

张庄村农牧渔复合生态系统功能*

郭俊尧 袁从祎

(江苏农科院现代化研究所)

摘 要

本文采用定位试验系统测定分析方法,在江苏省吴县黄桥乡张庄村科学基点,研究了太湖地区典型的农牧渔复合生态系统的结构和功能,建立了能流、物流和价值流模型,提出了改进系统功能的实际措施。

试验表明,在次级生产过程中有32—51%的氮,68—81%的磷,16—81%的钾和20%的有机质得到回收而投入生物再循环,从而改善了土壤条件,提高了农田的投能转换率和产量水平,节约了资源。这对缓和钾素和磷素供应不足的矛盾具有重要意义。

在农牧渔复合结构中,养鱼池塘3—11月的净初级生物量为8,280公斤/公顷。约为稻麦二熟生物量的三分之一。利用鱼池埂和田埂沟岸可收获青草,相当于每公顷农用地增加了800公斤生物量。

系统分析表明,一公顷高产农田(年产量 194×10^9 焦耳能量)的产量可生产2,544公斤猪肉或2,538公斤鱼肉。一公顷鱼池(年产鱼7,500公斤)需要1公顷农田提供饲料。一个养鱼或养猪劳动力需要使用1.3公顷农田产出的饲料。

计算机模拟单纯的农业、牧业、渔业和农牧渔复合四类系统50年净产值的变化,以净产值的变异系数作为量度,证明农牧渔复合系统的稳定性最高。

本文还通过模型分析讨论了农牧渔复合生态系统存在和发展的条件。

近年来,国际上广泛开展了农业生态系统能量流动分析和物质循环的研究,60年代以后,进展更快。国内在农业生态系统水平上的研究于70年代后期开始进行,但无论在国内或国外对于象太湖地区这样综合利用平原和水网资源,实行生物技术配套的农牧渔复合生态系统的定量研究尚属少见。

太湖流域属于长江三角洲南缘的侧面洼地。在平原圩区分布着大小湖荡及河港溪渚,构成复杂的水网。

本区是中国古老的农业地区之一,在漫长的历史进程中,生态系统逐步演替,从单一的农作发展为农、林、牧、副、渔综合经营的复合系统(李长年,1962),系统生产力不断提高,生态平衡进入新的阶段(闵宗殿,1982)。

但是,近十余年来农业生态系统也面临着若干新问题。主要是传统的农、林、牧、副、渔相结合的生态结构遭到破坏,种植业结构也比较单一,自然资源和社会资源未能充分合理利用,对于生物能源的利用和合理的有机物质循环也重视不够,迫切要求建立新的高效协调的生态系统(徐琪等,1980)。

* 本文为郭俊尧硕士论文的一部分。研究得到了赵强基先生和农业生态研究室全体同志,以及现代化所金之庆、唐银凤、李秉柏等同志的指导与支持,吴县“四化”办公室及张庄村的同志提供了大量资料并对实验给予了支持,在此一并志谢。

针对上述问题,本研究从物质循环和能量转换入手研究典型的农牧渔复合生态系统结构与功能的内在联系,用系统分析手段建立能流、物流和价值流模型,为提出改进系统功能的实际措施提供依据¹⁾。

一、试验材料和方法

本试验以张庄村的行政管辖区为农牧渔生态系统边界。采用定位试验和调查研究相结合的方法进行。

该村现有1,200个标准劳力。平均每人0.034公顷耕地,0.025公顷鱼池。自1975年以来的8年中,该村总产值增长了3.9倍,人均收入增长4.1倍。1982年出售肥猪1,163头,苗猪887头,家禽2,000只,鲜鱼32.5万公斤,鱼种7,000公斤,珍珠40公斤,粮食2.65万公斤,是一个农牧渔副综合经营,生态经济稳定平衡发展的典型。

试验田选定共7块,包括麦-稻、油-稻、麦-稻-稻、油-稻-稻四种种植制度,周期一年。

试验土壤属黄土状母质发育的爽水水稻土,在农业土壤分类上为黄泥土种鳝血黄泥土变种(一级田)和黄泥土变种(二级田)。

试验猪圈为水泥冲圈,饲养肉猪18头,苗猪平均重11.85公斤,出圈平均活重64.6公斤。饲料以大麦粉为主,辅助青饲料水花生。另设对照饲料全部为大麦粉。

试验鱼池共7口,总面积3.3公顷,水深2.5米左右,池埂种草0.26公顷。4至11月平均水温22.2℃。饲养方式采用混放密养,饲料用螺蛳、青草、菜籽饼、大麦、浮萍等。

农田试验前采集耕层(0—12厘米)土壤本底样品,试验过程中记载各季作物的种(苗)量,投肥料量、燃油、机具作业、人工、农药等投入量、播种及收获期、实收产量。

试验猪记载各种饲料喂量、采集饲料样品,每月定期计量粪尿量并采集样品。

鱼池于试验前采集塘底土质样品,试验过程中记载各种鱼放养量、投喂饲料种类、数量、各种鱼的鲜重、塘泥沉积厚度,每10天测定一次池水水温、水色、透明度、酸碱度、溶氧、电导率。黑白瓶测氧法测定池塘浮游植物的初级生产力,分层采集水样分析水质,每月抽样测定鱼的生长量。

采集的样品进行相应的分析测定。粮食、饲料、猪肉(包括内脏等)、鱼肉(包括内脏等)的能量分析数据使用实测数据,化肥、农药使用沈亨理先生提出的参考值。能量测定仪器为GR-3500型氧弹式量热计。

此外还整理分析了张庄村历年统计年报及各种存档资料,作为分析该村生态经济结构变化的基本材料和构造生态模型的参考,并与试验田的数据相互印证。

考虑到数据量和工作量,使用矩阵方法建立系统模型,虽有相当大的局限性,但能符合本课题要求,且比较简单。

使用的计算机为PDP11/23和PC-1500, BASIC语言。

二、试验结果

1. 农田的能量转换、物质循环和经济效益

1) 文中所说的生态系统功能,代表整个太湖地区相类似的复合系统的功能。

1) 试验中小麦的产量和生物量都高于大麦。据历史资料分析,近14年来大麦平均单产为3,800公斤/公顷,小麦平均单产为4,395.8公斤/公顷,比大麦高出4.5%。麦-稻制的生物量高于其他三种种植制,而经济产量低于麦-稻-稻。

能量产投分析表明:麦稻制在产出/全部投入能,产出/投入无机能,产出/投入人工,光能利用率四项指标上都高于其他三种种植制。

肥力高的田块的物质和能源的转换率较高。此外,在现有高产水平下再增加投能虽可增产,但报酬极微。

2) 以定位田的实际施肥量作为投入方,全部生物量中含有氮、磷、钾作为产出方¹⁾,计算出三要素的产投比表明,麦-稻制中氮、磷、钾的产投比较其余三种种植制为高。

从养分平衡看出,由于在农牧渔生态系统中可获得较高的氮素输入,盈余量占总输入量的19.2—37.3%。其中麦稻制既可保持氮的平衡,用肥又比较经济。

四种种植制度的有机质平衡均为盈余,三熟制主要是以草塘泥的方式输入,二熟制在单季稻栽插前有15—20天的空闲时间可用来腐熟秸秆,一般每公顷施用4,500公斤左右的麦秸。草塘泥中的塘泥约有50%来自养鱼池。草塘泥中的厩肥则主要来自养猪业。

在农田养分循环的研究中缺乏磷的固定,钾的流失方面的可靠依据,但从产投比分析可以看出磷、钾都有余。值得提出的是试验田没有使用化肥钾,化肥磷也仅在麦季少量施用,最多不超过375公斤/公顷。而大量的磷、钾都以有机肥的形式输入农田,体现了农牧渔复合生态系统农田养分循环的特点和优越性。

3) 四种种植制度经济效益表明²⁾,麦-稻制在每公顷净收入,资金净产率和劳动净产率及生产成本四项指标上都高于其他三种种植制。试验田麦-稻种植制的劳动报酬每工不会超过2.90元,麦-稻-稻种植制的劳动报酬每工不会超过1.24元。这一点应当作为系统管理决策的中心问题来考虑。

2. 养猪的能量转换、物质循环和经济效益

1) 试验表明,每增重1公斤毛猪消耗精饲料3.86—4.78公斤。喂用水花生、玉米和大麦粉的猪比纯喂大麦粉的猪可节省精饲料19.2%,猪的饲料能量产投比为0.43—0.50。

2) 猪饲养中氮、磷、钾的产出(以可食部分计)投入比分别为0.186、0.079和0.043,而大部分可通过粪、尿、骨的再利用得到回收,使其在系统内部循环,这对系统生产力和系统稳定性具有重要意义。

从养分循环上看,饲喂每头猪的水花生可从河水中富集回收氮0.52公斤、磷0.075公斤、钾1.34公斤,分别占总投入量的9.1%、3.8%、30.7%。这也是一条回收养分的有效途径,特别对于钾意义更大。

3) 养猪的经济效益分析结果表明,每头猪投入资金71.88元,投工7.3劳动日,肥猪出售收入91.75元,肥料出售收入1.32元,合计93.07元,未除去工资前的净收入为21.19元,资金净产率29.64%,劳动净产率每工2.92元。

3. 鱼的能量流动、物质循环和经济效益

1) 鱼池的能量流动包括接受和固定的太阳能的流动以及人为投入鱼池的饲料及其他辅

1) 土壤肥力作为“黑箱”处理,仅考察人为栽培措施对系统生产力的影响,

2) 价格为国家统计局1980年不变价格。

助能量的流动。

在鱼池中,藻类通过光合作用将太阳能转换成生物能从而提供饵料和补充鱼类赖以生存的氧气。鱼池的藻类粗略观察有6门42种,以绿藻和硅藻为优势种群。这些复杂的生物种群既是鱼池生产力的基础,又是滤食性鱼类的优良饵料。

辐射和温度对藻类光合作用速率的影响的测定表明,在弱光下光强是光合作用的限制因素,随着光强的增加,光合作用速率渐变为温度限制型。在30℃及充分光照下,光合速率在水体表层每升水每天可固定147焦耳能量,而在19℃时每升水每天仅固定66焦耳的能量。

研究结果还表明在适宜的光照和温度下,水中的磷对光合作用有较大的影响。测定表明,河水进入鱼池两个月后, NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 的含量上升, PO_4^- 和 Na^+ 的含量下降。这个变化和鱼体的养分代谢的特点相一致。研究得出,含磷量较高的池水溶氧量也较高。池水含磷量与光合作用速率方程为 $(Y + 1.5) = 0.255 + 19.39X$;

式中:Y为溶氧量每天每升水的毫克数。

X为五氧化二磷浓度,小于百万分之一。磷的浓度保持0.064ppm(P_2O_5)以上,平均每增加0.1ppm P_2O_5 ,每天每升水可增加27.9焦耳能量的初级生产力。当磷浓度达0.195ppm(P_2O_5)时尚未见报酬递减现象。

实验测出池水呼吸速率与温度的回归方程为 $Y = -1.39 + 0.12X$

式中:Y为每升水每天消耗的氧气毫克数。

X为摄氏度,范围在19℃和39℃之间。

鱼池初级生产量和月分布的测定结果见表1。

表 1 鱼池初级生产量与月分布

Table 1 Primary productivity and distribution in fishpond

月 份	月平均辐射 ($\times 10^6 \text{Joule/m}^2$)	总初级产量 ($\times 10^9 \text{Joule/ha}$)	呼吸消耗 ($\times 10^9 \text{Joule/ha}$)	净初级产量 ($\times 10^9 \text{Joule/ha}$)
3	11.52	17.78	1.24	16.54
4	12.13	17.39	1.51	15.88
5	14.55	18.66	3.08	15.59
6	11.15	18.50	3.80	14.70
7	18.23	25.17	8.11	17.07
8	18.75	28.38	10.83	17.55
9	12.69	20.51	4.42	16.09
10	18.01	18.27	2.55	15.73
11	12.14	19.58	1.47	18.11
合计		184.26	37.00	147.26

由此计算出鱼池3—11月的初级生产总量合10,360公斤干物质/公顷,呼吸量合每公顷2,080公斤干物质,净产量合每公顷8,280公斤干物质。平均呼吸消耗占初级生产量的20.08%。3—11月由初级生产提供的可利用氧为每公顷10,020公斤,每公顷初级生产的干物质可转化为3,750公斤鲜鱼。

3—11月的总辐射为 36.5×10^{12} 焦耳/公顷,光合有效辐射为每公顷 17.1×10^{12} 焦耳。鱼池水体光能同化率为1.08%,光能利用率为0.67%。

初级生产总量的分布特点是全年仅在 8 月份有一高峰, 而净产量的分布则随温度变化而变化。

鱼池初级生产的另一特点是生产量在水体垂直剖面上呈规律性分布。鱼池初级生产的光合作用补偿深度在 95—160 厘米, 平均 120.1 厘米。补偿深度在规划鱼池深度中具有重要意义。

初级生产的垂直分布计算表明, 90 厘米以上的光合产量占总产量的 77.7—95.2%, 平均为 86.2%, 这个层次可以看作滤食性鱼类的主要生活区。

在池塘生产中要取得较高的经济效益必须投饲和辅助投能。试验中投入鱼池的能量流动分析表明, 鱼对投入能量的转换率在 16.75—20.83%, 平均 19.70%。若池塘的初级生产量(净产量)计算在内, 其转换率为 14.77%。辅助能量的产投比为 1.91—4.22, 平均 2.73。每个人工生产 210—270 兆焦耳鲜鱼能量, 即每个工作日生产鲜鱼 39.9 公斤。

2) 每公顷水面一年沉积的塘泥约为 348 吨, 其中除去修补池埂和留作池塘肥料以外, 作为沤制草塘泥原料的淤泥为 116 吨。

试验鱼池氮、磷、钾的投入产出分析表明, 生产过程中饵料蛋白质平均转换率为 30.7%, 在生产出的蛋白质中平均有 64.5% 为可食用蛋白, 35.5% 的蛋白质可作为饲料。可食用蛋白的平均转换率为 19.7%。磷的平均转换率为 56.3%, 钾的平均转换率仅为 10%。需要指出的是在鲜鱼中, 头、骨、内脏等不可食部分的磷占鲜鱼总含磷量的 79%, 它提供了系统回收磷素的又一条途径。

饲养过程中养分的损失和回收情况见表 2。

表 2 养鱼过程中养分的回收与损失
Table 2 The recovery and loss of nutrients in fishfarming

项 目	转移到鱼肉内(%)	以骨、内脏、塘泥等形式回收 (%)	损失(%)
氮	19.8	31.9	48.3
磷	11.8	68.0	20.2
钾	7.0	16.2	83.8

结果表明, 养鱼过程中大部分的磷可以回收而钾的损失相当大。

3) 养鱼的经济效益分析结果表明, 养鱼的投资比较高(每公顷饲料费 4,845 元, 其他物质成本 4,875 元, 人工 300 个劳日), 产值每公顷 17,790 元, 净收入 8,100 元, 资金净产率 83.8%, 劳动净产率为每工 27.3 元。

4. 农牧渔复合生态系统的综合效益

农、牧、渔系统的生态-经济-社会效益的比较见表 3。

从表 3 可以简单地了解 3 个亚系统的生态-经济-社会效益的特点。

农田的能量产投比接近 1 或大于 1, 属能量生产部门。它向社会提供的产品为植物性产品, 产品中氮:磷:钾约为 3:1:2, 资金净产率较高而劳动净产率较低, 体现了手工劳动的特点。

畜牧(猪)生产的能量产投比约为 0.2, 属能量消耗部门, 提供动物性产品, 产品中氮比磷比钾约为 6.6 比 1 比 1, 劳动净产率约为农田的 1.5 倍。

鱼在生态上的特点与猪相似。产品中氮比磷比钾约为 4.5:1:0.7。产品的蛋白质含量高

表 3 农牧渔复合生态系统生态-经济-社会综合效益分析

Table 3 Comprehensive efficiency analysis in compound agroecosystem

(单位: 公斤、兆焦耳、元)

亚生态系统	效益	生态效益								经济效益		社会效益		
		生产100公斤产品投入养分、能量				每100公斤产品中含有养分、能量				每元创造净收入	每劳日创造净收入	每公顷提供社会产品		每劳日提供社会产品
		氮	磷	钾	能量	氮	磷	钾	能量			品种	数量	
农田	麦-稻-稻	7.37	1.49	13.96	943.8	2.74	0.99	1.95	898.9	1.33	1.24	粮	23,362.5	13.9
	油-稻-稻	6.55	2.28	9.17	885.0	3.14	1.03	2.39	966.6	1.68	1.67	油料粮	22,035.0	13.8
	油-稻	7.29	2.19	16.81	1526.4	3.16	0.99	2.49	993.2	2.14	2.07	油料粮	14,347.5	14.0
	麦-稻	5.16	1.34	6.34	892.2	2.64	0.92	1.98	906.2	2.62	2.90	粮	21,352.5	21.5
畜牧(猪)		14.11	5.01	9.28	4,237.5	2.63	0.40	0.40	827.7	0.30	2.92	猪肉		12.1
池塘(鱼)		14.25	5.29	6.25	2,859.5	2.82	0.63	0.44	275.1	0.84	27.29	鱼肉	12,342.0	41.6

- 注：1. 能量投入中包括人工折能（10.89兆焦耳/8小时标准劳力）；
 2. 产品指主产品，麦、油菜籽、稻、猪肉、鱼肉，
 3. 成本中未计入人工工资。

于猪而能量值低于猪（由于水分较高而脂肪含量较低）。它的劳动净产率约为农田的14倍。
 系统的能流、物流、价值流的简化模型见图 1。

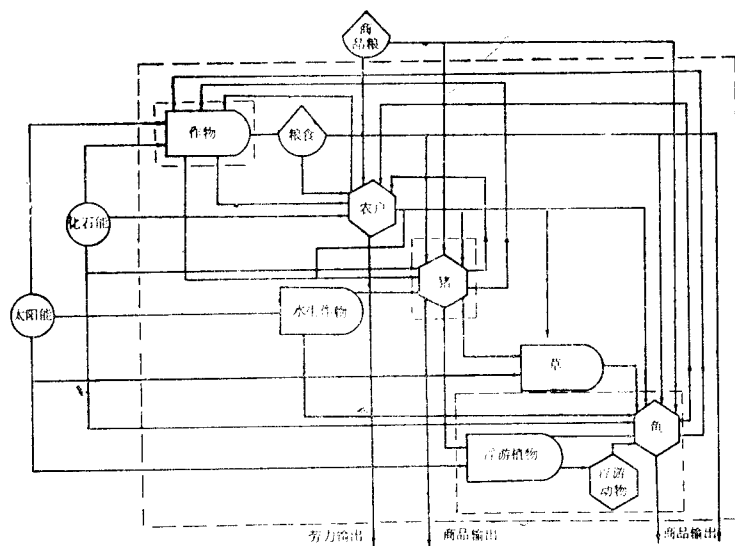


图 1 粮-猪-渔生态系统模式 (吴县张庄)

fig.1 A model of crop-hog fish ecosystem(Wu Xian Zhangzhuang)

模型体现了农、牧、渔复合生态系统生物循环的特点，即各亚系统之间存在闭合回路，这不仅是系统养分回收使之在系统内部进行循环的途径，而且还是一个增加社会产品的生态转化过程。

三、讨 论

1. 农牧渔复合生态系统的优越性

农牧渔复合结构形成的条件大致可分为自然资源条件、社会经济条件和技术条件。

首先要据资源条件设计适宜的生态结构，安排好初级生产和次级生产。注重农田粮油生产是发展农牧渔复合结构的物质基础。其次是所设计的生物组合必须适应社会经济条件，特别是市场的需要。再者，要有相应的技术条件来保障系统生产过程的正常进行。

农牧渔复合生态系统中生态上的互利关系和经济上的相互促进关系，使农田的投能转换率，产量水平和光能利用率都有所提高。从图 2 中可见，太湖地区农牧渔复合系统的投能转换率较单一农业系统为高，而后者较日本水稻生产系统及中国北方旱作生产系统为高。

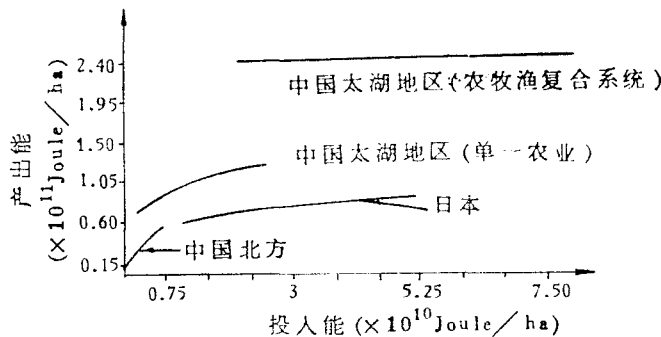


图 2 不同地区投能转换比较

Fig.2 Transferring efficiency of input energy in different areas

由于次级生产过程中养分可回收再循环，从而减少了系统外部肥料输入，这不仅降低了农本，还减少了资源的消耗，特别是对解决我国依赖进口的钾肥和资源贫乏的磷肥供应方面具有重要意义（李庆逵，1984）。

另外，农田产品通过次级生产的转化还是一个经济增值过程和消化剩余劳动力的过程。通过这个途径，提高了劳动报酬，试验系统内部每年从牧渔业转给农业的资金达20万元。

系统还利用河、沟水面放养水花生，生物量每年每公顷可达24吨（袁从祯，1983），回收氮、磷、钾分别为411.8公斤、352.5公斤和930.0公斤。

系统直接从池塘初级生产获得的生物量如果不用来养鱼，这一部分能量就无法利用。

系统中养猪养鱼劳力占农牧渔三业劳动力的50%，养猪养鱼使用的资金为农牧渔三业总投资的82.5%，养猪养鱼的产值占三业总产值的85.2%。所以复合结构为农村剩余劳动力的安排及经济的持续发展提供了有效途径。

系统中在十边隙地种植和田埂沟岸收获的青草达130万公斤/年，相当于每公顷农用地额外增加800公斤生物量。

这些资源的转化和利用对社会来说是一笔巨大的财富，复合系统对资源充分合理而巧妙的利用方式在单一系统是难以办到的。

综上所述，农牧渔复合生态系统优越性归结起来有以下四点：

(1) 扩大了对生物能源的利用而减少了对化石能源的依赖；

- (2) 对营养物质进行循环利用, 节约了资源;
- (3) 提高了系统的总体经济效益;
- (4) 改变了输出商品的单一结构, 更好地满足了社会消费和人体营养需要。

2. 农牧渔复合生态系统管理策略

农业生态系统是一个开放的商品生产系统, 原材料和产品可通过商品交换而自由流通。用生态-经济-社会的系统观点来看系统的管理策略, 应当确立三者兼容的目标。生态平衡是系统稳定健康发展的基础, 是长远的经济效益, 而经济上的稳定增长是系统演化的动力, 满足社会的需要是生产的主要目的。

3. 几点实际的建议

- 1) 在太湖地区或其他水网地区发展农牧渔复合生态系统有利于协调系统内外诸关系而取得较快的发展速度, 同时也有利于保护资源和改善农业生态环境, 是调整产业结构的一个重要途径;
- 2) 利用低洼的低产农田开挖鱼池在生态和经济方面都有利, 而将大面积良田挖为鱼池则过多地减少了种植业用地, 以致初级生产力不能满足系统的需要, 应慎重对待;
- 3) 对养鱼池塘适当施用磷肥可能提高池塘初级生产力和鱼产量, 需进一步试验明确。

参 考 文 献

- 李长年 1962 清代江南地区的改制问题。中国农业科学(7):44—50。
李庆远 1984 2000年的中国土壤肥料科学。土壤肥料(2):2。
闵宗殿 1982 明清时期浙江嘉湖地区的农业生态平衡。中国农业科学(2):90—94。
徐 琪、陆彦春等 1980 中国太湖地区水稻土。第37—39页, 上海科学技术出版社。
袁从祎 1983 “三水”作物在农田生态系统物质循环中的潜力。江苏农业科学(9):27—29。

THE FUNCTION OF A COMPOUND AGROECOSYSTEM IN ZHANGZHUANG VILLAGE

Guo Junyao Yuan Congyi

(Jiangsu Academy of Agricultural Sciences)

The study was aimed at the structure and function of a typical compound agroecosystem (cropping integrated with pig-farming and fishery), carrying on the site of Zhangzhuang Village, Wuxian County in Taihu district by field experiments and systematic analysis. Models on energy flow, nutrient elements flow and money flow were established and some practical measures for improving the agroecosystem were proposed.

Study showed that 51—32% of nitrogen, 81—68% of phosphorus, 81—16% of potassium and 20% of organic matter were returned from the wastes of consumers and put into recycle in the compound agroecosystem, resulted in the improvement of soil condition, transferring efficiency of input energy and the total output, while the consumption of resources was decreased. It seems to be very significant that the problem of shortage of phosphorus and potassium will be mitigated in this agroecosystem.

It was found that the net primary production in fishpond reached 8280Kg/ha per year, which is about one third of the biomass production of wheat-rice cropping system. Grasses harvested from dykes and unused spaces in the compound agroecosystem correspond to extra 800Kg/ha biomass production over the arable lands.

Systematic analysis showed that the biomass from one hectare of cropland (at about 194 billion joules of energy output per year) can be transferred into 2,544 kilograms of pork or 2,538 kilograms of fishmeat. One hectare intensive fishpond (7,500 kilograms of fish productivity) requires 1 hectare cropland to provide the feeds. A labor force engaged in pig or fish farming requires 1.3 hectare cropland to produce the feeds to feed his animals.

The net value of output of four kinds of agroecosystems, i.e. cropping, pig farming, fishery and compound agroecosystem, were simulated by computer. Taking the variance coefficients as criteria, it was proved that the compound agroecosystem was the most stable.

The condition for the existence and development of the compound agroecosystem was discussed through model analysis.