

文章编号:1000-5471(2011)03-0217-07

中国农业生态经济可持续发展分析^①

孙 凡, 杨 松, 赵靖明,
张 瑜, 张 磊, 张富华, 马生丽

西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 资源环境学院, 重庆 400715

摘要: 运用能值分析的理论和方法, 定量分析了 25 年来中国农业生态经济系统的系统生产力、环境负荷力、系统生产优势度和可持续发展状况。研究表明了中国农业生态经济系统生产力较低, 辅助能与环境能耦合度下降, 环境消耗较大且稳定性差。研究还表明了中国农业正处于生计农业向市场农业转型, 传统农业向石油农业转型, 混合农业向现代农业转型的过程中。

关键词: 能值; 可持续发展; 中国; 农业生态经济系统

中图分类号: F303.4

文献标志码: A

能值分析理论及其方法是由美国生态学家 Odum H T 在多年生态能量学研究成果的基础上于 20 世纪 80 年代创立的。他将能值定义为一流动或贮存的能量所包含的一种类别能量的数量, 称为该能量的能值。该理论基于“任何形式的能量都来源于太阳”这一前提, 所以在能值分析中, 一般都将商品、资源、劳务等能源用太阳能焦耳进行分析, 即以能值为基准, 把不同种类、不可比较的能量转换为同一标准来进行比较^[1-4]。能值则成为了生态系统中能流和物质流的连结, 同时它也在生态和经济 2 个系统之间架起了一座桥梁。鉴于上述优点, 该理论自创立以来被广泛用于国家或地区的资源和经济发展中^[5-9]。目前, 能值分析在农业生态系统中的研究也较为活跃^[10-16], 但是大多数研究都采用生态经济系统的通用指标, 而农业生态经济系统的一些特有指标却很少涉及。本文在传统的农业生态经济系统分析的基础上, 新构建了一些符合农业生态经济系统的特有指标, 如系统生产力、环境负荷力、系统生产优势度、可持续发展指数等, 对中国农业生态经济系统 25 年来的可持续发展进行了定量分析。

1 研究方法

1.1 研究系统的边界和内容

农业生产从本质上讲, 是人们为了经济目的, 干涉、改造和利用生态系统的过程, 因此农业生态系统兼有自然生态系统和社会经济系统的特点, 实质上就是农业生态经济系统。该系统包括种植业、畜牧业、林业和渔业子系统, 这 4 个子系统相互联系、相互交错、协同发展, 紧密地结合成一个有机的整体^[4]。

1.2 数据收集及编制能值分析表

研究数据主要来源于《中国统计年鉴》和《中国农业发展报告》。根据各项资料数据, 利用各种资源环境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。各种农业生产资料、要素及农产品的能量折算系数参考文献^[17-19], 太阳能值转换率参考文献^[4]。

1.3 农业生态经济系统指标建立与可持续发展分析

在前人研究的基础上, 构建了反映农业生态经济系统的典型指标, 主要有: 系统生产力、科技促进力、

① 收稿日期: 2010-01-26

基金项目: 国家 863 计划课题资助项目(20060110Z4047); 国家科技支撑计划课题资助项目(2008BAD98B01)。

作者简介: 孙 凡(1956-), 男, 重庆沙坪坝人, 博士, 教授, 主要从事生态学、水土保持及可持续发展的研究。

系统稳定性、环境污染度、环境消耗度、环境负荷力、系统生产优势度、农业现代化和可持续发展指数等(见表 1)。通过上述量化指标对中国农业生态经济系统进行可持续发展分析。

表 1 中国农业生态经济系统可持续发展指标

指 标		表 达 式	1983 年	2007 年
生产力	系统生产力	E_Y/E_A	0.72	0.94
	科技促进力	$E_{YR} = E_Y/E_F$	1.21	1.02
稳定性	投入稳定性	$-\sum E_i \ln E_i$	1.22	0.84
	产出稳定性	$-\sum E_{Yi} \ln E_{Yi}$	1.02	1.00
	系统稳定性	$-(\sum E_i \ln E_i + \sum E_{Yi} \ln E_{Yi})/2$	1.12	0.92
环境影响指数	环境污染度	E_P/E_I	3.62	8.78
	环境消耗度	E_N/E_I	0.81	0.79
	环境负荷力	$E_{LR} = (E_N + E_F)/(E_R + E_T)$	2.60	7.83
综合指数	农业现代化指数	E_M/E_F	0.28	1.48
	系统生产优势度	$(-\sum E_{Yi} \ln E_{Yi})/\ln 4$	0.74	0.72
	可持续发展指数	$E_{SI} = E_{YR}/E_{LR}$	0.46	0.13

2 中国农业生态经济系统能值分析

2.1 中国农业生态经济系统能值投入演化分析

研究表明,1983 年到 2007 年,中国农业生态经济系统总能值投入从 1.75×10^{24} sej 增加到 4.25×10^{24} sej, 年均增长率为 3.61%。表 2 至表 4 列出了 1983 年和 2007 年的数据, 逐年的变化情况见图 1。其中可更新的环境资源能值增长较慢, 仅增长了 7.28×10^{22} sej。总辅助能投入增加了 242.74×10^{22} sej, 总能值投入中可更新有机能增长为负增长, 污染性辅助能增长了 307.88%, 现代化标志能增长最快, 增长了 661.33%。由图 1 可以看出环境总能值的投入在最近几年开始呈下降趋势, 主要是由于耕地的减少, 使环境能值投入下降。

表 2 中国农业生态经济系统能值投入分析

项 目	能值转换率 /sej/J	1983 年		2007 年	
		原始数据 /J	太阳能值 / 10^{22} sej	原始数据 /J	太阳能值 / 10^{22} sej
可更新环境资源(R)					
1 太阳光	1	2.59×10^{22}	2.59	3.61×10^{22}	3.61
2 雨水化学能	18 199	1.39×10^{18}	2.53	2.00×10^{18}	3.64
小计			5.12		7.25
不可更新环境资源(N)					
3 表土层损失	6.25×10^4	3.48×10^{18}	21.75	4.31×10^{18}	26.90
可更新有机能(T)					
4 人力	3.80×10^5	10.32×10^{17}	39.22	8.99×10^{17}	35.70
5 畜力	1.46×10^5	1.57×10^{17}	0.23	1.74×10^{16}	0.25
6 有机肥	2.70×10^4	2.44×10^{18}	0.66	2.86×10^{17}	0.72
7 种子	2.00×10^5	1.71×10^{17}	3.43	6.43×10^{17}	4.24
小计			43.54		40.91
工业辅助能(F)					
8 氮肥	4.62×10^9	10.20×10^{13}	47.15	5.52×10^{17}	93.30
9 磷肥	1.78×10^{10}	3.51×10^{12}	6.25	7.73×10^{12}	13.80
10 钾肥	2.69×10^9	5.14×10^{11}	13.83	4.80×10^{17}	126.00
11 复合肥	2.80×10^9	8.57×10^{11}	0.24	1.50×10^{13}	4.20
13 农药	1.62×10^9	1.84×10^{11}	29.94	3.18×10^{17}	62.60
14 农膜	3.80×10^8	5.26×10^{11}	0.02	1.92×10^{12}	0.07
15 电力	1.59×10^5	1.54×10^{17}	2.46	1.99×10^{18}	31.84
16 农用机械	7.50×10^7	3.82×10^{15}	2.87	1.63×10^{13}	10.90
17 柴油	6.60×10^4	3.48×10^{17}	2.30	1.17×10^{18}	7.72
小计			105.06		350.43

注:不可更新工业辅助能中,污染性辅助能(P)和现代化标志能(M)分别为第8~14项和第15~17项。

表3 中国农业生态经济系统主要能值产出分析

项 目	能值转换率 /sej/J	1983年		2007年	
		原始数据 /J	能值数据 /10 ²² sej	原始数据 /J	能值数据 /10 ²² sej
种植业					
稻谷	8.30×10^4	1.62×10^{18}	13.52	2.88×10^{18}	14.92
小麦	6.80×10^4	1.70×10^{18}	11.58	1.72×10^{18}	15.90
玉米	8.30×10^4	0.82×10^{18}	6.81	2.51×10^{18}	15.1
豆类	6.90×10^5	2.24×10^{17}	1.55	3.56×10^{17}	2.72
薯类	8.30×10^4	0.53×10^{17}	4.43	1.60×10^{17}	4.24
油料	8.60×10^4	2.55×10^{17}	2.20	11.27×10^{17}	5.48
麻类	8.30×10^4	0.96×10^{16}	0.08	1.19×10^{16}	0.99
糖类	8.40×10^4	0.57×10^{17}	0.48	5.08×10^{18}	1.32
棉花	1.90×10^6	0.35×10^{16}	6.67	1.28×10^{16}	11.30
水果	5.30×10^4	3.21×10^{16}	0.17	6.08×10^{17}	3.22
其它			0.61		2.31
小计			48.10		77.50
林业					
木材	4.10×10^4	4.90×10^{17}	2.01	7.01×10^{17}	2.24
其它			5.24		14.50
小计			7.25		16.74
畜牧业					
肉类	1.71×10^6	3.52×10^{17}	60.14	1.74×10^{18}	200.68
奶类	1.71×10^6	7.15×10^{15}	1.22	1.06×10^{17} J	18.00
禽蛋	1.71×10^6	2.76×10^{16}	4.72	1.84×10^{17} J	36.80
其它			0.28		0.32
小计			66.36		255.80
渔业					
海水产品	1.71×10^6	2.14×10^{16}	3.67	1.38×10^{17} J	27.60
淡水产品	1.71×10^6	1.09×10^{16}	1.86	1.20×10^{17} J	24.00
小计			5.53		51.60

表4 中国农业生态经济系统能值流

项 目	表达式	能值/10 ²² sej	
		1983年	2007年
可更新环境能值	E_R	5.12	7.25
不可更新环境能值	E_N	21.75	26.90
环境总能值	$E_1 = E_R + E_N$	26.87	34.15
可更新有机能值	E_T	43.58	40.91
污染性辅助能值	E_P	97.43	299.97
现代化标志能值	E_M	7.63	50.46
工业辅助能值	$E_F = E_P + E_M$	105.06	350.43
总辅助能值	$E_U = E_T + E_F$	148.60	391.34
总能值投入	$E_A = E_1 + E_U$	175.47	425.49
种植产出	E_{Y1}	48.10	77.50
林业产出	E_{Y2}	7.25	16.74
畜牧产出	E_{Y3}	66.36	255.80
渔业产出	E_{Y4}	5.53	51.60

总产出

$$E_Y = E_{Y1} + E_{Y2} + E_{Y3} + E_{Y4}$$

127.24

401.64

长期以来,可更新有机能在中国农业生态经济系统中起着重要的作用,主要包括有机肥、人力、畜力、种子等.最近几年,由于从事农业生产的劳动力和畜力逐年减少,其占可更新能值投入的比率有所下降,但是其比率始终保持在89%左右,在中国农业可持续发展中仍然起着重要作用.25年来,中国农业生态经济系统中化石能源、化肥、农药的投入显著增加,远远超过了可更新能值,对环境形成了巨大的压力.研究表明,中国农业生态经济系统能值投入中,环境贡献率由15.35%下降至8.35%,反映出中国农业在辅助能投入和环境能的耦合上存在问题.

2.2 中国农业生态经济系统能值产出演化分析

由表3可知:中国农业生态经济系统能值产出由1983年的 1.27×10^{24} sej 增长到2007年的 4.01×10^{24} sej,年均增长率为4.71%,其中种植业、林业、畜牧业和渔业的年均增长率分别为1.92%,3.40%,5.54%,9.34%,畜牧业和渔业的增长速度较大.根据能值分析,中国畜牧业和渔业的发展有良好的势头,所占的份额由最初的56.49%上升到76.53%.究其原因,主要是人民生活水平的提高,对肉类消费的需求引导了畜牧业和渔业的发展.应进一步引导畜牧业和渔业的发展来满足人民生活的需要.

中国林业的能值产出较低,2007年仅占总产值的4.16%.一方面是由于中国农业结构调整过程中对林业的重视不够;另一方面是林业生产片面强调木材的生产,忽略了林业副产品的生产.需加大对林业结构的调整,促使林业的多元化产出.根据能值分析,中国种植业的发展也较缓慢,尽管中央一再加大对农业的投入,但是农业增产不增收的顽疾阻碍了农民生产的积极性.为了稳定种植业的持续发展,应积极培育高产优质的品种,加大农业的投入,提高农民生产的积极性.

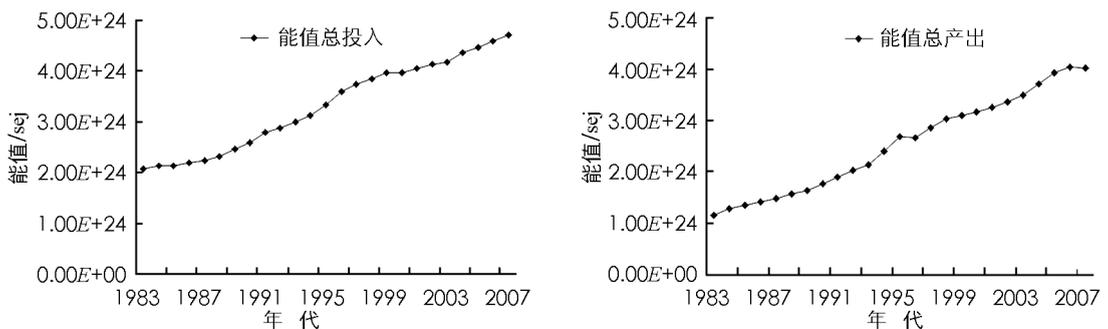


图1 中国农业生态经济系统能值投入产出演化

3 中国农业生态经济可持续发展定量分析

3.1 生产力分析

系统生产力是衡量系统产出对经济贡献大小的指标,类似于经济分析中的“产投比”,是衡量系统生产效率的标准.系统生产力越高则系统生产效率越高.科技促进力衡量了辅助能对农业生态经济系统的影响度,反映了辅助能与环境能的耦合程度.科技促进力越高则辅助能和环境耦合度越大.根据研究(如图2所示),1983年以来,中国农业生态经济系统的系统生产力和科技促进力大致经历了3个阶段.第1阶段为1983—1990年的小范围波动,主要是由于传统农业的不稳定性;第2阶段为1991—1995年的平稳增长,由于中国农业借鉴西方石油农业生产方式,加大石化能源和化肥的投入,在一定程度上促进了生产力的发展;第3阶段为1995年以后的波动下降,这也是目前我国农业的现状,主要原因是石油农业不是现代农业的根本途径,它的负面影响(比如环境污染)开始显现,在土地对石化能承载到达极限后开始抵制辅助能的投入,严重制约了辅助能与环境能的耦合,从而制约系统生产力的提高.

3.2 稳定性分析

稳定性指数的计算公式中 E_i 表示第 i 个子系统能值投入占整个能值投入的比例, E_{Vi} 表示第 i 个子系统能值产出的比例.系统稳定性指数主要由投入稳定性、产出稳定性和系统稳定性构成.其稳定性指数越

高,说明农业生态系统的物流、能流连接网络越发达,系统的自控、调节、反馈作用越强.研究表明(如图 3 所示)中国农业生态经济系统中投入稳定性、产出稳定性和系统稳定性都呈下降趋势,其中投入稳定性的下降幅度最大,由 1.20 下降至 0.84.这主要是由于最近二十几年以来,中国农业生态经济系统工业辅助能投入的幅度加大,导致环境能值投入比例降低,农业投入结构的不合理制约了投入稳定性.生产稳定性在前 10 年呈上升趋势,后 10 年呈下降趋势,这反映了中国农业产业结构的调整在最初的成效,也反映了目前产业结构调整措施不合理.投入和产出的不稳定性的综合作用导致系统稳定性持续降低,这表明中国农业生态经济系统正在进行逆向演化.

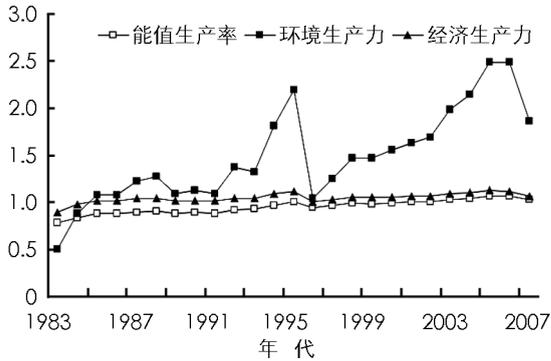


图 2 中国农业生态经济系统生产力演化

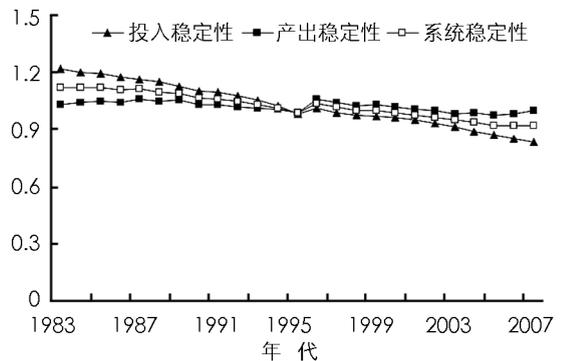


图 3 中国农业生态经济系统稳定性演化

3.3 环境影响分析

环境污染度是为衡量农用化肥施用的面源污染而设立的典型指标,其值越高则环境污染越严重;环境消耗度^[13]是衡量耕地质量的指标,其值越高则表明耕地质量越低;环境负荷力主要用于反映辅助能投入对环境的影响,其值越大则表明环境压力越大.1983 年以来环境污染度由 3.62 增长到 8.78,表明中国农业生产对环境的污染在进一步加大,农业的面源污染将是我国农业发展的下一个制约因素;环境消耗度 25 年来没有多大变化,基本保持在 0.80 左右,说明中国耕地质量在持续下降,耕地质量下降将进一步加大化肥的投入,使中国农业进入恶性循环中;环境负荷力也在持续增大(如图 4 所示),从 2.60 增至 7.83,特别是最近十几年,其压力增长速度最大增幅达 2.93.尽管环境负荷力与发达国家相比还较低(1990 年日本:14.49,1989 年意大利:10.43)^[4],但是环境压力的加大将严重制约未来中国农业的发展.

3.4 综合指数分析

农业现代化指数主要反映农业机械化程度,其值越高则农业机械化程度越高;系统生产优势度反映生产结构总体的单元均衡性,其值越大则农业生态经济系统越具有竞争优势,可以用于不同系统的横向比较;可持续发展指数主要依赖于用现在的发展现状来衡量未来农业持续发展的可能性,根据 Ulgiati S 和 Brown M T 的研究, $E_{SI} < 1$ 则不可持续发展, $1 < E_{SI} < 10$ 时可持续发展^[20].研究表明(如图 5 所示),1983 年以来,中国农业生态经济系统的现代化指数增长了 1.20,表明中国农业的机械化程度有进一步提高;系统生产优势度基本保持在 0.73 左右,没有太大变化;可持续发展指数由 0.46 降至 0.13,在低于发达国家的环境压力下,中国农业可持续发展指数却较低,主要由于中国农业生态经济系统的生产力较低.可持续发展指数的逐年下降,也成了中国农业生态经济系统正在进行逆向演化的另一标志,表明中国农业形势较为严峻.

4 结论及建议

从上述各项指标分析来看,中国农业 25 年以来的可持续发展演化具有以下特征:1)系统生产力低,辅助能与环境能耦合度下降;2)农业污染严重,环境消耗较大;3)系统边界趋于内缩,稳定性差;4)现代化指数提高,系统生产优势度处于中等水平;5)环境压力增大,可持续发展程度较低.以上特征表明,经过多年的现代化农业的曲折探索,中国农业生态经济系统主要表现为落后的传统农业与污染的石油农业的混合,目前处于混合农业向现代农业转型的过渡期,整个经济系统正朝着低稳定性、低可持续发展的方向演化.

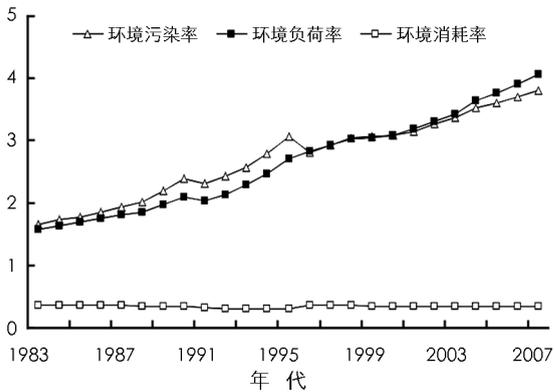


图4 中国农业生态经济系统环境负荷力演化

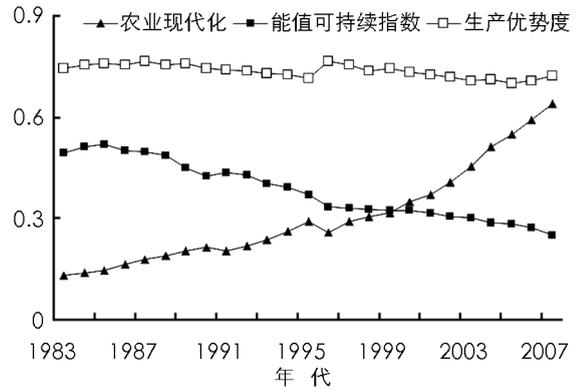


图5 中国农业生态经济系统综合指数演化

农业是我国经济发展和社会稳定的基础。中国农业发展的局势,不仅关系到中国农业的稳定发展,还影响着中国现代化的发展进程。要努力提高中国农业的环境效益和经济效益,防止其农业生态经济系统的退化。①应减少石化能的投入,增加环境能和有机能的投入,提高能值投入的耦合度,降低农业生产成本;②提高农民整体素质,加大农村人口资源向人力资源的转变,从而增加农业可更新资源的投入;③加大农业基础设施的改建,促使农业环境资源的用养结合;④减小石油农业成分,发展低耗、高效的生态农业,减少农业的环境污染,提高可持续发展程度;⑤进一步调整农业产业结构,实现林业的多元化生产,提高系统的稳定性,增加系统的生产优势度。

参考文献:

- [1] ODUM H T. *Emergy in Ecosystem* [C]//*Ecosystem Theory and Application*. New York: N Polunim Wiley, 1986: 337-369.
- [2] ODUM H T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making* [M]. New York: John Wiley and Sons, 1995: 88-156.
- [3] ULGIATI S, ODUM H T, BASTIANONI S. *Emergy Analysis of Italian Agricultural System. The Role of Energy Quality and Environmental Input* [C]//*Trends in Ecological Physical Chemistry*. Amsterdam: Elsevier, 1993: 187-215.
- [4] 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.
- [5] 蓝盛芳, 钦佩. *生态系统的能值分析* [J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 129-131.
- [6] 李金平, 陈飞鹏, 王志石. *城市环境经济能值综合和持续性分析* [J]. *生态学报*, 2006, 26(2): 439-447.
- [7] 陆宏芳, 陈烈, 林永标, 等. *顺德产业生态系统能值动态分析* [J]. *生态学报*, 2005, 25(9): 2188-2195.
- [8] 李海涛, 廖迎春, 严茂超, 等. *新疆生态经济系统的能值分析及其可持续性评估* [J]. *地理学报*, 2003, 58(5): 765-772.
- [9] 王明全, 王金达, 刘景双. *不同资源环境梯度下吉林西部生态经济系统能值分析* [J]. *自然资源学报*, 2007, 22(4): 508-515.
- [10] 杨松, 孙凡, 刘伯云, 等. *重庆市农业生态经济系统能值分析* [J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2007, 29(8): 49-54.
- [11] 谢雨萍, 魏美才, 周永博, 等. *广西恭城月柿生态农业旅游能值分析* [J]. *生态学报*, 2007, 27(3): 1056-1063.
- [12] 王明全, 王金达, 刘景双. *东北地区农业生态系统的能值分析* [J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(6): 183-188.
- [13] 王建源, 薛德强, 田晓萍, 等. *山东省农业生态系统能值分析* [J]. *生态学杂志*, 2007, 26(5): 718-722.
- [14] LAN S F, ODUM H T, LIU X M. *Energy Flow and Emergy Analysis of the Agroecosystems of China* [J]. *Ecologic Science*, 1998, 17(1): 32-39.
- [15] 陆宏芳, 蓝盛芳, 陈飞鹏, 等. *农业生态系统能量分析* [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 159-162.
- [16] 董孝斌, 高旺盛, 严茂超. *黄土高原典型流域农业生态系统生产力的能值分析——以安塞县纸坊沟流域为例* [J]. *地理*

学报, 2004, 59(2): 223—229.

- [17] 骆世明. 农业生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [18] 闻大中. 农业生态系统能流的研究方法(一) [J]. 农村生态环境, 1985(4): 47—52.
- [19] 闻大中. 农业生态系统能流的研究方法(二) [J]. 农村生态环境, 1986(1): 52—56.
- [20] ULGIATI S, BROWN M T. Monitoring Patterns of Sustainability in Natural and Man-Made Ecosystems [J]. *Ecological Modeling*, 1998, 108: 23—36.
- [21] 孙 凡, 李天云, 黄 轲, 等. 重庆市生态安全评价与监测预警研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2005, 27(6): 757—762.

Sustainable Development Analysis for Agricultural Ecological Economics of China

SUN Fan, YANG Song, ZHAO Jing-ming, ZHANG Yu,
ZHANG Lei, ZHANG Fu-hua, MA Sheng-li

*School of Resources and Environment, Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region
(Ministry of Education), Southwest University, Chongqing 400715, China*

Abstract: A quantitative analysis on productivity and production advantage degree, carrying capacity of environment, and the state of sustainable development of Chinese agricultural eco-economy system over 25 years is carried out by using the energy analysis theory. The research indicates that the productivity of Chinese agricultural eco-economy system is quite low; the coupling factor of auxiliary energy and environment energy is on a downtrend; the consumption of environmental is also increasing; and systematic stability is poor. The research points out that the Chinese agriculture is now changing from the subsistence, traditional and mixed agriculture to market, petroleum and modern agriculture.

Key words: energy; sustainable development; China; agricultural eco-economic system

责任编辑 廖 坤