

近 50 年局地气候变化及其对共和盆地贵南县 草地退化的影响

郭连云¹, 钟存², 丁生祥³, 韩辉福²

(1. 青海省海南州气象局, 青海共和 813000; 2. 青海省贵南县气象局, 贵南 813100; 3. 青海省同德县气象局, 同德 813201)

摘要: 利用共和盆地贵南站 1961-2007 年温度、降水等气象资料, 分析了共和盆地贵南县的气候变化趋势, 探讨了气候变化对贵南县草地退化的影响。结果表明: 共和盆地贵南地区气温年际变化呈上升趋势, 倾向率为 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 增温速度大于全国增温速度; 年降水量总体上呈不显著的增加趋势, 倾向率为 $3.0\text{mm}/10\text{a}$; 草地潜在蒸散量呈显著上升趋势, 蒸散量倾向率为 $22.23\text{mm}/10\text{a}$; 年大风、沙尘暴日数呈下降趋势。分析认为: 气候变化是草原生态退化的自然诱发因素, 温度显著升高, 草地蒸散量增加, 春季干旱事件增多, 秋季降水量减少造成草地牧草生长期的变化和草地生产力的下降, 导致贵南草地生态退化。

关键词: 气候变化; 共和盆地; 草地退化

Local Climate Changes and Their Impacts on Grassland Degradation in Gonghe Basin of Guinan County of Qinghai Province in Past Half-century

GUO Lian-yun¹, ZHONG Cun², DING Sheng-xiang³, HAN Hui-fu²

(1. Meteorological Bureau of Hainan State, Gonghe 813000, China; 2. Meteorological Bureau of Guinan County, Guinan 813100; 3. Meteorological Bureau of Tongde County, Tongde 813201)

Abstract: Based on the meteorological data of the temperature and precipitation of Guinan station from 1961 to 2007, the climatic changes in Gonghe Basin of Guinan County were analyzed, and their impacts on the grassland degradation were discussed. The result showed that the annual mean temperature increased at the rate of 0.23°C per decade, which was higher than the national mean. The annual precipitation increased at the rate of 3.0mm per decade. The annual potential evapotranspiration increased at the rate of 22.23mm per decade. The days with strong winds and sand storms per year slightly reduced. These changes might be the factors causing grassland degradation in Guinan County. The temperature rising, evapotranspiration increasing, heavier spring drought and less autumn precipitation led to changes of the growing period of the grass and decline of the grassland productivity.

Key words: Climate change; Gonghe basin; Grassland degradation

草地是中国陆地上面积最大的生态系统, 是生态环境的基础^[1]。作为一种可再生的自然资源, 草地对社会经济可持续发展具有十分重要的意义^[2-3]。草原也是畜牧业发展的重要物质基础和牧区牧民赖以生存的基本生产资料, 因此草地退化是限制草地畜牧业发展的重要因素, 也是当前面临的重大生态环境问题^[4-9]。近年来, 由于全球气候变暖、超载过牧及其它不合理的人为因素的干扰, 使得天然草地面积减少, 质量下降, 草地载畜力下降, 草地退化, 沙化、盐渍化面积不断扩展^[10]。政府间气候变化专门委员会

(IPCC) 第四次评估报告最新结果表明: 过去 100a (1906-2005 年) 全球地表平均温度升高 0.74°C ; 21 世纪末全球平均地表温度可能会升高 $1.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ (6 种 SRES 情景, 与 1980-1999 年相比)^[11]。在全球变暖的大背景下, 近 100a 中国地表年平均气温明显增加, 升温幅度约为 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 。在最近的 50a, 全国年平均地表气温增加 1.1°C , 增温速率为 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 明显高于全球或北半球同期平均增温速率^[12]。以变暖为主要特征的全球气候变化及其对人类、自然、生态、农业、水资源等的潜在影响已成为各国政

• 收稿日期: 2008-10-17

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAD26B10)

作者简介: 郭连云 (1969-), 青海湟源人, 本科, 工程师, 从事气象业务管理工作。E-mail: glycloud@126.com

府、学术界、决策界乃至社会公众广泛关注的重大问题^[13],其中草地生态系统与气候变化的关系研究是全球变化研究中的重要内容之一^[14-20]。

历史上,贵南县牧场地域辽阔、水草丰美、气候凉爽,发展高寒畜牧业具有得天独厚的自然条件。然而,近年来,由于气候变化、盲目开荒、超载过牧、鼠虫危害等原因,造成了草地不同程度的退化,致使畜牧业生产水平日益低下,生产效益低,直接影响了草地资源的高效持续利用,制约地区经济的快速发展^[21-22]。根据资料^[23],1976-2006年,贵南地区草地总面积减少了12.62%,平均每年减少0.42%,尽管不同时期面积消长不一,但总体仍呈现出递减趋势。草地质量表现为退化程度加剧,具体表现为:高盖度草地面积减少106076.8hm²,减少28.87%,主要退化为中盖度或以下级别的草地,说明该类草地退化最为严重;中盖度草地总量变化次于高盖度草地,总体呈拱形变化趋势,先增后减,30a间总量增加了46810.6hm²,主要由高盖度草地退化而来;低盖度草地面积变化最为剧烈,30a间总量增加了220.3hm²,其面积增加主要由高覆盖与中覆盖草地退化而来。

草地退化对贵南地区的草地畜牧业、生态环境和龙羊峡库区影响很大,还会影响到黄河下游地区的经济发展和生态稳定。拉元林等^[24-26]研究认为,盲目开荒、超载过牧、鼠虫危害等因素是造成贵南草原生态环境恶化的主要原因,但从气候角度分析贵南地区草地退化的研究鲜见,在生态环境的长期演变过程中,气候变化起着非常重要的作用。本文尝试从局地气候变化对共和盆地贵南县草地退化的影响着手,探寻贵南地区草地退化的气候原因,为保护脆弱区牧区草场生态系统,促进畜牧业可持续发展提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 资料来源

利用贵南县气象站(35°35'N、100°45'E,海拔3210m)1961-2007年共47a逐月、季、年的气温、降水、春季最长连续无降水日数、逐年大风日数、年扬沙日数、年浮尘日数、沙尘暴等基础观测数据进行气候趋势分析。

1.2 分析方法

用线性回归方法计算气候倾向率^[27]。

利用非参数的统计检验 Mann-kendall 法对气温、降水、蒸发进行突变分析^[28]。

利用 Thornthwaite 方法^[29]计算草地可能蒸散量。以月为时间步长,月平均温度为主要依据,并考虑纬度因子(日照长度)建立经验公式。

$$PE_m = 16.0 \times \left(\frac{10T_i}{H} \right)^A \tag{1}$$

式中: PE_m—可能蒸散量,是指月可能蒸散量(mm/月); T_i—月平均气温(°C); H—年热量指数; A—常数。

各月热量指数

$$H_i = \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \tag{2}$$

年热量指数

$$H = \sum_{i=1}^{12} H_i = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \tag{3}$$

常数

$$A = 6.75 \times 10^{-7} H^3 - 7.71 \times 10^{-5} H^2 + 1.792 \times 10^{-2} H + 0.49 \tag{4}$$

当月平均气温 T_i ≤ 0°C 时,月热量指数 H_i = 0,月可能蒸散量 PE_m = 0(mm/月)。

2 结果与分析

2.1 气温变化

2.1.1 变化趋势

贵南站近 50a 来年平均气温的变化过程见图 1。由图中可见,近 50a 来贵南地区气温总体呈波动上升趋势,变化范围在 1.3~3.6°C,气候平均值为 2.3°C(1971-2000年),1998年最暖,达 3.6°C,2006年为次高值,为 3.5°C。1961-2007年的 47a 中贵南地区年平均气温的倾向率为 0.23°C/10a,相关系数为 0.58(p < 0.001),增温速度大于全国增温速度(0.044°C/10a)^[30],增幅达 1.1°C。四季中(表 1),除春季平均气温升高不显著外,夏、秋、冬三季都有显著的升温趋势(p < 0.01),冬季、秋季升温幅度分别为 0.37°C/10a、0.24°C/10a。可见,对当地年平均气温升高贡献比较大的是冬、秋季升温。

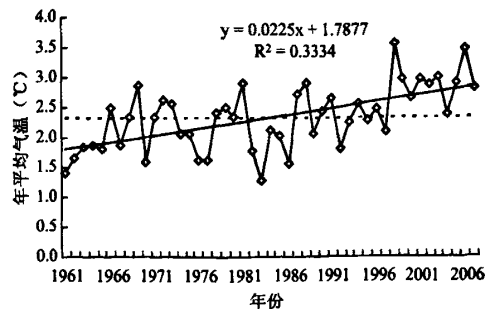


图 1 贵南站年平均气温的变化过程

气温年代变化(表 1)表明,20 世纪 60 年代以来,各年代的年平均气温均为增高,其中 90 年代以后增温明显,2000-2007 年的增温幅度很高。从四季的气

表 1 贵南站年、季平均温度变化趋势和各年代相对于 20 世纪 60 年代的升温值

	春季	夏季	秋季	冬季	全年
气温变化趋势(℃/10a)	0.10	0.19	0.24	0.37	0.23
相关系数	0.18	0.37**	0.48***	0.48***	0.58***
ΔT_1 (70 年代)(℃)	0.2	0.1	0.1	0.7	0.2
ΔT_2 (80 年代)(℃)	-0.4	0.1	0.3	0.9	0.2
ΔT_3 (90 年代)(℃)	0.4	0.4	0.7	0.8	0.5
ΔT_4 (2000-2007 年)(℃)	0.4	0.9	0.8	1.7	0.9

注: *、** 和 *** 分别表示通过 0.05、0.01 和 0.001 水平的显著性检验。

温年代变化看,冬季气温升高幅度最大,其次为秋季和夏季,春季气温升温幅度最小,其中 80 年代比 60 年代还低 0.4℃。

2.1.2 突变分析

根据 Mann-Kendall 法检测(表 2)可知,贵南年平均气温在 1988 年有暖突变,对比突变前后的气温变化可知,变暖前(1961-1987 年)年平均气温为 2.1℃,温度变化达 0.086℃/10a;显著变暖后(1988-2007 年)年平均气温为 2.7℃,温度变化达 0.393℃/10a,1988-2007 年的年平均气温比 1961-1987 年上升了 0.6℃,其增温幅度明显高于全国年平均增幅 0.35℃的水平。1988 年以前的 27a 中,仅有 11a 气温高于(1971-2000 年)气候平均值;1988-2007 年的 20a 中,有 15a 高于气候平均值。春季平均气温未发生突变,夏季平均气温在 1995 年发生了暖突变,秋季的暖突变在 1987 年,冬季在 1965 年和 1983 年发生了暖突变,可见,贵南地区升温首先从冬季开始,之后秋、夏季开始增温。

表 2 贵南站气温、降水量、蒸散量发生突变的年份

	气温(℃)	降水量(mm)	蒸散量(mm)
春季		1963*	
夏季	1955**		1996*
秋季	1987**	1962*	
冬季	1965*,1983*		
全年	1988**		1998*

注: * 和 ** 分别表示通过 0.05 和 0.01 水平的显著性检验。

2.2 降水量变化

2.2.1 变化趋势

贵南站多年平均降水量为 407.8mm(1961-2007 年),年降水量平均绝对变率为 65.8mm,平均相对变率为 16.1%。极端绝对正变率为 211.8mm,极端绝对负变率为 -159.5mm。年降水量相对变化幅度为 -39.1%~51.9%,说明该地区降水量的年际变化很大。夏季降水量占年降水量的 60.1%,春、秋季分别占 20.0%和 18.6%,冬季仅占 1.6%。年降水量的多寡取决于夏季降水量,因此,两者的变化趋势基本一致(图 2)。

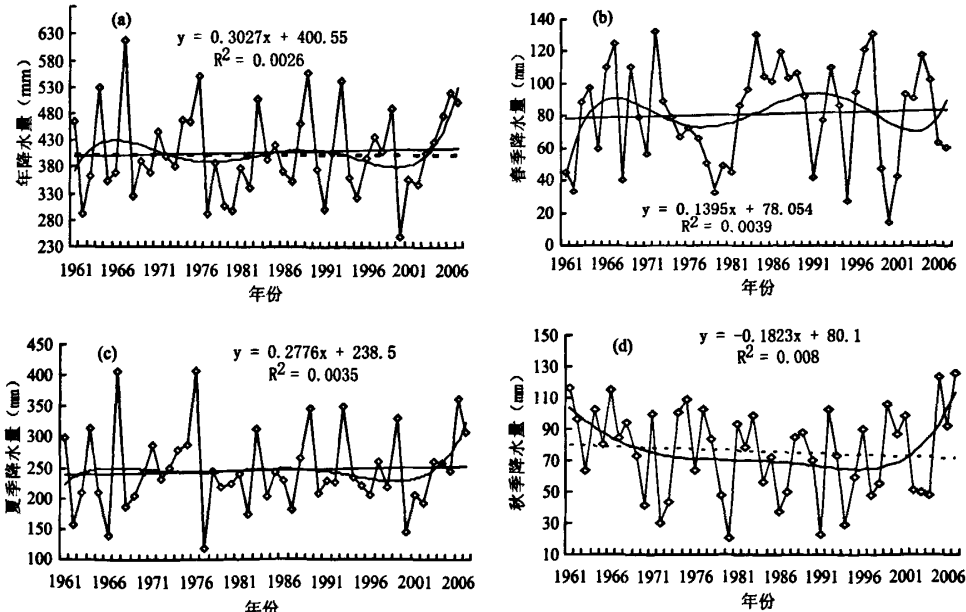


图 2 贵南站降水量变化曲线(细线)和五阶多项式拟合(粗线)

由图 2a 可见,贵南站年降水量自 1961 年以来总体上呈增加趋势,其倾向率为 3.0mm/10a,年代际的波动明显,降水量的年变异系数为 20.1%。五阶多项式拟合变化趋势反映出,年降水量在 20 世纪 60 年代呈上升趋势,60 年代后期-70 年代末期呈下降趋势,80 年代又呈缓慢上升趋势,90 年代总体呈明显下降趋势,进入 21 世纪后持续上升。秋季降水量的变化趋势与年降水量趋势有很大差别(图 2d),从 20 世纪 60 年代开始持续下降,从 90 年代后期又呈持续上升趋势。年降水量最多的 1967 年为 619.6mm,比常年偏多 54.1%,而最少的 2000 年为 248.3mm,比常年偏少 38.2%,两者相差 371.3mm。四季降水量(图 2)的变化趋势,夏、春、冬季降水量以 0.04~2.78mm/10a 的速度增加,秋季降水量却以 1.8mm/10a 的速度减少,但差异均不显著($P > 0.05$)。年代际降水量变化中,20 世纪 60 年代、80 年代和 2000-2007 年的降水量分别为 407.3mm、416.6mm、433.3mm,高于 30a 平均值,20 世纪 70、90 年代降水量较 30a 平均值偏少,分别为 398.9mm、390.9mm,90 年代降水显著减少。牧草生长期 5-9 月的降水量占全年降水量的 66.7%~96.5%,降水并没有大的波动,能够满足天然草场对水分的需求。

2.2.2 突变分析

根据 Mann-Kendall 法检测(表 2),贵南年、夏季和冬季降水量未发生突变,春季降水量在 1963 年发生了增多的突变,秋季降水量在 1962 年发生了减少的突变,对比变暖前后年降水量的变化发现,变暖前贵南地区平均年降水量为 401.3mm,变暖后为 416.6mm,相比增加了 15.3mm,增幅达 3.8%。

2.3 草地潜在蒸散量

由图 3 可见,贵南地区草地潜在蒸散量呈显著上升趋势,倾向率为 22.23mm/10a ($r = 0.3411, P > 0.05$)。20 世纪 90 年代中期后年蒸散量高于多年平均值,明显趋于干旱化。在 20 世纪 90 年代以前的 31a

中,有 23a 年潜在蒸散量低于多年平均值,90 年代以后的 17a 中,有 13a 年潜在蒸散量高于多年平均值,90 年代以后比 90 年代以前年平均蒸散量高 7.8mm,加上年降水量同期仅增加 0.6mm,二者合计,90 年代以后比 90 年代以前水分年亏缺达 7.2mm。自 1961 年以来,年平均气温以 0.23℃/10a 的速率升高,目前较 20 世纪 60 年代升高了 0.9℃,冬季平均气温甚至达到 1.7℃,特别是从 1998 年以来,连续 10a 异常增温,这种持续的增温使得草地蒸散量加强。温度升高会导致蒸散量明显增加,致使土壤湿度明显下降。同时土壤趋于干燥后,冻土退化,土壤湿度降低后地温升高,导致土壤蒸散量加大,供给植物生长发育的水分降低。

根据 Mann-Kendall 法检测(表 2),贵南夏季和年蒸散量分别在 1996、1998 年发生了增多的突变,其他季节无突变发生。

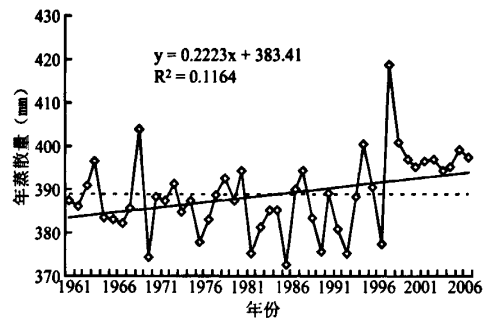


图 3 1961-2007 年贵南站年潜在蒸散量变化

2.4 春季最长连续无降水日数

经统计贵南站 1974-2007 年春季(3-5 月)最长连续无降水日数(图 4)发现,春季(3-5 月)各月的最长连续无降水日数有不明显的增加趋势($p > 0.05$),倾向率分别为 2.6d/10a、1.3d/10a、0.9d/10a,春季平均为 4.8d/10a。春季干旱,牧草返青偏晚,影响牧草生长的期限。

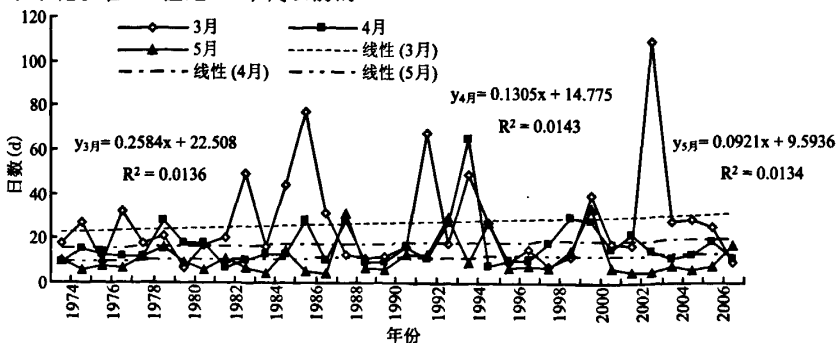


图 4 1974-2007 年贵南站春季最长连续无降水日数变化过程

2.5 沙尘暴、大风日数变化

由图5可见,20世纪80年代以来,贵南站的大风、尘暴年发生日数(指沙尘暴、扬沙、浮尘日数之和^[31])显著减少,而且两者的变化过程具有很强的一致性。这是因为,沙尘暴是生态环境变化与大气运动的直接产物,在同等自然地理背景和生态条件下,其发生次数与大气环流状态即冷空气的强度和活动频次密切相关^[32],说明动力条件是当地沙尘暴发生的重要因素。从季节分配上看,贵南地区的尘暴日数表现为春季多夏季少,全年月平均沙尘暴最多时间出现在春季,最小值出现在夏季,这是因为在春季南支西风急流位置已向北移动,使高原北部春季大风增加,加之贵南地区土质松散(沙壤土),牧草尚未返青,植被覆盖度小,容易形成沙尘暴天气。进入21世纪以来,由于降水量呈增多趋势,加之“三北”防护林工程建设逐步发挥效益,尘暴日数明显减少。

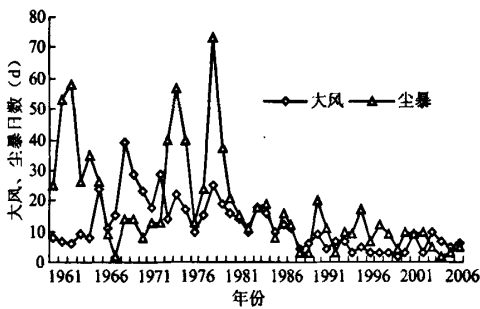


图5 1961-2007年贵南站年大风和尘暴日数变化

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 贵南地区近50年来年平均气温呈显著的升高趋势,其倾向率为 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,增温速度大于全国增温速度;尤其是冬、秋季气温升高很明显,倾向率分别为 $0.37^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。年平均气温在1988年发生了暖突变,变暖前后的年平均气温差值达 0.6°C 。

(2) 年降水量趋势性变化不显著,但总体上是呈波动增加的趋势,倾向率为 $3.0\text{mm}/10\text{a}$ 。一年中,除秋季降水量以 $1.8\text{mm}/10\text{a}$ 的倾向率减少外,其他季节降水量略有增加,其中夏季降水量增加最多,倾向率为 $2.78\text{mm}/10\text{a}$ 。变暖后的降水量较变暖前增加了 15.3mm ,增幅达 3.8% 。尽管21世纪后降水有增加的趋势,但在2000年以前整个气候仍趋于暖干化。温度的升高和秋季降水量的减少对贵南草场退化和产草量下降有重要影响。

(3) 草地潜在蒸散量变化呈显著上升趋势,倾向

率为 $22.23\text{mm}/10\text{a}$ 。而大风、沙尘暴年发生日数呈下降趋势,春季最长连续无降水日数每 10a 增加 4.8d 。区域气温的升高必然导致蒸散发的增加,土壤含水量减少,最终影响到农田、草地等生态系统的生产力^[33]。

3.2 讨论

研究表明^[34],天然牧草对降水的要求比农作物低,一般年 $250\sim 400\text{mm}$ 降水就可以保证优良的自然草场生长。春季最长连续无降水日数呈增加趋势,易导致春季干旱,使得牧草返青偏晚,影响牧草生长的期限。贵南地区秋季气温呈显著升高趋势,但秋季降水量的减少将引起牧草提前枯黄^[35],对草场产草量会有很大的负面影响。原因是秋季降水少,土壤干燥,同时晴天多,植物受霜冻影响在干燥气候条件下更易枯黄。秋季暖干,还有利于放牧,牲畜采食时间延长,使大量的牧草种子被吃而失去繁殖机会,牧草营养繁殖和种子繁殖更新的正常机制受到抑制,优质牧草种群和数量减少,毒草及不可食杂草借机滋生蔓延,最终加剧天然草场的退化^[36]。

气候变暖还深刻地影响到冻土环境。康兴成等^[37-39]学者研究认为,近30a来,随着气温升高及人类活动强度增加,青藏高原冻土上部(20m)地温明显升高(平均 $0.2\sim 0.3^{\circ}\text{C}$),并已影响到深 40m 以上冻土层地温状况,造成冻土融区范围扩大,季节融化层增厚,甚至下伏多年冻土层完全消失。因而使植被根系层土壤水分减少,表土干燥,植被因干旱而退化,区域草地生态体系趋于恶化。

参考文献:

- [1] 王强,杨京平.我国草地退化及其生态安全评价指标体系的探索[J].水土保持学报,2003,17(6):27-31.
- [2] 廖国藩,贾幼陵.中国草地资源[M].北京:中国科学技术出版社,1996:1-14.
- [3] 刘起.草地与国民经济的持续发展[J].四川草原,1998,(3):1-4.
- [4] 沈景林,谭刚,乔海龙,等.草地改良对高寒退化草地植被影响的研究[J].中国草地,2000,20(5):49-54.
- [5] 李建东,郑慧莹.松嫩平原盐碱化草地改良治理的研究[J].东北师范大学学报(自然科学版),1995,(2):110-116.
- [6] 陈敏,宝音陶格涛.半干旱草原退化草地改良的试验研究[J].草业科学,2003,20(6):27-32.
- [7] 王元素,陈全功,樊晓东.云贵高原山区草地生物改良技术研究[J].草业科学,2004,21(2):30-34.
- [8] 李增彩,刘元奎.自然灾害对黄南州畜牧业发展的影响分

- 析[J]. 草业科学, 2005, 22(7): 49-50.
- [9] 龙瑞军, 董世魁, 胡自治. 西部草地退化的原因分析与生态恢复措施探讨[J]. 草原与草坪, 2005, (6): 3-7.
- [10] 韩永伟, 高吉喜. 中国草地主要环境问题分析与防治对策[J]. 环境科学研究, 2005, 18(3): 60-62.
- [11] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge. Uk Cambridge University Press 2007.
- [12] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I). 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化进展研究, 2006, 2(1): 3-8.
- [13] 叶笃正, 符淙斌, 董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 467-469.
- [14] 杨兰芳, 李宗义, 王劲松. 气候变化对甘肃玛曲草原生态的影响[J]. 中国草地学报, 2008, 30(3): 14-21.
- [15] 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[J]. 草业科学, 2008, 25(4): 23-27.
- [16] 郭连云. 青海同德近50年气候与草地畜牧业生产的关系[J]. 草业科学, 2008, 25(1): 77-81.
- [17] 郭连云, 吴让, 汪青春, 等. 气候变化对三江源兴海县草地气候生产潜力的影响[J]. 中国草地学报, 2008, 30(2): 5-10.
- [18] 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[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 692-706.
- [19] 周广胜, 张新时. 全球变化的中国气候-植被分类研究[J]. 植物学报, 1996, 38(1): 1-8.
- [20] 李英年, 张景华. 祁连山区气候变化及其对高寒草甸植物生产力的影响[J]. 中国农业气象, 1997, 18(2): 29-32.
- [21] 张春来, 董光荣, 邹学勇, 等. 青海贵南草原沙漠化影响因素的贡献率[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 511-518.
- [22] 沙占江, 马海州, 李玲琴, 等. 共和盆地龙羊峡库区1987—1999年间土地覆盖变化过程[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 20-26.
- [23] 冯益明, 卢琦, 王学全, 等. 30a来共和盆地贵南县草地时空变化分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(2): 212-216.
- [24] 拉元林. 贵南县草原生态环境现状及治理对策[J]. 草业科学, 2002, 19(6): 1-4.
- [25] 彭毛. 贵南县草地退化现状及治理措施[J]. 四川草原, 2006, (2): 42-44.
- [26] 拉元林, 梁珠英, 班玛多杰. 贵南县高寒草地荒漠化及其控制技术与管理[J]. 青海草业, 2001, 11(1): 41-45.
- [27] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 6, 37-39.
- [28] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.
- [29] 中国气象局政策法规司. 气象标准汇编 2005—2006[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 45-46.
- [30] 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红, 等. 中国气候变化的研究[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(2): 137-146.
- [31] 徐贵青, 魏文寿. 新疆气候变化及其对生态环境的影响[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 14-18.
- [32] 赵光平, 陈楠. 生态退化状况下的宁夏沙尘暴发生发展规律特征[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 45-49.
- [33] 邓慧平, 刘厚凤. 松嫩草地40余年气温、降水变化及其若干影响研究[J]. 地理科学, 1999, 19(3): 220-224.
- [34] 李世奎, 王石立. 中国北部半干旱地区农牧气候界线的探讨[A]. 中国干旱半干旱地区自然资源研究[C]. 北京: 科学出版社, 1988: 108-124.
- [35] 汪青春. 牧草生长发育与气象条件的关系及气候年景研究[J]. 中国农业气象, 1998, 19(3): 1-7.
- [36] 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[J]. 草业科学, 2008, 25(4): 23-27.
- [37] 康兴成. 青藏高原地区近40年来气候变化的特征[J]. 冰川冻土, 1996, 18(增): 281-288.
- [38] 王绍令, 赵秀峰, 郭东信, 等. 青藏高原冻土对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 1996, 18(增): 157-165.
- [39] 王根绪, 李琪, 程国栋, 等. 40a来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应[J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 346-352.