

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

姚玉璧^{1,2}, 邓振镛¹, 尹 东³, 张秀云², 杨金虎², 陈昌平⁴, 安华银⁴

(1. 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;

2. 甘肃省定西市气象局, 定西 743000; 3. 兰州中心气象台, 兰州 730020;

4. 甘肃省甘南州气象局, 合作 747000)

摘要: 利用甘南高原黄河重要水源补给区气候资料和生态观测资料及统计资料, 分析研究区域气候变化特征及其草原湿地生态环境效应。结果表明, 甘南高原黄河重要水源补给区降水量年际变化呈下降趋势, 降水量的年际变化存在 6~7a、15a 的周期振荡特征。甘南高原黄河重要水源补给区气温年际变化呈上升趋势, 增温速度大于全国增温速度。1980 年之后持续变暖, 草地年干燥指数变化呈显著上升趋势。气候变化是草原生态退化的自然诱发因素, 而超载过牧、滥采滥挖、人为破坏、生物链失衡等环境蠕变是造成生态退化的人为因素, 二者共同作用导致黄河首曲草原湿地水资源锐减、生物多样性减少、生态环境退化。

关键词: 气候变化; 环境蠕变; 草原生态; 甘南高原

文章编号: 1000-0585(2007)04-0844-09

1 引言

全球变暖已成事实, 并且正在直接或间接地对自然生态系统产生影响^[1]。这种发生在几十年到上百年时间尺度上的全球气候变化以及与之相伴的其他全球环境变化(GEC), 其变化幅度之大将严重威胁人类和其他地球生命系统赖以生存发展的自然环境^[2,3]。中国位于地球环境变化速率最大的东亚季风区, 其环境具有空间上的复杂性、时间上的易变性; 对外界变化的响应和承受力具有敏感和脆弱的特点。中国草地退化面积已达 $1.35 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 约占草地面积的 1/3, 且仍以每年 $200 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 的速度增加^[4]; 尤其是北方地区气候变暖、干旱化和土地沙漠化在 20 年里更加突出^[5,6]。黄河流域近 50 年降水呈下降趋势^[7,8]。草地生态系统与全球变化的问题已经成为相关学者关注的热点问题之一^[9,10]。

甘南高原黄河重要水源补给区位于甘肃省南部, 是青藏高原和黄土高原的结合部。地理位置在北纬 $33^{\circ}06' \sim 35^{\circ}34'$, 东经 $100^{\circ}45' \sim 104^{\circ}45'$ 之间。这里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, 具有重要的水源涵养、水源补给、水土保持、维持生物多样性、调节区域气候等功能, 在维护黄河流域水资

收稿日期: 2006-08-11; 修订日期: 2007-03-15

基金项目: 甘肃省科学技术攻关计划项目(ZGS042-A44-017); 科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J100); 兰州区域气象中心开放实验室项目(Lab2002-4); 干旱气象科学研究基金项目(IAM200414)

作者简介: 姚玉璧(1962-), 男, 甘肃通渭人, 高级工程师。主要从事应用气象和气候研究。

E-mail: yaoyubi@163.com

源和生态安全方面具有不可替代的作用。区域内阿尼玛卿山脉下的玛曲县是天下黄河第一曲, 甘南段黄河长约 433km, 年平均流量 $450\text{m}^3/\text{s}$, 是青藏高原中华水塔的重要涵养地, 玛曲段增加的径流量占黄河流域总径流量的 $1/6$, 是黄河流域人类赖以生存的生命之源。洮河、大夏河是甘肃南部两条最大的黄河支流。这里既是黄河上游草原湿地生态脆弱区, 又是黄河补充水量关键区和水量变化敏感区。因此, 研究黄河重要水源补给区甘南高原草原湿地生态脆弱区和黄河补水关键敏感区气候变化特征及其草原湿地生态环境效应, 对维护草原湿地生态系统的稳定性, 保护黄河源头水资源安全具有重要科学价值。

2 资料与方法

2.1 资料

资料选用黄河重要水源补给区玛曲、合作、临潭、夏河、碌曲、卓尼气象站 1957~2004 年的月、季、年降水量、气温等观测资料; 黄河河源至玛曲段、玛曲至龙羊峡、洮河、大夏河 1956~2004 年水文观测资料; 生态环境观测资料及国民经济统计资料。

草地干燥指数资料采用陈明荣干燥度公式^[11]修正后 $K = \frac{C \sum T_{5-9}}{R}$ 计算得到。

式中: K 为干燥指数, K 值越大说明越干燥; $\sum T_{5-9}$ 为牧草生长季 (5~9 月) $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温; C 为海拔高度订正系数; R 为同期降水量。

2.2 主要分析方法

2.2.1 回归与相关分析 气候倾向率采用气候要素的趋势变化系数表示, 即用一元线性回归方程系数^[12]: $\hat{x}_t = a_0 + a_1 t \quad t=1, 2, \dots, n \text{ 年}; \quad d\hat{x}_t/dt = a_1$

$a_1 \cdot 10$ 称为气候倾向率, 单位为某要素单位 10a , 据回归理论 $a_1 = r_{xt} \frac{\sigma_x}{\sigma_t}$, σ_x 是要素 x 的均方差, σ_t 为数列 $1, 2, \dots, n$ 的均方差。这样就可以从气候趋势系数 r_{xt} 求出气候倾向率。

气候变化趋势多元模拟采用 Cubic 函数形式, 把气候要素写成时间 t 的非线性函数:

$$Y = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3$$

式中: b_0, b_1, b_2, b_3 为经验常数, 也用最小二乘法通过实际资料计算得出。通过三次曲线 (Cubic 函数) 拟合可以很好地反映序列变化的阶段性特征, 适于相对较短时期如几年到几十年尺度的气候变化 (或气候振动) 特征^[13]。根据 Cubic 的阶段性极值可定性分析要素的转型特征, 极小值对应要素值由下降转为上升的转型点, 极大值为由上升转为下降的转型点。

2.2.2 小波分析 小波分析是一种时、频多分辨率分析方法, 是一个时间和频率的区域变换, 因而能有效地从信号中提取信息, 通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化。小波基 (母波) 的种类较多, 这里采用 Morlet 小波, 即:

$$\Psi(t) = e^{-2\pi i t} \exp[-(2\pi/k\psi)^2 |t|^2]$$

小波变换系数为: $\xi(t', a) = a^{-1/2} \int f(t) \Psi^*(t/a - t'/a) dt$

$\xi(t', a)$ 是小波系数, $f(t)$ 是资料序列, Ψ^* 是 Ψ 的共轭函数。在实际应用时常将连续小波变换离散化^[14]。

3 气候变化特征

3.1 降水量

3.1.1 年际趋势变化 研究区域降水量年际变化除夏河下降趋势不明显外,其余各地年降水量均呈下降趋势,降水量变化曲线线性拟合倾向率在 $-22.6\sim-9.6\text{ mm}/10\text{a}$ 之间,其中递减率最快的卓尼为 $-22.6\text{ mm}/10\text{a}$,递减率最慢的临潭为 $-9.6\text{ mm}/10\text{a}$,合作为 $-10.9\text{ mm}/10\text{a}$,碌曲为 $-16.4\text{ mm}/10\text{a}$ 、玛曲为 $-13.7\text{ mm}/10\text{a}$ 。其中卓尼、碌曲、玛曲递减速度大于全国年降水量递减率($-12.69\text{ mm}/10\text{a}$)^[15]。合作降水量 Cubic 函数呈波动变化,1980年代之后降水减少,突变点为1980年,临潭突变点为1986年,玛曲突变点为1990年,碌曲、卓尼突变点为1990年,均通过信度 $\alpha=0.10$ 的t检验。夏河未检测出突变。

分析可知,研究区大部分区域降水量年际变化趋势呈下降趋势,各地降水量变化曲线突变点在1980~1990年之间。

3.1.2 季节趋势变化 按气象学的季节划分(3、4、5月为春季,6、7、8月为夏季,9、10、11月为秋季,12、1、2月为冬季),由表1研究区域各季节降水量倾向率可见,除夏河外,秋季降水量呈一致的递减趋势且递减率较大,在 $-4.0\sim-16.3\text{ mm}/10\text{a}$ 之间,春季降水量递减率较小,在 $-2.3\sim-3.9\text{ mm}/10\text{a}$ 之间,夏季降水量玛曲、临潭呈增加趋势,合作、碌曲、

表1 甘南高原各季节降水量倾向率 ($\text{mm}/10\text{a}$)

Tab.1 The trend rate in seasonal precipitation at Gannan Plateau ($\text{mm}/10\text{a}$)

测站名	年	春季	夏季	秋季	冬季
合作	-10.9	-2.3	-4.1	-6.0	1.4
临潭	-9.6	-3.9	0.6	-6.9	1.0
卓尼	-22.6	-2.4	-17.7	-4.0	1.2
碌曲	-16.4	-3.3	-9.0	-5.2	0.9
玛曲	-13.7	-3.2	5.3	-16.3	0.5
夏河	3.0	5.2	5.2	-0.2	0.9

卓尼降水量递减率在 $-4.1\sim-17.7\text{ mm}/10\text{a}$ 之间,冬季降雪量呈一致的递增趋势,递增率在 $0.5\sim1.4\text{ mm}/10\text{a}$ 之间。可见,研究区域降水量递减以秋季降水量递减为主。

3.1.3 周期振荡特征 用小波分析方法对研究区域降水量的年际周期振荡特征进行分析,合作降水量存在2~3a、6~7a、10a、15a的年际周期变化,短周期振荡中1958~1980年中2~3a周期明显,1980年后6~7a年周期明显,10a、15a的长周期振荡一致性较好;临潭降水量存在6~7a、19a的年际周期变化,周期振荡一致性较好;玛曲降水量存在2a、4a、11~12a的年际周期变化,短周期振荡中1967~1978年中4a周期明显,1985年后2a年周期明显,11~12a的长周期振荡一致性较好。其余各站降水量存在6~7a短周期和15a左右的长周期,甘南高原降水量的年际变化主要存在6~7a短周期振荡,15a的长周期振荡特征。

3.2 气温

3.2.1 年际趋势变化 研究区域气温年际变化呈显著上升趋势,气温变化曲线线性拟合倾向率卓尼较大为 $0.57\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$ 、夏河、玛曲、合作、碌曲次之,在 $0.30\sim0.36\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$,临潭最小为 $0.23\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$,增温速度均大于全国增温速度($0.044\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$)^[16],合作气温2阶趋势拟合函数呈抛物线型,方程为 $y=0.0012x^2-0.0273x-0.2981$ (y为气温2阶函数,x为年代序列,起始值为1,全文同)其线性化后的复相关系数 $R=0.63$,通过 $\alpha=0.01$ 检验。对2阶函数求一阶导数,令 $y'=0$,则求得1970年为最低点,其后,气温持续上升。临潭气温2阶函数呈抛物线型,方程为 $y=0.0012x^2-0.0337x-0.1153$,其线性化

后的复相关系数 $R=0.54$, 也通过 $\alpha=0.01$ 检验, 令 $y'=0$, 则求得 1971 年为函数最低点, 其后, 气温持续上升。玛曲气温 2 阶函数呈抛物线型, 方程为 $y=0.0015x^2-0.0253x-0.2246$, 其线性化后的复相关系数 $R=0.71$, 通过 $\alpha=0.01$ 检验, 令 $y'=0$, 则求得 1975 年为函数最低点, 其后, 气温持续上升。其余各地气温也呈抛物线型。其 2 阶函数最低点在 1975~1980 之间。

由此可见, 研究区域气温年际变化趋势从 1980 年后持续上升。各地气温变化曲线 t 检验通过 $\alpha=0.01$ 信度的突变点也在 1970~1980 年之间。

3.2.2 季节趋势变化 由表 2 各季节气温倾向率可见, 冬季气温变化曲线线性拟合倾向率最大, 其值在 $0.39\sim 0.64^\circ\text{C}/10\text{a}$ 之间, 秋季次之, 其值在 $0.28\sim 0.55^\circ\text{C}/10\text{a}$ 之间, 春季最小, 其值在 $0.09\sim 0.49^\circ\text{C}/10\text{a}$ 之间。

研究区域增温率以冬季最大。1980 年后气温年际变化趋势呈持续上升。平均气温增暖趋势与西北、青藏高原其他地区变暖的趋势基本一致, 但增暖开始时间略提早^[17~19]。

3.3 草地干燥指数变化

研究区域草地年干燥指数变化呈显著上升趋势, 干燥指数变化曲线线性拟合倾向率最大的卓尼为 $0.14/10\text{a}$, 最小为夏河 $0.01/10\text{a}$, 合作、临潭为 $0.05/10\text{a}$, 碌曲为 $0.07/10\text{a}$ 。

研究区域干燥指数的变化说明近 50 年来甘南高原气候趋于暖干化。

4 环境蠕变问题

环境蠕变问题由美国国家大气研究中心资深研究员 M. Glantz 博士提出的, 是指在地球系统众多环境变化中, 某些以人类活动为原动力所造成的自然生态环境的退化现象^[20,21]。

4.1 草场载畜量的变化

黄河上游干流草原湿地核心区玛曲县近 30 年来牲畜存栏数逐年增加 (图 1), 牲畜存栏数增加曲线线性拟合倾向率达 $12.815/10\text{a}$, 即每年增加牲畜 1.28 万只羊单位, 20 世纪 70 年代末至 80 年代初、90 年代末出现了两次显著增加阶段, 年牲畜存栏数 Cubic 函数呈波动增加, Cubic 方程为 $y=0.0088x^3-0.3172x^2+4.0039x+175.43$, 其线性化后的复相关系数 $R=0.77$, 通过 $\alpha=0.01$ 检验。

黄河上游主要支流洮河上游流域的碌曲草原年牲畜存栏数 Cubic 函数也呈波动增加, Cubic 方程为 $y=0.0066x^3-0.327x^2+4.5288x+84.383$, 其线性化后的复相关系数 $R=0.898$, 通过 $\alpha=0.005$ 检验。

研究区域 1949 年实际载畜量 231.96 万只羊单位, 至 2004 年实际载畜量达到 842.16 万只羊单位, 增加了 263.1%。区域天然草场理论载畜量为 428.82 万只羊单位, 超载率达 96.39%。过牧采食践踏, 致使牧草生长发育受阻, 产草量逐年下降, 品质降低, 品种退化, 出现矮化、绵化现象, 草地板结龟裂, 草原退化。

表 2 甘南高原各季节气温倾向率 ($^\circ\text{C}/10\text{a}$)

Tab. 2 The trend rate in seasonal temperature at Ganna Plateau ($^\circ\text{C}/10\text{a}$)

测站名	年	春季	夏季	秋季	冬季
合作	0.30	0.15	0.25	0.37	0.44
临潭	0.23	0.09	0.17	0.28	0.40
卓尼	0.57	0.49	0.59	0.55	0.64
碌曲	0.36	0.28	0.45	0.31	0.46
玛曲	0.34	0.20	0.31	0.42	0.39
夏河	0.36	0.19	0.38	0.45	0.44

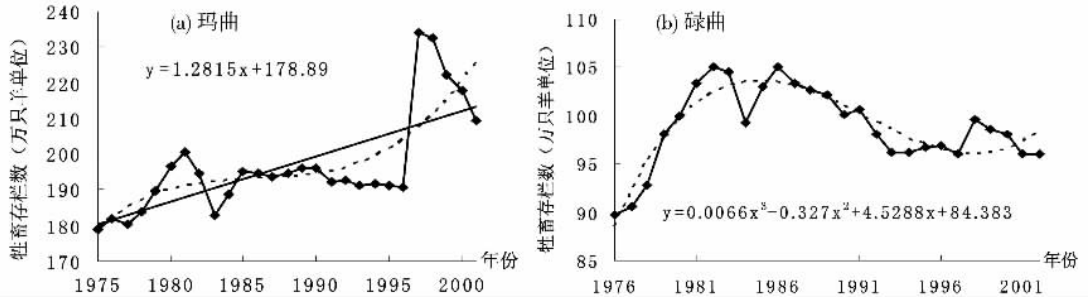


图 1 甘南高原年牲畜存栏数变化曲线

Fig. 1 Curve of annual amount of livestock on hand on the Gannan Plateau

4.2 退耕草地复垦

1993 年国家粮食购销体制改革后, 国家不再向牧民提供平价商品粮, 复耕土地面积逐年增加, 加上草场承包后牧民为了达到口粮自给, 对已退耕还草牧场进行复耕, 新垦草场 6.05 万 hm^2 。草地生态遭受新的破坏。

4.3 人为滥采滥挖

研究区域草场拥有秦艽 (*Gentiana stamunea*)、贝母 (*Fritillaria przewalskii*)、冬虫夏草 (*Cordyceps*)、红景天 (*Rhodiola sacra*) 等许多名贵中草药和藏药。20 世纪 80 年代中后期, 受价格上涨的利益驱动, 滥采滥挖十分严重。以冬虫夏草为例, 70 年代每公斤收购价为数百元, 80 年代后期每公斤收购价为数千元, 90 年代以后每公斤收购价涨到数万元。80 年代后期至 90 年代初期因管理混乱, 每年 5~6 月冬虫夏草采挖季节出现了各地群众蜂拥而至, 漫山遍野采挖冬虫夏草的现象, 使草地生态遭受严重破坏。

4.4 其他因素

随着经济的发展, 矿山开采、城镇建设、牧民定居点建设、旅游开发、道路施工等均对生态环境造成不同程度的破坏。例如, 国道 213 线合作至郎木寺段, 早在 1953 年由于军事需要此公路就已建成, 随后的几十年间路段多次改动, G213 二级公路建设 2004 年完成, 历时 3 年, 施工期取弃土场破坏草原植被, 使当地新增土壤侵蚀量 17737.1t^[22]。

玛曲县格尔珂金矿区 3.7 km^2 范围内因 10 余年的大规模开发建设, 植被覆盖度由原先的 75~90% 下降到不足 50%。特别是 1997 年以前, 矿山开采混乱, 露天剥离、乱挖乱采、工艺落后等原因对生态环境造成严重破坏, 累计破坏植被 333.33 hm^2 , 2500m 露采边缘和 2000m 长弃土弃渣场边坡失稳, 600~700 m^2 弃土弃渣随意堆放, 7 处矿硐存在严重安全隐患, 每年有 5~10 万 t 有毒有害污水渗入地下。

5 生态环境效应

5.1 水资源锐减

5.1.1 水资源减少状况 根据 1956~2004 年水文监测资料分析表明: 研究区域水资源呈显著下降趋势。历年水资源变化曲线线性拟合倾向率递减速度最快的洮河为 $-4.051 \times 10^8 \text{m}^3/10\text{a}$ (图 2), 递减速度最慢的黄河玛曲至龙羊峡 $-0.288 \times 10^8 \text{m}^3/10\text{a}$, 黄河河源至玛曲递减率为 $-1.512 \times 10^8 \text{m}^3/10\text{a}$ 。大夏河递减率为 $-0.709 \times 10^8 \text{m}^3/10\text{a}$ (图 2)。

黄河河源至玛曲水资源总量年际变化曲线 Cubic 函数呈先增后降的波动变化, 方程为 $y = 0.0005x^3 - 0.0451x^2 + 1.0111x + 14.179$, 其线性化后的复相关系数 $R = 0.563$, 通

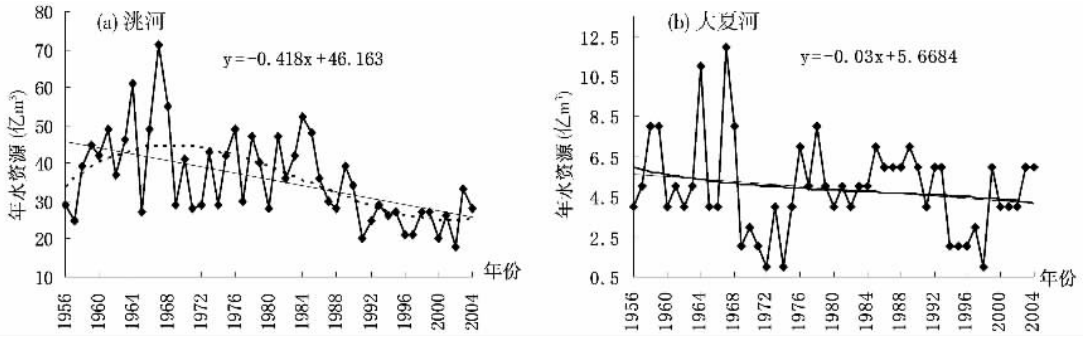


图2 甘南高原水资源年际变化

Fig. 2 Change of interannual water resources on the Gannan Plateau

过 $\alpha=0.01$ 检验。洮河水资源总量年际变化曲线 Cubic 函数也呈先增后降的波动变化, 方程为 $y=0.0011x^3-0.099x^2+2.0701x+31.901$, 其线性化后的复相关系数 $R=0.517$, 也通过 $\alpha=0.01$ 检验。黄河玛曲至龙羊峡、大夏河水资源总量年际变化曲线 Cubic 函数趋势波动不明显。

由此可知, 黄河重要水源补给区甘南高原水资源呈显著下降趋势。

5.1.2 气候变化对与水资源的影响 由表 3 可见, 研究区域流域降水量与水资源呈显著正相关, 夏河年降水量与大夏河年水资源相关系数通过 $\alpha=0.01$ 检验, 其余各地降水量与相应流域水资源相关系数通过 $\alpha=0.001$ 检验。降水减少, 水资源相应减少。流域干燥指数与水资源呈显著负相关, 各地干燥指数与相应流域水资源相关系数也通过 $\alpha=0.001$ 检验。干燥指数增加, 水资源相应减少。根据地球表面水分循环理论, 地表水资源的最终来源为大气降水^[23], 近 50 年来研究区域流域降水量呈减少趋势, 草地干燥指数呈上升趋势, 故水资源呈减少趋势。

表 3 甘南高原气候变化与水资源变化相关系数

Tab. 3 The correlation coefficient of changes of climate and water resources

	临潭		卓尼		碌曲		合作		夏河		玛曲	
	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K
洮河	0.62	-0.61	0.56	-0.60	0.63	-0.73						
大夏河							0.57	-0.55	0.45	-0.50		
河源至玛曲											0.65	-0.76

5.2 湿地退化萎缩

研究区域 80 年代初湿地面积 $42.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 2004 年降到 $13.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 玛曲已有数百个湖泊、沼泽明显萎缩, 若尔盖湿地的组成部分乔科沼泽地大面积干涸, 湿地面积已由 6.7 万 hm^2 左右缩小至 2 万 hm^2 ; 尼玛镇的贡玛滩原有近 70 万 hm^2 的沼泽, 现已萎缩成零星的小水洼。干涸的沼泽地如今变成了一片泛黑略带潮气的土地, 白色的盐碱反射着阳光。著名洮河源头湿地尕海, 继 1996~1997 连续两次干枯之后, 2000 年后又两度几近干涸^①。

① 甘肃省林业调查规划院, 甘南藏族自治州人民政府. 甘肃甘南高原黄河重要水源补给区生态保护与建设规划, 2005.

5.3 生物多样性减少

从 1982~1999 年 18 年间, 区域内草地植被群落中的优质牧草所占比例由 80% 下降到 50%, 杂草由 20% 上升到 50%; 植被覆盖度由 80%~95% 下降到 45%~60%; 生物多样性由 29.1 种/m² 减少为 22 种/m² (中度退化)、8.7 种/m² (重度退化)。20 世纪 80 年代前在亚高山草甸随处可见的秦艽、贝母、冬虫夏草、红景天等药用植物越来越稀少, 草地和土壤昆虫及飞禽急剧减少, 80 年代以前常见的藏羚羊 (*Pantholops hodgsoni*)、盘羊 (*Ovis ammon*)、麝 (*Moschus sifanicus*)、豹、狐等野生动物几乎绝迹, 曾在草地上觅食的黄羊 (*Procapra gutturosa*)、马鹿 (*Cervus elaphus*) 等动物已不复存在, 绝种的野生动物达 20 多种^[24]。

5.4 草原鼠虫危害严重

随着环境变化, 人为干预, 鼠类天敌急剧减少, 生物链失衡, 鼠害猖獗。1980 年区域内鼠虫危害面积 $30.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占草原总面积的 11.95%; 1999 年达 $106.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 为草原总面积的 41.57%; 2002 年达 $128.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 为可利用草原总面积的 50.12%, 年增幅达 7.84%。大面积草场被鼠、虫害所毁。草原实地考察, 举目可见连绵不断的黑土堆, 均为鼠洞口积土, 对草场的破坏触目惊心。目前, 每年因鼠虫害而损失的牧草达 $4.8 \times 10^8 \text{ kg}$, 约等于少养了 23 万只羊单位^①。

5.5 水土流失加剧

研究区域水土流失面积为 9372 km^2 , 占补给区土地总面积的 30.7%, 按侵蚀程度分为: 轻度侵蚀 5241.21 km^2 , 占 55.9%, 中度侵蚀 3174.78 km^2 , 占 33.9%, 重度侵蚀 956.17 km^2 , 占 10.2%。按侵蚀类型分为: 水力侵蚀 9172.16 km^2 , 占 97.9%, 风力侵蚀 200 km^2 , 占 2.1%^①。

5.6 草原生态退化

研究区域 90% 以上的天然草场出现了不同程度的退化, 退化草场面积从 80 年代的 15933.33 hm^2 增加到 2004 年的 1904893.3 hm^2 , 20 年间增加了近 120 倍。在近期草场退化中, 重度退化 648913.3 hm^2 , 中度退化 1197113.4 hm^2 , 沙化 53333.3 hm^2 , 盐碱化 5533.3 hm^2 。1982 年平均牧草鲜草产量为 5610 kg/hm^2 , 1999 年下降为 4050 kg/hm^2 , 下降了 27.81%, 每只羊单位占有的可利用草场从 1980 年的 0.38 hm^2 降低到 0.27 hm^2 , 草地生产力下降, 迫使部分牧民迁往高海拔的草地放牧, 使人为影响或破坏的范围更大。

核心区玛曲县黄河沿岸 1985 年沙化草场面积为 $1.144 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 1986~1989 年扩大到 $1.72 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 1990~2000 年猛增到 $4.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 2004 年达到 $5.333 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。在沙化土地总面积中, 流动沙丘面积 $0.3445 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。从 1980~2000 年的 20 年间, 平均沙化速度达 2.28%, 盐碱化草场面积 $0.55 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 并已出现了长 220km 的流动沙丘带^[24]。生态环境按这样的速度恶化下去, 甘南高原乃至青藏高原东部将成为我国第四大沙尘源^[25]。

6 结论与讨论

(1) 研究区大部分区域降水量年际变化呈下降趋势, 降水量变化曲线线性拟合倾向率在 $-22.6 \sim -9.6 \text{ mm}/10\text{a}$ 之间, 各地降水量变化曲线减少突变点在 1980~1990 年之间, 年际变化主要存在 6~7a 短周期振荡和 15a 的长周期振荡特征。气温年际变化趋势呈显著上升趋势, 增温率以冬季最大, 各地气温变化曲线突变点在 1970~1980 年之间,

1980年之后气温持续上升。草地年干燥指数变化呈显著上升趋势,近50年来甘南高原气候趋于暖干化,导致水资源减少,水资源呈显著下降趋势。

(2) 研究区域实际载畜量1949~2004年增加了263.1%。区域天然草场理论载畜量为428.82万只羊单位,超载率达96.39%。过牧采食践踏,致使牧草生长发育受阻,产草量逐年下降,品质降低,品种退化,出现矮化、绵化、退化。

(3) 气候变化是草原生态退化的自然诱发因素,而超载过牧、滥采滥挖、人为破坏、生物链失衡等环境蠕变是造成生态退化的人为因素,二者共同作用导致研究区域水资源锐减、湿地退化萎缩、生物多样性减少、草原鼠虫危害严重、水土流失加剧、生态环境退化。为此,草原生态保护的当务之急是防止环境蠕变问题。其次,采取建立核心区域自然生态保护区,按照保护优先、适度开发、点状发展的原则,树立生态经济思想,追求生态效益和经济效益有机结合,建立适应高寒生态规律的资源利用方式和地域畜牧业体系。

(4) 研究区域气候变化与生态、气候变化与环境因素的定量关系,例如植被(草原)生物量变化、土壤水分变化等限于篇幅,另作专题论述。研究区域气候变化对生态、环境因素的影响机理有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Houghton J T, Ding Y H, Griggs D G, *et al.* Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001.
- [2] 葛全胜, 陈泮动, 方修琦, 等. 全球变化的区域适应研究: 挑战与研究对策. 地球科学进展, 2004, 19(4): 516~524.
- [3] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变评估(I): 中国气候与环境变化与未来趋势. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 4~9.
- [4] 周广胜, 王玉辉, 白莉萍, 等. 陆地生态系统与全球变化相互作用的研究进展. 气象学报, 2004, 62(5): 692~706.
- [5] 符淙斌, 安芷生, 郭维栋. 我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(I): 主要研究成果. 地球科学进展, 2005, 20(11): 57~67.
- [6] 王菱, 谢贤群, 李运生, 等. 中国北方地区40年来湿润指数和气候干湿带界线的变化. 地理研究, 2004, 23(1): 45~54.
- [7] 徐宗学, 张楠. 黄河流域近50年降水变化趋势分析. 地理研究, 2006, 25(1): 27~34.
- [8] 张光辉. 全球气候变化对黄河流域天然径流量影响的情景分析. 地理研究, 2006, 25(2): 268~275.
- [9] 周广胜, 张新时. 全球变化的中国气候—植被分类研究. 植物学报, 1996, 38(1): 1~8.
- [10] 李克让, 曹明奎, 於琨, 等. 中国自然生态系统对气候变化的脆弱性评估. 地理研究, 2005, 24(5): 653~662.
- [11] 邓振镛, 林日暖. 河西气候与农业开发. 北京: 气象出版社, 1993.
- [12] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法. 北京: 气象出版社, 2002.
- [13] 王绍武. 气候系统引论. 北京: 气象出版社, 1994.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.
- [15] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近45年来气候变化的研究. 气象学报, 1998, 56(3): 257~271.
- [16] 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红, 等. 中国气候变化的研究. 气候与环境研究, 2002, 7(2): 137~146.
- [17] 郭志梅, 缪启龙, 李雄. 中国北方地区近50年来气温变化特征的研究. 地理科学, 2005, 25(4): 448~454.
- [18] 李栋梁, 王涛, 钟海玲. 中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测. 中国沙漠, 2004, 24(3): 376~379.
- [19] 赵燕宁, 时兴合, 王式功, 等. 青海河湟谷地气候变化及干旱变化研究. 中国沙漠, 2006, 26(1): 54~59.
- [20] Glantz M H. Creeping Environmental Problem and Sustainable Development in the Aral Sea Basin. Cambridge University Press, 1999. 291.
- [21] Glantz M H, Ye Q. China's western region development strategy and the urgent need to address creeping environmental problem. Arid Lands Newsletter, 2001, 49: 18.

- [22] 段丽洁,张镭,李英华,等. 环境变化与尕斯库勒自然保护区维护. 干旱气象,2005,23(3):53~57.
- [23] 缪启龙. 地球科学概论. 北京:气象出版社,2001.
- [24] 李志刚,段焕娥. 西北高寒民族地区生态环境问题及农牧业发展—以甘南藏族自治州为例. 地理科学,2005,25(5):551~555.
- [25] 韩永翔,奚晓霞,宋连春,等. 青藏高原沙尘及其可能的气候意义. 中国沙漠,2004,24(5):588~591.

Climatic changes and eco-environmental effects in the Yellow River important water source supply area of Gannan Plateau

YAO Yu-bi^{1,2}, DENG Zhen-yong¹, YIN Dong³, ZHANG Xiu-yun²,
YANG Jin-hu², CHEN Chang-ping⁴, AN Hua-yin⁴

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province,
Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;

2. Meteorological Bureau of Dingxi, Dingxi 743000, China;

3. Lanzhou Center of Meteorological Observation, Lanzhou 730020, China;

4. Meteorological Bureau of Gannan Prefecture of Gansu Province, Hezuo 747000, China)

Abstract: Using main meteorological and eco-environmental observational data in the Yellow River important water source supply area of Gannan Plateau, the climatic change characteristics and eco-environmental effects of this study area were analyzed. The results show that the interannual variation of precipitation tended to decrease, and the variability is $-22.6 \sim -9.6$ mm/10a. In the 1980s the sudden change phenomenon in precipitation took place, in addition the 6~7a and 15a main periods of oscillation exist in most parts of the study area; temperature displays a remarkable increasing trend with an increasing rate higher than that of the whole country, in terms of seasonal changes, the increasing rate of winter is higher than that of the other seasons, in the 1970s the sudden change phenomenon in temperature took place with a persistent ascendant trend after 1980; water resource shows a significant descendant trend, the valley precipitation presents a remarkable positive correlation with the water resource, and the valley drought index presents a remarkable negative correlation with the water resource, the decreasing precipitation and increasing drought index result in a decrease in water resource; theoretically the domestic animal capacity of the regional savageness grassland is 428.82 ten thousand sheep, but in fact the over loading rate reaches 96.39%; climate changes is the natural factor for plain ecological degradation, but overgrazing, excessive tree felling and grass cutting, artificial destruction, biological chain unbalance and so on are the artificial factors for plain ecological degradation, water resource sharp decrease, diversity of biology decrease and eco-environment degradation are the combined effects of the above two factors in the Yellow River important water source supply area of Gannan Plateau.

Key words: climatic changes; creeping environment problems; ecology of grassland; Gannan Plateau