

## 青藏高原高寒草原优势植物西北针茅对降水波动的响应

张宝成, 吕朝燕

(遵义师范学院 生物与农业科技学院, 贵州 遵义 563002)

**摘要:**通过分析农业气象站固定样地观察数据,研究了降水波动对高寒草原优势植物西北针茅和杂类草的影响。结果表明:西北针茅的丛数及其生产力随降水量增加而降低。相反,杂类草生产力随降水量增加而增加。西北针茅的丛数和生产力与土壤0~20 cm温度呈显著负相关性;而杂类草的生产力与0~20 cm土壤温度呈正相关。年降水的波动对西北针茅丛数及其生产力以及杂类草,特别是在降水极端偏低年份西北针茅的丛数及其生产力迅速增加,而杂类草生产力极低。这表明气候变化中的降水量年际波动是影响高寒草原优势植物西北针茅和杂类草生产力的重要驱动因素。

**关键词:**气候变化;高寒草原;生产力;降水量;土壤温度;极端事件

**中图分类号:**S 543<sup>+</sup>.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)18-0109-05

全球变暖背景下,青藏高原温度在近50年总体呈上升趋势,但是不同区域对气候变化的响应有所差异<sup>[1]</sup>。青藏高原降水在青海东南部和西藏部分站点出现减小趋势,其余大部分区域总的降水量呈现增加趋势<sup>[2]</sup>。青藏高原东隅短时间降水量出现剧烈波动<sup>[3]</sup>。降水的波动是引起青藏高原植被波动的重要因子<sup>[4]</sup>。高寒草原群落比较简单,生长季短对外界气候环境的变化比较敏感,是研究气候变化的理想生态系统和区域<sup>[5-7]</sup>。同时,降水量的变化影响高寒草地植物物种组成、植物多样性、初级生产力和禾本科植物的相对重要值<sup>[8]</sup>。在高寒草甸系统中模拟降低降水20%~

40%情景下,杂类草和禾本科植物比较敏感,而杂类草和禾本科植物没有显著的变化<sup>[9]</sup>。模拟试验和降水空间变化与草地植物响应不一致,很难解释草地生态系统的变化与降水的关系。

草地占青藏高原总面积的50%,草地系统不仅提供重要的生产物质资料,也是当地少数民族赖以生存的基础。但是该系统严重退化<sup>[10]</sup>,严重影响当地畜牧业的发展。在青藏高原,西北针茅(*Stipa krylovii*)草场面积仅次于嵩草草甸,是青藏高原重要的草场类型之一<sup>[11]</sup>。在过去的几十年由于人口迅速增加,当地人地关系矛盾突出,草场过度利用。出现草地退化和可食牧草减少、毒杂类草增多、土壤侵蚀严重等问题,导致高寒草原生产力下降。但是,目前对高寒草原的研究报道相对较少<sup>[12]</sup>。降水波动后对高寒草原的影响如何?这些问题如果得不到解决,很难给相关政策的制定以及草地的管理和修复提供科学支撑。因此,该研究利用兴海县气象局牧业气象观测站西北针茅草原1999—2006年的观测数据,研究了高寒草原优势植物西北针茅及其杂类草生产力对气候变化的响应。

**第一作者简介:**张宝成(1978-),男,博士,副教授,研究方向为生态功能及全球变化。E-mail:woshimiantian@126.com

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31660106);贵州省千层次创新型人才资助项目(遵市科合人才[2016]4号);贵州省教育厅资助项目(黔教合KY字[2014]260);遵义师范学院博士基金资助项目(遵师BS[2014]06,BS[2014]07号);国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2012BAH31B03)。

**收稿日期:**2017-05-15

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于三江源兴海县气象局牧业气象观测站(东经  $35^{\circ}36'$ , 北纬  $99^{\circ}59'$ ), 海拔 3 323.2 m, 属于典型的高原大陆性气候<sup>[11]</sup>。多年平均气温  $1.31^{\circ}\text{C}$ , 年平均降水量 354.3 mm。观测高寒草原的优势植物为西北针茅(*Stipa krylovii*), 半生植物有莎草科的矮嵩草(*Kobresia humilis*)、菊科牧草猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、禾本科的冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、斜茎黄芪(*Astragalus adsurgens*)等。观测场每年 3—10 月对研究点围栏封育, 牧草黄枯后适当放牧采食。

### 1.2 数据收集

资料来源于 1999—2006 年兴海县气象局牧业气象观测站天然牧草观测。牧草的丛数和生物量的取样观测方法参照中国气象局牧业气象观测规范。气象数据来源于青海省兴海县气象站的地面气象观测资料。降水量、气温和 0~20 cm 土壤温度与用线性回归的方法计算出其变化率。

### 1.3 数据分析

采用 SPSS 11.5 软件进行试验数据的统计分析, 并用 Sigmplot 10.0 软件绘图。

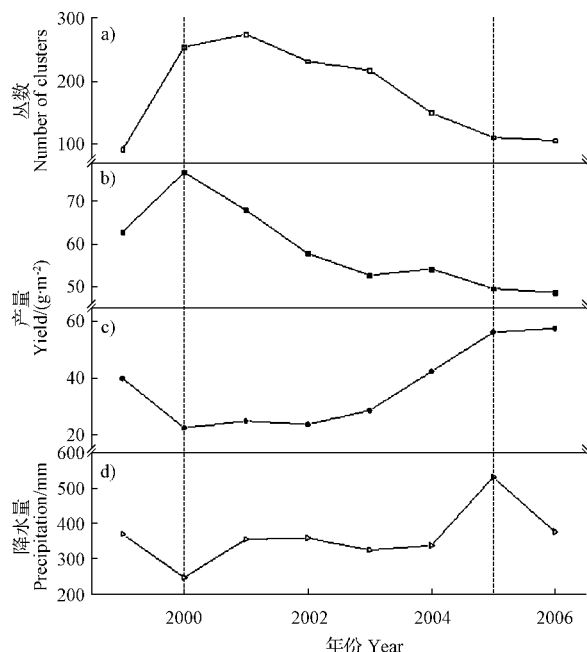
## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子的变化

由表 1 可知, 研究期间平均气温和 0~20 cm 土壤温度均呈明显变化趋势( $P>0.50$ ), 但降水增加趋势不明显( $P=0.20$ )。虽然降水无显著的变化, 但是在这 8 年(1999—2006 年)中年降水量的波动较大。2006 年的平均气温是多年平均值的 1.83 倍; 2005 年的降水量是 2000 年的 2.15 倍(图 1)。

### 2.2 西北针茅和杂类草的产量与丛数与环境因子的关系

由表 1 可知, 高寒草原中优势植物西北针茅产量呈降低趋势, 并以  $3.34\text{ g}\cdot\text{年}^{-1}$  的速度降低( $P<0.001$ ), 该降幅占其平均值的 5.63%。西北针茅丛数也呈现降低趋势, 以  $11.95\text{ 丛}\cdot\text{年}^{-1}$  的速度降低。相反, 杂类草产量呈现显著增加趋势



注: a. 西北针茅丛数年变化; b. 西北针茅产量年变化; c. 杂类草产量年变化; d. 年降水量变化; 虚线表示降水量的极端变化对应的西北针茅和杂类草的产量与丛数变化。

Note: a. annual clusters variation of *Stipa krylovii*; b. annual yield variation of *Stipa krylovii*; c. annual yield variation of weeds; d. annual precipitation.

图 1 西北针茅与杂类草的产量、丛数及降水量年变化  
Fig. 1 Annual variation of *Stipa krylovii* and weeds

( $P<0.05$ ), 并以  $4.16\text{ g}\cdot\text{年}^{-1}$  的速度增加, 增幅占其平均值的 11.36%。草地生产力不受生长期温度、降水以及土壤温度的影响(表 2)。西北针茅的产量和丛数与 20 cm 土壤温度、总降水量有很高的负相关性; 杂类草产量与土壤 20 cm 温度、总降水量呈显著正相关性( $P<0.05$ )。

西北针茅的丛数也由最初的  $90\text{ 丛}\cdot\text{m}^{-2}$  变化到后期的  $105\text{ 丛}\cdot\text{m}^{-2}$ , 但是部分年的变化较大, 如 2000、2001 年的丛数分别达到 254、274  $\text{丛}\cdot\text{m}^{-2}$ , 是最初的 2.82、3.04 倍。可能是 2000 年出现了干旱, 降水量为 247.3 mm, 比多年(1960—2006 年)的平均值 354.31 mm 偏少 30.23%(107 mm)。干旱年西北针茅丛数迅速从  $90\text{ 丛}\cdot\text{m}^{-2}$  增加到  $254\text{ 丛}\cdot\text{m}^{-2}$ , 其生产力达到研究期间的最大值  $76.7\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ; 杂类草产量达到研究期间的最低值  $22.4\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (图 1)。降水极端年后紧接着是降水平年 355.6 mm, 西北针

茅丛数迅速增加到 274 丛·m<sup>-2</sup>。然后在降水  
平年和气温平年西北针茅丛数维持在 217~  
274 丛·m<sup>-2</sup>。在 2004 年出现极冷年,年气温  
1.32℃虽然接近多年(1960—2006 年)平均气温  
1.31℃,但是比研究期间(1999—2006 年)的气

温 1.98℃偏低 33.33%,造成西北针茅的丛数迅  
速从 217 丛·m<sup>-2</sup>降低到 149 丛·m<sup>-2</sup>,然后降水  
量 530.9 mm,比多年平均值偏多 49.84%,西北  
针茅的丛数从 149 丛·m<sup>2</sup>降低到 110 丛·m<sup>-2</sup>  
(图 1)。

表 1 优势植物与杂类草的产量、丛数及其与环境因子关系

Table 1 Relationship between yield and cluster of dominant plant,weeds and with environmental factors

指标 Index	平均气温 Mean temperature/℃	降水量 Precipitation /mm	0~20 cm 地温 Soil temperature of 0—20 cm depth/℃	西北针茅丛数 Number of <i>Stipa krylovii</i>	西北针茅产量 Yield of <i>Stipa krylovii</i> /(g·m <sup>-2</sup> )	杂类草产量 Yield of weeds /(g·m <sup>-2</sup> )
变化率 Change rate	—	16.39	—	—11.95	—3.34	4.16
r <sup>2</sup>	—	0.26	0.08	0.16	0.72	0.52
P	0.95	0.20	0.51	0.32	<0.001	0.045

表 2 环境因子、西北针茅及杂类草指标相关关系

Table 2 Correlation between *Stipa krylovii*, weeds and environmental factor

指标 Index	西北针茅产量 Yield of <i>Stipa krylovii</i> /(g·m <sup>-2</sup> )	杂类草产量 Yield of weeds/(g·m <sup>-2</sup> )	西北针茅丛数 Number of <i>Stipa krylovii</i>
平均气温 Annual temperature/℃	—0.11	0.17	—0.22
降水量 Precipitation/mm	—0.63 *	0.71 *	—0.58
平均地表温度 Average surface temperature/℃	—0.25	0.46	—0.50
平均 0~20 cm 地温 Average 0—20 cm soil temperature/℃	—0.60 *	0.65 *	—0.72 *

注: \* 表示差异显著性水平(P<0.05)。  
Note: \* shows significant difference at 0.05 level.

研究期间降水量呈增加趋势,并以每年  
16.39 mm的速度增加(P=0.20),平均气温和土  
壤温度(0~20 cm)均无显著变化。降水量与西北  
针茅丛数呈现出负相关(P=0.13),西北针茅的  
产量与年降水量呈现出负相关关系(P=0.09),

降水量每增加 100 mm,西北针茅生物量降低  
23 g·m<sup>-2</sup>。相反,杂类草产量与降水量呈现出  
显著正相关关系,并以 0.13 g·m<sup>-2</sup>的速度增加。  
这表明西北针茅产量降幅远远高于杂类草产量的  
增加(图 2)。

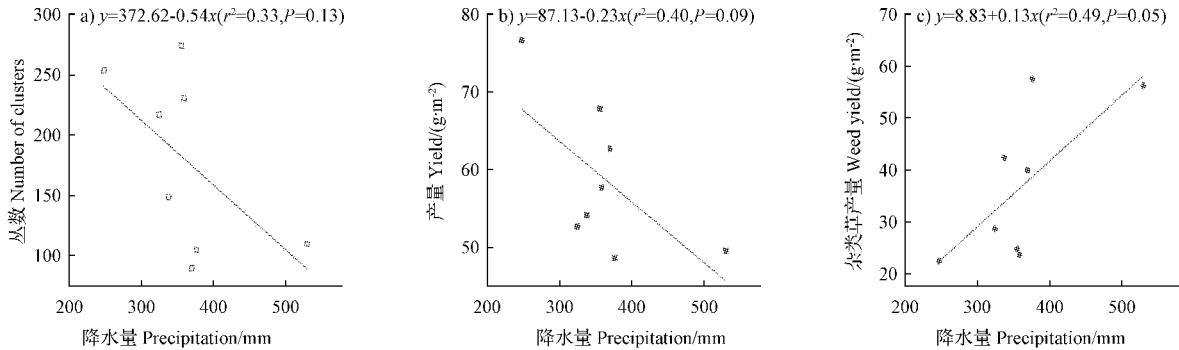


图 2 西北针茅与杂类草产量和丛数与降水量关系

Fig. 2 Relationship among *Stipa krylovii*, weed yield, number of cluster and precipitation

0~20 cm 土壤温度与西北针茅的丛数呈显著负相关,0~20 cm 土壤温度增加 1℃,西北针茅丛数降低 197.30 丛( $P=0.05$ );西北针茅的产量与土壤温度呈负相关( $P=0.11$ );相反,杂类草

产量与 0~20 cm 土壤温度呈显著正相关( $P=0.09$ ),土壤温度增加 1℃,杂类草产量增加 33.7 g (图 3)。

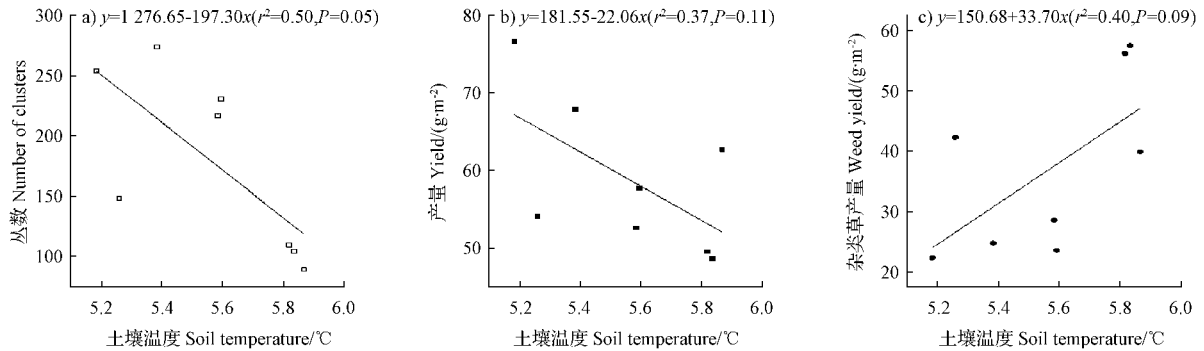


图 3 西北针茅与杂类草的产量与丛数与 0~20 cm 土壤温度的关系

Fig. 3 Relationship among *Stipa krylovii*, weed yield, number of cluster and soil temperature in 0—20 cm

### 3 讨论与结论

优势植物西北针茅年产量波动较大(图 1),尤其是在干旱年西北针茅的丛数和产量都很高,在降水丰年丛数和产量都很低。该研究支持西北针茅是旱生的密丛型禾本科植物<sup>[13]</sup>,具有较强的耐旱特性<sup>[14]</sup>。杂类草的产量与西北针茅的变化刚好相反,在降水丰年高,干旱年生产力极低(图 1)。有研究表明,降水量过多,抑制了疏丛型禾本科植物的分蘖<sup>[15]</sup>。这支持降水变化影响草地的优势植物和建群种水分策略,从而影响群落结构与物种组成<sup>[16]</sup>。因此,在丰水年其它杂类草类植物更能适应这种环境策略,西北针茅的丛数和生产力较低反映出在群落竞争中处于劣势,而杂类草生物量综合了其多样性等相关指标,在一定程度上反映出高寒草原退化程度<sup>[12]</sup>。

另外,降水通过改变土壤营养的状态。由于降水量的波动改变了土壤营养供给,不同植物对资源可获得性差异进而影响其生长。降水量补给改变土壤湿度,影响到土壤营养物质氮等转化为植物可利用状态的供给<sup>[16]</sup>。降水的波动影响到土壤水分和营养环境<sup>[18]</sup>,进而影响到植物群落中旱生、中生和湿生植物的竞争,进而控制植物群落的演替方向<sup>[8]</sup>。降水量在 250~400 mm 可满足耐旱植物西北和中生植物的发育<sup>[8]</sup>。

植物的生产力(生物量)是植物进行光合作用的产物,它综合反映了植物/群落中植物的多样性、丰富度及其竞争作用的综合体现,因此杂类草类的生物量证实了其适应能力。先前高寒草甸研究也表明降水波动通过改变植物的竞争影响其生产力<sup>[18]</sup>。内蒙古羊草草原的研究也表明,羊草草原不同的优势种表现出对气候变化的不同响应,主要是由于气候的波动影响草地植物<sup>[19]</sup>。

高寒草原优势植物西北针茅的丛数和生产力在研究期间呈显著降低趋势,杂类草和草地的生产力呈现显著增加趋势;年降水降量比常年低偏少 30.23% 时,西北针茅的丛数和生产力迅速增加,次年达到其最大值;而杂类草的产量在降水该干旱年最低;降水量和 0~20 cm 土壤温度是影响西北针茅和杂类草产量的关键因子。降水量和气温的波动是影响高寒草原优势植物西北针茅丛数生产力和杂类草生产力的关键。

(致谢:兴海县气象局牧业气象观测站的同志们为监测数据艰苦的付出!)

### 参考文献

- [1] 李林,陈晓光,王振宇,等. 青藏高原区域气候变化及其差异性研究[J]. 气候变化研究进展,2010,6(3):181-186.
- [2] 张文纲,李述训,庞强强. 青藏高原 40 年来降水量时空变化趋势[J]. 水科学进展,2009,20(2):168-176.
- [3] 张法伟,李红琴,李英年,等. 青藏高原高寒草甸气温、降水和地上净初级生产力变化的周期特征[J]. 应用生态学报,2009,

- 20(3):525-530.
- [4] 周睿,杨元合,方精云. 青藏高原植被活动对降水变化的响应[J]. 北京大学学报(自然科学版),2007,43(6):771-775.
- [5] LUO T X,LI W H,ZHU H Z. Estimated biomass and productivity of natural vegetation on the Tibetan Plateau[J]. Ecological Applications,2002,12(4):980-997.
- [6] MA W H,HE J S,YANG Y H,et al. Environmental factors covary with plant diversity-productivity relationships among Chinese grassland sites[J]. Global Ecology and Biogeography,2010,19(2):233-243.
- [7] YANG Y H,FANG J Y,PAN Y D,et al. Aboveground biomass in Tibetan grasslands[J]. Journal of Arid Environments,2009,73(1):91-95.
- [8] 武建双,李晓佳,沈振西,等. 藏北高寒草地样带物种多样性沿降水梯度的分布格局[J]. 草业学报,2012,21(3):17-25.
- [9] 沈振西,周兴民,陈佐忠,等. 高寒矮嵩草草甸植物类群对模拟降水和施氮的响应[J]. 植物生态学报,2002,26(3):288-294.
- [10] 徐凌翔,程玉,刘帆,等. 尕斯库勒湖滨湿地种子库初探[J]. 植物科学学报,2011,29(5):589-598.
- [11] 朱宝文,郑有飞,陈晓光. 高寒针茅草原植物生长季土壤水分动态变化规律[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):96-100.
- [12] 周华坤,赵新全,温军,等. 黄河源区高寒草原的植被退化与土壤退化特征[J]. 草业学报,2012,21(5):1-11.
- [13] 孙海群,张集民. 青海针茅属植物的调查研究初报[J]. 青海畜牧兽医学院学报,1992,9(2):14-19.
- [14] 卢生莲,吴珍兰. 中国针茅属植物的地理分布[J]. 植物分类学报,1996,34(3):242-253.
- [15] 王长庭,王启基,沈振西,等. 模拟降水对高寒矮嵩草草甸群落影响的初步研究[J]. 草业学报,2003,12(2):25-29.
- [16] 刘冉,李彦,刘燕. 盐生荒漠 CO<sub>2</sub> 通量对两个极端降水年份响应[J]. 生态学杂志,2013,32(10):2545-2551.
- [17] SADRAS V O,BALDOCK J A. Influence of size of rainfall events on water-driven processes-II. Soil nitrogen mineralisation in a semi-arid environment[J]. Australian Journal of Agricultural Research,2003,54(4):353-361.
- [18] ZHANG B C,CAO J J,BAI Y F,et al. Effects of rainfall amount and frequency on vegetation growth in a Tibetan alpine meadow[J]. Climatic Change,2013,118(2):197-212.
- [19] 刘钦普,林振山. 内蒙古草原羊草群落优势物种对气候变暖的响应[J]. 地理科学进展,2006,25(1):63-71.

## Responses of Dominant Plant *Stipa krylovii* of Alpine Steppe in Tebaten Plateau to Precipitation Fluctuation

ZHANG Baocheng,LYU Chaoyan

(School of Biological and Agricultural Science and Technology,Zunyi Normal University,Zunyi,Guizhou 563002)

**Abstract:** Based on the observation data of fixed sample plots at agricultural meteorological station, the effects of precipitation fluctuation on dominant species and weeds were studied. The results showed that the cluster number and productivity of *Stipa krylovii* was positive with 0—20 cm soil temperature. Conversely, cluster number and productivity of weed showed negative to 0—20 cm soil temperature. During the study period, precipitation amount showed an increasing trend, with greater fluctuation. The fluctuation of annual precipitation caused fluctuation of cluster number and productivity of *Stipa krylovii*, and weed biomass. In extreme drought years, the cluster number and productivity of *Stipa krylovii* presented rapid increased, while weeds productivity was very low. The results indicated that fluctuation of precipitation played an important role in driving community composition change in alpine grassland.

**Keywords:** climatic change; alpine grassland; productivity; precipitation amount; soil temperature; extreme events