

基于能值分析的高台县农田生态系统可持续发展评价

刘水琴, 王万雄, 张洁琼

(甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 应用能值分析理论和方法, 选取 1997—2012 年的数据, 对高台县农田生态系统投入产出结构和能值指标进行了分析, 并运用主成分分析法对高台农田生态系统进行了综合分析。结果表明, 高台县农田生态系统能值投入呈现整体增加、局部时间段减小态势, 1998 年能值投入值最小, 为 325×10^{18} sej, 2012 年投入值最大, 为 496.89×10^{18} sej, 主要原因是工业辅助能的增加最明显, 从 1997 年的 180.98×10^{18} sej 增加到 2012 年 285.14×10^{18} sej。总的能值产出波动较大, 2002 年最小, 为 240.37×10^{18} sej, 2012 年最大, 为 473.37×10^{18} sej。环境负载率总体呈上升趋势, 由 1997 年 1.11 上升到 2001 年 1.54, 再降至 2012 年的 1.39。2002 年可持续指数为 0.53, 远低于 2001 年全国平均水平(1.23)。总的来说, 高台县绿洲农田生态系统的综合水平总体上呈现下降趋势, 16 年来研究区综合水平差异大, 1997—1999 年生态系统综合水平较高, 2000—2006 年环境恶化, 2007—2009 年生态环境有所改善, 2010—2012 年高台县绿洲农田生态系统的可持续发展状况恶化。因此, 高台县在未来发展过程中应该合理调整种植业结构, 合理开采利用水资源, 保护耕地, 积极引进先进机械、技术, 提高农业机械化水平, 促进高台县经济社会可持续发展。

关键词: 高台县; 能值分析; 农田生态系统; 可持续发展; 主成分分析

中图分类号: S181 文献标志码: A

Evaluation of sustainability for farmland ecosystem of Gaotai County based on emergy analysis

LIU Shui-qin, WANG Wan-xiong, ZHANG Jie-qiong

(Department of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Input and output structure and emergy indexes of the farmland ecosystem in Gaotai were investigated using the theory of emergy analysis and principal component analysis. The results indicated that total emergy input of the oasis farmland system in Gaotai County was overall increased, whereas went decreased in certain period. The lowest input value was 325×10^{18} sej in 1998, while it reached a maximum of 496.89×10^{18} sej in 2012, mainly due to obvious increase of industrial emergy that changed from 180.98×10^{18} sej to 285.14×10^{18} sej. Emergy output exhibited a marked fluctuation pattern. It reached a minimum of 240.37×10^{18} sej in 2002 and a maximum of 473.37×10^{18} sej in 2012. Agricultural oasis ecosystem environment load rate was high and it became elevated from 1.11 in 1997 to 1.54 in 2001, and was then dropped to 1.39 in 2012. Sustainable development index of farmland in Gaotai oasis ecosystem was 0.53, which was lower than the national average level of 1.23 in 2001. Generally speaking, the comprehensive level of the ecosystem in Gaotai area was getting worse, displaying strong variations during recent 16 years. The ecosystem was good from 1997 to 1999 in Gaotai, while the environment problems became crucial from 2000 to 2006. Though it had been improved from 2007 to 2009, in recent years, the sustainable development of oasis farmland ecosystem continued to be cruel. Agriculture is the basis for the development of Gaotai. Therefore, adjustment of the planting structure, rational exploration for water resources, protection on arable land, and active introduction of advanced machinery and technology should be implemented in the future to promote economic and social development.

收稿日期: 2015-09-20

基金项目: 国家自然科学基金“甘南红景天濒危的生殖生态学机理研究”(31360148); 甘肃省自然科学基金“基于计算机模拟的种群模型时空动态复杂性研究”(1208RJYA037); 国家自然科学基金资助项目“祁连山区草场毒杂草的入侵扩散机理、时空动态演化特征及生态控制研究”(31260098)。

作者简介: 刘水琴(1989—), 女, 甘肃民勤人, 硕士研究生, 研究方向为理论生态学。E-mail: 1007177979@qq.com。

通信作者: 王万雄(1964—), 男, 甘肃会宁人, 教授, 博士, 主要从事理论生态学、农业生态学、数学生态学和生物数学方面的研究。E-mail: wangwx@gsau.edu.cn。

Keywords: gaotai; emergy analysis; farmland ecosystem; sustainable development; principal component analysis

建设生态文明是关系人民福祉、关乎民族未来的长远大计^[1]。能值理论是由著名生态学家、能量分析学 H. T. Odum 于 20 世纪 70 年代提出。通过能值计算,将生态经济系统流动或存储的不同能量和物质转换成同一种能值——太阳能值,根据建立的反映生态与经济系统中各要素的关系,实现经济发展与生态环境关系的定量分析评价^[2]。近年来,能值分析在农业生态系统上的应用得到了广泛的关注。付晓等研究了辽西半干旱区农业生态经济系统的能值投入及产出结构,通过一系列能值评价指标分析了其发展现状^[3]。赵桂慎等对山东高产粮区农田生态系统的可持续性进行了研究,从能值结构和指标方面做了科学的评价^[4]。熊凯等利用能值分析方法对武汉市农田生态环境进行了综合评价,取得了良好的效果^[5]。杜鹏和徐中民等对甘肃省生态经济系统进行了能值分析和可持续性评价^[6]。这些研究在不同区域尺度上对生态经济系统进行了系统分析,是运用能值理论研究干旱地区生态经济系统的典型范例。

高台地处西部干旱区,是干旱区特殊的自然—社会—经济复合系统,以农业为主要产业,具有很大的发展潜力^[7]。然而,受地理位置和自然环境的影响,加之不合理的开发资源,高资源消耗的传统种植业系统已形成了对农田生态系统资源的过度消耗,使该地区生态系统面临着经济发展滞后和生态环境恶化的双重压力。本文运用能值理论对高台地区的农田生态系统进行了分析,揭示农田生态系统能流特征以及系统结构与功能,旨在为该地区的农业持续发展提供建议和参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

甘肃高台县地处东经 98°57'27"至 100°06'42",北纬 39°03'50"至 39°59'52"之间,位于河西走廊中部,黑河中游下段。高台县全县总面积 4 312 km²,2012 年年末全县总人口 15.8 万人。高台县属大陆沙漠干旱型气候,冬季寒冷、干燥,夏季干热,春季多风,全年无霜期 150 d 左右,多年平均降水量 103 mm,蒸发量 2 000 mm 左右^[8]。

1.2 能值分析方法

能值分析的概念:一种流动或存储的能量所包含另一类别能量的数量,成为该能量的能值^[9]。在农业生态系统中,按照能量流动方向分为总投入

能值和总产出能值^[10],结合区域自然环境和社会经济概况,选取代表区域生态系统能值指标体系,环境负载率、能值密度、可持续性指数等,对区域农田生态系统进行综合分析,定量评价农田生态系统种植业结构的多样性,探讨农田生态系统可持续发展状况。

1.3 数据来源

产出量等数据来自 1998—2013 年《甘肃省发展年鉴》^[11]。太阳能值转换率以 Odum H T、Brown M T 等的计算结果为基础,能量折算系数采用骆世明等的研究结果^[12]。

2 结果与分析

2.1 农田生态系统能值投入结构分析

高台县投入的能值主要包括:可更新环境资源、不可更新环境资源、可更新有机能和工业辅助能^[13]。从图 1 可以看出,第一,从高台县农田生态系统的投入情况看,1997—2003 年总投入能值变化幅度小,2004—2012 年这一阶段总能值投入呈上升趋势。第二,可更新环境资源和不可更新环境资源投入变化很小,相反,不可更新工业辅助能不断增加,1997 年为 180.98×10^{18} sej,2012 年为 285.13×10^{18} sej,增加了 36.5%,充分表明了高台县在近几年的农业生产中对化肥等的依赖程度越来越高,同时,随着经济社会的不断发展,消耗的工业辅助能也在增加。第三,可更新的有机能占总能值投入的比重呈下降趋势,主要是因为有机肥的投入占很小一部分,投入偏低。其中,人力和畜力是可更新有机能的主要部分,2011 年,二者所占比例达 61.65%,说明高台县农业生产还比较传统,农业机械落后。从表 1 还可看出,不可更新工业辅助能占总能值投入的大部分,可更新有机能次之。因此,在今后农业生产中,高台县需要增加农业机械投入和提高农业科技,减少劳动力投入,还应加大有机肥的施用量,减少化肥的使用,使农业向生态化和有机化发展。

2.2 农业生态系统能值产出结构分析

由图 2 可知,高台县 1997—2004 年总能值产出变化幅度大,1997—1998 年呈上升趋势,1998—2000 年迅速下降,到 2001 年上升到 16 年间的最大值,然后又开始迅速下降,到 2002 年达到最小值。2003—2008 年开始缓慢上升,2008—2010 年逐渐下降,然后又开始上升。从表 2 可以看出,小麦、夏杂粮、棉花和玉米是高台县主要的能值产出。小麦从 1997 年的 86.32×10^{18} sej 下降到 2012 年的 48.69×10^{18}

sej,下降了43.59个百分点;夏杂粮从1997年的 80.74×10^{18} sej上升到2012年的 117.33×10^{18} sej,比重由23.29%上升到24.79%;玉米能值在1997—2012年间变化不明显,从1997年的 71.052×10^{18} sej上升到2012年间的 98.79×10^{18} sej,在总的能值中所占的比重基本没变。在1997—2012年间,棉花的

能值呈现明显的上升趋势,从1997年的 41.06×10^{18} sej迅速上升到2008年的 254.26×10^{18} sej,后者是前者的6倍多;然后又开始缓慢下降到2012年的 161.76×10^{18} sej,比2008年下降了36.38%。很明显这16年间高台绿洲粮食作物种植量减少,增加了经济作物的种植。

表1 1997—2012年高台县农田生态系统能值投入结构/($\times 10^{18}$ sej)

Table 1 Energy input structure of Gaotai oasis farmland ecosystem during 1997—2012

| 项目 Items | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|---|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 可更新自然资源 Renewable natural resources | 8.85 | 8.96 | 8.80 | 8.83 | 8.85 | 8.90 | 8.86 | 8.92 |
| 不可更新自然资源 Nonrenewable natural resources | 2.19 | 2.08 | 2.16 | 2.06 | 2.06 | 2.07 | 2.07 | 2.08 |
| 不可更新工业辅助能 Nonrenewable purchased supplement energy | | | | | | | | |
| 化肥 Fertilizer | | | | | | | | |
| ①氮肥 Nitrogen fertilizer | 73.40 | 75.79 | 76.05 | 78.49 | 86.01 | 84.44 | 81.13 | 81.14 |
| ②磷肥 Phosphate fertilizer | 79.91 | 67.22 | 87.42 | 90.91 | 99.10 | 96.98 | 107.40 | 107.391 |
| ③复合肥 Compound fertilizer | 20.10 | 18.66 | 19.80 | 20.63 | 16.85 | 17.10 | 18.48 | 18.50 |
| 农业机械 Agricultural machinery | 7.59 | 8.38 | 8.58 | 9.16 | 9.59 | 10.01 | 10.59 | 10.892 |
| 小计 Total | 180.98 | 170.03 | 191.87 | 199.20 | 211.54 | 208.5 | 217.58 | 217.881 |
| 可更新的有机能 Original energy | | | | | | | | |
| 人力 Human | 59.91 | 60.60 | 61.411 | 62.19 | 62.25 | 62.06 | 110.52 | 63.45 |
| 畜力 Animal | 54.51 | 45.00 | 36.50 | 29.83 | 31.30 | 32.31 | 35.21 | 35.61 |
| 有机肥 Organic fertilizer | 17.591 | 15.09 | 11.90 | 13.70 | 14.10 | 14.30 | 14.852 | 16.093 |
| 种子 Seed | 3.56 | 3.60 | 3.60 | 3.264 | 2.631 | 1.983 | 1.901 | 1.874 |
| 灌溉水 Irrigation water | 20.00 | 19.70 | 19.80 | 19.80 | 19.70 | 19.70 | 17.40 | 18.10 |
| 小计 Total | 155.60 | 143.97 | 133.10 | 128.70 | 129.88 | 130.30 | 179.92 | 135.10 |
| 投入总计 Total input | 347.60 | 325.00 | 335.90 | 338.80 | 352.40 | 349.80 | 408.40 | 364.00 |
| 项目 Items | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| 可更新自然资源 Renewable natural resources | 8.90 | 8.92 | 9.30 | 9.30 | 9.30 | 9.30 | 11.79 | 16.51 |
| 不可更新自然资源 Nonrenewable natural resources | 2.09 | 2.09 | 2.16 | 2.18 | 2.17 | 2.17 | 2.75 | 3.85 |
| 不可更新工业辅助能 Nonrenewable purchased supplement energy | | | | | | | | |
| 化肥 Fertilizer | | | | | | | | |
| ①氮肥 Nitrogen fertilizer | 80.59 | 81.19 | 98.24 | 100.16 | 100.96 | 102.87 | 104.96 | 108.26 |
| ②磷肥 Phosphate fertilizer | 115.48 | 119.13 | 115.17 | 118.32 | 129.91 | 124.96 | 133.94 | 141.47 |
| ③复合肥 Compound fertilizer | 19.71 | 21.99 | 18.00 | 17.38 | 17.25 | 21.02 | 17.65 | 19.73 |
| 农业机械 Agricultural machinery | 11.25 | 11.86 | 11.96 | 12.58 | 13.09 | 13.28 | 14.96 | 15.67 |
| 小计 Total | 227.03 | 234.17 | 243.36 | 248.49 | 261.21 | 262.14 | 271.54 | 285.14 |
| 可更新的有机能 Original energy | | | | | | | | |
| 人力 Human | 64.23 | 64.70 | 66.24 | 67.65 | 68.92 | 70.00 | 70.09 | 68.85 |
| 畜力 Animal | 35.86 | 36.54 | 26.83 | 28.12 | 28.62 | 30.53 | 39.28 | 49.16 |
| 有机肥 Organic fertilizer | 17.23 | 18.34 | 18.65 | 29.01 | 31.07 | 43.94 | 47.07 | 49.15 |
| 种子 Seed | 1.78 | 1.85 | 1.66 | 1.65 | 2.23 | 2.64 | 3.26 | 3.36 |
| 灌溉水 Irrigation water | 17.86 | 19.18 | 19.44 | 19.44 | 19.44 | 20.262 | 20.45 | 20.87 |
| 小计 Total | 136.981 | 140.65 | 132.80 | 145.86 | 150.26 | 167.37 | 180.17 | 191.39 |
| 投入总计 Total input | 375.00 | 385.80 | 387.63 | 405.81 | 422.94 | 440.97 | 466.23 | 496.89 |

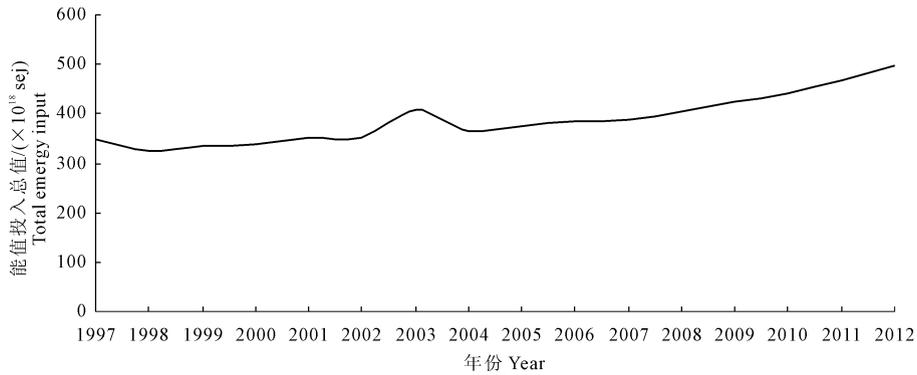


图 1 1997—2012 年高台县绿洲农田生态系统总的能值投入

Fig.1 Total energy input of Gaotai oasis farmland ecosystem during 1997—2012

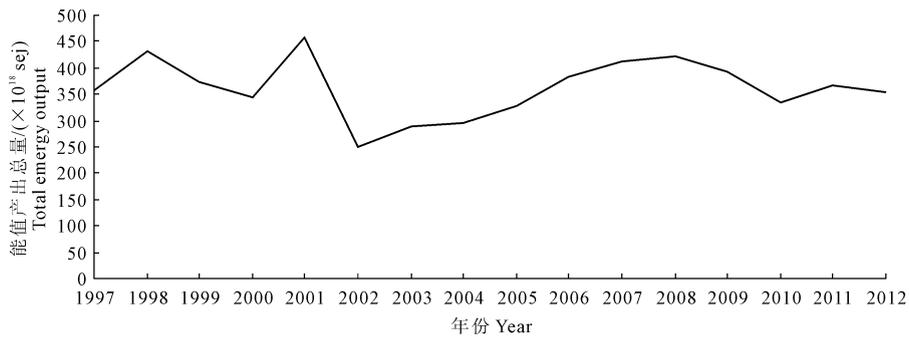


图 2 1997—2012 年高台县绿洲农田生态系统总的能值产出

Fig.2 Total energy output of Gaotai oasis farmland ecosystem during 1997—2012

表 2 1997—2012 年高台县农田生态系统能值产出结构/($\times 10^{18}$ sej)

Table 2 Energy output structure of Gaotai oasis farmland ecosystem during 1997—2012

| 作物 Crop | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|-------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|
| 小麦 Wheat | 86.32 | 80.671 | 82.576 | 62.352 | 56.11 | 41.68 | 40.34 | 35.88 |
| 夏杂粮 Summer cereal | 80.741 | 82.842 | 94.887 | 99.388 | 97.26 | 71.771 | 64.46 | 67.221 |
| 玉米 Corn | 71.052 | 73.65 | 72.18 | 66.491 | 49.52 | 41.94 | 38.99 | 42.87 |
| 洋芋 Potato | 0.022 | 0.028 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 大豆 Soybean | 34.48 | 53.951 | 47.32 | 75.742 | 81.53 | 18.34 | 30.15 | 25.89 |
| 棉花 Cotton | 41.06 | 70.619 | 32.351 | 57.43 | 126.23 | 32.46 | 80.32 | 101.43 |
| 油料 Oilbearing | 20.31 | 31.418 | 34.603 | 44.01 | 34.01 | 33.79 | 25.64 | 8.95 |
| 甜菜 Beet | 10.65 | 9.032 | 3.149 | 3.27 | 7.11 | 5.15 | 2.39 | 0.42 |
| 蔬菜 Vegetables | 3.721 | 6.02 | 4.969 | 5.11 | 5.03 | 14.76 | 17.12 | 22.21 |
| 瓜类 Melons | 0.361 | 4.51 | 0.52 | 0.69 | 0.75 | 0.429 | 0.61 | 0.249 |
| 产出总计 Total output | 348.697 | 412.76 | 372.62 | 414.57 | 457.58 | 240.37 | 300.04 | 305.16 |
| 作物 Crop | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| 小麦 Wheat | 27.95 | 21.00 | 28.66 | 25.72 | 31.831 | 31.15 | 41.632 | 48.69 |
| 夏杂粮 Summer cereal | 86.241 | 96.24 | 98.40 | 92.91 | 99.609 | 106.15 | 120.11 | 117.33 |
| 玉米 Corn | 46.649 | 54.90 | 41.44 | 44.46 | 61.63 | 80.71 | 97.42 | 98.79 |
| 洋芋 Potato | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.079 |
| 大豆 Soybean | 25.748 | 18.02 | 24.78 | 7.67 | 19.29 | 12.68 | 13.261 | 1.161 |
| 棉花 Cotton | 128.492 | 188.12 | 230.98 | 254.27 | 174.51 | 155.52 | 145.23 | 161.769 |
| 油料 Oilbearing | 8.161 | 9.721 | 10.31 | 7.44 | 27.51 | 35.38 | 20.248 | 12.85 |
| 甜菜 Beet | 0.222 | 0.729 | 4.61 | 3.76 | 5.04 | 2.93 | 2.03 | 2.121 |
| 蔬菜 Vegetables | 23.018 | 23.652 | 23.92 | 24.181 | 26.96 | 28.12 | 27.87 | 30.27 |
| 瓜类 Melons | 0.26 | 0.14 | 0.17 | 0.178 | 0.18 | 0.23 | 0.181 | 0.30 |
| 产出总计 Total output | 346.74 | 392.55 | 443.29 | 460.62 | 446.61 | 452.94 | 468.07 2 | 473.37 |

2.3 高台县农田生态系统主要能值指标分析

结合高台地区实际情况,选取一些具有代表性的指标对该地区的经济发展水平和生态环境状况等进行评价。

2.3.1 净能值产出率 净能值产出率是系统产出能值与投入的农业辅助能之比。是衡量系统产出对经济贡献大小的指标,它用以评价基本能值利用率以及农业生产活动的竞争能力。净能值产出率越高,表明系统的生产率越高^[14]。高台县农业系统的净能值产出率变化规律与总的能值产出变化规律一致。1997—2002年间变化幅度大,2001年达到最大值,2002年达到最小值;2002—2012年间变化缓慢。表明高台县2001年能值利用率高,2002年能值利用率最小。2003—2007年逐渐上升。2009—2012年,系统生产率不断下降,系统整体功能不好,运转效率较差,主要是由于化肥能值等购买能值的不断增加。

2.3.2 环境负载率 环境负载率是辅助投入能值和不可更新资源能值与环境资源总能值的比率。用于衡量系统能值利用强度,警示系统所受的压力状况。若系统长期处于较高的环境负载率下,则容易破坏系统的平衡,产生不可逆转的功能退化^[15]。如图3所示,高台县农田生态系统环境负载率总体呈上升趋势,1997—2001年间,环境负载率呈现明显的上升趋势,由1997年的1.14上升到2001年的1.53,上升了34.2个百分点。2002—2003年间,急剧下降,由2002年的1.54下降到2003年的1.17,下降了24.03个百分点。2003—2007年间,迅速上升到2004年的1.55后开始缓慢上升,2007年达到16年间的最大值1.65,比2003年上升了41.03个百分点。2007—2012年间,呈现明显的下降趋势,2012年达到1.38,比2008年下降了21.56个百分点。表明1997—2002年和2003—2007年这两个阶段内高台县农田生态系统压力大,资源利用率低;相反,2008—2012年间,随着社会的发展和环境的重视,

资源利用率有所提升,环境有所改善。因此,应该适当减小高能值投入的农作物种植面积的比重,降低生产成本,加大机械化投入,提高系统对环境资源的利用率,保护生态环境,走高效绿色农业发展之路^[9]。

2.3.3 可持续发展指数 可持续性指数是净能值产出率与环境负载率的比值,表征当地生态系统可持续发展水平。但并不是ESI值越大,就表示系统的可持续发展性越高。若 $1 < \text{ESI} < 10$,则表明系统富有活力和发展潜力,是可持续的;若 $\text{ESI} > 10$,则是不发达的象征;若 $\text{ESI} < 1$,则是高环境负载率的消费型生态经济系统^[16]。图4表明,高台绿洲农田生态系统可持续发展指数由1997年的0.97上升到1998年的1.21,然后又迅速下降到2000年的0.73,比1998年下降了93.97个百分点;然后又上升到2001年的0.87,2002年达到最小值0.56,下降了35.63个百分点;2002—2012年间,除2009年有所下降外,一直呈缓慢上升趋势。结果表明,1997—2012年间,只有1998年 $1 < \text{ESI} < 10$,高台县农田生态系统富有活力和发展潜力,其余年份内高台县是典型的消费型生态经济系统,系统投入以人工辅助能为主。图2表明,虽然高台县绿洲农田生态系统净能值产出率一直较高,但是与1997年相比,2012年下降了60多个百分点,系统资源利用效率不高,从而造成高台县绿洲农田生态系统环境负载率值一直很大,当地政府应该提高警惕,重视生态环境问题,减小环境压力,提高环境效益,使经济环境共同发展。

2.4 高台县农田生态系统综合指标分析

由于单一能值指标分析具有片面性,不能很好地反映高台县农田生态系统的综合水平,本文构建了反映农田生态系统综合水平的能值指标体系,利用主成分分析法计算不同年份的综合水平得分值,从整体上定量评价高台绿洲农田生态系统的可持续发展差异。

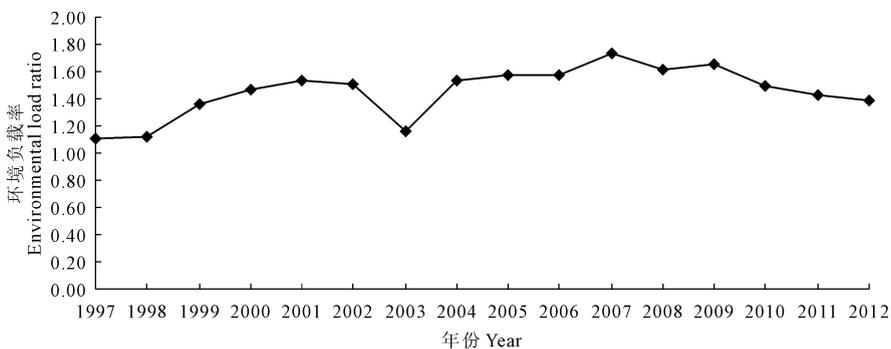


图3 1997—2012年高台县绿洲农田生态系统环境负载率

Fig. 3 Environmental load ratio of Gaotai oasis farmland ecosystem during 1997—2012

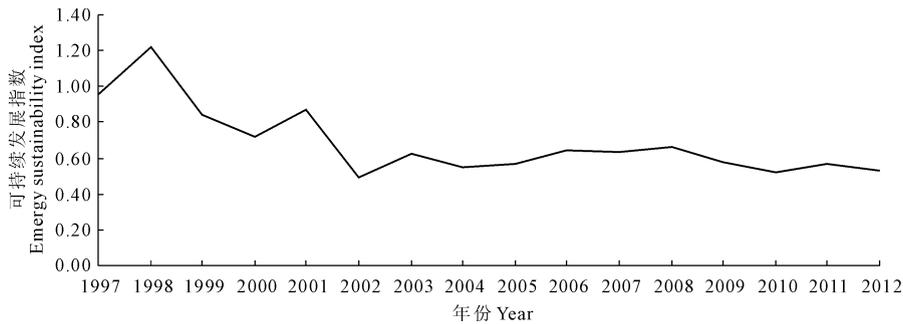


图 4 1997—2012 年高台县绿洲农田生态系统可持续发展指数

Fig.4 Emergency sustainability index of Gaotai oasis farmland ecosystem during 1997—2012

主成分分析法是将原来变量重新组合成一组新的互相无关的几个综合变量,同时根据实际需要从中取出几个较少的综合变量,尽可能多地反映原来变量信息的统计方法^[15]。

将系统综合水平的能值指标体系(可更新环境能值与总能值比、环境负载率、能值投入率、净能值产出率、可持续发展指数等)导入 SPSS19.0,然后对运算结果进行分析。

从图 5 可以看出,高台县综合得分整体波动较大,由 1997 年的 0.3 上升到 1998 年 0.95,然后下降到 2000 年的 -0.09,2001 年达到最大值 0.98,

2002—2006 年间综合得分都为负值,2007—2008 年上升,综合得分大于 0,2009—2012 年间呈现明显的下降趋势,2012 年达到 16 年间的最小值 -0.66。由趋势线还可看出 16 年来研究区综合得分情况波动非常大,说明高台县在研究期间农田生态系统非常不稳定。除 2000 年以外,1997—2001 年、2007—2009 年这两个阶段内高台县综合得分大于 0,说明高台县农田生态环境良好;其余年份均为负值,2010—2012 年综合得分呈下降态势,说明近年来高台绿洲生态环境并没有得到根本改善,农田生态系统的可持续发展状况不容乐观。

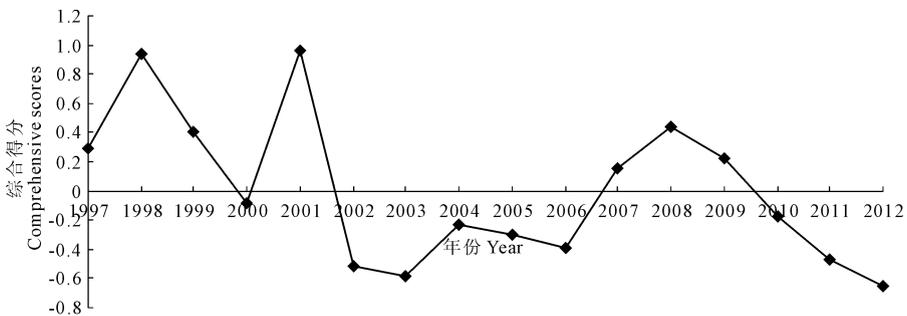


图 5 1997—2012 年高台县绿洲农田生态系统综合得分变化

Fig.5 Variations in comprehensive scores of Gaotai oasis farmland ecosystem during 1997—2012

3 结 论

经过分析 1997—2012 年期间高台县绿洲农田生态系统总的能值投入呈现整体增加、局部时间段减小态势。1998 年能值投入值最小,为 325×10^{18} sej,2012 年投入值最大,为 496.89×10^{18} sej,自 2010 年开始高台县环境资源能值投入不断增加。可更新的有机能占总能值比重总体呈下降趋势。

1997—2012 年高台县绿洲总的能值产出波动较大,总体呈下降趋势。2002 年达到最小值,为 240.37×10^{18} sej,2012 年最大,为 473.37×10^{18} sej。小麦、玉米、棉花和夏杂粮一直是高台县绿洲农田生态系

统的主要能值产出作物,除玉米能值基本上呈现上升的趋势,小麦、棉花和夏杂粮整体上呈下降的趋势。说明在这 16 年间高台县绿洲农田粮食作物种植量增加,减少了经济作物的种植。

1997—2012 年间高台县农田生态系统环境负载率总体呈上升趋势,由 1997 年的 1.14 上升到 2012 年的 1.38。

除 1998 年以外,1997—2012 年间可持续发展指数均低于全国 2001 年平均水平(1.23)。2001 年综合得分 0.97 分,2012 年综合得分 -0.65 分,相差 1.62 分。表明近几年该地区对不可更新资源的利用较大,生态系统不稳定,生态环境遭到严重破坏,生

态环境压力大,可持续性差。

总之,无论是能值指标分析法还是主成分分析法,都表明近几年高台县农田生态系统发展状况不容乐观,农田生态环境极其脆弱,在此基础上,本文提出促进高台县绿洲农田生态系统可持续发展的几点建议。

1) 改善肥料投入结构

土壤肥力的高低是影响净能值产出率的重要因素^[13],而高台县农田生态系统过度使用化肥,土壤肥力下降,因此应该加快改变过度依赖化肥的局面。一方面提高化肥利用率,控制化肥的施用量;另一方面大力推广有机肥的使用,如将玉米秸秆、茴香根茬等直接还田与堆制秸秆肥还田,增加土壤中的有机质含量,提高土壤的肥力,从而促进系统自身的物质循环,降低对工业辅助能的过度依赖。

2) 合理利用水资源,防治水污染

黑河是高台县农田生态系统主要用水来源,然而多年来人们为了自己的经济利益,大量开垦土地,种植面积日益剧增,大量开采黑河水资源,加之各城镇工业废水、被污染的农田灌溉水和居民生活污水不经处理直接排入黑河,致使高台县水资源紧缺、水污染加剧,农田生态环境面临崩溃,风沙严重,土地盐碱化、水土流失,耕地面积减少,降低环境资源贡献率^[15]。因此高台县需大力推广节水灌溉技术,合理开采利用水资源,提高水污染防治技术。

3) 科技兴农,提高农业机械化水平

由前文分析可知,高台县农业机械化水平对农田生态系统的能值总产出有较大影响,因此高台县应积极引进采用先进机械技术,提高农业机械化水平,不断拓展农机作业领域,提高农机服务水平。

4 讨论

1) 由于能值分析法涉及数据繁多,不同年份数据统计口径存在差异,本文按照相关文献进行处理,因此研究数据与真实情况会稍有偏差,但对结论影响不大。

2) 尽管能值分析法还有待完善,但对正确分析人类与环境资源、社会经济之间的相互关系、制定可持续发展战略的作用不容置疑。因此本文用能值分析方法分析高台县农田生态系统可持续性有其合理性。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 尹钧,曹卫星,周乃健,等.农田能量投入产出规律的研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(3):97-102.
- [4] 郝翠,李洪远,孟伟庆,等.基于三元相图法的天津生态经济系统能值分析[J].自然资源学报,2010,25(7):1133-1141.
- [5] 王鹤龄,牛俊义,王润元,等.甘肃不同类型农区农业自然环境资源特点及农田生产力分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):163-168.
- [6] 李海涛,廖迎春,严茂超,等.新疆生态经济系统的能值分析及其可持续性评估[J].地理学报,2003,58(5):765-772.
- [7] 王有霞,王平,刘淑英.凉州区生态系统服务价值的变化[J].干旱地区农业研究,2012,29(5):224-229.
- [8] 张志功,刘淑英,王平,等.高台县耕地集约利用空间格局分析[J].干旱地区资源与环境,2013,(10):10-16.
- [9] 蒋碧,李明,吴慧慧,等.关中原农田生态系统不同秸秆还田模式的能值分析[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):179-185.
- [10] 邢开成,龚宇,王璞.华北平原集约农区种植业生态经济系统的能值分析——以河北沧州为例[J].生态环境,2007,16(2):593-597.
- [11] 《甘肃发展年鉴》编委会.甘肃发展年鉴[M].北京:中国统计出版社,1998-2003.
- [12] 骆世明.农业生态学[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [13] 高雪松,邓良基,张世熔.基于能值方法的成都平原农田生态系统秸秆循环利用模式研究[J].中国生态农业学报,2014,22(6):729-736.
- [14] 毛德华,胡光伟,刘慧杰,等.基于能值分析的洞庭湖区退田还湖生态补偿标准[J].应用生态学报,2014,25(2):525-532.
- [15] 汤萃文,苏研科,杨国靖,等.基于能值分析的甘肃天祝县生态足迹研究[J].冰川冻土,2011,33(1):221-225.