

赵忠宝,朱清海. 稻-蟹-鳅生态系统的能值分析[J]. 江苏农业科学,2013,41(5):349-351.

稻-蟹-鳅生态系统的能值分析

赵忠宝¹, 朱清海²

(1. 中国环境管理干部学院,河北秦皇岛 066004; 2. 辽宁省盘锦市土肥站,辽宁盘锦 124010)

摘要: 通过田间试验,采用奥德姆能值理论和分析方法,对稻-蟹-鳅生态系统的可持续性进行评价。结果表明:稻-蟹-鳅生态系统的可更新有机能利用率、能值投入率、能值密度、能值-劳动生产率、净能值产出率、环境负载率和能值可持续发展指数分别为 0.30、2.34、43.85 $\times 10^{10}$ sej/m²、9.63 $\times 10^{12}$ sej/h、4.61、2.72、1.69,比稻-蟹生态系统和单作稻生态系统的高。不可更新工业能利用率为 0.4,比稻-蟹生态系统和单作稻生态系统的低。

关键词: 水稻;河蟹;泥鳅;生态系统;能值分析

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)05-0349-03

水稻是重要的粮食作物,全世界有一半以上的人口以稻米为食^[1];河蟹肉质鲜美,风味独特,营养丰富,是人们所喜爱的美味佳肴^[2-4];泥鳅具有较高的营养价值,是高蛋白、低脂肪的经济鱼类之一^[5]。稻田养蟹,既种水稻又养殖河蟹,河蟹在稻田寻食、爬行,并除去稻田的一部分杂草,减少了中耕除草和农药用量;养蟹的残饵和蟹粪又为水稻生长提供了优质的有机肥料^[2-4]。由于泥鳅属于杂食性鱼类,能吃稻田中的嫩草、底栖动物和水生昆虫、浮游生物,又可以残饵、鱼类为食,喜欢钻入泥中,受稻田施肥和打药的影响较小^[5],运用有机物多层次利用技术和物种互惠共生技术^[6],在稻-蟹生态系统中加入养泥鳅“生产环”,可以形成“稻护蟹,蟹吃饵料,鳅吃残饵、蟹粪,泥鳅粪肥田”的“稻-蟹-鳅生态系统”。

某种流动或储存的能量所包含的另一种流动或储存的能量的数量,即为该种能量的能值。能值分析是美国著名生态学家奥德姆(Odum)创立的以能量为核心的系统分析方法。能值分析以能值作为基准,把不同种类、不可比较的能量转换成统一标准来进行比较。能值分析常用太阳能值(solar energy)来衡量某一能量的能值大小,单位为太阳能焦耳(solar emjoules,缩写为 sej)。能值分析提供了一个对经济系统透视

的新视野,传统的经济分析和评价方法重视货币的作用,实际上货币只衡量了人的贡献,而能值分析则同时衡量人和环境对于经济发展的贡献。自然界的目标是最大化的能值流,而且这也应当是人类的目标^[7]。本研究通过田间试验,采用奥德姆的能值理论和分析方法,对稻-蟹-鳅生态系统的可持续性进行评价,定量分析自然资源和人类投入对经济系统的作用,为进一步提高稻田综合效益提供科学依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

试验地选在辽宁省盘山县坝墙子镇,土壤为黏质盐渍型水稻土,气候属暖温带大陆性半湿润季风气候区。年平均气温 8.9℃, $\geq 5^\circ\text{C}$ 活动积温 3 551℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温 3 509℃,年降水量 633.6 mm,年蒸发量 1 551.7 mm。全年太阳能总辐射量 577.2 kJ/cm²,生理辐射量 291.3 kJ/cm²,其中作物生育期(4—9月)的生理辐射量 183.8 kJ/cm²,无霜期 171 d。

1.2 研究方法

试验设稻-蟹、稻-蟹-鳅、单作稻(CK)3种生态系统,分别设3次重复,9个生态系统随机区组排列,每个生态系统面积为135 m²,以其所辖地块范围为系统边界。其间筑田埂,设保护行,实行单排单灌。稻-蟹、稻-蟹-鳅生态系统沿田埂四周围防逃塑料布,进、排水口置双层密织防逃拦网,稻-蟹-鳅生态系统沿田埂内侧铺塑料布。每个稻-蟹、稻-蟹-鳅生态系统放蟹种99只,每个稻-蟹-鳅生态系统

收稿日期:2012-10-29

资助项目:国家自然科学基金(编号:49631040)。

作者简介:赵忠宝(1980—),男,河南滑县人,硕士,讲师,研究方向为生态农业、水土保持、生态规划。E-mail:354908476@qq.com。

通信作者:朱清海。E-mail:zhuqinghai12@163.com。

[2]康白. 微生物学[M]. 大连:大连出版社,1998:106-110.

[3]邵孝侯. 农业环境学[M]. 南京:河海大学出版社,2005:99-108.

[4]邵青. EM对生活污水中常见污染物的去除效果[J]. 中国给水排水,2001,17(3):74-76.

[5]邵青,雒文生. EM应用于间歇反应器处理城镇污水的高效节能问题[J]. 中国农村水利水电,2002(10):27-30.

[6]亢志华,唐剑,袁伟,等. 构建太湖富营养化循环环保产业的可行性分析[J]. 江苏农业学报,2012,28(3):560-564.

[7]宋丰明,李长有. 农村水环境污染控制及修复(综述)[J]. 江苏农业科学,2012,40(3):330-332.

[8]Yong J. China's water scarcity[J]. Journal of Environmental Manage-

ment,2009,90(11):3185-3196.

[9]王忠敏,梅凯. 氮磷生态拦截技术在治理太湖流域农业面源污染中的应用[J]. 江苏农业科学,2012,40(8):336-339.

[10]朱亮,汪翔,王超. EM在污水生物降解中的试验研究[J]. 环境工程,2001,19(6):15-18.

[11]蔡金榜,钱健. EM复壮实验研究[J]. 环境卫生工程,2003,11(4):187-190.

[12]吴保承,沈国强,杨春霞,等. 微生物制剂在水质净化中的应用现状与展望[J]. 环境科学技术,2010,33(增刊1):408-410.

[13]邵孝侯. 农业水土环境工程学[M]. 南京:河海大学出版社,2011:1-6.

放鳊种 69 尾。2011 年 5 月 22 日插秧,插前每小区用 15 mL 60% 丁草胺乳油 + 20 mL 12% 恶草酮乳油封闭稻田,插后不施农药。每个生态系统施尿素 4.7 kg、复混肥(N、P₂O₅、K₂O 含量均为 15%)5.0 kg。6 月 22 日按试验设计将经过暂养的蟹种和鳊种分别放入相应的生态系统中,放前换 2 次新水,放后每隔 3~5 d 换 1 次新水,每次换水量为田间水体总量的 1/3 (不能放干)。蟹种、鳊种放入后,稻-蟹、稻-蟹-鳊生态系统每天投喂 1 次饵料,每个生态系统每次饵料投喂量按稻-蟹生态系统河蟹体重的 5% 进行^[2-4],各系统投喂配合饵料 13.8 kg。9 月 6 日用泥鳅筛分系统捕捞泥鳅,9 月 14 日分系统捕捞河蟹,10 月 10 日分系统收获水稻。

1.3 能值分析方法

详细调查、记载各生态系统中当年每种物质投入、产出数量。借助能量折算系数^[8]和太阳能值转换率^[9]转换成太阳能值,编制能值分析表,计算能值指标,评价生态系统发展的可持续性^[7,9-11]。

2 结果与分析

2.1 生物产量分析

稻-蟹-鳊生态系统的水稻平均产量为 92 074 kg/hm²,与稻-蟹生态系统的 92 148 kg/hm²、单作稻生态系统的

86 667 kg/hm² 相近。河蟹的平均产量为 5 119 kg/hm²,与稻-蟹生态系统的 5 185 kg/hm² 相近。泥鳅平均产量为 2 511 kg/hm²。

水稻产量方差分析检验结果: n_1 (系统间自由度) = 2, n_2 (误差间自由度) = 4, $F(4.411) < F_{0.05}(6.94)$, 系统间差异不显著,表明在稻田养蟹和稻田蟹、鳊混养条件下,水稻不减产。

河蟹平均产量的差异显著性检验结果:自由度 = 4, $t(0.708) < t_{0.05}(0.741)$, 系统间差异不显著,表明当鳊种投放量适当时,稻田蟹、鳊混养不影响河蟹的生长。

2.2 能值分析

利用调查、记载得到的数据,编制能值投入、产出表(表 1)。根据能值投入、产出表,计算能值可持续发展指标,见表 2。

可更新有机能利用比率体现系统发展的可持续性。从表 2 可以看出:稻-蟹-鳊生态系统可更新有机能利用比率为 0.30,比稻-蟹生态系统的 0.25 提高了 0.05,比单作稻生态系统的 0.14 提高了 0.16,说明稻-蟹-鳊生态系统的可持续性较好。

不可更新工业辅助能利用比率反映了生态系统对工业的依赖程度。稻-蟹-鳊生态系统不可更新工业辅助能利用比率为 0.40,比稻-蟹生态系统的 0.43 降低了 0.03,比单作稻

表 1 每个生态系统的能值投入、产出

编号及项目	能值转换率 (sej/J 或 sej/g)	稻-蟹生态系统		稻-蟹-鳊生态系统		单作稻生态系统(CK)	
		原始数据	太阳能值 (10 ¹² sej)	原始数据	太阳能值 (10 ¹² sej)	原始数据	太阳能值 (10 ¹² sej)
可更新环境资源(EmR)			15.90		15.90		15.90
1 太阳光		77.92 × 10 ¹⁰ J	0.78	77.92 × 10 ¹⁰ J	0.78	77.9 × 10 ¹⁰ J	0.78
2 雨水化学能	1	42.90 × 10 ⁷ J	6.62	42.90 × 10 ⁷ J	6.62	42.90 × 10 ⁷ J	6.62
3 灌溉水	15 423	43.71 × 10 ⁷ J	4.58	43.71 × 10 ⁷ J	4.58	43.71 × 10 ⁷ J	4.58
4 地球旋转	10 488	13.50 × 10 ⁷ J	3.92	13.50 × 10 ⁷ J	3.92	13.50 × 10 ⁷ J	3.92
不可更新环境资源(EmN)		29 000	1.82		1.82		1.82
5 表土层净损失		29.13 × 10 ⁶ J	1.82	29.13 × 10 ⁶ J	1.82	29.13 × 10 ⁶ J	1.82
不可更新工业辅助能(EmF)		62 500	23.44		23.44		23.44
6 氮肥	4.62 × 10 ⁹	2.16 × 10 ³ g	9.98	2.16 × 10 ³ g	9.98	2.16 × 10 ³ g	9.98
7 复合肥	2.80 × 10 ⁹	2.25 × 10 ³ g	6.30	2.25 × 10 ³ g	6.30	2.25 × 10 ³ g	6.30
8 农药	1.62 × 10 ⁹	0.05 × 10 ³ g	0.08	0.05 × 10 ³ g	0.08	0.05 × 10 ³ g	0.08
9 农膜	3.80 × 10 ⁸	0.08 × 10 ³ g	0.30	0.08 × 10 ³ g	0.30	0.08 × 10 ³ g	0.30
10 农用机械	7.50 × 10 ⁷	73.87 × 10 ³ J	5.54	73.87 × 10 ³ J	5.54	73.87 × 10 ³ J	5.54
11 电力	1.59 × 10 ⁵	41.49 × 10 ⁵ J	0.66	41.49 × 10 ⁵ J	0.66	41.49 × 10 ⁵ J	0.66
12 油料	66 000	88.05 × 10 ⁵ J	0.58	88.05 × 10 ⁵ J	0.58	88.05 × 10 ⁵ J	0.58
可更新有机能(EmT)			13.56		18.04		6.68
13 稻种	2.00 × 10 ⁵	1.25 × 10 ⁷ J	2.50	1.25 × 10 ⁷ J	2.50	1.25 × 10 ⁷ J	2.50
14 蟹种	1.71 × 10 ⁶	32.43 × 10 ⁵ J	5.54	32.43 × 10 ⁵ J	5.54	0.00	0.00
15 鳊种	2.00 × 10 ⁶	0.00	0.00	22.38 × 10 ⁵ J	4.48	0.00	0.00
16 饵料	2.09 × 10 ³	23.93 × 10 ⁷ J	0.50	23.93 × 10 ⁷ J	0.50	0.00	0.00
17 人力	3.80 × 10 ⁵	1.32 × 10 ⁷ J	5.02	1.32 × 10 ⁷ J	5.02	1.10 × 10 ⁷ J	4.18
总投入能值(EmU)			54.72		59.20		47.84
18 水稻	3.59 × 10 ⁴	19.27 × 10 ⁸ J	69.18	19.36 × 10 ⁸ J	69.50	18.12 × 10 ⁸ J	65.05
19 秸秆	1.60 × 10 ⁴	15.88 × 10 ⁸ J	25.41	15.96 × 10 ⁸ J	25.54	14.94 × 10 ⁸ J	23.90
20 河蟹	1.71 × 10 ⁶	31.31 × 10 ⁶ J	53.54	30.93 × 10 ⁶ J	52.89	0.00	0.00
21 泥鳅	2.00 × 10 ⁶	0.00	0.00	21.73 × 10 ⁶ J	43.46	0.00	0.00
总产出能值(EmY)			148.13		191.39		88.95

表2 能值可持续发展指数体系

能值指标	表达式	比率		
		稻-蟹生态系统	稻-蟹-鳅生态系统	单作稻生态系统(CK)
可更新有机能利用率	EmT/EmU	0.25	0.30	0.14
不可更新工业辅助能利用率	EmF/EmU	0.43	0.40	0.49
能值投入率	(EmF + EmT)/(EmR + EmN)	2.09	2.34	1.70
能值密度(10 ¹⁰ sej/m ²)	EmU/m ²	40.53	43.85	35.43
能值-劳动生产率(10 ¹² sej/h)	EmY/h	7.59	9.63	5.49
净能值产出率(EYR)	EmY/(EmF + EmT)	4.00	4.61	2.95
环境负载率(ELR)	(EmF + EmT + EmN)/EmR	2.44	2.72	2.01
能值可持续发展指数(ESI)	EYR/ELR	1.64	1.69	1.47

生态系统的0.49降低了0.09,说明稻-蟹-鳅生态系统对工业的依赖程度较低。

能值投入率反映生态系统的经济发展程度及竞争力。稻-蟹-鳅生态系统能值投入率为2.34,比稻-蟹生态系统的2.09提高了0.25,比单作稻生态系统的1.70提高了0.64,说明稻-蟹-鳅生态系统的经济发展快,竞争力强。

能值密度反映了生态经济系统的经济发展对能值的利用强度,它等于生态经济系统总投入能值除以面积(单位m²)。稻-蟹-鳅生态系统的能值密度为43.85×10¹⁰ sej/m²,比稻-蟹生态系统的40.53×10¹⁰ sej/m²提高了3.32×10¹⁰ sej/m²,比单作稻生态系统的35.43×10¹⁰ sej/m²提高了8.42×10¹⁰ sej/m²,说明稻-蟹-鳅生态系统的经济发展对能值的利用强度大。

能值-劳动生产率反映和评价了生产者的劳动效率,它等于生态经济系统总产出能值除以劳动时间(h)。稻-蟹-鳅生态系统能值-劳动生产率为9.63×10¹² sej/h,比稻-蟹生态系统的7.59×10¹² sej/h提高了2.04×10¹² sej/h,比单作稻生态系统的5.49×10¹² sej/h提高了4.14×10¹² sej/h,反映出稻-蟹-鳅生态系统的生产者劳动效率高。

净能值产出率衡量了生态系统的生产效率。稻-蟹-鳅生态系统的净能值产出率为4.61,比稻-蟹生态系统的4.00提高了0.61,比单作稻生态系统的2.95提高了1.66,说明稻-蟹-鳅生态系统的生产效率高。

环境负载率反映了自然环境对经济活动的承受能力。稻-蟹-鳅生态系统环境负载率为2.72,比稻-蟹生态系统的2.44提高了0.28,比单作稻生态系统的2.01提高了0.71,反映了稻-蟹-鳅生态系统由于增加了鳅种投入,科技含量高,因此其自然环境对经济活动的承受能力大。

能值可持续发展指数体现了生态经济系统的生产活力和发展潜力。能值可持续发展指数值应该在1~10之间,表明生态经济系统富有活力和发展潜力;指数值<1为消费型生态经济系统;当指数值>10时,则是经济不发达的象征^[7]。稻-蟹-鳅生态系统能值可持续发展指数为1.69,比稻-蟹生态系统的1.64提高了0.05,比单作稻生态系统的1.47提高了0.22,表明稻-蟹-鳅生态系统生产活力强,发展潜力大。

3 小结与讨论

由于泥鳅属于杂食性鱼类,能吃稻田中的嫩草、底栖动物、水生昆虫、浮游生物,又可以残饵、鱼粪为食,因此常被称

为池塘清洁工。它们喜欢钻入泥中疏松土壤,容易避开稻田施肥、打药的矛盾,因此运用物种互惠共生技术和有机物多层次利用技术,在稻-蟹生态系统中加入养泥鳅的“生产环”,形成“稻护蟹,蟹吃饵料,鳅吃残饵、蟹粪,鳅粪肥田”的人工生产食物链,成功地设计了稻-蟹-鳅生态系统,在不增加稻田养蟹投喂饵料的情况下实现一部分泥鳅的增收,实现了稻、蟹、鳅“三丰收”。系统可持续性好,是一种新型的生态农业模式,可在稻田养成蟹地区因地制宜地推广。

要选择优质、高产、抗逆性强的水稻品种,插秧前3 d用化学除草剂封闭稻田,插后一般不施农药。插秧后30 d分别将蟹种、鳅种放入稻田,放前换2次新水。蟹种投放密度6 750~7 200只/hm²,鳅种4 500~5 100尾/hm²。

要进一步研究稻-蟹-鳅的生态新技术,提高稻田生态系统的 光能利用率、肥料利用率和蟹种、鳅种成活率,降低饵料系数,增加稻、蟹、鳅产量。从而建立一个能值产出率高、环境负载率相对较低的稻-蟹-鳅生态系统,推进资源的可持续利用。

参考文献:

[1] 宾郁泉. 作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 85 - 116.

[2] 杨晓璐, 石 纯. 河蟹养殖[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1993: 144 - 147.

[3] 马达文. 稻田养殖河蟹[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2001.

[4] 薛有桂, 杨海鑫, 葛杏强. 稻田养蟹配套技术[J]. 中国水产, 1992(1): 26.

[5] 张家波. 黄鳝与泥鳅养殖技术[M]. 天津: 天津教育出版社, 1993: 26 - 59.

[6] 孙鸿良. 生态农业的理论与方法[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1993: 194 - 240.

[7] 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.

[8] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 447 - 453.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 张洁琨, 郝晋珉, 段瑞娟. 现代农业生态系统能值演替分析——以河北省曲周县为例[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 141 - 144, 157.