

# 稻-萍-鱼体系对稻田土壤环境的影响\*

黄毅斌 翁伯奇 唐建阳 刘中柱

(福建省农业科学院红萍研究中心 福州 350013)

**摘要** 稻-萍-鱼体系的基本技术是在单一以水稻为主体的生物群体中加入红萍和鱼类,通过对红萍和鱼的人工调控而影响整个稻田生态体系。在综合技术作用下,稻-萍-鱼体系中可混养多种鱼类,产量达4000~9800kg/hm<sup>2</sup>;在少用50%~60%化肥、30%~50%农药、鱼沟及鱼坑占地10%~15%情况下,水稻产量比常规种稻略增,且土壤有机质、全N、全P等上升15.6%~38.5%,水稻病虫害发生下降40.8%~99.5%,土壤甲烷(CH<sub>4</sub>)排放量减少34.6%,显著改善了稻田生态环境。

**关键词** 生态环境 稻-萍-鱼体系

**Effect of rice-azolla-fish system on soil environment of rice field.** HUANG Yi-Bin, WEN Bo-Qi, TANG Jian-Yang, LIU Zhong-Zhu (Azolla Research Centre, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013), *CJEA*, 2001, 9(1): 74~76

**Abstract** The basic technique of rice-azolla-fish system (RAF) is to combine azolla and fish into traditional rice farming system, and thus to realize the artificial management of the ecosystem via a throughout controll of azolla and fish in paddy field. Under the comprehensive reaction of various practices, the fish yield in rice-azolla-fish system maintains 4.0 to 9.8t/hm<sup>2</sup>, and its rice yield has increased to compare with the traditional farming system in the condition which decreased 50%~60% chemical fertilizer and 30%~50% pesticide. The result of long-term determination demonstrated that, organic matter, total N and P in ecosystem accumulated year by year, being 15.6%~38.5% higher than that in the traditional farming system. The pest and disease of rice were decreased by 40.8%~99.5%, the methane emission was decreased by 34.6%, the paddy field eco-environment was improved.

**Key words** Eco-environment, Rice-azolla-fish system

传统耕作制度下稻田生态体系由水稻、杂草、水生动物和土壤微生物组成,水稻品种、肥料和其他自然因素是影响水稻高产的主要因子,单纯依靠大量人工、无机肥和农药投入提高产量,造成环境污染、土壤退化、资源浪费和成本提高。稻-萍-鱼体系采用人工调控方法,改变传统耕作稻田的结构和功能,其核心是将单纯以水稻为主的稻田生物群体转变为稻、萍、鱼并重的生物群体,通过对红萍和鱼类种群结构的合理调控,改善稻-萍-鱼体系内部物质循环和能量流动并使其得以充分利用,从而减少成本,提高经济效益。

## 1 稻-萍-鱼体系中红萍 N、K 养分的利用

红萍中 N 的转化,红萍所固定的 N 是稻-萍-鱼体系中 N 素的重要来源,用<sup>15</sup>N 示踪研究表明,红萍作鱼的饵料,红萍中有 24%~30% 的 N 被鱼体吸收,经鱼消化后其排泄物中的 N 素 17%~29% 被水稻吸收,23%~42% 留在土壤中,2.6%~3.1% 留在稻田水体中,14%~15% 流失或损失。红萍压施作基肥也是稻-萍-鱼体系 N 素的重要来源,红萍压施入土后 7~42d 内其矿化量占总量的 1/2,第 15~21d 为矿化高峰,水稻生长可利用红萍基肥 N 素的 48.83%,故水稻生长所需 70% 左右 N 素可由红萍提供;红萍中 K 的转化,红萍具有强富 K 能力,研究表明,水稻正常生长所需 K 浓度比红萍所需约高 30 倍,稻株生理需 K 临界值比红萍约高 10 倍。水稻吸收 K 的浓度为 8mg/kg,而红萍吸 K 高峰为 0.85mg/kg,说明红萍可富集

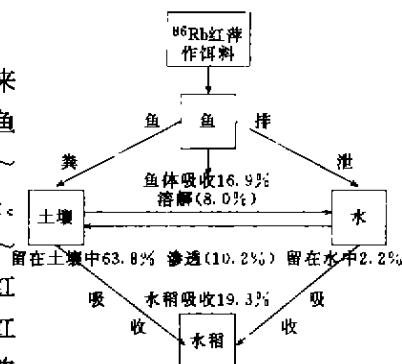


图1 红萍中K在稻-萍-鱼体系循环状况  
Fig. 1 Recycling pattern of azolla-K in the rice-azolla-fish system

吸收水稻无法利用的低浓度 K。试验表明,水稻生长所需的 70%K 素可由红萍压施来提供<sup>[3]</sup>。用<sup>85</sup>Rb 示踪研究表明,在稻-萍-鱼体系红萍中 16.9%K 素被鱼类吸收利用,经鱼体消化后其排泄物中的 19.3%K 素被水稻吸收,63.8%K 素留在土壤中,从而提高了土壤肥力水平。红萍腐解后,K 素主要以缓效钾形式存在,因而流失少,可供水稻各生育期吸收利用(见图 1)。<sup>15</sup>N 示踪和<sup>86</sup>Rb 示踪研究证明,稻-萍-鱼体系可减少 N、K 化肥投入,减少稻田化肥污染。

## 2 连续耕作条件下稻-萍-鱼体系土壤肥力的变化

研究表明,压施红萍及鱼食红萍消化后排泄物还田,可节省化肥,减少稻田化学污染,提高土地肥力,改善地力。据连续 6 年定位试验测定,稻-萍-鱼体系田面土壤有机质含量由 3.18%提高至 4.61%,全 N 由 0.213%提高至 0.307%,全 P 由 0.144%提高至 0.151%(见表 1),且速效养分水平及土壤物理状况均有不同程度改善。土壤速效养分与植株 N、P、K 养分的小区对比试验结果表明(见表 2),植株全 N 含量随水稻生

表 1 连续耕作条件下稻-萍-鱼体系土壤肥力的变化

Tab. 1 Change of soil fertility in rice-azolla-fish system under continuous farming

年 份 Years	有机质/% Organic matter		对 照 CK	全 N/% Total N		对 照 CK	全 P/% Total P		对 照 CK
	稻-萍-鱼体系 田 面 Rice-azolla-fish system Field surface	沟 坑 Rice-azolla-fish system Ditch and pit		稻-萍-鱼体系 田 面 Rice-azolla-fish system Field surface	沟 坑 Rice-azolla-fish system Ditch and pit		稻-萍-鱼体系 田 面 Rice-azolla-fish system Field surface	沟 坑 Rice-azolla-fish system Ditch and pit	
实验前 Before experiment	—	3.18	—	—	0.213	—	—	0.144	—
1987 年底 End of 1987	4.30	4.09	3.81	0.243	0.261	0.210	0.117	0.163	0.117
1988 年底 End of 1988	4.50	4.62	3.76	0.247	0.281	0.227	0.135	0.198	0.145
1989 年底 End of 1989	4.50	5.03	3.98	0.264	0.289	0.331	0.145	0.191	0.135
1990 年底 End of 1990	4.56	4.99	4.47	0.266	0.299	0.273	0.153	0.188	0.125
1991 年前*	3.28	1.29	3.39	0.216	0.093	0.296	0.101	0.070	0.131
1991 年底 End of 1991	3.75	2.00	3.80	0.205	0.095	0.253	0.133	0.105	0.129
1992 年底 End of 1992	3.87	4.01	3.98	0.268	0.290	0.276	0.124	0.181	0.137
1993 年底 End of 1993	3.56	4.28	4.11	0.224	0.319	0.296	0.133	0.168	0.130
1994 年底 End of 1994	3.89	4.33	4.00	0.242	0.329	0.244	0.149	0.170	0.138
1995 年底 End of 1995	4.61	4.64	4.14	0.307	0.392	0.299	0.151	0.205	0.134

\* 1991 年春实验小区改造成永久性水泥田埂,因此改变了土壤结构。

长而呈减少趋势,稻-萍-鱼体系处理各生育期 N 含量均高于常规种植处理,其趋势与土壤养分变化一致。土壤速效氮含量仅稻-萍-鱼体系处理略有增加,表明土壤供 N 能力平稳而充足。稻株 K 含量变化表现为早季稻两头高中间低,晚季稻反之,各生长阶段稻-萍-鱼体系稻株 K 含量均略高于常规种植处理。土壤速效钾含量变化仅稻-萍-鱼体系与稻株 K 含量相对应变化。稻株 P 含量变化随水稻生长而下降,水稻 P 含量早季各处理差异不大,晚季稻-萍-鱼体系水稻 P 含量高于常规种植,土壤速效磷含量也略高于常规种植,这表明在减少化学肥料投入的情况下稻-萍-鱼体系土壤肥力不断提高,土壤供肥能力平稳,可满足水稻生长需要。

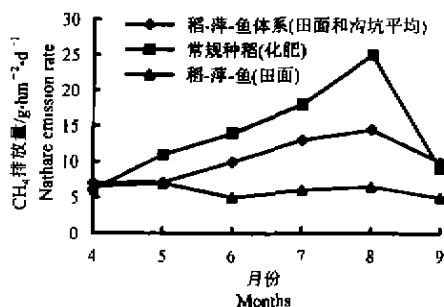
## 3 稻-萍-鱼体系对控制稻田 CH<sub>4</sub> 排放的作用

有关研究发现,大气中 CH<sub>4</sub> 平均含量已增至 1.8 ml/m<sup>3</sup>。CH<sub>4</sub> 温室效应是 CO<sub>2</sub> 的 20~60 倍,为此国际

表 2 不同处理土壤与稻株养分含量变化

Tab. 2 Variations of the soil available nutrients and rice plant nutrients in different treatments during rice growing stages

季 节 Seasons	养 分 Nutrient	处 理 Treatments	土壤速效养分含量/mg·kg <sup>-1</sup> Available nutrient in soil			稻株养分含量/% Content of nutrient in rice plant		
			分蘖期 Tillering	齐穗期 Heading	成熟期 Mature grain	分蘖期 Tillering	齐穗期 Heading	成熟期 Mature grain
早 稻 Early rice	N	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	119	132	234	2.43	1.90	1.12
		常规种稻 Normal rice farming	167	144	136	1.81	1.32	0.93
		稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	212	147	355	3.69	3.32	3.86
	K <sub>2</sub> O	常规种稻 Normal rice farming	210	132	183	3.06	3.50	3.19
		稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	64	56	175	0.87	0.71	0.49
		常规种稻 Normal rice farming	75	61	88	0.76	0.72	0.49
晚 稻 Later rice	N	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	148	195	180	2.73	2.44	1.26
		常规种稻 Normal rice farming	154	115	161	1.99	1.52	1.05
		稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	238	245	210	3.38	3.56	2.63
	K <sub>2</sub> O	常规种稻 Normal rice farming	262	132	167	2.69	3.22	2.30
		稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	71	78	50	0.85	0.83	0.57
		常规种稻 Normal rice farming	67	33	37	0.76	0.77	0.50

图2 不同处理2季水稻田中CH<sub>4</sub>排放量差异Fig. 2 Variation of CH<sub>4</sub> emission rate from different treatments

稻-萍-鱼体系平均CH<sub>4</sub>排放量少于常规稻田。试验结果表明,施用化肥后CH<sub>4</sub>排放量逐渐上升,至施肥后4~5d达到高峰,而后下降。稻-萍-鱼体系化肥施用量仅为常规稻田的30%,故其CH<sub>4</sub>排放量低于常规稻田。

#### 4 稻-萍-鱼体系综合技术其他效应

稻-萍-鱼体系可减少水稻病虫害,节约农药及除草剂。据试验观测,红萍对水稻纹枯病菌核萌发有物理阻隔和化学抑制作用,稻-萍-鱼体系水稻纹枯病为一般田块的1/3左右;鱼吞食稻飞虱和螟虫等水稻害虫可少施50%农药,稻-萍-鱼体系中高密度养鱼,鱼类觅食田中杂草,使稻田基本无杂草存在,可减少除草剂的施用和农药污染。与常规种稻相比,稻-萍-鱼体系中可减少稻飞虱48.9%~65.1%、枯心苗40%~46.2%、纹枯病45.5%~53.3%和稻田杂草发生率99.5%,化肥用量节省70%左右,但水稻却逐年增产(见表3)。

#### 5 小结与讨论

本项研究成果自1987年实施以来并大面积推广应用效益显著,一般在鱼沟、鱼坑占地12%~15%的情况下,水稻产量不低于传统种稻方式,且可节省50%~60%的化肥、30%~50%的农药,鲜鱼产量达

4000kg/hm<sup>2</sup>以上,每hm<sup>2</sup>净增收9万元以上。推广稻-萍-鱼体系综合技术非但不影响水稻产量,且可增加稻田鱼类产出和动物蛋白质来源,提高经济效益,对改变食物结构具有重大意义,此外还可提高农民种稻积极性,若能在全国稻田面积的5%(160万hm<sup>2</sup>)推广该模式,以每hm<sup>2</sup>产鲜鱼2250kg增收7500元计算,仅此1项全国年可多产鱼3.6亿kg,增收12亿元,其社会、经济效益非常显著。

FAO将CH<sub>4</sub>确定为环境中重要的微量污染物质之一<sup>[1]</sup>。大气中10%~20%CH<sub>4</sub>来自稻田排放,而我国稻田面积占世界总量的22%,控制我国稻田CH<sub>4</sub>排放十分必要。连续3年试验测定表明,常规种植稻田CH<sub>4</sub>排放量为4.73mg/m<sup>2</sup>·h,而稻-萍-鱼体系稻田CH<sub>4</sub>排放量明显减少,为1.71mg/m<sup>2</sup>·h,但沟坑中CH<sub>4</sub>排放量为13.10mg/m<sup>2</sup>·h,由于稻-萍-鱼体系沟坑占田地面积的12%,故稻-萍-鱼体系CH<sub>4</sub>排放总量比常规种稻少34.6%。4~8月份稻-萍-鱼体系与常规种稻处理CH<sub>4</sub>排放量随气温上升而增加,8月份后CH<sub>4</sub>排放量随气温下降而下降,表明CH<sub>4</sub>排放量与气温呈正相关关系(见图2)。由图2可知,5月份稻-萍-鱼体系放鱼后,沟坑CH<sub>4</sub>排放量迅速上升,田间CH<sub>4</sub>排放量保持较低,但

表3 稻-萍-鱼体系与常规种稻施肥量、水稻及鱼产量比较

Tab. 3 The rice yield, fishes yield and fertilizer usage in rice-azolla-fish system and traditional rice system

年份 Years	处理 Treatment	压鲜鲜萍/t·hm <sup>-2</sup> Azolla incorporated	化肥用量/kg·hm <sup>-2</sup> Fertilizer usage			水稻产量/t·hm <sup>-2</sup> Rice yield			鲜鱼产量/t·hm <sup>-2</sup> Fishes yield
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	早季 Early	晚季 Later	合计 Total	
1987	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	30	37.0	42.5	42.5	5.8	4.4	10.2	4.0
	常规种稻 Normal rice farming	—	207.8	194.3	127.4	5.6	5.4	13.0	—
1988	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	30	67.3	69.4	50.9	4.4	4.5	8.9	4.3
	常规种稻 Normal rice farming	—	274.5	150.4	152.9	4.3	4.8	9.5	—
1989	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	30	89.0	75.0	63.7	5.9	6.1	12.0	4.7
	常规种稻 Normal rice farming	—	254.0	230.3	225.0	6.0	5.3	11.3	—
1990	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	30	75.0	75.0	67.5	5.9	5.1	11.0	5.4
	常规种稻 Normal rice farming	—	225.0	225.0	202.5	4.9	5.2	10.1	—
1991	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	30	75.0	75.0	40.0	6.7	4.8	11.5	8.2
	常规种稻 Normal rice farming	149	251.0	158.0	6.3	4.5	10.8	15.3	—
1992	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	30	51.0	51.0	40.0	5.8	6.6	12.4	9.8
	常规种稻 Normal rice farming	149	251.0	158.0	5.2	4.7	9.9	14.6	—
1993	稻-萍-鱼体系 The rice-azolla-fish system	30	51.0	51.0	40.0	6.3	5.6	11.9	10.7
	常规种稻 Normal rice farming	—	149.0	251.0	158.0	5.8	5.9	11.7	—

#### 参考文献

- 陶战等. 美国稻田和反刍动物的甲烷排放. 国外农业环境保护, 1993 (2): 2~7
- 刘浩官等. 稻萍鱼生态体系控制稻飞虱和纹枯病的试验. 福建农业科技, 1986 (2): 14~15
- Liu Chungchu. Genetic enhancement and integrated use of azolla in lowland rice-based farming system. Progress Report INSURF Phase I(1988~1990). IRRI, Manila, 1991