

藏北高原两种典型毒草空间分布特征

水宏伟^{1,2}, 吴红宝², 干珠扎布², 吕成文¹, 高清竹², 胡国铮², 王保海³,
参木友³, 严俊⁴, 王有侠⁴, 何世丞⁴

(1. 安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241000; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 3. 西藏自治区农牧科学院, 西藏 拉萨 850000;
4. 那曲市草原站, 西藏 那曲 852000)

摘要:为揭示藏北高原高寒退化草地毒草的空间分布特征,以该区典型的毒草—瑞香狼毒和镰形棘豆为研究对象,于2018年8月采用样方调查法对其沿海拔和坡向的生物量和群落特征进行观测。结果表明:两种毒草的分布受到了海拔、坡向单独作用及交互作用的显著影响($P < 0.05$)。在坡向上,瑞香狼毒和镰形棘豆主要分布于南坡与西坡,其平均生物量在南坡、西坡、北坡分别为25.5, 15.6和0.06 g/m²和2.7, 2.2和0.03 g/m²;在海拔梯度上,瑞香狼毒的高度在南坡低海拔梯度最高,为22.6 cm,生物量和相对盖度在北坡高海拔梯度最高,分别为37.4 g/m²和72.6%,镰形棘豆的生物量、密度和相对盖度均是南坡的山底梯度最高,分别为5.8 g/m², 0.3 株/m²和17.9%。相关分析表明,瑞香狼毒的生物量以及镰形棘豆的生物量、高度、密度、相对盖度与土壤温度呈显著的正相关关系($P < 0.05$),瑞香狼毒的生物量和相对盖度与土壤含水量呈显著的负相关关系($P < 0.05$)。

关键词:毒草;海拔梯度;坡向;分布特征;土壤温度;土壤含水量

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)01-0049-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2020.01.007

近年来,气候变化和不合理利用导致青藏高原高寒草地面临严重的退化问题^[1-2]。伴随着草地退化,毒草开始入侵和扩张,其通过建立土壤种子库、改变土壤养分、化感作用等方式加速草地退化,严重制约了退化草地的恢复与治理^[3-6]。毒草蔓延,使得牲畜中毒死亡、草地生产力下降、可牧草地面积减少,对高寒牧区社会经济带来巨大损失^[7]。

在青藏高原,瑞香狼毒(*Stellera chamaejasme*)和

镰形棘豆(*Oxytropis falcata*)是最常见的毒草,其分布具有一定的特征,包括水热条件、地形、土壤等^[8-9];并且在特定条件下可以充分发挥其竞争优势,从而占领生境。狼毒可以通过斑块合并、吞并及竞争和协同作用的相互转化实现种群扩张^[10]。狼毒具有较强的表型可塑性的适应机制,表现为其枝叶性状在坡向间存在差异^[11]。张茜等^[12]通过对不同海拔狼毒种群花和叶指标的研究,表明生境对狼毒群落的资源分配策略及繁殖有重要影响。谭成虎^[13]发现镰形棘豆主要生长于荒漠草原、砾石山坡、河漫滩。诸多研究揭示了毒草的生存与扩张机制,但毒草的分布特征作为毒草监测与防治的基础环节,对其基于水热条件和地形条件的分布特征研究仍需加强。此外,已有的研究主要集中在海拔4 000 m区域^[14-16],而针对更高海拔的高寒草地研究仍很缺乏。藏北高原平均海拔4 500 m以上,被称为中华水塔水源地、世界屋脊的屋脊^[17]。高寒草地点占藏北高原面积的90%,目前,正面临着毒草蔓延带来的生态和经济问题。开展基于水热条件和地

收稿日期:2019-05-05; **修回日期:**2019-05-16

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0502003);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金(BSRF201713);国家自然科学基金(青年)(31600366)资助

作者简介:水宏伟(1992-),男,山西临汾人,硕士研究生。

E-mail: shuihw@163.com

干珠扎布为通讯作者。

E-mail: ganjurjav@foxmail.com

形的毒草分布特征研究,有利于理清藏北高原毒草蔓延成因以及毒草防治。

选择在瑞香狼毒和镰形棘豆集中分布区,以不同海拔和坡向表征不同水热条件,开展实地调查,对其在不同海拔及坡向梯度的土壤温度和含水量、生物量、高度、密度、盖度进行观测,明确海拔和坡向对瑞香狼毒和镰形棘豆群落特征的影响,揭示瑞香狼毒和镰形棘豆生长与水热条件的关系,以期为开展毒草预测及防治提供数据支撑。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于西藏自治区那曲市班戈县,地理位置 N 31°28′23″,E 91°0′50″,平均海拔 4 500 m,属高原亚寒带季风半湿润气候区。年平均气温 0℃,其中年最高气温 21.9℃,年最低气温-28.6℃,年降水量为 289~390 mm,降水主要集中在每年生长季(5~9月)。植被主要为瑞香狼毒和镰形棘豆占据优势,其他物种还包括紫花针茅(*Stipa purpurea*)、沙生风毛菊(*Saussurea arenaria*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、青海刺参(*Morina kokonorica*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)及二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)等。

1.2 试验设计

2018 年 8 月,在班戈县境内蓬错湖附近开放放牧地毒草集中分布区,对不同海拔梯度和坡向(正南、正西、正北)草地群落及生产力空间分布格局进行调查分析。沿一条垂直样线从山脚至山顶在南坡和西坡海拔 4 550、4 560、4 570、4 580 m 设置样方区,记为 H1、H2、H3、H4,由于北坡相对高度不足,设 H2、H3、H4;其中,南坡为阳坡,西坡为偏阳坡,北坡为阴坡,东坡与其他丘陵相连,因此未做研究。在每一个海拔梯度上设置 3 个 10 m×10 m 的小区,对样方内瑞香狼毒和镰形棘豆的株数进行记录,并对每个物种选取具有代表性的 3 株测量其高度、盖度等植被信息,用于推算整个小区内瑞香狼毒和镰形棘豆地上生物量、高度、密度、相对盖度。然后将所测植株用剪刀齐地面剪下装入信封袋,置于 105℃烘箱中杀青 0.5 h,以 70℃恒温烘干至恒重,称其干重,计算地上生物量。同时,在每个小区内随机设置 3 个 0.5 m×0.5 m 的样方,做植物群落特征调查。

在采样当天正午 11:00~13:00,使用多功能便携

式土壤多参数速测仪(TDR150 美国 Spectrum),在每个小区随机选取 3 处,测定 0~10 cm 的土壤温度和含水量。

1.3 数据处理

利用统计软件 SPSS 22.0 和 Excel 2010 对数据进行统计分析与处理,利用 Origin Pro 9.0 进行绘图。利用 SPSS 22.0 双因素方差法(Two-way ANOVA)分析海拔、坡向及其交互瑞香狼毒和镰形棘豆地上生物量、高度、密度、相对盖度以及土壤温度和含水量的影响。利用图基检验(Tukey's test)比较瑞香狼毒和镰形棘豆地上生物量、高度、密度、相对盖度以及土壤温度和含水量在不同海拔和坡向间差异。采用 Pearson 相关检验,分析瑞香狼毒和镰形棘豆地上生物量、高度、密度、相对盖度与土壤温度和含水量之间的关系。

2 结果与分析

2.1 土壤温度和含水量沿坡面的分布规律及坡向差异

不同的海拔梯度和坡向对土壤温度具有显著影响($P<0.05$),但海拔和坡向无交互效应;在不同坡向上,土壤温度随海拔的升高呈下降趋势,H4 较 H1 分别下降了 1.3℃(南坡)、1.6℃(西坡)、1.6℃(北坡)(图 1A)。不同的海拔梯度对土壤含水量有显著影响($P<0.05$),海拔与坡向对其有交互作用,但坡向对其无显著影响($P>0.05$)(表 1);土壤含水量在南坡和北坡均随海拔的升高而升高,H4 较 H1 分别升高了 5.8%(南坡)和 7.9%(北坡),在西坡随着海拔的升高呈先降后升的趋势,H1 最高为 9.1%,H3 最低为 6.1%(图 1B)。不同的坡向上,土壤温度总体表现为南坡较高,西坡和北坡较低($P<0.05$),南坡比西坡和北坡分别高 1.5℃和 1.6℃;土壤含水量总体表现为北坡较高,西坡较低,但差异不显著($P>0.05$)(图 1C)。

表 1 海拔与坡向对土壤温度和含水量的影响
Table 1 Significance of soil temperature and water content at different altitudes and slopes

因子	土壤温度	土壤含水量
A	<0.001	<0.001
S	<0.001	0.623
A * S	0.229	<0.001

注:加粗字体代表($P<0.05$),A、S、A * S 分别表示海拔、坡向、海拔 * 坡向。下同

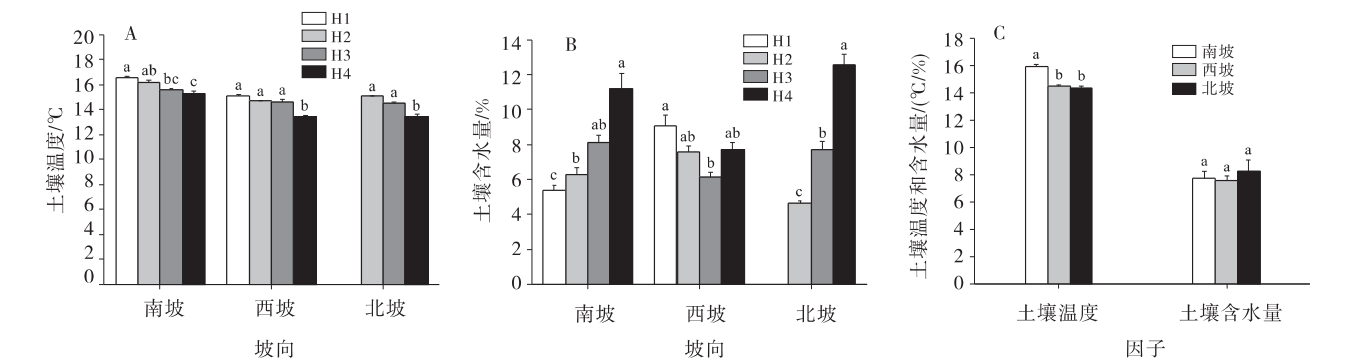


图 1 不同海拔和坡向间土壤温度及含水量变化

Fig. 1 Variation of soil temperature and water content among different altitudes and slope directions

注: H1、H2、H3、H4 表示由低到高的海拔梯度,不同小写字母表示不同处理下所测指标差异显著($P<0.05$)。下同

2.2 毒草生物量沿坡面的分布规律及坡向差异

瑞香狼毒的生物量在不同海拔梯度间无显著差异($P>0.05$),但在不同坡向上差异显著($P<0.05$),并且海拔和坡向之间存在交互作用(表 2)。瑞香狼毒的生物量在南坡不同海拔间无显著差异($P>0.05$);而在西坡和北坡随着海拔的升高呈上升趋势($P<0.05$);西坡在 H3 处最高,为 37.4 g/m^2 ;北坡在 H4 最高,为 0.2 g/m^2 (图 2A)。海拔对镰形棘豆生物量有显著影响($P<0.05$),但坡向无显著影响($P>0.05$),海拔和坡向也无交互作用(表 2)。镰形棘豆生物量在西坡和北坡不同海拔间均无显著差异($P>0.05$),而南坡生物量随海拔的升高呈下降趋势($P<0.05$),最高为 5.8 g/m^2 (图 2B)。不同坡向,瑞香狼毒和镰形棘豆的生物量在南坡、西坡和北坡分别为 25.5 , 15.6 和 0.06 g/m^2 以及 2.7 , 2.2 和 0.03 g/m^2 , 2 种毒草生物量大小顺序均是南坡>西坡>北坡(图 2C)。

表 2 海拔与坡向间毒草群落特征

Table 2 Impacts of altitude and slope orientation on poisonous weeds

毒草	因子	生物量	高度	密度	盖度
瑞香狼毒	A	0.298	0.108	<0.001	0.004
	S	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A * S	0.003	0.001	<0.001	<0.001
镰形棘豆	A	0.002	0.243	0.001	<0.001
	S	0.132	<0.001	0.228	0.517
	A * S	0.823	0.020	0.923	0.992

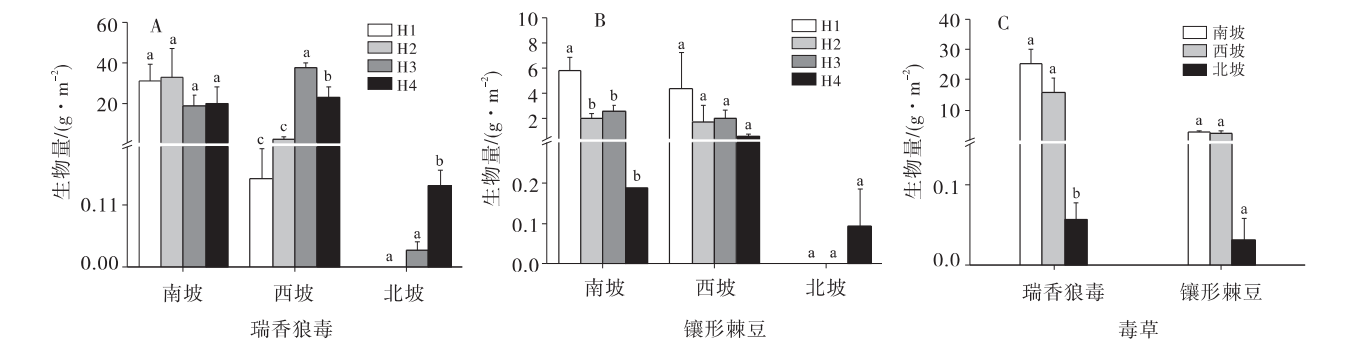


图 2 不同海拔和坡向间毒杂草生物量

Fig. 2 Biomass variation of poisonous weeds at different altitudes and slope directions

2.3 毒草高度沿坡面的分布规律及坡向差异

瑞香狼毒和镰形棘豆的高度在不同海拔梯度间无显著差异($P>0.05$),但在不同坡向上差异显著($P<0.05$),且海拔和坡向间存在交互作用(表 2)。在不同

的海拔梯度上,瑞香狼毒的高度在南坡随海拔的升高呈下降趋势($P<0.05$),从 H1 的 22.6 cm 下降到 H4 的 15.7 cm;在西坡和北坡呈上升趋势($P<0.05$),西坡从 H1 的 17 cm 上升到 H3 的 18.7 cm,北坡从 H2 的 0 cm 上升到 H4 的 10 cm(图 3A)。镰形棘豆的高

度在南坡随海拔的升高呈升高趋势($P<0.05$),从 H1 的 12.4 cm 升高到 H3 的 13.6 cm;在西坡和北坡不同海拔间无显著差异($P>0.05$)(图 3B)。在不同坡向梯度上,两种毒草的平均高度均表现为南坡>西坡>北坡,且不同坡向间差异显著($P<0.05$)(图 3C)。

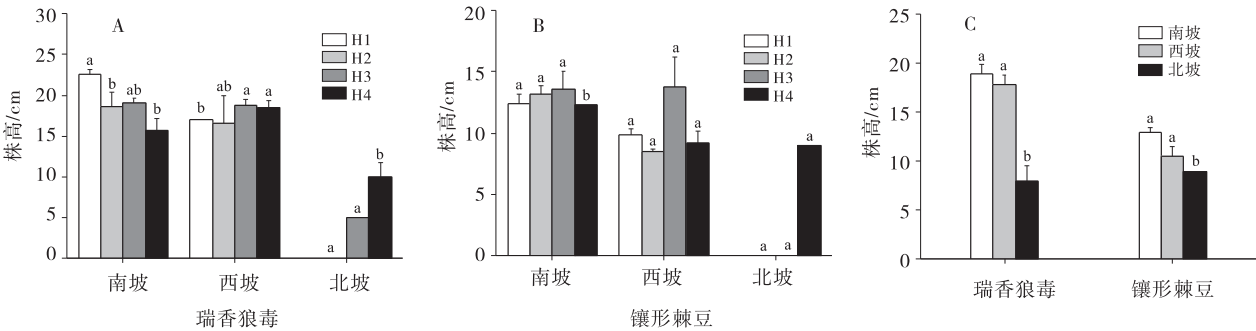


图 3 不同海拔和坡向间毒杂草高度

Fig. 3 Height variation of poisonous weeds at different altitudes and slopes

2.4 毒草密度沿坡面的分布规律及坡向差异

海拔梯度和坡向对瑞香狼毒的密度均具有显著影响($P<0.05$),且两者存在交互效应(表 2)。瑞香狼毒密度在 3 个坡向均随海拔的升高呈波动上升的趋势($P<0.05$);南坡从 H1 的 0.7 株/ m^2 上升到 H4 的 1.9 株/ m^2 ,西坡从 H1 的 0.09 株/ m^2 上升到 H3 的 3.5 株/ m^2 ,北坡从 H2 的 0 株/ m^2 上升到 H4 的 0.1

株/ m^2 (图 4A)。对镰形棘豆而言,海拔对其密度具有显著作用($P<0.05$),但坡向无显著影响($P>0.05$),海拔和坡向也无交互作用。镰形棘豆密度在南坡随海拔的升高呈降低趋势($P<0.05$),从 H1 的 0.3 株/ m^2 下降到 H4 的 0.03 株/ m^2 ($P<0.05$)(图 4B)。在不同的坡向梯度上,两种毒草平均密度均是南和西坡较高,北坡较低(图 4C)。

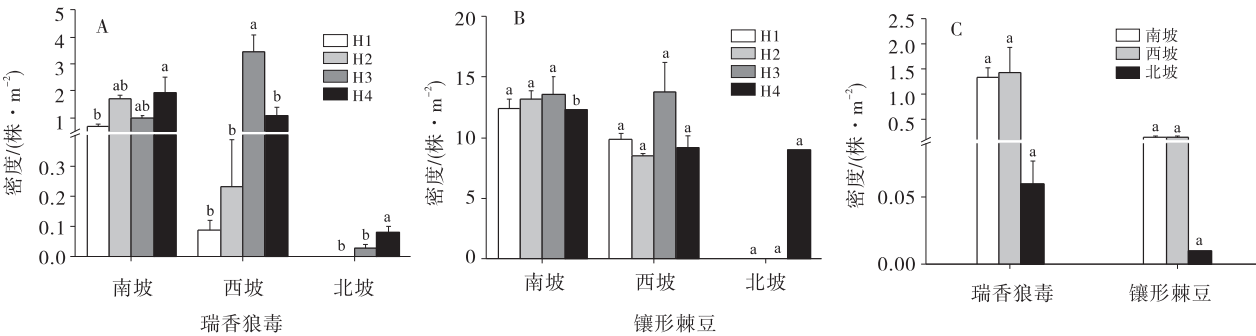


图 4 不同海拔和坡向间毒草密度

Fig. 4 Density variation of poisonous weeds at different altitudes and slope directions

2.5 毒草相对盖度沿坡面的分布规律及坡向差异

海拔梯度和坡向对瑞香狼毒的相对盖度均具有显著影响($P<0.05$),且两者存在交互效应(表 2)。瑞香狼毒的相对盖度在南坡不同海拔间无显著差异($P>0.05$);而在西坡和北坡随海拔的升高呈上升趋势($P<0.05$),西坡从 H1 的 0.8% 上升到 H3 的 72.6%,北坡从 H2 的 0 上升到 H4 的 0.4%(图 5A)。海拔梯度对镰形棘豆的相对盖度有显著作用($P<0.05$),但坡

向无显著影响($P>0.05$),海拔和坡向也无交互作用。在南坡,镰形棘豆相对盖度随海拔的升高呈下降趋势($P<0.05$),从 H1 的 17.9% 下降到 H4 的 1.4%。在西坡和北坡,镰形棘豆相对盖度在不同海拔间无显著差异($P>0.05$)(图 5B)。在不同的坡向梯度上,瑞香狼毒的平均相对盖度在南坡、西坡和北坡分别为 41.6%、27.5 和 0.2% ($P<0.05$);镰形棘豆的相对盖度南坡较高,北坡较低(图 5C)。

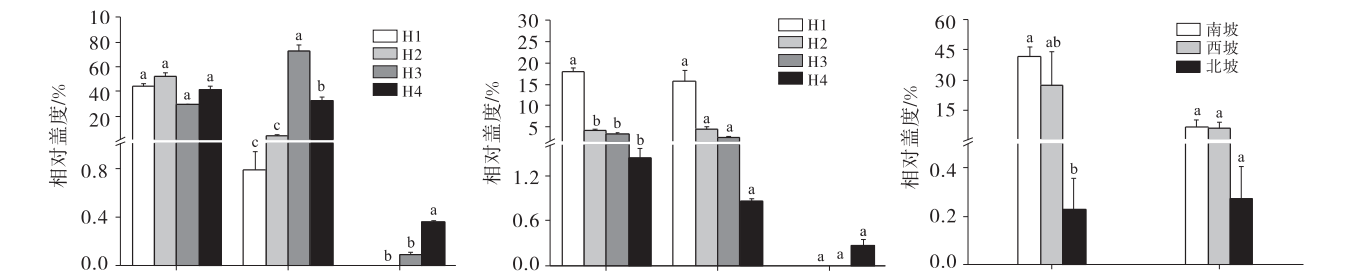


图 5 不同海拔和坡向间毒杂草相对盖度

Fig. 5 Variation of relative coverage of poisonous weeds at different altitudes and slopes

2.6 毒草分布与土壤温度和含水量的相关性分析

瑞香狼毒生物量与土壤温度存在显著的正相关关系($P<0.05$),其生物量,相对盖度与土壤含水量有显著的负相关关系($P<0.05$)。镰形棘豆密度、高度、相对盖度与土壤温度呈显著的正相关关系($P<0.05$),其生物量与土壤温度有极显著的正相关关系,相关系数达 0.496($P<0.01$)(表 3)。

表 3 毒杂草测定指标与土壤温度和含水量的相关分析

Table 3 Correlation analysis between weeds community and soil temperature and water content

因子	毒草	土壤温度	土壤含水量
生物量	瑞香狼毒	0.420*	-0.441*
	镰形棘豆	0.496**	-0.143
高度	瑞香狼毒	0.298	-0.205
	镰形棘豆	0.389*	-0.265
密度	瑞香狼毒	0.166	-0.244
	镰形棘豆	0.411*	0.025
盖度	瑞香狼毒	0.228	-0.358*
	镰形棘豆	0.428*	-0.140

注:*表示 $P<0.05$; **表示 $P<0.01$

3 讨论

山地作为高寒草地的主要地形类型,其不同海拔和坡向间虽然距离相近,但微气候却差异较大^[18]。随着地形因子的变化,调节植物特征的环境变量如温度、水分、养分有效性等也会随之改变,从而改变植物种群策略^[19]。张茜等^[20]的研究表明,低海拔光照及温度条件较好,狼毒采取营养投资策略;而随着海拔升高,低温大风等恶劣环境下,狼毒的生存策略转向繁殖。此次研究也印证了这一点,瑞香狼毒在低海拔处表现为植株高大、密度小;而在高海拔处,表现为植株低、密度大的特点。而随着坡向由南-西-北(阳坡-偏阳坡-阴坡)变化,光照及土壤水热组合条件变差,毒草生长指

标的平均值呈下降趋势。刘旻霞等^[21]的研究报道,不同坡向上,光照和土温引起土壤水分的变化会改变植被群落的结构。李钰等^[22]也报道坡向会影响狼毒叶片和枝条的生长及异速关系。所以光照和温度条件较好的南坡和西坡成为毒草主要的分布区域。

土壤水分是高寒草地植被生长的重要影响因素^[23],植被物种格局的分布在很大程度上受水分影响^[24-25]。干旱对青藏高原高寒草地浅根植物具有负面作用,在暖干化趋势下深根植物将增加^[26-27]。在高寒退化地区,土壤多以沙壤土为主,表层土壤水分相对于地下深层更容易蒸发流失,而瑞香狼毒作为一种典型的深根植物,更容易利用土壤深层水分来维持其生存^[28]。邓俊宾等^[29]研究表明,狼毒群落盖度与表层土壤水分(0~10 cm)呈显著的负相关关系。此次研究中,瑞香狼毒的生物量和相对盖度均在南坡山底及北坡山坡梯度达到高值,而该处的土壤含水量处于低值,且瑞香狼毒的生物量和相对盖度均与土壤含水量呈显著负相关关系。综合分析,表层土壤水分的丧失不利于浅根牧草生存,减小了狼毒的竞争压力,从而使狼毒在表层土壤水分含量较低的南坡山底和北坡山坡成为优势种。

温度通过影响种子发芽、酶活性等影响物种分布。藏北地区植物所处的环境温度普遍低于植物生长最优温度^[30-31]。因此,温度分布对于高寒物种来说尤为重要。试验中镰形棘豆的测定指标均在南坡和西坡的山底梯度较高,而土壤温度随海拔的下降呈增加趋势。相关分析表明,镰形棘豆的生物量等生长指标以及瑞香狼毒的生物量与土壤温度均呈正相关关系。这与王传旗等^[32]的结果一致,其发现镰形棘豆种子发芽率等指标在 0/10~15/25℃随温度上升而增加。因此,土壤温度较高的南坡和西坡以及山底地区,更有利于毒草种子萌芽、酶活性的增加以及竞争优势的形成。

综上所述,瑞香狼毒和镰形棘豆适宜在暖干化生境中生长。而鉴于未来气候暖干化趋势^[33],藏北地区毒草滋生风险增加^[27]。因此,应加强藏北高寒草地的管理,在气温较高降水较少的区域应降低放牧强度,尤其是南坡山底与北坡山坡,以避免草地的退化和毒草的滋生蔓延。

4 结论

通过毒草分布特征调查,发现海拔和坡向决定土壤温度和土壤水分格局,是影响毒杂草分布的重要因素。从不同坡向分析,瑞香狼毒和镰形棘豆主要分布于南坡和西坡;在不同海拔梯度,瑞香狼毒集中分布于南坡山底和北坡山坡梯度上,镰形棘豆集中分布于在南坡和西坡的山底;毒草多分布于温度高、水分低的生境,即其具有较强的抗旱特性。

参考文献:

- [1] 高清竹,李玉娥,林而达,等. 藏北地区草地退化的时空分布特征[J]. 地理学报,2005,60(6):965—973.
- [2] 宋梅玲,王玉琴,鲍根生,等. 不同草地管理措施对狼毒型退化草地群落结构及牧草品质的影响[J]. 草业科学,2018,35(10):2318—2326.
- [3] 尚占环,董全民,施建军,等. 青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近 10 年研究进展-兼论三江源生态恢复问题[J]. 草地学报,2018,26(1):1—21.
- [4] 任元丁. 青藏高原四种毒杂草残体对土壤中化感物质的影响[D]. 兰州:兰州大学,2013.
- [5] Shang Z H, Deng B, Ding L M, *et al.* The effect of three years of fencing enclosure on soil seed banks and the relationship with above-ground vegetation of degraded alpine grasslands of the Tibetan plateau [J]. Plant and Soil, 2013,364:229—244.
- [6] Li Y Y, Dong S K, Liu S, *et al.* The interaction between poisonous plants and soil quality in response to grassland degradation in the alpine region of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Plant Ecology, 2014,215:809—819.
- [7] 四朗玉珍,益西多吉,赵宝玉,等. 西藏草地有毒植物研究现状[J]. 中国草地学报,2015,37(2):102—106.
- [8] 张泉,刘咏梅,杨勤科. 祁连山退化高寒草地土壤水分空间变异特征分析[J]. 冰川冻土,2014,36(1):88—94.
- [9] 李晓焕. 基于 GIS 的瑞香狼毒分布与土壤特性的关系研究[D]. 西安:西北大学,2017.
- [10] 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,2011,30(6):1312—1316.
- [11] 李钰,赵成章,董小刚,等. 高寒草地狼毒枝-叶性状的坡度差异性[J]. 植物生态学报,2013,37(8):709—717.
- [12] 张茜,赵成章,董小刚,等. 高寒退化草地不同海拔狼毒种群花大小、数量与个体大小的关系[J]. 生态学杂志,2013,32(12):3160—3166.
- [13] 谭成虎. 甘肃天然草原主要毒草分布、危害及其防治对策[J]. 草业科学,2006,23(12):98—101.
- [14] 廖敏,张波,范中菡,等. 阿坝地区狼毒内生放线菌多样性及抗菌活性[J]. 草业学报,2016,25(3):43—51.
- [15] 刘秀艳,郭丽珠,刘丽,等. 狼毒种子不同密度对 6 种草地植物种子发芽及幼苗生长的化感影响[J]. 草原与草坪,2019,39(1):01—07.
- [16] 景美玲,马玉寿,王宏生,等. “狼毒净”对狼毒的防效[J]. 草业科学,2016,33(7):1324—1331.
- [17] 盛文萍,高清竹,李玉娥,等. 藏北地区气候变化特征及其影响分析[J]. 高原气象,2008,27(3):509—516.
- [18] 刘旻霞,马建祖. 甘南高寒草地植物功能性状和土壤因子对坡向的响应[J]. 应用生态学报,2012,23(12):3295—3300.
- [19] 张茜,赵成章,马小丽,等. 高寒草地狼毒种群繁殖分配对海拔的响应[J]. 生态学杂志,2013,32(2):247—252.
- [20] 张茜,赵成章,董小刚,等. 高寒退化草地狼毒种群不同海拔花大小-数量的权衡关系[J]. 植物生态学报,2014,38(5):452—459.
- [21] 刘旻霞,赵瑞东,张灿,等. 亚高寒草地植物叶片生理指标对坡向的响应[J]. 应用生态学报,2017,28(9):2863—2869.
- [22] 李钰,赵成章,董小刚,等. 高寒草地狼毒枝叶性状对坡向的响应[J]. 生态学杂志,2013,32(12):145—151.
- [23] Sun J, Cheng G W, Li W P. 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] Oberbauer S F, Billings W D. Drought tolerance and water use by plants along an alpine topographic gradient [J]. Oecologia, 1981,50(3):325—331.
- [25] Yang Y H, Fang J Y, Pan Y D. Aboveground biomass in Tibetan grasslands [J]. Journal of Arid Environments, 2009,73:91—95.
- [26] Zhu J, Zhang Y, Wang, W. Interactions between warming and soil moisture increase overlap in reproductive phenology among species in an alpine meadow [J]. Biology Letters, 2016,12(7):20150749.
- [27] Ganjurjav H, Gao Q, Gornish E S, *et al.* Differential re-

- sponse of alpine steppe and alpine meadow to climate warming in the central Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, 223: 233–240.
- [28] 孙建, 王小丹, 程根伟, 等. 狼毒根系的向水性及其对河流侵蚀的响应[J]. *山地学报*, 2014, 32(4): 444–452.
- [29] 邓俊宾, 朱志梅. 狼毒群落多样性研究及其与土壤水分相关性分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(11): 68–170.
- [30] 陈超, 丁丹, 王庆海, 等. 草原毒害草-黄花棘豆种子萌发的影响因素探讨[J]. *草地学报*, 2017, 25(4): 717–723.
- [31] 干珠扎布. 增温增雨对藏北小嵩草草地生态系统碳交换的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [32] 王传旗, 梁莎, 武俊喜, 等. 温度对西藏 5 种野生豆科牧草种子萌发的影响研究[J]. *种子*, 2017, 36(10): 1–11.
- [33] Gao Q Z, Li Y, Xu H M, *et al.* Adaptation strategies of climate variability impacts on alpine grassland ecosystems in Tibetan Plateau[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2014, 19(2): 199–209.

Spatial distribution characteristics of two typical poisonous weeds along the altitude and slope on the north Tibetan plateau

SHUI Hong-wei^{1,2}, WU Hong-bao², Hasbagan Ganjurja², LV Cheng-wen¹,
GAO Qing-zhu², HU Guo-zheng², WANG Bao-hai³, CAN Mu-you³,
YAN Jun⁴, WANG You-xia⁴, HE Shi-cheng⁴

(1. College of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China; 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China; 4. Naqu Grassland Station, Naqu 852000, China)

Abstract: In order to reveal the spatial distribution characteristics of poisonous grasses (*Stellera chamaejasme* and *Oxytropis falcata*) in the degraded alpine grassland of the northern Tibetan plateau, the biomass and community characteristics along the altitude and slope were investigated in August 2018 by using the field quadrat survey method. The results showed that the distribution of the two poisonous weeds was significantly affected by altitude and slope direction ($P < 0.05$). On the slope gradient, *S. chamaejasme* and *O. falcata* were mainly distributed on the south and west slopes, and its average biomass was 25.5, 15.6, 0.06 g/m and 2.7, 2.2, 0.03 g/m on the south, west and north slopes, respectively. On the altitude gradient, the height of *S. chamaejasme* was the highest at the bottom of the south slope (22.6 cm), and the biomass and relative coverage were the highest at the north slope (37.4 g/m and 72.6%, respectively). The biomass, density and relative coverage of *O. falcata* were the highest in the bottom of south slope (5.8 g/m, 0.3 plant/m² and 17.9%, respectively). The correlation analysis showed that the biomass of *S. chamaejasme* and the height, density and relative coverage of *O. falcata* were significantly positively correlated with soil temperature ($P < 0.05$), while the biomass and relative coverage of *S. chamaejasme* were significantly negatively correlated with soil water content ($P < 0.05$). In conclusion, *S. chamaejasme* and *O. falcata* were suitable for growing in a warm and dry environment.

Key words: poisonous weeds; altitude gradient; slope direction; distribution characteristics; soil temperature and water content