

侵蚀环境小流域生态恢复过程中自然与社会生态的协同效应

戴全厚^{1,2}, 翟连宁², 薛 蕙^{2,3}, 刘国彬², 兰 雪¹, 余 娜¹

(¹贵州大学林学院, 贵阳 550025; ²中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; ³西安理工大学, 西安 710048)

摘要:【目的】自然与社会生态的高度协调是生态恢复的保证, 探索侵蚀环境生态恢复过程中自然和社会生态的协同耦合关系, 为流域生态恢复提供理论依据。【方法】以典型侵蚀环境小流域——纸房沟流域为例, 通过收集资料、测试分析, 选择不同社会人文环境因子和自然环境因子, 运用统计和相关分析等方法, 研究生态恢复过程中自然与社会生态的协同效应。【结果】在生态恢复过程中, 表征流域生态状况的因子植被覆盖率、土壤有机质含量和粮食单产潜势实现率与表征社会经济人文的因子人均纯收入、恩格尔系数、人均基本农田、义务教育普及率、水土流失治理度和工副业贡献率之间关系密切, 表现出较好的协调性效应, 生态状况的改善能促进社会经济的发展, 同样, 社会经济的发展亦能推动生态环境的恢复。同时, 体现流域系统稳定性的生态综合功能的系统抗逆力与其社会经济人文状况也有密切关系, 系统抗逆力增强, 流域稳定性提高可促进社会经济人文状况的好转。同样, 流域社会经济人文状况的好转亦可推动其生态功能的发挥, 即系统抗逆力的增大, 使流域系统稳定性增强, 表现为较好的协调效应。此外, 国家政策策略对生态恢复具有重要的导向作用。【结论】侵蚀环境小流域生态恢复过程中自然与社会生态具有较强的协同互作效应关系, 自然生态恢复促进社会生态发展, 同样社会生态发展促使自然生态恢复。

关键词: 侵蚀环境; 生态恢复; 自然与社会生态; 协同效应

Synergistic Effect of Nature and Society Eco-system on the Process of Restoration of the Small Watershed Under the Erosion Environment

DAI Quan-hou^{1,2}, ZHAI Lian-ning², XUE Sha^{2,3}, LIU Guo-bin², LAN Xue¹, YU Na¹

(¹Forestry College of Guizhou University, Guiyang 550025; ²Institute of Soil and Water Conservation, The Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi; ³Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

Abstract: 【Objective】The high synergy between nature and society eco-system is a guarantee of ecological restoration. The coupled relation between nature and social ecology in the process of ecology recovery under the erosion environment were studied to provide scientific foundation for restoring ecology of small watershed. 【Method】The research taken Zhifanggou small watershed of typical erosion environment as study plot, selected social-environment state effect factor and natural-environment factor and studied the synergistic effect on the process of restoration. 【Result】The results indicated that the factors representing ecological conditions tied up with the factors stand for social-economic state. The ecological condition improvement can promote the development of social economy and the development of social economy also can accelerate the restoration of the healthy eco-environment. At the same time, the system adverse resistance reflecting the stability of watershed eco-system is affiliated with social-economic state. In other words, the higher the amplification of system adverse resistance is, the better the social-economic state condition is. And the counterpart is right. In addition, national policy influenced ecology restoration orientedly. There were preferable synergistic correlation between nature and social ecology in the process of ecological recovery under the erosion

收稿日期: 2007-07-05; 接受日期: 2007-09-13

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(90502007); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-XB2-05); 国家“973”项目(2007CB407205)

作者简介: 戴全厚(1969-), 男, 陕西长武人, 副教授, 博士, 研究方向为水土保持和生态恢复重建。Tel: 0851-3855696; E-mail: qhdairiver@163.com. 通讯作者刘国彬(1958-), 陕西榆林人, 研究员, 博士, 研究方向为水土保持与流域管理。Tel: 029-87012907; E-mail: gbliu@ms.iswc.ac.cn

environment. 【Conclusion】 The development of social ecology is promoted by natural ecology. At the same time, the development of natural ecology is promoted by social ecology.

Key words: Erosion environment; Ecology restoration; Nature and society eco-system; Synergistic effect

0 引言

【研究意义】环境因子包括社会环境和自然环境两个方面,黄土丘陵区侵蚀环境下生态恢复是一个极其复杂的过程,在其恢复过程中,各社会、生态、经济等环境因子错综复杂,相互作用。社会环境各因素具有决定作用,特别是国家的政策导向往往对该区的生态恢复起着决定性作用,如国家的西部大开发、退耕还林(草)政策,促使黄土高原生态与环境不断改善,其环境的好转又反作用于经济社会系统,推动经济不断发展。因而,只有在社会生态经济和自然环境因子达到协调一致,才能促进生态恢复,从而使生态系统健康稳定,实现可持续发展。【前人研究进展】社会生态学(social ecology)是20世纪60年代在西方形成和发展起来的探讨环境问题的交叉学科,它涉及哲学、社会学、生态学、经济学、政治学、法学等广泛领域,是当代环境哲学的一个分支,是探讨社会和自然的本质关系,研究人类社会经济、政治和文化机制如何与自然生态环境相协调的科学^[1]。社会生态经济是社会生态学的重要组成部分,其发展是生态恢复的有力保障。恢复生态学往往重视环境生态因子的研究,而对其社会生态经济因子及其协同作用研究不够^[2,3]。【本研究切入点】实际上,社会经济状况在生态恢复中往往起着主导性作用,如果当地经济落后、农民生活贫困,人们挣扎在温饱线上时,就只能滥垦滥伐滥牧,首先解决吃饭问题,根本无暇顾及生态环境问题,因而,只有社会生态经济的高度协调才能保证生态系统的恢复与发展。【拟解决的关键问题】本文通过资料收集、测试及分析等手段,对侵蚀环境生态恢复过程中自然和社会生态关系进行研究,旨在揭示二者之间的协同耦合效应,为该区生态恢复决策提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

中国科学院安塞水土保持实验站纸坊沟流域(36°51'N, 109°19'E)位于陕西省安塞县。该区地形破碎,沟壑纵横,梁峁起伏,属黄土丘陵沟壑地貌,为典型的侵蚀环境。流域面积 8.27 km²,海拔 1 010~

1 431 m,在气候区上属暖温带半干旱气候,多年平均降雨量为 524.5 mm,年平均温度为 8.8 ℃。土壤类型以黄土母质上发育而成的黄绵土为主,抗侵蚀能力差,植被类型处于暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原带。该流域用于生态恢复长期定位试验研究,生态系统先后经历了严重破坏期(1938~1958年)、继续破坏期(1959~1973年)、不稳定恢复期(1974~1983年)、稳定恢复改善期(1984~1990年)和良性生态初步形成期(1991年至今)。经过 30 多年的水土保持综合治理,通过林草植被和工程建设等措施,有效遏制了该流域的水土流失,成功地恢复了退化生态系统,林地面积从 1980 年的不足 5%增加到 40%以上,流域生态经济系统进入良性循环阶段。

1.2 研究方法

通过前人研究结果集成,即查阅科研历史资料、课题项目档案,收集侵蚀环境小流域研究试验区社会生态经济等资料,及开展研究区农户调查,掌握社会、人文、经济与生态等发展动态,运用数学统计分析方法,如 SPSS 等,探索社会环境因子在生态恢复过程中的作用与影响。一些需要测定计算的生态因子的涵义、方法如下:

①恩格尔系数 恩格尔系数是反映贫困与富裕程度的重要指标^[4]。其计算公式为:

$$\text{恩格尔系数}(\%) = (\text{食品支出额} / \text{消费支出额}) \times 100\% \quad (1)$$

一般而言,恩格尔系数越低,在消费总支出中用于食品支出的比例越小,生活越富裕;反之,恩格尔系数越高,生活越贫困。联合国粮农组织提出了一个划分贫困与富裕的标准,即恩格尔系数在 59%以上者为绝对贫困,50%~59%为勉强度日,40%~50%为小康水平,30%~40%为富裕,30%以下为最富裕。

②粮食单产潜势实现率 粮食单产潜势实现率是指小流域单位面积土地单产(kg·ha⁻¹)与当地气候条件下作物最大生产潜力(5 745 kg·ha⁻¹)^[5]的比值。粮食生产潜势实现率反映该区土地生产能力改善的状况,黄土高原的粮食安全问题是生态建设的基础。

③系统抗逆力 系统抗逆力是指流域系统抵抗灾害的能力,流域某时期内发生灾害年份的农业产值占此期间的平均农业产值的比例^[5]。

④土壤抗冲性 土壤抗冲性是指土壤抵抗径流的机械破坏和搬运的能力,它与土壤理化性状及生物因素关系密切,采用原状土冲刷法^[6]测定,计算公式为:

$$S_0 = \frac{Q \cdot t}{M} \quad (2)$$

式中: S_0 为土壤抗冲性 ($L \cdot \min \cdot g^{-1}$); Q 为冲刷总流量 (L); t 为冲刷时间 (\min); M 为冲刷走的干土重 (g)。

⑤土壤渗透性 土壤渗透性是指水分进入土壤形成土壤水的过程,它是降水、地面水、土壤水和地下水相互转化过程中的一个重要的环节。采用大型渗透筒法^[7]测定,计算公式为:

$$K_{10} = \frac{10Q_i \cdot L}{S(0.7 + 0.03t)(H + L)t_i} \quad (3)$$

式中: K_{10} 为土壤渗透系数; Q_i 为时段 t_i 中土壤渗出水量 (ml); S 为渗透筒横截面面积 (cm^2); L 为土层厚度 (cm); H 为水层厚度 (cm); t_i 为渗透时间。

2 结果与分析

2.1 社会政策导向与生态环境变迁

社会政策在社会生态学中占着重要的地位,以黄土丘陵沟壑区典型小流域纸坊沟为例,该流域从 20 世纪 30 年代后期到现在,流域植被和生态环境经历了一个从破坏到逐渐恢复的过程^[8]。即 1938~1958 年的严重破坏期、1959~1973 年的持续破坏期、1974~1983 年的不稳定恢复期和 1984 年以后的稳定恢复期 4 个阶段,现为国家级退耕还林还草示范区^[9]。

纵观该流域生态环境变迁的 4 个时期,不难发现,其生态环境的变迁无不跟当时的社会政策密切相关,该流域过去是次生梢林区。据安塞县志记载,民国初年“城内荆棘蔓高齐雉堞,豺狼猛兽翱翔出没”,流域内人口稀少,林草茂盛,1938 年流域植被覆盖度在 75% 以上^[9]。但该流域地处安塞县(1935 年 7 月解放),曾是陕甘宁边区的重要组成部分,当时国民党政府对边区实行封锁,边区政府坚持自力更生,生产自救,鼓励开荒种地,在这种政策导向下,人民的毁林开荒种地的热情极高,从而使大片林草植被被毁,导致生态环境不断恶化。这种政策导向虽然在抗日战争和解放战争中作出了重大贡献,但这种贡献却是以牺牲生态环境为代价的。新中国成立后,人民的生产热情依然很高,国家保护生态环境的相关政策强调不足,人民的生态环境意识也极差,加上人口不断增加,滥垦

滥伐滥牧现象愈演愈烈,到 1958 年森林植被已破坏殆尽,耕垦指数达 51.5%。

1958 年以后,国家经历了“3 年困难”和“文化大革命”,曾出现大跃进、大炼钢铁等,在农村强调单一粮食生产,在“以粮为纲”、“向荒山要粮”等错误口号的指导下,缓坡也基本被开垦为农田。森林和灌木基本破坏殆尽,已无荒可开,农、林、牧业比例严重失调,地力下降,水土流失加剧,生态环境进一步恶化。直到 1973 年,中国科学院水土保持研究所科研人员在这里进行水土保持试验示范研究,开始对纸坊沟流域进行系统连续地水土流失综合治理,逐步实现了川田林网化及造林绿化,使流域植被盖度达到 55% 以上,生态环境有所改善。但 1981 年实行农业生产责任制后,由于缺乏政策配套,又出现扩大种植和盲目发展畜牧的现象,植被再次遭到破坏,1983 年末,流域植被盖度降低到 30%~40%,垦殖指数高达 47.9%。

1984 年以后,从“六五”到“七五”期间,陕西省和国家重点科技攻关项目的实施使流域植被建设得以落实,土地利用趋于合理,植被得到很大恢复。“八五”至“九五”期间,农林牧业比例再次得到优化,林地和牧地比例不断增加,植被得到进一步恢复,生态经济系统进入良性循环。目前,流域植被包括人工重建植被和封禁后恢复的天然植被已呈现出生物多样性的初期景象。

显然,国家的政策导向对该区生态环境变迁和生态恢复起着极为重要的作用,国家 1999 年出台的退耕还林还草,再造“秀美山川”的决策,极大的推动了黄土丘陵区生态恢复与重建,目前,纸坊沟小流域的植被覆盖率已达 60% 以上,生态环境得到了有效恢复。

2.2 社会经济人文与生态因子

生态和经济越来越紧密地交织在一起——局部、地区、国家和全球的——成为一张无缝的因果网^[10],社会经济人文与生态恢复的关系极为密切,是侵蚀环境生态恢复的外在驱动力,其生态恢复健康的关键是流域内经济人文的发展和人民生态环境意识的提高,其社会经济人文状况在生态恢复中往往起着决定性作用。

纸坊沟流域经过 20 多年的治理,社会、经济、人文和自然环境状况都得到了较大程度的恢复和发展^[11],为此笔者在调查分析和试验的基础上,选取了人均基本农田、人均纯收入、工副业贡献率、恩格尔系数、义务教育普及率和治理度 6 个反映流域社会经

济人文状况的社会因子，同时选取植被覆盖率、粮食单产潜势实现率、土壤有机质含量 3 个反映流域自然生态环境状况的自然因子和流域内土壤抗蚀性、入渗率和系统抗逆力 3 个反映各自然因子生态功能的综合因子，进行各因子之间的协调关系探讨，以揭示各因子在流域生态恢复过程中的相互作用与机理。

2.2.1 植被覆盖率与社会经济人文 植被(林草)是生态系统发挥功能的基础，也是联结土壤、大气和水分的自然“纽带”，它在陆地表面的能量交换过程、生物地球化学循环过程和水文循环过程中扮演着重要的角色，在全球变化研究中起着“指示器”的作用^[12]。植被覆盖率是指植被(包括叶、茎、枝)在单位面积内植被的垂直投影面积所占百分比^[13-16]。植被覆盖率是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化因子，是描述小流域生态系统的重要参数。植被覆盖及其变化是区域生态环境变化的重要指示，对水文、生态、全球变化等都具有重要意义，而植被覆盖率是衡量地表植被状况的一个最重要的生态因子，同时，它又是影响土壤侵蚀与水土流失的主要因子。将植被覆盖率作为评价综合治理效益的指标，已被黄土高原综合治理试验示范区广泛采用^[17]。对植被覆盖率与流域各社会经济人文指标之间进行相关分析，结果表明，植被覆盖率与人均纯收入、恩格尔系数、人均基本农田、义务教育普及率、水土流失治理度和工副业贡献率之间极显著相关($P < 0.01$)，并对存在的关系进行回归分析，建立了它们之间的协调效应关系方程(图 1~图 6)。

据其协同效应方程可知，小流域植被覆盖率与流域人均纯收入、人均基本农田面积、义务教育普及率、水土流失治理度和工副业贡献率之间呈线性正相关，而与流域内恩格尔系数呈线性负相关。其协调效应方

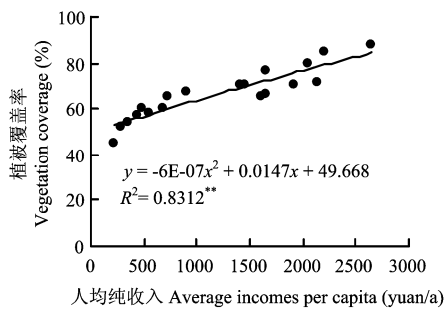


图 1 植被覆盖率与人均纯收入的效应
Fig. 1 Harmony between vegetation coverage and average per capita income

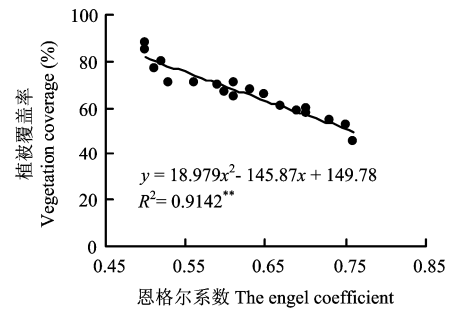


图 2 植被覆盖率与恩格尔系数的效应
Fig. 2 Harmony between the percentage of vegetation and the Engel coefficient

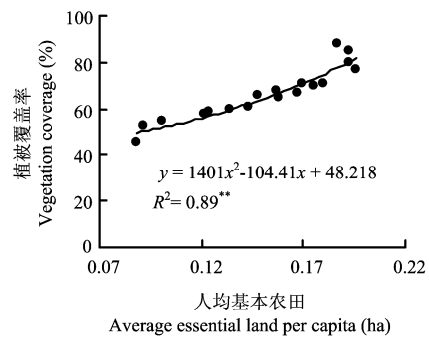


图 3 植被覆盖率与人均基本农田的效应
Fig. 3 Harmony between the percentage of vegetation and average essential land per capita

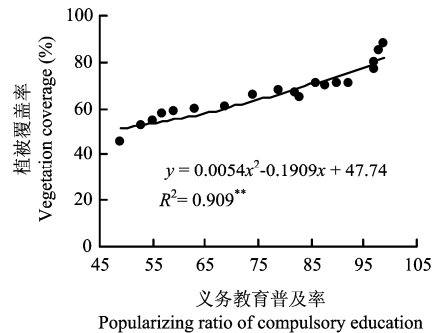


图 4 植被覆盖率与义务教育普及率协调的效应
Fig. 4 Harmony between the percentage of vegetation and popularizing ratio of compulsory education

程所表达的意义为，随着生态(植被)的恢复，流域内人均纯收入不断增加，人均基本农田面积亦有所增大，从而保证流域内的粮食安全；义务教育普及率不断提高，增强了流域内人民的生态安全和环保意识；

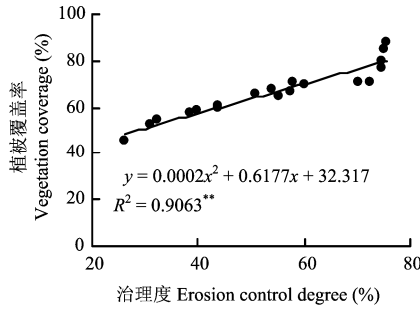


图 5 植被覆盖率与治理度的效应

Fig. 5 Harmony between the percentage of vegetation and erosion control degree

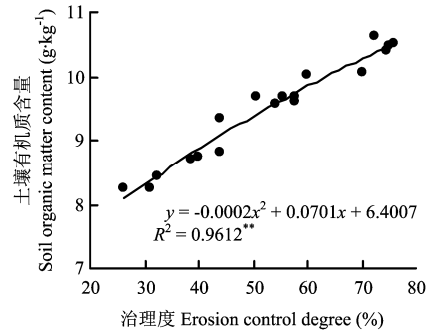


图 7 土壤有机质含量与治理度间的效应

Fig. 7 Harmony between soil organic matter content and erosion control degree

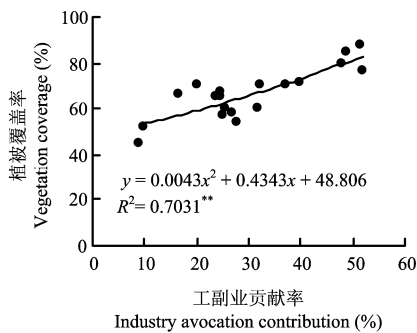


图 6 植被覆盖率与工副业贡献率的效应

Fig. 6 Harmony between the percentage of vegetation and industry avocation contribution

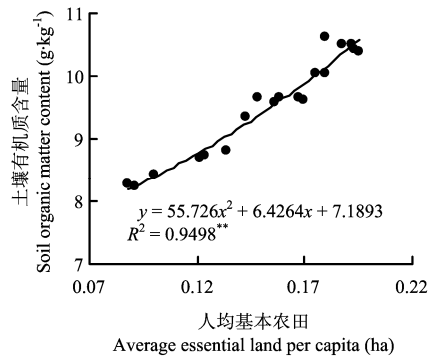


图 8 土壤有机质与人均基本农田的效应

Fig. 8 Harmony between soil organic matter content and average essential land per capita

水土流失治理度逐步增大，保证了生态环境的好转；工副业贡献率显著提高，有力的促进了生态环境的建设；恩格尔系数不断降低，人民生活水平得到了明显改善。反过来，流域内社会经济状况的好转，生态环保意识和生活质量的提高又能促进生态恢复，植被覆盖率的增大。二者相互作用，协调发展。

2.2.2 土壤有机质与社会经济人文 土壤质量是流域生态恢复的重要标志之一，而土壤有机质是土壤质量的主要体现者，研究探讨流域内土壤有机质含量与其社会经济人文间的协调效应关系对侵蚀环境生态恢复具有重要意义。对流域内土壤有机质含量与其社会经济人文状况进行相关分析，结果表明，土壤有机质含量与流域水土流失治理度、人均基本农田、人均纯收入、恩格尔系数和义务教育普及率之间极显著相关 ($P < 0.01$)，与工副业贡献率之间显著相关 ($P < 0.05$)，并对这些相关关系进行回归分析，建立了其协调效应方程 (图 7~图 12)。

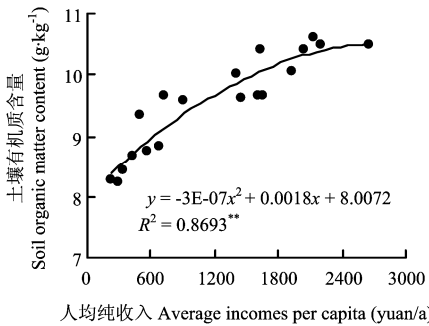


图 9 土壤有机质含量与人均纯收入效应

Fig. 9 Harmony between soil organic matter content and average per capita incomes

从建立的协调效应方程中可以看出，侵蚀环境纸

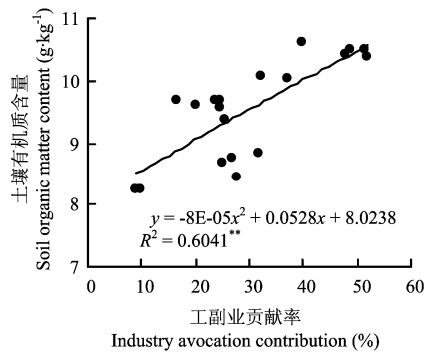


图 10 土壤有机质与工副业贡献率的效应

Fig. 10 Harmony between soil organic matter content and industry avocation contribution

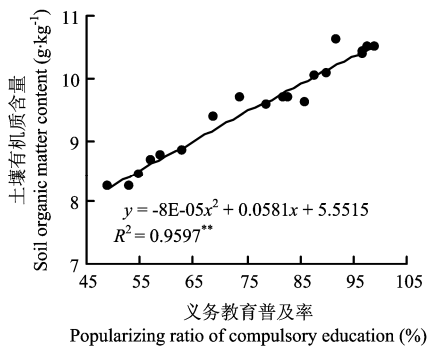


图 11 土壤有机质与义务教育普及率效应

Fig. 11 Harmony between soil organic matter content and popularizing ratio of compulsory education

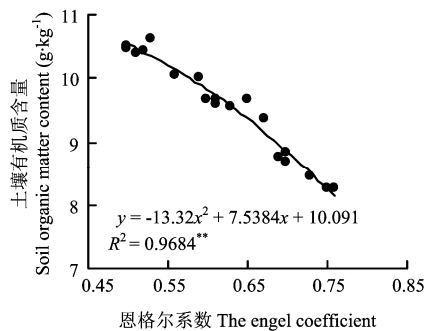


图 12 土壤有机质与恩格尔系数间效应

Fig. 12 Harmony between soil organic matter content and the Engel coefficient

坊沟流域土壤有机质含量与水土流失治理度、人均基本农田面积、人均纯收入、工副业贡献率和义务教育

普及率呈线性正相关,而与恩格尔系数呈线性负相关。其所表达的信息与意义是,侵蚀环境小流域随着土壤质量的恢复提高,流域水土流失的治理强度增大,土壤养分流失减少;人均基本农田面积增大,保证了当地的粮食生产;人均纯收入逐步提高,保证了生态环境的治理;工副业贡献率不断增大,为水土保持与生态环境建设提供了有力的保障;义务教育普及率提高,流域内人民文化素质得到了改善,环保意识明显增强;恩格尔系数不断减小,人民生活质量也显著提高。同样,流域社会经济人文状况的明显改善,增大了对土壤的投入和对生态环境的保护整治,又促进土壤质量的提高恢复,从而实现其健康和可持续发展。显然,侵蚀环境纸坊沟小流域土壤有机质含量与社会经济人文发展相互作用,不断促进,具有较好的协调性。

2.2.3 粮食单产潜势实现率与社会经济人文 粮食单产潜势实现率是侵蚀环境小流域现实生产力的主要体现,分析探讨其与社会经济人文状况的协调效应关系,对该区的环境建设和生态恢复健康,实现可持续发展具有重要的理论和现实意义。对粮食单产潜势实现率与社会经济人文因子进行相关分析,结果表明,该流域粮食单产潜势实现率与其人均基本农田面积、水土流失治理度、人均纯收入、义务教育普及率和恩格尔系数之间极显著相关 ($P < 0.01$),与流域工副业贡献率之间显著相关 ($P < 0.05$)。同时,对这些具有相关关系的因子进行回归分析,建立了其协调效应方程(图 13~图 18)。

根据建立的流域粮食单产潜势实现率与社会经济人文各因子的协调效应方程可以知道,侵蚀环境纸坊

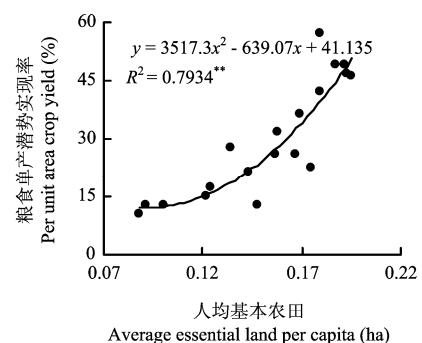


图 13 粮食实现率与人均基本农田效应

Fig. 13 Harmony between per unit area crop yield and average essential land per capita

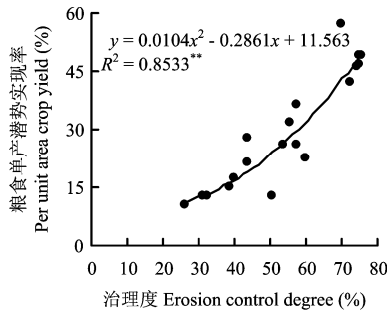


图 14 粮食潜势实现率与治理度的效应

Fig. 14 Harmony between per unit area crop yield and erosion control degree

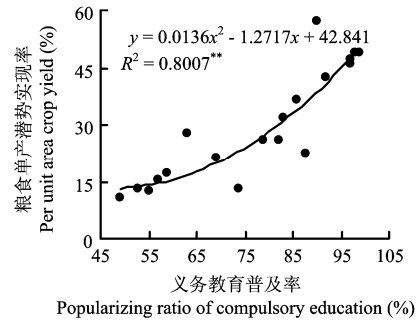


图 17 粮食实现率与义务教育率间效应

Fig. 17 Harmony between per unit area crop yield and popularizing ratio of compulsory education

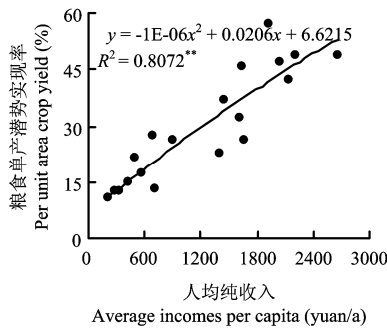


图 15 粮食潜势实现率与人均纯收入效应

Fig. 15 Harmony between per unit area crop yield and average per capita income

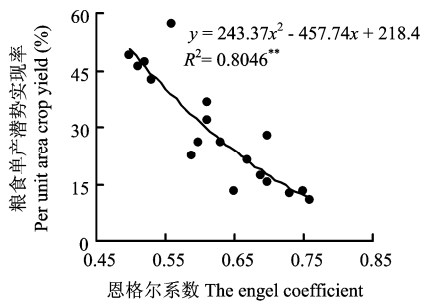


图 18 粮食实现率与恩格尔系数的效应

Fig. 18 Harmony between per unit area crop yield and the Engel coefficient

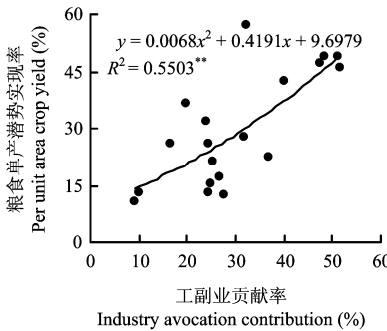


图 16 粮食实现率与工副业贡献率效应

Fig. 16 Harmony between per unit area crop yield and industry avocation contribution

沟流域粮食单产潜势实现率与人均基本农田面积、水土流失治理度、人均纯收入、工副业贡献率和义务教育普及率呈线性正相关，而与恩格尔系数呈线性负相关。流域粮食单产潜势实现率与社会经济人文各因子

的协调效应方程表明，随着生态恢复，系统生产力（粮食单产潜势实现率）的提高，流域内人均基本农田面积有所增大，水土流失治理度提高，促进和改善了流域系统的生态环境状况；人均纯收入和工副业贡献率持续增长，改善了人民生活生产条件，并为其提供了物质保障；义务教育普及率进一步提高，恩格尔系数也不断降低，人民在提高生活质量的同时，其自身素质也得到了较大程度的提高。同样，流域社会经济人文状况的好转与改善，又加大了对粮食生产的投入，进一步提高系统生产力，粮食单产潜势实现率不断提高，二者相互促进，协调发展。

2.3 社会经济人文与生态综合功能

小流域系统生态恢复过程中，其生态功能的发挥主要受自然因子和社会因素的影响，自然因素对生态功能发挥的重要性不言而喻，社会经济人文因子对流域生态因子功能的发挥同样有着重要的作用。流域生态系统的稳定性是其最重要的生态功能的体现，流域

系统抗逆力的增强，能促使流域生态系统的进一步稳定。流域内土壤抗蚀能力、入渗能力和系统抗逆力与社会经济人文因子也是相互作用，相辅相成。社会稳定，经济繁荣，生活质量较高，文化生活丰富，它们便能协调发展。对其进行相关性分析，结果表明，小流域生态系统抗逆力与流域的水土流失治理度、人均基本农田面积、义务教育普及率和恩格尔系数之间显著相关 ($P < 0.05$)，而与人均纯收入和工副业贡献率的相关性较差；土壤抗蚀和入渗能力与流域社会经济人文因子之间无显著相关性 ($P > 0.05$)。存在相关关系的各因子之间的关系如图 19~图 22 所示。

社会经济人文因子与生态功能的这种相关关系表明，人均纯收入增加并不一定能使土壤生态功能发挥和流域系统的抗逆力增强，这可能是由于对生态环境的索取所得；工副业贡献率的提高也不一定能增强流域系统的稳定性，这主要是由于在发展工副业的时候，如果处理不当，可能甚至引起对生态环境的破坏和污

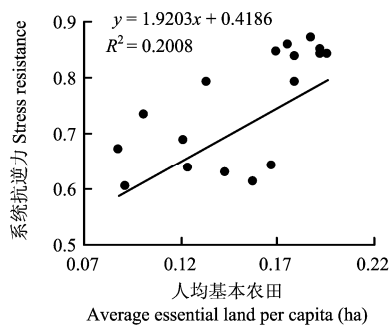


图 19 系统抗逆力与人均基本农田效应
Fig. 19 Harmony between stress resistance and average essential land per capita

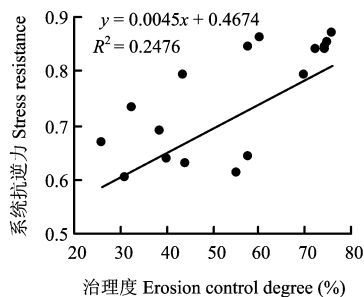


图 20 系统抗逆力与流域治理度的效应
Fig. 20 Harmony between stress resistance and erosion control degree

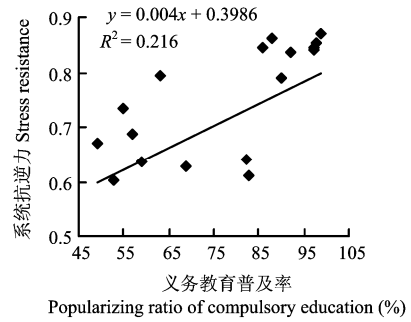


图 21 系统抗逆力与义务教育率的效应
Fig. 21 Harmony between stress resistance and popularizing ratio of compulsory education

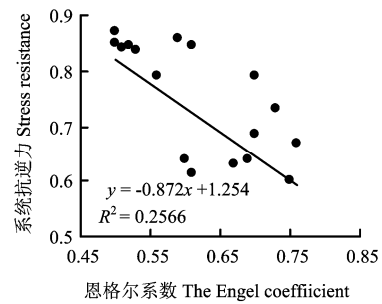


图 22 系统抗逆力与恩格尔系数间的效应
Fig. 22 Harmony between stress resistance and the Engel coefficient

染等，因而，人均纯收入和工副业贡献率与流域系统生态功能的发挥没有直接的关系，而是在间接起作用。它们之间亦表现为相互促进的协调效应（图 23、图 24）。

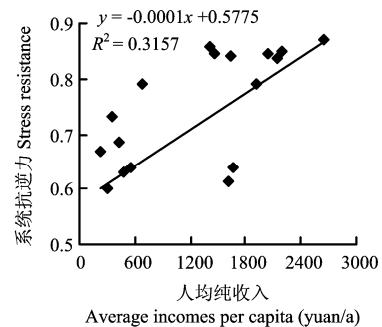


图 23 系统抗逆力与人均纯收入的效应
Fig. 23 Harmony between stress resistance and average per capita income

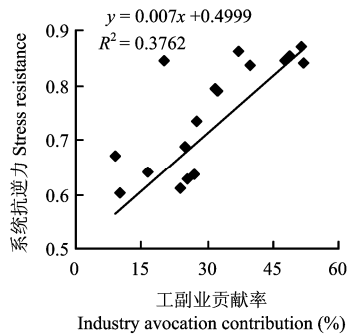


图 24 系统抗逆力与工副业贡献率的效应

Fig. 24 Harmony between stress resistance and industry avocation contribution

从这些协调效应关系分析中可以看出, 在小流域生态恢复过程中, 系统抗逆力随着人均基本农田面积增大、水土流失治理度提高、义务教育普及率的上升和人民生活水平的提高而逐渐增强。究其原因, 主要是由于这些社会经济人文因子的增大, 且随着各因子功能的发挥, 流域系统的稳定性便越来越强。显然, 流域系统稳定性的增强, 又能促进各社会经济人文因子的恢复提高。它们这样相互作用, 彼此促进, 协调发展, 保证了小流域生态系统的恢复健康和可持续发展的实现。

3 讨论

黄土丘陵区属于环境敏感带, 气候暖干化使得生态环境更加脆弱^[18], 其生态恢复不是纯自然过程, 而是与自然社会经济紧密相关, 以人类活动为主导因素而引起的环境改善、经济发展过程, 是一个复杂的系统工程。只有实行环境改善、经济发展和社会进步三者的协调发展, 即只有生态意识、生态工程和生态经济三者充分结合, 提高一个区域的整体经济实力, 生态才能真正恢复健康, 并向良性循环发展。因而在研究中既要考虑土壤、水分、植被等自然因子的历史变迁、现存状况和发展趋势, 也要考虑其作为一个自然和社会复合单元所能承受的干扰程度。由于该区的人口持续增长和悠久的垦耕史, 原始植被已被破坏殆尽, 次生和人工植被覆盖率不足 20%, 人口密度已远超出国际公认的半干旱地区人口承载的上限^[19]。对于土壤、水分、植被等自然因子的研究相对较多^[20,21-24], 关于社会生态方面的研究还不多见^[25-27], 特别是社会生态与自然生态的效应关系研究更是罕见。本研究在进行自然生态恢复过程的基础上, 对社会生态进行了

分析, 并对二者的相互关系和协调机理进行了尝试性的探索。

社会生态是生态恢复的重要组成部分, 在生态恢复过程中, 社会生态与自然生态二者缺一不可, 二者相互作用, 相辅相成, 协调发展, 才能保证该环境的生态恢复, 实现整个系统的生态健康和可持续发展。如果只是单方面的恢复发展, 那这种恢复一定不会长久的, 也不可能是可持续的。在进行流域生态综合功能与社会经济协调关系分析研究中, 就很能说明这个问题, 土壤抗蚀性、入渗率和流域的系统抗逆力均跟反映流域经济状况的人均纯收入和工副业贡献率的相关性较差, 也就是说其经济的发展要以改善生态环境为基础, 只要基础稳固了, 才能促进经济的发展。

目前, 环境协调效应机理还不很清楚, 在以后的研究工作中应进一步深入探索。本研究也仅适用于以人工措施为主的退化生态系统恢复, 生态过程与经济过程、与人的生产活动显示某种相关性, 对于自然生态系统, 或以生态自我修复措施为主时, 其生态恢复过程与经济过程的协同效应关系有待进一步探索。

4 结论

以典型侵蚀环境小流域纸坊沟流域为研究对象, 对其生态恢复过程中的社会经济人文状况与生态的协调效应进行了尝试性的探索, 结果表明, 在生态恢复过程中, 表征流域生态状况的因子植被覆盖率、土壤有机质含量和粮食单产潜势实现率与表征社会经济人文的因子人均纯收入、恩格尔系数、人均基本农田、义务教育普及率、水土流失治理度和工副业贡献率之间具有密切的关系, 表现出较好的协调性效应, 生态状况的改善能促使社会经济的发展, 同样, 社会经济的发展亦能推动生态环境的恢复健康。同时, 体现流域系统稳定性的生态综合功能的系统抗逆力与其社会经济人文状况也有密切的关系, 系统抗逆力增强, 流域稳定性提高可促进社会经济人文状况的好转, 同样, 流域社会经济人文状况的好转亦可推动其生态功能的发挥, 即系统抗逆力的增大, 使流域系统稳定性增强, 表现为较好的协调效应。此外, 国家政策策略对生态恢复具有重要的导向作用。

References

- [1] 王正平. 社会生态学的环境哲学理念及其启示. 上海师范大学学报(哲学社会科学版), 2004, 33(6): 1-8.

Wang Z P. The concept of environmental and philosophy of social

- ecology and its enlightenment. *Journal of Shanghai Normal University (Philosophy & Social Sciences)*, 2004, 33(6): 1-8. (in Chinese)
- [2] 彭少麟. 退化生态系统恢复与恢复生态学. 中国基础科学, 2001, (3): 18-24.
- Peng S L. The restoration of degraded ecosystem and restoration ecology. *China Basic Science*, 2001, (3): 18-24. (in Chinese)
- [3] 傅丽君, 杨文金. 恢复生态学与可持续发展. 山东农业大学学报(自然科学版), 2005, 36(4): 609-614.
- Fu L J, Yang W J. Restoration ecology and sustainable development for human. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2005, 36(4): 609-614. (in Chinese)
- [4] 王传仕. 恩格尔系数变化与居民消费水平的衡量. 山东大学学报(工学版), 2003, 33(2): 208-212.
- Wang C S. Changes of Engel's coefficients and scales of inhabitants consuming levels. *Journal of Shandong University (Engineering Science)*, 2003, 33(2): 208-212. (in Chinese)
- [5] 胡维银, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵沟壑区小流域坡耕地生态经济系统稳定性研究. 杨凌: 中科院水利部水土保持研究所, 2000.
- Hu W Y, Liu G B, Xu M X. *The Research of Eco-economic System Stability in Watershed in Loess Hilly*. Yangling: the Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 2000. (in Chinese)
- [6] 胡维银, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵沟壑区小流域坡耕地土壤抗冲性试验研究. 水土保持通报, 2000, 20(3): 26-28.
- Hu W Y, Liu G B, Xu M X. Dynamic of soil anti-scourability on slope cropland in loess hilly region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2000, 20(3): 26-28. (in Chinese)
- [7] 刘孝义. 土壤物理及土壤改良研究法. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- Liu X Y. *The Research Methods of Soil Physics and Soil Amelioration*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1982. (in Chinese)
- [8] 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.
- Lu Z F. *Studies on Ecological Agriculture with Soil and Water Conservation in Loess Hilly Gully Region*. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1997. (in Chinese)
- [9] 王国梁, 刘国彬, 刘芳, 侯喜禄, 周生路. 黄土沟壑区植被恢复过程中植物群落组成及结构变化. 生态学报, 2003, 23(12): 2550-2557.
- Wang G L, Liu G B, Liu F, Hou X L, Zhou S L. Changes in composition and structure of plant communities during the course of restoration at loess gully region. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2550-2557. (in Chinese)
- [10] World Commission on Environment & Development, Our Common future. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [11] 刘国彬, 胡维银, 许明祥. 黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价. 自然资源学报, 2003, 18(1): 44-49.
- Liu G B, Hu W Y, Xu M X. An analysis on eco-economy system health in Zhifanggou small watershed of Ansai on loess hilly-gullied region. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(1): 44-49. (in Chinese)
- [12] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 布和敖斯尔, 李兵. 中国地表植被覆盖及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-210.
- Sun H Y, Wang C Y, Niu Z, Bukhosor, Li B. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(3): 204-210. (in Chinese)
- [13] Purevdorj T, Tateishi R, Ishiyama T, Honda Y. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(18): 3519-3535.
- [14] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, Rundquist D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(1): 76-87.
- [15] 张云霞, 李晓兵, 陈云浩. 草地植被覆盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述. 地球科学进展, 2003, 18(1): 85-93.
- Zhang Y X, Li X B, Chen Y H. Overview of field and multi-scale remote sensing measurement approaches to grassland vegetation coverage. *Advances in Earth Sciences*, 2003, 18(1): 85-93. (in Chinese)
- [16] 章文波, 符素华, 刘宝元. 目估法测量植被盖度的精度分析. 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(3): 402-408.
- Zhang W B, Fu S H, Liu B Y. Error assessment of visual estimation plant coverage. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2001, 37(3): 402-408. (in Chinese)
- [17] 张兴昌, 邵明安. 植被覆盖度对流域有机质和氮素径流流失的影响. 草地学报, 2000, 8(3): 198-203.
- Zhang X C, Shao M A. Soil organic matter and nitrogen losses by erosion in little catchment model as effected by vegetation coverage. *Acta Agrestia Sinica*, 2000, 8(3): 198-203. (in Chinese)
- [18] 季志平, 苏印泉, 刘建军. 黄土高原的生态恢复与支撑体系初探. 西北林学院学报, 2005, 20(4): 9-13.
- Ji Z P, Su Y Q, Liu J J. Elementary study on ecological restoration and support system in Loess Plateau. *Journal of Northwest Forestry University*, 2005, 20(4): 9-13. (in Chinese)
- [19] 黄志霖, 傅伯杰, 陈利顶. 恢复生态学与黄土高原生态系统的恢复与重建问题. 水土保持学报, 2002, 16(3): 122-125.
- Huang Z L, Fu B J, Chen L D. Restructure and restoration of ecosystem in Loess Plateau based on restoration ecology. *Journal of*

- Soil Water Conservation*, 2002, 16(3): 122-125. (in Chinese)
- [20] 温仲明, 焦 峰, 赫晓慧, 杨勤科, 刘宝元. 纸坊沟流域黄土丘陵区土地生产力变化与生态环境改善. *农业工程学报*, 2006, 22(8): 91-95.
Wen Z M, Jiao F, He X H, Yang Q K, Liu B Y. Increase of land productivity and its implication for eco-environment improvement: a case study in Zhifanggou Catchment in loess hilly areas. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(8): 91-95. (in Chinese)
- [21] 焦菊英, 焦 峰, 温仲明. 黄土丘陵沟壑区不同恢复方式下植物群落的土壤水分和养分特征. *植物营养与肥科学报*, 2006, 12(5): 667-674.
Jiao J Y, Jiao F, Wen Z M. Soil water and nutrients of vegetation communities under different restoration types on the hilly-gullied Loess Plateau. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(5): 667-674. (in Chinese)
- [22] 焦菊英, 马祥华, 白文娟, 焦 峰, 温仲明. 黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落与土壤环境因子的对应分析. *土壤学报*, 2005, 42(5): 744-752.
Jiao J Y, Ma X H, Bai W J, Jiao F, Wen Z M. Correspondence analysis of vegetation communities and soil environmental factors on abandoned cropland on hilly-gullied loess plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(5): 744-752. (in Chinese)
- [23] 刘守赞, 郭胜利, 王小利, 薛宝民. 植被对黄土高原沟壑区坡地土壤有机碳的影响. *自然资源学报*, 2005, 20(4): 529-536.
Liu S Z, Guo S L, Wang X L, Xue B M. Effect of vegetation on soil organic carbon of slope land in gully region of loess plateau. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(4): 529-536. (in Chinese)
- [24] 安韶山, 黄懿梅. 黄土丘陵区柠条林改良土壤作用的研究. *林业科学*, 2006, 42(1): 70-74.
An S S, Huang Y M. Study on the ameliorate benefits of *Caragana korshinskii* shrubwood to soil properties in loess hilly area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(1): 70-74. (in Chinese)
- [25] 叶 峻. 从自然生态学到社会生态学. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2006, 26(3): 49-54.
Ye J. From natural ecology to social ecology. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences)*, 2006, 26(3): 49-54. (in Chinese)
- [26] Murray B. What is social ecology? In: Zimmeman M E ed. *Environmental Philosophy*. New Jersey: Prentic-Hall, Inc., 1993.
- [27] Clark J. Introduction of social ecology. In: Michael E. *Environmental Philosophy*. New Jersey: Prentic-Hall, Inc. 1993.

(责任编辑 李云霞)