

草地农业生态系统中的系统耦合与系统相悖研究动态

林慧龙^{1,2}, 侯扶江¹

(1. 农业部草地农业生态系统学重点开放实验室(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, 730020; 2. 甘肃农业大学, 730070)

摘要: 综述了草地农业生态系统中系统耦合与系统相悖的内涵及其发展过程, 该领域的研究前沿与发展趋势。草地农业生态系统的种间耦合、不同生产层之间的纵向耦合、不同草地农业生态系统之间的横向耦合、系统的界面过程与系统耦合、生物的时间地带性与系统耦合是草地农业生态系统中的系统耦合与系统相悖理论与实践研究的 5 个前沿领域。对系统相悖量化工作将是今后系统耦合、系统相悖理论研究的关键, 综合运用多种非线性科学方法解决草地农业生态系统的系统耦合和系统相悖的数量化工作可能是系统耦合和系统相悖理论研究和实践的一个非常有前途的方向。

关键词: 系统耦合; 系统相悖; 草地农业生态系统

Research progress and trends in system coupling and discordance for grassland agroecosystems

LIN Hui-Long^{1,2}, HOU Fu-Jiang¹ (1. Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Ministry of Agriculture, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020, China; 2. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 1252~1258.

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. A classified review of system coupling and discordance principles and their application is given in this paper.

The accumulation of free energy in ecosystems causes instability and tendency to connect with other ecosystems. The free energy drives the two or more ecosystems or subecosystems to combine together through processes of convergence, hypercycling and coupling. A new ecosystem of higher level is established with unique structure-function. The system coupling may liberate the free energy in several ways to increase the productivity of the agro-ecosystem. That means to get the output from the agro-ecosystem by some way to liberate the catalytic potential, the location difference potential, the multistability potential, and the management potential.

System coupling, however, usually occurs simultaneously with system discordance which results in imperfections in system operation. The discordance is mainly reflected in disharmony between the livestock production and pasture development, The livestock exerts pressure on the pastures through grazing while the latter responds to the pressure with a varying adaptive

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G2000018602); 甘肃省中青年科技基金资助项目 (YS021-A21-016); 农业部草地农业生态系统学重点开放实验室经费资助项目

收稿日期: 2003-09-28; **修订日期:** 2004-01-10

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

Foundation item: National Key Basic Research Program (No. G2000018602), Science and Technology Foundation for Middle-aged and Young Scientists of Gansu Province (No. YS021-A21-016) and Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystem, Ministry of Agriculture, China.

Received date: 2003-09-28; **Accepted date:** 2004-01-10

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

'carrying behaviour'. The disharmony between the two production systems can be observed in the timing of production activities in the 'ecological field' and in the population of plants/animals, and it can be regarded as a major factor in grassland degradation. The process of degradation and its phasing depend upon the degree of discordance between the sub-systems and on the balance between the grazing pressure of livestock and the adaptive carrying behaviour of pastures, and therefore, the degree of system discordance itself can be used as an index to assess the extent of degradation in grassland resources. It should also be noted that system discordance is also an indicator of production potential and opportunity for further development.

Coupling between populations of plants/animals, vertical coupling between former and latter production levels, horizontal coupling between difference grassland agro-ecosystems, interface processes and system coupling, and bio-geological temporal zonation and system coupling, are recognized as the five research frontiers of the system coupling and discordance theory for grassland agro-ecosystems.

Coupling between populations: The pastoral agriculture ecological system, in becoming a coupled system includes the coupling between populations of plants/animals as a whole. The niches and ecological fields of populations of plants/animals appear to be key operations.

Vertical coupling between former and latter production levels: There are four production levels in a grassland agro-ecosystem, i. e. , pre-plant, plant, animal and ultra-biological production levels. System coupling among the former and latter production levels can lead to system improvement by realizing the potential of system capacity.

Horizontal coupling between difference grassland agro-ecosystems: The premise of reciprocal coupling between ecosystems is the reduction in the accumulation of free energy to stabilize the coupling system. For example, the coupling between the subsystems of agricultural production in mountain, oasis and desert areas within the general agro-grassland system in the Hexi corridor, Gansu province, can happen between different production levels between different subsystems. 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 horizontal coupling effect resulting from the oasis sub-system, as core, driving the mountain and desert sub-systems.

Interface processes and system coupling: There exists three primary interfaces in a grassland agro-ecosystem, i. e. , vegetation-site interface, grassland-animal interface, and the production-management interface. The opening functions of the interfaces result in system coupling, from which the advanced system is formed. To explore the coupling and discordant mechanisms generated by the three interfaces within the grassland system were our main tasks. HOU Fu-Jiang *et al* (researched the vegetation-site interface coupling process with grazing pressure on the degraded alpine grassland in Sunan county, and the typical arid grassland in Huanxian county, Gansu province. The results indicate that the grassland degradation process resulted not only from the degeneration of vegetation and soil subsystems, but also from the disappearance of coupling between both subsystems and the development of their discordance.

Bio-geological temporal zonation and system coupling: Bio-geological temporal zonation is a subsistent spatial-temporal way where organisms can break through the limit of a particular geographical zone and extend their survival, with the strategy of excluding the environmental period of time which is not suitable to live in, and meet it with that which is suitable. The organisms get their ecological elements from the relevant spatial-temporal zone. The coupling model is dependent on spatial-temporal zonation.

Vegetative agriculture is an ingenious instance of integrating the theory of system coupling with bio-geological temporal zonation.

The connotations, progress, research frontiers and developmental trend of system coupling and discordance of grassland agro-ecosystem are discussed in this paper. The quantification of system discordance is a key in the theoretical research of system coupling and discordance. Using various tools of non-linear sciences may be a promising way to measure system coupling and discordance for grassland agro-ecosystems.

Key words: system coupling; system discordance; grassland agro-ecosystem

文章编号:1000-0933(2004)06-1252-07 中图分类号:Q147,Q948,S812 文献标识码:A

生态学是一门联系生物、环境与人类社会有关可持续发展的科学^[1]。综观生态学的发展史,学科的研究重心,由自然历史转到植物群落和动物种群,然后转到生态系统。草地农业生态系统是在非生物(大气与土地)、生物(植物、动物、微生物)与社会因素(劳动生产因素、科技等)相互作用形成的具有一定结构的,以草本植物为基础,有家畜或野生动物生存,以收获饲用植物和动物及动物产品为主要生产目的的农业生态系统的的一个分支,包含 4 个生产层次:前植物生产层、植物生产层、动物生产层、外生物生产层^[2]。社会劳动因素对于草地农业生态系统的发生与发展起着越来越重要的作用,是系统进化的内因,这一点有别于自然生态系统。

任继周于 20 世纪 80 年代末提出草地农业生态系统的耦合问题^[3],进入 20 世纪 90 年代进一步对系统耦合的生态与经济意义进行了系统研究,丰富和发展了系统耦合的理论,提出了系统相悖理论^[4,5],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^[6~28]。

1 草地农业生态系统系统耦合的基本内涵、理论基础及意义

草地农业生态系统的系统耦合与系统相悖理论是多学科交叉的产物,主要是系统科学与草地农业生态学交叉的产物。系统耦合是指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,即耦合系统^[4],它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^[4~6]。

草地农业生态系统内能的关系式为 $F = E - TS$, F 为自由能, E 为总能, T 为绝对温度, S 为熵^[5]。在一定的温度条件下,当能量投入较大而熵恒定时,自由能将增大。自由能增加到一定限度,将成为不稳定的势能。自由能积累造成的势能,促使生态系统延伸或扩大,进入非平衡态。促使生态系统延伸的势能,当条件参量适当时,可使不同生态系统实现结构-功能的结合,形成不同生态系统的会聚,产生新的、较高层的生态系统。它不是原生态系统量的增大,而是产生了新质的新的结构-功能体。这个具有新质的高层生态系统,在能的驱动下,形成了新的能流、信息流及物质循环,它联通了两个或两个以上的生态系统,生态系统的耦合因而发生,由此产生新的、高一级的耦合系统。自由能的积累和由此造成的生态系统的非平衡态是系统耦合和耦合系统形成等过程的理论依据^[4~6]。生态系统的非平衡是绝对的,因而系统耦合的可能性是普遍存在的。农业生态系统,作为一种自然社会生态系统,其生态系统的进化在人为的高层调控下,导致自由能的大量积累和高度产品化^[4~6]。

多年的定位试验研究表明,市场经济条件下,草地农业生态系统内部各生产层之间以及不同类型的系统之间在时间及空间上全方位的耦合,从理论上可使生产力至少提高 6 倍,在保持谷物正常稳定增长的同时,可以提高商品肉产量 1 倍左右^[6,8]。通过系统耦合有望在较短时间内控制生态环境恶化,提高生产水平,拓宽系统的生态阈值,使系统作为一个整体在多变的环境中具有更高的活性与缓冲能力。这在自然条件严酷的我国内陆干旱山地-绿洲-荒漠系统更具实际意义。因此,系统耦合在草地农业生态系统方面最基本的意义就是在生态系统进化过程中多方面导致生态系统生产潜力的解放。这种解放首先表现为催化潜势。催化作用的存在增加了自由能的通量密度,是系统耦合赖以存在的基础。在草地农业生态系统中,在生态系统的适当环节上以生产资料的形式进行的能量或元素(如耕作、灌溉、施肥等)的投入为正向催化;同时存在以农产品收获(植物性产品或动物性产品)的方式取走的能量或元素,是为负向或逆向催化。在系统耦合过程中,这两种相反的催化作用的同时存在,将保持草地农业生态系统中能量、元素有序而畅通地定向流动、从而获得较多的产品,其生产力的提高是显而易见的。生产潜力的解放其次表现为位差潜势。由于不同生态系统自由能积累的不同而导致的势能位差,随着不同系统之间亲缘关系越远而越大,并使系统耦合所致的增产幅度也变大。这种位差潜势往往表现为市场价格之差,只有在市场经济发展的基础上才能有所表现。生产潜力的解放还表现为多稳定潜势。多稳定潜势是耦合系统的特征之一,可以使生产水平的震荡衰减,无异于草地农业生态系统中的安全阀,避免生产水平和经济效益的大幅度起落,以维护生态系统高水平地平滑运转。生产潜力的解放最后表现为管理潜势。由于草地农业生态系统本质是在人为调控之下的自然-社会生态系统,生产水平越高,管理所作的贡献也越大。超循环的耦合系统可以使生态系统的管理水平大大简化,而管理强度明显增强。

2 系统相悖的涵义、形式及内在机理

所谓系统相悖是两个或两个以上的系统,在进行系统耦合时,所发生的系统性的结构不完善结合和由此导致的功能的不协调运行,是系统耦合的对立面,是系统耦合的障碍,也是解放系统耦合生产潜力的关键。系统相悖使草地农业生态系统效益下降、草原退化的主要原因。植物生产层与动物生产层之间的系统相悖主要反映于 3 个方面:系统的时间相悖、空间相悖和种间相悖。其中时间相悖居于主导地位。这是由于动物生产系统与植物生产系统两者的节律相差悬殊所致,这是最根本的相悖,系统相悖使系统的生态危机加剧,通常表现为草原退化,放牧程度可以作为草原退化的向量系统,但不是草原退化的本质。对草地农业生态系统自由能的调控,保持自由能的积累和输出基本相当,是防止草原退化的根本出路。

系统相悖是生态系统各部分间不相协调的现象,如牧草与地境之间、草食动物与草地之间存在的系统性不协调。在自然生态系统内部,可以通过自组织过程使之和谐、协调,但在人类活动不合理的干预之下,系统相悖往往愈演愈烈,不仅成为阻碍系统耦合、解放生产潜力的关键,还可能使生态系统受损,直到导致生态系统的崩溃。对于草地农业生态系统而言,系统相悖主要

指植物生产系统和动物生产系统的结构性缺陷以及由此导致的功能不协调。系统相悖通俗地讲就是在不适宜的地区在不适宜的时间里,进行不适宜的动植物生产。除了天然草地家畜超载放牧以外,土地利用的不合理,尤其生态脆弱区大规模垦草种粮也加重了系统相悖的危害。因此,解决系统相悖的关键是建立和完善草地农业系统,辅之以技术、经济(和行政)手段,促使各个子系统之间实现较为完善的系统耦合。

在进行系统耦合时,往往伴随着系统相悖。系统相悖导致系统耦合的不完善运行,任何形式的系统相悖,都有可能同时孕育着生产潜势和机遇,草地农业系统中既含有系统相悖的负因素,也含有系统耦合的正因素。应因势利导,利用和把握好系统耦合的大趋势,就能使我国农业快速步入高效节能环保的可持续发展道路,早日实现我国农业的现代化,迎接全球农业的一体化。

3 系统耦合、系统相悖的理论研究与实践

3.1 种间耦合

草地生态系统作为一个有机整体,其耦合系统中包含植物、动物的种和种群,即为种间耦合。在此起关键作用的是生态场和生态位。对于草地植物学组成来说,结构良好的天然群落,或不同品种的合理混播草地,可以创造良好的生态场,以提高牧草产量,改善牧草品质,抑制病虫害,保持草地肥力,延长草地寿命。在这一方面成功的范例较多,例如在云贵高原对适宜的牧草混播比单播可获得较高产量、较好牧草质量及较强的防除杂草能力^[26]。对于动物生产系统来说,把有关家畜生态位适当组合,利用生态位的重叠和分异,使各种动物互相协调、补充,充分利用草地植物,就可以生产更多的动物产品^[6]。

3.2 纵向耦合,即前位生产层与后位生产层相耦合

草地农业生态系统 4 个生产层间的系统耦合,具有空间特性,或时间特性,或同时具有空间-时间特性。不同地区的生态系统之间生产层的耦合,属空间型的系统耦合,如我国的“茶马市场”。不同时间阶段的生产层耦合,属时间型的系统耦合。但多数的系统耦合属时间-空间型耦合。比如某一地区,进行区域规划与生产规划,按照区域部署不同生产层,并使之有机结合,这是空间型耦合。但生产规划无不具有时间属性。某一时间段完成什么任务,这一时间段与另一时间段如何更替,则属时间型耦合。通常时间型与空间型的耦合难以分割,实际生产中往往充满着二者的交叉。比如在同一地区,既进行植物生产,也进行动物生产,同时又作为景观资源加以利用,而加工、流通的某些环节也可能同时进行^[4]。不同生产层中的任意两个或两个以上在时、空上耦合在总体上都隶属于纵向耦合。

McNaughton 等^[19]在坦桑尼亚 Serengeti 国家公园所做的为期两年的观察对比实验表明:由野生动物与牧草耦合形成的“正反馈环”通过牧食行为可加速营养物质的可利用性,特别是在放牧地段土壤中的 N、Na 比率显著提高,因而加大了草地的载畜能力。

祁连山高山草原-甘肃马鹿生产系统中^[27],通过不同生产层(子系统)之间纵向联合,优化了整个生产系统,引发了系统耦合,使该生产系统经济效益提高 3.3 倍,效益波动的风险降低 2.7 倍,由于生态环境改善而增加的生态系统服务价值尚未计算在内;其中,围绕鹿茸深加工发展植物采摘业,生产“祁连八宝”,以甘肃马鹿观赏带动高山草原旅游业,前植物生产层增加整个系统经济效益 16.25%;通过对鹿茸及鹿血、鹿胎等深加工生产茸血酒、鹿胎胶囊等产品,发展外生物生产,提高整个系统经济效益 2.18 倍。草原季节畜牧业是纵向耦合的成功范例。

3.3 横向耦合

草地农业生态系统中具有同质耦合键的不同系统的生产层之间的耦合,如山地、荒漠、绿洲系统之间的耦合。任继周于 20 世纪 80 年代末在先后主持国家自然科学基金重大项目子课题“河西走廊荒漠绿洲交错区草地培育优化生态模式的研究”、“河西走廊山地绿洲荒漠系统耦合机理与优化耦合模式研究”,研究表明山地、荒漠、绿洲系统之间耦合后的生产水平可能比耦合前的生产水平提高数倍乃至数十倍;而且,生态与生产持续协调发展,因而是提高农业生态生产力、实现持续农业的有效途径。

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^[28],在现有能值投入水平和科学管理力度下,不同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 1.03~4.6 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,筛选出最佳策略组合即最优的耦合模式,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。

3.4 草业系统中的界面过程与系统耦合

3.4.1 界面的概念 界面是系统之间以及系统与外界的分界和连通的中介。如植物根系与土壤之间的界面,寄生物与寄主之间的界面^[29],这都是有形的界面,还有无形的界面,如表述学科范畴的界面^[30~32],表述生态系统具体位置的界面^[33],表述不同生态系统之间过渡带的界面^[34],又如城乡之间的结合部,将其称为城乡界面^[35]。传统农耕区与畜牧区的结合部,可将其称为农牧过渡带,它也是一种界面。

草地农业系统存在 3 个主要界面^[8]即草丛-地境界面(A)、草地-动物界面(B)和草畜-经营管理界面(c)。这 3 个界面将草业

4 个生产层连缀而成一个完整的草业系统。界面有的部分物质和信息流较为密集,有的则较不密集,前者是功能活跃区。这是系统耦合中与其他系统键合的最佳部位,具有重要意义,草业系统正是通过 3 个界面而次第完成其系统进化的。

3.4.2 界面过程与系统耦合 牧草-初级生产的亚系统 I a,地境-土地(含土壤和地形等土地因子)和大气等非生命环境亚系统 I b,二者靠界面 A 的中介加以连接。所谓中介包含在草丛和地境之间发生的一切过程和结果,这个过程可以称为耦合过程。界面 A 在地境与草丛之间的系统相悖反映在水、热、养分供求之间的不协调,许多农业措施就是针对这类系统相悖因子的。侯扶江等^[18]对重牧退化的肃南高山草原和环县典型草原的植被、土壤及其耦合特征进行了研究,表明草地退化不仅是植被与土壤的衰退,也是植被与土壤 2 个子系统耦合关系的丧失和系统相悖的发展。Marcel Riedo 等^[21]对苏格兰南部草地土-草-大气中以 NH₃ 的蒸散与沉淀为出发点,系统研究了界面 A 的耦合过程。Yann Nouvellond 等^[22]用遥感数据对半干旱区多年生草地草丛-地境界面的地上生物量和土壤耦合模型进行了校正。草地系统 I a 与以它为生存条件的草食动物(以及以草食动物为食物的肉食动物)系统 I b 通过界面 B 的中介,构成更高一级的草畜系统 III a,界面 B,在草丛与草食动物之间的系统相悖主要反映在 3 个方面:系统的时间相悖、空间相悖和种间相悖。其中时间相悖居于主导地位。这是由于植物生产系统与动物生产系统二者的节律相差悬殊所致。其中时间相悖是最根本的相悖,但三者之间互相影响,相激相荡,从而加重了相悖群的不利后果^[5]。Van de Koppel 等^[23,24]对半干旱地区草地植物生产系统与动物生产系统的动力学机制进行了模型研究。草畜系统 III a 通过界面 C 与人类社会系统 III b 相键合,经过了人类社会活动的干预,把草畜生态系统融入社会大生产,这是一个更为复杂的过程,具有更为丰富的内涵,草业系统 I v 从而发生。这是草业系统的最高一级,草业系统的完整结构于此形成^[8]界面 c。草畜系统与社会经济之间的系统相悖主要反映在供求之间、价值与价格之间的背离。

3.4 生物的时间地带性与系统耦合^[9]

3.4.1 生物的时间地带性的涵义 生物的时间地带性可表述为生物有机体为谋求生存阈限的扩展,突破地理地带性的局限,对地理地带性加以剪裁、连缀,排除不适宜自身生存的环境时段,截取适宜自身生存的环境时段所构建的生存时空体;生物的时间地带性是生物对地球运动(自转与公转)造成的节律适应的结果。时间地带性依赖于空间地带性,不同的空间地带内,时间带谱的基带不同,并在空间地带性的基础上呈现为螺旋状往复循环,是生态要素的时间周期性变化规律的体现;时间地带性与空间地带性一样,都是依赖于尺度(时间尺度与空间尺度)的生态要素分布过程,带谱的成分、范围均随着尺度的变化而变化,生物通过不同的生态策略来适应这种变化;人类农业活动已经取得一些成效,但只能在小尺度上调节时间地带性,不能改变空间地带性。

在自然界,无论植物界还是动物界,都有大量事例说明时间地带性存在。在自然生态系统农业化过程中,人类运用许多手段,例如从地膜覆盖到高智能温室,从简易棚圈到智能化厩舍,在不同的自然地带内创造了农业生物生存的条件,取得了丰硕成果。时间地带性为深入探索生态系统的能流模式、生态系统建模、生物的生态策略以及农业生态系统中物种的引种等方面提供了新的视角。在时间地带性的理论启示下,有可能为建立跨时空的草地农业体系,为建立农业生物的生存生态新指标,为优化农牧业产业结构,为草地农业产业化的系统耦合开拓新局面。

3.4.2 生物的时间地带性与系统耦合 时间地带性就是生物物候谱与空间地带性的耦合。时间地带性有助于实现建立跨时空的农业系统。农业生物的分布和它们的产业化不是空间地带性可以简单概括的,其核心问题是它们在空间地带基础上的时间地带性的构建,是要把握它们的生物时间地带性特点,满足它们的生存条件,扩展它们的生存阈限,规范它们的生产地域,从而打破空间地带性的局限,构建新的农业系统。

建立农业生物的新的生态环境时空指标。这里不仅含有生物本身的生存阈限,也应包括各个地区时间地带性所可能提供的生态条件的动态资料,这是全新的命题。例如对西北内陆、阿尔比斯山地区大尺度畜牧业来说,一个放牧畜群,它们不是生活在单一的生态区。而是年周期内,从山麓开始,随着牧草生长节律,逐步放牧到山顶,然后又逐步放牧下山,要经历不同的放牧季节和放牧带。山麓是荒漠草原,往上逐步为高山草原、高山草甸、高山灌丛草地等不同类型。它们的生存环境指标应该是牧食过程中所截取的时间地带的生态时空特征,而不是它们所经历的全部地带性特征的平均值,或其中某一地段的特征。因此,过去把拉萨河谷的气象纪录作为牦牛的生存环境,把新疆半荒漠的巩乃斯的气象纪录作为新疆细毛羊的产地环境指标,显然欠妥。

放牧畜牧业尤应关注时间地带性,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。过去人们对时间地带性认识不足,在人为强力干预下,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,可能既不利于放牧地,也有害于草食动物。尽管这些规律过去我们还不够自觉,甚至没有认识,更没有依据时间地带性来优化放牧系统,但它的作用不容忽视。

时间地带性的组合,为我们提供了新的系统耦合的键合机遇。以动物生产为媒介和其它媒介,把不同的地带加以耦合而生成巨大的经济效益和生态效益。

营养体农业是系统耦合理论与时间地带性精巧结合的事例^[7]。在雨量和相对湿度较高、日照相对缺乏的西南岩溶山区或因海拔过高、热量不足、年均温度低于或等于 0℃左右的青藏高原及若干高山地带,难以从事一般作物栽培,发展以生产植物茎叶等植物营养体为主,而不是以生产籽实为主的营养体农业,是持续发展和脱贫致富的重要途径。实行营养体农业可以减灾抗灾,其关键是水热节律与农业生物节律的相互协调,使农业生物系统与生物生存环境系统全面耦合。

4 展望

发生于空间地带(即自然地带)基础上的时间地带性具有自己的特殊品格。时间地带性是空间地带满足生物或生态系统的生态阈的特殊集合。这一集合的单元或子集可暂定为生态时段,既然生态阈是生态时段的特殊集合,因此对于生态时段的确定、测度和表达,是目前面临的不能回避的课题。

以 3 个界面的发生学行为为切入点,对系统耦合及系统相悖的机理深入研究,不仅有利于系统耦合效应在生产实践中的充分发挥,也将对草业科学的发展产生重大影响。

现阶段人工草地建设以及植物生产层与动物生产层的耦合是我国草地农业系统建设过程中的当务之急,对系统相悖机理和优化耦合模式的研究则是草地农业生态学今后研究的重点方向之一。

系统耦合与系统相悖的数量化工作将是今后工作的难点和重点。目前非线性科学飞速发展,包括混沌理论、耗散结构理论、突变论、自组织理论、分形理论等一批新兴交叉边缘学科在生态领域广泛应用和互相印证,综合运用多种非线性科学方法解决草地农业生态系统的系统耦合和系统相悖的数量化工作可能是系统耦合和系统相悖理论研究和实践的一个非常有前途的方向。

References:

- [1] Odum H T. *System Ecology*. Beijing: Science Press, 1993. 1~8.
- [2] Ren J Z. *Pastoral Agriculture Ecology*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1995. 51~84.
- [3] 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.
- [4] Ren J Z, Wan C G. System coupling and desert-oasis agro-ecosystem. *Acta Pratacult Sin.*, 1994, 3(3):1~8.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Ren J Z, Hou F J. Developing vegetative agriculture in mountain region is an important way for sustainable development and poverty alleviation. *Explor Nat.*, 1999, 18(67):48~51.
- [8] Ren J Z, Nan Z B, Hao D Y. The three interfaces within pratacultural system. *Acta Pratacult Sin.*, 2000, 9(1): 1~8.
- [9] Ren J Z, Liu X L, Hou F J. Bio-geological temporal zonation and its agricultural significance. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(8): 1013~1016.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Wang R S. Integrative eco-management for resource, environment and industrial transformation. *Theo. Prac. Sys. Engi.*, 2003, (2): 125~133.
- [15] 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.
- [16] Zhang D F. Eco-economic system of sustainable land use. *Rural. Eco-environ.*, 2000, 16(2): 45~48.
- [17] Zhao X Y. Study on population pressure and oasis development. *J. Northwest Normal Uni. (Nat. Sci.)*, 1999, 35(1): 59~62.
- [18] 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.
- [19] McNaughton S J, Banyikwa F F, McNaughton M M. Promotion of the cycling of diet- enhancing nutrients by African grazers. *Science*, 1997, 278: 1798~1800.
- [20] Li Z Q, Ren J Z. Self organization of Energy Web and Ecosystems coupling. *Acta Pratacult Sin.*, 1995, 4(2): 6~10.
- [21] Marcel Riedo, Celia Milford, Martin Schmid, et al. Sutton. Coupling soil-plant/ atmosphere exchange of ammonia with ecosystem functioning in grasslands. *Ecological Modeling*, 2002, 158: 83~110.

- [22] Yann Nouvellon, Susan Moran M, Danny Lo Seen, *et al.* Coupling a grassland ecosystem model with Landsat imagery for a 10-year simulation of carbon and water budgets. *Remote Sensing of Environment*, 2001, **78**: 131~149.
- [23] Van de Koppel J, and Rietkerk M. Herbivore regulation and irreversible vegetation change in semi-arid grazing systems. *Oikos*, 2000, **90**: 253~260.
- [24] Briske DD, Fuhlendorf SD, Smeins FE. Vegetation dynamics on rangelands: a critique of the current paradigms. *Journal of Applied Ecology*, 2003, **40**: 601~614.
- [25] Wan L Q, Li X L. System coupling and its effect on agricultural system. *Acta Pratacylt Sin.*, **11**(3): 1~7.
- [26] Jiang W L, Wa Q R, Wang D H. Research on the persistence of introduced pasture species in the Northwest Guizhou plateau. *Acta Pratacult Sin.*, 1996, **5**(1): 10~16.
- [27] Hou F J, Li G, Chang S H, *et al.* Productivity of Gansu wapiti on the Sunan deer farm. *Acta Pratacult Sin.*, 2004, **13**(1): 94~100.
- [28] Lin H L, Xiao J Y, Hou F J. Coupling Patterns of the Meta-ecosystem of Mountain, Desert and Oasis and its Emdollars Analysis in Hexi Corridor, Gansu, China. *Acta. Ecologica Sinica*, 2004, **24**(5): 965~971.
- [29] Calvin C L, Wilson C A. Relationship of the mistletoe phoradendron macrophyllum (viscaceae) to the wood of its host. *IAWA Journal*, 1995, **16**(1): 33~45.
- [30] Goodl R J A. Race to save the tropics: ecology and economics for a sustainable future. Island Press, Washington DC, 1990. 219~216.
- [31] Aylward B, Barbier E B. Valuing environmental functions in developing countries. *Biodiversity and Conservation*, 1992, **1**: 34~50.
- [32] Baker B B, Bourdon R M, Hanson J D. Forage: a model of forage intake in beef cattle. *Ecological Modelling*, 1992, **60**: 3~4, 257~279.
- [33] Shapiro J P. Phytochemicals at the plant-insect interface. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 1991, **17**(4): 191~200.
- [34] Nachtnebel H P, Kovar K. Proceedings of an international symposium held during the 29th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics IAHS Publication No. 202. Wallingford, UK; International Association of Hydrological Sciences, 1991. 173~186.
- [35] Drakakis Smith. The rural-urban interface in Africa: expansion and adaptation. *Strategies for meeting basic food needs in Harare*, 1992. 258~283.

参考文献:

- [1] 奥得姆 HT. 系统生态学. 北京: 科学出版社, 1993. 1~8.
- [2] 任继周. 草地农业生态学. 北京: 中国农业出版社, 1995. 51~84.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 任继周, 侯扶江. 我国山区发展营养体农业是持续发展和脱贫致富的重要途径. *大自然探索*, 1999, **18**(67): 48~51.
- [8] 任继周, 南志标, 郝敦元. 草业系统中的界面论. *草业学报*, 2000, **9**(1): 1~8.
- [9] 任继周, 刘学录, 侯扶江. 生物的时间地带性及其农学涵义. *应用生态学报*, 2002, **13**(8): 1013~1016.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 张殿发, 黄弈龙. 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [20] 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.
- [25] 万里强, 李向林. 系统耦合及其对农业系统的作用. *草业学报*, 2002, **11**(3): 1~7.
- [26] 蒋文兰, 瓦庆荣, 王得辉. 黔西北高原引种优良牧草持久性研究. *草业学报*, 1996, **5**(1): 10~16.
- [27] 侯扶江, 李广, 常生华, 等. 肃南鹿场甘肃马鹿生产性能研究. *草业学报*, 2004, **13**(1): 94~100.
- [28] 林慧龙, 肖金玉, 侯扶江. 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. *生态学报*, 2004, **24**(5): 965~971.