

# 哈尔滨市农业生态系统能值分析

裴雪, 侯淑涛, 谢英楠, 米蜜, 郭思娇

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:**应用能值分析理论与方法对哈尔滨市农业生态系统 2000—2009 年的能值变化及可持续性动态进行了分析。结果表明:哈尔滨市农业生态系统总能值用量呈不断波动趋势,农业生态系统维持对不可更新工业辅助能的依赖性较大,环境负载率居国内较高,可持续性发展压力较大。未来农业生态系统管理要大力发展节水灌溉农业;应积极引进先进技术,增加劳动力的智力资源能值投入,调整工业辅助能投入,提高能值受益率;并探索建立多层次、高功能的生态农业模式。

**关键词:**生态经济学;农业生态系统;能值分析;哈尔滨

**中图分类号:**X171.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)01-0220-04

## Analysis on Energy of Agricultural Ecosystem in Harbin City

PEI Xue, HOU Shu-tao, XIE Ying-nan, MI Mi, GUO Si-jiao

(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Energy change and sustainability dynamics of Harbin agricultural ecosystem from 2000 to 2009 were analyzed. The results showed that total energy use of agricultural ecosystem had the trend of constantly fluctuating. The agricultural ecosystem greatly depended on the un-renewable industrial auxiliary energy, moreover, the environmental load rate of Harbin was higher in China, and had big pressure on sustainable development. The direction of development on agricultural ecosystem in the future must focus on the development of water-saving irrigation agriculture; at the same time, the advanced technology must be introduced, and the input of intellectual resources should be increased. The government should adjust the investment of industrial auxiliary energy, and improve benefit response rate of energy; last but not least, explore and establish multi-level and high-function eco-agricultural model.

**Key words:** eco-economics; agricultural ecosystem; analysis of energy; Harbin

能值(Energy)分析是美国著名生态学家 Odum 在能量系统分析基础上于 20 世纪 80 年代创立的新理论和新方法,他把能值定义为产品或服务形成过程中直接和间接消耗的一种类型的能量的总和<sup>[1]</sup>。该方法不仅克服了传统能量分析中不同类别不同性质的能量难以比较和加减的问题,而且从全新角度分析资源环境在各个生态系统中的作用,为准确评价资源环境价值提供了科学依据<sup>[2]</sup>。

本文将能值理论和方法引入对哈尔滨农业生态系统的研究中,从生态环境角度定量分析可持续发展状态下农业生态系统的各项能值指标,衡量人和环境对农业生态系统的贡献,为该区农业生态系统可持续发展提供理论依据。

## 1 研究区域、方法及数据

### 1.1 研究区概况

哈尔滨是黑龙江省省会,位于东经 125°42′—130°10′,北纬 44°04′—46°40′,地处东北亚中心位置,是我国省辖市中面积最大、人口居第二位的特大城市。哈尔滨市辖 8 区 10 县,土地总面积 5.31 万  $\text{hm}^2$ ,其中耕地面积 1.79 万  $\text{hm}^2$ ,占全市土地总面积的 33.71%。全市总人口 991.6 万人,其中农业人口 514.6 万人,占全市总人口的 51.9%。该地属温带季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温 3.7℃,最高月平均气温 21.6℃,最低月平均气温 -18.4℃,冬季的哈尔滨有冰城之称。全年日照时数 2 450.3 h,年太阳辐射

总量在  $4.6\times10^9\sim5.0\times10^9\text{ J/m}^2$  之间,降水主要集中在 6—9 月,2009 年全年降水量 584.2 mm。

1.2 能值分析及计算方法

本研究选取 2000—2009 年农业生态系统的物质和能量数据指标,根据各种资源(物质、能量)相应的能量折算系数和太阳能值转换率,将不同类别能量(J)或物质(g)转换为统一度量的能值单位(sej)。其中能量折算系数、太阳能值转换率及能值分析与计算方法参考蓝盛芳等<sup>[3]</sup>、骆世明等<sup>[4]</sup>的研究成果。

在此基础上,根据研究需要对系统投入与产出和典型指标进行分析。从而对哈尔滨市农业生态系统产生效率、经济发展程度、资源环境压力和系统可持续性进行评价,为区域农业可持续发展战略制定提供依据。

1.3 数据来源

本文数据来源于 2000—2009 年哈尔滨市统计年鉴及通过实地考察和农户访问的方法获取的研究区自然、社会和经济等方面的基础数据。

2 实证应用分析

2.1 农业生态系统的能值投入分析

农业生态系统是一个社会、经济、资源和环境的综合系统,能值的持续输入是农业生态系统发展的基础条件<sup>[5-6]</sup>。根据能值理论的有关概念和研究方法,对哈尔滨市 2000—2009 年农业生态系统的投入产出状况进行分析,具体计算结果见表 1。表 1 表明,哈尔滨市 2000—2009 年农业生态系统的能值投入呈缓慢上升趋势,由 2000 年的  $1.03\text{E}+22\text{ sej}$  上升到 2009 年的  $1.49\text{E}+22\text{ sej}$ ,增幅达 44.51%,年均增长率 4.45%。由于可更新的环境资源能值投入取决于气候

变化(日照时数长短、年降雨量、风速等),可更新资源能值的投入随气候变化在 17.27%~20.99% 区间波动。其中雨水化学能形成的能值量最大,占可更新环境资源投入的 28.44%~33.90%。不可更新环境资源能值投入占总能值投入的比例呈现缓慢下降趋势,由 2000 年的 7.63% 下降到 2009 年的 6.02%。其中不可更新的工业辅助能值投入最大,占总投入量的 54.26%~67.91%,呈缓慢上升趋势,并从 2006 年起高于世界平均水平(62%),其中 2008 年工业辅助能值投入比重最大。在工业辅助能值中,投入较大属柴油和电力,二者共占工业辅助能值的 57.57%~64.16%,其次是农用机械,占 12.70%~18.14%。有机能的投入呈下降趋势,从 2000 年的  $9.80\text{E}+19\text{ sej}$  下降到 2009 年的  $8.23\text{E}+19\text{ sej}$ ,更多被化肥所代替。在哈尔滨农业生态系统中,购买能值占能值总投入的 72.38%~75.97%,环境资源能值占能值总投入的 24.03%~27.62%。购买能值投入远远大于环境资源能值的投入。

上述数据表明,随着农业结构的调整和科技的不断进步,农业生产中更注重机械化和自动化,机械能、电力、燃油的投入不断提高。哈尔滨农业生产方式已经摆脱传统的人力蓄力的老生产规模,正在走向科技化、专业化、自动化的先进生产模式。但在农业生产中人们更注重工业辅助能的投入,社会经济购买能值输入较高,农业经济发展过程中对外来资源的依赖性较大。在工业辅助能中,化肥、农药的长期投入会使土壤板结、营养元素失衡,肥力下降,水土流失增加,这是导致区域生态服务功能下降的因素之一。因此要适当控制工业辅助能的投入,使其发挥最大效率。

表 1 哈尔滨农业生态系统能值投入产出指标

指标	太阳能值/sej									
	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
可更新资源 R ( $10^{21}\text{ sej}$ )	1.88	2.03	2.12	2.16	2.40	2.43	2.77	2.29	2.52	2.86
不可更新资源 N ( $10^{20}\text{ sej}$ )	7.88	7.98	8.10	8.11	8.24	8.32	8.76	8.97	8.99	8.99
工业辅助能 F ( $10^{21}\text{ sej}$ )	5.70	5.70	6.25	6.32	7.34	7.70	8.28	8.91	9.39	10.12
有机能 T ( $10^{21}\text{ sej}$ )	1.97	1.97	1.94	1.73	1.59	1.55	1.28	1.17	1.01	1.04
能值总投入 ( $10^{22}\text{ sej}$ )	1.03	1.05	1.11	1.10	1.21	1.25	1.32	1.33	1.38	1.49
农产品小计 ( $10^{22}\text{ sej}$ )	1.13	1.11	1.23	1.37	1.89	1.87	1.63	1.14	1.55	1.50
水产品小计 ( $10^{21}\text{ sej}$ )	1.65	1.72	1.79	1.81	1.47	2.02	2.14	2.21	1.57	1.74
畜产品小计 ( $10^{22}\text{ sej}$ )	1.38	1.50	1.62	1.77	1.96	2.15	2.16	2.00	2.13	2.26
能值总产出 ( $10^{22}\text{ sej}$ )	2.67	2.78	3.04	3.32	3.99	4.22	4.01	3.36	3.83	3.94

2.2 农业生态系统的能值产出分析

依据能值转换率计算的系统产品能值组成(表 1)可知:该区农业生态系统以种植业和畜牧业为主,渔业所占能值比例较小。种植业中以水稻、玉米、豆类为主,占种植能值的 95% 以上。牧业以肉类、奶类、禽蛋

为主。研究时段内,哈尔滨市农业生态系统总能值产出介于  $2.67\text{E}+22\sim4.22\text{E}+23\text{ sej}$ ,呈波动上升趋势,农牧渔业产出能值平均分别占 40.86%,53.88%,5.26%,畜牧业能值比例已超过种植业。曾经以种植业为主导的农田生态系统结构有逐渐转为以畜牧业

为主导的趋势,但目前二者所占比重差距不是很大。

哈尔滨市农业生态系统能值产出,一是与区域地势平坦,农业人口密集及农业种植传统有关;二是与区域长期形成的家庭养殖传统及随着人民生活水平提高,对肉、蛋、奶需求的增加有关;三是与经济利益

驱动和政府政策的鼓励与引导有明显的关系<sup>[7-8]</sup>。

2.3 农业生态系统能值典型指标分析

通过以下能值典型指标(表 2),从系统的生产效率、环境压力、经济发展程度、可持续性角度对哈尔滨市农业生态系统进行分析。

表 2 哈尔滨农业生态系统能值典型指标

指标	表达式	太阳能值/sej									
		2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
净能值产出率(EYR)	$Y/U$	3.48	3.62	3.71	4.12	4.48	4.56	4.20	3.34	3.69	3.52
能值自给率	$I/E$	0.26	0.27	0.26	0.27	0.27	0.26	0.28	0.24	0.25	0.25
能值投资率(EIR)	$U/I$	2.87	2.71	2.79	2.72	2.77	2.83	2.62	3.16	3.04	2.98
环境负载率(ELR)	$(N+F+T)/R$	4.50	4.17	4.24	4.11	4.07	4.14	3.76	4.79	4.48	4.23
可持续发展指数(ESI)	$EYR/ELR$	0.77	0.87	0.88	1.0	1.10	1.10	1.11	0.70	0.82	0.83

2.3.1 净能值产出率(EYR, Energy Yield Ratio)

EYR 指标是衡量系统是否具有竞争力和系统产出对经济贡献大小的指标。如果 EYR 小,说明该种资源的竞争力较弱,开发时产生的回报效益较低;反之,则竞争力较强,开发效益较高<sup>[9-10]</sup>。哈尔滨市农业系统的净能值产出率为 3.34~4.56,远远高于我国农业系统 1998 年的平均水平(0.27),高于 1989 年日本(1.08)和意大利(1.12)数值,高于 2004 年福建(1.88)的数值<sup>[11-12]</sup>。表明哈尔滨市的农业生态系统能够获得较高的资源利用率,运转效率较高,能值转化率高,能值回报率高,在同量的投入下,哈尔滨市农业生产系统可以获得较多的能值产出。但高的净能值产出率也表明对产品的深加工不足,产品附加值低,在市场中处于不利的竞争地位<sup>[13]</sup>。因此,哈尔滨农业生态系统应注重发展农产品加工业,促进农产品的深加工,延伸农业产业链,提高农产品的附加值,推进产业化经营并形成规模优势,积极参与国内外市场的竞争<sup>[14]</sup>。

2.3.2 能值自给率 能值自给率能够反映在农业投入中自然资源投入的比重。一个国家或地区的能值自给率越高,表明对自然资源的依赖程度越高,反之,则依赖程度较低,对工业投入依赖程度较高<sup>[9-10]</sup>。2000—2009 年,哈尔滨农业生态系统的能值自给率为 0.24~0.27,低于海南(0.3),也低于意大利(1.05)和日本(0.65),可见哈尔滨市农业的发展对自然环境的依赖程度较低,无偿自然环境资源能值对农业的发展所作的贡献较低。哈尔滨农业生态系统的维持、持续性发展对社会经济系统投入的依赖程度较大,特别是对工业辅助能值(机械、电力、化肥等)和科技投入的需求在增加,从而忽略了自然环境对农业生态系统的作用。

2.3.3 能值投资率(EIR, Energy Investment Ratio) EIR 指标是衡量开发单位资源需要的能值投入大小。如果依赖本地资源,则比率较小。当比其它竞争者无偿从环境中获取较多能量时,这一比值也

会较低。但太低的能值投资率将不利于吸引域外资金,进而影响本地资源的开发<sup>[9-10]</sup>。当这一比值较大时,几乎所有的投入都是有偿的,价格上涨,系统的竞争力较低。EIR 指数大小常受到政治或社会经济因素制约。哈尔滨市农业生态系统能值投资率为 2.62~3.16,低于国内平均水平(4.93)<sup>[15-16]</sup>,更低于意大利(8.52)和日本(14.03)。但并不能说明哈尔滨市农业生态系统的运行就主要依赖本地资源,因为计算能值自给率已表明哈尔滨的农业对本地资源的依赖程度较小,更加注重社会经济系统的投入。所以 EIR 指标较大只能说明农业生态系统比其他生态系统无偿从环境中获取了较多能量。

2.3.4 环境负载率(ELR, Environmental Loading Ratio) ELR 用来表征一定的经济活动水平下环境系统所承受的压力,具有一定的环境预警作用。ELR 较大表明在经济系统中存在高强度的能值利用,同时对环境系统保持着较大压力<sup>[9-10]</sup>。若系统长期处于较高的环境负载率,将产生不可逆转的功能退化或丧失<sup>[17]</sup>。哈尔滨市农业生态系统的环境负载率为 3.76~4.79,低于发达国家日本(14.49)和意大利(10.43),比国内 1998 年的平均值(2.80)<sup>[18]</sup>和广东 2003 年的值(1.70)高。表明哈尔滨市农业生态系统对环境压力虽和发达国家相比还处于较低强度,但在国内已处于较高水平,反映了哈尔滨市自然、社会、经济系统还不够协调,农业整体发展水平还不够高,环境资源系统效益不高,应通过加快生态农业建设和资源环境管理,提高资源的利用效率等方式进行改善。今后农业发展要注意保持水土,加大有机肥还田和新科技的应用,以提高系统生产效率。

2.3.5 可持续发展指数(ESI, Energy Sustainability Index) 一个国家或地区的农业生态系统能值产出率高而环境负载率又相对较低,则它是可持续的;反之是不可持续的。ESI 值在 1 和 10 之间表明系统富

有活力和发展潜力<sup>[19]</sup>,ESI>10 则是生态系统持续性不强;当 ESI<1 时,为消费型经济系统。2000—2009 年,哈尔滨市可持续发展能值指数在 0.70~1.11 上下震荡。说明哈尔滨市农业生态系统为消费型经济系统,生产和管理过程的科技含量较低,需要购买的能值较大,农业经济具有一定的脆弱性,未来农业经济系统对环境的压力较大。近几年哈尔滨市大量增加化肥施用量和施肥的不均衡性,加速了土壤有机质的损耗,使农业生态系统的服务功能降低,也污染了农田土壤环境。同时该市农业生产灌溉受来自境内河流上游的污水、城镇工业污水和城镇生活废水的影响,农业生态系统持续性发展面临着人类需求和生态系统需求间的矛盾。

### 3 结论与建议

(1) 2000—2009 年哈尔滨市农业生态系统年总能值投入量呈逐渐上升趋势,能值产出呈波动上升趋势,工业辅助能投入最大。哈尔滨农业由传统农业逐步向现代农业发展方向转变,农业现代化水平日益增强。可更新环境资源中雨水化学能形成的能值量最大。哈尔滨市属于农业灌溉区,自然降水与松花江水的引入对区域农业生产非常重要。研究期内,畜牧业能值比例已超过种植业,渔业所占能值比例较小。

(2) 从农业生态系统能值相关指标分析来看,农业系统对环境和资源的压力较大,并过分依赖工业辅助能而忽视了自然环境的贡献,农业生态系统对社会经济系统投入的依赖程度逐步增加。可持续发展能力有所降低,应该注意农业发展的可持续性,在增加系统经济效益的同时注意保护环境,提高生态效益。通过农业产业结构调整,改进生产管理模式,降低生产成本,提高系统生产效率,可进一步提高产品市场竞争力<sup>[20]</sup>。

基于以上研究和思考,提出哈尔滨市维持未来农业生态系统良性发展的建议:① 转变经济增长方式,变要素投入增长为效率提高增长,大力提高作物秸秆等有机肥的还田率,提高产品的品质;② 调整工业辅助能投入,提高能值受益率;③ 发展节水灌溉农业,加强生态建设;④ 处理好经济发展和环境保护之间的关系,增强农业生态系统的服务功能。

#### 参考文献:

[1] Lan S F, Odum H T. Emergy synthesis of the environ-

mental resources basis and economy in China[J]. Ecological Science,1994,14(1):63-74.

- [2] 张耀辉. 农业生态系统能值分析方法[J]. 中国生态农业学报,2004,12(3):181-183.
- [3] 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.
- [4] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [5] 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.
- [6] 刘新茂,蓝盛芳,陈飞鹏. 广东省种植业系统能值分析[J]. 华南农业大学学报,1999,20(4):111-115.
- [7] 谢正宇,刘金博,张雪梅. 艾比湖湖面变化对周缘农牧生态系统功能影响[J]. 干旱区地理,2009,32(2):226-233.
- [8] 杨德刚,阎新华,李秀萍. 干旱区典型绿洲农业生态经济系统的结构和功能分析:以塔里木河中下游的尉犁县为例[J]. 干旱区地理,2003,26(4):371-378.
- [9] 张耀辉,蓝盛芳. 海南省资源环境与可持续发展的能值分析[J]. 生态科学,1998,17(2):121-122.
- [10] 刘薇. 北京市 1998—2008 年生态经济系统能值分析[J]. 经济地理,2010,30(8):1367-1371.
- [11] 刘志杰,陈克龙,赵志强,等. 基于能值分析的区域循环经济研究:以柴达木盆地为例[J]. 水土保持研究,2011,18(1):141-145.
- [12] 李秀花,郭凯,师庆东. 基于相图法的新疆精河县大农业系统可持续性能值评价[J]. 水土保持研究,2012,19(2):121-125.
- [13] 张小平,何伟,方婷. 湟水谷地农业生态经济系统的能值分析:以西宁市为例[J]. 干旱区地理,2011,34(2):344-354.
- [14] 尚清芳,张建明. 绿洲农业生态经济系统能值分析[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(11):34-38.
- [15] 吴磊. 湖南农业生态经济系统能值分析[D]. 长沙:湖南农业大学,2011.
- [16] 刘一美. 大连市金州区生态经济系统能值分析[D]. 辽宁大连:辽宁师范大学,2008.
- [17] 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.
- [18] 梁春玲,谷胜利. 南四湖湿地生态系统能值分析与区域发展[J]. 水土保持研究,2012,19(2):185-188.
- [19] 韩瑛,冯文勇. 宁夏移民区种植业生态系统的能值分析:以红寺堡移民开发区为例[J]. 水土保持研究,2010,17(6):263-266.
- [20] 郝仕龙,李春静,李壁成. 黄土丘陵沟壑区农业生态系统服务的物质量及价值量评价[J]. 水土保持研究,2010,17(5):163-166.