

# 基于能值分析的山西省生态经济系统可持续发展评价

刁丽琼<sup>1</sup>, 廖和平<sup>1,2</sup>, 秦伟山<sup>1</sup>

(1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 国土资源研究所, 重庆 400715)

**摘要:** 运用能值理论与方法, 对山西省 1980—2008 年的净能值产出率、能值投入率、人均能值用量、能值货币比率、能值使用强度、环境负荷率、可持续发展能值指数(ESI)和人口承载力等 8 个指标 29 a 来的变化趋势进行了分析, 并对各项能值指标 2012 年的数值进行了预测。结果表明, (1) 29 a 来山西省的能值投入率、人均能值用量、能值使用强度不断上升, 能值货币比率则持续下降, 表明山西省经济得到了巨大的发展; (2) 29 a 来山西省净能值产出率、可持续发展能值指数不断下降, 环境负荷率不断升高, 说明山西省经济的发展是以大量消耗资源和破坏环境而取得的; (3) 按各项能值指标的变化趋势曲线对 2012 年山西省能值指标预测的结果表明, 若按以往发展模式, 山西省产品竞争力将下降, 资源环境和生态经济系统的功能将逐步退化或散失。

**关键词:** 能值分析; 生态经济系统; ESI; 山西省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0175-05

中图分类号: F301.2

## Assessment of Sustainability in Eco-economic System in Shanxi Province Based on Energy Analysis

DIAO Li-qiong<sup>1</sup>, LIAO He-ping<sup>1,2</sup>, QIN Wei-shan<sup>1</sup>

(1. College of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Land Resources Institution, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Based on the energy theory and its analysis methods, the changing trends of the 8 energy indices [energy yield ratio(EYR), energy investment ratio(EIR), energy used per person(EUPP), energy dollar ratio(EDR), energy density(ED), environment loading ratio(ELR), energy-based sustainability index(ESI) and population carrying capacity(PCC)] in Shanxi Province from 1980 to 2008 were analyzed, and the numerical values of the eight indices were also predicted for the year 2012. The results were summarized as follows. (1) The EIR, EUPP, ED increased continuously, while the EDR decreased during the past 29 years, indicating that the economic system of Shanxi Province have been highly developed. (2) The EYR and the ESI decreased continuously, while the ELR continued rising during the past 29 years, indicating that the quick development of the economic system in Shanxi were at the expense of substantial resources consumption and environmental damage. (3) The energy indices predicted for Shanxi in 2012 according to the changing trends showed that if Shanxi continues with the same development model, the competitiveness of production will decline and the pressures to the environment will increase, leading to the irreversible degradation or loss of function in the eco-economic system.

**Keywords:** energy analysis; eco-economic system; ESI; Shanxi Province

20 世纪 70 年代以来, 以美国 H. T. Odum 为首发展起来的能值分析(emergy analysis, EMA)理论, 克服了传统经济统计方法和能量分析中不同类别能量难以在统一尺度上比较的缺陷, 将生态学与经济学相结合, 日益成为研究区域生态经济系统可持续发展的重要手段<sup>[1]</sup>。能值是从体现能发展的度量标准, 定义为某种类别能量包含的另一种能量之量, 称为该能

的能值。生态系统和复合的生态系统中各种不同性质的能量均来自太阳, 故可用同一标准的太阳能值来衡量和表达; 能值为系统的定量分析提供了共同的数量标准, 是生态学与经济学交叉联系的桥梁。

20 世纪 80 年代, 关于能值分析理论和方法的介绍被引入我国, 蓝盛芳等<sup>[2]</sup>对其进行了一系列的研究, 许多学者已将其运用到了不同的领域<sup>[3-4]</sup>, 但对矿

区可持续发展的能值分析较少,特别是小的时空尺度上的研究尚显匮乏。

山西省是黄土高原区的典型省份,也是全国最主要的煤炭生产基地,大部分地区严重缺水,山区水土流失现象十分严重,矿区生态环境日益恶化,生态稳定性差,系统功能极易遭到破坏,特别是水污染、城市空气污染较为严重,生态经济系统十分脆弱。因此,本文拟用能值分析方法评价 29 a 来山西省生态经济系统的发展水平和运行状态,揭示其演替发展的规律和趋势以及人与环境在这一特殊区域的相互关系。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

山西省地处太行山与黄河中游峡谷之间,位于华北西部的黄土高原东翼。地理坐标为东经  $110^{\circ}14'42''$ — $114^{\circ}33'17''$ ,北纬  $34^{\circ}34'58''$ — $40^{\circ}44'30''$ 。全省总面积为  $156\,266\text{ km}^2$ ,大约占全国总面积 1.63%,多为山地丘陵。总体地貌格局为东西两侧隆起,中部断陷盆地径向排列,呈“两山夹一川”地势。山西省属于温带大陆性气候,年平均气温  $3\sim 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,昼夜温差大,南北温差也大,平均降水量为  $400\sim 650\text{ mm}$ 。山西省是我

国重要能源基地,矿产资源丰富,素有“煤铁之乡”之称,然而,由于过度的人类活动,某些区域的自然生态系统退化,总体经济发展水平较为落后。如何使环境保护与经济发展相协调并实现可持续发展,已成为亟待解决的问题。

### 1.2 数据源及研究方法

根据能值理论,本文所用的有关原始数据来自历年《山西统计年鉴》、《山西社会经济年鉴》和其它相关资料,首先利用能值转换率<sup>[5]</sup>,将生态经济系统中不同度量单位的资源、产品转化为太阳能值的形式,编制成能值分析表<sup>[6-7]</sup>。然后采用能值产出率、人均能值密度、环境负荷率、可持续发展能值指数等指标,对山西省生态经济系统的发展状况和可持续性进行评价分析。

## 2 结果与分析

表 1 为山西省生态经济系统能值分析结果。由于篇幅限制,所涉数据计算量较大,略去了具体计算过程,归并、简化得到此能值分析汇总表(表 1)。根据表 1 分析山西省 1980—2008 年生态经济系统的主要能值指标的变化趋势。

表 1 1980—2008 年山西省生态经济系统能值分析

项目		1980	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2008
能值流量	可更新资源流量/ $(10^{21}\text{ sej}\cdot\text{a}^{-1})$	9.47	9.18	10.70	11.90	13.40	12.60	12.60	13.10
	不可更新资源流量/ $(10^{22}\text{ sej}\cdot\text{a}^{-1})$	3.22	3.68	5.95	8.65	11.56	13.47	15.17	16.53
	进口能值流量/ $(10^{21}\text{ sej}\cdot\text{a}^{-1})$	0.16	0.21	0.31	1.06	2.90	7.70	9.53	17.20
	出口能值流量/ $(10^{21}\text{ sej}\cdot\text{a}^{-1})$	0.11	0.18	0.38	1.67	1.81	5.15	6.04	13.50
	总能值使用量/ $(10^{22}\text{ sej}\cdot\text{a}^{-1})$	4.18	4.62	7.05	9.95	13.2	15.50	17.40	19.60
来源	能量自给率	99.62	99.55	99.56	98.93	97.80	95.03	94.52	91.21
	购入能值比率	0.38	0.45	0.44	1.07	2.20	4.97	5.48	8.79
自然	可更新资源能值比例	22.64	19.87	15.18	11.96	10.16	8.13	7.25	6.70
	环境负荷率	3.42	4.03	5.59	7.36	8.84	11.30	12.80	13.93
经济	能值投入率	0.004	0.010	0.004	0.011	0.022	0.052	0.058	0.096
	能值产出率	261.44	219.95	227.45	93.83	45.48	20.13	18.24	11.37
	能值货币比率/ $(10^{12}\text{ sej}\cdot\text{\$}^{-1})$	3.85	2.11	1.64	0.92	0.72	0.37	0.37	0.28
社会	人均能值用量/ $(10^{15}\text{ sej}/\text{人})$	1.69	1.73	2.43	3.23	4.06	4.62	5.15	5.73
	能值交换率	1.45	1.17	0.82	0.63	1.60	1.50	1.58	1.27
	可更新资源所承载的人口容量/ $10^6$ 人	5.61	5.31	4.40	3.68	3.30	2.73	2.45	2.28
	考虑可更新资源和进口资源的人口容量/ $10^7$ 人	4.49	4.25	3.52	2.95	2.64	2.18	1.96	1.83
	可持续发展能值指数	76.51	54.56	40.69	12.75	5.14	1.78	1.43	0.82

(1) 能值投入率(emergy investment ratio, EIR)为人类经济系统的反馈能值与自然环境的投入能值之比,是用来衡量经济活动的竞争力程度和资源环境负载程度的指标。

从图 1 可以看出,1980—2008 年间山西省的能值投入率整体上呈不断增长趋势,20 世纪 80 年代到

21 世纪增长较缓慢,进入 21 世纪以来快速上升,其值大体在  $0.004\sim 0.096$  之间波动。按照能值理论,能值投入高的地区需要购买的各种能值较多。山西能值投入率快速增加,表明近 30 a 来山西省的经济活力逐渐增强,但其增长仍主要以本土资源的大量开发为代价的,尤其是本土煤炭和矿产资源的开发,这说

明山西的经济发展还处于依赖于当地资源的基础上。

(2) 净能值产出率 (net emergy yield ratio, EYR) 为系统产出能值与经济反馈能值之比, 是衡量系统产出对经济净贡献大小的指标<sup>[8]</sup>。从图 1 可以看出 29 a 来, 山西省净能值产出率大幅度下降, 其值浮动在 261.44~11.37 之间。按能值理论, 主要是由山西经济的快速发展。从改革开放到 90 年代中期, 煤炭开采、化工、焦化、热电、钢铁、机械、装备制造等成为山西省经济发展运行的支柱和基础, 即 IMP 从 1981 年的  $1.60 \times 10^{20}$  sej/a, 增加到 2008 年的  $1.72 \times 10^{22}$  sej/a (见表 1), 上升了 107.5 倍。这表明山西省经济系统得到巨大发展, 人民生活水平已有很大程度的提高, 产业的区际竞争力也显著提高, 已由资源输出型生态经济区逐步向资源输入型生态经济区转变; 同时也应该看到山西省生态经济系统净效益下降, 即投入相同经济能值条件下, 所得到的产出能值较以前大为下降。

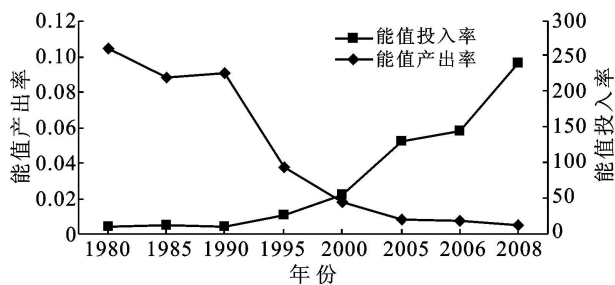


图1 山西省能值投入产出率变化趋势

(3) 环境负荷率 (environmental loading ratio, ELR) 为不可更新资源的能值总量与可更新资源投入能值总量之比<sup>[9]</sup>。从表 1 可以看出, 山西省环境负荷率由 1980 年的 3.42 上升到 2008 年的 13.93 (图 2), 其主要原因为山西省以资源开发为主导的经济发展模式中, 不可更新资源消耗的不断增多所造成的。总的来看, 山西省环境负荷率 1995 年就达 7.36, 已接近 2004 年的美国 (7.06)、西班牙 (7.20)、瑞士 (7.44) 等发达国家, 到 2008 年则达 13.93, 表明 13 a 来山西省环境一直处于较高的压力状态下。

(4) 能值货币比率 (emergy dollar ratio, EDR) 为年能值总用量与当年国民生产总值比率, 是评价一个国家和地区经济发达程度的指标。1980 年以来, 随着经济发展水平不断上升以及城市化程度的提高, 经济活动对自然环境资源的应用越来越少, 物质流动和货币周转速度越来越快, 山西省的能值货币比率呈逐年下降趋势 (图 2)。

(5) 人口承载力 (population carrying capacity, PCC)。由表 1 可知, 1980—2008 年山西省可更新资源

所承载的人口容量和考虑可更新资源与进口资源的人口容量均有较大变化, 后者由  $4.49 \times 10^7$  人下降到  $1.83 \times 10^7$  人, 前者则由  $5.61 \times 10^6$  人下降到  $2.28 \times 10^6$  人。山西省人口承载力的大幅下降是由于总能值使用量和人均能值使用量快速增加所致, 从而山西省人口承载力不断降低。以 2008 年为例, 山西省人口已达 3 410 万人, 为考虑可更新资源与进口资源的人口容量  $1.83 \times 10^7$  人的 1.87 倍。这表明人口数量的不断增加已开始对山西省经济发展产生了一定的消极影响 (图 3)。

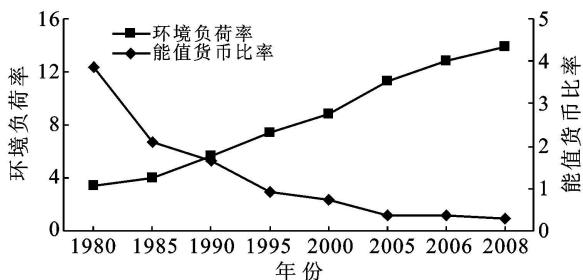


图2 山西省环境负荷率、能值货币比率变化趋势

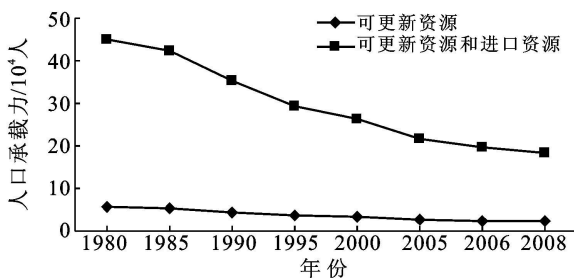


图3 山西省人口承载力变化趋势

(6) 可持续发展能值指数 (emergy-based sustainable index, ESI) 为净能值产出率 (EYR) 与环境负荷率 (ELR) 的比值。如果一个国家或地区的生态经济系统净能值产出率高而环境负荷率又相对较低, 则它是可持续的, 反之是不可持续的。研究表明, ESI 值在 1~10 之间表明经济系统富有活力和发展潜力; ESI > 10 是经济不发达的象征, 表示对资源的开发利用不够; ESI < 1 时为消费经济系统, 此时系统的进口资源和劳务能值量在总能值使用量中所占比重较大, 对本地不可更新资源的利用也较大, 环境负荷率较高。如图 4 所示<sup>[10]</sup>, 1980—2008 年山西省的可持续发展指数曲线呈显著的下降趋势, 由 1980 年的 76.51 快速下降至 2008 年的 0.82。进入 21 世纪以来山西省对资源的开发利用不断增加, 经济的快速发展是靠资源大量消耗和环境负荷率不断增大所换来的, 依据表 2 的分等标准, 目前山西省生态经济系统处于弱度可持续发展状态。

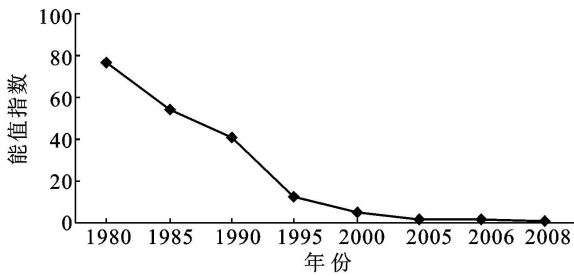


图 4 山西省可持续发展指数变化趋势

### 3 能值指标与时间的回归分析及其预测

为了探索山西省可持续发展指数和人口承载力的变化规律并对其进行预测, 对未来几年的可持续发展指数的预测应建立在最近几年的数据的基础上<sup>[11]</sup>。本文首先分析了最近几年各种数据之间是否具有相关性, 由表3可以看出, 各个指标的相关系数

表 3 山西省能值指标与时间的回归分析

能值指标	$R^2$	$F$ 值	显著性	回归方程	2008 年值	2012 年值
EUPP	0.972	70.13	< 0.001	$Y = 0.189 + 1.092x$	5.73	6.45
EIR	0.966	57.58	< 0.001	$Y = 0.005 + 1.630x$	0.10	0.16
EYR	0.999	1 861.30	< 0.001	$Y = 3.139 + 0.398x$	11.37	7.66
EDR	0.997	871.58	< 0.001	$Y = 0.035 + 0.538x$	0.28	0.18
ELR	0.952	61.08	< 0.001	$Y = 1.118 + 1.049x$	13.93	15.73
PCC	0.967	58.00	< 0.001	$Y = -0.290 + 0.962x$	2.28	1.90
ESI	0.906	19.22	< 0.001	$Y = 0.300 + 0.306x$	0.82	0.55

从预测结果来看, 2012 年山西省净能值产出率 (EYR) 将低至 7.66, 能值产出率降低表明山西省经济生产效率将下降, 需要进口大量资源, 是资源输入区。环境负荷率 (ELR) 为 15.73, 已远超过一般发达国家水平。可持续发展能值指数 (ESI) 将达到 0.55 的水平, 表明如果不改变经济的发展模式, 山西省生态经济系统的发展将是弱度不可持续的。到 2010 年, 其它能值指标如能值货币比率 (EDR) 为  $1.80 \times 10^{11}$  sej/\$, 人口承载力 (PCC) 将下降到  $1.90 \times 10^6$  人, 都将达到或超过一般发达国家水平。能值投入率 (EIR) 为 0.16, 人均能值使用量 (EUPP) 则为  $6.45 \times 10^{15}$  sej/人, 其值仍不大, 原因是由于山西省的经济增长仍主要靠本地资源和山西省人口基数大, 故能值投入率和人均能值使用量提高的并不快。

### 4 结论

以奥德姆能量分析 (EMA) 为理论支撑, 计算和图解了山西省 1980—2008 年生态经济系统的能值指数。结果表明, 改革开放以来山西省的经济得到了巨大发展, 人民生活水平显著提高, 经济地位不断增强。但是也应该清晰地看到, 山西省经济发展道路, 很大

都通过了显著性检验, 说明各年之间各个指标的相关关系显著, 可以用已知年份的指标来预测它年的指标。相对应于表 3 山西省 1980—2008 年的各个指标来说, 用前一年指标值和后一年的指标值的相关关系, 建立一元线性回归方程。然后, 用 2008 年的数据去预测 2012 年的结果 (见表 3)。

表 2 山西省能值可持续性分级基准

等级	ESI 范围	可持续性	可持续的发展能力
I	5~10	强度可持续	强
II	1~5	中度可持续	
III	1~0.7	弱度可持续	中
IV	0.3~0.7	弱度不可持续	
V	0.1~0.3	不可持续	弱
VI	0~0.1	极度不可持续	

程度上是由计划经济体制和建国初期工业化建设所需要而确定的, 山西省经济的发展史是以能源供应保证了国家的经济社会建设, 并付出了环境、社会、经济的巨大代价。

大力发展循环经济是实现山西省生态经济系统可持续发展的必由之路。实践充分证明, 循环经济是一种最大限度地利用资源, 保护环境, 实现可持续发展的经济模式。山西省在今后经济发展过程中应把发展循环经济作为推进实施绿色转型发展战略的重要手段和基本途径。要采取有力措施, 积极推进能源、冶金、机械、材料、化工等传统支柱产业发展, 建设环境友好型企业; 要按照循环经济模式对所有园区进行规划和布局, 大力建设工业生态园区, 把高新区、经济区、民营区、不锈钢工业园、信息产业园区建设成为循环经济示范区; 要把全省工业和农业、城镇和农村、生产和消费有机结合起来, 构建循环经济体系, 加快节约型社会建设步伐。

保持山西省生态经济系统的可持续发展必须切实做好煤炭资源整合工作, 协调各方利益, 完善准入和退出机制, 特别是评估是否合理和煤炭补偿款是否合理到位。借助煤炭资源整合和产业结构升级, 淘汰

落后产能,提高煤炭回采率,提高资源利用效率。在煤炭产业结构调整方面,一是布局结构,空间布局要进一步转向西部;二是产业结构,继续向多元化方向发展,但重点方向是发展煤电;三是组织结构,继续向大型煤炭企业集团方向发展;四是技术结构,大力发展机械化开采。

山西省作为资源型地区、老工业基地和欠发达的中部省份,旅游产业是产业升级的关联带动点和替代产业的首选,在较长一段时间内应是其它产业无法比拟的战略性产业。应充分发挥自身的资源优势。旅游业的净能值产出率一直比较高,应加大旅游业的投入开发,对旅游资源进行整体包装和策划,全面整治和规范旅游市场,以煤炭促进旅游,以旅游保护煤炭,最终实现煤炭和旅游产业协调发展与可持续发展,争取早日将山西省建设为“北方休闲旅游胜地和区域旅游中枢”。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Odum H T. Self-organization, transformity and information [J]. Science, 1988, 242: 1132-1139.
- [ 2 ] 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: 83-84, 383-384.
- [ 3 ] Lan S F, Odum H T, Liu X M. Energy flow and emer-

gy analysis of the agroeco systems of China [J]. Ecologic Science, 1998, 17(1): 32-39.

(上接第170页)

- [ 6 ] 唐永金. 不同覆盖物对玉米抗旱栽培的效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 52-55.
- [ 7 ] 王昕, 贾志宽, 韩清芳, 等. 半干旱区秸秆覆盖量对土壤水分保蓄及作物水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 196-202.
- [ 8 ] 曹正梅, 董树亭. 覆膜栽培玉米的土壤生态效应研究进展[J]. 山东农业大学学报: 自然科学, 1999, 30(4): 489-492.
- [ 9 ] 段德玉, 刘小京, 李伟强, 等. 夏玉米地膜覆盖栽培的生态效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 6-9.
- [ 10 ] 王俊, 李凤民, 贾宇, 等. 半干旱地区播前灌溉和地膜覆盖对春小麦产量形成的影响[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 77-82.
- [ 11 ] 刘小兰, 李世清. 半干旱黄土高原地区春小麦地膜覆盖研究概述[J]. 西北植物学报, 2001, 21(2): 198-206.
- [ 12 ] 宋秋华, 李凤民, 王俊, 等. 覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2125-2132.
- [ 13 ] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 等. 半干旱地区地膜覆盖对作物产量和氮效率的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 205-209.
- [ 14 ] 李洪勋, 吴伯志. 地膜覆盖对玉米生理效应研究[J]. 耕

- [ 4 ] 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.
- [ 5 ] 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: 83-84, 383-384.
- [ 6 ] 严茂超. 生态经济学新论: 理论、方法与应用[M]. 北京: 中国致公出版社, 2001: 223-266.
- [ 7 ] Odum H T. Environmental accounting emergy and environmental decision making [M]. New York: John Wiley, 1996: 53-58.
- [ 8 ] 汤洁, 斯蔼, 李昭阳, 等. 霍林河流域下游生态经济系统能值计算与可持续发展能力评价[J]. 生态经济, 2009, 12(2): 32-33.
- [ 9 ] 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价[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 765-772.
- [ 10 ] 严茂超, Odum H T. 西藏生态经济系统的能值分析与可持续发展研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(2): 116-125.
- [ 11 ] 姚成胜, 朱鹤健. 福建生态经济系统的能值分析及可持续发展评估[J]. 福建师范大学学报, 2007, 23(3): 94-97.

作与栽培, 2003, 136(6): 46-48.

- [ 15 ] 党廷辉, 郭栋, 戚龙海. 旱地地膜和秸秆二元覆盖栽培下小麦产量与水分效应[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 20-24.
- [ 16 ] 马树庆, 王琪, 郭建平, 等. 东北地区玉米地膜覆盖增温增产效应的地域变化规律[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 66-71.
- [ 17 ] 曹荣保, 武治兴, 姜凯喜. 旱地绿豆地膜覆盖栽培技术[J]. 陕西农业科学, 1999(5): 41-42.
- [ 18 ] 李斌, 李变梅, 崔峥嵘. 旱地地膜覆盖绿豆高产技术[J]. 山西农业, 2004(1): 23-23.
- [ 19 ] 刘翠英, 任建宏. 绿豆地膜覆盖栽培试验初报[J]. 陕西农业科学, 2000(7): 10-12.
- [ 20 ] Wang X, Li F, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature [J]. Agricultural Water Management, 2005, 78(3): 181-194.
- [ 21 ] 沈裕琥, 黄相国. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 45-50.
- [ 22 ] 李贻学, 刘太杰. 秸秆覆盖与抗旱剂对烟田土壤水分及烟株生长的影响[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2002, 33(2): 144-147.