

近 40 年来江河源区草地生态压力动态分析

冯永忠^{1,3,*}, 杨改河^{1,3}, 王得祥^{2,3}, 胡良温⁴

(1. 西北农林科技大学农学院; 2. 西北农林科技大学林学院;

3. 陕西省循环农业工程技术研究中心 陕西 杨凌 712100; 4. 山西省气象科学研究所 山西 太原 030002)

摘要: 量化评价人类活动对区域生态系统的压力, 对客观认识人文因素干扰区域生态系统的演变程度及效应强度具有重要的意义。在系统总结前人对生态压力指数评价方法的基础上, 结合江河源区草地生态系统的现实情况, 将生态压力指数定义为草地现实承载力与理论承载力之比, 构建了生态压力指数评价模型, 并定量分析了江河源区果洛州、海南州、玉树州 1961~2002 年 40a 来的生态压力指数。结果表明畜牧业对该区草地生态压力负荷较大; 相对于温度和降水等自然因素, 以放牧为主的人文因素在短期内对该区草地生态系统演变的作用更加剧烈, 从生态压力指数来看, 黄河源区下游的海南州的生态压力指数均大于 2, 已严重超载; 同时近 40a 的生态压力指数的动态变化还揭示了人文因素对区域生态环境演变的影响具有一定的时滞现象, 这种时滞现象和人文因素的强度、该区生态系统的承载能力和抗干扰能力具有一定的关系。

关键词: 江河源区; 草地; 生态压力

文章编号: 1000-0933(2009)01-0492-07 中图分类号: Q147, Q948, S812 文献标识码: A

Ecological stress in grassland ecosystems in source regions of Yangtze, Yellow and Lancang Rivers over last 40 years

FENG Yong-Zhong^{1,3,*}, YANG Gai-He^{1,3}, WANG De-Xiang^{2,3}, HU Liang-Wen⁴

1 College of Agronomy, Northwest A & F University

2 College of Forestry, Northwest A & F University

3 The Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China

4 Shanxi Meteorological Science Institute, Taiyuan, Shanxi 030002, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0492 ~ 0498.

Abstract: For many years the ecological stress caused by animal husbandry has been very high in the river resource regions, beyond the realistic carrying capacity of the grasslands, especially in Hainan prefecture. Using an ecological stress index defined as the ratio of realistic carrying capacity and theoretical carrying capacity of grassland, ecological stress indices of the Guoluo, Hainan and Yushu prefecture were calculated from 1961 to 2002. Evolution of the grassland ecosystem over the period was more seriously influenced by human factors than by natural factors such as temperature and precipitation changes. Numbers of sheep in the Hainan prefecture were much higher than the realistic carrying capacity. There appeared to be a time lag before the influence of human factors became apparent in the evolution of a river source region, which was related to the intensity of humanity activities, carrying capacity and the “anti-interference” ability of the grassland ecosystem.

Key Words: sources of Yangtze River; Yellow River and Lancang; grassland; ecological stress

生态压力指危及生物个体或种群的生长及生殖的外界干扰(如寒冷、干旱或饥饿等)及其所产生的生理

基金项目: 青海省重大科技攻关资助项目(2002-N-106); 西北农林科大专项资助项目(07ZR022)

收稿日期: 2007-07-22; 修订日期: 2008-11-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fengyz@nwsuaf.edu.cn

效应,或者是指危及生态系统稳定性的外界干扰(如人口增长、资源短缺或环境污染等)及其所产生的生态效应。人类生产活动是区域生态系统所面临和承受的干扰因素之一,随着人口的增加和人类活动的加剧,区域生态系统的水、土壤、生物和矿产资源等构成要素所承受的压力越来越大,如何定量评价人类生产活动对区域生态系统的干扰、以及在人类生产活动干扰之下区域生态系统的自我维持能力是当前生态学研究的主要问题之一。

生态压力是进行区域生态安全、生态系统自我维持能力和人类干扰程度的主要方法之一。当前利用生态压力评价区域生态安全和可持续发展的研究,主要集中在区域内人口增长对水资源、土地资源、能源资源的承载能力的研究方面^[1~4];生态压力定量计算方法主要有资源承载力、生态足迹法、绿色核算法(green accounting)、能值(energy)分析法、环境质量法、污染物排放指标法、系统动力学法、投入产出法、多元统计分析法等^[5~7],世界经济合作和开发组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)共同提出的压力-状态-响应模型(PSR 模型)等^[8],以多个指标的综合评价为主^[9]。当前对于生态压力的研究,以静态评价为主,时间序列上的动态评价较少。本研究以青海省江河源区为例,通过分析江河源区人类生产活动的特点,利用压力-状态-响应原理,构建畜牧业生产活动对江河源区高寒草地的生态压力指数模型,定量分析 1961~2002 近 40a 江河源区草地生态压力指数的动态变化,客观评估江河源区人类放牧活动对该区草地生态系统演变的干扰程度,以为江河源区可持续发展和生态建设提供科学的理论依据。

1 研究区概况和生态压力指数计算方法

1.1 研究区概况

江河源区位于青藏高原腹地,流域范围包括江源区和河源区,江源区指长江源区和澜沧江源区,流域面积为 194578km²;河源地区主要指黄河源区,流域面积为 123612km²(不包括甘川大转弯)。江河源区地理位置介于东经 89°24′~102°41′,北纬 31°39′~36°16′,海拔 3450~6621m 之间。黄河、长江、澜沧江在青海省境内向下游输出水量分别占其流量的 49.2%、25% 和 15%,是流域内唯一产水量大于用水量的地区^[10,11],是我国长江、黄河中下游及东南亚地区生态环境安全和区域可持续发展的生态屏障^[12]。近年来,由于以气候为主的自然因素和人类活动的加剧,江河源区草地资源退化很严重,中度以上退化的草场面积达 1032.3 万 hm²,占该区域草地总面积的 35%;其中“黑土滩”面积达 200 多万 hm²。与 20 世纪 50 年代相比,单位面积产草量下降了 30%~70%,牧草群落、种类组成发生了变化,优良的优势牧草种群退化,致使部分草场的放牧功能丧

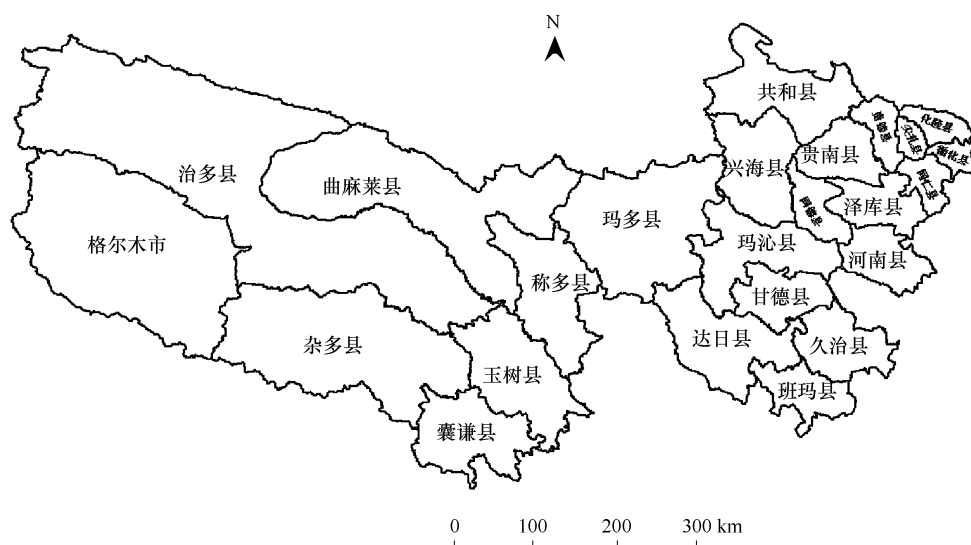


图 1 江河源区示意图

Fig. 1 Map of the Rivers Sources

失。如 1988 ~ 1998 年 10a 间, 全区草地面积和草地可利用面积分别增加了 196.16 万 hm^2 和 10.53 万 hm^2 , 但利用率却下降了 6.7%。根本原因是草地质量退化, 毒杂草型草地面积的增加。黑土型退化草地 333.3 万 hm^2 , 主要分布在长江、黄河、澜沧江源头地区; 鼠害发生面积与退化草地面积的发生是相关的。草地退化严重的玛多、达日两县, 鼠虫害也最为严重, 分别占全州鼠虫害面积的 52.02% 和 20.25%。因此, 如何客观、科学评价这一地区以草地为主体的生态系统压力, 对正确认识和制定该区生态可持续发展的保护措施和决策提供理论依据。

1.2 生态压力计算方法

国内外对生态压力的定义尚未有统一的界定, 生态压力一般指外界因素诸如气候聚变等自然因素或者人类农业生产、放牧以及工业生产活动导致区域生态系统的物种、群落组成、水和能源资源等构成要素变化的程度。人类生产活动本身很复杂, 区域生态系统演变的作用机制因人类活动方式的不同而不同, 很难直接定量分析人类生产活动对区域生态系统的动态干扰程度。本研究引进生态压力指数概念, 利用生态压力指数的动态变化定量分析不同时期人类活动对江河源区草地生态系统的干扰程度。

江河源区人类生产活动的类型比较单一, 主要以畜牧业为主, 因此, 放牧制度是干扰该区草地生态系统演变的主要外界因素。放牧制度包括畜群数量、畜群结构、草场管理、放牧方式(固定放牧和游牧)等因素, 其中畜群数量是影响该区草地生态系统比较直接和主要的因素。在本文中, 对草地生态压力定义为单位草地面积现实载畜量, 而对于生态压力指数定义为单位草地面积初级生产量所承受的载畜量或者单位草地面积的理论载畜量和现实承载量之比, 属于一个无量纲的比值。在本文中, 利用理论载畜量与现实承载量的比值来计算生态压力指数。

生态压力指数 = 现实承载量/理论承载量, 即:

$$p = \frac{l_s}{L} \quad (1)$$

式中, p 为生态压力指数; l_s 为单位草地面积的现实承载量; L 为单位草地面积的理论承载量。

l_s 为典型地区现实畜群绵羊单位总数与该区草地面积的比值。畜群结构根据 1961 ~ 2002 年各地区统计局统计的畜群结构进行转换; 依据实地调查、牧民走访、专家访谈和现有研究成果确定该地区各类牲畜折算绵羊单位的换算关系, 成畜: 牛 4, 绵羊 1, 马骡 6, 驴 3, 山羊 0.8; 幼畜: 按相应成畜折半。典型地区草地面积来源于青海省草原总站调查数据^①。

L 单位草地面积的理论承载量以光温、降水生产潜力中较小的一个值与该地区草地利用率乘积除以 1 个成年绵羊单位 1a 内鲜草采食量。按公式(2)计算。通过实地调查和试验, 1 个成年的绵羊在该地区日均鲜草的采食量为 4.0kg:

$$L = \frac{w_i r_j}{4 \times 365} \quad (2)$$

式中, w_i 为草地生态系统温度或者降雨生产潜力; r_j 为第 j 类草地的草资源利用率,。

w_i 温度和降水生产潜力的计算模型, 经过数十年的发展, 已经在国际上的到了普遍的使用。由于温度和降水是江河源区高寒草地自然生产力的主要限制因子, 因此在本研究中利用修正后的迈阿密模型计算^[13], 这一模型在青藏高原同类型草地的承载量研究上已经做过修正, 转换后为鲜草产量, 单位为 kg/hm^2 。见(3)和(4)式:

$$w_{it} = \frac{856.90}{1 + e^{1.315 - 0.119t}} \quad (3)$$

$$w_{ip} = \frac{856.90}{1 - e^{-0.00084p}} \quad (4)$$

① 资料来源: 青海省草原总站, 青海省土地资源数据集, 1988 年 10 月。

式中, W_{it} 为温度生产潜力; W_{ip} 为降水生产潜力; 各地区草地气候生产潜力值根据李比希限制因子原理确定, 在温度潜力和降水潜力之间取二者之中最小的一个值; 1961 ~ 2002 年典型地区温度和降水资料来源于国家气象科学数据共享网站。

草地利用率参数 r_j 的确定是本研究比较关键的问题。2002 ~ 2005 年期间, 在进行江河源区生态环境演变与质量评价研究的科学考察期间, 通过在玛多县、玉树县、曲玛莱县、扎多、治多、囊谦县、五道梁、沱沱河和唐古拉等地区草地利用率实地调查、走访牧民和当地草原站管理人员以及专家座谈形式, 确定该区高寒干草原、山地干草原、山地荒漠类、平原荒漠类、高寒草甸类、山地草甸类和平原草甸类草地资源利用率, r_j 的取值范围见表 1。

表 1 r_j 的取值范围
Table 1 The value scope of r_j

高寒干草原 Alpine drought rangeland	山地干草原 Mountainous drought rangeland	山地荒漠草原 Mountainous wilderness rangeland	平原荒漠草原 Plain wilderness rangeland	高寒草甸 Alpine meadow	山地草甸 Mountains meadow	平原草甸 Plain meadow
0.1 ~ 0.15	0.1 ~ 0.25	0.2 ~ 0.3	0.25 ~ 0.35	0.3 ~ 0.35	0.35 ~ 0.45	0.45 ~ 0.7

7 类草地在江河源区有不同程度的分布, 其中高寒草甸和高寒干草原的面积最大, 分别为 1846.79 万 hm^2 和 253.89 万 hm^2 ^①, 是江河源区草地总面积的 90.58%, 玉树州和果洛州草场多属于此类, 因此, r_j 的取值介于 0.1 ~ 0.35 之间, 取其中间值为 0.25 进行计算。而在海南州其利用率较高, 可以达到 0.4。

根据青海省各地区统计局历年统计数据和江河源区 18 个典型地区气象站点气象资料, 利用公式(1)、(2)、(3)、(4), 计算出江河源区玉树州、果洛州、海南州 3 个典型地区 40a 的生态压力序列值(表 2)。

表 2 江河源区典型地区历年生态压力指数
Table 2 The ecology pressure index of the Guoluo, Yushu and Hainan in the River source

年份 Years	果洛州 Guoluo	玉树州 Yushu	海南州 Hainan	全区 The whole area	年份 Years	果洛州 Guoluo	玉树州 Yushu	海南州 Hainan	全区 The whole area
1961	0.76	0.46	2.17	1.13	1982	2.13	2.48	3.78	2.79
1962	0.90	0.55	2.34	1.26	1983	2.08	2.53	3.82	2.81
1963	1.03	0.75	2.60	1.46	1984	2.13	2.26	3.64	2.68
1964	1.12	0.87	2.88	1.62	1985	2.22	2.09	3.60	2.64
1965	1.39	1.12	3.26	1.93	1986	2.28	2.11	3.94	2.77
1966	1.54	1.26	3.38	2.06	1987	2.02	2.04	3.50	2.52
1967	1.63	1.56	3.71	2.30	1988	1.88	2.01	3.39	2.43
1968	1.86	1.78	3.75	2.46	1989	1.74	2.16	3.70	2.53
1969	1.91	1.77	3.51	2.39	1990	2.12	2.03	3.59	2.58
1970	2.00	1.87	3.19	2.35	1991	2.09	2.06	3.51	2.55
1971	2.02	2.09	3.27	2.46	1992	2.08	2.24	3.83	2.72
1972	1.95	2.00	3.11	2.35	1993	2.06	2.08	3.56	2.57
1973	2.23	2.24	3.40	2.62	1994	1.96	2.00	3.46	2.47
1974	2.19	2.28	3.44	2.64	1995	2.01	2.01	3.41	2.48
1975	2.03	2.24	3.59	2.62	1996	1.94	1.22	3.09	2.08
1976	2.27	2.40	3.75	2.81	1997	2.00	1.36	3.13	2.16
1977	2.73	2.60	3.92	3.08	1998	1.89	1.25	2.76	1.97
1978	2.65	2.69	3.73	3.02	1999	1.69	1.25	2.75	1.90
1979	2.44	2.62	3.37	2.81	2000	1.95	1.33	2.73	2.00
1980	2.28	2.55	3.52	2.78	2001	1.82	1.23	2.49	1.84
1981	2.04	2.56	3.36	2.65	2002	1.75	-	2.51	-

① 资料来源: 青海省草原总站, 青海省土地资源数据集, 1988 年 10 月。

2 结果分析

2.1 黄河源区生态压力特征分析

果洛州和海南州是黄河源区比较典型的两个地区。果洛藏族自治州位于青海省东南部,平均海拔在4200m以上,年均气温 -4°C ,一年中无四季之分,只有冷暖之别,具有典型的高原大陆性气候特征,主要以畜牧业为主,是青海省纯牧区之一。从1961~2002年40a的时间中,畜牧业对该州的生态环境压力指数变化可分为1961~1977年,1977~1981年,1981~1986年,1986~1989年,1990~1996年,1997~2002年,6个阶段。

1961~1977年为生态压力持续上升阶段,1977年达到该区历史最高水平为2.73,但这一阶段,该区的生态环境并没有表现出退化的迹象,是由于人类生产活动对环境的影响具有一定的时滞效应,而且在以畜牧业为主要生产方式的原生态环境背景环境下,短暂的生态压力指数增大,如果生态系统自我恢复能力比较高,那么这种暂时的生态压力不会对环境造成很大的伤害。

1977~1981年,这一阶段生态压力表现为较快的下降,从1977年的2.73下降到1981年的2.04,平均每年下降5.05%;1981~1986年的5a间该区生态压力表现比较稳定,而在1986~1989年的3a之间生态压力持续下降,从1986年的2.28下降到1989年的1.74,1990年又回升到2.12,其后从1991~1996年的6a中表现为比较稳定的趋势,在1997~2002年的6a表现为稳定下降趋势。

以果洛州为代表的黄河源区上游地区,生态压力指数变化比较剧烈,最高年份只有2.73,其中生态压力低于0.5的年份为0年,在0.5~1之间的年份只有2a,其余均高于1,占统计年份的95.3%,生态压力指数在1~2之间的年份为16a,占统计年份的38.1%,生态压力指数高于2的年份有24a,占统计年份的57.1%。一般来说当生态压力指数超过0.6时,可以认为该区草地生态系统超载,超过0.8时严重超载,因此,无论用哪一个标准衡量,黄河源区的果洛州在历史上很长的一段时间内一直处于严重超载过牧的状态。可以得出过度放牧是引起该区草地生态系统退化的主要因素。

海南州地处青藏高原东北部属典型的高原大陆性气候,其特征是大气稀薄,干旱少雨,光照时间长,太阳辐射强,气候温凉寒冷,气温年较差小、日较差大,是青海省重要的畜牧业基地之一。从1961~2002年40a的时间中,畜牧业对该州生态环境压力指数经历了1961~1972年,1972~1981年,1981~1992年,1992~2002年4个阶段。

1961~1972年之间,该区生态压力指数的变化呈现出1961~1968年之间持续增加和1968~1972年之间持续下降的特点,同样的变化特征也体现在1972~1981年,在1981~1992年之间,该区生态压力指数振荡比较剧烈,而在1992年之后该区生态压力指数持续下降。海南州的生态压力指数均大于2,在2~3之间的年份有9a,其余的均大于3。从压力指数的角度衡量黄河源区下游区段草地生态系统,均已严重超载(图2)。

2.2 长江-澜沧江源区生态压力特征分析

长江-澜沧江源区在行政区划主要指青海省玉树州,玉树州生态环境压力指数就能够反映长江-澜沧江源区的生态环境压力指数。从图3中可以看出,玉树州生态环境压力指数在1961~2001年40a的时间中,波动趋势相对较缓慢,从1961~1978的18a时间中,该区的生态压力呈上升趋势,由1961年的0.46上升到1978年的2.69,上升幅度达2.23,在其后的1979~1983的5a中基本在2.5的左右徘徊,生态压力指数保持稳定,而在1983年~1995的13a中处于一种缓慢降低的状态,特别在1995~1996年间,降幅达0.79,而在其后的几年一直处于比较稳定的状态。

在长江-澜沧江源区,生态压力指数在0~0.5之间的年份有1a,0.5~1(含1)的年份有3a,在1~2之间的年份有12a,其余年份均大于2,从生态压力指数的角度来看,江河源区草地生态系统在1963年之前的年份,压力较小,在1965年之后,压力指数超过1,已经严重超载,1978年达到高峰,在1996年之后,由于环保意识的提高和国家各项措施的实施,该区的生态压力大幅度下降,但是仍然处于超载状态(图3)。

3 结论和讨论

3.1 结论

通过构建生态压力指数模型对江河源区典型地区果洛州、海南州和玉树州生态压力指数进行了计算分

析,研究表明:

(1)黄河源区的果洛州与海南州和长江-澜沧江源区的玉树州草地生态系统单纯畜牧业发展的角度来考虑,从 20 世纪 60 年代至今,除个别年份外,该区的畜牧业均处于超载状态,而且大部分年份保持在一个比较高的水平,因此,畜牧业是该区草地生态系统退化的主要人文因素;

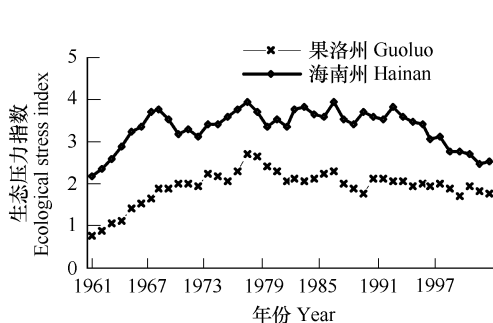


图 2 黄河源区典型地区生态压力指数动态变化

Fig. 2 Dynamic character of the ecological stress index in source region of Yellow River

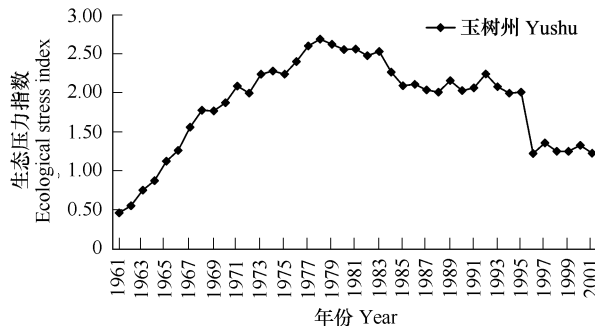


图 3 长江-澜沧江源区典型地区生态压力指数特征

Fig. 3 Dynamic character of the ecological stress index in source region of Yangtze River and Lancang

(2)从生态压力指数角度分析,在 20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期,该区生态压力指数最高,其生态环境退化的现象并没有真正显现出来,而是在 20 世纪 90 年代初,其退化现象才表现出来。因此,人文因素对区域生态环境演变的影响不是一蹴而就,而是具有一定的滞后现象,这种滞后现象和人文因素的强度、该区生态系统的承载能力和抗干扰能力具有一定的关系。

3.2 讨论

(1)江河源区草地生态系统的退化受自然和人类生产活动的双重支配,以气候为主的自然因素的变化同样会导致该区草地生态系统的退化。本研究在生态压力指数模型的构建上,并没有将气候因素本身的变化考虑到模型中,而是单纯考虑了畜群数量单一因素对该区草地生态系统的干扰,使得研究结果与客观情况有一定的出入,而单纯的从人类活动对区域生态系统干扰强度的评价角度来看,忽略这些因素一方面能够简化建模程序,使模型在定量化分析中减少对一些参数的苛求,另一方面通过对该区现有研究成果的比较分析,该模型的评价结果也能够比较客观的反映当前这一地区草地生态系统退化的现实情况,因此,这种建模具有一定的可行性。

(2)在本研究中主要考虑了放牧制度中以畜群数量一项指标表征人类生产活动对江河源区草地生态系统的干扰,畜群结构、草场管理等指标和其它诸如农业生产、工业生产、科教文化和宗教等人类活动没有纳入进去,特别是宗教文化渗透到江河源区牧民生产生活的方方面面,因此,在后续研究中如何将以上诸因素综合考虑在这一评价模型中,是今后该区草地生态压力评价的难点之一。

(3)从文中结果分析和调查实际情况来看,在江河源区,草地生态压力指数最高的时间,其实并不是该区草地退化最严重的时期,这说明人类活动对区域生态系统的干扰具有一定的时滞效应,尤其在江河源区比较显著。时滞效应和人类活动的强度、研究区生态系统的承载能力和抗干扰能力具有怎样的关系、时滞效应的周期有多长,如何进行定量分析,是今后在这一领域研究的重点。

References:

- [1] Huang S L, Hu J M. Analysis of population and ecology research in China. China Population, Resources and Environment, 2000(1):34-37.
- [2] Huang G Y, Chen X P. System dynamics analysis of land bearing capacity in Gannan Tibetan Autonomous Prefecture, Gansu Province. Journal of Lanzhou University(Natural Science Edition), 2003, (4):80-84.
- [3] Sun W, Hou Y, Zhang B. An approach to the fluctuation relation among land productivity, population pressure and weakness in ecotone. Acta

Ecologica Sinica, 2000, (3):369—373.

- [4] Wu P L. A quantificational and comparative analysis on the regional water resource pressure and water scarcity in China. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition), 2000, (3):369—373.
- [5] Monfmda C, Wackernagel M, Deumling D. Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. Land Use Policy, 2004,21(3): 231—246.
- [6] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. Measuring sustainable developmentwith the ecological footprint method take Zhangye prefecture as an example. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(9): 1483—1493.
- [7] Xu F L, Zhao S S, Du T T, *et al.* Quantitative Assessment for Economic Development Stress Status And Trends of Eco-Environment. China Population, Resources and Environment, 2004, (4):30—36.
- [8] Wang Z X, Zhu X D, Shi L, *et al.* Ecological security assessment model and corresponding indicator system of the regions along Huaihe River in Anhui Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006,17(12):243—243.
- [9] Chen R Q, Sun X H. A study of population pressure and ecological pressure in the cities of Shandong Province and their support for the region sustainable development. Territory & Natural Resources Study, 2003, (4):13—15.
- [10] Feng Y Z, Yang G H, Yang S Q, *et al.* Definition on the source regions of Yangtse River, Yellow River and Lantsang River. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition), 2004(1):11—14.
- [11] Feng Y Z, Zhu F M, Wang D X, *et al.* Eco-geographic scheme in the source regions of Yangtse River, Yellow River and Lantsang River. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition), 2004(2):1—4.
- [12] Dong S C, Zhou C J, Wang H Y. Ecological crisis and countermeasures of the Three Rivers' Headstream Regions. Journal of Natural Resources, 2002,17(16):713—720.
- [13] Yang G H. The Mode and Theory of Agricultural Development in the Area along the Yaluzanbu River and its Two Tributaries in Tibet. Xi'an: Shaanxi Science Press, 1994.7:56—89.

参考文献:

- [1] 黄胜利,胡金明.我国人口与生态压力分析. 中国人口·资源与环境,2000,(1):34~37.
- [2] 黄国勇,陈兴鹏. 甘南藏族自治州土地承载力的系统动力学分析. 兰州大学学报(自然科学版),2003,39(4):80~84.
- [3] 孙武,侯玉,张勃. 生态脆弱带波动性、人口压力、脆弱度之间的关系. 生态学报,2000,(3):369~373.
- [4] 吴佩林.我国区域发展水资源压力分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,(10):143~149.
- [7] 徐福留,赵珊珊,杜婷婷,等. 区域经济发展对生态环境压力的定量评价. 中国人口·资源与环境,2004,(4):30~36.
- [8] 王振祥,朱晓东,石磊,等. 安徽省沿淮地区生态安全评价模型和指标体系. 应用生态学报,2006,17(12):2431~243.
- [9] 陈瑞琴,孙希华. 山东 17 城市人口与生态环境压力对比分析. 国土与自然资源研究,2003,(4):13~15.
- [10] 冯永忠,杨改河,杨世琦,王得祥. 江河源区地域界定研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004,(01):14~17.
- [11] 冯永忠,朱芬萌,王得祥,杨改河. 江河源区生态地理区划. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004,(02):4~7.
- [12] 董锁成,周长进,王海英. 三江源地区的主要生态环境问题与对策. 自然资源学报,2002,17(16):713~720
- [13] 杨改河. 西藏一江两河农业区域开发潜力与模式及其理论研究. 西安: 陕西科学出版社, 1994.7:56~89.