

稻-萍-鱼系统中红萍氮素吸收 利用及有效性研究

翁伯琦 唐建阳 陈炳煊 刘中柱

(福建省农科院红萍研究中心, 福州)

摘 要

本文报道以红萍为饵料, 鱼类对红萍氮素消化吸收、转化情况。试验结果表明, 草鱼和尼罗罗非鱼对红萍氮素的消化和吸收率约为60%, 其中30%红萍氮素转化为鱼体动物蛋白, 另外约30%氮素排出体外。在田间条件下, 尼罗罗非鱼摄食红萍, 每季平均增长率约为41—49%。稻田养鱼, 以萍喂鱼, 鱼粪肥田, 萍体氮素得以吸收利用, 效益明显。在稻萍鱼体系中, 当季红萍氮素的总利用率可达45—50%, 而红萍单作肥料处理其利用率仅为30—38%, 第二季作物对红萍残留氮素回收率可达7.83—9.64%, 比红萍单作肥料处理高3.33—4.11%。第二季残效明显优于红萍压施处理, 晚季稻谷产量的增产率可达13—25%, 比压施红萍作肥料处理高7—9%。

关键词: 红萍, “稻-萍-鱼”系统, 氮素利用。

红萍年固氮量达243—402公斤/公顷, 其粗蛋白含量达25%, 是稻田优良的肥料和动物的饲料、饵料^[1,2]。我国农民在农业生产上早有养用红萍的传统习惯^[3,4]。水田建立稻-萍-鱼体系, 旨在将传统的稻田养鱼和养萍两种农业实践合理结合, 使诸生物因子共存互利, 提高稻田生产经济效益。近年的田间试验结果业已表明: 在稻-萍-鱼共存体系中, 除了保证水稻产量外, 鲜鱼年产量可达40—60公斤/亩, 而且能明显改善稻田生态环境^[5-7]。近年来, 我们应用¹⁵N示踪技术, 探讨鱼类吸收利用红萍氮素以及鱼粪供氮对水稻生长的影响, 研究对鱼、稻生长有益的使用红萍的方法, 综合评价稻萍鱼共存系统中红萍氮素循环效率, 为农田生产中更合理应用红萍, 促进稻田生态系统功能发挥提供参考依据。

一、材料与方法

1. 水稻品种 1985—1987年旱季分别选用 NT04, 福引1号, 闽科早1号水稻为小区试验品种。

2. 试验鱼种 选用尼罗罗非鱼 (*T. nilotica*) 和草鱼 (*C. idellus*) 作室内消化率试验鱼种。尼罗罗非鱼为大田小区试验鱼种, 鱼苗投放量为680尾/亩。

3. 供试红萍与¹⁵N标记方法 选用卡州红萍 (*Azolla Caroliniana*) 作肥料、饵料。红萍预先在小泥池内用50%原子超的 (¹⁵NH₄)₂SO₄溶液标记培养12天。¹⁵N肥料分6次添加, 而每次添加的¹⁵N浓度为20ppm。当标记结束时, 溶液中¹⁵N累加浓度不超过100ppm。(12天后, 萍体约增产一倍, 萍体的¹⁵N%原子超约为5.7—6.1%。)

本文于1989年9月20日收到。

4. 试验处理 室内喂养试验, 主要测定两种鱼对红萍N素消化吸收率。草鱼和尼罗罗非鱼放养在特制的、具有通气设备的鱼缸中, 以 ^{15}N -红萍喂养1—9天后, 分别取鱼体, 鱼粪, 水液和残留红萍样品, 并测定各样品含N量和 ^{15}N 丰度值。3年的田间小区试验处理见表1。测产小区面积为20米², 同位素微区面积为1米²。供试小区土壤主要理化性质见表2。

表1 田间试验小区处理内容

Table 1 The treatments of plots in the paddy field

年份	处理代号	红萍施量 (公斤氮/公顷)	处 理	磷钾基肥量 (公斤/亩)
1985	CK	0	不施红萍的对照区	30, 过磷酸钙
	RA	60	1/2 总量红萍插秧前一天压施作基肥, 1/2 总量红萍作分蘖肥	10, 氯化钾
	RAF*	80	全部红萍分期投入作鱼的饵料。	
1986	CK	0	同 上	同上
	RA	60		
	RAF*	80		
1987	CK	0	不施红萍的对照区	同上
	RA	60	1/3 总量红萍插秧前一天压施作基肥、2/3 总量红萍作分蘖肥	
	RAF*	60	1/3 总量红萍插秧前一天压施作基肥、2/3 总量红萍作饵料	

* 插秧10天后开始投喂 ^{15}N 标记的红萍, 一般每隔2—3天投一次, 其红萍量多少视气温高低和鱼食量大小具体情况而定, 以鱼食完红萍后再投为宜, 以便能较准确统计 ^{15}N 红萍累加投入量。

萍量分别达其鱼体自重的50—60%、35—40%。尼罗罗非鱼摄食红萍18—96小时后, 鱼体中的肠、胃、肝各部位的 ^{15}N 回收率分别从10.3%, 16.4%和 2.36%降至 0.97%, 0.24%和 0.68% (图1), 与此相似, 以 ^{15}N -红萍喂养草鱼3, 6, 9天后, 肌肉中的 ^{15}N 回收率均分别明显高于其它器官 (图2)。尼罗罗非鱼和草鱼中不同器官具有较高的 ^{15}N 丰度, 这一事实表明: 鱼摄食红萍后, 一部分氮素可直接转化为鱼体蛋白, 而另一部分氮素 (^{15}N) 要先经肠吸收, 通过血液输送营养物质, 最后转化为肌肉蛋白。以萍喂鱼, 经过消化吸收和累积, 尼罗罗非鱼和草鱼的 ^{15}N 总回收率为 24.6—29.2% 和 29.79—50.08%, 而其中肌肉中 ^{15}N 回收率最高。

(2) 鱼体中红萍氮素转化与排泄

试验结果表明, 尼罗罗非鱼摄食 ^{15}N -红萍 96 小时后, 粪便中 ^{15}N 丰度约为 2.135—3.843%, 与投作饵料的原始红萍相比则低得多 (5.36—6.42%), ^{15}N 丰度降低的原因大概是由于稀释作用所致。经计算, 鱼粪中所含氮量约占投放红萍饵料中氮总量约30%, 鱼粪

表2 供试小区土壤基本性质

Table 2 Properties of the soils in the test plots

项目	年份 地点	1985	1986	1987
		红萍中心	稻 麦 所	稻麦所
$\text{NH}_4\text{-N}$ (ppm)		27.07	28.72	30.27
全氮 (%)		0.103	0.123	0.148
有机质 (%)		1.71	1.80	1.92
阳离子交换量 (毫克当量/100克)		8.08	8.67	8.40
代换性钾 (毫克当量/100克)		0.181	0.180	0.19
有效磷 (ppm)		67	78	71
土壤质地		粉砂壤土	粘壤土	重质壤土

注: 土壤取自0—27厘米的表土层。

5. 测定方法 各种样品含N量均按凯氏法测定, 而各种样品中 ^{15}N 丰度则使用本中心Delta-E型质谱仪测定。

二、结果与讨论

1. 红萍对鱼体生长的有效性

(1) 鱼体对红萍氮素的吸收与输送

试验结果表明: 草鱼与尼罗罗非鱼日耗

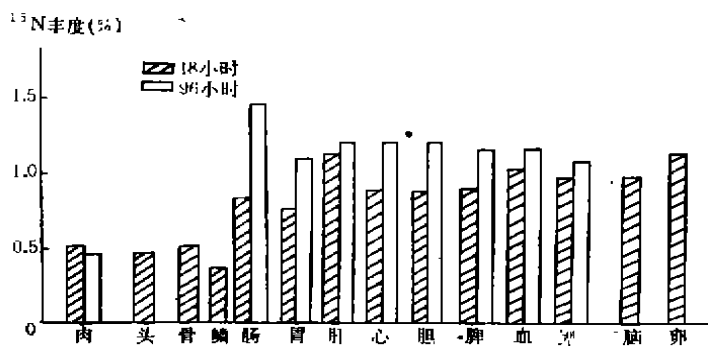
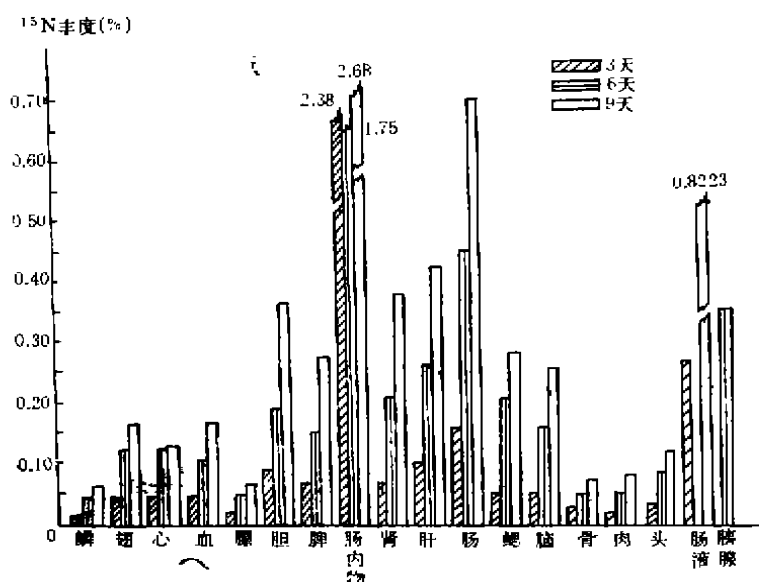
图 1 红萍喂养尼罗罗非鱼后18、96小时鱼体各器官 ^{15}N 丰度Fig.1 ^{15}N abundance in various organs of *T. nilotica* at 18, 96 hours after ^{15}N -Azolla uptake by fish图 2 红萍喂养草鱼 3、6、9 天后鱼体各器官 ^{15}N 丰度

Fig.2 ^{15}N abundance in various organs of *C. idellus* at 3, 6, 9 days after taking ^{15}N -Azolla

中来自红萍的N素约为 14.42—17.58%。以 ^{15}N -红萍用作草鱼饵料, 试验周期分别为 3, 6, 9 天时, 鱼体中 ^{15}N 回收率则分别为50.08%, 35.10%, 29.79%, 鱼粪中 ^{15}N 回收率则依次是20.28%, 32.75%, 32.69%, 而养鱼水中的 ^{15}N 回收率则分别为9.90%, 11.19%, 13.83%, 这一事实证明, 草鱼摄食红萍后, 在消化吸收过程中平均约有11.6% ^{15}N 量以其它分泌的形式排到水体中, 而吸收和排泄过程平均会损失21.5%红萍氮素, 其去向有待进一步研究。

(3) 红萍氮对鱼体生长的有效性

传统的稻田养鱼, 饵料丰欠与品质是限制鱼体生长的重要因素之一, 应用红萍作饵料, 其效果甚佳。3 年的田间小区试验结果表明, 稻田养鱼, 以萍喂鱼, 在70—78天放养期内, 鱼体增长率约为 41.2—49.20% (见表 3)。

表 3 红萍-N对鱼类(尼罗罗非鱼)生长的效力

Table 3 The effect of Azotla-N on fish (*T. nilotica*) growth

试验时间	养殖时间 (天)	耗萍量 (公斤/公顷)	鱼苗规格 (克/条)	鱼苗重量 (克/20尾)	鱼产量 (克/20尾)	增长率 (%)
1985年 早季	70	60	76.65	1513	2239	48.03
1986年 早季	74	60	50.00	1000	1492	49.20
1987年 早季	78	50	25.0	500	706	41.20

2. 红萍不同利用方式对水稻生长的影响

在1985、1986、1987年早季设置田间小区试验,依照传统的稻萍耕作方法(RA)以及稻萍鱼(RAF)2种形式安排处理,以评价红萍不同利用方式对水稻生长的供氮效果,从1986年早季水稻分蘖追踪结果分析,以萍喂鱼,鱼粪肥田形式利用红萍N素,稻株的平均出蘖速度比RA处理略快。1987年

(条/丛·天)

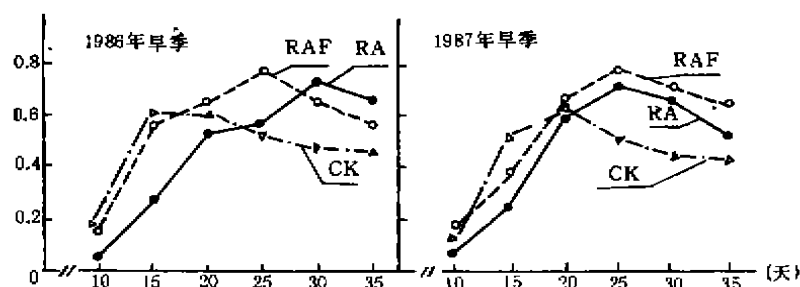


图 3 红萍不同利用方式对稻株平均分蘖速度的影响

Fig.3 The effect of different method of applying Azolla on the average rate of tillers growing

早季试验结果也表明,以1/3总量红萍作基肥,2/3总量红萍作饵料处理,在水稻返青后一个星期内,稻株平均出蘖速度有较为明显的提高,该处理从这一时期起直到最高分蘖期止,其平均出蘖速度值则一直略高于RA处理。从2个早季不施氮肥处理看,返青后稻株平均分蘖速度略高于其它二个处理,但其在插秧后15—20天左右,就明显趋于下降,以致在最高分蘖期明显低于RAF和RA2个处理。

插秧前压施少量红萍作肥料,而大量的红萍作饵料,这样既可为稻株生长前期供肥,又可顾及鱼类饵料供应。尤其是在早季,前期(4—5月份)气温较低,鱼的食量不大,田间红萍不宜过多,可以压施部分红萍作肥料。6月份后,气温逐渐上升,鱼的食量大增,此时充足的红萍有利于鱼体生长。

大量的红萍作鱼的饵料,尚可起到“过腹还田”的作用,鱼类摄食红萍后,相当部分的红萍氮素随鱼粪排到田间,且主要呈可溶性N素形式,能为水稻吸收利用。经稻田水溶液取样分析表明,RAF处理区水体中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量均高于RA处理区1.1倍。且RAF小区水体中藻类少,其水体中pH值仅为7.1,还低于RA小区(7.6)。随着鱼类不断摄食红萍,其排粪量的逐渐累积,加上前期压施部分的红萍腐解供肥,尚可满足水稻中、后期生长需肥要求。从表4结果看出,RAF和RA处理区每亩总穗数之间无明显差异,且二者均明显高于CK处理

区。而RAF处理区每穗平均粒数还高于RA处理区。这一结果表明以等氮量的红萍作肥料和RAF方式利用红萍, 其对水稻生长供肥效果相当。

表 4 红萍不同利用方式对水稻总穗数和每穗平均粒数的影响

Table 4 The effect of different method of applying Azolla on the total panicle number and grain numbers per panicle

年 季	处 理	总 穗 数 (万穗/亩)	每穗平均粒数 (粒/穗)
1986年早季	RA	26.89	78.20
	RAF	24.67	80.36
	CK	19.32	74.74
1987年早季	RAF	28.86	79.95
	RA	27.83	75.33
	CK	20.15	72.98

处理, 但由于稻田养鱼, 鱼粪的游动能明显地提高溶氧量, 且能减少病虫害, 改善稻田的生态环境, 同时鱼所排泄的鱼粪便富含有效养分能直接而迅速为水稻吸收利用, 所以能促进水稻生长。

4. 红萍不同利用方式对萍体氮素利用效率的影响

田间 ^{15}N 小区的试验结果表明: 翻压红萍作肥料的传统方法, 其萍体氮的利用率仅为

3. 红萍不同利用方式对水稻产量的影响

图 4 表明, 1985年和1986年早季以全部红萍作肥料处理, 其稻谷产量与全部红萍作饵料处理相近, 且它们均明显高于不施红萍的对照区。而1987年早季以 1/3 总量红萍作基肥, 2/3 总量红萍作饵料处理, 其早季产量仍与全部作肥料处理相近。值得注意的是, 以肥料和饵料相结合的处理, 其第二季的残留氮素对水稻产量效应则优于红萍全部作肥料处理 (图 5)。以萍喂鱼, 鱼粪肥田, 尽管其对水稻生长供氮量不及红萍全部作肥料

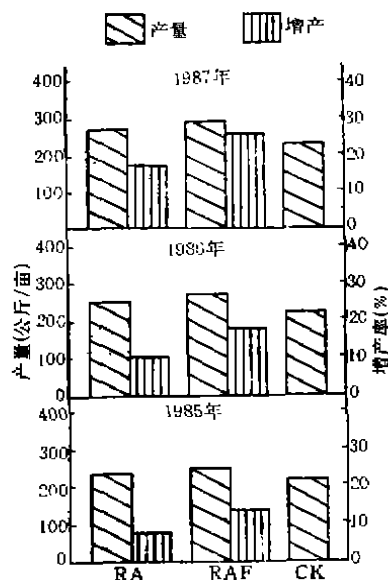


图 4 红萍不同利用方式对早季稻谷产量的影响

Fig.4 The effect of different methods of applying Azolla on rice grain in early season

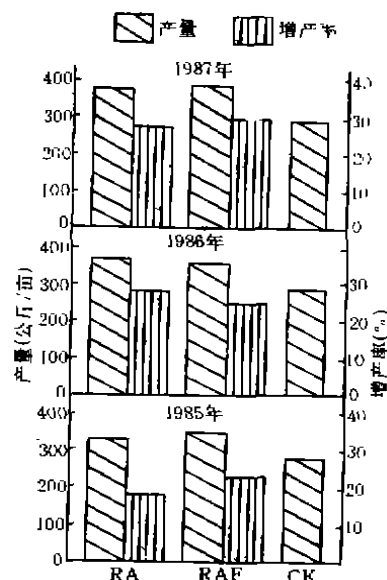


图 5 红萍不同利用方式对晚季稻谷产量的残留效应

Fig.5 The residual effect of different methods of applying Azolla on rice grain in late season

30.84—36.10%，而且红萍作基肥用量适当，其 ^{15}N 利用率高，1985年和1986年早季翻压 1/2 总量红萍作基肥，其利用率高于1987年早季仅以 1/3 总量红萍作基肥处理（图6）。但现已发现以改进施萍方法来提高萍体氮素利用率，收效甚小。然而，采用稻-萍-鱼共存系统的耕作法，有助于高纤维素含量的萍体通过鱼体消化而加速分解，提高肥效。我们的实验结果业已证实了，红萍作肥料和饵料相结合，其当季氮利用效率达46—49.5%，一般高于红萍单一作肥料处理10—18%，以萍喂鱼，鱼体氮素的利用率可达20—26%，使红萍这一植物蛋白能有效地转化为动物蛋白，提高了稻田生产的经济效益。鱼粪肥田并对水稻生长供氮，不仅当季效益高，而且第二季氮素残留效应也比红萍单一作肥料处理高近4—5%。由于萍体氮素循环利用，多环节、高效率吸收的红萍氮素，因而其损失率最低（表7），这充分显示了稻萍鱼共存体系的优越性。

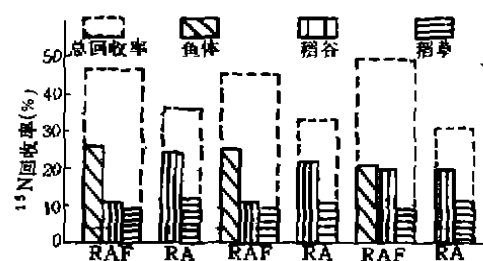


图6 红萍不同利用方式对早季稻诸生物 ^{15}N 回收率的影响

Fig.6 The effect of different methods of applying Azolla on ^{15}N recovery rate for rice and fish in early season

表7 以不同方式利用红萍其萍体氮素在稻田系统中去向
Table 7 The fate of Azolla-N in paddy field when Azolla was used in different applying method

年份	红 萍 利 用 方 式 (60公斤N/公顷)	^{15}N 回 收 率 (%)				^{15}N 损失率 (%)
		早 季		晚 季		
		鱼 体	水 稻	水 稻	土 壤	
1985	1/2作基肥, 1/2作追肥	—	36.10	4.50	28.92	30.48
	全部作饵料	26.32	20.00	7.83	21.23	24.82
1986	1/2作基肥, 1/2作追肥	—	31.92	4.28	30.50	33.30
	全部作饵料	25.45	19.79	8.39	20.72	25.65
1987	1/3作基肥, 2/3作追肥,	—	30.84	5.60	30.32	33.24
	1/3作基肥、2/3作饵料	20.72	28.91	9.84	20.21	20.52

参 考 文 献

- [1] 刘中柱、郑伟文等, 1986, 红萍固氮及其利用, 《我国土壤氮素研究工作的现状与展望》, 第195—202页, 科学出版社。
- [2] Watanabe J., 1981, utilization of the Azolla-Anabaena Complex as nitrogen fertilizer for rice, IRRI Res. Pap. Ser. 11.
- [3] Liut, C.C., 1979, Use of Azolla in rice production in China pages 375—394 in IRRI Nitrogen and rice Los Banos Philippines.
- [4] 吕书楼, 1986, 《中国绿肥》(熊彬主编), 第560—591页, 农业出版社。
- [5] 刘中柱, 1988, 立体农业的研究及其发展趋势, 福建农业科技 (3), 16—18。
- [6] 叶国藻等, 1984, 稻-萍-鱼研究, 福建农业科技 (4), 24—26。
- [7] 刘中柱, 1984, 红萍在稻田的应用前景, 土壤肥料 (6), 18—20。

STUDY ON UTILIZABILITY AND AVAILABILITY OF AZOLLA-NITROGEN IN THE "RICE-AZOLLA-FISH" SYSTEM OF PADDY FIELD

Weng Bo-Qi Tang Jian-Yang Chen Bing-Huan Liu Zhong-Zhu
(Azolla Research Center, Fujian Academy of Agricultural Sciences)

Azolla is a good fodder to fish. The Azolla-N can be uptaken availably by fish. When Azolla was used as fodder for fish, 60% of Azolla-N were utilized, a half of such Azolla-N uptaken being incorporated into fish body (Clenopharynx idellus and Tilapia nilotica) and another half being excreted as fish feces. The weight of *T. nilotica* increased by 41—48% during early season under the condition of paddy field, where Azolla (60kgN/ha) was put into rice-Azolla-fish ecosystem as the fish fodder. After that, the Azolla-N could be utilized for cycling so that it had a good effect on rice growth. The total rate of ^{15}N recovered by fish and rice as 45—50% of availability in the rice-Azolla-fish system, but the rate of ^{15}N recovered as only 30—32% when Azolla was incorporated into soil as a green manure. In the cropping season, the residual rate of Azolla-N is about 7.83—9.64%, being 3.33—4.11% higher than that for the treatment of Azolla as manure. In this system, the ecosystem of paddy field is greatly improved, and the available nutrients in the fish feces are much and have a good effect on rice growth. The rice yield is similar to that for the treatment of Azolla as green manure, but its residual effect on rice yield is better than latter, the increasing rate of rice yield in the next cropping season being up to 13—25% and 7—8% higher than the latter.

Key words: Azolla, "rice-Azolla-fish" system, efficiency of Nitrogen.