

黄家二岔小流域能量流的系统分析*

Ⅱ. 种植业子系统能量流分析

李 中 魁

(西北农业大学·陕西杨陵·712100)

摘 要 计算了小流域小麦、豌豆、马铃薯、胡麻、玉米的有机能、无机能投入和各种作物的籽粒、秸秆、根的能量产出,以此分析了各种作物的能量产投关系、种植业子系统能量流的现状与问题,并作了种植业投能结构和数量的优化分析。

关键词 小流域 种植业 能量流

Systematic Approach to Energy Flow of Huangjia Ercha Watershed

Ⅱ. Energy Flow Analysis of Farming System

Li Zhongkui

(Northwestern Agricultural University, 712100, Yangling District, Xianyang Municipality, Shaanxi Province)

Abstract The input of both organic and inorganic energy for the crops of wheat, pea, potato, hemp and corn and their output of energy through grain, straw and root were calculated, from which the relationship of input and output energy of each crop, the current state and problems of farming systems were analysed. At last the amount and structure of energy input for farming system were studied with optimization analysis.

Keywords small watershed; farming system; energy flow

1 能量投入产出统计

种植业子系统是典型的耗散系统。人们为了维持该系统的有序结构与生产功能,从而永续地获取农副产品,必须对其采取多种调控措施,向农田投入各种辅助能量,以有效吸收和固持太阳能。因此,种植业子系统的能量投入包括两部分,即自然输入能和辅助投能,前者包括太阳能和根系输入能,后者包括有机能和无机能,前者在一般情况下不构成对种植业子系统运行的限制。后者的有机能,包括劳力、畜力、种子和有机肥等,而无机能量主要是以矿物燃料为基础所产出的工业能,包括农机、燃油、农电、化肥和农药等。

1.1 种植业子系统投入

1986~1990年投入情况详见表1、表2。

表1 黄家二岔1986~1990年种植业子系统年物质能量投入

项 目	种子	有机肥	氮肥	磷肥	其它	合计(10 ⁶ J/hm ²)
小麦(kg/hm ²)	150	15 000	150	75		
(MJ/hm ²)	2 361	33 000	5 589	2 795	226.5	439.715
豌豆(kg/hm ²)	120	15 000	150	75		
(MJ/hm ²)	1 884	33 000	5 589	2 795	226.5	434.945
土豆(kg/hm ²)	1 125	15 000	150	75		
(MJ/hm ²)	4 196.3	33 000	5 589	2 795	226.5	458.068
胡麻(kg/hm ²)	45	15 000	150	75		
(MJ/hm ²)	727.2	33 000	5 589	2 795	226.5	423.377
玉米(kg/hm ²)	150	15 000	150	75	189.59	
(MJ/hm ²)	2 481	33 000	5 589	2 795	226.5	19 716.5

注:1.作物热值计算公式: $F(\times 10^6\text{J/kg})=0.24P+0.39F+0.155C+0.175D$

式中: P ——蛋白质含量; F ——脂肪含量; C ——可利用的碳水化合物含量; D ——纤维素含量。

2.能量折算系数^{[1],[2]}

小麦—— $15.74 \times 10^6\text{J/kg}$;豌豆—— $15.70 \times 10^6\text{J/kg}$;玉米—— $16.54 \times 10^6\text{J/kg}$;有机肥—— $0.575 \times 10^6\text{J/kg}$;氮肥—— $37.26 \times 10^6\text{J/kg}$;磷肥—— $37.26 \times 10^6\text{J/kg}$

3.农田机械投能—— $211.5 \times 10^6\text{J/hm}^2$;农药投能—— $15 \times 10^6\text{J/hm}^2$;塑料薄膜—— $25.96 \times 10^6\text{J/kg}$,用量—— 148kg/hm^2

表2 黄家二岔1986~1990年种植业子系统年人工、畜工投能

项 目	小 麦	豌 豆	马 铃 薯	胡 麻	玉 米	合 计
人工(个/hm ²)	152.4	152.4	152.4	152.4	170.4	780
(10 ⁶ J/hm ²)	2 633.5	2 633.5	2 633.5	2 633.5	2 944.5	13 473.5
畜工(个/hm ²)	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	97.5
(10 ⁶ J/hm ²)	1 567.5	1 567.5	1 567.5	1 567.5	1 567.5	7 837.5
合计(MJ/hm ²)	4 201.0	4 201.0	4 201.0	4 201.0	4 512.0	2 1316.0

注:1.各种作物每hm²需用的人工数包括翻耕整地(9个)、播种(36个)、中耕除草(36个)、施肥(9个)、收获(14.4个)和其它用工(27个),另外,修建梯田、蓄水坝和灌溉设施的总投工按20年时间,谷坊按10年时间平均分摊在178.7hm²面积上,则每hm²分摊工日为梯田(6个)、谷坝(3个)、蓄水坝(7.5个)和灌溉(4.5个)^[1]

2.折能系数:每人工日折能 $2.16 \times 10^6\text{J/h} \times 8 = 17.28\text{MJ/d}$

每畜工日折能 $10.048 \times 10^6\text{J/h} \times 8 = 80.38\text{MJ/d}$,

1.2 种植业子系统产出

产出的物质是各种作物的籽粒和秸秆,其能量总产出是籽粒、秸秆产出数量与热值的乘积,详见表3。黄家二岔小流域总耕地面积为193.2hm²,在1986~1990年种植的作物有小麦、豌豆、马铃薯、胡麻和玉米。

现以小麦为例,说明能量产投比的计算过程。1990年黄家二岔小麦种植面积为66.61hm²,占总耕地面积的34.5%。生产过程中,播种用籽粒9 991.5kg,投入人工10 151.364个,畜工

1 298.9个,有机肥999.15t,同时使用氮肥9 991.5kg,磷肥4 995.8kg。此外,还使用播种、锄草、收割、脱粒等农机具。农田产出主要包括收获小麦籽粒124 893.8kg,秸秆171 254.3kg。

对投入与产出的能量逐项计算,最后计算求得小麦的人工辅助投能产投比为1.52:1。

表3 黄家二岔1986~1990年种植业子系统年能量产出

项目	小麦	豌豆	马铃薯	胡麻	玉米
籽粒(kg/hm ²)	1 875	1 500		750	4 500
(MJ/hm ²)	29 512.5	23 550		12 120	74 430
秸秆(kg/hm ²)	2 571	2 100	937.5	1 875	6 320
(MJ/hm ²)	40 107.6	32 760	11 505	29 250	98 592
根(kg/hm ²)	222.3	180	18 750	131.3	541
(MJ/hm ²)	3 467.88	2 808	69 937.5	2 048.28	8 439.6
合计(10 ⁸ J/hm ²)	730.879 8	591.18	814.43	43 418.28	181.462

2 能量投入产出分析

2.1 各种作物的能量产投比分析

从表4可看出,总体能量产投比依大小次序可排列为:

玉米(3.46:1) > 马铃薯(1.63:1) > 小麦(1.52:1) > 豌豆(1.24:1) > 胡麻(0.93:1)

可以看出,除胡麻的能量产投比接近平衡以外,其它4种作物的能量产出均大于投入,尤其需要指出的是,本区自然条件下因低温和生长季节短,玉米只能部分地完成营养生长而不能完成或不能正常完成生殖生长,故种植玉米只能收获饲草和绿肥。采用地膜种植玉米,人为延长了其生长期,配合其它措施,使玉米单位投能的能量产出达到5种作物的最大值3.41。用籽粒产出量与总投入的比值比较,可得到相似的结果,即:

玉米(1.419:1) > 马铃薯(1.399:1) > 小麦(0.613:1) > 豌豆(0.494:1) > 胡麻(0.260:1)

所以,无论从获取粮食能量还是从获取总体能量考虑,适当扩大玉米种植面积是可取的,胡麻作为当地的主要油料作物,在满足食用和其它必需用量的前提下,少种为妥。

2.2 各种作物的投入分析

可归为两大类,即有机能投入和无机能投入。黄家二岔1986~1990年各作物年投能及占总投能百分数见表4。从表中可清楚的看出,黄家二岔的投能结构是以有机能为主,各种作物的投能中有机能投入占总投能的80.9%,最少为76.3%,最高为82.8%,无机能投入只占总投能的19.1%,变幅范围为17.2%~23.7%。有机能投入与无机能投入的比例约为4.24:1。在有机能总投能中,人力、畜力、种子三者的能量投入总和只占总投入的13.4%,而有机肥料投能占总投能的86.6%,化肥、农药等无机能的投入只占总投能的17.2%,这些数据充分表明,黄家二岔小流域种植业生产目前主要建立在有机生态农业的基础上,投能以农业有机能源为主,而人畜粪肥、绿肥等则是主要的投能物质。无机能投入则处于起始阶段,其中燃油、农用电等还未参与种植业生产。无机能投入有待加强(见表5)。

表4 各种作物的能量产投比分析

项 目		小 麦	豌 豆	与铃薯
面积(hm ²)		66.61	54.8	40.67
投入能	人 力	$\frac{10151.364\text{个}}{175.417 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{81351.52\text{个}}{144.316 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{6198.108\text{个}}{107.105 \times 10^3\text{J}}$
	畜 力	$\frac{1298.9\text{个}}{104.411 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{1068.6\text{个}}{85.899 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{793.065\text{个}}{63.750 \times 10^3\text{J}}$
	种 子	$\frac{9991.5\text{kg}}{157.266 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{6576\text{kg}}{103.243 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{4880.4\text{kg}}{170.664 \times 10^3\text{J}}$
	有机肥	$\frac{999.15\text{t}}{2198.13 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{822.00\text{kg}}{1808.4 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{610050\text{kg}}{1342.11 \times 10^3\text{J}}$
	有机能	$2623.224 \times 10^3\text{J}$	$2141.858 \times 10^3\text{J}$	$1683.629 \times 10^3\text{J}$
	农机+农药	$15.087 \times 10^3\text{J}$	$12.4122 \times 10^3\text{J}$	$9.211 \times 10^3\text{J}$
	氮 肥	$\frac{9991.5\text{kg}}{372.233 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{8220\text{kg}}{302.277 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{6100.5\text{kg}}{227.305 \times 10^3\text{J}}$
	磷 肥	$\frac{4995.74\text{kg}}{186.175 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{4110\text{kg}}{153.166 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{3050.25\text{kg}}{113.673 \times 10^3\text{J}}$
	无机能	$573.545 \times 10^3\text{J}$	$471.8552 \times 10^3\text{J}$	$350.19 \times 10^3\text{J}$
	总投入	$3208.769 \times 10^3\text{J}$	$2613.713 \times 10^3\text{J}$	$2033.82 \times 10^3\text{J}$
产出能	籽 粒 (块根)	$\frac{124893.75\text{kg}}{1965.828 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{82200\text{kg}}{1290.54 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{762562.5\text{kg}}{2844.358 \times 10^3\text{J}}$
	秸 秆	$\frac{171254.31\text{kg}}{2675.564 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{115080\text{kg}}{1795.248 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{38128.13\text{kg}}{467.908 \times 10^3\text{J}}$
	总输出	$4872.388 \times 10^3\text{J}$	$3239.666 \times 10^3\text{J}$	$3312.266 \times 10^3\text{J}$
产投比	总体能	1.52:1	1.24:1	1.63:1
	籽粒能	0.613:1	0.494:1	1.399:1
项 目		胡 麻	玉 米	总 计
面积(hm ²)		46.66	6.67	215.41
投入能	人 力	$\frac{7110.984\text{个}}{122.879 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{1136.57\text{个}}{19.64 \times 10^3\text{J}}$	$569.357 \times 10^3\text{J}$
	畜 力	$\frac{909.87\text{个}}{73.140 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{130.07\text{个}}{10.455 \times 10^3\text{J}}$	$337.655 \times 10^3\text{J}$
	种 子	$\frac{2099.7\text{kg}}{33.931 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{1000.5\text{kg}}{16.584 \times 10^3\text{J}}$	$481.652 \times 10^3\text{J}$
	有机肥	$\frac{699.9\text{t}}{1539.78 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{100050\text{kg}}{220.11 \times 10^3\text{J}}$	$7108.53 \times 10^3\text{J}$
	有机能	$1769.73 \times 10^3\text{J}$	$266.753 \times 10^3\text{J}$	$8497.194 \times 10^3\text{J}$
	农机+农药	$10.569 \times 10^3\text{J}$	$1.511 \times 10^3\text{J}$	$48.791 \times 10^3\text{J}$
	氮 肥	$\frac{6999\text{kg}}{260.783 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{1000.5\text{kg}}{37.278 \times 10^3\text{J}}$	$1203.926 \times 10^3\text{J}$
	磷 肥	$\frac{34995\text{kg}}{130.414 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{500.25\text{kg}}{18.643 \times 10^3\text{J}}$	$602.971 \times 10^3\text{J}$
	地 膜		$\frac{987.16\text{kg}}{25.627 \times 10^3\text{J}}$	$25.627 \times 10^3\text{J}$
	无机能	$401.766 \times 10^3\text{J}$	$83.059 \times 10^3\text{J}$	$1880.415 \times 10^3\text{J}$
总投入	$2171.5 \times 10^3\text{J}$	$349.813 \times 10^3\text{J}$	$10377.609 \times 10^3\text{J}$	
产出能	籽 粒 (块根)	$\frac{34995\text{kg}}{565.519 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{31001.5\text{kg}}{496.448 \times 10^3\text{J}}$	$6666.245 \times 10^3\text{J}$
	秸 秆	$\frac{87487.5\text{kg}}{1364.805 \times 10^3\text{J}}$	$\frac{42154.4\text{kg}}{657.609 \times 10^3\text{J}}$	$6783.972 \times 10^3\text{J}$
	总输出	$2025.9 \times 10^3\text{J}$	$1210.350 \times 10^3\text{J}$	$13450.217 \times 10^3\text{J}$
产投比	总体能	0.93:1	3.46:1	1.2:1
	籽粒能	0.260:1	1.419:1	0.642:1

表5 黄家二岔1986~1990年各种作物投能水平与结构 $10^3\text{J}/\text{hm}^2$

项目	有机能投入					无机能投入						总投入
	人力	畜力	种子	有机肥料	合计	塑料薄膜	农田机械农药	燃油	农用	化肥	合计	
小麦	2633.5	1567.5	2361	33000	39562	—	226.5	0	0	8384	8610.5	48172.5
(%)	5.5	3.3	4.9	68.5	82.13	—	0.5	0	0	17.4	17.87	100
豌豆	2633.5	1567.5	1884	33000	39085	—	226.5	0	0	8384	8610.5	47695.5
(%)	5.5	3.3	4.0	69.2	81.9	—	0.5	0	0	17.6	18.1	100
马铃薯	2633.5	1567.5	4196.3	33000	41397.3	—	226.5	0	0	8384	8610.5	50007.8
(%)	5.3	3.1	3.4	66.0	82.3	—	0.5	0	0	16.8	17.2	100
胡麻	2633.5	1567.5	727.2	33000	37928.2	—	226.5	0	0	8384	8610.5	46538.7
(%)	5.7	3.4	1.6	70.9	81.5	—	0.5	0	0	18.0	18.5	100
玉米	2944.5	1567.5	2481	33000	39993	3842	226.5	0	0	8384	12452.5	52445.5
(%)	5.6	3.0	4.7	63.0	76.3	7.3	0.4	0	0	16.0	23.7	100
平均	2695.7	1567.5	2330	33000	39593.1	—	226.5	0	0	8384	9378.9	48972
(%)	5.5	3.2	4.7	67.5	80.9	—	0.48	0	0	17.2	19.1	100

2.3 种植业子系统能量流的现状与问题

对1986~1990年黄家二岔小流域种植业子系统各种作物的能量产投比作综合分析,并与全国典型地区作比较(详见表6)。

表6 黄家二岔小流域种植业能量流、能效与各地比较

地区	投入能(J/hm^2)			有机能 无机能	产量 (kg/hm^2)	产/投	代表年份 (年)
	有机能	无机能	总投能				
江、浙高产区	862.50	381.00	1 243.50	2.26	10 140	1.32	1970
山东中产区	561.00	204.00	765.00	2.75	4 987.5	1.96	1979
安徽中低产区	421.50	124.50	546.00	3.38	3 375	1.01	1979
全国平均	496.00	147.30	643.30	3.37	4 267.5	1.08	1979
宁南山区	182.50	20.94	209.44	6.77	855	0.71	1985
黄家二岔	395.93	93.79	489.72	4.52	1 320.0	0.84	1990

从表中的数据,可看出一个明显的趋势,即投能量越大,产量越高,无机能(工业能)投能比例越高,作物产量越高。宁南山区单位面积投能量最低,且有机能投能量是无机能的6.77倍,但作物产量最低。黄家二岔小流域在综合治理过程中,有机能投入量比宁南山区提高了1.17倍,同时,无机能投入量提高了2.48倍,黄家二岔小流域不仅总投能量比宁南山区提高了1倍多,而且无机能投入增加的幅度大于有机能,结果是粮食产量提高了1倍多。但同江浙高产区、山东中产区、安徽中低产区以及全国平均水平相比,黄家二岔的投能量应继续增加,与此同时,应调整投能结构,加大无机能的投能比例,尤其是提高化肥施用量和机械化、电气化程度,把生态农业提高到一个新的层次。

籽粒(粮食)能量产出与总投能的比是反映系统能量转换效率的重要指标,产投比低于1,即产出的能量低于输入的能量,则系统中存在有障碍性因素,如干旱低温、水土流失、粗放耕作等,妨碍了能量转换功能的正常发挥,或者能量作无效消耗。我国粮食高、中产地区能量产投比

在1.08~1.32之间,全国平均1.08,而黄土高原丘陵区多在1以下。黄家二岔小流域经过工程措施、生物措施、农业耕作措施等的综合治理,作物种植结构已得到合理的调整,并应用了地膜栽培等先进技术,使能量产投比提高到0.84,比黄土高原地区的平均值(0.74)高14.3%。另外,小流域系统的农作物产能除过籽粒(粮食)以外,其秸秆产能等可以作为畜牧业或其它子系统的输入能量,因此,作物的能量产出应作全面分析。这点在后面讨论。

2.4 能量投入、产出的回归分析

有机肥料是黄家二岔小流域有机能投的主要部分,同黄土高原地区其它县(市)的研究发现,种植业子系统能量产出 Y 与有机肥料投能 X_1 有下述关系:

$$Y = 1.8813X_1 + 113.7154 \quad (n = 25, \quad r = 0.89)$$

式中: X_1 ——有机肥料投能量, $10^9\text{J}/\text{hm}^2$

化肥(包括氮肥和磷肥)是黄家二岔小流域种植业子系统无机能投入的主要成份,占总投能的17.40%,占无机能总投能的96.04%。研究发现,系统能量产出 Y 与化肥能投入量 X_2 有下述关系:

$$Y = 7.4047X_2 + 113.7142 \quad (n = 25, \quad r = 0.89)$$

式中: X_2 ——化肥投能量, $10^9\text{J}/\text{hm}^2$ 。对比 X_1 和 X_2 对能量产出的贡献,可以看出单位有机肥料投能可以取得1.8813个能量单位的有效产出。黄家二岔小流域化肥能投入量与有机肥料能投入量之比是1:4,表明肥料能投入是以有机肥为主的有机肥与无机肥相结合的结构,增加化肥能投入可以更快、更显著的提高能量总产出。种植业子系统作为一个多因素影响的复杂体系,在考虑主要影响因素的同时,也要全面系统地考虑,显然,有机肥料投能没有化肥投能对能量产出的作用大,但前者为后者作用的发挥提供了丰厚的物质基础和较全面营养基础,而化肥能量发挥正是通过有关营养元素的协调、补充实现的,所以,在增加化肥投能的同时不能减小有机肥能的投入量,以做到养分与能量的结合、长期效益与短期效益的结合。

2.5 合理投能数量的确定

任何一个种植业子系统,客观上均存在着一个合理的投能区间与一个维持投入产出关系平衡的最佳投能点。当能量产出随着能量投入的增加而增长时,投入的响应不是均恒的,而受生产报酬递增递减规律的支配。当投入达到一定水平后,产出能稳定趋向最大值,若继续增加土地投能,产出能不再增加。当投入达到一定水平后,产出能稳定趋向最大值 K_m ,若继续增加种植业子系统投能,产出能不再增加^[4]。

2.5.1 能量产投模型 用逻辑斯蒂模型来描述能量投入产出的变化过程

$$y = K_m / (1 + e^{-rx})$$

式中: y ——系统产出能量; x ——系统投能量; r ——产出能的增长率; K_m ——一定条件下的最大 y 值; C ——常数。

曲线拟合方法是,首先用三点法确定多个 K_m ;

$$K_m = \frac{2P_1P_2P_3 - P_2^2(P_1 + P_3)}{P_1P_3 - P_2^2}$$

式中: P_1, P_2, P_3 为三个等距离的横坐标所对应的纵坐标值;

然后,从数个 K_m 中选择其中最小 K_m 与最大 K_m ,取步长为0.01,在其范围内用最小二乘法由小到大分别建立与各 K_m 相对应的数学模型,以 $\sum(Y - Y')^2$ 最小为目标选优(Y —实际值, Y' —估计值),所得模型即为拟合效果最好的模拟模型。黄家二岔小流域的模型为:

$$Y = 138.4 / (1 + e^{2.26691 - 0.06202x}), \quad F = 20.13$$

2.5.2 合理投能区间的确定 根据生产函数三阶段理论,农业生产过程中农田投能发生在第二阶段时,投能效率最高。据此,依据生产弹性系数 $EP > 0$ 建立方程可求得合理的种植业投能区间为 $54\,045 \sim 63\,225 \times 10^6 \text{J}(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

2.5.3 投能最佳点的确定 投能最佳点就是能够在数量上最适地满足系统的投入产出关系的平衡,使系统功能最大限度地发挥的投能量,它既不是能量产出最大时的投能量,也不是生产成本最小时的投能量。根据边际平衡原理,可建立方程 $dy/dx = 1.25/0.239$ (1.25与0.239分别为农田投入、农田产出能的单价;单位:元/ 10^6J)。由此可求得最佳农田投能量为 $55\,125 \times 10^6 \text{J}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。黄家二岔小流域种植业子系统目前的投能水平是 $48\,179.3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,达投能量佳点的87.4%,需继续增加投能量。

3 结 论

黄家二岔小流域经过1983~1985年和1986~1990年两个阶段的综合治理,生态、经济和社会等各方面的条件发生了很大变化,反映在种植业能量动态变化方面主要有以下几点:

(1)能量投入、产出和能量产投比均得到提高。种植业能量投入、产出和产投比在1982年分别为 $13\,543 \times 10^6 \text{J}/\text{hm}^2$, $5\,030.94 \times 10^6 \text{J}/\text{hm}^2$ 和 $0.37:1$,1985年粮食产能达到 $13\,874.04 \times 10^6 \text{J}/\text{hm}^2$,比1982年提高了1.76倍,能量产投比则提高到 $0.60:1$;1990年种植业投能为 $48\,176.1 \times 10^6 \text{J}/\text{hm}^2$,粮食产能为 $30\,946.8 \times 10^6 \text{J}/\text{hm}^2$,分别比1982和1985年提高了5.15倍和1.13倍,粮食能量产投比提高到 $0.842:1$,种植业总体能量产投比达 $1.3:1$ 。

(2)种植业子系统中,有机能投入约占总投能的80.9%,其中有机肥料投能占有有机能总投入的86.6%,人力、畜力、种子三者投能只占13.4%,无机能投入占总投能19.1%。能量投入产出的数量化分析结果表明,投能量与产出能量呈极显著正相关,投能量与产出能量之比约为 $1:1.34$,有机能投入量与产出能量之比为 $1:1.418$,其中有机肥投能与能量产出的关系更为密切 ($r = 0.89$),投能与产出之比为 $1:1.8813$ 。

(3)无机能投入比有机能投入的能量产出大,前者的投产比大约为 $1:1.71$,特别是化肥投能的投产比高达 $1:7.4047$,说明无机能投入是黄家二岔小流域提高种植业子系统能量产出的重要措施,而化肥能量投入是关键。

(4)黄家二岔小流域种植业合理投能区间为 $54\,045 \sim 63\,225 \times 10^6 \text{J}/\text{hm}^2$,投能最佳点为 $55\,125 \times 10^6 \text{J}/\text{hm}^2$ 。目前投能水平是投能最佳点的87.4%。种植业子系统内各种作物的总能量产投比和粮食能量产投比的排列顺序均为:玉米 > 马铃薯 > 小麦 > 豌豆 > 胡麻。

(5)小流域太阳辐射量是 $5\,122.97 \times 10^{10} \text{J}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,各种作物,乔灌木和牧草的光能利用率不同。玉米、土豆、小麦和豌豆等作物的光能利用率平均为0.21%,比西海固地区或黄家二岔小流域1982~1985年的均值高出3.2倍,胡麻光能利用率为0.09%,高出30%。

参 考 文 献

- 1 农业技术经济手册编委会. 农业技术经济手册(修订本). 北京:农业出版社,1984.
- 2 李连禄,黄育珠等. 农业生态系统工业能投的折能系数探讨. 农村生态环境,1989,(4).
- 3 孙立达,孙保平等. 小流域综合治理理论与实践. 北京:中国科学技术出版社,1992.
- 4 马忠玉. 农田能量投入合理化的初步探讨——以宁夏回族自治区农业生产情况为例. 干旱地区农业研究,1990,(2).