

甘肃河西地区农田生态系统能量投入产出及效率分析

魏小红, 蔺海明, 胡恒觉

(甘肃农业大学农学系, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 应用生态学能流研究方法, 对河西 45 年农田系统能量输入输出及效率进行了力能学分析。结果表明, 总投能逐年增加, 1994 年总投能最高的县为张掖市 ($131.59 \times 10^3 \text{ MJ}/\text{hm}^2$)。无机能在总投能中所占比例依次呈现出平稳、快速、缓慢增长的变化趋势, 天祝县无机能投入远远低于其它县市, 1994 年为总投能的 18%。总产能呈现出递增趋势, 但自 20 世纪 80 年代中期以后增长缓慢, 45 年来不同县市总产能增加以酒泉市和张掖市最大, 1994 年酒泉市和张掖市总产能分别为 235.93×10^3 和 $232.38 \times 10^3 \text{ MJ}/\text{hm}^2$ 。45 年中, 能量产投比出现 2 个高峰和 1 个低谷, 自 80 年代高峰过后, 大多数县市产投比下降, 其中天祝县产投比最低, 1994 年仅为 0.83。7 县市中酒泉市、民乐县、天祝县、武威市、张掖市农田单位面积投能分别超出其临界值: 5.66×10^3 、 4.6×10^3 、 8.73×10^3 、 15.9×10^3 和 $36.84 \times 10^3 \text{ MJ}/\text{hm}^2$ 。

关键词: 农田系统; 力能学; 产投比

中图分类号: S21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2001)03-0079-06

能量流动是生态系统运转的动力。研究生态系统中的能量流动, 在于了解一个系统的能量输入、输出以及二者的关系, 从而控制和管理该系统的功能效率, 以减少能量的无效损耗, 提高能量利用转化效率。农业生态系统的能量来源于两大部分, 一部分是太阳辐射能; 另一部分为辅助能, 辅助能的投入可由人类直接调控。这些辅助能量不但对农作物转化太阳能的效率产生决定性影响, 同时也控制着这些化学能的进一步转化和分配, 因此, 研究农业生态系统能流时应着重放在辅助能量投入输出及其转化效率上。总投能(辅助投能)包括两部分, 一部分为无机能; 另一部分为有机能^[1]。

本研究选择在河西地区颇具代表性的 7 个县市, 通过对 7 县市 45 年农田系统能量投入、产出、转化效率及报酬最高点、临界值和适宜区的分析, 从而评价该地区农田系统的特征及存在的问题。

1 材料与方法

1.1 自然条件概况

河西走廊位于甘肃西北部, 地处北纬 $92^{\circ}21' \sim 104^{\circ}43'$, 东经 $36^{\circ}21' \sim 41^{\circ}31'$ 之间。包括 17 个县市。气候属温带干旱和高寒半干旱气候, 局部地区属暖温带干旱气候。年均温 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $1963.4 \sim 4032.3^{\circ}\text{C}$, 绝对最高气温 45.1°C , 极端最低温度 -33°C , 昼夜温差大, 平均日较差 $12.2 \sim 17.4^{\circ}\text{C}$; 年降水量 $40 \sim 200 \text{ mm}$, 蒸发量 $1900 \sim 3000 \text{ mm}$, 空气相对湿

收稿日期: 2001-01-17

作者简介: 魏小红(1964-), 女, 甘肃天水人, 讲师, 硕士。

* 本文是硕士学位论文《河西地区农牧业生态系统力能学研究》的一部分, 论文指导教师为蔺海明研究员。

度 33.2%~56.8%;年日照时数 2 800~3 400 h,无霜期 140~170天;海拔 1 138~2 311 m 总土地面积约 15万 km²,占全省土地总面积的 33%左右。区内现有耕地 61.3万 hm²,其中将近 46.7万 hm²为有效灌溉耕地,是甘肃省重要的产粮区,也是全国 12大商品粮基地之一。

1.2 研究方法

采用抽样调查的方法,选择了隶属该区域的 7个典型县市:酒泉市、安西县、张掖市、民乐县、武威市、民勤县和天祝县作为主要调查研究对象。根据甘肃省统计年鉴资料及实际调查资料^[3],从 1949至 1994年(45年),每 5年抽样一次,共选 10年的统计数据,并按一定的折能系数^[1,2],将实际投入产出物质转换成能流量,通过计算机运算和统计分析确定系统内各成分间有关各种能流的实际流量

2 结果与分析

2.1 农田系统能量的投入产出及投能效率分析

2.1.1 农田系统中总投能

农田系统总投能变化情况如图 1所示,1949至 1955年,各县市总投能略有增加,但到 1960年总投能降至 45年来的最低水平;1960~1985年各县市总投能缓慢递增,但 1985后迅速增长,其主要原因是农村实行土地承包责任制以后,农田投能中无机能的份额增长较快,即化肥能投入量大幅增加。至 1994年,各县市农田单位面积总投能依次为张掖市(131.59×10³ MJ/hm²)、武威(118.43×10³ MJ/hm²)、天祝(118.02×10³ MJ/hm²)、酒泉(104.69×10³ MJ/hm²)、安西(88.65×10³ MJ/hm²)、民勤(88.33×10³ MJ/hm²)和民乐(65.08×10³ MJ/hm²)。但 45年中,民乐县总投能增加幅度始终低于其它县市。

2.1.2 无机能在总投能中所占比例

如图 2所示,7县市 45年间无机能与总投能之比依次呈现出平稳、快速、缓慢增长的变化趋势。解放初期,该区无机能的投入仅为手工和畜力工具,几乎没有化肥、燃油、农药和农用电的投入,因此这期间(1949~1955年)无机能所占比例极低(1%~3%),几乎没有增加。随着我国工业的发展,1955~1975年除天祝县外,各县市无机投能所占比例均呈快速增长势头,原

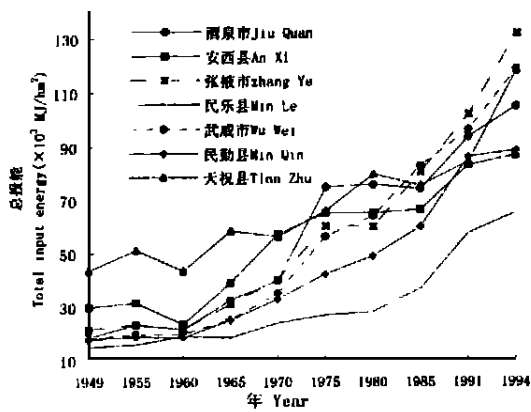


图 1 河西 7县市 1949~1994年总投能
Fig. 1 Total input energy to 7 counties of Hexi from 1949 to 1994

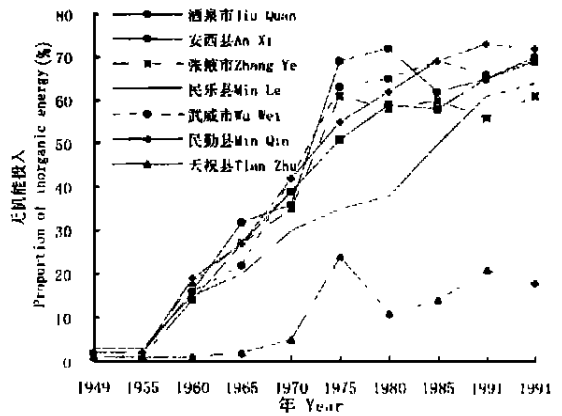


图 2 河西 7县市 1949~1994年无机能占总投能中的比例
Fig 2 Proportion of inorganic in total energy in 7 counties of Hexi from 1949 to 1994

因在于无机投能中的化肥、燃油、农药和农用电等投入不断增加,尤以化肥能投入为甚,到了 1975 年无机投能已达相当的水平,之后缓慢增长。1994 年无机投能占总投能比例依次为民勤县 72%、酒泉 70%、安西 62%、武威市 69%、民乐县 64% 和张掖市 61%。所以,上述地区农田总投能变化趋向基本上代表了各自无机能投入的走向,但 45 年中,天祝县的无机投能在总投能中所占的比例一直低于其它县市,1994 年仅为 18%。

2.1.3 农田系统总产能

如图 3 所示,45 年中总产能变化可划分为 4 个阶段,即 1949~ 1955 年和 1960~ 1985 年为 2 个快速增长阶段,尤其是 1980 至 1985 年其间增长趋势更为明显;1955~ 1960 年为总产能递减阶段,其主要原因是受自然灾害和国家政策调整的影响;自 1985 年后为缓慢增长阶段。45 年中不同县市总产能增加的幅度不尽相同,以酒泉市和张掖市增加速度最快,天祝县增长最缓,这与后者农田系统的功能及气候环境较差密切相关。1994 年各县市总产能依次为张掖 (235.93 × 10³ MJ/hm²)、酒泉市 (232.38 × 10³ MJ/hm²)、武威市 (172.95 × 10³ MJ/hm²)、民勤县 (175.36 × 10³ MJ/hm²)、民乐县 (127.74 × 10³ MJ/hm²) 和天祝县 (98.25 × 10³ MJ/hm²)。

2.1.4 农田系统能量转化效率

河西 7 县市农田系统能量产投比,如图 4 所示,就变化而言,除天祝县外,其它县市 45 年中出现了两峰夹一谷的变化趋势。第一个高峰出现在 50 年代中期,随后 1960 年呈现出低谷,80 年代中期又出现第二个高峰,充分体现了政策和该区农业技术对农业生产的巨大影响。1985 年产投比最高的酒泉市为 3.07,高于黄淮海“七五”时期的 3.02^[5],亦高于 1988 年宁夏盐池四墩子乡的 2.45^[6]。但 1985 年左右的高峰值过后,除安西和民勤县外,其它县市产投比开始逐年下降,说明现有的种植业结构体系已不适于系统功能的协调稳定发展,所以调整农业生产结构体系,完善系统功能势在必行。至 1994 年产投比依次为酒泉市 2.22、安西县 2.01、民勤县 2.01、民乐县 1.96、武威市 1.46、天祝县 0.83,45 年中,天祝县能量转化效率始终低于其它县市。

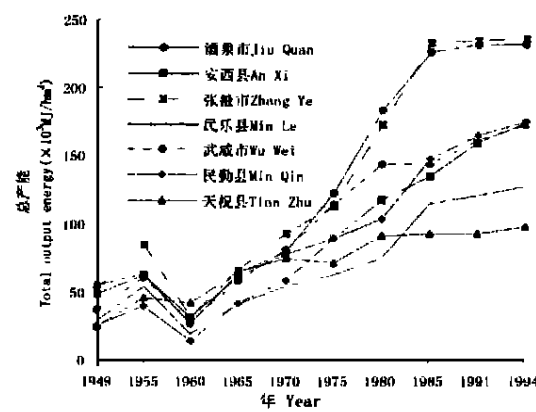


图 3 河西 7 县市 1949~ 1994 年总产能
Fig. 3 Total output energy in 7 counties of Hexi from 1949 to 1994

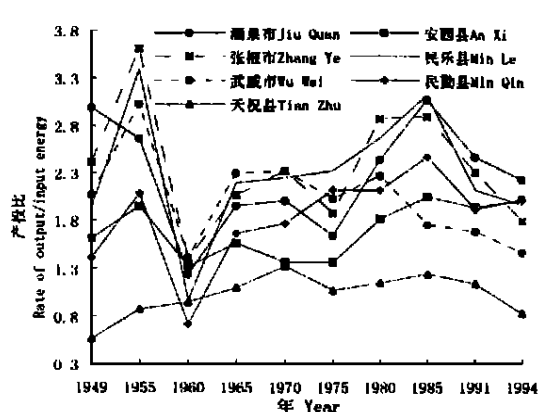


图 4 河西 7 县市 1949~ 1994 年产投比
Fig. 4 Output/input rate of energy in 7 counties of Hexi from 1949 to 1994

2.2 农田系统能量投入报酬的最高点、临界值与适宜区

全面评价一个农田系统的合理性和持续性不仅要计算系统能量的投入和产出比,还要量化其能量投入报酬的最高点、临界值与适宜区。

能量投入的报酬最高点是指单位投能所获得的产出量最高(报酬最高)时的能量投入量。能量投入量增加但产出已增加很少的能量投入量叫能量投入的临界值。能量投入的适宜区是在考虑能量投入效果、效率及其它综合因素的基础上确定的投入值区间。

对河西 7 县市能量投入产出采用 logistic 曲线拟合的方法,求出能量投入报酬的最高点和临界值, logistic 曲线表达的能量产出、投入表达式为:

$$E_0 = \frac{E_m}{1 + e^{(K-\lambda I)}} \quad (1)$$

其中: E_0 —能量产出量; E_m —最大能量产出量; I —能量投入量; K, λ —常数。

令(1)式的二阶导数等于零,也就是一阶导数最大,在此代表能效益最高点,也就是报酬最高点 I_0

$$I_0 = \frac{K}{\lambda} \quad (2)$$

由(1)式变化得出某一产出能所需要的投能值 I :

$$I = \frac{K - \ln\left(\frac{E_m}{E_0} - 1\right)}{\lambda} \quad (3)$$

将 7 县市 45 年的总能量投入与产出能采用 logistic 曲线进行拟合,根据(2)式求出各县市投能报酬最高点,用(3)式预测不同产出能所需的能量投入,最大能量产出量取各县市 1994 年产出能,投入临界值是取产出能为最大能量产出量的 99% 的能量投入量计算得出,投能适宜区上限是取产出能为最大能量产出量 97% 时能量投入量计算得出,适宜区的下限为能量报酬最高点的 80% [2]。计算结果如表 1 所示。

河西 7 县市投能报酬最高点依次为天祝县 ($49.67 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$)、安西县 ($47.32 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$)、酒泉市 ($43.18 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$)、张掖市 ($41.61 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$)、民勤县 ($40.47 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$)、武威市 ($39.46 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$) 和民乐 ($25.18 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$),表明在此点单位投能所获得的回报最高,但并非单位面积效益最高。如果在其适宜区内投能,随投能的增加单位面积效益增加,如果超过投能临界值,则效益下降。1994 年民勤和安西两县投能接近其临界值,而酒泉市、民乐县、天祝县、武威市、张掖市 5 地均超出其投能临界值: 5.66×10^3 、 4.6×10^3 、 8.73×10^3 、 15.9×10^3 和 $36.84 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$,鉴于上述情况不宜对这 5 地区,尤其是张掖市继续增加投能。天祝县最大产能在 7 县市中最低 ($99 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$),但报酬最高点、投能临界值和适宜区均居于 7 县市之首,说明生产相同数量的能所付出的代价更大,能量转化效率低。

3 小结

3.1 河西 7 县市 45 年中总投能逐年递增,但民乐县总投能增加幅度始终小于其它县市。1994 年总投能最高的为张掖市 ($131.59 \times 10^3 \text{ MJ/hm}^2$)。45 年中无机能在总投能中所占比例依次呈现出平稳、快速、缓慢增长的变化趋势,天祝县无机投能在总投能中所占的比例远远低于其它县市。

表 1 甘肃河西 7 县市能量投入的临界值与适宜区

Table 1 Critical values and suitable areas of input energy in 7 counties of Hexi, Gansu

10³ M J/hm²

县、市 County (City)	方程 Equation	报酬最高点 The highest reward value	投能临界值 Critical value	适宜区间 Suitable range of input energy	1994 年投能 Input energy in 1994
酒泉市 Jiuquan	$E_0 = \frac{233}{1 + e^{3.55 - 0.082I}}$	43.18	99.04	34.55~ 85.47	104.69
安西县 Anxi	$E_0 = \frac{175}{1 + e^{3.738 - 0.079I}}$	47.32	105.43	37.85~ 91.32	175.00
张掖市 Zhangye	$E_0 = \frac{236}{1 + e^{3.595 - 0.086I}}$	41.61	94.75	33.29~ 81.84	131.59
民乐县 Minle	$E_0 = \frac{128}{1 + e^{3.275 - 0.130I}}$	25.18	60.47	20.14~ 87.21	65.08
武威市 Wuwei	$E_0 = \frac{173}{1 + e^{2.873 - 0.073I}}$	39.46	102.53	31.57~ 87.21	118.44
民勤县 Minqin	$E_0 = \frac{176}{1 + e^{3.521 - 0.081I}}$	40.47	93.24	32.37~ 80.41	88.33
天祝县 Tianzhu	$E_0 = \frac{99}{1 + e^{3.842 - 0.077I}}$	49.67	109.29	39.74~ 94.81	118.02

3.2 总产能 1955~ 1960 年呈递减趋势; 1949~ 1955 年和 1960~ 1985 年为 2 个快速增长期; 自 1985 年以后进入缓慢增长期。45 年来各县市总产能增加幅度不同, 以酒泉市和张掖市为最大, 1994 年酒泉市和张掖市总产能分别为 235.93×10^3 和 232.38×10^3 M J/hm²; 天祝县最低 (98.25×10^3 M J/hm²)。总产能与总投能不成正比。

3.3 45 年中, 除天祝县外, 其它县市产投比总的变化趋势呈现双峰单谷型, 第一个高峰在 50 年代中期, 第二个高峰位于 80 年代中期, 低谷则出现在 1960 年前后。自 1985 年后全区农田能量转化效率呈下降趋势, 表明单位投能所获得的产出能下降。天祝县农田系统能量转化效率 45 年一直处于最低水平, 1994 年仅为 0.83。

3.4 1994 年民勤和安西两县投能未超过其临界值, 但接近或略高于投能上限。而酒泉市、民乐县、天祝县、武威市、张掖市等 5 地区分别超出其投能临界值, 说明能量转化效率已经下降, 尤以张掖为甚。

4 建议

在 1994 年的农业结构体系下, 民勤和安西两地农田系统投能比较合理, 但已无潜力可挖。酒泉市、民乐县、武威市、张掖市投能已超过其投能临界值, 能量转化效率下降。要改善这 6 县市的局面, 第一, 在总投能不增加的基础上, 调整其辅助能组分的比例, 增加有机能, 适当减少化肥能的投入; 而有机能的增加必需以改变单一的种植业, 调整产业结构, 发展农林草牧的综合农业生产系统为前提。第二, 发展立体农业, 提高对自然资源, 特别是光能利用率。第三, 建

立多层次能量转化的农业结构,提高农副产品的多级转化,以提高对能量的利用效率,减少能量无效损失。只有这样,才能形成整个农业生态系统的良性循环,使河西农业持续稳定的发展。天祝县自然条件差,农田系统能效低,其发展应以草地畜牧业为主,以种植一些适宜当地气候条件的农、经和饲料作物为辅,适当增加化肥投入,以提高整个农业生态系统转化效率。

参考文献:

- [1] 闻大中. 我国东北地区农业生态系统力能学研究 I [J]. 生态学杂志, 1986, 5(4): 1-5.
- [2] 蔺海明, 胡恒觉. 旱地农业生态学 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1992.
- [3] 甘肃统计局. 甘肃农村经济年鉴 [R]. 1949-1975, 1981, 1986, 1987, 1988, 1990, 1992, 1995.
- [4] 韩纯儒. 农业生态系统的能流结构及效率 [J]. 农村生态环境, 1985, (3): 6-8.
- [5] 庞瑞军. 宁夏四墩子草地农业生态系统补助能效率的分析与评价 [J]. 甘肃农业大学学报, 1993, (2): 119-122.

Analysis of input and output of energy and energy efficiency in cropland- ecosystem of Hexi district, Gansu

WEI Xiao-hong, LIN Hai-ming, HU Heng-jue

(Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract The input and output of energy and energy efficiency in cropland- ecosystem of Hexi district, Gansu, for 45 years were analyzed by using method of energy flowing of ecology. The results showed that total input energy to the system increased annually. The maximum of input energy was found in Zhangye city ($131.59 \times 10^3 \text{ M J/hm}^2$) in 1994. From 1949 to 1994, proportion of inorganic in the total energy appeared a tendency to flat- rapid - slow increasing, and the lowest one was found in Tianzhu (only 18% in 1994). The total output energy increased annually as well, but its trends went slowly after mid- 1980's. The total of output energy in Zhangye and Jiuquan increased faster than others, there were 235.93×10^3 and $232.38 \times 10^3 \text{ M J/hm}^2$ respectively in 1994. The rate of energy output /input appeared two peaks and one valley. In most counties the rate of output /input reduced after 1985. The smallest rate was found in Tianzhu with only 0.83. The input energy in Jiuquan, Minle, Tianzhu, Wuwei and Zhangye went beyond their critical values of 5.66×10^3 , 4.6×10^3 , 8.73×10^3 , 15.9×10^3 and $36.84 \times 10^3 \text{ M J/hm}^2$, respectively.

Key words output energy; input energy; rate of energy output /input; cropland- ecosystem