

从生态地理背景论草地畜牧业产业在黄土高原农业可持续发展中的战略地位

王国宏, 张新时

(中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

摘要:黄土高原要实现生态与生产双赢的目标, 契机是退耕还林还草, 突破口是建立能兼顾生态生产协调发展的支柱产业。从地形地貌、水热分布及自然植被特征的角度分析, 黄土高原实施以农为主或农林牧综合发展的方略, 均有悖于黄土高原生态地理背景。而草地畜牧业产业的生产要素及其过程, 在较大程度上吻合了黄土高原的生态地理背景, 具有生态的适应性和生产的有效性, 应作为黄土高原优化的生态生产体系建制中的支柱产业。未来黄土高原产业的发展格局, 应该是以草地畜牧业为主导, 农业和林业作为补充和完善的产业发展体系。此外, 未来黄土高原草地畜牧业家畜养殖方式, 应以舍饲养畜为主。

关键词:退耕还林; 生态地理背景; 草地畜牧业; 黄土高原

A perspective of developing an ecogeographical-adjusted and herbivore-based pastoral industry for the Chinese Loess Plateau

WANG Guo-Hong, ZHANG Xin-Shi (Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2017~2026.

Abstract: The Loess Plateau, a cradle of Chinese ancient civilization, has been affected by various forms of human activities for millennia. During the last century, fragmentation and degradation of ecological environments on the Loess Plateau have been accelerated due to the increasing population pressures and intensification of land use. Human's impacts on the Loess Plateau frequently lead to vegetation changes that take place faster than natural vegetation transformation, leading to severe soil and water losses. As a result, Loess Plateau has become an extremely degraded area both economically and ecologically and posed heavy barriers constraining both the economic development and ecological sustainability. To establish a dominant industry of environmental soundness and economic viability is critical for the sustainable agriculture development on the Loess Plateau. The Biological department of the Chinese Academy of Science(CAS) put forward an alternative about the industry focus for the Loess Plateau, suggesting that pastoral industry should have the priority in future agricultural development when corn production were self-supported. We believe that a successful agricultural industry should at large extent be adjusted to fit the ecogeographical background.

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018607), 国家自然科学基金项目资助(30270263)

收稿日期:2002-03-11; **修订日期:**2002-08-24

作者简介:王国宏(1963~), 男, 甘肃人, 博士, 副研究员, 主要从事植被生态学和生物多样性研究。

Foundation item: Supported by the State Key Basic Research and Development Plan of China (No. G2000018607) and the National Natural Science Foundation of China (No. 30270263)

Received date: 2002-03-11; **Accepted date:** 2002-08-24

Biography: WANG Guo-Hong, Ph. D., Associate professor, main research field: vegetation ecology and biodiversity. E-mail: ghwangaq@yahoo.com.cn

This paper, beginning with analyses of ecogeographical background on the Loess Plateau, focused on the possibility and potentiality of herbivore-based animal husbandry as a dominant industry supporting the sustainable agricultural development. A county-based ecogeographical database was elaborated. In addition, a natural vegetation survey, covering most part of the Loess Plateau (ranging from 34°54' to 39°06'N, 103°40' to 112°24'E, and from 844 to 2013 m a. s. l.), was conducted for the interpretation of the relationship between natural vegetation and its environment.

On the Loess Plateau, the major ecological problems are the accelerated soil and water erosion associated with dry land farming and free-grazing management. Reducing the intensity of land use or abandoning cultivated land was thought to be one of the possible ways of slowing and stopping the current loss of natural vegetation as well as soil and water. Based on the analysis of ecogeographical factors in relation to pastoral farming industry, the specific eco-geographical background, e. g., the loose loess substrates, densely distributed hillsides and gullies, and limited total precipitation while always pouring as torrential rain, extensive farming practice is obviously without promises on the Loess Plateau. On the other hand, the hydrothermic balance (represented by Penman's arid index and potential evaporation rate) as well as the environmental interpretation on natural vegetation pattern indicated that steppes was the dominant vegetation types in coinciding with the large-scale eco-climatic conditions, while secondary forests mainly occurred in higher elevations of several mountains. Thus, most of the previously cultivated farmland should be restored for grassland rather than forest, which would pose a solid foundation supporting the development of the herbivore-based pastoral industry. In summary, results from this study strongly hold that the herbivore based animal husbandry would be a promising industry bolstering the ecological improvement and economical development on the Loess Plateau. It should be emphasized that traditional free-grazing pastoral system must at large extent be replaced by penning pastoral system in the future development of the pastoral system on the Loess Plateau.

Key words: retrieval of forest and grassland from agricultural land use; ecogeographical background; herbivore pastoral industry; Loess Plateau

文章编号: 1000-0933(2003)10-2017-10 中图分类号: Q945.15, S812 文献标识码: A

生态系统的服务功能始终是地球生命系统可持续性的基本支撑^[1,2]。然而,人类活动历史地推动了经济的发展,同时也改变着生态系统的结构和功能,直接威胁着生态系统的健康,进而影响了生态系统的服务功能^[3,4]。因此,在生产食物的同时保持生物的多样性和生态系统的功能,是人类面临的最大的挑战之一^[5]。协调好二者的关系,一个关键的突破口就是如何有效地管理生态系统。而生态系统管理方式是否合理,取决于它对生态系统关键生态学过程和生物多样性会造成怎样的影响^[6]。适应性生态系统管理的基本理论前提是:生态系统的功能依赖于生态系统的结构和多样性,以实现生态系统结构和功能的持续性为基本目标,土地利用决策必须服务于总体生态系统管理的核心^[7]。

农业生产是对自然生境改变最强烈的实践活动^[8,9]。由于黄土高原土地疏松,多暴雨,加之几千年来沉重的耕作农业压力,使黄土高原植被破坏和水土流失严重,生产力低下,已成为我国生态环境退化的渊藪和对我国社会、经济和环境可持续发展有重大制约的地区^[10]。在黄土高原农业产业结构调整中,建立农林牧综合发展的产业模式,被认为是整合生态功能及经济效益有效措施^[11]。然而,纵观近半个世纪以来黄土高原农林牧的发展历程,一个在生态和生产上优化的农业产业体制并未真正形成。遵循适应性生态系统管理的基本理论,对黄土高原农业产业结构调整有几个基本观点:首先,黄土高原的生态地理背景不可能形成农林牧综合发展的基本资源支撑;其次,黄土高原农业可持续发展,必须依赖于一个适合黄土高原生态地理背景的支柱产业的形成与壮大。党中央国务院关于西部大开发和生态环境建设的战略部署,为黄土高原建立优化的生态生产体制带来了新的契机。顺应国家退耕还林还草和生态环境建设的大局,中国科学院

生物学部^[10]在黄土高原农业可持续发展研究与政策建议的报告中,对黄土高原农业可持续发展的战略重点进行了新的诠释,突出了畜牧业在黄土高原农业可持续发展和生态环境建设中的重要地位。报告明确指出:在粮食生产基本上达到稳定与自给的条件下,黄土高原的重要战略性部署是发展畜牧业。一个支柱产业要达到生态和生产的有效,其生产属性及过程必须适应于生态地理背景,这是保证系统优化和功能持续性的基本前提。因此,草地畜牧业的形成与发展能否成为推动黄土高原社会文明进步的支柱产业,在很大程度上取决于其生产属性及其过程是否与黄土高原特殊的生态地理背景相适应。应该认识到,生态系统存在许多不确定性,在这样的背景下,要做出适当的系统管理方略需要整合多方面的因素^[4,12]。本文仅从黄土高原生态地理背景的角度出发,论述草地畜牧业形成与发展的可行性,为黄土高原建立一个优化的生态生产发展体制提供理论依据。

1 材料与方法

收集了黄土高原 62 个国家标准气象台站的气象数据,包括逐月平均气温、极端低温、极端高温、逐月平均降水量、积温、蒸发量、相对湿度。森林植被垂直分布数据、地形地貌及土壤侵蚀数据引自己发表的文献。此外,为了阐明黄土高原自然植被格局与环境的关系,在黄土高原基础高原面上 34°54'~39°06'N, 103°40'~112°24'E 和海拔 844~2013 m 的空间范围内,在 40 个样点上进行了植物群落学取样,每一个样点分阴坡和阳坡,共获得 80 个样方(取样强度 100 m²(4×25))的群落学数据,同时用 GPS 定位样方地理坐标。环境因子记录了坡度、坡向、坡位、地形、人类扰动和土壤质地;根据地理坐标与水热因子的回归关系式,求得特定样方的气象因子数据,包括年均温度、年均降雨、1 月均温、7 月均温、1 月降水、7 月降水、生物温度、10℃积温、干燥度和潜在蒸散;样方空间因子包括纬度、经度和海拔。样方群落学数据包括多度、高度、盖度;以重要值($IV = \text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}$)作为样方物种信息的表达。利用 SPSS 和 CANOCO 软件对数据进行了多元统计分析和排序分析。

2 结果分析

2.1 地形地貌及水土流失

黄土高原地貌类型可分为丘陵沟壑、土石山地和平地(包括川平地、黄土塬)。根据陕西、山西、甘肃、宁夏四省统计资料,三者的比例分别为 53%、22%和 25%。山地丘陵面积中,坡度 3°~7°的平缓坡地占 8%、坡度 7°~15°的缓坡地占 26%、坡度 15°~25°的斜坡地占 35%、坡度大于 25°的陡坡地占 30%。

黄土高原广泛分布的黄土母质是一种质地均一的第四纪沉积物。由于其结构疏松,孔隙度大,垂直节理发达,遇水易造成侵蚀和崩塌,致使地表结构极不稳定,加之长期存在着不合理的土地利用方式,使黄土高原水土流失极为严重^[13]。短时高强度的降水,对黄土的侵蚀速度、强度和地貌过程普遍增强。暴雨和特大暴雨形成的径流是区内土地侵蚀的主要动力^[13,14]。黄土高原水土流失面积占总面积的 45%,平均侵蚀模数 3720 t/km²,最大侵蚀模数超过 20000 t/km²,是世界上土壤侵蚀最严重的地区^[14,15]。研究表明,农业生产活动是许多世界生物群区改变和地球物质水分循环变化的主要根源^[3,16]。就黄土高原而言,长期沉重的耕作农业活动导致地表覆盖的变化是造成水土流失加剧的主要因素^[13,17~19]。

水土流失是黄土高原最突出的生态问题之一。针对黄土高原绝大多数地区山地丘陵密集、陡坡比例较大、土质疏松的地形地貌特点,黄土高原农业产业的定位与发展规划必须遵从于一个基本原则,即产业的生产经营过程应从根本上减轻对土地的压力。从这个意义上讲,只有对土地表面干扰强度最轻的产业对黄土高原生态保护才具有现实意义。耕作农业是对自然生境的改变最强烈的实践活动^[8,9]。黄土高原生态系统管理的重点,必须大幅度地压缩耕作农业土地空间,以耕作强度较弱或可免耕的其他植物生产代之。黄土高原退耕还林还草战略的实施,无疑是黄土高原产业结构调整的重要契机和生态系统管理重心转移有力的政策支撑。草地畜牧业的基础生产环节是牧草生产。在稳定的草地生产系统中,植物物种构成以多年生草本植物和灌木为主,其发达的根系对地表具有较强的固着与覆盖能力。黄土高原多年的水土保持实践证明,与农田相比,黄土高原人工灌丛草地可大大减少地表径流^[20]。如紫花苜蓿(*Medicago sativa*)草地可减少径流 20.6%;柠条(*Caragana microphylla*)灌丛草地可减少 87.9%;沙打旺(*Astragalus adsurgens* cv 'Shadawang')可减少 70.1%。显然,与作物生产相比,牧草生产可从根本上减轻对土地的压力。黄土高原

在退耕还林还草中大力发展灌草植被,必然会有效地遏制水土流失,起到生态保护的作用,同时也将形成巨大的牧草生产力,进而支撑草地畜牧业产业的形成与发展。

2.2 土壤特征

黄土高原土壤可划分为褐土、钙土、黑垆土、栗钙土、灰钙土、棕钙土等 28 个土类,土壤 pH 值 6.7~8.7 之间,土壤养分贮量总体上是林地>草地>耕地^[21]。

黄土高原绝大多丘陵地区黄土覆盖深厚,利于植物根系的发育,适合植物的生长,不会对生产形成制约。只要采取合理的土地利用方式,在有效地控制水土流失的前提下,疏松的黄土将是植物生长良好的介质。

2.3 气候

2.3.1 降水 由于黄土高原地形变化复杂,降水梯度径向地带性受到了一定程度的制约,自西向东呈递增型的单峰趋势(图 1; $p < 0.05$)。在 $102^{\circ} \sim 109^{\circ} \text{E}$ 的范围内,降水呈持续增长趋势,变化幅度在 184~700 mm 之间。其中,又可划分出两个梯度范围,即在 $102^{\circ} \sim 105^{\circ}30' \text{E}$ 的区域内,年均降水量变化幅度在 200~500 mm 之间;在 $105^{\circ}30' \sim 109^{\circ}30' \text{E}$ 区域内,降水幅度为 500~700 mm。在 $109^{\circ}30' \sim 114^{\circ} \text{E}$ 的区域内,即位于高原东部地区,由于海拔降低,降水略有下降,变化幅度为 400~650 mm。

地理坐标纬度(Lat)、经度(Long)和海拔(Alt)与年均降水 P 、1 月降水 P_1 、7 月降水 P_7 的回归模型:

$$P = -1309.35 - 63.49\text{Lat} + 37.02\text{Long} + 0.096\text{Alt} \quad r^2 = 0.859 \quad n = 62$$

$$P_1 = -15.51 - 0.66\text{Lat} + 0.39\text{Long} + 0.00068\text{Alt} \quad r^2 = 0.64 \quad n = 62$$

$$P_7 = -403.97 - 11.62\text{Lat} + 8.51\text{Long} + 0.013\text{Alt} \quad r^2 = 0.79 \quad n = 62$$

黄土高原降水量的年际波动较大,多暴雨,降低了降水的可利用效率。此外黄土高原无效降水多,如 ≤ 5 mm 的无效降水在春季占总降水 60%,夏季占 13%^[20],实际能够保证植物生长的水分供应低于多年统计的年均降雨量。水分胁迫始终是黄土高原植物生长最大的限制因子。大规模的工程措施对提高降水利用效率无疑具有积极意义,但生产目标最终摆脱不了其固有的降水格局的制约。黄土高原提高水分利用效率的根本对策还在于最大限度地发挥植物的潜在功能。传统农业生产经济产量是子实体,在充足的水热条件下才能形成有效收获。在黄土高原特定的降水格局下,传统农业生产表现的极为脆弱。相反,营养体农

业的牧草是以植物地上部分的全部生物量作为经济收获,在足量的水分条件下,经济产量比农业生产多一倍;在严重水分胁迫下,传统农业生产可能颗粒无收,营养体农业的牧草仍然可以利用有限的降水进行营养生长,形成干物质的积累。因此,牧草经济产量的形成对水分胁迫表现出较强的抵抗力。从这个意义上讲,黄土高原发展营养体为主体的牧草种植,是适应于黄土高原水分胁迫环境下的合理的植物生产方式。

2.3.2 温度 热量梯度表现出明显的纬度地带性(图 2; $p < 0.001$),年均温度的变化幅度可划分出两个梯度范围,即在 $32^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{N}$ 的区域内,变化幅度 $10 \sim 15^{\circ} \text{C}$;在 $35^{\circ} \sim 42^{\circ} \text{N}$ 的区域内,变化幅度 $5 \sim 10^{\circ} \text{C}$ 。 $\geq 10^{\circ} \text{C}$ 积温为 2064~4968,热量条件可满足作物一年一熟的生物学周期。

地理坐标纬度(Lat)、经度(Long)和海拔(Alt)与年均温度 T 、1 月均温 T_1 、7 月均温 T_7 、和 10°C 积温 T_a 的回归模型:

$$T = 59.29 - 0.637\text{Lat} - 0.2\text{Long} - 0.0049\text{Alt} \quad r^2 = 0.931 \quad n = 62$$

$$T_1 = 68.99 - 1.525\text{Lat} - 0.14\text{Long} - 0.0038\text{Alt} \quad r^2 = 0.901 \quad n = 62$$

$$T_7 = 47.96 + 0.081\text{Lat} - 0.2\text{Long} - 0.0061\text{Alt} \quad r^2 = 0.979 \quad n = 62$$

$$T_a = 13505.29 - 45.1\text{Lat} - 62.89\text{Long} - 1.605\text{Alt} \quad r^2 = 0.99 \quad n = 62$$

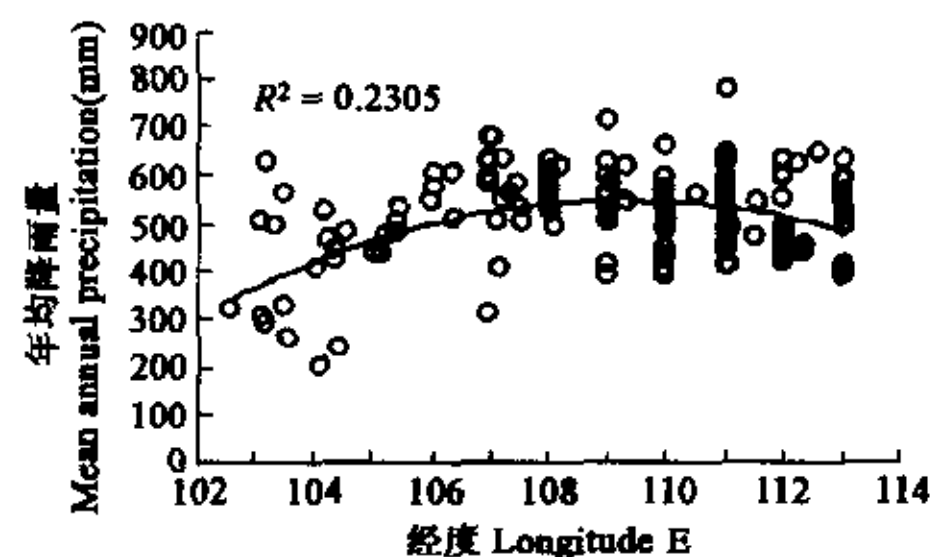


图 1 黄土高原年均降雨量的经度地带性分布

Fig. 1 Correlations between mean annual precipitation and longitude on the Loess Plateau

黄土高原热量适合温带各种植物的生长发育。在产业规划与发展中应采取合理的土地利用方式和植物配置,以充分发挥热量充足的优势。尽管黄土高原热量条件对植物生长发育不是限制因子,但受制于水分的胁迫,传统农业粮食作物不能稳定地完成生活史,热量条件得不到充分的利用。相反,牧草经济产量的形成在于干物质的积累,不在于是否完成生活史。因此,与传统农业生产相比,牧草能更充分地利用热量资源。

2.3.3 水热平衡 利用 Holdridge 潜在蒸散率 PER 和 Penman 干燥度 PA 对特定区域水热平衡状况进行评估。从 PER 与黄土高原 62 个气象台站经纬度回归图可以看出(图 3,4),黄土高原绝大多数地区潜在蒸散率 PER 在 0.8~1.5 之间,表明了其典型草原的植被外貌特征;位于 $102^{\circ}\sim 106^{\circ}\text{E}$, $34^{\circ}\sim 38^{\circ}\text{N}$ 少部分地区 PER 为 2~3.3 之间,气候条件更趋于旱,具有荒漠草原的特征;位于高原东南部地区($110^{\circ}\sim 114^{\circ}\text{E}$, $34^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$) PER 小于 0.8,可能蒸散与降水趋于平衡,属于森林草原区。此外,干燥度 PA 与经纬度的回归图也反映了类似的结果(图 5,6)。由此可见,黄土高原绝大多数区域显域生境属于草原性质的,只有高原东南部区域属于森林草原区。

地理坐标纬度(Lat)、经度($Long$)和海拔(Alt)与 Holdridge 潜在蒸散率 PER 、Penman 干燥度 PA 的回归模型:

$$PER = 12.851 + 0.252Lat - 0.18Long - 0.0083Alt$$

$$r^2 = 0.785 \quad n = 62$$

$$PA = 17.39 + 0.42Lat - 0.28Long - 0.00083Alt$$

$$r^2 = 0.758 \quad n = 62$$

对于绝大多数黄土丘陵地区,人为力量不能满足农业生产所需的条件,产业的发展及生态恢复应该尊重其固有的生态地理背景。根据黄土高原的水热平衡特点,坡耕地退耕后,植被恢复的重点是恢复草灌,以保持人工植物群落生活型外貌与其自然生态背景的协调一致。这一举措从根本上讲则是保证人工植物群落生长发育基本的水热需求适应当地环境的水热平衡特点,这是保持系统长期稳定和功能正常发挥的基础。如果违背了这一规律,不仅生产经营受到损失,系统的生态保护功能也得不到发挥。如黄土高原坡地果园生产实践就是一个例证。据测定^[22],黄土高原坡地果园在地下 0~500 cm 的范围内,南坡北坡均存在一个干层,南坡(220~320 m),北坡(150~250 m),而雨季补偿只能达到 120~200 cm,果树的用水深度可达 500 cm。由于果树耗水量大,而水分供应亏缺,深层水分长期得不到补偿,必然影响果树的生长,从而影响其商业品质。此外,黄土高原出现的大面积的“小老头”杨树林的现象,就是人类活动与自然规律相悖的最生动的写照。

2.4 自然植被

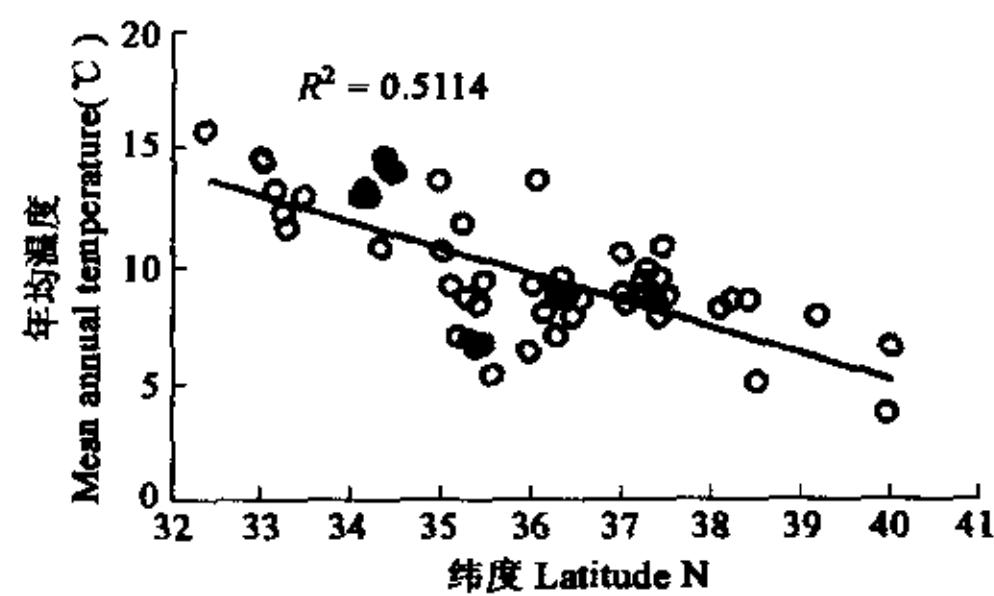


图 2 黄土高原年均温度的纬度地带性分布

Fig. 2 Correlations between mean annual temperature and latitude on the Loess Plateau

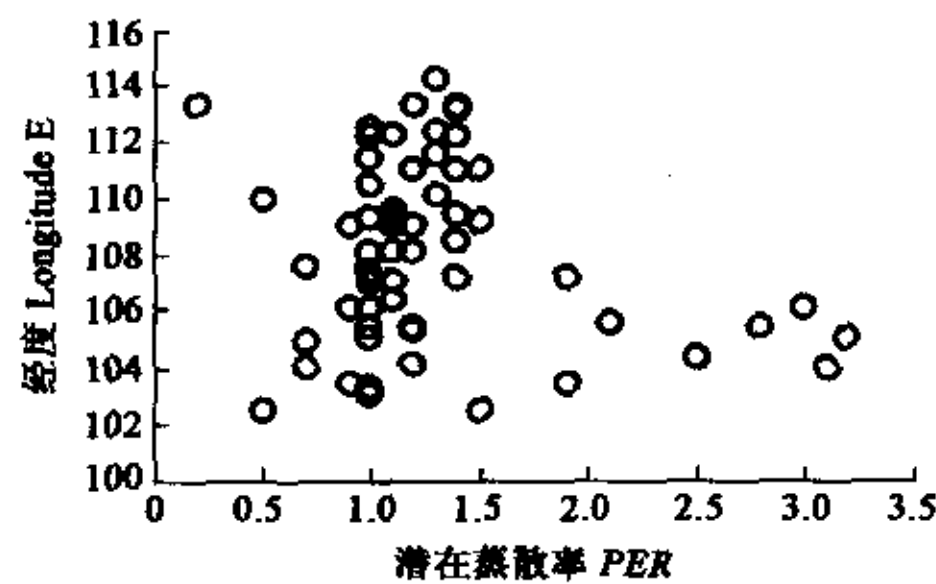


图 3 黄土高原潜在蒸散率的经度地带性分布

Fig. 3 Correlations between potential evaporation rate (PER) and longitude in Loess Plateau

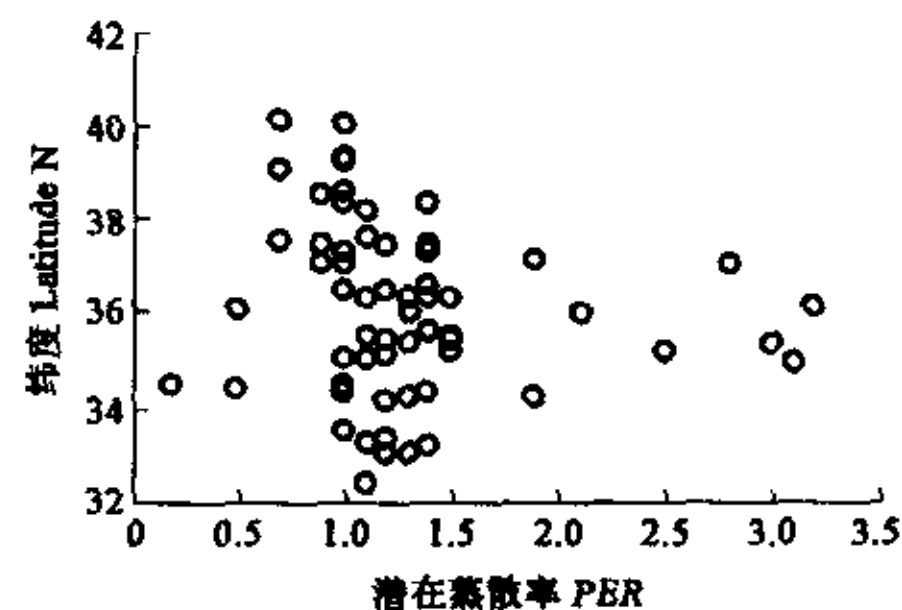


图 4 黄土高原潜在蒸散率的纬度地带性分布

Fig. 4 Correlations between potential evaporation rate (PER) and latitude on the Loess Plateau

2.4.1 森林植被的分布 黄土高原自然植被的分布格局及其特征是植被恢复重要的理论参照。

黄土高原原生植被性质一直是学术界争论的焦点,主要可归纳为两种观点:其一,黄土高原上曾经发育着茂密的森林,后来由于人类活动干扰,原始森林破坏殆尽,目前保存的为数不多的森林植被是人类活动的残遗;其二,目前黄土高原保存的山地森林是局部地形隆起而导致水热组合优化的产物,位于基础海拔范围内的广大丘陵沟壑区并不具备森林发育的条件,其原生植被是以草原为主。随着对黄土高原植被动态研究工作的积累和逐步深入,后者为越来越多的学者所接受^[23~26]。石广玉等认为^[27],黄土成土母质的特殊性是导致黄土区无林的重要原因。理由是:黄土透水性强,黄土黏土矿物质具有强烈的吸水性,黄土母质这种结构上的特殊性使植物对水分的利用率大为降低,从而不能保证林木群体的生长;此外,黄土碳酸钙含量高达10%~20%,加之土壤pH值高,也会影响乔木生长;在某些水热条件相似的地方,黄土区无林而石质山区有林。对于这一问题,需作具体分析。从黄土高原森林的分布格局看,森林主要分布在数座突兀的山地,发育森林的地貌类型主要是土石山地。但黄土高原发育着森林的土石山地,其海拔高程往往高于黄土丘陵沟壑和黄土塬^[21],降雨量较多、蒸发小,水分条件显然优于同纬度的黄土丘陵沟壑区。可见,水分条件的局部优化是土石山地有林的主要原因。应该注意到,即使是在森林植被发育较好的土石山地,阴坡发育着森林,而阳坡则以灌丛草地为主。此外,在低海拔的土石基质上(如黄河峡谷地带)也并无乔木林出现。显然,黄土高原水分的空间分配格局在很大程度上决定着森林的分布格局,土壤成土母质对森林分布的作用是次要的。

如前所述,黄土高原森林植被主要分布在数座突兀的山地,其山地森林垂直分布下限形成,必然受制于特定环境因子的影响,特别是受水分因子的制约。为了验证这一假设,对分布于黄土高原及邻近地区森林植被发育较好的21座山地(冷龙岭、东大山、日月山、孟达山、拉脊山、达板山、兴隆山、寿鹿山、屈吴山、贺兰山东坡、六盘山、大罗山、子午岭、大青山南坡、关帝山、太行山、芦芽山、霍山、中条山、五台山和恒山)的森林分布的海拔下限进行了分析。结果表明,黄土高原现代森林均分布于基础海拔以上的山地,与基础海拔相差范围在150~1100 m之间;此外,通过森林分布下限海拔与经纬度回归可以看出,山地森林分布海拔下限表现出明显的经度地带性(图7; $p < 0.01$),而在纬度热量梯度上并没有表现出一定的规律性(图8; $p > 0.05$)。上述结果表明,黄土高原局部地形隆起,导致水热优化是现代山地森林的形成主要原因。而且,特定山地森林分布下限的形成在很大程度上受制于水分梯度的影响,而受热量梯度的影响较小。可见,黄土高原现代山地森林分布下限的形成是一个自然现象,而非人

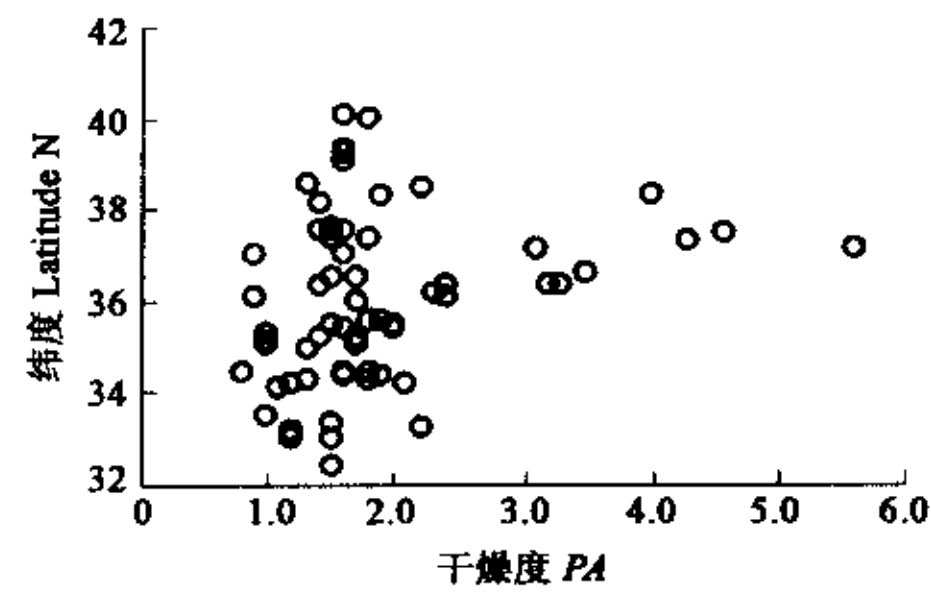


图5 黄土高原干燥度的纬度地带性分布

Fig. 5 Correlations between Penman's arid index (PA) and latitude on the Loess Plateau

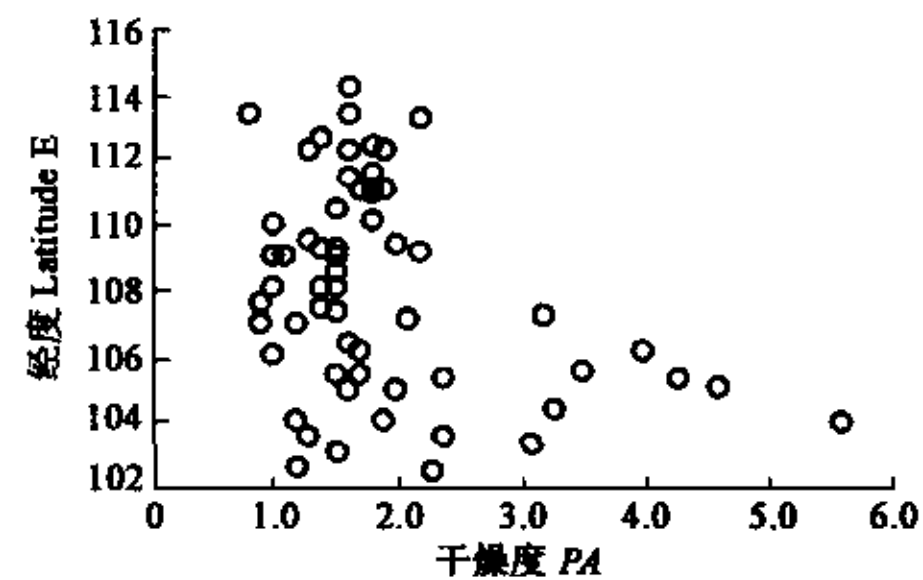


图6 黄土高原干燥度的经度地带性分布

Fig. 6 Correlations between Penman's arid index (PA) and longitude on the Loess Plateau

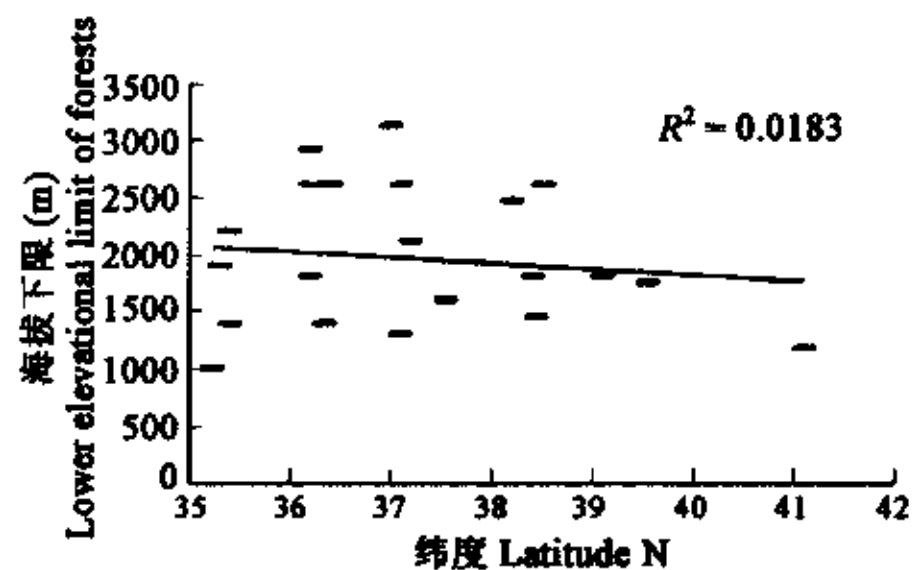


图7 黄土高原森林分布海拔下限的纬度地带性分布

Fig. 7 Correlations between the lower elevational limits of forests distribution and latitude on the Loess Plateau

类活动的产物。黄土高原退耕还林还草,工作的重点应该是还草或还灌木,营造乔木林只能局限于水分条件的局部优化的生境,如沟谷,在丘陵沟壑区显域生境营造大面积乔木林的做法是缺乏科学依据的。

2.4.2 自然植被群落物种格局与空间、环境的关系

为了进一步阐明黄土高原高原面上自然植被的性质,对黄土高原自然植被与环境的关系进行了研究。在黄土高原基础高原面上选择自然植被保存较好的地段,在 40 个点上共获得 80 个样方的群落学和环境数据。据此,对黄土高原自然植被格局进行了环境解释(表 1)。具体方法参见文献^[28]。

环境、空间变量对黄土高原植物群落物种多度格局影响程度定量分离的结果表明:植被格局环境因子解释的部分占 18%,植被格局空间因子解释的部分占 1%,植被格局被空间因子和环境因子交互作用解释的部分占 9%,空间因子和环境因子未能解释的部分占 72%。上述分离结果,环境和空间因子解释了物种多度变异的 28%,72%的物种多度变异信息受制于其它因子的控制,如生物之间的互作、随机因子^[28],取样强度、植被的复杂程度、环境变量的选取^[29]及人类活动的影响^[30]。与国内外相关的研究结果比较^[28~30],尽管黄土高原自然植被经历了长期沉重的以耕作农业为主的人为活动扰动,排序分析中物种丰富度也较高(214 种植物),环境空间变量对群落物种多度格局影响可解释的部分仍然达 28%,属于较高的解释比例。此外,从植物群落生活型构成看,样方中记录到的 214 种种子植物中,草本植物(1 年生和多年生)占 67%,灌木占 26%,乔木占 7%;从各生活型出现的频率看,在 80 个样方中,草本植物、灌木和乔木的频率分别是 100%、77.5% 和 7%。可见,草本植物和灌木是黄土高原基础海拔面上的自然植被植物群落的优势生活型,其中草本植物又占绝对优势地位,而且这一格局在很大程度上受制于环境因素的制约。该结果进一

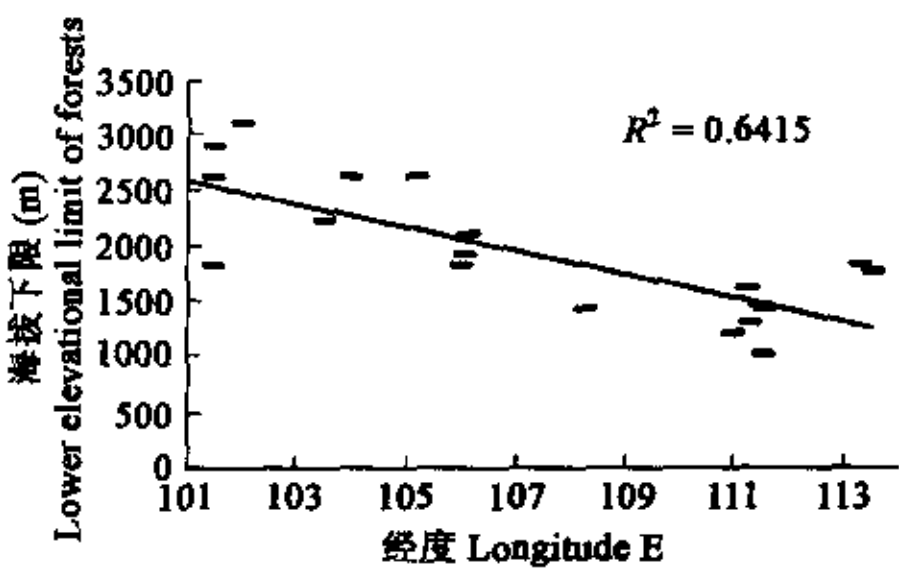


图 8 黄土高原森林分布海拔下限的经度地带性分布
Fig. 8 Correlations between the lower elevational limits of forests distribution and longitude on the Loess Plateau

表 1 黄土高原自然植被格局环境和空间解释

Table 1 The result environmental and spatial interpretation of natural vegetation in Loess Plateau	
物种矩阵对应分析总特征值 The sum of all eigenvalues of a corrdspodence analysis of the species matrix	16.968
环境变量约束的物种典范特征值 The sum of all canonical eigenvalues of the species matrix constrained by the environmental matrix	4.532
空间变量约束的物种典范特征值 The sum of all canonical eigenvalues of the species matrix constrained by the spatial matrix	1.508
去除空间变量后环境变量约束的物种典范特征值 The sum of all canonical eigenvalues of the species matrix constrained by the environmental matrix after removing the effect of spatial matrix	3.009
去除环境变量后空间变量约束的物种典范特征值 The sum of all canonical eigenvalues of the species matrix constrained by the spatial matrix after removing the effect of the environmental matrix	0.179
植被格局环境因子解释的部分 The species matrix explained by non-spatial environmental variation	18%
植被格局空间因子解释的部分 The species matrix explained by spatial variation that is not shared by environmental variation	1%
植被格局被空间因子和环境因子交互作用解释的部分 The species matrix explained by spatial structured environmental variation	9%
空间因子和环境因子未能解释的部分 The species matrix unexplained by both spatial and environmental variation	72%

步说明,在退耕还林还草的实践中,恢复草灌符合黄土高原自然植被的生活型外貌,适应黄土高原生态地理背景,是生态系统结构和功能优化的基础。

2.5 净第一生产力

按照 Chicugo 模型预测,黄土高原净第一生产力(NPP,t/(hm²·a))西部荒漠草原区为 2~3;典型草原区为 3~5;东南部森林草原区为 5~8。净第一生产力与年均降雨量呈现正相关关系。黄土高原实际自然植被生产力大约只有预测值的 1/10。通过优化植物品种组成和种植结构,扩大人工草场种植面积,实际生产力将会有大幅度的提高,客观上将形成巨大的牧草生产力,将为产业化畜牧业形成奠定坚实的基础。

3 讨论与结论

改善生态环境和发展经济是黄土高原社会文明进步和发展要达到的两个基本目标。保护生态环境和发展经济客观上存在相互制约甚至矛盾的关系,要达到二者的协调统一,需要综合分析系统各组分之间的关系,找到系统各组分的耦合点,克服系统相悖因素。从改善生态环境的角度,防止水土流失无疑是黄土高原环境建设的重中之重。退耕还林还草战略的实施,把广大的坡耕地从沉重的农业耕作中解放出来,减轻了人类活动对土地的压力,促进地表植被覆盖的恢复,无疑是防止水土流失最根本最有效的措施。此外,黄土高原在实施退耕还林还草中,必须找到振兴黄土高原经济新的增长点。在农林牧三大产业中,农业,除有灌溉条件外,无论是从黄土高原生态地理背景还是黄土高原农业产业多年的实践的角度分析,已不可能担负起恢复生态和发展经济的重任。此外,黄土高原的生态地理背景也不可能形成农林牧综合发展的基本资源支撑。纵观我国区域经济的发展布局,特定区域资源承载力主要受制于生态地理背景,资源承载力只能支撑一个主导产业的发展,其他产业作为辅助产业。黄土高原实施农林牧综合发展的思路,重点不突出,在实践中容易回到以农为主的老路上去。因此,黄土高原以退耕还林还草为契机,培育起一个能够兼顾生态持续性和经济有效性的新的支柱产业就显得尤为迫切。

根据本文对黄土高原生态地理背景的分析,草地畜牧业在较大程度上吻合黄土高原的生态地理背景,具有耦合生态与经济协调发展的可行性。草地畜牧业的产业基础是牧草生产,从黄土高原生态地理背景的角度分析,退耕还林还草,最大幅度,最大面积的植被恢复工作应该是恢复草灌,这在客观上将形成巨大的牧草生产潜力,后者又为草地畜牧业产业的发展与壮大奠定了基础。根据对黄土高原未来草地畜牧业产值的初步预测,草地畜牧业作为黄土高原的一个支柱产业存在经济上的可行性^[31]。受制于特殊的生态地理背景,林业可作为草地畜牧业产业发展的补充,其发展的重点依然是灌木,起到生态防护和提供饲料的目的。农业的空间应回归到其本来位置,即川坝平地,那里保水能力强,可承受高强度人为耕作活动干扰而不会形成水土流失,又能获得相对稳定的作物收成。因此,以退耕还林还草为契机,未来黄土高原产业的发展格局应是以草地畜牧业为支柱的产业发展体系,农业和林业可作为畜牧业主导产业发展的有益补充和完善。

黄土高原草地畜牧业未来的发展方向,必须走规模化生产,集约化经营,产销一体化的道路。产业化的草食畜牧业是在完善的社会服务体系充分发育的基础上,集牧草种植、饲料加工、家畜养殖、畜产品加工及市场营销于一体的产业链条。其中,牧草饲料的生产是产业化草地畜牧业的基础产业,也是对生态地理因子依赖程度最大的生产阶段或过程。草地畜牧业与生态地理背景的关系在很大程度上表现为牧草的生产过程与生态地理背景的关系。本文的研究结果充分阐明了黄土高原牧草生产的生态生产意义,事实上肯定了草地畜牧业在黄土高原产业发展中战略地位,即草地畜牧业可作为耦合生态功能和生产效益的支柱产业。此外,产业化畜牧业其他生产环节的生产属性,主要受制于管理和技术水平的发育程度,其生产过程与生态地理特征相悖的因素,可以通过人为调控加以协调和化解。比如,自由放牧对土地的破坏同样是巨大的,但可以改变养殖方式,消除家畜养殖过程对土地的破坏。因此,未来黄土高原家畜养殖方式的一个重要的战略转变就是改自由放牧为舍饲养育。

References:

- [1] Costanza R. Social goals and the valuation of ecosystem services. *Ecosystems*, 2000, 3:4~10.
- [2] Heal G. Valuing ecosystems services. *Ecosystems*, 2000, 3:24~30.

- [3] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, *et al.* Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 1997, **277**: 492~499.
- [4] Chavas J P. Ecosystem valuation under uncertainty and irreversibility. *Ecosystems*, 2000, **3**:11~15.
- [5] Robertson A I. The gaps between ecosystem ecology and industrial agriculture. *Ecosystems*, 2000, **3**:413~418.
- [6] McCracken D I, Bignal E M. Applying the results of ecological studies to land-use policies and practices. *J. Appl. Ecol.*, 1998, **35**:361~367.
- [7] Olsson P, Folke C. Local ecological knowledge and institutional dynamics for ecosystems Management: a study of Lake Racken watershed, Sweden. *Ecosystems*, 2001, **4**:85~104.
- [8] Ojima D S, Galvin K A, Turner B L *et al.* The global impact of land-use change. *BioScience*, 1994, **44**(5):300~304.
- [9] Matson P A, Parton W J, Power A G, *et al.* Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 1997, **277**:504~509.
- [10] Biological Department, CAS. A study on the sustainable development of agriculture on the Loess Plateau. *Sci. Techn. Rev.*, 2000, **3**:36~40.
- [11] Integrated Exploration Team of Loess Plateau, CAS. *Synthetic development and reasonable layout of farming, forestry and animal husbandry on the Loess Plateau*. Beijing: Chinese Scientific and Technological Press, 1991.
- [12] Margules C R, Rressey P L. Systematic conservation planning. *Nature*, 2000, **405**:243~253.
- [13] Liu T S. *Loess and its environment*. Beijing: Science Press, 1985.
- [14] Liu G B. Soil conservation and sustainable agriculture in the Loess Plateau: challenges and prospects. *Ambio*, 1999, **28**(8):663~668.
- [15] Integrated Exploration Team of Loess Plateau, CAS. *Summary of synthetic development on the Loess Plateau*. Beijing: Chinese Scientific and Technological Press, 1992.
- [16] Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, *et al.* Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, **287**:1770~1774.
- [17] Tang K L. *Regional characteristics of soil erosion and approaches to deal with soil erosion in the Loess Plateau area*. Beijing: Chinese Scientific and Technological Press, 1990. 214~215.
- [18] Zhu X M, Ren M E. Forming process and renovation of Loess Plateau in China. *Chinese Population Resource and Environment*, 1991, **1**(1):21~28.
- [19] Dong G R. Evolvment of ecological environment. In: Qin D H ed. *Estimation of evolvement of ecological environment in west China*(Vol. 1). Beijing: Science Press, 2002. 105~144.
- [20] Lu Z F. *Ecological agriculture in Loess Plateau, China*. Xian: Shanxi Scientific-Technological Press, 1997. 93~100.
- [21] Integrated Exploration Team of Loess Plateau, CAS. *Land Resource of Loess Plateau*. Beijing: Chinese Scientific and Technological Press, 1991.
- [22] Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, CAS. *Studies on ecological agriculture with soil and water conservation in loess hilly gully region*(Vol. 1). Shaanxi Yangling: Tianze Eldonjo, 1990.
- [23] Liu T S, Guo Z T, Wu N Q, *et al.* Prehistoric vegetation on the Loess Plateau: steppe or forest? *Act. Geosci. Sin.*, 1994, **3**/4: 226~234.
- [24] Integrated Exploration Team of Loess Plateau, CAS. *Vegetation resource and reasonable utilization on the Loess Plateau area*. Beijing: Chinese Scientific and Technological Press, 1991.
- [25] Zhang P Y. Historical experience and environmental carrying capacity. In: Qin D H ed. *Estimation of evolvement of ecological environment in west China*(Vol. 1). Beijing: Science Press, 2002. 217~242.
- [26] Wang G H. Plant traits and soil chemical variables during a secondary vegetation succession in abandoned fields on the Loess Plateau. *Act. Bot. Sin.*, 2002, **44**(8):990~998.
- [27] Shi G Y, Wang H J, Wang N A. Impact of human activity on the evolvement of ecological environment in west China. In: Qin D H ed. *Estimation of evolvement of ecological environment in west China*(Vol. 1). Beijing: Science

Press, 2002. 171~216.

- [28] Borcard D. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 1992, **73**:1045~1055.
- [29] Shen Z H, Zhang X S. The spatial pattern and topographic interpretation of the forest vegetation at Dalaoling region in the three gorge. *Act. Bot. Sin.*, 2000, **42**(10):1089~1095.
- [30] Wang G H, Yang L M. Gradient analysis and environmental interpretation of woody plant communities in the middle section of northern slopes of Qilian mountain, Gansu, China. *Act. Phytoecol. Sin.*, 2001, **25**(6):752~759.
- [31] Wang G H, Zhang X S. Supporting of potential forage production to the herbivore-based pastoral farming industry on the Loess Plateau. *Act. Bot. Sin.*, 2003, **45**(10):1186~1194.

参考文献:

- [10] 中国科学院生物学部. 黄土高原农业可持续发展研究和政策建议. 科技导报, 2000, **3**:36~40.
- [11] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区农林牧综合发展与合理布局. 北京: 科学出版社, 1991.
- [13] 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985.
- [14] 刘国彬. 黄土高原水土保持与可持续农业: 问题与前景. AMBIO-人类环境杂志, 1999, **28**:663~668.
- [15] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区综合治理开发简要报告集. 北京: 科学出版社, 1992.
- [17] 唐克丽. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径. 北京: 中国科学技术出版社, 1990. 214~215.
- [18] 朱显谟, 任美镔. 中国黄土高原的形成过程与整治研究. 中国人口资源与环境, 1991, **1**(1):21~28.
- [19] 董光荣. 生态环境的演变(下). 见: 秦大河总主编, 王绍武、董光荣主编. 中国西部环境演变评估(第一卷), 中国西部环境特征及演变. 北京: 科学出版社, 2002. 105~144.
- [20] 卢宗凡. 中国黄土高原生态农业. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.
- [21] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区土地资源. 北京: 科学出版社, 1991.
- [22] 中国科学院水利部西北水土保持研究所. 黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究(上册). 陕西杨陵: 天则出版社, 1990.
- [23] 刘东生, 郭正堂, 吴乃琴, 等. 史前黄土高原的自然植被景观: 森林还是草原? 地球学报, 1994, **3**/4:226~234.
- [24] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区植被资源及其合理利用. 北京: 科学出版社, 1991.
- [25] 张丕远. 西北地区开发的历史经验与环境承载力. 见: 秦大河总主编, 王绍武、董光荣主编. 中国西部环境演变评估(第一卷), 中国西部环境特征及演变. 北京: 科学出版社, 2002. 217~242.
- [26] 王国宏. 黄土高原自然植被演替过程中的植物特征与土壤元素动态. 植物学报, 2002, **44**(8):990~998.
- [27] 石广玉, 王会军, 王乃昂. 人类活动在西部地区环境演变中的作用. 见: 秦大河总主编, 王绍武、董光荣主编. 中国西部环境演变评估(第一卷), 中国西部环境特征及演变. 北京: 科学出版社, 2002. 171~216.
- [29] 沈泽昊, 张新时. 三峡大老岭地区森林植被的空间格局分析及其地形解释. 植物学报, 2000, **42**(10):1089~1095.
- [30] 王国宏, 杨利民. 祁连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释. 植物生态学报, 2001, **25**(6):752~759.
- [31] 王国宏, 张新时. 黄土高原草地畜牧业建制与发展的牧草生产力基础. 植物学报, 2003, **45**(10):1186~1194.