

河北种植生态经济系统能值分析

龚宇¹, 花家嘉¹, 高桂芹¹, 王璞²

(¹唐山市气象局, 河北唐山 063000; ²中国农业大学农学系, 北京 100094)

摘要:运用能值分析方法对2007年河北省种植业生态经济系统中的投入和产出状况进行了系统分析。结果表明:总能值投入为 7.97×10^{22} sej, 作物能值总产出为 3.24×10^{22} sej; 不可更新工业辅助能占总能值投入的52.9%, 可更新能值投入占总能值投入的比例为47.1%(可更新环境资源占20.9%、可更新有机能占26.1%), 系统能值货币比率为 1.98×10^{11} sej/元, 净能值产出率为0.51, 环境负荷率为1.13, 系统可持续发展指数为0.45, 种植业生态经济系统整体的回报率较低; 主要作物的能值产出依次为: 玉米>小麦>蔬菜>高粱>豆类>花生。

关键词:种植业生态系统; 能值分析; 河北

中图分类号:S181 文献标识码:A 论文编号:2009-0566

Emergy Analysis of Eco-economic System of Planting in Hebei Province

Gong Yu¹, Hua Jiajia¹, Gao Guiqin¹, Wang Pu²

(¹Tangshan Meteorological Bureau, Tangshan Hebei 063000;

²The College of Agronomy and Biotechnology, China Agriculture University, Beijing 100094)

Abstract: The analysis of emergy input and output of eco-economic system of planting in Hebei province in 2007 was conducted by using emergy analysis method. It showed that, the total emergy input and output of planting were 7.97×10^{22} sej and 3.24×10^{22} sej respectively. Of the total emergy input, unrenewable industrial emergy was 52.9%, and renewable emergy was 47.1% which including 20.9% of renewable environment resource and 26.1% of renewable organic emergy. The ratio of emergy and money, net emergy ratio, load ratio of environment, and sustainable development index were 1.98×10^{11} sej/yuan, 0.51, 1.13, and 0.45, respectively. Return from planting was low in general, and the emergy output of the main crops was maize > wheat > sorghum > legume > peanut.

Key word: eco-economic system of planting, emergy analysis, Hebei province

0 引言

20世纪80年代后期以美国著名生态学家H.T. Odum为首创立的一种新的系统分析方法和理论——能值分析(Emergy analysis)^[1], 是一种对环境-经济系统进行综合核算的定量研究方法, 一经提出便以他独到的研究角度获得广泛赞许, 20世纪90年代以来国内外关于能值分析研究更是显得非常活跃^[2-10]。这主要是因为通常人们对农业生产过程涉及两个系统(自然系统和社会系统)进行分析研究时常用到三种不同的方

法——能量分析(能量流)、经济分析(货币流)和物质核算(物质流)的方法, 没有将两者有机的结合起来进行分析应用。但能值分析的方法是在传统能量分析的基础上, 基于一切能量都始自太阳能的观点, 将任何资源、产品或劳务形成所需直接和间接的太阳能量就称为其所具有的太阳能值(solaremergy)^[11]。以太阳光焦耳(Solaremjoules, 缩写为sej)为计量单位, 把各种形式的能量转化为统一的能值标准单位, 着重于系统整体特征的分析, 不仅解决了传统能量分析方法中不同能

基金项目:国家自然科学基金“华北平原夏玉米季不同类型氮肥损失途径与高效利”(30571089), 唐山市科技发展计划项目“农村发展保障条件科技示范”(08120205A-1)资助。

第一作者简介:龚宇, 男, 1975年出生, 贵州遵义人, 博士, 主要从事气候与生态农业研究。通信地址: 063000 河北省唐山市裕丰街169号 唐山市气象局, Tel: 0315-2037043, Email: goonnow@163.com。

收稿日期: 2009-03-20, 修回日期: 2009-04-21。

量类别难于比较和加减的问题,并且从一个全新的角度来看待环境资源在生态系中的作用,因此特别适合比较分析不同类别能量,综合分析评价能流、物流和价值流。中国学者不断对其研究方法及其指标体系进行完善^[2],取得了可喜的成果。笔者在借鉴同类研究的基础上,定量分析产粮大省——河北省种植业生态经济系统中自然环境资源和人工辅助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,为合理开发农业资源,实现农业可持续发展提供新的理论视野和决策参考。

1 研究区概况

河北因位于黄河下游以北而得名,地处华北、渤海之滨,位于东经113°27'~119°50',北纬36°05'~42°40'之间,南北长约750 km,东西宽约650 km,总面积187 693 km²。气候属温带-暖温带、半湿润-半干旱大陆性季风气候。全省年平均气温在4~13℃之间,一月平均气温为-14~2℃,七月平均气温为20~27℃,大体东南高西北低,各地的气温年较差、日较差都较大,全年无霜期110~220天,日照时数2500~3063 h。全省年平均降水量分布很不均匀,年变率也很大,一般的年平均降水量在400~800 mm之间。燕山南麓和太行山东侧迎风坡有两个多雨区,张北高原降水一般不足400 mm。全省降水资源不足导致的水资源短缺问题已经成为农业发展的主要限制因素。作为中国重要粮棉产区,河北省大部分地区农作物可两年三熟,但各地耕作制差异很大。全省的粮食播种面积占耕地总面积的80%以上,主要粮食作物有:小麦、玉米、高粱、谷子、薯类等。经济作物以棉花最重要,是中国重要产棉基地。石家庄以南各县产棉集中,素有“冀南棉海”之称。此外,油料、麻类、甜菜、烟叶也重要,与棉花合为河北省五大经济作物。畜牧业是河北省仅次于耕作业的重要农业部

门。河北还是中国重要渔区之一,以沿海的秦皇岛为主要产出中心。

2007年,河北省全省人口6943×10⁴人,拥有耕地5893.6×10³ hm²,水产养殖面积27 126 hm²,海水养殖面积92 960 hm²。粮食产量2841×10⁴ t(其中小麦总产量1193.7×10⁴ t、玉米总产量1421.8×10⁴ t、豆类总产量42.8×10⁴ t),蔬菜总产量6916.4×10⁴ t,水产品90.64×10⁴ t。1978—2007年间,河北省国内生产总值(GDP)以平均10%以上的速度持续增长。2007年全省国内生产总值(GDP)为13 709.5×10⁸元,是改革开放初期的约100倍,其中第一产业生产增加值1 804.7×10⁸元,第二产业生产值7 241.8×10⁸元,第三产业增加值4 662.9×10⁸元^[13]。

2 资料与研究方法

2.1 数据来源

该研究的原始数据主要源于《河北省经济年鉴》^[13]、《中国统计年鉴》^[14]和《中国农业统计年鉴》^[15],能量折算系数,能值转换率和计算方法参照相关文献^[5,11,16-17],可更新有机能中的有机肥施用量来自于农户调查。

2.2 编制能值分析表

在收集河北省自然地理、社会经济等方面基础资料的基础上,运用能值理论和相关分析指标^[11,16-17]进行数据处理。根据该地区实际情况,以河北省2007年种植业生态经济系统中能量投入和产出数据为基础,选取可更新环境资源、不可更新工业辅助能、可更新有机能、作物产出数量等,基于收集的资料数据,按照相关折算规则将各类数据折算为J和g的能值分析原始数据,后将各原始数据乘以相应的太阳能值转换率,得到太阳能值,再按投入和产出分类编制,最终编制成2007年河北省农业生态经济系统能值投入表(表1)、能值产出表(表2)。

表1 河北省种植业生态经济系统能值投入(2007)

项目	原始数据/(J或g)	太阳能值转换率/(sej/J或sei/g)	太阳能值/(sej)
可更新环境资源			
太阳能	3.71E+21	1	3.71E+21
雨水化学能	1.37E+14	15444	2.12E+18
雨水势能	2.35E+17	8888	2.09E+21
地球旋转能	3.70E+17	2.90E+04	1.07E+22
风能	3.36E+17	663	2.23E+20
小计			1.68E+22
不可更新工业辅助能			
电力	5.37E+14	1.60E+05	8.60E+19
柴油	5.50E+15	6.60E+04	3.63E+120
N肥	1.58E+12	4.62E+09	7.29E+21

(续表1)

项目	原始数据/(J或g)	太阳能值转换率/(sej/J或sei/g)	太阳能值/(sej)
P肥	5.07E+11	1.78E+10	9.02E+21
K肥	2.54E+11	2.96E+09	7.51E+20
复合肥	7.74E+10	2.80E+09	2.17E+20
塑料薄膜	1.30E+11	3.80E+08	4.94E+19
农药	8.36E+10	1.62E+09	1.35E+20
农业机械	3.29E+14	7.50E+07	2.47E+22
小计			4.22E+22
可更新有机能			
人力	2.15E+16	3.80E+05	8.17E+21
畜力	1.91E+16	1.46E+05	2.79E+21
有机肥	1.70E+14	2.70E+06	4.59E+20
种子	4.67E+16	2.00E+05	9.34E+21
小计			2.08E+22

为了便于观察分析数据,将表1和表2的各项目合计进行汇总编制,得出河北2007年种植业经济系统能值投入—产出汇总表(见表3)。

2.3 建立能值指标评估体系

为分析各项投入产出能值所占比例,评价自然环境(可更新投入)与辅助能对种植业生态经济系统中

农业生产的贡献,根据种植业生态经济系统特点和析目的,将各项投入和产出数据进行相应比较,得出环境负荷率、辅助能值投入率、总能值产出率、有机能值投入率等能值指标,将这些数据与表达式汇总,编制成2007年河北省种植业生态经济系统能值指标评估体系(表4)。

表2 河北省种植业生态经济系统能值产出(2007年)

主要作物能值	原始数据/(J或g)	太阳能值转换率/(sej/J或sei/g)	太阳能值/(sej)
小麦	1.94E+17	6.80E+04	1.32E+22
玉米	2.29E+17	5.81E+04	1.33E+22
谷子	5.70E+13	5.81E+04	3.31E+18
高粱	8.43E+15	5.81E+04	4.90E+20
其他谷物	9.28E+15	6.60E+04	6.12E+20
豆类	8.94E+14	6.90E+04	6.17E+19
薯类	1.31E+14	2.70E+04	3.54E+18
花生	3.00E+14	5.81E+04	1.75E+19
棉花	1.21E+14	5.81E+04	7.04E+18
蔬菜	1.73E+17	2.70E+04	4.67E+21
小计	6.16E+17		3.24E+22

表3 河北省种植生态经济系统能值投入—产出汇总(2007年)

项目	代号或表达式	太阳能值 J
能值投入		
可更新环境资源	EmR	1.68E+22
不可更新工业辅助能	EmF	4.22E+22
可更新有机能	EmR1	2.08E+22
环境资源总投入	EmI=EmR	1.68E+22
总辅助能投入	EmU=EmF+EmR1	6.30E+22
总能值投入	EmT=EmI+EmU	7.97E+22
能值产出		
作物产出总能值	EmY	3.24E+22

表4 河北省种植业生态经济系统能值评估体系(2007年)

能值指标	表达式	数值
能值产出率	EmY/EmU	0.51
环境负荷率	$R=EmF/(EmR+EmR1)$	1.13
环境资源能值/总投入能值	EmI/EmT	0.21
工业辅助能值/总投入能值	EmF/EmT	0.53
有机辅助能值/总投入能值	$EmR1/EmT$	0.26
工业辅助能值/总辅助能值	EmF/EmU	0.67
有机辅助能值/总辅助能值	$EmR1/EmU$	0.33
化肥能值/不可更新工业辅助能	Fer/EmF	0.41
化肥能值/总能值投入	Fer/EmT	0.22
农业机械能值/不可更新工业辅助能	Mac/EmF	0.58
人力能值/可更新有机能	$Man/EmR1$	0.39
有机肥能值/可更新有机能	$Org/EmR1$	0.02
基于能值分析的种植业可持续发展指数	$EmY/EmU/R$	0.45

3 结果分析

2007年河北总能值投入为 $7.97 \times 10^{22} \text{ sej}$, 作物产出总能值为 $3.24 \times 10^{22} \text{ sej}$ 。

3.1 能值投入

3.1.1 可更新能值投入

(1) 可更新环境资源投入

通过对河北省2007年统计资料的调查,原始数据经过能量、能值两步计算,得到详细的种植业生态经济系统能值投入、产出与汇总表(表1、表2、表3),结果表明:2007年河北自然投入可更新环境资源 $1.68 \times 10^{22} \text{ sej}$, 占可更新总能值投入的44.6%, 占总能值投入的26.1%。主要是太阳光、雨水势能和地球旋转能,其中雨水势能占可更新环境资源能值投入的比例只有12.4%,说明当年降水能值对河北省种植业生产的能值投入比例不高。实际上当年降雨量只有356~608 mm,一定程度上也说明河北省自然降水不能满足农作物等植物生产的需要。

(2) 可更新有机能投入

可更新的有机能投入为 $2.08 \times 10^{22} \text{ sej}$, 占可更新的总能值投入的55.3%, 比农业机械投入能值少 $0.39 \times 10^{22} \text{ sej}$, 其中人力能值占可更新有机能值比例为39%, 可更新有机能占总能值投入的26.1%, 有机肥能值占可更新有机能值比例为2%。这说明该地区可更新有机能在种植生产中的投入并不高, 种植业投入中人力还占有一定的地位。

3.1.2 不可更新资源能值投入 2007年河北种植业生态经济系统能值投入中不可更新工业辅助能的投入为 $4.22 \times 10^{22} \text{ sej}$, 占了总能值投入的52.9%, 占总辅助能投入的67%, 说明种植业生产过于依附不可更新工业辅

助能的投入, 这不但产生了面源污染, 而且对种植业环境的其他方面如土壤等也造成了污染^[18-19]。种植业生态经济系统能值投入中可更新环境资源、不可更新工业辅助能和可更新有机分别占种植业系统能值投入总量的21.0%、52.9%、26.1%。不可更新工业辅助能中化肥的能值投入为 $1.73 \times 10^{22} \text{ sej}$, 为不可更新工业辅助能的40.9%, 占总能值投入的21.7%, 说明工业辅助能中主要以化肥为主, 根据优化施肥的相关知识可以判断当地化肥利用率比较低, 一定程度上成为种植成本增加的主要原因。不可更新工业辅助能中农业机械能值投入 $2.47 \times 10^{22} \text{ sej}$, 占不可更新工业辅助能的58%, 说明该地区农业种植中机械化操作程度比较高。

3.2 能值产出

农业生产系统的结构调整遵循生态经济原则。运用能值分析方法将各项农作物产出以同一量纲表示后有利于进行整体研究, 对其构成的分析则有助于剖析种植系统中各生产格局合理与否。从表2可以看出, 作物生产总能值中玉米、小麦产出能值分别为 $1.33 \times 10^{22} \text{ sej}$ 、 $1.32 \times 10^{22} \text{ sej}$, 所占作物总产出能值的比重分别为41.0%和40.7%, 蔬菜的比重也达到14.5%。主要作物的能值产出依次为: 玉米>小麦>蔬菜>高粱>豆类>花生, 该年的播种面积依次为: 玉米>小麦>蔬菜>棉花>花生>豆类。由此可见, 作为首都北京和天津市的蔬菜供应基地, 河北省的蔬菜种植已经在种植结构中占有绝对优势, 无论从生态经济学还是从保证京、津地区的蔬菜供应的角度看都是比较合理的。

3.3 能值-货币比率

能值货币比率是一个国家或地区一年使用的总能值与GDP的比值, 能值货币比值高, 代表每单位经济

活动所消耗的能值高,显示生产过程中使用资源所占的比重较大,比值小说明单位经济活动所消耗的能值低,但表示该地区的开发程度较大^[10]。发达国家的能值货币比率远远低于发展中国家^[12]。2007年河北省种植业总产值为 1639×10^8 元,因此其能值货币比率为 1.98×10^{11} sej/元。

3.4 能值指标评估体系分析

3.4.1 系统太阳能值转换率 该指标是农业系统总投入能值与产出总能值的比值,反映系统地位等级,与系统的能量等级密切相关。能值转换率越高,表明该能量的能级越高。2007年河北种植业系统太阳能值转化率为2.46。说明种植在该地区整个经济系统中的地位比较高,其持续和稳定发展更应受到重视。

3.4.2 净能值产出率 该指标是产出能值与经济投入能值(工业辅助能与有机能值之和)的比值,是评估资源利用效率的指标。河北2007年种植系统净能值产出率为0.51,小于1,说明河北种植系统能值利用效率很低,生产成本较高,生产者收益比较小,这是由于河北种植系统购买能值的投入比例较高,因而在同等条件下,其农产品的市场竞争能力并不强。

3.4.3 环境负荷率 该指标是经济能值与不可更新自然资源能值、可更新自然资源能值投入总和之比,体现系统对自然环境的压力大小。H.T.Odum认为,这个比率很像电路负荷一样,较高的比率数值说明在系统中存在高强度的能值利用和高水平的科技力量,同时对环境系统保持着较大的压力,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下,系统平衡很容易遭到破坏,产生不可逆转的功能退化或丧失。如表4所示,河北2007年的环境负荷率为1.13,表明该地区种植业发展对环境的压力相当大,也说明该地区种植业系统产出的农产品因较高的购买能值的投入而使生产成本较大,市场竞争能力相对较低。因此,应该适当减少某些高能值消耗的农作物的种植面积,保护生态环境,减少生产成本,提高种植效益。

3.4.4 可持续发展指数 基于能值分析的可持续发展指数(Emergy sustainable index, ESI)是对净能值产出率与环境负荷率的相对比较。当一个地区的净能值产出率高而环境负荷率低,则它的能值可持续发展指数表现较高,经济发展是可持续的,反之是不可持续的^[20]。李海涛等(2004)根据新疆能值分析表明,该值处于1~10范围则说明系统有活力、可持续,但大于10则是不发达的象征,小于1为消费型经济系统。河北省的这一指标值为0.45,表明河北种植业经济系统属于不可持续的消费型生态经济系统,见表4。

4 小结与讨论

通过对2007年河北省种植业生态经济系统的能值投入、产出和构成、能值评估体系的分析,可以总结如下:

(1)总体评估可见,该地区不可更新能值的投入比例较大,工业辅助能值的投入比较高,说明种植系统的发展是以耗竭环境资源为代价的不可持续的生产方式,应该引起农业部门、环保部门、水利部门等的高度重视。今后持续农业发展中应加大科技辅助能值,以优化施肥为基础,合理减少化肥投入为代表,适当降低工业辅助能投入。

(2)科学技术是高能值转换率、高能值、高等级的能量,大力提高科学技术在农业生产中的应用水平是发展现代可持续农业的关键。中国传统的农业技术如间作、套作、精耕细作等相对于机械化种植,对于减少化肥、农药和石油消耗,提高土壤肥力,促进能量和物质的转化效率又重要作用。河北种植业今后可持续发展研究的重点,应在传统技术的基础上,结合现代生物技术,发展肥料利用率高,水分利用效率高的作物品种,并应用生态工程技术等,探索建立多层次、高功效的生态农业。

(3)降水资源的不足,影响了雨水化学能和雨水势能的投入,直接影响河北省可更新环境资源的能值投入比例,也影响河北省种植业生态经济系统能值评估体系之间的关系。从这一角度上可以看出降水资源是河北省种植业生态经济系统的一个限制因子,这与实际的河北省水资源不足导致的干旱问题、地下水超采问题现实是一致的。河北省是中国产粮大省和重要的商品粮生产基地之一,该地区的种植业可持续发展对国家整体粮食安全生产具有非常重要的意义。按照能值理论分析,一个理想的可持续发展系统应该具有较高的能值产出率和相对较低的环境负荷率,这样的系统才能与外界保持良好的物质和能量交换,提高自身的平衡能力,实现可持续发展。基于能值分析表明,在工业辅助能投入占了很大比例、能值产出率比较低的情况下,克服作物增产限制因子,调整种植投入方向应该是河北省作物增产战略调整重点之一。由于该地区拥有丰富的光、热资源、化肥投入已经过大,因此目前应该适当调整种植业增产投入战略,努力解决以水资源短缺的作物增产限制因子。

(4)该研究将河北省种植业生态经济系统作为一个整体进行,对河北省辖范围内各地区之间种植业系统能值差异等没有进行深入研究。实际上,河北省内拥有高山、丘陵和平原,滨海和内陆等各种地形与位置

差异的种植生态系统,相互之间的能值指标还有一定的差异。能值分析理论作为生态经济系统研究的一个新角度,下一步可应用于河北省不同种植生态经济系统的对比研究。

参考文献

- [1] ODUM H T, ODUM E C. Ecology and economy: Energy analysis and public policy in Texas[C]//Policy Research Project Report. Austin, USA: Lyndon B.Johnson School of Public Affair, University of Texas, 1987: 163-171.
- [2] LANG S F, Odum H T, Liu X M. Energy flow and emergy analysis of the agroecosystems of China[J]. Ecologic Science, 1998, 17(1): 33-39.
- [3] 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: 531-569.
- [4] ULGIATI S, ODUM H T, BASTIANONI S. Energy analysis of the Italian agricultural system—the role of energy quality and environmental inputs[C]//Bonati L, et al eds. Trends in Ecological Physical Chemistry. Milan: Elsevier, 1992: 187-215.
- [5] YAN Maochao, Odum H T. New visual angle to view eco-economic system emergy evaluation case studies of chinese regional eco-economic system[M]. Beijing: China Zhigong Publishing House, 2001:128-137.
- [6] 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): 117-125.
- [7] 周建, 齐安国, 袁德义. 湖南省生态经济系统的能值分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 488-494.
- [8] 张耀辉, 蓝盛芳, 陈飞鹏. 海南省农业能值分析[J]. 农村生态环境, 1999, 15(1): 5-9.
- [9] 刘继展, 李萍萍. 江苏种植业系统能值分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(1): 29-33.
- [10] 李海涛, 严茂超, 沈文清, 等. 新疆生态经济系统的能值分析与可持续发展研究[J]. 干旱区地理, 2001, 24(4): 289-296.
- [11] 严茂超, 李海涛, 陈鸿, 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.
- [12] 陆宏芳, 蓝盛芳, 李雷等. 评价系统可持续发展能力的能值指标[J]. 中国环境科学, 2002, 22(4): 380-384.
- [13] 河北省统计局, 河北经济年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [14] 中华人民共和国统计局, 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [15] 中国农业年鉴编委会, 中国农业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [16] 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: 216.
- [17] 陈卓. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 260-261.
- [18] 王秀兰, 王喜诚. 河北省污染源状况分析与研究[J]. 水科学与工程, 2004, (6): 56-59.
- [19] 王桂玲, 王丽萍. 罗阳. 河北省面源污染分析[J]. 海河水利, 2004, (4): 44-47.
- [20] 熊晓波, 代力民, 邵国凡, 等. 生态经济系统的能值分析与可持续发展—以吉林省延边地区为例[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 206-211.