

## 干旱气候对白羊草群落地下部生长影响的初步观察\*

张娜<sup>1\*</sup> 梁一民<sup>2</sup><sup>(1)</sup>中国科学院研究生院地学部,北京 100039; <sup>(2)</sup>中国科学院水土保持研究所,杨凌 712100)

**【摘要】** 对大旱之年白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)群落地下部的生长状况与1991平水年该群落地下部的生长状况进行比较,以反映干旱气候对白羊草群落地下部生长的影响.结果表明,极旱年地下生物量的峰值达到 $1249\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比平水年峰值 $586\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 高1倍多.在极旱年或旱季根系主要集中在分布的层次下移,而在平水年或雨季则上移.极旱年群落地下生物量的周转值为52.64%,显著高于平水年时的周转值18.36%.极旱年群落的地下生物量与地上生物量在生长中后期互为消长关系,而平水年两者在生长季同时增加,基本呈直线关系.极旱年群落的地下生物量与地上生物量比为11.19,显著高于平水年时的比值2.03.极旱年群落的地下净初级生产量为 $390.7\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{年}^{-1}$ ,比平水年时的生产量 $107.6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{年}^{-1}$ 高2.63倍.

**关键词** 干旱气候 白羊草群落 根系 生物量

文章编号 1001-9332(2002)07-0827-06 中图分类号 S543.9 文献标识码 A

**Effect of arid climate on underground growth of *Bothriochloa ischaemum* community.** ZHANG Na<sup>1</sup>, LIANG Yimi<sup>2</sup>(<sup>1</sup>Department of Geoscience, Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039; <sup>2</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(7): 827~ 832.

The underground growth of *Bothriochloa ischaemum* community in extremely arid year were compared with that of the community in 1991 with normal precipitation, and hence, could reflect the effect of drought on underground growth of *Bothriochloa ischaemum* community. The results indicated that the peak value of underground biomass reached  $1249\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  in extremely arid year, higher than that in normal year ( $586\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Most roots distributed downwards in extremely arid year or arid seasons, and distributed upwards in normal year or rain seasons. The turnover rate of underground biomass in extremely arid year was 52.64%, significantly higher than that in normal year (18.36%). In extremely arid year, underground part and aboveground part competed with each other at the middle and later stage of growth, however, in normal year, they increased simultaneously presenting beeline correlativity on the whole. The biomass ratio of underground to aboveground in extremely arid year was 11.19 and significantly higher than that in normal year (2.03). Net underground primary production in extremely arid year was  $390.7\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$  and 2.63 times higher than that in normal year.

**Key words** Arid climate, *Bothriochloa ischaemum* community, Root system, Biomass.

## 1 引言

众所周知,在干旱和半干旱的黄土丘陵区,水分是限制天然草地植物生长的重要因素.有关干旱气候对天然草地群落结构和地上部生长影响的研究已有一些报道<sup>[14,15]</sup>,但对其地下部生长影响的研究还很少.1997年我们在中国科学院安塞生态系统定位站对白羊草群落在大旱之年地下部的生长状况进行了初步观测,包括地下生物量的季节变化规律、垂直分布规律、周转值、地上部生长对地下生物量的影响及地下净初生产量,并将其结果与1991平水年孙力安<sup>[12]</sup>对同一群落的研究进行比较,以反映干旱气候对群落地下部生长的影响.

## 2 研究地区与方法

## 2.1 试验区 and 样地概况

安塞试验区位于陕西省延安地区安塞县真武洞镇,属黄

土丘陵沟壑区第二副区,位于 $109^{\circ}13'33''\text{E}$ , $36^{\circ}41'49''\text{N}$ .年平均气温 $8.8^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量 $531.4\text{mm}$ ,1997年为 $284.7\text{mm}$ .年际间降水量差异极大,年内分布也不均,7、8、9月降雨量占年降水量的60%~80%,且多暴雨.平均水面蒸发量 $1800\sim 2200\text{mm}$ ,为降水量的3~5倍,一般为4~5倍.境内地形破碎,梁峁起伏.地带性土壤为黑垆土,因长期侵蚀而流失,现仅零星分布,主要土壤类型为黄绵土,占总面积的77.1%.水土流失严重.植被属暖温带落叶阔叶林区向暖温带草原区的过渡带——森林草原区.灌木呈零星分布,形成以中旱生草本植物群落占绝对优势的植被,天然森林已全遭破坏.荒坡主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、芨芨蒿(*Artemisia giraldii*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza dahurica*)、菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)等组成的处于不同演替阶

\* 国家“九五”科技攻关项目(96040504).

\*\* 通讯联系人.

2000-10-15收稿,2001-09-28接受.

段的草灌植物群落. 多数荒坡因过牧成为退化草地.

进行观测的白羊草群落位于梁卯半阳坡, 坡向 SW 20°, 海拔 974m. 草地不同部位的坡度不一致, 平均为 31°, 有几条羊肠小道. 土壤为红胶土, 质地中粘; 土层中多料姜石, 土壤硬实、干燥.

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 地下生物量的测定

从 4 月 10 日牧草返青时开始调查和测定, 每一个半月一次, 直至生长季末(11 月上旬), 共测 6 次. 地下生物量与地上生物量同时测定, 采用直径为 9cm 的土钻取样. 每次取样时在地上部收割后的地方打钻, 分 0~15、15~30、30~50 和 50~70cm 4 层, 共打 9 钻. 样品按层装入布袋中, 带回室内进行冲洗. 样品的分离采用一套快速冲洗技术, 由自来水管、两个带溢流槽的桶和两个不同孔径(0.5mm, 1mm)的筛子组成. 冲洗后用镊子将根系从两个筛子中挑出, 分层装入纸袋中. 在 80℃ 恒温下经 12h 烘至恒重, 然后在电子天平(精度达 0.01)上称其干重.

需说明的是, 由于试验区沟壑纵横, 地形破碎, 而且受自然条件(如干旱、暴雨)和人为条件(如过度放牧等)的影响, 水土流失现象十分严重, 除较平坦的塬面面积较大以外, 梁卯坡的面积一般很小, 要取到大面积且具有代表性的天然草地很难, 故所选样地面积比较小. 另外, 本文将对极旱的 1997 年和平水的 1991 年该草地的地下生物量状况进行对比研究. 1991 年孙力安研究该草地时分别采用 5、7 和 9cm 直径的土钻取不同个数的土样, 发现用 9cm 的土钻取 9~10 个样方的方法既方便又准确<sup>[12]</sup>. 本文采用了这一研究结果, 同时也是为了更好地进行比较.

### 2.2.2 土壤水分的测定

沿样地的对角线等距选取坡上、坡中和坡下各一处, 用直径为 5cm 的土钻取土样. 每 20cm 一层, 深至 120cm, 3 次重复. 称湿重后在 105℃ 下烘干 10h 至恒重, 称其干重. 最后计算干土重的土壤水分含量: (湿土重 - 干土重) / 干土重 × 100%.

## 3 结果与分析

### 3.1 草地土壤水分状况

1997 年是本区有记录的 40 年以来最干旱的一年, 总降水量为 284.7mm, 大大低于多年的平均水平(531.4mm), 其中 6~9 月的降水量仅为 195.2mm. 1991 年总降水量为 544.6mm, 与多年平均水平基本持平, 其中 6~9 月的降水量为 304.9mm. 总的来说, 除 1997 年 7 月的降雨量略高于 1991 年外, 其它各月的降水量均较 1991 年低, 尤其 5、6 月春夏之交时(图 1). 在此, 以多年平均降水量为标准, 将降水量差额在 ±10% 平均量以内的年份定为平水年, 差额 > +10% 或 < -10% 平均量的年份分别定为丰水年和旱水年<sup>[11]</sup>. 1997 年降水量与多年平均降水量的差额为 -46.4% 多年平均降水量, 可将 1997 年视为极旱年, 而 1991 年为平水年.

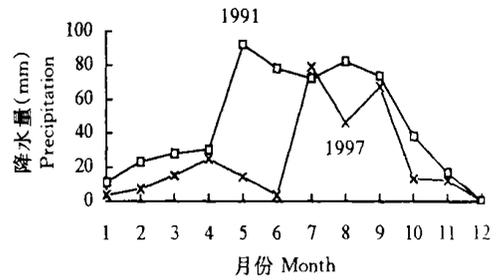


图 1 1991 年和 1997 年安塞降水量的季节变化

Fig. 1 Seasonal variations of precipitation at Ansa region in 1991 and 1997.

受降水的控制, 土壤含水量在同一年份表现出明显的季节变化规律. 本次试验测定了植物生长季(4~11月)0~120cm 土层土壤水分的状况, 将测得数据列表 1. 总的来说, 各层次在整个生长季土壤水分含量均低于凋萎湿度(16.6%, 1.2m 土层内约 230.6mm<sup>[8]</sup>), 连 8 月上旬含水量最大的活跃层也不例外, 说明在极端干旱年份, 白羊草草地土壤始终处于水分严重亏缺状态, 供水能力很差.

表 1 白羊草草地 0~120cm 土层含水量的季节变化(1997 年)(%)  
Table 1 Seasonal variations of soil moisture contents within 0~120 cm soil layer on *Bothriochloa ischaemum* grassland (1997)

层次(cm) Soil layer	日期 Date						平均 Mean	标准差 SD
	4.3	5.20	7.2	8.8	9.26	11.5		
0~20	5.1	3.7	3.6	14.6	13.9	4.7	7.6	2.12
20~40	8.7	5.9	6.1	6.2	7.9	6.1	6.8	0.48
40~60	10.0	7.0	7.3	6.4	5.9	7.2	7.3	0.59
60~80	11.2	8.2	8.6	8.0	7.5	8.4	8.7	0.54
80~100	11.4	9.6	9.4	9.3	8.4	8.7	9.5	0.44
100~120	12.2	10.0	9.5	-	9.9	8.6	10.1	0.59
平均 Mean	9.8	7.3	6.7	8.4	8.5	7.2	8.0	
剖面梯度 Profile gradient	+5.7	+4.4	+4.6	-7.2	-6.0	+3.1	+0.9	

与之相对照的是 1991 年该草地的土壤水分状况. 由图 2 可见, 1991 年该草地土壤含水量的季节变化与极旱的 1997 年很不同. 1991 年该草地土壤水分变化的活跃层在 0~60cm 土层中, 比 1997 年要深得多, 说明降水量越大, 受降水入渗和植物蒸腾影响较大的层次也越深. 在整个生长季, 土壤含水量均接近或远远超过田间稳定湿度(22.1%, 1.2m 土层内约 307.0mm<sup>[8]</sup>); 其中 4、5、6 月的土壤含水量接近或超过凋萎湿度, 2m 深的土壤中有将近 90mm 的有效水可供植物利用, 但在 6 月底以后土壤含水量均低于凋萎湿度, 土壤处于水分亏缺状态<sup>[16]</sup>.

### 3.2 群落地下生物量的季节变化

白羊草群落地下生物量与地上生物量的变化趋势相似, 在生长季内有两次明显的增值和减值过程(表 2). 第一个峰值出现在 5 月中下旬, 与地上生物量的第一个峰期(5 月下旬)接近. 在此之前气温和

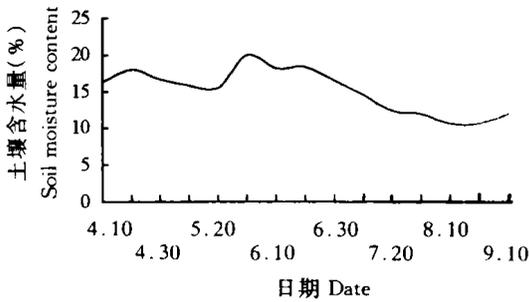


图2 白羊草草地土壤含水量的季节变化(1991年)

Fig. 2 Seasonal variation of soil moisture content of *Bothriochloa ischaemum* grassland (1991).

土壤水分回升快, 幼苗生长发育较快, 地上生物量增加迅速, 植物光合产物向地下部反馈的结果使得地下生物量以  $4.68\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  的速率增加, 到5月中旬时已达  $1040.6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ . 同时土壤湿润会降低土壤强度, 从而促进根系发育, 并提高矿质营养的有效性. 可见, 此期间的内外条件都有利于地下部生长.

在随后的干旱期, 地下生物量以  $2.87\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  的速率下降, 而地上生物量只略有下降. 7月雨热同期的到来使恢复能力很强的白羊草地上生物量以最高的速率增加, 光合产物的消耗远远大于生产, 根系不仅得不到地上部运输的光合产物, 而且地上部还需利用地下贮藏器官贮存的营养物质, 从而导致地下生物量呈下降趋势. 尽管是在水热条件较好的7、8月份, 地上部的生殖生长对地下部的贮藏物质仍有很大的依赖性. 因之出现了地上部旺盛生长, 地下生物量反而以  $8.71\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  的最大速率降低的格局. 可见地下部生长与地上部生长的竞争是十分激烈的. 地下生物量下降维持的时间较短, 到7月底8月初就达到最低值(略低于  $590\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), 接近于地上生物量的第二个峰期(8月中旬).

在此之后, 由于地上部植物旺盛生长期结束, 光合作用形成的有机物开始向地下转移, 根系贮藏物质增加, 使得地下生物量呈上升趋势, 生长速率达全生长季最高( $13.42\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ), 到9月底10月初时达最高峰值(略高于  $1248.9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ). 随着地上部生长逐渐停滞, 向地下输送的光合产物越来越少, 加上根系因呼吸、枯萎、腐烂、分解等不断损失, 地下生物量又开始下降.

这与孙力安<sup>[12]</sup>在1991年的研究结果不同, 他用以下方程来拟合白羊草群落地下生物量的季节动态(表3):

$$y = 450.9 + 19.3x - 1.02x^2 + 0.0155x^3$$

$$(R = 0.844)$$

表2和表3可清楚地反映气候条件对白羊草群落地下生物量的影响. 在平水年, 地下生物量在7月

20日达到峰值前持续增加, 并没有出现极旱年生物量显著下降的情况. 极旱年地下生物量的峰值达到  $1249\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ , 比平水年峰值  $586\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  高1倍多, 而且峰期比平水年推迟了两个多月.

表2 白羊草群落生物量的季节变化(1997年)

Table 2 Seasonal variations of biomass of *Bothriochloa ischaemum* community (1997)

类型 Type	层次 Soil layer (cm)	日期 Date						平均 Mean
		4.10	5.19	7.6	8.7	9.25	11.4	
BEB	0~15	636.6	699.5	525.8	358.3	667.1	628.8	586.0
		(%)	74.17	67.22	60.44	60.58	53.42	56.87
BEB	15~30	147.8	183.9	165.7	151.8	274.5	216.0	189.9
		(%)	17.22	17.67	19.04	25.67	21.98	19.53
BEB	30~50	59.7	127.3	144.6	66.0	274.9	232.3	150.8
		(%)	6.96	12.24	16.62	11.16	22.01	21.01
BEB	50~70	14.2	29.9	34.0	15.3	32.4	28.6	25.7
		(%)	1.65	2.87	3.90	2.59	2.59	2.59
BEB	总 Total	858.2	1040.6	870.1	591.4	1248.9	1105.7	921.8
AGR of BEB		4.68	-2.87	-8.71	13.42	-3.58		
( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )								
RGR of BEB		0.0049	-0.0031	-0.0121	0.0153	-0.0030		
( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )								
ABB( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )		16.9	46.1	36.0	78.1	70.2	49.7	-
BEB/ABB		50.72	21.92	24.16	7.58	17.80	22.26	-

AGR: 绝对增长速率 Absolute growth rate, RGR: 相对增长速率 Relative growth rate; BEB: 地下生物量 Below-ground biomass( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), ABB: 地上生物量 Above-ground biomass( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), 下同 The same below.

表3 白羊草群落生物量的季节变化(1991年)

Table 3 Seasonal variations of biomass of *Bothriochloa ischaemum* community (1991)

日期 Date	ABB ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	BEB ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	AGR of BEB ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )	RGR of BEB ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )	BEB/ABB	总生物量 Total biomass ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )
4.10	-	478.5	-	-	-	478.5
4.20	-	489.5	1.10	0.0023	-	489.5
4.30	18.8	494.4	0.49	0.0010	26.30	513.2
5.10	25.7	499.2	0.48	0.0010	19.42	524.9
5.20	49.5	517.6	1.84	0.0036	10.46	567.1
5.30	69.9	520.5	0.29	0.00056	7.45	590.3
6.10	106.5	531.2	1.07	0.0020	4.99	637.7
6.20	148.2	559.4	2.82	0.0052	3.77	707.6
6.30	183.3	577.7	1.83	0.0032	3.15	761.0
7.10	192.1	579.8	0.21	0.00036	3.02	771.9
7.20	220.4	586.1	0.63	0.0011	2.66	806.4
7.30	237.8	561.0	-2.51	-0.0044	2.36	798.6
8.10	257.3	558.1	-0.29	-0.00052	2.17	815.7
8.20	260.7	564.3	0.62	0.0011	2.16	825.0
8.30	266.3	565.3	0.10	0.00018	2.12	831.5
9.10	274.9	556.7	-0.86	-0.0015	2.03	831.6
10.20	-	554.2	-0.063	-0.00011	-	-

极旱年地下生物量的最大增长速率出现在8月上旬至9月下旬, 其值达到  $13.42\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , 显著高于平水年出现在6月10~20日的最高值  $2.82\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ; 极旱年地下生物量的最低增长速率出现在6月底7月初至8月上旬, 其值达到  $-8.70\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , 显著低于平水年出现在7月20~30日的最低值  $-2.51\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . 可见, 极旱年地下生物量的季节波动幅度很大, 其变异系数为0.242; 平水年地下生物量的季节波动幅度则小得多, 其变异系

数仅为 0.064.

### 3.3 群落地下生物量的周转值

地下生物量的周转值 (turnover rate) 是 Dahlmann<sup>[4]</sup> 等首倡的概念, 用以描述生态系统地下生物量的更新速度. 其值可由下式求得:  $TR = AI / BBP$ , 式中,  $TR$  为周转;  $AI$  为地下生物量年增量;  $BBP$  为地下生物量最大值. 据此, 0~15、15~30、30~50 和 50~70cm 各土层及总地下生物量的周转值分别为 48.78%、46.17%、78.27%、58.32% 和 52.64%, 显著高于 1991 年该群落地下生物量的周转值 18.36%. 一般来说, 立地条件差的群落地下生物量周转值大, 反之则小.

白羊草群落不同层次地下生物量的周转值是波动变化的, 不呈递减或递增趋势, 与常年的研究结果不同<sup>[9]</sup>. 较深土层地下生物量的周转值在中层波动下降后又有所回升, 这是植物对极旱气候条件的反应. 在干旱地区或受较长时间干旱影响地区, 表层土壤含水量急剧下降, 而较深层却保留了较多的水分. 水分是营养物质运输的载体, 这样地上部的生长较多依赖较深层根系的贮藏.

### 3.4 群落地上部生长对地下生物量的影响

**3.4.1 群落地上生物量与地下生物量的关系** 上述分析表明, 在整个生长过程中地上生长与地下生长相辅相成, 息息相关, 既互相依存, 又互相竞争, 构成一个比例协调且与环境条件相适应的有机整体. 早春地下生物量和地上生物量同时增加, 只不过前者的相对生长速率较后者小. 在地上生物量的第一峰期附近地下生物量达到第一峰值. 之后, 无论是在干旱期还是在雨期, 由于地上部逐渐进入生殖期, 光合产物供不应求, 地下生物量显著降低, 在接近地上生物量最高峰值出现的时期 (生长天数约 125d) 降到最低值. 这是地上部生长与地下部生长关系的转折期, 此前地上部生长基本大于地下部生长, 此后地下部生长大于地上部生长. 随着地上部生长衰退, 光合产物向地下转移, 地下生物量又大幅度上升. 当地上部生长完全停滞时, 地下生物量达到第二个峰值. 总之, 在生长季末两者同时增长和衰退, 在生长中后期两者互为消长关系. 其变化过程见图 3a.

可以利用地上部和地下部的这种关系, 通过测定地上部生长指标, 如地上生物量、群落高度和盖度等来估计地下生物量. 由实测数据反映出的这一变化过程可用函数关系式来描述:

$$y = 0.509 \cdot x^{0.190} \cdot 0.775^C \cdot c^{3.977} \\ (R = 0.990, F = 31.323, P = 0.0310^*)$$

这里  $y$  为地下生物量 ( $g \cdot m^{-2}$ ),  $x$  为地上生物量 ( $g \cdot m^{-2}$ ),  $c$  为群落盖度 (%). 此方程的模拟率很高, 是估测地下生物量的一种便利途径. 但它是在极旱气候条件下得出的, 由于同一群落地上和地下生物量受年际间水热状况差异的影响很大, 它们还应用不同年份的资料进一步完善. 比如在平水的 1991 年地下生物量和地上部生长的关系可用以下方程来描述:

$$y = 503.64 + 0.27x (R = 0.85)$$

这里  $y$  为地上生物量 ( $g \cdot m^{-2}$ ),  $x$  为地上生物量 ( $g \cdot m^{-2}$ ). 其变化过程见图 3b. 可见, 平水年地下生物量与地上生物量在生长季同时增加, 地上部生长速度快, 其生长节律早于地下部. 进一步分析表明, 地上部生长与地下部生长关系的转折期是生长天数约 100d (7月20日) 时, 此前地上部生长速率大于地下部生长速率, 此后地下部生长速率大于地上部生长速率. 该期的出现比极旱年提前约 25d. 相关分析表明, 在极旱年白羊草群落的地上生物量与地下生物量呈不显著正相关, 相关系数为 0.23; 而在平水年两者呈极显著正相关, 相关系数为 0.85.

**3.4.2 群落地下与地上生物量比** 由表 2 可见, 1997 极旱年白羊草群落地下与地上生物量比的季节变化呈上下波动趋势, 在 7.58 ~ 50.72 之间变动. 一般越近于生长季始、末, 其值越大. 6 月土壤水分含量最低时, 该比值略有上升, 说明极干旱季节土壤水分对白羊草群落地上部生长的限制更大. 随着雨季土壤含水量的回升, 该比值迅速降低. 9 月上旬地上生物量达峰值后, 地下部生长开始大于地上部生长, 该比值显著上升. 这与朱志诚等<sup>[17]</sup> 的研究结果相似. 而 1991 平水年该群落地下与地上生物量比的季节变化则呈明显递减趋势, 在 2.03 ~ 26.30 之间变动 (表 3). 相关分析表明, 在极旱年白羊草群落的地下与地上生物量比与降水量平方根和土壤含水量的累加值均呈显著负相关, 相关系数分别为 -0.7778 和 -0.7900. 在平水年该群落的地下与地上生物量比与它们也均呈显著负相关, 相关系数分别为 -0.750 和 -0.808. 可见, 不论群落水分条件好或差, 该比值与水分因子的负相关性均较强.

若以地上生物量达极大值时的地下与地上生物量比作为群落的特征值, 则在极旱年白羊草群落的该特征值为 11.19, 而在 1991 平水年则为 2.03; 地下净初级生产量与地上净初级生产量的比值在极旱年为 4.67, 而在 1991 平水年则为 0.755. 看来同一群落不同年份因水分条件的差异, 这些比值也表现

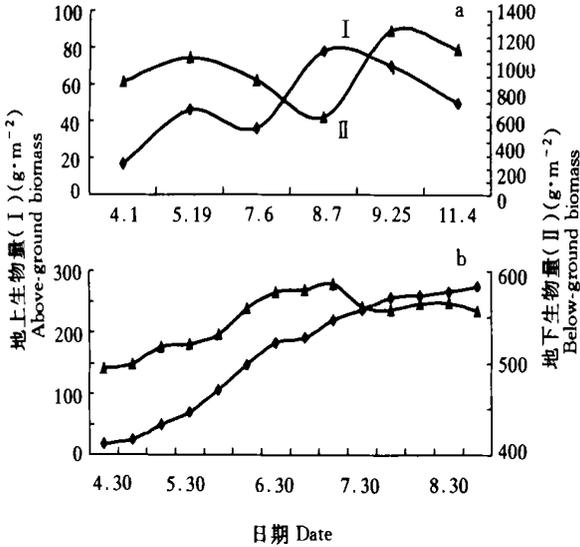


图3 白羊草群落地下生物量与地上生物量的关系  
 Fig. 3 Relationship between below-ground and above-ground biomass of *Bothriochloa ischaemum* community.  
 a) 1997年, b) 1991年.

出很大的差异. 1997年白羊草群落的地下与地上生物量比不仅较平水年时偏高, 而且与我国温带几个典型草地群落相比也偏高<sup>[2]</sup>, 这显然与该年气候极为干旱有关. 干旱能使该值增加, 这已为其他研究所证实<sup>[3, 13]</sup>.

### 3.5 群落地下生物量的垂直变化规律

白羊草群落地下生物量具有明显的垂直结构, 呈倒金字塔形, 上宽下窄. 地下生物量的季节变化随土层深度不同, 而0~15cm土层中生物量的变化趋势很大程度上决定了总地下生物量的变化趋势. 经回归得不同时期地下生物量随土层深度变化的方程, 其函数关系一般为  $y = a + b/x$  或  $y = a + b \ln x$  (其中,  $y$  为地下生物量,  $x$  为土层深度), 相关系数  $R \geq 0.962$  (表4). 1991平水年时对8月30日地下生物量垂直分布的研究表明, 地下生物量随土层深度变化的方程为:  $y = 11.59e^{36.71/x}$  ( $R = 0.987$ ), 可见, 不同降水年份群落地下生物量随深度分布的规

表4 白羊草群落地下生物量与土层深度之间的回归关系(1997年)  
 Table 4 Regression of below-ground biomass of *Bothriochloa ischaemum* community and soil layer depth (1997)

日期 Date	回归方程 Regression equation	R	F	P
4.1	BEB= - 78.895+ 5348.968/ X	0.999	2946.37	0.00034*
5.19	BEB= - 45.660+ 5574.257/ X	0.997	303.15	0.00328**
7.6	BEB= 1.557+ 3936.410/ X	0.988	83.07	0.01183**
8.7	BEB= 686.210- 166.780ln X	0.997	294.69	0.00338**
9.25	BEB= 1216.667- 280.196ln X	0.963	251.77	0.03669*
11.4	BEB= 27.737+ 4532.957/ X	0.962	25.13	0.03757*

X: 土层深度, Soil layer depth (cm).

律性是一致的, 两者基本呈显著负相关.

7月上旬雨季前白羊草群落0~15cm土层的根量大大高于其它各层; 0~30cm土层根量的降低速率最大, 该层根量占总根量的79.48%, 是根系集中分布的层次. 与前两次的测定比较, 0~30cm土层根量所占比例依次减小, 分别为91.39%、84.89%和79.48%, 说明雨季开始前根系集中分布的层次下移.

雨季后一个月(8月上旬)白羊草群落根量随土层加深下降非常显著, 各层根量的差异很大, 从358.3g·m<sup>-2</sup>急减到15.3g·m<sup>-2</sup>. 0~30cm土层根量的降低速率最大, 该层根量占总根量的86.25%, 是根系集中分布的层次, 较上次测定的结果(79.48%)高, 说明雨季开始后一个月根系主要集中在分布的层次上移.

植物根系生长发育动态及形态特征是由生物学特性和环境因素共同作用的结果. 建群种白羊草为短根茎状, 须根性禾草, 因而其根系分布较浅. 同时, 在天然草地上, 水分条件变化常常导致根系生长、分布的差异, 而根系的生长和分布会根据土壤水分供应状况做出综合适应性反应, 适应性程度取决于植物种类、发育阶段、土壤条件和大气蒸发力等. 这种求生适应性机制能够成为进行调控的基础.

白羊草群落的土壤为坚硬的红胶土, 且多有料姜石, 土壤强度极大, 一般植物很难下扎生长, 遇上干旱, 更为坚硬. 但测定结果表明, 在极端干旱条件下, 根系集中分布的层次下移. 通过与1991平水年在该草地的测定结果(0~30cm土层根量占总根量的90%左右)进行比较, 也能得出同样的结论. 由土壤水分状况可见, 60cm土层以下的含水量超过8.6%. 虽然土壤表层干旱, 但深层仍有较多水分, 这时根系偏重于垂向伸展, 分布一般较深而密, 这是耐旱植物对极端干旱的一种抗逆反应. 在大旱之后的雨季表层土壤水分含量上升, 根系适应土壤水分的变化多向水平方向发展, 分布得较浅而广.

### 3.6 群落地下净初级生产量

用分差法即从地下根系最高生物量中减去返青期根系生物量来计算地下净初级生产量(NUPP). 极旱年白羊草群落地下净初级生产量为390.7g·m<sup>-2</sup>·年<sup>-1</sup>, 而在平水年则为107.6g·m<sup>-2</sup>·年<sup>-1</sup>, 较前者低2.63倍. 可见, 与地下生物量峰值相同, 地下净初级生产量在干旱条件下也有显著增大的趋势.

## 4 结 论

### 4.1 极旱年白羊草群落地下生物量的峰值达到

1249g·m<sup>-2</sup>, 比平水年峰值 586g·m<sup>-2</sup>高 1 倍多, 而且峰期比平水年推迟了两个多月. 极旱年地下生物量在达到峰值前有显著下降趋势, 而在平水年则持续增加.

4.2 极旱年白羊草群落地下生物量的周转值为 52.64%, 显著高于平水年时的周转值 18.36%.

4.3 极旱年白羊草群落的地下生物量与地上生物量在生长季始、末同时增加和减小, 在生长中后期两者互为消长关系, 而平水年两者在生长季同时增加, 基本呈直线关系. 极旱年白羊草群落的地下与地上生物量比为 11.19, 显著高于平水年时的比值 2.03.

4.4 极旱年和平水年白羊草群落的地下生物量与土层深度都有很高的负相关性. 在极旱年或旱季根系主要集中分布的层次下移, 而在平水年或雨季则上移.

4.5 极旱年白羊草群落的地下净初级生产量为 390.7g·m<sup>-2</sup>·年<sup>-1</sup>, 比平水年时的生产量 107.6g·m<sup>-2</sup>·年<sup>-1</sup>高 2.63 倍.

#### 参考文献

- 1 Aerts R, Boot RCA, *et al.* 1991. The relation between above and below ground biomass allocation patterns and competitive ability. *Oecologia*, **87**: 551~ 559
- 2 Chen A R(陈安仁). 1984. Studies on *Bothriochloa ischaemum* community and its productivity. *China Grass Land*(中国草原), **4**(3): 74~ 79(in Chinese)
- 3 Coupland RT. 1979. Grassland Ecosystems of the World: Analysis of Grasslands and Their Uses(part 2: Natural Temperate Grasslands). Cambridge: Cambridge University Press. IBP vol. 18
- 4 Dahlman RD and Kucera CL. 1965. Root productivity and turnover in native prairie. *Ecology*, **46**(1): 84~ 89
- 5 Feng G L(冯广龙), Liu M-M(刘昌明), *et al.* 1996. Roles of soil water in regulating root growth and distribution. *Eur Agric Res*(生态农业研究), **4**(3): 5~ 9(in Chinese)
- 6 Grassland Ecosystem Station in Inner Mongolia, Chinese Academy of Sciences. 1985. Grassland Ecosystem Study I. Beijing: Science Press. 17(in Chinese)
- 7 Han S F(韩仕峰), Huang X(黄旭). 1993. Relationship between soil water utilization and ecological environment in the Loess plateau. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **12**(1): 25~ 28(in Chinese)
- 8 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources. 1990. Nature resources and soil and water conservation of Xingzi watershed in Loess plateau. Xian: Shaanxi Science and Technology Press. 145(in Chinese)
- 9 Liu Y L(刘友良). 1992. Plant Physiology in Adverse Water Conditions. Beijing: Agricultural Press. 34(in Chinese)
- 10 Ma K-P(马克平), Zhou R-Ch(周瑞昌), *et al.* 1992. The formation pattern of below ground biomass of *Calamagrostis angustifolia* meadow. *Pratacult Sci*(草业科学), **9**(2): 24~ 33(in Chinese)
- 11 Resource Environment Science Bureau of Chinese Academy of Sciences. 1992. Integrated Management and Development of Watersheds in Loess Plateau. Beijing: Science and Technology Literature Press. 578~ 579(in Chinese)
- 12 Sun L-A(孙力安). 1992. Studies on seasonal variations of below-ground biomass of *Bothriochloa ischaemum* community in Loess hilly region (Thesis). Yanling, Shaanxi: Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources(in Chinese)
- 13 Van der Maarel E, Titlyanova A. 1989. Above ground and below-ground biomass relations in steppes under different grazing conditions. *Oikos*, **56**: 364~ 370
- 14 Wang Y-F(王义凤), Jiang S(姜恕). 1982. Effect of arid climate on community structure and aboveground biomass of *Stipa grandis* steppe. *Phytoecol et Geobot Sin*(植物生态学与地植物学丛刊), **6**(4): 333~ 338(in Chinese)
- 15 Yang D-L(杨殿林), Zhang Z-H(张志海). 1992. Relationship between aboveground biomass and water and heat conditions in Hulunbeier grassland. *Inner Mongolia Grass*(内蒙古草原), **6**(3): 25~ 27(in Chinese)
- 16 Zhang N(张娜), Liang Y-M(梁一民). 2000. The effect of arid climate on the structure and above ground growth of *Bothriochloa ischaemum* community. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **20**(6): 965~ 966(in Chinese)
- 17 Zhou Z-C(朱志诚), Jia D-L(贾东林). 1992. Preliminary studies on the biomass of *Bothriochloa ischaemum* community of Loess plateau in north Shaanxi Province. *Acta Bot Sin*(植物学报), **34**(10): 806~ 808(in Chinese)

---

作者简介 张娜, 女, 1973年生, 生态学博士, 讲师, 主要从事景观生态学的教学和科研工作, 已发表论文 5 篇. E-mail: zn@earth.gscas.ac.cn

---