

黄家二岔小流域能量流的系统分析*

—— I. 小流域能量流研究体系的建立

李 中 魁

(西北农业大学土壤农化系·陕西杨陵·712100)

摘 要 在评述黄土高原地区小流域能量投入产出现状和国内外有关研究动态的基础上,分析了研究地区基本自然条件和能量投入情况,并制定了该区小流域能量流分析程序,包括确定范围、划分和调查子系统、能量计算、指标分析及能流图绘制。以黄家二岔小流域为研究对象,设定了小流域系统的基本结构和能量流分析方法。

关键词 小流域 能量流 系统结构 研究体系

Systematic Approach to Energy Flow of Huangjia Ercha Watershed

—— I. Establishment of Research System for Energy Flow of Small Watershed

Li Zhongkui

(Department of Soil Science and Agro-chemicals, Northwestern Agricultural University,
712100, Yangling District, Xianyang Municipality, Shaanxi Province)

Abstract Based on the reviewing of the current research state of energy input and output at small watersheds in loess plateau region and the study conditions abroad and in home, the basic conditions in nature and input-output of energy in the study area were analysed, from this, the study procedure for energy flow analysis was set, which includes scope determination, subsystem division and survey, energy calculation, indices analysis and energy flow figure. Taking Huangjia Ercha watershed as a research subject, the capital structure of small watershed system was established and the calculating method for energy flow was made.

Keywords small watershed; energy flow; system structure; research system

1 小流域能量流研究的现状及其动态

小流域是一个具有一定结构、功能和自我调节机制的动态开放系统,在黄土丘陵区的小流域包括种植业、林业、畜牧业和工副业子系统,子系统间和子系统与环境间不断地进行着能量交换、物质循环和信息传递,构成了彼此之间相互联系、相互制约、相互依存的关系,从而形成一个相对稳定的整体。

来自太阳的能量是生态、经济和社会系统的基础动力。经过绿色植物的光合作用,太阳能被转化成有机物的化学能,贮存于植物体内。这些贮存的化学能随绿色植物进入食物链,在流经食物链各环节的过程中,生物质被动物和微生物消化和分解,贮存的化学能亦经过不同的转化过程最终以热能的形式散发到空中——这即是自然生态系统的能量流动过程(简称能流)。小流域是人类所控制和管理生态经济系统,因而其能量流动特征就不同于自然生态系统。尽管小流域系统亦是绿色植物(农作物、乔、灌草等)转化太阳能为贮存于生物质中的化学能,这些贮存的化学能亦在食物链流动过程中最终转化成热能散失于大气中(有些生物质实际上没有进入食物链,被人们用作薪材而直接烧掉),但这种流动是在人为控制下,其流路径和流量大小在很大程度上取决于对该小流域系统的调控和管理^[1]。小流域内人类活动(如对农田的耕作、修梯田、造林种草、施肥、灌溉等),是对小流域系统施加除太阳能以外的其它附加能量。这些附加的能量输入,不但对绿色植物转化太阳能为生物质中的化学能的过程产生很大的影响,同时也控制着这些化学能的进一步转化和分配。有鉴于此,在研究小流域系统的能流时,不得不将这些除太阳能以外的附加能量作为重点加以考虑。因此,在研究小流域系统能量动态时既要考虑生态系统的能流,更要考虑人类社会生产活动的能流。从耗散结构理论来说,小流域农林牧副业生产实质上就是调整、利用生态系统能量流和物质流,从系统环境中尽可能多地引入负熵流,使小流域系统在更大程度上实现能量、物质和信息的耗散,做到时间、空间和功能有序,从而获得最大的总体效益。

我国有8 000多条小流域,且多集中在黄土高原的270多个县(区)。近年来,化肥、电力、农业机械、燃油等工业能进入农田数量逐步增加,小流域系统获得了新的能源支柱;造林种草、发展畜牧业又增加了生物能,从而使丘陵沟壑区小流域系统能量流扩大,有效产出能提高。但由于自然条件与物质基础差,起点低,小流域尚存在种植业投能水平低,能量转换效率低和投能结构不合理等问题,水土流失区小流域种植业投能仅为全国的37.1%;能量产投比平均为0.78(全国均值为1.08);人力、畜力、有机肥和种子等有机投能占总投能的80%,反映了以人力、畜力和有机肥为主体的传统农业特征。与此同时,小流域生产面临着土地利用结构不合理、农业投入少等问题。土壤瘠薄、养分缺乏和水土流失又使养分作非生产性消耗,物质循环规模小,能效低,因此,一些小流域的粮食产量只有750kg/hm²,甚至更低。定量化研究小流域内能量流和土壤养分循环,对指导能量、物质投入,调整小流域生产结构,合理利用土肥资源,提高系统生产力,具有重要意义。随着小流域治理程度的提高,传统的农业生态系统向现代农业生态系统的发展,以及工业化的发展和市场经济对小流域生产活动的影响,人们对小流域系统的管理也正从传统的、主要依靠系统内的生物能为基础的管理措施逐渐变为主要依靠小流域系统之外的工业能为基础的管理措施。这突出地表现在以机械作业取代畜力和手工作业,以化肥取代有机肥,以农药和除草剂取代传统的病虫害防治措施。因而,这些以工业能源为基础的输入越来越成为小流域系统高生产力和持续发展的重要基础。显然,越是发展程度高的小流域,越是把工业能为基础的输入作为重要的研究内容。

太阳能是小流域内一切生命活动的源动力,但是由于其输入到该系统中的能量要比其它能量输入大几个量级,而仅仅不到百分之几的太阳能转换为生物能中的化学能。可以认为,在小流域总能量输入之中,太阳能是与其它各种辅助能完全不同的能量,在实质上,它为地球上各种绿色植物(也是小流域生态系统第一性生产者)提供了相对恒定的能量环境,因此,控制和制约小流域系统生产力的是那些除太阳能之外的各种辅助能量,小流域系统能量分析之重点

在于这些辅助能源。

研究农业生态系统能量流最早开始于1942年(Lindeman R, 1942)。经过50多年的发展,研究理论和方法均比较成熟。能量投入产出分析法是早在60年代就已在外国兴起并普遍应用于分析和指导农业投入的一项技术,与价值量的投入、产出分析相比,它可克服价格系统的不完善、不合理这一缺陷,分析结果在不同区域、不同时段与不同作物之间具有很强的可比性。

检索、分析国内外有关能量流,物质流研究的文献可以看出,能流研究的对象分两大类^[2-18],一类是农田(种植业)生态系统(刘巽浩,1984;Smil V,1981;余存祖,1988,1989;张壬午,1988;彭祥林,1991;栲田共之,1993;Pimental D,1984;韩纯儒,1986;Black J N,1971;马忠玉,1990;田其云,曹艳英,1991),其方法是通过计算农田中的能量产投比及能量转换效率等来研究和评价农田生态系统的功能;另一类研究对象是区域或农业生态系统。近年来的代表性研究成果有:(1)卞有生(1988)对北京留民营生态农业系统从种植业、林业和畜牧业等各个子系统的能量产投和物质循环方面作了比较全面的研究;(2)Ulgiati S和Odum H等人(1994)对意大利生态因素(光照、风、雨、波浪等)、石油和矿物质投入,农林牧业、工商业、以及人类的信息、金融、旅游等可更新能源和本国内不可更新能源、能量投入产出等作了全面、系统性的定量分析,其研究结果为自然资源 and 工业资源的经济、有效利用提供了重要参考。类似的研究还有乡村能量流、物质流分析(Bialy J R,1982;Coxet al G W,1979;Wen Dazhong and Pimental D,1984;张壬午,董维英等,1988;闻大中,1986)。通常采用的能量分析方法大致可分为以下三种^[19]:

(1)统计分析法:依据生产统计资料确定单位产值输出的能量需要量;

(2)输入—输出分析法:通常在一些国民经济统计资料中有关于生产某一产品所需的原材料和消耗,从而可追溯到基础能量的消耗;

(3)过程分析法:首先确定为制造某一最终产品所需要的过程,再对其中的每一过程进行分析以确定该过程的能量输入值,将所有各过程的能量输入相加,即为该产品的能量需要量。

输入—输出分析法和过程分析法应用较普遍,有时3种或两种方法结合使用。

2 能量流分析程序的设定

2.1 研究地区概况

西吉县黄土丘陵区自然条件的主要特征是干旱、高寒、作物生长期短和水资源缺乏。此区水浇地只占耕地总面积的7.9%,年降水量为300~500mm,且年际间降水变率大,稳定性差,干旱频繁发生,水土流失严重,年平均侵蚀模数为5 000~7 000t/(km²·a)。生态平衡严重失调,生产条件极为严酷。1985年,每农业人口占有耕地为0.33hm²。粮食平均单产只有952.5 kg/hm²。

人为投入农田的能量平均为 2.79×10^{10} J/hm²,其中有机能投入为 $2.147.1 \times 10^7$ J/hm²,由人力、畜力、粪肥、绿肥和种子等构成;无机能投入为 $6.439.5 \times 10^5$ J/hm²,主要包括化肥、农业机械和农业器具等所具有的能量。农田平均每hm²投能仅相当于全国平均投能($6.449.4 \times 10^7$ J,1979年资料)的44.4%。由于农田投能少,其实际产出的有效能量仅为 $2.112.9 \times 10^7$ J/hm²,相当于全国平均每hm²产出有效能量的31.3%。

同时,农田无机能投入比重低,无机能投入占总投能的23.1%,相当于农业生产的工业化程度较高的北美农田无机能投入数量的31.8%。其中,农机动力投能占无机能投入总量的

21.9%，说明西吉县农业生产仍属于依赖人工、畜力和有机肥的传统农业生产。

西吉县农田能量流现状的另一个特征是能量效率低，能量产投比为0.757，只在个别经营管理较好的川道农田达到1.08，相当于全国平均水平。种植业是将化肥和有机肥等集中投入在播种和收获两个时段，容易造成在农作物充分利用之前化肥发生分解流失，致使部分化肥的能量无效消耗。农作物生长期的投能少和管理水平低，使得杂草参与了对能量的竞争，病虫害影响了农作物的正常生长发育，前期的投能发生无效消耗，影响了投能效率。黄土丘陵区有机能投入占能量总投入的84.7%，而无机能投入只占15.3%，这同样说明西吉县黄土丘陵区的农田生产仍然以传统的有机肥作为主要的能量投入，除此以外，干旱在年际变化上也影响能量流动，对沟坝和黄土丘陵地上的农田生态系统影响较大；暴雨和水土流失主要作用于黄土丘陵和石质山地；雹雨的影响主要是在石质山地，从而使大量投能做无用功。

为了探索提高投能效率，即太阳能在人工辅助能作用下被吸收和利用的数量，我们选择位于宁南黄土丘陵区西吉县的黄家二岔小流域，研究自然—经济—社会复合系统的能量流，探索小流域综合治理的能量学途径。

2.2 能量流分析程序

小流域是包括自然、经济和社会等多个因子的复合系统，对其作能量流分析必须根据研究目标、项目和内容等设定程序。本研究在全面分析研究地区小流域组成因素、生产方式和结构以及物质运移和能量流动的基础上，借鉴前人的研究方法，设定西吉县黄土丘陵区小流域能量流系统分析的基本程序，如图1所示。

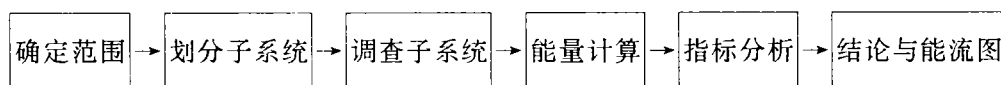


图1 小流域能量流分析程序

图中，(1)确定范围：包括设定小流域地理边界，查清与外界的物质、能量交流，设定能量流研究对象；(2)划分子系统：包括调查产业结构，调查土地利用现状，统计人口状况；(3)调查子系统：包括查清因素组成、结构及其相互关系，统计物质投入数量，统计人力、畜力投工数量，统计各阶段物质、资金产出，测定太阳辐射状况；(4)能量计算：包括计算各种物质投入的投能量，计算人力、畜力投入的投能量，计算物质产出的有效产能量，计算人力、畜力产出的产能量；(5)指标分析：包括能量投入产出分析，投能结构分析，子系统能量关系分析，小流域能量流系统分析。(6)结论：根据子系统和小流域系统能量流分析结果，绘制能流图，并提出调控措施。

3 小流域系统基本结构的设定

选取黄家二岔小流域为研究对象。

3.1 小流域投能概况

黄家二岔小流域总面积为5.7km²，1982年，耕种面积为342.67hm²，林地为10.02hm²，其它用地为217.31hm²，人均耕地0.65hm²，劳均耕地1.93hm²，劳力负担耕地过多，耕作粗放。农田人力、畜力、种子和有机肥料等有机能投入为1 278.2×10⁷J/hm²，只及全国平均水平的25.7%；农田机械、燃油、农用电和化肥农药等无机能投入为763.5×10⁶J/hm²，只及全国平均水平的5.2%，全流域年均粮食总产能为1723.6×10⁹J，相当于5 030.94×10⁶J/hm²，只及全国平均水平的7.6%，小流域能量产投比为0.37:1，而全国平均值和整个宁南山区的能量产投比

例分别为1.08:1和0.71:1。流域内基本无林业生产,对林业无人工辅助能投入,仅有的一点杨树人工林长势较差,能量产出甚微。

畜牧业用地是荒草坡地,生长有以禾木科为主的草类,对草地的管护、牧草栽培等人工投能甚少,牧草产量低,加之当地严重缺乏燃料,群众长年铲草皮、挖草根,过度放牧,致使草的长势衰退,牧草产能极少。黄家二岔小流域98.8%的人是回民,他们有养羊习惯和丰富经验。草场逐步退化缩小和产草量的极端低下,使牧业发展受到很大限制,全流域仅有大牲畜87头,羊94头,且羊的品种差,毛、肉、奶等产出量少,质量差,远不能满足种植业的有机肥能投入和畜力投能需要,小流域内种植业、林业、畜牧业和人类群体间还未建立良性、有序的物质能量循环系统。

从1983年起,黄家二岔小流域在水土保持规划的基础上,首先调整了土地利用结构,退耕还林还牧,经过三年的初步治理,营造以薪炭林为主体的水土保持“三料”林130.19hm²,种植牧草190.42hm²,耕地比1982年减少了37.2%,流域内农林牧用地比例由治理前的60.1:1.7:27.4调整到37.7:22.3:36.7,并相应地进行水土保持综合治理措施的合理配置和实施。1985年小流域单位面积粮食投能 $1542.9 \times 10^6 \text{J}/\text{亩}$,其中有机能投入占87.3%,无机能投入占13.7%,产能提高到 $1387.4 \times 10^9 \text{J}/\text{hm}^2$,能量产投比提高到0.60:1,比治理前的1982年提高了62%。

在国家“七·五”期间,黄家二岔小流域根据当地的具体情况,以控制水土流失、改善生态环境、提高自然资源的生产能力为中心,在此基础上,大力发展生产,提高经济效益,从而改善群众生活。在具体治理措施上,把林草建设、水土保持工程建设和农业基本建设密切结合起来。建成以坡面和沟道两大生物工程措施系统所组成的综合防护体系的同时,在大规模建设基本农田的过程中,积极推广有机旱作农业和农业生产新技术,促进了粮食生产的稳定增长和农林牧副业的发展,并使小流域综合治理效益逐年提高,小流域系统能量产出得到大幅度提高。

对构成小流域的农林牧业等几个子系统进行治理、改造和完善的综合治理过程,其本质是各种有机、无机能量的投入和系统能量的产出过程,因此,能量产投情况可以客观、真实地反映小流域治理过程及其效益。对黄家二岔小流域综合治理过程及其效益做能量分析可以从实质上反映其动态变化过程。由于组成小流域的成份复杂,影响因素多,为避免随机误差的影响,找出最一般的规律,我们选用1986—1990年的各项数据进行分析。

3.2 结构设定

通过野外调查和室内分析,为分析问题方便,我们设定:

(1)黄家二岔小流域是一个生态经济系统,由几个子系统组成,包括种植业、林业、畜牧业和人类群体4个子系统,各子系统由若干亚子系统组成。如图2所示。

随着生产结构的调整,各子系统的结构、组成和规模是动态变化的。

(2)系统能量产投比的计算由亚子系统、子系统到小流域系统逐级进行。本系统中两个最重要、对生态经济系统有直接影响的种植业子系统和畜牧业子系统是研究的重点。并且输入能量,只涉及人工辅助能。种植业的输入能主要包括有机能(种子、人力、畜力和有机肥等)和无机能(电、柴油、机械、化肥和农药等),输出包括农产品及副产品,畜牧业的能量输入主要是通过饲料、饲草和人工等,输出的是经过畜体加工转化而来的肉、蛋、奶以及产生的粪的能源等。

(3)任何系统都是有边界的,生态系统也是如此,尽管自然界中许多生态系统的边界十分模糊而难以确定,但小流域系统的边界却比较清晰,黄家二岔生态经济系统的边界以小流域系统边界山脊和公路为准,种植业各子系统以各种作物的种植地块为其系统边界,畜牧业则以各

种放牧地、饲养场为其系统边界。

3.3 能量流分析

3.3.1 计算方法 小流域系统能量流分析,主要研究人工辅助能的投入产出情况。人工辅助投能产投比的计算,分种植业、林业、饲养业和人类群体四个子系统进行。根据1986~1990年的有关数据计算,求得各种投入物质单位质量的热值和人工、畜工单位工时的耗能值,再将各种物质、工时等不同的输入量和输出量转换成以能量单位表示的能量值,作各子系统能量投入产出分析、投能结构分析和小流域系统能量流总体分析。

3.3.2 能流图说明 小流域系统能量流的分析结果可以通过能流图反映,本研究采用Odum H. T. 创立的能流语言符号表示。

北京林业大学水土保持学院西吉试区专题组提供了部分资料,特此致谢。

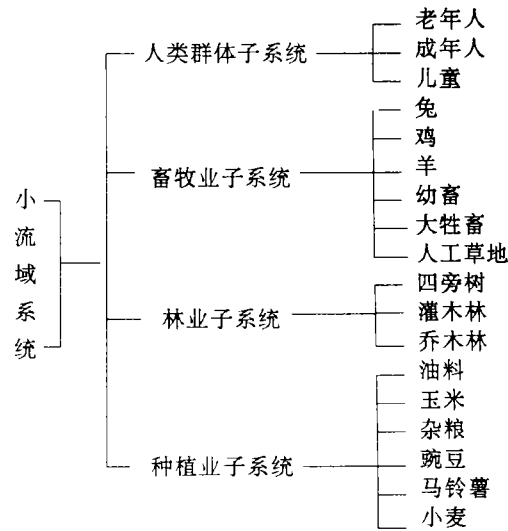


图2 小流域系统的基本结构

参 考 文 献

- 1 韩纯儒. 农业生态系统的能量结构及效率. 农村生态环境, 1985(3)
- 2 Lindeman R L. Ecology, 1942, 23(4): 399~418
- 3 刘巽浩. 能量投入产出研究在农业上的应用. 农业现代化研究, 1984(4): 15~20
- 4 Smil V, Nachman P, et al. Energy analysis and agriculture — an application to U. S. Corn Production, West View Press, Colorado, 1983, 185
- 5 余存祖等. 黄土高原贫困地区农田生态系统的功能评价. 干旱地区农业研究, 1988(2)
- 6 余存祖等. 黄土高原贫困地区农田能量效率与提高途径. 生态学杂志, 1989, 8(6): 1~5
- 7 张壬午等. 黑龙江省庆安县六合村生态农业建设与评价(Ⅰ). 农村生态环境, 1989(3)
- 8 彭祥林等. 黄土高原地区农田能量投入产出及其调节. 水土保持学报, 1991(1)
- 9 Pimental D, Berandi G(余存祖译). 农作制的能量效率—有机与常规农业. 水土保持译丛, 1984(1)
- 10 Black J N. Energy relations in crop production — a preliminary survey, Ann. App. Biol, 1971, 67: 272~278
- 11 马忠玉. 农田能量投入合理化的初步探讨——以宁夏回族自治区农业生产情况为例. 干旱地区农业研究, 1990(2)
- 12 田其云, 曹艳英. 宁夏回族自治区西吉县农田能量流分析. 农村生态环境, 1991(1)
- 13 Vigiati S, Odum H T. Energy use, environmental loading and Sustainability — An energy analysis of Italy, Ecological Modelling, 1994, 73: 215~268
- 14 Bialy J R. Energy flows in Subsistence agriculture; A study of a dry zone village in Srilanka. Thesis for P. H. D. University of Edinburge, 1982.
- 15 Cox G W et al. Agricultural Ecology. Freeman, San Francisco, 1979. 599
- 16 Wen Dazhong, Pimental D. Energy Inputs in Agricultural System of China. Agric Ecos Environ, 1984, 11: 29~35
- 17 卞有生著. 留民营生态农业系统. 中国环境科学出版社, 1988
- 18 闻大中. 我国东北地区农业生态系统的力能学研究. 生态学杂志, 1986, 5(4): 1~5

