

王建兵. 近 40 年甘南草原生命地带偏移趋势及干湿变化. 应用气象学报, 2012, 23(5): 604-608.

# 近 40 年甘南草原生命地带偏移趋势及干湿变化

王建兵<sup>1)2)</sup>\*

<sup>1)</sup>(中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020)

<sup>2)</sup>(甘肃省甘南藏族自治州气象局, 合作 747000)

## 摘 要

利用 Holdridge 生命地带系统对 1971—2010 年甘南草原的 Holdridge 生命地带偏移趋势及干湿变化进行分析, 发现甘南草原目前仍属于青藏高原高寒植被地区的亚高山高寒草甸生命地带, 但由于甘南草原生物温度明显升高, 甘南草原南部和北部降水量呈现不同的变化趋势, 位于青藏高原边坡地带的甘南草原的 Holdridge 生命地带距平均中心的偏移趋势逐年增大, 甘南草原生态系统的稳定性在减弱; 甘南草原潜在蒸散率以  $0.02/10\text{ a} \sim 0.03/10\text{ a}$  趋势上升, 其中以玛曲上升最明显, 达  $0.03/10\text{ a}$ ; 20 世纪 90 年代后, 甘南草原呈明显的暖干化趋势, 其中以位于南部的碌曲、玛曲变化最为明显, 碌曲已由极湿润区转变为湿润区; 玛曲有从极湿润区向湿润区过渡的趋势。影响甘南草原潜在蒸散率上升的主要气候因子是温度, 其次为降水和空气湿度, 温度上升是甘南草原暖干化的主要原因。

**关键词:** 甘南草原; Holdridge 生命地带; 偏移趋势; 暖干化

## 引 言

生态和环境的改变与气候的干湿变化密切相关, 青藏高原作为世界上最高的高原, 其气候与环境的变化一直倍受关注<sup>[1-5]</sup>。研究表明, 20 世纪 80 年代中后期青藏高原气候年代际变化实现了由暖干型向暖湿型的突变<sup>[6]</sup>, 目前关于青藏高原气候干湿变化对植被、牧草和生态环境的影响主要集中在高原主体上, 对边坡地带的研究还较少。甘南藏族自治州位于甘肃省西南部, 地处青藏高原东北部边坡地带, 由于特殊的地理位置, 甘南高原自然环境呈现出复杂的多样性和显著的过渡性, 其独特的地理环境孕育了大面积的草地、森林和湿地生态系统, 是黄河上游重要的生态屏障, 具有重要的作用。近年来, 由于气候和人为的原因, 甘南草原的生产性能和生态功能大幅下降, 草地退化、沙漠化发展速度明显加快<sup>[7-11]</sup>, 牧草物候也发生了显著变化<sup>[12]</sup>, 甘南草原的生态与环境状况发生了明

显演变。由于 Holdridge 生命地带分类系统可以较好地反映植被与气候的相互关系<sup>[13-14]</sup>, 具有明确的物理和生物学意义, 计算方法简单有效<sup>[15-16]</sup>, 本研究采用 Holdridge 生命地带系统, 对甘南草原近 40 年来的 Holdridge 生命地带偏移趋势及干湿变化进行分析, 以期为甘南草原及青藏高原东北部边坡地带生态环境变化的研究提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资 料

由于甘南草原主要分布在甘肃省甘南藏族自治州的合作、夏河、碌曲、玛曲 4 个县(市), 故选取合作、夏河、碌曲、玛曲为甘南草原的代表站点(图 1)。气象资料来源于上述 4 个站 1971—2010 年的温度、日照时数、风速、水汽压、相对湿度、降水量等地面观测气象资料, 其中碌曲资料年代为 1973—2010 年。

### 1.2 研究方法

Holdridge 生命地带分类系统认为, 地球表面的植被类型及其分布基本上决定于 3 个气候因素即热量、降水与湿度, 某一区域的植被在一定气候条件

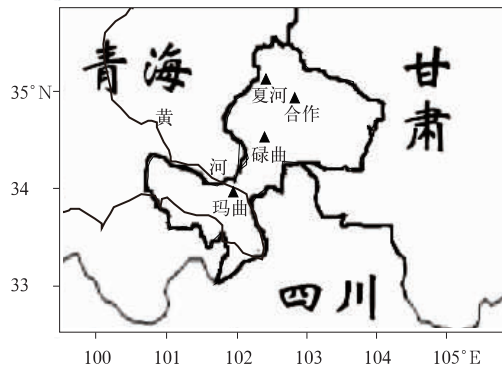


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 The sketch map of the study area

下可根据其综合外貌的简单分类或更详细的个体群体所构成的生命形式来划分,其分类单位称为生命地带,并根据生物温度(单位:℃)、降水与潜在蒸散率进行分类。张新时等<sup>[17-18]</sup>对 Holdridge 系统进行了修正,促进了 Holdridge 生命地带系统在我国的应用和研究。近年来 Holdridge 生命地带系统在生态环境变化、气候干湿状况变化及气候区划等研究中得到了广泛应用<sup>[19-22]</sup>。

年生物温度是植物营养生长范围内的平均温度,一般认为在 0~30℃ 之间,日平均温度低于 0℃ 与高于 30℃ 者均排除在外,超过 30℃ 的平均温度按 30℃ 计算,低于 0℃ 的按 0℃ 计算。具体计算公式为

$$T_B = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} t_i \quad (1)$$

式(1)中, $t$  为大于 0℃ 的月平均温度,当  $t \geq 30^\circ\text{C}$  时,取  $t = 30^\circ\text{C}$ ,当  $t \leq 0^\circ\text{C}$  时,取  $t = 0^\circ\text{C}$ 。

潜在蒸散率  $R_{PE}$  是一种干燥度指数,为可能蒸散量  $E_P$  与年降水量  $P$  的比率,其值愈高,表明愈干燥,其所在地区的植被愈趋于干旱化, $R_{PE}$  值为 0.125~0.25 的地区为超湿润区,0.25~0.50 为极湿润区,0.50~1.00 为湿润区,1.00~2.00 为亚湿润区,2.00~4.00 为半干旱区,4.00~8.00 为干旱区,8.00~16.00 为极干旱区,16.00~32.00 为超干旱区。其计算公式为

$$E_P = 58.93 \times T_B, \quad (2)$$

表 1 甘南草原  $R_{PE}$  的年代际变化Table 1 Decades variance of  $R_{PE}$  in Gannan meadow

| 站点 | 1971—1980 年 | 1981—1990 年 | 1991—2000 年 | 2001—2010 年 | 变化趋势/(10 a) <sup>-1</sup> |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|
| 合作 | 0.54        | 0.53        | 0.58        | 0.61        | 0.03*                     |
| 夏河 | 0.73        | 0.63        | 0.71        | 0.75        | 0.02                      |
| 碌曲 | 0.46        | 0.44        | 0.54        | 0.51        | 0.03*                     |
| 玛曲 | 0.37        | 0.38        | 0.42        | 0.45        | 0.03**                    |

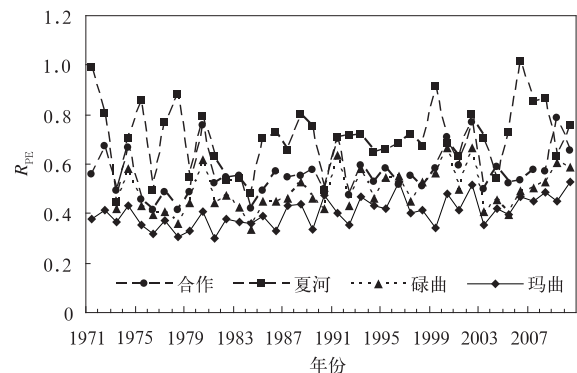
注: \* 表示超过 0.05 显著性水平, \*\* 表示超过 0.01 显著性水平,下同。

$$R_{PE} = E_P/P. \quad (3)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 甘南草原 $R_{PE}$ 的变化特征

近 40 年甘南草原  $R_{PE}$  呈明显上升的趋势(图 2),玛曲  $R_{PE}$  上升趋势达 0.03/10 a(超过 0.01 显著性水平),合作、碌曲  $R_{PE}$  上升趋势也达 0.03/10 a(超过 0.05 显著性水平),夏河  $R_{PE}$  上升趋势达 0.02/10 a(未通过显著性检验)。甘南草原  $R_{PE}$  在 20 世纪 70 年代到 80 年代变化不明显(表 1),除玛曲略上升外,合作、夏河、碌曲均呈下降趋势,其中夏河 20 世纪 80 年代比 70 年代下降了 0.1。分析发现,70 年代多数年份夏河降水量以偏少为主,而 70 年代到 80 年代夏河生物温度年际变化趋势不明显,从而导致这种现象。到 90 年代甘南草原  $R_{PE}$  明显上升,合作、夏河、碌曲和玛曲 1991—2010 年平均  $R_{PE}$  比 1971—1990 年平均  $R_{PE}$  分别高出 0.06, 0.05, 0.08 和 0.06,分别上升了 11.0%, 7.7%, 17.2% 和 16.6%,以碌曲、玛曲上升最明显,20 世纪 90 年代后甘南草原出现了明显的暖干化趋势,其中以位于甘南南部的碌曲、玛曲最为明显。

图 2 甘南草原  $R_{PE}$  的年际变化趋势Fig. 2 Interannual variation of  $R_{PE}$  in Gannan meadow

## 2.2 甘南草原 Holdridge 生命地带的偏移趋势

生命地带的具体气候指标是生物温度、降水与潜在蒸散率,甘南草原的平均生物温度在 4.1~5.2℃之间,平均降水量在 450.3~601.4 mm 之间,平均潜在蒸散率在 0.41~0.71 之间,根据修正的

$$d_i = \sqrt{((T_{Bi} - T_{B0})/T_{B0})^2 + ((P_i - P_0)/P_0)^2 + ((R_{PEi} - R_{PE0})/R_{PE0})^2} \quad (4)$$

计算了各站历年的偏移程度,并对甘南草原近 40 年来的 Holdridge 生命地带偏移趋势进行了分析,式(4)中  $T_{B0}$ ,  $P_0$ ,  $R_{PE0}$  采用张新时等<sup>[18]</sup>修正的 Holdridge 分类系统中亚高山高寒草甸生命地带的  $T_B$ ,  $P$ ,  $R_{PE}$  的平均值,  $T_{Bi}$ ,  $P_i$ ,  $R_{PEi}$  为各站逐年的  $T_B$ ,  $P$ ,  $R_{PE}$  值。式(4)中,除以平均值是为了消除单位和数据量级不同的差异,以便能较好地反映与中心值的偏移程度,  $d$  值越大表明偏离中心愈远。

甘南草原 Holdridge 生命地带距平均中心的偏移趋势呈明显增大的趋势,其中以合作、碌曲偏移最为明显(图 3),合作、碌曲超过了 0.01 显著性水平,夏河未通过显著性检验,说明受全球气候变化

的影响,甘南草原年平均温度以 0.44℃/10 a~0.46℃/10 a 的趋势在上升(均超过了 0.01 显著性水平),生物温度也随之上升,上升趋势为 0.23℃/10 a~0.27℃/10 a(均超过了 0.01 显著性水平),降水量年际变化的振荡性增加,位于青藏高原边坡地带的甘南草原生命地带类型也呈现出相应的振荡性变化趋势<sup>[19]</sup>,甘南草原生态系统的稳定性在减弱。目前,甘南草原仍属于亚高山高寒草甸生命地带,但由于高原边坡地带自然环境的复杂性和生态系统的脆弱性,这种变化对自然环境和生态系统所造成的影响需要进一步研究。

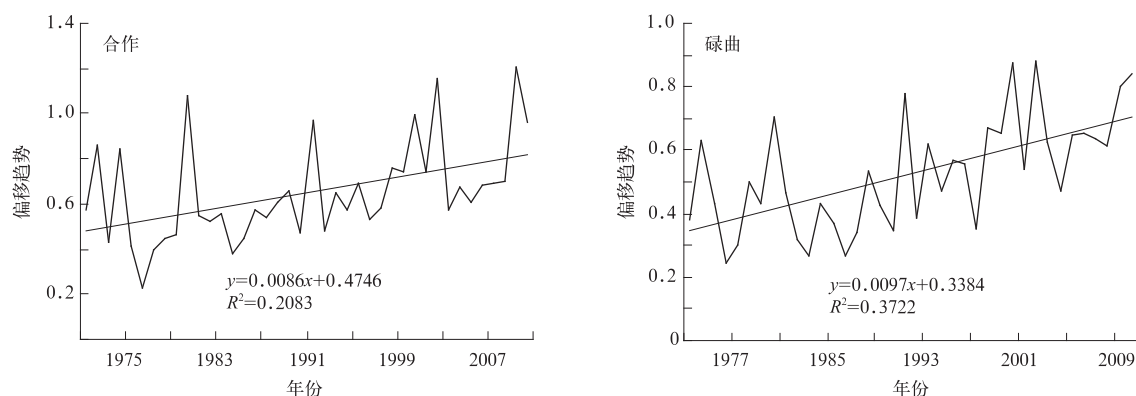


图 3 1971—2010 年合作、碌曲 Holdridge 生命地带的偏移趋势

Fig. 3 The moving tendency of Holdridge life zone for Hezuo and Luqu during 1971—2010

## 2.3 甘南草原湿润度的变化

近 40 年甘南草原的湿润度发生了明显变化,有明显的暖干化趋势,其中以位于南部的碌曲、玛曲变化最为明显,位于北部的合作、夏河也呈暖干化的趋势,但变化没有碌曲、玛曲明显。碌曲 1971—1990 年平均  $R_{PE}$  为 0.45,属于极湿润区,从 20 世纪 90 年代开始平均  $R_{PE}$  超过 0.5,已转变为湿润区;同样 90 年代后,玛曲草地  $R_{PE}$  持续偏高,其中在 1996 年、2002 年、2010 年  $R_{PE}$  均超过 0.5,有从极湿润区向湿润区过渡的趋势。90 年代后,甘南草原出现了明显的暖干化趋势,这与黄河源区在进入 21 世纪后出现暖湿型的气候特征不同<sup>[23]</sup>,是一个值得关注的现

象。

## 2.4 影响甘南草原 $R_{PE}$ 变化的气候因子

为了分析影响甘南草原  $R_{PE}$  变化的气候因子,选取平均温度、最高温度、最低温度、日照时数、风速、水汽压、相对湿度、降水量 8 个气候因子,计算了各气候因子与  $R_{PE}$  的相关系数(表 2)。与甘南草原  $R_{PE}$  相关最好的因子为温度因子,其次为降水和湿度因子。通过对合作、夏河、碌曲、玛曲 4 个县(市)温度和降水的年际变化趋势分析,各地的平均温度、最高温度、最低温度均呈明显的上升趋势,各地平均温度上升趋势在 0.44℃/10 a~0.46℃/10 a 之间(均超过了 0.01 显著性水平),玛曲上升趋势最明显;最

高温上升趋势在  $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{ a}\sim 0.44^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  之间(均超过了 0.01 显著性水平),其中以碌曲上升最明显;最低温度上升趋势在  $0.42^{\circ}\text{C}/10\text{ a}\sim 0.6^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  之间(均超过了 0.01 显著性水平),其中以玛曲、夏

河上升最明显。各地降水量的年际变化趋势不明显,碌曲、玛曲呈略减少趋势,合作、夏河呈略增加趋势,但都未通过显著性检验,因此温度上升是甘南草原  $R_{\text{PE}}$  上升的主要原因。

表2  $R_{\text{PE}}$ 与各气候因子的相关系数Table 2 Correlation coefficients between  $R_{\text{PE}}$  and climatic factors

| 站点 | 平均温度    | 最高温度    | 最低温度    | 降水量      | 日照时数   | 风速     | 水汽压    | 相对湿度    |
|----|---------|---------|---------|----------|--------|--------|--------|---------|
| 合作 | 0.350*  | 0.364*  | 0.240   | -0.892** | 0.181  | -0.680 | 0.085  | -0.324* |
| 夏河 | 0.276   | 0.290   | 0.250   | -0.104   | -0.093 | 0.276  | 0.341* | 0.157   |
| 碌曲 | 0.340*  | 0.412*  | 0.211   | -0.871** | -0.134 | 0.202  | 0.145  | -0.242  |
| 玛曲 | 0.531** | 0.530** | 0.404** | 0.023    | 0.246  | 0.045  | 0.192  | -0.291  |

### 3 结论与讨论

1) 近40年甘南草原潜在蒸散率以  $0.02/10\text{ a}\sim 0.03/10\text{ a}$  的趋势上升,其中以玛曲上升最明显,上升趋势达  $0.03/10\text{ a}$ ;近40年甘南草原的湿润度发生了明显变化,有明显的暖干化趋势,其中以位于南部的碌曲、玛曲变化最为明显,碌曲已由极湿润区转变为湿润区;玛曲有从极湿润区向湿润区过渡的趋势。

2) 影响甘南草原潜在蒸散率上升的主要气候因子是温度,其次为降水和湿度,温度上升是甘南草原暖干化的主要原因。

甘南草原属于青藏高原高寒植被地区的亚高山高寒草甸生命地带,由于全球气候变化的影响,甘南草原气温呈明显的升高趋势,生物温度也随之上升,降水量年际变化的振荡性增加,位于青藏高原边坡地带的甘南草原生命地带类型也呈现出相应的振荡性变化趋势,甘南草原 Holdridge 生命地带距平均中心的偏移趋势呈明显增大的趋势,甘南草原生态系统的稳定性在减弱。由于青藏高原边坡地带自然环境的复杂性和生态系统的脆弱性,这种变化对自然环境和生态系统所造成的影响需要进一步研究。

### 参考文献

- [1] 徐祥德,陈联寿. 青藏高原大气科学试验研究进展. 应用气象学报,2006,17(6): 756-772.
- [2] 徐维新,刘晓东. 青藏高原植被对全球变暖响应的区域特征. 高原气象,2009,28(4): 723-730.
- [3] 李红梅,马玉寿,王彦龙. 气候变暖对青海高原地区植物物候期的影响. 应用气象学报,2010,21(4): 500-504.
- [4] 除多,德吉央宗,普布次仁,等. 西藏藏北高原典型植被生长对气候要素变化的响应. 应用气象学报,2007,18(6): 832-839.
- [5] 杜军. 藏北牧草青草期的气候变化特征分析. 应用气象学报,2006,17(1): 29-36.
- [6] 牛涛,刘洪利,宋燕,等. 青藏高原气候由暖干到暖湿时期的年代际变化特征研究. 应用气象学报,2005,16(6): 763-771.
- [7] 刘兴元,陈全功,王永宁. 甘南草原退化对生态安全与经济发展的影响. 草业科学,2006,23(12): 39-42.
- [8] 威登巨,陈文业,郑华平,等. 甘南黄河上游水源补给区“黑土滩”型退化草地现状、成因及综合治理对策. 中国沙漠,2008,28(6): 1058-1063.
- [9] 姚玉璧,邓振镛,尹东,等. 黄河重要水源补给区甘南高原气候变化及其对生态环境的影响. 地理研究,2007,26(4): 844-852.
- [10] 王建兵,王振国,吕虹. 黄河重要水源补给区草地退化的气候背景分析——以玛曲县为例. 草业科学,2008,25(4): 23-27.
- [11] 康悦,李振朝,田辉,等. 黄河源区植被变化趋势及其对气候变化的影响过程研究. 气候与环境研究,2011,16(4): 505-512.
- [12] 王建兵,汪治桂. 玛曲草地垂穗披碱草物候变化及影响因子. 应用气象学报,2011,22(4): 493-497.
- [13] Holdridge L R. Determination of world plant formations from simple climatic data. Science,1947,105: 367-368.
- [14] Holdridge L R. Life Zone Ecology. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center,1967.
- [15] 孟猛,倪健,张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述. 植物生态学报,2004,28(6): 853-861.
- [16] 毛飞,孙涵,杨红龙. 干湿气候区划研究进展. 地理科学进展,2011,30(1): 17-26.
- [17] 张新时. 研究全球变化的植被-气候分类系统. 第四纪研究,1993,5(2): 157-169.
- [18] 张新时,杨奠安,倪文革. 植被的 PE(可能蒸散)指标与植被气候分类(三): 几种主要方法与 PEP 程序介绍. 植物生态学与地植物学学报,1993,17(2): 97-109.
- [19] 范泽孟,岳天祥,田永中. 中国 Holdridge 生命地带平均中心的时空分布及其偏移趋势. 生态学报,2004,24(7): 1380-1387.
- [20] 巩祥夫,刘寿东,钱拴. 基于 Holdridge 分类系统的内蒙古草原类型气候区划指标. 中国农业气象,2010,31(3): 384-387.
- [21] 胥晓,苏智先,杨奠安. 未来气候变化对四川盆地生命地带的影响模拟. 生态学杂志,2004,23(4): 192-196.
- [22] 康慕滨,朱源. 秦岭山地生态分界线的论证. 生态学报,2007,27(7): 2774-2784.
- [23] 李铁冰,杨改河,王得祥. 江河源区四十多年来干湿变化分析. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(3): 73-77.

## The Moving Tendency of Holdridge Life Zone with Its Dry and Wet Climate Changes of Gannan Meadow in Recent 40 Years

Wang Jianbing<sup>1)2)</sup>

<sup>1)</sup> (*Institute of Arid Meteorology of CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020*)

<sup>2)</sup> (*Gannan Meteorological Bureau of Gansu Province, Hezuo 747000*)

### Abstract

Gannan meadow lies in the south-west of Gansu Province, on the northeast border region of Tibet Plateau. Gannan meadow is the core region of the important water source supply area of the Yellow River, which provides a natural defense for the upper reaches, playing a unique role in the water source and eco-environmental security of the Yellow River Basin. Owing to the climate change and the artificial sabotage, the production performance and ecology function of Gannan meadow shows an obvious declining trend in recent years, the grassland degeneration and deserting trend are accelerated, and the phenological of herbage shows an obvious earlier trend. The ecology and environment of Gannan meadow has obviously changed. The Holdridge life zone system is a common used method to study the relation of the vegetative cover and climate, which has an obvious significance of physics and biology. It is widely used in the study of ecology environment, the dry and wet climate changes, the climate regionalization and so on.

Most of the meadows in Gannan Plateau are distributed in Hezuo, Xiahe, Luqu and Maqu, so 4 places are selected as representative area to study the moving tendency of Holdridge life zone and dry and wet climate changes of Gannan meadow. Based on the meteorological data, the method of Holdridge life zone is used to analyze the moving tendency of Holdridge life zone and the dry and wet climate changes of Gannan meadow during 1971—2010. The results show that life zone of Gannan meadow still belongs to the subalpine meadow of Tibet Plateau alpine vegetation system. But impacted by the global climate change, the temperature of Gannan meadow increases obviously with the tendency ratio of 0.44—0.46℃ every decade, meanwhile the bio-temperature has increased by 0.23—0.27℃ every decade, too. The variety of precipitation shows a different trend between the northern and southern in Gannan meadow, the moving tendency of Holdridge life zone is diverging from the mean center, and the stability of the Gannan meadow ecosystem is attenuating.

The Holdridge  $R_{EP}$  of Gannan meadow shows an obvious ascending tendency in the rate of 0.02—0.03 per decade. After the 1990s, the climate of Gannan meadow shows a warm-drying trend, which is more obvious in the southern of Gannan meadow. The humidity degree of Luqu has changed to humid from the perhumid, and Maqu is in the same transition, too. The most important climatic factor for the Holdridge  $R_{EP}$  increasing is the temperature, and then is the precipitation and the air humidity. The temperature rising plays a very important role in the warm-drying trend of Gannan meadow.

Considering the complexity of the environment and the fragility of the ecology system in the border area of Tibet Plateau, the impact of this change on ecology and environment of Gannan meadow still needs further study.

**Key words:** Gannan meadow; Holdridge life zone; moving tendency; warm-drying trend