

湖北省 4 种水稻土养分状况的系统研究^①

廖志文¹, 廖照源², 鲁剑巍^{1*}, 李文西¹, 胡承孝¹

(1 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘 要: 利用土壤养分状况系统研究法对湖北省 4 个不同地区典型水稻土的养分状况进行了综合评价。土壤化学分析结果表明, 鄂东南蕲春县油-稻-稻三熟制区花岗片麻岩母质发育的水稻土 (1[#]土)、鄂中荆门油-稻两熟区 Q₃ 母质发育的水稻土 (2[#]土)、鄂北襄樊市麦-稻两熟区 Q₃ 母质发育的水稻土 (3[#]土)、江汉平原洪湖市油-稻两熟区近代河流冲积物母质发育的水稻土 (4[#]土), 均主要缺乏 N、P 和 K。并且 4 种土壤 N 的缺乏程度依次为 3[#]>4[#]>1[#]>2[#]、P 为 1[#]>2[#]>3[#]>4[#]、K 为 1[#]>3[#]>4[#]>2[#]。以高粱为指示作物的生物试验结果表明, 1[#]土主要缺乏 N、P、K、Zn; 2[#]、3[#]和 4[#]土主要缺乏 N、P, 同时施 K 也有一定效果。生物试验结果表明 4 种土壤 N 缺乏程度为 3[#]>2[#]>4[#]>1[#], P 为 3[#]>1[#]>2[#]>4[#]。结果显示土壤化学分析和盆栽生物试验判定养分丰缺种类结果基本一致, 但两种方法判定的养分缺乏程度顺序不一致。

关键词: 水稻土; 养分状况; 系统研究法

中图分类号: S155.2+92; S158

湖北省素有“鱼米之乡”的美名。水稻种植历史悠久、分布广泛, 是湖北省种植面积最大、总产最多的农作物^[1]。国内外已有大量试验证明, 平衡施肥能显著提高水稻的品质和产量^[2-5]。要做到平衡施肥则可通过采取测土配方施肥技术来实现。测土配方施肥的首要任务是对土壤养分状况进行全面了解, 并在此基础上制定肥料施用配方。了解土壤养分状况有多种方法^[6-9], 土壤养分系统研究法 (简称 ASI 法) 是其中的一种。该方法由美国国际农化服务中心 Hunter 博士提出, 后经加拿大钾磷研究所 (PPI/PPIC) Portch 博士等修改, 并由 PPI/PPIC 中国项目部引进到中国^[10]。我国自 1988 年引进该技术以来, 已在全国较大范围内进行了试验研究和应用推广, 取得了大量有价值的资料^[11-12]。该方法在对土壤养分状况进行评价时, 全面考虑了 11 种作物必需的大、中和微量元素的综合平衡, 并将土壤的化学分析与作物的营养效应紧密结合。本次研究利用 ASI 法对湖北省 4 个水稻生产区域中主要种植模式下的 4 种水稻土的养分状况进行了系统研究, 旨在为湖北省高产优质水稻生产提供科学施肥依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

供试水稻土分别采自鄂东南的蕲春县、鄂中的荆门市、鄂北的襄樊市以及江汉平原的洪湖市, 分别代

表各主产区的油-稻-稻三熟制、油-稻两熟制、麦-稻两熟和油-稻两熟制。成土母质依次为花岗片麻岩、第四纪黏土、第四纪黏土和近代河流冲积物。土壤样品采用随机多点方法采集 0~20 cm 的土样。取样时间为 2005 年 11 月上中旬水稻收获后。

1.2 土壤养分化学分析

4 种水稻土均按 ASI 法进行养分测定^[10]。具体是 pH 采用电位法测定, 水土比为 2.5:1; 有机质采用 0.2 mol/L NaOH-0.01 mol/L EDTA-2% 甲醇浸提, 比色法测定; 有效 P、K、Fe、Mn、Cu、Zn 采用 0.25 mol/L NaHCO₃-0.01 mol/L EDTA-0.01 mol/L NH₄F 联合浸提剂浸提, 其中 P 采用钼锑抗比色法测定, K、Fe、Mn、Cu、Zn 采用原子吸收分光光度计法测定; N、Ca、Mg 采用 1 mol/L KCl 浸提, 其中 N 用靛酚蓝比色法测定, Ca、Mg 用原子吸收分光光度计法测定; S、B 用 0.08 mol/L Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 浸提, S 用 BaCl₂ 比浊法测定, B 用姜黄素比色法测定。

1.3 盆栽生物试验

1.3.1 试验处理的确定 ASI 法试验处理确定的原则为: 根据养分测定结果, 确定最佳推荐处理 (OPT)。在确定设置 OPT 和 CK (不施肥) 外, 另设置若干辅助处理, 以评价每种植物营养元素的真实状况。若推荐处理中已加入某元素, 则另设一处理从推荐处理中减去该元素; 若推荐处理中未加入某元素, 则另设处

①基金项目: 国家自然科学基金 (40571090)、国家粮食丰产科技工程项目 (2004BA520A02) 共同资助。

* 通讯作者 (lujianwei@mail.hzau.edu.cn)

作者简介: 廖志文 (1969—), 女, 湖北武汉人, 农艺师, 硕士研究生, 主要从事植物营养的科研工作。E-mail: liaozhiwen@webmail.hzau.edu.cn

理在推荐处理基础上加入该元素。本试验的 4 种水稻土各设 15 个处理（表 1），其中 OPT 处理为 N、P、K、Zn，各种所需营养元素的加入量分别为每升土加入 N 100 mg、P 62.5 mg、K 234.6 mg、Mg 21.6 mg、S 50 mg、Zn 3.75 mg、B 1 mg、Mo 0.5 mg、Si 110 mg。

1.3.2 盆栽试验的设计与管理 先将各待加入的养分元素配成溶液^[10]，一次性加入风干土中，室内放置风干后充分拌匀，用 300 ml 塑料杯，每杯装土 200 ml，重复 4 次。利用毛细管灌溉系统进行灌溉，即在杯子底部边缘均匀分布打上 3~4 个直径 0.5 cm 左右大小的孔，在杯底部铺上厚度 1 cm 左右的脱脂棉。除缺 N 和 CK 处理用蒸馏水外，其他处理用 0.3 g/L NH₄NO₃ 溶液作灌溉液。

以高粱作指示作物，每杯播种 14 粒，出苗后 10 天定苗，每杯留 8 株，生长 40 天后收获地上部分，

烘干称重。

1.3.3 产量计算 按 ASI 方法，以最佳处理的生物产量为 100，计算各处理的相对产量^[10]：

干物质相对产量（%）=OPT 平均干重 × 100%
试验结果采用 LSD 法作统计检验。

2 结果与分析

2.1 供试土壤养分化学分析

土壤养分化学分析结果表明，4 种水稻土中的有效 N、P、K 含量均低于养分亏缺临界值（表 2、表 3）^[10]。各土壤中其余养分含量如 Mg、S、B、Ca、Fe、Cu、Zn 等均高于临界值。4 种土壤中 N 缺乏的程度依次为 3"^{*}>4"^{*}>1"^{*}>2"^{*}；P 缺乏的程度依次为 1"^{*}>2"^{*}>3"^{*}>4"^{*}；K 缺乏的程度依次为 1"^{*}>3"^{*}>4"^{*}>2"^{*}。

表 1 盆栽试验处理

Table 1 Treatment design for pot experiment

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
处理	OPT	2N	1/2N	1/2P	1/2K	-N	-P	-K	-Zn	+Si	+B	+Mo	+Mg	+S	CK

表 2 供试土壤营养元素化学分析结果

Table 2 Basic properties of studied soil

土样 编号	采样 地点	pH	有机质含量 (g/kg)	养分含量 (mg/L)										
				N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
1"	蕲春	5.7	7	11.6	4.6	50.8	1983.9	289.1	74.9	138.6	37.2	6.9	1.55	0.55
2"	荆门	6.4	8	13.75	5.9	74.3	3392.7	478.7	93.2	163.6	45.6	6.0	2.45	0.85
3"	襄樊	6.9	7	9.5	7.8	54.7	2028.0	307.4	100.1	59.0	25.1	2.9	2.15	0.80
4"	洪湖	6.5	17	10.4	8.0	62.5	4074.1	472.6	49.6	186.4	61.2	11.0	2.60	0.90

表 3 土壤营养元素的临界值 (mg/L)

Table 3 Threshold levels of soil nutrients for ASI test

元素	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
临界值	50	12	78	401	122	12	12	2.0	1.0	1.0	0.2

2.2 盆栽生物试验

通过对高粱盆栽试验结果进行方差分析，结果表明（表 4），采自蕲春的 1"水稻土，主要缺乏 N、P、K，其次缺乏 Zn，从 OPT 处理中减去 N、P、K、Zn 的处理植株干物重比 OPT 分别降低 14.6%、47.9%、18.7% 和 10.4%，前三者差异达极显著水平，后者达显著水平，表明该土壤各元素缺乏程度顺序为 P>K>N>Zn。2N 处理的作物植株干重比 OPT 降低 14.6%，达极显著水平，说明 2 倍 N 施用过量，造成植物减产。1/2N 处理的植株干重比 OPT 增加 2.1%，说明 N 加入

量为推荐量的一半即可满足作物生长。其他如加 Si、B、Mo、Mg 和 S 各处理的植株干物重与 OPT 相比差异不显著，表明该土壤中的 Si、B、Mo、Mg 和 S 在盆栽试验中未表现缺乏。

采自荆门的 2"水稻土主要缺乏 N 和 P，-N 和 -P 处理的植株干物重比 OPT 处理分别降低 51.4% 和 40.3%，差异均达极显著水平。1/2K 处理的作物植株干重比 OPT 增加 4.2%，表明 K 的加入量为推荐量一半就可满足作物生长需要。-Zn 处理与 OPT 相比，植株干物重降低，但未达到显著差异。其他如加 Si、B、

Mo、Mg 和 S 处理的植株干物重与 OPT 相比无显著差异,表明该土壤中的 Si、B、Mo、Mg 和 S 在盆栽生物试验中未表现缺乏。

采自襄樊的 3[#]水稻土主要缺乏 N 和 P, -N 和 -P 处理的植株干物重比 OPT 分别降低 70.7%和 50.7%,差异达极显著水平。1/2K 处理的作物植株干重比 OPT 增加 4.0%,表明 K 的加入量为推荐量一半就可满足作物生长。-Zn 处理与 OPT 相比,植株干物重降低,但未达到显著差异。其他如加 Si、B、Mo、Mg 和 S 处理的植株干物重与 OPT 相比无显著差异,表明该土壤中的 Si、B、Mo、Mg 和 S 在生物试验中未表现缺乏。

采自洪湖的 4[#]水稻土主要缺乏 N 和 P。-N 和 -P

处理的植株干物重都比 OPT 降低 28.9%,差异达极显著水平,两种养分的缺乏程度基本相当。1/2N 处理的作物植株干重比 OPT 增加 2.2%,1/2K 处理的作物植株干重比 OPT 增加 6.7%,说明这两元素的加入量为推荐量的一半即可满足作物生长需要。-Zn 处理与 OPT 相比,植株干物重降低,但未达到显著差异。其他如加 Si、B、Mo、Mg 和 S 处理植株干物重与 OPT 相比无显著差异,表明该土壤中的 Si、B、Mo、Mg 和 S 在盆栽试验中未表现缺乏。

同时,对 4 种水稻土的 CK 处理产量进行方差分析,结果表明,2[#]土的产量最高,3[#]的产量最低,两者之间达到显著性差异。

表 4 供试土壤盆栽试验结果

Table 4 Results of the pot experiment

处理	1 [#] 土 (蕲春)		2 [#] 土 (荆门)		3 [#] 土 (襄樊)		4 [#] 土 (洪湖)	
	均干重	相对产量	均干重	相对产量	均干重	相对产量	均干重	相对产量
	(g/pot)	(%)	(g/pot)	(%)	(g/pot)	(%)	(g/pot)	(%)
OPT	0.48	100.0	0.72	100.0	0.75	100.0	0.45	100.0
2N	0.41**	85.4	0.75	104.2	0.72	96.0	0.41	91.1
1/2N	0.49	102.1	0.65	90.3	0.73	97.3	0.46	102.2
1/2P	0.31**	64.6	0.60*	83.3	0.58**	77.3	0.36	80.0
1/2K	0.47	97.9	0.75	104.2	0.78	104.0	0.48	106.7
-N	0.41**	85.4	0.35**	48.6	0.22**	29.3	0.32**	71.1
-P	0.25**	52.1	0.43**	59.7	0.37**	49.3	0.32**	71.1
-K	0.39**	81.3	0.67	93.1	0.71	94.7	0.43	95.6
-Zn	0.43*	89.6	0.68	94.4	0.67	89.3	0.40	88.9
+Si	0.52	108.3	0.78	108.3	0.76	101.3	0.49	108.9
+B	0.51	106.3	0.74	102.8	0.70	93.3	0.47	104.4
+Mo	0.50	104.2	0.70	97.2	0.74	98.7	0.44	97.8
+Mg	0.48	100.0	0.74	102.8	0.80	106.7	0.43	95.6
+S	0.47	97.9	0.70	97.2	0.71	96.0	0.44	97.8
CK	0.22**	45.8	0.25**	34.7	0.20**	26.7	0.23**	51.1

注: *表示差异为 p<0.05 显著水平; **表示差异为 p<0.01 极显著水平。

3 小结

(1) 本研究的土壤养分化学分析结果表明,4 种水稻土 N、P、K 均缺乏,其中 N 的缺乏程度依次为 3[#]>4[#]>1[#]>2[#]、P 为 1[#]>2[#]>3[#]>4[#]、K 为 1[#]>3[#]>4[#]>2[#]。4 种土壤中其余养分如 Mg、S、B、Ca、Fe、Cu、Zn 等都不缺乏。

(2) 盆栽试验结果表明,采自鄂东南蕲春县的 1[#]水稻土,主要缺乏 N、P、K 和 Zn;采自鄂中荆门市的 2[#]水稻土、鄂北襄樊市的 3[#]水稻土和江汉平原洪湖市的 4[#]水稻土均主要缺乏 N 和 P。2[#]、3[#]和 4[#]土壤缺 K 处理均比 OPT 处理减产 4%~7%,而施用 1/2 推荐

量的 K 与 OPT 相比均能增产 5%左右,表明施 K 有一定的效果,但适宜用量以 1/2 推荐量为宜。比较土壤养分化学分析结果和盆栽生物试验结果表明两者基本相符,说明 ASI 法的土壤化学分析手段可作为一种具有直接、简单、快速、经济等优点的土壤养分评价方法。

(3) 土壤养分化学分析结果表明 4 种土壤均较缺乏 K,而盆栽生物试验结果显示采自荆门、襄樊和洪湖的水稻土基本不缺 K。盆栽生物试验结果还表明,缺 N 处理相对于 OPT 处理的产量,1[#]~4[#]土分别为 85.4%、48.6%、29.3%和 71.1%,缺乏程度为 3[#]>2[#]>4[#]>1[#],而 P 的缺乏程度为 3[#]>1[#]>2[#]>4[#],这一

顺序与土壤化学分析结果不一致。这说明, 尽管化学测试分析可作为一种快速的评价方法, 但必须与生物试验相结合才能更加准确地评价土壤养分丰缺状况。同时, 由于盆栽试验是在特定条件下进行的, 因此本研究结果还需要通过田间试验的进一步验证才能应用于生产。

参考文献:

- [1] 曹凌贵, 蔡明历, 张似松, 袁伟玲. 湖北省水稻生产现状及技术对策. 湖北农业科学, 2004 (4): 28-30
- [2] 张奇春, 王光火. 长期不同施肥下杂交稻与常规稻的产量与土壤养分平衡. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 340-345
- [3] Hiroshi H. High-yielding rice cultivars perform best even at reduced nitrogen fertilizer rate. Crop Science, 2003, 43: 921-926
- [4] 蔡燕飞, 章家恩, 张杨珠, 胡瑞芝, 袁正平. 稻作制度对红壤性水稻土有机质特征的影响. 土壤, 2006, 38(4): 396-399
- [5] 张奇春, 王光火, 方斌. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响. 土壤学报, 2005, 42(1): 116-121
- [6] 汤洁, 赵风琴, 林年丰, 王娟. 多模型集成的方法在土壤养分评价中的应用. 东北师大学报(自然科学版), 2005, 37(1): 109-112
- [7] 武伟, 唐明华, 刘洪斌. 土壤养分的模糊综合评价. 西南农业大学学报, 2000, 22(3): 270-272
- [8] 陈防, 刘冬碧, 熊桂云, 姜丽娜, 郭晓敏, 郭熙. 中亚热带两种水稻土土壤养分空间变异的对比研究. 土壤学报, 2006, 43(4): 688-692
- [9] Pang XY, Bao WK, Zhang YW. Evaluation of soil fertility under different cupressus chengiana forests using multivariate approach. Pedosphere, 2006, 16(5): 602-615
- [10] Portch S, Hunter A. (杨俐苹译). 评价与改善土壤肥力的系统研究法. 北京: 中国农业出版社, 2005
- [11] 阮云泽, 孙桂芳, 唐树海. 土壤养分状况系统研究法在菠菜平衡施肥上的应用. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 530-535
- [12] 张炎, 王讲利, 李磐, 付明鑫. 新疆棉田土壤养分限制因子的系统研究. 水土保持学报, 2005, 19(6): 57-60

On Nutrients of Paddy Soils from Four Different Regions in Hubei Province

LIAO Zhi-wen¹, LIAO Zhao-yuan², LU Jian-wei¹, LI Wen-xi¹, HU Cheng-xiao¹

(1 College of Resources and Environment Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2 College of Resources and Environment Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The nutrients of four selected paddy soils in different regions of Hubei Province were evaluated by the soil chemical-property analytical method and the biomass pot experimental method, respectively. The first method indicated that N, P and K were the major limiting factors in the soil developed from granite parent material with early-rapeseed/late-rice rotation in Qichun county (1[#] soil), from Q₃ parent material with rapeseed/rice rotation in Jimen (2[#] soil), from Q₃ parent material with wheat/rice rotation in Xiangfan city (3[#] soil), and from alluvial deposit parent material with rapeseed/rice rotation in Honghu city (4[#] soil). The order of N deficiency degree among the 4 soils was 3[#]>4[#]>1[#]>2[#], the order of P deficiency degree was 1[#]>2[#]>3[#]>4[#], the order of K deficiency degree was 1[#]>3[#]>4[#]>2[#], respectively. The second method using sorghum as indicating crop showed that N, P, K and Zn were the major limiting factors in 1[#] soil, N and P were the major limiting factors in 2[#], 3[#] and 4[#] soil. The sorghum pot experiment also showed K application could increase the biomass weight which indicated K deficiency might be a limited factor except N and P for soil 2[#], 3[#] and 4[#]. The pot experiment result showed that the order of N deficiency degree among the 4 soils was 3[#]>2[#]>4[#]>1[#], the order of P deficiency degree was 3[#]>1[#]>2[#]>4[#]. Both methods disclosed the same limited factors for the four paddy soils, but showed some differences in the nutrient deficiency degree and the order of nutrient deficiency degree among the four paddy soils.

Key words: Paddy soil, Nutrients status, Systematic approach