

# 三峡库区稻田复养河蟹的农田生态系统能量特征 与经济效益

陈铭达<sup>1</sup>, 刘兆普<sup>1\*</sup>, 刘文斌<sup>2</sup>, 王景艳<sup>1</sup>, 叶志娟<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095)

**摘 要:** 在 2002 年四川南充稻田养蟹田间探索性试验的基础上, 2003 年在位于三峡库区淹没带边缘非淹区的重庆市开县竹溪镇进行稻田复养河蟹的田间试验, 对种、养结合模式农田生态系统的能流与物流进行了初步探索, 并进行了经济效益分析。结果表明: 稻蟹复养田的光能利用率高于单作水稻田的 15.7%; 水稻生长期间的防病治虫用药、运作管理用工、无机肥用量、机械耗材的投入成本明显减少, 总的投入比单作水稻田少 4.3%, 总能、无机能、有机能的产投比分别少 35.1%、51.0% 和 31.6%; 土壤全氮、氨态氮分别高于单作水稻田的 21.4% 和 55.2%, 稻田水中的氨态氮高达 61.3%, 这些无机态氮是培育水生生物、高等植物的营养源, 又是供应河蟹生长的饵料, 而硝态氮则要低得多; 河蟹的甲壳质及其排泄物经分解矿化后, 是提高土壤有效养分, 供应水稻生长的主要肥源。稻田养蟹后, 虽然稻谷产量比单作水稻低 10.1%, 投入成本且低于 20.0%, 而利润比单作水稻增加 77.8%; 河蟹的产投比 1.54: 1, 获利润 6 381.49 元/hm<sup>2</sup>; 稻田复养河蟹的净利润为 7 104.19 元/hm<sup>2</sup>, 是单作水稻的 44.3 倍。

**关键词:** 三峡库区; 稻田复养河蟹; 农田生态能量特征; 经济效益分析

中图分类号: S181

文献标识码: A

三峡库区的耕地以山丘岗地为主, 平原少, 多为山前冲积扇状平地。土地利用结构中, 可耕地面积只占总土地面积的 15%, 林、牧业用地面积占 67%, 耕地中坡岗地面积占 55%<sup>[1]</sup>, 水田面积占 40%, 其中可种植水稻的面积占水田面积不足 75%, 且多以≤70 的坡岗、沟谷地围埂种植, 耕地破碎, 水土流失十分严重, 库区内由于降雨时空分布极不均匀, 时而春伏旱, 时而暴雨成灾, 水稻田受山坡雨水冲刷而造成的耕层结构退化、土壤养分流失、农田生态失调等问题突出。如何合理利用雨水资源进行山前沟谷平地的水稻种植, 是三峡库区农业种植业的广泛利用并获得成功经验<sup>[2,3]</sup>。在稻田中设置一定面积的堰塘以拦蓄山坡雨水供种植水稻使用, 但往往进一步激化山前水田的冷湿侵害, 形成潮湿冷浸田, 导致土壤粘闭, 早春土温回

升缓慢, 对水稻根系的生长发育不利, 且早期僵苗。为此, 南京农业大学三峡课题组在四川南充白山坡试验的基础上<sup>[4]</sup>, 在重庆开县竹溪镇进行山前平地稻田中挖塘拦蓄雨水, 实行稻蟹复合种养的生态模式, 以其实行雨水资源、山前坡岗地及平地的综合利用, 并在利用中改善三峡库区山前平地的农田生态系统, 以其提高经济效益。

试验布置于重庆市东北距 336 km 的开县竹溪镇大坪村三组的雷家湾, 已有 50 多年种植水稻的田块, 海拔 184.6 m, 为三峡库区淹没带的非移民区边缘, 以山前坡岗为主要地貌类型。区域内气候温和, 雨量充沛, 年均温 15.0~18.5℃, ≥10℃ 的积温 3 000~6 500℃, 年降雨量 1 000~1 300 mm, 6、7、8 三个月雨季占全年降雨量的 60% 左右, 无霜期 300~350 d; 土壤以紫色粘土为主, 质

收稿日期 (Received date): 2005-02-11; 改回日期 (Accepted): 2005-05-18.

基金项目 (Foundation item): 国家科技攻关项目《三峡库区高效生态农业工程的研究与示范》。[Supported by the key Technologies Research Program]

作者简介 (Biography): 陈铭达 (1955-), 男, 江苏无锡人, 副研究员, 主要从事海岸带农业资源利用与生态管理研究 [Chen Mingda (1955-), male, born in Wuxi city, Jiangsu Province, vice research professor, mainly engaged in agricultural resources utilization and ecology management in coastal region].

\* 通讯作者 Corresponding author: Liu Zhanpu, Tel: 025-84396678, Email: sea@njau.edu.cn

地粘性, 土地肥沃, 土壤 pH 值 7.55, 水质 pH 值 7.28, 土壤有机质  $15.12 \pm 1.36$  g/kg, 全氮  $0.475 \pm 0.096$  g/kg, 速效磷  $5.24 \pm 0.22$  mg/kg, 沟谷水田物质资源丰富, 水源主要靠降雨山坡囤蓄自流灌溉。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验安排

水稻品种引自江苏南京, 由南京农业大学农学院水稻研究所培育的优质中熟中粳 W100 品种。05—03 育秧, 06—04 移栽, 移栽密度  $20 \times 20$  cm 的行间距, 每穴 2~3 苗, 栽苗  $22.05 \times 10^4/\text{hm}^2$  穴。栽秧前施沤制腐熟的沼气池禽畜粪肥(折合干物质)  $6750 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 无机肥(尿素)  $225 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 二级过磷酸钙  $450 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 氯化钾  $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。水稻生育期间未施追肥, 未打农药, 无中耕除草, 09—13 收获。同时选择另一田块栽相同品种的水稻为对比, 栽秧时间 06—02, 密度与稻蟹田相同, 栽秧前施禽畜粪肥(折合干物质)  $5625 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 无机肥与稻蟹田相同, 后期追施分蘖肥  $75 \text{ kg}/\text{hm}^2$  尿素, 拔节肥  $105 \text{ kg}/\text{hm}^2$  尿素, 防病除虫二次, 稻田内杂草丛生, 09—13 收获。

### 1.2 田间工程设计

试验田东西—南北向, 长约 93 m、宽约 23 m 的不规则田块, 放养面积  $0.213 \text{ hm}^2$ 。按照田块的实际情况及其养蟹要求, 挖蟹沟二个  $6 \times 10 \text{ m}^2$ , 台阶式挖深 1 m, 以拦蓄雨水, 沟内放养少量水浮莲, 挖宽 0.4 m、深 0.4 m 的中心沟及围埂沟 394 m, 形成二个池、周边沟和田间“丰”字四条沟的沟网格局。离田埂 0.2 m 处打 1.2 m 长木桩 70 根, 用 12<sup>#</sup>铁丝沿木桩围圈二圈, 14 mm 厚农膜剪宽 1 m 圈围于上端铁丝, 扎丝固定上端, 下端埋入泥土 0.2 m, 并用红砖平压下端农膜, 以防止河蟹打洞潜逃。同时在离田埂河蟹通道交叉口设木制食台 12 个, 以方便投饵料和观察河蟹摄食状况。05—15 由江苏金坛空运蟹种 1220 只, 运输成活率 98%, 实际投种 1196 只。

### 1.3 采样及测定方法

1.3.1 样品采集 水稻栽秧前和成熟期按  $3 \text{ m}^2$  样点, 重复三次, 分别采集耕作层土样、稻田水样, 水稻植株、杂草及其根系, 洗净、晾干, 1/100 天平称取鲜重,  $105^\circ\text{C}$  恒重称取干重。河蟹蜕壳高峰期间在稻田面寻找蟹壳烘干称重, 每二个月捕捉河蟹个体称重, 以便分析其蟹壳残体回归稻田和河蟹

增长速度。水稻收获时晒干、扬净、计产。

1.3.2 测定方法 土壤有机质用重铬酸钾容量法; 全氮用半微量开氏法; 速效磷用钼锑抗比色法; 土样和水样中的无机态氮包括  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  用酚二磺比色法、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  用  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  KCl 浸提蒸馏法; 植株全碳用  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  容量法; 河蟹甲壳中磷用钒钼黄比色法、钙用原子吸收分光法<sup>[5]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 稻田复养河蟹的农田生态演化

#### 2.1.1 稻田养蟹后的系统环流

稻田生态系统中有生物和非生物, 生物包括水稻、河蟹、杂草、微生物、浮游植物、浮游动物、底栖动物、小杂鱼以及昆虫类; 非生物包括土壤、水、肥、气、热。在水田的开放系统中, 它们既相互联系又相互制约, 进行着能量的流动和物质的循环。图 1 是稻田复养河蟹后的生态系统流程转换。当阳光照射到稻田, 水田中主导合成产物的水稻、杂草、浮游植物、光合细菌都必须经过光合作用合成自身的产物, 而稻田中的杂草、浮游植物、光合细菌都是主产物的争夺者, 伴随着人为将杂草拔出, 浮游植物、光合细菌随着稻田水的交换而排出田外, 稻田中大部分有机、无机营养物质流失于系统之外。同时当稻田中施入的有机、无机肥须经微生物的分解才能被植物根系吸收, 在微生物分解过程中形成的有机碎屑、光合细菌、浮游植物等都是浮游动物、底栖动物以及小杂鱼的食物, 这些水体动物占有的能量和营养源没能有效地被利用而形成价值。稻田养殖蟹、鱼等高等动物群体之后, 水田生态系统中各生物种群间发生了重大调整, 物质循环在系统途径的总量和分量上随之变化, 能量和营养物质流入水稻及蟹、鱼类的部分明显增大, 流入杂草和其他生物的部分明显减少, 水稻田的产出能力得以有效提高。另外, 河蟹生活期间排泄的粪便和蟹体蜕壳或尸体经分解矿化后, 直接提供水稻生育的有机营养物质, 也增加了低等动物群体生成能的能值, 是供给河蟹生活的高蛋白饵料。河蟹在稻田中爬行觅食、吞食稻田杂草和稻脚叶、捕食昆虫病菌, 起到了增加水田溶氧, 促进土壤还原层疏松、通气, 有利于水田中气体交换和土壤有机质分解, 减少除草、稻田运作和农药用量, 保护了农田生态环境。

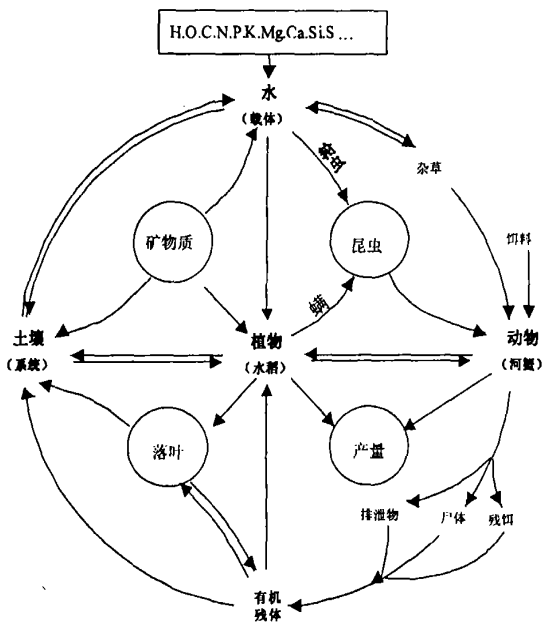


图 1 稻田复养河蟹的农田生态系统示意图  
Fig. 1 Sketch map of the field Zoology system of the compound cultivation paddyfield of Chinese mitten crab

2. 1. 2 稻田养蟹后的能值

稻田复养河蟹后的能值评价就是稻田物质循环和能量转换, 包括光能利用、能源、能耗、能值。在稻蟹复养田和单作水稻田的收获期分别取地上、地下部的生物量, 稻谷实收产量, 生育期间的有机、无机施肥量, 有机肥源的 N、P、K 组成成分, 生产管理投工时, 防病治虫用药量, 以及运作期间的机械损耗、油料等能值的投入和消耗, 分别计算能量转换和物质循环, 求得水稻田能值的输入与输出的水平。

2. 1. 2. 1 光能利用率

当单季作物生长初始到成熟收获, 将有效光辐射能转换为生物能的效能称光能利用率。引用袁从(1984 年)的计算方法<sup>[6]</sup>并获得试验区总辐射量, 求得稻蟹田和单作田水稻与杂草的光能利用率

(表 1), 稻蟹复养田的光能利用率明显高于单作水稻田的 15.7%, 而杂草则明显低 90%, 稻蟹田的整个生长期无清理杂草, 稻田内除了有少量的四叶萍 (*Marsilea quatrefolios* L.) 外, 大部分杂草如野慈姑 (*Sagittaria sagittifolia* L.)、节节菜 (*Rotala indicia* K.)、空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides* G.)、水莎草 (*Juncellus serotinus* C.)、牛毛毡 (*Eleocharis yokoscensis* T.) 等生长的嫩芽被河蟹摄食消尽。而单作水稻田的杂草利用了部分光合能, 并大量吸收土壤供给的水、肥、气、热的能量, 光能的损失量是稻蟹田的 17.1%, 而稻蟹复养的生态复合系统可以大大提高光能利用率<sup>[7]</sup>。

2. 1. 2. 2 能量的投入与产出

一般情况下, 同一作物的生物量与其投能水平是一致的, 由于稻田养蟹的复合生态特征, 与单作水稻田能量产投比有明显差异, 主要表现在稻蟹复养田的防病除虫用药、运作管理用工及无机肥施用量、机械耗材等投入比单作稻田少得多 (表 2)。表 3 是水稻生育期间稻田土壤生态系统中能量的投入与产出比较。投入的有机、无机能中, 稻蟹田的总能比单作田少 4.3%, 主要表现在无机能的投入, 而产投比的三项分别为 35.1%、51.0%、31.6%, 说明将常规水稻田放养河蟹后的能量产出远远高于不养河蟹稻田。其作用在于利用稻田的自然生态环境, 辅助人为的措施, 既种植水稻又养殖水产品, 使稻田内的水资源、杂草资源、水生动物资源、昆虫以及其他资源更加充分地被河蟹所利用, 并通过河蟹的生命活动, 达到为稻田除草、灭虫、松土和增肥的目的, 水稻又可供河蟹栖息、隐蔽的场所, 稻蟹共生可谓互利。

2. 1. 3 稻田土壤的肥力演变

淹水条件下的水稻田土壤养分的转化, 在嫌气微生物作用下, 将有机、无机肥中的氮素经硝化酶的作用转化为硝态氮, 经植物主动吸收进入根部细胞, 运输植物茎叶, 经光合作用形成光合产物。稻

表 1 水稻、杂草生长期的光能利用率

Table 1 The light utilization of the growth of the redial and the seeded rice

类 别*	重 复	水 稻		杂 草	
		生 物 量 (kg/hm <sup>2</sup> )	光能利用率 (%)	生 物 量 (kg/hm <sup>2</sup> )	光能利用率 (%)
稻蟹田	3	11 430±179	3. 06±0. 53	6. 6±1. 24	0. 004±0. 001
单作田	3	7 749±152	2. 58±0. 38	75. 0±6. 82	0. 040±0. 001
比较 (%)		32. 2	15. 7	—91. 2	—90. 0

\* 稻蟹田——稻蟹复养田; 单作田——单作水稻田; 水稻品种均为中熟中梗 W100, (下同)。

田养殖河蟹后的土壤有机物质明显高于单作水稻,表 4 是稻蟹田和单作田的土壤养分演替,可见有机质的变化差别不大,而全氮和氨态氮则分别高于单作田的 21.4%和 55.2%;硝态氮则要低得多,可能原因是单作稻田水稻生长后期的无机氮肥施用过多而被土壤吸附所致。从表 4 又看出,稻田水中的氨态氮高于单作田的 61.3%,硝态氮要低得多,这与土壤无机态氮相同,稻田水一旦排出田外,相当数量的硝态氮则流失于山前沟谷河流,而稻蟹田内的水则保持基本水位的 0.2 m 时,利于河蟹爬行寻食,水中无机态氮是培育浮游生物、浮游动物、高等植物的营养源,这些水生动、植物又是河蟹的鲜活饵料。观察分析表明,河蟹的外甲壳(shell)又叫角质膜(cuticle),是一种外骨骼(exoskeleton),角质膜的主要成分为蛋白质和几丁质(chitin),几丁质又译甲壳质,近似纤维素,是一种氨基多醣,内含碳酸钙与磷酸钙。甲壳是没有生命的坚硬结构,不能随着身体的生长而扩大,在适宜的生长环境下,相隔一段时间必需脱去外壳,躯体方可生长。河蟹从扣蟹期放养稻田至捕捞成蟹的

160 d 的生长过程中,其蜕壳次数为 8~10 次,从放养的第一次蜕壳到第八次蜕壳,其甲壳质干物重在 2.1~9.3 g/只范围,平均为 5.87±2.35 g/只。收集甲壳干物质分析,甲壳质中 N、P、K、Ca 的含量分别为 21.01 g/kg、14.21 g/kg、3.64 g/kg、11.68 g/kg,经计算,河蟹生长期蜕壳的甲壳质内残留稻田的有效养分中的纯 N、P、K、Ca 的含量分别为 12.15 kg/hm<sup>2</sup>、8.25 kg/hm<sup>2</sup>、2.10 kg/hm<sup>2</sup>和 6.75 kg/hm<sup>2</sup>。另据报道<sup>[8]</sup>,所有甲壳动物中的甲壳质是自然界除了蛋白质外数量最大的含氮天然有机高分子,每年生物合成量达 100×10<sup>8</sup> t,如此巨大的天然 N 素被用于人类生命活动的生产其意义深奥。同样,河蟹生长愈大其摄食量愈大,用来碎化食物并使之与消化液混合的贲门胃颇大,后肠排除的食物残渣及排泄物留入稻田内,河蟹又是排氨型代谢动物(ammonotelic animal),蛋白质代谢的最终氮废物大部分以氨的形式排出体外,只有少部分是尿素和尿酸<sup>[9]</sup>,因此在养蟹稻田中的全氮和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量比单作稻田高是符合实际的。

表 2 水稻生育期的原料投入(kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 2 The input of growth of the rice (kg/hm<sup>2</sup>)

类别	有机肥 <sup>*</sup>	劳力 <sup>**</sup>	种子	农药	无 机 肥			柴油
					N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
稻蟹田	6 750	210	60	0.0	225	450	150	15.0
单作田	5 625	245	60	15.0	405	450	150	22.5
差 值	1 125	-35	0	-15	-180	0	0	-7.5

\*经沤制腐熟的禽畜粪肥,折合干物质 30% 计算,其中鸡粪 40% (N: P: K=1.65: 1.45: 0.85),猪粪 60% (N: P: K=0.60: 0.45: 0.50)。\* \* 8 h 为 1 工时的用工量(单位:工时)。

表 3 水稻生育期稻田土壤生态系统中能量的投入与产出(×10<sup>5</sup> kJ/hm<sup>2</sup>)  
Table 3 The energy input-output of the soil zoology system of the paddyfield in the growth of the rice

类 别	生物量 (kg/hm <sup>2</sup> )	产出能	投 入 能				产 投 比		
			无 机	有 机	总 能	无机/总能	产/投总能	产/投无机能	产/投有机能
稻蟹田	11 430	2 033	119.9	699.7	819.6	0.15	2.48	16.96	2.91
单作田	7 749	1 378	165.8	690.7	856.5	0.19	1.61	8.31	1.99
差 值	3 681	655	-39.0	-22.6	-61.6	-0.04	0.87	8.65	0.92

折算能值(kJ/hm<sup>2</sup>): 无机氮肥 2.3, 磷肥 1.36, 钾肥 0.366; 农药 2.53; 动力 0.96; 劳力 1.088/(8h); 种子 3.14; 有机肥 0.419。

表 4 稻田收获期肥力演替  
Table 4 The fertility succession of the paddyfield in the harvest of the rice

类别	土 壤 (g/kg)					水 样 (mg/kg)				
	pH	有机碳	有机质	全 N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N <sup>*</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N <sup>*</sup>	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	
稻蟹田	7.44	8.60±1.26	15.69±1.07	0.56±0.03	0.067±0.01	0.848±0.02	7.29	0.090±0.03	1.028±0.05	
单作田	7.66	9.35±0.92	15.28±1.20	0.44±0.08	0.139±0.01	0.380±0.07	7.26	2.724±0.05	0.398±0.06	

\*单位为(mg/kg)

2 2 稻田复养河蟹的经济效益分析

2 2. 1 产量构成分析

2 2. 1. 1 水稻产量

稻蟹复养田和单作水稻田均种植中熟中粳品种, 其育秧、移栽、收获的时间相同, 由于运作管理的差异, 产量构成也有差异。表 5、6 是水稻成熟期生物量与产量结构分析。

从表 6 看出, 实收产量中稻蟹田要比单作田低产稻谷 10. 1%, 比当地 KU 926 杂交稻低 30% (5 383. 5 kg/hm<sup>2</sup>)。原因在于 2003—07 下旬至 08 上旬正直中熟中粳稻杨花灌浆期, 遇 38 ℃以上连续高温对穗粒的灌浆有较大影响, 造成无效分蘖、空

瘪粒增加, 结实率均下降; 由于稻田养蟹后, 田面没脱水, 分蘖后期的拷田较轻, 遇高温多湿, 引发严重稻瘟病, 调查 3 m<sup>2</sup> 纹枯病株平均达 11~19 穗 (表 6); 为了减少对河蟹的危极, 水稻发病或虫害时没打农药防治是引起病虫害发生, 造成水稻减产的主要因素。

3. 2. 1. 2 河蟹养殖期的增量

05—15 投蟹苗 1 196 只, 基本苗个体重 14. 8 ±3. 5 g, 放养稻田面积 0. 213 hm<sup>2</sup>。经 160 d 的精心管理及喂养, 至 10—25 测量个体重 118. 4 g (表 7), 最大个体达 180 g 以上。

表 5 水稻成熟期生物量分析 (单位面积 hm<sup>2</sup>)

Table 5 Analysis of biomass in the harvest of the rice

处 理	品 种	插秧期	收获期	基本穴数 (万)	株 高 (cm)	鲜 重 (t)		干 重 (t)		干 鲜 比	
						地上	地下	地上	地下	地上	地下
稻蟹田	W 100	06—04	09—13	22. 05	80. 2	17. 22	2. 49	6. 88	0. 78	0. 40	0. 31
单作田	W 100	06—02	09—13	22. 05	84. 5	12. 42	1. 65	5. 19	0. 47	0. 30	0. 28
差 值				0. 0	—4. 3	4. 80	0. 84	1. 69	0. 31	0. 10	0. 03

表 6 水稻成熟期产量结构分析 (单位面积 hm<sup>2</sup>)

Table 6 The structure analysis in the harvest of the rice

处 理	有效穗 (万)	无效穗 (万)	穗颈长 (cm)	实粒数 (粒/穗)	空瘪粒 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	病株数 (万/株)	理论产 (kg)	实收产 (kg)
稻蟹田	189. 2	57. 2	18. 9	127. 6	26. 7	79. 1	21. 13	15. 0	5 100. 0	3 766. 5
单作田	202. 3	61. 8	18. 1	93. 4	15. 7	83. 2	24. 93	1. 5	4 711. 5	4 191. 0
差 值	—13. 1	—4. 6	0. 8	34. 2	11. 0	—4. 1	—3. 80	13. 5	388. 5	—424. 5

表 7 河蟹养殖期间的个体增重分析

Table 7 The growth weight of Chinese mitten crab

测定日期	测 数 (只)	增重区间 (g)	均 重 (g/只)	均 差	增重量 (g)	日增重 (g)
05—15	19	7. 3~20. 6	14. 8	±3. 5	—	—
07—17	19	23. 0~74. 5	41. 1	±10. 5	26. 3	0. 424
09—12	16	42. 0~125. 5	71. 2	±22. 3	30. 1	0. 547
10—25	15	63. 8~182. 4	118. 4	±20. 8	47. 2	1. 073

3. 2. 2 经济损失分析

表 8、9 是水稻和河蟹的成本投入和实际产出的经济效益分析。可以看出, 显然稻蟹养殖田投入有机肥比单作水稻田要多些, 但无机肥、劳动用工、机耕柴油要少投 17. 2%, 虽然水稻生长期间受病虫害而产量受到一定影响, 没使用农药, 保证了环保农田生产的安全, 总投成本比单作水稻少

20. 0%, 产投比分别为 1. 17 : 1 和 1. 03 : 1, 水稻单项的利润比单作水稻增加 77. 8%, 即增加收益 562. 20 元/hm<sup>2</sup>。10—25 前后河蟹收获上市, 回捕率 68. 8%, 收获商品蟹 456. 7kg/hm<sup>2</sup>, 除去投入成本, 净获利 6 381. 49 元/hm<sup>2</sup>。与之比较, 稻蟹复养田的利润则为 7 104. 19 元/hm<sup>2</sup>, 单作水稻则为 160. 53 元/hm<sup>2</sup>, 获利是单作稻田的 44. 3 倍。

表 8 水稻经济损益分析 (元/ hm<sup>2</sup>)  
Table 8 The economy analysis of the rice

类 别	成本投入							实际产出			效 益	
	有机肥	无机肥	劳力	种子	农药	柴油	投总	稻谷	秸秆	产总	产投比	利润
稻蟹田	270.00	682.12	2 700.0	600.0	—	44.25	4 296.37	4 896.45	122.62	5 019.07	1.17:1	722.70
单作田	225.00	920.62	3 150.0	600.0	409.5	66.37	5 371.49	5 448.30	83.72	5 532.02	1.03:1	160.53

注：稻谷按市场价 1.30 元/kg 计（中梗稻）；秸秆按 0.016 元/kg 计。投入成本各项按当地市场价格核算。

表 9 河蟹经济损益分析 (元/ hm<sup>2</sup>)  
Table 9 The economy analysis of Chinese mitten crab

种 苗	成本投入						实际产出			效 益	
	田间工程 *	防逃设施 *	消毒	管理费	饵料	投总	产量 **	市价 ***	产总	产投比	利润
4 289.06	1 226.71	891.80	117.18	2 109.37	3 251.62	11 885.74	456.7	40.00	18 267.23	1.54:1	6 381.49

\* 田间设施折旧 50% 计。 \*\* 单位 (kg/ hm<sup>2</sup>) 。 \*\*\* 单位 (元/kg) 。

3 讨论

充分利用山前雨水资源进行稻田复、养河蟹的种养复合生态模式，在人多地少的三峡库区，如何调整农业产业结构、提高水田复合利用指数、增加土地产出率的产业化尝试。其一、稻蟹复合种养，是将传统的种植业和养殖业有机结合的一种农田生产形式，是陆生资源的复合利用，它将水稻生长剩余的光能通过水生植物、浮游动物、底栖动物等稻田中有益生物种群，经光合作用及有机、无机营养能的培植形成生物体，稻田中的河蟹依靠那些生物体和人为投饵料而生活成长。其二、稻田内经河蟹摄食水生动植物、有害病原菌、虫蛹、螨类、杂草等，节省了防病、治虫、除草等农田管理费用，并将为减少防病治虫次数、农药残留稻谷，产出优质有机稻米的安全性有了保证。其三、河蟹摄食生长过程中的排泄物、尸残体、甲壳质等经矿化分解，成为直接被水稻吸收的营养源，减少了无机 N 肥的使用量（表 2），河蟹活动对水田土壤起到松土、通气、增氧，促进矿物质分解，对培肥土壤地力，提高肥料利用率起到积极的作用。其四、在可耕地面积  $125.6\times10^4\text{ hm}^2$  [2]，有着 2 100 万人口的三峡库区以山坡地占多，山前冲积扇状平地甚少，其中人均水田面积不足  $0.02\text{ hm}^2$ ，如何彻底解决吃粮、富足是当今库区人民面临的重要课题，试验结果表明，稻田复、养河蟹的经济价值和经济效益远高于单作水稻的产值（表 8、9）。其五、水

稻生长期，正值湿热多雨季节，往往引起山体滑坡、泥土随雨水冲刷而造成水土流失，在山前平地的稻田内挖塘拦蓄雨水，并保持单位面积的水位，减缓田间水动力流量，对稻田小流域土壤的保土保肥起到一定的效果。因此，笔者认为在三峡大坝工程建成后，175 m 淹没区以上的库区可耕地愈趋缩小的环境胁迫下，从库区农业用地、农田生态保护的可持续着手，改变单一种植为种、养结合的稻田复养河蟹模式，无疑是发展生态农业，优化产业结构，提高水稻田综合效益的重要措施之一。

参考文献 (References):

[1] State Environmental Protection Administration of China, United Nations Environment Programme and United Nations Center for Human Settlements. Comprehensive control of environmental factors caused by flood disaster in Yangzi river drainage areas [M]. Beijing: China Meteorlogical Press, 2001. 10: 142~177 [中国环境保护总局、联合国环境规划署、联合国人类居住中心编. 长江流域洪水环境成灾因素综合治理 [M]. 气象出版社, 2001. 10: 142~177]

[2] Zhong bing TangZhi-cheng. Soil and water loss and water loss and its control in Three Gorges Region [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2001, 8 (2): 147~149 [钟冰, 唐治诚. 三峡库区水土流失及其防治 [J]. 水土保持研究, 2001, 8 (2): 147~149]

[3] Tu Jianjun, Chen Zhijian, Chen Guojie, et al. Water-level-Fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir—A case study of kaixian county, Chongqing city [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20 (6): 712~717 [涂建军, 陈治谏, 陈国价, 等. 三峡库区消落带土地整理利用——以重庆市开县为例 [J]. 山地学报, 2002, 20 (6): 712~717]

[4] Cheng Mingda, Liu Zhaopu, Liu Wenbin, et al. Experiment on

- culturing Chinese Mitten Crab (*Eriocheir Sinensis*) in the rice field of Northern Sichuan [J]. *Sichuan Animal and Veterinary Sciences* 2003, (5): 21~23 [陈铭达, 刘兆普, 刘文斌, 等. 川北地区稻田养殖中华绒螯蟹试验初探 [J]. 四川畜牧兽医, 2003, (5): 21~23]
- [5] Bo Shi-dan. Soil and agro-chemistry analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] Agro-Ecological Cooperative Group of Taihu District, Jiangsu Province. Energy transferring status of cropping systems in Taihu district of Jiangsu Province [J]. *Ecological Journal*, 1984, (6): 19~22 [江苏太湖地区农田生态协作组. 江苏太湖地区几种种植制度的能量转换状况 [J]. 生态学杂志, 1984, (6): 19~22]
- [7] Liu Zhaopu, Deng Liqun, Liu Youzhao, *et al.* Study of energy characters and ecological effects on different kinds of utilization mode in costal artificial wetland [J]. *Journal of Nanjing Agricultural*, 2000, 46 (2): 181~186 [刘兆普, 邓力群, 刘友兆, 等. 海涂人工湿地两种利用方式能值特征及生态效应 [J]. 南京农业大学学报, 2003, 26 (4): 51~55]
- [8] Du Yumin. Recent development of chemistry and application on chitin and chitosan [J]. *Journal of Wuhan University*, 2000, 46 (2): 181~186 [杜予民. 甲壳素化学与应用的新进展 [J]. 武汉大学学报 (自然科学版), 2000, 46 (2): 181~186]
- [9] Zhao Naigang. Crab culture and multiplication [M]. Hefei: Anhui Science & Technology Press, 1988. [赵乃刚. 河蟹的人工繁殖与增养殖 [M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1988.]

## Economy Analysis and Energy Character of the Field Zoology System of the Compound Cultivation Paddyfield of Chinese Mitten Crab in the Three-Gorges Reservoir

CHENG Mingda<sup>1</sup>, LIU Zhaopu<sup>1</sup>, LIU Wenbin<sup>2</sup>, WANG Jingyan<sup>1</sup>, Ye Zhijuan<sup>1</sup>

(1. College of Resource and Environmental Sciences Nanjing Agric Univ Nanjing 210095, China

2. College of Animal Sciences and Technology Nanjing Agric Univ, Jiangsu Nanjing 210095, China)

**Abstract:** On the basic of the experiment of culturing Chinese Mitten Crab in Nanchong, Sichuan in 2002, the experiment of the compound paddy field cultivation of Chinese mitten crab was studied in Kai county (the verge of no-submerge Three Gorges Reservoir), Chongqing in 2003. The test was studied on the energy flow and the matter flow of the mode of the plant-cultivation of the field zoology system and the economy analysis. The experiment showed: the light utilization, the total nitrogen and ammonia nitrogen of the soil is higher percent of 15.7, 21.4 and 55.2 in the compound paddyfield cultivation of Chinese mitten crab than in the monoculture field. The preventive drug, administration, the dosage of the inorganic fertilizer and the cost of the machine in the growth of rice has decreased evidently. The total cost reduced also percent of 4.3 in the compound paddyfield cultivation. The input-output of the total energy, inorganic energy, organic energy was decreased to the percent of 35.1, 51.0 and 31.6, respectively. The percent of 61.3 in the rice field is used not only as the nutrition of hydro bios and high plant but also as the feed of Chinese mitten crab, and the saltpeter ammonia is lower. The same time the tests and excreta of Chinese mitten crab may use as the nutrition of the soil and the fertilizer of the rice. Although in the experiment the decrease of output is less percent of 10.1, the decrease cost is percent of 20, the benefit is improved percent of 77.8. The rate of input—output is 1.54: 1, and the profit is 6381.49 yuan/hm<sup>2</sup>. The net-profit of the paddyfield of Chinese mitten crab is 7104.19 yuan/hm<sup>2</sup> and 44.3 times than the monoculture field.

**Key words:** Three Gorges Reservoir; compound paddyfield cultivation of Chinese mitten crab; Energy character of the field Zoology system; Economy analysis