

黄土高原中南部农户农果复合生态系统的能值分析

王红红, 吴发启, 李荣标

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:应用生态经济系统能值分析理论与方法,以黄土高原中南部的延安市宝塔区北沟村、淳化县西坡村2村农户为研究对象,通过一系列能值指标,定量分析了农户农果复合生态系统的自然资源以及系统投入产出特征。结果表明:农户农果复合生态系统的能值投入结构相似,辅助能的投入中不可更新工业能的投入比重最高,且以化肥投入为主,有机肥投入不足,应按适当比例增加有机能值的投入以提高系统的生态经济效益;农户农果复合生态系统生产优势度较高,但系统稳定性指数低,单位时间的劳动生产率较低,农果业生产水平有待提高;农户农果复合系统的能值产出率较低,能值投入率较高,对能源的利用效率较低,农果复合系统的环境资源进一步开发的潜力很大。提高农果复合系统的能值投入应当是提高资源的利用效率,加强农果业管理的科技含量和科学管理力度,使黄土高原中南部的果业生产走上健康持续发展的轨道。

关键词:能值分析;农果复合生态系统;农户;黄土高原中南部

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0197-08

无论是自然环境系统,还是人类经济系统,其存在、运动、发展和变化均涉及能量的流动、转化和贮存,因而研究能流的规律和特征十分重要。长期以来,人们采用能量分析的方法对各种系统进行分析研究,但是不同类型的能量其本质是不同的。例如,煤燃烧产生的1J能量与工业能的电发出的1J能量不可简单加减和比较,因为它们的来源和价值存在根本的差异。不同类别的能量之间存在这种不可加性、不可比性,常常使能量分析陷入困境。同时对自然环境资源与经济的本质关系用一般的能量单位更无法衡量和表达^[1]。

能值(Emergy)分析是美国著名生态学家 H. T. Odum 在系统生态、能量生态、生态经济理论基础上于20世纪80年代末创立的系统分析新方法和新理论。它着重于系统整体特征的分析,不仅解决了传统能量分析方法中不同能量类别难于比较和加减的问题,并且从一个全新的角度来看待自然环境资源在生态系统中的作用,适合比较分析不同类别能量,综合分析评价系统能流、物流和价值流。能值是指某种能量所包含的另一种能量的数量。基于一切能量都始自太阳能的观点, H. T. Odum 将任何资源、产品或劳务形成所需直接和间接的太阳能之量称为其所具有的太阳能值^[2](solar emergy),单位是太阳能焦耳(Solar emjoules,缩写为 sej)。能值分析常用太阳能值来衡量

某一能量的能值大小,将单位数量的能量或物质所包含的太阳能值称为太阳能值转换率。

黄土高原地区,特别是在 N34°-N37°东西带状地区,其气候、地貌、土壤和土地类型等生态因子完全有利于优质苹果的生产^[3],再加上近年来当地群众已掌握了苹果生产的管理技术和大量科学技术的投入等,促使该区已形成了以苹果、粮食和牧畜业等为主体的大农业复合生态系统。这种复合生态系统,在生态上具有互补性,即农田子系统的籽实、秸秆和青饲料产品可输入给畜牧系统,畜牧系统的粪便可输入给果树系统,果树系统积累的资金可用于加强农田、畜牧系统,形成物质能量良性循环。它既是生态农业的一种形式,又是水土保持的一种方式,具有果、粮、牧三环结构的特征和保持水土、改善生态环境、以及增加农民收入等多种功能^[4]。近年来,对该系统的研究多集中于生产力、物质循环和能量流动等方面^[5-7],用能值理论分析其结构与功能尚属空白。农户是农业生产的基本单元,是区域生态经济系统持续发展的基础和保障。因此,本文采用新型的能值分析理论为基础,以农户为研究单元,对黄土高原中南部农果复合生态系统进行分析,目的在于从一种新的视角对该区农果复合生态系统结构和功能进行统一分析,更好地解释其生态系统发展现状,为区域可持续发展提供决策依据。

收稿日期:2008-05-29

基金项目:中国科学院知识创新项目“农果复合型生态农业建设模式示范”(kzcx1-06-06-02-03)

作者简介:王红红(1976—),女,陕西延安人,在读博士研究生,主要从事土壤侵蚀与流域生态系统研究。E-mail: wanghonghong20@126.com。

通讯作者:吴发启(1957—),男,陕西黄陵人,博士生导师,主要从事土壤侵蚀与流域管理研究。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

研究区设在延安市宝塔区的北沟村和咸阳市淳化县的西坡村。北沟村属黄土丘陵沟壑地貌,海拔 1 200 m,属高原大陆性气候类型。全年平均气温 9.4℃,无霜期 150 d, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 3 293℃,太阳年辐射总量 585.48 kJ/cm²,年日照时数 2 586 h,多年平均降雨量 449 mm,土壤为黄绵土。全村总土地面积 378 hm²,总人口 247 人,人均土地面积 1.533 hm²,人均耕地面积 0.1 hm²,农业用地占土地总面积的 17.84%,果业用地占 12.58%,林草业占 68.3%。作物种植主要有玉米、谷子、土豆和少量蔬菜等,果树主要为红富士,栽植 16 a,畜禽养殖主要为猪、鸡、驴等。

西坡村属黄土高原沟壑地貌。海拔 1 219.5 m,属暖温带湿润大陆性季风气候。全年平均气温 9.8℃,无霜期 138 d, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 3 281℃,太阳年辐射总量 505.68 kJ/cm²,年日照时数 2 372.1 h,多年平均降雨量 600.6 mm,土壤为黄壤土。全村总土地面积 259.89 hm²,总人口 946 人,人均土地面积 0.272 hm²,人均耕地面积 0.069 hm²,农业用地占土地总面积的 25.6%,果业用地占 41.4%,林草业占 21.84%。作物种植主要有小麦、玉米、油菜等,主栽果树为红富士,栽植 14 a,畜禽养殖主要为

猪、鸡、奶羊等。

1.2 系统结构和边界

在北沟村和西坡村各选一定数量的典型农户为调查对象(见表 1)。两村农户均以农为主,农、果、牧相结合,组成了农业、果业、畜牧业和人类群体 4 个子系统。以农户经营的范围作为系统边界,农业子系统以作物种植地块为系统边界,果业子系统以果树栽植地块为系统边界。以 2007 年一个完整的农果业生产年度作为调查年限,统计分析其能值投入产出,评价系统的生产发展特性。

1.3 能值分析方法

1.3.1 系统能值图的绘制 以 Odum 的“能量系统语言”^[2]绘出农户农果复合生态系统的能值图(图 1),包括系统主要能值投入和产出项目,以及能物流、货币流等流向关系。系统能值投入包括可更新的自然资源、不可更新的自然资源、不可更新工业辅助能和可更新有机能四部分^[8,9]。可更新的自然资源包括太阳能、风能、雨水化学能、雨水势能、地球循环能等;不可更新的自然资源包括表土流失能;不可更新工业辅助能包括在农业生产中投入的农药、化肥、电能、燃料和机械等;可更新有机能包括在农业生产中投入的劳力、畜力、有机肥和种子等。系统能值产出则依据农果复合生态系统结构划分为果业(果实、剪枝、落叶)、种植业(作物籽实、作物秸秆)和养殖业(猪、鸡、驴、羊等)三类。

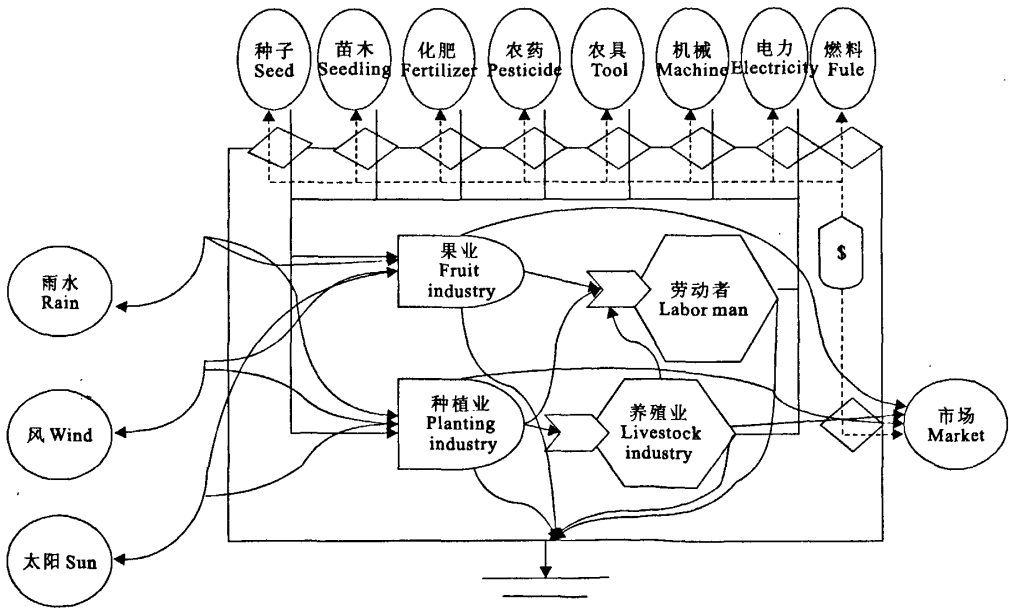


图 1 农户农果复合生态系统能值图

Fig.1 Energy flow of peasant household crop-fruit ecosystem

1.3.2 数据资料的收集 根据绘制的系统能值图在研究区选择了 42 户农户进行调查,通过定期询问及发放调查记录本等形式收集 2007 年度农户农业、果业、畜牧业生产中的各项投入和支出数据,并对其进行分类整理计算。研究所用能量系数主要参考闻大中、骆世明等的研究数据^[10,11],能值计算方法是以太阳能值转换率为基准,各项投入与产出的太阳能值转换率主要参考 Odum、蓝世芳等的论著^[1,2]。太阳能值=原始数据×太阳能值转换率。

1.3.3 能值分析表的编制 根据系统能值图和各项数据资料,利用各种自然资源要素的相应能值转

换率,将不同度量单位转换为统一的能值单位(sej),编制成能值分析表(表 2,表 3),表 4 为农户农果复合生态系统能值投入产出简表。表中各数据均为调查户数的平均值。

1.3.4 能值分析指标的建立 在能值分析表的基础上,建立农户农果复合生态系统的能值综合评价指标体系,包括净能值产出率、能值投入率、环境承载力以及农业系统特有指标等,并据此对黄土高原中南部 2 村农户农果复合生态系统的结构和功能进行分析。

表 1 农户基本情况调查表
Table 1 The fundamental state of peasant household

农户 Peasant household	调查户数 Household number	户均人口 Mean number of members	户均劳力 Mean number of labors	文化程度 Education	农地面积 Crop land area (hm ²)	果园面积 Apple land area (hm ²)	栽植地块 Platform	猪 Pig (头)	鸡 Chicken (只)	羊 Goat (只)	驴 Donkey (头)
北沟农户 Beigou village	10	4	2	小学 Primary school	0.85	0.83	坡面梯田 Slope terrace	4	6	—	1
西坡农户 Xipo village	32	5	2	初中 Middle school	0.49	0.52	塬面梯田 Highland terrace	5	10	1.6	—

2 结果与分析

2.1 农户农果复合生态系统能值投入结构分析

能值投入结构分析有助于从整体上评价特定区域农果复合生态系统的开放与发展程度。从表 2 可以看出,2 村农户农果复合生态系统的能值投入由 4 部分构成,总能值投入分别为北沟农户 2.21×10^{16} sej/a,西坡农户 2.39×10^{16} sej/a。其中可更新自然资源、不可更新自然资源、不可更新的工业辅助能、可更新有机能的能值分别占总能值投入的 12.1% 和 10.5%,8.8% 和 4.7%,42.0% 和 55.1%,40.9% 和 29.7%,北沟农户和西坡农户均为不可更新工业辅助能投入最大。无偿自然资源能值投入分别为 4.61×10^{15} sej/a 和 3.64×10^{15} sej/a,占系统总能值投入的 20.9% 和 15.2%。不可更新自然资源能值投入为 1.94×10^{15} sej/a 和 1.13×10^{15} sej/a,分别占自然资源能值投入的 42.2% 和 31.1%,占系统总能值投入的 8.8% 和 4.7%。2 村农户自然资源能值投入结构有所差异,主要是由于 2 村农户的自然环境条件和农果种植面积不同而异。需要说明的是,在表 2 中,几种可更新自然资源是同样气候、地球物理作用引起的不同现象,只取其中能值投入量最大的雨水势能,以避免能值的重复计算^[2]。

2 村农户农果复合生态系统辅助能值的投入分别为 1.75×10^{16} sej/a 和 2.03×10^{16} sej/a,占系统总

能值投入的 82.9% 和 84.8%。不可更新的工业辅助能投入分别为 9.27×10^{15} sej/a 和 1.32×10^{16} sej/a,占辅助能投入的 53.1% 和 65%。其中化肥能值投入占工业辅助能值投入总量的 96.5% 和 98.1%,居于首位;农业机械、燃油、电力等辅助能值投入占工业辅助能投入的 3.5% 和 2.39%。表明化肥是 2 村农户农果生产中主要的不可更新辅助能投入,西坡农户的农业机械能投入较北沟农户高 29.4%,是因为黄土丘陵沟壑区(北沟农户)由于生境的破碎化及坡耕地比例较大,不利于农业机械化的操作,而在黄土高塬沟壑区(西坡农户)地势相对平坦,较黄土丘陵沟壑区便于进行农业机械化操作。

有机辅助能投入总量分别为 9.03×10^{15} sej/a 和 6.40×10^{15} sej/a,占辅助能投入的 51.7% 和 35.0%,其中有机肥能值投入仅占辅助能值投入的 1.91% 和 2.17%,有机肥投入严重不足;人力和畜力的能值投入在北沟村农户中占有有机能投入的 32.7%,而西坡农户由于农机的使用代替了畜力,人力的投入占有有机能投入的 14.2%,远低于北沟农户,表明人畜力仍然是北沟农户农果复合生态系统的重要动力,西坡农户的机械化操作程度高于北沟农户。

2.2 农户农果复合生态系统能值产出分析

北沟农户和西坡农户农果复合生态系统能值总产出分别为 1.46×10^{17} sej/a 和 1.72×10^{17} sej/a(表

表 2 农户农果复合生态系统能值投入表(2007)
Table 2 Energy input of peasant household crop-fruit ecosystem(2007)

项目 Item	太阳能值转换率 Transformity (sej/J)或(sej/g)	北沟农户 Beigou peasant household		西坡农户 Xipo peasant household	
		原始数据 Original data	太阳能值(sej/a) Solar energy	原始数据 Original data	太阳能值(sej/a) Solar energy
可更新自然资源投入 Renewable natural resources					
太阳能 Solar energy	1.00	8.69×10 ¹³ J	8.69×10 ¹³	5.42×10 ¹³ J	5.42×10 ¹³
风能 Wind energy	6.63×10 ²	1.54×10 ¹¹ J	1.02×10 ¹⁴	1.06×10 ¹¹ J	7.04×10 ¹³
雨水化学能 Rainfall chemical energy	1.82×10 ⁴	4.20×10 ¹⁰ J	7.64×10 ¹⁴	3.18×10 ¹⁰ J	4.61×10 ¹⁴
雨水势能 Rainfall potential energy	1.05×10 ⁴	1.03×10 ¹¹ J	1.08×10 ¹⁵	1.27×10 ¹¹ J	2.00×10 ¹⁵
地球循环能 Earth cycle	2.90×10 ⁴	5.46×10 ¹⁰ J	1.58×10 ¹⁵	1.75×10 ¹⁰ J	5.09×10 ¹⁴
小计 Total			2.66×10 ¹⁵		2.51×10 ¹⁵
不可更新自然资源投入 Nonrenewable natural resources					
表土层净损失 Top soil loss	7.40×10 ⁴	2.63×10 ¹⁰ J	1.94×10 ¹⁵	1.53×10 ¹⁰ J	1.13×10 ¹⁵
小计 Total			1.94×10 ¹⁵		1.13×10 ¹⁵
有机能投入 Original energy input					
玉米种子 Maize seed	6.03×10 ⁴	3.97×10 ⁸ J	2.40×10 ¹³	1.54×10 ⁸ g	9.29×10 ¹²
谷子种子 Millet seed	5.81×10 ⁴	4.10×10 ⁷ J	2.38×10 ¹²	—	—
土豆种子 Tomato seed	2.70×10 ³	2.19×10 ⁹ J	5.91×10 ¹²	—	—
小麦种子 Wheat seed	6.80×10 ⁴	—	—	5.63×10 ⁸ J	3.83×10 ¹³
油菜种子 Rape seed	7.72×10 ⁴	—	—	1.83×10 ⁶ J	1.41×10 ¹¹
种苗 Seedling	3.49×10 ⁴	1.09×10 ¹⁰ J	3.82×10 ¹⁴	2.87×10 ⁸ J	1.00×10 ¹³
劳力 Man power	3.80×10 ⁵	5.04×10 ⁹ J	1.09×10 ¹⁵	2.40×10 ⁹ J	9.11×10 ¹⁴
有机肥 Organic manure	2.70×10 ⁶	3.88×10 ¹¹ J	1.72×10 ¹⁴	7.52×10 ¹¹ J	3.16×10 ¹³
畜力 Animal power	1.46×10 ⁵	7.12×10 ⁹ J	1.04×10 ¹⁵	—	—
仔猪 Pigs	1.71×10 ⁶	1.47×10 ⁹ J	2.51×10 ¹⁵	1.40×10 ⁹ J	2.40×10 ¹⁵
仔鸡 Chicken	1.71×10 ⁶	1.93×10 ⁷ J	3.31×10 ¹³	5.23×10 ⁷ J	8.94×10 ¹³
饲料粮 Feed grain	2.70×10 ⁴	1.80×10 ¹⁰ J	4.86×10 ¹⁴	4.31×10 ¹⁰ J	1.16×10 ¹⁵
糠麸皮 Bran	4.10×10 ⁴	1.41×10 ¹⁰ J	5.78×10 ¹⁴	1.20×10 ¹⁰ J	4.90×10 ¹⁴
青饲料 Green fodder	2.15×10 ⁴	3.06×10 ⁹ J	6.58×10 ¹³	1.40×10 ¹⁰ J	5.37×10 ¹⁴
粗饲料 Roughage	3.90×10 ⁴	4.27×10 ¹⁰ J	4.99×10 ¹⁵	1.04×10 ¹⁰ J	4.04×10 ¹⁴
仔猪购买饲料 Concentrate feed	6.80×10 ⁴	2.24×10 ⁹ J	1.52×10 ¹⁴	3.25×10 ⁹ J	2.21×10 ¹⁴
小计 Total			9.03×10 ¹⁵		6.40×10 ¹⁵
工业辅助能投入 Purchased supplement energy input					
氮肥 Nitrogen fertilizer	4.62×10 ⁹	4.26×10 ⁵ g	1.97×10 ¹⁵	6.73×10 ⁵ g	3.11×10 ¹⁶
磷肥 Phosphate fertilizer	1.78×10 ¹⁰	2.15×10 ⁵ g	3.82×10 ¹⁵	3.19×10 ⁵ g	5.67×10 ¹⁶
复合肥 Compound fertilizer	2.80×10 ⁹	8.10×10 ⁵ g	2.17×10 ¹⁵	4.46×10 ⁵ g	1.25×10 ¹⁵
农药 Pesticides	1.62×10 ⁹	2.11×10 ⁴ g	3.42×10 ¹³	2.44×10 ⁴ g	3.94×10 ¹³
柴油 Diesel	6.60×10 ⁴	5.85×10 ⁸ J	3.86×10 ¹³	2.33×10 ⁸ g	1.54×10 ¹³
农机 Agricultural machine	7.50×10 ⁷	4.86×10 ⁹ J	1.06×10 ¹⁴	4.62×10 ⁹ J	9.35×10 ¹³
农膜 Plastic mulch	3.80×10 ⁸	1.42×10 ⁴ g	1.43×10 ¹³	7.38×10 ³ g	2.80×10 ¹²
电力 Electricity	1.59×10 ⁵	6.57×10 ⁸ J	1.05×10 ¹⁴	2.92×10 ⁸ J	4.65×10 ¹³
小计 Total			8.35×10 ¹⁵		1.02×10 ¹⁶
总能值投入 Total energy input			2.21×10 ¹⁶		2.39×10 ¹⁶

3、表 4),其中农业、果业和畜产品的能值产出分别为 5.77×10^{15} sej/a 和 1.01×10^{16} sej/a, 1.27×10^{17} sej/a 和 1.45×10^{17} sej/a, 1.41×10^{16} sej/a 和 1.77

$\times 10^{16}$ sej/a, 分别占能值总产出的 3.95% 和 5.85%, 86.6% 和 84.0%, 9.63% 和 10.3%。在北沟农户农产品能值产出中,玉米、土豆和谷子分别占种植业子系统的 45.2%, 7.76% 和 1.28%, 作物秸

秆占子系统的 45.8%;在果业子系统中,苹果果实的能值产出占系统总能值产出的 86.4%,占果业子系统的 98.68%;在农户畜产品的能值产出中,肉类能值占子系统的 71.24%,其次是畜禽粪便占 15.24%,蛋类及畜力比例较小。在西坡农户农产品能值产出中,玉米、小麦和油菜分别占农业子系统的 33.58%,12.84%和 0.38%,作物秸秆占子系统的 52.8%;在果业子系统中,苹果果实的能值产出占系统总能值产出的 83.9%,占果业子系统的 99.15%。在农户畜产品的产出能值中,肉类能值占子系统的 56.56%,其次是畜禽粪便占 8.22%,蛋类及奶类比例较小。可见果业在两村农户农果复合生态系统中占有很大的比重,是其经济收入的一个重要来源。

2.3 农户农果复合生态系统能值指标体系

根据农户农果复合生态系统能值投入产出表,计算出各能值指标,见表 5。

2.3.1 净能值产出率 为系统产出能值与经济反馈(输入)能之比,是衡量系统生产效率的一种标准。表征了经济过程是否具有向经济活动提供基础能源的竞争能力,在一定程度上反映了系统的可持续发展

展状况和工业化程度。净能值产出率越高,表明系统获得一定的经济能值投入,生产出来的产品能值(产出能值)越高,即系统的生产效率越高。北沟农户和西坡农户农果复合生态系统的净能值产出率分别为 1.207 和 1.179,北沟农户>西坡农户;同时可以看出北沟农户农业子系统和果业子系统的净能值产出率较西坡农户分别高 20.09%和 8.44%,农果复合生态系统高 2.29%,表明北沟农户农果复合生态系统具有较高的能值利用效率,生产成本较低。细究之,是因为北沟农户农果复合生态系统投入的购买能值比例较低(农业子系统较西坡农户低 16.73%,果业子系统低 7.78%,复合系统低 2.24%),而生产消耗无偿的自然环境资源,如太阳光、雨水、土壤等的比例较高(较西坡农户高 37.14%)。

2.3.2 能值投入率 等于来自经济的反馈能值除以来自环境的无偿能值输入。前者如燃油、电力、物资、劳务等,均需花钱购买,为“购买能值”;后者来自包括土地、矿藏等不可更新资源和太阳能、风、雨等可更新资源在内的自然界无偿能值,是衡量经济发展程度和环境负载程度的指标。其值越大表明系统

表 3 农户农果复合生态系统能值产出表(2007)
Table 3 Emergy output of peasant household crop-fruit ecosystem (2007)

项目 Item	太阳能值转换率 Transformity (sej/j)或(sej/g)	北沟农户 Beigou peasant household		西坡农户 Xipo peasant household	
		原始数据(J) Original data	太阳能值(sej/a) Solar emergy	原始数据(J) Original data	太阳能值(Sej/a) Solar emergy
玉米 Maize	2.70×10^4	9.65×10^{10}	2.60×10^{15}	1.26×10^{11}	3.39×10^{15}
土豆 Potato	2.70×10^3	2.73×10^{10}	7.37×10^{13}	—	—
谷子 Millet	5.81×10^4	7.70×10^9	4.48×10^{14}	—	—
小麦 Wheat	6.80×10^4	—	—	1.91×10^{10}	1.30×10^{15}
油菜籽 Rape seed	7.72×10^4	—	—	4.94×10^8	3.81×10^{13}
玉米秸秆 Maize straw	3.90×10^4	5.57×10^{10}	2.17×10^{15}	1.12×10^{11}	4.35×10^{15}
土豆秸秆 Potato straw	2.70×10^4	1.46×10^9	3.94×10^{13}	—	—
谷子秸秆 Millet straw	3.90×10^4	1.11×10^{10}	4.31×10^{14}	—	—
小麦秸秆 Wheat straw	3.90×10^4	—	—	2.08×10^{10}	8.11×10^{14}
油菜秸秆 Rape straw	3.90×10^4	—	—	4.44×10^9	1.73×10^{14}
苹果 Apple	5.30×10^5	2.36×10^{11}	1.25×10^{17}	2.70×10^{10}	1.43×10^{16}
剪枝 Pruning	3.49×10^4	2.67×10^{10}	9.32×10^{14}	2.15×10^9	7.51×10^{13}
枯枝落叶 Litter	4.29×10^4	1.73×10^{10}	7.43×10^{14}	1.10×10^9	4.71×10^{13}
牲猪 Domestic pigs	1.71×10^6	5.86×10^9	1.00×10^{16}	5.86×10^9	1.38×10^{16}
鸡肉 Chicken	1.71×10^6	1.16×10^8	1.98×10^{14}	3.77×10^8	6.44×10^{14}
鸡蛋 Eggs	2.00×10^6	3.12×10^8	6.24×10^{14}	4.68×10^8	9.36×10^{14}
羊肉 Mutton	1.71×10^6	—	—	1.08×10^9	1.85×10^{15}
羊奶 Goat milk	1.70×10^6	—	—	1.66×10^9	2.81×10^{15}
畜力/工 Livestock power	1.46×10^5	6.03×10^9	8.80×10^{14}	—	—
畜禽粪尿 livestock manure	2.70×10^4	7.94×10^{10}	2.14×10^{15}	5.38×10^{10}	1.45×10^{15}
总计 Total			1.46×10^{17}		1.72×10^{17}

表 4 农户农果复合生态系统及各子系统能值投入产出简表 ($\times 10^{15}$ sej/a)
Table 4 Energy input-output of peasant crop-fruit ecosystem and subsystem

项目 Item	表达式 Expression	北沟农户 Beigou peasant household				西坡农户 Xipo peasant household			
		农业子系统 Agricultural subsystem	果业子系统 Fruit subsystem	畜牧业 子系统 Livestock subsystem	复合系统 Crop-fruit system	农业子系统 Agricultural subsystem	果业子系统 Fruit subsystem	畜牧业 子系统 Livestock subsystem	复合系统 Crop-fruit system
可更新自然资源 Renewable natural re- sources	R	0.864	1.80	0	2.66	0.653	1.86	0	2.15
不可更新自然资源 Nonrenewable natural re- sources	N	0.713	1.23	0	1.94	0.585	0.547	0	1.13
不可更新工业辅助能 Nonrenewable purchased supplemental energy	F	0.94	0.92	11	9.03	0.829	0.731	5.54	7.10
可更新有机能 Renewable organic energy	R1	2.81	6.44	0.023	9.27	5.95	7.32	0.017	13.2
自然资源总投入 Total input of natural re- sources	$I = R + N$	1.58	3.03	0	4.61	1.24	2.41	0	3.64
辅助能总投入 Total input of supplemen- tal energy	$U = F + R1$	3.75	7.36	11.0	17.5	6.77	7.96	5.56	20.3
总能值投入 Total energy input	$T = I + U$	5.33	10.4	11.0	22.1	8.01	10.4	5.56	23.9
总能值产出 Total energy output	Y	5.77	127.0	14.1	146.0	10.10	145.0	17.70	172

经济发展程度越高;其值越小则说明系统发展水平越低,对环境的依赖越强。北沟农户和西坡农户农业子系统能值投入率分别为 2.38 和 5.47,果业子系统的能值投入率为 2.43 和 3.31,北沟农户较西坡农户分别低 56.53% 和 26.67%,从而使其农果复合生态系统的能值投入率低 31.94%,表明北沟农户农业子系统、果业子系统,以至整个农果复合生态系统的单位无偿环境资源的利用只投入了较少的购买能值,能值投入水平较低,生产成本较小;但另一方面,由于购买能值投入较少,使无偿的环境资源不能达到最佳的利用效率。因此,应适当增加系统的购买能值投入量,提高系统的能值投入率。

2.3.3 环境承载力 等于购买能值加上系统内消耗的不可更新能源(如土壤等)能值与投入系统内无偿的可更新环境资源(如太阳光、雨水等)能值之比。北沟农户和西坡农户农业子系统的环境承载力分别为 5.17 和 11.27,西坡农户远大于北沟农户,两村农户果业子系统的环境承载力相当,分别为 4.77 和 4.58,而农果复合生态系统的环境承载力为 7.29 和 8.53,北沟农户 < 西坡农户,表明北沟农户农业系统的发展水平较低,系统生产的环境压力不高,农业自

然环境资源有进一步开发利用的潜力,可以进一步加大能值投入,提高生产力水平;相比之下,西坡农户农业生态环境所受压力较大,应在提高系统效益的同时注意保护生态环境。

2.3.4 农业生态系统特有指标

(1) 系统生产优势度。农业生态系统的系统优势度反映系统结构总体生产单元的均衡性。由表 5 可知,北沟农户和西坡农户农果复合生态系统生产优势度分别为 0.758 和 0.718,与广东省三水市农业生态经济系统(0.442)^[13]相比,相对较高。同时可以看出,两村农户的能值产出结构相似,都为果业子系统产出最大,分别占农果复合生态系统能值产出的 86.99% 和 84.30%,畜牧业子系统次之,为 9.66% 和 10.29%,农业子系统最小,为 3.95% 和 5.87%。因此应加强农业生产,提高粮食产量,以提高系统的生产优势度。

(2) 系统稳定性指数。系统稳定性指数表示系统生产稳定性的大小,系统稳定性指数高,说明农业系统的物质流、能量流连接网络发达,系统的自控、调节、反馈作用强,有更大的稳定性。北沟农户和西坡农户农果复合生态系统稳定性指数分别为 0.475

表 5 农户农果复合生态系统能值分析指标
Table 5 Index of emergy analysis of peasant household crop-fruit eco-system

能值指标 Emergy index	表达式 Expression	北沟农户 Beigou peasant household				西坡农户 Xipo peasant household			
		农业子系统 Agricultural subsystem	果业子系统 Fruit subsystem	畜牧业 子系统 Livestock subsystem	复合系统 Crop-fruit system	农业子系统 Agricultural subsystem	果业子系统 Fruit subsystem	畜牧业 子系统 Livestock subsystem	复合系统 Crop-fruit system
可更新自然资源能值比重 Renewable natural resources contribution ratio	R/T	0.162	0.173	0.000	0.121	0.081	0.179	0.000	0.105
不可更新自然资源能值比重 Nonrenewable natural re- sources contribution ratio	N/T	0.134	0.119	0.000	0.088	0.073	0.053	0.000	0.047
工业辅助能值比重 Purchased supplemental emer- gy contribution ratio	F/T	0.528	0.620	0.002	0.420	0.742	0.697	0.003	0.551
有机能值比重 Organic emery ratio	R1/T	0.176	0.089	0.998	0.409	0.103	0.070	0.997	0.297
自然资源能值比重 Natural resources contribution ratio	I/T	0.296	0.292	0.000	0.209	0.154	0.232	0.000	0.152
辅助能值比重 Supplemental emery contri- bution ratio	U/T	0.704	0.708	1.000	0.829	0.846	0.768	1.000	0.848
可更新能值比重 Renewable emery contribution ratio	(R + T)/T	0.338	0.262	0.998	0.53	0.185	0.250	0.997	0.402
不可更新能值比重 Nonrenewable emery contribution ratio	(N + F)/T	0.662	0.738	0.002	0.508	0.815	0.750	0.003	0.598
净能值产出率 Net emery yield ratio	T/U	1.42	1.412	1.000	1.207	1.183	1.302	1.000	1.179
能值投入率 Emery input ratio	U/I	2.379	2.427	0.000	3.792	5.474	3.310	0.000	5.571
环境承载力 Environmental loading ratio	(U + N)/R	5.170	4.771	0.000	7.289	11.271	4.578	0.000	8.532
系统生产优势度 System production advantage		$\sum (EmY_i/EmY)^2$							
系统稳定性指数 Index of system stability		$\sum \{ (EmY_i/EmY) \ln (EmY_i/EmY) \}$							
劳动时间 Labor time(h)		h				16712.16			
能值劳动生产率(sej/h) Emery-labor production ratio		Y/h				8.76 × 10 ¹²			

和 0.544,西坡农户)北沟农户,表明西坡农户农果复合生态系统的稳定性较高;但两村农户的系统稳定性指数远小于三水市农业生态经济系统(0.918)^[13],说明两村农户农果复合生态系统与发达地区相比,系统连接网络较差,其自控、调节和反馈作用有待加强。

(3) 能值—劳动生产率。能值—劳动生产率等于系统的能值产出除以投入系统的劳动时间(h),

表示投入 1 h 劳力相应取得的能值产出,是相对于传统的劳动生产率而言的。能值—劳动生产率以太阳能值表示劳动成果,能值是真正的财富^[2],更能体现凝结在劳动中的全部价值,比传统的劳动生产率更能全面和真实地反映与评价生产者的劳动效率。北沟农户和西坡农户的能值—劳动生产率分别为 8.76 × 10¹² sej/h 和 8.93 × 10¹² sej/h,西坡农户 > 北沟农户,说明西坡农户每小时劳力产出的能值

高于北沟农户,其农果复合生态系统的生产水平较北沟农户为高;但两村农户的能值—劳动生产率均小于广东省三水区生态经济系统(1.27×10^{13} sej/h)^[13],表明北沟农户和西坡农户的农业生产水平均较低,应提高劳动者素质,以进一步提高劳动生产率。

3 结论与讨论

1) 北沟农户和西坡农户农果复合生态系统自然环境资源能值投入占有相当比例,其中不可更新自然资源的能值投入比例较大,分别占环境资源能值投入的 42.2% 和 31.1%,主要是水土流失造成的表土层损失。而 2 村农户农业子系统的表土层流失均高于果业子系统,因此应在搞好基本农田建设的同时,大量推广国内外成熟的复合生态农业技术,因地制宜地采取适合的耕作措施,以控制水土流失,保证一定的农业生产,提高系统的生态和经济效益。

2) 北沟农户和西坡农户不可更新工业辅助能值投入占系统总能值投入的比重最大,其中化肥能值投入占工业辅助能值投入比重最大,有机肥投入严重不足。大量的化肥施用必然加速土壤有机质的损耗,同时由于其对环境的污染,也不利于系统的可持续发展。应适当控制化肥的投入,增加有机肥投入,以培肥地力,发展无公害农业,提高农产品和果品的质量,提高其市场竞争力。

3) 农户农果复合生态系统的能值指标分析表明北沟农户净能值产出率较高,能值投入率和环境承载力均较西坡农户低,表明北沟农户系统发展水平较低,对自然环境的压力较小,农业自然资源有进一步开发的潜力;农户农果复合生态系统特有指标分析表明,2 村农户系统生产优势度较高,但系统稳定性指数低,系统连接网络不佳,其自控、调节、反馈作用弱;单位时间的劳动生产率较低,农果业生产水平有待提高。

4) 从农户农果复合生态系统各子系统能值分析可知农业子系统是一个低投入、低产出的系统,果业子系统是一个低投入、高产出的系统,畜牧业子系

统是一个高投入、高产出的系统,因此在农户农果复合生态系统中,在保证最基本的粮食生产的同时,加大果业和畜牧业的比重,虽然畜牧业子系统的能值投入较高,但可以为农业和果业提供有机能的投入,对提高系统的生态和经济效益具有一定的意义。

5) 农果业的发展必须依靠现代科学技术,而科学技术具有较高的能值转化率和高能值等级;在北沟农户和西坡农户劳动者素质均较低,小学、初中文化程度占大多数,适应市场能力差。因此在黄土高原中南部农果复合系统能值投入的重点在于加大科学技术的投入,提高劳动者的素质,促进科学技术在农业生产中的推广和应用,合理利用农业自然资源环境,应用现代生态农业技术,发展可持续的农果复合型生态农业。

参考文献:

- [1] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [2] Odum H T. Environment accounting: emergy and decision making[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996. 320—370.
- [3] Narasimham P. Effect of meteorological on fruit maturation for apple[J]. Sci Hortic, 1998, 35: 217—226.
- [4] 王青. 黄土高原丘陵沟壑区农业结构调整的思考[J]. 中国农业资源与区划, 2001, 22(5): 47—50.
- [5] 吴发启, 周正立, 刘海斌. 黄土高原中南部农果复合生态农业生产力特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 262—266.
- [6] 吴发启, 刘海斌, 周正立. 农果复合系统营养物质的盈亏平衡特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 413—416.
- [7] 吴发启, 刘海斌, 周正立, 等. 黄土高原农果复合系统 N, P, K 营养元素的循环特征[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 79—83.
- [8] Bastianoni S, Marchettini N, Panzieri M, et al. Sustainability assessment of a farm in the Chianti Area (Italy)[J]. Journal of Cleaner Production, 2001, 9: 365—373.
- [9] Lefroy E, Rydberg T. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia[J]. Ecological Modeling, 2003, 161: 195—211.
- [10] 闻大中. 农业生态系统能流的研究方法[J]. 农村生态环境, 1985—1986, 4: 47—52, 1: 52—56; 2: 48—51.
- [11] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [12] 沈善瑞, 陆宏芳, 蓝盛芳, 等. 三水区农业生态系统经济能值投入产出分析[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 612—615.

(英文摘要下转第 223 页)

清华大学出版社,2004.

- [16] 王永兴,陈 曦.GIS支撑下的干旱区水资源及其利用的空间
分异研究[J].干旱区地理,2003,26(2):110—115.
- [17] 刘明柱,陈艳丽,胡丽琴,等.地下水资源评价模型与GIS的
集成及其应用研究[J].地学前缘,2005,12:127—131.
- [18] 钟瑞森,董新光,刘 丰,等.干旱区地下水资源综合评价模
式[J].灌溉排水学报,2005,25(2):85—88.
- [19] 金 鑫,郝振纯,张金良.水文模型研究进展及发展方向[J].
水土保持研究,2006,13(4):197—199.

Study on the development and application of underground water resources assessment system in the blown-sand region of Northern Shaanxi Province based on GIS

WANG Xiao-jun¹, CAI Huan-jie¹, ZHANG Xin¹, WANG Jian¹,

WANG Ji-ke¹, LIU Hong-ying², KANG Yan¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Department of Water Conservancy, Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The system of underground water resources assessment is established by computer technology and balance method and is applied in the blown-sand region of Northern Shaanxi Province. The system has many functions such as data adding, deleting and maintenance, spatial data query and underground water resources assessment. After balance calculation, it is concluded that the total recharge and discharge amount is $151\,804 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, $162\,612 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, respectively. The multi-year annual mean underground water resource is $145\,125 \times 10^4 \text{ m}^3$. Compared with previous study, the results are accurate and reliable and may provide a guidance for the water use in Yulin energy resources base construction.

Key words: blown-sand region of Northern Shaanxi; GIS; water resources assessment; underground water

(上接第 204 页)

Emergy analysis of peasant household crop-fruit ecosystem in middle and south Loess Plateau

WANG Hong-hong, WU Fa-qi, LI Rong-biao

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the theory of emergy analysis, taking some peasant households in two villages in the middle and south Loess Plateau respectively as test objects, the energy flow of crop-fruit ecosystem was investigated quantitatively. The result showed that the structure of both village's energy system input was similar and the investment of chemical fertilizers made up the largest proportion, while the investment of organic manure was deficient. The net output of crop-fruit ecological system was low and needed to be increased. The environment loading rate was not high as a whole, so attention should be paid to increasing utilization efficiency of renewable environmental resources. The focal point of energy input for crop-fruit ecological system was to raise the level of crop-fruit industry technology and to improve crop-fruit production condition so as to achieve sustainable development of crop-fruit ecological system.

Keywords: emergy analysis; crop-fruit ecological system; household; middle and south Loess Plateau