

黄土高原泾河流域牲畜承载力分析

毕晓丽,王 辉,周 睿,洪 军,索安宁,葛剑平

(北京师范大学生命科学学院,北京 100875)

摘要:畜牧业是泾河流域北部地区的经济支柱产业。过度放牧使草地退化,土地沙化严重,是流域生态环境恶化的主要原因之一。根据降雨-植被-牲畜量之间的定量关系,利用泾河流域 1971~2000 年平均降雨数据,估算了泾河流域牲畜承载力的空间分布格局,并根据同期的各县市牲畜存栏数据和该区植被分布数据,分析各县市放牧压力的时空分布。对于泾河流域的牲畜承载力水平而言,目前是一个什么状况以及与理论上的最大承载力的可变动的空间如何,是研究的主要目的,以期为该区的农牧业合理布局及其退耕还林(草)工程具体实施提供科学依据和理论指导。

利用 DEM 对该流域近 30a 的降水数据空间插值,获得降雨空间数据,并以降雨-生产力-牲畜量的经验模型进行估算,研究结果表明以降雨 R 估算的泾河流域牲畜承载力空间分布自南向北逐渐变小。基于县域单元,对于表征放牧压力的牲畜放牧指数(SRI)而言,相对总面积的 SRI 只有环县、吴旗、定边、盐池和泾川 5 县超过 1,表明这 5 个县属于过度放牧区域,其它地区不存在牲畜超载现象;对于基于草地面积的 SRI,除了经济相对发达的西峰市、咸阳市区、兴平市和泾渭交界的地区部分县市小于 1,大部分地区的 SRI 值都大于 1,尤其是北部的环县、吴旗、盐池、定边等县,都超过 10 几倍,属于严重的超载放牧地区,超载放牧是北部地区土地沙漠化的主要原因,而北部区域是泾河乃至整个黄土高原的泥沙的主要来源,因此产生严重的生态影响。退耕还林(草)工程实施中应明确上述县市的严重的生态现象,并对这些区域的生态地位重点进行宣传教育。同时,表明基于草地面积计算的牲畜放牧指数较基于总面积计算的更具有现实意义。

关键词:牲畜承载力;降水;草地;净第一生产力(NPP);牲畜放牧指数(SRI)

文章编号:1000-0933(2006)12-4219-06 中图分类号:Q948,S811.5,S812 文献标识码:A

Analysis on the livestock capability of the Jinghe River basin on the Loess Plateau

BI Xiao-Li, WANG Hui, ZHOU Rui, HONG Jun, SUO An-Ning, GE Jian-Ping (College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4219~4224.

Abstract: Jinghe river, originated from the Liupan Mountain in Shannxi Province, is one of the secondary tributaries of the Yellow River. For the local residents of this basin, stockbreeding is one of the main economic income resource. Along with the economic development in Northwest China, overstocking became more and more severe in the basin, and came to the most crucial cause for grassland degradation and environmental deterioration. To the livestock carrying capacity of Jinghe River basin, what the present condition is and how to reach to a reasonable condition is the main purpose of this paper.

According to relationship among precipitation-vegetation-livestock numbers, in this study, the authors have collected the even monthly precipitation of 16 meteorological base stations and 200 rainfall stations and the even annual county-leveled livestock number data in this basin from 1971~2000, in addition to the vegetation classification data and the DEM(100m ×100m) data of the basin.

基金项目:国家“973”计划资助项目(C2000046802);国家“973”计划资助项目(2002CB111507);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20000002716);国家自然科学基金资助项目(30270254)

收稿日期:2005-09-16;**修订日期:**2006-04-16

作者简介:毕晓丽(1976~),女,山东德州人,博士生,主要从事种群生态学、生态系统生态学研究。E-mail: bixiaoli@163.net

Foundation item: The project was financially supported by Major State Basic Research Development Program of China (973 Program) (Grant No. C2000046802, No. 2002CB111507), Ph.D. Programs Foundation of Ministry of Education of China (No. 2000002716); National Natural Science Foundation of China (No. 30270254)

Received date: 2005-09-16; **Accepted date:** 2006-04-16

Biography: BI Xiao-LI, Ph. D. candidate, mainly engaged in the population ecology and ecosystem ecology. E-mail: bixiaoli@163.net

Using the DEM model, the spatial distribution of the annual precipitation of the basin was interpolated with the DEM data in this paper, and intersected with the vegetation classification data; the spatial distribution of grassland *NPP* were made based on the Thornthwaite model in which the model parameter was estimated. Through the relationship between annual precipitation and estimated grassland *NPP*, livestock carrying capacity of the grassland in the basin was evaluated employing the method proposed by Oosterheld. And then, we figured out spatial and temporal pattern of the stocking rate index (*SRI*), ratio of the actual livestock numbers and estimated stock carrying capacity of the grassland considered with climatic factors in the level of county. And the index denoted the livestock pressure.

The results showed as following: The grassland livestock carrying capacity exhibited a decreasing tendency as the fall down of the precipitation in the basin. But the livestock pressure showed a contrary tendency. To the *SRI* based on the whole land areas, only five counties were less than 1, such as Huanxian, Wuqi, Dingbian, Yanchi, and Wuzhong. However, based on the grassland areas, except the relative developed cities such as Xifeng, Xianyang, and Xingping, the *SRI* of most other counties all exceeded 1, especially Huanxian, and Wuqi, in the north of the basin with a developing economic condition showed a dangerous condition. At the same time, the northern part of the basin transported most sediments to the river, and even to the whole Loess Plateau. The results could propose appropriate plan for the return from the farmland to grassland project in Jinghe River basin. To the planning project in the basin, we should strengthen the ecological education in those areas with a higher *SRI* value. At the end, the comparison of *SRI* showed that (data) based on grassland areas could give a more scientific explanation than the one based on whole areas.

Key words: livestock carrying capacity; grassland; precipitation; *NPP*; *SRI*

草地是泾河流域主要的植被类型,在过去的几十年中经历了严峻的退化。一方面,由于气候原因,尤其是在半干旱区域,全球气候变化产生的干旱影响草地的生产力,进而影响到草地的畜牧承载力^[1,2]。另一方面,过度的人为干扰,使得草地退化、沙化状况严峻。

家畜与人的关系,由原来的人跟着家畜放牧的“畜人”关系,已经颠倒为人可以主宰一切的“人畜”关系。由于草地类型的生长周期性,畜牧业尤应关注时间地带性,过去人们对时间地带性认识不足,在人为强力干预下,在非牧期进行放牧,使草原遭受破坏,固然应该改正,但是如果矫枉过正,动辄不顾牧草的时间地带性规律,主观划分草原使用权,甚至过度地封闭饲养,严禁放牧,也带有很大的生态系统的盲目性。这类鲁莽行为违反了时间地带性的科学规律,既不利于放牧地,也有害于草食动物^[3~5]。

对于降雨-草地生产力-畜牧生物量之间的关系已经有人对自然的和农业的生态系统分析过。Cao 和 Yang 等人也采用模型来研究上述各个变量之间的关系^[6],Coe 等人基于非洲自然的生态系统数据建立了由降水量直接控制的预测模型^[7],Oosterheld 等人基于南美自然生态系统数据建立地面净生产力和草食动物生物量之间的回归模型^[8~11]。研究表明每单位净生产力所能支持的草食动物生物量大约是纬度依赖的。Yu 等人根据前人对中国东北样带 (NECT) 的研究结果,估算了内蒙古自治区的牲畜承载力^[12]。

泾河流域是一个半农半牧的流域,随着人类活动的干扰,农牧交错的这种格局更加明显。近 20a 泾河流域部分县市的草地面积变化从表面看大部分呈较弱的上升趋势,实际上是以草地质量退化为代价的,一些县市的畜牧数量已经超过了草地的承载力。畜牧业是泾河流域尤其是北部经济不发达地区的主要经济来源,譬如环县和盐池县。而南部农业发达的区域畜牧业还有多大的自然承载能力,关系到当地居民的切实利益。现今的泾河流域的牲畜承载力情况怎样? 以及如何达到一个更为科学的牲畜数量是本文的主要内容,通过建立泾河流域各县市牲畜承载力空间分布,分析基于县域单元的放牧压力时空分布,以为流域内农牧生产合理布局,提供科学依据。

1 研究区概况

泾河是渭河的主要支流,属于黄河的二级支流,发源于宁夏回族自治区泾源县关山东麓,由西北向东南流经宁夏、甘肃、陕西 3 省区的固原、平凉、庆阳和咸阳等地市,在陕西省高陵县注入渭河。泾河全长 483 km,流

域面积 45350 km²,流域内地形西北高,东南低,总体地势是东北西三面向东南倾斜。泾河及各级支流均深切于梁、塬、峁和黄土沟壑镶嵌的黄土地貌景观中,水土流失比较严重,多年平均侵蚀模数在 1 000 t/km² 以上。本流域属于大陆性气候,为暖温带—温带、半湿润—半干旱过渡带,气温南高北低,降水南多北少,年均气温 8~13℃,1 月份平均气温 -2~7℃,7 月份平均气温 24~27℃,年平均降水量 390~560 mm,年蒸发量 1 000~1 200 mm,无霜期 150~210d,降水集中于 7~9 月,约占全年降水量的 50%~60%,多以暴雨形式出现,旱灾较为频繁^[13]。

在泾河流域由于过度放牧和人为活动造成重度退化草地的比例很大。盐池县 20 世纪 60 年代的产草量为 2308kg/hm²,由于不合理放牧利用,到 20 世纪 70 年代降到 1164kg/hm²,下降了 50%。固原县的本氏针茅-大针茅草地,退化后变成了嗜口性很差的百里香-星毛委陵菜-本氏针茅草地,产量下降。放牧过度,长期超载是引起草地退化、旱化和沙化的原因。同一草地,长期放牧利用,频繁践踏,即载畜量过重,重牧次数多^[14]。

2 数据来源和计算方法

2.1 降水数据及地形数据分析

由于降雨受下垫面因素的影响,尤其是地形的影响比较大,针对不同区域特点,适当增加有效的地形变量或景观特征因子并结合空间分析和表面拟合技术,是提高降水模拟精度的新途径。前人结合 DEM 利用样条平滑方法对多因变量受干扰数据进行空间插值,结果比较理想^[15,16]。本文采用这种思路利用 DEM 校准降水的空间插值。DEM 数据是中国科学院地理所提供的 1:25 万全要素数据中的地形数据,分辨率为 100m×100m。在地理信息软件中,结合高程对泾河流域 16 个标准气象站和 200 个雨量站的 1970~2000 年 30a 的降水数据进行空间插值(图 1,图 2)。

2.2 牲畜数据来源及草地类型数据

根据分县统计年鉴中收集到的泾河流域 31 个县的经济数据,选取 1971~2000 年近 30a 的分县的牲畜存栏数据(大牲畜包括马、牛、驴、骡,小牲畜包括山羊、绵羊、猪)、同期的分县的草地面积、分县的总面积数据。

草地类型数据来自中国科学院地理资源研究所提供的泾河流域 2000 年土地利用数据,共分为农田、草地、森林、灌丛、城市用地、水体、未利用地等 7 种类型(图 3),将草地在地理信息系统软件 ArcGIS 中提取。分辨率为 30m,为使上述数据分辨率一致,将其他的空间数据进行重采样,统一成 30m 的分辨率。

2.3 牲畜承载力计算方法

根据泾河流域降雨、植被和各县市牲畜存栏数据,估算泾河流域牲畜承载力空间分布,对比实际的牲畜密度,分析各县市放牧压力的时空分布。

牲畜承载力的计算方法采用 Oesterheld 对中国的农牧交错样带建立的年降雨量和牲畜承载力之间的关系式^[8,12]:

$$NPP = a_0 + a_1 R \quad (1)$$

$$B = 101.01 \exp(1.602 \log(16.76(a_0 + a_1 R)) - 3.98) \quad (2)$$

式中, R 为年平均降雨量(mm), a_0 ($g \cdot m^{-2} \cdot mm^{-1}$), a_1 ($g \cdot m^{-2} \cdot mm^{-1}$) 是线性方程的截距和斜率, B 是以牲畜生物量表示的草地牲畜承载力($kg \cdot km^{-2}$)。

由于缺乏实际测量的 NPP 数据,对 NPP 的估计本文采用 Thornthwaite 纪念模型进行^[17]:

$$NPP_E = 3000(1 - e^{-0.0009695(E-20)}) \quad (3)$$

式中, NPP_E 为由实际蒸散量所求得的第一性生产力($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$),本文把其转换为 $kg \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$;3000 是 Lieth 经统计得到的地球自然植物在每年每平方米的最高干物质产量(g); E 为年实际蒸散量(mm),其 E 的计算公式为:

$$E = 1.05 P / \sqrt{1 + \left(\frac{1.05 P}{L} \right)^2} \quad (4)$$

式中, P 为年平均降水量(mm); L 为年平均最大蒸散量,它是温度 t 的函数, L 与 t 的关系式为:

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3 \quad (5)$$

只有当 $P/L > 0.316$ 时, (3) 式才适用; 若 $P/L < 0.316$, 则 $E = P$ 。

由 NPP_E 与年平均降雨建立线性回归方程, 得出 a_0, a_1 , 代入 (2) 中得出 B 的分布图。

对于泾河流域实际的每县的牲畜密度, 将其划分为大体重和小体重的两类。不同县市大、小牲畜比例是不一样的, 北部地区的小牲畜比例较高, 而南部地区的大牲畜比例较高。用 1971 ~ 2000 年近 30a 的分县的牲畜存栏数据 (大牲畜包括马、牛、驴、骡, 小牲畜包括山羊、绵羊、猪) 计算各种类型的牲畜所占的比例数, 这个比例用来计算基于县域的牲畜生物量密度值。根据 Humphrey 等人的工作计算各种类型的牲畜的平均体重, 得出的结果是牛 388kg, 马 325kg, 驴 318 kg, 骡 318 kg; 山羊 64 kg, 绵羊 44 kg。标准单元的牲畜生物量计算方法如下^[18]:

$$SSU = \sum w_{il} p_{il} n_l + \sum w_{js} p_{js} n_s \quad (6)$$

式中, SSU 为标准单元的牲畜生物量 (kg), w_{il} 和 w_{js} 是大小两类牲畜不同种类的体重, p_{il} 和 p_{js} 是不同的比例, n_l 和 n_s 是大小牲畜的数量。县域单元的牲畜密度是按照总的土地面积和草地面积两项分别进行计算的, 以便于后面的比较分析。

采用 Yu 等人用牲畜密度与降水依赖的承载力的比值定义放牧压力指数 (SRI , stocking rate indices)^[12], 通过比较放牧指数的空间分布可以看出放牧压力的分布与气候因子之间的关系。

3 结果与分析

结合点的降水数据与地形差值得出降水的空间分布情况 (图 4)。

NPP 空间估算结果与降雨空间插值结果进行栅格之间的统计分析, 回归关系可以用线性方程表示:

$$Y = 19.816 + 0.3506x \quad R = 0.79 \quad (7)$$

即 $a_0 = 19.816$, $a_1 = 0.3506$, 由 a_0, a_1 , 可以估算 B 的泾河流域牲畜承载力空间分布 (图 5), 可以看出随着降水量的减少自南向北泾河流域牲畜的最大承载能力逐渐变小。一般而言, 牲畜承载力随着降水的增加而增加。这是基于降水的畜牧承载力的一个估算, 可以理解成在自然条件下泾河流域最大的牲畜承载力。

基于县域单元的最大牲畜承载力是每个栅格的平均值, 各个县域单元的牲畜密度根据每县的畜牧生物量换算成单位质量, 分别除以该县的总面积和草地面积进行计算。作者在分析时发现同承载力比较出现不同的表现, 基于总面积计算的牲畜密度基本上都小于承载力, 而对于基于草地计算的牲畜密度则出现高于承载力的现象, 也可以说基于草地面积的牲畜密度更能准确的反映该地区的牲畜数量信息。对于总面积的牲畜放牧指数 (SRI) 只有环县、吴旗、定边、盐池和泾川 5 县超过 1, 表明这 5 个县属于过度放牧区域, 其它地区不存在牲畜超载现象; 对于草地放牧指数 (SRI), 除了经济相对发达的西峰市、咸阳市区、兴平市和泾渭交界的地区部分县市小于 1, 大部分地区的 SRI 值都大于 1, 尤其是在北部的环县、吴旗、盐池、定边等县, 都超过 10 几倍, 属于严重的超载放牧地区, 超载放牧使草地退化 (图 6, 图 7)。草地退化的最直接的生态环境影响就是土地沙漠化, 仅环县一县而言, 过度放牧, 加之人为的乱砍、滥伐, 致使林木稀少, 土壤沙化加速, 气候恶化, 约 520km 的沙漠线以每年 540m 的速度由西北向东南方向推进, 农业生态环境日趋恶化^[19]。

放牧压力是自然因素、社会因素的综合作用下牲畜量生产对本区自然生态系统作用的结果, 泾河流域北部地区多是半干旱区, 土地贫瘠, 经济发展缓慢, 人民生活水平低下, 畜牧业是主要的经济来源, 人口增加, 土地利用类型变化, 表面上草地面积逐年增加, 但是草地质量下降, 毒草、低质的草类生长, 因此形成严峻的形式。同时, 单位面积所养的牲畜量却逐年增加, 随之而来的是以更强烈的放牧压力为代价, 这就是泾河流域半干旱草原地区的实际情况。本文基于降水数据, 估算了泾河流域畜牧承载力的空间分布格局, 以实际的畜牧产量与自然状态下无干扰可承载的最大畜牧量进行比较, 空间化了泾河流域县域单元所面临的放牧压力的强度。放牧压力空间化旨在为了表征流域畜牧业发展的合理布局和县内畜牧业经济发展相比较提供条件。

根据本文从泾河流域牲畜承载力的空间计算结果, 从空间上合理规划各个区域的牲畜密度和牲畜分布状况, 对于那些 SRI 值大于 1 的北部经济落后县域, 应该严格限制自然放牧的数量, 同时兼顾经济效益, 应该在

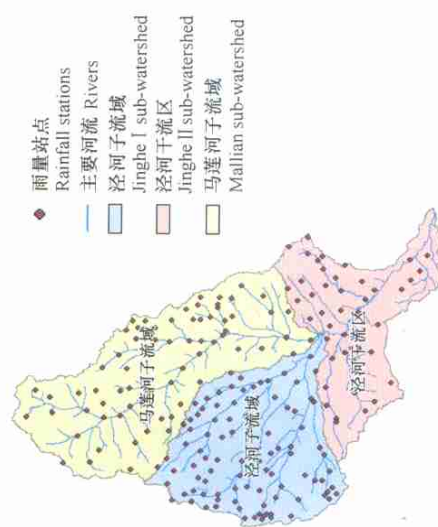


图1 泾河流域雨量站分布图
Fig.1 Location of rainfall stations

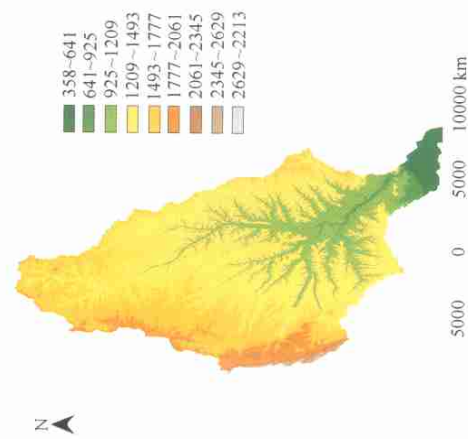


图2 泾河流域数字高程模型
Fig.2 DEM in the Jinghe River Basin

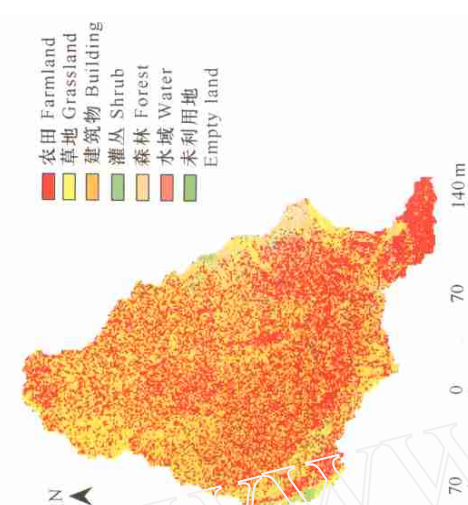


图3 泾河流域植被分类图
Fig.3 Vegetation classification of Jinghe River Basin

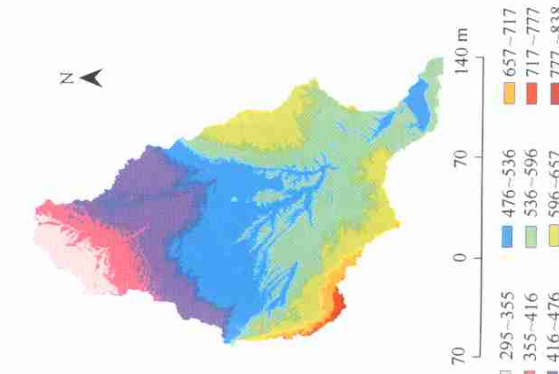


图4 泾河流域年平均降水
Fig.4 Annual precipitation in the basin

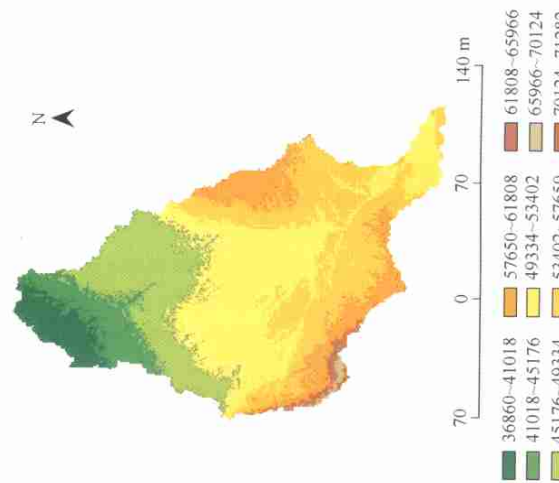


图5 基于降水的泾河流域草地牲畜承载力
Fig.5 The livestock carrying capacity distribution based on the precipitation in Jinghe River Basin

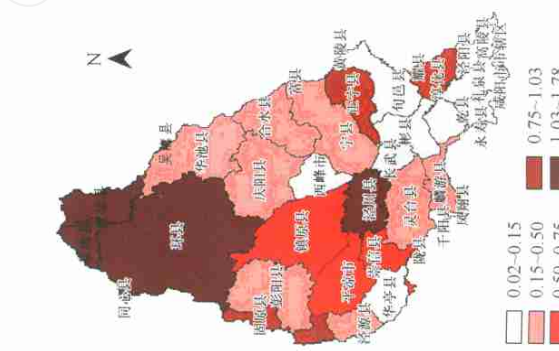


图6 基于总面积的SRI值空间分布
Fig.6 Based on the whole area the distribution of the SRI

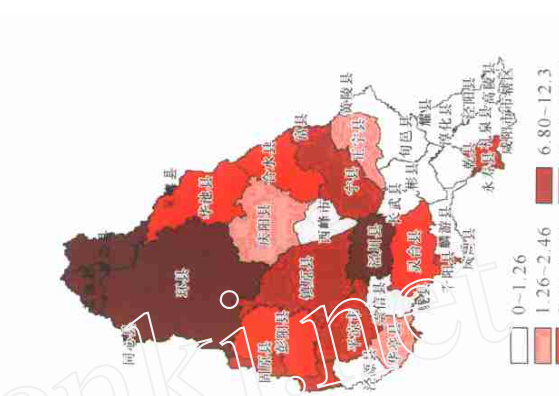


图7 基于草地面积的SRI值空间分布
Fig.7 Based on the grass area the SRI

改变放牧方式,比如增加放牧的流动性,文献研究增加放牧的流动性,提高草地质量和引进可以提高草原质量的物种等方法可以提高地上的净生物量来增加牲畜承载力。对于 SRI 值小于 1 的地区可以适当的增加放牧的规模,或者说是增加畜牧业的发展规模,但这些区域又要根据各区的特点分别对待,如西峰地处董志塬,以种植业为主,自然草地几乎已经不复存在,就不能再增加放牧的规模,但可以考虑圈养,以农作物秸秆或种植饲料作物来补饲牲畜。

另外,引进优质牧草进行丰产栽培。在退耕还林(草)地区,引进和推广以紫花苜蓿,无芒雀麦等品种为主的高产优质牧草,从中筛选出适应性强的主栽品种,大面积推广种植,建立草食畜生产稳固的饲草料基地。

References:

- [1] Helen Ware. Desertification and Population: Sub-Saharan. In: Michael H. Gantz. Desertification Environmental Degradation in and around Arid Land. Boulder, Colorado: West View Press, 1997.
- [2] Zev Navel. The Challenges of Desert Landscape Ecology as a trans disciplinary Problem-solving Oriented Science. Journal of Arid Environments, 1989, 17: 245 ~ 253.
- [3] Lin H L, Hou F J. Research progress and trends in system coupling and discordance for grassland agroecosystems. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(6): 1252 ~ 1258.
- [4] Wei Y R, Hao L, He J J. Development and application of monitoring and forecasting systems of animal husbandry on grassland in North China. Pratacul Tural Science, 2005, 22(5): 59 ~ 65.
- [5] Qin H L, Zhang S Q. The treatment on the livestock development of Gansu Province after the returning farmland to the grassland. Pratacul Tural Science, 2005, 22(1): 49 ~ 51.
- [6] Gao Q. A model of rainfall redistribution in terraced sandy grassland landscape. Environ. Eco. Stat, 1997, 4: 205 ~ 218.
- [7] Coe M J, Cumming D H. biomass and producing of large African herbivores in relation to rainfall and primary production. Oecologia, 1976, 22: 341 ~ 354.
- [8] Oosterheld M, Dibaba C M, Kerdiles H. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. Ecol. Appl., 1998, 8: 207 ~ 212.
- [9] Austin A T, Sala O E. Carbon and nitrogen dynamics across a natural precipitation gradient in Patagonia, Argentina. J. vegetation Sci, 2002, 13: 351 ~ 360.
- [10] Gao Q, Yang X. Modelling study on optimal harvest intensity of alkaline grassland ecosystems under climate change. J. Biogeogr, 1995, 22: 509 ~ 514.
- [11] Gao Q. A model of rainfall redistribution in terraced sandy grassland landscape. Environ. Eco. Stat, 1997, 4: 205 ~ 218.
- [12] Mei Y, James E E, Howard E E. Regional analysis of climate, primary production, and livestock density in Inner Mongolia, Ecosystem Restoration, 2004. 1675 ~ 1680.
- [13] Cheng J M, Wan H E. The vegetation restoration and the soil and water conservation, in the Loess Plateau in China. Beijing: Chinese Forest Press, 2001. 163 ~ 201.
- [14] Du F, Cheng J M. Sustainable development of Husbandry in Agricultural and husbandry interlaced belt of Loess Plateau. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(6): 115 ~ 120.
- [15] Sun P S, Liu S R. Large scale eco-hydrological model and its integration with GIS. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(10): 2114 ~ 2124.
- [16] Holechek J L. Range management: Principles and practices practice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1998.
- [17] Yan S J, Hong W, Wu C Z, et al. Impact of Climatic Variation on Net Primary Productivity of Natural Vegetation in Fujian in Recent 41 Years. Journal of Mountain Science, 2001, (6): 522 ~ 526.
- [18] Humphrey. Culture and environment in Inner Asia. Vol1: The pastoral economy and the environment. Cambridge: The White House Press, 1996.
- [19] Ma Y N. Treatment and questions on the agriculture ecological building in Huanxian. Gansu Agriculture Technology, 2004, (2): 3 ~ 6.

参考文献:

- [3] 林慧龙,侯扶江. 草地农业生态系统中的系统耦合与系统相悖研究动态,生态学报, 2004, 24(6): 1252 ~ 1258.
- [4] 魏玉蓉,郝璐,贺俊杰. 中国北方草地畜牧业监测预测系统的研制与应用,草业科学, 2005, 22(5): 59 ~ 65.
- [5] 秦红林,张苏琼. 甘肃省退耕还草后畜牧业发展应采取的措施. 草业科学, 2005, 22(1): 49 ~ 51.
- [6] 程积民,万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持. 北京:中国林业出版社, 2002. 19 ~ 23.
- [7] 杜峰,程积民. 黄土高原农牧交错区畜牧业可持续发展评析——以吴旗县为例. 水土保持学报, 2001, 15(6): 115 ~ 120.
- [15] 孙鹏森,刘世荣. 大尺度生态水文模型的构建及其与 GIS 集成. 生态学报, 2003, 23(10): 2114 ~ 2124.
- [17] 闫淑君,洪伟,吴承祯,等. 福建近 41 年气候变化对自然植被净第一性生产力的影响,山地学报, 2001, (6): 522 ~ 526.
- [19] 马永年. 环县农业生态环境建设中存在的问题及对策. 甘肃农业科技, 2004, (2): 3 ~ 6.