

绿萍对太湖地区稻田氮磷及水绵生长的影响^①

蒋云芳^{1,2}, 田玉华¹, 尹斌^{1*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用田间小区试验, 研究了放养绿萍后对稻田水绵生长及田面水中N和P浓度变化的影响。在相同施肥水平下, 绿萍处理的田面水中全N与NH₄⁺-N浓度均低于无绿萍的处理。在分蘖期绿萍可调节土水中P的吸收与释放, 减少了P肥损失的风险。此外, 研究还发现施肥后的一段时间内, 绿萍处理的田面水中叶绿素浓度变化较小, 在 20~45 mg/m³ 之间, 而不施绿萍处理的田面水中叶绿素浓度逐渐增加, 3~5 天后浓度就远远大于绿萍处理, 达到了 85 mg/m³, 说明绿萍生长可有效抑制藻类的爆发。

关键词: 绿萍; 水绵; 叶绿素; 磷; 氮

中图分类号: S142^{+.5}; S143.1

近年来, 在水稻生产中, 由于氮(N)、磷(P)肥料的大量施用, 使得水稻田中的水绵大量繁殖, 已成为一种普遍的现象, 这对农田生态系统产生了较大的影响。水绵是我国水稻田中的主要藻类之一, 当覆盖率达到 50% 时, 水稻田的水温比无水绵的稻田要低 2℃~3℃, 导致水稻分蘖缓慢、迟发, 分蘖数量下降, 同时水绵还与水稻争夺养分^[1-2], 并且在水稻成熟后, 大量老化的水绵结在水稻根部, 形成很厚的絮状层, 影响水稻的收割。绿萍亦称“红萍”、“满江红”, 属蕨类植物, 满江红科, 根丛生。植物体小, 呈三角形, 漂浮于水面, 叶小型, 肉质, 排列成两行, 春季绿色, 秋后叶色变红, 生于水田或湖沼中, 我国东南和西南部均普遍分布。绿萍也是一种水生绿肥, 具有固N(通过体内共生蓝藻的作用)及繁殖力强的特性, 绿萍生成的土壤有机质较多, 因此, 它具有改良土壤肥力的作用, 并能提高水稻的产量^[3]。绿萍能抑制藻类繁殖引起的稻田田面水pH的上升, 有效减少稻田氨挥发损失, 还能抑制杂草生长^[4-8]。已有温室实验表明, 绿萍覆盖水稻田的表层能减少N的流失, 提高N的利用率^[9-10]。本研究旨在研究放养绿萍以控制水稻田中水绵的生长, 以此减少N、P的损失, 且不带来新的环境污染。而在稻田中利用生物的方法抑制水绵生长和减少N、P流失的研究还难以查找, 而采用杀藻剂, 如硫酸铜等抑制水绵的方法又会带来二次污染^[11]。通过

本研究也为稻田土壤的肥力保持和对生态环境友好的可持续利用等方面提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本试验于 2008 年稻季在中科院常熟农业生态试验站上进行。站区所在地属亚热带中部湿润季风气候。年平均气温 15.5℃, ≥10℃ 的有效积温为 4 933.7℃, 年降雨量 1 038 mm, 年日照 2 230 h, 年平均太阳总辐射量 4.94 × 10⁵ J/cm², 无霜期 242 天。站区地形属阳澄湖低洼湖荡平原, 海拔 1.3 m。供试土壤为湖积物上发育的潜育型水稻土(乌栅土), 其 0~15 cm 土壤的基本养分状况为: pH值(水土比为 2.5:1)7.36、全C 20.0 g/kg、全N 1.79 g/kg、全P 0.91 g/kg、全K 18.6 g/kg、速效P 33.7 mg/kg、速效K 106.0 mg/kg。

1.2 试验方案

供试水稻品种为武育粳 2394, 于 2008 年 6 月 21 日插秧, 在 6 月 24 日施肥。为了保证绿萍的有效生长及采样等方面的需要, 以直径 40 cm 的微区筒作为一特定的试验区域。本试验设置 3 个处理, 分别为不施肥处理(对照, 即不施N、P、K), 不施绿萍处理(施N量为 255 kg/hm²), 施加绿萍处理(施N量为 255 kg/hm² + 绿萍), 各处理 3 次重复。绿萍采自萍母塘, 在基肥施用前一天施入微区筒内, 绿萍施入量为 170

①基金项目: 国家自然科学基金项目(40571077)和国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA10Z418)资助。

* 通讯作者(byin@issas.ac.cn)

作者简介: 蒋云芳(1983—), 女, 江苏宜兴人, 硕士研究生, 主要从事氮素植物营养和环境研究。E-mail: yfjiang@issas.ac.cn

kg/hm²[3]。各施肥处理的施P量 (P₂O₅) 为 90 kg/hm², 施K量 (K₂O) 为 90 kg/hm², 其中, P肥为过磷酸钙 (含 P₂O₅ 14%), K肥为氯化钾 (含K₂O 60%), P、K肥作基肥一次性施入。N肥是尿素, 分基肥、分蘖肥、穗肥 3 次施入, 其比例为 4:3:3。3 次施肥的时间分别为 6 月 24 日、7 月 6 日和 8 月 7 日。

1.3 采样及测定

傍晚施肥, 于次日起, 每天 8:00 左右定时采集田面水样品。因为早上 8:00 左右, 藻类光合作用所引起的采样误差较小, 样品取好后带回实验室, 过滤后分析, 总N采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定, NH₄⁺-N采用靛酚蓝比色法测定, NO₃⁻-N采用紫外分光光度法测定, 总P采用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法测定 [12], 藻类现存量采用叶绿素测定法 [13]。

2 结果与讨论

2.1 绿萍处理对总磷的影响

图 1 为水溶性P肥作为基肥施入稻田后的浓度动态变化, 从图中可看出, 施加P肥后, 两种处理田面水中的总P浓度均快速下降。不施绿萍处理总P浓度在 4~5 天后降至稳定, 浓度低于 1 mg/L。这是因为P在施入稻田后, 大部分P被土壤吸附固定所致。施加绿萍处理在 4~5 天后的总P浓度并没有降至低于 1 mg/L, 而是维持在 1~3 mg/L之间。其原因可能是 4~5 天后绝大部分的P已经被土壤所吸附, 绿萍的生长活化了土壤中的一部分固定态P。已有研究表明, 绿萍能提高土壤中P的有效性 [14-17], 还能促进水稻植株对P的吸收 [16]。水稻对P的吸收, 在全生育期都表现为一种相对平稳的状态, 前、中、后期吸收量差异不大; 但吸收量最多的时期仍然是分蘖至穗分化。第一次追肥期间正是水稻吸收P最多的时候, 这时绿萍处理活化的这部分P就能保证水稻对P的需求。有利于水稻的生长发育, 同时也提高了P的有效利用率。在第二次追肥期间, 绿萍处理与不施绿萍处理总P的含量均低于 0.5 mg/L, 说明在水稻生长中后期, 绿萍处理田面水的总P含量很低, 因此与无绿萍对照相比, 不会增加水体中P的流失。

2.2 绿萍处理对 pH 的影响

由图 2 可以看出, 3 个处理之间的pH差异不大, 在 3 次施肥期间都如此。这可能和取样时间有关, 试验定在每天早上 8:00 取样, 经过一夜的生理活动变化,

早上 8 点时绿萍和藻类都处于一个生理活动迟缓期, 相应的土水pH值差异就很小。而定在这时进行取样分析, 更能看出绿萍生长在NH₄⁺-N和全N等方面带来实质性的差异。

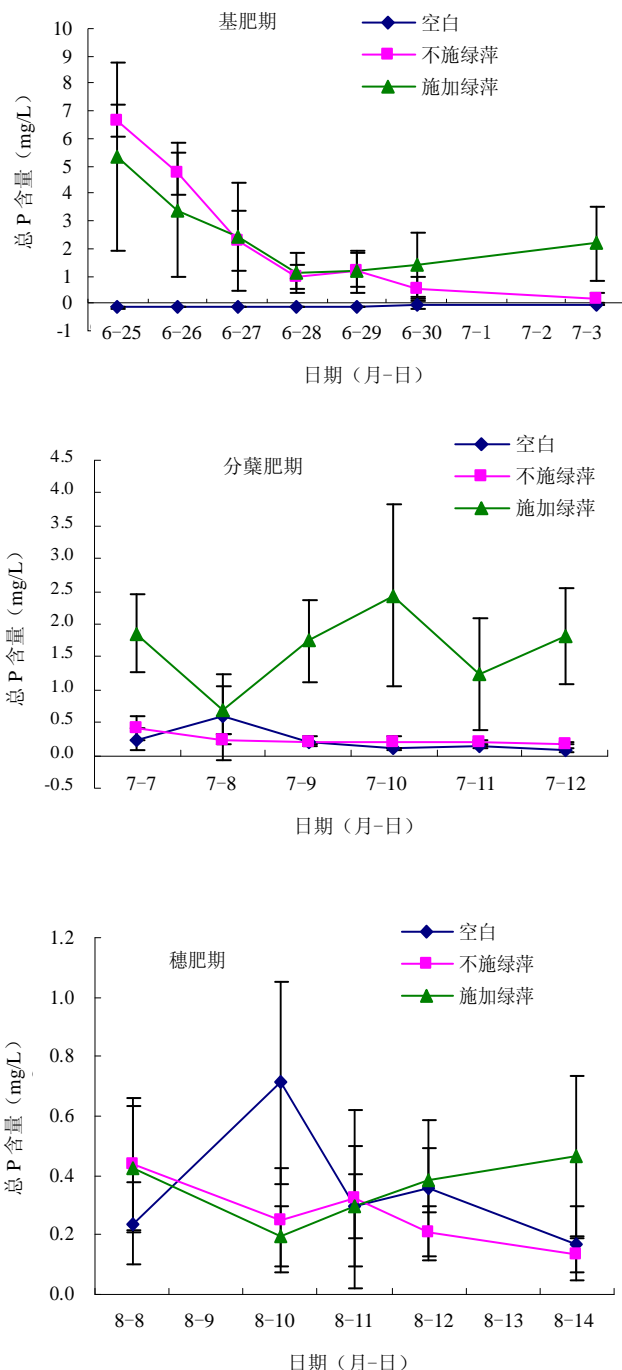
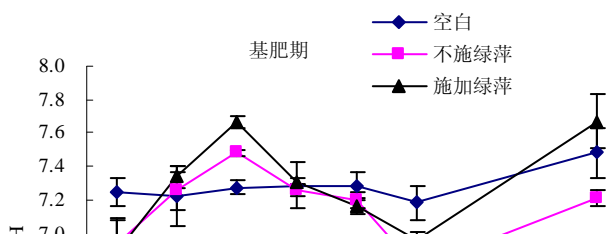


图 1 2008 年稻田田面水总 P 浓度动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of TP concentration in surface water of paddy field in 2008



水稻生长旺盛, 植株健壮, 田面水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 大部分被水稻吸收, 因此, 施加绿萍与不施绿萍差异不明显。通常基肥和分蘖肥施肥间隔短, 施肥量又是总施肥量的 70%^[18], 又秧苗处于幼苗期, 吸收养分少, 所以此时田面水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度很高, 易产生氨挥发等损失; 如遇大雨, 则加大了N素的径流流失^[19]。施加绿萍处理降低了水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度, 减小了N素气态和径流损失的风险。

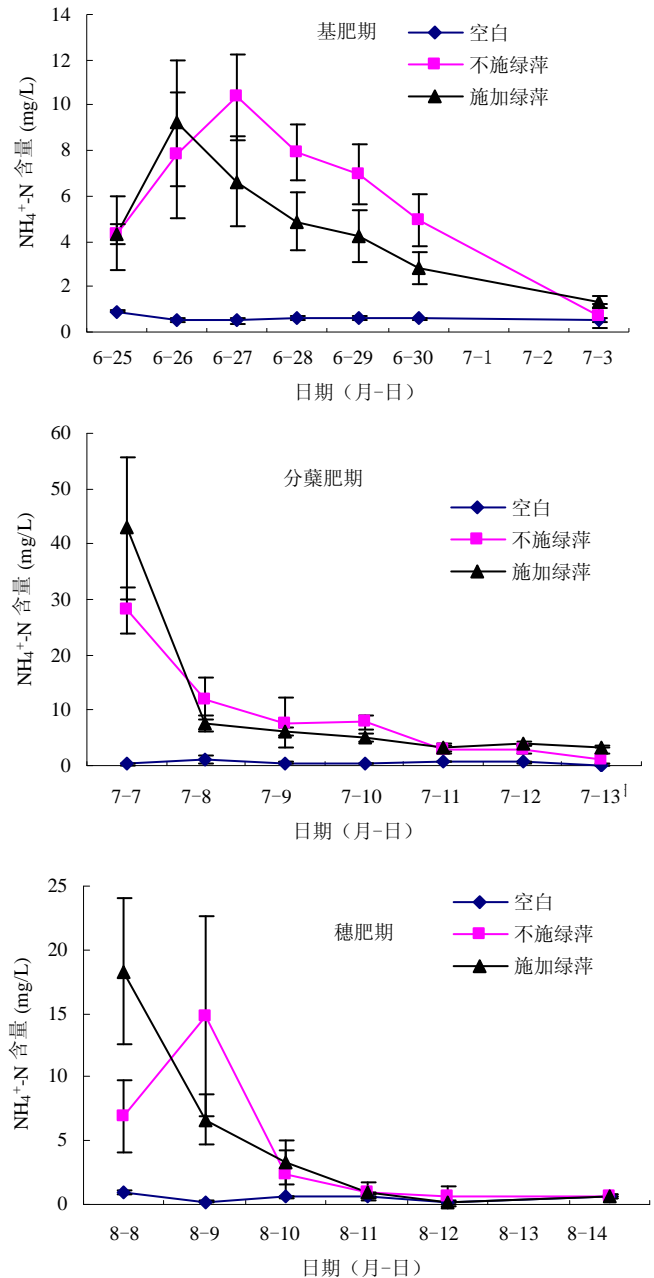


图 2 绿萍处理对稻田田面水 pH 的影响

Fig. 2 Effect of Azolla application on pH of surface water of paddy field

2.3 绿萍处理对铵态氮的影响

图 3 中显示了 3 次施肥期间施加绿萍对田面水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 变化的影响。在基肥期, 绿萍处理 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度在第 2 天就达到峰值, 随后浓度迅速下降。不施绿萍处理在第 3 天达到峰值, 随后浓度迅速下降。在基肥与分蘖肥期不施绿萍处理的田面水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度高于绿萍处理。可能是因为绿萍处理施加了绿萍, 而绿萍吸收了部分 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 导致田面水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度低于不施绿萍处理。穗肥期间, 不施绿萍处理与绿萍处理之间的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度差异不明显, 可能是因为穗肥期

图 3 绿萍处理对稻田田面水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的影响

Fig. 3 Effect of Azolla application on $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration in surface water of paddy field

2.4 绿萍处理对全氮的影响

比较图3和图4可看出,各处理的全N浓度变化与相应的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度变化基本一致,不施绿萍处理的田面水N浓度要高于绿萍处理,尤其是在基肥期,浓度差异很大,田面水中的N浓度越高,这就意味着N素流失进入环境的可能性越大,环境污染的风险就越高。目前太湖水已经达到了富营养化的程度,化肥的大量使用导致了一系列不良的环境反应,造成N、P、K等营养物质大量进入湖泊、河口和海湾等缓流水体^[20]。农田中N的流失是引起水体富营养化的重要原因

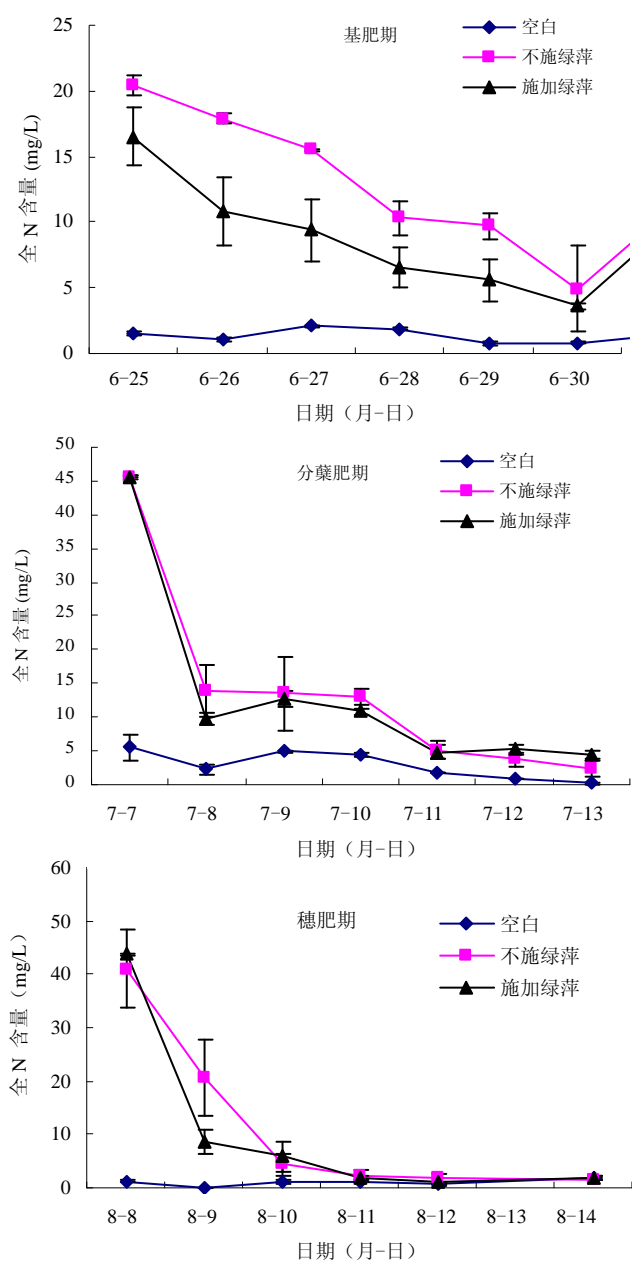


图4 绿萍处理对稻田田面水全N浓度的影响

Fig. 4 Effect of Azolla application on TN concentration in surface water of paddy field

控制好农田中N、P的流失。本试验中,在相同的施N水平下(255 kg/hm²),不施绿萍处理的田面水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、总N浓度明显高于绿萍处理,说明施加绿萍处理可有效降低田面水中无机N的浓度,从而降低了N素向环境流失的可能性。

2.5 绿萍处理对水绵生长的影响

由于基肥和分蘖肥期间水绵生长还不明显。所以水绵的测定试验在第3次施肥期间才进行。在8月下旬,由于水绵生长已进入稳定期,稻田进入干湿交替期,几乎采集不到水样,所以试验在8月下旬停止,直接在收获期观测绿萍与水绵的生长情况。由图5可知,绿萍处理的田面水中叶绿素浓度变化较小,含量在20~45 mg/m³之间,8月16日叶绿素a含量偏低,可能是因为14日、15日连下了2天暴雨,稀释了水样,导致测定时叶绿素浓度值偏小。不施绿萍处理在施肥后,叶绿素浓度逐渐升高,在一周后达到一个高位水平(85 mg/m³)。已有研究表明^[22],水绵生长约一周后达到高峰,之后一直维持在一定水平内。这可能是因为绿萍生长吸收了部分养分,可供水绵吸收的养分就相对少了;另外绿萍生长在水层表面,抑制了水绵的光合作用,并与水绵竞争氧气、二氧化碳等,绿萍的生长改变了土-水界面的物理、化学性质,不利于水绵的生长。从图6的两幅图片可以明显地看到,左图中绿萍大片覆盖地表,只生长了少量水绵,右图中水绵大量生长并覆盖了整个地表。从图中可以发现绿萍对水绵的生长确实起到了一定的抑制作用。

3 结论

(1) 施加绿萍处理,绿萍吸收了部分可溶性P,导致施肥后前2天田面水中的总P浓度较低,降低了施肥初期P随径流流失的可能性。一周后,绿萍处理田面水中的总P浓度维持在1~3 mg/L,不施绿萍处理的总P浓度低于1 mg/L,可能是绿萍的生长活化了土壤中的部分固定态P,这样可以给水稻分蘖提供足够的P,有利于水稻的生长,提高了P的利用率。在水稻生长中后期,绿萍处理田面水的总P含量很低,因此与无绿萍对照相比,不会增加水体中P的流失。

(2) 绿萍吸收部分 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,降低了田面水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和总N的浓度,降低了N肥流失的可能性。

(3) 烤田后进行第3次施肥,在这期间,绿萍处理下的田面水中叶绿素浓度维持在20~45 mg/m³,但是不施绿萍处理在施肥一周后叶绿素浓度急剧升高,并远大于绿萍处理,在一周后达到85 mg/m³,约绿萍

^[21]。要阻止太湖水继续恶化,就得从污染源头出发,

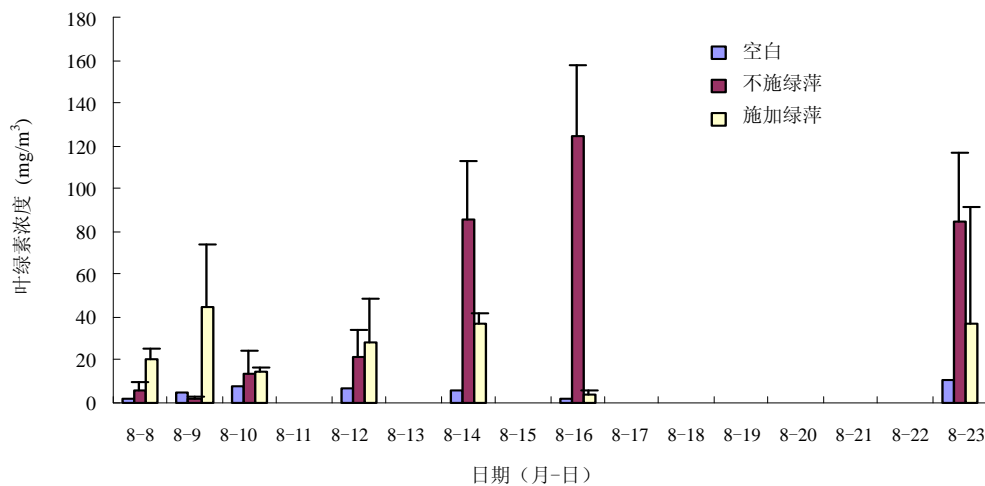


图 5 绿萍处理对稻田田面水叶绿素浓度的影响

Fig. 5 Effect of Azolla application on the concentration of chlorophyll in surface water of paddy field



图 6 收获期施加绿萍 (左) 与不施绿萍 (右) 处理

Fig. 6 Comparison between Azolla(left) and without-Azolla(right) treatments at harvest stage

处理的 2 倍，并一直维持在一个高位水平。从收获期的图片可以清楚的看到，绿萍有效地抑制了稻田中水绵的生长。要准确综合评价绿萍对水绵的影响，还需要进行更系统、更深入的研究，我们将在以后的试验中进一步探索。

参考文献:

- [1] 胡金忠, 孙季伟, 吕永定, 杨万勇. 稻田水绵发生、消长与防治技术. 垦殖与稻作, 2000(3): 31-32
- [2] 刘春学, 李华臣. 稻田水绵的发生和防治. 垦殖与稻作, 2005(2): 40-41
- [3] 施书莲, 程励励, 林心雄, 束中立, 文启孝. 绿萍的增产和改土作用. 土壤学报, 1978, 15(1): 54-59
- [4] de Macale MAR, Vlek PLG. The role of Azolla cover in improving the nitrogen use efficiency of lowland rice. Plant and soil, 2004, 263(1/2): 311-321
- [5] Vlek PLG, Fugger W, Biker U. The fate of fertilizer N under Azolla in wetland rice // Proceedings of the 2nd ESA Congress. Warwick, UK: Warwick University, 1992: 376-377
- [6] Vlek PLG, Diakite MY, Mueller H. The role of Azolla in curbing ammonia volatilization from flooded rice systems. Fert. Res., 1995, 42: 165-174
- [7] Kumarasinghe KS, Eskew DL. Isotopic Studies of Azolla and Nitrogen Fertilization of Rice. New York, LLC: Springer-Verlag, 1993: 145
- [8] Sisworo EL, Rasjid H, Sisworo WH, Wemay J, Haryanto. Use of ^{15}N to determine the N-balance of Azolla-N and urea-N applied to wetland rice // Nuclear Methods in Soil-Plant Aspects of

- Sustainable Agriculture. Vienna: IAEA -TECDOC-785, 1995, 155-162
- [9] Villeags GG, San Valentin GO. Effect of Azolla cover on nitrogen and rice in flooded Maahas clay // Azolla: Its Culture, Management and Utilization in the Philippines. Los Banos, Philippines: National Azolla Action Program, 1989: 65-90
- [10] Cisse M. Impact of Azolla on urea-N cycling in flooded rice in comparison to and in combination with fertilizer placement, application of potassium chloride (KCl) and Biocides (Doctoral dissertation). Germany: Universität Göttingen, 2000
- [11] 金素荣, 倪忠宝. 稻田水绵防治. 植物医院, 2007(6): 47
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 129-136
- [13] 黄祥飞, 陈伟民, 蔡启铭. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1999: 77-79
- [14] Singh PK, Panigrahi BC, Satapathy KB. Comparative efficiency of Azolla, blue-green algae and other organic manures in relation to N and P availability in a flooded rice soil. Plant Soil, 1981, 62: 35-44
- [15] Saha KC, Panigrahi BC, Singh PK. Blue-green algae or Azolla additions on the nitrogen and phosphorus avail-ability and redox potential of a flooded rice soil. Soil Biol. Biochem., 1982, 14: 23-26
- [16] Singh AL, Singh PK. Influence of Azolla management on the growth, yield of rice and soil fertility. II. N and P contents of plants and soil. Plant Soil, 1987, 102: 49-54
- [17] Nagarajah S, Neue HU, Alberto MCR. Effect of Sesbania, Azolla and rice straw incorporation on the kinetics of NH_4^+ , K, Fe, Mn, Zn and P in some flooded rice soils. Plant Soil, 1989, 116: 37-48
- [18] 苏成国, 尹斌, 朱兆良. 稻田氮肥的氮挥发损失与稻季大气氮的湿沉降. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1 884-1 888
- [19] 田玉华, 贺发云, 尹斌, 朱兆良. 不同氮磷配合下稻田田面水的氮磷动态变化研究. 土壤, 2006, 38(6): 727-733
- [20] 曹志洪, 林先贵. 太湖流域土-水间的物质交换与水环境质量. 北京: 科学出版社, 2006: 44
- [21] 司有斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化. 土壤, 2000, 32(4): 188-193
- [22] 铁文霞. 稻田藻类生长及其对农田氮挥发和氮磷积累的影响 (硕士学位论文). 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2008: 32-33

Effects of Azolla on Nitrogen, Phosphorous and Growth of *Spirogyra* sp. in Flooded Paddy Field in Taihu Aera

JIANG Yun-fang^{1,2}, TIAN Yu-hua¹, YIN Bin¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In this paper the effects of Azolla inoculation on the growth of *Spirogyra* sp. and the variation in concentrations of nitrogen and phosphorus in flood-water in paddy field were studied by a field experiment. Under the same level of fertilization, the concentrations of total nitrogen and ammonium nitrogen in flood-water with Azolla application were less than those without Azolla application. During the tillering stage, the assimilation and release of phosphorous in soil-water could be modulated with Azolla application, which reduced the risk of phosphorous loss. In addition, chlorophyll content in flood-water with Azolla application changed little, ranging from 20 mg/m³ to 45 mg/m³, in contrast, chlorophyll content without Azolla application increased gradually and was much higher than with Azolla application after 3 to 5 days, up to 85 mg/m³, indicating that the development of Azolla could inhibit algal bloom.

Key words: Azolla, *Spirogyra*, Chlorophyll-a, Phosphorus, Nitrogen