

退耕还草区农业生态系统能值动态分析

——以甘肃省镇原县北庄村为例

黄文德, 牛俊义, 高玉红, 杨小舟, 赵 奎

(甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 以甘肃省镇原县北庄村为例, 应用 H·T·Odum 能值分析方法, 分析退耕还草前后农业生态系统的能值变化。结果表明, 退耕还草后北庄农业生态系统的净能值产出率提高了 35.14%; 环境负荷力降低 8.31%; 系统可持续发展性指标提高 47.38%; 系统稳定性指数也由 0.809 提高到 1.015。退耕还草对北庄农业生态系统生产力的提高和系统的可持续发展起到了积极的作用。但农牧系统耦合度降低了 41.74%, 应采取措施提高农牧系统耦合度, 实现农业生态系统平衡发展。

关键词: 退耕还草; 农业生态系统; 能值

中图分类号: S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0112-06

能值(Emergy)分析是美国著名生态学家 H·T·Odum 在系统生态、能量生态、生态经济理论基础上于 20 世纪 80 年代末创立的系统分析方法和理论。它重点从系统整体的特征进行分析, 适合分析比较不同类别能量, 能够综合分析评价能流、物流和价值流^[1,2]。20 世纪 90 年代以来国内外能值分析研究很活跃^[1,2], 退耕还草是近年来我国西部地区农业生产和生态环境建设的一项重要工作^[3], 但对退耕还草前后农业生态系统能值的研究少见报道。西部地区是一个生态和经济非常脆弱的地区, 1999 年国家开始在该地区进行退耕还林还草试点工作, 并于 2002 年正式在全国启动退耕还林还草工程^[4]。截止 2004 年底甘肃省实施退耕还林还草工程已有 6 年, 退耕还草对该地区的农业生产和生态环境建设起到了积极的作用。本文运用能值分析方法对甘肃省镇原县北庄村退耕前后的农业生态经济系统的能量流、物质流和价值流的数量动态及其相互关系进行分析, 探讨退耕还草工程对区域农业生态经济系统的影响, 以期退耕还草工程实施提供参考。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区域概况

镇原县地处甘肃省庆阳市西南部, 属黄土高原沟壑区, 境内平均海拔 1 500 m, 辖 24 个乡镇, 269 个行政村。总土地面积 3 500 km², 总人口 48.50 万, 农业人口 47.04 万。人口密度在 130 人/km² 以

上, 耕地面积 116 666.7 hm², 其中坡耕地占 60% 以上。该县属温带大陆性气候, 年平均气温 9.9℃, > 10℃ 的积温 2 842℃, 年日照时数 2 249~2 437 h, 年均降水量 403.8 mm, 无霜期 130 d 左右, 是一个以种植业为主的农业县。镇原县北庄村位于陇东第二大塬屯字塬西南部, 该村既有塬地, 又有坡耕地, 为陇东比较典型的村落。该村有人口 249 人, 耕地 38.87 hm², 其中塬地 27.93 hm², 坡地 10.94 hm²。耕地资源有限且质量不高, 生产力低下, 农民收入不高。由于该村自然社会条件适宜退耕还草, 10.94 hm² 坡地已在 2000~2002 年间逐步退耕还草, 种植苜蓿。

1.2 研究方法

某种资源、产品或劳务的能值就是其形成过程直接或间接应用的太阳能总量^[5,6]。可以利用各类能量之间的特定转换关系即能值转换率(Emergy transformity), 把不同类型的能量转化为同一量纲的太阳能值(sej), 在此基础上进行研究工作。本研究以甘肃省镇原县北庄村农业生态经济系统为对象, 具体步骤如下:

(1) 资料调查收集 面上调查(统计局、农业局、镇政府等部门)退耕前(1998 年)和退耕后(2004 年)北庄村农业生产投入和产出的各项物质、能量以及退耕还草的面积和补助粮款的发放情况等。

(2) 编制能值分析表 利用能值转换率(Emergy transformity), 将不同度量单位的资源、产品或劳

收稿日期: 2006-12-17
作者简介: 黄文德(1982—), 男, 在读硕士生, 研究方向为作物优质高效栽培及生态生理。E-mail: huangwende2000@163.com。
通讯作者: 牛俊义, 教授, 博士生导师, 主要从事作物优质高效栽培与农业系统工程的教学与科研工作。E-mail: niujy@gsau.edu.cn。

务量转换为太阳能值(sej),编制成能值分析表。各种农业生产资料、要素及农产品的能量折算系数参考闻大中^[7]和骆世明^[8]等的研究数据,能值转换率参考 Odum·H·T·和蓝盛芳的研究资料^[2]。

(3) 能值指标分析 在能值分析表的基础上,首先分析农业生态系统的一般能值指标,包括环境资源比率、工业辅助能比率、有机辅助能比率、购买能值比率、净能值产出率、环境负荷力、系统可持续发展性能指标等。重点分析农业生态系统特有指标,包括系统生产优势度、系统稳定性系数、能值—劳动生产率、农牧系统耦合度等。

2 农业生态系统能值分析

2.1 农业生态系统能值投入分析

能值投入分析有助于从整体上评价特定区域农

业系统的开放与发展程度^[9]。由表 1 可看出,退耕还草后总能值投入比退耕还草后减少 5.16%。从能值投入的组成来看,不可更新环境资源(表土层净损失)减少的幅度最大,达 18.02%,说明退耕后农田水土流失有所减轻。表明退耕还草对抑制水土流失有明显的作用。可更新环境资源能投入基本保持不变,不可更新工业辅助能和可更新有机能投入分别减少 5.9%和 7.04%,其中氮肥、磷肥和复合肥的能值投入分别减少 8.29%、7.41%和 2.61%。表明农民退耕后并未增加肥料的投入,仍沿用过去广种薄收、低投入、低产出的生产模式。人力、畜力、有机肥和种子能值投入分别减少 4.40%、17.65%、5.04%和 18.07%。种子能值投入减少幅度较大,主要是因为坡耕地用种量普遍大于塬地,农民习惯加大用种量,以保证出苗率。

表 1 北庄农业生态经济系统能值投入					
Table 1 Emergy input of agricultural eco-economic systems in Beizhuang village					
项目 Items	能值转换率 Emergy transformation (sej/ J·sej/g)	退耕还草前(1998) Before (1998)		退耕还草后(2004) After (2004)	
		原始数据 Original data (J·g)	太阳能值 Solar emergy (sej)	原始数据 Original data (J·g)	太阳能值 Solar emergy (sej)
可更新环境资源能 Renewable environmental resources emergy					
太阳能 Solar emergy	1	3.63×10 ¹⁵	3.63×10 ¹⁵	3.63×10 ¹⁵	3.63×10 ¹⁵
雨水化学能 Rainfall chemical emergy	15444	1.76×10 ¹²	2.73×10 ¹⁶	1.79×10 ¹²	2.76×10 ¹⁶
雨水势能 Rainfall Potential emergy	8888	5.23×10 ¹²	4.65×10 ¹⁶	5.24×10 ¹²	4.66×10 ¹⁶
地球旋转能 Earth cycle	29000	2.49×10 ¹¹	7.22×10 ¹⁵	2.47×10 ¹¹	7.17×10 ¹⁵
不可更新环境资源能 Unrenewable environmental resources emergy					
表土层净损失 Top soil loss	62500	3.85×10 ¹¹	2.41×10 ¹⁶	3.16×10 ¹¹	1.97×10 ¹⁶
不可更新工业辅助能 Unrenewable purchased emergy					
电力 Electric power	159000	8.75×10 ⁹	1.39×10 ¹⁵	9.32×10 ⁹	1.48×10 ¹⁵
柴油 Diesel oil	66000	5.26×10 ¹⁰	3.47×10 ¹⁵	5.54×10 ¹⁰	3.65×10 ¹⁵
氮肥 Nitrogen fertilizer	4.62×10 ⁹	3.49×10 ⁶	1.61×10 ¹⁶	3.20×10 ⁶	1.48×10 ¹⁶
磷肥 Phosphate fertilizer	1.78×10 ¹⁰	3.82×10 ⁶	6.79×10 ¹⁶	3.53×10 ⁶	6.29×10 ¹⁶
钾肥 Potassium fertilizer	2.69×10 ⁹	1.40×10 ⁵	3.76×10 ¹⁴	1.49×10 ⁵	4.00×10 ¹⁴
复合肥 Compound fertilizer	2.80×10 ⁹	3.07×10 ⁶	8.58×10 ¹⁵	2.99×10 ⁶	8.36×10 ¹⁵
农药 Pesticide	1.97×10 ⁷	2.64×10 ⁷	5.20×10 ¹⁴	2.93×10 ⁷	5.77×10 ¹⁴
农机 Farm machinery	7.50×10 ⁷	4.25×10 ⁷	3.18×10 ¹⁵	4.57×10 ⁷	3.43×10 ¹⁵
可更新的有机能 Renewable organic emergy					
人力 Labor force	3.80×10 ⁵	7.48×10 ¹⁰	2.84×10 ¹⁶	7.15×10 ¹⁰	2.72×10 ¹⁶
畜力 Livestock force	1.46×10 ⁵	5.66×10 ¹⁰	8.26×10 ¹⁵	4.66×10 ¹⁰	6.80×10 ¹⁵
有机肥 Organic fertilizer	27000	3.79×10 ¹¹	1.02×10 ¹⁶	3.60×10 ¹¹	9.72×10 ¹⁵
种子 Seeds	20000	3.71×10 ¹⁰	7.41×10 ¹⁴	3.04×10 ¹⁰	6.07×10 ¹⁴
总计 Total	—	—	2.58×10 ¹⁷	—	2.45×10 ¹⁷

2.2 农业生态系统能值产出分析

退耕还草后国家要统一给农民一定的补助粮和

补助款,以保证这项工程的顺利进行。补助粮款是农民改变生产方式后外界无偿以货币形式对农业生态

系统的输入,货币流和能值流是反向流动的^[9],所以将补助粮款作为农业生态系统的一种产出来对待。从表 2 看,退耕后北庄总产出能值为 4.8713×10^{17} sej,比退耕前增加 26.31%。从能值产出的组成来看,种植业占 45.44%、林果业占 2.67%、畜牧业占 44.09%、补助粮和补助款占 7.81%,可见能值产出以种植业和畜牧业为主。退耕后种植业、林果业、畜

牧业的产出能值分别增加 17.20%、9.63% 和 16.13%。在总的 1.0148×10^{17} sej 能值增量中种植业占 32.00%、林果业占 1.13%、畜牧业占 29.39%、补助粮和补助款占 37.48%,表明,补助粮和补助款在产出能值的增加中所占的份额较大,对产出能值的增加起了举足轻重的作用。

表 2 北庄农业生态经济系统能值产出

Table 2 Emergy output of agricultural eco-economic systems in Beizhuang village

项目 Items	能值转换率 Emergy transformation (sej/ J·sej/g)	退耕还草前(1998) Before (1998)		退耕还草后(2004) After (2004)	
		原始数据 Original data (J·g)	太阳能值 Solar emergy (sej)	原始数据 Original data (J·g)	太阳能值 Solar emergy (sej)
农产品 Farm products					
小麦 Wheat	6.80×10 ⁴	8.66×10 ¹¹	5.89×10 ¹⁶	7.85×10 ¹¹	5.34×10 ¹⁶
玉米 Corn	2.70×10 ⁴	7.74×10 ¹¹	2.09×10 ¹⁶	6.97×10 ¹¹	1.88×10 ¹⁶
糜子 Millet	2.70×10 ⁴	1.23×10 ¹¹	3.31×10 ¹⁵	6.15×10 ¹⁰	1.66×10 ¹⁵
大豆 Soybean	6.90×10 ⁴	1.03×10 ¹¹	7.13×10 ¹⁵	8.31×10 ¹⁰	5.73×10 ¹⁵
油菜 Rape	8.60×10 ⁴	1.56×10 ¹¹	1.34×10 ¹⁶	1.27×10 ¹¹	1.09×10 ¹⁶
苜蓿 Clover	2.70×10 ⁴	8.73×10 ¹¹	2.36×10 ¹⁶	3.04×10 ¹²	8.21×10 ¹⁶
秸秆 Stalk	2.70×10 ⁴	1.84×10 ¹²	4.98×10 ¹⁶	1.32×10 ¹²	3.58×10 ¹⁶
水果 Fruit	5.30×10 ⁴	2.24×10 ¹¹	1.19×10 ¹⁶	2.45×10 ¹¹	1.30×10 ¹⁶
畜产品 Animal product					
羊肉 Mutton	2.00×10 ⁶	1.39×10 ¹⁰	2.78×10 ¹⁶	1.91×10 ¹⁰	3.82×10 ¹⁶
牛肉 Beef	4.00×10 ⁶	2.69×10 ¹⁰	1.08×10 ¹⁷	2.90×10 ¹⁰	1.16×10 ¹⁷
鸡肉 Chicken	1.70×10 ⁶	4.27×10 ⁹	7.26×10 ¹⁵	3.46×10 ⁹	5.89×10 ¹⁵
皮毛 Leather	3.84×10 ⁶	9.19×10 ⁹	3.53×10 ¹⁶	1.27×10 ¹⁰	4.88×10 ¹⁶
鸡蛋 Egg	1.71×10 ⁶	3.99×10 ⁹	6.83×10 ¹⁵	3.52×10 ⁹	6.03×10 ¹⁵
补助 Assistance					
退耕补助粮 Assistance grain	—	—	0	—	3.51×10 ¹⁶
退耕补助款 Assistance fund	—	—	0	—	2.95×10 ¹⁵

2.3 农业生态系统主要能值指标的分析

2.3.1 环境资源比率、工业辅助能比率、有机辅助能比率与购买能值比率 该组指标反映农业生态系统能值投入组成,退耕还草后局部改变了农业生产方式^[3]。从表 3 可见,北庄总能值投入减少 5.16%,环境资源比率、购买能值比率略有增加,但幅度不大,仅增加了 1.6%。工业辅助能比率和有机辅助能比率分别减少了 0.78%和 0.83%。由此可看出,退耕还草后农业生态系统能值投入组成保持了退耕前的水平,农民仍继续原来的低投入低产出的农业生产模式。

2.3.2 净能值产出率 净能值产出率为产出(输出)的能值与购买能值(输入)之比。其中购买能值来自人类经济系统。该指数表征了经济过程是否具有向经济活动提供基础能源的能力^[2]。从表 4 可见,退耕后北庄的净能值产出率由 2.58 提高到 3.58。表明该农业生态经济系统的能值利用率较高,退耕后进一步提高了能值利用率,主要是由于北庄农业生态经济系统购买能值投入比例较低,生产消耗无偿的自然环境资源比例较高。退耕后购买能值投入降低了 6.27%,但产出能值大幅度提高,形成了一种运转效率和回报率较高的农业生态系统。

表 3 北庄农业生态经济系统能值流

Table 3 Emergy flow of agricultural eco-economic systems in Beizhuang village

项目 Items	表达式 Expressions	退耕还草前 (1998) Before (1998)	退耕还草后 (2004) After (2004)
可更新环境资源能 Renewable environmental resources emergy	R	8.46×10^{16}	8.50×10^{16}
不可更新环境资源能 Unrenewable environmental resources emergy	N	2.41×10^{16}	1.97×10^{16}
工业辅助能 Unrenewable purchased emergy	F	1.02×10^{17}	9.56×10^{16}
可更新有机能 Renewable organic emergy	R_I	4.77×10^{16}	4.43×10^{16}
环境资源能 Environmental resources emergy	$I = R + N$	1.09×10^{17}	1.05×10^{17}
货币购买能 Purchased emergy	$U = F + R_I$	1.49×10^{17}	1.40×10^{17}
总能值投入 Total	$T = I + U$	2.58×10^{17}	2.45×10^{17}
种植业 Planting	Y_1	1.89×10^{17}	2.21×10^{17}
林果业 Forestry	Y_2	1.19×10^{16}	1.30×10^{16}
畜牧业 Stockbreeding	Y_3	1.85×10^{17}	2.16×10^{17}
补助 Assistance	Y_4	0.00	3.80×10^{16}
总能值产出 Total	$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4$	3.86×10^{17}	4.88×10^{17}

注:表中所用公式引自参考文献[2]。
Note: The formula in the table is quoted from reference 2.

表 4 北庄农业生态经济系统能值指标体系

Table 4 Emergy indices of agricultural eco-economic systems in Beizhuang village

能值评价指标 Emergy index	表达式 Expressions	退耕还草前 (1998) Before (1998)	退耕还草后 (2004) After (2004)
环境资源比率 Environmental resources emergy ratio	I/T	42.14%	42.82%
工业辅助能比率 Purchased emergy ratio	F/T	39.38%	39.07%
有机辅助能比率 Organic emergy ratio	R_I/T	18.48%	18.11%
购买能值比率 Purchased emergy ratio	U/T	42.14%	42.83%
净能值产出率 Net emergy yield ratio	Y/T	2.58	3.49
能值投入率 Emergy input ratio	I/U	1.37	1.34
能值自给率 Emergy self-sufficient ratio	U/T	42.14%	42.82%
环境负荷力 Emergy loading ratio	$(U+N)/R$	2.05	1.88
可持续发展性能指标 Emergy sustainability index	$EYR \times ELR$	1.26	1.86
系统优势度 System superiority degree	$\sum (Y_i/Y)^2$	0.4707	0.4078
系统稳定度 System stability degree	$-\sum [(Y_i/Y) \ln(Y_i/Y)]$	0.8091	1.0147
能值劳动生产率 Emergy-laboring productivity	Y/t	6.84×10^{11}	9.69×10^{11}
系统耦合度 System coupling degree	—	4.85	2.83

注:表中所用公式引自参考文献[2]; EYR 为能值产出率; ELR 为环境负荷率; t 为劳动时间。
Note: The formula in the table is quoted from reference 2; EYR means the output rate of emergy value; ELR means the load rate of environment; t means the time of working.

2.3.3 环境负荷力 环境负荷力是指人工辅助能加上不可更新资源能值与可更新环境资源能值的比率^[2]。较高的环境负荷力表明在经济系统中存在高强度的能值利用,同时对环境系统保持着较高的压力^[2]。从表 4 可见,退耕后北庄的环境负荷力由 1.94 降至 1.75。可见,退耕还草对降低北庄环境系统压力起到了一定的作用,同时也反映出北庄农业资源开发力度低,资源利用不充分,有巨大的发展潜

力,应进一步加大能值投入,以提高生产力水平。
2.3.4 系统可持续发展性能指标 Brown 和 Ulgiati 提出了以能值为基础的系统可持续发展指标 ESI(Emergy-based sustain ability index)^[10],是能值产出率与环境负荷率之比。若 $1 < ESI < 10$,则表明经济系统充满活力和发展潜力;若 $ESI > 10$,则表明经济系统不发达;若 $ESI < 1$,为消费型经济系统^[11,12]。从表 4 可见,退耕前后北庄的系统可持续

发展性能指标分别为 1.26 和 1.80。退耕还草工程提高了北庄的系统可持续发展性,但同时也应看到它的可持续性为低水平,有待进一步提高。

2.4 农业生态系统特有指标分析

2.4.1 系统生产优势度 农业生态系统的系统优势度反映结构总体的生产单元均衡性^[1]。从表 4 可见,退耕后北庄的农业生态系统优势度由 0.471 降至 0.408,均低于河北省曲周县同时期的系统优势度(0.499)^[1]。主要表现为林果子系统能值产出少,占系统能值总产出的比例过低。虽然退耕后林果系统能值产出增加了 9.63%,但是 2004 年林果业能值产出占能值总产出的比例仍仅为 2.67%,所占比重较小。因此,应大力发展林果业,提高系统的生产优势度。

2.4.2 系统稳定性系数 系统稳定性系数表示系统生产稳定性的指标,系统稳定性指数高,则说明农业系统的物质流、能量流连接网络发达,系统自控、调节、反馈作用强,有更大的自稳定性^[1,2]。从表 4 可见,北庄农业生态系统稳定性指数从退耕前的 0.809 增加到 1.015。表明退耕还草改善了农业生态系统的物质流和能量流连接网络,加强了系统自控、调节和反馈作用,起到了农业生产结构调整的作用。

2.4.3 能值—劳动生产率 能值—劳动生产率以太阳能值来表示劳动成果,其值为系统的能值产出除以投入系统的劳动时间,与传统劳动生产率相比,更能体现凝结在其中的包含资源环境价值在内的全部价值^[1]。从表 4 可见,退耕后北庄能值—劳动生产率增加 41.7%,到 2004 年达到 9.69242×10^{11} sej/h。虽然退耕还草减少了劳动投入,能值—劳动生产率有所提高,但总体上劳动生产力水平还比较低,需进一步提高。

2.4.4 农牧系统耦合度 种植业与畜牧业是两个相互关联的系统,各种流在它们之间的运动构成了复合的农牧生态经济系统,农牧耦合被认为是系统生产力提高的重要途径。农牧系统耦合度可以定量地评价农牧业的耦合程度,为提高区域的系统生产力水平和可持续发展能力提供更多理论上的依据^[13,14]。农牧系统耦合度具体公式为:

$$\text{农牧系统耦合度} = \frac{\text{畜产品总能值}}{\text{粮食能值} \times \text{利用系数} + \text{牧草和秸秆能值}} \times \frac{\text{高质能产品能值}}{\text{低质能产品能值}}$$

其中粮食能值的畜牧业利用系数为 15%,高质能产品为草食动物牛、羊的肉和毛类。低质能产品为秸秆和牧草^[13,14]。

系统耦合度中的前一部分反映了种植业与畜牧

业系统之间的总有效能值的利用率,后一部分则反映了畜牧业内部的品种结构合理性。理想的农牧转化模式是将低质能的初级产品通过草食家畜转换为高质能的次级产品。在草畜基本平衡的范围内,系统耦合度越大,说明农牧系统之间的耦合程度相对越好^[13,14]。从表 4 可见,退耕还草前后北庄农牧系统耦合度分别为 4.84 和 2.83。其中农牧系统有效能值利用率分别为 2.08 和 1.64,两指标均降低。总体上北庄农牧系统耦合度高于内蒙古武川县的农牧系统耦合度(2.68)^[13,14],北庄自古有秸秆养牛的传统,没有养猪等耗粮家畜的习惯,畜牧业内部的品种结构比较合理,所以农牧系统耦合度较高。但退耕还草后系统耦合度反而降低了 41.74%,系统有效能值利用率也降低了 20.96%。主要是因为退耕还草后苜蓿面积大幅度提高,农民还是沿用传统的粗放养畜方式,未能扩大养殖规模,导致大量优质牧草低效高损耗利用。牧草能值产出增加了 148.12%,但畜牧业产出仅增加了 16.13%,严重滞后于牧草的增加,导致农牧系统有效能值利用率降低,进而农牧系统耦合度也降低。因此,畜牧业应该在保持原有比较合理内部品种结构的基础上,继续发展牛、羊等草食动物的养殖。但应改变传统粗放的养殖方式,选用优良畜种,暖棚舍饲,采用现代养殖技术,并以草定畜,适当扩大养殖规模。实现种植业与畜牧业的平衡发展,将资源优势转化为经济优势。

3 结 论

1) 退耕还草后农业生态系统的净能值产出率提高了 35.14%,环境负荷力降低 8.31%,系统可持续发展性指标提高 47.38%,系统稳定性指数也由 0.809 提高到 1.015,可见退耕还草工程提高了北庄农业生态系统生产力,改善了农业生态环境,有利于农业生态系统的稳定可持续发展,应继续加大实施力度。

2) 退耕后农牧系统耦合度降低了 41.74%,说明种植业与畜牧业的发展不平衡,未将资源优势转化为经济优势。畜牧兽医部门应引导农民改变传统粗放的养殖方式,选用优良畜种,暖棚舍饲,采用现代养殖技术。以草定畜,适当扩大养殖规模,实现种植业与畜牧业的平衡发展。

参 考 文 献:

- [1] 张洁瑕,郝晋珉,段瑞娟.现代农业生态系统能值演替分析[J].水土保持学报,2005,19(6):141-144.

[2] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 北京化学工业出版社, 2002.

[3] 曹铁杰. 平凉市退耕还草产业化系统结构分析研究[J]. 甘肃农业, 2005, (8): 60—61.

[4] 吕永前. 甘肃省退耕还林(草)工程及生态环境建设初探[J]. 甘肃林业科技, 2003, (1): 41—43.

[5] 董孝斌, 高旺盛, 严茂超. 黄土高原典型流域农业生态系统生产力的能值分析[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 223—229.

[6] 严茂超, 李海涛, 程鸿, 等. 中国农林牧渔业主要产品的能值分析与评估[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(6): 66—69.

[7] 闻大中. 农业生态系统能流的研究方法(一)[J]. 农村生态环境, 1985, 1(4): 47—52.

[8] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.

[9] 李金平, 陈飞鹏, 王志石. 城市环境经济能值综合和可持续性

分析[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 439—446.

[10] Sergio Ugati, Mark T. Brown. Monitoring Patterns of Sustainability in Natural and Man-made Ecosystems[J]. Ecological Modelling, 1998, 108: 23—36.

[11] 李小玉, 肖笃宁. 能值分析在绿洲农业经济系统研究中的应用[J]. 干旱区研究, 2005, 22(3): 409—413.

[12] 林慧龙, 任继周, 傅华. 草地农业生态系统中的能值分析方法评介[J]. 草业学报, 2005, 14(4): 1—7.

[13] 董孝斌, 高旺盛, 严茂超. 基于能值理论的农牧交错带两个典型县域生态经济系统的耦合效应分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 1—6.

[14] 董孝斌, 高旺盛. 农牧交错带农业生态系统生产力的能值分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(7): 33—37.

Dynamic analysis of emergy for agro-ecosystem in the
region of cropland to grassland conversion
——A case study of Beizhuang Village, Zhenyuan County in Gansu Province

HUANG Wen-de, NIU Jun-yi , GAO Yu-hong, YANG Xiao-zhou, ZHAO Kui
(College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Taking Beizhuang village, Zhenyuan County of Gansu Province as an example and using H. T. Odum emergy analysis method, this paper studies the changes of agro-ecosystem emergy after cropland to grassland conversion. The results indicate that after cropland to grassland conversion, net emergy yield ratio increases by 35.14%, environmental loading ratio decreases by 8.31%, emergy sustainability index (ESI) increases by 47.38%, and emergy stability index increases from 0.809 to 1.015 in Beizhuang village agro-ecosystem. The cropland to grassland conversion plays an important role in the improvement of agro-ecosystem productivity and sustainable development. But the system coupling degree between agriculture and animal husbandry decreases by 41.74%, we should adopt measures to enhance it and realize the balance development of agro-ecosystem.

Key words: conversion of cropland to grassland; agro-ecosystem; emergy