

# 基于能值理论的唐山市农业生态系统评价

郭力娜<sup>1</sup>, 张梦华<sup>1</sup>, 王海南<sup>2</sup>

(1. 华北理工大学 矿业工程学院, 河北 唐山 063009; 2. 首都经济贸易大学 财政税务学院, 北京 100070)

**摘要:**农业生态系统是人类赖以生存的基本系统。为更好地评价区域农业生态系统的运行状况和变化特点,了解区域资源、环境和经济间的关系,选取唐山农业生态系统为研究对象,基于能值分析理论与方法,通过编制能值评价指标体系,对唐山市农业生态系统能值投入和产出状况、能值自给率、净能值产出率、人均能值用量、环境负载率和可持续发展状况进行定量评价。结果表明:唐山市农业生态系统整体运行较差,农业生态系统为消费型经济系统,可持续性有待提高;以农业用电、农机动力、柴油和化肥为代表的不可更新工业辅助能值投入逐年增加,使得农业生态系统能值产出率和可持续发展指数有一定下降趋势,且增大了对生态环境的压力。研究建议唐山市发展生态农业和现代农业,应着眼于拓展农业多功能性,逐渐改变传统农业生产方式,突出农业生态内涵,进而改变农业生态系统的能值投入和产出结构,促进其可持续发展。

**关键词:**农业生态系统; 能值理论; 可持续性发展; 唐山市

**中图分类号:** F323.22; S181

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2017)02-0300-07

## Evaluation of Agricultural Ecosystems in Tangshan City Based on Energy Theory

GUO Lina<sup>1</sup>, ZHANG Menghua<sup>1</sup>, WANG Hainan<sup>2</sup>

(1. College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063009, China; 2. School of Public Finance and Taxation, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

**Abstract:** Agricultural ecosystem is a basic system for human to live. The agricultural ecosystems of Tangshan City were studied to better evaluate the operation status and development characteristics of regional agricultural ecosystem, and understand the relationship between the regional resources, environment and economy. The quantitative evaluation of energy input and output, energy self-sufficient ratio (ESR), energy yield ratio (EYR), energy per person (EPP), environment loading ratio (ELR) and energy sustainability index (ESI) were investigated by compiling the system of energy evaluation index based on the theory and methodology of energy. The results showed that the overall operation of agricultural ecosystems of Tangshan City was poor, which was consumer-based economy system, and the sustainable development needed to be improved. The unrenowable industry supplemental energy inputs represented by the agricultural consumption of electricity, mechanical power, diesel oil and chemical fertilizer had been increasing year by year, which led to the energy yield ratio and energy sustainability index of agricultural ecosystem to have the downward trend, and caused the environment loading ratio to rise. These results suggest that ecological agriculture and modern agriculture should be developed in Tangshan City, and focus on expanding agricultural versatility. Additionally, in order to promote the sustainable development of agricultural ecosystem, it is essential to change the mode of traditional agricultural production gradually, to highlight the connotation of ecological agriculture, and to change the energy input and output structure.

**Keywords:** agricultural ecosystems; energy theory; sustainable development; Tangshan City

当前,我国现代农业处于快速发展的初期阶段,传统的依靠资源投入的粗放型增长方式,对资源和环

境造成的压力日益突出。近年来,随着生态文明建设进程的不断推进,农业的多功能性逐步显化,由单一

的生产功能向观光、休闲、绿色、生态、文教等多功能转变,农业生产更加注重资源节约、环境友好,表现出低碳化、生态化的特征<sup>[1]</sup>。《2016年国家十三五规划》要求深入推进农业现代化和生态化、增强农业可持续发展能力、强调农业的生态功能,这不仅有助于人们重新审视农业的地位和作用,也有助于推进生态文明建设进程<sup>[2]</sup>。因此,有关农业生态系统的评价和价值核算一直是学术界研究热点。

在农业生态系统的有关评价研究中,能值分析是一种较好的基于系统生态学视角和生态流的定量评价方法。该理论和方法以能值为基准,通过创建能值评价指标体系对系统中不同种类、不可比较的能量的生态流(能量流、信息流、物质流、货币流、人口流)进行整合、分析、评价,弥补了传统方法中的诸多不足<sup>[3]</sup>。能值理论最早由美国著名生态学家 H. T. Odum<sup>[4]</sup>于20世纪80年代创立,他将能值定义为某种流动的或储存的能量包含着另一类别能量的数量,或者用于形成某种资源、产品或劳动的有效能量;随后, H. T. Odum<sup>[5]</sup>、S. Ulgiati<sup>[6]</sup>等人根据能值理论又进行了大量实例分析,从而奠定了能值理论与实例相结合的基础。我国于20世纪90年代初由霍华德·汤姆·奥德姆的第二次访华首次提及能值理论,并做了大量演讲;后经留美学者蓝盛芳<sup>[7]</sup>再次引入能值理论,并出版了我国第一本能值著作《生态经济系统能值分析》;随后严茂超<sup>[8]</sup>、隋春花<sup>[9]</sup>等人开始了内容更加广泛的能值理论研究。

唐山市被称为“中国近代工业的摇篮”,是国家重要的能源、原材料基地,然而,经济的快速发展也对环境造成了一定压力。随着党的十八大提出“转变经济发展方式,促进工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展”,以工促农、发展环境友好的现代农业,已成为唐山市经济转型升级的重要内容。基于此,本文以唐山市农业生态系统为研究对象,以能值理论为基础,对唐山市农业生态系统的运行特征和变化特点进行分析,通过编制能值评价指标就唐山市农业生态系统对自然环境的依赖程度和利用程度、农业迅速发展对生态环境带来的压力以及可持续经济发展状况进行量化研究,为唐山市生态农业和现代农业的发展提供借鉴和参考。

## 1 研究区农业概况

唐山市位于河北省东北部,地处环渤海湾、京津冀冀核心地带,其雄厚的工业基础为现代农业发展提供了充足动力。唐山是基础条件好的农业大市,属暖温带半湿润季风型大陆性气候、地貌多样,土质肥沃,土

地总面积 1 433 458.6 km<sup>2</sup>,是多种农副产品的富集产区,如唐山北部的干鲜果品、中部的农副产品、南部沿海的渔场和盐场等驰名中外。全市现辖7个市辖区、5个县,2个县级市,总人口753.16万人,其中农业人口502.25万人。近十年来,唐山地区农业、林业、畜牧业、渔业的产量均呈增长趋势,其种植业产量占总产量的80%以上,畜牧业占10%以上,渔业、林业所占比重较小。目前,唐山市已构建起“以粮食油料为基础,以畜牧渔业为主导,以蔬菜果品为支柱,以地方特有和新兴产业为特点”的产业格局。畜牧业建成滦县、滦南、丰润3个“全国牛奶生产强县”;渔业形成了以南部海水工厂化养殖、中北部淡水立体养殖为主的产业格局;蔬菜业建立了南部沿海设施精细菜、东部沙地优质西瓜、西部出口型蔬菜、北部食用菌等4大基地;果品业建成了北部山区特色坚果、浅山丘陵苹果、南部平原设施鲜果等生产基地。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本文所用的投入和产出数据来源于2009—2013年《唐山市统计年鉴》;各项能量折算系数、能值转换率参考李莎<sup>[3]</sup>、陈春兰等<sup>[10]</sup>、周科平等<sup>[11]</sup>;太阳能、风能、雨水势能、雨水化学能、地球循环能和净表土损失能的能量计算公式参考李莎<sup>[3]</sup>;种子的能量计算公式参考杜博洋<sup>[12]</sup>;其余各项能量计算公式=各项消耗量×能量折算系数<sup>[13]</sup>;各项能值计算公式=各项能量×能值转换率<sup>[13]</sup>。

### 2.2 能值理论分析思路

基于能值理论的农业生态系统评价的基本思路是:(1)构建基于投入、产出、综合评价的农业生态系统评价指标体系;(2)以能值为基准,结合能值转换率,将评价体系中不同种类、不可比较的能量流转换成具有同一衡量尺度的太阳能值;(3)根据能值评价指标对农业生态系统进行评价。

### 2.3 农业生态系统能值评价指标体系

(1)农业生态系统投入能值、产出能值评价指标体系。农业生态系统是一个有机整体,为了科学全面地评价系统的运行状况和发展特点,选择的评价指标应具有相对独立性。根据唐山统计年鉴(2009—2013)的记录,将唐山农业生态系统划分为投入总能值( $U$ )和产出总能值( $Y$ );系统的投入能按照能量来源可分为可更新环境资源投入( $R$ )、不更新环境资源投入( $N$ )、可更新有机能投入( $T$ )和不可更新工业辅助能投入( $F$ );系统的产出能按照农业产业结构可分为种植业、畜牧业、林业和渔业。

（2）农业生态系统综合能值评价指标体系。资源、环境和经济是构成区域农业生态系统的三大要素，三者之间的运行特点决定了区域农业生态系统的可持续发展能力和人民的生活水平。为了解唐山地区农业生态系统的自然资源蕴藏和利用情况、经济发展状况以及环境负载压力，从投入、产出、经济、环境、可持续发展角度出发，引入能值自给率(ESR)、净能值产出率(EYR)、人均能值利用量(EPP)、环境负载率(ELR)和可持续发展指数(ESI)5 个评价指标，建立见表 1 的唐山地区农业生态系统能值评价指标体系。

表 1 唐山农业生态系统综合能值评价指标

评价指标	表达式	含义
能值自给率(ESR)	$(R+N)/U$	系统发展对自然资源的依赖程度
净能值产出率(EYR)	$Y/(F+T)$	资源利用带来的经济效益和市场竞争力
人均能值利用量(EPP)	$U/P$	生活水平和生活质量的高低
环境负载率(ELR)	$(N+F)/(R+T)$	资源的蕴藏和利用状态
可持续发展指数(ESI)	$EYR/ELR$	区域可持续发展能力

注：(1)  $P$  为从事农业人口数；(2)  $U=R+T+N+F$ ；(3) ESR 值越大，系统发展对自然资源的依赖程度越大；(4) EYR 越大，资源竞争力越强，系统经济效益越高；(5) EPP 值越大，农民享受的生活水平和生活质量越高；(6) ELR 值越大，系统的资源利用率越高，环境承受压力越大；(7) 根据 Ulgiati S<sup>[6]</sup>的研究，当  $ESI<1$  时，区域农业生态系统为消费型经济系统，农业的能值收益不足，环境负载过大，当  $1<ESI<10$  时，区域农业生态系统富有活力和发展潜力，当  $ESI>10$  时，区域农业生态系统的可持续能力弱，区域农业生态系统对自然资源的开发程度较低。

3 结果与分析

3.1 唐山市农业生态系统评价指标量化结果

（1）唐山市农业生态系统的投入能值、产出能值评价指标量化结果。依据 2009—2013 年《唐山市统计年鉴》，选取 2008—2012 年唐山市农业生态系统的各项投入数据和产出数据，按照能量折算系数将各项初始数据折算成对应项能量(单位为 J 或 t)，然后按照能值转换率将各项能量转换成太阳能值，结果见表 2，表 3。

（2）综合能值评价指标量化结果。将计算好的投入能值和产出能值按照表 1 进行数据处理，得到表 4 的综合能值评价结果。

表 2 2008—2012 年唐山农业生态系统的投入能值

投入项目	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
太阳能	3.189E+19	3.168E+19	3.168E+19	3.188E+19	3.187E+19
风能	2.457E+17	2.441E+17	2.441E+17	2.456E+17	2.455E+17
雨水势能	8.800E+18	8.740E+18	8.740E+18	8.797E+18	8.792E+18
雨水化学能	3.267E+20	3.245E+20	3.245E+20	3.265E+20	3.264E+20
地球循环能	2.374E+20	2.358E+20	2.358E+20	2.373E+20	2.372E+20
可更新环境资源投入( $R$ )	3.267E+20	3.245E+20	3.245E+20	3.265E+20	3.264E+20
净表土损失	6.548E+19	6.504E+19	6.504E+19	6.546E+19	6.542E+19
不可更新环境资源投入( $N$ )	6.548E+19	6.504E+19	6.504E+19	6.546E+19	6.542E+19
农机总动力	2.658E+21	2.785E+21	2.916E+21	3.009E+21	3.101E+21
农业用电量	6.781E+21	7.311E+21	6.971E+21	8.124E+21	8.151E+21
柴油	8.155E+20	1.211E+21	1.216E+21	7.541E+20	1.135E+21
氮肥	6.671E+20	6.643E+20	6.655E+20	6.502E+20	6.396E+20
磷肥	6.561E+19	5.932E+19	5.855E+19	5.606E+19	5.904E+19
钾肥	4.577E+19	4.636E+19	4.732E+19	4.893E+19	5.096E+19
复合肥	3.918E+20	4.133E+20	4.158E+20	4.188E+20	4.338E+20
农药	9.130E+18	9.320E+18	1.011E+19	9.186E+18	9.288E+18
农膜	4.964E+18	4.806E+18	5.102E+18	4.283E+18	4.192E+18
不可更新工业辅助能投( $F$ )	1.144E+22	1.251E+22	1.231E+22	1.307E+22	1.358E+22
种子	2.411E+20	2.545E+20	2.595E+20	2.660E+20	2.607E+20
有机肥	4.572E+19	4.542E+19	4.542E+19	4.571E+19	4.568E+19
务农人员	2.579E+18	2.639E+18	2.666E+18	2.709E+18	2.698E+18
役畜劳动	3.881E+15	3.620E+15	3.261E+15	3.068E+15	3.011E+15
可更新有机能投入( $T$ )	2.894E+20	3.025E+20	3.076E+20	3.144E+20	3.091E+20
总投入( $U$ )	1.212E+22	1.320E+22	1.300E+22	1.378E+22	1.428E+22

注：(1)2008—2012 年的投入能值单位为 sej；(2)为避免重复计算，可更新环境资源的投入能值选取数值最大项，即雨水化学能。

表 3 2008—2012 年唐山市农业生态系统的产出能值

产出项目	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
稻谷	5.814E+20	6.323E+20	6.067E+20	6.272E+20	6.399E+20
小麦	6.292E+20	6.209E+20	6.536E+20	6.694E+20	6.800E+20
玉米	2.365E+21	2.519E+21	2.598E+21	2.666E+21	2.548E+21
谷子	1.654E+19	1.623E+19	1.521E+19	1.495E+19	1.521E+19
豆类	5.246E+20	5.503E+20	6.601E+20	6.080E+20	6.238E+20
薯类	5.370E+19	6.319E+19	1.218E+20	1.244E+20	1.247E+20
棉花	1.338E+21	1.161E+21	1.179E+21	1.098E+21	9.848E+20
油料	7.564E+21	7.370E+21	7.548E+21	7.554E+21	7.478E+21
烟叶	1.811E+17	1.802E+17	1.921E+17	1.928E+17	1.940E+17
麻类	8.746E+17	9.758E+17	9.051E+17	9.606E+17	1.033E+18
蔬菜	2.613E+21	2.643E+21	2.671E+21	2.778E+21	2.851E+21
水果	3.149E+21	3.203E+21	3.205E+21	2.082E+21	3.291E+21
瓜类	1.639E+20	1.653E+20	1.667E+20	1.704E+20	1.799E+20
种植业小计	1.900E+22	1.859E+22	1.943E+22	1.839E+22	1.942E+22
板栗	3.110E+20	3.849E+20	3.570E+20	4.236E+20	4.717E+20
核桃	5.086E+19	7.222E+19	6.706E+19	1.066E+20	1.981E+20
林业小计	3.619E+20	4.571E+20	4.241E+20	5.302E+20	6.697E+20
猪肉	6.315E+21	7.815E+21	8.327E+21	8.694E+21	8.827E+21
羊肉	2.477E+20	2.566E+20	2.676E+20	2.733E+20	2.735E+20
牛肉	1.433E+21	1.454E+21	1.514E+21	1.516E+21	1.521E+21
家禽肉	7.735E+20	8.346E+20	8.773E+20	9.390E+20	9.860E+20
奶类	1.478E+22	1.607E+22	1.610E+22	1.670E+22	1.696E+22
禽蛋	2.814E+21	2.927E+21	2.971E+21	3.105E+21	3.108E+21
蜂蜜	7.528E+16	6.835E+16	6.414E+16	5.176E+16	5.398E+16
畜牧业小计	2.636E+22	2.935E+22	3.005E+22	3.123E+22	3.167E+22
水产品	5.065E+21	5.268E+21	5.387E+21	5.509E+21	5.736E+21
渔业小计	5.065E+21	5.268E+21	5.387E+21	5.509E+21	5.736E+21
总产出(Y)	5.079E+22	5.403E+22	5.529E+22	5.566E+22	5.750E+22

注:(1)2008—2012 年的产出能值单位为 sej;(2)在林业的划分上没有木材这一项,是因为在唐山木材的消耗主要引自外地,本地木材砍伐量少,而且在唐山统计年鉴上也没有木材消耗量的记录。

表 4 唐山农业生态系统综合能值评价指标

评价指标	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
能值自给率(ESR)	3.24%	2.95%	3.00%	2.84%	2.74%
净能值产出率(EYR)	4.330	4.218	4.384	4.157	4.138
人均能值利用量(EPP)	3.768E+15	4.010E+15	3.910E+15	4.079E+15	4.246E+15
环境承载率(ELR)	18.675	20.049	19.571	20.499	21.480
可持续发展指数(ESI)	0.232	0.210	0.224	0.203	0.193

注:人均能值利用量(EPP)单位为 sej。

3.2 唐山市农业生态系统评价分析

3.2.1 投入能值评价分析 (1) 能值总投入(U)。唐山市农业生态系统的能值总投入(U)从 2008 年的 1.212E+22 sej 增加到 2012 年的 1.428E+22 sej (见表 2),增幅为 17.86%。根据表 2 绘制唐山农业

生态系统各投入部分能值变化图(见图 1),从图 1A 上看,对唐山市农业生态系统的能值总投入增长贡献比较大的是不可更新工业辅助能(F)和可更新有机能(T),涨幅分别为 18.75%,6.81%,2012 年,辅助能值(F+T)投入更是占到了总投入能值(U)的

97.26%,反映了唐山市农业生态系统对辅助能值依赖,说明农业生产仍属于传统的化工农业生产模式。

(2) 环境资源能值投入( $R+N$ )。包括可更新环境资源能值( $R$ )和不可更新环境资源投入( $N$ )。由表2和图1B可知,研究期间环境资源能值投入数值变化不大,其中可更新环境资源能值( $R$ )维持在 $3.245\text{E}+20\sim 3.267\text{E}+20\text{ sej}$ ,不可更新环境资源能值( $N$ )维持在 $6.500\text{E}+19\text{ sej}$ 左右,两者变化趋势一致。

可更新环境资源能值( $R$ )为雨水化学能,说明降水对唐山农业生产的重要作用。唐山市太阳辐射与耕地资源较为丰富,但地表水资源相对不足,2012年唐山水资源总量为 $24.31\text{ 亿 m}^3$ ,占全国总量的0.09%,人均水资源量为 $327.73\text{ m}^3$ ,仅占全国平均水平的15.77%,唐山水资源现状不能充分满足经济社会发展和农业用水需求,因此改善农田水利设施,发展节水农业对于稳定农业生产有重要意义。由于唐山地区年降水量不大,且地势相对平坦,加之土壤质地相对粘重,表土损失量不大,故不可更新环境资源( $N$ )年投入不大,约占0.29%,且研究期间净表土损失没

有扩大的趋势。

(3) 辅助能值投入( $F+T$ )。包含不可更新工业辅助能( $F$ )和可更新有机能( $T$ )。由表2和图1C可知,不可更新工业辅助能( $F$ )呈增加趋势,能值从2008年的 $1.144\text{E}+22\text{ sej}$ 增加到2012年的 $1.358\text{E}+22\text{ sej}$ ,2010年能值稍有降低。结合图1C对其投入结构进一步分析发现,农业机械总动力、农业用电量和柴油消耗量是不可更新工业辅助能的主要来源,2012年农业机械总动力、农业用电量、柴油消耗能值分别占不可更新工业辅助能的22.83%,60.00%,8.35%,农业的高投入主要是化石能源的大量投入,这势必会造成一定的资源环境压力。

由表2和图1D可知,可更新有机能( $T$ )呈持续增加趋势,能值从2008年的 $2.894\text{E}+20\text{ sej}$ 增加到2012年的 $3.091\text{E}+20\text{ sej}$ ,2011年为增长小高峰,这与种子能值、农业从业人员能值的变化趋势一致;2012年,种子能值为 $2.607\text{E}+20\text{ sej}$ ,有机肥能值为 $4.568\text{E}+19\text{ sej}$ ,分别占可更新有机能的84.35%,14.78%,这说明种子和有机肥是可更新有机能的主要来源。

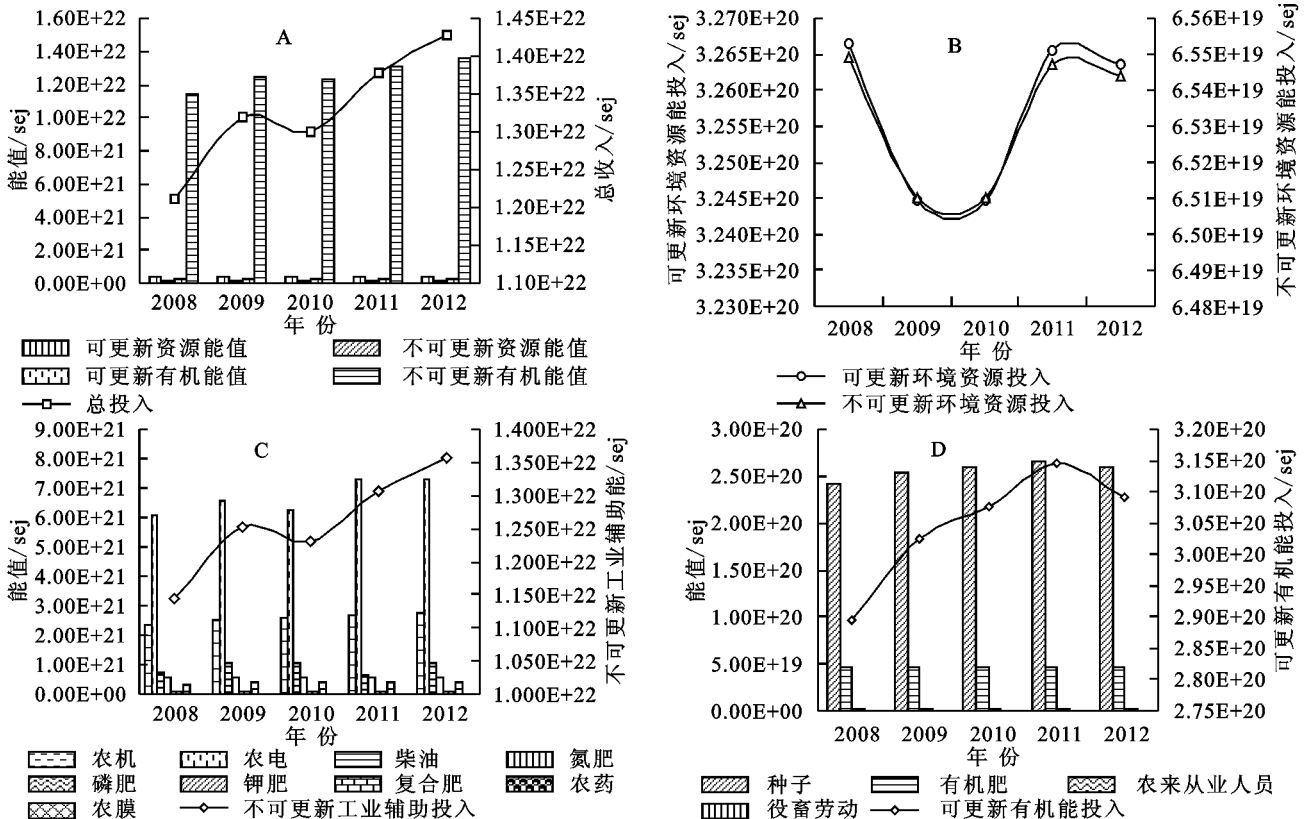


图1 2008—2012年唐山农业生态系统总投入能值及组成部分变化

3.2.2 产出能值评价分析 由表3绘制唐山市农业生态系统产出变化图(见图2),分析知,唐山市农业生态系统的产出能值( $Y$ )从2008年的 $5.078\text{E}+22\text{ sej}$ 增加到2012年的 $5.750\text{E}+22\text{ sej}$ ,增幅为13.22%。其中种植业、林业、畜牧业、林业分别增长2.20%,85.06%,

20.16%,13.24%;2012年,种植业、林业、畜牧业和渔业能值分别占总产出能值的33.77%,1.16%,55.09%,9.98%,说明了唐山农业的主导产业是种植业和畜牧业。

种植业能值产出缓慢增加,由2008年的 $1.900\text{E}$

+22 sej 增加到 2012 年  $1.942\text{E}+20$  sej,进一步分析其内部结构,发现种植业能值产出比重较大的主要是粮食种植(稻谷、小麦和玉米)、经济作物种植(棉花、油料、豆类和薯类)与果蔬种植。

林业能值由 2008 年的  $3.619\text{E}+20$  sej 增加到 2012 年的  $6.697\text{E}+20$  sej,增长幅度较大,其中板栗增加了 51.65%,核桃增加了 289.40%,这说明了林业有很大发展潜力。

畜牧业能值由 2008 年的  $2.636\text{E}+22$  sej 缓慢增加到 2012 年的  $3.167\text{E}+22$  sej,其中猪肉、家禽肉增幅分别为 39.79%,27.47%,这体现了唐山居民的生活质量逐步提高;2012 年,猪肉和奶类能值分别为  $8.827\text{E}+21$  sej, $1.696\text{E}+22$  sej,分别占畜牧业总能值的 27.87%,53.54%,说明了猪肉和奶类是畜牧业增加的主要来源。

渔业能值由 2008 年的  $5.065\text{E}+21$  sej 缓慢增加到 2012 年的  $5.736\text{E}+21$  sej,发展平稳,增幅不大,渔业发展相对缓慢。

农业能值产出基本符合唐山市目前已构建的“以粮食油料为基础,以畜牧渔业为主导,以蔬菜果品为支柱,以地方特有和新兴产业为特点”的产业格局特点,但林业和渔业发展还有待进一步加速优化。

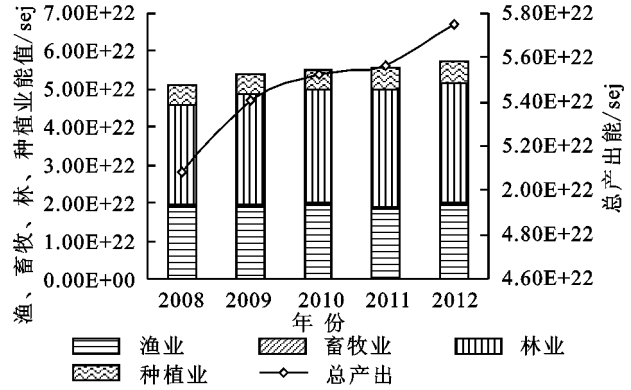


图 2 2008—2012 年唐山农业生态系统总产出能值及组成部分变化

3.2.3 综合能值评价分析 能值自给率(ESR)反映系统对自然资源的依赖程度。由表 4 可知,唐山市农业生态系统能值自给率(ESR)较低,数值介于 2.74%~3.24%,远远低于国内平均水平(0.3)<sup>[14]</sup>、日本(0.65)<sup>[14]</sup>和意大利(1.05)<sup>[14]</sup>等发达国家,且呈下降趋势,系统发展对自然资源的依赖性不强。究其原因,主要是化肥、农药及化石能源在农业的投入可以在短时间内提高农业的产出效率,受利益驱动,在成本合理范围内农业从业者多选择增加辅助能尤其是工业辅助能的投入来提高农业产出,而这种行为的长期持续将对会农业生态系统造成环境压力。但也

反映出唐山地区农业资源利用并不充分,没有充分发挥农业资源的有效价值。

净能值产出率(EYR)反映资源的竞争力。根据表 4,唐山市农业生态系统净能值产出率(EYR)数值介于 4.100~4.400,高于国内平均水平(1.42)<sup>[14]</sup>,但却逐渐降低。由于辅助能的大量投入,使得本地资源利用不够充分,从而表现出较强自然资源竞争力。

人均能值用量(EPP)可以反映农民生活水平和质量。根据计算结果(表 4),人均能值用量(EPP)逐渐增加(2010 年稍有降低),逐渐接近全国平均水平( $4.25\text{E}+15$  sej)<sup>[15]</sup>。这与唐山工业经济的积累符合,从工业辅助能值的高投入也可以看出,当地农民生活水平相对较高,可见唐山市已达到了工业反哺农业的阶段,雄厚的工业基础可以为现代农业发展提供充足动力。

环境负载率(ELR)反映系统对资源的利用率和环境压力。唐山市农业生态系统环境负载率(ELR)逐渐增加,由 2008 年的 18.675 增加到 2012 年的 21.480,不仅高于国内平均水平(2.08)<sup>[15]</sup>,也高于世界发达国家水平,如日本(14.4.9)<sup>[14]</sup>、意大利(10.43)<sup>[14]</sup>等,这说明了唐山地区农业发展具有高强度的能值利用。究其根源,不可更新工业辅助能(F)的高投入是增加环境压力的主要原因。唐山市农业生产应该减少化肥、农药、燃油的使用量,节约用电,合理分配资源,此外,唐山政府应该引进高科技资源帮扶农民,如改善农民落后的农机设备,使用新能源代替电力、化石燃油资源等等。

可持续发展指数(ESI)反映区域可持续发展能力,唐山市农业生态系统可持续发展指数(ESI)偏低(处于 0.193~0.232,且呈下降趋势),为消费型经济系统,农业的能值收益不足,环境负载过大,可持续发展并没有达到富有活力和发展水平的良好状态。分析其原因无不与不可更新工业辅助能(F)的基数过大、使用量过多有关。

根据表 4 绘制各综合评价指标变化图(图 3),进一步分析各综合指标间的关系。从图 3A 上看,能值自给率(ESR)和净能值产出率(EYR)基本呈正相关关系,进一步说明了唐山地区农业的高产来源于高投入。分析图 3B—C,能值自给率(ESR)和人均能值利用量(EPP)、能值净产出率均呈负相关,反映的是农民生活水平越高,越注重工业辅助能值的投入,从而表现出较低的能值自给率和产出率。根据图 3D 可持续发展指数(ESI)与环境负载率(ELR)呈负相关,与净能值产出率(EYR)呈正相关,说明净能值产出率越低,环境负载压力越大,可持续发展程度越低。

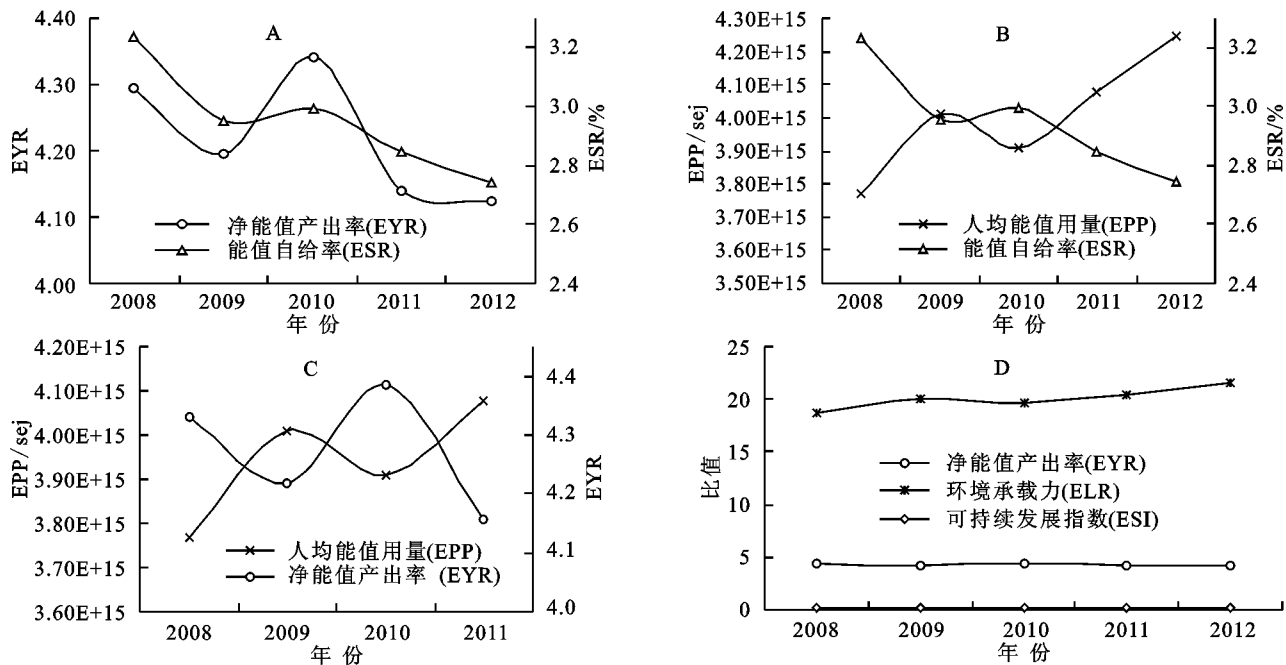


图3 2008—2012年唐山农业生态系统综合能值评价指标变化

## 4 结论与讨论

(1) 近年来,唐山农业生态系统能值投入和产出均呈增加趋势,且高产出来源于高投入,尤其是工业辅助能值的高投入。分析其原因,主要是唐山市工业基础雄厚,当地经济发展较好,农民以较高的经济投入来获取农业的高产出,农业生产仍处于传统的以化石能源投入为主的阶段。今后农业发展应注重增加科技投入,减少农药和化肥等能源使用量,改进农业机械动力,培育优质种子,同时提高农业资源开发利用的集约程度。

(2) 受工业辅助能值高投入的影响,唐山市农业生态系统能值自给率低,同时存在自然资源利用不充分的可能,但却造成了较高的环境载荷,降低了农业生态系统的可持续发展能力。农业发展对水需求量大,但唐山却是极度缺水城市,水资源存在供求矛盾,因此更要加强对降水资源的高效充分利用,农业发展要注重引入节水灌溉技术,使用节水机械,实施节水工程。

(3) 受唐山市“以粮食油料为基础,以畜牧渔业为主导,以蔬菜果品为支柱,以地方特有和新兴产业为特点”的农业产业格局的影响,唐山市农业生态系统表现出种植业和畜牧业能值产出占比较大,果蔬产出不断增长的趋势。受当前生产方式影响,果蔬种植多属于劳动密集和能源投入密集的作业方式,对工业辅助能值依赖性强,势必增加此类种植的工业辅助能值投入。不过,从能值产出结果看,唐山市渔业发展并没有表现出主导地位,今后应加强沿海海水养殖、

生态渔业、海洋渔业的新发展。

(4) 唐山市农业生态系统运行情况整体较差,可持续发展能力不高,故今后发展生态农业和现代农业,应着眼于拓展农业多功能性,逐渐改变传统化工农业生产方式,突出农业生态内涵,进而改变农业生态系统的能值投入和产出结构,促进其可持续发展。

(5) 受地理条件和气候条件的影响,能值转换率可能有不同的数值,本研究借鉴相关研究中用到的能值转换率,能值计算结果可能存在一定偏差。

### 参考文献:

- [1] 刘玉,唐林楠,潘瑜春,等.京津冀地区县域农产品生产功能的时空格局及耦合特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16):305-314.
- [2] 王磊,胡韵菲,崔淳熙,等.北京市农业生态价值评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(7):58-62.
- [3] 李莎.基于能值分析的湖南农业生态系统结构功能效率研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2011.
- [4] Odum H T. Self-Organization, Transformity, and Information[J]. Science, 1988, 242(4882):1132-1139.
- [5] Odum H T, Nilsson P O. Environmental Accounting-EMERGY and Environmental Decision Making[J]. Forest Science, 1997, 43(2):305-305.
- [6] Ulgiati S, Brown M T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems[J]. Ecological Modelling, 1998, 108(1):23-36.
- [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.

义。从研究内容来看,本文主要从时序角度分析了四川省耕地生态安全状况,并在此基础上进一步探讨其影响因素,仅仅把握了该省耕地生态安全总体状况。下一步还需着重从空间角度研究该省耕地生态安全空间变化状况,通过对该省21个市州耕地生态安全状况进行分析,以期为该省相关主管部门在耕地保护方面的决策管理提供参考,确保耕地生态保护政策及措施的有效实施。

#### 参考文献:

- [1] 贺雪峰.地权的逻辑.Ⅱ:地权变革的真相与谬误[M].北京:东方出版社,2013.
- [2] 李春华,李宁,石岳,等.两型社会建设背景下长株潭城市群耕地安全性评价[J].中国农学通报,2010,26(16):301-308.
- [3] 施开放,刁承泰,孙秀峰,等.基于改进SPA法的耕地占补平衡生态安全评价[J].生态学报,2013,33(4):1317-1325.
- [4] 刘圣欢,彭婵,董利民.江汉平原耕地资源生态安全研究[J].统计与决策,2014,22(3):119-121.
- [5] 乌云嘎,聂艳,罗毅,等.湖北省耕地生态安全时空演变特征研究[J].江汉大学学报:自然科学版,2015,43(4):317-322.
- [6] 赵宏波,马延吉.东北粮食主产区耕地生态安全的时空格局及障碍因子:以吉林省为例[J].应用生态学报,2014,25(2):515-524.
- [7] 任平,洪步庭,周介铭.长江上游农业主产区耕地生态安全评价与空间特征研究[J].中国人口·资源与环境,2013,23(12):65-69.
- [8] 张安,孙福军,贾树海,等. GIS在县域耕地生态环境安全评价中的应用研究:以凌源市为例[J].土壤通报,2013,44(2):292-295.
- [9] Beesley K B, Ramsey D. Agricultural land preservation[J]. International Encyclopedia of Human Geography, 2009,25(6):65-69.
- [10] Rasul G, Thapa G B. Sustainability analysis of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh[J]. World Development, 2003,31(10):1721-1741.
- [11] 孙飞,李青华.耗散结构理论及其科学思想[J].黑龙江大学学报自然科学学报,2004,21(3):76-79.
- [12] 毕宝德.土地经济学[M].6版.北京:中国人民大学出版社,2011.
- [13] 瓦哈甫·哈力克,史蒂文,杨晋娟.基于耗散结构理论的耕地系统生产能力评价[J].农业系统科学与综合研究,2010,26(2):186-191.
- [14] 许辉,雷国平,崔登攀,等.耕地生态安全评价研究:以黑龙江宁安市为例[J].水土保持研究,2011,18(6):180-189.
- [15] 陈文宽,杨春,李兰图.地震灾后重建村级土地协同调控效果评价研究:以四川省安县柏杨村为例[J].农业技术经济,2012(6):65-73.
- [16] 陈磊,陈燕,陈宇阳,等.四川省耕地演变时空特征及影响因素研究[J].广东农业科学,2015,42(20):176-181.
- [17] 李春华,李宁,史培军,等.基于信息熵的江苏省耕地安全系统演化分析[J].资源科学,2008,30(1):43-51.

(上接第306页)

- [8] 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].北京林业大学学报,2001,23(6):66-69.
- [9] 隋春花,蓝盛芳.广州与香港的环境经济能值分析[J].重庆环境科学,2003,25(1):47-48,55.
- [10] 陈春兰,侯海军,秦红灵,等.南方双季稻区生物质炭还田模式生态效益评价[J].农业资源与环境学报,2016,33(1):80-91.
- [11] 周科平,王明球,李斌,等.2012年湖南省农业生态系统的能值分析[J].水土保持通报,2015,35(1):297-302.
- [12] 杜博洋.河北省耕地系统能值分析[D].河北保定:河北农业大学,2008.
- [13] 曹志宏,郝晋珉,梁流涛.黄淮海地区农业生态经济系统能值分析[J].农业现代化研究,2009,30(4):466-470.
- [14] 邱翠华.基于能值分析的黄河下游平原农业生态系统可持续发展研究[D].河南开封:河南大学,2013.
- [15] Bastianoni S, Marchettini N, Panzieri M, et al. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area(Italy)[J]. Journal of Cleaner Production, 2001,9(4):365-373.