

河西走廊山地-荒漠-绿洲复合生态系统耦合 模式及耦合宏观经济价值分析 ——以肃南山地-张掖北山地区荒漠-临泽绿洲为例

林慧龙^{1,2}, 肖金玉¹, 侯扶江¹

(1. 农业部草地农业生态系统重点开放实验室, 兰州大学, 兰州大学草地农业科技学院,
甘肃省草原生态研究所, 兰州 730020; 2. 甘肃农业大学, 兰州 730070)

摘要:应用合作对策理论提出河西走廊山地-荒漠-绿洲复合生态系统的 4 个可行的耦合模式,在现有能值投入水平和科学管理力度下,4 种耦合模式分别增加肃南山地-张掖北山荒漠-临泽绿洲动物生产系统和绿洲植物生产系统的宏观经济价值 3.67、4.02、1.03 和 4.6 倍。用能值概念和度量标准,以耦合后新增宏观经济价值为对策论中合作对策的特征函数,筛选出模式 IV 是 4 种耦合模式中的最佳策略组合即最优的耦合模式。该模式下,家畜对高山草地的压力减小,退化的山地子系统得以恢复,脆弱的荒漠子系统得到保护,绿洲种植业系统也因为家畜的加入、系统多样性提高,系统稳定性加强。研究方法避免了传统的纯货币评价分析方法对耦合产出所含环境资源评价的缺失,使得对耦合效应的评价价值较为客观真实。

关键词:耦合模式;能值分析;宏观经济价值;最优耦合模式

Coupling patterns of the meta-ecosystem of mountain, desert and oasis and its emdollars analysis in the Hexi Corridor, Gansu, China

LIN Hui-Long^{1,2}, XIAO Jin-Yu¹, HOU Fu-Jiang¹ (1. Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystem, Ministry of Agriculture, China; College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University; Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020; 2. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 965~971.

Abstract: The coupling of agro-ecosystems was initially put forward at the end of the 80s. In the middle of the 90s, Ren Ji-zhou and others systematically described the theory of system coupling which showed that system coupling is two or more potentially coupled systems, under artificial control of input and output of energy flow, material flow and information flow in larger systems, coupled to form new superior structure-function bodies. The general function of coupling between systems is to consummate the structure of the ecosystem, to release production potential and magnify ecological and economic value of the system. Hereafter, domestic and overseas scholars carried out detailed extensive research on the coupling model and coupling value for agro-ecosystems, where case research was mainly directed to the typical MOD (mountain-oasis-desert) coupling system in an inland arid area.

The premise of reciprocal coupling between ecosystems is the reduction in the accumulation of free energy to stabilize the coupling system. Coupling patterns vary from each other. For a sub-ecosystem, the pattern can be regarded as a response strategy. Therefore, the optimal coupling pattern can be screened out by analyzing the economic and ecological value of

基金项目:国家自然科学基金“中国西部环境和生态科学研究计划”资助项目(90102011);农业部草地农业生态系统重点开放实验室基金资助项目;干旱与草地农业生态教育部重点实验室资助项目;甘肃省自然科学基金项目(ZR-96-054)

收稿日期:2003-09-23; **修订日期:**2004-01-10

作者简介:林慧龙(1965~),男,辽宁沈阳人,博士生,副教授,主要从事草地农业生态学研究。E-mail: LHL@Public.Lz.Gs.Cn.

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 90102011); Foundation of Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystem, Ministry of Agriculture, PRC and Key Laboratory of Arid and Grassland Agroecology, Ministry of Education; Natural Science Foundation of Gansu Province (No. ZR-96-054)

Received date: 2003-09-23; **Accepted date:** 2004-01-10

Biography: LIN Hui-Long, Ph.D. candidate, Associate professor, mainly engaged in grassland science. E-mail: LHL@Public.Lz.Gs.Cn.

possible system coupling patterns established by the use of cooperating game theory. There are energy, material, information, and monetary flows between sub-systems and between these and the external environment. However, attention was purely directed to economic value, so different energy sources couldn't be compared. Energy, material and monetary flows couldn't be measured together, so only economic value was analysed. An integrated coupling value couldn't be analysed.

This research, by using cooperating game theory and emergy analysis theory, measured and compared emergy varying in origin and property using the same measurement unit in the agro-ecosystem. The energy, material, and monetary flows were unified through emergy analysis. Finally, the optimal coupling pattern was screened out after integrated analysis of economic, ecological, and social value.

Actually, the grassland agro-ecosystem in the Hexi corridor is a meta-ecosystem composed of mountain, oasis and desert sub-ecosystems. The desert sub-ecosystem plays the role of matrix and ecological barrier for the whole meta-ecosystem. The mountain sub-ecosystem is the water conservation area and main producing area of livestock products for the meta-ecosystem. The oasis sub-ecosystem is zonal with high productivity and ability to exchange material, energy and information with the external environment. The oasis sub-ecosystem plays a key role in coupling because it is the center of energy convergence and switch of the whole meta-ecosystem. The three sub-systems have distinct time and space differences in forage grass, and potential energy, which provides opportunity for coupling in time, space, quantity, order, and structure of the three sub-systems. Great production potential is released by the system coupling effect resulting from the oasis sub-system, as core, driving the mountain and desert sub-systems. The following uses the Sunan Mountain, desert in the northern area of Zhangye-Linze Oasis as an example, to describe the coupling patterns of the MOD meta-ecosystem. Solar transformations for the main types of energy and commodities are derived from previous studies, using those which are appropriate for regional analysis.

Using cooperating game theory and considering the production practice of the MOD coupling ecosystem, the coupling pattern set of the MOD coupling ecosystem can be described as $D = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4\}$, in which coupling pattern I: $Z_1 = (x_{11}, x_{21}, x_{31}) = \{\text{oasis sub-system providing forage to mountain and desert sub-systems}\}$; coupling pattern II: $Z_2 = (x_{12}, x_{22}, x_{32}) = \{\text{commodity sheep in mountain and desert sub-systems are transferred to oasis sub-systems to fatten}\}$; coupling pattern III: $Z_3 = (x_{13}, x_{23}) = \{\text{breeding base in oasis providing lambs to mountain sub-system to make best use of the forage resource in summer}\}$; and coupling pattern IV: $Z_4 = (x_{14}, x_{24}, x_{34}) = \{\text{integration of coupling patterns I to III with optimized structure}\}$.

The optimal coupling pattern can be decided upon after conducting dynamic simulations with some decision factors for the meta-ecosystem, such as grassland degradation, water and soil loss, consumption of electricity, organic fertility, etc, and predicting the change in emdollars for the MOD meta-ecosystem with different coupling patterns, to provide a theoretical basis to take advantage of various resources effectively, to establish a sustainable grassland agro-ecosystem, and to increase agricultural productivity.

The results of the established dynamic linear programming model were: At the level of available emergy devotion and the strength of management in existence, application of the new 'increase-in-emdollars' analysis for the four coupling patterns described for the meta-ecosystem of the Sunan Mountain, Zhangye Beishan Desert and Linze Oasis in the Hexi corridor, Gansu, China, resulted in the emdollars for the 4 coupling patterns increasing as follows: 3.67, 4.02, 1.029, and 4.6 times, respectively. The fourth coupling pattern is the best coupling pattern. A science-based evaluation of a coupling system is now available to represent both environmental and economic values by using a common measure of emergy, therefore the emdollars analysis method provides a quantitative way to find what pattern for humanity and nature is sustainable.

Key words: coupling pattern; emergy analysis; emdollars; optimal coupling pattern

文章编号: 1000-0933(2004)05-0965-07 中图分类号: Q149, Q181 文献标识码: A

农业生态系统的耦合问题最初于 20 世纪 80 年代末被提出来^[1]。20 世纪 90 年代中期,任继周等系统地阐述了系统耦合的理论,指出系统耦合是两个或两个以上的具有耦合潜力的系统,在人为调控下,通过能流、物流和信息流在系统中的输入和输出,形成新的、高一级的结构-功能体^[2],系统耦合的一般功能是完善生态系统结构、释放生产潜力与放大系统的生态与经济效益^[2~4]。此后,国内外学者对农业生态系统的耦合模式和耦合效益开展了广泛而细致的研究^[5~14],实例研究主要针对内陆干旱地区典型的山地-绿洲-荒漠(Mountain-Oasis-Desert, MOD)耦合系统^[3~7, 12]。

多个生态系统之间相互耦合的前提是各生态系统以减少自由能的积累而使耦合系统达到最大稳定^[15]。耦合模式多种多

样,一种模式对一个子生态系统来说,可以看作一种应对的策略,因此可以用对策论中的合作对策理论构建可能的系统耦合模式,综合分析其经济与生态效益,从而筛选出优化耦合模式。由多个子系统构成的耦合系统,各子系统之间及其与外部环境之间存在能量流、物质流、货币流和信息流。但是,过去由于单纯着眼于生态或经济分析,不同能质的能量无法比较,耦合系统的能流、物流与货币流无法统一度量,只能单纯地分析其经济效益或生态效益^[13-16,17],而难以综合分析生态系统的耦合效益。

本研究应用合作对策理论和能值分析理论^[18],用同一标准的能值衡量和比较农业系统中来源和性质不同的各种能量,将系统的能流、物流和价值(货币)流通过能值分析相互换算并加以综合,用能值流统一起来,以定量系统的真实价值^[18-20],进而综合分析系统的经济、生态、社会效益,筛选出最佳策略组合,即最优的耦合模式。

能值(Emergy)不同于能量(Energy),其定义为:某种流动或贮存的能量所包含的另一种能量的数量,由于地球上的能量都直接或间接来源于太阳能,所以实际应用的是太阳能值(Solar emergy),即任何资源、产品或劳务在形成过程中直接或间接利用的太阳能之量,称其具有的太阳能值,单位为太阳能焦耳(Solar emjoules,缩写为 sej)。能值分析理论以能值为统一度量标准,通过能值转换率将系统各种生态流都转换为能值,从而使自然环境生产与人类经济活动能够进行统一评价。能值分析理论是从宏观角度以自然价值为基础,以客观存在的能值来衡量自然生态环境与人类社会经济所创造的一切财富,即一件东西的真正价值取决于它所包含的太阳能值多少。运用能值分析理论和方法,把自然环境系统与人类经济系统有机地联系和统一起来,有助于整个生态环境生产和社会经济发展的协调进行,科学评价自然资源对社会经济的真实贡献,对国家、地区可持续发展的方针制定具有科学指导意义^[18-20]。

本文采用能值概念,能比较灵活也比较正确地反映系统耦合中的能量运动,而不致发生影射扭曲。

1 筛选最优化耦合模式的理论基础

应用对策论中合作对策理论,建立以下确定多个生态系统耦合模式中最优化模式的理论模型:生态系统集 $\{N_1, N_2, \dots, N_n\}$,对应于每个生态系统 N_k ,给定一集合 S_k 称为生态系统 N_k 的对策集,如果给定 $x_k \in S_k, k=1, \dots, n$,则称 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in S=S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$ 为诸系统的一个联合对策,集合 $S=S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$ 为所有可能的联合对策全体,但不一定就是实际可行的联合对策全体, S 中有的联合对策在实际中并不可行。为此引入耦合模式集的概念: D 为系统 $N_1, N_2, \dots, N_n$ 的耦合模式集,如果 D 是指定的 S 的非空子集,若 $x_k \in S_k$,且存在 $x_1, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_n$ 使 $(x_1, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_n) \in D$,则称 x_k 是系统 N_k 的一个耦合对策, $Z=(x_1, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_n)$ 称为耦合系统的一个耦合模式。

对于每一个耦合模式 Z ,对应的可以确定一个 $V(Z)$ 。 $V(Z)$ 的意义为:如果应用耦合模式 Z ,则此耦合模式的耦合宏观经济价值(Emdollars)为 $V(Z)$ 。宏观经济价值指输入到耦合生态系统的能值产出对经济的货币贡献值;由于体现了产出中所含人类劳动和环境资源的价值,宏观经济价值克服了传统的纯货币评价分析方法对耦合产出所含环境资源评价的缺失,真实地反映了耦合产出的实际价值,本研究基于试验获得的、适合研究区域的各种资源的能值转换率,将不同能量单位转换为统一度量的能值单位(其中货币流部分,用货币 $\times$ 能值/货币比率求得)。各能流在整个耦合系统中的相对贡献,可将能值(sej)再转换成宏观经济价值(Emdollars),区别于以个人支付意愿为基础的微观市场经济价值(Y ,能值除以能值/货币比率)来分析,实现其与现行货币评价方式的对接,能值/货币比是时间和空间的二维函数因所研究地区经济发展状况而异。

Z 必须满足如下条件: $V(Z) > \sum_{i=1}^n V(N_i)$,其中 $V(N_i)$ 是系统 N_i 独立运行时的宏观经济价值,耦合系统的最优耦合模式是:

$$Z = \{(x_1, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_n) \mid \max_{Z \in D} (V(Z)), \forall Z \in D\}.$$

2 山地-荒漠-绿洲生态系统耦合模式

河西走廊的草地农业系统实际是由山地子生态系统、绿洲子生态系统、荒漠子生态系统构成的复合生态系统。荒漠子系统为整个复合生态系统的基质,是整个复合生态系统的生态屏障;山地子生态系统是整个复合生态系统的水源涵养区,畜产品的主要生产区;绿洲子生态系统是具有地带性的、较高开放性的、生产力水平很高的生态系统,是山地-荒漠-绿洲复合生态系统的能值集中和交换的中心,在系统耦合中居关键地位。绿洲、山地、荒漠子系统在饲草资源上的时、空差异明显,正、负能量势位差巨大,这就为山地、绿洲、荒漠子系统之间在时、空、量、序、构上的耦合提供了契机。以绿洲子生态系统为核心,带动山地子生态系统与荒漠子系统,引发系统耦合效应,使巨大的生产潜势得到解放,同时产生良好的生态效益^[2-7, 10-12, 14]。下面以肃南山地-张掖北山地区荒漠-临泽绿洲为例阐述山地-荒漠-绿洲生态系统耦合模式。

2.1 山地生态系统(N_1)的对策集(S_1)

山地生态子系统由于动物生产与植物生产的时、空相悖,在暖季草地对畜群而言处于“盈供”期,牧草相对过剩;冷季草-畜矛盾尖锐,把环境代价看成是免费的午餐,超载过牧、草原退化现象普遍而严重。肃南县(1996年按可比价格计算,下同)农业总产值10988.27万元,畜牧业产值6935.45 $\times 10^4$ 元,畜种以山羊、高山细毛羊为主,存栏数48.26 $\times 10^4$ 只,能繁殖的母畜22.31 $\times$

10^4 只。年均降水量 253mm, 水资源总量 $271000 \times 10^4 \text{m}^3$ 。年均日照时数 2683h, 年总辐射 $536.50 \text{kJ}/\text{cm}^2$, 年生理辐射 $262.88 \text{kJ}/\text{cm}^2$, 年 $>0^\circ\text{C}$ 积温 2336.4°C , 能值货币比率为 $25.4E+11 \text{ sej}/\text{元}$ 。草地总面积 $170.94 \times 10^4 \text{hm}^2$, 可利用草地面积 $142.21 \times 10^4 \text{hm}^2$, 总产草量 $17.65 \times 10^8 \text{kg}$, 其中冬春牧场 $7.55 \times 10^8 \text{kg}$, 夏秋牧场 $10.1 \times 10^8 \text{kg}$, 草地季节利用不均衡, 夏秋牧场盈余 24×10^4 羊单位, 冬春牧场超载 14.9×10^4 羊单位, 导致家畜体重下降, 宏观经济价值损失 1733.86×10^4 元; 年均死亡牲畜 14470 (头), 宏观经济价值损失 217.05×10^4 元; 引起 $18.7 \times 10^4 \text{hm}^2$ 草地严重退化, $16.1 \times 10^4 \text{hm}^2$ 草地轻度退化, 沙漠化年宏观经济价值损失 75×10^4 元, 草地退化年宏观经济价值损失 10877×10^4 元, $V(N_1) = -5967.46 \times 10^4$ 元。家畜饲草需求量、草地产草量、牧草营养物质消化率等数据通过试验获得^[13,21], 其它统计数据来源于文献^[22]。

根据系统耦合的催化、位差潜势原理, 通过正、负向催化, 提高农业生态生产力^[2], 山地生态系统 N_1 的对策集是 $S_1 = \{x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}\}$, 其中 $x_{10} = \{\text{靠系统自组织, 不与绿洲联合}\}$, $x_{11} = \{\text{引入绿洲饲草资源, 春季补充能量饲料, 冬季补饲能量与蛋白质饲料}\}$, $x_{12} = \{\text{山地育成, 绿洲育肥}\}$, $x_{13} = \{\text{夏季从绿洲引入羔羊, 加大放牧头数}\}$, $x_{14} = \{\text{在保持输入能值投入恒定的前提下}^\text{①}, \text{补饲、提前出栏肥育, 从绿洲购进羔羊并举, 并优化结构}\}$ 。

2.2 绿洲子生态系统(N_2)的对策集(S_2)

由于河西走廊绿洲区是甘肃省最大的商品粮生产基地, 全区年均产商品粮 4.8 亿 kg, 同时也是西部重点经济开发区, 粮食生产已远远超过了粮食安全线 $400 \text{kg}/(\text{a} \cdot \text{人})$, 粮食的高产主要依靠农业的高投入, 以地表水与地下水资源过量开采为代价。经济保持高速增长的同时, 用水总量大幅增加, 水源供需矛盾日益突出。水的短缺对于“有水变为绿洲、无水即为沙漠”的河西走廊来说是一种致命的威胁, 所以实现水资源合理利用的一条重要途径就是控制耕地的扩张, “藏粮于草”。从本质上讲绿洲生态农业属于节水型低熵农业类型, 绿洲子生态系统 N_2 应把草业纳入绿洲农田生态系统。临泽绿洲 1996 年农业总产值 50434×10^4 元, 耕地 5200hm^2 , 种植业产值 32800.15×10^4 元, 单产 $7161.3 \text{kg}/\text{hm}^2$ 。水资源总量 $1502 \times 10^4 \text{m}^3$, 土壤盐渍化损失的年宏观经济价值为 129.26×10^4 元, 化肥的能值投入较高, 土壤肥力的下降可看作不可更新的资源消耗, 农田生态系统年均表土净肥力损失的年宏观经济价值为 373.21×10^4 元, 临泽绿洲饲草料资源不仅丰富, 而且品种齐全, 刍草利用率不足。非沙漠化土地面积 $11.89 \times 10^4 \text{hm}^2$, 沙漠化年损失 962.1×10^4 元, $V(N_2) = 31335.58 \times 10^4$ 元。

绿洲子系统对策集为 $S_2 = \{x_{20}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}\}$, 其中 $x_{20} = \{\text{靠系统自运行, 不把草业纳入绿洲农田生态系统}\}$, $x_{21} = \{\text{建立饲料基地}\}$, $x_{22} = \{\text{建立牲畜肥育场, 以充分利用丰富的饲料资源}\}$, $x_{23} = \{\text{建立良种场, 为山地、荒漠子生态系统提供夏秋良种羔羊}\}$, $x_{24} = \{\text{在保持输入能值投入率恒定的前提下, 退耕与建立饲料基地、牲畜肥育场、良种场并举, 且优化产业结构}\}$ 。

2.3 荒漠子生态系统(N_3)的对策集(S_3)

荒漠子系统脆弱性的突出表现在于干旱, 加之人为乱垦乱挖以及过度放牧, 加剧恶化, 形成环境和资源的严重危机。然而荒漠子系统在放牧饲养业中具有重要地位与价值, 这是由经过长期自然选择形成的、能够适应严酷荒漠条件的荒漠区植被所决定的, 问题的关键是如何利用荒漠区植被时应把握住草地牧草得以实现自我更新的强度阈值。在不可逆转的人口增长、社会经济发展过程中, 荒漠子系统如何扬长避短, 以适应发展的要求, 经营和宏观规划管理居关键地位。张掖北山地区可利用荒漠草地面积 $7.99 \times 10^4 \text{hm}^2$, 可食牧草产量 $684 \text{kg}/\text{hm}^2$, 贮草量 $546.90 \times 10^4 \text{kg}$, 家畜基础畜群 3.746×10^4 只, 畜牧业产值 538.338×10^4 元。冬春营养不足, 导致家畜体重下降, 宏观经济价值损失 134.55×10^4 元; 年均死亡牲畜宏观经济价值损失 16.84×10^4 元; 过度放牧造成草地退化年宏观经济价值损失 844.05×10^4 元, $V(N_3) = -547.102 \times 10^4$ 元。

荒漠子系统 N_3 的对策集 $S_3 = \{x_{30}, x_{31}, x_{32}\}$, 其中 $x_{30} = \{\text{靠系统自组织, 不与绿洲联合}\}$, $x_{31} = \{\text{引入绿洲饲草资源, 春季补充能量饲料, 冬季补饲能量与蛋白质饲料}\}$, $x_{32} = \{\text{季节畜牧业方式荒漠育成, 绿洲育肥}\}$, $x_{33} = \{\text{在保持输入能值投入恒定的前提下, 以补饲、季节畜牧业方式荒漠育成, 绿洲育肥并举, 并优化畜群结构}\}$ 。

2.4 山地-荒漠-绿洲耦合生态系统耦合模式集

兼顾山地-荒漠-绿洲耦合生态系统生产实际, 山地-荒漠-绿洲耦合生态系统耦合模式集 $D = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4\}$, 其中耦合模式 I: $Z_1 = (x_{11}, x_{21}, x_{31}) = \{\text{绿洲子系统为山地、荒漠子系统基础畜群提供补饲草料}\}$; 模式 II: $Z_2 = (x_{12}, x_{22}, x_{32}) = \{\text{山地、荒漠子系统商品羊提前出栏转移到绿洲子系统舍饲肥育}\}$; 模式 III: $Z_3 = (x_{13}, x_{23}) = \{\text{绿洲子系统良种场为山地子系统提供羔羊, 以充分利用山地夏季牧场牧草资源}\}$; 模式 IV: $Z_4 = (x_{14}, x_{24}, x_{33})$ 。

3 山地-荒漠-绿洲生态系统最优耦合模式

对整个复合生态系统的发展有决定作用的几个因子, 例如草地退化、水土流失、电力与有机肥消费等进行动态模拟^[23], 建

① 输入能值投入恒定意指山地-荒漠-绿洲复合生态系统外的输入能值投入为一常数, 即对生态系统因势利导以获得生产效益, 而不作大量特殊农业投入的生产

立动态线性规划模型,预测山地-荒漠-绿洲复合生态系统在不同的耦合模式下,耦合宏观经济价值的变化,以确定最优耦合模式,为有效利用各种资源,建立可持续的草地农业生态系统,提高农业生态生产力提供理论依据。

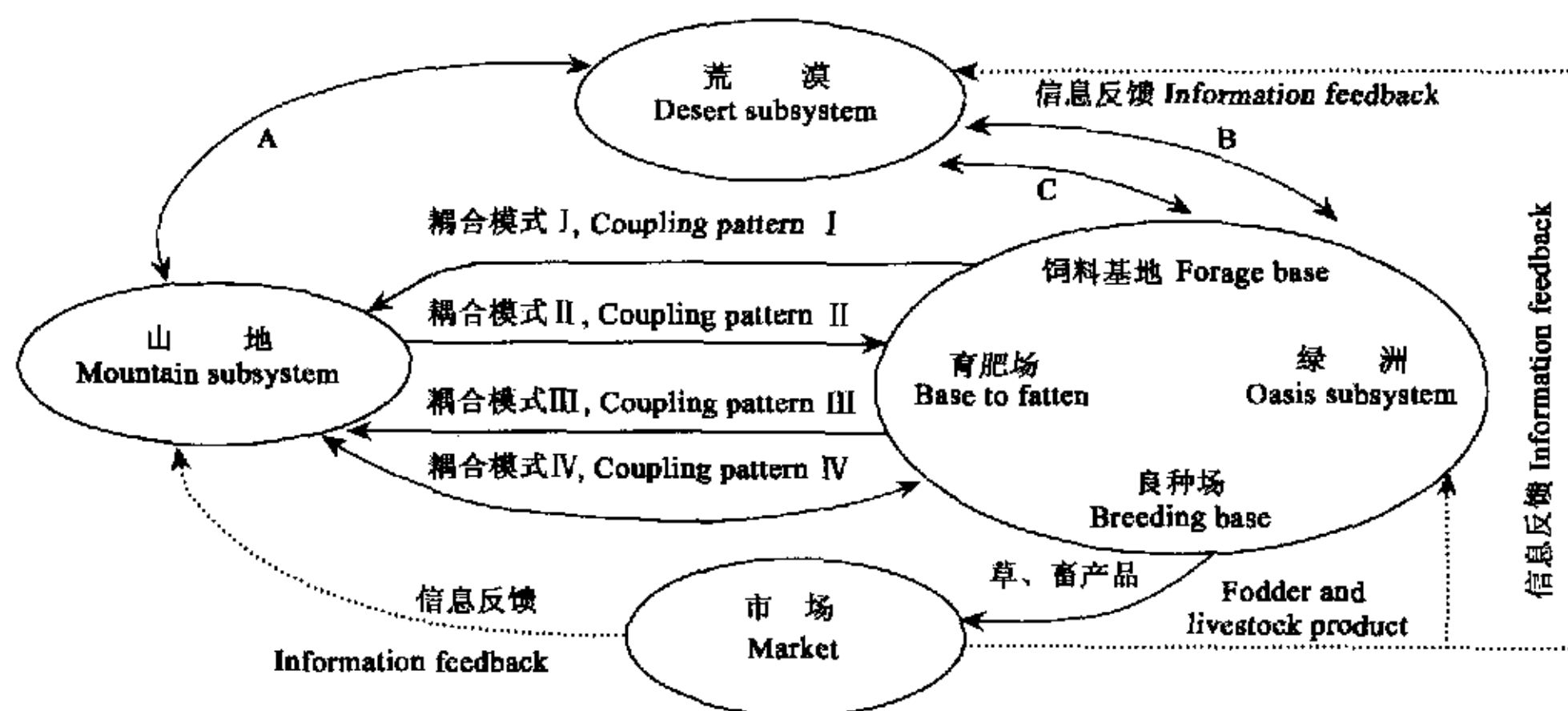


图1 河西走廊山地-荒漠-绿洲复合生态系统的耦合模式

Fig. 1 Coupling patterns of the meta-ecosystem of mountain, desert and oasis in Hexi Corridor, Gansu, China

A: 区域水热交换 The water conservation area and territorial exchange of water and heat; B: 生态屏障 Ecological barrier; C: 适应性利用 Aptitudinal utilizing

应用耦合模式 I $x_{11} = \{ \text{肃南山地春、冬季需补饲苜蓿 } 17544.44\text{t}, \text{需农作物当草饲料 } 13528.28\text{t}, \text{麸皮 } 11203.08\text{t} \};$
 $x_{21} = \{ \text{绿洲退耕 } 2100.71\text{hm}^2 \text{ 田地种苜蓿, 建立饲料基地} \}; x_{31}$
 $= \{ \text{张掖北山地区荒漠放牧生态系统, 春、冬季需补饲苜蓿 } 1361.45\text{t}, \text{需农作物当草饲料 } 1049.79\text{t}, \text{麸皮 } 869.36\text{t} \};$ 实行冷
 季补饲, 可提高基础畜群数量至 59.87×10^4 只, 其中山地
 55.56×10^4 只, 张掖北山荒漠区 4.31×10^4 只, 有利于基础畜
 群安全渡过冬季、春乏期, 提高羔羊成活率, 同时也可减轻放
 牧压力, 有利于山地、荒漠畜牧业健康、持续发展, 但补饲成本
 较高, 山地、荒漠投入补饲成本回报率较低。

应用耦合模式 II $x_{12} = \{ \text{山地每年出栏 } 17.3157 \times 10^4 \text{ 只羊, 其中幼羔 } 4.2855 \times 10^4 \text{ 只; 1 龄羊 } 7.4803 \times 10^4 \text{ 只; 5 龄羊 } 5.5499 \times 10^4 \text{ 只} \};$
 $x_{22} = \{ \text{绿洲建立牲畜肥育场, 将山地提前出栏的幼羔 } 4.6155 \times 10^4 \text{ 只; 1 龄羊 } 8.0603 \times 10^4 \text{ 只; 5 龄羊 } 5.9799 \times 10^4 \text{ 只肥育, 育肥期 } 60\text{d} \};$
 $x_{32} = \{ \text{张掖北山地区荒漠放牧生态系统每年出栏 } 1.34 \times 10^4 \text{ 只羊, 其中幼羔 } 0.33 \times 10^4 \text{ 只; 1 龄羊 } 0.58 \times 10^4 \text{ 只; 5 龄羊 } 0.43 \times 10^4 \text{ 只} \};$ 系统耦合后, 绿洲农田系统利用饲草资源优势, 取得架子畜, 直接育肥, 畜产品生产过程中, 部分代谢物和废弃物又作为支持能返回绿洲农田系统, 作为种植业的投入能, 进入再生产再循环过程, 使耦合效益再放大。当然耦合效益与再循环阶数、耦合范围、耦合期呈正反馈关系, 本研究仅涉及山地、荒漠放牧生态系统与绿洲农田系统为期 60d 的系统耦合。

应用耦合模式 III $x_{13} = \{ \text{夏季山地从绿洲购进高山细毛羔羊 } 22.25 \times 10^4 \text{ 只, 在山地放牧 } 2 \sim 3 \text{ 个月} \}; x_{23} = \{ \text{绿洲建立良种场, 为山地提供高山细毛羔羊 } 22.25 \times 10^4 \text{ 只} \};$ 通过该模式耦合山地充分利用了夏季牧草资源, 由于草地牧草资源是有限的, 所以该耦合模式的耦合潜力也是有限的。

应用耦合模式 IV $x_{14} = \{ \text{山地冬季草地家畜基础畜群数量 } n = 48.26 \times 10^4 \text{ 只, 高山细毛羊种群结构比为 } n_0 : n_2 : n_3 : n_4 = 0.23 : 0.21 : 0.20 : 0.19 : 0.17; \text{冷季需补饲苜蓿 } 15239.28\text{t}, \text{需农作物秸秆饲料 } 11750.8\text{t}, \text{麸皮 } 9746.68\text{t}; \text{山地从绿洲购进高山细毛羔羊 } 22.25 \times 10^4 \text{ 只, 在山地放牧 } 3 \sim 6 \text{ 个月; 每年应出栏幼羔 } 9.9802 \times 10^4 \text{ 只; 1 龄羊 } 0.9652 \times 10^4 \text{ 只; 2 龄羊 } 0.4826 \times 10^4 \text{ 只; 3 龄羊 } 0.4826 \times 10^4 \text{ 只; 4 龄羊 } 0.9652 \times 10^4 \text{ 只; 5 龄羊 } 8.2042 \times 10^4 \text{ 只} \};$
 $x_{24} = \{ \text{绿洲退耕 } 104.26\text{hm}^2 \text{ 田地种苜蓿, 建立饲料基地; 绿洲建立良种场, 为山地提供高山细毛羔羊 } 22.25 \times 10^4 \text{ 只; 绿洲建立牲畜肥育场, 将山地、荒漠提前出栏幼羔 } 33 \times 10^4 \text{ 只; 1 龄羊 } 1.0401 \times 10^4 \text{ 只; 2 龄羊 } 0.5201 \times 10^4 \text{ 只; 3 龄羊 } 0.52 \times 10^4 \text{ 只; 4 龄羊 } 1.0401 \times 10^4 \text{ 只; 5 龄羊 } 7.6344 \times 10^4 \text{ 只肥育} \};$

表1 应用耦合模式 I、II、III、IV 的效益分析结果

Table 1 The values analysis of applying coupling pattern I、II、III、IV

耦合模式 Coupling pattern	耦合宏观经济价值 $V(Z_i)$ (万元) Coupled Emdollars $V(Z_i)$ (ten thousand yuan)	效益增长倍数 The emdollars increase times
I	66452.16	3.67
II	75130.57	4.02
III	40892.6	1.029
IV	89771.318	4.6

$x_{32} = \{ \text{张掖北山荒漠区每年应出栏幼羔 } 0.7745 \times 10^4 \text{ 只; 1 龄羊 } 0.0749 \times 10^4 \text{ 只; 2 龄羊 } 0.0375 \times 10^4 \text{ 只; 3 龄羊 } 0.0374 \times 10^4 \text{ 只; 4 龄羊 } 0.0749 \times 10^4 \text{ 只; 5 龄羊 } 0.5498 \times 10^4 \text{ 只; 冷季需补饲苜蓿 } 1182.57 \text{ t, 需农作物秸秆饲料 } 911.86 \text{ t, 麸皮 } 756.34 \text{ t} \}$; 在该模式下山地、荒漠、绿洲充分利用了不同生态类型和经济类型的自然条件, 使牲畜资源和饲草料资源优势互补。降低了山地、荒漠子系统冬春季节草地超载过牧的压力, 改善了畜群“冬瘦春乏”的现状, 并使山地牧民较早地获得可观的经济收益; 绿洲生态子系统丰富的农副产品资源和营养价值较高的饲草料, 提高了畜群饲料转化率, 促进了畜产品的商品流通, 形成肥育场的规模经营和专业化生产; 全年饲养、肥育, 有利于全年均衡的经济收入和均衡的市场肉食供应; 育肥牲畜的优质有机粪肥, 为绿洲生态子系统保持土壤有机养分循环和土地的持续利用提供了重要物质基础。

山地-荒漠-绿洲耦合生态系统在不新增输入能值的前提下, 运用耦合模式 I ~ IV, 肃南山地-张掖北山荒漠区-临泽绿洲动物生产系统和绿洲植物生产系统的宏观经济价值分别增加提高了 3.67、4.02、1.03 和 4.60 倍, 模式 IV 是耦合模式中的最优模式。

4 问题与讨论

在河西走廊山地-荒漠-绿洲耦合生态系统中, 能值分析理论的实践应用不多, 经验不足, 加之农业生态系统能值分析指标体系尚不完备, 尚有很大的发挥余地和发展弹性。为了进行正确地选择最优耦合模式, 须要进行进一步深入系统研究的问题是: 建立河西走廊绿洲的以能值分析为基础的生产潜力、绿洲生态经济系统的微模型; 河西走廊山地-荒漠-绿洲耦合生态系统的水资源、森林资源和草地资源在其生态经济系统进一步发展过程中的替代作用及其适度利用。

上述 4 种模式都只涉及山地动物生产系统和绿洲农田生产系统的局部耦合, 而没有涉及绿洲农田系统的整体优化问题, 只是对山地-荒漠-绿洲耦合系统的初步研究。尽管如此, 研究结果已经呈现出山地动物生产系统和绿洲农田生产系统耦合后所产生的巨大效益。

本项研究的假设前提是山地-荒漠-绿洲耦合系统没有新增输入能值, 即耦合结果是在现有的投入强度、科技和管理水平下取得的。因此, 可以预测, 随着投入强度、科技和管理水平的提高, 耦合新增宏观经济价值势必大幅度增长。

研究确定 4 种可能的耦合模式都是以市场为“耦合器”, 在合作机制下对系统间耦合优化模式做的初步探索, 而在“市场经济”环境下, 多个(大于 3 个)大系统间的联系通常是在各自“利益”的驱动下而采用非合作机制, 这种联系既可能产生耦合也可能产生系统相悖, 这就需要对多系统在非合作机制下的系统相悖机理和优化耦合模式做进一步地深入研究。

References:

- [1] Ren J Z, Ge W H, Zhang Z H. Establishment of prataculturae system-Outlet of grassland animal husbandry. In: *Grassland Science and Prataculturae Development in China*. Beijing: Science Press, 1989. 6~9.
- [2] Ren J Z, Wan C G. System Coupling and desert-oasis agro-ecosystem. *Acta Pratacult Sin.*, 1994, 3(3): 1~8.
- [3] Ren J Z, Zhu X Y. Pattern and system repelling of the grassland agriculture in Hexi Corridor. *Acta Pratacult Sin.*, 1995, 4(1): 69~80.
- [4] Ren J Z, He H D, Wan N. Models of coupling Agro-grassland Systems in Desert-oasis Region. *Acta Pratacult Sin.*, 1995, 4(2): 11~19.
- [5] Li Z Z, He H Y. The ecological risk assessment and risk decision model and its application by taking the exploitation of Hexi Corridor Oasis as an example. *J. Lanzhou Uni. (Nat. Sci.)*, 1999, 35(3): 149~156.
- [6] Liu Z L, Zhu Z Y, Hao D Y. The mountain-basin complex of Heihe River and resource- environment safety of oasis zone in the lower reaches. *J. Nat. Res.*, 2002, 17(3): 286~293.
- [7] Pan X L, Ma Y J, Gu F X. The research on eco-environmental evolution, control and adjustment for the arid land in western China: research progress and prospect. *Advan. Earth. Sci.*, 2003, 18(1): 50~57.
- [8] Shi D K. The special role of the borders between farming and ranging regions in the sustainable development strategies. *Acta Agrest Sin.*, 1999, 7(1): 17~21.
- [9] Wang R S. Integrative eco-management for resource, environment and industrial transformation. *Theo. Prac. Sys. Engi.*, 2003, (2): 125~133.
- [10] Zhang B, Zhang K, Zhang H. A research on the pattern to improve the structure of farming- stockbreeding in arid area, a case study of the middle and upper reaches of Heihe River valley. *Agri. Res. Arid. Area.*, 2003, 21(2): 133~137.
- [11] Zhang D F. Eco-economic system of sustainable land use. *Rural. Eco-environ.*, 2000, 16(2): 45~48.
- [12] Zhao X Y. Study on population pressure and oasis development. *J. Northwest Normal Uni. (Nat. Sci.)*, 1999, 35(1): 59~62.
- [13] Hou F J, Nan Z B, Xiao J Y, et al. Characteristics of vegetation, soil and their coupling of degraded grasslands. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(8): 915~922.

- [14] McNaughton SJ, Banyikwa FF, McNaughton MM. Promotion of the cycling of diet-enhancing nutrients by African grazers. *Science*, 1997, **278**: 1798~1800.
- [15] Li Z Q, Ren J Z. Self Organization of Energy Web and Ecosystems Coupling. *Acta Pratacult Sin.*, 1995, **4**(2): 6~10.
- [16] An Y F, Li J C, Wang Q, Lei G L. Studies on system of grazing control in the alpine pasture. *Acta Pratacult Sin.*, 2002, **11**(3): 66~71.
- [17] Guo Z G, Zhang Z H, Gao S L. Supply and demand of nutrient between livestock and forage and its forage provision plan in oasis region of Hexi Corridor. *Acta Pratacul Sin.*, 2002, **11**(3): 22~28.
- [18] Odum HT. Self organization transformity and informtion. *Science*, 1988, **242**: 1132~1139.
- [19] Lan Shengfang, Odum HT, Liu XM. Energy flow and Emergy Analysis of the Agroecosystems of China. *Ecol. Sci.*, 1998, **17**(1): 1~8.
- [20] Lan S F, Qin P. Emergy Analysis for Ecological System. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, **12**(1): 129~131.
- [21] Xiao J Y, Hou F J, Guo Z G, et al. Dynamics if forage supplement and nutrient requirements if grazing sheep in alpine grasslands. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, **13**(8): 967~970.
- [22] Bai M. *Annual Review of Rural Area in Gansu* (1996~2000). Beijing: China Statistic Press, 2002.
- [23] Fang C L. Dynamic simulation and sustainable ecological measures of oases ecosystem in Hexizoulang. *Acta Ecol. Sin.*, 1996, **16**(4): 389~396.

参考文献:

- [1] 任继周, 葛文华, 张自和. 草地畜牧业的出路在于建立草业系统. *草业科学*, 1989, (5): 1~3.
- [2] 任继周, 万长贵. 系统耦合与荒漠-绿洲草地农业系统. *草业学报*, 1994, **3**(3): 1~8.
- [3] 任继周, 朱兴运. 中国河西走廊草地农业的基本格局和它的系统相悖. *草业学报*, 1995, **4**(1): 69~80.
- [4] 任继周, 贺汉达, 王宁. 荒漠-绿洲草地农业系统的耦合与模型. *草业学报*, 1995, **4**(2): 11~19.
- [5] 李自珍, 何俊红. 生态风险评价与风险决策模型及应用, 以河西走廊荒漠绿洲开发为例. *兰州大学学报(自然科学版)*, 1999, **35**(3): 149~156.
- [6] 刘钟龄, 朱宗元, 郝敦元. 黑河流域地域系统的下游绿洲带资源-环境安全. *自然资源学报*, 2002, **17**(3): 286~293.
- [7] 潘晓玲, 马映军, 顾峰雪. 中国西部干旱区生态环境演变与调控研究进展与展望. *地球科学进展*, 2003, **18**(1): 50~57.
- [8] 史德宽. 农牧交错带在持续发展战略中的特殊地位. *草地学报*, 1999, **7**(1): 17~21.
- [9] 王如松. 资源、环境与产业转型的复合生态管理. *系统工程理论与实践*, 2003, (2): 125~133.
- [10] 张渤, 张凯, 张华. 干旱区农牧结构优化模式探讨. *干旱地区农业研究*, 2003, **21**(2): 133~137.
- [11] 张殿发, 黄奔龙. 土地可持续利用的生态经济系统分析. *农村生态环境*, 2000, **16**(2): 45~48.
- [12] 赵雪雁. 人口压力与绿洲发展分析研究. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 1999, **35**(1): 59~62.
- [13] 侯扶江, 南志标, 肖金玉, 等. 重牧退化草地的植被土壤及其耦合特征. *应用生态学报*, 2002, **13**(8): 915~922.
- [15] 李镇清, 任继周. 能网自组织与生态系统耦合. *草业学报*, 1995, **4**(2): 6~10.
- [16] 安玉峰, 李峻成, 王钦, 雷桂林. 高山草原放牧系统控制的研究. *草业学报*, 2002, **11**(3): 66~71.
- [17] 郭正刚, 张自和, 高淑兰. 河西绿洲区草畜间粗蛋白质和能量供求关系及其调控措施. *草业学报*, 2002, **11**(1): 22~28.
- [20] 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析. *应用生态学报*, 2001, **12**(1): 129~131.
- [21] 肖金玉, 侯扶江, 郭正刚, 等. 高山草地绵羊放牧生态系统草畜营养供需动态. *应用生态学报*, 2002, **13**(8): 967~970.
- [22] 白明主编. *甘肃农村年鉴(1996~2001)*. 北京: 中国统计出版社, 2002.
- [23] 方创琳. 河西走廊绿洲生态系统的动态模拟研究. *生态学报*, 1996, **16**(4): 389~396.