

基于生态位理论的典型草原铁杆蒿种群化感作用*

王 辉¹ 谢永生^{1,2,*} 程积民^{2,3} 摄晓燕¹

(¹西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; ²中国科学院-水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; ³西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘 要 运用改进的 Levins 生态位宽度指数和 Pianka 生态位重叠指数, 研究了典型草原草地建群种与优势种之间的生态竞争关系; 并利用建群种(铁杆蒿)茎叶浸提液对不同优势种的化感种子进行发芽试验, 分析铁杆蒿的化感潜力及其在封育草地中的生态地位。结果表明: 封育草地中, 本氏针茅的生态位最宽(0.99), 其次为百里香(0.94)、铁杆蒿(0.82)和大针茅(0.76), 赖草最窄(0.73); 铁杆蒿与本氏针茅、本氏针茅与百里香、百里香与大针茅、铁杆蒿与百里香之间的生态位重叠值分别为 0.90、0.95、0.94 和 0.86。不同浓度的铁杆蒿浸提液对植物的化感作用强度不同, 表现为“低促高抑”。铁杆蒿浸提液对本氏针茅幼苗根系生长的化感促进作用要强于百里香, 而对百里香幼苗芽生长的抑制作用要强于本氏针茅。甲醇浸提液的化感作用要强于水浸提液。铁杆蒿、本氏针茅、百里香和大针茅之间高的生态位重叠, 说明该草地群落将继续向本氏针茅群落演替, 铁杆蒿群落仅是一个重要的过渡演替阶段。铁杆蒿的化感作用在其中担负着驱动力的角色。

关键词 生态位 铁杆蒿 化感作用 植被演替

文章编号 1001-9332(2012)03-0673-06 中图分类号 Q948 文献标识码 A

Allelopathic effects of *Artemisia sacrorum* population in typical steppe based on niche theory.

WANG Hui¹, XIE Yong-sheng^{1,2}, CHENG Ji-min^{2,3}, SHE Xiao-yan¹ (¹College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ²Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; ³Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2012 23(3): 673-678.

Abstract: By using modified Levins niche width index and Pianka niche overlap index, this paper analyzed the ecological competition between constructive and dominant species in a typical steppe. The stem- and leaf extracts from the constructive species (*Artemisia sacrorum*) were utilized to study their allelopathic potential on the seed germination and plant growth of the dominant species (*Stipa bungeana*, *Thymus mongolicus*, *S. grandis*, and *Leymus secalinus*), and the ecological position of *A. sacrorum* in the steppe succession. In the steppe, *S. bungeana* had the widest niche width (0.99), followed by *T. mongolicus* (0.94), *A. sacrorum* (0.82), *S. grandis* (0.76), and *L. secalinus* (0.73). The niche overlap value between *A. sacrorum* and *S. bungeana*, *S. bungeana* and *T. mongolicus*, *T. mongolicus* and *S. grandis*, and *A. sacrorum* and *T. mongolicus* was 0.90, 0.95, 0.94, and 0.86, respectively. The allelopathic effects of *A. sacrorum* extracts varied with their concentration. For the seed germination, root growth, and shoot growth of the dominant species, *A. sacrorum* extracts showed a trend of promoting at low concentrations and inhibiting at high concentrations. The extracts of *A. sacrorum* had a stronger promotion effect on the root growth of *S. bungeana* than on that of *T. mongolicus*, but a stronger inhibition effect on the shoot growth of *T. mongolicus* than on that of *S. bungeana*. Methanol extracts had stronger allelopathic effects than aqueous extracts. The high niche overlap between *A. sacrorum* and *S. bungeana*, and *T. mongolicus* and *S. grandis* indicated that the steppe community would continue succession to *S. bungeana*,

* 中国科学院重要方向性项目(KZCX2-YW-441)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD31B01)和水利部公益性行业科研专项(200901051 201001036)资助。

** 通讯作者. E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn

2011-07-06 收稿 2011-12-08 接受。

while *A. sacrorum* population was only an important transitional stage during the succession. The allelopathic effect of *A. sacrorum* played a driving role in the succession process.

Key words: niche; *Artemisia sacrorum*; allelopathy; vegetation succession.

化感作用是作物与杂草之间生态位竞争的机理之一,是其种间信息协调和种间关联促成的重要载体^[1].经典的生态位理论认为,物种在某种(或多种)环境资源利用上存在差异,即物种之间的生态位分化,是物种共存的基本机制之一^[2].化感作用物质是植物长期进化过程中用于防御、竞争取胜、外来入侵的重要“杀伤性武器”^[3-5],以促进植物群落的形成和演替^[6-7].Rice^[8]研究表明,在美国中南部俄克拉荷马草原的废弃地中,植物化感作用在植物群落的形成、演替中起着不可替代的作用^[9].在物种生态位拓展及变化方面,化感作用可以使植物自身形成独特的生态位,在生态位适应度、生态位宽度和重叠值等方面具有促进作用,使其在竞争中较易成为优势种群^[10].

进入20世纪90年代后,生态位概念在生物学界受到了普遍关注.化感作用有助于合理的解释生态系统中植物组成与分布、群落演替、协同进化等现象^[11];化感作用和生态位竞争是植物生存的两种不同的竞争方式.但目前将生态位理论和植物化感作用联系起来,从植物自身和环境资源利用两方面说明植被演替、群落竞争还鲜有报道.

本文选择云雾山草原自然保护区内以铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)为建群种的草地为对象,对草地建群种和主要优势种进行生态位分析,根据主要植物种群的生态位宽度和重叠情况,判定其生态竞争关系;结合铁杆蒿茎叶浸提液对主要优势种种子萌发和幼苗的干扰作用,分析铁杆蒿的化感作用潜力,探讨植被演替过程中,植物种群之间的生态位关系及演替方向,旨在揭示铁杆蒿群落在该封育草地中的生态地位.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区固原市的云雾山草原自然保护区,地理坐标为36°13′—36°19′ N,106°24′—106°28′ E,海拔1800~2100 m.该区具有典型的半干旱气候特征,年均气温6.5℃,年均降水量445 mm,年蒸发量1330~1640 mm.云雾山草原自然保护区建立于1982年,区内的草地群落用铁丝网围封,而保护区范围外的群落任由自由放牧.保护区

的种子植物有51科131属182种,主要以旱生和中旱生草本植物为主,建群种植物主要有本氏针茅(*Stipa bungeana*)、百里香(*Thymus mongolicus*)和铁杆蒿等^[12].

1.2 试验材料及取样

供体植物铁杆蒿于2010年5月初采集于自然保护区铁杆蒿群落.

受体植物为本氏针茅、大针茅(*Stipa grandis*)、赖草(*Leymus secalinus*)和百里香,其种子均采集于自然保护区铁杆蒿群落封育区.

在试验区选取1个100 m×30 m的长方形样带,长边与水平方向平行.采用随机取样法取样,样方面积按照常规调查方法取1 m²,共取样6个.记录样地中草本植物种类、密度、盖度和平均高度.选取出现频率最多的14种植物进行生态位分析.

1.3 研究方法

1.3.1 生态位的测定 资源轴的确定及其梯度划分通常采用两种方法:一种是根据实测数据对某一源类型按照一定的间隔分成若干个梯度,把调查数据分类归入各个资源度,进行生态位计算;另一种是把群落调查的每个样方视作多种资源的综合状态,以各个种在不同样方的个体数目、重要值、盖度等指标计算各种群的生态位宽度和生态位重叠.此时各个指标综合反映了该种植物对多种资源的利用,同时也反映了植物种的空间关系^[13].本文以调查的样方作为资源状态,样方数为资源梯度数目,以密度、盖度和平均高度为指标进行生态位的计测.

1.3.2 铁杆蒿浸提液的提取 铁杆蒿茎叶水浸提液的制备:将植物茎叶洗净、阴干粉碎后,以5 g干粉:50 mL无菌蒸馏水的比例在20℃室温下超声波震荡浸泡30 min,然后过滤得到0.1 g·mL⁻¹的浸提母液;将母液用蒸馏水稀释成0.01和0.005 g·mL⁻¹浓度后,保存于4℃冰箱中.在铺有两层滤纸的培养皿(Φ=9 cm)中培养种子,分别加入3 mL各浓度的水浸提液,以无菌蒸馏水为对照.

铁杆蒿茎叶甲醇浸提液的制备方法同水浸提液.

1.3.3 植物幼苗生长的测定 选择颗粒饱满、形态相近的种子,用0.1%的高锰酸钾溶液消毒15 min后取出,用蒸馏水冲洗至高锰酸钾完全洗净,然后将

种子分别培养在底部垫两层滤纸的培养皿中($\Phi = 9$ cm), 每个培养皿中播种 20 粒均匀一致的种子. 每种受试植物种子分别加入不同浓度植物样的水浸提液 3 mL; 当加入的为甲醇浸提液时, 待加入的 3 mL 甲醇浸提液挥发完毕, 再加 3 mL 蒸馏水, 然后培养种子, 对照加入 3 mL 蒸馏水, 盖上盖. 置于 24 °C 恒温培养箱中培养, 每天补充适量浸提液或无菌蒸馏水 1 次, 并检测发芽数, 胚根突破种皮 2 mm 即视为萌发, 每个处理 3 次重复, 10 d 结束. 种子萌发第 10 天统计发芽率后, 用刻度尺测量萌发后幼芽和幼根长度.

1.4 计算方法

1.4.1 Levins 生态位宽度:

$$BL_i = 1 / (r \sum P_{ij}^2) \quad (j = 1, \dots, r)$$

式中: BL_i 为物种 i 的生态位宽度; P_{ij}^2 为物种 i 对第 j 资源梯度级的利用占全部资源利用的百分率. $P_{ij} = n_{ij} / N$, n_{ij} 为物种 i 在资源梯度 j 的数量特征值(如盖度、重要值、密度等); r 为资源等级数. 本文中 r 为样方数^[14].

1.4.2 Pianka 生态位重叠指数^[15]:

$$O_{ik} = \sum n_{ij} n_{kj} / (\sum n_{ij}^2 \sum n_{kj}^2)^{1/2} \quad (j = 1, \dots, r)$$

式中: O_{ik} 为物种 i 和物种 k 的生态位重叠值; n_{ij} 和 n_{kj} 为物种 i 和物种 k 在资源梯度级 j 的数理特征; r 为样方数.

1.4.3 化感效应指数^[9, 16]:

$$RI = 1 - C/T \quad (T \geq C), \text{ 或 } RI = T/C - 1 \quad (T < C)$$

式中: C 为对照值; T 为处理值; $RI > 0$ 表示抑制作用, $RI < 0$ 表示促进作用, RI 的绝对值大小代表化感作用强度.

1.5 数据处理

采用 DPS 6.55 软件进行生态位分析, 采用 SAS 软件对 RI 进行方差分析, 并用 Duncan 新复极差法进行多重比较($\alpha = 0.05$).

2 结果与分析

2.1 铁杆蒿草地群落主要植物种的生态位及数量特征

由表 1 可以看出, 以铁杆蒿为建群种的草地群落中, 各种群的生态位宽度为: 本氏针茅 > 百里香 > 铁杆蒿 > 大针茅和赖草. 在数量特征方面, 本氏针茅的密度和盖度明显优于大针茅、赖草、百里香和铁杆蒿; 而百里香、铁杆蒿的株高显著低于本氏针茅、大针茅和赖草(表 2).

表 1 铁杆蒿草地群落的主要种群的生态位宽度

Table 1 Niche breadths of main populations in *Artemisia sacrorum* grassland communities

物种 Species	生态位宽度 Breadth of niche BL_i
1. 本氏针茅 <i>Stipa bungeana</i>	0.99
2. 大针茅 <i>Stipa grandis</i>	0.76
3. 赖草 <i>Leymus secalinus</i>	0.73
4. 铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	0.82
5. 百里香 <i>Thymus mongolicus</i>	0.94
6. 星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>	0.33
7. 二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	0.50
8. 多裂委陵菜 <i>Potentilla multifida</i>	0.32
9. 天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	0.48
10. 茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	0.49
11. 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	0.31
12. 达乌里胡枝子 <i>Leapedeza davurica</i>	0.47
13. 火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	0.50
14. 紫花地丁 <i>Viola patrinii</i>	0.61

表 2 铁杆蒿草地群落的主要种群数量特征

Table 2 Quantitative properties of main populations in *Artemisia sacrorum* grassland communities

物种 Species	密度 Density ($g \cdot m^{-2}$)	平均株高 Average height (cm)	盖度 Cover degree (%)
本氏针茅 <i>S. bungeana</i>	30.50 ± 4.65A	45.67 ± 3.89A	60.83 ± 4.36A
大针茅 <i>S. grandis</i>	3.40 ± 0.40C	48.20 ± 6.88A	1.40 ± 0.24C
赖草 <i>L. secalinus</i>	1.80 ± 0.37C	39.00 ± 8.85A	1.40 ± 0.24C
铁杆蒿 <i>A. sacrorum</i>	9.17 ± 1.35B	16.50 ± 3.35B	9.17 ± 3.36B
百里香 <i>T. mongolicus</i>	13.67 ± 1.74B	8.33 ± 0.95B	9.33 ± 0.42B

同列数字后不同大写字母表示差异显著($P < 0.05$) Different capital letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

2.2 铁杆蒿草地主要种群的生态位重叠值

生态位重叠是指不同物种生态位的重叠现象或共有的生态位空间, 即 2 个或更多的物种对资源或资源状态的共同利用. 一般情况下, 种群的生态位宽度越宽, 其他种群与其生态位重叠的机会越大, 物种间的竞争就越激烈, 反之则越小^[17].

由表 3 可以看出, 生态位宽度较大的物种与其他种群之间较大的生态位重叠(表 3), 如铁杆蒿与本氏针茅、本氏针茅与百里香、百里香与大针茅、铁杆蒿与百里香之间的生态位重叠值分别为 0.90、0.95、0.94 和 0.86. 从空间垂直分布上看, 本氏针茅、大针茅和赖草属于第 1 层, 铁杆蒿和百里香分布属于第 2、3 层(表 2). 在同层之间(第 1 层) 本氏针茅与大针茅、本氏针茅与赖草、大针茅与赖草的生态位重叠分布为 0.82、0.90 和 0.85, 需要竞争的均为地下部分; 而层与层之间的生态位重叠值要大于同层之间, 这说明层层之间的竞争要强于同层之间的

竞争,因为它们还有地上部分,如光、空间等的竞争.

2.3 铁杆蒿浸提液对幼苗生长的影响

由表 4 可以看出,不同受体对同一浓度下铁杆蒿茎叶浸提液的反应不同.其中 0.01 和 0.005 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对赖草和本氏针茅根系的生长有促进作用;0.1 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度浸提液对 4 种受体植物均有抑制作用,其中大针茅的反应最显著,无发芽现象.本氏针茅在甲醇浸提液的作用下也无发芽现象.同一受体不同浓度浸提液对受体的作用也不相同:随着浓度的增大,受体幼根生长所受的化感抑制作用逐渐增强;当浓度降低时,化感促进作用要大一些,而且甲醇浸提液的化感作用要强于水浸提液.但是在同一浓度条件下,铁杆蒿浸提液对百里香和本氏针茅的作用不同,当浓度为 0.005 和 0.01 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,化感效应指数(RI)为百里香小于本氏

针茅,且对百里香有抑制作用,而对本氏针茅则有促进作用.

随着浸提液浓度的增加,其对芽生长的抑制作用越强;随浓度的降低,则促进作用越强(表 5).在 0.1 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度条件下,大针茅无发芽现象.0.1 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的甲醇浸提液同样抑制了本氏针茅的生长.0.005 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的水浸提液对赖草、百里香和本氏针茅有促进作用,对大针茅则有一定的抑制作用,其中百里香的促进作用最显著(RI = 0.12).由表 4 可以看出,铁杆蒿茎叶甲醇浸提液的化感作用要强于水浸提液的化感作用(除 0.005 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 对赖草幼苗芽长的影响外),这与幼苗根的生长规律相一致.同时,在 0.01 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 水浸提液的作用下,其对百里香的化感抑制作用要强于对本氏针茅的抑制作用,RI 为百里香 < 本氏针茅.

表 3 铁杆蒿群落的主要种群的生态位重叠值

Table 3 Niche overlaps of main populations in *Artemisi asacrorum* communities

物种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0.82	0.81	0.90	0.95	0.63	0.68	0.55	0.67	0.68	0.61	0.71	0.72	0.74
2		1	0.85	0.77	0.94	0.30	0.82	0.61	0.68	0.81	0.26	0.45	0.53	0.96
3			1	0.78	0.90	0.32	0.59	0.35	0.55	0.60	0.30	0.51	0.61	0.71
4				1	0.86	0.40	0.49	0.74	0.78	0.48	0.46	0.54	0.49	0.64
5					1	0.41	0.73	0.56	0.70	0.74	0.49	0.61	0.73	0.85
6						1	0.37	0.00	0.00	0.35	0.61	0.79	0.42	0.36
7							1	0.53	0.65	1.00	0.00	0.20	0.30	0.87
8								1	0.90	0.50	0.00	0.00	0.00	0.58
9									1	0.65	0.00	0.00	0.21	0.57
10										1	0.00	0.19	0.33	0.85
11											1	0.92	0.82	0.21
12												1	0.78	0.43
13													1	0.41
14														1

表中物种序号与表 1 相同 Species represented by 1, 2, 3, ..., 14 were the same to Table 1.

表 4 铁杆蒿茎叶浸提液对受试植物幼苗根长的影响

Table 4 Effects of aqueous extracts from *Artemisi asacrorum* stems and leaves on the root length of acceptor seedlings

浸提液类型 Extracts from <i>A. asacrorum</i>	浸提液浓度 Concentration ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	化感效应指数 RI			
		赖草 <i>L. secalinus</i>	百里香 <i>T. mongolicus</i>	大针茅 <i>S. grandis</i>	本氏针茅 <i>S. bungeana</i>
CK	0	0	0	0	0
甲醇浸提液 Methanol extract	0.005	0.10 ± 0.03Aa	-0.98 ± 0.43Ba	-0.42 ± 0.13ABa	0.17 ± 0.08Aa
	0.01	0.13 ± 0.06Aa	-1.79 ± 0.30Ca	-0.81 ± 0.28Ba	0.14 ± 0.11Aa
	0.1	-8.85 ± 1.56Ab	-5.12 ± 0.36Ab	-	-
水浸提液 Aqueous extract	0.005	0.05 ± 0.07Aa	-0.87 ± 0.21Ba	-0.33 ± 0.20Ba	0.15 ± 0.09Aa
	0.01	0.12 ± 0.07Aa	-1.61 ± 0.32Ca	-0.53 ± 0.07Aa	0.10 ± 0.09Aa
	0.1	-1.03 ± 0.14Ab	-4.34 ± 0.34Bb	-	-6.42 ± 0.46Cb

同列不同大写字母表示同一浓度处理不同受体植物的差异显著,不同小写字母表示同一受体植物不同浓度处理的差异显著($P < 0.05$) Different capital letters indicated significant difference among different receptors in the same concentration treatment, and different lowercase letters indicated significant difference of the same receptor under different concentrations at 0.05 level. 下同 The same below.

表 5 铁杆蒿茎叶浸提液对受试植物幼苗芽长的影响

Table 5 Effects of aqueous extracts from *Artemisi asacrorum* stems and leaves on the shoot length of acceptor seedlings

浸提液类型 Extracts from <i>A. asacrorum</i>	浸提液浓度 Concentration (g · mL ⁻¹)	化感效应指数 RI			
		赖草 <i>L. secalinus</i>	百里香 <i>T. mongolicus</i>	大针茅 <i>S. grandis</i>	本氏针茅 <i>S. bungeana</i>
CK	0	0	0	0	0
甲醇浸提液 Methanol extracts	0.005	-0.05 ± 0.11 Aa	-0.36 ± 0.05 Ab	-0.34 ± 0.19 Aa	-0.35 ± 0.12 ABa
	0.01	-0.05 ± 0.03 Aa	-0.43 ± 0.08 ABa	-0.72 ± 0.44 Ba	-0.66 ± 0.07 Aa
	0.1	-8.64 ± 0.36 Ab	-4.40 ± 0.74 Aa	-	-
水浸提液 Aqueous extracts	0.005	0.08 ± 0.05 Aa	0.12 ± 0.03 Aa	-0.30 ± 0.13 Ba	0.01 ± 0.09 Bb
	0.01	0.04 ± 0.23 Aa	-0.11 ± 0.04 ABa	-0.58 ± 0.24 Ba	-0.05 ± 0.09 ABa
	0.1	-2.57 ± 0.51 Ab	-5.19 ± 0.25 Bb	-	-4.12 ± 0.33 Aa

3 讨 论

本研究中,由于本氏针茅在数量特征(盖度、密度和平均高度)上占有绝对优势(表 2),因此在资源竞争和利用上要强于其他植物;铁杆蒿和百里香除在高度上无优势外,盖度和密度都要大于赖草和大针茅,百里香的茎下部呈匍匐状丛生、多分枝,因此在密度和盖度上优于铁杆蒿;而大针茅和赖草虽有高度优势,但其密度和盖度远不及铁杆蒿、百里香和本氏针茅。同时,该草地群落经过近 20 年的封育,铁杆蒿群落从百里香群落恢复并向本氏针茅群落过渡演替的过程中,铁杆蒿、本氏针茅、百里香群落同时占据相当大的环境资源,具有很强的资源利用能力。从空间垂直分布来看,层与层之间的竞争要强于同层植物之间的竞争。这是因为层与层之间的竞争不仅包括地下的养分、水分等资源,还有地上的光、空间等;本氏针茅、铁杆蒿、百里香为保持其阶段性优势,必须与另外两者产生极大的竞争,并占据一定的有利资源环境。而且本氏针茅、铁杆蒿、百里香是丛生团块分布,在其聚团中其他植物被强烈抵制^[18]。因此,铁杆蒿、本氏针茅、百里香的生态位宽度要比其他植物的大,成为该封育草地的主要优势种。

作物和杂草之所以具有化感作用,是因为通过化感作用形成独特的生态位,能使自身获得更多的阳光、营养、水分和空间^[3]。从表 3、4 可以看出,铁杆蒿茎叶浸提液对不同优势种的化感作用不同:对百里香根的生长有抑制作用,而对本氏针茅则是促进作用;即使同为抑制作用,浸提液对百里香的抑制作用也要大于本氏针茅。说明铁杆蒿群落向着有利于本氏针茅的方向演替。在此情况下,铁杆蒿与本氏针茅、百里香的生态位重叠值分别为 0.90、0.86,说明铁杆蒿与本氏针茅之间的竞争要强于百里香。同时,在化感作用的影响下,铁杆蒿与大针茅、赖草生态位重叠值也很大,从而使大针茅和赖草的生长受到严

重抑制。

在占据一定有利资源环境条件下,铁杆蒿释放的化感物质在土壤环境中,对本氏针茅的生长有促进作用;另外,随着封育年限的延长,本氏针茅的平均盖度呈显著增加趋势,有利于自身的生长^[19]。铁杆蒿的根冠较小,根系主要分布在 0~20 cm 土层,50 cm 左右土层基本没有根系分布^[20];而本氏针茅的地下生物量、根长密度集中分布于 0~40 cm 土层^[21],而且铁杆蒿属直根系,地下贮藏器官不如须根系的本氏针茅发达^[22]。因此,铁杆蒿从土壤中吸收的水分、养分都不如本氏针茅占优势,而且本氏针茅的生长还受到铁杆蒿的化感促进作用,使铁杆蒿的生长受到影响,生态位宽度降低。随着封育时间的延长,本氏针茅必然取代铁杆蒿成为该草地的建群种。

因此,化感作用在该区域植被演替中的作用不容忽视。铁杆蒿作为建群种,所释放的化感物质影响了其他优势种、伴生种的生长,进而改变各植物群落的生态位。

物种更替是群落环境演变、物种的环境适应性、竞争作用等共同作用的结果和集中表现。较高的生态位重叠说明演替序列群落的过渡性质,以及演替序列各群落类型结构和性质的不稳定性^[23]。铁杆蒿与本氏针茅、铁杆蒿与百里香、本氏针茅与百里香、百里香与大针茅的高生态位重叠也恰恰说明了该草地群落虽然经过近 20 年的封育,但是为了取得更加优势的资源,它们之间的竞争仍然很激烈,整个群落的结构仍不稳定,将继续向本氏针茅群落演替,而铁杆蒿群落只是一个重要的过渡演替阶段。它可能是推动植被演替的驱动力。

参考文献

- [1] Sun H (孙 浩), Huang L-M (黄璐明), Huang L-Q (黄璐琦), et al. Study on medicinal plant allelopathy

- and soil sickness based on ecological niche. *China Journal of Chinese Materia Medica* (中国中药杂志), 2008, **33**(17): 2197–2200 (in Chinese)
- [2] Chesson P. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2003, **31**: 343–366
- [3] Zhang H (张红), Ma R-J (马瑞君), Wang N-L (王乃亮), et al. Allelopathic effects of different plants on the major weed *Ligularia sagitata* in alpine and cold grassland. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2006, **26**(11): 2307–2311 (in Chinese)
- [4] Wu J-R (吴锦容), Peng S-L (彭少麟). Allelopathy: “Novel Weapons” of exotic invasive plants. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(11): 3093–3097 (in Chinese)
- [5] Baldwin IT. Finally, proof of weapons of mass destruction. *Science: Signal Transduction Knowledge Environment*, 2003, **203**: PE42
- [6] Shi G-R (史刚荣), Ma C-C (马成仓). Biological characteristics of alien plants successful invasion. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(4): 727–732 (in Chinese)
- [7] Wang D-L (王大力). Review of allelopathy research of *Antibrosia* genus. *Chinese Journal of Ecology* (生态学报), 1995, **14**(4): 48–53 (in Chinese)
- [8] Rice EL. Allelopathy. Orlando: Academic Press, 1984
- [9] Kong C-H (孔垂华), Hu F (胡飞). Allelopathy and Its Application. Beijing: China Agriculture Press, 2002 (in Chinese)
- [10] Ou Q-M (欧巧明), Chen Y-L (陈玉梁), Ma L-R (马丽荣), et al. A study on crop-weed allelopathy and its relationships based on niche theory. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2010, **19**(2): 235–240 (in Chinese)
- [11] Peng S-L (彭少麟), Shao H (邵华). Research significance and foreground of allelopathy. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, **12**(5): 780–786 (in Chinese)
- [12] Management office of Yunwu Mountain Natural Grassland Conservation Area in Ningxia (宁夏云雾山草原自然保护区管理处). Collected Works of Scientific Investigation and Management in Yunwu Mountain Natural Grassland Conservation Area in Ningxia. Yinchuan: Ningxia People's Press, 2001 (in Chinese)
- [13] Yu S-X (余世孝). Introduction of Mathematical Ecology. Beijing: Science and Technology Documentary Press, 1995: 23–67 (in Chinese)
- [14] Levins R. Evolution in Changing Environments: Some Theoretical Explorations. Princeton: Princeton University Press, 1968
- [15] Pianka ER. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1973, **4**: 53–74
- [16] Williamson GB, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, **14**: 181–187
- [17] Wu D-L (吴东丽), Zhang J-T (张金屯), Wang C-Y (王春乙), et al. Niche characteristic of dominant species in the national protected plant, *Glycine soja* Sieb. et Zucc. community. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2009, **17**(2): 166–173 (in Chinese)
- [18] Cheng J-M (程积民), Wan H-E (万惠娥). Vegetation Construction & Soil and Water Conservation in the Loess Plateau. Beijing: China Forestry Press, 2002 (in Chinese)
- [19] Jia X-N (贾晓妮), Cheng J-M (程积民), Wan H-E (万惠娥). Change of species diversity on typical *Stipa bungeana* community restoration and succession in the Yunwu Mountain. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2008, **17**(4): 12–18 (in Chinese)
- [20] Zhang L (张雷). Study on Population Characteristics and Ecological Adaptability of *Artemisia sacrorum* Ledeb. in Junger Loess Hill-Gully Region. Master Thesis. Huhhot: Inner Mongolia University, 2009 (in Chinese)
- [21] Zhou M-H (周梦华), Cheng J-M (程积民), Wan H-E (万惠娥), et al. Distribution characteristics of the root system of the *Stipa bungeana* Trin. community in Yunwu Mountain. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2008, **16**(3): 267–271 (in Chinese)
- [22] Zhang N (张娜), Liang Y-M (梁一民). Comparative studies on below-ground growth and its relationship with soil moisture of two kinds of natural grassland in loess hilly region. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 1999, **19**(4): 699–706 (in Chinese)
- [23] Zhang J-Y (张继义), Zhao H-L (赵哈林), Zhang T-H (张铜会), et al. Niche dynamics of main populations of plants communities in the restoring succession process in Horqin Sandy Land. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(12): 2741–2746 (in Chinese)

作者简介 王辉男, 1986年生, 硕士研究生. 主要从事土壤化学和草原生态研究. E-mail: lwcq306@yahoo.com.cn

责任编辑 李凤琴