

有机海水围塘养殖生态系统能量收支与利用效率研究

李廷友^{1,2}, 谢 标², 林振山²

(1. 连云港师范高等专科学校生命科学系, 江苏 连云港 222006;

2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210046)

摘要:对连云港市宋庄镇有机海水养殖基地的海水围塘南美白对虾—缢蛭—梭鱼混养系统和南美白对虾单养系统的能量收支与利用效率进行了研究。结果表明,在有机水产养殖方式下,混养系统中能量输入、输出分别为10.54和8.37 MJ/m²,单养系统能量输出、输入分别为13.45和10.72 MJ/m²。混养系统的光能利用率、光能转换效率、生物能转换效率、总能转化率和底泥沉积率分别为0.18%、34.51%、48.11%、16.89%和62.41%,单养系统相对应的数据分别为0.19%、24.95%、24.04%、11.17%和68.54%。混养系统除光能利用率外,其他指标均优于单养系统,底泥沉积率亦小于单养系统。从综合生态经济指标来看,混养系统也优于单养系统,但二者综合生态经济指标(E_v)均小于1,混养和单养系统都具有提高经济效益和生态效益的潜力。

关键词:海水围塘;混合养殖;能量收支;转化效率;有机养殖

中图分类号:X171;Q14;S967 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)03-0080-05

能量流动和物质循环是生态系统中的重要过程,研究其转化规律对改造系统结构和功能从而提高生产力具有重要意义,生态系统中能量利用率的高低是衡量系统稳定、持续发展的重要标志之一。缩短食物链、减少能流环节损失和提高能量利用效率是池塘养殖的主要措施和目标。能量利用效率也是池塘生态系统研究中的一个核心问题,国内外学者对此作了不少有益的探索,主要集中在对综合养鱼池的研究上,不同程度地研究了综合养鱼池的能量利用及转换(Li, 1987;吴乃薇等,1992;陈立桥等,1993;谷孝鸿等,1999;李吉方等,2003);Balasubramanian等(1995)利用污水中富含的营养物质养鱼并对该系统能量收支与转化进行了研究。能量收支方面,翟雪梅等(1998)和周一兵等(2000)研究了对虾池生态系统的能流,包杰等(2006)研究对虾、青蛤和江蓠混养对养殖池塘各环节能量收支及转换效率。在海水围塘养殖中,混合养殖特别是虾—贝—鱼混养已被证明是经济效益和生态效果最好的一种养殖模式(李德尚等,2002),但在有机水产养殖方式下,虾—贝—鱼混合养殖模式的生态效率和经济效益定量研究则少有报道。有机水产养殖是指

在水产养殖过程中不投入任何化学合成物质和常规饲料,完全按照有机认证标准进行生产,建立从苗种、养殖过程、收获、储藏、加工和销售的全过程质量控制体系(IFOAM, 2002)。本研究是在建设海水养殖有机食品示范基地过程中进行的,主要对有机海水围塘混合养殖各环节的能量收支和转换效率进行研究,并与有机单养围塘相比较,以期对有机水产养殖提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

本研究在赣榆县宋庄镇海水养殖有机食品示范基地中进行,该基地已通过有机认证,获得有机农场证书。试验围塘海水的理化性状见李廷友等(2010)的文献。虾贝鱼混养品种为南美白对虾(*Penaeus vannamei*)、缢蛭(*Sinonovacula constricta*)和梭鱼(*Liza haematocheila*),养殖围塘面积约66.67 hm²,其中1.33 hm²池20个,3.33 hm²池10个,2.53 hm²池2个,选择其中2个混养池试验,另外专门单设2个单养虾池做对照,单养品种为南美白对虾,均按有机水产养殖方式管理。混养池分别编号T1(1.33 hm²)、T2(1.33 hm²,为水平重复组);2个有机对虾单养池为对照组,编号C1(1.33 hm²)、C2(1.33 hm²,为水平重复组)。试验时间为2002年3月—2003年10月,2004年3月—2005年10月进行重复。

在试验开始前1个月,用生石灰清整消毒,采用

收稿日期:2011-11-13

基金项目:江苏省“333”工程项目;江苏省教育厅“青蓝工程”(中青年学术带头人)项目;连云港市“521工程”(市级学术技术带头人)项目。

作者简介:李廷友,1968年生,博士后,副教授,主要从事养殖生态学和环境生态学研究。E-mail:tingyou1@hotmail.com

充分发酵的鸡粪肥对养殖池进行施肥(包永胜等,2006),培育以硅藻为主的浮游藻类,透明度为30~40 cm。有机养殖的饵料为自主研发(原料中天然鱼杂捕自深海,有机大豆和有机小麦由黑龙江龙奇有机食品开发公司提供,中药添加剂主要为大蒜和黄芪)。6月之前曝气机每天运行2次(7:00-8:00,21:00-22:00),7-8月每天运行3次(5:00-6:00,14:00-15:00,21:00-22:00)。对养殖池水深进行记录,并在适当的时候补充由于蒸发而损失的海水。

1.2 初级生产力测定

浮游植物初级生产力以黑白瓶法测定(闫喜武等,1998),每10 d采样1次,黑白瓶体积150 mL,挂瓶深度为透明度的0.5、1和2倍。

由黑白瓶测定围塘水体的值,按氧生热系数=14.14 kJ/mg来计算(周一兵和刘亚军,2000),结果乘以0.8估算出净初级生产力(Christopher et al,1991)。

1.3 淤泥沉积量测定

试验期间,在围塘四角距岸边2 m处及中央各设一个直径10 cm的烧杯,杯沿系绳,绳上系浮标,沉于围塘底部,每2个月记录1次淤泥沉积量,实验室用烘箱烘干,称重,取平均值,计算单位面积池塘淤泥沉积量。能量按1 kg淤泥量0.878 MJ(康春晓等,1990)计算其热值。

1.4 生态效率计算

围塘生态系统各环节的能量利用率测算公式:

光能利用率 = 围塘输入光合能(初级生产力)

(MJ)/太阳辐射能(MJ);

光合能转换效率 = 围塘产出能(MJ)/围塘输入光合能(MJ);

生物能转换效率 = 围塘产出能(MJ)/围塘输入生物能(MJ);

底泥沉积率 = 围塘底泥沉积能(MJ)/总投入能(MJ);

总能量转化效率 = 围塘产出能(MJ)/总投入能(MJ);

用综合性生态经济指标 E_y 值判断不同养殖结构的优选方案(谷孝鸿等,1999):

$$E_y = (Ea + Eb + Ya + Yb) / 4 \quad (1)$$

其中: Ea (围塘当年能量转换率) = 围塘当年产出能量(MJ)/围塘当年投入能量(MJ);

Eb (围塘当年产出商品率) = 围塘当年商品渔产品能量(MJ)/围塘当年产出能量(MJ);

Ya (围塘当年经济投入产出比) = 围塘年生产总值(元)/围塘年投资总额(元);

Yb (围塘当年成本利润率) = 围塘净产值(元)/围塘年投资总额(元)。

1.5 围塘物质投入能量折算

围塘投入物质能量折算系数见表1,电能消耗按6900 MJ/hm²计,单养和混养池塘劳动力消耗为4900和9900 MJ/hm²(M里切西尔,1989;李吉方等,2003;安贤惠,2005)。

1.6 数据处理与分析

所得数据用单因子方差(ANOVA)进行分析处理,所得相同组数据取其平均值计算。

表1 围塘投入物质折算系数

Tab.1 Conversion coefficients and criterion of energy for input materials

指标	蛭苗	鱼苗	虾苗	缢蛭	梭鱼	对虾	配合饵料	鸡粪肥
干重/%	16.4	26.8	16.9	18.6	32.1	27.3	91.2	86.3
能量/MJ·kg ⁻¹	18.08	21.79	17.93	24.23	22.71	19.27	19.51	1.05

2 结果与分析

2.1 混养和单养组的能量收支

试验期间混养组和单养组能量的投入和产出情况见表2。混养组的能量投入和产出分别为105513.9和17811.52 MJ/hm²;单养组的能量投入和产出分别为134517.08和15024.59 MJ/hm²。投入的能量中,有很大部分沉积在底泥中,混养组和单养组分别为65850和92190 MJ/hm²。在投入产出能量收支中,混养组和单养组分别有21853和

27303 MJ/hm²的能量散失。

2.2 能量流动

试验期为200 d,据连云港气象台资料,试验期间围塘所接受的阳光总辐射量为2993.3 MJ/m²。在围塘半精养系统中,太阳能是主要的能源,能量由绿色植物和光合细菌固定后,通过食物链和食物网流动,在流动中能量有相当的损耗。除太阳能外,主要辅助能有饵料、肥料和机械能等。图1和图2给出了围塘养殖生态系统的能量转化示意图,由于研究方案和检测手段的限制,系统中有的环节没作定

量测定。混养系统中固定的光合能和生物能的投入较单养系统低,但由于混养系统有底栖动物缢蛭的

存在,其渔产品固定的能量反而更高,塘泥沉积能量则较单养系统低。

表2 不同试验围塘放养周期及能量收支情况

Tab. 2 Experimental culture period and the outputs and inputs of energy in different treatments

项目	混养组(T)		单养组(C)		放养时间	收获时间
	质量/kg · hm ⁻²	能量/MJ · hm ⁻²	重量/kg · hm ⁻²	能量/MJ · hm ⁻²		
输入	虾苗①	2.8	8.48	7.5	22.73	03 - 23
	鱼苗①	22.5	131.39			04 - 11
	蛭苗①	139	2.97			03 - 12
	饵料	2 026	36 048.86	3 460	61 564.20	
	肥料	1 000	906.15	1000	906.15	
	光合能		51 616.00		60224.00	
	生产能		16 800.00		11800.00	
	合计		105 513.90		134 517.08	
输出	虾	938	4 934.55	2 856	15 024.59	09 - 29
	梭鱼	185	1 348.63			10 - 05
	缢蛭②	2558	11 528.34			10 - 06
	合计		17 811.52		15 024.59	
	沉积		65 850		92 190	

注:①梭鱼苗22尾/kg,对虾苗1.7cm/尾,约8×10⁴尾/kg,缢蛭苗1700只/kg;单养池对虾放养量为60×10⁴尾;②缢蛭质量=产量×出肉率41.14%(安贤惠,2005)。

Notes: ① fingerlings of *L. haematocheila* 22 individuals/kg, *P. vannamei* 17 cm/individual, *S. constricta* 1 700 individuals/kg; 600 000 *P. vannamei* for monoculture group; ② weight of *S. constricta* being production × meat rate (41.14%) (An, 2005).

2.3 能量转换效率

围塘混养系统和单养系统能量转换效率见表3。对虾单养组的光能利用率为0.19%,混养组的光能利用率为0.18%,混养组光能利用率略有降低;混合养殖的光合能转化效率、生物能转换效率和总能量转化效率分别为34.51%、48.11%和16.89%,单养组分别为24.95%、24.04%和11.17%,混合养殖组均高于单养组。

围塘底泥的沉积数量视养殖类型不同而有所差异。养殖密度越高,养殖过程中退出物质循环的能量也越大,水底沉积物也越多。底泥中有机质也是巨大的能量库,每年沉积在底泥中的能量,混养池达到62.41%,单养池达68.54%,混养池由于缢蛭的作用沉积较少。

表3 不同试验围塘能量转换效率

Tab. 3 Energy conversion efficiency in different treatments

组别	光能利用率	光合能转换效率	生物能转换效率	底泥沉积率	总能量转化系数
混养组(T)	0.18	34.51	48.11	62.41	16.89
单养组(C)	0.19	24.95	24.04	68.54	11.17

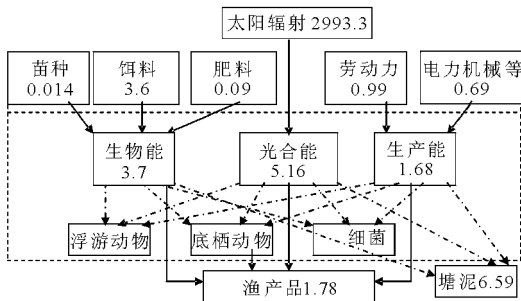
2.4 综合生态经济指标

不同养殖结构试验围塘各生态经济指标如下:

$Ea_{混} = 0.169$ $Ea_{单} = 0.112$

$Eb_{混} = 1$ $Eb_{单} = 1$

$Ya_{混} = 130945/85786 = 1.53$

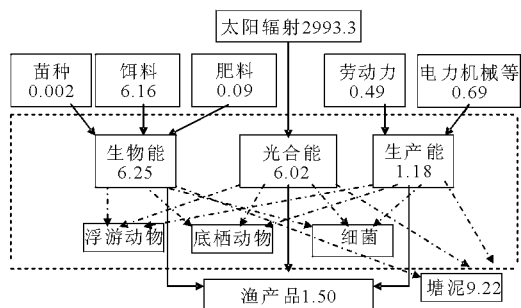


注:能量单位为 MJ/m²。

图1 混养池塘能量流动框

Note: Unit of energy was MJ/m².

Fig. 1 The diagram of energy-flowing in polyculture pond



注:能量单位为 MJ/m²。

图2 单养池塘能量流动框

Note: Unit of energy was MJ/m².

Fig. 2 The diagram of energy-flowing in monoculture pond

$$Ya_{\text{单}} = 101480/78460 = 1.29$$

$$Yb_{\text{混}} = 55990/112800 = 0.53$$

$$Yb_{\text{单}} = 23020/78460 = 0.29$$

根据公式(1),则:

$$E_{Y_{\text{混}}} = (0.169 + 1 + 1.53 + 0.53)/4 = 0.807$$

$$E_{Y_{\text{单}}} = 0.112 + 1 + 1.29 + 0.29/4 = 0.673$$

从综合生态经济指标来看, $E_{Y_{\text{混}}} > E_{Y_{\text{单}}}$,说明混合养殖的效益相对优于单养池。但二者综合生态经济指标 E_Y 均小于1,因此混养和单养系统都有提高经济效益和生态效益的潜力。

3 讨论

3.1 海水围塘的能量转换效率

混合养殖的光合能转化效率、生物能转换效率和总能量转化效率均高于单养。这说明合理搭配的混养模式是可行和高效的,与相关的研究结果相互验证(李德尚等,2002)。本研究中混养模式高效的最主要原因是放养了滤食性的贝类(缢蛭),其以浮游植物和有机碎屑等为食,因而有效滤食了水体中浮游植物和颗粒有机物(Kaw et al, 1987; Grant et al, 1993; Hatcher et al, 1994),改善了水质,提高了围塘海水的物质和能量利用率。缢蛭滤水率约为 $68.8 \text{ cm}^3/(\text{g} \cdot \text{min})$ (林元烧等,2003),以本研究中缢蛭的放养密度(3个/ m^2)为例(不计缢蛭的体重),其每1h可过滤水12.4L,80h左右即可将围隔内池水过滤1次。

3.2 不同养殖模式光能利用率对比

太阳辐射能是海水围塘生态系统的主要能源之一,太阳辐射能到渔产量的能量转化效率,是评价水域生物生产能力的重要指标之一。本研究中,混养组光能利用率略低于单养。主要原因是单养虾池中,对虾为肉食性杂食动物,其食物为浮游动物和投喂饲料,因而使浮游植物被采食量减少而大量繁殖,而浮游植物生物量和叶绿素a含量与毛产量之间存在显著正相关;另一方面混养池中梭鱼与缢蛭混养的综合效应也降低了虾池中浮游生物量。田相利等(2001)在研究罗非鱼与缢蛭混养试验中也得到相似的结论。可见,混合养殖的光能利用率低于单养是海水围塘养殖的特征之一。

3.3 能量收支平衡问题

混养系统中能量输入和输出分别为10.55和8.37 MJ/m^2 ,相差2.18 MJ/m^2 ;单养系统能量输出输入分别为13.45和10.72 MJ/m^2 ,相差2.73 MJ/m^2 (见图1和图2)。其中的差值应该为水呼吸和养殖

生物体的呼吸消耗,由于没有进行相关的数据测定,还有待于今后进一步研究。

3.4 不同养殖模式综合生态指标对比

生态系统中的能量利用效率在综合生态指标中起着主要作用,本研究中,混养总能量转化系数比单品种养殖组提高了5.7个百分点;在投入产出比和利润率上,混合养殖利润率比单养商品高82.7%。混合养殖的综合生态指标值还没有达到1的标准值,说明在混合养殖的品种搭配、各品种养殖的数量比例还不是最合适的,其能量利用效率还有提升的空间。

3.5 有机水产养殖对周围环境的影响

有机养殖在疾病的治疗上不允许使用抗生素等化学合成药物,因此在养殖过程中主要还是预防为主,以生物防治为主要手段,一旦流行性疾病爆发,以目前的有机养殖方式,还没有有效的治疗手段,从而增加养殖风险,这在一定程度上要求养殖密度不能过高,以合理搭配混合养殖来预防疾病和减少环境污染。本研究的海水围塘混养系统和单养系统均采用有机方式管理,从研究结果看,混合养殖方式要优于单品种养殖,尽管其综合生态指标还没有达到最大化,但已有研究证明其对减轻农业面源污染是有帮助的(李廷友等,2009;2010),混合养殖方式是有机水产养殖技术发展的方向。

参考文献

- M 里切西尔. 1989. 加工食品的营养价值手册[M]. 陈葆新译. 北京:轻工业出版社:304-337.
- 安贤惠. 2005. 几种缢蛭的营养性和健康性分析评价[J]. 海洋湖沼通报, 4:99-104.
- 包杰,田相利,董双林. 2006. 对虾、青蛤和江蓠混养的能量收支及转化效率研究[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 36(s1):27-32.
- 包永胜,杨庆满,屠林君. 2006. 南美白对虾与梭鱼混养试验[J]. 水利渔业, 26(6):72-74.
- 陈立桥,陈英鸿,倪达书. 1993. 池塘饲养鱼类优化结构及其增产原理II. 池塘主养鱼类合理群落结构及其能量转换效率[J]. 水生生物学报, 17(3):197-205.
- 谷孝鸿,胡文英,陈伟民. 1999. 不同养殖结构鱼塘能量生态学[J]. 水产学报, 23(1):33-39.
- 康春晓,雷慧增,谭玉均. 1990. 以草、鲢鱼为主养鱼的池塘能量转换效率初探[J]. 水产科技情报, 17(2):47-49.
- 李德尚,董双林. 2002. 对虾与鱼、贝类封闭式综合养殖的实验研究[J]. 海洋与湖沼, 36(1):90-96.
- 李吉方,董双林,文良印,等. 2003. 盐碱地池塘不同养殖模式的能量利用比较[J]. 中国水产科学, 10(2):143-

- 147.
- 李廷友,林振山,尹静秋. 2009. 基于有机水产养殖减轻农业面源污染的研究[J]. 水生态学杂志, 2(6):67-70.
- 李廷友,林振山. 2010. 海水围塘混合养殖生态系统氮磷平衡的研究[J]. 井冈山大学学报:自然科学版, 31(2):32-35.
- 林元烧,曹文清,罗文新,等. 2003. 几种主要养殖贝类滤水率的研究[J]. 海洋学报, 25(1):86-93.
- 田相利,李德尚,董双林,等. 2001. 对虾—罗非鱼—缢蛭封闭式综合养殖的水质研究[J]. 应用生态学报, 12(2):287-292.
- 吴乃薇,边文冀,姚宏禄. 1992. 主养青鱼池塘生态系统能量转换率的研究[J]. 应用生态学报, 3(4):333-338.
- 闫喜武,郭海军,何志辉. 1998. 用叶绿素法测定虾池浮游植物初级生产力[J]. 大连水产学院学报, 13(2):9-16.
- 翟雪梅,张志南. 1998. 虾池生态系统能流结构分析[J]. 青岛海洋大学学报:自然科学版, 28(2):275-282.
- 周一兵,刘亚军. 2000. 虾池生态系能量收支和流动的初步分析[J]. 生态学报, 20(5):474-481.
- Balasubramanian S, Pappathi R, Raj S P. 1995. An energy budget and efficiency of sewage-feed fish ponds[J]. Biore-sources Technology, 52:145-150.
- Christopher F K H, Ted R B, Clarence D, et al. 1991. Nitrogen input, primary productivity and fish yield in fertilized fresh-water ponds in Indonesia[J]. Aquaculture, 94(1):49-63.
- Grant J, Dowd M, Thompson K, et al. 1993. Perspectives on field studies and related biological models of bivalve growth and carrying capacity[M]//Bivalve filter feeders and marine ecosystem processes. Berlin: NATOASI Series Spring Zverlag, G(33):1371-1420.
- Hatcher A, Grant J, Schiield B. 1994. Effects of suspended mussel culture on sedimentation, benthic respiration and sedimentation nutrient dynamics in a coastal bay [J]. Marine Ecology Progress Series, 115:219-235
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). 2002. Basic Standards for Organic Production and Processing [M]. Wendel, Germany.
- Kautsky N, Evans S. 1987. Role of biodeposition by *Mytilus edulis* in the circulation of matter and nutrients in a Baltic coastal ecosystem [J]. Marine Ecology Progress Series, 38:201-212.
- Li S F. 1987. Energy structure and efficiency of a typical Chinese integrated fish farm [J]. Aquaculture, 65:105-118.

(责任编辑 杨春艳)

An Energy Budget and Conversion Efficiency in the Organic Shrimp Polyculture System

LI Ting-you^{1,2}, XIE Biao², LIN Zhen-shan²

(1. Department of Life Science, Lianyungang Teacher's College, Lianyungang 222006, P. R. China;

2. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, P. R. China)

Abstract: Energy budget and conversion efficiency were examined in organic polyculture of whiteleg shrimp *Penaeus vannamei*, mugilid fish *Liza haematocheila* and razor clam *Sinonovacula constricta* in ponds in Liangyungang, China. The results indicated that total solar radiation energy input and output in polyculture system were 10.54×10^6 J/m² and 8.37×10^6 J/m², while they were 13.45×10^6 J/m² and 0.72×10^6 J/m², in monoculture system, respectively. Organic shrimp polyculture system was significantly higher in photosynthetic energy conversion efficiency (34.51% vs. 24.95%), biomass conversion efficiency (48.11% vs. 24.04%), and total energy conversion rate (16.89% vs. 11.17%), when compared with monoculture system. The photosynthetic energy efficiency and sediment energy in polyculture system (0.18% and 62.41%) were lower than in monoculture system (0.19% and 68.54%). Integrated ecological and economic index for both systems was less than 1. It is concluded that both organic shrimp polyculture and monoculture systems can produce comparable ecological and economic benefits.

Key words: seawater pond; polyculture; energy budget; conversion efficiency; organic aquaculture