

高寒矮嵩草草甸植物类群对模拟降水和施氮的响应

沈振西¹ 周兴民¹ 陈佐忠² 周华坤¹

(1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001) (2 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要 研究了青藏高原高寒矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸植物类群对模拟夏季增减雨量、冬春增雪以及增施氮肥下的响应。结果表明: 1999年模拟减少降雨20%~40%和增加雨量20%~40%下禾草类、杂类草和莎草类的综合优势比(SDR)和地上生物量变化均不显著。冬春增雪100%有利于禾草类夏季的生长, 冬春增雪对植物类群的影响大于夏季雨量的增加。夏季增施氮150 kg · hm⁻²和增施氮300 kg · hm⁻²禾草类的盖度比、高度比、SDR和地上生物量明显增大, 而杂类草的盖度比和高度比、SDR及地上生物量在施氮300 kg · hm⁻²下显著减低, 在施氮150 kg · hm⁻²水平上禾草类的生物量的增加与杂类草生物量的降低存在相互补偿的作用机制。在水分资源不利的(如减少雨量)的干扰下, 其敏感性表现为杂类草大于禾草类, 莎草类最小。莎草类植物对各种处理下响应不敏感, 也说明它对资源环境的波动有很强的适应性。缺水年(1999年)模拟增加雨量20%~40%的条件下, 可缓解降水量减少的影响, 相反模拟减少雨量20%~40%会增强干旱的影响程度。

关键词 矮嵩草草甸 模拟降水 施肥 综合优势比(SDR) 地上生物量

RESPONSE OF PLANT GROUPS TO SIMULATED RAINFALL AND NITROGEN SUPPLY IN ALPINE *KOBRESIA HUMILIS* MEADOW

SHEN Zhen-Xi¹ ZHOU Xing-Min¹ CHEN Zuo-Zhong² and ZHOU Hua-Kun¹

(1 Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

(2 Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract The response of different plant groups to simulated rainfall changes in summer, increased snow in winter and spring, and nitrogen fertilization application in late June were studied in an alpine *Kobresia humilis* meadow in Qingzang plateau. The results indicated that the response of summed dominated ratio (SDR) and above-ground biomass in different plant groups were not significantly different with 20%~40% rainfall reduction or 20%~40% increased rainfall in 1999. A 100% increase in snow in winter and spring was more favorable to the growth of plant groups than were other rainfall treatments. Both a single late June application of 150 N kg · hm⁻² and 300 N kg · hm⁻² in soil increased the coverage ratio, height ratio and SDR of grasses. The coverage ratio, height ratio and SDR were significantly decreased at the strong N application (300 N kg · hm⁻²). There were obvious compensatory effects between grasses and forbs at the application of 150 N kg · hm⁻². The sensitivity of the three plant groups was quite different. Grasses were most, forbs were less and sedges were least sensitive to simulated rainfall and available N in the improved disturbing condition. Forbs were most, grasses were less, and sedges were least sensitive to simulated rainfall and available N in the undesirable disturbing condition. It seemed that sedges were most tolerant to fluctuation in environmental resources. Simulated rainfall increasing by 20%~40% could moderate the effect of lower precipitation in a water deficient year (1999), while rainfall decreased 20%~40% could intensify the effect of drought.

Key words Alpine *Kobresia humilis* meadow, Simulated rainfall, Fertilization, Summed dominated ratio (SDR), Above-ground biomass

青藏高原是全球气候变化最敏感的区域之一(张新时, 1993; 周广胜等, 1995; 李英年等, 1999), 在全球变暖的趋势下, 降水格局发生改变, 就某一地区而言降水的变化有很大的不确定性(IPCC, 1996)。CO₂和温度的增加, 土壤温度上升, 会影响土壤氮的矿化作用和有机质分解速率, 土壤中有效养分含量

的变化无疑会对整个生态系统的结构和功能产生影响(Berendse *et al.*, 1987; Agren *et al.*, 1991; Freeman, 1993; Coughenour & Chen, 1997)。

在模拟增温对生态系统影响方面国际冻原计划(ITEC)开展了一系列的研究工作(Arft *et al.*, 1999)。近年来通过模型模拟降水(Coughenour &

*

收稿日期: 2001-04-02 接受日期: 2001-08-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(G1998040814)、中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-1-07)和中国科学院海北站基金项目
E-mail: zxshen@mail.nwipb.ac.cn

Chen, 1997; Epstein *et al.*, 1999; Rupp *et al.*, 2000) 以及一些模拟降水控制实验 (Fay *et al.*, 2000; 肖春旺等, 2001; White *et al.*, 2000) 对植物种群、群落和生态系统方面的研究逐渐受到了重视。探讨全球气候变化下土壤有效养分改变对植物的影响已有不少报道 (Chapin III & Shaver, 1985; Harrison *et al.*, 1994; Bowman *et al.*, 1995; Theodose & Bowman, 1997; Samuel & Hart, 1998)。国内在草地施肥对牧草产量方面也开展一些研究 (张松林等, 1986; 鲍新奎等, 1989; 杨永辉等, 1997)。本研究通过野外控制实验, 探讨高寒草甸植物群落中不同类群植物群落特征及其地上生物量特征对模拟降水和增施氮肥的响应, 为全球变化下高寒草甸植被变化及其生产力模拟模型构造提供参数, 进而为青藏高原高寒草甸生态系统的科学管理以及防止草地退化等方面提供理论依据。

1 实验材料与方法

本实验在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行, 该地区的自然概况已有详细报道 (杨福国, 1982; 夏武平, 1988), 在此不再赘述。

1998年6月在该站的矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 草甸样区设置实验样地, 用铁丝网围栏围样地40 m × 40 m, 内设1.2 m × 1.2 m的随机排列的固定样方30个, 每个样方四周用防锈铁皮埋深30 cm, 露出地表10 cm以防止表层水分的径向流动。实验样地建在矮嵩草草甸上, 设立处理6个, 每个处理设4个重复。

1) 减少降雨20%~40%。在样方上设置高为1.5 m, 大小为1.5 m × 1.5 m的遮雨罩, 遮雨罩用铁皮焊接而成, 整个框架用三角铁制作, 框架四周距地表10 cm处用30 cm宽的铁皮环绕, 以尽量减少风吹进样方的雨量。每隔1夜罩两夜(下午20:00盖罩, 次日晨8:00打开罩, 不影响植物白天的光合作用), 1998年和1999年分别遮挡雨量107.9 mm和95.7 mm, 分别占1998年5~9月降雨量(384 mm)和1999年5~9月降雨量(255.2 mm)的28%和37.5%, 达到了处理要求。

2) 增加降雨20%和增加降雨40%: 在植物生长季内, 根据每天观测实际降雨量来计算样方内需添加的20%和40%的雨量, 在每次降雨后, 选择无雨天, 用撒水器将添加量均匀喷洒在样方内。

3) 增雪100%: 在降雪季节(主要是冬季和春季), 根据每次的降雪量计算样方内需添加的量, 在

无雪日往样方内添加雪或水(如雪当天已融化), 1998年10月至1999年5月降雪量为66.3 mm, 增加雪量100%, 即为132.6 mm。

4) 施氮150 kg · hm⁻²和300 kg · hm⁻²: 按照施氮量换算成样方所需的尿素量, 在每年6月中下旬水溶后均匀喷施到样方内。

1998年和1999年8月下旬测定不同植物的盖度、高度及地上生物量如下:

盖度和高度测定: 采用点测法测定50 cm × 50 cm样方内植物的分盖度并测量植株高度。根据计算不同植物种的盖度比、高度比和综合优势比 (SDR) (姜恕等, 1986) 的原理, 提出植物类群盖度比、高度比及 SDR 计算公式:

$$\text{类群盖度比} = (\text{该类群的总盖度}/\text{群落中总盖度最大的类群盖度}) \times 100\%$$

$$\text{类群高度比} = (\text{该类群的总高度}/\text{群落中总高度最大的类群高度}) \times 100\%$$

$$\text{类群 SDR} = ((\text{类群盖度比} + \text{类群高度比})/2) \times 100\%$$

类群的总盖度是将样方记录的各植物分盖度, 分别按禾草类、莎草类和杂类草划分并求和(某类植物各个种分盖度之和)。

类群的总高度类群的总高度是将样方记录的各植物高度, 分别按禾草类、莎草类和杂类草划分并求和(某类植物各个种高度之和)。禾草类植物是以垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、异针茅 (*Stipa aliena*)、羊茅 (*Festuca ovina*)、早熟禾 (*Poa sp.*) 和双叉细柄茅 (*Ptilagrostis dichotoma*) 等植物, 莎草类是以矮嵩草、二柱头草 (*Scirpus distigmaticus*) 和苔草 (*Carex sp.*) 等植物; 杂草类为麻花艽 (*Gentiana straminea*)、美丽风毛菊 (*Saussurea superba*)、委陵菜 (*Potentilla sp.*)、棘豆 (*Oxytropis sp.*) 和矮火绒草 (*Leontopodium nanum*) 等。

植物地上生物量测定: 在9月中旬植物停止生长时用收割法测定各处理及对照样方内的植物地上生物量, 样方为50 cm × 50 cm并按禾草类、莎草类和杂类草归类, 置恒温干燥箱内(85℃)烘干至恒重, 称重。实验数据采用SPSS软件进行的统计与分析。

2 结果与分析

2.1 植物类群盖度比

从上年的6月下旬到下年的8月间, 模拟不同降水及增施氮肥的处理下, 植物不同类群的盖度响应是有差异的, 通过盖度比分析可知, 禾草类和杂类

草的响应较大,而莎草类的响应则不显著。减少降雨处理下禾草类的盖度比与对照没有显著差异。增加20%的降雨禾草类的盖度比显著增加,但增加40%的雨量处理不但没有增加禾草类的盖度比,反而使其明显降低($p < 0.05$)。冬春增雪处理与对照相比其盖度比的增加效果明显($p < 0.05$),这与增施氮150 kg ·hm⁻²和300 kg ·hm⁻²后效果相同,它们三者之间没有显著差异。在这些处理中,增施氮150 kg ·hm⁻²的处理其盖度比与对照区相比增加最大(表1)。

不同处理杂类草的变化也是有差异的,其中施氮300 kg ·hm⁻²处理下,杂类草盖度比最低,除与施氮150 kg ·hm⁻²相比差异不显著外,比其它处理及对照都差异显著。增雪处理下杂类草的盖度比最大(表1)。

从表1的Duncan多重比较分析结果表明,冬春季的增雪100%可明显提高禾草类的盖度,也有利于提高杂类草的盖度;施氮条件下对禾草类的影响最大,可明显使禾草类的盖度增加,但过多施氮,如施氮300 kg ·hm⁻²,会对禾草和杂类草的盖度有一定的抑制作用。

2.2 植物类群高度比

从表2可以看出,在植物类群的高度上,亦然是禾草类对处理的响应最大,其次是杂类草,莎草类仍然响应最小。水分条件变化处理中,增加雨量40%处理下高度比明显大于对照,并大于其它水分的处理,其中明显大于增雨量20%和增雪100%的处理。两个施氮处理的禾草类高度比明显大于对照和其它处理。而增加水分的处理下植物类群的高度与对照相比并没有明显的差异($p > 0.05$)。莎草类在各处理下与对照差异不明显($p > 0.05$)。

杂类草的高度比与对照相比差异均不显著($p > 0.05$)。施氮300 kg ·hm⁻²的盖度比最小,它明显小于减少雨量和增加雨量的处理($p < 0.05$),而与增雪和施氮150 kg ·hm⁻²之间没有显著差异($p > 0.05$)。从数值上看,施氮对杂类草的高度起一定的抑制作用(表2)。

2.3 植物类群综合优势比(SDR)

植物综合优势比(SDR)是根据盖度比和高度比计算而来,可综合反映各类群的状况,从表3可知,施氮处理下禾草类植物的SDR明显高于对照及其他处理($p < 0.05$),说明施氮对禾草类在群落中的组成有明显的促进作用。增加雨量20%与减少雨量20%~30%间禾草类的SDR没有差异,增雨40%和

表1 1年处理后植物不同类群盖度比及Duncan多重分析比较

Table 1 The Coverage ratio of plant groups and the result of Duncan multiple range test after one year treatment

处理 Treatments	禾草类 Grasses	莎草类 Sedges	杂类草 Forbs
减少雨量 20% ~ 40% 20% - 40% rainfall reduction	75.5769 ±2.1154 ^b	23.2692 ±2.7978 ^a	52.5000 ±5.4517 ^{bc}
增加雨量 20% Simulated rainfall supply increased by 20%	83.8462 ±1.9861 ^c	23.0769 ±2.7377 ^a	58.8462 ±6.0120 ^{bc}
增加雨量 40% Simulated rainfall supply increased by 40%	57.6923 ±1.7485 ^a	24.8077 ±2.6900 ^a	74.2308 ±8.1195 ^c
增雪 100% Simulated snow supply increased by 100%	90.5769 ±3.4167 ^c	25.7692 ±3.3456 ^a	56.3462 ±10.5956 ^{bc}
增施氮 150 kg ·hm ⁻² N 150 kg ·hm ⁻²	92.1154 ±2.9854 ^c	18.8462 ±3.5320 ^a	39.0385 ±4.7040 ^{ab}
增施氮 300 kg ·hm ⁻² N 300 kg ·hm ⁻²	86.3462 ±3.9396 ^c	24.6154 ±3.1246 ^a	31.1538 ±5.8033 ^a
对照 Control	73.8462 ±0.8882 ^b	20.7692 ±0.9931 ^a	54.6154 ±4.0094 ^{bc}

表中数据为平均值±标准误。具有相同字母的处理没有达到显著性差异($p > 0.05$) Data of the table represent mean ±standard error. Treatments with the same letters are not significantly different ($p > 0.05$) (表2、表3、表4 同此 Table 2, Table 3 and Table 4 are the same as Table 1)

表2 1年处理后植物不同类群高度比及Duncan多重分析比较

Table 2 The height ratio of plant groups and the result of Duncan multiple range test after one year treatment

处理 Treatments	禾草类 Grasses	莎草类 Sedges	杂类草 Forbs
减少雨量 20% ~ 40% 20% - 40% rainfall reduction	80.2062 ±3.5916 ^c	7.0893 ±1.2046	31.3139 ±4.6566 ^{bc}
增加雨量 20% Simulated rainfall supply increased by 20%	60.4294 ±1.7832 ^a	4.9847 ±0.8656	31.3736 ±4.2929 ^{bc}
增加雨量 40% Simulated rainfall supply increased by 40%	76.2270 ±0.3912 ^{bc}	8.2652 ±0.7323	40.7635 ±3.0162 ^c
增雪 100% Simulated snow supply increased by 100%	61.9973 ±4.7977 ^a	5.3596 ±0.8832	27.9652 ±5.4300 ^{ab}
增施氮 150 kg ·hm ⁻² N 150 kg ·hm ⁻²	95.3817 ±1.5362 ^d	4.8228 ±1.4607	23.5174 ±3.9297 ^{ab}
增施氮 300 kg ·hm ⁻² N 300 kg ·hm ⁻²	95.6714 ±4.3644 ^d	5.4959 ±0.9704	17.6380 ±1.1680 ^a
对照 Control	67.0927 ±3.7696 ^{ab}	7.3364 ±1.4008	28.9707 ±3.0750 ^{abc}

增雪处理比减少雨量处理的禾草的 SDR 有增高趋势。

莎草类植物的 SDR 与其高度比和盖度比一样与对照和各处理间差异均不显著。杂类草的 SDR 施氮 300 kg ·hm⁻² 的最低,明显低于对照及其它水分处理($p < 0.05$),但与施氮 150 kg ·hm⁻² 没有显著性差异(表 3)。

2.4 对植物地上生物量的影响

从表 4 的分析结果表明,禾草类植物地上生物量在减少降雨 20% ~ 40%、增加降雨 20% ~ 40%、增雪 100% 的处理下与对照相比没有明显的显著性差异($p > 0.05$),尽管如此,增雪和增加雨量 40% 处理禾草类植物的地上生物量比对照略高。施氮的影响很明显($p < 0.05$),施氮 150 kg ·hm⁻² 和施氮 300 kg ·hm⁻² 下禾草类的地上生物量值分别比对照增加 0.8 和 1.53 倍。莎草类植物的地上生物量的各处理及对照之间差异不显著($p > 0.05$)。杂类草植物地上生物量在各处理下均低于对照区,其中以施氮 300 kg ·hm⁻² 处理下的最低,明显低于其它处理及对照($p < 0.05$),比对照小 0.62 倍。减少降雨和施氮 150 kg ·hm⁻² 的处理间杂类草地上生物量差异不显著($p > 0.05$),均比对照区、增雨 20% 以及增雪的处理明显降低($p < 0.05$)。

从 3 类草的地上生物量的总量上看,与对照相比只有施氮 300 kg ·hm⁻² 的明显高于对照 0.67 倍。

其它处理与对照在统计上差异不显著。但从数值上看,增雪和施氮 150 kg ·hm⁻² 的地上生物量的总量比对照略高,减少降雨处理的值最低(表 4)。

图 1 是不同处理下植物类群地上生物量与其总量的百分比,可以看出,不同处理下植物类群所占的比例是有差异的。禾草类在施氮 150 kg ·hm⁻² 和施氮 300 kg ·hm⁻² 下分别占 80.52% 和 89.52%;其它水分处理之间差异不大,其中增雨 40% 的比例较高(66.12%)。莎草类植物的植物地上生物量比例在各处理及对照间尽管差异不明显(表 4),但它占总量的比例确可以看出有明显的差异,莎草类的比例在增雪的处理下最高(6.32%),与施氮 150 kg ·hm⁻² 的差异不大,说明冬春增雪有利于莎草类植物的生长。莎草类比例最低的是在施氮 300 kg ·hm⁻² 处理,仅有 2.04%。两个施氮处理的结果说明,适当施氮虽有利于莎草类植物的生长,但总的来说它对氮素的竞争吸收能力不如禾草类(Black *et al.*, 1994),一旦禾草类在氮素供应充足下,会占据群落的上层,形成的郁闭环境不利于处于下层的莎草类植物对光等资源的利用。

杂类草植物地上生物量比例在施氮条件下受到的影响最大,与其它处理及对照存在明显的差异,其中以施氮 300 kg ·hm⁻² 的最低(8.44%),说明施氮条件下,杂类草对氮的吸收竞争能力明显低于禾草类。其它各水分处理及对照间杂类草的比例差异不显著。

表 3 1 年处理后植物不同类群综合优势比(SDR)及 Duncan 多重分析比较

Table 3 The summed dominated ratio (SDR) of plant groups and the result of Duncan multiple range test after one year treatment

处理 Treatments	禾草类 Grasses	莎草类 Sedges	杂类草 Forbs
减少雨量 20% ~ 40% 20% - 40% rainfall reduction	72.1378 ±1.7916 ^{ab}	15.1793 ±0.8539	41.9070 ±5.0342 ^{bc}
增加雨量 20% Simulated rainfall supply increased by 20%	66.9597 ±1.0507 ^a	14.0308 ±1.2352	45.1099 ±5.0478 ^{bc}
增加雨量 40% Simulated rainfall supply increased by 40%	77.8916 ±2.6163 ^b	16.5364 ±1.2244	57.4971 ±5.4387 ^c
增雪 100% Simulated snow supply increased by 100%	76.2871 ±3.4855 ^b	15.5644 ±1.9217	42.1557 ±7.2989 ^{bc}
增施氮 150 kg ·hm ⁻² N 150 kg ·hm ⁻²	93.7486 ±2.1282 ^c	11.8345 ±1.7223	31.2779 ±3.7871 ^{ab}
增施氮 300 kg ·hm ⁻² N 300 kg ·hm ⁻²	91.0088 ±3.1333 ^c	15.0556 ±1.9968	24.3959 ±2.4950 ^a
对照 Control	70.4694 ±2.1288 ^{ab}	14.0528 ±0.7903	41.7930 ±3.2179 ^{bc}

表 4 1 年处理后植物类群地上生物量平均值的 Duncan 多重比较分析结果

Table 4 The results of Duncan multiple range test for above ground biomass among different plant groups after one year treatment

处理 Treatments	禾草类 Grasses	莎草类 Sedges	杂类草 Forbs	总量 Total
减少雨量 20% ~ 40% 20% - 40% rainfall reduction	41.30 ±7.27 ^a	1.99 ±0.44 ^a	21.95 ±0.90 ^{bc}	65.24 ±7.31 ^{ab}
增加雨量 20% Simulated rainfall supply increased by 20%	55.31 ±6.55 ^a	2.34 ±0.96 ^a	32.49 ±2.14 ^{de}	90.13 ±7.09 ^{ab}
增加雨量 40% Simulated rainfall supply increased by 40%	58.11 ±6.18 ^a	3.56 ±1.25 ^a	26.23 ±1.96 ^{cd}	87.89 ±6.72 ^{ab}
增雪 100% Simulated snow supply increased by 100%	64.83 ±2.89 ^a	6.39 ±2.62 ^a	29.95 ±3.91 ^{de}	101.17 ±4.89 ^{bc}
增施氮 150 kg ·hm ⁻² N 150 kg ·hm ⁻²	99.75 ±11.27 ^b	7.81 ±3.69 ^a	16.49 ±2.17 ^{ab}	124.05 ±10.59 ^c
增施氮 300 kg ·hm ⁻² N 300 kg ·hm ⁻²	139.68 ±17.06 ^c	3.18 ±1.03 ^a	13.17 ±3.19 ^a	156.03 ±20.24 ^d
对照 Control	55.27 ±9.06 ^a	3.03 ±0.77 ^a	34.97 ±0.96 ^e	93.26 ±7.68 ^{abc}

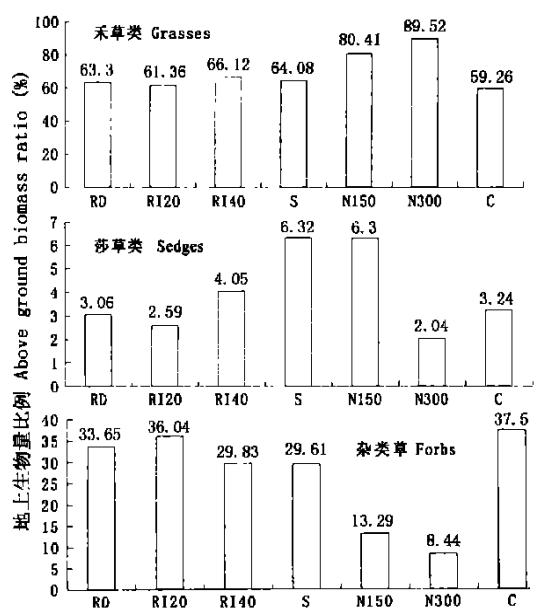


图1 1年处理后不同植物类群地上生物量比例变化(%)
Fig. 1 The above ground biomass ratio(%) of plant groups after one year treatment

RD: 减少雨量 20% ~ 40% 20% - 40% rainfall reduction RI20: 增加雨量 20% Simulated rainfall supply increased by 20% RI40: 增加雨量 40% Simulated rainfall supply increased by 40% S: 增雪 100% Simulated snow supply increased by 100% N150: 增施氮 150 kg ·hm⁻² Fertilized with 150 N kg ·hm⁻² N300: 增施氮 300 kg ·hm⁻² Fertilized with 300 N kg ·hm⁻² C: 对照 Control

2.5 1998年与1999年的SDR比较

1998年5~9月的降雨量是384 mm, 全年降水量是541 mm, 接近年平均降水量(568.6 mm), 可认为是平水年; 而同期的1999年降雨量为225.2 mm, 全年降水量为407 mm, 年降水量是1957年以来降水最少的年份, 可认为是缺水年。年间降水量或降雨量的这种差异会影响植物对各处理的响应效果, 通过平水年和缺水年的比较, 分析不同植物类群对各处理响应的程度。

表5是1999年测定的植物类群的SDR减1998年的SDR的差值, 从表5可知, SDR在这两年的变化较大, 表现为1999年对照区的禾草类和莎草类的SDR明显大于1998年, 杂类草的SDR则明显降低($p < 0.05$)。总体而言, 年降水量的减少使禾草类在群落的竞争中取得了明显的优势, 杂类草则处于明显的劣势。

这种总体上的影响又因处理的不同而出现增强或减弱。减少雨量处理是增强了这种趋势, 禾草类SDR增加量极为显著($p < 0.01$), 杂类草的SDR减少值在水分处理中最大; 增加雨量的处理则对这种趋势起到抑制作用(表5)。禾草类和杂类草均没有表现出明显的差异($p > 0.05$)。值得注意的是无论

在减雨或是在增雨处理条件下, 莎草类SDR表现出一致性增加, 说明它对水分条件的变化不敏感, 这在1999年各处理间的对比中也得到了证明(表4)。

从表5可知, 土壤氮肥的处理下, 1999年禾草类植物的SDR明显大于1998年, 杂类草的SDR则明显小于1998年($p < 0.01$)。特别是在增施氮150 kg ·hm⁻²处理下, 禾草类的SDR增加最大, 杂类草的SDR降低最多($p < 0.01$), 莎草类的SDR增加不明显($p > 0.05$), 但与对照的增加量比, 莎草类植物受到了明显的抑制。增施氮300 kg ·hm⁻²的效果不如施氮150 kg ·hm⁻², 说明过多施氮不但没有起到增强施氮的效果, 反而使这种效果有所减弱。

3 讨论

1) 降水量增减对植物的影响: 1999年内各处理的比较结果表明, 模拟减少降雨20%~40%条件下, 只有禾草类的高度比变化较为显著, 其它指标变化均不显著。通过1998年的平水年与1999年的缺水年对比分析看(表5), 年间降水量的差异会使整个植物群落内植物类群发生较为明显的年间变化, 各水分处理间表现也存在差异性。在缺水年份, 群落中的禾草类植物SDR比平水年明显增大, 而杂类草的SDR则明显减小, 说明降水量减少会使高寒矮嵩草草甸群落耐旱性较强的禾草(如针茅等)占优势, 同时不利于群落内杂类草的生长。因此可以推测, 矮嵩草草甸在短期的水分胁迫下, 植物通过降低生长速率, 降低叶面积, 或者通过生理生化调节作用来适应水分的胁迫, 这种调节的功能也因植物的不同而有差异(Ehleringer et al., 1991)。如长期处于水分胁迫下, 某些植物(主要是杂类草)可能会因死亡率的增加而逐渐减少, 高寒草甸群落可能会朝草原化的方向演替。

Coughenour和Chen(1997)曾认为夏季雨量的减少不利于C₄植物的生长, 对大多数C₃植物的影响较小。矮嵩草草甸禾草类中, 异针茅和羊茅等大多数禾草为C₃植物(王启基等, 1985), 此类植物比较耐旱, 根系也比较发达, 受夏季降雨减少的影响较小。而禾草中的垂穗披碱草为C₄植物(王启基等, 1985), 属耐寒中生根茎禾草, 生长发育也较迟(史顺海等, 1989), 易受降雨减少的影响。矮嵩草草甸上多数杂类草的根系比禾草类浅, 且多为轴根, 在致密的草毡层内很难发育, 对水分的竞争利用弱, 因而也易受降雨量变化的影响。以矮嵩草和二柱头草为主的莎草类植物, 属寒冷中生植物, 但返青快, 花果

表5 1999年与1998年植物不同类群综合优势比(SDR)的差值

Table 5 The SDR difference of plant groups between 1998 and 1999

处理 Treatments	SDR 差值 SDR difference		
	禾草类 Grasses	莎草类 Sedges	杂类草 Forbs
减少雨量 20% ~ 40% 20% - 40% rainfall reduction	11.831 **	8.709 **	- 28.384 *
增加雨量 20% Simulated rainfall supply increased by 20%	- 1.724	10.164 **	- 19.251
增加雨量 40% Simulated rainfall supply increased by 40%	11.189	11.914 **	2.538
增施氮 150 kg ·hm ⁻² N 150 kg ·hm ⁻²	18.384 **	3.959	- 31.463 ***
增施氮 300 kg ·hm ⁻² N 300 kg ·hm ⁻²	16.728 **	9.381 **	- 22.074 **
对照 Control	9.678 *	11.066 **	- 15.274 *

显著水平 Significance levels *** : $p < 0.001$ ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

形成较早,生长初期生物量增长较快(史顺海等,1989),可以说受夏季降雨减少的影响最小。

尽管在缺水年(1999年)模拟增加雨量20%~40%的条件下,对植物的高度比、SDR和地上生物量统计上不显著,但从与平水年(1998年)的SDR比较分析看,增加降雨可缓解1999年降水量减少的影响,相反,模拟减少雨量20%~40%会加剧干旱影响的程度(表5)。这说明高寒草甸植物对年间降水量的差异响应较为敏感,而对年内自然降雨量水平的夏季雨量的增减的敏感性较低,从1998年10月~1999年5月冬季增雪100%处理中可知,处理使禾草类的盖度比有明显的提高。虽然其它指标在统计上并没有达到显著水平,但对植物已产生影响,特别是对植物的地上生物量的贡献方面(表4),已经表现出其影响大于增加雨量的效益,说明冬春季的降雪整体上会对高寒植物的萌发和以后的生长有很大的促进作用,在年间降水量差异对植物的影响方面贡献较大。

2) 增施氮肥的作用:施氮对高寒草甸植物类群的影响最大,即使在缺水的1999年增施氮150 kg ·hm⁻²和增施氮300 kg ·hm⁻²的禾草类的盖度比、高度比、SDR和地上生物量明显增大,而杂类草的盖度比和高度比、SDR及地上生物量在施氮300 kg ·hm⁻²下显著减低。曹靖等(2000)认为禾本科的小麦在合理的施肥条件下,根系的伸长有利于土壤水分的吸收,能提高作物的水分利用效率。而矮嵩草草甸上的施氮可能会促进禾草类植物根系的生长发育,拓展了对土壤水分的利用空间,在生长发育的旺盛时期(7~8月)能较好地利用较深土壤的水分来满足对水分的需求,即使是在缺水年(1999年)禾草类的SDR和地上生物量也有较大的提高。

施氮150 kg ·hm⁻²的群落地上总生物量与对照相比统计上不显著,这是因为禾草类的生物量的增加与杂类草生物量的降低部分抵消的结果,说明在此施氮水平上,禾草类与杂类草间在生长上存在相

互补偿的作用机制,而这种补偿作用在轻度和中度的干扰下对维持高寒草甸生态系统的相对稳定性有很重要的意义。同样在内蒙古草原上的植物不同功能群在地上生物量上(白永飞等,2000)以及牧草间产量上(Samuel & Hart,1998)也存在这种补偿作用。但在高强度的施氮水平上(施氮300 kg ·hm⁻²群落的总地上生物量增加显著,是因为杂类草生物量的降低远不能抵消禾草类生物量增加的结果,这说明在高寒草甸群落中禾草类与杂类草间氮响应的这种补偿作用也有一定的阈值。

3) 高寒矮嵩草草甸植物类群对水分和养分的环境改善的干扰下的响应是不同的,在水分资源不利的干扰下各类草的响应也不同,其敏感性表现为杂类草大于禾草类,莎草类最小。莎草类植物对各种处理的响应不敏感,也说明它对资源的波动适应性较强。这暗示着在未来降雨日益减少的气候条件下,高寒草甸群落中杂类草的比例会逐渐减少,而耐旱禾草类的比例增加,莎草类植物的比例则比较稳定。反之,也暗示着在未来降雨增加或土壤有效氮含量增加的条件下,高寒草甸群落中喜水肥的禾草类的比例和生物产量会逐渐增加,杂类草减少,莎草类植物则保持相对稳定的状态,至于群落中植物种群组成变化的规律将有待进一步研究与分析。

参 考 文 献

- Agren, G. I., R. F. Mcmurtrie, W. J. Parton, J. Pastor & H. H. Shugart. 1991. State-of-art of models of production decomposition linkages in conifer and grassland ecosystems. Ecological Applications, 1:118~138.
- Aft, A. M., M. D. Walker, J. Gurevitch, J. M. Alatalo, M. S. Bret-Harte, M. Dale, M. Diemer, F. Gugerli, G. H. R. Henry, M. H. Jones, R. D. Hollister, K. Laine, E. Levesque, G. M. Marion, P. Molgaard, V. Raszhivin, C. H. Robison, G. Starr, Q. Totoland, J. M. Welker & P. M. Wookey. 1999. Response of tundra plants to experimental warming: meta-analysis of the international tundra experiment. Ecological Monographs, 69:491~511.
- Bai, Y. F. (白永飞) & Z. Z. Chen(陈佐忠). 2000. Effects of long-term variability of plant species and functional groups on stability of a *Leymus chinensis* community in the Xilin river basin, Inner

- Mongolia. Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报),**24**:641 ~ 647. (in Chinese)
- Black ,R. A. ,J. R. Richard & J. H. Manwaring. 1994. Nutrient uptake from enriched microsites by three great basin perennials. *Ecology*,**75**:110 ~ 122.
- Bao ,X. K. (鲍新奎) & B. L. Zhao(赵宝莲). 1989. Effect of nitrogen and phosphorus in soil on primary production in *Kobresia humilis* meadow. In: Northwest Plateau Institute of Biology , the Chinese Academy of Sciences (中国科学院西北高原生物研究所) ed. The proceedings of the international symposium of alpine meadow ecosystem. Beijing: Science Press. 169 ~ 175. (in Chinese)
- Berendse , F. , B. Berg & E. Bosatta. 1987. The effect of lignin and nitrogen on the decomposition of litter in nutrient-poor ecosystem : a theoretical approach. *Candian Journal of Botany* , **65**:1116 ~ 1120.
- Bowman ,W. D. , T. A. Theodose & M. C. Fisk. 1995. Physiological and production response of plant growth forms to increases in limiting resources in alpine tundra : implications for differential community response to environmental change. *Oecologia* , **101**:217 ~ 227.
- Cao ,J. (曹靖) & H. J. Hu(胡恒觉). 2000. Effect of different fertilizer combinations on water sully-demand status of winter wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)* , **11**:713 ~ 717. (in Chinese)
- Chapin III , F. S. & G. R. Shaver. 1985. Individualistic growth response of tundra plant species to environmental manipulations in the field. *Ecology* , **66**:564 ~ 576.
- Coughenour , M. B. & D. X. Chen. 1997. Assessment of grassland ecosystem response to atmospheric change using linked plant-soil process models. *Ecological Applications* , **7**:802 ~ 827.
- Ehleringer , J. R. , S. L. Phillips , W. S. F. Schuster & D. R. Sandquist. 1991. Differential utilization of summer rain by desert plants. *Oecologia* , **88**:430 ~ 434.
- Epstein , H. E. , I. C. Burke & W. K. Lauenroth. 1999. Response of the shortgrass steppe to change in rainfall seasonality. *Ecosystems* , **2**:139 ~ 150.
- Fay ,P. A. , J. D. Carlisle , A. K. Knapp , J. M. Blair & S. L. Collins. 2000. Altering rainfall timing and quantity in a mesic grassland ecosystem: design and performance of rainfall manipulation shelters. *Ecosystems* , **3**:308 ~ 319.
- Freeman , C. , M. A. Lock & B. Reynolds. 1993. Climate change and mathematical study of growth and productivity of a calluna sphagnum community. *Journal of Applied Ecology* , **11**:281 ~ 295.
- Harrison , A. F. , K. Taylaop , J. C. Hatton & D. M. Howard. 1994. Role of nitrogen in herbage production by *Agrostis-Festuca* hill grassland. *Journal of Applied Ecology* , **31**:351 ~ 360.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Technical summary. In: J. T. Houghton , L. G. Meira Filho , B. A. Callander , N. Harris , A. Kattenberg & K. Maskell eds. Climate change 1995: the science of climate change. Cambridge: Cambridge University Press. 13 ~ 49.
- Jiang , S. (姜恕). 1986. The researching method of grassland ecology. Beijing: China Agriculture Press. 15 ~ 22. (in Chinese)
- Li , Y. N. (李英年) & Z. X. Shen(沈振西). 1999. The variation of air temperature nearly forty years in Haibei alpine meadow ecosytem research station. Development of Research Network for Natural Resources , Environment and Ecology(资源生态环境网络研究动态) , **40**:28 ~ 31. (in Chinese)
- Rupp , T. S. , F. S. Chapin III & A. M. Starfield. 2000. Response of subarctic vegetation to transient climatic change on the Seward Peninsula in north-west Alaska. *Global Change Biology* , **6**:541 ~ 555.
- Samuel ,M. J. & R. H. Hart. 1998. Nitrogen fertilization ,botanical composition and biomass production on mixed-grass rangeland. *Journal of Rangeland Management* , **51**:408 ~ 416.
- Shi , S. H. (史顺海) , F. T. Yang(杨福国) & G. Q. Lu(陆国泉). 1989. A preliminary study on both phenological observation and biomass of aboveground of main populations in *Kobresia humilis* meadow. In: Northwest Institute of Plateau Biology of the Chinese Academy of Sciences(中国科学院西北高原生物研究所) ed. The proceedings of the international symposium of alpine meadow ecosystem. Beijing: Science Press. 49 ~ 59. (in Chinese)
- Theodose , T. A. & W. D. Bowman. 1997. Nutrient availability , plant abundance , and species diversity in two alpine tundra communities. *Ecology* , **78**:1861 ~ 1872.
- Wang , Q. J. (王启基) & F. T. Yang(杨福国). 1985. A preliminary study on the anatomical characteristics of C₃、C₄ plants in alpine meadow. *Acta Biologia Plateau Sinica(高原生物学集刊)* , **4**:1 ~ 11. (in Chinese)
- White ,T. , B. Campbell , P. Kemp & C. Hunt. 2000. Sensitivity of three grassland community to simulated extreme temperature and rainfall events. *Global Change Biology* , **6**:671 ~ 684.
- Xiao ,C. W. (肖春旺) , M. Dong(董鸣) , G. S. Zhou(周广胜) & X. G. Liu (刘喜国). 2001. Response of *Salix psammophylla* seedlings to simulated precipitation change in Ordos plateau. *Acta Ecologica Sinica(生态学报)* , **21**: 171 ~ 175. (in Chinese)
- Xia , W. P. (夏武平). 1988. A brief introduction to the fundamental characteristics and the work in Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem. In: Northwest Institute of Plateau Biology of the Chinese Academy of Sciences(中国科学院西北高原生物研究所) ed. The proceedings of the international symposium of alpine meadow ecosystem. Beijing: Science Press. 169 ~ 175. (in Chinese)
- Yang , Y. H. (杨永辉) , A. F. Harrison & P. Ineson. 1997. Biomass response to asimulated global warming by changing of elevation and fertilizer addition in upland grassland. *Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报)* , **21**:234 ~ 241. (in Chinese)
- Yang , F. T. (杨福国). 1982. A general view of the natural geography in the region of the alpine meadow ecosystem research station. In: Xia ,W. P. (夏武平) ed. Alpine meadow ecosystem (Fasc. 1). Lanzhou: Gansu People's Press. 1 ~ 8. (in Chinese)
- Zhang , S. L. (张松林) & X. M. Zhou(周兴民). 1986. Influence of fertilization to aboveground biomass in alpine meadow. *Acta Biologia Plateau Sinica(高原生物学集刊)* , **5**:7 ~ 12. (in Chinese)
- Zhang , X. S. (张新时). 1993. The classified system of vegetation climate on global change. *Quaternary Sciences (第四纪研究)* , **2**:157 ~ 169. (in Chinese)
- Zhou , G. S. (周广胜) & X. S. Zhang(张新时). 1995. A natural vegetation NNP model. *Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报)* , **19**:193 ~ 200. (in Chinese)

责任编辑: 刘世荣 责任编辑: 张丽赫