

文章编号: 1000-5471(2008)06-0039-05

系统耦合对农地承载力的拓展分析^①

张灿强¹, 王继军^{2,3}

1. 西北农林科技大学 经管学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100;
3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100

摘要: 农地的特性决定了其系统具有耦合性, 农地系统耦合的意义在于其对农地承载力产生重要影响. 农地系统承载力是一个合力, 其大小取决于各子系统承载力的“大小”和“方向”, 系统耦合正是通过调整分力的“大小”和“方向”, 实现农地承载力的拓展. 系统耦合对农地承载力拓展的途径有: 增强种间耦合, 调整土地利用结构和农林牧渔复合经营等.

关键词: 农地承载力; 系统耦合; 拓展; 复合经营

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

农地系统是由耕地, 林地, 草地, 水域等子系统构成的统一体, 也是由生物、环境和社会经济子系统组成的复合系统, 因此农地承载力是一个系统合力, 但长期以来“以粮为纲”的口号和传统的粮食安全观, 人们将注意力大部分集中在耕地上, 林地、草地、水域被轻视且经常被耕地挤占, 农林牧渔结构失调, 农地系统间通过物质循环和能量流动形成的系统耦合关系被人为破坏, 这是引起水土流失, 土地沙化, 农业环境恶化, 农地生产能力和承载能力下降等问题的根本原因.

“系统耦合”耦合一词源于物理学, 后来逐渐应用于其他学科. 我国任继周院士最早在生态学领域对系统耦合的概念做出阐述, 是指两个或两个以上性质相似的生态系统具有相互亲和的趋势, 当条件成熟时, 它们可以结合为一个新的、高一级的结构—功能体^[1]. 20 世纪 80 年代末任继周院士开始对草地农业生态系统的耦合问题进行深入的研究^[2-4], 提出了系统耦合模型并对耦合效益做出了分析. 王让会进一步将系统耦合研究用于山地、绿洲、荒漠系统, 提出并形成了 MODS 耦合的新概念, 即山地(Mountain)—绿洲(Oasis)—荒漠(Desert)系统(MODS)耦合关系^[5]. 刘学录^[6]用景观生态学的原理与方法研究河西走廊山地—绿洲—荒漠复合生态系统的景观格局与系统耦合的景观生态学机制. 牛玉凤^[7]以黑河流域为例对山地—绿洲系统耦合的生态效益和经济效益进行了模拟计算. 此外, 系统耦合理论还被用于宏观区域的生态经济系统分析, 如赵星、杨小鹏、许振宇分别对湖南省、陕西省和贵阳市当午区生态经济系统的耦合状态进行了分析. 总之, 在国内系统耦合理论主要用于草地农业, 绿洲农业及区域生态经济系统的研究和分析上, 有关系统耦合与农地承载力关系的研究鲜见, 系统耦合对农地生产潜力和承载力的影响没有得到足够的重视.

与国内相比, 国外资源承载力研究较早的运用系统方法, 英国的 Slessor^[11]采用的 ECCO 模型虽然没有直接提出系统耦合的理论, 但却与系统耦合理论有异曲同工之处, 该模型综合考虑区域人口、资源、环境和社会经济发展众多因子的耦合关系, 分析系统结构, 给出因果反馈图和系统流图, 建立系统动力学模型, 模拟不同发展策略下, 人口与资源环境之间的弹性关系, 从而确定区域发展的优选方案. 此模型在一

① 收稿日期: 2008-08-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“黄土丘陵区退耕区域农业生态经济系统耦合过程及其模式研究”(40771082).

作者简介: 张灿强(1983-), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事区域经济理论与政策研究.

些发展中国家应用取得了较好的效果, 并得到联合国开发署的认可. 从农地承载力的角度讲, 笔者认为, 农地这一复合系统决定了必须用系统的方法去研究, 耦合是农地系统的属性, 它对农地承载力的有着重要的影响, 系统耦合对农地承载力的影响机制及定量分析今后研究的重点和方向.

随着社会经济的发展, 农地一方面受到非农建设用地的挤占, 一方面还要为人类提供更多的食物满足人口增长和生活水平提高的要求, 然而农地的承载力是有限的, 如何在农地的承载阈值范围内拓展其承载能力是值得研究的问题. 系统耦合则为农地承载力的拓展提供了新的视角. 笔者将从农地的特性分析其耦合性, 指出系统耦合的实现可以拓展农地承载力. 文章还将对系统耦合对农地承载力的拓展原理和途径做出探讨.

1 农地系统的耦合性

农地系统具有耦合性, 这是由农地的一系列特性所决定的. 从根本上来说农地的不合理开发造成的农业环境恶化问题, 都与人类对农地耦合性缺乏全面的了解有关.

1.1 农地的系统性和层次性

农地是由耕地、草地、林地、水域等子系统组成的, 各子系统相互联系、相互影响, 构成了完整的结构—功能体. 任何两个子系统间的“相悖”都会影响系统整体承载能力. 例如, 耕地对林地、草地等其他农用地的不合理挤占, 特别是在生态脆弱的干旱地区, 很容易造成水土流失、土地沙化、生态破坏, 农地的承载力也会随之下降. 农地按照生产功能可划分为四个生产层, 前植物生产层, 植物生产层, 动物生产层, 外生物生产层, 四个生产层相互联系, 任何两个或两个以上都有可能进行系统耦合^[1].

1.2 农地生产的资源复合性和时序性

人类所需的能量主要来自绿色植物通过光合作用积累的太阳能, 再经食物链使低质能转化为高质能. 植物生产不仅仅需要阳光, 它的生产能力取决于光、热、水、土、气、肥等农业资源和其他生产要素的耦合状况, 只有调节农业资源系统内部的土、水、气、肥以及其他生产要素的关系, 使之处于协调状态, 农地才会发挥其生产能力^[12]. 由于农地种养对象的生物学特性, 农地生产具有一定的时序性, 如林木从种植到获利一般需 20 a 左右的时间, 果树挂果则需要 3~5 a, 而草业和种植业一般当年就可以获利. 此外, 农地生产还是从植物生产到动物生产再到加工生产有序进行.

1.3 农地的区域性和功能差异性

区域间水、土、光、温等农业资源的耦合关系不同以及地形地貌的迥异, 使农地具有区域性差异, 然而这种差异所形成的位差潜势却是农地系统耦合的突破口. 农地的区域性差异还形成了不同农地利用的功能分异, 于是就有所谓的农区, 牧区, 林区, 在水域上有功能差异性更大的功能分区, 如淡水养殖区, 海产养殖区等. 中国东南部农耕区和西北部畜牧区的交汇地带, 从西南到东北一条斜线的两侧曾分布着一系列的“茶马市场”, 即牧区产品与农区产品交换的市场, 如云南的大理, 甘肃的临夏, 陕北的榆林, 河北的张家口等, 这是农耕系统与畜牧系统两个不同功能系统的位差势能所致^[13].

从农地系统的特性可以看出, 耦合现象广泛存在于农地系统, 并对农地的生产潜力和承载力产生重要的影响, 这为农地承载力的拓展研究提供了新思路.

2 农地承载力的耦合拓展原理

农地承载力是一个合力, 从系统的角度看, 农地承载力的“发力体”从土地类型上包括耕地子系统, 草地子系统, 林地子系统, 水域子系统等, 从功能上则包括环境子系统, 植物子系统, 动物子系统, 外生物子系统. 农地所承载的人口数量和社会经济活动规模的大小取决于各子系统分力的“大小”和“方向”. 为了较直观的说明耦合对农地承载力的拓展作用, 我们将子系统的承载力看作矢量, 即它是有大小和方向的. 为简便起见假设农地包含两个子系统, 在二维空间里, 它们的承载力用下图的两个较细的箭头表示(图 1), 箭头的长短代表各系统承载力的大小, 两个箭头的之间的夹角则表示子系统间耦合与相悖的程度, 角度越小表示两个系统耦合较好, 角度越大则表示两个系统趋于相悖, 较粗的箭头则表示两个分力所决定的合力.

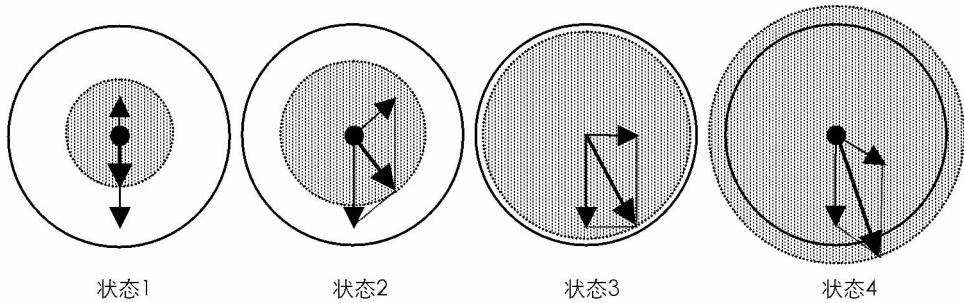


图1 系统耦合对农地承载力的拓展

状态1是个极端情况,即两个系统完全相悖,合力的大小为2个系统承载力大小之差,此时,农地系统的承载力是合力所决定的部分(阴影部分).随着两个系统间耦合程度的加强,系统的合力从状态2到状态4逐渐增大,整个农地系统的承载力增强,最终两个子系统所组成的耦合系统的承载力将超过原系统(状态4).

图1只表现了通过耦合增强两个系统的联系,就可以明显拓展系统的承载力,实际上子系统内部的耦合还将增强其自身的承载力,若表现在图中便是两个分力箭头的拉长,那么合力将在分力拉长和角度变小的双重作用下会明显增加.可见耦合通过改变子系统承载力的“大小”和“方向”来拓展系统的整体承载力,系统之间和系统内部的耦合是拓展农地承载力的“双引擎”.

3 农地承载力的耦合拓展途径

实现农地子系统内部及子系统间的耦合是拓展农地承载力的重要途径,以下将从种间耦合,调整农地利用结构和农林牧渔复合经营三个方面探讨农地承载力耦合拓展的途径.

3.1 增强种间耦合

种间耦合包括植物、动物的种和种群的耦合.不同植物和动物的生态位和生态场不同,良好的种群结构可以形成和谐的生态场^[14],从而保持土壤肥力,改善生态环境,提高农地的生产能力.例如,小麦连作的地块种植牧草可使土壤含氮量明显增加,有关研究表明,种植牧草后再种小麦其蛋白质含量为11.7%~15.8%,而连作的小麦为8.0%~9.4%^[15].据李向林等的调查表明在南方冬闲田上种植多花黑麦草,不但可以改善稻田的生物、物理及化学特性,有利用后作水稻产量的提高,而且可以收获15 000 kg·DM/hm²的干物质,用于饲养兔、鹅、山羊或奶羊,可增收15 000~37 500元/hm²^[16].紫良植在甘肃景泰川灌区的研究表明农作物间作套种的增产性、经济效益均比农作物单产种植产量提高,经济效益好,其中小麦玉米间套田平均生产粮食9 477 kg/hm²,秸秆11 190 kg/hm²,较单作田增3 088.5 kg/hm²和3 189 kg/hm²,增产48.29%和49.4%.间套田产值6 144元,纯收入4 653元,分别比单作田增加了2 460.8元和2 160.3元,分别增长66.8%和87.67%^[17].朱鹤健等研究表明,在清耕果园中套种牧草或间种牧草,使之得到大量有机肥改良土壤,此种生态果园与传统清耕果园相比,0~20 cm土层的有机质、全氮、全磷分别提高3.8~5.5 g/kg,0.23~0.35 g/kg和0.02~0.03 g/kg,速效的氮、磷、钾亦有所增加,土壤的物理结构也有明显改善,使地力得到显著提高^[18].同样在三峡库区的实验证明,柑橘园和茶园种草可以增加土壤肥力、减少水土流失、降低夏季土温,同时每667 m²可增加水果产量180 kg左右,每667 m²增加茶叶1.6 kg,每667 m²增收300~450元^[19].不同动物种群的生态位各异,适当组合各种动物,利用生态位重叠和分异使各种动物相互协调补充,可以充分利用各种可食植物生产更多的动物产品.

3.2 调整农地利用结构

长期以来“以粮为纲”的口号和传统的粮食安全观,形成了中国单一植物性农业系统,农地系统被人为阉割,林地遭到乱砍滥伐,草地被大量垦殖,大面积的湿地、水域被开垦为农田,虽然短时间内粮食产量可能有所提高,但造成的水土流失,土地沙化,生态破坏的损失将是无法挽回的,最终也会影响到种植业的发展.以陕北黄土高原区吴起县为例,长久以来不宜农作物种植的山坡地被开垦为农田,人们广种薄收,遇到干旱等恶劣天气甚至颗粒无收,形成越垦越穷,越穷越垦的恶性循环.1999年该县一次性完成退耕10.37万hm²,成为全国退耕第一县,由于林草的水土涵养作用,土壤侵蚀模数由1.53万t/(a·km²)下降

到 0.54 万 $t/(a \cdot km^2)$ 。此外,人均保留约 0.13 hm^2 口粮田,当地农民称为“保命田”,耕地数量虽然减少,但大部分保留耕地位于川台地,加之有限的水肥得到充分利用,粮食单产显著提高。任继周曾就西部农业结构改革问题主张施行草地农业系统,调整农田草地结构,拿出 20% 的农田种草,粮食单产和总产将显著提高。他以黄土高原的系列试验为例,指出农业系统中加入牧草(含灌木)可使土地利用效率提高 33%,降水利用率提高约 20%,生物量提高约 36%,甘肃生态研究所的试验表明:总产提高 40%,单产提高 60%,而化肥用量减少降低 1/3,如果再考虑动物生产加以耦合,其增产幅度将十分可观^[20]。刘玉民等以宁南黄土高原区的彭阳县为例,对农、林、牧土地利用结构进行了优化,优化后该县的经济收入可增加 2 095.45 万元/a,水土流失量能减少 46.2 $t/(km^2 \cdot a)$ ^[21]。农地结构调整就是遵循生态规律,宜农则农,宜草则草,宜林则林,单纯某一子系统的突出表现都不会导致整个农地系统生产能力的提高,只有各子系统相互协调,才有助于整体承载水平的提高,农地结构调整是实现耦合的重要途径。

3.3 农林牧渔复合经营

农地系统是一个开放系统,各子系统之所以发生系统耦合是因为他们之间存在可流动的自由能。传统的单一种植业系统实质上人为切断了各子系统间自由能的流动,使大量的自由能无法得到有效利用而白白浪费掉,例如人类只能利用粮食作物中约 25% 的籽实,另外 75% 的植物有机质如秸秆,糠秕等则被浪费^[22],土壤有机质得不到及时补充而使地力下降。农林牧渔等复合经营可实现农地各子系统间物质的多级循环和能量的多级流动,使一个子系统自由能的流出变成另一个子系统自由能的流入,各种农业资源得到有效利用。复合经营不仅使农地为人类提供更丰富的食物,而且使其稳定性和抗逆性增强,承载能力提高。朱鹤健等在闽东南侨乡马平镇实施的农、林、果、草、牧、沼、渔复合经营,自 2000 年运行以来耦合效果显著,马平镇国民经济持续快速发展,农民人均纯收入增长 16%,是此前农民年人均纯收入增长值(8.8%)的近两倍,进行系统耦合后,每 0.66 hm^2 的土地可以安排 2~3 个农村劳动力,许多养殖场、农产品加工厂和农业观光旅游地开始雇佣外来劳动力,有效的降低了农村闲置(特别是隐蔽性剩余)劳力的数量和比例。此外耦合后生态效益显著,土壤肥力和物理结构也有明显改善^[23]。刘兴元等人以甘肃中部的秦王川地区为例,依据其资源特性,设计该地区植物和家畜生产的合理时空配置结构和生产复合体系结构,提出了高效合理利用水土资源型、生态经济型、林草植被恢复和替代型产业培育及产业经营等三种农业资源复合经营的耦合发展模式。通过各结构要素的相互耦合,该地区农业资源复合经营条件下产生了显著的生态、经济和社会效应^[24]。

4 结 论

农地的特性决定了其系统具有耦合性,农地的耦合性建立在系统内部物质多级循环和能量多级流动的基础上,其耦合程度将影响农地功能的发挥和生产潜力的提高,而农地的生产潜力是其承载力的核心,因此系统耦合是影响农地承载力的重要因素。

农地承载力是一个合力,耦合对农地承载力的拓展实质上是通过增加各分力的大小和增强分力间的关系,从而使合力变大。若各系统的耦合关系良好,耦合系统的承载力将显著提高,并有可能大于原系统的承载力。实现农地子系统内部及子系统间的耦合是拓展农地承载力的重要途径,增强种间耦合、调整农地利用结构和农林牧渔复合经营是实现耦合的重要措施。

笔者将系统耦合应用到土地承载力的研究之中,以期做出有益的探索。实际上,农地耦合现象在实践中是经常发生的,却没有得到足够的重视,农地系统耦合的应用以及耦合效益的分析是今后研究中值得关注的问题。

参考文献:

- [1] 任继周, 万长贵. 系统耦合与荒漠—绿洲草地农业系统 [J]. 草业学报, 1994, 3(3): 1—8.
- [2] 任继周, 贺达汉, 王 宁, 等. 荒漠—绿洲草地农业系统的耦合与模型 [J]. 草业学报, 1995, 4(2): 11—19.
- [3] 任继周, 朱兴运. 农业生态生产力及其生产潜势—兼论“有动物农业”的重要意义 [J]. 草业学报, 1995, 4(2): 1—5.
- [4] 万里强, 侯向阳, 任继周. 系统耦合理论在我国草地农业系统应用的研究 [J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 162—164.

- [5] 王让会,马映军,彭茹燕.西北干旱区山地—绿洲—荒漠系统信息传递耦合关系[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):100—105.
- [6] 刘学录,任继周.河西走廊山地—绿洲—荒漠复合系统耦合的景观生态学机制[J].应用生态学报,2002,13(8):979—984.
- [7] 牛玉凤,牛敏,董朝阳.山地—绿洲系统耦合效益模拟计算[J].乡镇经济2007,7:49—52.
- [8] 赵星.贵阳市当午区生态—经济系统耦合关系研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2006,24(3):111—115.
- [9] 杨小鹏,卫海燕.陕西省生态环境与经济发展耦合分析[J].宁夏师范学院学报(自然科学),2007,28(3):68—72.
- [10] 许振宇,贺建林.湖南省生态经济系统耦合状态分析[J].资源科学,2008,30(2):185—191.
- [11] Sleeser M. Enhancement of Carrying Capacity Options ECCO[M]. New York: The Resource Use Institute, 1990.
- [12] 陈百明.中国农业资源综合生产能力与人口承载能力[M].北京:气象出版社,2001,1—3.
- [13] 任继周.系统耦合在大农业中的战略意义[J].科学,1999,5(6):12—14.
- [14] 万里强,李向林.系统耦合及其对农业系统的作用[J].草业学报,2002,11(3):1—7.
- [15] 张英俊.农田草地系统耦合生产分析[J].草业学报,2003,12(6):10—17.
- [16] 李向林,万里强,何峰.南方草地农业潜力及其食品安全意义[J].科技导刊,2007,25(9):9—15.
- [17] 紫良植,刘世经,李得举.大力发展间作套种提高灌区综合效益[J].干旱地区农业研究,1997,15(2):37—43.
- [18] 朱鹤健,程炯.闽东南特色农业生态模式研究[J].自然资源学报,2002,17(3):313—318.
- [19] 陈伟烈,张喜群,梁松筠,等.三峡库区的植物与复合农业生态系统[M].北京:科学出版社,1994:24—40.
- [20] 任继周.藏粮于草施行草地农业系统—西部农业结构改革的一种设想[J].草业学报,2002,11(1):1—3.
- [21] 刘玉民,刘亚敏,苏印泉,等.宁南黄土高原区生态农业建设中土地利用结构优化研究[J].西南农业大学学报(自然科学版),2004,26(3):344—351.
- [22] Woodmanse R G. Comparative Nutrient Cycles of Natural and Ecosystems: A Step Toward Principles [C]//Agricultural Ecosystem. Unifying Concepts. New York: Jone Willey and Sons, 1984:145—156.
- [23] 朱鹤健,程炯.闽东南特色农业生态模式研究[J].自然资源学报,2002,17(3):313—318.
- [24] 刘兴元,王锁民,郭正刚.干旱地区农业资源的复合经营模式及生态经济耦合效应研究[J].自然资源学报,2004,19(5):624—631.

Analysis on the Effect of System Coupling on Increasing Farmland Carrying Capacity

ZHANG Can-qiang¹, WANG Ji-jun^{2,3}

1. The Economy and Management College of Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100

Abstract: Base on the analyses of the characteristics of farmland resources, system coupling is one of its properties. The significance of the property is that system coupling can influence farmland carrying capacity greatly. Farmland carrying capacity is a composition of forces. In other words it is a vector in mechanics, specified by the magnitude and direction of component of forces. System coupling adjusts the “magnitude” and “direction” of subsystem to increase farmland carrying capacity. The paper puts forward three methods increasing farmland carrying capacity through system coupling, including integrating different species, adjusting farmland use structure and compound management of planting, forestry, animal husbandry and fishery.

Key words: farmland carrying capacity; system coupling; increase; compound management