0.404	0.562	0.089	0.474	0.012	1		
雅 毛 茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.042	0.037	0.156	0.012	0.172	0.642	0.686	0.246	0.184	0.132	0.011	0.277	1	
阔 叶 银 莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.007	0.031	0.025	0.103	0.028	0.101	0.107	0.037	0.522	0.021	0.059	0.005	0.137	1

间最大生态位重叠值发生在细叶亚菊与紫羊茅之间为0.704。禾本科植物种对间的生态位重叠值相对较大；老芒麦与垂穗披碱草和早熟禾的重叠值分别是0.210和0.134；而垂穗披碱草与早熟禾和紫羊茅的重叠值分别是0.267和0.242。藏异燕麦 (*Helictotrichon tibeticum*) 属湿中生植物。在矮嵩草草甸上偶有分布，对资源利用能力显得较弱，其与垂穗披碱草、老芒麦和早熟禾的重叠值分别是0.002、0.009和0.008。莎草科的矮嵩草与禾本科植物间的重叠值均较低，与垂穗披碱草和老芒麦的重叠值仅为0.037和0.017。黑褐苔草 (*Carex atro-fusca*) 也表现出这种趋势，与垂穗披碱草和老芒麦的重叠值分别是0.057和0.041。

14个植物种在速效 N (ppm)、速效 P (ppm)、速效 K (ppm) 营养谱上的生态位重叠值分别见表9、表10和表11。

表9 14个植物种在速效 N(ppm)营养轴上的生态位重叠值

Table 9 The niche overlaps of 14 plant species on the trophical axes of the Quickacting N(ppm)

植物种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1													
老芒麦 <i>E. sibiricus</i>	0.851	1												
早熟禾 <i>Poa alpigena</i>	0.614	0.616	1											
藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.233	0.277	0.391	1										
紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	0.507	0.468	0.792	0.473	1									
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	0.267	0.245	0.436	0.500	0.527	1								
黑褐苔草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.336	0.323	0.548	0.477	0.662	0.796	1							
蒙古蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.443	0.407	0.705	0.471	0.874	0.603	0.758	1						
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.322	0.372	0.524	0.637	0.634	0.659	0.825	0.756	1					
细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.598	0.580	0.806	0.401	0.839	0.447	0.562	0.741	0.538	1				
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.339	0.512	0.552	0.708	0.511	0.395	0.473	0.471	0.605	0.532	1			
二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>	0.466	0.455	0.731	0.488	0.879	0.574	0.721	0.911	0.690	0.780	0.488	1		
雅毛茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.309	0.305	0.504	0.476	0.609	0.831	0.919	0.697	0.821	0.517	0.435	0.663	1	
钝叶银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.259	0.299	0.421	0.633	0.510	0.793	0.759	0.583	0.804	0.433	0.484	0.555	0.783	1

表10 14个植物种在速效 P(ppm)营养轴上的生态位置叠值

Table 10 The niche overlaps of 14 plant species on the trophical axes of the Quickacting P(ppm)

植物种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1													
老芒麦 <i>E. sibiricus</i>	0.884	1												
早熟禾 <i>Poa alpigena</i>	0.610	0.616	1											
藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.254	0.283	0.417	1										
紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	0.490	0.466	0.779	0.519	1									
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	0.258	0.244	0.422	0.550	0.526	1								
黑褐苔草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.327	0.320	0.536	0.520	0.667	0.788	1							
蒙古蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.427	0.403	0.687	0.518	0.872	0.603	0.765	1						
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.322	0.370	0.544	0.443	0.678	0.659	0.856	0.777	1					
细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.585	0.567	0.885	0.434	0.831	0.440	0.559	0.730	0.568	1				
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.359	0.399	0.588	0.708	0.766	0.395	0.473	0.518	0.605	0.576	1			
二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>	0.455	0.450	0.747	0.529	0.889	0.566	0.718	0.956	0.729	0.778	0.529	1		
雅毛茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.302	0.301	0.496	0.516	0.617	0.828	0.925	0.708	0.816	0.517	0.435	0.644	1	
钝叶银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.267	0.297	0.437	0.650	0.545	0.820	0.805	0.624	0.803	0.456	0.484	0.586	0.882	1

表11 14个植物种在速效 K(ppm)营养轴上的生态位置叠值

Table 11 The niche overlaps of 14 plant species on the trophical axes of the Quickacting K(ppm)

植 物 种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1													
老 芒 麦 <i>E. sibiricus</i>	0.680	1												
早 熟 禾 <i>Poa alpigena</i>	0.635	0.347	1											
藏 异 燕 麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.172	0.250	0.272	1										
紫 羊 茅 <i>Festuca rubra</i>	0.589	0.480	0.928	0.293	1									
矮 蒿 草 <i>Kobresia humilis</i>	0.328	0.529	0.518	0.293	0.558	1								
黑 褐 苔 草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.381	0.339	0.601	0.302	0.647	0.862	1							
蒙 古 蒲 公 英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.530	0.424	0.836	0.283	0.900	0.619	0.719	1						
乳 白 香 青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.263	0.381	0.414	0.560	0.446	0.529	0.606	0.496	1					
细 叶 亚 菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.662	0.595	0.889	0.260	0.880	0.496	0.576	0.801	0.397	1				
鹅 绒 委 陵 菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.286	0.415	0.451	0.602	0.317	0.293	0.302	0.283	0.514	0.345	1			
二 裂 委 陵 菜 <i>P. bifurca</i>	0.518	0.476	0.789	0.316	0.845	0.635	0.736	0.908	0.508	0.782	0.316	1		
雅 毛 茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.339	0.322	0.534	0.312	0.576	0.494	0.890	0.639	0.653	0.512	0.312	0.655	1	
钝 叶 银 莲 花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.212	0.307	0.334	0.555	0.360	0.645	0.549	0.400	0.806	0.320	0.411	0.409	0.589	1

老芒麦与垂穗披碱草和早熟禾在速效 N (ppm) 上的生态位重叠值分别是0.851和0.616, 与它们在全 N (%) 营养轴上的重叠值接近。老芒麦与垂穗披碱草和早熟禾在速效 P(ppm)和速效 K(ppm)营养轴上的生态位重叠值分别是0.884、0.616和0.680、0.347, 均高于它们之间在全 P (%)、全 K (%) 营养轴上的重叠值。藏异燕麦与禾本科植物间的生态位重叠值仍较低, 在速效 N (ppm) 营养轴上与垂穗披碱草、老芒麦和早熟禾之间的生态位重叠值分别是0.233、0.277和0.391, 在速效 P (ppm) 轴上的重叠值分别是0.254、0.283和0.417, 在速效 K (ppm) 轴上的重叠值分别是0.172、0.250和0.272。细叶亚菊与

禾本科植物间最大的生态位重叠值发生在与早熟禾和紫羊茅之间,在速效N (ppm) 上,细叶亚菊与早熟禾和紫羊茅间的重叠值分别是0.806和0.839,在速效P (ppm) 轴上的重叠值分别是0.885和0.831,在速效K (ppm) 轴上的重叠值分别是0.889和0.880,分别接近于它们在全N (%),全P (%) 和全K (%) 营养轴上的生态位重叠值。蒙古蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*) 作为一种常见杂类草,在速效N (ppm)、速效P (ppm) 和速效K (ppm) 3维营养谱上的利用能力较大,其平均生态位宽度值为0.159 (表4),它与杂类草之间的营养资源利用重叠值均较大。在速效P (ppm) 轴上,它与二裂委陵菜的生态位重叠值最大,为0.956。在速效N (ppm) 和速效K (ppm) 2维轴上,二者的重叠值也很大,分别是0.911和0.908。

表12 14个植物种在三维营养轴(速效N、速效P、速效K)生态位重叠(乘积 α)

Table 12 The niche overlaps (product α) of 14 plant species on the 3-dimension trophical axes (Quickacting N, Quickacting P, Quickacting K)

植物种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1													
老芒麦 <i>E. sibiricus</i>	0.512	1												
早熟禾 <i>Poa alpigena</i>	0.238	0.132	1											
藏异燕麦 <i>Helictotrichon tibeticum</i>	0.010	0.020	0.005	1										
紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	0.146	0.105	0.573	0.072	1									
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	0.023	0.032	0.095	0.081	0.155	1								
黑褐苔草 <i>Carex atro-fusca</i>	0.042	0.035	0.177	0.075	0.286	0.541	1							
蒙古蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.100	0.070	0.405	0.069	0.686	0.225	0.417	1						
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.028	0.052	0.118	0.158	0.192	0.230	0.429	0.291	1					
细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	0.232	0.196	0.634	0.045	0.614	0.098	0.181	0.433	0.121	1				
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.035	0.085	0.146	0.302	0.124	0.046	0.068	0.069	0.188	0.106	1			
二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>	0.110	0.098	0.431	0.082	0.660	0.206	0.381	0.791	0.256	0.475	0.082	1		
雅毛茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	0.032	0.030	0.134	0.077	0.216	0.340	0.757	0.315	0.438	0.137	0.060	0.288	1	
钝叶银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	0.015	0.027	0.061	0.228	0.100	0.419	0.355	0.146	0.520	0.068	0.096	0.133	0.407	1

在速效 N (ppm)、速效 P (ppm) 和速效 K (ppm) 之间,除速效 N (ppm) 与速效 P (ppm) 间呈显著相关 ($N = -11.8357 + 0.0545P$, $r = 0.9982$) 外,速效 N (ppm) 与速效 K (ppm) 和速效 P (ppm) 与速效 K (ppm) 之间则均不呈显著相关。回归模式分别为: $N = 296.1391 - 0.4382K$, $r = -0.7799$; $P = 202.6706 - 8.3877K$, $r = 0.8157$ 。植物种对之间在这些3维营养谱上的总重叠值仍用“乘积 α ” (表12) 表示。

禾本科植物在速效 N (ppm)、速效 P (ppm) 和速效 K (ppm) 3维营养谱上的总生态位重叠值,以老芒麦和垂穗披碱草之间最大,为0.512;早熟禾与老芒麦和垂穗披碱草之间的重叠值分别是0.132和0.238。矮嵩草与禾本科植物间的重叠值均较小,它与垂穗披碱草、老芒麦、早熟禾、藏异燕麦和紫羊茅之间的重叠值分别是0.023、0.032、0.095、0.081和0.155。禾本科植物与杂类草之间的重叠值也较低。但细叶亚菊对资源的利用能力仍较强,它与垂穗披碱草、老芒麦和早熟禾之间的重叠值分别是0.232、0.196和0.634。

在人为调控措施的作用下,恢复与重建的植物群落生境条件和群落结构特征及物种组成均有明显变化。群落的丰富度、物种多样性指数和均匀度指数均显示出重建后的群落明显优于退化的矮嵩草草甸群落。群落生态优势度指数反映出退化的矮嵩草草甸群落结构和种类组成简单,而重建后的群落结构变得复杂。

生态位测定表明群落组分在群落中的功能地位有了变化。矮嵩草在重建后的群落内部,其功能作用已不十分突出。而垂穗披碱草和补播的老芒麦在群落内部地位较为突出。补播的老芒麦与其它禾本科植物在资源利用上具有较大的相似性,它与其它禾本科植物之间的生态位重叠值均较大。

杂类草对资源利用能力相对较弱,但是细叶亚菊则具有较大的资源利用能力;并且和禾本科植物间还有较大的资源利用相似性。这是一个值得注意的问题。

参 考 文 献

- 王 刚、赵松龄、张鹏云、陈庆斌, 1984, 关于生态位定义的探讨及生态位重叠计测公式改进的研究。生态学报, 4 (2): 119—127.
- 王启基、周兴民、沈振西、张堰育, 1995, 高寒草甸恢复生态系统植物 N、P、K 含量及其相关性分析。高寒草甸生态系统第4集, 科学出版社。
- 考克斯, G. W., (蒋有绪译, 1979) 1972, 普通生态学实验手册, 32—42, 科学出版社。
- 任继周、蒋文兰, 1987, 多年生漏播草地豆禾比例演变规律的探讨。中国草业科学4 (4), 2—5.
- 杜国桢、王 刚, 1991, 亚高山草甸弃耕地演替群落的种多样性及种间关系分析。中国草业科学8 (4), 51—57.
- 拉德维格, J. A., 1990, 统计生态学—方法和计算入门, 内蒙古大学出版社。
- 杨富国, 1982, 高寒草甸生态系统定位站自然概况, 高寒草甸生态系统 (夏武平主编) 1—5, 甘肃人民出版社。
- 周兴民、李健华, 1982, 海北高寒草甸生态系统定位站的主要植被类型及其地理分布规律, 高寒草甸生态系统 (夏武平主编), 9—18, 甘肃人民出版社。
- Campbell C A, Leyshon A. J. Ukrainetz H. Zentner R. P., 1986, Time application and source of nitrogen fertilizer on yield, quality, nitrogen recovery, and net returns for dryland forage grasses. Can. J. Plant. Sci., 66: 915—931.
- May R M, 1975, Some notes on estimating the competition matrix α . Ecology, 56: 737—741.
- Scarnecchia D L, 1991, Review of secondary succession and the evaluation of rangeland condition. J. Range. Manage., 44: 255—259.
- Whittaker R H., 1975, Communities and Ecosystem. 2nd.
- Wikeem B M, Newman R F, Van Ryswyk A L, 1989, Effect of fertilization date and litter removal on grassland forage

ANALYSIS ON THE STRUCTURE OF COMMUNITY AND THE NICHE OF SPECIES IN RESTORED GRASSLAND BY DIFFERENT CONTROL MEASURES

Chen Bo Zhou Xingmin Wang Qiji Zhang Yanqing Shen Zhenxi

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The serious degenerative *Kobresia humilis* community meadow at the Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem was restored with sowing, replanting, fertilizing (SRF) and sowing, replanting (SR) two kinds of control measures from 1988 to 1992. The structural characters of three plant communities in SRF, SR and the control plot (CP) of the degenerative grassland were analysed, the niche breadths and overlaps of species in three plant communities were also studied in this paper.

Species composition, the important values of species, the richness (R), species diversity (H'), the evenness and the ecological dominance of plant community (D) showed remarkable changes after the effect of artificial control measures. The richness (R) and species diversity (H') in SRF (R=9.822, H'=3.448) and SR (R=9.339, H'=3.522) were bigger than that in CP (R=6.678, H'=3.401), while the ecological dominance (D) in SRF (D=0.0256) and SR (D=0.0239) were lower than that in CP (D=0.0406), respectively.

The niche analyses of plant species indicated that the niche breadths of *Gramineae* species were bigger than that of the others after restored. *Kobresia humilis* had still less function in the community. The utilization ability of forbes were weak after artificial control and there were utilization similarity of resources among forbes, their overlaps of inter-species were relatively bigger. The niche breadth of *A-jania tenuifolia* was the biggest among forbes. The results showed that the effect of restoration of alpine degenerative grassland was more significant by artificial controls.

Key words. Control measures; Community structure; Niche.