

# 长江黄河源区气候变化及植被生产力特征

李英年, 赵新全, 周华坤, 汪诗平

(中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

**摘 要:** 近半个世纪以来长江、黄河源区的气温、蒸散量升高的倾向率趋势明显, 而且东部大于西部, 气温、蒸发在一定的时空尺度上波动变化明显, 是导致区域生态环境变化的重要原因, 而年降水量变化态势较为平稳。1987年以来土壤湿度下降明显, 表明在气候温暖化状况下, 土壤蒸发量远大于降水的补给量, 导致土壤向暖干化发展。1987年以来植被地上净初级生产力在气候环境影响下, 年际波动明显, 而且在近十几年也下降明显。

**关键词:** 江河源区; 气候变化; 蒸散量; 生态环境

**中图分类号:** Q948.112

**文献标识码:** A

全球变化包括了地球环境中诸如气候、土地生产力、水资源、大气化学、生态系统等自然和人类活动所引发的变化过程。青藏高原为地球第三极, 气候变化具有一定的超前性, 高原独特的自然环境影响下, 生态系统极其脆弱, 成为全球变化的敏感区域<sup>[1]</sup>。作为我国大江、大河发源地的青海三江源地区, 是典型不同地理区域的生态过渡带, 由于全球变化和人为因素干扰, 其生态系统环境发生着巨大的变化。最明显的特征是进入 20 世纪 80 年代以来, 气候向偏暖、干旱方向发展, 造成冻土退化, 土壤沙化, 冰川消融, 湖泊萎缩, 植被盖度和生产力下降, 河流径流量下降。这种气候特征使生态环境更加脆弱、敏感, 加之自然生态系统的自我调节和修复能力差, 极易导致生态环境的迅速恶化。为此, 研究者以气温和降水的分布大量分析了青海地区 (特别是三江源地区) 气候变化特征, 以及未来气候变化对生态系统的影响<sup>[2-7]</sup>。但较少联系地表实际蒸散<sup>[8]</sup>、土壤湿度、植被地上净初级生产力等的长期变化情况。更少涉及研究未来气候变化对植被生产

力的可能影响。本文利用所掌握的有关资料, 从气温、降水、实际蒸发、干燥度方面分析了长江、黄河源头地区气候变化特征, 以及近是十几年来部分地区土壤湿度和植被地上年净初级生产力的变化特征。

## 1 资料及方法

### 1.1 基本概况

江河源区位于青藏高原腹地, 平均海拔超过 4 000 m, 地形复杂, 地势高耸, 系典型的高原大陆性气候区, 地区热量条件差、降水较少且地区差异明显, 空气稀薄、气压低、含氧量少, 日照时间长、太阳辐射强烈, 冬季以西风为主; 无明显四季之分, 仅有冷(干)暖(湿)季之别, 风气候影响, 干湿季明显; 土壤寒冻分化作用强烈, 发育过程缓慢且年轻, 土层浅薄, 土壤贫瘠, 抗侵蚀能力弱, 沙砾性强; 植被主要以高寒草甸和高寒草原为主, 植被的原始性和脆弱性十分突出, 部分地区仍保持原始景观, 植物生长缓慢, 生长期短, 自然生产能力低下, 生态系统表现出

收稿日期 (Received date): 2008-04-05; 改回日期 (Accepted): 2008-07-01.

基金项目 (Foundation item): 中科院知识创新工程重要方向项目 (KJ CX 2-YW-432-1); 科技部支撑项目 (2006BAC08B02) 项目; 中科院西部行动计划项目 (KZCX 2-XB2-06-01); 中日合作“温暖化影响的早期监测网络系统建设”项目。[Supported by Knowledge Innovation Project of The Chinese Academy of Sciences (KJ CX 2-YW-432-1); National Key Technology R & D Program (2006BAC08B02); The CAS Action Plan for West Development (KZCX 2-XB2-06-01); Cooperative Project between China and Japan “Preparatory Research Network Construct for Impacting of Climate Warming”.]

作者简介 (Biography): 李英年 (1962~), 男, 副研究员, 主要从事生物气象、全球变化研究工作。[Li Yingnian (1962-), Associate professor Major research field in Biometeorology. E-mail: ynlk@mw.jlb.ac.cn]

极大的不稳定性和强烈的变化。

1.2 研究资料

1. 气象资料为长江、黄河源区玛多、大武、达日、久治、玉树、清水河、曲麻莱、托托河、五道梁等 9 个气象站 1959~ 2005 年年平均气温、年降水量。由于该区域东西相差 10 个经度, 相距 1 000 km 以上,

而且地区高大山脉切割分明, 导致区域气候 (特别是地形降水) 差异明显, 为此分析时将上述 9 个县考虑气象站相对集中, 气候类型基本一致的特点, 划分为东部 (黄河源区: 玛多、大武、达日、久治)、中部 (长江源区东部: 玉树、清水河、曲麻莱) 和西部 (长江源区西部: 托托河、五道梁) 3 片 (图 1)。

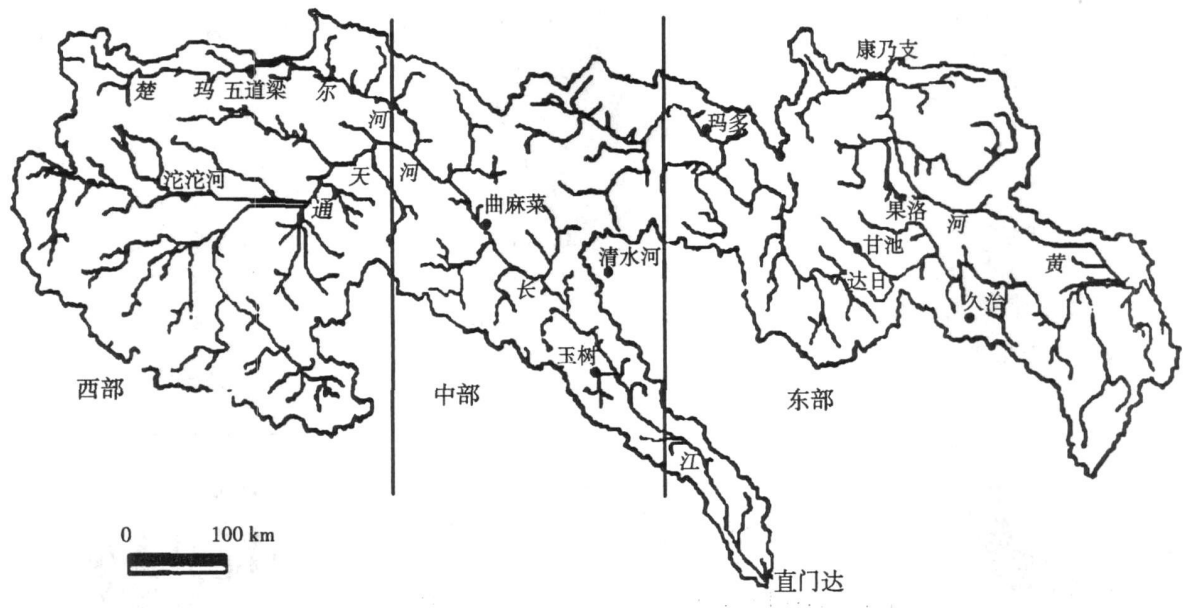


图 1 长江、黄河源区 9 个气象站及分片划分

Fig 1 The division of 9 meteorology stations in the sources regions of the Changjiang River and Yellow River

2. 在上述气象资料基础上处理计算了该区域土壤实际蒸散量、下垫面湿润度。

3. 土壤湿度、植被净初级生产量取自甘德、曲麻莱 2 个牧业气象观测站 1987 年以后的测定资料<sup>[9]</sup>。土壤湿度测定采用烘箱烘干法, 在指定区域每年植物生长季的每月 8 日、18 日、28 日进行观测, 6 个重复, 分 0~ 10 cm、10~ 20 cm、20~ 30 cm、30~ 40 cm、40~ 50 cm 等 5 个土壤层次, 单位为占干土重的百分比 (%); 植被地上生物量在植物生长期的每月中和末采用收割法测定, 地上净初级生产量为年内生物量最高测定值。

1.3 资料处理及统计

1. 为了定量描述气象要素随时间变化的趋势, 假设其呈线性变化, 用一元线性回归法求取气象要素序列的线性趋势, 有

$$Y = a + bt \tag{1}$$

式中  $Y$  为某一气象变量 (如年平均气温、年降水量、年蒸散量等);  $t$  为时间序号, 本文以 1959 年为 1, 1960 年为 2, ..., 2005 年为 47。进行最小二乘原

理有

$$a = \bar{Y} - b \bar{t} \tag{2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \tag{3}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}} \tag{4}$$

式中  $a$  为回归常数;  $b$  为回归系数, 代表了气象要素的线性变化趋势 (也称倾向率),  $b$  值的符号反映该变量上升或下降的变化趋势, 当  $b < 0$  时表示要素在计算时段内呈下降趋势,  $b > 0$  时表示要素呈上升趋势, 同时  $b$  值绝对值的大小可以度量其演变趋势上升、下降的程度; 其变化趋势的显著性可用  $t$  与  $Y$  的相关系数  $R$  的大小来检验, 确定这种气候趋势是否显著, 还是一种随机振动。

2. 条件限制, 对青藏高原土壤实际蒸散观测极少, 在讨论长江、黄河源区的实际蒸散时常用经验公式计算。这里采用 Turc 经验公式法<sup>[10]</sup> 计算

$$E = \frac{1.05R}{\sqrt{1 + \frac{(1.05R)^2}{E_0^2}}} \quad (5)$$

式中  $E$  为实际蒸散量 (mm);  $R$  为年降水量 (mm);  $E_0$  为年最大蒸发量, 有

$$E_0 = 300 + 25T + 0.05T^2 \quad (6)$$

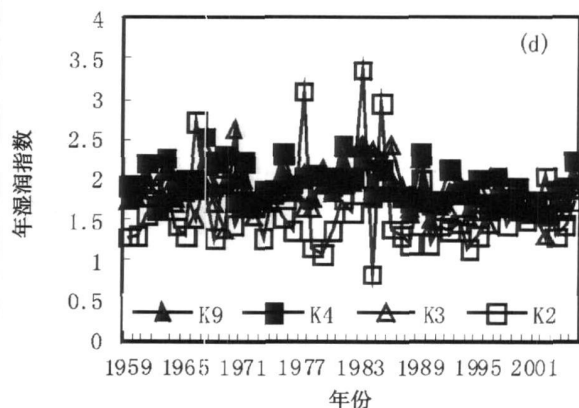
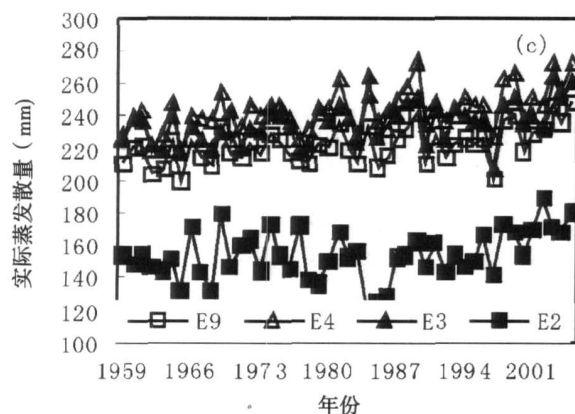
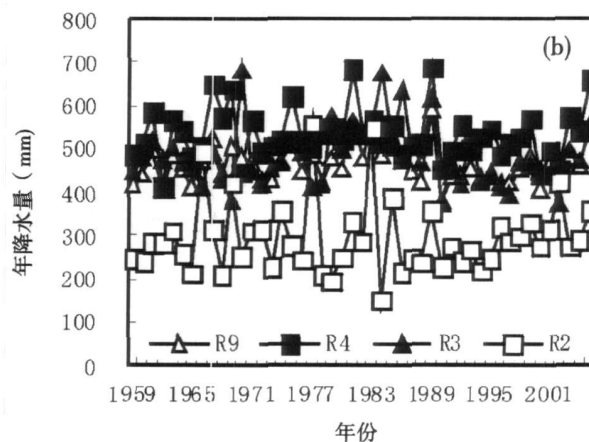
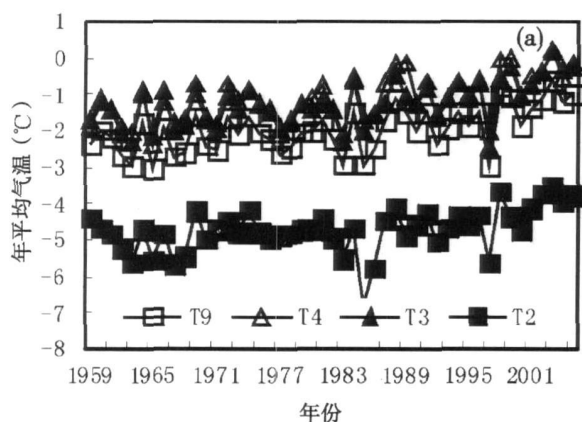
式中  $T$  为年平均气温; 规定:  $R > 0.316E_0$  时, 上式才能成立; 若  $R < 0.316E_0$  时,  $R = E$ 。

3. 气候湿润度 ( $k$  或湿润指数) 采用下列方法计算

$$k = R/E_0 \quad (7)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 江河源区气温、降水量、陆面蒸散量、气候湿润指数的年际变化特征



注: 2 3 4 9 分别代表西部 (托托河、五道梁) 2 个气象站、中部 (玉树、清水河、曲麻莱) 3 个气象站、东部 (玛多、大武、达日、久治) 4 个气象站、全区 9 个气象站平均气温 (T)、降水量 (R)、蒸散量 (E) 和湿润指数 (K) (Note: 2 3 4 and 9 were the symbols of mean temperature, rainfall, evapotranspiration and wetness indexes of two western meteorology stations (Tuotuo River and Wu Dao Liang), three middle meteorology stations (Yu Shu Qing Shui River and Qu Ma Lai), four eastern meteorology stations (Ma Duo, Da Wu, Da Ri and Jiu Zhi), nine total meteorology stations respectively)

图 2 江河源区 1959~2005 年每年平均气温 (a)、年降水量 (b)、植被年蒸散量 (c) 和年湿润指数 (d) 年际变化

Fig. 2 The annual variations of mean air temperature (a), annual rainfall (b), vegetation

evapotranspiration (c) and annual wetness indexes (d) between 1959 and 2005

关于近半个世纪以来长江、黄河源区的气温变化可见诸多的报道<sup>[2,5,7]</sup>, 其总的特点是, 自 1959 年器测开始以来, 区域气温是随年代进程而增温的, 同时有研究显示<sup>[5,7]</sup>, 气温随年代增加的趋势表现出冬半年 (冷季) 明显高于夏半年 (暖季)。图 2(a) 给出了江河源区 9 个气象站, 并将其分为东部 (玛多、大武、达日、久治)、中部 (玉树、清水河、曲麻莱) 和西部 (托托河、五道梁) 3 片后 1959~2005 年年平均气温变化。

从图 2(a) 看到, 1959 以来的 47 a 间, 江河源区 9 站 47 a 平均为  $-2.0^{\circ}\text{C}$ , 气温随时间进程表现出增加的趋势 ( $T9 = 0.0255t - 2.5892$ ,  $n = 47$ ,  $r = 0.5800$ ), 气温倾向率为  $0.0255^{\circ}\text{C/a}$ , 其中西部 2 站 47 a 平均为  $-4.7^{\circ}\text{C}$ , 气温倾向率为  $0.0194^{\circ}\text{C/a}$  ( $T2 = 0.0194t - 5.1975$ ,  $n = 47$ ,  $r = 0.4219$ ); 中部 3 站 47 a 平均为  $-1.2^{\circ}\text{C}$ , 气温倾向率为  $0.0257$

$^{\circ}\text{C}/\text{a}(T3=0.0257t-1.8584, n=47, r=0.5693)$ ; 东部 4 站 47 a 平均为  $-1.2^{\circ}\text{C}$ , 气温倾向率为  $0.0284^{\circ}\text{C}/\text{a}(T4=0.0284t-1.8332, n=47, r=0.6038)$ 。由倾向率的相关系数表明, 自 1957 年以来气温随年代进程上升速率达极显著水平 ( $P<0.01$ ), 特别是进入 20 世纪 80 年代以来, 年均气温增高明显。

图 2(b) 为江河源区气象站 1959~2005 年年降水量的变化。可以看到, 东部玛多、大武、达日、久治 4 站 1959~2005 年 47 a 平均为 533.3 mm, 47 a 来降水量略有下降的趋势, 其下降倾向率为  $0.0031\text{ mm}/\text{a}(R4=-0.0031t+534.08, n=47, r=-0.001)$ 。西部托托河和五道梁 2 站 47 a 平均为 294.8 mm, 年降水量倾向率为  $0.1904\text{ mm}/\text{a}(R2=0.1904t+290.21, n=47, r=0.030)$ 。中部玉树、清水河、曲麻莱 3 站 47 a 平均为 482.5 mm, 降水量倾向率为  $-0.2888\text{ mm}/\text{a}(R3=-0.2888t+489.41, n=47, r=-0.062)$ 。其 9 站 47 a 平均为 463.1 mm, 降水量倾向率为  $0.076\text{ mm}/\text{a}(R9=-0.0759t+464.97, n=47, r=-0.022)$ 。虽然不同区域的降水变化趋势(倾向率)与时间进程均表现出不显著的相关性 ( $P>0.1$ ), 但可表明在江河源区近 47 a 来降水变化具有一定的稳定性, 基本属正常波动。与降水不同的是, 不同区域年平均气温在随年际进程中其气温升高的趋势表现出显著的相关 ( $P<0.01$ ), 表现出 47 a 来区域年平均气温在年际进程中具有一定的不稳定性。

图 2(c) 给出了利用 Turc 模拟模式计算的江河源区气象台站 1959~2005 年年地表蒸散量变化。从图 2(c) 看到, 1959~2005 年的 47 a 间, 降水虽然波动明显, 总的态势是平稳状况。而蒸散量则与降水分布的趋势相反, 表现出明显增加的趋势, 47 a 来 9 个气象站年实际蒸散量平均按  $0.4253\text{ mm}/\text{a}$  的倾向率升高 ( $E9=0.4253t+212.04, n=47, r=0.5074$ )。其中西部 2 站年年实际蒸散量倾向率为  $0.3549\text{ mm}/\text{a}(E2=0.3549t+145.68, n=47, r=0.3217)$ 。中部 3 气象站年实际蒸散量倾向率为  $0.3942\text{ mm}/\text{a}(E3=0.3942t+226.04, n=47, r=0.4365)$ 。东部 4 气象站年实际蒸散量倾向率为  $0.5103\text{ mm}/\text{a}(E4=0.5103t+231.18, n=47, r=0.5131)$ 。除西部 2 站年实际蒸散量变化趋势(倾向率)与时间进程表现出较显著性相关 ( $P<0.05$ ) 外, 其他区域的年实际蒸散量变化趋势(倾向率)与

时间进程均表现出显著性相关 ( $P<0.01$ ), 表明在江河源区近 47 a 来年实际蒸散量不稳定性亦很强。这种不稳定与气温升高导致土壤蒸发加快有关, 特别是进入 1980 年代后期以来, 温度上升明显, 导致年实际蒸散量显著增加。另外, 从 3 片区域来看, 其实际蒸散量在随年际进程中, 江河源区所表现的增加趋势从西部到东部逐渐加大。有趣的是近 20 多年来, 在东部玛多、大武、达日、久治等地区土壤退化, 原生植被破坏严重, 鼠类活动猖獗, 草地生产力下降明显。从这个角度来讲, 土壤及植被的蒸散量的明显增加是导致区域生态环境变化的重要原因之一。

为了解区域气候湿润指数变化情况, 在图 2d 给出了江河源区 1959~2005 年年平均湿润指数变化。图 2(d) 看到, 1959~2005 年的 47 a 间, 年平均湿润指数波动明显, 总的态势是平稳状况, 但也看出, 在 1950 年代末和年代初, 1980 年代中期以后处于干燥时期, 而在 1960 年代前期以后到 1980 年代中期是较湿润时期, 在 2004 年和 2005 年略有升高。

以上降水在略有降低并在多年波动的趋势上表现的线性变化说明, 47 a 来降水变化态势是平稳的, 具有一定的降水气候稳定性, 而从蒸散量看到, 47 a 来上升明显, 说明 47 a 来在气候温暖化加剧的状况下, 土壤植被的蒸散加剧, 其蒸散具有一定的气候不稳定性, 与气温的气候不稳定性相比更为突出。说明气候在向温暖化发展的同时, 由于下垫面蒸散的加大土壤在向干燥方向发展, 进而导致了草地沙化或退化的增加。

## 2.2 1987 年以来土壤湿度的变化特征

对于土壤湿度的观测只收集到甘德气象站自 1987 年开始在植物生长季的观测值(甘德气象站提供)。图 3 给出了 1987 年到 2005 年甘德气象站在牧业气象观测场每年 04-28 到 10-08 观测到的 0~50 cm 平均土壤湿度。为了比较, 图 2 也给出了 4~10 月 8 日期间的降水量。

图 3 看到, 每年 04-28 到 10-08 期间的平均土壤湿度 ( $S_H$ ) 与同期降水量 ( $R$ ) 具有显著的正相关 ( $S_H=34.562R-205.49, n=19, r=0.6247, P<0.01$ ), 表明土壤湿度的高低依降水量的变化而变化。但是, 1980 年代以来, 与全球温度上升一样, 甘德地区也存在明显的升温, 温度升高导致蒸散量明显加剧, 致使土壤湿度下降明显。1987~2005 年的 19 a 间, 在时间进程中 ( $t$  为时间序列, 以 1987 年为 1, 1988 年为 2, ..., 2005 年为 19) 降水量基本在

多年平均值上下波动,并略有升高的趋势( $R = 0.1705t + 453.54$ ,  $n = 19$ ,  $r = 0.0141$ )。但该时段土壤湿度下降明显,土壤湿度随时间进程( $S_H = -0.0447t + 19.539$ ,  $n = 19$ ,  $r = -0.2171$ )的变化中表现出递减的倾向率为  $0.0447\% / a$ 。虽然看起来其下降的倾向率比降水的升高倾向率( $0.1705/a$ )低,但因土壤湿度将比降水量低一个量级后还要低  $45\%$ ,即土壤湿度的稍有下降其影响程度比降水的影响更为严重。表明在气候温暖化状况下,土壤蒸发量远大于降水的补给量,导致土壤向暖干化发展。

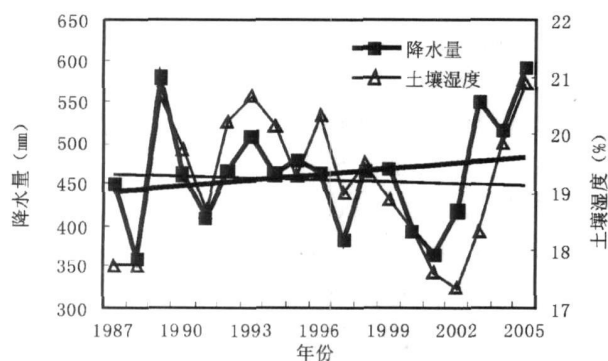


图3 植物生长期 0~60 cm 平均土壤湿度(%,  $S_H$ )的年际变化及与降水量( $R$ )的关系

Fig 3 The variations of the average 0~60 cm-depth soil humidity(%,  $S_H$ ) in plant growing season and the correlations with rainfall( $R$ )

### 2.3 1987年以来植被地上净初级生产力的变化

实际上对 1990 年以来甘德、曲麻莱牧业气象站进行的草地植被生物量的监测值分析发现,1990~2004 年植被地上年净初级生产力( $NPP_{地上}$ )年际波动明显。且在近十几年内下降明显(图 4),同样以上述方法建立其趋势过程有,  $NPP = -9.506t + 296.61$  ( $n = 15$ ,  $r = -0.6210$ ,  $P < 0.01$ ),表明植被地上年净初级生产力在 15 a 的时间进程中按  $9.506 g/a$  的倾向率下降,而且这种下降趋势与时间序列相关显著。

但也看到进入本世纪特别是 2003~2004 年植被地上年净初级生产力有所提高,这与降水的增加有关,这样也可看来水分条件是影响草地生产力的主要因素之一。在江河源区分布的高寒植物,其生长发育及其生产力水平受自然环境的制约极为明显,在投入甚少的状况下,其产量高低与环境条件密切相关。李英年等<sup>[11]</sup>在分析了现实状况下,高寒草甸气候生产力分布状况以及对环境条件的需求,建立光、温、水等影响下气候生产力的基本模式,然后

依有关温度和降水变化的模拟参数,计算了未来气候下高寒草甸气候生产力的变化规律。表明在全球气候变暖后高寒草甸牧草生产力水平变化格局有所不同,其主要与降水的影响关系较大。当气温上升  $2^\circ C$ ,降水增加  $10\%$  时,植被的蒸散力大于降水的补给量,干旱胁迫加重,因而水分成为牧草生长的限制因素,只有降水在同期增加  $15\%$  以上这种限制才能得到缓解。因而,从某种意义上讲,如果气温上升,降水量增加的可能较小,将造成高寒草原分布区域地表及植被蒸散力的加大这比降水量的增加更快,使区域干旱现象明显,水分的不足终将限制草地生产力的提高。

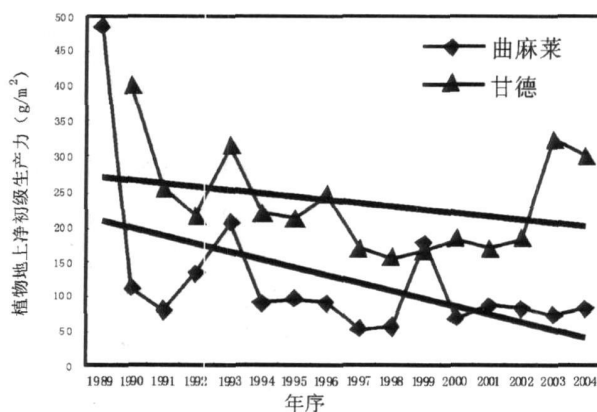


图4 1990~2004年黄河源区甘德站植被地上净初级生产力变化

Fig 4 The changes of net aboveground plant primary production in Gande station in Yellow River source region from 1990~2000

## 3 结语

1. 近半个世纪以来长江、黄河源区的气温升高的倾向率趋势明显,而且东部大于西部,表现出温度变化具有一定的气候不稳定;而年降水量变化态势较为平稳。

2. 1959~2005 年的 47 a 间,蒸散量与降水分布的趋势相反,实际蒸散量不稳定性亦很强,表现出明显增加的趋势,9 个气象站平均按  $0.4253 mm/a$  的倾向率升高。而且也是东部大于西部,从这个角度来讲,东部蒸散量的明显增加是导致区域生态环境变化的重要原因之一。

3. 1987 年以来土壤湿度下降明显,土壤湿度随时间进程的变化中表现出递减的倾向率为  $0.0447\% / a$ 。虽然看起来其下降的倾向率比降水的升高倾向率( $0.1705/a$ )低,但因土壤湿度量低,即

土壤湿度的稍有下降其影响程度比降水的影响更为严重。表明在气候温暖化状况下, 土壤蒸发量远大于降水的补给量, 导致土壤向暖干化发展。

4. 1987 年以来植被地上年净初级生产力年际波动明显, 且在近十几年内下降明显, 在 15 a 的时间进程中按 9.506 g/a 的倾向率下降, 而且这种下降趋势与时间序列相关显著。

## 参考文献 (References)

- [1] Feng Song, Tang Mocang, Wang Dongmei. New evidence for the Qinghai Tibetan Plateau as our country climate change start[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(6): 633~636 [冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据[J]. 科学通报, 1998, 43(6): 633~636]
- [2] Wang Qingchun, Qin Ningsheng, Tang Hongyu, et al. Study on Climate Change Facts and Their Characteristics in the Qinghai Plateau in Recent 44 Years[J]. *Arid Zone Research*, 2007, 24(2): 234~239 [汪青春, 秦宁生, 唐红玉, 等. 青海高原近 44 年来气候变化的事实及其特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 234~239]
- [3] Bai Aijuan, Liu Xiaodong. Analysis on the climate change from warming-drying trend to warming-wetting trend in Northwest China[J]. *Arid Zone Research*, 2005, 22(4): 458~464 [白爱娟, 刘晓东. 从气候标准的改变分析西北地区的气候变化[J]. 干旱区研究, 2005, 22(4): 458~464]
- [4] Yu Haiyang, Zhang Zhende, Zhang Peimin. RS and GIS-based Evaluation and Dynamic Monitoring of Land Desertification in Qinghai Province[J]. *Arid Zone Research*, 2007, 24(2): 153~158 [于海洋, 张振德, 张佩民. 青海土地荒漠化评价及动态监测[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 153~158]
- [5] Yang Jianping, Ding Yongjian, Shen Yongping, et al. Climatic Features of Eco-Environment Change in the Source Regions of the Yangtze and Yellow Rivers in Recent 40 Years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(1): 7~16 [杨建平, 丁永建, 沈永平等. 近 40 年来江河源区生态环境变化的气候特征分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 7~16]
- [6] Shen Yongping, Wanggensu, Wu Qingyang, et al. The Impact of Future Climate Change on Ecology and Environments in the Changjiang-Yellow Rivers Source Region[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(3): 308~314 [沈永平, 王根绪, 吴青杨等. 长江—黄河源区未来气候情景下的生态环境变化[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 308~314]
- [7] Fan Qishun, Sha Zhanjiang, Cao Guangchao, et al. Assessment of Ecology and Environments on Climate Changing of Qinghai Tibetan Plateau[J]. *Journal of Salt Lake Research*, 2005, 13(1): 12~18 [樊启顺, 沙占江, 曹广超等. 气候变化对青藏高原生态环境的影响评价[J]. 盐湖研究, 2005, 13(1): 12~18]
- [8] Zhang Yinsheng, Pu Jianchen, Taifan Yueshi. Analysis of Characteristics of Evaporation in Centre of Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1994, 16(2): 166~177 [张寅生, 蒲建辰, 太田岳史. 青藏高原中部地面蒸发量观测计算与特征分析[J]. 冰川冻土, 1994, 16(2): 166~177]
- [9] Fu Yang, Li Fengxia, Zhang Guosheng, et al. Natural grasslands degradation and environmental driving factors in Qinghai province[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(4): 525~535 [伏洋, 李凤霞, 张国胜, 等. 青海省天然草地退化及其环境影响分析[J]. 冰川冻土, 2007, 29(4): 525~535]
- [10] He Qingtang. Chinese Forest Meteorology[M]. Beijing: Chinese Forest Publish, 2001: 212~214 [贺庆棠. 中国森林气象学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 212~214]
- [11] Li Yingnian, Wang Qiji, Zhao Xinquan, et al. The influence of climatic warming on the climatic potential productivity of alpine meadow[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2000, 8(1): 23~29 [李英年, 王启基, 赵新全, 等. 气候变暖对高寒草甸气候生产潜力的影响[J]. 草地学报, 2000, 8(1): 23~29]

# The Dynamic Features of Ecosystem Environment and Plant Productivity in the Source Regions of the Changjiang River and Yellow River

LI Yingnian, ZHAO Xinquan, WANG Shiping

(Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining 810001, China)

**Abstract** The rise trend of air temperature and evapotranspiration in the source regions of the Changjiang River and Yellow River has been evident since the half century, moreover, it was larger in the east than in the west. The fluctuations of air temperature and evaporation were obvious temporally, which was mainly reason of the change of regional ecosystem environment. However, the variations of rainfall were small. The soil humidity declined distinctly since 1987, which suggested that soil evaporation was bigger than replenishment by rainfall in the conditions of climate warming, which led to the development of warming and drought. Because of the influences by climate change, the plant aboveground net productivity descended obviously and its annual variations were visible and since 1987.

**Key words** source regions of the Changjiang River and Yellow River, climate change, evapotranspiration, ecosystem environment