

关中平原农田生态系统不同秸秆还田模式的能值分析

蒋 碧, 李 明, 吴喜慧, 佟小刚, 吴发启*

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 作物秸秆的焚烧或闲置, 不仅造成了严重的大气污染, 而且造成秸秆资源的极大浪费。应用生态经济系统能值分析理论与方法, 分析了9种不同秸秆还田组合模式的能值效益。结果表明, (1) 各处理模式的不可更新工业辅助能值投入占系统总能值投入的比重最大, 其中化肥能值投入比重最高。(2) 能值产出方面, 小麦秸秆高留茬-玉米秸秆粉碎还田(WH-MC)模式的产出水平最高, 达到 $7.60 \times 10^{15} \text{ sej}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。(3) 小麦秸秆高留茬-玉米秸秆粉碎还田(WH-MC)模式的净能值产出率最高、环境负载率最低、能值反馈率最大、产投比最大, 分别为2.52、1.13、75.90%和1.39。小麦秸秆高留茬-玉米秸秆粉碎还田(WH-MC)是该区域种植业最优的秸秆还田模式, 可以大力推广。

关键词: 秸秆还田; 生产模式; 能值分析; 关中平原

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)06-0178-08

生态系统中生命系统与环境系统在相互作用过程中, 始终伴随着能量的交换、贮存和传递, 故能量流动是生态系统的基本功能之一^[1], 但以往的研究成果只能揭示某一系统的特征, 而不能开展系统间的比较, 因而也是人们分析系统功能特征的主要内容, 就会使能量分析陷入困境^[2]。

20世纪80年代末, 美国著名生态学家 H. T. Odum 在系统生态、能量生态、生态经济理论的基础上提出了能值分析理论, 不仅解决了上述问题而且能从一个全新的角度来看待自然环境资源在生态系统中的作用。能值实质就是某种能量所包含的另一种能量的数量, 任何形式的能量均来源于太阳能, 故常以太阳能为基准来衡量各种能量的能值。任何资源、产品或劳务形成所需直接和间接应用的太阳能之量, 就是其所具有的太阳能值^[3] (solar emergy), 单位为太阳能焦耳 (solar emjoules, 即 sej)。实际应用时, 主要是求算与分析太阳能值转换率, 即单位能量或物质相当于多少太阳能焦耳的能值转化而来。能值分析对自然资源的科学评价、合理利用、制定经济发展方针及实施可持续发展战略均具有重要意义^[4-6]。近年来, 能值分析方法在农业生态系统上的应用也得到了广泛的关注和发展。付晓等人研究了辽西半干旱区农业生态经济系统的能值投入及产出结构, 通过一系列能值评价指标分析了其发展现

状^[7]。熊凯等人利用能值分析方法对武汉市农田生态环境进行了综合评价, 取得了良好的效果^[8]。赵桂慎等人对山东高产粮区农田生态系统的可持续性进行了研究, 从能值结构和指标方面做了科学的评价^[9]。可见, 能值分析在研究农田生态系统功能效益上的作用日益明显^[10]。但利用能值分析针对作物秸秆还田下农田生态系统的研究还比较少见。

陕西关中平原以土壤肥沃、农产品丰富著称, 是我国农业的发祥地之一, 又是陕西省粮食的主产区。每年平均生产小麦、玉米的秸秆总量达1 037.2万t, 占全省秸秆总量的64.1%, 但被直接还田的量很少, 造成了农业资源的大量浪费。研究表明, 秸秆还田既能促进土壤有机质积累, 改善土壤结构, 减缓地力衰竭, 增加作物产量, 又能改变整个农田系统的氮素平衡^[11-14]。特别是近几年来, 随着循环农业理念与技术措施的应用, 在关中平原也建立了几个秸秆机械化还田的示范县, 提高了秸秆资源的利用率。但还田后的系统功能效益怎样? 本文利用能值分析的方法, 从秸秆还田循环生产模式的能量投入和产出角度评价该模式的资源利用和产出状况, 以期科学选择秸秆还田模式提供应用基础。

1 研究内容与方法

1.1 研究区概况

研究区设在陕西省三原县西北农林科技大学三

收稿日期: 2012-05-26

基金项目: “十二五”国家科技支撑项目(2012BAD14B11)

作者简介: 蒋 碧(1986—), 男, 安徽砀山人, 在读硕士, 主要从事土地资源利用与管理研究。E-mail: bij050332@126.com。

* 通信作者: 吴发启(1957—), 男, 陕西黄陵人, 博士生导师, 主要从事农业区域治理研究。E-mail: wufaqi@263.net。

原试验站。该站位于关中平原中部,气候属暖温带大陆性季风半干旱气候区,年平均气温 13.4℃; ≥10℃ 的活动积温 4 337.7℃,年均降水量 517.7 mm,平均无霜期 215 d,年太阳总辐射 475.4 kJ/cm²。试验区以平原为主,土壤为塬土。

试验 2008 年开始采用了大型小区和裂区设计,

田间排列采用随机排列。小麦和玉米小区各进行了 3 种处理,即小麦秸秆粉碎直接还田、小麦秸秆高留茬覆盖还田和小麦秸秆不还田;玉米秸秆粉碎直接还田、玉米秸秆粉碎覆盖免耕深松还田和玉米秸秆不还田(见表 1)。种植的小麦为绵阳 26,玉米为农华 50,每个处理重复 3 次。

表 1 秸秆还田模式组合处理
Table 1 Models of straw returning

小麦秸秆还田模式 Model of wheat straw returning			代码 Code	玉米秸秆还田模式 Model of maize straw returning			代码 Code
编号 No.	名称 Name	内容 Content		编号 No.	名称 Name	内容 Content	
模式 1	小麦秸秆粉碎直接还田 Wheat straw crushing and returning	小麦机械化高留茬收获 + 秸秆还田机粉碎 + 旋耕播种 Harvest with high stubble wheat straw + machinery crushing + ploughing-sowing	WC	模式①	玉米秸秆粉碎直接还田 Maize straw crushing and returning	机械化收获 + 粉碎秸秆 + 浅旋整地 + 施肥播种 Machinery harvest + straw crushing + shallow rotary ploughing + fertilizing and sowing	MC
模式 2	小麦秸秆高留茬覆盖还田 High stubble wheat straw mulching	小麦机械化高留茬收获 + 硬茬播种 Harvest with high stubble wheat straw + sowing	WH	模式②	玉米秸秆粉碎覆盖免耕深松还田 Maize straw crushing and mulching with deep soil loosening	机械化收获 + 粉碎秸秆 + 深松 + 施肥播种 Machinery harvest + straw crushing + deep soil loosening + fertilizing and sowing	MM
模式 3	小麦秸秆不还田 No wheat straw returning	小麦机械化低留茬收获 + 硬茬播种 Harvest with low stubble + sowing	WN	模式③	玉米秸秆不还田 No maize straw returning	玉米掰棒收获 + 施肥旋耕播种 Harvest + fertilizing and plough-sowing	MN

1.2 研究方法

1.2.1 能值分析方法

(1) 数据资料的收集 在试验区,以 2010—2011 年一个完整的生产年度为界限,记录、收集生产过程中的各项投入和支出数据及当地的气象资料,并进行分类整理计算。研究中的生产资料、要素及农产品的能量折算系数主要参考闻大中、骆世明等的研究结果^[15-19]。能值计算的方法是以太阳能值转换率为基准,各项投入与产出的太阳能值转换率主要参考 Odum、蓝盛芳等的论著^[2-3]。

(2) 绘制能量系统图 应用 H. T. Odum 的“能量系统语言”^[2]图例,绘制能量系统图(图 1,2),包括生产中主要能值投入和产出项目、主要组分及其相互关系。能值投入包括可更新的自然资源、不可更新的自然资源、不可更新工业辅助能和可更新有机能四部分^[20-21]。可更新的自然资源包括太阳能、风能、雨水化学能、雨水势能等;不可更新的自然资源包括表土流失能;不可更新工业辅助能包括在模式生产中投入的农药、化肥、燃料和机械等;可更新有机能包括在生产中投入的劳力、种子和秸秆等。

能值产出包括小麦及其秸秆,玉米及其秸秆。

(3) 编制能值分析表 系统辅助能的物质输入和输出的计算方法参照有关文献^[15-18,22],采用折能公式计算:

$$Y = KX \tag{1}$$

其中, Y 表示能量,即原始数据(J); K 为折能系数; X 为输入和输出的产品或物质数量(kg 或 d)。根据公式(1) 计算可得表 2。

再利用各种自然资源要素的相应能值转换率,将不同度量单位转换为统一的能值单位(sej),太阳能值计算:

$$\text{太阳能值} = \text{原始数据} \times \text{太阳能值转换率} \tag{2}$$

根据公式(2)计算出太阳能值,编制成能值分析表,可得表 3。

(4) 建立能值分析指标 在能值分析表的基础上,建立不同秸秆还田生产模式的能值综合评价指标,包括能值投入率、净能值产出率、能值自给率、产投比、环境负载率等,据此分析秸秆还田生产模式的结构功能和生态经济效益以及不同处理间的差异。

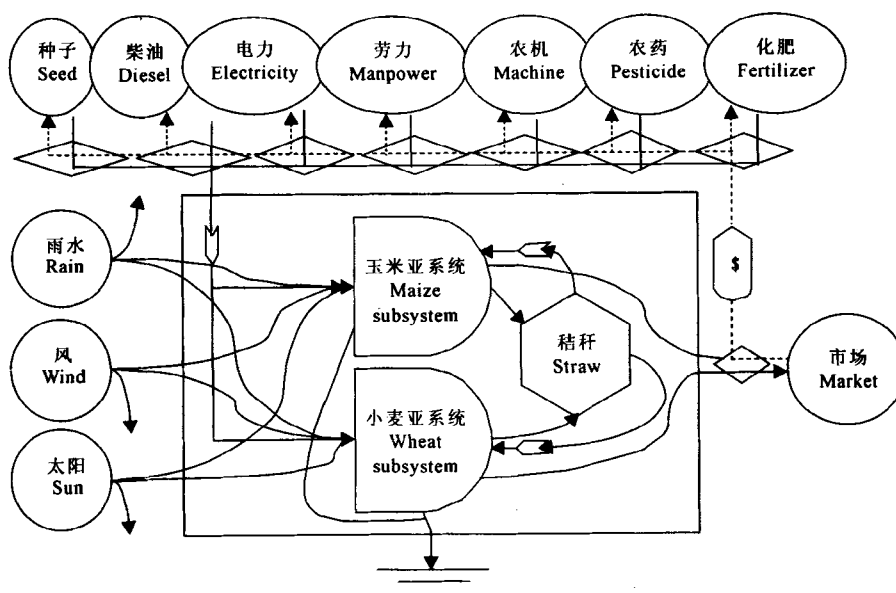


图 1 秸秆直接还田模式下农田生态系统能值图

Fig.1 Energy analysis of the model of straw returning in agr-ecological system

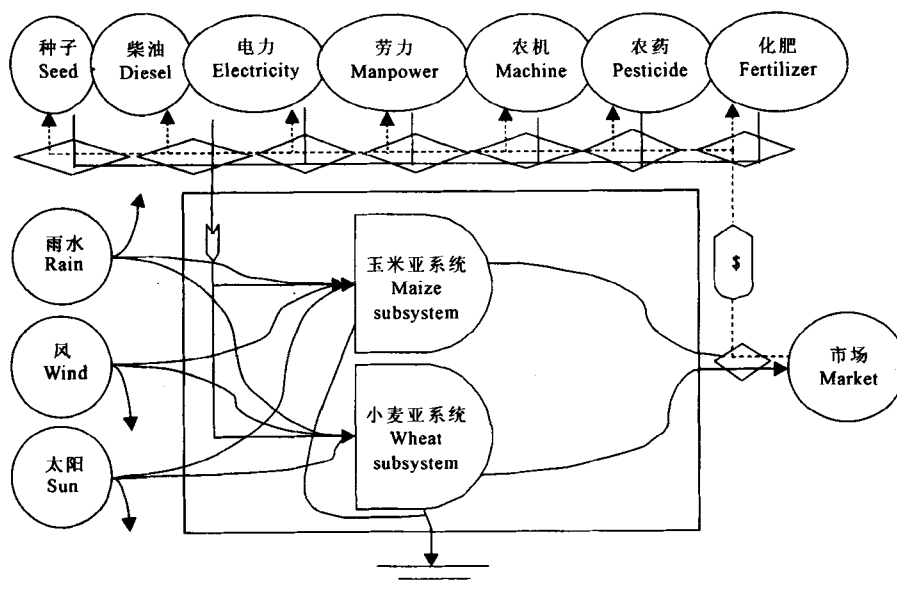


图 2 秸秆不还田模式下农田生态系统能值图

Fig.2 Energy analysis of the model of no-straw returning in agr-ecological system

3 结果与分析

3.1 不同秸秆还田模式的能值投入结构分析

3.1.1 可更新能值投入 投入到农田生态系统的可更新环境资源主要是太阳能和雨水,其能值投入主要与试验区的面积大小、气候条件有关。因此,各小区投入的可更新环境资源的能值相同,均为 1.32×10^{14} sej/hm²(取二者最大值)。

可更新有机能包括劳力、种子,9个处理中可更

新有机能的差异主要在于劳力的投入。由于小麦秸秆不还田需要将秸秆清理出试验区,比秸秆还田模式花费更多的人力,可更新有机能的投入较高。WN-MC、WN-MM、WN-MN模式可更新有机能投入占总能值投入的比例分别为4.00%、4.02%、4.20%;WH-MC、WH-MM、WH-MN、WC-MN、WC-MM、WC-MC模式的可更新有机能的投入较低,占总能值投入的比例分别为2.60%、2.74%、3.49%、3.36%、2.84%、2.89%。

表2 不同秸秆还田模式的辅助能量投入、产出
Table 2 Energy input and output of different straw returning models

项目 Item	单位 Unit	折能系数 Energy transformity /(10 ⁷ J·unit ⁻¹)	不同处理的原始数据 Original data of different models/(10 ⁹ J·hm ⁻²)								
			WH-MC	WH-MM	WH-MN	WC-MN	WC-MM	WC-MC	WN-MC	WN-MM	WN-MN
投入 Input											
玉米种子 Maize seed	kg	1.65	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
小麦种子 Wheat seed	kg	1.57	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
劳力 Man power	人·d	0.54	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15
小麦秸秆 Wheat straw	kg	1.37	23.92	19.10	19.91	23.20	22.31	21.45	0.00	0.00	0.00
玉米秸秆 Maize straw	kg	1.44	34.94	32.87	0.00	0.00	24.18	23.05	23.74	23.14	0.00
氮肥 Nitrogen fertilizer	kg	9.10	10.32	10.32	10.32	10.32	10.32	10.32	10.32	10.32	10.32
磷肥 Phosphate fertilizer	kg	1.34	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
农药 Pesticides	kg	10.20	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13
农机 Agricultural machine	kW·h	0.37	1.59	1.59	1.74	1.79	1.61	1.61	1.55	1.55	1.69
柴油 Diesel	kg	0.48	0.13	0.13	0.15	0.16	0.14	0.14	0.12	0.12	0.14
电力 Electricity	kW·h	0.36	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
产出 Output											
小麦籽粒 Wheat	kg	1.57	42.28	46.83	39.07	33.82	45.62	46.10	31.70	32.60	34.94
玉米籽粒 Maize	kg	1.65	53.04	49.77	50.38	52.99	46.50	50.71	50.60	45.75	43.62
小麦秸秆 Wheat straw	kg	1.37	23.92	19.10	19.91	23.20	22.31	21.45	27.18	25.04	23.76
玉米秸秆 Maize straw	kg	1.44	34.94	32.87	33.55	25.75	24.18	23.05	23.74	23.14	21.55

反馈能主要是小麦和玉米秸秆,由于9个处理的秸秆还田量不一样,所以反馈能值不一样,分别为 2.29×10^{15} sej/hm²、 2.03×10^{15} sej/hm²、 7.76×10^{14} sej/hm²、 9.05×10^{14} sej/hm²、 1.81×10^{15} sej/hm²、 1.74×10^{15} sej/hm²、 9.26×10^{14} sej/hm²、 9.02×10^{14} sej/hm²、0 sej/hm², 占总能值投入的比例分别为 41.94%、39.11%、19.07%、21.45%、36.20%、35.37%、22.70%、22.27%、0。由于 WH-MN、WC-MN、WN-MC、WN-MM 模式的秸秆还田量减半,所占比例在 22% 左右,WN-MN 为秸秆不还田,所以为 0。

3.1.2 不可更新工业辅助能投入 9个处理的不可更新工业辅助能投入分别为 2.88×10^{15} sej/hm²、 2.88×10^{15} sej/hm²、 3.00×10^{15} sej/hm²、 3.03×10^{15} sej/hm²、 2.90×10^{15} sej/hm²、 2.90×10^{15} sej/hm²、 2.84×10^{15} sej/hm²、 2.84×10^{15} sej/hm²、 2.96×10^{15} sej/hm², 占总投能的比例为 52.75%、55.49%、73.71%、71.80%、58.00%、58.94%、69.61%、70.12%、76.29%。说明在该试验区的能值投入中仍然以工业辅助能为主,其中化肥投入比重最高。

9个处理中的化肥、农药、电力都一样,不更新工业辅助能投入的差异主要在于农业机械和柴油的投入,而柴油所占比例较低。由于玉米秸秆不还田模式比还田模式花费更多的机械费,所以该模式下农业机械能值投入较高。WH-MN、WC-MN、WN-

-MN 的机械能值投入分别为 1.31×10^{15} sej/hm²、 1.34×10^{15} sej/hm²、 1.27×10^{15} sej/hm², 占不可更新工业辅助能投入分别为 43.67%、44.22%、42.91%; WH-MC、WH-MM、WC-MM、WC-MC、WN-MC、WN-MM 的机械能值投入分别为 1.19×10^{15} sej/hm²、 1.19×10^{15} sej/hm²、 1.21×10^{15} sej/hm²、 1.21×10^{15} sej/hm²、 1.16×10^{15} sej/hm²、 1.16×10^{15} sej/hm², 占不可更新工业辅助能投入分别为 41.31%、41.72%、40.84%。

3.2 不同秸秆还田模式的能值产出分析

由于每个处理的产量和秸秆量都不同,所以产出能值也有较大差异。9个处理的能值产出分别为 7.60×10^{15} sej/hm²、 6.55×10^{15} sej/hm²、 5.19×10^{15} sej/hm²、 5.64×10^{15} sej/hm²、 6.42×10^{15} sej/hm²、 6.24×10^{15} sej/hm²、 5.52×10^{15} sej/hm²、 5.07×10^{15} sej/hm²、 4.77×10^{15} sej/hm², 能值产出状况依次为 WH-MC > WH-MM > WC-MM > WC-MC > WC-MN > WN-MC > WH-MN > WN-MM > WN-MN。从能值分析的角度来看,小麦秸秆高留茬与玉米秸秆粉碎直接还田(WH-MC)模式的能值产出最高,主要是由于该模式下作物的经济产量和秸秆产量较其他模式高。而由于小麦秸秆粉碎还田(WC)下作物的经济产量和秸秆产量均较高留茬还田(WH)的低,其能值产出因而也较低。小麦秸秆不还田-玉米秸秆

表 3 不同秸秆还田模式的能值投入、产出

Table 3 Energy input and output of different straw returning models

项目 Item	太阳能值转换率 Transformity /(sej·j ⁻¹)	太阳能值 Solar energy/(10 ¹³ sej·hm ⁻²)								
		WH - MC	WH - MM	WH - MN	WC - MN	WC - MM	WC - MC	WN - MC	WN - MM	WN - MN
可更新自然资源 R Renewable natural resources										
太阳能 Solar energy	1.00	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
风能 Wind energy	6.63 × 10 ²	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
雨水化学能 Rainfall chemical energy	1.54 × 10 ⁴	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
雨水势能 Rainfall potential energy	8.89 × 10 ³	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49
小计 Total		13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
不可更新自然资源 N Nonrenewable natural resources										
表土层净损失 Top soil loss	7.40 × 10 ⁴	2.18	2.02	1.88	1.64	1.89	1.48	1.38	1.32	1.23
小计 Total		2.18	2.02	1.88	1.64	1.89	1.48	1.38	1.32	1.23
可更新有机能 R ₁ Original energy										
玉米种子 Maize seed	6.03 × 10 ⁴	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
小麦种子 Wheat seed	6.80 × 10 ⁴	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21
劳力 Man power	3.80 × 10 ⁵	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	5.70	5.70	5.70
小计 Total		14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	16.30	16.30	16.30
系统反馈能 R ₂ Feedback energy										
小麦秸秆 Wheat straw	3.90 × 10 ⁴	93.30	74.50	77.60	90.50	87.00	83.70	0.00	0.00	0.00
玉米秸秆 Maize straw	3.90 × 10 ⁴	136.00	128.00	0.00	0.00	94.30	89.90	92.60	90.20	0.00
小计 Total		229.00	203.00	77.60	90.50	181.00	174.00	92.60	90.20	0.00
工业辅助能 F Purchased supplement energy										
氮肥 Nitrogen fertilizer	4.62 × 10 ⁹	52.40	52.40	52.40	52.40	52.40	52.40	52.40	52.40	52.40
磷肥 Phosphate fertilizer	1.78 × 10 ¹⁰	79.30	79.30	79.30	79.30	79.30	79.30	79.30	79.30	79.30
农药 Pesticides	1.62 × 10 ⁹	6.56	6.56	6.56	6.56	6.56	6.56	6.56	6.56	6.56
农机 Agricultural machine	7.50 × 10 ⁷	119.00	119.00	131.00	134.00	121.00	121.00	116.00	116.00	127.00
柴油 Diesel	6.60 × 10 ⁴	0.858	0.858	0.990	1.06	0.924	0.924	0.792	0.792	0.924
电力 Electricity	1.59E + 05	29.40	29.40	29.40	29.40	29.40	29.40	29.40	29.40	29.40
小计 Total		288.00	288.00	300.00	303.00	290.00	290.00	284.00	284.00	296.00
总投入 T Total energy input		546.00	519.00	407.00	422.00	500.00	492.00	408.00	405.00	388.00
能值产出 Energy output										
玉米籽粒 Maize	2.70 × 10 ⁴	143.00	134.00	136.00	143.00	148.00	137.00	137.00	114.00	108.00
小麦籽粒 Wheat	6.80 × 10 ⁴	388.00	318.00	206.00	230.00	310.00	313.00	216.00	212.00	201.00
玉米秸秆 Maize straw	3.90 × 10 ⁴	136.00	128.00	103.00	100.00	95.30	89.90	92.60	90.20	81.00
小麦秸秆 Wheat straw	3.90 × 10 ⁴	93.30	74.50	73.60	90.50	88.90	83.70	106.00	90.70	87.00
总产出 Y Total energy output		760.00	655.00	519.00	564.00	642.00	624.00	552.00	507.00	477.00

注:可更新自然资源(R)包括太阳能、风能、雨水化学能、雨水势能,根据试验区年均太阳能辐射量、年均降雨量等计算,但由于其具有相同来源,仅取数值最大者——雨水化学能计算以免重复。

Note: The renewable natural resources include solar energy, wind energy, rainfall chemical energy and rainfall potential energy. That calculated by average annual of solar radiation energy and average annual rainfall. Because of the same sources, take the maximum calculated to avoid repeated.

不还田模式(WN - MN)的生物量是最低的,其能值产出也是最低。可见,小麦秸秆高留茬与玉米秸秆粉碎直接还田(WH - MC)模式更有利于该地区农业生产发展。

3.3 不同秸秆还田模式的能值指标分析

根据不同秸秆还田模式的能值投入产出表,计算出主要的能值指标,见表 4。

表 4 不同秸秆还田模式的能值指标分析
Table 4 Indexes of emergy analysis of different models

能值指标 Emergy index	表达式 Expression	WH - MC	WH - MM	WH - MN	WC - MN	WC - MM	WC - MC	WN - MC	WN - MM	WN - MN
能值自给率/% Emergy self-sufficiency ratio	$(R + N)/T$	2.81	2.93	3.71	3.51	3.02	2.98	3.57	3.58	3.71
净能值产出率 Net emergy yield ratio	$Y/(F + R_1)$	2.52	2.17	1.65	1.78	2.11	2.05	1.83	1.69	1.28
能值投入率 Emergy input ratio	$(F + R_1)/(R + N)$	19.62	19.82	20.81	21.36	20.13	20.69	20.63	20.71	25.91
环境负载率 Environmental loading ratio	$(F + N)/(R + R_1 + R_2)$	1.13	1.26	2.87	2.58	1.40	1.45	2.34	2.39	12.16
能值反馈率/% Feedback ratio	$R_2/(F + R_1)$	75.90	67.28	24.73	28.56	59.58	57.28	30.79	29.99	0.00
能值产投比 Output to input ratio	Y/T	1.39	1.26	1.28	1.33	1.28	1.27	1.35	1.25	1.23

3.3.1 能值自给率 能值自给率是无偿环境资源能值投入与系统总能值投入之比,表征系统对自然环境的依赖程度。由表可知每个处理对自然环境的依赖程度都较低,对化肥等购买性能值的投入依赖较大。相比较而言,小麦、玉米秸秆都不还田(WN - MN)模式对环境的依赖较大,小麦秸秆高留茬和玉米秸秆粉碎还田(WH - MC)模式较多依赖于购买性能值。

3.3.2 净能值产出率 净能值产出率等于产出能值与人类社会经济系统投入的购买能值之比,它反映购买能值应用的效率,净能值产出率越高,表明购买能值的应用效率越高,生产同样的产品需要投入的经济能值越少,所以产品的市场竞争力越强。9个处理中秸秆还田模式 WH - MC、WH - MM、WC - MM、WC - MC 的净能值产出率较高,分别为 2.52、2.17、2.11、2.05,其中小麦秸秆高留茬和玉米秸秆粉碎还田(WH - MC)模式最高,有较高的能值利用效率,生产成本较低。WH - MN、WC - MN、WC - MN、WN - MM、WN - MN 的净能值产出率较低,分别为 1.65、1.78、1.83、1.69、1.28,其中小麦、玉米秸秆都不还田(WN - MN)模式最低,能值利用效率最低,也就意味着生产同样的产品需要投入最多的经济能值,因此其市场竞争力最弱。

3.3.3 能值投入率 能值投入率等于人类经济系统投入的购买能值与从自然环境资源输入的无偿能

值之比,是衡量经济发展程度的指标,其值越大,表示系统发展程度越高。WH - MN、WC - MN、WN - MC、WN - MM、WN - MN 的能值投入率分别为 20.81、21.36、20.63、20.71、25.91,WH - MC、WH - MM、WC - MM、WC - MC 分别为 19.62、19.82、20.13、20.69。可见秸秆不还田的能值投入率稍高于秸秆还田模式,每单位无偿环境资源的利用相应投入了较多的购买能值,主要是因为秸秆不还田比秸秆还田花费更多的人力物力。

3.3.4 环境负载率 人工辅助能值与不可更新环境资源能值之和与可更新环境资源能值之比,反映了自然环境对经济活动的承受能力。各处理的环境负载率为 1.13、1.26、2.87、2.58、1.40、1.45、2.34、2.39、12.16,可见各个模式下的农业生产主要靠人工辅助能值的大量投入来获得较高的产量,对不可更新环境资源的利用率相对较高,同时对环境的压力也相对较大。相比之下,小麦秸秆高留茬和玉米秸秆不还田(WH - MN)、小麦秸秆粉碎还田和玉米秸秆不还田(WC - MN)、小麦秸秆不还田和玉米秸秆粉碎还田(WN - MC)、小麦秸秆不还田和玉米秸秆粉碎覆盖还田(WN - MM)、小麦秸秆不还田和玉米秸秆不还田(WN - MN)的环境负载率较大,尤其是两种作物都不还田情况下达到最大,说明这几种组合处理应在提高效率的同时注意保护生态环境。

3.3.5 能值反馈率 等于生产模式的自身反馈能

值与购买能值的比率,是衡量系统自组织能力的指标,其值越大,表示系统的自组织能力越强。由于增加了秸秆还田形成了循环农业模式,因此 WH-MC、WH-MM、WC-MM、WC-MC 的能值反馈率较高,分别为 75.90%、67.28%、59.58%、57.28%,说明产出能值反馈量大,自组织能力较强,而 WH-MN、WC-MN、WN-MC、WN-MM、WN-MN 的能值反馈率较低,只为 24.73%、28.56%、30.79%、29.99%、0。

3.3.6 能值产投比 指总产能与总投能的比值,是衡量资源利用效率的指标。由能值分析指标可知,小麦秸秆高留茬和玉米秸秆粉碎还田(WH-MC)模式的产投比最大,达到 1.39,其综合资源的利用效率最高。两种秸秆都不还田(WN-MN)模式为 1.23,其综合资源的利用效率是最低的。

4 结 论

1) 各处理的不可更新工业辅助能值投入占系统总能值投入的比重最大,其中化肥能值投入占工业辅助能值投入比重最高,化肥的大量使用必然会加速土壤有机质的损耗,同时还会对环境造成污染,不利于农田生态系统的可持续发展。所以应适当控制化肥的投入,增加有机肥的使用。

2) 从各处理的主要能值指标比较分析可知,小麦秸秆高留茬和玉米秸秆粉碎还田(WH-MC)模式的能值利用效率最高、环境负载率最低、能值反馈率最大、产投比最大,该模式更有利于农业生产发展,是该区域最优的秸秆还田生产模式。

3) 秸秆还田农业生产模式能够达到废弃物再利用的目的,具有良好的系统内部物质循环使用和能值反馈的特性,不仅能够减少环境污染,而且减少了对外部投入的依赖,实现了物流、能流的多样化和良性循环,环境负荷小。因此,在关中平原地区应该大力倡导减少资源浪费,提高其利用效率,把丰富的秸秆资源充分利用起来,让其进入农业生产的循环链中,形成循环型农业。

参 考 文 献:

[1] Tripathi R S, Sah V. K Material and energy flows in high-hill, mid

- hill and valley farming systems of Garhwal Himalaya[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2001, 86: 75-91.

- [2] Odum H T. Environment accounting: emergy and decision making [M]. New York: John Wiley & Sons, 1996: 320-370.
- [3] 蓝盛芳, 钦 佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [4] 严茂超. 西藏生态经济系统的能值分析与可持续发展研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(2): 116-125.
- [5] 李双成, 傅小锋, 郑 度. 中国经济持续发展水平的能值分析[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 297-304.
- [6] 赵 晟, 李自珍. 甘肃省生态经济系统的能值分析[A]. 西北植物学报, 2004, 24(3): 464-470.
- [7] 付 晓, 吴 钢, 尚文艳, 等. 辽宁省朝阳市农业生态经济系统能值分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 902-906.
- [8] 熊 凯, 杨钢桥, 蔡银莺. 基于能值理论的武汉市农田生态系统能值分析[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(6): 738-741.
- [9] 赵桂慎, 姜浩如, 吴文良. 高产粮区农田生态系统可持续性的能值分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 318-323.
- [10] 魏胜文, 陈先江, 张 岩, 等. 能值方法与存在问题分析[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 270-277.
- [11] 劳秀荣, 孙伟红, 王 真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
- [12] 张振江. 长期麦秆直接还田对作物产量与土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 1998, 29(4): 154-155.
- [13] Eagle A J, Bird J A, Horwath W R, et al. Rice yield and nitrogen efficiency under alternative straw management practices[J]. Agron J, 2000, 92: 1096-1103.
- [14] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
- [15] 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.
- [16] 闻大中. 农业生态系统能流的研究方法(二)[J]. 农村生态环境, 1986, 2(1): 52-56.
- [17] 闻大中. 农业生态系统能流的研究方法(三)[J]. 农村生态环境, 1986, 2(2): 48-51.
- [18] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [19] 吴 刚, 冯宗炜. 黄淮海平原豫北地区农林业系统的能量研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(4): 355-359.
- [20] Bastianoni S, Marchettini N, Panzieri M, et al. Sustainability assessment of a farm in the Chianti Area (Italy)[J]. Journal of Cleaner Production, 2001, 9: 365-373.
- [21] Lef roy E, Rydberg T. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia[J]. Ecological Modeling, 2003, 161: 195-211.
- [22] 韩纯儒. 农业生态系统的能量结构与效率[J]. 农村生态环境, 1985, 1(3): 6-8.

Emergy analysis of agricultural models of straw returning in the central Shaanxi plain

JIANG Bi, LI Ming, WU Xi-hui, TONG Xiao-gang, WU Fa-qi *

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Crop straws burning or idling not only caused serious air pollution, but also caused a tremendous waste of resources. Therefore the straw recycling research gets more and more attention. Based on the theory and method of emergy analysis of eco-economic system, the emergy flow of 9 different straw returning models was investigated quantitatively through a series of indexes. The results showed that, input of nonrenewable industrial emergy in all models was the largest contributor to the total emergy inputs, and input of chemical fertilizer emergy had the biggest proportion. Emergy output of wheat straw and maize crushing and returning (WH-MC) was the highest of 7.60×10^{15} sej/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$). The emergy utilization efficiency of the high stubble wheat straw and maize crushing and returning (WH-MC) was the highest while the environmental loading ratio was the lowest, and the feedback and value to cost ratio were the highest, reaching 2.52%, 1.13%, 75.90% and 1.39 respectively. Therefore, the mode of the high stubble mulch of wheat and corn straw chopping is the optimal model in planting production in this area and should be widely popularized.

Keywords: straw returning; model; emergy analysis; central Shaanxi plain

(上接第 167 页)

Effect of Na^+ on silicon and phosphorus dissolved by two strains microorganisms

GAO Hai-ning^{1,2}, JIAO Yang^{1,2}, LI Cai-xia, ZHANG Yong, YANG Bin^{1,*}

(1. Agriculture and Biotechnology Institute, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Key Laboratory Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu Universities, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: Research was conducted to observe the impact of Na^+ ion on silicon(Si) and phosphorus(P) dissolved by Rs-2 and Rs-4 strains. The results indicated that NaCl condition could improve Si dissolved by Rs-2 strains and Rs-4 strains. When Rs-4 strains were cultivated 72 hours, concentration of dissolution Si reached 106.92 $\mu\text{g/mL}$ under 1.5% NaCl, and 148.9 $\mu\text{g/mL}$ by Rs-2 strains under 3% NaCl. Then, NaCl condition could facilitate dissolution P capacity of Rs-4 strains, after 72 h, concentration of dissolution P reached 115.68 $\mu\text{g/mL}$ under 3% NaCl. Furthermore, based on the changing with time, dissolution Si character of Rs-2 strains accorded with Logistic curve type, and regression analysis showed that dissolved silicon and time was in positive correlation and had significant relationship. Followed dissolution P character of Rs-4 strains accorded with binomial type, and had very significant relationship and high reliability.

Keywords: bacterial strain; Na^+ ; dissolved silicon; dissolved phosphorus