

文章编号:1671-6833(2016)06-0092-05

基于生态环境损失的农业生态系统能值分析

王慧亮, 吴泽宁, 郭 溪, 郭瑞丽

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 针对目前研究中没有考虑生态环境损失的问题, 提出了基于生态环境损失的农业生态系统能值分析研究思路和方法. 以郑州市为例, 计算了郑州市 2000~2009 年农业生态系统的能值投入和产出, 以及农业生态环境能值损失和相关能值指标. 结果显示, 郑州市近 10 年农业生产造成的平均生态环境损失为 2.44×10^{21} sej, 占能值产出的 15.47%, 与现有国内外研究认为农业外部成本占农业收入的 6%~30% 的结论基本吻合; 系统能值产出在扣除农业生态环境损失后, 平均净能值产出率从 2.86 下降到 2.45, 平均可持续发展指数从 1.19 下降到 1.01, 说明农业生态环境损失对系统生产效率和可持续影响显著.

关键词: 生态环境损失; 农业生态系统; 能值分析; 郑州市

中图分类号: S51; F326.1 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2016.06.025

0 引言

人类通过农业生产, 干涉和利用自然生态系统, 与其形成最广泛最有生命活力的物质循环和能量转换过程^[1]. 然而, 现代农业因长期的高强度土地利用和过量工业辅助能投入, 导致土壤养分失衡、有害物质积累、生物多样性衰退等农业生态环境恶化^[2], 影响农业生态系统的存续, 因此其可持续评价成为当今国内外研究的热点^[1-2]. 能值分析方法由于其可以统一度量各种生态流的优点被广泛应用于农业生态系统可持续研究^[5-7], 但大多数研究只考虑系统的经济产出, 忽视了农业生产的生态环境影响, 以致于长期以来农业生产重视工业辅助能的高投入, 片面追求经济高产出, 扰乱了自然生态系统的物质循环和能量转换平衡^[5]. 因此, 在进行农业生态系统能值分析时, 关注农业生态环境损失显得尤其必要. 笔者以郑州市为例, 在考虑农业生态环境损失的情况下, 提出了农业生态环境损失的能值计算方法, 建立了系统生产效率和运行状况的能值评价模型, 以期揭示郑州市农业生产造成的生态环境损失问题, 为实现郑州市农业生态系统可持续发展目标提供理论参考.

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

郑州位于河南省中部偏北, 属北温带季风型气候, 地势西高东低, 境内土壤自西向东分布为棕壤土、红黏土、褐土、潮褐土、潮土等. 郑州市地貌复杂、土壤类型多, 雨量适中, 适宜多种农作物的生长, 主要有小麦、玉米、红薯、大豆、水稻、谷物、棉花、花生、烟叶、白菜、大葱、土豆、西瓜等. 郑州市现代农业水平较高, 近些年农业生态环境问题日益突出.

1.2 研究方法

1.2.1 生态系统能量流动过程

农业生态系统能量流是各种自然能量流和人类、土壤有机质等环境资源, 化肥、农药、电力、机械等工业辅助能, 人力、畜力、有机肥、种子等可更新有机能的总和. 系统产出主要是农林牧渔等经济产品, 同时, 农业生产会对生态环境造成污染和破坏, 造成生态环境损失.

1.2.2 农业生态环境损失的能值计算方法

农业生态环境损失, 指人类现代农业生产活动带来的生态环境污染和破坏, 主要包括资源耗竭、环境污染、生态平衡等三个方面.

(1) 资源耗竭计算方法. 资源耗竭损失, 主要

收稿日期: 2016-06-08; 修订日期: 2016-08-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51379191, 51509223); 国家博士后面上基金资助项目(2015M572116)

通信作者: 吴泽宁(1963—), 男, 河南光山人, 郑州大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事水资源系统优化规划与管理, E-mail: zeningwu@zzu.edu.cn.

计算农业生产中投入而未被利用的自然资源及工业辅助能的流失价值,包括农业用水、化肥、农药和农膜等,以及农业生产活动耦合作用造成的水土流失.即表达式(1):

$$L_r = \sum_i^n r_i(1 - u_i) + r_{sw} \cdot \tau_{sw} \quad (1)$$

式中: L_r 为资源耗竭损失,sej; r_i 为农业生态系统投入的第 i 种资源能值,sej; u_i 为第 i 种资源的利用率,%; n 为资源种类数; r_{sw} 为水土流失量,kg; τ_{sw} 为流失水土的太阳能值转换率,sej/kg. 农业用水利用系数取 52%^[6];氮肥及复合肥的作物利用率取 35%,磷肥的作物利用率取 11%^[7],研究区钾肥投入不足,认为施用钾肥被充分利用;农药利用率取 30%^[8];农用地膜平均回收率取 58%^[8];水土流失会带走氮、磷、钾等大量养分,流失水土的太阳能值转换率取 1.71×10^{12} sej/kg^[3]. 根据郑州市农业生产情况,化肥的环境污染损失为 2.65×10^{11} sej/kg;根据单位畜产品能值产生污水量的数量关系^[2],估算得到研究区养殖污水量,结合水污染损失能值转换率 7.49×10^{12} sej/m³^[9],计算养殖污水造成的生态环境损失.

(2) 环境污染计算方法. 环境污染损失,主要计算种植业中化肥导致的水体、土壤、大气污染和畜牧业中养殖污水造成的环境损失.即表达式(2):

$$L_e = q_f \cdot l_f + q_w \cdot \tau_w \quad (2)$$

式中: L_e 为环境污染损失,sej; q_f 为化肥施用量,kg; l_f 为单位化肥施用的环境成本,sej/kg; q_w 为畜牧业排放污水量,m³; τ_w 水污染损失能值转换率,sej/m³.

(3) 生态失衡计算方法. 生态失衡损失,主要计算生物多样性减少损失和人体健康影响.此处只考虑生物多样性的减少损失,以人类取用水资源造成野生动物能值损失进行简化计算,即

$$L_b = w_s \cdot l_s + w_g \cdot l_g \quad (3)$$

式中: L_b 为生态失衡损失,sej; w_s 为地表水化学能,J; l_s 为取用单位地表水的野生动物损失能值,sej/J; w_g 为地下水化学能,J; l_g 为取用单位地下水的野生动物损失能值,sej/J. 笔者参考美国佛罗里达大学环境政策中心的相关研究成果^[10],取用地表水会造成野生动物能值损失 1.12×10^5 sej/J,取用地下水会造成野生动物能值损失 2.55×10^5 sej/J.

总的农业生态环境损失 L 可表示为:

$$L = L_r + L_e + L_b \quad (4)$$

1.2.3 基于生态环境损失的农业生态系统能值评价

建立基于生态环境损失的农业生态系统能值评价模型,计算公式为:

$$EYR_L = \frac{Em_Y - L}{Em_F} \quad (5)$$

$$ESI_L = \frac{EYR_L}{ELR} \quad (6)$$

式中: EYR_L 为考虑农业生态环境损失的能值产出率; Em_Y 为系统产出能值; Em_F 为系统反馈能值. 净能值产出率(EYR),是衡量系统生产效率的主要指标, EYR 值越大,表明系统生产效率越高.

式(6)中, ESI_L 为考虑农业生态环境损失的可持续发展指数; ELR 为环境负载率. 可持续发展指数(ESI),是考察系统可持续性的能值指标, $ESI < 1$ 意味着系统长期不可持续; $1 \leq ESI < 10$ 表明系统富有活力和发展潜力; $ESI \geq 10$ 说明系统经济不发达^[8].

2 结果与分析

2.1 郑州市农业生态系统能值分析

按照能值分析的概念及步骤^[5],编制郑州市农业生态系统能值投入产出表见表 1,对其进行投入和产出及结构分析.

2.1.1 能值投入分析

由表 1 可知,2000~2009 年郑州市农业生态系统总能值投入平均值为 78.90×10^{20} sej,其中可更新环境资源、不可更新环境资源、不可更新工业辅助能、可更新有机能的能值投入比例依次为 11.81%、11.50%、58.34% 和 18.35%. 可见,郑州市农业生产主要依靠大规模的不可更新工业辅助能投入. 环境能值中,可更新资源为太阳能、风能、雨水和地球旋转能,可更新资源的能值比例从 13.71% 波动下降到 8.69% 左右,这是由于近年来现代农业技术的推广致使农业用水呈逐年减少的趋势造成的. 但地下水能值占农业用水能值的 71.01%,加剧了地下水水位下降;同时,研究区渠系防渗较差,平均灌溉水利用系数仅为 0.52^[11]. 不可更新资源为表土层损失,占总能值投入比例在 10.67%~11.95% 之间,略微有所增加,总体变化不大,与郑州市长期重视耕地保护密切相关,耕地占补平衡为系统的可持续发展提供了稳定的物质基础支持.

表 1 郑州市农业生态系统能值投入产出
Tab. 1 Emergy Input – output of Zhengzhou agricultural ecosystem

项目	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	10 年平均
能值投入	76.01	76.71	79.98	79.74	80.79	79.98	79.24	79.73	77.44	79.37	78.90
可更新资源	10.42	9.36	10.78	10.75	10.47	9.6	8.9	7.91	6.73	8.25	9.32
有效降水	1.59	1.10	1.49	2.04	1.65	1.62	1.43	1.12	1.24	1.34	1.46
地表水	1.80	2.05	1.47	1.43	1.00	1.01	0.97	0.88	0.79	0.99	1.24
地下水	7.03	6.21	7.82	7.28	7.82	6.97	6.49	5.90	4.70	5.93	6.61
不可更新资源	8.23	8.18	9.38	9.3	9.29	9.29	9.3	9.29	9.26	9.24	9.08
不可更新工业辅助能	40.59	42.84	43.94	44.79	45.3	45.87	46.11	49.64	50.3	50.95	46.03
电力	16.09	17.49	18.12	18.43	18.59	19.04	18.75	21.60	22.01	22.71	19.28
机械	9.71	9.75	10.19	10.92	11.10	11.21	11.42	11.65	12.25	12.25	11.05
柴油	1.58	1.74	1.58	1.75	1.72	1.81	1.86	1.88	1.91	1.91	1.78
氮肥	4.12	4.08	4.06	3.88	3.90	3.81	3.87	3.82	3.73	3.75	3.90
磷肥	7.20	7.80	7.96	7.69	7.68	7.58	7.71	8.01	7.73	7.62	7.70
钾肥	0.33	0.35	0.37	0.35	0.34	0.32	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34
复合肥	1.49	1.55	1.57	1.70	1.88	2.01	2.08	2.25	2.26	2.28	1.91
农药	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06
农膜	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
可更新有机能	16.77	16.33	15.88	14.9	15.73	15.22	14.94	12.9	11.15	10.95	14.48
能值产出 (Em_y)	107.85	117.03	126.07	141.43	158.96	159.56	210.93	217.2	240.3	259.13	173.85
种植业产品	44.38	46.01	45.59	46.36	47.45	49.29	50.26	50.49	50.79	53.03	48.36
林产品	0.41	0.41	0.71	0.1	0.09	0.1	0.11	0.03	0.06	0.05	0.21
畜产品	58.57	64.54	73.1	88.2	104.01	100.89	149.52	153.98	175.19	191.56	115.96
渔产品	4.49	6.07	6.67	6.77	7.41	9.29	11.04	12.7	14.25	14.49	9.32

2000 ~ 2009 年,不可更新辅助能值投入比例在 74.79% ~ 79.36%,为郑州市农业生态系统的主要输入能值,说明来自于社会经济系统的投入有所增加.其中,电力和机械比重较大,属于高品质能值投入,伴随着农业科技的发展,依托自然环境资源,结合大量以石化能源为原料的化肥、农药、农膜等社会经济资源的使用,促使农业生产获得高产量,同时也加剧了能源危机和对自然生态环境的破坏.2007 年,郑州市耕地每公顷化肥施用量高达 688.83 kg/hm²,比国际公认 225 kg/hm²的环境安全上限^[2]的 3 倍还多,作物利用率较低,造成化肥养分大量流失和环境污染.而且,氮磷钾施用比例 1:0.54:0.23,与世界平均水平 1:0.5:0.48^[11]相比,钾肥投入明显不足,养分投入比例不平衡,影响作物产量.农药和农膜能值投入比重尽管只有 0.17%,但在土壤中残留率较高,破坏土壤结构影响作物生长.可更新有机能主要是人力、畜力、有机肥和种子种苗,人力在可更新有机能中的平均比例为 59.01%,为下降趋势,说明研究区农业现代化水平提高较快.

2.1.2 能值产出分析

郑州市农业生态系统能值产出见表 1,2000 ~

2009 年郑州市农业生态系统能值总产出为 173.85 × 10²⁰ sej,其中种植业、林业、牧业、渔业产品能值所占比重依次为 27.82%、0.12%、66.70%、5.36%.可见,畜牧产品能值在总能值产出中占了一半以上,在农业产业结构中占主导地位,且呈逐年上升趋势.种植业产品能值在总能值产出中位居第二,但呈逐年下降趋势.畜产品能值产出高于种植业产品能值产出,表明人们对肉类、蛋类产品需求较大,生活水平得到提高.渔产品在能值产出中所占比重较小,这是由郑州市天然水资源条件决定的.林产品在能值产出中所占比重极小,和郑州市保护森林的生态环保政策、严禁砍伐林木密切相关.

2.2 郑州市农业生态环境损失分析

根据农业生态环境损失分类及计算方法,计算出 2000 ~ 2009 年郑州市平均农业生态环境损失,见图 1.由图 1 可知,郑州市近 10 年农业生产造成的生态环境能值损失整体上呈下降趋势,主要原因是随着农业科技水平的提高,部分农业资源能值投入降低、利用水平提高.其中,资源耗竭能值损失在农业生态环境损失中的比例最大,生物多样性和环境污染次之.2000 ~ 2009 年郑州市

平均农业生态环境损失与平均能值产出比例约为 14.04%,与国内外已有研究认为农业外部性成本占农业收入的 6%~30% 的结论基本吻合^[12].

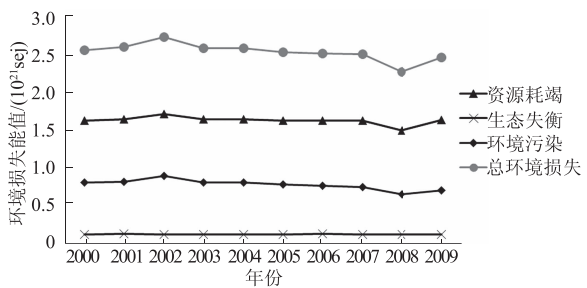


图 1 2000~2009 年郑州市农业生态环境能值损失
Fig.1 Emergy loss of agricultural ecological environment in Zhengzhou from 2000 to 2009

2.3 基于生态环境损失的郑州市农业生态系统能值评价指标比较分析

农业生产造成的生态环境损失应计入系统能

值产出之中,即“系统产出”扣减“环境成本”后才是系统真实的能值产出. 计算 2000~2009 年郑州市农业生态系统净能值产出率和可持续发展指数,结果见表 3. 根据表 2 计算,近 10 年郑州市农业生态系统净能值产出率(EYR)提高了 122.72%,说明系统生产效率显著提高;可持续发展指数(ESI)大致呈波动增加趋势,说明系统可持续性有所增强. 考虑生态环境损失后,净能值产出率(EYR_L)和可持续发展指数(ESI_L)均比传统能值分析中该指标值有明显下降,近 10 年分别平均下降 15.47%. 其中,可持续发展指数在 2000~2003 年小于可持续临界点 1,说明农业生态环境损失对系统生产效率和可持续性影响显著. 由此可见,采用传统能值分析法,对系统生产过程中的资源及其利用耦合作用分析不够深入,对系统能值产出考虑不够周全.

表 2 郑州市农业生态系统能值评价指标
Tab.2 Emergy indices of of Zhengzhou agricultural ecosystem

能值指标		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	10 年平均
净能值产出率	EYR	1.88	1.98	2.11	2.37	2.60	2.61	3.46	3.47	3.91	4.19	2.86
	EYR_L	1.45	1.55	1.66	1.95	2.19	2.22	3.06	3.09	3.56	3.81	2.45
环境负载率	ELR	1.80	1.99	2.00	2.11	2.08	2.22	2.33	2.83	3.33	3.14	2.38
可持续发展指数	ESI	1.05	1.00	1.05	1.12	1.25	1.18	1.49	1.23	1.17	1.33	1.19
	ESI_L	0.81	0.78	0.83	0.92	1.05	1.00	1.32	1.09	1.07	1.22	1.01

3 结束语

针对目前农业生态系统能值分析中缺乏生态环境损失研究的问题,本文将生态环境损失纳入农业生态系统能值产出,进而考察系统生产效率及状态,旨在提出一种农业生产的生态经济评价思路. 笔者仅考虑了农业用水、化肥、农药、农膜等对农业生态系统能值产出的影响,计算结果表明,笔者提出的基于生态环境损失的农业生态系统能值分析方法具有一定的可行性;同时,郑州市今后农业生产应减少不可更新资源的投入并提高利用效率,充分利用好可更新资源. 但是,笔者对于其他因素未作过多研究,引用数据未必十分精确,难免会使研究结果有一定的误差,仍需要进一步深入研究,以期为农业生产的能值投入和产出分析的合理性提供依据,为农业生产活动调整提供决策参考.

参考文献:

[1] 翟胜,王巨媛,张二勋,等. 农业生态系统可持续性

评价研究[J]. 地域研究与开发,2010,29(1): 124-129.
[2] 范小杉,高吉喜. 中国农业生态经济系统能值利用现状及其演变态势[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(7):1-9.
[3] 赵桂慎,姜浩如,吴文良. 高产粮区农田生态系统可持续性的能值分析[J]. 农业工程学报,2011,27(8):318-323.
[4] ZHU Y, ZHOU J, LI S. Analysis on the emergy structure and ecoefficiency of the agricultural ecoeconomic system in Hunan[J]. Energy Procedia, 2011(5): 1597-1602.
[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,2002:366-386.
[6] 雷宏军,刘鑫,徐建新. 郑州市水资源可持续利用的模糊综合评价[J]. 灌溉排水学报,2008,27(2): 77-81.
[7] 赖力,黄贤金,王辉,等. 中国化肥施用的环境成本估算[J]. 土壤学报,2009,46(1):63-69.
[8] 杨曙辉,宋天庆,陈怀军,等. 现代农业生产方式与技术体系对生态环境的影响[J]. 农业环境与发展,2010(1):1-7.

- [9] 吕翠美. 区域水资源生态经济价值的能值研究 [D]. 郑州: 郑州大学水利与环境学院, 2009: 117 - 118.
- [10] Center for Environmental Policy. Lecture10-emergy evaluation of environmental alternatives [EB/OL]. <http://www.emergysystems.org/lectures.php>, 2011 - 09 - 28/2012 - 04 - 10.
- [11] 石元亮, 王玲莉, 刘世彬, 等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用 [J]. 土壤学报, 2008, 45 (5): 852 - 864.
- [12] FARE R, GROSSKOPF S, WEBER W L. Shadow prices and pollution costs in U. S. agriculture [J]. Ecological economics, 2006, 56 (1): 89 - 103.

Emergy Analysis of Agricultural Ecosystem Based on Ecological Environment Loss

WANG Huiliang, WU Zening, GUO Xi, GUO Ruili

(School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Emergy analysis of agriculture ecosystem was a hot topic of academic group nowadays. Concerned with the loss of ecological environment, an improved emergy analysis of agriculture ecosystem was proposed based on the calculation of agriculture ecological environment loss. Taking Zhengzhou as the example, this paper discussed how to apply it to practice. The results showed that the average ecological environmental loss of Zhengzhou from 2000 to 2009 was 2.44×10^{21} sej, accounting for 15.47% of economic emergy out of agriculture ecosystem. The method was rational for its conclusion was in agreement with the domestic and international research results, the proportion of agricultural externality to agricultural income was 6% ~ 30%. Given the agriculture ecological environment loss subtracted from economic emergy output, the average Net emergy yield ratio EYR_L fallen from 2.86 to 2.45, and the average emergy sustainable indices ESI_L from 1.19 to 1.01, indicating that the influence of ecological environmental loss on eco-efficiency and performance of system was significant.

Key words: ecological environmental loss; agriculture ecosystem; emergy analysis; Zhengzhou

(上接第 86 页)

Tensor-Based Semi-Blind Channel Estimation Method for Three-Hop MIMO Relay Systems

MU Xiaomin, LIU Yue, LI Shuangzhi, ZHANG Jiankang

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: A novel semi-blind channel estimation was devised to jointly estimate the channel matrices of all links in a three-hop multiple-input multiple-output relay system. A PARAFAC and a PARATUCK2 tensor model of the received signal were constructed, and the proposed algorithm used a two-stage iterative fitting algorithm for tensor model. The ALS algorithm was used to fit the PARAFAC tensor model in the process of estimating the compound channel matrix. Then the TALS algorithm was used to fit the PARATUCK2 tensor model in the process of extracting all the sub-channel matrices. The proposed algorithm could loose the limitation on the number of antennas at the destination node. Moreover, compared with existing methods, the proposed algorithm could avoid error propagation as well as improve the spectral efficiency with few pilots. Numerical examples demonstrated the effectiveness of the proposed algorithm.

Key words: MIMO multi-relay system; Semi-blind channel estimation; tensor decom position; two-stage iterative algorithm