

## 土地整治项目对农田生态系统影响的能值分析

黄学锋<sup>1</sup> 金晓斌<sup>2\*</sup> 张晓霞<sup>3</sup> 周寅康<sup>4</sup>

(南京大学 地理与海洋科学学院,南京 210023)

**摘要** 为在项目尺度构建土地整治农田生态系统能值分析框架,以江苏省宜兴市土地整治项目作为案例,根据设定的土地整治工程使用年限,从项目建设-使用过程和项目全生命周期2个时间维度,对土地整治工程建设对农田生态系统的影响进行了研究。结果表明:在项目建设-使用过程维度,1)项目建设期大量物料投入和电力等资源输入,导致能值投入加大,能值产出下降;2)受土地整治影响,项目建设导致农田生态系统自给能力减弱,对外界经济投入依赖度增加,净能值产出率下降,环境负载率增大,农田生态系统可持续发展能力下降;从生命全周期来看,3)由于土地整治工程的影响,各项能值指标在项目建设期出现陡增和陡降现象,随着土地整治工程竣工以及效益发挥,各项能值开始趋于平稳,并在全周期末各项指标优于土地整治前各项指标,全生命周期内预计给农田生态系统带来 $2.23E+19$ sej能值产出和60.15万美元能值-货币价值。综合而言,土地整治在项目建成后的10年内对项目区农田生态系统具有积极影响,但此后,可能将对项目区的生态环境造成了一定的压力。

**关键词** 土地整治;能值分析;农田生态系统;可持续发展

中图分类号 F301.24

文章编号 1007-4333(2017)04-0047-12

文献标志码 A

## Determining the influence of land consolidation project on farmland ecosystem based on emergy analysis

HUANG Xuefeng<sup>1</sup>, JIN Xiaobin<sup>2\*</sup>, ZHANG Xiaoxia<sup>3</sup>, ZHOU Yinkang<sup>4</sup>

(College of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

**Abstract** In order to build an emergy analysis framework of land reclamation farmland ecosystem from the project scale, a case study in Yixing City of Jiangsu Province land reclamation project was conducted in this study. According to the durable years of land reclamation project, ecological influences on farmland ecosystem were investigated from two points of view, whole process of project and the total project life cycle. The results showed that, From the whole process of project dimension, a large number of materials and electric power resource input during project construction period resulted in increase of input emergy and decrease of output. Affected by the land reclamation, the construction of project caused the decrease of self-sufficiency, emergy yield ratio and emergy sustainable index of farmland ecosystems, the increase of dependent degree on external economic investment and environment loading ratio; From the total project life cycle dimension, the emergy indexes during project construction displayed sharp and steep fall phenomenon. With the completion and benefit of the land reclamation project, the emergy indexes reached a plateau, and in the end of the whole cycle indicators are better than those before land reclamation. Emergy input of  $2.23E+19$ sej and EM \$ of 601 500 dollars were predicted to bring to the region during the total project life cycle. In conclusion, land reclamation within 10 years after the completion of the project has a positive influence on the project of farmland ecosystem, but may cause certain level of pressure on the ecological environment.

**Keywords** land reclamation; emergy analysis; farmland ecosystem; sustainable development

收稿日期: 2016-03-02

基金项目: 教育部博士点基金(20120091110014), 江苏省自然科学基金(BK2012731)

第一作者: 黄学锋, 硕士研究生, E-mail: huangxuefeng141@163.com

通讯作者: 金晓斌, 副教授, 博士, 主要从事土地资源管理研究, E-mail: jinxb@nju.edu.cn

现阶段中国土地整治,根据整治对象可以分为农用地整治、建设用地整治和区域综合整治,其中通过土地整理、复垦和开发方式补充耕地数量、提高耕地质量和土地利用率的农用地整治是土地整治的主体<sup>[1-2]</sup>。目前我国土地整治理论研究侧重于服务规划任务和工程建设,研究成果多集中在综合规划<sup>[3-4]</sup>、潜力评价<sup>[5-6]</sup>、工程技术<sup>[7-8]</sup>、绩效分析<sup>[9]</sup>等方面,而对生态效应、生态影响等方面的研究相对滞后。

我国土地整治对生态的影响,多集中在土地整治对生态环境要素的影响<sup>[10]</sup>、对生态格局的影响<sup>[11-12]</sup>,以及项目建设过程中的生态风险识别<sup>[13-14]</sup>等方面,而对生态环境系统的影响研究相对较少;研究方法上主要采用生态足迹、生态服务价值、生态敏感性等方法进行定量分析的尝试<sup>[15-20]</sup>,一般将生态系统作为均质整体,鲜有考虑生态系统不同组分对土地整治活动的不同反馈。20世纪80年代以美国生态学家 Odum<sup>[21-22]</sup>为首创立的能值理论方法,提供了一种生态经济系统整合研究的新方法,它以太阳能值为统一量纲,将系统内流动或贮存的各种不同类型的能量转化为统一的太阳能值,定量分析系统内外部的物质、能量和信息流之间的关系,实现了测算系统的经济和生态价值的目标<sup>[23-27]</sup>。将能值分析引入到土地整治中对土地整治的效益进行评价国内外对此研究较少。基于此,本研究拟采用能值分析法,在项目尺度建立土地整治活动影响下的农田生态系统能值输入、输出分析框架,选取典型土地整治项目作为案例,测算相应生态环境影响,旨在为土地整治项目规划与生态建设提供参考和借鉴。

## 1 研究方法

### 1.1 能值方法

20世纪80年代美国生态学家 Odum<sup>[21]</sup>提出了能值(Emergy)概念,并将其定义为:一流动或储存的能量所包含另一类别能量(通常采用太阳能)的数量,单位为太阳能焦耳(Solar emjoules, sej)<sup>[21-22]</sup>。它将各种资源、产品或劳务转化为其形成所需的太阳能,以能值为量纲,统一能量流、物质流与货币流的量化指标,使之成为生态系统与经济系统交叉联系的纽带,为综合分析生态经济系统中各种能量流的转换机理提供方法支撑,已成为生态经济系统整合研究评价的重要方法。能值分析中以太阳能值转化率作为各种能量或物质的转化单位<sup>[21]</sup>,而自然系统与经济系统界面一般采用能值/货币比率进行推

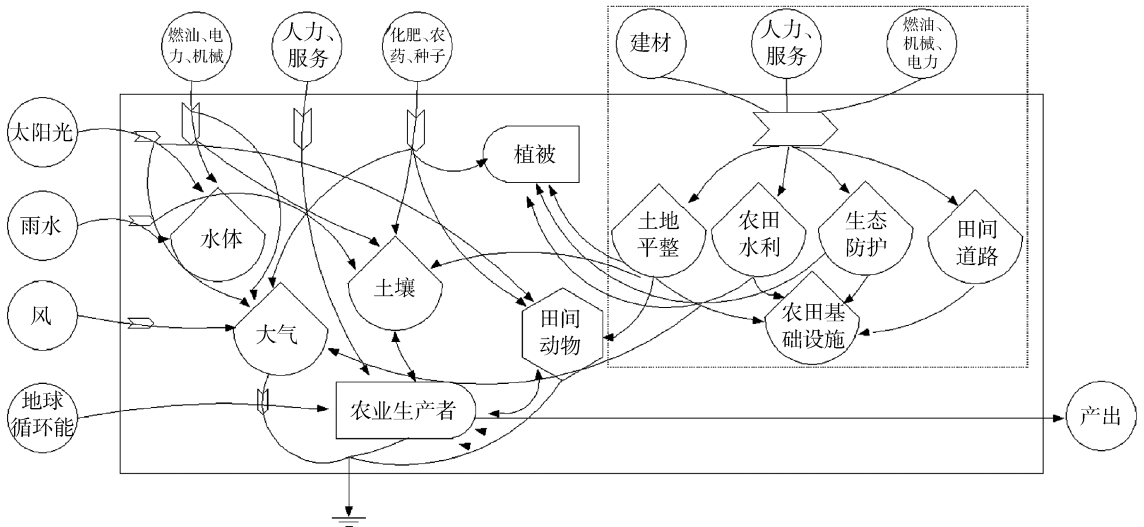
算<sup>[23]</sup>。能值理论提出以来,欧美等国家率先开展了理论与实证分析<sup>[23-25]</sup>。中国学者蓝胜芳<sup>[26]</sup>于20世纪90年代将能值理论引入生态经济系统分析,其后研究领域不断扩大,目前被广泛地应用于农业<sup>[28-30]</sup>、林业<sup>[31]</sup>、自然保护区<sup>[32]</sup>、工业企业<sup>[33]</sup>等领域。

### 1.2 项目区农田系统能值分析框架

土地整治作为改善土地功能与效用的活动,具有较强的工程特性并表现出一定的生命周期。本研究从土地整治工程建设对项目区农业生产影响的角度,将土地整治生命周期划分为建设期与效益发挥期。其中建设期指通过土地平整、灌溉与排水、田间道路、农田防护与生态环境保持等工程措施,优化田块布局,改善耕作条件,完善农田水利基础设施和道路布局的工程建设时期;效益发挥期指在项目竣工验收后,在相关基础设施工程使用期限内,土地整治项目持续发挥社会效益的时期。在分析项目区与传统农业区系统能值投入和产出的基础上,本研究根据土地整治对项目区农田系统影响的特殊性,对经典农业系统能值分析图进行修正,构建土地整治项目区农田系统能值分析框架。

土地整治作为一项工程措施,通过短期的物料集中投入和工程措施对项目区土地利用结构、土地利用方式、土地利用功能产生了直接影响,进而对项目区农田生态系统产生一定影响。相比于传统农业区,在建设时期,项目区农田生态系统的能值投入具有集中性、高强度的特征,具体表现为碎石、黄砂、钢筋、水泥等建筑材料通过起重机、挖掘机、搅拌机等工程机械与人力服务集中性的输入农田系统。同时,建设期间土地结构调整、耕作层土壤扰动等将造成农业产出水平出现短期波动,能值产出有所减少;在效益发挥期,受益于工程建设,项目区田面平整度、农田水利基础设施配套率、道路通达度等显著提升,单位面积的农业物资和劳动力消耗(能值投入)减少、作物产量(能值产出)在短期波动后显著提升。

据此,本研究将土地整治建设作为外界对农田系统集中性的外部刺激,在传统的农业系统能值投入基础上增加土地整治工程物料、机械和人力投入;在农田生态系统内部组成上增加土地、生态防护林等能量贮存体,作为土地整治工程的效益发挥体,并在能值产出上增加由于土地整治活动带来的额外能值;在明确系统边界、主要能量来源及能流方向的基础上,根据能值符号语言及方法绘制土地整治项目区农田系统能值分析图(图1)。



土地整治工程所投入的能值未直接参与作物能量代谢,而以能量贮存体形式存在于系统中,用以改善农田基础设施、基质水体、大气等自然条件,促使系统完成农业生产目的。

Input of land reclamation engineering is not directly involved in crop energy metabolism, but in the form of the energy storage exists in the system to improve agricultural infrastructure, matrix, the natural conditions such as water, air, and prompt to accomplishment of agricultural production.

图 1 土地整治项目区农田生态系统能值分析框架图

Fig. 1 Energy analysis flow chart of farmland ecosystem

### 1.3 项目区农田系统能值分析指标

根据项目区农田生态系统能值分析框架,将农田生态系统能值投入与产出分为年可更新环境资源能值投入( $R$ )、年不可更新环境资源能值投入( $N$ )、年不可更新工业辅助能值投入( $F$ )、年可更新有机能值投入( $R_1$ )、工程工业辅助能值投入( $F_2$ )、工程可更新有机能值投入( $R_2$ )、年能值产出( $Y$ )等 7 个方面;其中年可更新与不可更新环境资源主要向系统输入光、热、风、雨水、表土等自然资源;年不可更新工业辅助能主要向系统供给化肥、农药、电力等工业资源;年可更新有机能主要向系统输入种子、人力等生物能量;工程工业辅助和工程可更新有机能主要

包含土地整治工程建设过程中的能值投入,表现为黄砂、块石、钢筋、水泥等建材以及机械与人力的投入。

以能值理论方法<sup>[20]</sup>为基础,结合农田生态系统能值投入、产出项目分类,构建土地整治项目生态影响评价指标体系。能值分析主要指标包括反映系统能值利用率的净能值(NEV);反映系统宏观经济价值的能值-货币价值(EM\$)<sup>[34]</sup>;反映系统功能性的能值自给率(ESR)与能值投入率(EIR)<sup>[34-35]</sup>;反映系统可持续发展能力的净能值产出率(EYR)、环境负荷指数(ELR)与可持续发展指数(ESI)<sup>[36-39]</sup>,以定量分析土地整治对农田生态系统的影响。各指标代号及其表达式见表 1。

表 1 土地整治项目区农田生态系统能值指标体系

Table 1 Energy evaluation indexes of farmland ecosystem

能值指标 Energy index	表达式 Formula	意义 Meaning
净能值(NEV)	$Y - T$	反映系统的能值利用率
能值-货币价值(EM\$)	$NEV / (\text{能值} / \text{货币比率})$	反映系统所产生的宏观经济价值
能值自给率(ESR)	$I / T$	反映系统自然资源依赖度与自给能力
能值投入率(EIR)	$U / I$	描述系统与外界交流程度与经济发展水平
能值产出率(EYR)	$Y / U$	反映系统反馈投入能值效率和系统竞争力
可持续发展指数(ESI)	$EYR / ELR$	衡量系统可持续发展能力
环境负荷率(ELR)	$(N + F + F_1) / (R + R_1 + R_2)$	反映系统对环境的压力和可持续性

注:  $T$ : 系统总能值输入;  $I$ : 系统环境资源投入;  $U$ : 总辅助能投入;

Note:  $T$ : Total energy investment;  $I$ , environment energy investment;  $U$ , auxiliary energy investment.

## 2 研究区与基础数据

### 2.1 研究区概况

“万顷良田建设”是江苏省针对区域土地资源特点和经济社会发展要求,探索集聚资源统筹发展路径下开展的规模化、集中性土地整治模式尝试,对增加有效耕地面积、提高耕地质量和推进城乡一体化的发展具有重要作用。宜兴地处江苏南部、太湖西岸,苏浙皖三省交界,本研究选取宜兴市万顷良田建设区进行案例分析。研究区涉及宜兴市芳桥镇、张渚镇、高塍镇、周铁镇4个乡镇的6个片区,22个行政村,地理坐标介于 $119^{\circ}35'37''\sim 119^{\circ}58'43''$  E、

$31^{\circ}15'40''\sim 31^{\circ}27'42''$  N,如图2所示。

研究区属亚热带季风气候,年平均日照时数为1 941.9 h,年辐射总量 $101.1\text{ kcal/cm}^2$ ,多年平均降雨量1 191.0 mm,年平均气温 $15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。项目区粮食作物以水稻、小麦、油菜为主。该项目于2007年实施,2009年竣工验收,建设规模 $3\,308.94\text{ hm}^2$ ,总投资13 812.47万元。主要工程建设内容包括填挖土方 $453.61\text{ 万 m}^3$ ,铺设硬化输水渠道 $353.52\text{ km}$ ,修建水泥路 $28.80\text{ km}$ 、砂石路 $82.75\text{ km}$ ,新建机耕桥34座,栽植防护林7.42万株。通过项目建设,增加耕地面积 $101.10\text{ hm}^2$ ,耕地质量等别由5等高等地提高到4等优等地。

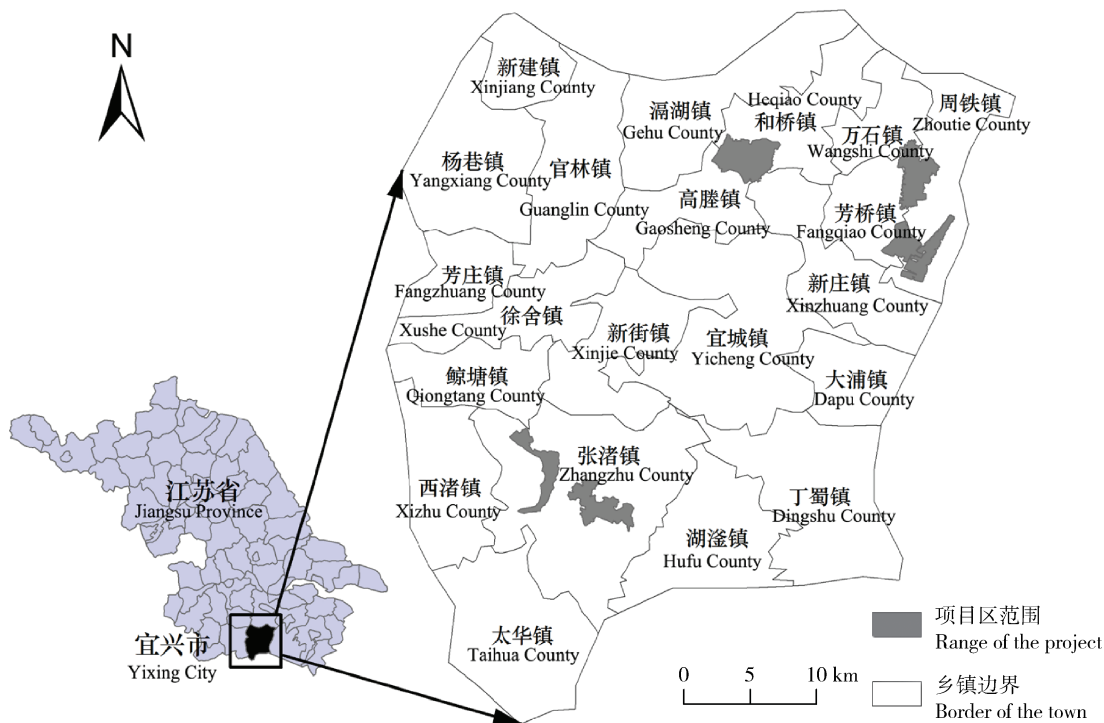


图2 研究区示意图

Fig.2 Location of study area

### 2.2 基础数据

根据能值测算方法<sup>[20]</sup>,合理计算项目区能值,在确定不同物料能量折算系数、能值转换系数等参数的基础上,结合项目区土地整治期间土地整治工程物料投入数据,以及项目实施前后的农资投入、农作物产出数据进行具体计算。

1)基础参数:能量折算系数和能值转换系数<sup>[20-21]</sup>。

2)试验数据:农资投入量、土地整治工程物料、电力投入、农作物产出量。

根据能值测算方法理论,合理计算项目区能值,

需要2006—2014年农田生态系统内农资投入数据、土地整治期间土地整治工程物料投入数据和2006—2014年农田生态系统农作物产出数据,以及各个不同物料的能量折算系数和能值转换系数。为实现能值计算的有效性和科学性,2006—2014年农田生态系统内农资投入和产出数据来源于《无锡统计年鉴》、《宜兴年鉴》,其中乡镇资料来源于《宜兴年鉴》和实地调研;土地整治工程物料投入来源于《宜兴土地整治项目规划设计书》和《宜兴土地整治项目预算表》。其中涉及到GDP的能值货币数据已经统

一汇率,且通过 GDP 平减指数剔除了价格上涨因素,这些数据通过能量折算系数以及能值转换系数的处理,得到表中数据。其中能量折算系数和能值转换系数不受领域、行业的影响,用于其他行业和领域的能值转化率同样适用于农田生态系统中物料投入产出。本研究所使用的基础数据包括社会经济统计资料(《无锡市统计年鉴》(2006—2014年)、《宜兴市统计年鉴》(2006—2014年)等)、土地整治项目建设资

料(项目规划设计和竣工验收资料等),以及实地调查资料(土地整治后项目区农资投入与农业产出数据等)。整治前后项目区均以种植水稻、小麦和油菜等粮食作物为主。为便于分析,本研究中忽略农田动物与农田微生物所包含及消耗的能量,具体工程施工和农业生产中物质投入产出计算参数见表2和表3,表中的能值转化率基准值采用  $9.44E+24$  sej/年,引用了蓝胜芳<sup>[19]</sup>、杨卓翔<sup>[25]</sup>等研究中的能值转化率。

表2 土地整治工程能值投入产出指标体系

Table 2 Emergy input-output of land reclamation project

项目 Item	原始数据 Original data	能值转化率	能值 Solar emergy	能值货币 \$
		sej/j 或 sej/g <sup>[19,25]</sup> Emergy transformity		Emergy-emdollar value
工程工业辅助 $F_1$				
碎石	1.16E+11	1.00E+09	1.16E+20	5.55E+07
黄砂	5.56E+10	1.00E+09	5.56E+19	2.66E+07
块石	9.43E+10	1.00E+09	9.43E+19	4.51E+07
锯材	1.73E+13	3.20E+04	5.53E+17	2.65E+05
钢筋	1.19E+08	3.02E+09	3.59E+17	1.72E+05
水泥	1.14E+10	1.29E+09	1.47E+19	7.03E+06
汽油	6.75E+09	1.86E+05	1.25E+15	5.98E+02
柴油	3.60E+10	1.86E+05	6.70E+15	3.21E+03
电力	6.44E+09	1.60E+05	1.03E+15	4.93E+02
小计			2.82E+20	1.35E+08
工程可更新有机能 $R_2$				
树苗	1.19E+13	3.20E+04	3.82E+17	1.83E+05
甲类工	5.94E+04	7.33E+07	4.36E+12	2.09E+00
乙类工	1.27E+05	2.46E+07	3.13E+12	1.50E+00
小计			3.82E+17	1.83E+05

注:黄砂密度:1 500 kg/m<sup>3</sup>;碎石、块石密度:1 450 kg/m<sup>3</sup>;白杨树苗:直径 0.04 m,高度 4 m。

Note: Sand density, 1 500 kg/m<sup>3</sup>; Stone density, 1 450 kg/m<sup>3</sup>. Sapling of white poplar; diameter 0.04 m, height 4 m.

表3 传统农田生态系统能值投入产出指标体系

Table 3 Emergy input-output of traditional farmland ecosystem

项目 Item	原始数据		能值转化率 <sup>[19,25]</sup>	能值	
	Original data		Emergy transformity	Solar emergy	
	2006年	2014年		2006年	2014年
年可更新环境资源 $R$					
太阳能	1.14E+17	1.18E+17	1.00E+00	1.14E+17	1.18E+17
雨水化学能	1.59E+14	1.65E+14	1.82E+04	2.90E+18	3.01E+18
雨水势能	2.53E+12	2.63E+12	1.05E+04	2.66E+16	2.76E+16
地球旋转能	2.69E+13	2.79E+13	5.80E+04	1.56E+18	1.62E+18
灌溉水	8.48E+13	1.10E+14	4.10E+04	3.48E+18	4.51E+18
小计				8.08E+18	9.29E+18

表3(续)

项目 Item	原始数据		能值转化率 <sup>[19,25]</sup>	能值	
	Original data		Emergy transformity	Solar emergy	
	2006年	2014年	Sej/J 或 sej/g	2006年	2014年
年不可更新环境资源 $N$					
表土层净损失	1.82E+07	1.32E+07	1.68E+09	3.07E+16	2.22E+16
小计				3.07E+16	2.22E+16
年不可更新工业辅助能 $F$					
电力	3.63E+12	3.58E+12	1.60E+05	5.81E+17	5.73E+17
农药	5.37E+11	5.29E+11	1.97E+06	1.06E+18	1.04E+18
氮肥	1.69E+13	1.66E+13	1.69E+06	2.85E+19	2.81E+19
磷肥	4.73E+07	4.66E+07	1.78E+10	8.41E+17	8.29E+17
钾肥	1.43E+12	1.41E+12	2.63E+06	3.76E+18	3.71E+18
复合肥	4.22E+08	4.16E+08	2.80E+09	1.18E+18	1.17E+18
农用机械	2.97E+09	2.93E+09	7.50E+07	2.23E+17	2.20E+17
农膜	6.86E+05	6.76E+05	3.80E+08	2.61E+14	2.57E+14
小计				3.61E+19	3.56E+19
年可更新有机能 $R_1$					
种子	8.71E+12	9.08E+12	6.50E+04	5.66E+17	5.90E+17
人力	8.07E+06	3.01E+06	2.46E+07	1.99E+14	7.42E+13
小计				5.66E+17	5.90E+17
年系统能值产出 $Y$					
水稻	2.76E+14	3.79E+14	5.18E+04	1.43E+19	1.95E+19
小麦	1.88E+14	2.37E+14	9.26E+04	1.74E+19	2.19E+19
油菜	3.20E+13	1.82E+13	8.88E+04	2.84E+18	1.62E+18
木材	0.00E+00	1.31E+13	3.20E+04	0.00E+00	4.20E+17
水稻秸秆	2.42E+14	3.69E+14	2.70E+04	6.52E+18	9.95E+18
小麦秸秆	2.19E+14	2.51E+14	2.70E+04	5.92E+18	6.78E+18
油菜秸秆	2.56E+13	9.72E+12	2.70E+04	6.92E+17	2.62E+17
小计				4.77E+19	6.04E+19

注:由于篇幅有限,文章仅给出整治前2006年数据与整治后2014年数据。

Note: Due to space limitation, only the data of year of 2006 which is before the land reclamation and the year 2014 which is after land reclamation is listed.

### 3 研究结果

参考 Odum<sup>[21]</sup> 提出的能值分析方法,结合相应数据,根据现有土地整治项目建设要求<sup>①</sup>,考虑到工程建设过程,本研究将土地整治全生命周期定为18年,其中项目建设期3年(2007—2009年),效益发挥期15年(2010—2024年)。假设效益发挥期后10年(2015—2024年)农资投入与作物产

出维持在2014年的水平,以下分别从项目建设-使用过程,以及全生命周期2个时间维度,采用净能值流、货币流、功能指标与可持续发展指标对研究区农田生态系统进行分析,项目建设-使用工程见表4,其中全生命周期指标计算采用累积值,即在土地整治工程实施到效益发挥的基础上计算得到研究区全生命周期内的能值变化情况,见图3和表5。

① 数据来源于土地整治项目规划设计。Data is adapted from land reclamation project planning and design.

表 4 研究区全生命周期内能值投入与产出变化表  
Table 4 Values changes of different project usage term of eco-flow indicators

生态流分析 Analysis of ecological flow	时间/年 Times																	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18				
年可更新环境资源(R)	8.08E+18	8.08E+18	8.08E+18	8.08E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18	9.29E+18			
年不可更新环境资源(N)	3.07E+16	3.68E+16	3.37E+16	3.22E+16	2.91E+16	2.67E+16	2.15E+16	2.18E+16	2.22E+16	2.22E+16	2.22E+16	2.22E+16	2.22E+16	2.22E+16	2.22E+16			
年不可更新工业辅助能(F)	3.61E+19	3.61E+19	3.61E+19	3.61E+19	3.97E+19	3.79E+19	3.46E+19	3.46E+19	3.46E+19	3.46E+19	3.46E+19	3.46E+19	3.46E+19	3.46E+19	3.46E+19			
年可更新有机能(R1)	5.66E+17	5.66E+17	5.66E+17	5.66E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17	5.90E+17			
工程工业辅助能值(F1)	0.00E+00	1.27E+20	8.44E+19	7.03E+19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00			
工程可更新能值(R2)	0.00E+00	1.34E+17	1.15E+17	1.34E+17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00			
生态产出(Y)	4.77E+19	3.81E+19	3.81E+19	3.05E+19	4.30E+19	4.77E+19	5.25E+19	5.78E+19	6.04E+19	6.04E+19	6.04E+19	6.04E+19	6.04E+19	6.04E+19	6.04E+19			
环境资源输入(I)	8.11E+18	8.12E+18	8.11E+18	8.11E+18	9.32E+18	9.31E+18	9.31E+18	9.31E+18	9.31E+18	9.31E+18	9.31E+18	9.31E+18	9.31E+18	9.31E+18	9.31E+18			
辅助能值输入(U)	3.67E+19	5.55E+19	5.55E+19	5.55E+19	5.91E+19	5.73E+19	5.40E+19	5.40E+19	5.40E+19	5.40E+19	5.40E+19	5.40E+19	5.40E+19	5.40E+19	5.40E+19			
总能值投入(T)	4.48E+19	1.72E+20	1.29E+20	1.15E+20	4.96E+19	4.78E+19	4.45E+19	4.45E+19	4.45E+19	4.45E+19	4.45E+19	4.45E+19	4.45E+19	4.45E+19	4.45E+19			
能值指标分析																		
净能值 NEV	2.87E+18	-1.34E+20	-9.12E+19	-8.47E+19	-6.63E+18	-1.33E+18	8.01E+18	1.33E+19	1.59E+19	1.59E+19	1.59E+19	1.59E+19	1.59E+19	1.59E+19	1.59E+19			
能值货币 EM\$	2.19E+06	-1.48E+07	-1.67E+07	-2.42E+07	-8.55E+06	2.54E+06	1.05E+07	2.00E+07	2.51E+07	2.51E+07	2.51E+07	2.51E+07	2.51E+07	2.51E+07	2.51E+07			
能值自给率 ESR	0.18	0.05	0.06	0.07	0.19	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21			
能值投入率 EIR	4.52	20.16	14.92	13.19	4.32	4.13	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78			
净能值产出率 EYR	1.06	0.22	0.29	0.26	0.87	1	1.18	1.3	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36			
环境负载率 ELR	4.18	18.58	13.76	12.12	4.02	3.84	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5			
可持续发展指数 ESI	0.25	0.01	0.02	0.02	0.22	0.26	0.34	0.37	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39			

注：假定第 8 年后农业投入和农业产出保持不变，限于篇幅，第 1~8 年提供逐年计算结果，第 8 年后每 2 年提供一次结果。

Note: Assume that agricultural materials input and agricultural output unchanged after 8 years, due limited to space limitation, data of 1 ~ 8 years to are provide calculation calculated results year by year, and after 8 years once every 2 years to provide the results are provided once every 2 years.

从项目建设-使用过程来看(图3),净能值流、能值货币、能值自给率、净能值产出、可持续发展指数均呈现先降低后增长的趋势,至第8年达到最大值,且随后保持平衡;环境负载率、能值投入率呈现出先增长后降低的趋势到第8年后达到最小值并且

开始保持平衡。从全生命周期来看土地整治工程给项目区带来一定经济效益,但导致项目区环境负载率上升、可持续发展系数降低。将整治后系统所实现的新的平衡状态(2024年)与整治前(2006年)相比,主要能值指标的变化情况如表5。

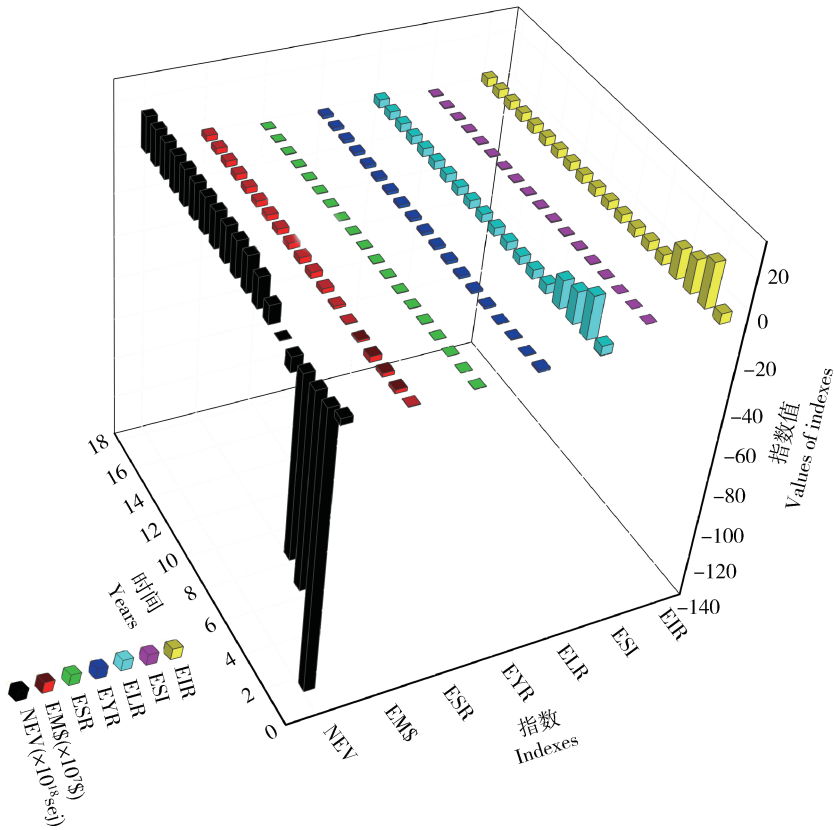


图3 研究区全生命周期能值变化图

Fig. 3 Energy changes of total project life cycle in the farm ecosystem

表5 全生命周期内项目区的能值指标变化

Table 5 The change of energy indexes on full life-cycle scale of project

指标 Index	整治前 Before land reclamation	整治后 After land reclamation	整治前后差值 Difference
净能值 NEV	2.87E+18	2.52E+19	2.23E+19
能值货币价值 EM \$	2.19E+06	3.13E+06	9.38E+05
能值自给率 ESR	0.18	0.16	-0.02
能值投入率 EIR	4.52	5.09	0.57
净能值产出率 EYR	1.06	1.04	-0.02
环境负载率 ELR	4.18	4.73	0.55
可持续发展指数 ESI	0.25	0.22	-0.03



### 3.1 系统净能值流

净能值是系统输出和输入的差值,可衡量系统整体状态和能值的利用率。其值为正,即外界能值投入产生了相应的能值产出,能值利用率较高;反之,系统的能值利用率较低,外界能值投入出现饱和或过量。

由图3可知,土地整治打破了项目区农田生态系统原有平衡。项目建设期间,大量的物料投入增加能值输入,而受工程建设影响,系统能值产出大幅减少,导致净能值产出在土地整治3年期间为负。效益发挥初期,工程投入停止,但工程建设造成的土壤扰动等影响依旧存在,使净能值流没有恢复到整治前水平,因此工程竣工后的第1年,生态盈余仍为 $-7.90E+18\text{sej}$ 。从第5年开始,生态系统净能值由负变正,第6年达到整治前水平,第8年土地整治带来生态效益开始稳定发挥,农田生态系统内的能值利用率提高。

由表5可知,全生命周期内,若不开展土地整治,净能值产出为 $2.87E+18\text{sej}$ ;土地整治后,净能值产出为 $2.52E+19\text{sej}$ ;土地整治工程给项目区带来 $2.23E+18\text{sej}$ 的净能值增长。

### 3.2 系统能值-货币流

能值-货币价值可衡量系统的宏观经济效益,指能值相当的货币价值,即将能值折算成市场货币时与之对等的货币量。由表4和图3可知,受土地整治影响,项目区能值-货币流呈现先减少再增加的趋势,其中土地整治工程第3年宏观经济效益最小为 $-2.42E+07\text{MYM}/\text{年}$ ,随时间推移,土地整治效益开始发挥,到第5年宏观经济效益开始恢复到土地整治前水平,第8年经济效益达到最大值 $2.51E+07\text{MYM}/\text{年}$ ,并且保持稳定。

全生命周期内,若不开展土地整治,宏观经济效益预计为 $2.19E+06\text{MYM}$ ;通过土地整治宏观经济效益为 $3.13E+06\text{MYM}$ ,土地整治给项目区带来的宏观经济效益为 $9.38E+05\text{MYM}$ ,按照周期内汇率取平均汇率换算成人民币为60.15万元。从经济学角度分析,土地整治项目共投入资金13 812.47万元,通过土地整治,竣工后年均节省农资投入55.77万元,年均增加农业产出41 60万元<sup>3</sup>。由此可知,土地整治项目实施过程中,短时间内取得经济效益尚不能弥补土地整治工程项目中投入的资金。

### 3.3 能值自给率与能值投入率

能值自给率与能值投入率是衡量环境资源贡献

率与经济发展程度的指标,一般受系统特征、经济技术水平、区域发展政策等因素的影响。若系统运行主要依赖本地环境资源或从外界获得较多可更新资源时,其能值自给率较高,能值投入率相对较低,对自然资源依赖度较强而系统经济发展程度较低。

由图3可知,受土地整治影响,项目区农田生态系统能值自给率与能值投入率至第6年后达到稳定状态,其中第1年的能值自给率最低(0.05)且能值投入率最高(20.16),随后能值自给率快速增长、能值投入率迅速降低,二者在第4年达到整治前水平,之后变化速度减缓,第8年保持稳定。

全生命周期内,项目区农田生态系统能值自给率由整治前0.18降为0.16;能值投入率由4.52增长至系统稳定后的5.09。表明土地整治增强了农田系统与外界的联系,为外界资源、商品、资金与服务的输入拓展了渠道,系统对自然资源依赖度减小,对外界输入资源的依赖度加大。

### 3.4 环境负载率

环境负载率为投入系统的不可更新能值与可更新能值的比值,是衡量系统内自然环境负荷程度的指标和生态系统对经济系统的警示。若系统长期处于较高的环境负载率,生态系统将发生功能退化或丧失。农田生态系统环境负载率受土地整治项目建设的影响(图3),6年后基本达到稳定,其中第1年环境负载率最大(18.58),随后迅速降低,第4年达到整治前水平,第8年环境负载率达到最小值(3.50),且随后保持稳定。

全生命周期内,项目区农田生态系统的环境负载率由4.18增加到4.73,表明生产过程中外界不可更新能值输入过量或本地不可更新资源过度开发。从能值投入角度来看,项目建设过程中大量工业辅助能值投入可能是环境负载率显著增加的主要原因。

### 3.5 可持续发展指数

可持续发展指数是能值产出率与能值环境负载率的比值,是衡量生态经济系统可持续发展能力的指标。Ulgiati等<sup>[35]</sup>认为可持续发展指数作为一个相对评估指标,ESI<1时,系统是高消费驱动的经济系统;1≤ESI<10时,系统处于富有发展潜力阶段;ESI≥10时,系统处于资源开发利用不足阶段。由图3和表4可知,项目区农田生态系统受土地整治的影响,第1年可持续发展能力最低(0.01),随后快速增长,第5年达到整治前水平,至第8年可持续

发展能力达到最大(0.39),且随后保持稳定。

全生命周期内,土地整治前后项目区农田生态系统可持续发展指数分别为0.25和0.20,均属于高消费驱动经济系统,依赖较高的经济资源投入驱动系统运转。与整治前相比,整治后可持续发展指数下降,项目区农田生态系统在较大幅度增加环境负荷的情况下未产生相应的增产效益,系统可持续发展能力减弱,可持续发展情况堪忧。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本研究在能值理论和传统农业系统能值结构的基础上,引入土地整治工程能值体系,提出土地整治项目区农田生态系统能值分析框架,从项目建设使用过程和项目生命周期2个时间维度,分析土地整治大规模、集中性的资源输入对项目区农田生态系统的影响,研究表明:

1)土地整治对项目区生态系统具有一定时期的扰动。从土地整治项目建设一使用的过程来看,净能值指标、能值货币指标、能值自给率、净能值产出率、系统可持续发展呈先下降后上升的趋势。主要因为整治期间大量物料的投入导致能值总量的增长,施工导致建设期项目区能值产出减小。与此同时,能值投入率指标、环境负载率指标在建设期内(1~3年)大幅度增加,系统对外界投入的依赖度陡增,系统所承受的环境压力陡增,随着工程竣工和生态防护工程的完善,在3~4年时指标数值有所下降,第8年开始稳定并达到新的平衡。土地整治投入的总能值中不可更新工业能值占到90%以上,大量不可更新能值的投入给项目区带来一定环境压力。

2)与整治前相比,整治后项目区内田块平整度、农田水利配套率、道路通达度等显著提升;项目区系统状态总体较优,生态产出增加 $1.01E+19$ sej,系统投入产出比增大,系统能值结构优化,可更新资源所占比重增加;但系统的环境负载率和可持续发展水平仍然堪忧。从生命全周期来看,能值自给率降低0.02,能值投入率增加0.57,环境资源对系统产生的贡献率下降,而工业辅助能值与工程辅助能值对系统产生的贡献率增加,系统对经济投入依赖度加强,系统自我更新能力及自我恢复能力减弱,环境负载率增加0.55,可持续发展系数降低0.03。

### 4.2 建议

针对土地整治中大量的能值投入导致净能值流

和能值货币流出现负值的情况,建议土地整治规划设计时,在关注通过田间、水、路、林基础设施建设提高土地综合生产能力的同时,应加强对项目区生态服务功能的分析,以降低整治后项目区的能值投入总量。力争以自然景观本底为基础,尽量减少对基础景观进行重大调整,注重农田原有基础设施与项目规划设计的衔接,合理利用农田原有沟渠、道路等,减少非必要工程投入,降低土地整治对生态系统的人为干扰。

针对土地整治中不可更新能值的大量投入导致项目区自我更新能力下降和环境恶化的情况,建议加强土地整治中生物措施的应用,避免过度依赖工程措施,降低沟渠、道路边坡硬化比例,采用具有地域特色的树种或草坪进行边坡治理与环境保护,减少高能耗块石、黄沙、钢筋、水泥等不可更新资源的使用量,尽量采用可更新或者低能耗工业辅助资源,优化能值投入结构,增强系统自给能力与更新能力,降低系统环境负载率,提高可持续发展能力。

## 参考文献 References

- [1] 国土资源土地整治中心. 土地整治蓝皮书:中国土地整治发展研究报告[M]. 2版. 北京:社会科学文献出版社,2015  
Land Management Center of Ministry of Land And Resources. *Blue Book of Land Consolidation And Rehabilitation: Research Report on Land Consolidation And Rehabilitation of China*[M]. 2<sup>nd</sup> ed. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2015 (in Chinese)
- [2] 国土资源土地整治中心. 土地整治蓝皮书:中国土地整治发展研究报告[M]. 北京:社会科学文献出版社,2014  
Land Management Center of Ministry of Land and Resources. *Blue Book of Land Consolidation And Rehabilitation: Research Report on Land Consolidation and Rehabilitation of China*[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2014 (in Chinese)
- [3] 石若明,朱海勇,陈灿. 基于规则库的三维土地整治规划[J]. 农业工程学报,2011(9):323-327  
Shi R M, Li H Y, Chen C. Land consolidation planning by using three dimensional visualization method based on rule base[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011(9):323-327 (in Chinese)
- [4] 黄辉玲,吴次芳,张守忠. 黑龙江省土地整治规划效益分析与评价[J]. 农业工程学报,2012,28(6):240-246  
Huang H L, Wu C F, Zhang S Z. Benefits analysis and evaluation on land consolidation planning in Heilongjiang province [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012,28(6):240-246 (in Chinese)

- [5] 朱晓华,陈秧分,刘彦随,张济,李亚云,丁晶晶. 空心村土地整治潜力调查与评价技术方法:以山东省禹城市为例[J]. 地理学报, 2010(6):736-744  
Zhu X H, Chen Y F, Liu Y S, Zhang J, Li Y Y, Ding J J. Technique and method of rural land consolidation potential investigation and assessment a case study of Yucheng City, Shandong Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010(6): 736-744 (in Chinese)
- [6] 杨伟,谢德体,廖和平,潘卓,朱琳,李涛. 基于高标准基本农田建设模式的农用地整治潜力分析[J]. 农业工程学报, 2013(7): 219-229  
Yang W, Xie D T, Miao H P, Pan Z, Zhu L, L T. Analysis of consolidation potential of agricultural land based on construction mode of high-standard basic farmland [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013(7): 219-229 (in Chinese)
- [7] 胡静,金晓斌,陈原,杨剑,周寅康. 土地整治重大工程项目建设监测管理系统的设计与实现[J]. 中国土地科学, 2012(7): 44-49  
Hu J, Jin X B, Chen Y, Yang J, Zhou Y K. Design and implementation of monitoring and management system for the key land consolidation and readjustment projects [J]. *China Land Sciences*, 2012(7): 44-49 (in Chinese)
- [8] 宋歌. 基于系统工程方法的农用地整治标准体系研究[D]. 南京:南京大学, 2013  
Song G. Construction of standard system of agricultural land consolidation based on systems engineering approach [D]. Nanjing: Nanjing University, 2013 (in Chinese)
- [9] 张庶,金晓斌,魏东岳,周寅康. 土地整治项目绩效评价指标设置和测度方法研究综述[J]. 中国土地科学, 2014(7): 90-96  
Z X, Jin X B, Wei D Y, Zhou Y K. Review on the index systems and methods on assessing the performance of land consolidation projects [J]. *China Land Science*, 2014(7): 90-96 (in Chinese)
- [10] 管棚,金晓斌,杨绪红,郭贝贝,周寅康. 中国农用地整理项目安排与耕地资源分布的协调性研究[J]. 自然资源学报, 2015(2): 226-234  
G X, Jin X B, Yang X H, Guo B B, Zhou Y K. Study on the coordination between farmland consolidation and cultivated land resources in China [J]. *Journal of Natural Resource*, 2015(2): 226-234 (in Chinese)
- [11] 王军,李正,白中科,鞠正山,王国茹. 土地整理对生态环境影响的研究进展与展望[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 340-345  
Wang J, Li Z, Bai Z K, Ju Z S, Wang G R. Progress and prospect of ecological environment impact of land consolidation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(1): 340-345 (in Chinese)
- [12] 陈荣蓉. 重庆丘陵山区农村土地整治工程及其景观效应[D]. 重庆:西南大学, 2012  
Chen R R. Rural land consolidation and its landscape ecological effect in Hilly-Mountainous region of Chongqing [D]. Chongqing: Southwest of University, 2012 (in Chinese)
- [13] 罗明,张惠远. 土地整理及其生态环境影响综述[J]. 资源科学, 2002(2): 60-63  
Luo M, Zhang H Y. Land consolidation and its ecological and environmental impacts [J]. *Resources Science*, 2002(2): 60-63 (in Chinese)
- [14] Bonfanti P, Fregonese A, Sigura M. Landscape analysis in areas affected by land consolidation [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 37(1/2): 91-98
- [15] Mihara M. Effects of agricultural land consolidation on erosion processes in semi-mountainous paddy fields of Japan [J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1996, 64(3): 237-247
- [16] 艾东,朱道林,赫晓霞. 土地整理与生态环境建设关系初探[J]. 生态环境, 2007(1): 257-263  
Ai D, Zhu D L, He X X. The relationship of land consolidation and bio-environmental rehabilitation [J]. *Ecology and Environment*, 2007(1): 257-263 (in Chinese)
- [17] 范金梅,王磊,陈原,张海峰. 关于中国农地整理中预测性环境影响评价问题[J]. 农业工程学报, 2005(10): 74-77  
Fan J M, Wang L, Chen Y, Zhang H F. Environmental impact assessment of rural land consolidation in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005(10): 74-77 (in Chinese)
- [18] 黄静,崔胜辉,李放一,邱全毅,马克明. 厦门市土地利用变化下的生态敏感性[J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7741-7449  
Huang J, Cui S H, Li F Y, Qiu Q Y, M k m. Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 7741-7449 (in Chinese)
- [19] 金丹,卞正富. 基于能值的生态足迹模型及其在资源型城市的应用[J]. 生态学报, 2010(7): 1725-1733  
Jin D, Biao Z F. Emergy-based ecological footprint model and its application to a natural resource dependent economy in Xuzhou City [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010(7): 1725-1733 (in Chinese)
- [20] 杨卓翔,高阳,赵志强,李双成. 基于能值分析的深圳市三个小型农业生态经济系统研究[J]. 生态学报, 2012(11): 3635-3644  
Yang Z X, Gao Y, Zhao Z Q, L S C. Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3635-3644 (in Chinese)
- [21] Odum H T. Emergy evaluation of an OTEC electrical power system [J]. *Emergy*, 2000, 25(4): 389-393
- [22] Odum H T. *Environmental Accounting Emergy and Environmental Decision Making* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1996
- [23] Brown M T, Ulgiatis. Emergy quality, emergy, and transformity: HT odum's contributions to quantifying and understanding systems [J]. *Ecological Modelling*, 2004, 178(1/2): 201-213
- [24] Brown M T, Odum H T, Jorgensen S E. Emergy hierarchy and

- transformity in the universe[J]. *Ecological Modelling*, 2004, 178(1/2):17-28
- [25] Odum H T. *Emergy: A Basis for Public Policy* [M]. New York: Wiley & Sons, 1994
- [26] 蓝胜芳. 城市经济系统能值分析[M]. 北京: 东方出版社, 2002  
Lan S F. *Emergy Analysis of the Urban Economic System* [M]. Beijing: Oriental Press, 2002
- [27] Ulgiatis S, Brown M T, Bastianoni S, Marchettini N. Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources[J]. *Ecological Engineering*, 1995, 5(4): 519-531
- [28] 杜博洋, 门明新, 许峰, 王树涛, 齐跃普, 李新旺. 基于能值分析的河北省农田生态系统资源环境效应综合评价[J]. 资源科学, 2008(8):1236-124  
Du F Y, Men M X, Xu H, Wang S T, Qi Y P, Li X W. Comprehensive evaluation of environmental resources and farmland ecosystems in Hebei Province based on emergy theory[J]. *Resources Science*, 2008(8):1236-1242 (in Chinese)
- [29] 付意成, 高婷, 闫丽娟, 张爱静, 阮本清. 基于能值分析的永定河流域农业生态补偿标准[J]. 农业工程学报, 2013(1):209-217  
Fu Y G, Gao T, Yan L J, Zhang A J, Ruan B Q. Agro-ecological compensation standard based on emergy analysis in Yongding River basin [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013(1):209-217 (in Chinese)
- [30] 熊凯, 杨钢桥, 蔡银莺. 基于能值理论的武汉市农田生态系统能值分析[J]. 农业现代化研究, 2010(6):738-741  
Xiong K, Yang G Q, Cai Y Y. Emergy analysis of farmland ecosystems in Wuhan based on emergy theory[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2010(6):738-741 (in Chinese)
- [31] 毛玮. 基于能值分析的黑龙江省林业生态经济系统可持续发展研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008  
Mao W. Study on forestry ecological and economic system substantial development of Heilongjiang Province based on emergy analysis[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2008 (in Chinese)
- [32] 崔丽娟, 赵欣胜. 鄱阳湖湿地生态能值分析研究[J]. 生态学报, 2004(7):1480-1485  
Cui L J, Zhao X S. Researches on the emergy analysis of Poyanghu wetland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004(7):1480-1485 (in Chinese)
- [33] Jiang Y, Fu M C, Wang Z, Ru J, Zhang Z Y, Zhang H J. Early warning of agricultural ecological security based on the emergy analysis in Wu'an City[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, (6):319-323
- [34] Odum H T. *Ecology and Economy: Emergy Analysis and Public Policy in Texas* [M]. Texas: The Office of Natural Resource and Texas Department of Agriculture, 1987
- [35] Chen Z M, Chen B, Chen G Q. Cosmic emergy based ecological assessment for a wetland in Beijing[J]. *Ecological Modelling*, 2011, 222(2):322-329
- [36] Rydberg T, Haden A C. Emergy evaluations of Denmark and Danish agriculture: Assessing the influence of changing resource availability on the organization of agriculture and society [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 117(2/3):145-158
- [37] Chen G Q, Jiang M M, Chen B, Yang Z F, Lin C. Emergy analysis of Chinese agriculture [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 115 (1/2/3/4):163-175
- [38] Martin J F, Diemont S A W, Powell E, Stanton M, Leavy-Tacher S. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 115(1/2/3/4):128-140
- [39] Ulgiatis, Brown M T, Bastianoni S, Marchettini N. Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources[J]. *Ecological Engineering*, 1995, 5(4):519-531

责任编辑: 王燕华