

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)4 - 444 - 09

狼毒根系的向水性及其对河流侵蚀的响应

孙建¹, 王小丹², 程根伟², 陈有超², 范继辉²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 生态网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 山地表生过程与生态调控重点实验室, 四川 成都 610041)

摘 要: 探索狼毒根系的行为动态, 以期控制其扩散、为草地恢复和管理提供参考。结果显示, 近岸与远岸根长、根生物量比率与两端的水分差值的相关关系显著($p=0.05$), 显示了狼毒根系分布状况受河岸土壤水分含量的控制。狼毒根系向水性是其对土壤干旱的一种适应, 它促使植物将有限的同化物分配到可吸收的水量最多的地方。分析坡面过程以及沉积作用对狼毒根系分布的影响, 认为在变化的地理过程扰动下, 粗粒岩屑比细沙沉积物更为稳定, 其次大粒径石块能够固持更多的水分, 而小直径土壤结构土壤水分蒸发得更快, 因而在大直径土壤结构样点分布更多狼毒根系。狼毒根系受上坡向侵蚀堆积作用, 石块碎屑不断的掩埋狼毒的根和茎秆, 使得植物逐渐偏离原中心, 被拉伸至下坡向, 形成了非对称分布。但是随着坡度的放缓, 非对称分布效应逐渐消失。

关键词: 根系向水性; 侵蚀; 狼毒; 植物行为; 藏北

中图分类号: Q948

文献标志码: A

狼毒(*Stellera chamaejasme*) 为瑞香科狼毒属多年生草本植物, 是退化草地的指示性物种, 广泛分布于青藏高原的一种有毒植物, 给畜牧业的发展和草原保护构成威胁, 是一种需要防除的草地有毒有害植物^[1]。狼毒在我国其他草原区, 如甘肃和内蒙古等省区也分布很广^[2]。如何防除、控制这种有毒杂草成为当地亟需解决的问题。

学者们对狼毒种群已经进行了生态生物学特性、种间关系、分布格局、种子萌发与散布以及控制方法等研究。赵成章等^[2-4]针对狼毒种群的空间分布格局, 包括种内空间格局(不同龄级狼毒株丛的空间分布格局)、种间空间格局(狼毒种群与阿尔泰针茅种群之间的关联性)对狼毒种群的扩散模式和规律进行了多方面的探讨; 邢福等^[5-6]从狼毒种子萌发特性、种子的种群分布格局角度对狼毒的散布

与种群更新机制进行了研究; 同时, 退化草地狼毒群落土壤种子库的空间格局也进入学者们的研究视野^[7-8]。也有学者认为在重度退化的草原上, 狼毒已成为主要的建群种或优势种, 其侵占性和竞争性是草地退化的一个重要因素^[1, 9-10]。因此从狼毒对其他植物的化感作用方面开展了大量的研究, 以探明狼毒化感作用的机制机理, 为狼毒侵占严重的退化草地进行恢复重建提供理论依据。如孙庚等研究了瑞香狼毒花粉水浸提液对其他物种花粉萌发和种子结实的潜在化感抑制作用^[11], 王慧等研究了瑞香狼毒对新麦草、无芒雀麦的化感作用^[12]。

研究狼毒的行为动态及其适应环境的特征, 对于阐明狼毒种群扩展机制具有重要意义。植物的行为特性, 受到遗传和环境两方面的影响, 是长期自然选择, 适应环境变化的结果。对植物行为的研究主

收稿日期(Received date): 2013 - 12 - 27; 修回日期(Accepted): 2014 - 04 - 26。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41001018); 中国科学院地理科学与资源研究所生态网络重点实验室开放基金(O8R8B161PA)。[Project supported by the National Nature Science Foundation of China(41001018) and the Open Fund of Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modelling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences(O8R8B161PA).]

作者简介(Biography): 孙建(1980 -), 男, 内蒙古锡林郭勒盟人, 助理研究员, 主要从事全球变化与生物地化循环及行为生态学研究。[Sun Jian(1980 -), male, assistant professor, born in Xilinguole of Inner Mongolia, mainly study on global change, biogeoscience and behavioral ecology.]

要是探讨植物在特定环境中获取必需资源的生态对策、适应机理和进化意义等^[13]。根系是植被地下部分的重要组成,随着全球变化与生态系统研究的深入,对根系的研究也日益受到重视。但是至今人们对地下部分结构与功能的了解仍十分有限^[14]。关于狼毒草根系对水分条件和土壤侵蚀过程的响应,以及在此过程狼毒种群扩散机制等方面的认识还比较有限。鉴于此,本研究采用空间根系定位,石块粒径组成的定量化,进而分析狼毒根系分布特征及其与土壤含水量、侵蚀作用的关系。从狼毒根系的向水性以及对侵蚀作用响应机制作为切入点,分析其生存对策,以期对狼毒防治提供科学依据,进而对高寒退化草原恢复提供实践指导。

1 试验材料与方法

1.1 研究区域状况

取样点位于青藏高原那曲地区申扎县中国科学院水利部山地灾害与环境研究所申扎生态实验站(30°45′~30°57′N,88°42′~89°06′E,海拔4 675 m)(图1)。申扎县地处高原腹地,位于西藏中部、冈底斯山和色林错之间,属南羌塘高原大湖盆密集区。藏北高原是青藏高原的主体部分,天然草地面积为 $5\,569 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占西藏总草地面积的67.87%,以高寒草地为主,海拔高、干旱、寒冷、无霜期短^[15]。气候为高原亚寒带干旱季风性气候,年均温0.4℃,最暖月均温6~12℃。干燥度1.5~6.0,冬季多大风,年降水量298.6 mm,降雨主要发生在5—9月,年平均风速为3.8 m/s,8级以上大风达104.3 d,年均太阳辐射为2 915.5 h。高寒草地约占土地面积40%,湖泊河流约占23%。高寒草原类型完整、典

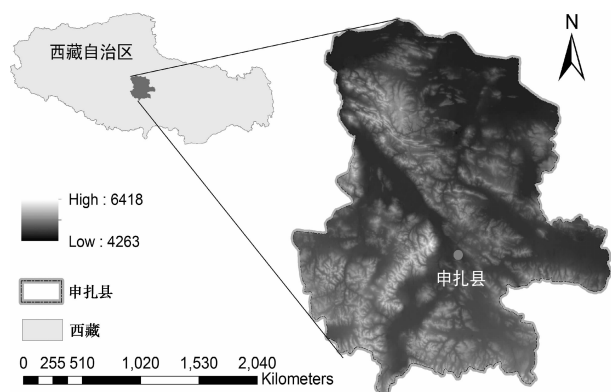


图1 样地位置(位于藏北申扎自然保护区申扎县)

Fig. 1 Sample sites located in Xainza County, Northern Tibet

型^[16],占草地面积20%,高寒草地的植被盖度约40%,优势种为紫花针茅(*Stipa purpurea*)和苔草(*Carex moorcroftii*),伴生种为火绒草(*Stellera chamaejasme* Linn.),狼毒(*Stellera chamaejasme*)和棘豆(*Oxytropis microphylla*)^[17]。

1.2 研究方法

2012年8月,在试验站附近选择一条季节性河流对狼毒根系分布状况进行调查,河流的补给主要是融雪以及降雨汇流。首先在沿河岸选择6个不同的取样点,以便于分析水分和河流侵蚀作用梯度上狼毒的根系的分布状况,如图2A。且选择的狼毒草年龄基本都属于老龄组,大约在10 a,样方之间差异不大。其次以图2B为例,选择了样点1,对狼毒根系分布划分为上坡向、下坡向、近河岸和远河岸。具体的狼毒根系分布划分见图2C,同时为了便于分析结果在空间上的表达,以图2D作为范例,根系分布在0°~180°(第一象限和第二象限)则为近岸分布状况,180°~360°为远岸分布;同理,如果根系分布在0°~90°或270°~360°为上坡向分布,第二象限和第三象限为下坡向分布。

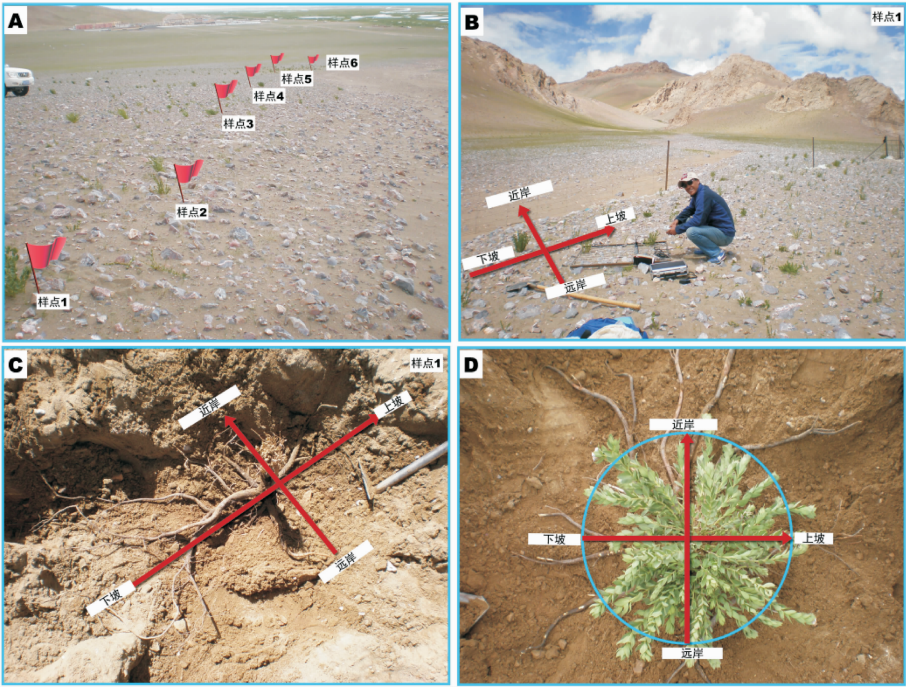
为了确定侵蚀作用的大小,对每个取样点的石块粒径做了分析,首先对样方内的石块进行挖掘,对石块进行平铺处理,然后用样方框进行圈定(样方框规格为30 cm×30 cm),如果石块的平铺的面积超过一个样方框大小,那么剩余的石块再用样方框圈定一次。样方框的任意一边作为标尺,如图3A。再利用软件Nano Measurer 1.2对样方内的石块做出标注,如图3B,最后进行数据统计分析,确立直径分布状况。

野外工作主要是对根系长度和分布位置进行定位测定以及样方拍照定位,根系生物量带回实验室进行烘干称重。土壤含水量(0~15 cm)测定使用TDR中子水分测量仪,每一个测量点重复3次,测量值为体积含水量。文中分析采用R 2.15统计分析软件包(R Development Core Team, 2011),ANOVA方差分析使用最短距离法(LSD),显著水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 根的分布状况

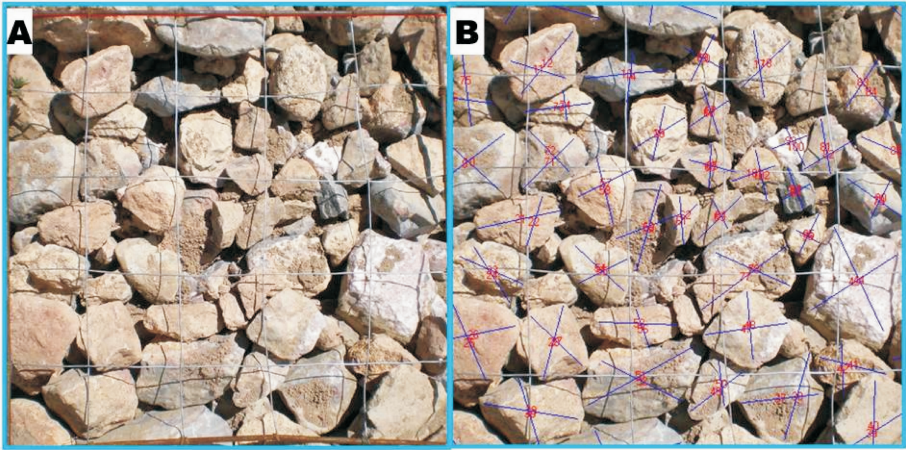
植物“觅食”被定义为有机体在其生境内进行的促进对必需资源获取的搜寻过程^[18]。“觅食”特



A 设置样点,B 取样,C 样品近照,D 分析范例
Graph A: Sampled sites; Graph B: Sampling; Graph C: Overview of *S. chamaejasme*; Graph D: An example for analyzing the samples

图 2 样点设置以及取样过程

Fig. 2 The sampling process



A 图确定标尺 (Determine the scale),B 图计算直径 (Calculating the particle size)

图 3 石块粒径分析过程

Fig. 3 Analysis process of stone particle size

征是植物生存策略的主要方式之一,因此通过分析根长及其分布位置,来探索狼毒对水分获取方式及对河流侵蚀作用的响应。如图 4 所示,在样点 1、样点 2 和样点 3 狼毒的根长主要分布在近岸以及上坡方向,而在样点 4、样点 5 和样点 6 上根长分布比较均匀。样点 1,上坡向平均根长为 128.50 cm,下坡

向根长为 19.73 cm,且在 0.05 水平差异显著(表 1)。在近岸方向根长为 104.17 cm,远岸方向根长为 15.99 cm,但是差异不显著。样点 2,上坡向根长为 120.63 cm,下坡向根长为 28.10 cm,近岸方向根长为 103.50 cm,而远岸处为 22.76 cm,同样近岸与远岸处根长分布差异不显著,而上坡向与下坡向上

差异显著($p=0.05$)。其他取样点上上坡向与近岸点根长均大于下坡向和远岸点,差异不显著。

根系生物量分布也是反映植物生存策略的指标之一。如图5所示,在样点1、样点2、样点3和样点4,狼毒的根生物量分布比较集中于近岸以及上坡方向,而在样点5和样点6根生物量分布比较离散。

样点2,上坡向平均根生物量为50.25 g,下坡向根生物量为11.44 g,且在0.05水平差异显著(表1),在近岸方向和远岸方向根生物量差异不显著。其他样点的根生物量无论近岸与远岸,还是上坡向与下坡向上差异并不显著($p=0.05$),尽管上坡向与近岸点根生物量分布均大于下坡向和远岸点。

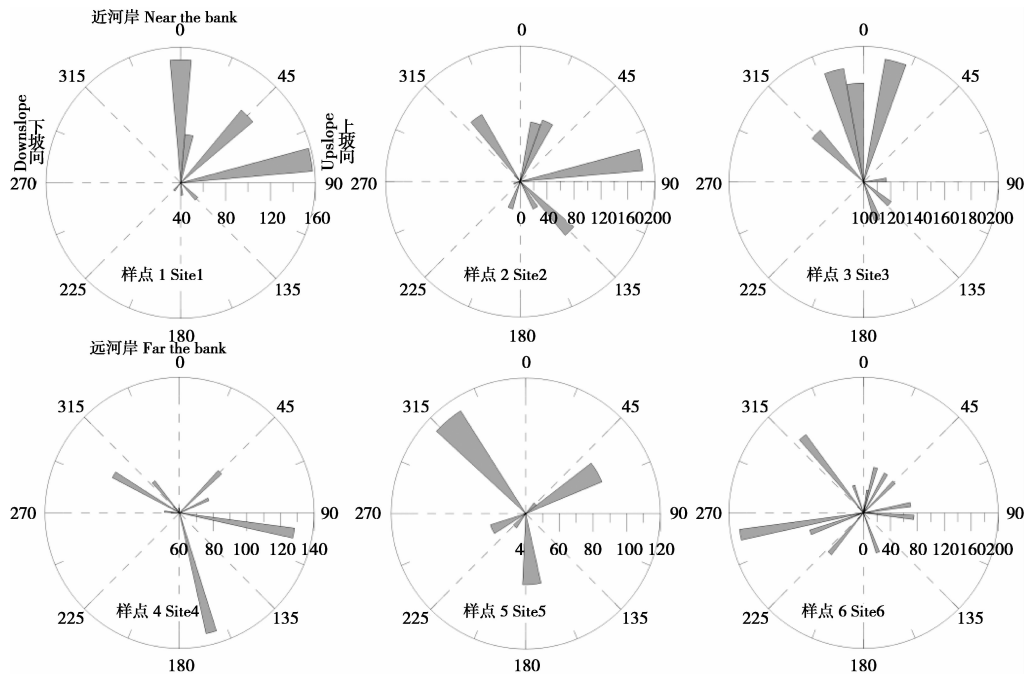


图4 沿岸不同取样点狼毒根长分布状况

Fig.4 The distribution of root length at the different sites along the hillslope

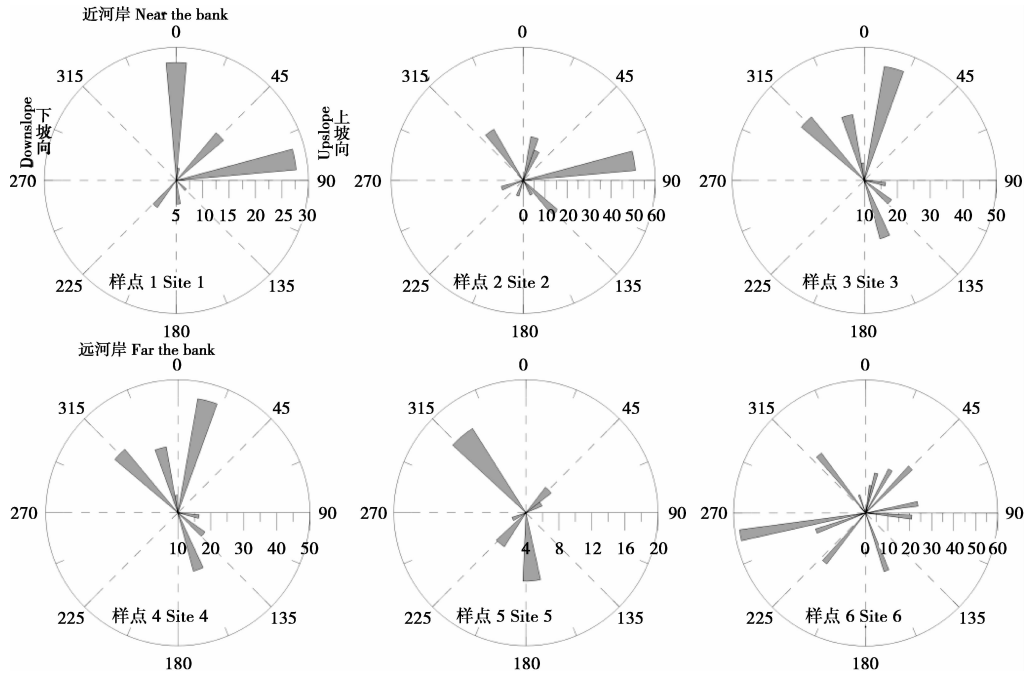


图5 沿岸不同取样点狼毒根生物量分布状况

Fig.5 The distribution of root biomass at the different sites along the hillslope

表 1 不同取样点根长、根重分布特征描述性统计

Table1 Description statistics of root length and weight at the different sites along the hillslope

分类 位置		根长/cm		生物量/g		根长/cm		生物量/g	
		上坡	下坡	上坡	下坡	近岸	远岸	近岸	远岸
样点 1	均值	128.50a	19.73b	53.33	9.41	104.17	15.99	49.00	11.25
	标准偏差	33.57	9.72	5.86	1.87	45.88	9.53	0.00	0.00
样点 2	均值	120.63a	28.10b	50.25a	11.44b	103.50	22.76	55.33	14.78
	标准偏差	42.88	16.18	39.18	6.30	50.00	16.77	53.27	10.39
样点 3	均值	163.40	27.17	118.33	21.57	132.80	24.04	169.33	26.78
	标准偏差	30.45	14.10	16.07	6.00	35.00	13.25	17.79	10.25
样点 4	均值	79.14	13.91	131.00	26.76	108.75	20.50	76.20	13.77
	标准偏差	16.55	5.25	2.83	15.05	26.46	11.37	18.57	6.32
样点 5	均值	83.00	10.01	64.67	8.95	73.00	9.74	74.67	10.22
	标准偏差	32.42	5.30	16.17	3.24	21.93	2.25	32.88	5.27
样点 6	均值	70.21	21.25	97.00	31.89	63.07	22.18	107.00	30.59
	标准偏差	35.48	8.79	50.40	14.83	13.54a	5.54b	57.18	17.91

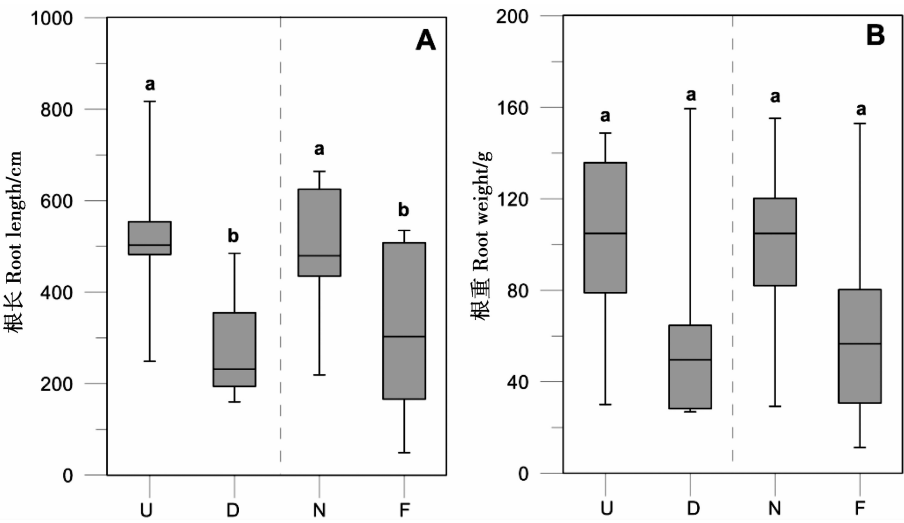
注:a,b 表示是否差异性显著。

为了进一步分析狼毒根系的向水性,对总根长和总根生物量的分布进行了分析。如图 6 所示,上坡向和下坡向的根长范围分别为 249 ~ 554 cm,160 ~ 485 cm。近岸和远岸的根长分别为 219 ~ 625 cm,49 ~ 535 cm,均在 0.05 水平上差异显著(图 6A),但是根生物量在不同坡向和近远岸分布差异均不显著(图 6B)。

2.2 土壤含水量及其与根长、根重比率的关系

不同样点位置的土壤含水量如图 7A 所示,结果表明近岸和远岸的土壤含水量在样点 1、样点 2、

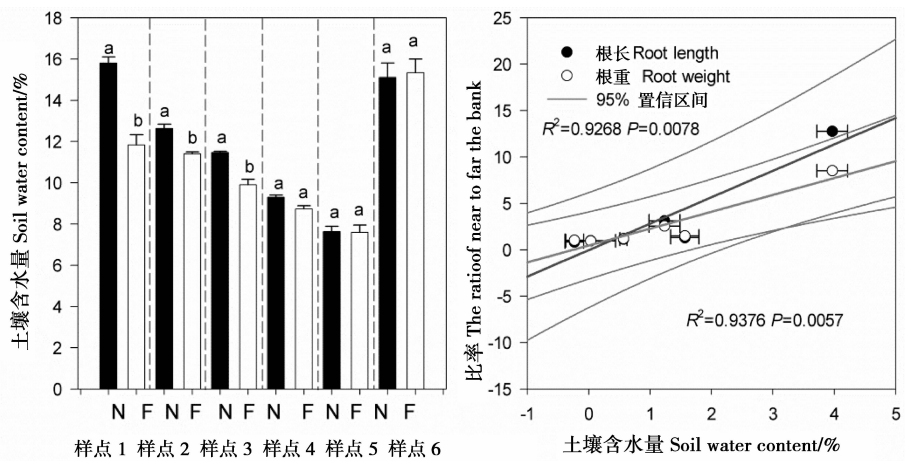
样点 3 差异显著,随着坡度的变缓,样点 4、样点 5、样点 6 土壤含水量差异不显著。各测试点近岸点和远岸点的土壤含水量分别是 15.8% 和 11.83%、12.63% 和 11.40%、11.47% 和 9.9%、9.30% 和 8.73%、7.63% 和 7.60%、15.10% 和 15.33%。近岸点和远岸点土壤含水量的差值与近岸点和远岸点根长比和根生物量比相关系数分别为 0.926 8($p = 0.0078$),0.937 6($p = 0.0057$)。说明狼毒的根系分布与土壤含水量关系密切,特别是根系的分布很好的反映了这一点。



注:U 和 D 表示上坡/下坡研究点,N 和 F 表示近/远河研究点;a 和 b 分别表示处理之间差异在 0.05 水平显著
(U and D represent upslope and downslope sites, respectively. N and F represent near the river bank and far the river bank, respectively.
In addition, a and b standard the significant difference at 0.05 level)

图 6 总的根长与生物量在上坡向、下坡向、近岸方向和远岸方向的分布差异比较

Fig.6 Comparison total root length and weight of near the bank with far the bank, and upslope with downslope at the different sites along the hillslope



注: N 和 F 表示近/远河研究点; a 和 b 分别表示处理之间差异在 0.05 水平显著
(N and F represent near the river bank and far the river bank, respectively. In addition, a and b standard the significant difference at 0.05 level)

图 7 样点土壤含水量 (A) 以及其与根长比和根生物量比的关系 (B)

Fig. 7 Comparison soil water content of near the bank with far the bank at the different sites along the hillslope
And the relationships of ratio with difference value of soil water content

2.3 侵蚀堆积的石块粒径及其与根长、根重比率的关系

表 2 不同取样点石块粒径分布特点描述性统计

样点	样点 1	样点 2	样点 3	样点 4	样点 5	样点 6
最大值 /cm	140.18	101.36	76.97	86.21	90.87	24.04
最小值 /cm	12.70	16.60	12.73	11.59	9.18	7.51
均值 /cm	41.86	44.00	37.95	37.13	36.70	14.11
样本量/个	82.00	102.00	115.00	96.00	52.00	34.00
宽度分级/cm	12.90	8.60	6.50	7.60	8.20	1.80
数量级 r	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

为了分析狼毒根系分布对河流土壤侵蚀响应机

制,对不同取样点的石块粒径对比发现(表 2)。不同站点的石块平均粒径分别为 41.86 cm、44.00 cm、37.95 cm、37.13 cm、36.70 cm 和 14.11 cm。样点 1 与样点 6 差异显著,而与其他样点均不显著($p=0.05$),样点 2 与样点 1 差异不显著,与其他样点均显著,样点 3、样点 4 和样点 5 均与样点 2 和样点 6 差异显著,与其他站点均不显著,样点 6 与其他所有样点均差异显著。分析石块的粒径与根长比(图 8A)和根生物量比的关系(图 8B),结果表明石块粒径与上坡向和下坡向的根长比相关系数为 0.563 2,但是关系不显著($p=0.055 6$),石块粒径与上坡向和下坡向的根生物量比相关系数为 0.593 7,但是关系不显著($p=0.072 9$)。分析认为狼毒根系分布受河流侵蚀堆积物的沉积作用较小。

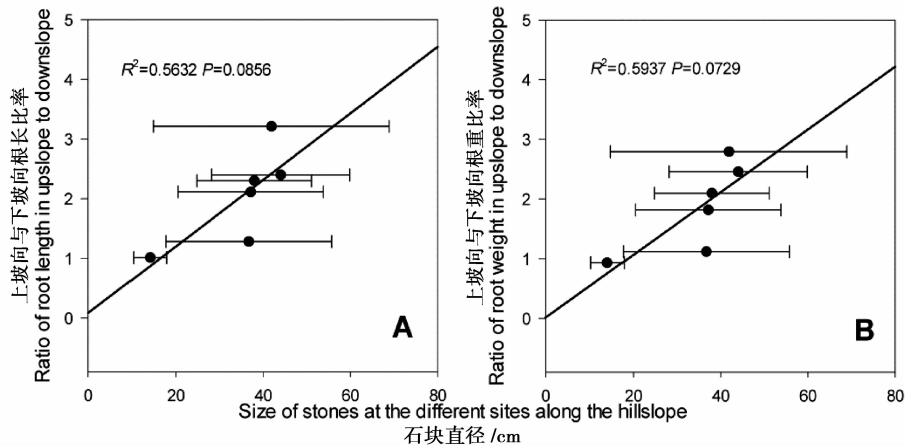


图 8 石块的粒径与根长比 (A) 和根生物量比的关系 (B)

Fig. 8 The relationships of partical size with ratios of root length (A) and root weight (B) at the different sites along the hillslope

3 讨论

根系对水分吸收和维持起着重要作用,是植物生态学家关注的焦点之一,但是对土壤水分如何构造植物根系知之甚少^[19]。土壤水分被认为是根系生理活动的必须要素,同时其影响和制约着植物的生长、发育和分布,在长期的生态系统的发展和演替中,不同植物形成了一套自身特有的资源利用策略,以适应气候等环境因子的变化^[20]。孙建等在内蒙古典型草原研究发现,部分植物如克氏针茅在雨水充沛的条件下是个“投机主义者”,更能抓住干旱区来之不易的降水,为保障持续干旱时的生存做准备^[21]。水分也是控制大部分高寒草原植被生产力主要因子之一^[22-23],且根系的向水性是陆生植物对土壤干旱的一种适应,它促使植物将有限的同化物分配到可吸收的水量最多的地方^[24],因此在河床充水时期,狼毒为汲取更多的水分,进而分配到近岸的根系长度和生物量均高于远岸,同样是适应干旱环境的表现。但是随着坡度的降低,在接近河床的末端,如样点4、样点5和样点6,近岸和远岸根长和生物量分配的差异越来越小,且分布比较离散(图4和5),这是因为在河床末端,水量减少,河水扩散面积增大,导致近岸端和远岸端土壤含水量异质性减弱,图7A很好的说明了这一点。同时,近岸与远岸根长、根生物量比率与两端的水分差值的相关关系显著,显示了狼毒根系分布状况受河岸土壤水分含量的控制。但是根长受水分的调节作用要大于根生物量(图7B)。

生活史式样的分类认为,在资源丰富的生境,植物为竞争性;在资源缺乏的生境中,植物为胁迫忍耐性。胁迫忍耐性的对策者在资源丰富的生境生长却慢,反而在资源缺乏的生境中表现出较强的抗胁迫能力^[21],狼毒属于此类型。

根系影响土壤水力学性质程度取决于根系在土体中缠绕和分布状况,包括根密度、垂直、水平方向分布及根的分枝特性等^[25]。分析坡面过程以及沉积作用对植物根系分布的影响,认为在变化的地理过程扰动下,粗粒岩屑比细沙沉积物更为稳定;其次大粒径石块能够固持更多的水分,而小直径土壤结构土壤水分蒸发得更快,因而在大直径土壤结构样点分布更多根系。本文研究发现样点1、样点2和样点3取样点上坡向根长和根生物量要高于下坡

向,这就很好的验证了这一点。同样 Pérez^[26]研究 Southern Cascades 坡面植物根系分布状况,发现有23种植物根系全部分配到了上坡向,有7种植物将92.2%~99.3%的地下部生物量分配到上坡向。其结果与本文观测结果一致,植物受侵蚀影响,根系受上坡向侵蚀堆积作用,石块碎屑不断的掩埋狼毒的根和茎秆,使得植物逐渐偏离原中心,被拉伸至下坡向,形成了非对称分布。但是随着坡度的放缓,如样点4、样点5和样点6取样点差值逐渐减小,分析认为上坡向与下坡向差异不显著可能是河岸样点坡度较低的原因。石块粒径与上坡向根长(根生物量)/下坡向根长(根生物量)的比值相关分析,进一步说明了坡度的影响,由于坡度平缓,其相关性并不显著。

因此狼毒根系的分布是受其主动行为生态学机制控制(向水性),以及被动适应环境选择的调节(对侵蚀作用的反馈)。虽然我们对高寒草原狼毒的生存策略进行了一定研究和探讨,要想完全掌控其扩展机制,相关探索还需跟进,比如,是否土壤营养也在其中起到根系分布导向作用,涉及到植物生理生态的根系生长素分配也是揭示狼毒根系分配机制的一个重要突破点。针对藏北高寒草原狼毒控制,研究认为狼毒是典型的自交不亲合植物,从而能够保持高度杂合的生殖机制,但是其授粉过程仍然依赖于传粉昆虫,高寒地区传粉昆虫的缺乏是导致狼毒种群繁育系统对策变化的主要自然选择压力,同时藏北高寒草原区属于干旱区,年降水量仅300mm左右。因而狼毒草的根系表现出强烈的“觅食”行为,即根系密集分布于水分较高的近岸区域,盛花期一般在6月下旬至7月上旬,也是季节性河流水量补充的时期。在这个时期喷洒“灭狼毒”对于本区域控制狼毒的扩散具有较高的效率。因此,控制狼毒草对高寒草原的破坏,研究狼毒的行为动态具有重要的实践意义。

参考文献(References)

- [1] Li Wenjuan, Gong Xiaoxia, Wang Hong, et al. Preliminary study of the antibiotic activities of the roots of *Tox in Steller a chamaejasme* in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(8): 1661-1664 [李文娟, 龚晓霞, 王泓, 等. 青藏高原有毒植物瑞香狼毒根抑菌活性初步研究[J]. *西北植物学报*, 2005, 25(8): 1661-1664]
- [2] Zhao Chengzhang, Ren Heng. Fine-scale spatial associations of *Stipa krylovii* and *Stellera chamaejasme* population in alpine degraded grassland [J]. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20):

- 6080–6087 [赵成章,任珩. 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联[J]. 生态学报, 2011, (20): 6080–6087]
- [3] Zhao Chengzhang, Gao Fuyuan, Sheng Yaping, et al. Fine-scale spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population [J]. Arid Land Geography, 2011, 34, (3): 492–498 [赵成章,高福元,盛亚萍,等. 狼毒种群小尺度空间分布格局及空间关联性研究[J]. 干旱区地理, 2011, (3): 492–498]
- [4] Gao Fuyuan, Zhao Chengzhang, Shi Fuxi, et al. Spatial pattern of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland in northern slope of Qilian Mountains, China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, (6): 1312–1316 [高福元,赵成章,石福习,等. 祁连山北坡高寒草地狼毒种群格局[J]. 生态学杂志, 2011, (6): 1312–1316]
- [5] Xing Fu, Guo Jixun, Wang Yanhong. Seed germination characteristics and regeneration mechanism of *Stellera chamaejasme* population [J]. The Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11): 1851–1854 [邢福,郭继勋,王艳红. 狼毒种子萌发特性与种群更新机制的研究[J]. 应用生态学报, 2003(11): 1851–1854]
- [6] Xing Fu, Wang Yanhong, Guo Jixun. Spatial distribution patterns and dispersal mechanisms of the seed population of *Stellera chamaejasme* on degraded grasslands in Inner Mongolia, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 143–148 [邢福,王艳红,郭继勋. 内蒙古退化草原狼毒种子的种群分布格局与散布机制[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 143–148]
- [7] Zhao Chengzhang, Zhang Qipeng. The Spatial Pattern of soil seed bank of *Stellera chamaejasme* Community in Degraded Grassland of the Qilian Mountains [J]. Chinese Journal of Grassland, 2010, (1): 79–85 [赵成章,张起鹏. 祁连山退化草地狼毒群落土壤种子库的空间格局[J]. 中国草地学报, 2010, (1): 79–85]
- [8] Zhang Qipeng. Research on *Stellera chamaejasme* community seed bank function Grouping characteristic and plant restoration in alpine degraded grassland [D]. Xi'an: Northwest Normal University, 2010. [张起鹏. 高寒退化草地狼毒群落种子库功能群特征及植被恢复研究[D]. 西安: 西北师范大学, 2010.]
- [9] Cao Chengyou, Fu Yao, Wang Wenxing, et al. Inhibition influence of extraction liquids from *Stellera Chamaejasme* root on seed germination [J]. Journal – Northeastern University Natural Science, 2007, 28(5): 729–732 [曹成有,富瑶,王文星,等. 瑞香狼毒根提取液对植物种子萌发的抑制作用[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(5): 729–732]
- [10] Wang Hui, Zhou Shuqing, Huang Zujie. A study on allelopathic effect of *Stellera chamaejasme* L. on *Melilotus suaveolens* Ledeb and *Lolium perenne* L [J]. Acta Agrestia Sinica, 2009, 17(6): 826–829 [王慧,周淑清,黄祖杰. 狼毒对草木樨、多年生黑麦草的化感作用[J]. 草地学报, 2009, (6): 826–829]
- [11] Sun Geng, Luo Peng, Wu Ning. Pollen allelopathy of *Stellera chamaejasme* on pollen germination and seed set of main species in a High-frigid Meadow on the Eastern Qinghai–Tibetan Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, (16): 4369–4375 [孙庚,罗鹏,吴宁. 瑞香狼毒对青藏高原东部高寒草甸主要物种花粉萌发和种子结实的花粉化感效应[J]. 生态学报, 2010, (16): 4369–4375]
- [12] Wang Hui, Wei Zhijun, Zhou Shuqing, et al. Study on allelopathic effect of *Stellera chamaejasme* on *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) and *Bromus inermis* [J]. Prataculture & Animal Husbandry, 2011, (1): 17–20 [王慧,卫智军,周淑清,等. 狼毒对新麦草、无芒雀麦化感作用的研究[J]. 草业与畜牧, 2011, (1): 17–20]
- [13] Zhong Zhangcheng, Zeng Bo. Trends and advances in researches on plant population ecology [J]. Journal of Southwest China Normal University, 2001, (2): 230–236 [钟章成,曾波. 植物种群生态研究进展[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2001, (2): 230–236]
- [14] Wei Lanying, Shangguan Zhouping. Relationship between vertical distribution of fine root in different successional stages of herbaceous vegetation and soil environment in Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, (11): 3740–3748 [韦兰英,上官周平. 黄土高原不同演替阶段草地植被细根垂直分布特征与土壤环境的关系[J]. 生态学报, 2006, (11): 3740–3748]
- [15] Qin Siguo, Zhong Guohui. The impact of ecological factor on productivity in northern Tibet alpine meadow [J]. Tibet's Science & Technology, 2008, (9): 48–51 [秦泗国,钟国辉. 藏北高寒草地生态因子对生产力的作用[J]. 西藏科技, 2008, (9): 48–51]
- [16] Sun Lei, Wei Xuehong, Zheng weilie. Current state of the ecology of the North–Tibet alpine grassland and counter-measures for its sustainable development [J]. Pratacultural Science, 2005, 22(10): 10–12 [孙磊,魏学红,郑维列. 藏北高寒草地生态现状及可持续发展对策[J]. 草业科学, 2005(10): 10–12]
- [17] Fan Jihui, Cao Yingzi, Yan Yan, et al. Freezing-thawing cycles effect on the water soluble organic Carbon, Nitrogen and microbial biomass of alpine grassland soil in Northern Tibet [J]. African Journal of Microbiology Research, 2012, 6(3): 562–567
- [18] Hutchings Mj, De Kroon Hans. Foraging in plants: the role of morphological plasticity in resource acquisition [J]. Advances in ecological research, 1994, 25: 159–238
- [19] Eapen Delfeena, Barroso María L, Ponce Georgina, et al. Hydro-tropism: root growth responses to water [J]. Trends in plant science, 2005, 10(1): 44–50
- [20] Chen Shiping, Bai Yongfei, Lin Guanghui, et al. Variations in life-form composition and foliar carbon isotope discrimination among eight plant communities under different soil moisture conditions in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China [J]. Ecological Research, 2005, 20(2): 167–176
- [21] Sun Jian, Liu Miao, Li Shenggong, et al. Survival strategy of *Stipa krylovii* and *Agropyron cristatum* in typical steppe of Inner Mongolia [J]. Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(8): 2148–2158 [孙建,刘苗,李胜功,等. 内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略[J]. 生态学报, 2011, (8): 2148–2158]
- [22] Sun Jian, Cheng Genwei, Li Weipeng, et al. On the variation of NDVI with the principal climatic elements in the Tibetan Plateau [J]. Remote Sensing, 2013, 5(4): 1894–1911
- [23] Sun Jian, Cheng Gengwei, Li Weipeng. Meta-analysis of relationships between environmental factors and aboveground biomass in

- the alpine grassland on the Tibetan Plateau [J]. *Biogeosciences*, 2013, 10(3): 1707–1715
- [24] Jin Mingxian, Wang Tianduo. Simulation of growth and hydrotropism of maize roots [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1996, (5): 384–390 [金明现, 王天铎. 玉米根系生长及向水性的模拟[J]. *植物学报*, 1996, (5): 384–390]
- [25] Wang Ku. Effects of plant roots on soil anti erosion [J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 10(3): 250–252 [王库. 植物根系对土壤抗侵蚀能力的影响[J]. *土壤与环境*, 2001, (3): 250–252]
- [26] Pérez Francisco L. Biogeomorphological influence of slope processes and sedimentology on vascular talus vegetation in the southern Cascades, California [J]. *Geomorphology*, 2012, 138(1): 29–48

Hydrotropism of *Stellera chamaejasme* Roots and Its Response to the Deposition of Ephemeral Stream along a Hillslope

SUN Jian¹, WANG Xiaodan², CHENG Genwei², CHEN Youchao², FAN Jihui²

(1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. The Key Laboratory of Mountain Environment Evolution and Its Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: The investigation was carried out in an alpine steppe, Xainza County, Tibetan Plateau. The object of the article was to explore the root dynamic behavior of *Stellera chamaejasme* for controlling its spread, and thus provide reference for grassland rehabilitation and management. The result showed that the ratios of root length/biomass in inshore to offshore were significantly related to the difference of soil water content ($p=0.05$), we concluded that the root system distribution of *Stellera chamaejasme* is governed by soil water content. Hydrotropism of *Stellera chamaejasme* roots is one of the traits of the plant drought adaptation, which will allocate more photosynthate to distribution of *Stellera chamaejasme* root, and documented that the process of geographical disturbance resulting in *Stellera chamaejasme* in coarse talus is more stable than fine sediment sites, and the large stones could conserve substrate water beneath them while moisture quickly evaporates from fine sediment. Roots may propagate by layering, as they were buried by new sediment from upslope, and the processes may make plants gradually deviate from the original center, stretch it to downhill, thus forming the asymmetric structure. In addition, asymmetric distribution effect gradually disappeared with the slope was reducing.

Key words: hydrotropism; deposition; *Stellera chamaejasme*; plant behavior; northern Tibet