

不同稻田综合种养模式的成本效益分析

李嘉尧^{1,2}, 常 东¹, 李柏年³, 吴旭干¹, 朱泽闻⁴, 成永旭^{1,2*}

(1. 上海海洋大学水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学上海高校知识服务平台水产动物遗传育种中心, 上海 201306;

3. 安徽财经大学统计与应用数学学院, 安徽 蚌埠 233041;

4. 全国水产技术推广总站, 北京 100125)

摘要:为获知和分析稻田综合种养模式在中国的发展现状及存在问题,根据 2013 年中国 4 个省份两种主要稻田种养模式的调查数据,采用 Kruskal—Wallis 非参数检验等方法分析了不同稻田种养模式在生产投入、经济效益上的差异以及在化肥、农药减量等方面的效应。结果显示,稻田综合种养具有较好的经济和生态效益,稻蟹、稻鱼两种种养模式的平均利润为水稻单作的 2.43~3.92 倍,化肥成本减少 2.8%~49.2%,农药成本减少 3.2%~83.6%,但技术成熟度及产业化程度的差异使种养户在最终经济收益及生态效益上的极差较大。研究表明,中国稻田综合种养规模化程度不够、成本投入偏高、综合种养生态、社会效益提升有限是目前面临的主要问题,因此加大政府的扶持力度,加强种养关键技术的研究,因地制宜将规模化的现代农业与传统稻田种养相结合是解决这些问题的关键。

关键词:稻田综合种养; 稻蟹共作; 稻鱼共作; 成本效益; 非参数检验

中图分类号: S 966.1

文献标志码: A

稻田综合种养是一种水稻与水产养殖动物互利共生的稻田生态养殖模式,该养殖模式不但可减少农药化肥的使用量,而且可在稳定粮食生产的前提下增加稻田的产出,使农民的收益得到提高,已经成为我国重要的生态稻作模式^[1-4]。近年来,随着我国生态农业的发展和人们对优质粮食和水产品需求量的增加,稻田养殖也从原来单纯的“稻鱼共生”向“稻鱼、稻虾、稻蟹”等多种模式发展,其中稻蟹共作和稻鱼共作的养殖规模最大,是我国目前主要的两种稻田综合种养模式^[5]。辽宁盘山地区的稻蟹共作模式是国内发展最快和影响力最大的养殖模式,并在我国辽宁、宁夏等北方地区得到大面积的推广应用;稻鱼共作模式在我国已有悠久的历史,在南方省份有较广的应用分布,但这两种种养模式均受到技术成熟度、地理气候条件及农机农艺水平等方面的制约,各地的稻田综合种养户效益差异较大^[6-9]。

因此,如何根据各地实际情况降低种养投入、提高农民的收益是稻田综合种养模式稳定发展的关键。本研究以 2013 年辽宁(盘山、大洼)、宁夏、福建、湖南 4 省不同区县稻蟹、稻鱼种养户成本收益的调查数据为依据,对在稻田综合种养模式和常规种稻模式下的经济效益进行评价和分析,旨在为不同地区稻田种养模式的发展与改进提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 调查内容及方法

本实验采取随机抽样和典型抽样相结合的方法,根据各省稻田综合种养组成实际情况以及历年统计的收益情况设置调查样点。选择北方地区辽宁、宁夏的稻蟹种养户以及南方地区湖南、福建的稻鱼种养户作为调查对象。每个省份以区县为单位,在每个区县内选择当地有代表性乡镇的稻

收稿日期:2014-03-25 修回日期:2014-07-06

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201203081-1);上海市博士后科研资助计划面上项目(13R21413300);国家自然科学基金青年基金(31302159)

通信作者:成永旭,E-mail:yxcheng@shou.edu.cn

田种养田块进行调查,同时选择周边常规种植水稻田块进行对比填写相关调查问卷。本次调查样品分布为辽宁盘山 51 户,辽宁大洼 52 户,宁夏 44 户,湖南 42 户,福建 38 户,分别占总样本的 22.5%、22.9%、19.4%、18.5% 和 16.7%。本次调查了 4 省共 40 个乡镇,共发放调查问卷 250 份,回收有效问卷 227 份,占总回收问卷数的 90.8%。

本实验基于 2013 年的调查数据,对 4 个省份主要稻田种养模式的经济效益进行分析,经济效益调查主要从被调查户自身利益出发,以实际市场价格衡量其收支状况。其中直接生产成本主要包括:苗种、饲料、种子、化肥、农药等生产材料的购买费用以及机耕、劳力等其他直接生产成本;间接生产成本包括:土地承包费、农具购置费、修理费、租赁费、管理费等;收入部分主要包括:水稻、水产品收益以及政府补贴费用等。

1.2 数据统计分析

利用 Excel 对分析数据进行整理及简单的统计计算,为了进一步了解各地区投入产出的状况,我们选择 Kruskal—Wallis 检验方法进行数据处理和比较,利用 MATLAB 软件进行相关分析:

给定 N 个个体用以 s ($s \geq 3$) 种处理方法效果的比较,将这 N 个个体随机地分为 s 组,使第 i 组有 n_i 个个体,并指定这 n_i 个个体接受第 i 种处理方法的实验 ($i = 1, 2, \dots, s$),这时 $\sum_{i=1}^s n_i = N$,当实验结束后,将这 N 个个体放在一起根据处理效果的优劣排序得到每个个体的秩。记第 i 组的 n_i 个个体的秩为

$$R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in_i}, i = 1, 2, \dots, s$$

并设观测值中无结点且 $R_{i1} < R_{i2} < \dots < R_{in_i}$, ($i = 1, 2, \dots, s$), 并根据上述的秩来检验原假设: H_0 ——“各地区投入产出效果无明显差异”能否被接受。

Kruskal—Wallis 检验所构造的统计量的思路如下:

首先令

$$R_{i.} = \frac{R_{i1} + R_{i2} + \dots + R_{in_i}}{n_i}, i = 1, 2, \dots, s$$

$$R_{..} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N k = \frac{N+1}{2}$$

式中, $R_{i.}$ 是第 i 组个体秩的平均值, $R_{..}$ 是总的平均值。如果各方法处理效果之间有显著差异,则各 $R_{i.}$ 相互差异较大;反之,若 H_0 为真,由于分组的随机性,则各 $R_{i.}$ 相互差异应较小,且均匀分散在 $R_{..}$ 附近,令

$$K = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^s n_i \left(R_{i.} - \frac{N+1}{2} \right)^2 \quad (1.1)$$

称为 Kruskal—Wallis 统计量。

注意到: $\sum_{i=1}^s n_i = N$, $\sum_{i=1}^s R_{i.} = \frac{N(N+1)}{2}$, 于是 Kruskal—Wallis 统计量可以化简为

$$K = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^s \frac{R_{i.}^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (1.2)$$

当 $n_i \rightarrow \infty$, ($i = 1, 2, \dots, s$) 时, Kruskal—Wallis 统计量的零分布趋向于自由度为 $s-1$ 的 χ^2 分布,即

$$P_{H_0} \{K \geq c\} \approx P \{ \chi^2(s-1) \geq c \} \quad (1.3)$$

给定 α , 取临界值 $c \approx \chi_{\alpha}^2(s-1)$, 即自由度为 $s-1$ 的 χ^2 分布的上侧 α 分位数。根据各组个体的秩求出 K 的观测值 K_0 , 若 $K_0 \geq \chi_{\alpha}^2(s-1)$, 则拒绝 H_0 , 否则接受 H_0 ; 或者通过 (1.3) 式计算出概率, 若 $p < \alpha$, 则拒绝 H_0 , 否则接受 H_0 。

2 结果

2.1 不同种养模式的经济效益分析

依据调查统计数据,将各种费用汇总计算得到不同地区稻田综合种养模式与水稻单种模式下的投入、收益和利润状况。辽宁的大洼县和盘山县虽同为稻蟹种养模式,但两县的实施及收益差异较大,故将两县分开统计。根据以上统计数据计算所得稻田综合种养及水稻单作模式利润数据的最小值、最大值、均值、标准差等数据特征如表 1 所示。

由表 1 可知,辽宁大洼、盘山的综合种养的最小利润均大于水稻单种的最大利润;综合种养的平均利润是水稻单种平均利润的 2.88 与 2.43 倍,福建的综合种养的平均利润是水稻单种平均利润的 2.80 倍,湖南的综合种养的最小利润 36 516 (元/hm²) 是水稻单种的最大利润 9 307.5 (元/hm²) 的 3.92 倍,宁夏综合种养的平均利润是水稻单种平均利润的 2.53 倍,由此表明稻田综合种养模式的经济效益优于水稻单种模式。

表 1 不同种养模式利润描述性统计

Tab.1 The profit descriptive statistics of different rice production patterns

元/hm²

地区 region	生产模式 production pattern	最大利润 maximum profit	最小利润 minimum profit	平均利润 average profit	标准差 standard deviation	利润极差 profit range
辽宁大洼 Liaoning Dawa	稻蟹种养 RC	17 640	13 395	16 394	1 232	4 245
辽宁盘山 Liaoning Panshan	水稻单种 RM	6 840	4 395	5 693	875	2 445
宁夏 Ningxia	稻蟹种养 RC	53 580	22 005	31 251	6 236	31 575
宁夏 Ningxia	水稻单种 RM	16 305	7 568	12 852	3 210	8 738
宁夏 Ningxia	稻蟹种养 RC	25 515	5 430	15 782	6 644	20 085
宁夏 Ningxia	水稻单种 RM	8 700	90	6 245	3 335	8 610
湖南 Hunan	稻鱼种养 RF	72 188	36 516	45 287	13 404	35 672
湖南 Hunan	水稻单种 RM	9 308	7 238	8 064	771	2 070
福建 Fujian	稻鱼种养 RF	58 284	13 799	29 928	16 218	44 486
福建 Fujian	水稻单种 RM	16 322	5 825	10 688	3 629	10 497

注:RC 代表稻蟹种养,RF 代表稻鱼种养,RM 代表水稻单作,下同

Notes:RC means rice-crab coculture,RF means rice-fish coculture,RM means rice monoculture,the same as the following

2.2 不同种养模式投入产出的非参数检验

数据进行非参数检验(表 2)。

用编号 1、2、3、4、5 分别代表辽宁大洼、辽宁盘山、福建、湖南和宁夏 5 个地区,然后利用 MATLAB 软件对两种不同种养模式的投入、产出

无论是综合种养还是水稻单种模式,5 个地区之间的投入与收益都存在高度显著差异(表 2、表 3)。

表 2 各地区不同生产模式的投入产出

Tab.2 The regional production input-output of different rice production patterns

元/hm²

地区 region	生产模式 production pattern	投入 inputs	产出 outputs	生产模式 production pattern	投入 inputs	产出 outputs
辽宁大洼 Liaoning Dawa	稻蟹种养 RC	23 606 ± 441 ^{ab}	39 991 ± 1 192 ^a	水稻单种 RM	19 076 ± 1 822 ^a	24 765 ± 829 ^b
辽宁盘山 Liaoning Panshan	稻蟹种养 RC	20 992 ± 3 602 ^a	52 227 ± 6 429 ^b	水稻单种 RM	14 189 ± 3 149 ^b	27 035 ± 566 ^c
宁夏 Ningxia	稻蟹种养 RC	28 662 ± 3 565 ^b	44 435 ± 6 355 ^{ab}	水稻单种 RM	20 155 ± 6 341 ^a	26 397 ± 4 488 ^{bc}
湖南 Hunan	稻鱼种养 RF	29 198 ± 11 178 ^{ab}	74 461 ± 33 213 ^b	水稻单种 RM	12 794 ± 1 868 ^b	20 854 ± 1 654 ^a
福建 Fujian	稻鱼种养 RF	32 214 ± 16 537 ^{ab}	62 126 ± 26 349 ^b	水稻单种 RM	13 193 ± 2 388 ^b	23 876 ± 2 343 ^{ab}

注:同一列数据不同上标字母代表有显著性差异($P < 0.05$)Notes:Within a column, values with different letters differ significantly($P < 0.05$)

表 3 各地区投入产出 Kruskal—Wallis 检验

Tab.3 The Kruskal—Wallis test of regional input-output

类别 item	方差来源 source of variance	平方和 quadratic sum	自由度 DOF	均方差 MSE	Chi 统计量 Chi statistics	Prob > Chi-sq
综合种养投入 input of rice-based co-culture	groups	3 825	4	956.252 8	14.903 7	0.004 9
	error	10 034	50	200.679 8		
	total	13 859	54			
水稻单种投入 input of rice monoculture	groups	5 220.05	4	1 305.01	20.35	0.000 42
	error	8 633.95	50	172.68		
	total	13 854	54			
综合种养产出 output of rice-based co-culture	groups	6 919.85	4	1 729.96	26.96	0.000 02
	error	6 940.15	50	138.80		
	total	13 860	54			
水稻单种产出 output of rice monoculture	groups	5 440.51	4	1 360.13	21.22	0.000 3
	error	8 402.49	50	168.05		
	total	13 843	54			

(1) 综合种养模式投入差异是由辽宁盘山与宁夏两地区所引起,宁夏的平均投入 28 662(元/hm²)显著高于辽宁盘山 20 992(元/hm²)。辽宁盘山、宁夏分别与其他 3 个地区进行比较时均无显著差异。

(2) 水稻单种模式投入差异体现在宁夏、辽宁大洼的投入显著高于与辽宁盘山、福建、湖南 3 个地区,宁夏与辽宁大洼之间没有显著差异。

(3) 综合种养模式产出上,辽宁大洼的综合种养模式的平均产出为 39 991(元/hm²)显著低于辽宁盘山 52 227(元/hm²)、福建 62 126(元/hm²)、湖南 74 461(元/hm²)3 个地区。宁夏平均产出为 44 435(元/hm²),与其他 4 个地区无显著差异。

(4) 水稻单种模式产出上,湖南的平均产出 20 854(元/hm²)显著低于辽宁大洼、辽宁盘山与宁夏,湖南与福建之间无显著差异。辽宁盘山的平均产出 27 035(元/hm²),显著高于辽宁大洼、福建和湖南。尽管宁夏的平均收益为 26 397(元/hm²)与辽宁盘山无显著差异,但是由于其投入较大,从而导致利润减少。

2.3 不同种养模式主要支出情况分析

为了进一步了解造成各地收益差距的原因,我们对各地区种养户在稻田种养与水稻单作模式下的投入情况做了调查和分析。调查内容主要包括种养户在农药、化肥、设施改造等方面的投入、各地区稻田种养规模化程度及当地政府的支持力度等方面(表 4~表 6)。

调查数据表明各地的水稻单作模式均使用化肥和农药,但在稻蟹、稻鱼种养模式下化肥和农药的施用量明显减少,使用有机肥的稻田比例增大且使用量增加,综合种养模式总体呈现化肥、农药成本减少,有机肥成本增加的趋势。因此,在表 4 中综合种养模式与水稻单作模式的化肥按成本投入的减量百分比表示,有机肥的变化按单位面积成本投入的每公顷的实际增量表示。各地区综合种养模式下化肥农药成本减量地区差异较大,稻鱼共作农药化肥成本总体低于稻蟹共作。开展稻蟹共作的地区中,宁夏的化肥农药成本减量和有机肥成本增量最高,但极差较大仍反映出该地区农户的种养技术差距较大,开展稻鱼共作的福建也存在类似问题,而在辽宁盘山、湖南种养技术成熟度相对较高的地区种养户间差异小。

表 4 各地区化肥、农药及有机肥使用的变化

Tab. 4 Regional variations in the use of chemical fertilizers, pesticides and organic fertilizers

地区 region	辽宁大洼 Liaoning Dawa	辽宁盘山 Liaoning Panshan	宁夏 Ningxia	湖南 Hunan	福建 Fujian
化肥成本减量/% chemical fertilizer cost reduction	2.8	19.7	32.2	47.1	49.2
化肥成本减量极差/% fertilizer cost reduction range	18.0	62.9	100.0	85.7	100.0
农药成本减量/% pesticide cost reduction	3.2	34.3	43.4	69.6	83.6
农药成本减量极差/% pesticide cost reduction range	34.3	56.3	71.4	50.0	100.0
有机肥成本增量/(元/hm ²) organic fertilizer cost increment	13.2	849.0	1 744.5	637.5	67.5
有机肥成本增量极差/(元/hm ²) organic fertilizer cost increment range	300.0	1140.0	7 350.0	3 150.0	1 687.5

除农药、化肥、有机肥外,稻田种养的其他主要支出项目如表 5 所示,稻蟹种养设施改造成本相对较低,辽宁两地区与宁夏支出相近。稻鱼种养除了设施改造费高于稻蟹种养外,劳力成本的支出也相对较高,该情况在湖南地区最为明显。

盘山县政府对稻蟹种养的支持力度最大,所有种养户均得到了政府的补贴;其次为宁夏,有 60.8% 的种养户得到政府补贴,福建的稻鱼共作则有 16.7% 的种养户得到了政府补贴。由于政府的规模化推广,宁夏的稻蟹共作均以合作社形式开展,在盘山以合作社和企业形式开展种养的

占种养户的 17.6%(表 6)。稻鱼共作模式因存在时间较长,在湖南和福建分别由 38.1% 和 63.2% 的调查对象以合作社和企业形式开展种养。

以上数据显示,辽宁大洼地区稻蟹种养重心仍在水稻生产上,其政府支持及规模化程度均较低,在进行稻蟹共作时化肥、农药以及有机肥的投入与当地的水稻单作基本无差异。辽宁盘山及宁夏地区得益于政府支持力度及规模化程度相对较高的表现。稻鱼共作技术相对成熟,经济和生态效益相对较好,其中湖南的稻鱼共作虽然在政府支持、

规模化程度上不如福建,但在田间设施上的高投入为其带来了更好的最终收益,而其存在的主要问题则是劳动用工投入偏高。

表 5 各地区稻田综合种养的其他支出

地区 region	生产模式 production pattern	设施改造 facility improvement	机耕、机收 machinery	劳动用工 labor	其他支出 miscellaneous inputs
辽宁大洼 LiaoningDawa	稻蟹种养 RC 水稻单种 RM	0	3 870 ± 139	2 648 ± 186	0
辽宁盘山 LingningPanshan	稻蟹种养 RC 水稻单种 RM	996 ± 137	2 025 ± 387	2 546 ± 195	798 ± 135
宁夏 Ningxia	稻蟹种养 RC 水稻单种 RM	1 290 ± 621	2 681 ± 1 293	3 164 ± 1 788	1 088 ± 714
湖南 Hunan	稻鱼种养 RF 水稻单种 RM	15 401 ± 3 467	4 394 ± 1 595	6 282 ± 1 637	425 ± 56
福建 Fujian	稻鱼种养 RF 水稻单种 RM	5 051 ± 3 920	2 646 ± 932	3 750 ± 2 569	0

表 6 各地区稻田综合养种的政府支持力度及规模化程度

Tab. 6 The government support and the degree of operating scale of rice-based production pattern in different regions %

地区 region	种养户获政府 补贴的比例 proportion of government subsidies for farmers	合作社和 企业占的比例 proportion of cooperatives and enterprises
辽宁大洼 Liaoning Dawa	0	0
辽宁盘山 Liaoning Panshan	100	17.6
宁夏 Ningxia	60.8	100
湖南 Hunan	0	38.1
福建 Fujian	16.7	63.2

3 讨论

本实验两种稻田综合种养模式(稻蟹、稻鱼)在经济收益上均比水稻单作模式高,也有更好的生态、社会效益。新一轮稻田综合种养在稻田养殖品种上强调特种化,通过高值产品的养殖来提升种养效益,但很多新品种在稻田中的养殖技术尚未完善,养殖品种在稻田养殖中如何与新农机和农艺相结合仍值得深入研究^[5]。本研究中综合种养模式利润的标准差与极差都大于水稻单种模式的标准差和极差,这说明种养户对综合种养技术的掌握程度存在较大的差距,同时也表明综合种养模式的技术要高于传统的水稻单种模式,养殖户在综合种养过程中如果未能做到田间结构的合理设计,尤其是

发生了投放密度过大、化肥施用过量 and 养殖成本偏高等技术或管理问题时同样会造成养殖产量和养殖效益的下降。已往的研究^[10-12]均已表明,综合种养模式的投入要远大于水稻单种的投入,如果不能确保技术措施的合理性和有效控制养殖过程中的生产成本,推广稻田综合种养模式仍将承受较高的养殖风险。因此,在各种养模式成熟的过程中,新技术的利用、标准化的技术、规模化推广与产业化经营是改善我国稻田综合种养实施现状、提升效益的关键。

3.1 新型种养模式的成熟与综合效益的提升

目前,在水稻生产中大量使用的化肥、农药产生了严重的面源污染,是目前稻作防治面临的主要生态和社会问题^[13-14]。表 4 显示各地稻田综合种养模式在化肥、农药的成本投入上较水稻单作模式有不同程度的减少,有机肥的使用比例也正在逐步增大,但不同种养户间较大的极差仍然反映出技术成熟度较低的问题。其趋势表现为综合种养模式规模化推广较好的地区,化肥和农药的成本减量效果好;模式实施时间长、技术成熟度较高的地区,种养户间的差距相对较小,这种趋势在不同地区的稻蟹和稻鱼种养上均有体现。例如,宁夏的稻蟹种养从辽宁盘山引进成熟技术,在政府的支持下通过企业和专业组织在适宜地区进行规模化的推广和经营^[15],所以,宁夏的稻蟹种养在化肥农药减量和有机肥的增量上总体较高。但因引进时间短,相关技术在本地区的成熟度较低导致宁夏种养户间的差异较大。在稻蟹种养已

实施多年、技术成熟度较高的辽宁盘山地区,种养户间化肥农药减量和有机肥增量的极差较宁夏低近40%。与稻蟹共作相比,稻鱼共作在我国实施的时间长,种养技术较成熟^[1-2,16],所以,湖南、福建的稻鱼种养在化肥农药成本减量上高于辽宁、宁夏的稻蟹共作模式。目前,我国南方很多地区的稻鱼共作多为人工为主的传统种养模式,其种养技术尚不能满足当前发展需要^[8,17]。因此,如何改进传统技术、优化田间工程与新型农机的配套,如何改变组织形式将个体种养转变为企业、合作社的规模化生产是提升新型稻田综合种养效益的关键。

3.2 通过标准化和产业化提高种养收益

辽宁是我国北方稻蟹共作发展快、实施面积大的省份,但大洼和盘山两县在成本投入和最终收益上存在较显著的差异。该差异与稻蟹种养的产业化程度有关,盘山县通过农业科技入户并结合多年实践经验总结出了“盘山模式”,在政府的支持下进行区域化的布局和规模化的发展,并通过与企业的联合进一步提升了该模式的产业化和品牌效应,使生产的稻米和河蟹价格大幅提高,增效明显,凭借“盘山模式”盘山县在2011年还一举成为中国稻蟹综合种养第一县^[18]。本次调查结果也显示,盘山县以企业、合作社形式开展稻蟹种养的比例要高于大洼,虽然在成本投入上无显著差异,但在最终收益上盘山显著高于大洼。宁夏虽因苗种、灌溉成本高使其最终收益降低,但宁夏的稻蟹种养均以企业、合作社形式开展,通过标准化稻蟹共作养殖技术的实施使其在减少农药、化肥投入方面好于盘山和大洼,生态效益显著提升。盘山和宁夏的两组数据表明,标准化技术及产业化经营能使稻田综合种养经济效益及生态效益显著提高,符合我国新一轮稻田综合种养规模化、特种化、产业化和标准化的发展趋势。

3.3 传统模式与现代技术的结合

稻田养鱼在中国已有很长的历史,如浙江青田县、贵州从江县都有悠久的稻鱼养殖历史,浙江青田县的稻鱼共生系统还被联合国列为“全球重要的农业文化遗产”保护试点之一^[19-20]。本研究中,湖南、福建的稻鱼共作系统在生产投入上与稻蟹共作技术较成熟的辽宁省没有显著差异,但在生产总投入中劳动用工费用所占比重过大。现代化程度不够,新农机、农艺的应用相对滞后正是

目前我国南方稻鱼种养普遍存在的问题,刘某承等^[8]的研究也表明,现在我国南方地区稻鱼种养较低的现代化、规模化程度制约了综合效益的提升,Frei等^[21]的研究证明,传统稻田种养模式的缺陷可以通过合理的田间工程改造来规避。本研究认为,除了受地理环境因素制约或如浙江青田等已成为民俗传统的模式外,现有的稻田综合种养应更注重新技术的应用和产业化的发展才能在保证产品安全和品质的同时有效降低成本。本研究显示,湖南地区稻鱼共作正逐步向此方向发展,虽然在田间设施改造和机械使用上成本投入较高(表5),其政府支持力度和规模化程度也不如福建(表6),但其稻鱼共作的最终收益高于福建(表1),足见新技术应用的重要性。因此,陈欣等^[22]学者提出的借鉴传统农业的经验,应用新农机对田间设施进行改造,同时结合信息化管理以打造现代农业产业的观点^[22-23]应是我国新一轮稻田综合种养模式的发展方向。

本研究仅核算了稻鱼共作系统的主要经济效益及部分生态效益,对该系统的社会效益等服务功能的评价和估算,尤其是对传统农业生态和社会效益的认识仍需进一步的研究。如何在发展稻田综合种养现代化、规模化、信息化生产的同时,保证该种养体系的生物和景观多样性,使种养系统具备较高生产力和较好的生态、社会效益也是新一轮稻田综合种养需要解决好的关键问题之一。

参考文献:

- [1] Lu J, Li X. Review of rice-fish-farming systems in China-One of the Globally Important Ingenious Agricultural Heritage Systems (GIAHS) [J]. *Aquaculture*, 2006, 260(1): 106 - 113.
- [2] Xie J, Hu L L, Tang J J, *et al.* Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish coculture system [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, 108(50): 1381 - 1387.
- [3] Frei M, Becker K. A greenhouse experiment on growth and yield effects in integrated rice-fish culture [J]. *Aquaculture*, 2005, 244(1): 119 - 128.
- [4] Huang S W, Wang L, Liu L M, *et al.* Nonchemical pest control in China rice: A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, 34 (2): 275 - 291.
- [5] Li K X, Zhu Z W, Qian Y L. Trend characteristics

- and development proposals of a new round rice-fish culture [J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2012, 29(6):17-21. [李可心,朱泽闻,钱银龙.新一轮稻田养殖的趋势特征及发展建议.中国渔业经济,2012,29(6):17-21.]
- [6] Liu Y M, Wu L P, Zhong Y. A high-efficiency production model for paddy ecosystem in suburbs [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2006, 22(3):15-18.
- [7] Chen F X, Zhang Z J. Ecological economic analysis of a rice-crab model [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3):323-326. [陈飞星,张增杰.稻田养蟹模式的生态经济分析.应用生态学报,2002,13(3):323-326.]
- [8] Liu M C, Zhang D, Li W H. Evaluation of comprehensive benefit of rice-fish agriculture and rice monocropping—A case study of Qingtian County, Zhejiang Province [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(1):164-169. [刘某承,张丹,李文华.稻田养鱼与常规稻田耕作模式的综合效益比较研究—以浙江省青田县为例.中国生态农业学报,2010,18(1):164-169.]
- [9] Xie J, Wu X, Tang J J, *et al.* Conservation of Traditional Rice Varieties in a Globally Important Agricultural Heritage System (GIAHS): Rice-Fish Co-Culture [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(5):754-761.
- [10] Ahmed N, Flaherty M S. Opportunities and challenges for the development of prawn farming with fish and rice in southeast Bangladesh: potential for food security and economic growth [J]. *Food Security*, 2013, 5(5):637-649.
- [11] Berg H. Rice monoculture and integrated rice-fish farming in the Mekong Delta, Vietnam-economic and ecological considerations [J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(1):95-107.
- [12] Frei M, Becker K. Integrated rice-fish culture: Coupled production saves resources [J]. *Natural Resources Forum*, 2005, 29(2):135-143.
- [13] Quan W M, Yan L J. Effects of Agricultural Non-point Source Pollution on Eutrophication of Water Body and Its Control Measure [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(3):291-299. [全为民,严力蛟.农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施.生态学报,2002,22(3):291-299.]
- [14] Tilman D, Cassman K G, Matson P A, *et al.* Agricultural sustainability and intensive production practices [J]. *Nature*, 2002, 418(6898):671-677.
- [15] Liu F L, He X M. Technology for Ecological Raising of Crab in Paddy Field [J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2012, 54(9):77-78. [刘福林,何贤明.稻田生态养蟹技术.宁夏农林科技,2012,54(9):77-78.]
- [16] Kangmin L. Rice-fish culture in China: A review [J]. *Aquaculture*, 1988, 71(3):173-186.
- [17] Wu X, Xie J, Chen X, *et al.* Edge effect of trench-pond pattern on rice grain and economic benefit in rice-fish co-culture [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(5):995-999. [吴雪,谢坚,陈欣,等.稻鱼系统中不同沟型边际弥补效果及经济效益分析.中国生态农业学报,2010,18(5):995-999.]
- [18] Wang A, Wang W, Ma X Z. Development and Prospects on Rice-Crab Model [J]. *Jilin Agricultural Sciences*, 2013, 38(3):89-92. [王昂,王武,马旭洲.稻蟹共作模式的发展历程和前景展望.吉林农业科学,2013,38(3):89-92.]
- [19] Zhang D, Min Q W, Liu M C, *et al.* Ecosystem service tradeoff between traditional and modern agriculture: A case study in Congjiang County, Guizhou Province, China [J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2012, 6(5):743-752.
- [20] Zhang D, Liu M, Min Q. Comparison of ecosystem services of rice-fish agriculture in Qingtian and Congjiang [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2009, 19(6):30-36.
- [21] Frei M, Becker K. Integrated rice-fish culture: Coupled production saves resources [C]. *Natural Resources Forum*. 2005, 29(2):135-143.
- [22] Chen X, Tang J J. Utilization of biodiversity in agriculture: Today and tomorrow [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(1):54-60. [陈欣,唐建军.农业系统中生物多样性利用的研究现状与未来思考.中国生态农业学报,2013,21(1):54-60.]
- [23] Omer A, Pascual U, Russell N P. Biodiversity conservation and productivity in intensive agricultural systems [J]. *Journal of Agricultural Economics*, 2007, 58(2):308-329.

Benefit-cost analysis of different rice-based production systems

LI Jiayao^{1,2}, CHANG Dong¹, LI Bainian³, WU Xugan¹, ZHU Zewen⁴, CHENG Yongxu^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources,
Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

2. Aquatic Animal Breeding Center of Shanghai University Knowledge Service Platform,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Institute of Statistics and Applied Mathematics, Anhui Institute of Finance and Trade, Bengbu 233041, China;

4. National Fishery Technical Extension Center, Beijing 100125, China)

Abstract: Rice-based production system with the mixture of cropping and aquaculture is a traditional agriculture system in China. With the development of modern agriculture, it is becoming a popular food production pattern around China. Because rice-based production system could maintain the riceland biodiversity and reduce the production cost, Chinese government encourages the development of these coculture systems. Based on the local tradition and habit of cropping and aquaculture, there are two dominant coculture types: Rice-crab and rice-fish systems. However, to date, the cost, benefit and productivity per unit of these coculture patterns varied from farmer to farmer as well as from area to area, which indicated the rice-based production system is still immature and unstable. Therefore, based on the survey of rice-based production system from four typical provinces in 2013, we investigated the current status of two major rice-based production systems in China. In this study, the production inputs, economic benefits, fertilizer and pesticide utilization were analyzed and compared to provide the useful information for the future development of rice-based production system. The results are as follows: Compared to the rice monoculture, these two rice-based production systems have higher average profits (2.43 – 3.92 times), lower fertilizer and pesticide cost (reduced by 2.8% – 49.2% and 3.2% – 83.6% respectively). These results indicated that both rice-crab and rice-fish coculture systems had better economic and ecological benefits than rice monoculture system. But due to the technical immaturity and degree of industrialization, huge differences were observed on the final economic and ecological benefits among the farmers. This investigation revealed that the small scale, the high cost of inputs, limited ecological and social benefits are the main problems we are currently facing in the rice-based production systems. In conclusion, our results suggested further development of key technology, increasing the governmental support, and improvement of production scale are very important to solve these problems.

Key words: rice-based production system; rice-crab coculture; rice-fish coculture; benefit-cost; non-parametric test

Corresponding author: CHENG Yongxu. E-mail: yxcheng@shou.edu.cn