

稻田养殖水生绿肥对水层中 氮素循环的影响

利卓燊 陈德富 祖守先 沈冬莲 俞林火

(浙江省农业科学院土壤肥料研究所)

在我国南方水稻生产中,如何开辟新肥源以改良土壤、增产粮食是个重要课题。增辟肥源途径很多,其中探讨水稻田的养分循环,研究以田养田的技术措施是有价值的。本文拟在讨论水稻田水层的氮素循环基本特性的基础上,对水浮莲 (*Pistia stratiotes* L.) 在稻田放养和利用的技术及其效果作一介绍。

一、水稻田水层的氮素循环特性

水稻田的最大特点,是有一个较长时间的淹水过程,保持一定的水层,并种水稻。这影响着稻田水层的性质及其与植物、土壤的相互关系,很值得研究。本文笔者曾从生物学循环的角度作过讨论^[9],提出土壤经淹水成为水稻田后,就形成水稻田土壤与水稻田水层两个组成部分的氮素循环,它们互相影响,共同组成水稻田的氮素循环结构;并认为发展水稻田水层的生物光合固氮作用,有利于以田养田、培肥土壤,达到水稻增产的目的。近20年来,水稻田水层放养绿萍 (*Azolla*) 的研究和生产应用推广表明,它有良好的作用^[13]。1972年以来,我们在此基础上,开展了在水稻田放养水浮莲 (*Pistia stratiotes* L.) 的研究,亦已表明有一定的生产价值^[14,15],近年来已在生产中逐步应用。关于水稻田的氮素循环特性以及水生绿肥的作用示于图1。

值得提出的是,稻田水层的性质已不是原灌溉水的性质,它与土壤、植物、生态环境紧密相联,在性质上发生着一系列变化,并影响着水稻田的氮素循环。在稻田水层中进行着生物学循环,其中有水生绿肥(如放养绿萍 *Azolla* 和固氮蓝藻 *Anabaena*、*Nostoc*、*Cylindrospermum*、*Tolypothrix* 等)的光合固氮作用;以及它们对水层中氮素等养分的吸收同化作用。在压青入土后,它们又直接影响着土壤的氮素转化和积累等过程。其次,在稻田水层中同样存在着氨化作用和硝化作用,而未见有发生反硝化作用的证据。还有,田面水层中的养分,除了来自灌溉水外,还有施肥带入的部分,它们与土壤溶液中的养分存在着相互渗透、扩散和交换的作用,其中也包括氮素。再有,水层和表土的氮素等养分还可流失,或呈氨而挥发等。这些环节的作用强度,在不同条件下是不同的。本文侧重于水层中的光合固氮作用和同化作用这两个环节与农业生产技术的关系。

(一) 稻田水层的光合固氮作用是提供稻田有机质和氮素的重要来源

利用稻田水层放养水生绿肥,在栽种水稻的同一田块上,充分利用太阳能和稻田水层

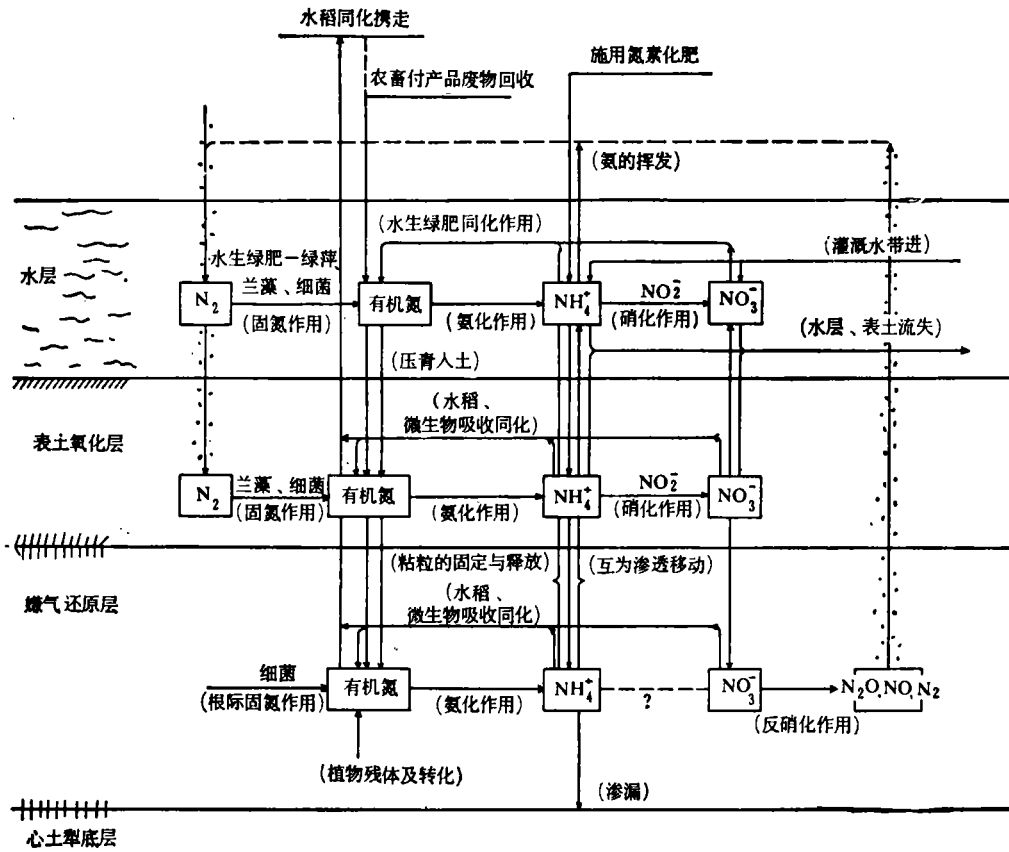


图 1 水稻田的氮素循环及水生绿肥的作用

Fig. 1 Nitrogen cycle in paddy field as affected by the plantation of aquatic plants

的环境资源,进行碳素同化和固氮,具有推动粮食生产发展的实用价值。近 20 多年来,利用稻田水层放养绿萍、固氮蓝藻的科学研究和生产实践,都证明水生绿肥的光合固氮作用是可以广泛加以利用的。

在我国,稻田放养绿萍的应用技术研究,及在生产中应用范围之广,是居领先的。国外对绿萍的其它方面研究做得较深入。近 10 年来国内外的研究发展较快^[2,3,4,13,17,18]。据田间试验测定,在早稻田插秧开始的淹水期内,每亩放养鲜重 400 斤,经 28—30 天,每亩繁殖量可达 3000—4000 斤(鲜重),相当于积累氮素 7.8—12 斤^[13]。无氮培养液的盆栽试验,平均每两天左右可增长一倍,每天每克绿萍(鲜重)可固定大气中氮素 0.69—1.42 毫克^[7]。若广泛利用水田和适宜的池塘等自然水面养殖,一年中有 7—8 个月的不断地养殖和按时分萍收获,则每亩可获 5 万斤左右的产量,是一项很可观的生物氮肥。在水稻田放养,适时压青,稻谷可获显著增产^[11]。根据浙江省 1964 年的 422 个试验结果统计,平均每亩增产稻谷 95.7 斤^[13]。还有改善土壤某些理化性状的效果,如抗压强度和容重下降、孔隙度增加、有机质增多、微团聚体有所改善、田间杂草显著减少等^[13,16]。

固氮蓝藻在稻田的光合固氮作用及其在稻田的放养利用,国内外都做了大量的研究^[18]。在我国,中国科学院水生生物研究所较早地进行了这方面的研究,取得良好的成

果^[5,6,12]。我们于 1960—1962 年进行的室内培养和田间试验表明^[8,10], 只要固氮蓝藻能够在稻田水层中大量繁殖起来, 达到“水花”状态, 是有一定的增产效果的; 不过, 在水稻田放养过程中, 常遇到水生的虫害(如轮虫、纤毛虫、线虫、摇蚊幼虫和蝌蚪等)及暴雨等影响, 产量不高且不稳定。据在连作晚稻田的放养试验, 经 20 天后的累计产量仅为每亩 605.5 ± 116.8 斤(表 1)。看来今后仍要研究解决应用技术问题。

表 1 固氮蓝藻 (*Anabaena* sp.) 在晚稻田的繁殖量 (斤/亩)
Table 1 Propagating rate of *Anabaena* in late rice field (jin/mu)

测产日期 (日/月) Date of detn. (day/month)	各 次 产 量 Weight	累 计 产 量 Cumulative wt.
7/8	66.6(接种量)	66.6
14/8	228.4±70.2	295.0±70.2
19/8	120.1±64.4	415.0±134.1
25/8	125.6±20.4	605.5±116.8

注: 以 1 平方米面积固定测区, 每次测产时捞出藻体滤去水分后称重, 放回每平方米 50 克的量继续繁殖, 其余压青入土作肥料。

Note: Measuring unit: 1 m². Green weight.

好氧的或嫌氧的或光能性的固氮细菌, 在水稻田较普遍地存在, 但在一些水稻田土壤中也有分离不到固氮菌的。主要问题不是其数量多寡, 而是固氮菌在水稻田土壤中的有效固氮性能。据一般了解, 在土壤还原层中仅在水稻根系周围(根面及根际)存在有效的固氮作用^[9], 但它的生产应用仍有待探讨。对于在水层中附在绿萍或水浮莲根系的固氮细菌, 和在表土氧化层的固氮细菌的有效固氮性, 多持肯定的态度。又如稻田套种田菁(*Sesbania cannabina* Pers.), 在淹水条件下, 根系上的共生根瘤菌可行有效的固氮作用^[1]。水浮莲本身不具生物固氮机能, 也不是在所有水稻田放养中, 其根系均附着大量的固氮菌, 如何发挥水浮莲根系上栖居的固氮菌的生产效能, 是仍待研究的。由此看来, 水稻田的固氮作用和固氮生物, 有水层的、土壤氧化层的、土壤还原层的和根际根面的不同区分。

由上述可见, 在高度复种情况下, 从丰富水稻田土壤的氮素和有机质的几种来源来看, 其中较为重要的是, 在栽种水稻的同一田块上, 放养绿萍、固氮蓝藻或水浮莲等水生绿肥, 充分发挥稻田水层的生物固氮作用和单位面积上的光合同化作用效能(放养水浮莲的作用主要是后者), 从而获得比土壤中的固氮作用更为稳定、有效和较大量的氮素及有机质。

(二) 水生绿肥在稻田水层中的同化作用可减少氮肥的损失

稻田水层中溶解有各种盐类、有机物质和气体, 其量不高但植物生长所需的各种元素几乎都能找到。就氮素而言, 一般的灌溉水, 有效氮含量很微, 约在 1—2ppm 左右, 少数在 3 ppm 左右, 而在稻田水层中的含量, 在氮肥撒施的情况下, 短期内可高达 6—8 ppm, 这些有效态氮和有机态氮以及其它盐类, 又往往可能因排水而流失, 它对水稻的有效性很微, 而对水生绿肥则是主要的养分来源。如大多数的稻田水层放养绿萍, 仅需补充磷素。又

如放养水浮莲后,不施任何肥料,在多次浅灌勤灌下,每亩可长到 3000—4000 斤或更多;据在田间测定,采用活水灌溉,入水口处水的含氮量为 1.4 ppm,当时水浮莲亩产量约为 5,000 斤,当水全田流过后,约经 1 小时,出水口处水的含氮量便降为 0.1 ppm;据试验(表 2, 3),在 1.5 寸水层中,铵态氮含量为 8 ppm,分别相当于每亩有水浮莲 1,515 斤、2,020 斤、2,525 斤和 3,000 斤的情况下,经 8—9 小时左右,这些氮素就几乎可以全部被利用掉。可见水浮莲对稻田水层易于损失掉的氮,有很强的回收利用能力,使转为有机态氮,经压青后回入土壤中。而当水层没有可利用的氮时,又能忍耐很长时间不死。这显示出它在稻田水层中,有养分收集贮存器的作用。

表 2 水浮莲对水中不同氮素的吸收

Table 2 Uptake of $\text{NH}_4\text{-N}$ by pistia stratiotes from culture solution of different $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentration (expressed as ppm N retained in solution)

$\text{NH}_4\text{-N}$ (ppm)	测 定 时 间 (时·分) Time of determination (hr. min)					
	1.00	2.00	3.00	6.00	8.00	9.30
1	0	—	—	—	—	—
1.5	0.27	0.04	0	—	—	—
2.5	1.30	0.79	0.10	0.04	0	—
6	5.13	4.98	4.20	2.28	0.77	0
8	6.80	6.80	6.18	3.25	1.27	0.07

注: 1. 本表为水培试验, 1977 年 7 月 19 日自然光照下进行, 上午 8 时开始测定; 2. 盆栽器皿为铝合金浅盆, 面积为 2640 平方厘米, 水层深度 1.5 寸; 3. 各处理均在角盆施加 300 克(折合每亩 1,515 斤)水浮莲的基础上进行; 4. 表中数字为残留于水中的浓度 ($\text{NH}_4\text{-N}$, ppm).

表 3 不同数量的水浮莲对水中氮素的吸收

Table 3 Uptake of N from culture solution as affected by different amount of pistia stratiotes*

水浮莲(克/盆) Weight of pistia stratiotes (g/pot)	测 定 时 间 (时·分) Time of determination (hr. min)					
	1.35	5.15	6.25	7.35	8.30	10.00
300	7.20	3.50	2.25	1.20	0.55	0
400	6.98	2.12	1.00	0.14	0	—
500	6.40	0.90	0.15	0.10	0	—
600	6.38	0.55	0.15	0.05	0	—

注: 1. 2. 4. 与表 2 的注相同; 3. 培养液中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的初始浓度为 8 ppm.

* Expressed as ppm of $\text{NH}_4\text{-N}$ retained in culture solution, original cultural solution: 8 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$.

根据在不同地区的水稻田放养水浮莲的测定结果,在放养后不施任何肥料的情况下,连放种量合计每亩积累的三要素养分为: 氮(N) 2.5—6.3 斤, 磷(P_2O_5) 0.5—3.9 斤, 钾(K_2O) 2.4—6.5 斤, 有机干物质 180—280 斤(表 4)。

因绿萍和水浮莲的根系密布水层和接触表土,在放养技术不当时,会吸取土壤较多的

氮素而影响稻苗的早发分蘖等。由此往往引起人们对水稻田放养绿萍和水浮莲的应用效果产生怀疑,特别是对本身不会固氮的水浮莲在稻田的放养利用,产生较强烈的反对意见。然而,只要应用技术恰当,可以避免其不良影响的一面,而发挥其有利影响的主流方面。

表 4 早稻田里养殖的水浮莲中的三要素含量

Table 4 Content of nitrogen, phosphorus and potassium of pistia stratiotes grown in early rice fields

测定项目 Items	氮 (N) Nitrogen	磷 (P ₂ O ₅) Phosphorus	钾 (K ₂ O) Potassium
占干重 % % in dry weight	1.43—2.25	0.31—1.38	1.35—2.31
折合每亩斤数 Accumulation (jin/mu)	2.57—6.34	0.5—3.89	2.43—6.51

注: 每亩鲜重量为 2,950—4,026 斤,干物重 6—7%。

Note: The yield of pistia stratiotes in fresh weight varies 2,950—4,026 jin/mu, content of dry matter in fresh plant varies 6—7%.

二、水浮莲在稻田水层的放养利用

水浮莲, 又称大藻 (*Pistia stratiotes*, L.), 原是南方的野生草本植物。于 1958 年后, 利用自然水面养殖作为青饲料, 也有直接作肥料用的。我们于 1972 年首次把它在稻田中放养作为以田养田的绿肥利用。以提供晚稻田的肥源为目的, 设计其利用方式有: (1) 在早稻田放养做晚稻田的基肥。于早稻插秧后 25 天左右, 以每亩 500—1,000 斤的水浮莲, 均匀撒于稻丛下水面, 繁殖到早稻收割后, 翻耕压青做基肥; (2) 晚稻田插秧之前放养做本田追肥。早稻收割耕耙后, 以每亩 500—1,000 斤的健壮体小的水浮莲, 均匀撒于田面水层后插秧, 繁殖 20—25 天左右, 结合中耕耘田压青; (3) 基肥与追肥连用, 即 (1) + (2) 处理。同时对水浮莲的放养期、放养量、种苗素质、压青期、水浆管理等利用技术开展试验。现扼要介绍如下。

(一) 水浮莲在早稻田有一段迅速繁殖时间

在早稻插秧后 20—25 天开始放养, 水浮莲在稻丛下处在一定遮荫与浅水层环境, 可有 20—25 天左右的高速繁殖期, 增殖量可达 2—3 倍以上, 由放种苗的 500 斤和 1,000 斤, 分别增殖到 2,000—3,000 斤和 3,000—4,700 斤。早放养的, 繁殖快产量高; 放养延迟, 产量明显下降; 放种量较多的, 本田产量较高; 放种量较少的, 繁殖倍数较高而产量较低^[5]。当稻丛完全封行后, 水浮莲基本停止增殖, 但仍保持前期的产量到早稻收割, 表现有很强的耐荫性; 仅个别试验, 主要是在亩产 800 斤以上稻谷的田中, 后期有落根落叶和少数个体死亡而降低产量的情况。后期排水对水浮莲的生长无碍, 有较强的耐旱性。

(二) 水浮莲对早稻生育无不良影响

早稻田套养水浮莲是备作晚稻基肥利用的,它对早稻生育有何影响是必须考查的。根据 1972—1978 年共 73 个田间试验材料,它对早稻生育和稻谷产量并无不良影响,如套养区早稻产量平均每亩 737 斤,对照区为 722 斤。从水稻植株的全氮含量和氮素吸收总量的观测结果也证明了这一点(表 5)。

表 5 水浮莲对早稻含氮量与吸氮总量的影响

Table 5 Effect of pistia stratiotes on the amount of nitrogen absorbed by early rice

取样时间 Time of sampling	养莲的盆中稻株 Rice planted, with pistia stratiotes		不养莲盆中的稻株 Rice planted in control		养莲的莲 Pistia stratiotes		
	N%	吸氮总量(N毫克/盆) Absorbed N (N mg/pot)	N%	吸氮总量(N毫克/盆) Absorbed N (N mg/pot)	N%	吸氮总量(N毫克/盆) Absorbed N (N mg/pot)	
孕穗期 At earing	2.80	285.3	2.71	286.5	2.35	4.2	
齐穗期 Full-ear stage	2.12	293.3	2.07	280.3	2.47	6.7	
收获时 Harvest time	草 Straw	1.26	294.1	1.16	281.7	2.80	9.6
	谷 Grain	1.83		1.78			

(三) 水浮莲亦适应在晚稻田水层繁殖

每亩放种苗 500—1,000 斤,经 20—25 天,可增殖 2 倍以上,由 500 斤增到 1,600—2,400 斤(平均 1,850 斤),由 1,000 斤长到 2,500—3,500 斤(平均 3,000 斤)。作本田追肥利用,不应在晚稻田养殖时间过长;若作下季冬作物基肥利用的,一直养殖到晚稻收割,其产量可进一步提高。在多年的试验和较大面积的示范推广中,均没有发生虫害、热害,表

表 6 水浮莲种苗壮弱与繁殖量和养分含量的关系

Table 6 Effect of vigor of pistia stratiotes on propagating amount and nutrient content

种苗来源 Source of seedling	放种苗量(斤/亩) Amount of seedling (jin/mu)	繁殖量(斤/亩) Propagating amount (jin/mu)	增殖率(%) Multiplication rate	养分含量 Nutrient content	
				N (%)	P ₂ O ₅ (%)
瘦塘 Lean pond	400	420	5.0	1.63	0.31
	750	670	-10.7		
肥水塘 Fat pond	400	1,910	343.2	2.96	0.72
	750	2,400	220.0		

注: 试验地点: 诸暨县红门公社上水阁大队科技组, 丘陵地区黄泥田, 8 月 3 日放养, 8 月 26 日测产, 共养 22 天。

Note: Duration of propagation: 22 days.

现出水浮莲有较强的抗虫抗热性能。但是,要特别注意水浮莲种苗的素质,它与繁殖量关系很大。利用短期空闲田面(如在未播种前的秧田)养殖,施足肥料及加强管理,则种苗壮健、色绿、体小、根短、分枝多,适于在稻田放养。但在池塘放养的种苗,此时多半不适宜在晚稻田放养利用,肥水池塘养殖的较好一些(表6)。若是体大、叶黄、根长、老弱的水浮莲,放养后不仅长时间不会增殖,而且会吸取土壤中较多的养分,明显抑制稻苗的生育,因而不能作套养利用。

(四) 水浮莲的不同利用方式对晚稻均有一定的增产效果

据 19 个田间试验结果,在早稻田套养做晚稻基肥利用的,平均每亩增产稻谷 63.2 斤,增产率为 12.9%;在晚稻田套养作本田追肥利用的,平均每亩增产 55.1 斤,增产率 9.9%;基肥与追肥连用的,平均每亩增产 103 斤,增产率 20.6%,以上 t 值统计均达最显著性水准。增产的高低,除与利用方式不同有关,还与养殖利用的技术有密切的关系,如适时早放养及放足种苗的、品质好的,则水浮莲的产量较高,增产稻谷也较高;掌握好水肥管理,合理的调节土壤的肥、气状况和水稻栽培技术的,增产较高;适时压青利用,供肥配合水稻需求的,增产较高等等。

参 考 文 献

- [1] 广东农学院土化系 73 级工农兵学员, 1975: 淹水对田菁根瘤菌固氮作用的影响。植物学报,第17卷 4 期,320—322 页。
- [2] 广东师范学院生物系固氮生物研究组, 1976: 红萍的解剖和组织分化。广东师范学院学报(自然科学版),第 2 期,1—16 页。
- [3] 广东师范学院生物系固氮生物研究组, 1977: 红萍的孢子果和有性繁殖。广东师范学院学报(自然科学版),第 1 期,119—134 页。
- [4] 广东师范学院生物系固氮生物研究组, 1978: 红萍—鱼腥藻的超微结构与功能。华南师范学院学报(自然科学版),第 1 期,93—111 页。
- [5] 中国科学院水生生物研究所蓝藻应用组, 1977: 固氮蓝藻对培育水稻壮秧的作用。植物学报,第 19 卷 2 期,132—137 页。
- [6] 中国科学院水生生物研究所第五室藻类实验生态组等, 1978: 双季稻田大面积放养固氮蓝藻的试验。水生生物集刊,第 6 卷 3 期,299—310 页。
- [7] 叶利水、利卓荣、俞林火, 1964: 满江红不同品种的增殖速度及其固氮量的初步测定。浙江农业科学,第 7 期,340—344 页。
- [8] 利卓荣, 1962: 固氮蓝藻、红萍在稻田的固氮作用。中国农业科学,第 12 期,42—44 页。
- [9] 利卓荣, 1962: 水稻田的氮素循环特性与农业技术措施的关系。土壤通报,第 5 期,57—60 页。
- [10] 利卓荣、魏孝孚, 1963: 固氮蓝藻的室内培养试验。生物学通报,第 3 期,16—17 页。
- [11] 利卓荣、叶利水、俞林火, 1964: 分次压青倒萍提高稻田养殖满江红肥效的初步试验。浙江农业科学,第 5 期,243—247 页。
- [12] 何天福、梁畅文, 1978: 固氮蓝藻作双季晚稻肥源的试验。湖北省农业科学,第 6 期,13—15 页。
- [13] 浙江省农业科学院土壤肥料研究所, 1975: 绿萍的养殖与利用。农业出版社,北京。
- [14] 浙江省农业科学院土肥所水生绿肥组, 1975: 稻田套养水浮莲作连作晚稻肥料试验。浙江农业科学,第 3 期,47—49 页。
- [15] 浙江省农业科学院土肥所水生绿肥组, 1976: 早稻田套养水浮莲作连作晚稻基肥试验。浙江农业科学,第 3 期,46—50 页。
- [16] 施书莲、程励励、林心雄、束中立、文启孝, 1978: 绿萍的增产和改土作用。土壤学报,第15卷 1 期,54—59 页。
- [17] Moore, A. W., 1969: Azolla: Biology and agronomic significance. Botanical Review, 35 (1): 17—34.
- [18] International Rice Research Institute, 1978: "Nitrogen and Rice" Symposium—Heterotrophic nitrogen fixation in rice soils. Nitrogen fixation by algae, azolla and its utilization for rice production, 18—21, September.

- [19] Yoshida, T., Sabel, R. and Ancajas, R., 1973: Nitrogen-fixing activity in upland and flooded rice fields. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37(1):42—46.

NITROGEN CYCLE IN WATER LAYER OF PADDY FIELD AS AFFECTED BY THE PLANTATION OF AQUATIC PLANTS

Li Zhuo-sang, Chen De-fu, Zu Shou-xian, Shen Dong-lian and Yu Lin-huo
(*Institute of Soils and Fertilizers, Zhejiang Academy of Agricultural Science*)

Summary

A review on the effect of the plantation of aquatic plants on rice yield conducted by the authors in recent years is given. It is considered that the nitrogen cycle in the water layer is closely related to the nitrogen cycle in the underlying soil layer, and the plantation of aquatic plants in rice field showed beneficial effects on the nitrogen economy for rice growth. Another aquatic plant, *pistia stratiotes*, although does not possess the ability of fixing nitrogen from the atmosphere, reduced the loss of nitrogen brought in through irrigation water and fertilizers, and diffused from the underlying soil. The latter effect is quite important in decreasing the loss of fertilizer nitrogen.

Some discussions on the methods of plantation and utilization of *pistia stratiotes* are also briefly given.

In the case while *pistia stratiotes* were planted at the growing period of early rice and then ploughed-under as the basal dressing for the late rice, the increase in grain yield of the latter averaged 13% without markedly affecting the yield of early rice. *Pistia stratiotes* may be planted in late rice field and then used as a top-dressing green manure.