

# 现代种植业系统能流转化效率分析及评价 ——以河北省栾城县为例\*

封志明 刘爱民

(中国科学院自然资源综合考察委员会, 北京 100101)

**摘 要** 能量转化效率是评价农业资源利用效率的一个综合性指标。本文在分析现代种植业系统特点的基础上, 以河北省栾城县为例, 研究了现代种植业系统的投入和生产特点。对系统能流分析结果表明, 进入 90 年代后, 随着人工辅助能特别是工业辅助能投入的增加, 系统能效逐渐降低。因此改进系统生产结构和投入结构, 充分利用现代生物和工程技术, 提高农业资源的利用效率, 是实现现代农业持续发展的关键。

**关键词** 现代农业 农业资源 利用效率 能效

农业资源高效利用评价指标体系中除包括水(天然降水与灌溉用水)、土(土地利用与农业结构、土壤肥力与肥料施用)、气(光热资源与复种潜力)和生(品种资源、生物资源与饲料转化)等单项资源利用效率评价指标外, 在现代种植业系统中还包括物质、能量转化效率等一些综合性指标。本文在综合分析现代种植业的物质能量投入特点基础上, 以河北省栾城县为例, 对现代种植业系统能流转化效率进行了分析和评价, 以期为调整种植业结构和投入结构、提高农业资源的利用效率提供决策依据。

## 1 现代种植业系统是一个开放系统

### 1.1 种植业发展的阶段性

种植业系统是农业系统的重要子系统。由原始农业到传统农业, 再到现代农业, 种植业系统人工辅助能投入越来越多, 系统的开放度越来越大, 同时农业生产能力也越来越高。

在原始农业时期, 除了人们为了采集食物和放牧所投放的劳力外, 几乎无其他辅助能的投入, 生产能力极低( $20 \text{ 千卡}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ )。传统农业时期, 人们通过精耕细作、施用有机肥、轮作换茬等农业技术, 并注重物质的归还和辅助能的投入, 因而生产能力比原始农业大幅度提高( $245 \text{ 千卡}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ), 中国传统农业数千年经久不衰, 在传统农业发展史上始终处于世界领先地位。二战之后, 随着欧美发达国家工业的飞速发展, 由工业武装起来的现代农业也迅速发展, 工业辅助能的投入显著增加, 农业生产能力大大提高( $1\ 000 \text{ 千卡}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ )<sup>[1]</sup>。

### 1.2 现代种植业系统的开放性

种植业系统的开放性是指系统只有不断从外界吸收物质和能量才能维持它的较高产出

\* 国家“九五”科技攻关项目“农业资源高效利用与管理技术”96-013-01-03 专题初步成果  
来稿日期: 1998-07

水平。

太阳辐射能是种植业系统中能量的主要来源。

除太阳辐射能外，对种植业系统所补加的一切其他形式的能量统称为辅助能。辅助能区别于辐射能的基本特点是，他虽不能直接转换为生物化学潜能，但可以促进辐射能的转化，对种植业系统中光合产物的形成、物质循环等起着很大的辅助作用。

根据辅助能的来源不同可分为：自然辅助能和人工辅助能。自然辅助能包括风力作用、降水、蒸发作用等。人类从事农业生产活动所投入的人工辅助能量包括两类：一是生物辅助能，即来自生物有机体或生物有机物的能量，如人畜劳动力做功、种苗、有机肥料等；二为工业辅助能，包括油料、电等形式投入的直接工业辅助能和以化肥、农药、农业机械、机具、农用薄膜等形式投入的间接工业辅助能。

人工辅助能投入使农业生产能力提高的主要原因是，解除了环境中一些限制因子的制约，促进了农作物对辐射能的吸收、利用和转化。

由表 1 可以看出<sup>[2]</sup>，在现代农业生产过程中，在辅助能投入量不高的情况下，随辅助能投入的增加，能效提高。但当辅助能投入量达到一定水平后，如果投能结构和其他有关的技术不能相应改善的话，则随人工辅助能投入量特别是工业辅助能投入量的增加，产量虽可以提高，但能效可能下降。

表 1 世界工业辅助能投入水平与谷物产量和能效

Tab. 1 Input of industrial auxiliary energy, yield, and energy result of grain in the world						
	发展中国家	发达国家	亚洲	北美	西欧	世界
投入能 (10 <sup>6</sup> 卡/公顷)	525.8	5 927.2	573.6	4 827.8	4 827.8	1 888.1
产量 (公斤/公顷)	1 223	3 100	1 815	3 451	3 163	1 821
能效 (公斤/10 <sup>6</sup> 卡)	2.33	0.52	3.16	0.72	0.66	0.97

辅助能的利用效率还与作物种类、品种、种植制度、栽培管理水平、技术水平等有关，提高能效必须从多方面努力。

另外，大量工业辅助能的投入在提高产量的同时，还可能带来一系列环境问题，如过量施用化肥、农药，不合理使用塑料薄膜等造成土壤结构的破坏、病虫抗药性的产生及白色污染，农业机械使用不合理还可能造成土壤的压实等。

2 河北省栾城县的资源环境特征及农业生产条件

2.1 基本资源环境特征

华北太行山前平原区位于太行山东麓，行政上包括保定、石家庄、邢台和邯郸的 52 个县市。

河北省栾城县在行政上属石家庄市，地处冀中南太行山东麓山前平原，属暖温带半干旱半湿润气候，光热资源丰富，全年日照时数 2 522 小时，太阳总辐射 525.3 KJ/cm<sup>2</sup>，大于 0 度积温 4710 度，无霜期平均为 200 天左右，平均降水量为 537 mm，多集中于 6 月~8 月间，雨热同季，有利于农作物的生长；境内地势平坦，土壤深厚，质地多为肥沃土壤，

蓄水保肥性能好, 有机质平均含量 1.15%; 该县地下水可开采量为 9 491.48 万立方, 约合 239.08 mm, 当前供水为 15 692.6 万立方, 扣除污灌水 790.15 万立方, 缺水 5 410.97 万立方, 缺水率为 57.01%, 地下水过度开采, 导致地下水逐年下降, 下降速度高达 1 m/年。

地下水超采的直接代价是耗能增加, 80 年代中期, 耗电耗能率分别为 0.15 度/立方和 2MJ/立方, 比 70 年代上升了一倍; 80 年代末 90 年代初, 耗电耗能率分别为 0.22 度/立方和 3MJ/立方, 比 80 年代中期上升了 50%。

2.2 农业生产特点

栾城县种植业结构演替是以粮食产量为主要目标的定向调整过程, 以达到充分利用光、热、水、土资源, 实现农业稳产高产。60 年代之前农田水利设施较差, 化肥投入量较小 (7.3 公斤/公顷), 作物以小麦、谷子、薯类、大豆等为主, 熟制为二年三熟制; 60 年代中期, 栾城县种植业结构发生重大变化, 水利设施改善, 灌溉面积迅速扩大, 施肥量提高到 39.9 公斤/公顷。小麦、玉米种植业结构模式基本形成。据有关专家的研究结果, 栾城县的

表 2 栾城县的农业生产条件 (1995 年) 及小麦、玉米产量  
Tab. 2 The condition of agricultural production and yield of wheat and maize  
in Luancheng county, 1995

项 目		华北山前平原区 合计或平均	栾 城
水	总耕地面积 (公顷)	1 853 856	31 309
	水田面积 (公顷)	7 502	0
	占耕地面积比重 (%)	0.4	0
	旱地 (公顷)	1 846 356	31 309
利	占耕地面积比重 (%)	99.6	100
	有效灌溉面积 (公顷)	1 655 836	30 490
化	占耕地面积比重 (%)	89.3	97.4
	旱涝保收面积 (公顷)	1 326 081	30 490
	占耕地面积比重 (%)	71.5	97.4
机 械 化	农机总动力 (千瓦)	1 892.9	40
	单位耕地面积农机动力 (千瓦/公顷)	10.2	12.8
	机耕面积	1 452 957	24 000
	占耕地面积比重 (%)	78.4	76.7
化	化肥总用量 (吨)	912 931	16 525
	单位耕地面积化肥用量 (公斤/公顷)	492.5	527.8
学	农药总用量 (吨)	25 849	389
	单位耕地面积农药用量 (公斤/公顷)	13.9	12.4
化	农膜用量 (吨)	4925	4
	单位耕地面积农膜用量 (公斤/公顷)	2.56	0.13
电气化	农业用电量 (万千瓦时)	697 145	7 893
	单位耕地面积平均用电量 (千瓦时/公顷)	3 760.5	2 521.0
小 麦 玉 米 产 量	小麦总产 (吨)	5 497 143	154 420
	小麦播种面积 (公顷)	1 066 006	24 000
	小麦单产 (公斤/公顷)	5 157	6 434.2
	玉米总产 (吨)	5 174 009	132 247
	玉米播种面积 (公顷)	848 343	15 333
	玉米单产 (公斤/公顷)	6 099	8 625.0
	小麦、玉米年产 (公斤/公顷)	11 256	15 059.2

光、热生产潜力, 小麦为 10 575 公斤/公顷, 夏玉米为 10 500 公斤/公顷, 1995 年栾城县的小麦单产为 6 434.2, 玉米为 8 625 公斤/公顷, 光热生产潜力的综合效率分别达到 0.61 和 0.82; 光能利用率分别为小麦 1.03%、玉米 1.15%, 平均达到 1.1% 左右。光热生产潜力的综合效率和光能利用率都达到了较高的水平, 这说明小麦、玉米种植业结构模式是一种较好的种植模式。

自 70 年代后期, 井灌的发展和农机的推广极大地促进了农田水利化和机械化的发展, 80 年代中后期联产承包责任制的推行, 进一步激活了农民的生产积极性, 化肥农药投入加大, 机耕、机收、机播面积扩大, 优良品种的更新加快, 促进了农田生产力水平迅速提高。

### 3 现代种植业系统能流分析

以栾城县 1985 年、1990 年、1995 年的统计和调查数据为基础, 我们对该县的能流进行了分析, 计算结果如表 3 所示。

表 3 河北省栾城县种植业系统能流分析表 (单位: 1000 MJ/hm<sup>2</sup>)  
Tab. 3 Table of energy flow in plant system in Luancheng county, Hebei Province

项 目	1985		1990		1995	
	实际值	%	实际值	%	实际值	%
化肥	24.16	62.5	24.64	59.7	31.85	55.8
农药	0.51	1.32	0.69	1.67	1.27	2.2
地膜	0.00	0	0.00	0	0.01	0.01
用电	12.96	33.5	14.19	34.41	22.86	40.0
投 入 农 机	0.35	0.89	0.46	1.12	0.95	1.67
燃油	0.68	1.76	1.26	3.05	1.39	2.43
工业辅助能合计	38.66	100 (42.88)	41.24	100 (39.90)	58.32	100 (36.62)
畜力	0.61	1.18	0.60	0.96	0.09	0.091
结 劳 力	4.08	7.92	3.32	5.35	2.96	2.99
种 子	4.97	9.65	4.91	7.9	4.35	4.40
构 厩 肥	12.08	23.46	12.32	19.84	15.93	16.12
秸秆	29.76	57.79	40.96	65.95	75.48	76.40
生物辅助能合计	51.49	100 (57.12)	62.10	100 (60.10)	98.80	100 (63.38)
总投能	90.15	(100)	103.34	(100)	155.88	(100)
有机肥/化肥	1.73		2.16		2.87	
产 出 农 产 品 产 出	113.37	47.45	144.10	47.86	175.99	50.54
结 饲 草 秸 秆	125.55	52.55	156.98	52.14	172.21	49.46
产 出 能 合 计	238.92	100	301.08	100	348.20	100
产 投 产 出 能 / 投 入 能	2.65		2.91		2.23	
结 经 济 产 品 / 总 投 能	1.26		1.39		1.13	
产 出 能 / 投 入 工 业 辅 助 能	6.18		7.3		5.97	

从表 3 可以看出, 现代种植业系统的投入产出能表现为以下特点:

(1) 由 1985 年到 1995 年 10 年间, 系统投能逐渐增加, 由 1985 年的  $90.15 \times 10^9 \text{ J/hm}^2$

增加到 1990 年的  $103 \times 10^9 \text{J}/\text{hm}^2$ , 到 1995 年已达  $156 \times 10^9 \text{J}/\text{hm}^2$ ;

工业辅助能投入和生物辅助能投入在 1990 年到 1995 年的 5 年间增加速度最快, 幅度分别达 41% 和 59%; 但工业辅助能投入占总投能的比重逐渐减少, 由 1985 年的 43% 减少到 1990 年的 40%, 到 1995 年已下降到 37%。

(2) 由 1985 年到 1990 年的 5 年间, 在工业辅助能投入中, 燃油的增加幅度最大, 达 85%; 农机、农药的增加幅度分别为 33% 和 35%, 其他各工业辅助能的投入也有不同程度的增加。在生物辅助能投入中, 由秸秆还田投入的生物有机能增加幅度最大, 达 37%; 畜力、劳力、种子等投入能逐渐减少。

(3) 由 1990 年到 1995 年的 5 年间, 在工业辅助能投入中, 增加幅度最大的是农机投入, 其投入能增加幅度高达 106%, 其次分别是农药和农业用电投能, 其增加幅度分别达 84% 和 61%。在生物辅助能投入中, 增加幅度最大的是秸秆, 为 84%; 其次为厩肥投入, 增加幅度为 29%。

(4) 由 1985 年到 1990 年, 现代种植业系统的能效 (即产出能/投入能) 逐步增加, 由 2.65 增加到 2.91。但由 1990 到 1995 年, 系统能效逐步减少, 1995 年已减小到 2.23。

## 4 现代种植业系统评价

(1) 进入 90 年代后, 随工业辅助能投入量的增加, 栾城县现代种植业系统能效逐步降低, 因此优化农业种植模式、改善投入结构, 提高农业资源的利用效率已成为目前的一项迫切任务。

(2) 由于农机和农业劳动力之间的相互替代性, 随系统中工业辅助能特别是农机及燃油能投入的增加, 畜力、人力的投入能趋于减少, 这说明该县种植业的现代化水平逐步得到提高。

(3) 随农业资源利用模式的不断演替, 畜牧业也逐渐成为农业资源的重要利用模式。通过农牧结合, 实现农业资源在广度和深度的开发利用, 通过农作物秸秆的“过腹还田”, 可以逐步改善现代种植业系统的投入结构。

(4) 将现代农业技术特别是农机技术同传统的农业技术有机结合在一起, 发展具有中国特色的机械化农业, 对提高农业资源利用效率仍具有重要意义。

## 参 考 文 献

- 1 骆世明, 陈聿华, 严斧. 农业生态学. 湖南科学技术出版社, 1987, 3
- 2 刘巽浩. 能量转换效率初探. 农业现代化研究, 1982(2).
- 3 农业部农业资源区划管理司编. 可持续农业和农村发展建设技术与应用. 中国农业科技出版社, 1996
- 4 刘爱民, 封志明, 李飞. 农业资源利用模式间的转换及案例分析. 自然资源学报, 1998(3).

# EVALUATION AND ANALYSIS OF ENERGY CHANGE RATIO IN MODERN PLANTING ——EXAMPLE IN LUANCHENG COUNTY, HEBEI PROVINCE

Feng zhi ming      Liu A in in

(Commission for Integrated Survey of Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

## Abstract

Energy change ratio is a synthetical index to evaluate the utilization efficiency of agricultural resources. Based on analyses of the characteristics of modern planting system, this paper discusses the characteristics of input and production in modern planting system in Luancheng County, Hebei Province. Result of analyzing energy flow indicates that, after 1990's, as the input of artificial auxiliary energy, especially the industry auxiliary energy, was increased, energy result in system has been decreased. Improving the production construction and the input construction in system, using modern organism technology and engineer technology, and increasing utilization ratio on agricultural resources are keys to achieve sustainable development of modern agriculture.

**Key words**      modern agriculture, agricultural resources, utilization ratio, energy result

## 作 者 简 介

封志明, 男, 35 岁, 副研究员, 中国自然资源学会常务理事, 副秘书长。近年来的主要工作集中在资源、环境、人口与发展为主的人地关系领域, 旁及资源科学的理论探讨。已主编或参编《资源科学论纲》《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》等专著 5 本, 文集 5 本, 公开发表论文 30 余篇。目前担任国家“九五”科技攻关计划“农业资源高效利用与管理技术”项目, 为总体技术组组长和“不同类型区农业资源高效利用的优化模式与技术体系的集成”专题负责人。