

# 南四湖湿地生态系统能值分析与区域发展

梁春玲<sup>1</sup>, 谷胜利<sup>2</sup>

(1. 商丘师范学院 环境与规划学院, 河南 商丘 476000; 2. 商丘师范学院 建筑与土木工程学院, 河南 商丘 476000)

**摘要:**为评估南四湖湿地生态系统的能量流动状况及其经济价值,采用 H. T. Odum 建立的能值分析理论,计算南四湖湿地生态系统多年平均的能值投入/产出,绘制南四湖湿地生态系统能值图,分析南四湖湿地生态系统结构和功能的整体特征。结果表明:南四湖湿地的投入量太阳能值为  $1.11 \times 10^{21}$  sej, 产出量太阳能值为  $1.73 \times 10^{20}$  sej, 初级生产力为  $1.61 \times 10^{20}$  sej, 不可再生能源或资源(包括底泥和水体)为  $1.03 \times 10^{21}$  sej; 同时,南四湖在水生维管束植物、以及鱼类产出方面生态效益价值显著。南四湖湿地能值投资率为 0.000 9, 净能值产出率为 165.23, 环境负载率为 14.22, 能值投资率低, 净能值产出率高, 环境负载率高, 表明南四湖湿地对经济的贡献很大, 区域经济发展水平较低, 对环境依赖性强。

**关键词:**南四湖; 湿地; 生态系统服务; 能值分析

中图分类号: F323.2; X171

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)02-0185-04

## Analysis on Energy Value of Wetland Ecosystem of Nansi Lake in Shandong Province of China and Regional Development

LIANG Chun-ling<sup>1</sup>, GU Sheng-li<sup>2</sup>

(1. Department of Environment and Programming, Shangqiu Normal University, Shangqiu, He'nan 47600, China;  
2. Department of Architecture and Civil Engineering, Shangqiu Normal University, Shangqiu, He'nan 47600, China)

**Abstract:** Adopting the theories and methods of Energy Analysis established by H. T. Odum, the average yearly energy input-output of wetland ecosystem of Nansi Lake is calculated and the energy analysis chart is drawn to evaluate the energy flow and the economic value of the lake. And the structure and function of Nansi Lake wetland ecosystem is analyzed as a whole. The result shows that the amount of the input solar value (including the sun, wind and rain) of the Nansi Lake is  $1.11 \times 10^{21}$  sej, and the output solar value is  $1.73 \times 10^{20}$  sej. The primary productivity is  $1.61 \times 10^{20}$  sej. Non-renewable energy or resources (including sediment and water) is  $1.03 \times 10^{21}$  sej. At the same time, the ecological benefits of aquatic vascular plants and fish of the Nansi Lake are significant. Energy investment ratio of the lake is 0.000 9. Net energy yield is 165.23 and environmental loading rate is 14.22. High net energy yield and environmental loading rates show that Nansi Lake wetland ecosystem has a great contribution to local economy. The regional economic development level is low and vastly depends on nature environment.

**Key words:** Nansi Lake; wetland; ecosystem services; energy analysis

南四湖位于山东省济宁市,承接苏、鲁、豫、皖四省 32 县、3 万  $\text{km}^2$  的汇水。南四湖作为南水北调东线工程主要调蓄枢纽之一,在维护区域经济发展和生态平衡方面,具有重要意义。南四湖湿地生态系统以其特有的水—陆过渡生态过程,造就了多样性的生物和独特的湿地生态景观,为人类生存和发展提供了多种多样的服务。

## 1 南四湖湿地生态系统概况

南四湖湖盆形状为浅碟形,平均水深 1.46 m,湖西为平原,湖东为低山丘陵。由湖心向湖岸依次为:敞水区、水草区、季节性水淹区、短暂水淹区,根据对研究区 2006 年 9 月 15 日的 SPOT 影像的解译,各区域面积依次为 463.36, 386.98, 317.34, 98.32  $\text{km}^2$ 。

南四湖湿地生态系统由大气、水域、湖底沉积物、滩涂和各种生物组成。在滨湖岸带内,植物种群依水深不同而呈环带状平行分布有:挺水植物(水深 0~0.5 m)、浮叶植物(水深 0.5~1.0 m)、沉水植物(水深 1.0~1.8 m),表水层含有浮游植物。水生植物是南四湖湿地生态系统的生产者,根据 2006 年 9 月采样数据估算四种植物年平均湿生物量分别为 2 900 g/m<sup>2</sup>, 247.68 g/m<sup>2</sup>, 2 248.9 g/m<sup>2</sup>, 1.709 4 mg/L。该湿地生态系统的主要消费者是浮游动物、鱼类、底栖动物、鸟类和其它兽类,根据 2006 年 9 月采样数据估算浮游动物、鱼类、底栖动物、鸟类的生物量分别为 1.67×10<sup>5</sup>, 1.09×10<sup>7</sup>, 5.26×10<sup>5</sup>, 6.03×10<sup>5</sup> kg。细菌和真菌为主的微生物是系统的分解者。在湖底有机物质和腐屑颗粒不断沉积。水生植物群落是南四湖湿地生物的食饵,其生态指标关系到南四湖湿地生物的生存状况。

## 2 生态系统能值分析方法与步骤

H. T. Odum 建立的能值分析理论将各种能量转化为太阳能来表示,单位为太阳焦耳(Solar em joules, 缩写为:sej)。能值分析中的一个重要指标就是太阳能转换率,即单位能量或物质相当于多少太阳能转化而来<sup>[1]</sup>。在南四湖湿地生态系统能值分析过程中,采用如下步骤开展分析工作:(1)通过野外调研和实验室分析测定,收集、分析、处理研究区自然、社会、经济资料<sup>[2]</sup>。(2)应用 H. T. Odum 的“能量系统语言”图例<sup>[1]</sup>,绘制能量系统图,形成系统主要组分和相互关系以及能物流、货币流、生态流等流向的系统能量图解。(3)编制能值分析表。原始数据的单位根据原始资料来源通过计算所得值而定,一般为能量(J),物质(g)或货币(\$ )单位;太阳能值转换率,单位为太阳能焦耳/焦耳(或克、美元),即 sej/J(或 sej/\$, sej/g);太阳能值,由前两项相乘而得;能值—货币价值(Em\$ Value)=能值/货币比率×太阳能值。能值/货币比率=年能值利用量/当年 GNP,在对南四湖湿地生态系统能值分析过程中,能值/货币比率采用 1996 年 H. T. Odum 所做的研究:中国能值/货币比率为 8.7×10<sup>12</sup> sej/\$<sup>[1]</sup>。(4)确定南四湖湿地系统图解边界和系统的主要能源,按太阳能值转换率高低,从左到右顺序排列,构建能值综合系统图。(5)由能值分析表和能值综合系统图,计算反映生态与经济效率的能值指标体系,评价南四湖湿地自然资源环境对经济系统的贡献和经济对自然环境的作用。(6)通过计算得出的各种能值指标,分析生态系统发展中存在的问题。

## 3 南四湖湿地的能量系统

南四湖湿地生态系统能量来源包括太阳能、雨水能、风能等自然界能源,同时也包括政府预算和劳务输入这样的经济系统反馈能值投入。水生植物作为生产者,吸收、应用低能值能量聚集和转化成草本副产品,形成湖泊湿地生态环境,通过与湿地动物消费,以及人类的劳动、物质投入、消费等的交流和相互作用,形成能量流动和转换(图 1)。

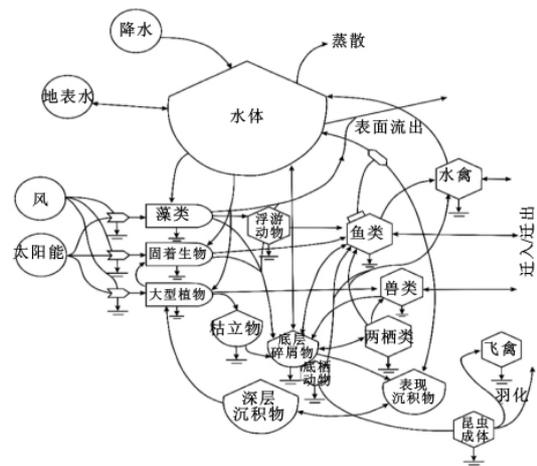


图 1 南四湖湿地生态系统概念模型

(1)输入能流。系统输入能流是生态系统得以维持和发展的原始驱动力,包括自然能流和人工能流。这些能流不仅能促进生态系统组分的新陈代谢,其中一部分还能滞留在系统中,使系统进一步向有序化方向发展。但输入能流并非都是有益的,其中也有干扰能流,如不正当的开发活动、自然输入能流的异常波动(如洪水、大风、干旱等自然灾害)等。本研究区的输入能流中,自然能流主要包括太阳辐射、雨水势能、雨水化学能和风能;人工能流主要包括水环境治理、旅游开发、基础设施等保护区建设的投资和劳务输入。

(2)输出能流。能流的输出是系统新陈代谢的诱导因素,为输入能流提供发挥作用的空间,是系统得以稳定的必要条件。输出能流包括系统的物质产出、组分流失及其它的生态系统服务功能。

(3)滞留能流。滞留能流是指输入能流进入系统后,转化为系统组分的一部分,停留在系统中的输入流。滞留能流是系统向有序化方向发展的物质基础。能流在系统中的滞留一般是通过有机物的生长、底泥淤积以及物种的保存与繁衍来实现的。

## 4 南四湖湿地能值计算与分析

本文涉及到的计算方法综合文献<sup>[3-6]</sup>所提供的能量转换率和能值计算公式,整合后得到如下公式(各

因子量纲请参阅相关标准):

- (1)能值 = 能量 × 能值转换率;
- (2)太阳能值(sej) = 原始数据(J, \$ 等) × 能值转换率;
- (3)能值 - 货币价值(\$ ) = 太阳能值(sej) × 能值/货币转换率(\$ / sej);
- (4)太阳光能 = 面积 × 太阳光平均辐射量;
- (5)风能 = 面积 × 空气层平均高度 × 空气密度 × 空气比热 × 水平温度梯度 × 平均风速;
- (6)雨水势能 = 水密度 × 雨量 × 面积 × 平均高度

× 加速度;

- (7)雨水化学能 = 降雨量吉布斯自由能 G (4.94J/g) × 雨量 × 面积;
- (8)淤泥与沉积物能 = 面积 × 单位面积底泥能
- (9)水体能 = 河水吉布斯自由能 G(4.92 J/g) × 水总量

根据对南四湖湿地能量系统的分析,结合有关数据和计算方法,可编制南四湖湿地生态系统投入能值分析表(表 1)。通过表 1 可以计算出能值投资率、净能值产出率、环境负载率等能值指标。

表 1 南四湖湿地生态系统多年平均能值投入/产出分析

项目	指标	原始数据/ (J,kg 或 \$ )	能值转换率/ (sej · unit <sup>-1</sup> )	太阳能值/ (10 <sup>17</sup> sej)	能值-货币价值/ (10 <sup>5</sup> \$ )
再生能源	阳光	6.27 × 10 <sup>17</sup>	1	6.27	0.72
	风	1.86 × 10 <sup>15</sup>	623	11.59	1.33
	雨水(势能)	3.08 × 10 <sup>14</sup>	8888	27.38	3.15
	雨水(化学能)	4.41 × 10 <sup>15</sup>	15444	681.08	78.29
	总计			726.32	83.49
不可再生能源 或资源	淤泥与沉积物	4.67 × 10 <sup>16</sup>	3509	1638.70	188.36
	水体	1.81 × 10 <sup>16</sup>	48000	8688.00	998.6
	总计			10326.7	1186.98
投资	设备与服务	8.19 × 10 <sup>5</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	8.35	8.19
	鱼苗	2.20 × 10 <sup>4</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	0.22	0.22
	饵料	1.86 × 10 <sup>5</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	1.90	1.86
	总计			10.47	10.27
初级生产力	浮游植物	9.21 × 10 <sup>3</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	0.09	0.09
	水生维管束植物	1.58 × 10 <sup>8</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	1610	1580.00
	总计			1610.09	1580.10
动物产出	浮游动物	1.67 × 10 <sup>5</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	1.70	1.67
	鱼类	1.09 × 10 <sup>7</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	111.00	109.00
	底栖动物	5.26 × 10 <sup>5</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	5.37	5.26
	鸟类	6.03 × 10 <sup>5</sup>	1.02 × 10 <sup>12</sup>	6.15	6.03
	总计			124.22	121.96

能值分析是建立在能量符号语言基础之上的,能值图解能够准确分析和计算太阳能值流动方向,方便计算过程。通过能值理论并应用能值符号绘制南四湖湿地生态系统能值分析图(图 2)。

从图 2 可以看出,南四湖湿地再生能源包括阳光、风、雨水;不可再生能源或资源包括底泥(矿物质累计)、水体;初级生产者主要为湿地维管束植物(包括挺水、浮叶和沉水植物)和浮游植物;动物产出包括浮游动物、鱼类、底栖动物和鸟类。

从表 1 和图 2 可以得出,能值投资率 = 经济投资/来自环境的无偿能值 = 0.0009。能值投资率是衡量经济发展程度和环境负载程度的指标。其值越大则表明系统经济发展程度越高;其值越小则说明发展水平就越低,对环境的依赖性就越强。南四湖湿地的能值投资率为 0.0009,说明该区域发展水平较低,对环境依赖性较强。净能值产出率 = 系统产出能值/经济投入能值 = 165.23。净能值产出率是衡量系统产出对经济贡献大小的指标。其值越高,表明系统获得一定的经济能值投入,生产出来的产品能值越高,即系统的生产效率越高。南四湖湿地生态系统的净能

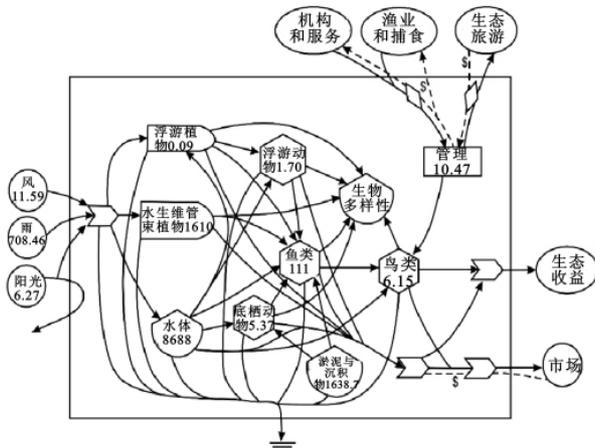


图 2 南四湖湿地生态系统能值流框图(单位:10<sup>17</sup> sej)

值产出率 165.23,说明其生产效率较高,对经济的贡献很大。环境负载率=不可更新能源能值总量/可更新能源能值总量=14.22。南四湖湿地生态系统环境负载率很高,说明其环境压力很大,这与其区域经济发展水平较低,对环境依赖性很强相符合。

综合上述研究,目前,人类活动对南四湖湿地生态系的压力愈来愈大,生态系统结构已经部分遭到破坏,功能相应变化,南四湖的整体生态环境处于不断退化之中。

## 5 结论

为探讨南四湖生态系统能量流动和分配状况,评估南四湖湿地资源对区域经济的影响与贡献,计算和分析了能值流入流出值、能值一货币价值、能值投资率、净能值产出率、环境负载率等指标。南四湖湿地的投入(包括阳光、风及雨水)量太阳能值为  $1.11 \times 10^{21}$  sej, 产出量太阳能值为  $1.73 \times 10^{20}$  sej, 初级生产力为  $1.61 \times 10^{20}$  sej, 不可再生能源或资源(包括底泥和水体)为  $1.03 \times 10^{21}$  sej。南四湖湿地各项效益大小顺序依次为不可再生能源或资源>再生能源>初级生产力>动物产出,说明南四湖入湖泥沙淤积相当严重,以致不可再生能源能值超过了再生能源,初级生产力>动物产出说明该区域开发利用方式以采集收获植被为主,也从侧面说明南四湖为典型的草型湖泊。同时,南四湖在水生维管束植物、以及鱼类产出方面生态效益价值极显著。从能值投资率 0.000 9、

净能值产出率 165.23、环境负载率 14.22 等指标来看,南四湖湿地能值投资率低,净能值产出率高,环境负载率高,说明南四湖湿地对经济的贡献很大,区域经济发展水平较低,对环境依赖性强。

能值分析方法使不同类别的能量转换为同一客观标准,把生态系统与人类社会经济系统统一起来,有助于调整生态环境与经济的关系。其局限性在于区域产品的能值转换率计算复杂,精确程度有待提高;其次,能值反映的是物质生产过程中所消耗的太阳能,不能反映人类对生态系统所提供的服务的需求性和生态系统的稀缺性,应进一步研究自然生态系统外部的生态收益和市场收益分析计算方法。

### 参考文献:

- [1] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 环境科学与工程出版中心, 2002.
- [2] 梁春玲, 张祖陆, 袁怡. 1983—2006 年南四湖湿地植被动态变化研究[J]. 国土与自然资源研究, 2011, (4): 64-66.
- [3] 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, 24(7): 1480-1485.
- [4] 赵晟, 洪华生, 张珞平, 等. 中国红树林生态系统服务的能值价值[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 147-153.
- [5] 王卓晗, 陆宏芳, 陈桂珠, 等. 深圳市滨海湿地两个观光农业系统的能值整合研究[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2458-2463.
- [6] 任丽燕, 吴次芳, 岳文泽. 西溪国家湿地公园生态经济效益能值分析[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1386-1291.

(上接第 184 页)

### 参考文献:

- [1] 刘国彬, 胡维银, 许明祥. 黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 44-49.
- [2] 董孝斌, 高旺盛, 严茂超. 黄土高原典型流域农业生态系统生产力的能值分析: 以安塞县纸坊沟流域为例[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 223-229.
- [3] 郭满才, 王继军, 彭珂珊. 纸坊沟流域生态经济系统演变阶段及驱动力初探[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 245-255.
- [4] 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态经济系统耦合过程分析[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2723-2729.
- [5] 王继军, 姜志德, 连坡, 等. 70 年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 2130-2137.
- [6] 王继军, 苏鑫, 李慧, 等. 基于农户层次的陕北黄土丘陵区农业生态经济系统耦合关系研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1887-1896.
- [7] 刘佳, 王继军. 黄土丘陵区农业生态系统和经济系统的互动关系: 以安塞县纸坊沟小流域为例[J]. 应用生态学
- [8] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [9] 乔标, 方创琳, 黄金川. 干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 183-190.
- [10] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. 地理研究, 2003, (2): 211-220.
- [11] 王万茂, 李俊梅. 土地生态经济系统与土地资源持续利用研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 147-149.
- [12] 方创琳, 鲍超. 黑河流域水—生态—经济发展耦合模型及应用[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 781-790.
- [13] 傅威, 林涛. 区域社会经济发展与生态环境耦合关系研究模型的比较分析[J]. 四川环境, 2010, 29(3): 102-109.
- [14] 林慧龙, 肖金玉, 侯扶江. 模式及耦合宏观经济价值分析: 以肃南山地—张掖北山地区荒漠—临泽绿洲为例[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 965-971.
- [15] 林慧龙, 侯扶江. 草地农业生态系统中的系统耦合与系统相悖研究动态[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1252-1258.
- [16] 杜娜, 王继军. 纸坊沟流域农用地生态经济系统耦合关系研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 48-52.