

高寒草原轮叶马先蒿群落沿水分梯度特征研究

柳妍妍¹, 胡玉昆¹, 于建梅², 王鑫³, 李凯辉¹

(1. 中国科学院 干旱区生物地理与生物资源重点实验室 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;
2. 甘肃省康乐县畜牧局, 甘肃 康乐 731500; 3. 中国科学院 新疆分院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 采用样带法和样方法对巴音布鲁克高寒草原不同土壤水分条件下轮叶马先蒿 (*Pedicularis verticillata*) 群落特征进行了研究。结果表明, (1) 植物群落组成随土壤含水量的变化而变化, 在距离水源 1 m 处植物物种丰富度最高, 轮叶马先蒿在群落中占绝对优势 (重要值为 42.5%)。随着与水源距离的增大土壤含水量降低, 轮叶马先蒿的优势地位逐渐减小。(2) 不同水分条件下轮叶马先蒿群落的物种丰富度、多样性指数和均匀度指数变化有明显的差异。(3) 在距离水源最近处轮叶马先蒿密度和地上生物量达到最高, 但在土壤含水量为 25.5% 时, 轮叶马先蒿产生的种子数量达到最大值, 且地上生物量达到第二峰值, 说明轮叶马先蒿并不是喜湿植物。禾本科和杂类草的优势地位则随土壤含水量的减少而增加。(4) 土壤含水量是限制轮叶马先蒿群落结构变化的主要生境因子, 应通过控制水源处的种子传播来遏制轮叶马先蒿的大面积发生和蔓延。

关键词: 高寒草原; 轮叶马先蒿; 土壤含水量; 群落特征; 地上生物量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0052-05

中图分类号: Q948.118

Pedicularis Verticillata Community's Characteristics Along Water Gradient on Alpine Grassland

LIU Yan-yan¹, HU Yu-kun¹, YU Jian-mei², WANG Xin³, LI Kai-hui¹

(1. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences,*

Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. *Kangle Farming Bureau of Gansu Province, Kangle, Gansu*

731500, China; 3. *Xinjiang Branch of Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China*)

Abstract: The characteristics of *Pedicularis verticillata* communities under different soil water conditions in Bayanbulak alpine grassland were studied using transect and point sampling methods. The results indicated that the composition of the community structure changed with soil water contents. The richness of plant species was the greatest at 1 meter away from the water source, where *P. verticillata* was predominant absolutely with a dominance value of 42.50%; away from the water source, its dominance values and above-ground biomass decreased gradually as the soil water contents decreased. The species richness, diversity and evenness indices of *P. verticillata* community differed significantly under different soil water conditions. The population density and above ground-biomass of *P. verticillata* were the greatest at the places closest to the water source, but at the places further away from the water source where soil water content was around 25.5%, the plant achieved the highest seed yield and the second peak above-ground biomass, indicating that *P. verticillata* is not a "water-loving" plant. Gramineae and other grasses dominated increasingly with the decrease of soil water contents. Soil water content was clearly the most important factor to regulate *P. verticillata* community structure in Bayanbulak alpine grassland. Controlling the seed spread near the water source may be the effective approach to limit the rampant expansion of *P. verticillata*.

Keywords: alpine grassland; *Pedicularis verticillata*; soil water content; plant community structure; above-ground biomass

高寒草原是在强烈的大陆性气候影响下, 在寒冷 和干旱的高山, 亚高山区发育的一种独特的草原类

收稿日期: 2010-09-15

修回日期: 2010-11-29

资助项目: 全球环境基金(GEF)新疆草地项目“新疆山地典型退化草地植被恢复技术的研究”(095F021); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB825103)

作者简介: 柳妍妍(1982—), 女(汉族), 甘肃省庄浪县人, 硕士, 主要从事草地生态学研究。E-mail: liuyan198206@126.com.

型^[1],是新疆天山典型的垂直地带性植被。以羊茅、针茅为建群种的巴音布鲁克草原,处于开都河的源流区,是重要的春秋放牧场,对新疆特别是南疆的生态环境保护具有极为重要地位。但因近年来牲畜基本不采食的轮叶马先蒿(*Pedicularis verticillata* L.)大面积蔓延,与20世纪80年代相比,一些优良牧草种类逐渐减少,轮叶马先蒿已达到 $2.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$,并以 $3.30 \times 10^3 \text{ hm}^2/\text{a}$ 的速度扩展^[2],已对当地的高寒草原植物群落构成了直接的威胁,并由此对草地畜牧业造成了严重的损失。

近年来,关于马先蒿属植物的研究主要侧重于植物叶片稳定同位素组成特征、 $\delta^{13}\text{C}$ 值与环境因子之间的关系^[3]、化学成分中提取^[4]、马先蒿的遗传多样性、遗传结构、传粉特性和生物地理及物种多样性的研究^[5]、菌根形态学的研究^[6]、微量元素含量的测定及分析^[7]等生理方面,有关马先蒿属植物生态学方面研究尚不多见。

为了有效地遏制轮叶马先蒿的快速扩散与蔓延,该地区探讨了植物群落生态位特征研究^[8],本文进行了轮叶马先蒿的生物学特性^[9],化学试剂对轮叶马先蒿的防除效果^[10],温度对轮叶马先蒿种子发芽的影响^[11]等研究。在前人研究的基础上,对不同土壤水分条件下轮叶马先蒿群落特征、物种多样性及地上生物量进行探讨,旨在为遏制轮叶马先蒿的扩繁以及退化高寒草地生态系统的恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

巴音布鲁克草原位于天山南坡中部,地处北纬 $42^{\circ}18' - 43^{\circ}34'$,东经 $82^{\circ}27' - 86^{\circ}17'$,面积约 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,海拔2400~3500 m,属典型的高寒气候,冷季漫长,暖季短暂,年均气温 -4.8°C ,1月最低气温可达 -48°C ;7月最高气温可达 30.5°C ;年平均降水量约276.2 mm,年蒸发量高达1022.9~1247.5 mm,全年积雪日达150~180 d,无绝对无霜期。该区草地类型多样,主要包括高山沼泽草甸、亚高山草原、亚高山草甸化草原、亚高山草原化草甸、亚高山草甸、高山草甸。

该区高等植物有50个科160个属262种。主要物种有紫花针茅(*Stipa purpurea*)、羊茅(*Festuca ovina*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、尖苞苔草(*Carex microglochyn*)、白尖苔草(*Carex atrofusca*)和细果苔草(*Carex stenocarpa*)等^[11]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及群落结构调查 2006年8月初,沿河流设置一块 $50 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 的大样地,在样地内平行于河流每隔5 m设置1条长50 m,宽1 m的样带,共设5条样带。每条样带为1个处理,在每个处理上每隔5 m设置 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的样方,即为5个重复,共计25个小样方。调查样方内物种数目、物种高度、盖度和密度。分轮叶马先蒿、禾本科和杂类草3个类群齐地修剪获取地上生物量,称其干重。

1.2.2 土壤含水量测定 在每个样方内随机选取3个样点采集土壤样品。每个样点土壤剖面分成5层,即0—10,10—20,20—30,30—40和40—50 cm,每层取一定量土壤放入铝盒带回实验室在 105°C 下连续烘干至恒重,测土壤含水量,取其平均值。计算公式为:

$$R_{wc} = \frac{W' - W}{W} \times 100\% \quad (1)$$

式中: W' ——土壤湿重; W ——土壤干重。5条样带5种处理土壤含水量见表1。

表1 5条样带土壤含水量变化

土层深度/cm	处理1	处理2	处理3	处理4	处理5
0—10	42.0	30.3	26.3	22.1	21.8
10—20	43.4	30.4	26.6	21.5	28.5
20—30	45.6	34.2	26.3	24.3	18.8
30—40	39.8	31.8	25.0	23.6	17.7
40—50	36.9	30.9	23.5	22.3	16.1
含水量均值	41.7	31.5	25.5	22.7	20.6

1.2.3 多样性指数、均匀度指数的计算 通过选用物种丰富度指数(S)、Shannon—Wiener多样性指数(H')和Pielou均匀度指数(J)3类来计算群落的物种多样性。

(1) 丰富度指数 $R=S$ 。

(2) 群落多样性指数的计算采用Shannon—Wiener多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

(3) 均匀度指数的计算采用Pielou指数:

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

式中: S ——种 i 所在样方的物种总数; P_i ——种 i 的相对重要值=(相对盖度+相对高度+相对密度)/3,以重要值作为数据分析的基础。

1.2.4 土壤内种子数量及轮叶马先蒿产生种子数量测定 分别在5条样带内随机设置5个小样方,每个小样方的面积为 $0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$,采集0—10 cm土样。各土样记录后分装入布袋中,风干后对每个取样点的样品进行分级筛选,分别依次过筛,筛子孔径分别为2,1,0.5 mm,然后人工挑选种子;对留在1和0.5 mm筛上的土壤中的种子在双筒显微镜下进行

计数、鉴定。最后进行淘洗,待反复冲洗干净后拣出各种植物种子进行统计。分别在 5 条样带内各随机挑选 10 株轮叶马先蒿,共 50 株,分别装入布袋带回,记录花苞数量和花苞内的种子数量。

2 结果与分析

2.1 沿水分梯度植物群落结构特征变化

2.1.1 植物群落层次结构特征变化 巴音布鲁克高寒草原地上层次较为简单,一般分为 2 层,上层以禾本科为主,高 10~30 cm,下层以小禾草和杂类草等双子叶植物为主,高 5~10 cm。其建群种主要以紫花针茅(*Stipa purpurea*)、羊茅(*Festuca ovina*)和冰草(*Agropyron cristatum*)等禾本科牧草为主,但在轮叶马先蒿发生严重的地方,群落结构分为 3 层,上

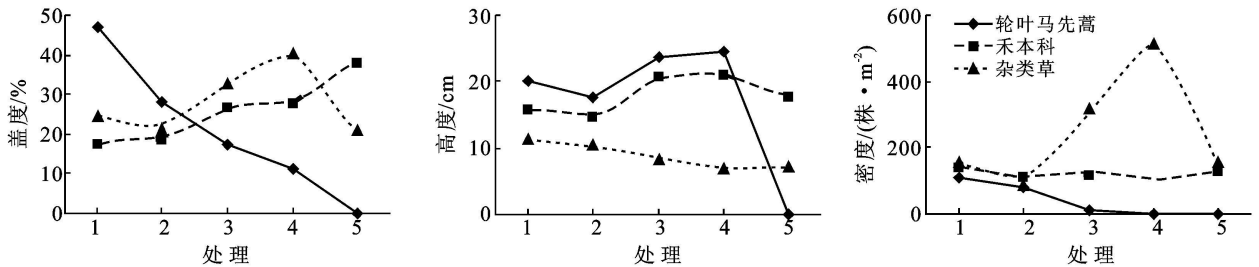


图 1 沿水分梯度不同类群植物盖度、高度和密度的变化

禾本科植物盖度随土壤含水量的减少而逐渐增加,杂类草盖度随土壤含水量减少先增大,后减小,在处理 4 杂类草盖度最大;但轮叶马先蒿、禾本科、杂类草植株高度与土壤水分含量无显著相关性($p > 0.05$)。最高的单株轮叶马先蒿出现在处理 4 处,平均高度最高的也是处理 4(土壤含水量为 22.7%)。轮叶马先蒿密度随土壤含水量的降低逐渐减小,分析结果显示,在试验样地的水分梯度内,轮叶马先蒿密度与土壤含水量之间存在极显著正相关:

$$Y = 5.75X - 123.24 \quad (R^2 = 0.9270, p < 0.01) \quad (5)$$

禾本科和杂类草密度与土壤含水量之间无相关性($p > 0.05$)。

2.1.3 植物群落重要值变化 研究结果表明,土壤水分含量不同,其群落结构物种成分也不同。不同处理间物种重要值如表 2 所示。而草地植物重要值的高低,可以反映其在群落中作用的大小。

为了说明不同土壤含水量对轮叶马先蒿植物种群的影响,表 2 列举了每个处理上轮叶马先蒿及禾本科、杂类草中主要种的重要值变化状况。随着土壤水分含量的降低,轮叶马先蒿的重要值逐渐降低,其变化范围在 0~42.50%之间。禾本科一些种的重要值逐渐增加,如冰草和羊茅,而紫花针茅的重要值随着土壤水分含量的降低先降低后又升高,呈双峰型趋势。杂类草

层主要为轮叶马先蒿,以集群方式分布,第 2 层以禾本科为主,下层由二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、多裂委陵菜(*Potentilla multifida*)和新疆假龙胆(*Gentianella turkestanorum*)等杂类草组成。

2.1.2 植物群落盖度、高度和密度变化 植物群落结构可以通过其盖度、高度和密度加以反映。图 1 表示,轮叶马先蒿的盖度变化范围在 0~46.80%,峰值出现在土壤含水量最高处 41.70%,且随着土壤含水量的减小而降低,最后降至 0。

相关分析显示,轮叶马先蒿盖度与土壤水分含量呈极显著正相关,其回归方程为:

$$Y = 1.96X - 36.98 \quad (R^2 = 0.9264, p < 0.01) \quad (4)$$

式中: X ——土壤含水量; Y ——轮叶马先蒿盖度。下同。

随着土壤水分含量的变化没有明显的规律,如深裂委陵菜和新疆假龙胆等。

表 2 不同土壤含水量对群落代表种重要值的影响

物种	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5
轮叶马先蒿	42.50	27.97	21.51	17.43	0
紫花针茅	18.63	14.33	8.02	6.35	12.04
羊茅	2.89	14.62	9.04	6.23	14.03
冰草	—	—	6.54	5.57	13.63
草地早熟禾	6.94	12.86	—	7.44	6.75
洽草	10.00	5.89	9.05	6.74	10.64
棘豆	15.01	4.49	—	—	—
黄芪	4.09	14.91	—	15.51	11.65
二裂委陵菜	16.54	—	—	30.33	15.51
多裂委陵菜	4.11	7.56	16.89	5.57	1.83
新疆假龙胆	5.63	8.27	8.49	1.69	2.96

注: 草地早熟禾(*Poa pratensis*); 洽草[*Koeleria cristata* (L.) Pers.]; 棘豆(*Oxytropis* sp.); 黄芪(*Astragalus* sp.)

2.2 沿水分梯度轮叶马先蒿群落物种丰富度、多样性与均匀度变化

草地植物群落物种丰富度,即其所含的植物物种总数,是群落多样性的最基本特征。草地生态系统的可持续性和草地生产力的维持在很大程度上依赖于草地群落的生物多样性^[15]。不同水分条件下轮叶马先蒿群落的物种丰富度、多样性指数和均匀度指数变

化有明显的差异见表 3。研究结果表明,距离河道最近 5 m 即处理 1 物种最丰富,为 17 种,随着土壤水分含量的降低,物种丰富度逐渐减小,距离河道 25 m 即处理 5 物种丰富度最低,为 11 种。相关分析表明,物种丰富度与土壤含水量呈显著正相关:

$$Y=0.31X+6.1 (R^2=0.5832, p<0.05) \quad (6)$$

一般来讲,丰富度指数、多样性指数和种的均匀度

能比较一致地反映群落的特征。Shannon—Wiener 多样性指数是表示群落中物种丰富程度的指数,群落的物种数能最直观、最有效地反映群落的多样性^[19]。不同水分条件下物种多样性指数和均匀度指数变化如表 3 所示。方差分析显示,不同水分条件下物种多样性随土壤含水量的降低变化并不明显,随着土壤含水量的降低,群落均匀度指数差异明显。

表 3 不同土壤水分条件下物种多样性和均匀度的变化

处理	1	2	3	4	5
S(物种丰富度指数 R)	17	13	14	16	11
Shannon—Wiener 指数(H')	0.9834a	0.8483ab	0.8111ab	0.7129ab	0.5852b
Pielou 指数(J)	0.7561a	0.6747b	0.6572b	0.5934c	0.4946d

注: a, b, c, d 表示差异性显著程度($p<0.05$)。

2.3 沿水分梯度植物地上生物量的变化

草地生物量,不仅反映草地生态系统物质循环和能量流动的基本状况,而且对草地畜牧业生产及其生态环境产生重要影响。图 2 为不同土壤水分含量下轮叶马先蒿、禾本科和杂类草地上生物量的变化情况。结果表明,轮叶马先蒿地上生物量随土壤含水量的降低呈先减小后增大再减小的趋势,第 1 峰值出现在距离水源最近即处理 1 处(含水量为 41.7%),第 2 峰值出现在处理 3 处(含水量为 25.5%),最小值出现在处理 5 含水量为 20.6%,即离水源最远处。禾本科植物地上生物量的变化趋势则呈逐渐上升趋势。随着土壤水分含量的降低,杂类草地上生物量的变化呈现先增加后减小的单峰趋势。说明轮叶马先蒿对土壤水分要求很高,而禾本科植物适应干旱条件,杂类草在水分适中时长得最好,另外也说明在巴音布鲁克高寒草原中,土壤水分是影响植物分布和生长的重要因素。

2.4 沿水分梯度轮叶马先蒿种子量的变化

由表 4 可以看出,每 1 m^2 内轮叶马先蒿的种子

数量随土壤含水量的降低而减少,其它植物的种子数量在土壤含水量为 22.7% 时达到最大值。虽然轮叶马先蒿盖度在土壤含水量为 41.7% 时达到最大值,但轮叶马先蒿单株产生种子量最大值却并不是在盖度最大时出现,轮叶马先蒿产生的花苞数以及产生的种子数量在土壤含水量为 25.5% 时达到最大值。说明轮叶马先蒿群落内种间竞争以轮叶马先蒿为优势种群,但种内竞争激烈,土壤水分适中时,轮叶马先蒿产生种子最多。

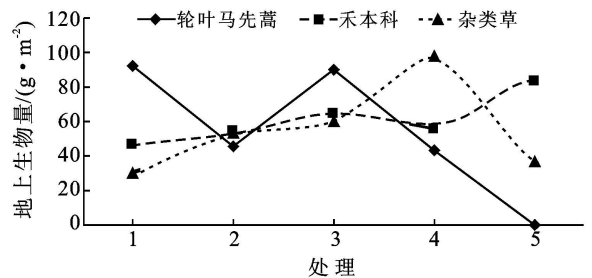


图 2 沿水分梯度地上生物量变化

表 4 沿水分梯度轮叶马先蒿种子量的变化

项目	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5
马先蒿种子数/(粒· m^{-2})	56 548±9 325	17 919±4 465	5 629±866	2 967±230	1 030±541
其它种子数/(粒· m^{-2})	618±759	930±326	979±213	2 257±486	1 392±604
马先蒿单株小花数/朵	16	51.1	54.7	45.4	43.1

3 结论

(1) 马先蒿属植物以其强大的种子繁殖能力和集群分布形式,对高寒地区草地具有极强的威胁^[12-13]。邱正强等^[12]分析了三江源区甘肃马先蒿的侵入及其对垂穗披碱草人工草地的影响,结果表明,甘肃马先蒿的侵入使垂穗披碱草的盖度、密度和生物

量严重降低。影响植物入侵的原因是复杂的,物种本身的生物学特性所决定的方面也是相当重要和复杂的^[14]。在以紫花针茅、羊茅和冰草等禾本科牧草为优势种的巴音布鲁克高寒草原,由于轮叶马先蒿的大面积发生,其个体数量及其在群落中的作用加强。伴随着轮叶马先蒿分盖度的增加,紫花针茅和羊茅等禾本科牧草密度、盖度和重要值和地上生物量明显下

降。造成这一结果的原因在于轮叶马先蒿同饲用植物争夺营养、光和水,造成了草地群落结构的单一化,降低了草地的产量和质量,最终导致草地失去利用价值。研究表明,在轮叶马先蒿发生严重的地方,其植物组成主要以轮叶马先蒿为主,其盖度、密度和地上生物量均达到最高。物种多样性和均匀度降低,紫花针茅、羊茅和冰草等优良禾本科牧草的优势地位降低,地上生物量减少,轮叶马先蒿种子数量占总数的 56% 以上,说明轮叶马先蒿主要是以数量优势取得在群落中的优势地位。

(2) 土壤水分是土壤环境的重要组成部分,李英年等^[15]的研究认为植物群落的种类组成主要取决于环境条件(温度、水分)的分布。轮叶马先蒿喜好生长在寒冷的高海拔地区,对水分条件要求很高^[16]。巴音布鲁克高寒草原土壤贫瘠,气温较低,水分是限制轮叶马先蒿生长的主要生境因子。研究表明,不同的土壤水分含量植物群落优势种不同,组成也不同,轮叶马先蒿距离水源最近 5 m 处在群落中占绝对优势地位,其盖度和重要值均达到最高。随着土壤含水量的降低,群落结构和组成也发生了变化,轮叶马先蒿的优势度逐渐减小,这说明轮叶马先蒿的生长对其它物种的生长与发展有一定的抑制作用。随着土壤水分含量的降低,轮叶马先蒿重要值和地上生物量整体呈现降低态势,禾本科植物的变化趋势则呈逐渐上升趋势,杂类草的变化呈现先增加后减小的单峰趋势。说明轮叶马先蒿对土壤水分要求很高,而禾本科植物适应干旱条件,杂类草在水分适中时长得最好。另外,在距离水源最近的样带 1 内物种丰富度最高,为 17 种,且随土壤含水量的降低其物种丰富度逐渐降低。也说明在巴音布鲁克高寒草原中,土壤水分是影响植物分布和生长的重要因素。

(3) 王静等^[16]研究表明,影响马先蒿属物种丰富度的两大主要因子是温度和水热因子。结果表明,水分在马先蒿的分布和生长过程中起到了至关重要的作用。距离水源越近,轮叶马先蒿分布越多,密度也越高,其密度与土壤含水量呈极显著正相关,而禾本科和杂类草随土壤含水量的降低变化不明显,这说明禾本科和杂类草受水分的影响相对较小。随着土壤水分含量的降低,物种多样性指数变化并不明显,而群落均匀度指数差异明显。但单株产生的种子数量在水分适中时最多,这也说明轮叶马先蒿的生长和繁殖并不是喜湿植物。另外,引起轮叶马先蒿大面积发生的另外一个因素是不合理的放牧,仁青吉等^[17-18]研究表明,放牧的直接采食和由此造成的竞争改变了群落结构,禾本科和莎草科牧草生态位丧失。在巴音布鲁克高寒草

原,放牧引起的土壤干燥,有机质和速效养分含量降低,含盐量升高,导致优势群落内物种生态位产生变化^[19]。过度放牧引起的优良牧草生态位降低导致轮叶马先蒿迅速扩大生态位,占据优势地位。因此,控制轮叶马先蒿扩繁的重要途径之一是合理放牧。

(4) 任何草地植物种群都是依存于特定的植物群落,而植物群落又与其生存的环境相互协调并构成一个统一的系统^[20],巴音布鲁克高寒草原中轮叶马先蒿的大面积发生势必造成群落的变化,打破原有的平衡。轮叶马先蒿原先生长在海拔为 2 800 m 以上的水源附近,是一种生命力顽强的草地害草,由于种子表皮光滑无毛,也无钩刺,很难通过动物进行传播。但其种子小而轻,数量多,易于被水和风传播,以及在适宜温度下萌发能力也很强^[11],故种子传播是其扩散蔓延的主要方式。巴音布鲁克高寒草原类型的分布面积占高寒草原总面积的 10.37%^[2],但其利用频率很高。为了缓解放牧压力,人工草地在当地的建植成为必然,而人工草地的灌溉水源主要来自于河流,7、8 月份也是天然草地灌溉的时期。野外调查表明,人工草地和水源附近轮叶马先蒿大面积发生和蔓延。因此,应考虑通过控制水源处轮叶马先蒿的繁殖与扩散来遏制其大面积发生与蔓延。

[参 考 文 献]

- [1] 麦来·斯拉木,叶尔道来提,阿德力,等. 天山尤鲁都斯盆地高寒草原的基本特征及其生产量[J]. 干旱区研究, 1991(5): 6-12.
- [2] 宋宗水. 巴音布鲁克草原生态恢复与综合治理已迫在眉睫[J]. 中国农业资源与区划, 2006, 27(1): 21-25.
- [3] 冯虎元,安黎哲,陈拓,等. 马先蒿(*Pedicularis* L.)植物稳定碳同位素组成与环境因子之间的关系[J]. 冰川冻土, 2003, 25(1): 88-93.
- [4] 高建军,刘自民,王继和,等. 阿拉善马先蒿中新木脂素成分研究[J]. 高等学校化学学报, 1994, 15(3): 396-397.
- [5] 王红. 大王马先蒿的传粉综合征状及其生物地理学意义[J]. 植物学报, 1998, 40(9): 781-785.
- [6] 陈绍田,管开云. 四种马先蒿属植物的菌根形态学研究[J]. 云南植物研究, 2001, 23(3): 331-334.
- [7] 阿布来提·阿布都热西提. 欧氏马先蒿中微量元素含量的测定及分析[J]. 喀什师范学院学报, 2005, 26(3): 55-56.
- [8] 于建梅,胡玉昆,李凯辉,等. 巴音布鲁克高寒草地主要植物种群生态特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(7): 155-159.
- [9] 于建梅,胡玉昆,李凯辉,等. 天山药用植物轮叶马先蒿的生物学特性研究[J]. 中草药, 2006, 37(12): 1884-1886.
- [10] 张晓艳,胡玉昆,姬承东,等. 2,4-丁酯对轮叶马先蒿的防除效果及对草地植被的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(4): 168-174.

水吸收在土壤中,但在降雨量大而集中的南方红壤区,高强度的降雨来不及入渗而形成较大的地表径流,造成强烈的冲刷,因此竹林地土壤结构不利于涵养水源。

[参 考 文 献]

- [1] Boix-Fayos C, Calvo-Cases A, Imeson A C, et al. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators[J]. *Catena*, 2001, 44(1): 47-67.
- [2] Li Y Y, Shao M A. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64(1): 77-96.
- [3] 巍强, 张秋良, 代海燕, 等. 大青山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(2): 111-115.
- [4] 沃飞, 蔡彦明, 方堃, 等. 天津市不同种植年限蔬菜地土壤水分特征对比研究[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(3): 236-240.
- [5] Philip J R. Hillslope infiltration divergent and convergent slopes[J]. *Water Resources*, 1991, 27(6): 1035-1040.
- [6] Peter A C. Developments in soil-water physics since the mid 1960s[J]. *Geoderma*, 2001, 100: 355-387.
- [7] 何东进, 洪伟, 胡海清, 等. 武夷山风景区森林景观土壤物理性质异质性及其分形特征[J]. *林业科学*, 2005, 41(5): 175-179.
- [8] 王丽, 梦丽, 张金池, 等. 不同植被恢复模式下矿区废弃地土壤水分物理性质研究[J]. *中国水土保持*, 2010(3): 54-58.
- [9] 刘世梁, 傅伯杰, 马克明, 等. 岷江上游高原植被类型与景观特征对土壤性质的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 26-30.
- [10] Brejda J J, Moorman T B, Karlen D L, et al. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(6): 2115-2124.
- [11] 杨弘, 李忠, 裴铁璠, 等. 长白山北坡阔叶红松林和暗针叶林的土壤水分物理性质[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 272-276.
- [12] 姜培坤, 周国模, 钱新标. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤养分含量与物理性质的变化[J]. *水土保持通报*, 2004, 18(1): 12-14.
- [13] 孙艳红, 张洪江, 杜士才, 等. 四面山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 109-112, 117.
- [14] 骆士寿, 李意德, 陈德祥, 等. 广东白盆珠水库水源林土壤水源涵养能力研究[J]. *生态科学*, 2007, 26(2): 159-164.
- [15] 史东梅, 吕刚, 蒋光毅, 等. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(6): 35-39.
- [16] 张远东, 刘世荣, 罗传文, 等. 川西亚高山林区不同土地利用与土地覆盖的地被物及土壤持水特征[J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 627-635.
- [17] 王光玉. 杉木混交林水源涵养和土壤性质研究[J]. *林业科学*, 2003, 39(S1): 15-19.
- [18] 杨金玲, 张甘霖. 城市“土壤水库”库容的萎缩及其环境效应[J]. *土壤*, 2008, 40(6): 992-996.
- (上接第56页)
- [11] 李凯辉, 胡玉昆, 阿德里·麦地, 等. 温度对轮叶马先蒿种子发芽的影响[J]. *云南植物研究*, 2006, 28(4): 421-424.
- [12] 邱正强, 马玉寿, 施建军, 等. 甘肃马先蒿对“黑土型”退化草地垂穗披碱草人工草地的影响[J]. *草原与草坪*, 2006(5): 26-29.
- [13] 柳妍妍, 胡玉昆, 于建梅, 等. 轮叶马先蒿危害现状及防治对策[J]. *干旱区研究*, 2008, 25(6): 778-782.
- [14] 王绍明, 张霞, 李裕. 植物群落可入侵性及其影响因子的分析[J]. *干旱区地理*, 2004, 27(4): 634-637.
- [15] 李英年, 赵新全, 王勤学, 等. 青海海北高寒草甸五种植被生物量及环境条件比较[J]. *山地学报*, 2003, 21(3): 257-264.
- [16] 王静, 唐亚, 夏怡凡, 等. 川渝地区马先蒿属物种丰富度空间分布格局及其影响因素[J]. *云南植物研究*, 2007, 29(1): 51-57.
- [17] 仁青吉, 崔现亮, 赵彬彬. 放牧对高寒草甸植物群落结构及生产力的影响[J]. *草业学报*, 2008, 17(6): 134-140.
- [18] 仁青吉, 武高林, 任国华. 放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植物群落特征的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(5): 256-261.
- [19] 王鑫, 胡玉昆, 热合木都拉·阿迪拉, 等. 巴音布鲁克高寒草原羊茅(*Festuca ovina*)群落生态位特征[J]. *干旱区地理*, 2009, 32(2): 255-260.
- [20] 冯纛, 张元明, 潘伯荣. 天山北坡中段草地类型的生态梯度组合格局与环境分析研究[J]. *干旱区地理*, 2006, 29(4): 238-243.