

长期试验的水稻土上藻类培养生长状况的研究^①

铁文霞^{1,2}, 贺发云¹, 田玉华¹, 尹斌^{1*}, 朱兆良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)

Study of Algae Growth in Long-Term Site-specific Experiment Paddy Soils Under Incubation Chamber

TIE Wen-xia^{1,2}, HE Fa-yun¹, TIAN Yu-hua¹, YIN Bin¹, ZHU Zhao-liang¹

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

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

摘要: 利用 25 年定位试验获得的具有不同肥力的水稻土, 进行藻类生长的室内培养试验。结果表明: 不施肥的条件下, 在不同肥力的水稻土上, 藻类生长的生物量, 以叶绿素 a 含量表征, 有着明显的差异, 在长期施用 NPK+OM 处理的水稻土上, 藻类的生长状况最好, 其藻类平均叶绿素含量为 1.08 $\mu\text{g/g}$, 而在长期不施肥的对照水稻土上, 藻类的生长状况最差, 其藻类平均叶绿素含量仅为 0.12 $\mu\text{g/g}$ 。试验显示, 藻类的生物量与所试土壤的碱解 N、速效 P 与全 P 等养分含量呈正相关关系。这为稻田生态系统中藻类生长及其环境效应的研究等提供了试验依据。

关键词: 水稻土; 藻类; 叶绿素 a

中图分类号: S154.2; S365

藻类是地球上最重要的初级生产者^[1], 其生长主要受光照、温度和营养物质的影响^[2-4]。研究发现水体中的营养物质水平与浮游藻类的数量密切相关^[4]。对于土壤肥力与藻类生长的关系以往的研究多重于藻类对土壤肥力的影响^[5-11], 而有关土壤肥力对藻类生长影响则研究较少, 因为农田土壤中积累的养分对藻类生长的影响还没有引起人们的重视, 而在水稻田中出现大量藻类的爆发, 直到水稻收获时还大量积累的现象只是近几年发生的事, 到了旱季也没有藻类的出现。所以至今还没有文献系统地研究过稻田土壤本身积累的养分对藻类生长及其累积的影响, 为了阐明土壤累积的养分对水稻田中出现大量藻类爆发的影响程度等问题, 本文选择经过 25 年长期不同施肥的定位试验中采集的水稻土, 进行室内培养试验, 试图探讨不同肥力的土壤对藻类的生长有着何等的影响, 以期对稻田生态系统中藻类生长状况及其影响因素的研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自江西红壤地区连续 25 年长期定位施肥的水稻田试验地, 土壤类型为第四纪红黏土发育的水稻土。定位试验共 5 个处理: 不施肥(CK)、2NPK、NPK、有机无机配施(NPK+OM)、NP, 施肥量按各处理的要求每季施 N 180 kg/hm^2 、 P_2O_5 90 kg/hm^2 、 K_2O 150 kg/hm^2 , 有机肥为猪粪或牛粪 4 500 kg/hm^2 。其土壤基本理化性状如表 1。

1.2 试验方案

以上述长期定位肥料试验形成的不同肥力的水稻土为 5 个处理, 每个处理重复 4 次。将供试土壤风干、磨碎, 过 2 mm 筛, 每个处理 25 g, 装入 200 ml 玻璃广口瓶中。每瓶加入 75 ml 蒸馏水, 搅拌均匀, 静置后将广口瓶转移到人工气候箱开始培养, 设置光照时间为 12 h, 光照强度为 17 000 lux, 箱内温度白天设为

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)项目(2006AA10Z418)资助。

* 通讯作者(byin@issas.ac.cn)

作者简介: 铁文霞(1981—), 女, 山东人, 硕士研究生, 主要从事氮素植物营养和环境研究。E-mail: twx@issas.ac.cn

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）（2006AA10Z418）资助。

* 通讯作者（byin@issas.ac.cn）

作者简介：铁文霞（1981—），女，山东人，硕士研究生，主要从事氮素植物营养和环境研究。E-mail: twx@issas.ac.cn

表 1 土壤养分性质比较

处理	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	有机质 (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	pH (H ₂ O)
CK	2.01	0.53	30.5	66.86	7.06	32.68	5.06
2NPK	2.07	0.98	31.2	81.35	61.06	53.64	5.05
NPK	2.11	0.67	33.0	75.22	21.08	51.98	4.89
NPK + OM	2.85	1.11	54.1	85.25	82.54	65.20	4.96
NP	2.15	0.69	32.6	73.96	21.95	50.57	4.97

28℃，晚上为 20℃，相对湿度为 60%。在各处理中选一组测 pH 和温度，分别在第 2、5、7、9、11、14、17、21、25、29、33 天测定，同时测藻类生物量，藻类生物量以叶绿素含量表征（随机从每个处理中取 4 个作为重复测定），取样为破坏性取样，经过 33 天培养后，测土壤总 N。试验期间定时添加蒸馏水，保持水层厚度不变。

1.2 试验方案

以上述长期定位肥料试验形成的不同肥力的水稻土为 5 个处理，每个处理重复 4 次。将供试土壤风干、磨碎，过 2 mm 筛，每个处理 25 g，装入 200 ml 玻璃广口瓶中。每瓶加入 75 ml 蒸馏水，搅拌均匀，静置后将广口瓶转移到人工气候箱开始培养，设置光照时间为 12 h，光照强度为 17 000 lux，箱内温度白天设为 28℃，晚上为 20℃，相对湿度为 60%。在各处理中选一组测 pH 和温度，分别在第 2、5、7、9、11、14、17、21、25、29、33 天测定，同时测藻类生物量，藻类生物量以叶绿素含量表征（随机从每个处理中取 4 个作为重复测定），取样为破坏性取样，经过 33 天培养后，测土壤总 N。试验期间定时添加蒸馏水，保持水层厚度不变。

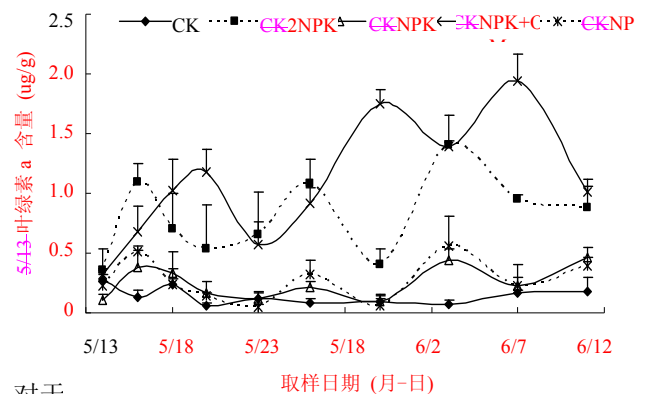
1.3 测定方法

pH: pH 计测定；温度：便携式数字测温仪；藻叶绿素含量：用紫外-可见分光光度计测定^[12]；土壤碱解 N、全 N、全 P、速效 P、速效 K、有机质等分析测定参照土壤农用化学分析方法^[13]进行。

2 结果与讨论

2.1 不同肥力水稻土对藻类生长的影响

2.1.1 室内培养条件下不同肥力水稻土上藻类的生长情况 在培养的前几天藻类生长缓慢，培养一段时间后藻类开始出现（图 1），不同肥力土壤上藻类生物量动态变化规律不太一致，但总的趋势是藻类生物量随培养时间逐渐增加。波浪式上升。这是因为藻类



对于不同的处理，其生物量也随着培养时间的增加而逐渐升高，不过每次峰出现的时间都比 NPK + OM 处理对应的峰有所提前，且峰值没有 NPK + OM 处理的高，已有研究表明，土壤有机质不仅是作物生长所需各种营养元素的重要来源，也是维持土壤结构、微生物活动的重要物质^[15]，NPK + OM 处理是长期施用有机无机配比试验的土壤，其有机质的营养物质含量明显高于其他处理（表 1），且有机养分缓慢释放，N、P 能持续地满足藻类对营养的需要，因而藻类生长较好，衰亡较慢。这才出现了图 1 的藻类生物量随时间波浪式增加的现象。

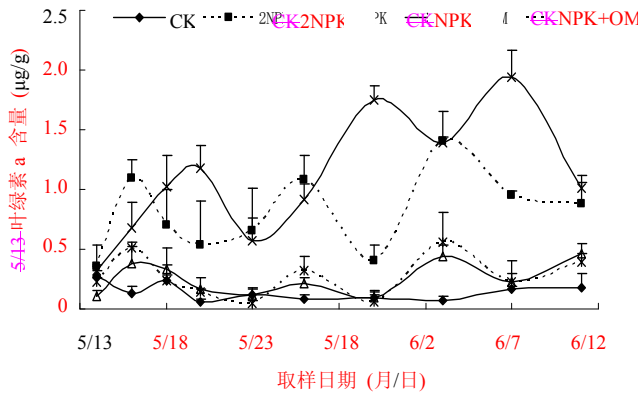


图 1 不同肥力土壤藻类生长的动态变化

2.1.2 藻类生长量与水稻土中养分的相关情况

为了阐明藻类生长与土壤 N、P 养分的关系，对 5 个不同处理培育 33 天后的藻类平均生物量与土壤 N、P 养分进行了相关性分析(图 2)。从图 2 分析的结果可看出，在 5 个供试土样培养 33 天后藻类的平均生物量与土壤全 P 及速效 P 含量都呈极显著的线性正相关，相关系数分别达 0.976 和 0.994；与土壤碱解 N 含量呈显著的相关性；而与土壤全 N 含量则呈显著二次曲线型相关。因为在含有不同营养组分的土壤中，藻类的生长状况是不会一样的，肥沃土壤上藻类的生物量大于贫瘠土壤。不同肥力的土壤形成不同的土壤微生物种群结构，藻类与肥沃土壤是有特殊关系的^[16]。本试验也表明，在没有外加营养的条件下，土壤中的速效 P、碱解 N、全 P、全 N 对藻类生长的影响最明显，而当土壤中的 N、P 含量都达到藻类生长的临界值后，P 含量则是影响藻类生长的最主要的控制因素^[17]。

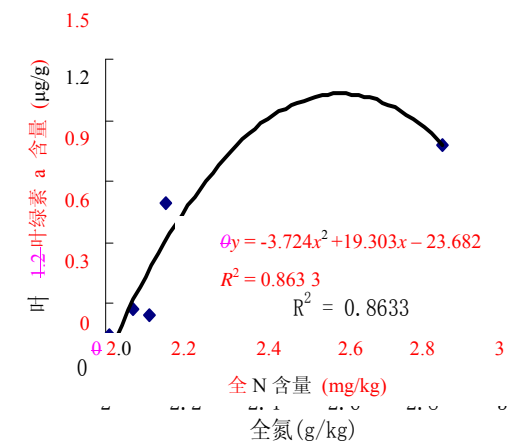
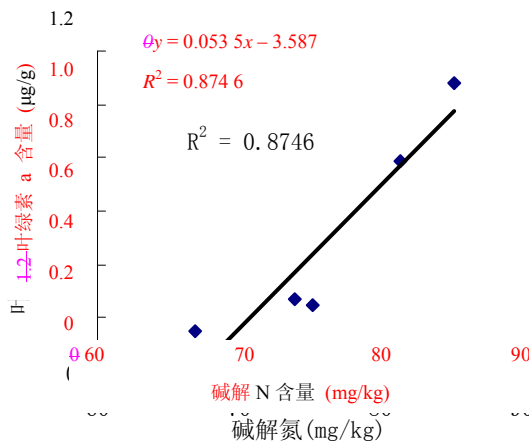
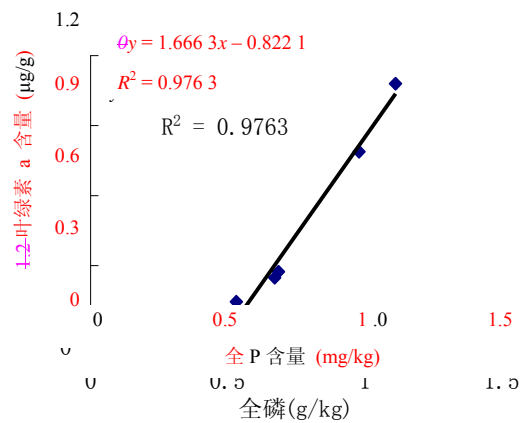
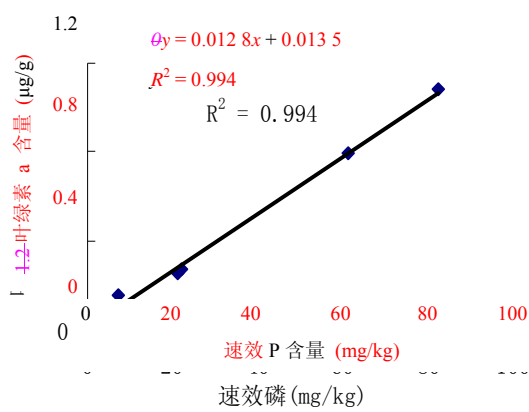


图 2 藻类与土壤养分的相关分析

2.2 不同肥力水稻土藻类培养过程中氮、磷的损失

培养结束后,不同肥力土壤 N 损失差异显著, P 损失差异不显著(表 2)。不同肥力处理的水稻土 N 素损失量以 NPK + OM 处理为最高,这与该处理藻类生物量最大一致,其原因可能由于 NPK + OM 处理土壤有机质含量较高,藻类吸收利用土壤有机 N^[18],供自身生长,这与藻类对介质中的 N 素有较高的固定效率的研究结果^[19-20]一致,同时因藻类生长导致培养前期溶液 pH 较高,使得体系中 N 的气态损失增加。

表 2 藻类培养结束后土壤中总 N、总 P 的损失量

处理	N 损失量 (mg/kg)	P 损失量 (mg/kg)
CK	23.93 ± 3.48 (1.19) c	74.67 ± 3.93 (14.07) a
2NPK	69.40 ± 6.35 (3.33) b	55.03 ± 5.51(5.51) a
NPK	59.69 ± 3.40 (2.89) bc	78.11 ± 5.48(10.73) a
NPK + OM	453.43 ± 37.83 (15.89) a	56.21 ± 4.65 (4.92) a
NP	58.93 ± 5.04 (2.74) bc	89.35 ± 10.13(11.42) a

注:处理之间字母标记相同的无显著性差异;括号内数字表示占土壤中总 N/P 的百分数。

3 结论

(1) 不同肥力水稻土室内培养藻类的生物量的动态变化是波浪式的上升。在不施肥的条件下,不同肥力水稻土上培养的藻类生物量(以叶绿素 a 含量表征)具有明显差异,NPK+OM 处理土壤上藻类生长最好,其藻类平均叶绿素含量为 1.08 μg/g 土,长期不施肥的水稻土培养的藻类生长最差,其藻类平均叶绿素含量仅为 0.12 μg/g 土。

(2) 藻类生物量与土壤碱解 N、速效 P 含量和全 P 含量之间均呈正相关关系。

(3) 培养试验结束时,不同肥力处理的水稻土上藻类生物量多的土壤 N 损失量大,土壤 P 的损失量差异不显著。

致谢: 本研究所用的水稻土采自张斌研究员课题组的长期定位试验田,在此特表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] Rees AP, Malcolm E, Woodward S, Robinson C, Cummings DG,

- Tarran GA, Joint I. Size-fractionated nitrogen uptake and carbon fixation during a developing coccolithophore bloom in the North Sea during June 1999. *Deep-Sea Research II*, 2002, 49(15): 2905-2907
- [2] Huisman J, Jonker RR, Zonneveld C, Weissing JW. Competition for light between phytoplankton species: Experimental tests of mechanistic theory. *Ecology*, 1999, 80: 211-212
- [3] Semina HJ. The size of phytoplankton cells in the Pacific Ocean. *Hydrobiologia*, 1972, 57: 177-205
- [4] 况琪军, 夏宜铮. 平湖水库的浮游藻类与营养型评价. *应用生态学报*, 1992, 3(2): 165-168
- [5] De PK. The problem of the nitrogen supply of rice. I. Fixation of nitrogen in the rice soils under waterlogged condition. *Indian Journal of Agricultural Science*, 1936(6): 1237-1246
- [6] De PK, Sulaiman M. Fixation of nitrogen in rice soils by algae as influence by crop, CO₂ and inorganic substances. *Soil Science*, 1950, 70: 137-151
- [7] Nekrasova KA, Aleksandrova IV. Paarticipation of collembola and earthworms in the transformation of algal organic matter. *Soviet Soil Science*, 1982, 14: 31-39
- [8] 卿人韦, 兰利琼, 刘刚, 傅华龙. 藻类对矿石磷转化利用的研究. *四川大学学报 (自然科学版)*, 1998, 35(6): 957-960
- [9] 刘永定, 沈银武, 宋立荣, 朱运芝, 庄惠如, 钦绳武. 黄河中游土壤藻类的种类组成与土壤肥力的关系. *水生生物学报*, 1999, 23(5): 434-442
- [10] 王铭山献, 兰利琼, 卿人韦, 傅华龙. 土壤微藻对土壤质量影响的研究. *水土保持学报*, 2001, 15(4): 103-106
- [11] 凌丽俐, 卿人韦, 傅华龙, 莫英, 聂端军, 文璨, 兰利琼. 藻类对土壤肥力的影响. *四川大学学报 (自然科学版)*, 2003, 40(1): 135-138
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 王志红, 崔福义, 安全. 氮磷与“藻华”生物量预测的模型探讨. *哈尔滨工业大学学报*, 2006, 38(5): 740-743
- [15] 孙瑞娟, 王德健, 林静慧. 太湖流域土壤肥力演变及原因分析. *土壤*, 2006, 38(1): 106-109
- [16] 王铭山献, 兰利琼, 傅华龙. 贫瘠土壤与肥沃土壤表层土中藻类种群比较的研究. *四川大学学报*, 2002, 39(1): 164-165
- [17] 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: 3-4

- [18] 徐立, 吴瑜端. 有机氮化合物对海洋浮游植物生长的影响. 厦门大学学报 (自然科学版), 1995, 34(5): 824-828
- [19] 张国治, 姚爱莉, 顾蕴璇, 兰利琼, 傅华龙. 藻类对沼液中氮、磷去除作用的初步研究. 中国沼气, 1997, 15(4): 11-15
- [20] 董祎婷, 徐宁, 李爱芬, 张成武. 氮、磷营养对雨生血球藻绿色细胞生长的影响. 生态科学, 2007, 26(4): 319-326