

基于能值分析的延安市农业生态系统动态评估

张 芳,周忠学

(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 运用能值分析理论和方法,选取1998~2008年的农业原始数据,对延安市农业生态系统的投入产出结构和能值指标进行了分析。结果表明:(1)延安农业生态系统能值投入以可更新和不可更新能值为主;期间能值投入整体呈上升趋势,特别是工业辅助能的增加最为显著;能值产出结构以种植业和畜牧业为主,林业和渔业所占比重较低。(2)可更新能值比较高,环境负载率较低,但呈上升趋势,表明区域环境压力增大。(3)能值投入率、人均能值利用量和人均工业辅助能都在上升,而净能值产出率和能值货币比值则在减少,整体经济发展水平较低,但随着西部大开发战略的实施以及经济技术的进步,经济发展速度较快。(4)农业生产优势度指数较低,产业优势不明显;系统稳定度指数较高,自稳定性强;农业可持续发展能值指数大幅度降低,可持续发展能力增强;表明延安市农业生态系统的发展变化趋势是高效、稳定和可持续的。

关键词: 能值分析;农业生态系统;动态评估;延安市

中图分类号: S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0251-07

农业生态系统是一个社会—经济—自然复合系统,它不仅受到自然规律的支配,还受社会经济规律的调节。对农业生态系统的研究始于20世纪20年代,早期的研究主要偏重作物与气候、作物与土壤等关系的研究,而对农业生态系统特征、结构和功能等方面的研究甚少^[1,2]。20世纪60~70年代,随着气候变化、生态失调和环境破坏,为了解决农业可持续发展问题,提高有限资源利用率和生活质量,研究者开始运用生态系统物质循环、能量流动和系统分析等理论,将农业资源、环境和社会作为整体加以研究。如Vittorio Tellarini、刘鸿儒、刘翼浩、叶旭君等的农业生态系统投入产出模式研究^[3~6];蓝盛芳等把能值分析方法拓展到农业生态系统进行研究^[7];尹飞、章家恩等通过对农业生态系统服务功能和价值的估算,对资源开发利用方式和生态环境建设进行间接评价^[8,9];此外,许多学者对农业生态系统可持续评价进行过大量研究,构建的代表性评价指标体系有“压力—状态—响应”指标体系和可持续农业环境资源子系统评价指标体系等^[10,11]。

延安市生态环境脆弱、水土流失严重,资源环境问题成为该区农业稳定快速发展的瓶颈^[12]。随着延安农业结构调整、农业产业化以及国家退耕还林(草)政策的实施,本区农业经济系统及农业生态环境状况正进入转型时期。结合这一背景,本文运用能值分析方法试图对延安市农业生态系统近10年

来的投入产出结构、物质循环及其能量流动效率等进行动态综合分析,以企揭示本区农业生态系统状态演变及存在问题,为本区农业生态系统的优化调整和可持续发展提供借鉴。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

延安市地处陕北黄土高原丘陵沟壑区,属暖温带半干旱大陆性季风气候区,年平均气温为11.2℃,年均降水量为537 mm,年日照总时数为2 535.3 h,日较差大,年均无霜期为197 d。土地总面积3.7×10⁶ hm²,下辖1区12县,总人口214.49万人,其中农业人口153.56万人,占总人口的72%^[13]。

本区现有耕地面积4.7×10⁵ hm²,农作物播种面积2.7×10⁵ hm²,其中粮食播种面积2.6×10⁵ hm²。2008年全市农林牧渔业总产值达到90.86亿元,占全市生产总值的12.7%,农民人均纯收入3 551元^[13]。近年来,延安市抓住国家退耕还林的大好机遇,积极调整产业结构,在传统粮食种植的基础上,形成了以林果、草畜和棚栽为主的特色农业结构。但生态环境脆弱、自然灾害频繁以及水土流失严重,成为本区农业生态系统优化调整的重要制约因素。

1.2 研究方法

能值分析是美国著名生态学家、系统能量分析

收稿日期:2009-07-17

基金项目:国家自然科学基金项目(40771019)

作者简介:张 芳(1983—),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为区域经济与城乡发展。

先驱 Odum H T 在生态经济理论上于 20 世纪 80 年代创立的系统分析方法和理论。该理论从生态角度出发,将生态经济系统内流动和储藏的各种不同类别的物质和能量转换为同一标准的能值——太阳能值(Solar emergy joules),以此来定量分析自然—生态—经济复合系统的结构和功能,有助于调整生态环境与经济、社会发展的关系,对自然资源的科学评估和合理利用、经济发展方针的制定具有指导意义^[7]。本文以延安市为样区,把农业生态系统中不同种类、不可比较的物质能量转换成太阳能值,定量分析农业生态系统的投入产出结构,同时选取具有代表性的能值分析指标,从不同的角度分析其经济发展现状和可持续发展潜力。

本文研究数据主要来源于《陕西省统计年

鉴》^[13](1998~2008 年),对农产品能量折算主要依据《农业经济技术手册(修订版)》^[14],太阳能值转化率主要依据蓝盛芳编著的《生态经济系统能值分析》^[7],并结合延安市实际情况进行了修正。

1.3 能值分析指标体系构建及赋值

能值分析指标体系是测度资源环境价值和人类社会经济发展以及环境与经济、人与自然关系的依据,也是进行系统分析、社会经济发展决策的重要参考^[7]。延安市农业生态系统能值分析指标体系的构建主要从自然生态、社会、经济的角度出发,将农业生态经济系统状况分为农业基础水平、农业经济发展水平和农业可持续发展水平三个方面,具体指标及计算方法如下(表 1)。

表 1 延安市农业生态系统能值分析指标体系

Table 1 Emergy analysis indicators of the agri-ecological system in Yan'an city

指标名称 Index	表达式 Expression	数值 Quantity				
		1998	2000	2002	2005	2008
基本能值量 Based emergy						
可更新资源能值(sej) Renewable resources emergy	R	2.09×10^{21}	2.23×10^{21}	2.29×10^{21}	2.15×10^{21}	2.24×10^{21}
不可更新资源能值(sej) Nonrenewable resources emergy	N	1.33×10^{21}	1.33×10^{21}	1.33×10^{21}	1.33×10^{21}	1.33×10^{21}
工业辅助能(sej) Nonrenewable purchased emergy	F	4.88×10^{20}	5.07×10^{20}	5.61×10^{20}	7.78×10^{20}	9.66×10^{20}
可更新有机能(sej) Renewable organic emergy	T	1.11×10^{20}	1.10×10^{20}	1.07×10^{20}	1.11×10^{20}	1.08×10^{20}
投入能值总计(sej) Total of input emergy	$U = R + N + F + T$	4.02×10^{21}	4.17×10^{21}	4.29×10^{21}	4.37×10^{21}	4.65×10^{21}
产出能值总计(sej) Total of output emergy	Y	5.43×10^{21}	5.19×10^{21}	5.19×10^{21}	5.48×10^{21}	3.75×10^{21}
农业基础水平 Basic level						
可更新能值比 Renewable emergy ratio	R/U	0.676	0.682	0.682	0.663	0.659
环境负载率 Emergy loading ratio	$ELR = (N + F)/(R + T)$	0.440	0.429	0.430	0.470	0.483
农业经济发展水平 Economy level						
能值投入率 Emergy investment ratio	$(F + T)/(R + N)$	0.112	0.112	0.119	0.156	0.180
净能值产出率 Emergy output ratio	$EYR = Y/(F + T)$	9.065	8.412	7.769	6.164	3.491
能值货币比值(sej/ \$) Emergy currency ratio	U/GDP	1.74×10^{13}	1.49×10^{13}	1.39×10^{13}	1.04×10^{13}	5.28×10^{12}
人均能值利用量(sej/人) Emergy per person	U/P	3.87×10^{15}	3.40×10^{15}	4.04×10^{15}	4.23×10^{15}	4.52×10^{15}
人均工业辅助能(sej/人) Purchased emergy per person	F/P	3.18×10^{14}	3.29×10^{14}	3.60×10^{14}	5.00×10^{14}	6.19×10^{14}
农业可持续发展水平 Sustainability level						
农业生产优势度指数 System superiority degree index	$C = \sum (Y_i/Y)^2$	0.329	0.376	0.342	0.367	0.337
农业系统稳定度指数 System stability degree index	$S = - \sum [(Y_i/Y) \times \ln(Y_i/Y)]$	1.132	1.063	1.121	1.086	1.143
可持续发展能值指数 Emergy sustainability index	EYR/ELR	20.61	19.62	18.06	13.11	7.228

2 结果与分析

2.1 延安市农业生态系统投入产出结构分析

能值投入产出结构分析有助于从整体上评价特定区域农业生态系统的开放和发展程度^[15]。从延安市农业生态系统的投入情况看(表 2),1998~2008 年系统总投入能值呈上升趋势,但可更新资源能值、

不可更新资源能值和有机能投入变化很小,只有工业辅助能投入变化较大,从 1998 年的 4.88×10^{20} sej 增加到 2008 年的 9.66×10^{20} sej,增加了 98%,表明延安市农业生产过程对环境依赖程度较高,同时随着经济的发展,消耗的工业辅助能越来越多。在投入能值结构中以可更新资源能值和不可更新资源能值为主,分别占投入总能值的 50% 和 30%,而工业

辅助能和有机能投入仅占总投入能值的 20%。从产出情况看(表 3),总产出能值中种植业约占 33%,畜牧业占 41%,而林业和渔业分别占 24%和 2%,比重偏低;期间总产出能值稍有下降,特别是种植业和畜牧业能值下降最明显。延安实施退耕还林(草)之后,农作物的播种面积大幅度减少,由 1998 年的

$3.65 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 降到 2008 年的 $2.7 \times 10^5 \text{ hm}^2$,坡地开垦和不合理的放牧都受到限制,虽然林业面积有较大增加,但林业的产出效益相对滞后;同时由于大量务工人员的外流,使部分耕地荒芜,致使能值产出总量下降。

表 2 1998~2008 年延安市农业生态系统能值投入情况
Table 2 Energy input of the agri-ecological system in Yan'an city from 1998~2008

项目 Items	能值转化率 Energy transformation (sej/J, sej/g)	原始数据 Original date(J, g)					太阳能值 Solar energy(sej)				
		1998	2000	2002	2005	2008	1998	2000	2002	2005	2008
可更新环境资源总计 Renewable environment energy		1.50×10^{21}	1.66×10^{21}	1.70×10^{21}	1.58×10^{21}	1.66×10^{21}	2.09×10^{21}	2.23×10^{21}	2.29×10^{21}	2.15×10^{21}	2.24×10^{21}
太阳能 Solar energy	1	1.50×10^{21}	1.66×10^{21}	1.70×10^{21}	1.58×10^{21}	1.66×10^{21}	1.50×10^{21}	1.66×10^{21}	1.70×10^{21}	1.58×10^{21}	1.66×10^{21}
风能 Wind energy	623	4.20×10^{17}	4.20×10^{17}	4.20×10^{17}	4.20×10^{17}	4.20×10^{17}	2.62×10^{20}	2.62×10^{20}	2.62×10^{20}	2.62×10^{20}	2.62×10^{20}
雨水势能 Rainfal potential energy	8888	1.99×10^{16}	1.86×10^{16}	1.97×10^{16}	1.90×10^{16}	1.95×10^{16}	1.77×10^{20}	1.65×10^{20}	1.75×10^{20}	1.69×10^{20}	1.73×10^{20}
雨水化学能 Rainfal chemical energy	15444	1.00×10^{16}	9.38×10^{15}	9.93×10^{15}	9.60×10^{15}	9.80×10^{15}	1.54×10^{20}	1.45×10^{20}	1.53×10^{20}	1.48×10^{20}	1.51×10^{20}
不可更新资源 Nonrenewable resources		2.13×10^{16}	2.13×10^{16}	2.13×10^{16}	2.13×10^{16}	2.13×10^{16}	1.33×10^{21}	1.33×10^{21}	1.33×10^{21}	1.33×10^{21}	1.33×10^{21}
表土层损失 Top soil loss	62500										
工业辅助能总计 Subsidiary energy		3.65×10^{14}	4.57×10^{14}	5.40×10^{14}	1.56×10^{15}	1.89×10^{15}	4.88×10^{20}	5.07×10^{20}	5.61×10^{20}	7.78×10^{20}	9.66×10^{20}
电力 Electric power	1.59×10^5	3.63×10^{14}	4.55×10^{14}	5.37×10^{14}	1.56×10^{15}	1.88×10^{15}	5.77×10^{19}	7.23×10^{19}	8.54×10^{19}	2.48×10^{20}	2.99×10^{20}
化肥(g) Chemical fertility	4.62×10^9	5.99×10^{10}	6.06×10^{10}	6.27×10^{10}	6.59×10^{10}	6.40×10^{10}	2.77×10^{20}	2.80×10^{20}	2.90×10^{20}	3.04×10^{20}	2.96×10^{20}
农药(g) Pesticide	1.62×10^9	1.34×10^8	1.19×10^8	1.56×10^8	1.96×10^8	2.08×10^8	2.17×10^{17}	1.93×10^{17}	2.53×10^{17}	3.18×10^{17}	3.37×10^{17}
农用机械 Farm machinery	7.5×10^7	2.04×10^{12}	2.07×10^{12}	2.47×10^{12}	3.01×10^{12}	4.95×10^{12}	1.53×10^{20}	1.55×10^{20}	1.85×10^{20}	2.26×10^{20}	3.71×10^{20}
可更新有机能总计 Renewable organic energy		3.05×10^{14}	3.01×10^{14}	2.95×10^{14}	3.08×10^{14}	1.98×10^{14}	1.11×10^{20}	1.10×10^{20}	1.07×10^{20}	1.11×10^{20}	1.08×10^{20}
人力 Labor force	3.8×10^5	2.87×10^{14}	2.83×10^{14}	2.76×10^{14}	2.86×10^{14}	2.78×10^{14}	1.09×10^{20}	1.08×10^{20}	1.05×10^{20}	1.09×10^{20}	1.06×10^{20}
有机肥 Organic	2.7×10^6	2.91×10^{11}	2.75×10^{11}	2.53×10^{11}	2.11×10^{11}	1.78×10^{11}	7.86×10^{17}	7.43×10^{17}	6.83×10^{17}	5.70×10^{17}	4.81×10^{17}
畜力 Livestock force	1.46×10^5	1.08×10^{12}	1.27×10^{12}	1.11×10^{12}	1.06×10^{12}	1.04×10^{12}	1.58×10^{17}	1.85×10^{17}	1.62×10^{17}	1.55×10^{17}	1.52×10^{17}
种子 Seeds	66000	1.71×10^{13}	1.64×10^{13}	1.76×10^{13}	2.06×10^{13}	1.92×10^{13}	1.13×10^{18}	1.08×10^{18}	1.16×10^{18}	1.36×10^{18}	1.27×10^{18}
投入合计 Total of input		1.50×10^{21}	1.66×10^{21}	1.70×10^{21}	1.58×10^{21}	1.66×10^{21}	4.02×10^{21}	4.17×10^{21}	4.29×10^{21}	4.37×10^{21}	4.65×10^{21}

2.2 延安市农业生态系统能值指标分析

通过绘制 1998~2008 年各能值指标的趋势图,分析延安市农业生态系统的基础水平、经济发展水平和可持续发展水平的动态变化过程。

2.2.1 农业基础水平分析 可更新能值比是指可更新资源能值与总投入能值的比值,反映区域自然生态环境在农业生态系统中的重要程度^[7]。延安市农业系统的可更新能值比较高,但整体呈下降趋势,从 1998 年的 0.676 降至 2008 年 0.659(图 1),表明区域自然环境在农业系统中仍占主导地位,但随着经济和科学技术的发展,以农村用电量和农用机械使用量增加为主的工业辅助能的增加,使得系统外部能值的投入日益上升。

环境负载率用来衡量系统中能值利用强度和科技水平高低,警示系统所受的压力状况^[16]。延安市 1998~2008 年环境负载率由 0.440 上升到 0.483,远低于我国东部经济发达地区,如浙江(11.25)、江苏(23.16),等同于新疆(0.483)^[17],表明延安市农业系统的能值利用强度较弱,农业发展对环境的压力相对于发达地区来说还较小,农业生产还未达到高投入高产状态,同时随着西部大开发对环境资源开发利用的加强,环境所承受的压力越来越大(图 1)。

2.2.2 农业经济发展水平分析 能值投入率用以衡量经济发展程度和环境负载程度,此值越大表明系统经济发展程度越高,反之则经济发展水平越低且对环境的依赖程度越强。延安市农业系统的能值

投入率在 0.11 ~ 0.18 之间,低于同时期东部省份——江苏(0.31),远低于世界平均水平(2.0)^[16],表明延安市农业经济发展主要依赖本地资源,对外开放和利用区外各类资源的程度偏低。因此,在合理

开发利用本地资源的情况下,应加大对外开放力度和对区外资源的利用强度,促进延安市农业快速发展。

表 3 1998 ~ 2008 年延安市农业生态系统能值产出情况

Table 3 Emery output of the agri-ecological system in Yan'an city from 1998 ~ 2008

项目 Item	能值转化率 Emery transformation (sej/J, sej/g)	原始数据 Original date(J, g)					太阳能值 Solar emery(sej)				
		1998	2000	2002	2005	2008	1998	2000	2002	2005	2008
小麦 Wheat	6.8×10^4	3.01×10^{15}	2.21×10^{15}	1.34×10^{15}	6.77×10^{14}	3.36×10^{14}	2.05×10^{20}	1.50×10^{20}	9.11×10^{19}	4.61×10^{19}	2.29×10^{19}
稻谷 Cereal	3.59×10^4	1.10×10^{14}	1.44×10^{14}	2.60×10^{14}	1.57×10^{14}	8.47×10^{13}	3.96×10^{18}	5.16×10^{18}	9.35×10^{18}	5.62×10^{18}	3.04×10^{18}
玉米 Corn	8.51×10^4	3.66×10^{15}	4.76×10^{15}	3.61×10^{15}	6.05×10^{15}	4.31×10^{15}	3.11×10^{20}	4.05×10^{20}	3.08×10^{20}	5.15×10^{20}	3.67×10^{20}
高粱 Broomcorn	2.7×10^4	5.79×10^{13}	1.41×10^{14}	5.95×10^{13}	1.08×10^{14}	1.21×10^{14}	1.56×10^{18}	3.08×10^{18}	1.61×10^{18}	2.91×10^{18}	3.25×10^{18}
大豆 Beans	2.7×10^4	6.50×10^{14}	1.21×10^{15}	9.59×10^{14}	1.09×10^{15}	6.88×10^{14}	1.75×10^{19}	3.26×10^{19}	2.59×10^{19}	2.95×10^{19}	1.86×10^{19}
其他粮食 Others grains	4.0×10^4	2.77×10^{15}	4.09×10^{15}	3.95×10^{15}	5.09×10^{15}	3.55×10^{15}	1.11×10^{20}	1.64×10^{20}	1.58×10^{20}	2.04×10^{20}	1.42×10^{20}
棉花 Cotton	8.6×10^5	1.30×10^{13}	1.02×10^{13}	3.83×10^{12}	9.95×10^{12}	1.50×10^{13}	1.12×10^{19}	8.77×10^{18}	3.30×10^{18}	8.56×10^{18}	1.29×10^{19}
油料 Oilseeds	6.9×10^5	1.48×10^{15}	1.36×10^{15}	1.30×10^{15}	8.76×10^{14}	6.40×10^{14}	1.02×10^{21}	9.41×10^{20}	8.89×10^{20}	6.04×10^{20}	4.42×10^{20}
蔬菜 Vegetables	2.7×10^4	2.39×10^{14}	2.99×10^{14}	4.41×10^{14}	6.70×10^{14}	8.91×10^{14}	6.44×10^{18}	8.07×10^{18}	1.19×10^{19}	1.81×10^{19}	2.41×10^{19}
水果 Fruits	5.3×10^4	7.64×10^{14}	1.27×10^{15}	1.29×10^{15}	2.32×10^{15}	3.71×10^{15}	4.05×10^{19}	6.75×10^{19}	6.84×10^{19}	1.23×10^{20}	1.96×10^{20}
种植业合计 Planting industry		1.28×10^{16}	1.55×10^{16}	1.32×10^{16}	1.70×10^{16}	1.43×10^{16}	1.73×10^{21}	1.79×10^{21}	1.58×10^{21}	1.56×10^{21}	1.23×10^{21}
林产品 Wood	2.89×10^5	3.49×10^{13}	5.21×10^{13}	3.40×10^{13}	9.72×10^{13}	6.66×10^{13}	1.01×10^{19}	1.51×10^{19}	9.82×10^{18}	2.81×10^{19}	1.93×10^{19}
人工草场 Labour grassplot	2.4×10^4	2.20×10^{16}	8.90×10^{15}	2.00×10^{16}	1.70×10^{16}	4.40×10^{15}	5.28×10^{20}	2.14×10^{20}	4.80×10^{20}	4.08×10^{20}	1.06×10^{20}
自然草场 Nature grassplot	1.9×10^4	6.80×10^{16}	3.40×10^{16}	4.50×10^{16}	3.90×10^{16}	4.10×10^{16}	1.29×10^{21}	6.46×10^{20}	8.55×10^{20}	7.41×10^{20}	7.79×10^{20}
林业合计 Forestry		9.00×10^{16}	4.30×10^{16}	6.50×10^{16}	5.61×10^{16}	4.55×10^{16}	1.83×10^{21}	8.75×10^{20}	1.34×10^{21}	1.18×10^{21}	9.04×10^{20}
肉类 Meats	2.0×10^6	8.01×10^{14}	1.11×10^{15}	9.57×10^{14}	1.16×10^{15}	5.95×10^{14}	1.60×10^{21}	2.21×10^{21}	1.91×10^{21}	2.32×10^{21}	1.19×10^{21}
奶类 Milks	2.0×10^6	3.05×10^{12}	4.56×10^{12}	6.79×10^{12}	1.78×10^{13}	2.04×10^{13}	6.09×10^{18}	9.13×10^{18}	1.36×10^{19}	3.56×10^{19}	4.07×10^{19}
禽蛋 Eggs	2.0×10^6	8.66×10^{13}	1.08×10^{14}	1.21×10^{14}	1.36×10^{14}	1.44×10^{14}	1.73×10^{20}	2.16×10^{20}	2.42×10^{20}	2.71×10^{20}	2.87×10^{20}
毛制品 Leather	4.4×10^6	1.38×10^{13}	1.12×10^{13}	1.22×10^{13}	1.27×10^{13}	6.51×10^{12}	6.09×10^{19}	4.95×10^{19}	5.37×10^{19}	5.60×10^{19}	2.87×10^{19}
畜牧业合计 Animal industry		9.04×10^{14}	1.23×10^{15}	1.10×10^{15}	1.33×10^{15}	7.66×10^{14}	1.84×10^{21}	2.48×10^{21}	2.22×10^{21}	2.68×10^{21}	1.55×10^{21}
水产品 Fishing	2.0×10^6	1.88×10^{13}	2.40×10^{13}	2.58×10^{13}	2.94×10^{13}	3.16×10^{13}	3.75×10^{19}	4.80×10^{19}	5.17×10^{19}	5.88×10^{19}	6.33×10^{19}
产出合计 Total output		1.04×10^{17}	5.79×10^{16}	7.94×10^{16}	7.45×10^{16}	6.06×10^{16}	5.43×10^{21}	5.19×10^{21}	5.19×10^{21}	5.48×10^{21}	3.75×10^{21}

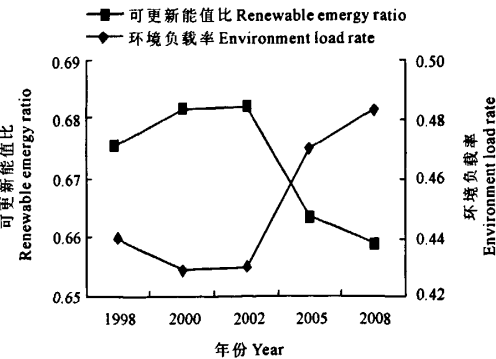


图 1 延安市 1998 ~ 2008 年可更新能值比和环境负载率变化趋势

Fig.1 Trend of renewable energy ratio and environment load rate in Yan'an city from 1998 ~ 2008

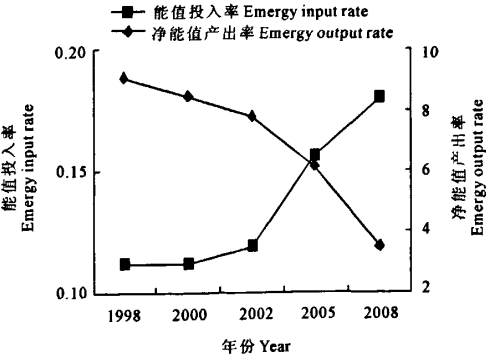


图 2 延安市 1998 ~ 2008 年能值投入率和净能值产出率变化趋势

Fig.2 Trend of emery input and output rate in Yan'an city from 1998 ~ 2008

净能值产出率是衡量系统产出对经济贡献大小的指标,它用以评价基本能值利用效率以及农业生产活动的竞争能力。净能值产出率越高,表明系统的生产效率越高^[16]。延安市农业系统的净能值产出率呈下降趋势,从1998年的9.065下降到2008年的3.491,主要由于在退耕还林(草)的背景下,延安市的主导产业、优势产业不明显,各产业内部结构不合理,系统整体功能不好,运转效率较差(图2)。

能值货币比是地区单位时间内(1年)的能值使用总量与当年的农业生产总值的比值^[16]。比值越高,代表获得每单位的货币收入需要使用的能值越多,表明地区的经济发展水平越低。1998~2008年延安市农业生产总值从3.43亿美元增长到13.36亿美元,使农业生态系统的能值货币比呈变小趋势,同时能值总量变化较小,只在2008年超出世界平均水平(0.41×10^{13} Sej/\$)^[17],表明延安市的经济发

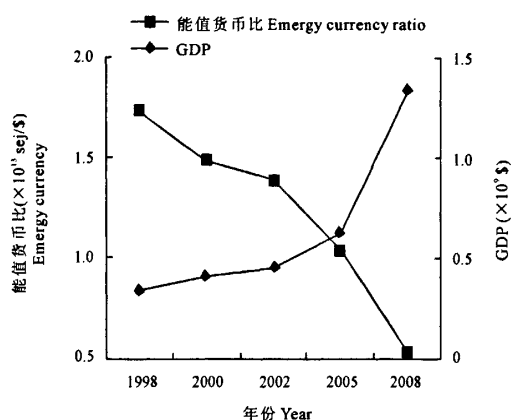


图3 延安市1998~2008年GDP和能值货币比变化趋势图

Fig.3 Trend of GDP and emery currency ratio in Yan'an from 1998~2008

2.2.3 农业可持续发展分析 农业生态系统的生产优势度指数反映结构总体中各个生产单元的均衡程度。指数越高表明农业生态系统以一个或者少数产业占主导地位,反之则说明系统结构趋于均衡、合理^[7]。延安市的农业系统生产优势度指数相对较低,约为0.35(图5),表明延安市农业系统中各产业之间相对比较均衡,使整个系统发挥了种植业和畜牧业的优势,同时较高的林业比重也更有利于生态环境保护。但均衡发展的同时也存在主导产业、特色产业不突出等问题,产业结构调整仍是重中之重。

农业系统稳定度指数表示系统稳定性的大小,指数越高,则说明农业生态系统的物质流、能量流的

展水平远低于世界先进水平,但在国家政策的大力扶持下正处于快速发展阶段。(图3)

人均能值利用量用来衡量农民生存水平和生活质量的高低;人均工业辅助能用以衡量农业机械化水平和农民生活电器普及率的高低,能客观反映农民的生活水平^[7]。尽管近十年延安市总人口增加了14.3%,但随着快速城镇化,农业人口增加缓慢。同时,在此期间投入能值增长较快,导致人均能值利用量和人均工业辅助能都在增长,表明延安市农民生活水平和农业机械化水平正在不断提高。但人均能值使用水平仍低于中国平均值(7×10^{15} Sej/人^[17]),表明农村经济发展还存在较多问题:农民生活质量较低,农村基础设施建设有待完善,农村富余劳动力没有得到较好安置,生态环境状况有待进一步改善等(图4)。

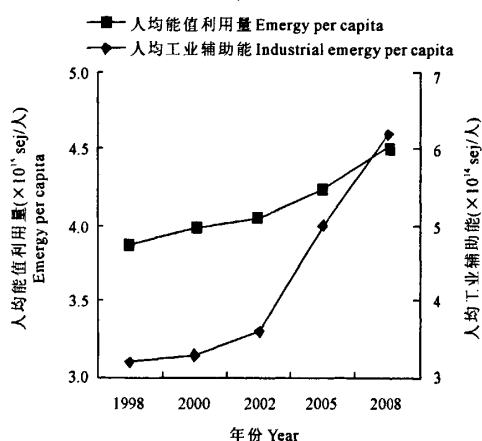


图4 1998~2008年延安市人均能值利用量和人均工业辅助能变化

Fig.4 Trend of emery and industrial emery per capita in Yan'an from 1998~2008

网络连接发达,系统自控、调节和反馈作用强,有更大的自稳定性^[7]。农业作为延安市的传统产业,其系统稳定性指数(1.143)相对较高且各年变化较小(图5),表明延安市农业生态系统自稳定性较高,系统内部各子系统连接网络丰富,系统自我调控能力较强。

农业可持续发展能值指数是净能值产出率与环境负载率的比值。如果一个区域的系统净能值产出率高而环境负载率相对较低,则它是可持续的,反之则不可持续,但并不是此值越大,可持续性越高。指数值大于10,表明区域经济不发达;在1~10之间,表明该经济系统富有活力和发展力;小于1则表明

区域经济较发达,为消费型经济系统^[16]。延安市农业可持续发展能值指数呈明显下降趋势,表明该系统的可持续发展能力逐渐增强(图 6)。然而其指数值大于 10(只有 2008 年小于 10),反映区域经济发展水平较低,农业综合生产能力不强,应着重调整农

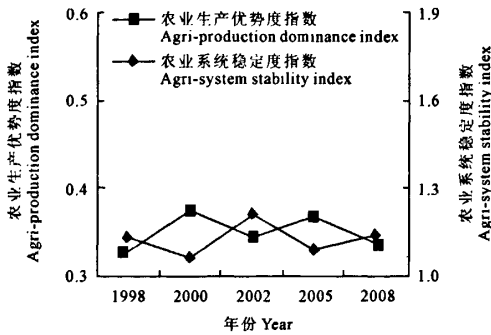


图 5 延安市 1998~2008 年农业生产优势度指数和农业系统稳定度指数变化趋势

Fig.5 Trend of dominance index and stability index in Yan'an city from 1998~2008

业结构,加大农业科技投入,促进经济快速发展;同时反映区域的环境质量正在下降,农业活动对环境的压力越来越大。因此,延安市在大力发展经济的同时,应该注意环境保护。

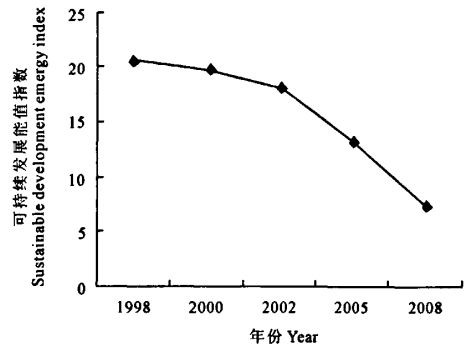


图 6 延安市 1998~2008 年可持续发展能值指数变化趋势

Fig.6 Trend of sustainable development energy index in Yan'an city from 1998~2008

3 结论与讨论

3.1 结论

通过对延安市农业生态系统的发展状态以及发展趋势的分析表明:

(1) 延安市农业生态系统的能值投入以可更新资源能值和不可更新资源能值为主,能值产出以种植业和畜牧业为主。退耕还林(草)政策导致农作物的播种面积大幅度下降和牲畜的舍饲养殖,使种植业和畜牧业的能值下降,进而系统整体能值产出下降。

(2) 区域自然环境资源在延安农业生态系统中居主导地位,可更新能值比高达 0.659。随着经济的发展,农业生产活动对自然环境资源的开发力度加强,环境负载率呈上升趋势,资源环境压力日趋增大。

(3) 延安市农业生态系统的整体经济发展水平较低,对自然资源环境的依赖程度较高,能值投入率仅占世界平均水平的 9%;农业生产活动的竞争力弱、生产效率偏低,期间净能值产出率下降了 61%,系统整体功能较差;尽管农业机械化水平、农民生活水平和生活质量提高较快,人均工业辅助能增长了 98%,但人均能值使用量仅占中国平均水平的 65%。

(4) 延安市农业系统的优势产业不明显,种植业、畜牧业和林业所占的比重较均衡,渔业比重较

低;系统的稳定性较强,稳定度指数高达 1.143;农业可持续发展能值指数较高,表明本区经济欠发达;2008 年农业可持续发展能值指数小于 10,表明可持续发展能力增强,但农业种植结构的合理调整、农业产业化以及环境保护仍是延安市实现可持续发展的关键所在。

3.2 讨论

采用能值分析法,便于对农业生态系统的功能、结构、效率等进行全面、量化分析,可以看出延安市农业生态系统稳定性高、对资源环境依赖程度强,但存在农业特色不明显、竞争力弱、产出效率低等问题。因此,今后应发挥区域资源优势,增强林果、草畜和棚栽等为主的区域特色产业及其产业化发展,增大农业技术投入,提高农业生产效率和竞争力,加强资源环境保护及可持续利用。本项研究在区域差异、农业生态系统类型差异等方面考虑较少,今后有待进一步深入和细化研究。

参考文献:

- [1] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [2] 段华平, 彭廷柏. 农业生态系统研究进展[J]. 作物研究, 2001, (3): 42-46.
- [3] Vittorio Tellarini. An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 77: 111-123.
- [4] 刘鸿儒, 王安任, 刘发奎, 等. 陕西农业投入与效益的数量关系

- [J]. 农业技术经济, 1998, (5): 46—49.
- [5] 刘翼浩. 能量投入产出研究在农业上的应用[J]. 农业技术经济, 1984, (4): 15—20.
- [6] 叶旭君. 农田生态系统能量投入产出模型及其应用研究[J]. 生物数学学报, 2002, 17(1): 104—109.
- [7] 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.
- [8] 尹 飞, 毛任钊, 傅伯杰, 等. 农田生态系统服务功能及其形成机制[J]. 应用生态学报, 2005, 17(5): 929—934.
- [9] 章家恩, 饶卫民. 农业生态系统的服务功能与可持续利用对策探讨[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4): 99—102.
- [10] 王 芬. 国外农业生态系统可持续发展的定量评价研究[J]. 世界农业, 2002, (11): 47—49.
- [11] 虎陈霞, 傅伯杰, 陈利顶. 可持续农业评价研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 11—14.
- [12] 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[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 223—225.
- [13] 陕西省统计局. 陕西省 1999—2009 年统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999—2009.
- [14] 华中农学院农业技术经济手册编写组. 农业技术经济手册(修订版)[M]. 武汉: 湖北人民出版社, 1975.
- [15] 黄文德, 牛俊义, 高玉红, 等. 退耕还草去农业生态系统能值动态分析[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 113.
- [16] 卓玛措, 冯 起, 司建华. 青海生态经济系统的能值分析与可持续发展对策[J]. 经济地理, 2008, 28(2): 308—312.
- [17] 董孝斌, 严茂超, 董 云, 等. 基于能值的内蒙古生态经济系统分析与可持续发展战略研究[J]. 地理科学进展, 2007, 26(3): 53—54.

Dynamic assessment of agri-ecological system based on emergy analysis in Yan'an City

ZHANG Fang, ZHOU Zhong-xue

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: The paper analyzed the input-output structure and emergy indexes of the agri-ecological system in Yan'an city by using the theory and method of emergy analysis. Such conclusions were reached: (1) The majority of emergy input is renewable emergy, and the overall emergy input shows ascendant trend; emergy output mainly includes crop cultivation and stock raising, but forestry and fish culture takes low percentage. (2) Renewable emergy ratio is high, but environment load rate is low, so the regional environment endures increasing pressure. (3) Emergy input rate and emergy utilizing rate are rising, on the contrary, emergy output rate and emergy currency ratio are reducing. Overall economic development level is low, but with the implementation of the western development and economic and technological progress, economic development speed is improving. (4) Dominance index of agricultural production is low, and system production advantage is not obvious; the system has high stability index, and the self-stability is strong; Agricultural sustainable development emergy index has greatly reduced, and sustainable development ability is enhanced.

Keywords: emergy analysis; agriculture ecological system; dynamic assessment; Yan'an city