

基于能值理论的盐城市农业生态系统动态分析

杨志平^{1,2}

(1. 盐城师范学院 城市与资源环境学院, 江苏 盐城 224051; 2. 江苏沿海开发研究院, 江苏 盐城 224051)

摘 要:农业生态系统是人类生存的最基本系统,对其结构和功能进行分析是解决农业生态环境问题的关键。应用能值分析理论与方法,对盐城市 1995—2010 年的农业生态系统能值结构进行了动态分析,采用净能值产出率、能值投入率、环境承载力、能值密度、人均能值用量及可持续性指数对该地区的能值结构进行了详细研究。结果表明:系统能值总投入呈上升趋势,在能值投入中,风能资源投入逐渐增加,但总体比重不高,劳力能值投入受乡镇企业发展和进城务工因素影响逐年下降,以劳力和畜力等有机辅助能为主的传统农业正逐渐被以农机、化肥等工业辅助能为主的现代农业所替代。系统能值总产出呈上升趋势,农业产业结构由以种植业、畜牧业为主向高附加值的畜牧业、水产业的多样化方向转化。系统能值可持续发展指标为 0.97,是典型的消费型生态系统,产出的能值是消耗较多的资源获得。系统对于环境的压力较大,可持续性较低,应进一步调整农业产业结构,依靠科学技术,大力发展绿色和生态农业,保护环境资源,实现盐城城市农业生态系统的可持续发展。

关键词:农业生态系统; 能值理论; 动态分析; 盐城市

中图分类号:F323.22; X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)06-0311-05

Dynamic Analysis on Agri-ecological System of Yancheng City Based on Emergy Theory

YANG Zhi-ping^{1,2}

(1. School of Urban Environment and Resources, Yancheng Teachers University, Yancheng, Jiangsu 224051, China; 2. Research Institute of Jiangsu Coastal Development, Yancheng, Jiangsu 224051, China)

Abstract: Agro-ecosystem is the most basic system for human beings survival, while the analysis on the structure and function of the system is the key to solve the problems of agro-ecological environment. Based on the theories and methodologies of emergy, the emergy structure in agro-ecosystem about Yancheng City from 1995 to 2010 was studied. Some indicators of emergy were selected such as emergy input ratio, net emergy yield ratio, emergy environmental carrying capacity, emergy density, emergy per capita, emergy sustainable indices were assessed. The results showed that the agro-ecosystem gross input values of research area displayed the increasing trend. The wind resource input values added gradually but with low ratio. Because of the development of towns' industrial and young rural people working in cities, the manpower resource input values decreased gradually. The agro-ecosystem gross input values of research area also showed the increasing trend. Traditional agriculture which is composed mainly by organic emergy such as manpower and livestock is being substituted for modern agriculture gradually, which is composed mainly by agricultural machinery, chemical fertilizer and industrial assistant emergy. Diversity of agriculture mode is also increasing with higher additional-value aquaculture industry. The sustainable development index of system emergy was 0.97, the system was a typical consumption-based ecological system, output emergy was obtained by consuming more resources. The system has a low sustainability and creates a large pressure on environment. It is necessary to adjust agricultural structure, adopt science and technology, develop environmental-friendly and ecological agriculture and obtain the object to keep sustainable development.

Key words: agro-ecosystem; emergy theory; dynamic analysis; Yancheng City

20 世纪 80 年代美国著名生态学家 H. T. Odum 但又密切联系的各种能量(能量流、物质流、经济流、教授创立了能值分析理论和方法,即将以前不可比较 信息流)用一个共同的尺度——太阳能值来统一衡

量,由于物质的能值转化率相对其市场货币价格来讲,充分考虑了自然界对它形成的贡献,并赋予了一定的价值,减少了用货币来表现它时由于供求关系的改变、通货膨胀等经济因素的干扰而出现的偏差,所以也就更能表现出它的真实价值^[1-7]。90年代以来,能值分析的研究在国内外都得到了迅速的发展,研究领域主要集中在理论方法和实践两个方面,在理论上,H. T. Odum^[1,3-4]、Ulgianti^[8]、蓝盛芳、严茂超^[5,9-10]等经过大量实践研究提出了一些新的能值评估指标,对一些物质能量的能值转化率进行了估算。在实践上,李双成等^[11]许多学者运用能值分析的方法在国家、省区、都市以及县域等不同尺度地域上进行了生态经济分析和评估;黄书礼^[12]对城市生态系统、农业生态系统、自然保护区生态系统进行了能值分析研究;赵欣胜等^[13]对土地资源、水资源和各类矿产资源进行了能值分析评估。但是对沿海地区农业生态系统的研究鲜有报道。

本文利用能值分析理论方法,对盐城市农业生态系统的发展现状进行定量分析和评价。通过定量分析盐城市自然环境和人工辅助能能量投入和产出的总体能流能值,评价其环境资源能值基础、能值投入和生产力水平,为合理开发农业环境资源,实现农业可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

盐城地处北纬 $32^{\circ}34'$ — $34^{\circ}28'$,东经 $119^{\circ}27'$ — $120^{\circ}54'$ 。盐城是江苏省土地面积最大、海岸线最长的地级市,全市土地总面积 $16\,972\text{ km}^2$,是江苏省最大、最具潜力的土地后备资源。盐城市属于北亚热带季风气候向南暖温带季风气候过渡的地带。一般以灌溉总渠为界,渠南为北亚热带气候带,渠北为南暖温带气候带。由于东临黄海,海洋调节作用非常明显。主要特点是季风盛行,四季分明,雨水丰沛,雨热同期,光照充足,无霜期长。这种气候既有利于稻、麦、棉花的生长,又有利于大豆、油菜、花生等油料作物以及蔬菜和果树的种植;也有利于鱼、蟹、对虾、贝类等水产品的养殖。全市太阳年辐射总量为 $485.7\sim 505.8\text{ kJ/cm}^2$;全年光照时间平均 $2\,280\text{ h}$;年平均气温为 $13.7\sim 14.5^{\circ}\text{C}$;年降水总量为 $785.2\sim 1\,309.5\text{ mm}$ ^[14]。

2 研究方法

2.1 能值理论概述

能值分析将不同来源、不同性质的能量转换为同一性质的能值,以此作为衡量各种能量的客观标准和价值尺度,在实际应用中以太阳能值作为标准,将不

同的能量通过能值转换率统一为太阳能值(sej),以此对生态系统内各级别的能量进行分析评价。能值分析理论和方法可定量评价自然环境在系统生产中的贡献价值,弥补了传统的能量评价方法无法考虑自然环境价值的不足,有助于区域国民经济可持续发展能力的研究。

能值转换率是能值分析中另一重要概念,它是指单位某物质(g)或能量(J)所含能值之量。实际使用的是太阳能值转换率,即单位能量或物质所含太阳能值之量。单位为太阳能/焦耳(或克),即 sej/J 或 sej/g。能值转换率是衡量能质和能级的尺度。

2.2 能值指标体系

(1) 净能值产出率:是衡量系统产出对经济贡献大小的指标。其值越高,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^[10]。

(2) 能值投入率:用来判定经济活动在一定条件下的竞争力,也可以作为指标用于测知环境资源条件对经济活动的负荷量。过大的经济投入,输入大量购进的能值,将使其生产的产品竞争力降低。相反,如果系统具有较低的能值投入率,即意味着经济投资率低,需要购买的能值较少,其产品以较低的价格出售。一个经济系统要有竞争力,必须具有低能质的可更新资源与高能质的能量适当搭配,即必须遵循能值搭配原则。

(3) 环境承载力:是对经济系统的一种警示,若系统长期处于较高的环境负荷率,系统将产生不可逆转的功能退化或丧失。从能值分析角度来看,外界大量低能质的输入以及过度开发本地不可更新资源是引起环境系统恶化的主要原因。

(4) 能值密度、人均能值用量和人均能值产出量:是有效反映人民生活水平和经济发展程度的3个指标。

(5) 评价系统可持续发展性能的指标:评价农业生态系统的可持续发展能力,需要建立评价系统可持续发展性能的特定指标。可持续发展要求既要促进经济、社会的发展,又要保持生态环境的健康,即在不给予生态经济系统较大环境压力的前提下,谋求较高的经济收益。因此,以能值产出率 \times 能值交换率/环境负载率为指标,来评价生态经济系统的可持续发展能力。

2.3 能值分析方法

根据农业生态系统运行特征,其能值投入结构可分为:(1) 输入能值。可更新的资源能值,包括太阳能、雨水能等能值;不可更新的工业辅助能值,包括化肥(氮肥、磷肥、钾肥等)、农药、农机具、农膜等能

值；可更新的有机能能值，包括人力、有机肥等能值。

(2) 输出能值。种植业能值，包括水稻、小麦、棉花、蔬菜等能值；林果业能值，包括木材、水果等能值；畜牧业，包括肉类、禽蛋、蜂蜜等能值；水产业，包括淡水养殖和海水养殖等能值。系统中投入的有机能(劳力、畜力等)和工业辅助能(化肥、农药、农机具等)以及系统中输出的种植业产品(稻谷、蔬菜等作物)、畜禽产品(猪肉、禽蛋等)、林产品和水产品的能值计算，是根据《盐城统计年鉴》资料及其它相关资料提供的数据进行的，能量折算系数主要来自于《农业生态学教程》^[15]和《农业技术经济手册》^[16]等，能值转换率主要来自于 H. T. Odum^[1]和《生态经济系统能值分析》^[10]，能量流以 J 为单位，物质流以 g 为单位。各类别生态流量统一转换为相应的太阳能值。

表 1 1995—2010 年盐城市农业生态系统能值投入分析

项目	能值转换率 (sej/J 或 sej/g)	农业生态系统能值/J				
		1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	
EmR	太阳能	1.00	8.52×10^{19}	8.46×10^{19}	8.56×10^{19}	8.57×10^{19}
	风能	1.50×10^3	5.47×10^{19}	7.97×10^{19}	1.39×10^{20}	2.04×10^{20}
	雨水势能	8.89×10^3	2.43×10^{18}	2.09×10^{18}	2.21×10^{18}	2.32×10^{18}
	雨水化学能	1.54×10^4	9.26×10^{20}	8.87×10^{20}	8.97×10^{20}	9.10×10^{20}
	地球旋转能	2.90×10^4	7.24×10^{20}	7.24×10^{20}	7.24×10^{20}	7.24×10^{20}
EmN	表土层损耗	1.24×10^5	4.54×10^{19}	4.66×10^{19}	4.79×10^{19}	5.01×10^{19}
EmI	小计		1.84×10^{21}	1.82×10^{21}	1.90×10^{21}	1.97×10^{21}
EmF	化肥	4.70×10^9	2.25×10^{21}	3.67×10^{21}	4.89×10^{21}	6.33×10^{21}
	农药	2.52×10^{10}	5.21×10^{19}	8.51×10^{19}	9.24×10^{19}	1.29×10^{20}
	农机具	1.12×10^{10}	2.14×10^{20}	5.77×10^{20}	7.09×10^{20}	1.22×10^{21}
	农膜	1.11×10^5	1.88×10^{18}	3.32×10^{18}	7.11×10^{18}	9.54×10^{18}
	电力	3.36×10^5	1.55×10^{19}	4.62×10^{19}	7.91×10^{19}	1.70×10^{20}
	燃油	1.11×10^5	8.15×10^{19}	1.32×10^{20}	2.19×10^{20}	4.41×10^{20}
	小计		2.61×10^{21}	4.51×10^{21}	5.99×10^{21}	8.30×10^{21}
EmRI	有机肥	4.54×10^6	7.58×10^{15}	9.38×10^{15}	1.74×10^{16}	2.02×10^{16}
	种子	1.39×10^5	9.87×10^{19}	1.07×10^{20}	1.16×10^{20}	1.34×10^{20}
	人力	5.87×10^{12}	2.15×10^{21}	1.73×10^{21}	1.37×10^{21}	9.80×10^{20}
	小计		2.25×10^{21}	1.84×10^{21}	1.49×10^{21}	1.11×10^{21}
EmU		4.86×10^{21}	6.35×10^{21}	7.48×10^{21}	9.41×10^{21}	
EmT	总计		6.70×10^{21}	8.17×10^{21}	9.38×10^{21}	1.14×10^{22}

注：EmR：可更新环境资源；EmN：不可更新环境资源；EmI：环境资源能值，等于 EmR 与 EmN 之和；EmF：不可更新工业辅助能；EmRI：可更新有机能；EmU：总辅助能投入，等于 EmF 与 EmRI 之和；EmT：总投入能值，等于 EmI 与 EmU 之和。

3.2 盐城市农业生态系统能值产出分析

盐城市农业生态系统能值总产出从 1995 年的 4.25×10²² sej 增加到 2005 年的 9.52×10²² sej，增幅达 224%(表 2)。其中，1995 年种植业、林果业、畜牧业和水产业子系统的能值产出分别占总产出的 54.59%，4.42%，29.41%，11.58%，2005 年种植业、林果业、畜牧业和水产业子系统的能值产出分别占总产出的 44.85%，2.22%，31.62%，21.31%，种植业和

M=τ×B

式中：M——太阳能值(单位为 sej)；τ——太阳能值转换率；B——可用能。表 1 中具体项目的能源转换率参见文献^[17-19]，并根据盐城市具体情况作适当调整。

3 结果与分析

3.1 盐城市农业生态系统能值投入分析

盐城市农业生态系统的能值总投入包括可更新的环境资源、不可更新的环境资源、不可更新的工业辅助能和可更新的有机能新的环境资源，不可更新环境资源能值的比例最小。从能值投入动态来看，系统能值总投入呈上升趋势，从 1995 年的 6.70×10²¹ sej 上升到 2010 年的 1.14×10²² sej，增幅达 70.15%(表 1)。

林果业的能值产出比例在下降，而畜牧业和水产业的能值产出比例在上升。其子系统的能值产出比例在 1995—2010 年间均是种植业>畜牧业>水产业>林果业。盐城市是农业大市，以经济产值计算种植业、林业、畜牧业、渔业时，人们在传统的种植业中所投入的劳动量是最多的，种植业的经济产值也就成为整个农业生产的主体部分。种植业、畜牧业能值占盐城市

农业生态系统总产值的大部分,构成了盐城农业生产
的两大支柱。但随着市场经济发展和农业产业结构
的调整,盐城市农业生态系统由种植业和畜牧业为主
体向多种经营方式转变,盐城滩涂资源丰富,目前,境
内射阳河口以南沿海地段还以每年 10 km² 的速度向
大海延伸,新围垦的滩涂资源除少量用于工业和建筑
用地外,大量被用于养殖螃蟹、对虾等高附加值水产
品,水产品能值投入迅速增加。

表 2 1995—2010 年盐城市农业生态系统能值产出分析

农业生态系统	能值转换率/ (sej · g ⁻¹)	农业生态系统能值/J			
		1995 年	2000 年	2005 年	2010 年
种植业	1.20×10 ¹²	2.32×10 ²²	2.76×10 ²²	3.15×10 ²²	4.27×10 ²²
林果业	1.20×10 ¹²	1.88×10 ²¹	1.96×10 ²¹	2.04×10 ²¹	2.11×10 ²¹
畜牧业	1.50×10 ¹²	1.25×10 ²²	1.94×10 ²²	2.71×10 ²²	3.01×10 ²²
水产业	1.50×10 ¹²	4.92×10 ²¹	9.87×10 ²¹	1.27×10 ²²	2.03×10 ²²
总能值产出		4.25×10 ²²	5.88×10 ²²	7.33×10 ²²	9.52×10 ²²

3.3 盐城市农业生态系统能值指标分析

采用盐城市农业生态系统主要资源及货币流的

原始数据,计算其能值流及货币流,建立系统主要的
能值指标(表 3),分析系统的运行态势。

表 3 1995—2010 年盐城市农业生态系统能值评估指标体系

能值评估指标	表达式	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年
环境贡献率	EmI/EmT	0.27	0.22	0.20	0.17
工业辅助能值比率	EmF/EmT	0.40	0.55	0.64	0.73
有机辅助能值比率	EmRI/EmT	0.33	0.23	0.16	0.10
购买能值比率	EmU/EmT	0.73	0.78	0.80	0.83
净能值产出率	EmY/EmU	8.74	9.26	9.80	11.12
能值投入率 EYR	(EmU+EmN)/EmI	2.64	3.49	3.94	4.78
环境承载力 ELR	EmU/EmR	2.74	3.61	4.07	4.92
能值密度(sej/m ²)	EmT/A	3.99×10 ¹¹	4.87×10 ¹¹	5.59×10 ¹¹	6.79×10 ¹¹
人均能值用量(sej/人)	EmT/P	8.59×10 ¹⁴	1.03×10 ¹⁵	1.17×10 ¹⁵	1.40×10 ¹⁵
人均能值产出量(sej/人)	EmY/P	5.45×10 ¹⁵	7.43×10 ¹⁵	9.18×10 ¹⁵	1.17×10 ¹⁶
可持续发展性能指标	EYR/ELR	0.96	0.97	0.97	0.97

(1) 能值比率。1995—2005 年,盐城市农业生态
系统环境能值资源比率和有机辅助能值比率在不断
下降,分别从 1995 年的 0.27 和 0.33 下降到 2010 年
的 0.17 和 0.10。工业辅助能值比率增加迅速,从
1995 年的 0.40 上升到 2010 年的 0.73。购买能值比
率从 1995 年的 0.73 上升到 2010 年的 0.83,与传统的
自然农业依靠自然条件和有机能,盐城市农业生态
系统依赖不可更新的工业辅助能程度越来越高。农业
生产方式发生了一定的变化,传统农业的劳力和畜
力等有机辅助能逐渐被农机、化肥等工业辅助能所
替代。

(2) 能值产出率。盐城市农业生态系统的净能
值产出率从 1995 年的 8.74 上升到 2010 年的 11.12,
这与盐城市的地理区域有关。盐城市东临黄海,降水
丰富,日照时间长,区域内土壤质地松散,特别适于农
作物及经济作物的生长。盐城市农业的净能值产出
率高于江苏省的 4.17^[20] 和日本的 1.08^[21],说明盐城
市农业生态系统运转效率高。

(3) 能值投入率。盐城市农业生态系统能值投
入率从 1995 年的 2.64 上升到 2010 年的 4.78,略低

于全国农业系统能值投入率(4.93)^[21],而高于江苏
省(3.52)^[20],低于日本(14.03)^[21]、意大利
(8.52)^[21],表明盐城市农业经济发展程度略高于江
苏省平均水平而远低于发达国家水平。由此可见盐
城市农业生产投入的购买能值小于发达国家的投入
量,其输出产品的生产成本低,农产品的附加值不高,
农产品加工业水平较低,大部分农产品直接作为原材
料输出,农业经济的发展对环境的依赖程度较高。

(4) 环境承载力。2010 年盐城市农业生态系统的
环境承载力为 4.92,高于全国的平均水平(2.80),
而低于美国(7.06)、日本(14.49)等发达国家,这说
明盐城市农业生态系统还主要依靠输入能值和不可
更新资源,生产方式对环境的压力较大,对可更新资
源的利用还处于较低水平。

(5) 能值密度、人均能值用量和人均能值产出
量。2010 年盐城市农业生态系统的能值密度为 6.79
×10¹¹ sej/m²,稍高于江苏省的平均能值密度 6.57×
10¹¹ sej/m²,远大于全国的平均水平 1.32×10¹¹ sej/
m²;人均能值用量为 1.40×10¹⁵ sej/人,低于江苏省
的 4.64×10¹⁵ sej/人和全国的 5.89×10¹⁵ sej/人;人均

能值产出 1.17×10^{16} sej/人, 低于江苏省的 1.51×10^{17} sej/人和全国的 3.90×10^{17} sej/人^[16], 这与盐城市农村经济增长的现实状况相吻合。

(6) 可持续发展性能指标。能值产出率大, 而环境负载率低。根据 Odum 等^[1]的研究, $1 < \text{ESI} < 10$ 表明生态经济系统具有较强的可持续性; $\text{ESI} > 10$ 表明对资源的利用不够; 而 $\text{ESI} < 1$ 则预示着环境负载率较高的耗竭型生态经济系统。盐城市农业生态系统的可持续发展指标在 2005—2010 年间均在 0.97 左右, 按照 Uigati^[8]的观点, 能值可持续指标于小于 1 的生态系统属于消费型的生态系统。由此说明, 盐城市农业生态经济系统属于消费型的生态系统, 其特点是环境负载率较高, 但生产效率并不高, 即净能值产出相对较低, 可持续发展水平不高。

4 结论与建议

(1) 盐城市农业生态系统净产出效率较高, 但高能质的科技、物资等能值投入量较少, 环境承载压力大, 可持续发展能力较低, 其区域内的环境资源未得到最佳效益的开发利用, 有进一步开拓和优化的潜能。

(2) 在农业生产中可更新有机能使用较少, 多依赖不可更新工业辅助能, 包括化肥、农药、燃料等的大量投入, 造成空气、土壤污染, 河流富营养化。这也是系统可持续发展性能指标较低的主要原因。

(3) 由于气候条件的变化, 可更新的环境资源能值投入呈现一种波动状态, 盐城市面临黄海, 风能资源丰富, 近年来该地区利用风力资源, 积极发展绿色环保能源, 风能在能值投入中呈上升趋势。由于农村剩余劳动力进城务工和乡镇企业的发展, 人力资源能值投入呈逐年下降趋势。不可更新的环境资源能值投入, 即土壤表土层损耗也持续增加, 具体表现为土壤保持养分能力下降, 水土流失现象严重, 农田面源污染突出, 需投入大量的总辅助能才能保证农业的稳产高产, 不利于土壤生态环境的保护和可持续发展。

盐城市的农业发展水平不高, 其生产方式不利于系统的可持续发展, 因此在今后的农业生产中, 以盐城为代表的沿海区域可以从以下几个方面考虑:

(1) 优化沿海区域农业生态系统能值的投入结构, 减少化肥、农药等不可更新工业辅助能的投入, 积极建设绿色农业、生态农业, 大力开发利用风能和光能资源, 确保对环境资源的保护与合理开发利用, 增加高能值投入所占的比例, 缓解系统的内在环境资源压力, 提高环境资源的使用效率。

(2) 优化沿海区域农业生态系统能值的产出结

构, 调整种植结构, 优化升级产业模式, 充分运用沿海区域农业资源充足的优势, 加大对农产品深加工企业的引进与设立, 增加出口产品附加值, 提高高能值产品的输出比例。

(3) 因地制宜, 充分发挥沿海区域丰富的自然资源优势, 合理开发沿海区域海陆资源, 积极利用其便捷的海陆交通网, 拓展农业特别是深加工农产品出口的空间, 创造更大的经济价值。

(4) 加强沿海区域农业的开发力度及其与外界的物质、能量和信息交流。为促进农业经济的可持续发展, 采取一系列优惠政策, 吸引优秀的农业技术和食品研发人才建设和开发沿海区域农业生产。合理地开发利用人力资源和自然环境资源, 沿海区域农业的发展潜力将得到更大的发挥。

参考文献:

- [1] Odum H T. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [2] Campbell D E. Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: an example using the state of Maine[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1998, 51(1/2): 531-569.
- [3] Odum H T. Emergy evaluation of an OTEC electrical power system[J]. Energy, 2000, 25(4): 389-393.
- [4] Odum H T, Brown M T, Williams S B. Handbook of Emergy Evaluation[M]. Univ. Florida, 2000.
- [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] 陆宏芳, 蓝盛芳, 李谋召, 等. 农业生态系统的能值分析方法研究[J]. 韶关大学学报, 2000, 21(4): 73-78.
- [7] Lan S F, Odum H T, Liu X M. Energy flow and emergy analysis of the agro-ecosystem of China[J]. Ecological Science, 1998, 17(1): 32-39.
- [8] Uigati S, Brown M T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man made eco-systems[J]. Ecological Modeling, 1998, 108(1/3): 23-36.
- [9] 严茂超, 李海涛, 程鸿, 等. 中国农林牧渔业主要产品的能值分析与评估[J]. 中国林业大学学报, 2001, 23(6): 65-69.
- [10] 蓝盛芳. 生态经济系统的能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [11] 李双成, 傅小峰, 郑度. 中国经济持续发展的能值分析[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 294-304.
- [12] 黄书礼. 都市生态经济与能量[M]. 中国台北: 詹氏书局, 2004.

政府采取政策引导,资金扶持,技术支持等方式促进太阳能与建筑一体化、晶体硅和薄膜电池成套工业技术等新兴低碳产业和技术的发展;同时,应加强传统产业的低碳化改造,继续实行高耗能、高污染行业“上大压小”工程,从严控制焦化、铁合金、电石、水泥、有色冶炼等行业新增产能,在重化工业领域进行资源整合,限制高碳产业发展,加快产品升级换代步伐;另一方面,大力发展研发、文化创意、旅游、会展、金融、保险、物流、销售和互联网等低碳服务业领域,尽快实现服务业在经济总量中的份额提升,促进经济向低碳方向转型;再者,适应低碳发展的新要求,在能源装备领域,做大做强支柱装备产业,为低碳发展提供装备支撑。

(4) 发展循环经济,推行清洁生产。按照循环经济理念,重点在陕北能源重工业化工基地、渭北工业集中区、关中国家级高新技术示范区和陕南商丹地区,围绕煤炭、钢铁、石油3个重点行业开展循环经济示范园区建设,实行新开工建设项目部门联动机制和审批问责制,严控高耗能、高污染项目建设,尽可能减少园区企业污染排放,争取做到“零排放”。加强清洁生产的示范推广和强制性审核工作。鼓励企业开展二氧化碳捕获与封存技术研发,加快推进与美国、荷兰等国家进行的二氧化碳捕集、地质封存和综合利用科技合作项目。有效利用中国清洁发展机制基金,加强 CDM 项目开发。

参考文献:

- [1] 庄贵阳. 低碳经济:中国别无选择[J]. 世界知识, 2007(9):12.
- [2] World Resources Institute (WRI) Navigating the numbers: green house gas data and international climate policy[EB/OL]. <http://www.wri.org/publication/navigating-the-numbers/>, 2010-11-05.
- [3] IPCC. Climate change 2007: The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 103-146.
- [4] 王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 经济研究, 2010, 45(2): 123-136.
- [5] 陕西省发展和改革委员会. 陕西建设国家低碳试点省实施方案[R]. 陕西: 陕西省发展和改革委员会, 2011.
- [6] Xue Dongqian, Ma Beibei, Zhang Xiaojun. The harmonious relationship between land use and environment in Xi'an[J]. Geographical Sciences, 2006, 16(2): 184-189.
- [7] 马蓓蓓, 鲁春霞, 张雷, 等. 新形势下西北地区碳排放及低碳化发展研究: 以陕西省为例[J]. 资源科学, 2010, 32(2): 223-229.
- [8] 李淑惠. 陕西经济低碳环保发展战略研究[J]. 西安邮电学院学报, 2011, 16(4): 82-86.
- [9] 苏雅莉, 张艳芳. 陕西省土地利用变化的碳排放效益研究[J]. 水土保持学报, 2011, 26(1): 152-156.
- [10] 邵锋祥, 屈小娥, 席瑶. 陕西省碳排放环境库兹涅茨曲线及影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(8): 37-43.
- [11] 杜笑典, 戴尔阜, 付华. 陕西省能源消费碳排放分析及预测[J]. 首都师范大学学报, 2011, 32(5): 46-51.
- [12] 陕西省统计局, 国家统计局陕西调查总队. 陕西统计年鉴: 1981—2011[Z]. 中国统计出版社, 1981—2011.
- [13] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [14] 赵欣胜, 崔保山, 杨志峰. 红树林湿地生态效益能值分析: 以南沙地区十九涌红树林湿地为案例[J]. 生态学杂志, 2005, 24(7): 841-844.
- [15] 王亮. 基于生态足迹的盐城市生态安全评价[J]. 国土与自然资源研究, 2011(1): 59-61.
- [16] 陈阜. 农业生态学教程[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [17] 农业技术经济手册编委会. 农业技术经济手册[M]. 北京: 农业出版社, 1983.
- [18] 宋豫秦, 王群超. 基于能值生态足迹的浙江省可持续发展分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 22(11): 285-290.
- [19] 高红梅, 曹志宏, 郝晋珉. 天津市农业生态经济系统能值分析[J]. 生态经济, 2010(10): 65-69.
- [20] 刘继展, 李萍萍. 江苏农业生态系统能值分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(1): 29-36.
- [21] 苏国麟, 李谋召, 蓝盛芳, 等. 广东三水县种植业系统的能值分析及其可持续发展[J]. 农业现代化研究, 1999, 20(6): 359-362.
- [13] 张芳, 周忠学. 基于能值分析的延安市农业生态系统动态评估[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 251-258.

(上接第 315 页)