

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

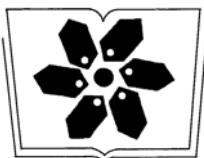
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第9期 Vol.34 No.9 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 9 期

2014 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 基于土壤食物网的生态系统复杂性-稳定性关系研究进展 陈云峰, 唐政, 李慧, 等 (2173)
- 滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析 符文超, 田昆, 肖德荣, 等 (2187)
- 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系——案例研究
..... 李阳兵, 罗光杰, 白晓永, 等 (2195)
- 青藏高原东缘高寒草原有毒植物分布与高原鼠兔、高原鼢鼠的相关性 ... 金樑, 孙莉, 崔慧君, 等 (2208)
- 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响 黎健龙, 唐劲驰, 黎秀娣, 等 (2216)

个体与基础生态

- 三峡库区马尾松林土壤-凋落物层酶活性对凋落物分解的影响 葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (2228)
- 芦苇、香蒲和蘆草 3 种挺水植物的养分吸收动力学 张熙灵, 王立新, 刘华民, 等 (2238)
- 沙化程度和林龄对湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 化学计量特征影响 ... 胡启武, 聂兰琴, 郑艳明, 等 (2246)
- 内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化对水分再分配和利用的影响 彭海英, 李小雁, 童绍玉 (2256)
- 遮阴对米槠和杉木原位排放甲烷的影响 陈细香, 杨燕华, 江军, 等 (2266)
- 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性 刘慧, 侯柏华, 张灿, 等 (2274)
- 鼠尾草属东亚分支的传粉模式 黄艳波, 魏宇昆, 葛斌杰, 等 (2282)

种群、群落和生态系统

- 养分资源脉冲供给对几种微藻种间竞争的影响 李伟 (2290)
- 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价 李静鹏, 徐明锋, 苏志尧, 等 (2297)
- 黄土丘陵区植物功能性状的尺度变化与依赖 丁曼, 温仲明, 郑颖 (2308)
- 湘潭锰矿栎树叶片和土壤 N、P 化学计量特征 徐露燕, 田大伦, 王光军, 等 (2316)
- 黄土高原春小麦农田蒸散及其影响因素 阳伏林, 张强, 王文玉, 等 (2323)
- 尾矿区不同植被恢复模式下高效固氮菌的筛选及 Biolog 鉴定 李雯, 阎爱华, 黄秋娟, 等 (2329)
- 四川理县杂谷脑干旱河谷岷江柏造林恢复效果评价 李东胜, 罗达, 史作民, 等 (2338)

景观、区域和全球生态

- 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体景观多样性 蔡建堤, 苏国强, 马超, 等 (2347)
- 面向土系调查制图的小尺度区域景观分类——以宁镇丘陵区中一小区域为例
..... 卢浩东, 潘剑君, 付传城, 等 (2356)

气候变化对华北冬小麦生育期和灌溉需水量的影响..... 胡 玮,严昌荣,李迎春,等 (2367)

资源与产业生态

基于 LMDI 分解的厦门市碳排放强度影响因素分析 刘 源,李向阳,林剑艺,等 (2378)

可持续生计目标下的生态旅游发展模式——以河北白洋淀湿地自然保护区王家寨社区为例.....

..... 王 瑾,张玉钧,石 玲 (2388)

荔枝树干液流速率与气象因子的关系 凡 超,邱燕萍,李志强,等 (2401)

肿腿蜂类寄生蜂室内控害效能评价——以松脊吉丁肿腿蜂为例 展茂魁,杨忠岐,王小艺,等 (2411)

城乡与社会生态

内蒙古草原人类福祉与生态系统服务及其动态变化——以锡林郭勒草原为例.....

..... 代光烁,娜日苏,董孝斌,等 (2422)

基于农业面源污染分区的三峡库区生态农业园建设研究 刘 涓,谢 谦,倪九派,等 (2431)

“交通廊道蔓延”视角下山地城市典型样带空间格局梯度分析 吕志强,代富强,周启刚 (2442)

学术信息与动态

美国地理学家协会 2014 年会述评 孙然好,肖荣波 (2450)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 280 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-05



封面图说: 峰丛洼地石漠化——峰丛主要分布在云贵高原的边缘部分及桂西、桂西北地区,相对高度一般为 200—300m,高的可达 600m 以上。在峰丛之间,岩溶洼地、漏斗、落水洞很发育,常形成峰丛洼地或峰丛漏斗的组合形态。峰丛洼地中的土地相当贫瘠,由于当地人们依靠这些土地种植庄稼为生,石漠化的发展趋势已经越来越明显。尤其在土地承载力低、人口压力大的区域石漠化相当严重,研究峰丛洼地耕地资源分布、土地利用强度和石漠化发育状况之间的机理,有助于从本质上认识石漠化的发生,对石漠化治理实施科学指导。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306051359

彭海英, 李小雁, 童绍玉. 内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化对水分再分配和利用的影响. 生态学报, 2014, 34(9): 2256-2265.

Peng H Y, Li X Y, Tong S Y. Effects of shrub (*Caragana microphalla* Lam.) encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe of Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2256-2265.

内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化 对水分再分配和利用的影响

彭海英^{1, 2}, 李小雁^{2, *}, 童绍玉¹

(1. 云南财经大学国土资源与持续发展研究所, 昆明 650221; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: 灌丛化是全球草原地区存在的主要环境问题。通过对内蒙古典型草原区小叶锦鸡儿灌丛和草地斑块冠层降雨再分配、地表径流、土壤含水量的对比观测, 研究了小叶锦鸡儿灌丛化对该区水分再分配和利用的影响。结果表明, 灌丛和草地斑块的冠层截留量分别占降雨量的 20.86% 和 7.88%, 灌丛和草地斑块的平均地表径流系数分别为 5.95% 和 17.19%。土壤含水量观测结果显示, 0—60 cm 土层中, 降雨事件过程中, 灌丛斑块较草地斑块能捕获更多水分, 灌丛斑块植被冠层下方土壤含水量高于草地斑块; 而在雨后无有效降水补充土壤水分的前提下, 0—60 cm 土层中, 灌丛斑块土壤水分蒸散发量高于草地斑块, 其中 0—10 cm 土层中灌丛斑块土壤水分蒸散发速率低于草地斑块, 10—60 cm 土层中灌丛斑块土壤水分蒸散发速率高于草地斑块。研究认为, 在水分为关键性限制因子的干旱半干旱区, 小叶锦鸡儿灌丛化过程增加草原生态系统中水分分布的空间异质性, 灌丛斑块能捕获、利用更多水分以维持更多的生物量。

关键词: 土壤含水量; 灌丛斑块; 草地斑块; 空间异质性; 水分再分配

Effects of shrub (*Caragana microphalla* Lam.) encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe of Inner Mongolia

PENG Haiying^{1, 2}, LI Xiaoyan^{2, *}, TONG Shaoyu¹

1 Institute of Land Resources and Sustainable Development, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China

2 College of Resources Sciences and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Shrub encroachment is the main environment problem at the steppe region on the earth. This study observed rainfall redistribution composition of plant canopy, surface runoff, and soil moisture content at the shrub and interspace grass patches respectively, analyzed effects of shrub encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe which encroached by *Caragana microphalla* Lam. (*C. microphalla*) in Inner Mongolia. Results showed that the average canopy interception was 20.86% and 7.88% for shrub and interspace grass patches respectively, and the average surface runoff coefficient was 5.95% and 17.19% at shrub and interspace grass patches respectively. Shrub patches had greater water capability than interspace grass patches in the same rainfall event, so soil moisture content under the canopy of shrub patches was much greater than interspace grass patches after rainfall events in the 0—60 cm soil layers; soil evapotranspiration below the canopy of shrub patches was much greater than grass patches in the 0—60 cm soil layers, the evapotranspiration rate below the canopy of shrub patches was much lower than interspace grass patches in the 0—10 cm soil

基金项目: 国家杰出青年科学基金(41025001); 云南财经大学科研基金引进人才科研启动费项目(YC2013D15); 中央高校基本科研业务费和长江学者和创新团队计划(IRT1108); 中央高校基本科研业务费专项资助(2012CXQT07)

收稿日期: 2013-06-05; **修订日期:** 2013-12-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xyli@bnu.edu.cn

layers, but it was much greater than interspace grass patches in the 10—60 cm soil layers. This study suggested that that shrub encroachment increased spatial heterogeneity of water distribution in grassland ecosystem at the arid and semiarid region where water was one of the key restriction factor, shrub patches could capture and utilize more water to produce more biomass than interspace grass patches.

Key Words: soil moisture content; shrub patches; grass patches; spatial heterogeneity; water redistribution

灌丛化是干旱半干旱区草地生态系统中灌木/木本植物的植株密度、盖度和生物量增加的现象^[1-2],是干旱半干旱区地表植被发生变化的主要表现,是全球草地生态系统面临的重要生态环境问题^[3],灌丛化研究正成为陆地生态系统全球变化研究的重要领域。

灌丛化过程中,灌木/木本植物呈团块状或岛状散布在草原植被基底上,形成斑块状植被分布景观^[4]。灌丛化过程增加地表景观破碎化程度,改变环境中光照、热量、水分、养分等的分布和利用方式^[4-6],改变生态系统中原来的资源分配和利用方式,有可能增强灌木和草本植物之间的竞争。Brantley 比较了弗吉尼亚州 *Morella cerifera* 灌丛化形成的灌丛斑块及其间的草地斑块的性质,发现灌丛斑块的凋落物和土壤 C、N 含量是其邻近草地斑块的 3—10 倍,灌木冠层下方的光照仅为冠层上方光照量的 0.5%^[6-7]。灌丛化过程对地表景观的改变影响降雨过程中的产、汇流特征,影响地表资源的分配,甚至影响植物生物量和物种丰富度以及动物的活动,对地表景观性质产生很大影响^[8]。Howard 等在澳大利亚灌丛化草地中的观测发现,与草地斑块相比,灌丛斑块植被冠层下方土壤养分循环和水分入渗率指数都较大,碳、氮含量较其邻近的草地斑块高^[9]。灌丛化过程中,灌木/木本植物的定居和发展挤占草本植物的生长空间,在水分、养分等的分配和利用方面产生剧烈竞争,影响草本植物对水分、养分等的吸收和利用,影响草本植物的再生产,降低草本植物的产量和质量。

小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.)是内蒙古草原上最具代表性的景观植物,为深根性灌木,根系发达且有根瘤、能固氮,特别耐旱、耐瘠薄。草地在受到放牧、气候变化等扰动的作用下,草原上原本占优势地位的禾草得不到充分发育,而小叶锦鸡儿以其强大的根系、独特的萌蘖繁殖方式、强有力的适

应干旱、瘠薄环境的一系列特性,在种群竞争中处于有利地位,小叶锦鸡儿一旦定居,便能不断发展壮大,发展形成灌丛化草地,内蒙古典型草原中小叶锦鸡儿灌丛化草地面积超过 $5.1 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[10-11],但是针对该区域灌丛化相关的实验研究还较少。由于灌丛化过程很难逆转^[12],而水分是干旱半干旱区草原生态系统中植被生长的关键性限制因子^[13],因此本研究的目的是:(1)观测内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化而形成的灌丛和草地斑块的降雨再分配过程和特征;(2)研究灌丛和草地斑块植被冠层下方土壤水分分布和利用特征,以期了解小叶锦鸡儿灌丛化背景下生态系统的发展维持机制,为干旱半干旱区植被的保护和恢复提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 研究区简介

研究在北京师范大学太仆寺旗农田草地生态系统野外试验站进行。试验站位于内蒙古自治区锡林郭勒盟太仆寺旗东北部(115°30'E,42°07'N),区域内海拔高度 1350—1400 m,呈现低山丘陵与盆地相间分布的和缓的波状起伏地形。研究区气候类型为温带大陆性半干旱气候:年均气温 1.6 °C,最冷月 1 月平均气温 -17.6 °C,最热月 7 月平均气温 17.8 °C;多年平均降雨量 392 mm,降水主要集中在 6—9 月,占年降雨量的 65% 以上,且研究区内年降雨量主要由次降雨量大于 5 mm 的降雨事件提供,其中次降雨量大于 5 mm 和 10 mm 的降雨事件分别占全年降雨次数的 30% 和 15%,所带来的降水总量为年降水量的 78% 和 56%,区内多年平均蒸发量为 1900 mm。其植被类型属于温带典型草原,主要植物物种有克氏针茅(*Stipa krylovii* Roshev.)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng)、冷蒿等(*Artemisia frigida* Willd.)等。栗钙土为区域内地带性土壤,钙积层大多出现在 1m 或 1m 以下的土层中,土壤质地主要为

砂土和砂壤土。

近几十年来,研究区内放牧强度由 20 世纪 50 年代的 0.91 羊/hm² 增加到目前的 2.68 羊/hm², 由于过度放牧等人为扰动,区内小叶锦鸡儿在群落中迅速扩展,形成了以小叶锦鸡儿占优势的灌丛斑块和灌丛之间的草地斑块相互交错分布的灌丛化草地景观。本研究统一将小叶锦鸡儿植株冠层垂直投影所在的范围称为灌丛斑块,灌丛斑块范围内的植物包括小叶锦鸡儿以及生长在其冠层下方的其他所有植物;将灌丛斑块之间的区域称为草地斑块,一般情况下,草地斑块的植被较稀疏,植被盖度低于灌丛斑块。

1.2 生物群落和生物量观测

选择坡长为 150m 左右、平均坡度 10%—15%、坡向向西的 3 个坡面,将各个坡面等距离地划分成坡顶(SP1)、坡上(SP2)、坡中(SP3)、坡下(SP4) 4 个部分,在坡顶、坡上、坡中、坡下 4 个坡位处分别设置 3 个 25 m×25 m 样方,将样方中灌丛斑块垂直投影所在的区域作为灌丛斑块的范围,对样方中每个灌丛斑块进行编号并将其垂直投影形态绘制在带刻度线的坐标纸上,记录灌丛和草地斑块中植物物种名称、观测其植被盖度、植株高度、地上生物量(图 1)^[14-15]。

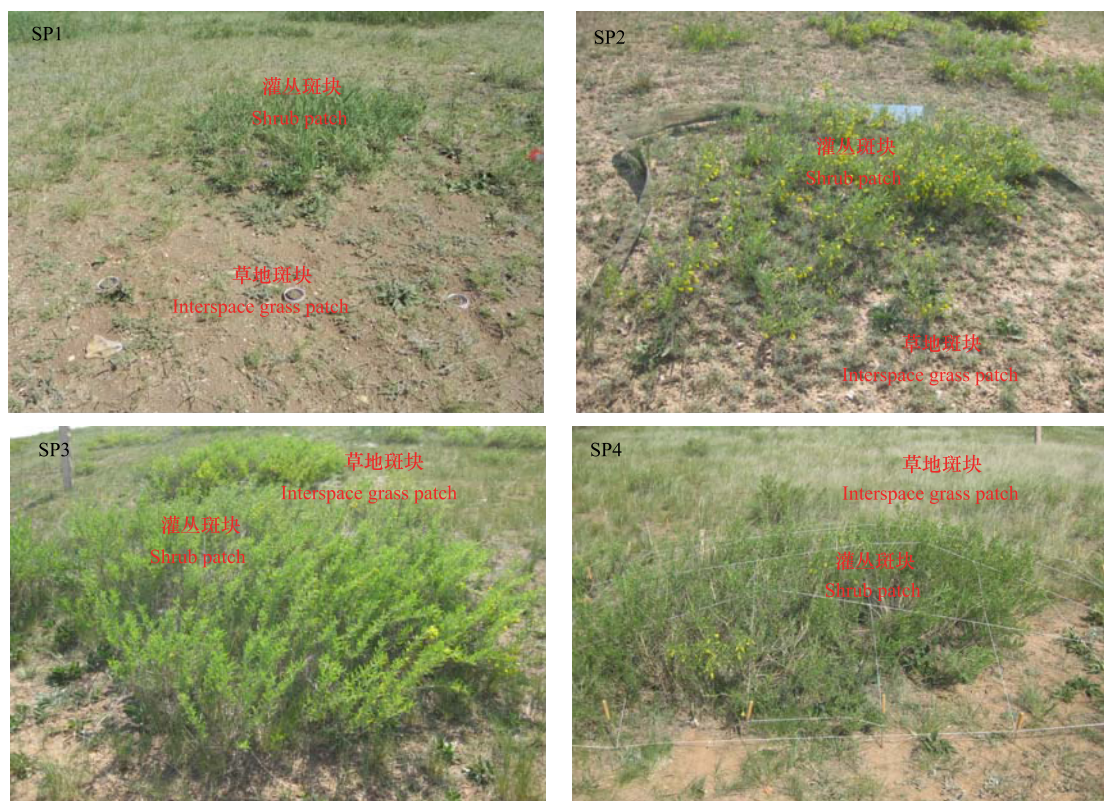


图 1 坡顶(SP1)、坡上(SP2)、坡中(SP3)、坡下(SP4)坡位处灌丛和草地斑块样方观测示意图^[14-15]

Fig.1 Shrub patches and interspace grass patches in the four topographic positions of the hillslope

1.3 冠层降雨再分配组分和地表径流观测

在上述 3 个坡面中,选择坡长 147m、平均坡度 12.9%的坡面,在其坡上、坡中部位各选择 3 个灌丛斑块,按 50 cm 间隔放置自制集雨器(在带盖且密封塑料瓶顶部打孔,将塑料漏斗插入塑料瓶中,用防水硅胶粘合漏斗和塑料瓶盖,集水后拧开瓶盖可倒出瓶中雨水),以观测灌丛斑块穿透雨(图 2);另选 5 个灌丛斑块,在其中 1 株有代表性的小叶锦鸡儿植

株主干上放置自制树干茎流收集器(将漏斗从顶端割开,在漏斗中部打孔,孔的直径与所测灌木直径大小相应,包裹好树干后用防水硅胶粘合割开的漏斗,将漏斗下端插入密封塑料瓶中,用防水胶带封住漏斗敞口部分,防止穿透雨进入漏斗),以测量小叶锦鸡儿的树干茎流^[16-17](图 2)。待某次降雨事件结束,立即用量筒测量树干茎流和穿透雨的体积,灌丛斑块冠层截留由降雨量与穿透雨和树干茎流的差值

计算得到。选择与观测穿透雨所在灌丛斑块相邻近的草地斑块,按照同样的方式观测草地斑块的穿透雨,本研究将草地斑块中草本植物的树干茎流忽略

不计,草地斑块冠层截留由降雨量与穿透雨的差值计算得到。

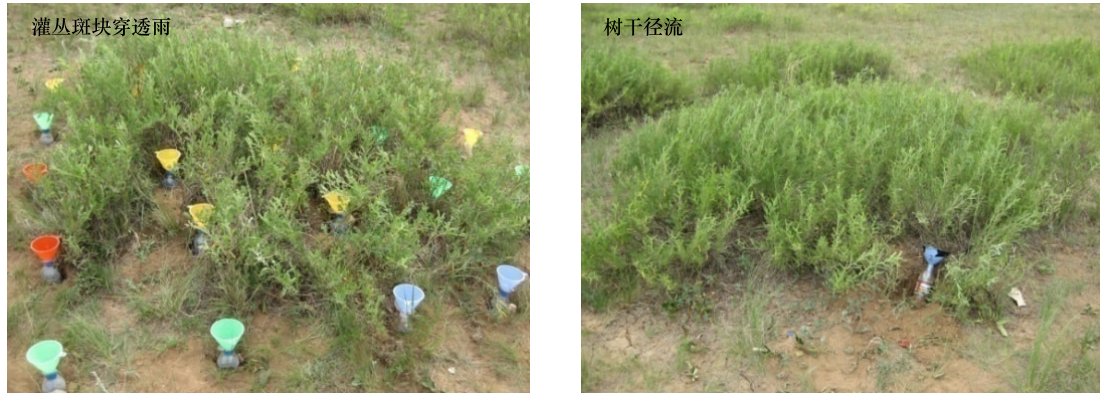


图 2 灌丛斑块穿透雨和树干径流观测装置及安放方式

Fig.2 Observation devices of the throughfall and stemflow for shrub patches

在穿透雨、树干茎流观测坡面的坡顶、坡上、坡中和坡下 4 个坡位的中部选择有代表性、相互邻近且位于同一海拔高度的灌丛和草地斑块,在其几何中心设置径流小区:将高 20 cm、直径为 62 cm 的圆形铁皮径流小区打入土中 5 cm,在径流小区的最低处开口并接上水管,将径流小区中的径流导入水桶,待某次降雨事件结束,立即用量筒测量地表径流的体积,由式(1)得到径流系数(CR):

$$CR = \frac{R}{S \times (P/10)} \times 100\% \quad (1)$$

式中,CR 为径流系数(%),R 为径流量(mL),S 为径流小区面积(cm²),P 为降雨量(mm)。4 个坡位处分别设置两组灌丛和草地斑块径流小区,径流小区所在灌丛和草地斑块的植物群落和土壤性质特征见表 1。

表 1 坡顶(SP1)、坡上(SP2)、坡中(SP3)、坡下(SP4)坡位处灌丛和草地斑块植物群落和土壤性质特征

Table 1 Characteristics of plant community and soil at shrub and interspace grass patches in the four topographic positions of the hillslope

		灌丛斑块 Shrub patches				草地斑块 Intersapce grass patches			
		SP1	SP2	SP3	SP4	SP1	SP2	SP3	SP4
物种数量		16±5	15±3	17±3	14±2	14±3	14±0	12±2	15±0
Species richness									
植被盖度/%		80±15	95±0	94±2	95±0	67±5	72±3	81±1	86±3
Plant cover									
地上生物量 /(g/m ²)		328.31±13.76	351.97±40.19	408.85±3.73	409.97±5.86	95.11±12.72	104.25±18.38	117.90±11.86	145.11±19.72
Above-ground biomass									
有机质/(g/kg)		6.72±2.12	14.26±4.94	15.96±4.49	16.15±5.33	6.85±1.84	8.56±2.12	15.07±5.53	18.02±5.14
Organic matter									
土壤全氮/(g/kg)		0.29±0.11	0.73±0.36	1.09±0.38	0.97±0.34	0.30±0.11	0.50±0.15	1.00±0.36	1.06±0.27
Total N									
土壤质地/%	砂粒	82.20±6.15	54.93±7.13	62.89±6.77	55.26±11.63	84.46±4.24	79.28±4.95	65.91±3.17	62.93±6.80
Soil texture	Sand								
	粉粒	10.67±5.16	24.03±4.34	24.71±3.92	27.62±4.63	8.82±2.86	12.43±2.65	21.10±1.26	22.79±4.28
	Silt								
	粘粒	6.53±1.21	21.04±8.72	12.40±2.98	17.12±8.03	6.73±1.45	8.29±2.47	12.99±3.21	14.28±4.19
	Clay								

1.4 土壤水分观测

采用烘干法观测土壤含水量:在坡顶、坡上、坡

中、坡下的径流小区附近选择有代表性且相互邻近的灌丛和草地斑块,在灌丛斑块的中分线上按自西

向东的方向确定 5 个间距相等的取样点,在草地斑块的中部按自西向东的方向以 60 cm 为间隔确定 3 个取样点,在各取样点用土钻自地表向下以 10 cm 为间隔获取 0—60 cm 土层中土壤样品,并在土壤样品的相应取土地点用 100 cm³ 环刀获取原状土柱,将土壤样品和原状土柱放入烘箱以 105 ℃ 恒温烘干 (24h),以式 2 计算土壤体积含水量,以式 3 计算一定深度土层中土壤贮水量。取土时间为 2011 年 6 月 16 日、6 月 28 日、8 月 3 日、8 月 10 日、8 月 30 日和 9 月 15 日,其中,6 月 15 日降雨 6.6 mm,6 月 16 日至 28 日期间无降雨事件,7 月 24 日、25 日共计降雨 40.4 mm,7 月 26 日至 8 月 10 日期间无降雨事件,8 月 29 日降雨 20.4 mm,9 月 14 日降雨 11.0 mm,本研究将 6 月 16 日、8 月 29 日和 9 月 15 日土壤含水量视为受降水事件影响的土壤含水量,将 6 月 28 日、8 月 3 日和 8 月 10 日的土壤含水量视为无降水期间受土壤水分蒸散发影响后的土壤含水量:

$$\theta_v = \frac{m_w - m_d}{m_d} \cdot \frac{m_t}{v_t \times \rho_w} \quad (2)$$

式中, θ_v 为土壤体积含水量 (cm³/cm³), m_w 为土壤样品烘干前的质量 (g), m_d 为土样烘干后的质量 (g), m_t 为环刀中土样烘干后的质量 (g), v_t 为环刀的容积

(cm³), ρ_w 为水的密度 (g/cm³), 本研究将水的密度视为 1 g/cm³。

采用式 (3) 计算一定深度土层中土壤贮水量:

$$w = h \times \theta_v \times 10 \quad (3)$$

式中, w 为土壤贮水量 (mm), h 为土层深度 (cm), θ_v 为土壤体积含水量 (cm³/cm³)。

1.5 气象观测

在坡中部安装自动气象站 (Dynamax Inc., Houston, TX, USA), 记录降雨、气温、风速、风向等气象要素, 采用数据采集器 (CR1000, Campbell Scientific, Logan, UT) 采集 10min 间隔的气象数据。以上实验均在 2011 年 6—9 月期间完成。

1.6 统计分析

采用 SPSS13.0 作为统计分析工具, 采用方差分析 (ANOVA) 比较各组数据之间的差异性, 所有的统计分析均在 0.05 显著性水平上完成。

2 结果

2.1 灌丛斑块空间分布

图 3 为坡顶、坡上、坡中、坡下 4 个坡位处灌丛斑块空间分布格局, 表 2 为灌丛斑块的统计特征。

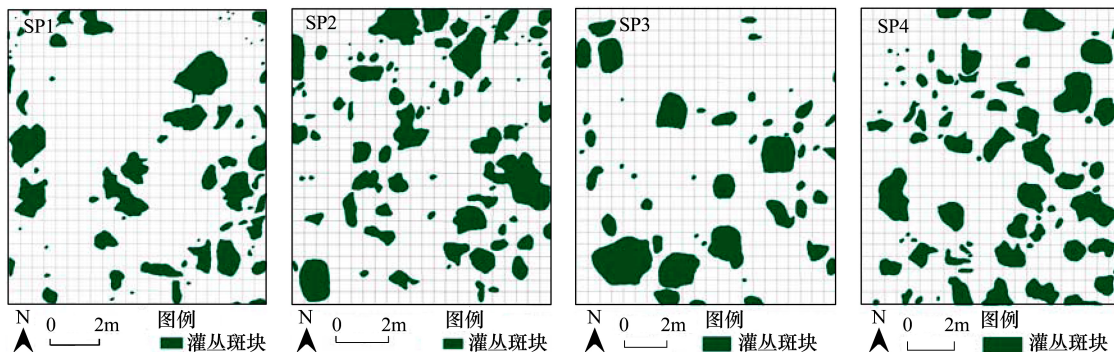


图 3 坡顶 (SP1)、坡上 (SP2)、坡中 (SP3)、坡下 (SP4) 坡位处灌丛斑块空间分布格局
Fig.3 Spatial pattern of shrub patches in the four topographic positions of the hillslope

结合图 3 和表 2 可知, 坡顶、坡上和坡下灌丛斑块数量显著高于坡中部位, 灌丛斑块平均面积显著低于坡中部位; 坡上部位灌丛斑块总面积最大, 而坡顶、坡中和坡下部位灌丛斑块面积相差不大; 坡上、坡中、坡下部位灌丛斑块中小叶锦鸡儿植株密度和高度均高于坡顶部位, 但差异不显著。由坡顶、坡上、坡中和坡下部位灌丛斑块的面积推算得到, 整个坡面草地斑块的面积是灌丛斑块的面积的 3.85 倍。

2.2 降雨再分配组分构成

2.2.1 植被冠层的降雨再分配

实验观测期间, 灌丛斑块产生穿透雨和树干茎流的最低降雨量分别为 0.5 mm 和 1.0 mm, 而草地斑块产生穿透雨的最低降雨量为 0.4 mm, 说明降雨量大于 0.5 mm 和 0.4 mm 的降雨事件能直接补充灌丛和草地斑块冠层下方土壤水分。表 3 为研究区内灌丛和草地斑块植被冠层的穿透雨、树干茎流和计算

得出的冠层截留量特征。由表 3 可知,灌丛斑块的穿透雨、树干径流和冠层截留分别占降雨量的 3.11%、76.04% 和 20.86%;草地斑块的穿透雨和冠层截留分别占降雨量的 92.12% 和 7.88%。灌丛斑块的冠层截留量高于草地斑块,说明在降雨事件过程中,灌丛斑块冠层下方到达地表的雨水量低于草地斑块。对树干茎流、穿透雨和冠层截留量占降雨量的百分比与降雨量之间的关系进行了对数、指数、幂函数和双曲线函数的拟合,比较得到对数型函数具

有较高的拟合精度,能够较好地反映降雨再分配各组成要素的百分比随降雨量的变化关系。函数曲线表明,灌丛和草地斑块的穿透雨和树干茎流量(灌丛斑块)占降雨量的百分比均随降雨量的增加而增加,冠层截留量占降雨量的百分比随降雨量的增加而减少,在较大降雨量的降雨事件过程中,当降雨满足了植物茎干、枝条和叶片吸水以及冠层截留水量以后,冠层对降落到地面雨水水量的影响逐渐趋于稳定。

表 2 坡顶(SP1)、坡上(SP2)、坡中(SP3)、坡下(SP4)坡位处灌丛斑块特征
Table 2 Characteristics of shrub patches in the four topographic positions of the hillslope

	SP1	SP2	SP3	SP4
灌丛斑块数量 Number of shrub patches	84 ± 4a	103 ± 18a	62 ± 7b	80 ± 3a
灌丛斑块平均面积 Average patch size /m ²	1.54 ± 0.22a	1.43 ± 0.11a	2.05 ± 0.31b	1.58 ± 0.12a
灌丛斑块面积比例 Area percentage /%	19.50 ± 4.93a	22.54 ± 3.03a	20.00 ± 3.54a	20.51 ± 2.12a
小叶锦鸡儿植株密度 Plant density of <i>C. microphylla</i> /(株/m ²)	20 ± 1a	37 ± 8a	35 ± 6a	29 ± 5a
小叶锦鸡儿植株高度 Height of <i>C. microphylla</i> /cm	31.23 ± 10.61a	34.09 ± 11.03a	36.00 ± 5.94a	36.40 ± 4.33a

同一行中不同字母表示灌丛斑块特征在 $P=0.05$ 水平上具有显著差异,相同字母表示差异性不显著

表 3 灌丛和草地斑块植被冠层降雨再分配组分占降雨量的百分比
Table 3 Percentage of rainfall redistribution components to precipitation for the canopy of shrub and interspace grass patches

	降雨再分配组分 Rainfall redistribution components	占降水量百分比 Percentage to precipitation /%	对数型函数拟合方程 The fitted equation
灌丛斑块 Shrub patches	树干茎流 Stemflow	3.11	$Y=1.824\ln(x)+7.185$ $R^2=0.232$
	穿透雨 Throughfall	76.04	$Y=3.882\ln(x)+67.29$ $R^2=0.191$
	冠层截留 Interception	20.85	$Y=-6.57\ln(x)+27.57$ $R^2=0.383$
草地斑块 Interspace grass patches	穿透雨 Throughfall	92.12	$Y=3.387\ln(x)+84.44$ $R^2=0.178$
	冠层截留 Interception	7.88	$Y=-3.38\ln(x)+15.55$ $R^2=0.17$

2.2.2 地表水分再分配

图 4 是不同坡位处灌丛和草地斑块地表径流系数分布图。由图可知,草地斑块地表径流系数显著高于灌丛斑块,灌丛和草地斑块的平均地表径流系数分别为 5.95% 和 17.19%。坡顶、坡上、坡中部位草地斑块地表径流系数显著高于坡下部位,坡顶部位灌丛斑块地表径流系数低于坡上、坡中、坡下部位,但其差异性并不显著。

在不考虑地表汇流的情形下,降雨事件过程中,到达地表的雨水一部分以地表径流的形式流走,另一部分渗入植被冠层下方土壤,储存于土壤库中或进入地下水。结合灌丛和草地斑块植被冠层的降雨再分配组分构成和地表径流特征,计算得出雨水到达地表后,灌丛和草地斑块在降雨事件过程中直接

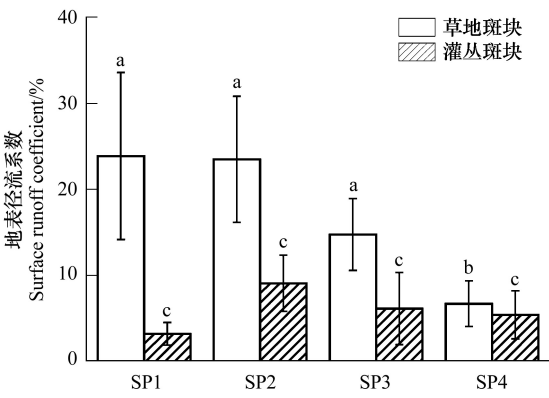


图 4 坡顶(SP1)、坡上(SP2)、坡中(SP3)、坡下(SP4)四个坡位处草地和灌丛斑块地表径流系数

Fig.4 Surface runoff coefficient of shrub and interspace grass patches in the four topographic positions of the hillslope

渗入冠层下方土壤层的水分分别占降水量的 73.19% 和 74.93%, 草地斑块的入渗水量略高于灌丛斑块。

2.3 土壤水分分布

因为研究区地下水水位为 3—7 m, 表层土壤受地下水的影响较小^[18], 本研究认为 0—60 cm 土层中土壤水分主要受到降水补给, 而较少受地下水影响。图 5 是不同坡位灌丛和草地斑块受降水事件影响和无降水事件期间土壤水分蒸散发影响的土壤水分分

布图。由图可知, 0—60 cm 土壤层中, 次降雨量较小时 (6.6 mm), 坡顶、坡上部位灌丛斑块土壤含水量低于草地斑块, 而坡中、坡下部位土壤含水量高于草地斑块; 次降雨量大于 10 mm 时, 坡顶、坡上、坡中、坡下部位灌丛斑块土壤含水量高于草地斑块; 从整个坡面来看, 无论是受降雨事件影响, 还是受雨后短期无降雨事件期间土壤水分蒸散发影响, 灌丛和草地斑块夏季土壤含水量均呈自坡顶向坡下部位增加的趋势。

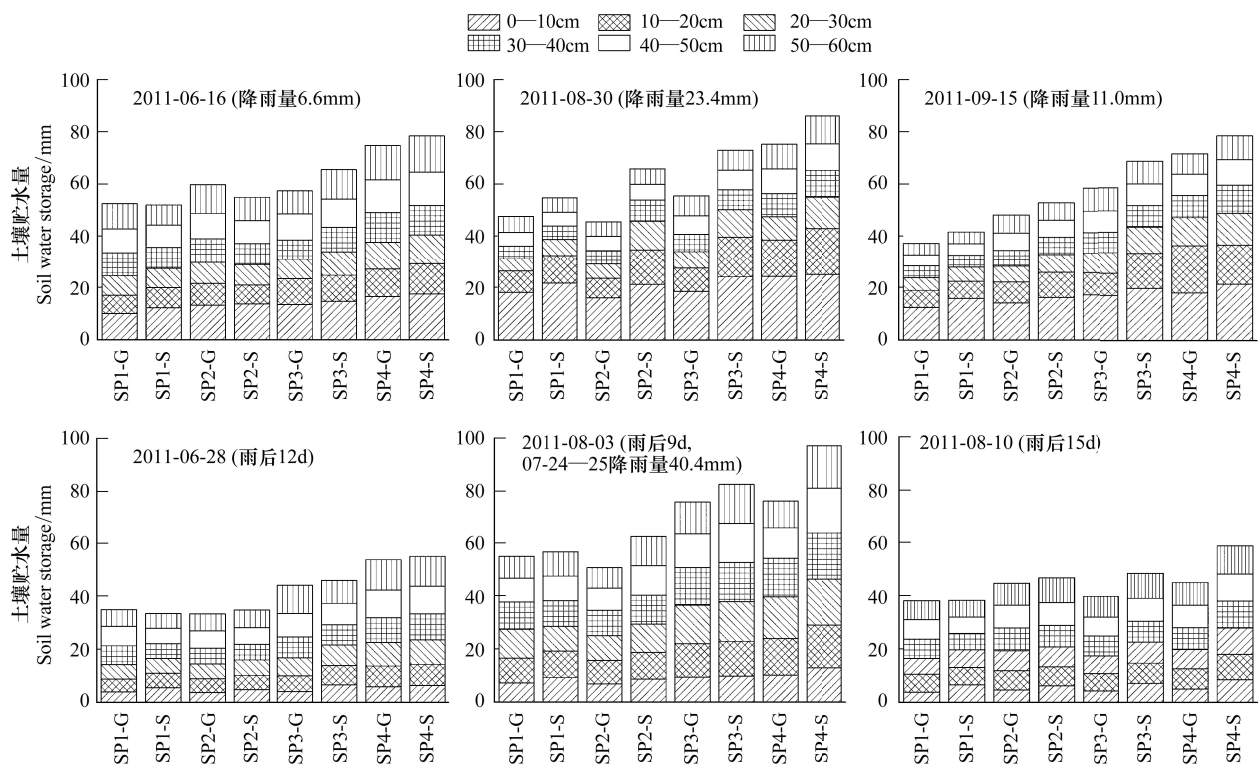


图 5 坡顶、坡上、坡中、坡下部位草地和灌丛斑块 0—60 cm 土层中土壤贮水量

Fig. 5 Soil water storage in the 0—60 cm soil layers of shrub and interspace grass patches in the four topographic positions of the hillslope SP1—S/G, SP2—S/G, SP3—S/G, SP4—S/G 分别代表坡顶、坡上、坡中、坡下部位灌丛/草地斑块

2.4 土壤水分蒸散发特征

图 6 是 6 月 16 日至 6 月 28 日和 8 月 3 日至 8 月 10 日无降雨事件期间灌丛和草地斑块冠层下方 0—60 cm 土层中土壤水分蒸散发量分布图。由图 6 可知, 6 月 16 日至 28 日期间, 0—60 cm 土层中, 坡上部位灌丛斑块土壤水分蒸散发量低于草地斑块, 其余坡位处灌丛斑块土壤水分蒸散发量高于草地斑块 (图 6), 灌丛和草地斑块平均土壤水分蒸散发速率为 1.70 mm/d 和 1.63 mm/d。其中 0—10 cm 土层中, 坡上、坡中部位灌丛斑块土壤水分蒸散发量低于草地斑块, 坡顶、坡下部位灌丛斑块土壤水分蒸散发

量高于草地斑块 (图 6), 灌丛和草地斑块 0—10 cm 土层平均土壤水分蒸散发速率分别为 0.73 mm/d 和 0.75 mm/d; 而 10—60 cm 土层中, 坡上部位灌丛斑块土壤水分蒸散发量低于草地斑块, 其余坡位处灌丛斑块土壤水分蒸散发量高于草地斑块 (图 6), 灌丛和草地斑块 10—60 cm 土层平均土壤水分蒸散发速率分别为 0.97 mm/d 和 0.88 mm/d。8 月 3 日至 8 月 10 日期间, 0—60 cm 土层中, 坡中部位灌丛斑块土壤水分蒸散发量低于灌丛斑块, 坡顶、坡上和坡下部位灌丛斑块土壤水分蒸散发量高于草地斑块 (图 6), 灌丛和草地斑块平均土壤水分蒸散发速率为

3.80 mm/d 和 3.21 mm/d。其中 0—10 cm 土层中,坡上部位灌丛斑块土壤水分蒸散发量高于草地斑块,坡顶、坡中和坡下部位灌丛斑块土壤水分蒸散发量低于草地斑块(图 6),灌丛和草地斑块 0—10 cm 土层平均土壤水分蒸散发速率分别为 0.44 mm/d 和 0.56 mm/d;而 10—60 cm 土层中,4 个坡位灌丛斑块土壤水分蒸散发量均高于草地斑块(图 6),灌丛和

草地斑块 10—60 cm 土层中平均土壤水分蒸散发速率分别为 3.36 mm/d 和 2.65 mm/d。总体来看,0—60 cm 土层中,灌丛斑块土壤水分蒸散发量高于草地斑块,其中 0—10 cm 土层中灌丛斑块土壤水分蒸散发速率低于草地斑块,10—60 cm 土层中灌丛斑块土壤水分蒸散发速率高于草地斑块。

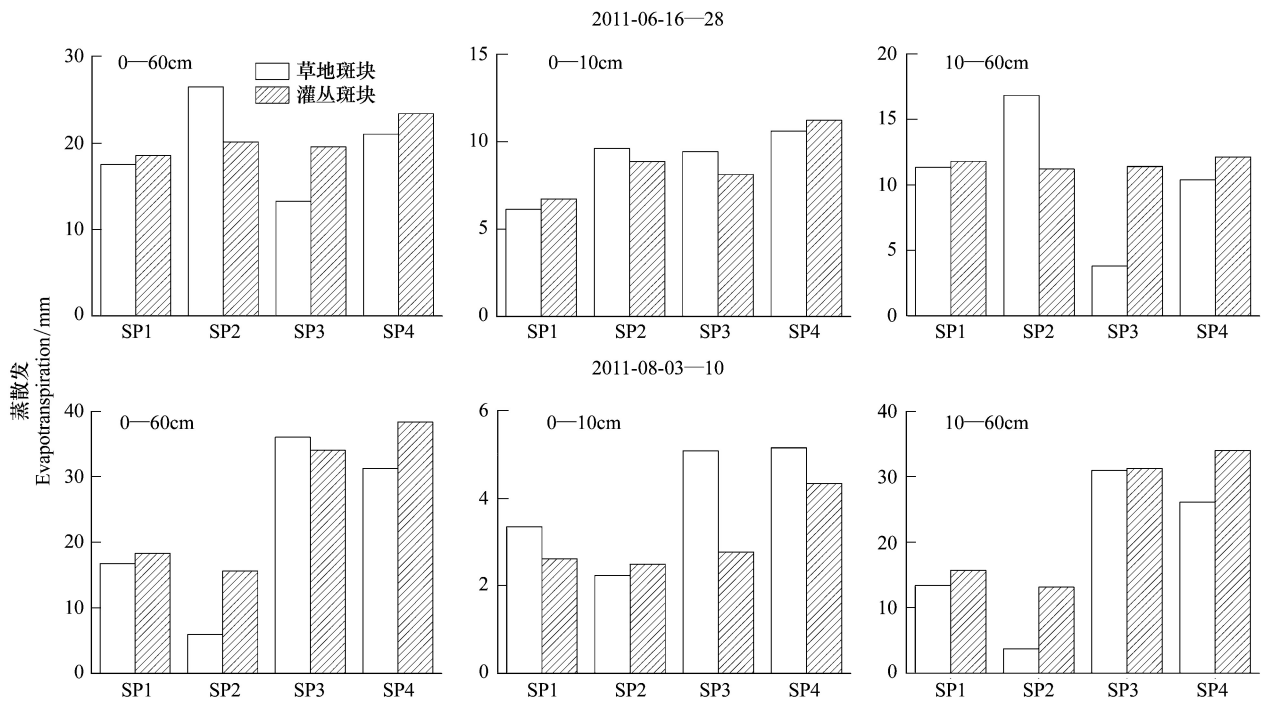


图 6 2011 年 6 月 16 日至 6 月 28 日和 2011 年 8 月 3 日至 8 月 10 日期间坡顶(SP1)、坡上(SP2)、坡中(SP3)、坡下(SP4)坡位处灌丛和草地斑块冠层下方 0—60 cm 土层土壤水分蒸散发量

Fig.6 Soil water evapotranspiration in the 0—60 cm soil layers under the canopy of shrub and interspace grass patches in the four topographic positions of the hillslope between June 16th—28th and August 3rd—10th

3 讨论与结论

3.1 讨论

水分是干旱半干旱区植被生长和发展的关键性限制因素^[13],其中土壤水分是植被生长最主要的水分来源,降雨是干旱半干旱区土壤水分主要的补给来源^[19],因此土壤层在降雨事件过程中捕获的降雨量的多少将直接影响植被的生长发育。

3.1.1 植被类型对降雨再分配和水分利用的影响

灌丛斑块中小叶锦鸡儿的根系发达,根系较深^[20],在其生长过程中与土壤发生强烈的相互作用,在土壤中形成了一系列相互连通的大孔隙,降雨事件过程中,水分到达地表后可通过大孔隙形成的

通道以优势流的形式迅速渗入并贮存于深层土壤^[17],此外,灌丛化过程中,与其邻近的草地斑块相比,灌丛斑块冠层下方的枯落物数量和质量较高,土壤容重低于草地斑块,土壤有机质含量和土壤水分入渗速率高于草地斑块^[6-7, 21-22],灌丛斑块的这些特征均有利于拦蓄到达其冠层下方的雨水,减少地表径流,因而同一降雨事件中,灌丛斑块的地表径流系数低于草地斑块。

灌丛斑块植被盖度和生物量高于与其邻近的草地斑块,降雨事件中灌丛斑块植被冠层对雨水的截留量高于草地斑块,导致到达地表的水量低于草地斑块,但灌丛斑块冠层下方的地表径流系数低于草地斑块,抵消了冠层截留带来的水量损失,最终,在不考虑地表汇流情形下,降雨事件中,渗入灌丛和草

地斑块植被冠层下方土壤层的水量相差不大。

降雨事件过程中,次降雨量较小时,由于灌丛斑块植被盖度较高,其冠层截留量占降水量比例较大,在无地表汇流的情形下,渗入灌丛斑块植被冠层下方土壤的雨水量低于草地斑块。而在降雨量较大、植被冠层截留量达最大值、有地表径流产生的前提下,一方面灌丛斑块植被冠层下方土壤获得树干茎流和穿透雨带来的水量,另一方面由于草地斑块植被冠层下方土壤水分入渗速率低于灌丛斑块^[21],更易产生地表径流,在流经灌丛斑块时,可能有部分径流渗入灌丛斑块植被冠层下方土壤,草地斑块成为水分的源,而灌丛斑块成为水分的汇^[23]。研究区一半以上的降水量由次降雨量大于 10 mm 的降雨事件提供,因此大部分雨水能到达地表并产生地表径流,在流经灌丛斑块时以优势流的形式快速渗入灌丛斑块植被冠层下方土壤,从而灌丛斑块土壤含水量高于草地斑块,形成水分相对富集的“水分岛(hydrologic islands)”^[24]。

Li 等通过观测发现,在 0—60 cm 土壤层中,冬季灌丛斑块的土壤日平均温度高于草地斑块 0.1—1.5℃,夏季灌丛斑块的土壤日平均温度低于草地斑块 0.3—2.7℃^[20],认为灌丛斑块夏季土壤温度较低有利于降低灌丛斑块的土壤水分蒸发,保证更多水分用于植物蒸腾。Newman 等在美国新墨西哥州北部干旱区灌木地中对灌丛斑块和其间的草地斑块的土壤蒸发、植物蒸腾进行分离的试验观测中发现,灌丛斑块冠层下方土壤水分蒸发量较草地斑块低,但灌丛斑块的土壤水分蒸散发总量是草地斑块的 4—6 倍^[25],说明灌丛斑块的蒸腾量高于草地斑块,这可能是因为灌丛斑块的生物量高于草地斑块导致的。本研究未进行土壤水分蒸散发的分离试验,但对灌丛和草地斑块的土壤水分蒸散发总量的观测结果显示,夏季无降水事件期间,灌丛斑块的土壤水分蒸散发总量高于草地斑块,这与 Newman 等的研究结果是一致的。草地斑块 0—10 cm 土壤层中草本植物根系密集,且植被盖度相对较低,因而土壤水分蒸散发速率较高;灌丛斑块表层土壤温度较低,能有效降低土壤水分蒸发速率,且灌丛斑块中小叶锦鸡儿根系较深较发达^[20],能将下层土壤水分输送至表层土壤补充其蒸散发过程损失的水分,这可能导致灌丛斑块 0—10 cm 土层中因土壤水分蒸散发而导致的

水分减少量低于草地斑块,而 10—60 cm 土层中土壤水分蒸散发量高于草地斑块。

3.1.2 坡位变化对降雨再分配和水分利用的影响

坡顶、坡上部位草地斑块植被盖度和生物量低于坡中、坡下部位,对雨水的拦蓄作用小,导致坡顶、坡上部位草地斑块地表径流系数低于坡中、坡下部位,这与 Snyman 和 Van Rensburg^[26]、Raya 等^[27]的研究结果一致。4 个坡位处灌丛斑块植被盖度相差不大,且灌丛斑块的持水能力较强,因此灌丛斑块之间的地表径流系数相差不大。

坡顶、坡上、坡中和坡下部位的地表径流集水面积极逐渐增大,在降水总量有限的前提下,坡顶、坡上、坡中和坡下部位土壤层所捕获的水量呈增加趋势,从而坡顶、坡上、坡中和坡下部位 0—60 cm 土层中土壤含水量呈增加趋势,这也直接导致坡中和坡下部位可用于蒸散发的水量高于坡顶、坡上部位。

3.2 结论

本文通过对内蒙古典型草原灌丛化地区和缓坡面上不同坡位处的灌丛和草地斑块生物群落及水分分布及利用特征的观测,得出如下结论:

(1) 灌丛化过程中,小叶锦鸡儿的定居和发展,改变了植被冠层的形态和结构,导致植被冠层对降雨再分配组分构成产生差异,增加灌丛和草地斑块冠层降雨再分配的异质性;小叶锦鸡儿在其生长过程中通过根系与土壤的相互作用,增强了灌丛斑块对水分的捕获能力,减少灌丛斑块地表径流,增大了灌丛化草原中土壤水分分布的空间异质性。

(2) 坡顶、坡上部位植被盖度和生物量低于坡中、坡下部位,坡顶、坡上部位草地斑块地表径流系数高于坡中、坡下部位,而坡顶、坡上、坡中和坡下部位灌丛斑块地表径流系数相差不大。

(3) 内蒙古典型草原灌丛化过程中,单位面积内灌丛斑块的生物量高于草地斑块;0—60 cm 土壤层中,灌丛斑块土壤水分蒸散发量高于草地斑块,其中 0—10 cm 土壤层中灌丛斑块土壤水分蒸散发速率低于草地斑块,10—60 cm 土壤层中灌丛斑块土壤水分蒸散发速率高于草地斑块。

References:

- [1] Van Auken O W. Shrub Invasions of North American Semiarid Grasslands. Annual Review of Ecology and Systematics, 2000, 31: 197-215.

- [2] Van Auken O W. Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90: 2931-2942.
- [3] Eldridge D J, Bowker M A, Maestre F T, Roger E, Reynolds J F, Whitford W G. Impacts of shrub encroachment on ecosystem structure and functioning: towards a global synthesis. *Ecology Letters*, 2011, 14(7): 709-722.
- [4] Alofs K M, Fowler N L. Habitat fragmentation caused by woody plant encroachment inhibits the spread of an invasive grass. *Journal of Applied Ecology*, 2010, 47(2): 338-347.
- [5] Knapp A K, Briggs J M, Collins S L, Archers S R, Bret-Harte M S, Ewers B E, Peters D P, Young D R, Shaver G R, Pendall E, Cleary M. Shrub encroachment in North American grasslands: shifts in growth form dominance alters control of ecosystem carbon inputs. *Global Change Biology*, 2008, 14(3): 615-623.
- [6] Brantley S T. Consequences of shrub encroachment: linking changes in canopy structure to shifts in the resource environment [D]. PHD Thesis. USA: Virginia Commonwealth University, 2009.
- [7] Brantley S T, Young D R. Contribution of sunflecks is minimal in expanding shrub thickets compared to temperate forest. *Ecology*, 2009, 90: 1021-1029.
- [8] Boeken B, Orenstein D. The effect of plant litter on ecosystem properties in a Mediterranean semi-arid shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 2001, 12(6): 825-832.
- [9] Howard K S C, Eldridge D J, Soloveres S. Positive effects of shrubs on plant species diversity do not change along a gradient in grazing pressure in an arid shrubland. *Basic and Applied Ecology*, 2012, 13: 159-168.
- [10] Zhang Z, Wang S P, Nyren P, Jiang G M. Morphological and reproductive response of *Caragana microphylla* to different stocking rates. *Journal of Arid Environments*, 2006, 67: 671-677.
- [11] Zhou D W. *Caragana microphylla* Lam encroached grassland in Inner Mongolia. *Inner Mongolia Pratacult*, 1990, 3: 17-19.
- [12] Ratajczak Z, Nippert J B, Hartman J C, Ocheltree T W. Positive feedbacks amplify rates of woody encroachment in mesic tallgrass prairie. *Ecosphere*, 2011, 2(11): art121.
- [13] Li X Y. Mechanism of coupling, response and adaptation between soil, vegetation and hydrology in arid and semiarid regions. *Scientia Sinica Terrae*, 2011, 41(12): 1721-1730.
- [14] Castro H, Freitas H. Above-ground biomass and productivity in the Montado: From herbaceous to shrub dominated communities. *Journal of Arid Environment*, 2009, 73: 506-511.
- [15] Estornell J, Ruiz L A, Velázquez-Martí B, Fernández-Sarría A. Estimation of shrub biomass by airborne LiDAR data in small forest stands. *Forest Ecology Management*, 2011, 262: 1697-1730.
- [16] Yang Z P, Li X Y, Liu L Y, Wu J J, Ha S, Sun Y L. Characteristics of stemflow for sand-fixed shrubs in Mu Us sandy land, Northwest China. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(8): 939-945.
- [17] Li X Y, Yang Z P, Li Y T, Lin H. Connecting ecohydrology and hydrogeology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2009, 13: 1133-1144.
- [18] Wang Y J. Identification of aquifer system and evaluation water resources by the Taipusi banner [D]. Master dissertation of Inner Mongolia Agricultural University, 2002.
- [19] Reynolds J F, Kemp P R, Ogle K, Jernández R J. Modifying the 'pulse-reserve' paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water, and plant responses. *Oecologia*, 2004, 141(2): 194-210.
- [20] Li X Y, Zhang S Y, Peng H Y, Hu X, Ma Y J. Soil water and temperature dynamics in shrub-encroached grasslands and climatic implications: Results from Inner Mongolia steppe ecosystem of north China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 171-172: 20-30.
- [21] Parizek B, Rostagno C M, Sottini R. Soil Erosion as Affected by Shrub Encroachment in Northeastern Patagonia. *Journal of Range Management*, 2002, 55(1): 43-48.
- [22] Zhang T H, Su Y Z, Cui J Y, Zhang Z H, Chang X X. A Leguminous Shrub (*Caragana microphylla*) in semiarid sandy soils of north China. *Pedosphere*, 2006, 16(3): 319-325.
- [23] Dunkerley D., Brown K J. Runoff and runoff areas in a patterned chenopod shrubland, arid western New South Wales, Australia: characteristics and origin. *Journal of Arid Environments*, 1995, 30: 41-55.
- [24] Rango A, Tartowski S L, Laliberte A, Waineright J, Parsons A. Islands of hydrologically enhanced biotic productivity in natural and managed arid ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 2006, 65(2): 235-252.
- [25] Newmana B D, Breshears D D, Gard M O. Evapotranspiration Partitioning in a Semiarid Woodland: Ecohydrologic Heterogeneity and Connectivity of Vegetation Patches. *Vadose Zone Journal*, 2010, 9: 561-572.
- [26] Snyman H A, Van Rensburg W L J. Effect of slope and plant cover on run-off, soil loss and water use efficiency of natural veld. *Journal of the Grassland Society of Southern Africa*, 1986, 3(4): 153-158.
- [27] Raya A M, Zuazo V H D, Martínez J R F. Soil erosion and runoff response to plant-cover strips on semiarid slopes (SE Spain). *Land Degradation & Development*, 2006, 17(1): 1-11.

参考文献:

- [11] 周道玮. 内蒙古小叶锦鸡儿灌丛化草地. *内蒙古草业*, 1990, 3: 17-19.
- [13] 李小雁. 干旱地区土壤-植被-水文耦合、响应与适应机制. *中国科学:地球科学*, 2011, 41(12): 1721-1730.
- [16] 杨志鹏, 李小雁, 刘连友, 武建军, 哈斯, 孙永亮. 毛乌素沙地固沙灌木树干茎流特征. *科学通报*, 2008, 53(8): 939-945.
- [18] 王亚娟. 太仆寺旗水层系统辨识与水资源评价 [D]. 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2002.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.9 May ,2014(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on ecosystem complexity-stability relationships based on soil food web CHEN Yunfeng, TANG Zheng, LI Hui, et al (2173)
- The ecological restoration effort of degraded estuarine wetland in Northwest Yunnan Plateau, China FU Wenchao, TIAN Kun, XIAO Derong, et al (2187)
- The correlations among arable land, settlement and karst rocky desertification-cases study based on typical peak-cluster depression ... LI Yangbing, LUO Guangjie, BAI Xiaoyong, et al (2195)
- Correlation between the distribution characteristics of poisonous plants and *Ochotona curzoniae*, *Myospalax baileyi* in the East of Tibetan Plateau Alpine meadow ecosystem JIN Liang, SUN Li, CUI Huijun, et al (2208)
- Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations LI Jianlong, TANG Jingchi, LI Xiudi, et al (2216)

Autecology & Fundamentals

- Effect of soil-litter layer enzyme activities on litter decomposition in *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir Area GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (2228)
- Kinetics of nutrient uptake by three emergent plants, *Phragmites australis*, *Typha orientalis* and *Scirpus triquetra* ZHANG Xiling, WANG Lixin, LIU Huamin, et al (2238)
- Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliottii* plantation HU Qiwei, NIE Lanqin, ZHENG Yanming, et al (2246)
- Effects of shrub (*Caragana microphalla* Lam.) encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe of Inner Mongolia PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (2256)
- Effects of shadowing on methane Emissions from *Castanopsis carlesii* and *Cunninghamia lanceolata* CHEN Xixiang, YANG Yanhua, JIANG Jun, et al (2266)
- Oviposition preference and offspring performance of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta* (Diptera: Tephritidae) on six host fruits LIU Hui, HOU Bohua, ZHANG Can, et al (2274)
- Pollination Mechanisms of genus *Salvia* (Lamiaceae) in East Asia (China) HUANG Yanbo, WEI Yukun, GE Binjie, et al (2282)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of resource pulse supply on interspecific competition of a few algal species LI Wei (2290)
- Soil fertility quality assessment under different vegetation restoration patterns LI Jingpeng, XU Mingfeng, SU Zhiyao, et al (2297)
- Scale change and dependence of plant functional traits in hilly areas of the loess region, Shaanxi Province, China DING Man, WEN Zhongming, ZHENG Ying (2308)
- N and P stoichiometry of *Koeleria paniculata* leaf and soil in Xiangtan Manganese Mine wasteland XU Luyan, TIAN Dalun, WANG Guangjun, et al (2316)
- Evapotranspiration and factors influencing evapotranspiration in the spring wheat farmland of China's Loess Plateau YANG Fulin, ZHANG Qiang, WANG Wenyu, et al (2323)
- Isolation and Biolog identification of the high-efficiency azotobacter from iron tailing under different vegetation restoration modes LI Wen, YAN Aihua, HUANG Qiuxian, et al (2329)
- Assessing effects of *Cupressus chengiana* plantations in the dry valley of Zagunao River, Li county of Sichuan Province LI Dongsheng, LUO Da, SHI Zuomin, et al (2338)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape diversity of *Paerargyrops edita* Tanaka stock in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground CAI Jiandi, SU Guoqiang, MA Chao, et al (2347)
- Landscape classification in a small area for soil series survey and mapping: a case study in the Ningzhen hills, China LU Haodong, PAN Jianjun, FU Chuancheng, et al (2356)
- Impacts of climate change on winter wheat growing period and irrigation water requirements in the north china plain HU Wei, YAN Changrong, LI Yingchun, et al (2367)

Resource and Industrial Ecology

- Factor decomposition of carbon intensity in Xiamen City based on LMDI method LIU Yuan, LI Xiangyang, LIN Jianyi, et al (2378)
- Evaluation index system of sustainable livelihoods ecotourism strategy: a case study of wangjiazhai community in baiyangdian wetland nature reserve, Hebei WANG Jin, ZHANG Yujun, SHI Ling (2388)
- Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters FAN Chao, QIU Yanping, LI Zhiqiang, et al (2401)
- Evaluation on control efficiency of bethylid parasitoids on pest insects indoor: a case of *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethylidae) ZHAN Maokui, YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, et al (2411)

Urban, Rural and Social Ecology

- The dynamic change of herdsmen well-being and ecosystem services in grassland of Inner Mongolia: take Xilinguole League as example DAI Guangshuo, NA Risu, DONG Xiaobin, et al (2422)
- The construction of the eco-agricultural yards in three gorges reservoir area based on agricultural non-point source pollution zones LIU Juan, XIE Qian, Ni Jiupai, et al (2431)
- Spatial pattern gradient analysis of a transect in a hilly urban area in China from the perspective of transportation corridor sprawl LÜ Zhiqiang, DAI Fuqiang, ZHOU Qigang (2442)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 于贵瑞

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 9 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 9 (May, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元