



基于能值生态足迹的鲁西南 耕地可持续利用分析

宁纪群

(曲阜师范大学, 山东 日照 276826)

摘 要:传统的耕地研究往往只局限于生态、经济、社会的某一领域或某两个领域,或者割裂了三者的关系,运用能值——生态足迹模型分析鲁西南地区耕地生态经济系统,以统一的度量指标有效地将三者联系起来,克服了传统研究的缺陷;产量因子采用“省公顷”计算方法,结果更加贴近现实;同时研究弥补了鲁西南耕地可持续利用研究的空白。并利用灰色预测理论对耕地可持续指数作了预测。结果表明:鲁西南耕地人均生态承载力较低,而人均生态足迹较高,整体表现为生态赤字,耕地处于强不可持续发展状态,预测长期内会进入中等不可持续等级。应致力于耕地数量、质量及人口方面,改善鲁西南耕地的可持续利用状况。

关键词:能值分析;可持续利用;生态足迹;省公顷;产量因子

中图分类号: S15

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2016) 01-0112-05

耕地是农业生产最基本的生产要素之一,是人类赖以生存和发展的基础。我国虽然地域辽阔,但人口众多,人均耕地面积小;对耕地不合理的开发利用一定程度上破坏了耕地系统的平衡。耕地系统的失衡会抑制经济的发展,子孙后代的生存也将面临严峻的挑战。所以,对耕地的可持续利用分析、评价显得尤为重要。基于耕地的可持续性思想,近年来涌现出大量以山东省作为目标区域的耕地生态经济系统的研究,这些研究的分析区域大多是蓝、黄经济区,或者限定在某个市县,很少涉及鲁西南地区(菏泽、济宁、枣庄)。虽然较“蓝黄”经济区,鲁西南的经济发展水平较低,但它依然有比较优势产业即农业^[1]。而在山东农业的发展中,鲁西南地区占据重要地位。为发展鲁西南的优势产业,推动鲁西南地区的经济发展,就需要分析研究该区域的耕地生态经济系统,协调人、耕地与经济之间的平衡关系。

一、研究区域概况

本文研究区域采用鲁西南的广义范畴,即包括枣庄、济宁、菏泽三市,下辖 26 个县级单位、388 个乡镇级单位,地势低洼平坦,是山东省主要的平原区之一。2013 年鲁西南年末总人口 2037.47 万人,土地总面积 27988 平方千米;地区生产总值 7382.18 亿元,其中第一产业占 32.7%。鲁西南虽然是山东经济发展的“洼地”,但农业作为本地区最基本的、具有比较优势的产业之一在全省具有举足轻重的地位。据统计,2013 年该地区的 GDP 约占全省的 13.50%,而农业总产值占全省的比例高达 21.06%。

二、理论基础

(一)能值理论

能值理论是由美国著名的生态学家 H.T.Odum 于 20 世纪 80 年代在传统能量分析的基础上创立的一种新的研究方法。它利用能值转换率把系统中不同种类、不可比较的能量转化成统一的单位——太

收稿日期:2015-10-16

作者简介:宁纪群(1990-),女,山东临沂人,曲阜师范大学经济学院硕士研究生,研究方向:农业经济与管理。

阳能焦耳(sej),从而定量分析系统的功能特征和生态、经济效益^[2]。

(二)基于能值改进的生态足迹模型

生态足迹理论是由加拿大规划与资源生态学教授 Rees 于 1992 年提出,1996 年 Wackernagel 进一步完善和发展了该理论。生态足迹的基本思想是将人类消费需要的自然资源的“利息”(生态足迹)与自然资源产生的“利息”(生态承载力)转化为可以共同比较的土地面积,二者的比较用来判断人类对自然资源的过度利用情况^[3]。该分析方法虽然有很多优点,但也存在研究结果过于静态、偏重生态系统研究等缺陷。运用能值理论改进生态足迹分析法,弥补了传统生态足迹模型的一些不足。能值生态足迹是将能值理论与传统生态足迹理论有机结合而形成的新的分析方法,其基本思想是将人类的消费量转为由太阳能统一表示的能值,然后将此消费能值转化成相应的生物生产性土地面积,以此为基础计算生态承载力、生态足迹、生态可持续指数三个指标,分析研究区域可持续发展的情况^[4]。

三、指标计算

本文研究所用数据来源于 2001-2014 年《山东省统计年鉴》以及枣庄、济宁、菏泽的相关统计资料,能值转换系数及能值转换率参考了相应的文献资料。利用收集的各原始数据计算出鲁西南耕地能值生态承载力、生态足迹、生态可持续指数,从而定量分析鲁西南耕地的可持续性。

(一)人均生态承载力

生态承载力即生态足迹的供给,是指在一定区域内,在不破坏生态平衡的前提下,该区域能提供给人类的生产性土地面积。生态承载力一般涉及可更新和不可更新资源的概念,但是不可更新资源经人类开发利用后在相当长的时期内不可再生,而耕地产出的稻谷、玉米、油料等农作物所需的能源主要是太阳能、雨水化学能、每年可再生的土壤表层能等可更新资源。所以在计算耕地人均生态承载力时,公式中只涉及可更新资源,公式如下:

$$EC = \frac{\sum E_i \times N_i}{N \times D} \times Y \quad (1)$$

EC——人均生态承载力;E_i——第 i 种可更新能源含有的能量(J);N_i——第 i 种可更新能源的能值转换率;N——研究区域的人口数;D——全球地表能值密度,D 取值为 3.1×10¹⁵ sej/hm² ^[5];Y——产量因子,以往的研究在计算产量因子时大多采用全球公顷,而本文是针对省域范围内的生态足迹分析,故采用更具实际意义的“省公顷”所对应的产量因子^[6],即 Y 是鲁西南粮食平均产量与山东省粮食平均产量的比值。鲁西南 2001-2012 年的产量因子如表 1 所示:

本文选用的雨水化学能能值转换率为 15400sej/

表 1 2001-2012 年鲁西南产量因子

| 年份 | 产量因子 | 年份 | 产量因子 |
|------|--------|------|--------|
| 2001 | 1.0884 | 2006 | 1.0609 |
| 2002 | 1.1494 | 2007 | 1.0437 |
| 2003 | 0.9983 | 2008 | 1.0501 |
| 2004 | 1.0513 | 2009 | 1.0294 |
| 2005 | 1.029 | 2012 | 1.0433 |

表 2 各消费项目能值转换率一览表

| 项目 | 能值转换率 sej/kg | 项目 | 能值转换率 sej/kg |
|----|--------------|----|--------------|
| 小麦 | 1.11E+12 | 薯类 | 1.08E+10 |
| 稻谷 | 5.42E+11 | 油料 | 1.81E+13 |
| 玉米 | 4.4E+11 | 棉花 | 1.44E+13 |
| 高粱 | 4.29E+11 | 蔬菜 | 6.75E+10 |
| 谷子 | 4.29E+11 | 瓜果 | 2.97E+10 |
| 豆类 | 1.44E+13 | | |

表 3 耕地生态可持续指数分级

| 等级 | 生态可持续指数 | 可持续利用程度 |
|----|-------------|---------|
| 1 | >0.80 | 强可持续 |
| 2 | 0.65 ~ 0.80 | 中等可持续 |
| 3 | 0.50 ~ 0.64 | 弱可持续 |
| 4 | 0.35 ~ 0.49 | 弱不可持续 |
| 5 | 0.20 ~ 0.34 | 中等不可持续 |
| 6 | <0.20 | 强不可持续 |

表 4 鲁西南 2001-2012 年耕地利用状况

| 年份 | EC | EF | ED | ESI |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 2001 | 0.0806 | 0.5351 | 0.4545 | 0.1309 |
| 2002 | 0.0873 | 0.4912 | 0.4039 | 0.1509 |
| 2003 | 0.0859 | 0.4411 | 0.3552 | 0.163 |
| 2004 | 0.0862 | 0.4488 | 0.3626 | 0.1611 |
| 2005 | 0.0891 | 0.5221 | 0.4329 | 0.1458 |
| 2006 | 0.083 | 0.4973 | 0.4143 | 0.143 |
| 2007 | 0.0819 | 0.4952 | 0.4133 | 0.142 |
| 2008 | 0.092 | 0.4992 | 0.4072 | 0.1557 |
| 2009 | 0.0939 | 0.4327 | 0.3388 | 0.1783 |
| 2012 | 0.083 | 0.3904 | 0.3074 | 0.1753 |

J,表层土壤能值转换率取 62500sej/J^[5]。利用原始数据、各项目能值转换率及公式(3-1)计算得到 2001-2012 年鲁西南人均生态承载力,如表 4 所示。

(二)人均生态足迹

生态足迹是指用生物生产性土地面积表示的某一区域内人类对自然生态服务的需求。针对本文的研究内容,本文对基于能值改进的生态足迹进一步解释为用耕地面积表示的鲁西南地区人们对小麦、稻谷、玉米、油料等农作物的消费能值。计算公式如下:

$$EF = \frac{\sum E_i \times M_i}{N \times D} \quad (2)$$

EF——人均生态足迹;E_i——第*i*种人类消费项目含有的能量(J);M_i——第*i*种人类消费项目的能值转换率;N——研究区域的人口数;D——全球地表能值密度, $D=3.1\times 10^{15}\text{sej/hm}^2$ 。

根据鲁西南耕种特点,本文选取鲁西南耕地产出的主要农作物为小麦、稻谷、玉米、高粱、谷子、豆类、薯类、油料、棉花、蔬菜、瓜果。所列消费项目的能值转换率如下表所示^[9]:

依据公式(2)及表2数据计算出2001–2012年鲁西南基于能值改进的人均耕地生态足迹,如表4所示。

(三)生态赤字/盈余

生态赤字表示某一区域能提供给人类的生物生产性土地面积小于用生物生产性土地面积表示的人类对自然生态服务的需求,即生态足迹供给小于生态足迹需求;而生态盈余是指生态足迹需求小于供给^[7]。计算公式为:

$$ED(ES)=EF-EC \quad (3)$$

ED——生态赤字;ES——生态盈余。计算结果为正,即出现生态赤字,表明地区处于不可可持续发展的状态;计算结果为负,即出现生态盈余,说明研究区域处于可持续发展的状态。

(四)生态可持续指数

生态可持续指数(ESI)是指某区域生态能提供的资源及生态服务功能可持续满足人类消耗水平的能力。公式如下:

$$ESI=\frac{Ec}{Ec+EF} \quad (4)$$

上式中 $ESI<1$, $ESI=0.5$ 时,生态足迹的供给与需求达到一种平衡状态,即生态赤字/盈余为0,是可持续与不可持续的分界点。 ESI 越接近0,表明耕地处于不可持续状态的程度越强; ESI 越接近1,则表明耕地处于可持续状况的程度越强。 ESI 的不同数值会对应耕地生态系统不同的可持续程度^[8]。

四、结果分析

根据表4的计算数据,绘制出人均生态承载力、人均生态足迹、生态赤字的汇总图,如图1所示:

(一)人均生态承载力

2001–2012年鲁西南的人均生态承载力只有小幅波动,指标值较稳定,但是生态承载力的稳定性是相对的,只要方法得当就能在一定程度上提高指标值,成为改善耕地系统可持续性的关键一环。2001年鲁西南人均生态承载力的值最低为0.0806,2008年出现最高值0.092,波动范围在0.08–0.1之间,指标值较低,表明鲁西南耕地生态系统的自我维持与自我调节能力、资源与环境子系统的供容能力、社会子系统的发展能力较低。但是低水平的值具有很大的提升空间,合理的措施能提高鲁西南人均耕地生态承载力,从而降低生态赤字,使耕地偏向可持续发展的状态。

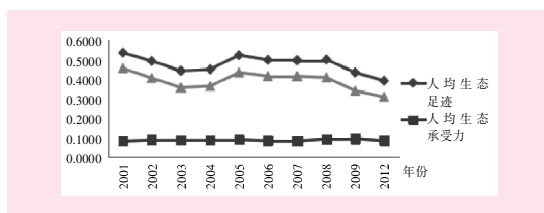


图1 2001–2012年鲁西南耕地指标的动态变化图

(二)人均生态足迹

图1显示,鲁西南人均生态足迹在0.3074–0.5351之间波动,波动幅度较大,但总体呈下降趋势,以2001年为基期,2004年指标值下降12.13%,而2012年下降幅度达42.55%。根据人均生态足迹的含义,该项指标受区域人口规模、人均消费水平和技术条件的影响,而指标值总体下降的趋势与研究时期鲁西南的发展状况是密不可分的。2001–2012年鲁西南人口数由2011万增加至2199万,人口的增长对耕地人均生态足迹有消极影响,但是鲁西南各地在保护和提高粮食综合生产能力的前提下,积极探索结构调整的有效途径和办法,并实施科教兴农战略,依靠科技提高农业增长的质量和效益,技术进步、管理优化循序渐进,这些改进提高了耕地的生产力水平,对降低耕地人均生态足迹具有积极作用。

(三)生态赤字与生态可持续指数

基于人均生态承载力稳定低水平的状况和人均生态足迹的变化情况,鲁西南生态赤字与人均生态足迹的变化趋势相近,即总体呈下降趋势,其值由2001年的0.4039下降至2012年0.3074下降幅度为23.89%,说明鲁西南的耕地生态有所好转,但是与生态足迹供需平衡的水平还有很大的差距。

如图2所示,鲁西南耕地可持续指数指标值在0.1309–0.1753之间波动,但总体呈上升趋势,2012年达到最大值0.1753,与2001年相比增加了33.92%。耕地可持续指数的上升表明鲁西南的耕地可持续情况有所改善,但是该项指标值一直处于0.20以下,根据耕地生态可持续指数分级,2001–2012年鲁西南耕地一直处于强不可持续的发展状态。

五、山东鲁西南耕地生态可持续发展预测

上文研究分析表明鲁西南耕地可持续情况有好转的趋势,但生态可持续指数持续的强不可持续等级状态令人担忧。为了更好地掌握鲁西南耕地生态的动态变化情况,提前做好优化耕地系统、提高耕地利用可

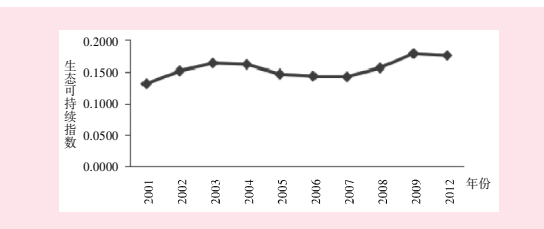


图2 2001–2012年鲁西南耕地可持续指数

持续性的准备,本文基于 2001–2012 年鲁西南耕地动态发展数据,运用灰色预测理论的 G(1,1)模型对鲁西南 2015–2033 年耕地生态动态发展情况作出预测。

G(1,1)模型即只有一阶导数、一个序列变量的灰色模型,是研究少数据、贫信息、不确定性问题的一种灰色预测模型。灰色预测要求建模数据序列应当由最新数据及其相连数据构成,因研究中缺少 2010–2011 年的数据,本文遵循数据等时距、相连的特性,选取 2003 年、2006 年、2009 年、2012 年鲁西南耕地人均生态承载力、人均生态足迹、生态可持续指数数据作为预测的原始数据。

(一)数据的检验与处理

设原始数列为

$$X^{(0)}=(X^{(0)}(1),X^{(0)}(2),\cdots,X^{(0)}(n))$$

计算数列的级比

$$\sigma(k)=\frac{X^{(0)}(k-1)}{X^{(0)}(k)},k=2,3,\cdots,n.$$

若所有的级比都落在可容覆盖区间 $\sigma(k)=(e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}})$ 内,则数据列 $X^{(0)}$ 可以建立 GM(1,1)模型且可以进行灰色预测。经过计算,三个指标的级比均落在区间 (0.6703, 1.4918) 内。

(二)建立 G(1,1)模型

由原始数列 $X^{(0)}$ 计算累加生成数列 $X^{(1)}$

$$x^{(1)}(k)=x^{(0)}(1)+x^{(0)}(2)+\cdots+x^{(0)}(k),\text{对 } x^{(1)} \text{ 采用最小二乘法确定模型参数}$$

$$\hat{u}=[a \ b]^T=(B^TB)^{-1}B^Ty_N$$

$$B=\begin{bmatrix} -\frac{1}{2}x^{(1)}(1)+x^{(1)}(2) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}x^{(1)}(n-1)+x^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

$$y_N=\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

建立预测模型,求出累加序列

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=(x^{(0)}(1)-\frac{b}{a})e^{-ak}+\frac{b}{a}$$

(三)模型检验与预测

本文采用残差检验方法对预测模型进行检验。按模型计算 $\hat{x}^{(1)}(i+1)$, 将其累减生成 $\hat{x}^{(0)}(i)$, 然后计算绝对误差 $\varepsilon(k)$ 及相对误差, 计算公式如下:

$$\varepsilon(k)=\Delta 0(i)/x_0(i)\%,(i=1,2,\cdots,n) \quad (5)$$

$$\Delta 0(i)=x_0i-x^0(i),(i=1,2,\cdots,n) \quad (6)$$

如果对所有的 $|\varepsilon(k)|<0.1$, 则认为达到较高的要求; 否则, 若对所有的 $|\varepsilon(k)|<0.2$, 则认为达到一般要求。人均生态承载力、人均生态足迹、生态赤字、生态可持续指数的序列数据的平均相对误差分别为 5.5919%、0.8431%、2.3659%、5.3722%, 均小于 0.1, 认

表 5 鲁西南 2015–2033 年耕地可持续性相关指标预测值

| 年份 | 人均生态承载力 | 人均生态足迹 | 生态赤字 | 生态可持续指数 |
|------|---------|--------|--------|---------|
| 2015 | 0.0866 | 0.3425 | 0.2572 | 0.1990 |
| 2018 | 0.0866 | 0.3031 | 0.2205 | 0.2186 |
| 2021 | 0.0866 | 0.2682 | 0.1890 | 0.2401 |
| 2024 | 0.0866 | 0.2373 | 0.1620 | 0.2637 |
| 2027 | 0.0866 | 0.2100 | 0.1389 | 0.2896 |
| 2030 | 0.0866 | 0.1858 | 0.1190 | 0.3181 |
| 2033 | 0.0866 | 0.1644 | 0.1020 | 0.3494 |

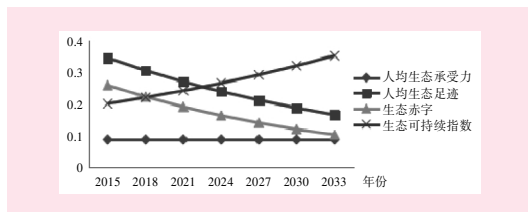


图 3 鲁西南耕地可持续性相关指标预测值

为预测模型达到了较高的要求,且指标的发展系数 a 均满足 $-a \leq 0.3$, 所以该模型能很好地预测中长期的指标值。如表 5 所示,即为利用灰色预测模型预测的鲁西南 2015–2033 年耕地生态可持续指数的指标值:

预测结果显示,人均生态承载力仍然处于低水平的稳定状态,人均生态足迹与生态赤字呈下降趋势,生态可持续指数则呈上升态势。2015 年生态可持续指数仍小于 0.2, 为强不可持续等级状态,2018 年指标值上升到 0.2 以上,此后持续上涨,2033 年指标达到 0.3494,耕地处于中等不可持续水平。在预测期内,生态可持续指数从强不可持续上升到中等不可持续状态且长期处于该状态用时 19 年,且与前期相比,指标值的最大上涨幅度出现于 2018 年,仅为 9.85%,表明虽然鲁西南耕地可持续性不断改善,但是改善幅度小,周期长。

六、结论与建议

本文通过指标计算分析了 2001 年至 2012 年鲁西南耕地生态足迹动态发展过程,结果发现:人均生态承载力长期处于低水平状态;人均生态足迹相较于人均生态承载力水平值较高,研究时期内有上升阶段,但总体呈下降趋势;鲁西南生态足迹供给小于需求,表现为生态赤字,基于人均生态承载力的稳定特性,生态赤字的变化过程与人均生态足迹相似,存在上涨阶段,但总体呈下降趋势;生态可持续指数不容乐观,2001 年至 2012 年指标值一直低于 0.2,处于强不可持续等级,预测结果显示,该指标在未来 22 年内增长缓慢,涨幅较小,至 2033 年,该指标值为 0.3492,在中等不可持续范围内。

基于以上各指标的计算分析,本文针对鲁西南耕地实际状况提出以下几点建议:

第一,控制人口规模,提高人口质量。关于耕地可持续性的研究中,有些注意到了人口规模而忽视了人口质量,有些则提到了人口质量而漏掉了人口规模,很少能顾全二者。人口规模是人均生态承载力的一个消极因子,当其他条件不变时,人口数量越多,人均生态承载力越小,所以要适当控制人口规模,提高耕地的人均耐受力。其次要提高人口质量,培养和引进高素质人才。山东大多数高校集中在沿海城市及省会济南,菏泽、枣庄、济宁高校数量较少,教育发展及人才培养落后于中东部地区,所以鲁西南可大力发展教育事业,提高人口素质,增强人民环保意识,培养形成节约型消费方式;还可以引进人才,特别是吸引东部地区技术型与管理型人才到鲁西南发展,既利于鲁西南耕地可持续性的改善,也利于缩小山东东西部差异,平衡全省范围内的发展。

第二,保护耕地,减少自然灾害受灾率。杜绝乱占耕地的现象频发,适当实施退建还耕政策,确保一定的耕地保有量;合理施肥,改善土壤肥力,提升地力;加大耕地附近工厂的污染治理。除此之外,还要尽量保护耕地生态系统不受自然灾害的破坏。山东是一个自然灾害频发、受灾影响严重的省份。自然灾害会降低耕地的单位产出,不利于耕地的可持续性发展,对农民的经济收入也会产生消极影响。为降低鲁西南自然灾害受灾率,应加强水利设施建设,解决旱涝问题;其次,加大补灾减损力度,做好灾前预警、灾后处理。

第三,农技推广与推进粮食高产创建活动。科技投入能提高土地产出率、资源利用率与劳动生产率,有利于耕地的可持续发展,所以大力发展农业科技、

积极推动创新成果转化是改善耕地可持续性的有效手段。此外,加快推进粮食高产创建活动,在以作物划分的示范区内,整合以往分散的技术和资源,按照特定作物生长规律,集成推广良种良法和配套措施,达到促进区域粮食增产的目标,并逐步将力量和资源从传统优产区向中低产田聚焦,实现更大范围的增产。

参考文献:

- [1] 李传建.非“蓝”非“黄”背景下鲁西南现代农业发展路径研究[J].临沂大学学报,2013,35(3):57-60.
- [2] 蓝盛芳,钦佩.生态系统的能值分析[J].应用生态学报,2001,12(1):129-131.
- [3] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法的理论解析[J].中国人口·资源与环境,2006,16(6):69-70.
- [4] 王国刚,杨德刚,苏芮,等.生态足迹模型及其改进模型在耕地评价中的应用[J].中国生态农业学报,2010,18(5):1081-1086.
- [5] 王燕鹏,于鲁冀,卢艳.基于能值分析的河南省耕地生态足迹动态研究[J].环境科学与管理,2010,35(10):144-148.
- [6] 张恒义,刘卫东,王世忠,等.“省公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算——以浙江省为例[J].自然资源学报,2009,24(1):82-92.
- [7] 杨开忠,杨咏,陈洁.生态足迹分析理论与方法[J].地球科学进展,2000,15(6):630-636.
- [8] 刘钦普,林振山,冯年华.生态足迹改进模型及在江苏省耕地利用评价中的应用[J].生态学杂志,2007,26(10):1685-1689.

[责任编辑:许海燕]

Analysis on Sustainable Utilization of Cultivated Farmland in Southwest of Shandong Province based on Energy Ecological Footprint Method

NING Ji-qun

(Qufu Normal University, Rizhao276826, China)

Abstract: The paper holds that previous researches on farmland are confined to any one area of ecological, economic, social or some fields, or they may split the relationship between the three. In this research, energy ecological footprint model is used to analyze the eco-economic system of farmlands in southwest region of Shandong province. It effectively links the three aspects with a united measurement, which overcomes the defect of previous researches; the production factor method is obtained by using the "province hectare", the result approximates the real situation; the research also fills up the blanks in the field of sustainable utilization of cultivated land in the southwest of Shandong province. Also, the sustainable index of cultivated land is estimated with gray prediction theory. The results show that the ecological capacity of the cultivated land per capita is low while the ecological coverage per capita is high. Thus, in all, it is in a state of deficits ecologically and fairly unsustainable in development. The prediction model forecast that cultivated land will reach the medium level of unsustainability in the long term. So the local government of southwest region of Shandong province should focus on the quantity and quality of cultivated land as well as population and improve the sustainable utilization of the cultivated land.

Key words: energy analysis; sustainable utilization; ecological coverage; province hectare; production factor