

# 亚高山草甸类草地退化评估及草地保护对策

张秀云<sup>1,2,3</sup>, 姚玉璧<sup>3</sup>, 王润元<sup>1</sup>

(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  
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国气象局  
成都高原气象研究所, 四川 成都 610071; 3. 甘肃省定西市气象局, 甘肃 定西 743000)

**摘要:** 为研究亚高山草甸类草地退化及草地保护对策, 在实地测定大量样方和统计分析的基础上, 选取了盖度、物种多样性指数、丰富度指数、物种数、草地质量指数、优良牧草比例等指标作为评估指标, 制定了亚高山草甸类草地生态质量评估的 4 级指标值。选择各级别典型生态区域, 对其现状和指标值进行了对比分析。结果表明, 该方法反映了植被生态的量化指标, 各项指标相互联系和相关, 具有易获得性和实用性, 符合当地生态质量现状, 可以科学、客观地评估区域生态质量。超载过牧, 滥采乱挖, 人为破坏, 生物链失衡等是造成生态退化的人为因素。控制放牧, 防止滥采乱挖, 建立自然生态保护区是维护该区域生态系统平衡的措施。

**关键词:** 生态质量; 评估指标体系; 亚高山草甸类草地

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2008)06—0142—04

中图分类号: Q948.1

## Grassland Degradation Evaluation and Its Protection Countermeasures on Subalpine Meadow

ZHANG Xiuyun<sup>1,2,3</sup>, YAO Yubi<sup>3</sup>, WANG Runyuan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, Gansu Province and China Meteorological Administration, and Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Chengdu Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu, Sichuan 610071, China; 3. Dingxi Meteorological Bureau, Dingxi, Gansu 743000, China)

**Abstract:** Based on the results observed in plots and from statistical analysis, vegetation coverage, species diversity, richness, number of species, index of grassland quality, and biomass percentage of palatable herbage are selected as the evaluation indices to study grassland degradation and protection countermeasures on the subalpine meadow. Using the typical ecological area on the grassland of subalpine meadow, the relationships between the evaluation indices and existing circumstances are analyzed. Results show that the quantificational indices reflecting the ecology of vegetation are considered in the method. The indices are closely related each other and are correlative. They are easy to be derived and applied, in accord with the local conditions of the ecological quality, and can be used to scientifically and objectively appraise the regional ecological quality on the grassland of subalpine meadow. Excessive grazing, excessive and disordered mining, human destruction, and biological chain unbalance are artificial factors of grassland ecology degeneration. Therefore, to control excessive grazing, stop excessive and disordered mining, and build some natural preservation areas are the protection countermeasures of ecology and environment.

**Keywords:** ecological quality; evaluation index system; subalpine meadow

青藏高原是中国主要畜牧业基地之一, 草地资源丰富, 牧草品质优良, 是发展草地畜牧业的物质基础<sup>[1]</sup>, 然而, 目前青藏高原草地退化严重。据不完全统计, 青藏高原约有  $4.5 \times 10^7 \text{ hm}^2$  退化草地, 约占青

高原草地总面积的 1/3, 其中严重退化的次生裸地——“黑土滩”, 约占退化草地面积的 16.5%<sup>[2]</sup>, 已经威胁到当地的生态与环境、生物多样性保护和畜牧业的发展<sup>[1,3]</sup>。为保护青藏高原的生态与环境, 恢复治理

收稿日期: 2008-06-20

修回日期: 2008-07-21

资助项目: 中国气象局成都高原气象研究所高原气象开放基金项目 (IPM2006014); 2008 年国家气象行业科研专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究”; 科技部科研院所社会公益研究专项 (2005DIB3J100); 干旱气象科学研究基金项目 (IAM200711) 资助

作者简介: 张秀云 (1963—), 女 (汉族), 甘肃省通渭县人, 工程师, 主要从事应用气象业务。E-mail: dxzhangxiuyun@163.com。

通信作者: 姚玉璧 (1962—), 男 (汉族), 甘肃省通渭县人, 学士, 高级工程师, 主要从事气候对农业影响研究。E-mail: yaoyubi@163.com。

退化草地,需要充分了解草地退化演替过程中的一些生物学过程和特征。目前在国内外此类研究大多集中在内蒙古草原和东北草原上<sup>[4-5]</sup>,关于青藏高原亚高山草甸上的研究报道相对较少。为此以青藏高原亚高山草甸中具有代表性的甘肃省玛曲县亚高山草甸为对象,在实地测定大量样方和统计分析的基础上,选取评估指标,制定亚高山草甸类草地生态质量的评估指标体系。选择各级别典型生态区域实例对比分析,为生态保护和生态恢复治理提供科学依据并为亚高山草甸生态系统的退化程度诊断提供量化指标。

## 1 研究区域概况

甘肃省玛曲县地处青藏高原东端,地理坐标为 33°06'30" — 34°30'15" N, 100°45'45" — 102°29'00" E。海拔 3 300 ~ 4 806 m。年平均气温 1 ~ 2 °C;年降水量 615.5 mm;5—9 月降水量 508.9 mm,占全年总降水量的 83%;雨热同季;年日照时数 2 583.9 h;最热月为 7 月,平均气温 10.7 °C,最冷月 2 月平均气温 - 7.1 °C。该区域拥有大面积亚高山草甸类草场,被誉为亚洲最好的牧场之一。草场植被的种类组成丰富,种的饱和度为 40 ~ 45 种/m<sup>2</sup>,覆盖度 75% ~ 90%,草高 20 ~ 50 cm,植被以中生禾草和莎草为主,杂以少量湿中生、旱中生植物。草本植物有短根茎密丛蒿草、苔草,疏丛、密丛禾草和杂类草。土壤为棕壤草甸和亚高山草甸土。这里既是黄河上游草地生态脆弱区,又是黄河补充水量关键区和水量变化敏感区。

## 2 草地退化评估指标的筛选及量化值的确定

### 2.1 草地退化评估指标的筛选

在区域草地生态背景条件相一致的情况下,区域草地生态的好坏,主要是受草地植被的表征性指标特征控制。从亚高山草甸的生态特征来看,其生态的变化动态主要体现在植被的覆盖度、物种组成、群落的结构、物种多样性、草地质量、优良牧草比例等指标,而反映群落差异和结构好坏的主要指标包括:植被覆盖度、物种多样性、群落物种组成、优势种所占比例等方面。从理论上讲,植被的覆盖度是反映植被茂盛程度的一个直接指标,一般来讲,植被的覆盖度越高,其茂盛程度越高,对区域生态的影响和作用也越大。因此,在选取评估指标时,单纯考虑植被盖度往往会产生偏差甚至是差错。因此,在选取植被盖度作为评估指标的同时,还应当考虑群落的结构特征和优势物种的比例<sup>[6-7]</sup>。通过对亚高山草甸植被结构特征和植被退化影响后的植被变化特征分析研究发现,植物群落的结构不仅与盖度密切相关,同时与物种结构和优良物种

的比例密切相关。除盖度外,亚高山草甸的特征性指标就是物种多样性和物种丰富度指标,一般来讲,物种丰富、群落结构复杂,则群落越稳定。亚高山草甸同样遵循上述原理,根据现场对群落结构相对稳定和生态良好的亚高山草甸物种种类的调查结果,一般物种种类在 25 ~ 35 种/m<sup>2</sup> 的群落是相对稳定和良好的。

### 2.2 评估指标量化值的确定

亚高山草甸在大环境背景条件相一致的情况下,区域生态质量好坏主要与植被的自身结构、特征有关。根据评估指标因子的选取原则,为了准确全面地制定亚高山草甸生态环境的各项评估因子的量化标准,我们选定了亚高山草甸不同分布区生态条件相对较好,受人为影响相对较轻的地区布设样线(剔除样线内受到人为明显影响和明显退化地区的样方),利用 1 m × 1 m 的样方对植被特征进行实地调查。主要调查统计植物群落的盖度、高度、频度、德氏多度;物种种类、分盖度;物种发育物候、生长势等。然后计算统计群落的总盖度、植物物种多样性指数、丰富度指数、物种种类数、草地质量指数、优良牧草比例等指标。生物多样性指数<sup>[8]</sup>的计算包括如下两种指标。

(1) 植物丰富度指数:  $S = n$

(2) 植物多样性指数(Shannon—Wiener)。

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

式中:  $i = 1, 2, \dots, S$  为物种序号,  $S$  ——群落内物种总数;  $P_i$  ——第  $i$  个物种的重要值之比值,即  $P_i = n_i / N$ ,  $n_i$  ——种  $i$  的重要值;  $N$  ——总重要值。

牧草质量按张大勇等<sup>[9]</sup>提出的草场质量指数(index of grassland quality, IGQ) 来评估。牧草按其适口性划分为 5 类(优、良、中、差、毒),适口性值依次为 3, 2, 1, 0, - 1。

$$IGQ = \sum_{i=1}^3 (i S_i)$$

式中:  $i$  ——不同种的适口性值;  $S_i$  ——样方中各个种的分盖度。

通过统计计算及对比分析,确定亚高山草甸植被退化等级评估指标值列于表 1。实况对比分析值列于表 2。

## 3 草地退化现状对比分析

### 3.1 未退化区域

亚高山草甸类草场未退化区域,草场植被的种类组成丰富,种的饱和度为 40 ~ 45 种/m<sup>2</sup>,覆盖度 80% ~ 90%,植被以中生禾、莎草为主,杂以少量湿中生、旱中生植物。草有短根茎密丛蒿草、苔草、疏丛、密丛禾草和杂类草。草高 20 ~ 50 cm,每 0.42 hm<sup>2</sup> 可饲养一只绵羊。如表 2 中玛曲县牧业气象观测站。

表 1 亚高山草甸植被退化等级评估指标

| 等级   | 盖度/ %   | 植物多样性指数     | 植物丰富度指数 | 植物物种数/(种·m <sup>-2</sup> ) | 草地质量指数    | 优良牧草比例/ % |
|------|---------|-------------|---------|----------------------------|-----------|-----------|
| 标准指标 | > 80    | > 1.90      | > 17    | > 30                       | > 2.5     | > 80      |
| 轻度退化 | 60 ~ 80 | 1.40 ~ 1.89 | 12 ~ 17 | 20 ~ 30                    | 1.8 ~ 2.5 | 40 ~ 80   |
| 中度退化 | 40 ~ 59 | 0.80 ~ 1.39 | 7 ~ 16  | 15 ~ 20                    | 1.0 ~ 1.7 | 10 ~ 40   |
| 重度退化 | < 40    | < 0.80      | < 7     | < 15                       | < 1.0     | < 10      |

表 2 亚高山草甸植被退化生态评估实例

| 区域         | 盖度/ % | 植物多样性指数 | 植物丰富度指数 | 植物物种数/(种·m <sup>-2</sup> ) | 草地质量指数 | 优良牧草比例/ % | 评估结果 |
|------------|-------|---------|---------|----------------------------|--------|-----------|------|
| 玛曲县牧业气象观测站 | 95.3  | 2.23    | 19      | 35                         | 2.56   | 85.3      | 良好   |
| 玛曲县尼玛乡天然草场 | 75.2  | 1.85    | 20      | 40                         | 2.35   | 77.5      | 轻度退化 |
| 牧民定居点附近    | 48.5  | 1.23    | 15      | 20                         | 1.56   | 38.9      | 中度退化 |
| 黑土滩区域      | 30.6  | 0.76    | 6       | 10                         | 0.56   | 9.5       | 重度退化 |
| 黄河沿岸沙化区    | 6.5   | 0.43    | 5       | 8                          | 0.23   | 4.2       | 重度退化 |
| 格尔柯金矿弃土场   | 2.3   | 0.30    | 4       | 6                          | 0.10   | 2.3       | 重度退化 |

### 3.2 轻度退化区域

亚高山草甸类草场轻度退化区域较未退化区域盖度降低,草地质量指数下降,优良牧草比例降低,而植物多样性指数降低不多,有些区域反而上升,植物丰富度指数增加,植物物种数也增加(见表 1)。由此可见,从生物多样性的角度出发,草原的保护应有食草动物的适当放牧,草原植物资源的科学经营应以高植物多样性和高生产力为目标。

### 3.3 中度退化区域

亚高山草甸类草场中度退化区域较未退化区域盖度明显降低,草地质量指数明显下降,优良牧草比例明显降低,而植物多样性指数、植物丰富度指数、植物物种数降低不多。牧民定居点附近因牲畜过度采食践踏,多为中度退化区域。

### 3.4 重度退化区域

3.4.1 黑土滩 所谓“黑土滩”,是由于过牧、鼠害以及冻融、风蚀和水蚀所引起的重度退化草地,主要表现为植被稀疏、盖度极低、植物多样性指数、植物丰富度指数、植物物种数明显降低,草地质量指数、优良牧草比例极度下降,草原生产力大幅度降低,土地裸露,土壤结构及理化性质变劣,水土流失及土地荒漠化加剧。玛曲县“黑土滩”面积 26 667 hm<sup>2</sup>,占草场总面积的 2.81%。

3.4.2 土地沙漠化 据玛曲县历史调查,在 20 世纪 50 年代该县还没有土地沙漠化现象发生,到 60 年代开始有零星沙漠化土地和小沙丘出现。此后,随着草地的退化,沙漠化面积逐渐扩大,且发展速度越来越快。80 年代该县沙化总面积为 1 440 hm<sup>2</sup>,而到 1999 年该县全县草场沙化面积达 6 080 hm<sup>2</sup>,其中流动沙丘 2 020 hm<sup>2</sup>,固定沙丘 4 060 hm<sup>2</sup>,沙化草场面积占全县总土地面积的 0.63%<sup>[10]</sup>。到 2001 年每年增加

128.2 hm<sup>2</sup>,年增速为 6.7%。2004 年达到 5.33 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>。据 2003 年调查,草场退化面积达 7.47 × 10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup>,占全县可利用草场面积的 90%,其中重度退化草场面积达 3.31 × 10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup>,占全县可利用草场面积的 39.84%。

3.4.3 人为滥采乱挖 玛曲草场拥有秦艽(*Gentiana stramonium*)、甘肃贝母(*Fritillaria przewalskii*)、冬虫夏草(*Cordyceps*)、红景天(*Rhodiola sinensis*)等许多名贵中草药和藏药,20 世纪 80 年代中后期以来,受市场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 1 kg 市场收购价为数百元,80 年代后期每 1 kg 市场收购价为数千元,2000 年以后每 1 kg 市场收购价涨到数万元。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,草场退化、沙化,水土流失加重,生态功能弱化。玛曲县格尔柯金矿区 3.7 km<sup>2</sup> 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<sup>2</sup>,2 500 m 长的露采边缘和 2 000 m 长弃土弃渣场边坡失稳,600~700 m<sup>3</sup> 弃土弃渣随意堆放,7 处矿洞存在严重安全隐患,每年有 5.0 × 10<sup>4</sup> ~ 1.0 × 10<sup>5</sup> t 有毒有害污水渗入地下。

## 4 讨论与对策

### 4.1 讨论

(1) 按照亚高山草甸类草场的植被演替发展特征,利用该地区的主要生态表征性指标来评估生态质

量,能够客观反映其生态质量特征,是当前评估亚高山草甸类草场生态质量的良好方法和评估指标体系。但由于各个等级的级差主要根据经验划定,难免存在误差。另外,各个级差的阈值有一定的变化区间,评估结论难以区分同一级差内不同变幅之间的差异。因此,统一级差内的质量评估尚有待于进一步的研究制定。

(2) 由于牧民定居点附近长期过度放牧导致草地严重退化,草场质量和可食牧草比例都很低,进而导致草地多样性丧失和健康恶化,而远离牧民定居点处则由于草场所受放牧干扰轻,所以保持着原生未退化状态或轻度退化状态。

(3) 在本研究中,植物丰富度指数和多样性指数在轻度退化阶段最大(表 2),放牧所引发的草地补偿性生长能够提高系统生产力水平,因此,适度放牧是保护草地生物多样性,维护放牧生态系统功能与健康,发展草地生态生产力的有效途径。当亚高山草甸由未退化到重度退化时,面临着产草量下降,地上生物量锐减,生物多样性丧失,生态平衡失调等严重后果,恢复治理刻不容缓。

#### 4.2 退化草地生态保护对策

玛曲县是黄河上游草地与湿地生态脆弱区,黄河补水关键区、敏感区,是黄河上游重要的水源涵养和生态屏障区域,也是西部少数民族重要聚居区。实现区域生态环境友好和畜牧业的可持续发展,具有十分重要的生态安全、民族团结和政治稳定等多重战略意义。

(1) 建立黄河首曲玛曲湿地自然保护区。黄河在玛曲县境内补充水量占黄河总水量的 45%,其主要水源来自被誉为为黄河的“黄河天然蓄水池”的首曲湿地。对黄河水源具有特殊的调节作用,在丰水期大量存蓄黄河及支流的河水、降雨等,而在枯水期随着河面的下降将存蓄的水资源补给黄河。只有建立自然保护区,才能有效保护湿地生态系统。甘南黄河重要水源补给区的生态功能区已列入国家“十一五”规划的限制开发保护区域,应依此为契机,建立玛曲湿地自然保护区,保护高寒沼泽湿地和亚高山草甸。

(2) 进一步落实草场承包责任制。20 世纪 80 年代初,玛曲县实行了牲畜承包经营责任制,由于草场并未承包到户,当地牧民认为“草原无主,放牧无界,使用无偿,建设无责,破坏无罪”,便对草原进行掠夺性开发利用,为追求经济利益而大规模扩大牲畜数量,这样经过 20 a 多的超负荷放牧,当地优质草场严重退化甚至变成了沙漠。面对目前天然草场退化的现状,要从根本上对其进行治理,要进一步落实草场承包责任制,草场承包到户,长期使用,使草原的用、管、建与责、权、利相结合<sup>[11]</sup>。

(3) 控制放牧强度。天然草场退化、沙化的重要原因之一是草场超负荷过度放牧,因此必须严格控制草场放牧强度。而放牧强度的大小应由草场年产草量的多少来确定,即以草定畜。只有科学合理地控制放牧强度,才能减轻草场压力,真正给予天然草场休养生息的时间和空间,让天然草场进行自然恢复与更新,走可持续发展之路。

(4) 转变思想观念,提高生态与环境保护意识,防止滥采乱挖。对牧民进行科技培训,让当地牧民明白草原并不是他们所想象的取之不尽,用之不竭的自然资源,它虽然可以再生,但如果不合理利用,最终会导致草场退化、沙化,使他们失去赖以生存的物质基础而被迫退出草场。要让牧民知道草原并不仅仅通过畜牧业带来经济效益,而且还具有涵养水源,保持水土,防风固沙,生物多样性保护,基因库,游憩与娱乐等生态功能,它对于调节黄河水量、泥沙量、小气候及维持黄河上游生态系统稳定性具有极其重要的作用。在合理开发利用草场资源的同时,更要珍惜、爱护和保护天然草场,防止滥采乱挖<sup>[12]</sup>。

(5) 治理退化草地生态与环境。以治理草场“三化”为重点整治生态环境。对中度退化草场实行一定时期的禁牧封育,促进牧草资源休养生息;对重度退化草场要加大连片治理力度。

人工植被恢复对荒漠化土壤具有很好的改善作用,随着流动沙丘逐步被固定,机械组成中砂粒逐渐降低,黏粒和粉粒含量逐渐提高,土壤有机质和养分含量及土壤中 CEC 逐渐提高。土壤 pH 值变化不大,碳酸钙只是在表层升高。实施飞机补播牧草,提高草被恢复能力;对潜在退化区,要加强草场监测,及时调整人类活动方式和强度。禁止捕杀草原益鸟益兽,保护鼠虫天敌,最大限度地利用草地生态系统的自然调节功能控制鼠虫害的发生发展。针对不同草地类型和不同草地退化程度,采取不同的改良措施度退化。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李文华,周兴民. 青藏高原生态系统及优化利用模式[M]. 广州:广东科技出版社,1998.
- [2] 马玉寿,郎百宁,王启基.“黑土型”退化草地研究工作的回顾与展望[J]. 草业科学,1999,16(2):5—9.
- [3] 周华坤,周立,赵新全,等. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理[J]. 生态学杂志,2003,22(5):51—55.
- [4] Li Y H. Impact of grazing on *Aneurolepis diurna chinensis* steppe and *Stipa grandis* steppe[J]. Acta Oecologica,1989,10:31—46.

年平均气温在波动中逐渐上升,主要表现在 90 年代增温明显。年平均风速波动剧烈,总体呈下降趋势;1988 年风速下降明显,2004 年以后风速有回升趋势。气候由 80 年代的“冷湿型”转变为“暖干型”。在降雨量、风速和相对湿度下降的同时,气温与日照时数增加,对全区农作物种植提出了严峻挑战,能否选育适合当地的种植品种尤为重要。

表 1 延安气候生产力 NPP 年代际变化

| 年代        | 年代平均 NPP/<br>( $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ ) | NPP 距平<br>百分率/ % |
|-----------|--|------------------|
| 1980—1989 | 634.38   | - 2.97           |
| 1990—1999 | 655.41   | + 0.33           |
| 2000—2007 | 674.08   | + 3.09           |
| 多年平均值     | 653.24   | —                |

(2) 近 30 a 延安地气候生产力在波动中总体呈增加的趋势,但递增趋势不明显;80 年代处于“冷湿型”气候,加之 80 年代后期气温下降明显,80 年代气候生产力呈负增长。90 年代以后气温逐渐回升,但由于降雨量减少明显,气候生产力增加不显著。

(3) “暖湿型”气候对作物气候生产力最有利,而“冷湿型”气候对作物气候生产力最不利。由于该区水热条件的制约,生物生产周期短,周转慢,加大必要的启动投入才可能产生良好的经济效益。

(4) 本文利用 Memorial 模型研究了气候变化而导致气候生产力改变对农业生产的影响,此方法计算简单、准确率较高,对当地作物种植结构的优化、作物合理布局可提供依据和参考,在农业生产中有着广泛的应用前景。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 宋连春. 干旱地区气象研究[M]. 北京:气象出版社, 1999:115—131.
- [2] 陈国南. 用迈阿密模型测算我国生产量的尝试[J]. 自然资源学报,1987,2(3):270—278.
- [3] 侯光良,游松才. 用筑后模型估算我国植物气候生产力[J]. 自然资源学报,1990,5(1):60—65.
- [4] 张宪洲. 我国自然植被第一性生产力的估算和分布[J]. 自然资源,1993(1):15—21.
- [5] 陈利军,刘高焕,励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测[J]. 遥感学报,2002,6(2):129—135.
- [6] Lieth H,Whittaker R H. Primary Productivity of the Biosphere[M]. New York:Springer Verlag,1975.
- [7] 朱志辉. 自然植被净第一性生产力估计模型[J]. 科学通报,1993,38(15):1422—1426.
- [8] 姚玉璧,李耀辉,王毅荣,等. 黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):202—208.
- [9] 周广胜,张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究[J]. 植物生态学报,1996,20(1):11—19.
- [10] 王毅荣. 中国黄土高原干旱对全球气候变化的响应[J]. 西北大学学报:自然科学网络版,2004,2(8):90—94.
- [11] 蔡新玲,王繁强,吴素良. 陕北黄土高原近 42 年气候变化分析[J]. 气象科技,2007,35(1):2—4.
- [12] 高素华,潘亚茹,郭建平. 气候变化对植物气候生产力的影响[J]. 气象,1994,20(1):30—33.
- [13] 李正明,王毅荣. 黄土高原气候生产力演变分析[J]. 山西大学学报:自然科学版,2006,29(1):96—101.
- [14] 秦大河. 中国西部环境演变评估综合报告[M]. 北京:科学出版社,2002:56—66.
- [15] 周涛,史培军,孙睿,等. 气候变化对净生态系统生产力的影响[J]. 地理学报,2004,59(3):357—365.
- [16] 田志会,李凤琴,郭文利,等. 基于小网格的北京山区植物气候生产力及其限制因子分析[J]. 中国农业大学学报,2004,9(6):21—26.
- [17] 李三爱,居辉,池宝亮. 作物生产潜力研究进展[J]. 中国农业气象,2005,26(2):106—111.
- [5] Mukaiyama S. Degradation of grassland in Keerqin sand land, Inner Mongolia, China [J]. Grassland Science, 1998,44:109—114.
- [6] 马世震,陈桂琛,彭敏,等. 青藏铁路沿线高寒草原生态质量评价指标体系初探[J]. 干旱区研究,2005,22(2):231—235.
- [7] 马世震,陈桂琛,彭敏,等. 青藏公路取土场高寒草原植被的恢复进程[J]. 中国环境科学,2004,24(2):188—191.
- [8] 周华坤,赵新全,周立,等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. 草业学报,2005,14(3):31—40.
- [9] 张大勇,王刚,杜国祯. 甘南山地草原人工草场的演替[J]. 植物生态学报,1990,14(2):103—109.
- [10] 戚登臣,李广宇,陈文业,等. 黄河上游玛曲县天然草场退化现状、成因及治理对策[J]. 中国沙漠,2006,26(2):204—206.
- [11] 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[J]. 地理科学,2005,25(5):551—555.
- [12] 姚玉璧,邓振镛,尹东,等. 黄河首曲流域草地生态与自然退化成因及对策研究[J]. 草业科学,2007,24(12):87—93.

(上接第 145 页)