

张家界旱地土壤的养分限制因子研究^①

尹力初¹, 罗兰芳¹, 彭宇², 周曙光², 罗建新¹

(¹ 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; ² 湖南中烟工业有限责任公司技术中心, 长沙 410007)

摘要: 采用土壤养分测试、吸附试验和温网室生物盆栽试验相结合的诊断程序, 以高粱为指示作物, 对张家界市桑植县 3 种旱地土壤的养分限制因子进行了系统诊断。结果表明: 张家界市旱地土壤中有效 Ca、Fe、Mn 和 B 含量普遍丰富, 且对 P 素养分的吸附能力强; 生物盆栽试验中 3 种供试土壤上缺 N、缺 P、缺 S 分别使高粱生物量平均减少 79%、41%、33%。由此, N、P、S 分别是张家界旱地土壤中普遍存在的第一、二、三养分限制因子。

关键词: 土壤养分; 限制因子; 系统研究法; 旱地

中图分类号: S158

科学施肥是提高作物产量、改善作物品质的重要措施, 而科学施肥的前提条件是需要全面、准确了解土壤养分状况, 且在推荐施肥中考虑到所有的植物必需养分及土壤对这些营养元素的吸附固定特性。土壤养分状况系统研究法是由美国农化服务中心 (Agro Services International Inc) 主任 Hunter 博士于 1980 年首次提出 (简称 ASI 法)^[1], 后经加拿大钾磷研究所 (PPIC) Porth 博士介绍到国内^[2-3]。该方法将土壤化学分析与植株营养效应紧密结合, 充分考虑了土壤中各种大、中、微量元素的综合平衡和土壤对营养元素的吸附固定对施入肥料有效性的影响, 是目前世界上较全面评价土壤养分丰缺和科学推荐施肥的综合技术之一^[4]。该法自引进我国以来, 已在多个省份开展了应用研究, 对多种类型土壤及作物进行了养分诊断^[5-9]。大多数研究结果表明, 土壤养分状况系统研究法在平衡施肥、测土施肥上有着良好的应用前景^[10-15]。但该方法在湖南各种作物的应用研究至今尚未见有报道。为此, 本试验应用 ASI 法, 对湖南省张家界市旱地土壤进行了系统研究, 旨在探明该区土壤的养分限制因子, 为指导当地合理施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 土壤样品的采集与制备

在湖南省张家界市桑植县白石、官地坪与上洞街镇分别选择有代表性的旱作田块, 通过多点随机采样法 (20~30 个点) 各采集耕层土样约 80 kg。自然风干

后过 2 mm 筛, 充分混合后再从中多点随机取样取出 1.5 kg 子样品供土壤有效养分状况分析及进行土壤对主要营养元素的吸附试验。其余土样用作盆栽试验。

1.2 土壤有效养分含量分析及吸附试验

供试土壤的有效养分含量分析及其吸附试验采用 ASI 分析测定方法^[3]。测定的指标包括 pH, 交换性 Ca、Mg, 有效 P、K、S、Fe、Mn、Cu、Zn、B。开展吸附试验的养分元素为 P、K、S、Mn、Cu、Zn、B。

1.3 盆栽试验

根据土壤有效养分含量和吸附试验结果, 对照各养分适宜值标准, 确定土壤各养分的丰缺状况, 制定盆栽试验方案, 每种土壤的盆栽试验均设置了 15 个处理 (表 1)。在确定最佳处理时, 除使各种养分调整到最适状态外, 还考虑土壤酸度, Ca/Mg、Mg/K 的平衡; 从最佳处理配方中除去或加入某一元素构成元素的丰缺诊断处理^[3]。

在各处理下, 先将各种待加入的养分元素配成溶液, 一次性加入足量风干土中, 在室内阴干捻细后充分混匀, 装入 250 ml 不透明塑料杯, 每杯装土 150 ml, 塑料杯放入高 8 cm 的周转箱内, 每塑料杯在底部钻有 3 个直径 1 cm 的小孔, 在装土前垫入厚度 2 cm 的棉花用来保证植株水分的供应。在植株生长的过程中用自动供水瓶保持周转箱中灌溉液的液面高度为 2~3 cm, 其中缺 N 和 CK 处理用蒸馏水, 其他处理用 0.3 g/L NH₄NO₃ 溶液灌溉。

^①基金项目: 国家烟草专卖局面上项目及湖南中烟公司项目 (2008YC0003) 资助。

作者简介: 尹力初 (1973—), 男, 湖南慈利人, 博士, 副教授, 主要从事土壤肥力与农业生态环境研究。E-mail: lcyin0418@sohu.com

盆栽试验在湖南农业大学资源环境学院玻璃温室进行, 指示作物为高粱, 每处理重复 3 次。6 月 4 日播种, 出苗 4 天后间苗, 每塑料杯中定苗 10 株, 7 月

4 日收获, 收获时剪取高粱植株地上部分, 烘干后计算单株重量。并以最佳处理的单株生物量为 100%, 计算各处理的相对产量。

表 1 盆栽试验设置

Table 1 Treatments of pot experiment

土壤来源		处理													
白石	OPT	-CaCO ₃	-Ca	-Mg	+K	-N	-P	-S	+B	-Cu	+Fe	+Mn	-Zn	-Mo	CK
官地坪	OPT	-CaCO ₃	+Ca	-Mg	-K	-N	-P	-S	+B	+Cu	+Fe	+Mn	-Zn	-Mo	CK
上洞街	OPT	+CaCO ₃	+Ca	-Mg	-K	-N	-P	-S	+B	-Cu	+Fe	+Mn	-Zn	-Mo	CK

注: OPT 为最佳处理, 各养分的施入量根据实验室分析和吸附试验调到最适水平。元素前面的“-”和“+”表示该处理该元素施和不施, 其他养分与最佳处理一致。

2 结果与分析

2.1 土壤基本养分状况分析

供试土壤的 ASI 法测定结果见表 2。白石点与官地坪点的土壤为酸性, 而上洞街点的土壤为弱酸性。以 ASI 法的土壤养分适宜值为标准可知, 白石点旱地土壤中有有效 Ca、K、Fe、Mn 和 B 含量丰富, 而 P、

Mg、Cu、Zn 和 S 缺乏; 官地坪点土壤中 Ca、Fe、Mn、Cu、和 B 含量丰富, 而 K、P、Mg、Zn 和 S 缺乏; 上洞街点土壤中 Ca、Fe、Mn 和 B 含量丰富, 而 K、P、Cu、Mg、Zn 和 S 缺乏。因此, 张家界市旱地土壤中 Ca、Fe、Mn 和 B 含量普遍丰富, 而 P、Mg、Zn 和 S 缺乏。

表 2 土壤有效养分状况分析

Table 2 Soil available nutrients

土壤来源	pH	交换性酸 (cmol/kg)	(mg/kg)									
			Ca	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn	S	B	P
白石	5.39	0.40	763	106	351	264	24.3	1.3	3.0	21.3	1.7	10.1
官地坪	5.43	0.22	897	53	121	234	53.9	5.6	3.0	7.8	1.7	3.0
上洞街	6.33	0.04	1 851	73	146	121	22.4	1.7	1.5	3.0	1.1	4.5
适宜值	-	-	701	182	156	30	12.0	3.0	6.0	60.0	1.0	50.0

2.2 土壤吸附特性

吸附研究是用来判定加入土壤中的养分的行为特征, 估测施入的养分对土壤中可提取性有效养分的贡献, 从而大致确定使土壤中某一养分元素达到作物最佳生长所需加入的肥料量, 为生物盆栽试验最佳处理

中肥料用量的确定提供依据^[3]。由表 3 (吸附曲线 $Y = AX + B$, A 为吸附系数, 吸附系数越大, 土壤吸附能力越弱) 可知: 虽然 3 个供试点土壤对各养分的吸附系数存在一定的差异, 但它们对 P 的吸附率相对较大。

表 3 土壤吸附特征曲线

Table 3 Characteristic curve of soil adsorption

元素	白石	官地坪	上洞街
P	$Y = 0.3622X + 4.9563, r = 0.9969^{**}$	$Y = 0.3252X - 3.0444, r = 0.9797^{**}$	$Y = 0.3236X + 7.5156, r = 0.985^{**}$
K	$Y = 0.7046X + 344.36, r = 0.9874^{**}$	$Y = 0.6991X + 108.08, r = 0.9908^{**}$	$Y = 0.5456X + 138.6, r = 0.9978^{**}$
S	$Y = 12.898X + 0.5674, r = 0.8996^{**}$	$Y = 9.6287X - 9.0817, r = 0.8843^{**}$	$Y = 21.656X - 39.673, r = 0.8712^{**}$
B	$Y = 2.3678X - 2.7696, r = 0.8894^{**}$	$Y = 1.9882X - 2.0209, r = 0.8869^{**}$	$Y = 1.6854X - 1.3613, r = 0.9305^{**}$
Zn	$Y = 5.6288X - 6.8875, r = 0.9255^{**}$	$Y = 4.6797X - 5.202, r = 0.9177^{**}$	$Y = 3.9624X - 5.272, r = 0.896^{**}$
Mn	$Y = 10.687X + 0.5518, r = 0.8251^*$	$Y = 13.864X + 18.842, r = 0.8219^*$	$Y = 12.94X - 5.4725, r = 0.8512^*$
Cu	$Y = 2.153X - 2.4853, r = 0.9248^{**}$	$Y = 1.8716X + 2.0182, r = 0.8788^{**}$	$Y = 1.7228X - 1.3469, r = 0.8808^{**}$

2.3 高粱生物量

为了最终明确供试土壤的养分状况，了解影响作物生长的主导影响因子及其亏缺程度，本试验开展了温室生物盆栽试验。由表 4 可知，与 OPT 处理相比较，白石供试土壤上缺 N 使高粱生物量减少 76%，缺 P 减少 29%，缺 Cu 减少 21%，缺 S 减少 20%，加 Fe、K 有一定的负面效应，而 Mo 的施用与否没有不良影响。官地坪供试土壤上缺 N 使高粱生物量减少 81%，缺 P 减少 53%，缺 S 减少 45%，缺 Mg 减少 41%，缺 Mo 减少 31%，缺 Zn 减少 21%，

加 B 有一定的负面效应，而其他养分的施用与否没有不良影响。上洞街供试土壤上缺 N 使高粱生物量减少 88%，缺 P 减少 37%，缺 S 减少 22%，加 Mn 有一定的负面效应，而其他养分的施用与否没有不良影响。在 3 种供试土壤上，不施 N 处理 (-N) 时高粱的生物量与不施用任何养分处理 (CK) 没有显著差异，缺 N 将给作物的生长带来决定性的负面影响。由此 N 是张家界旱地土壤普遍存在的第一养分限制因子，而 P 是第二养分限制因子，S 是第三养分限制因子。

表 4 供试土壤高粱盆栽试验结果

Table 4 Yields of grain sorghum under pot experiment

白石			官地坪			上洞街		
处理	平均产量 (g/盆)	相对产量 (%)	处理	平均产量 (g/盆)	相对产量 (%)	处理	平均产量 (g/盆)	相对产量 (%)
OPT	3.19 a		OPT	4.78 a		OPT	4.63 a	
-CaCO ₃	2.75 ab	86	-CaCO ₃	3.03 c	63	+CaCO ₃	4.58 a	99
-Ca	3.15 a	99	+Ca	4.09 b	85	+Ca	4.46 a	96
-Mg	2.89 a	91	-Mg	2.82 d	59	-Mg	4.53 a	98
+K	2.65 b	83	-K	4.28 ab	90	-K	4.59 a	99
-N	0.77 d	24	-N	0.90 f	19	-N	0.55 d	12
-P	2.26 c	71	-P	2.23 e	47	-P	2.91 c	63
-S	2.56 b	80	-S	2.62 d	55	-S	3.62 b	78
+B	2.92 a	92	+B	3.37 c	71	+B	4.61 a	100
-Cu	2.49 b	78	+Cu	4.68 a	98	-Cu	4.57 a	99
+Fe	2.70 ab	85	+Fe	4.61 a	96	+Fe	4.57 a	99
+Mn	3.16 a	99	+Mn	4.72 a	99	+Mn	3.49 b	75
-Zn	3.05 a	96	-Zn	3.73 b	78	-Zn	4.51 a	97
-Mo	3.13 a	98	-Mo	3.30 c	69	-Mo	4.53 a	98
CK	0.56 d	18	CK	0.72 f	15	CK	0.54 d	12

注：同列产量后不同字母表示处理间差异达到 p<0.05 显著水平。

通过对比土壤养分分析结果与盆栽试验结果，可以发现两者的结果并不完全一致。如土壤养分分析结果表明张家界旱地土壤中 Zn 和 Mg 等养分普遍缺乏，但盆栽试验结果却表明在该地区大多数土壤上（除官地坪点外）它们并不缺乏。从而说明单纯以土壤养分分析结果来判断土壤养分盈亏并不精确，必须开展相应的生物盆栽试验加以验证。这是因为土壤养分状况不是一个孤立因素，而是受土壤其他理化性状、气候、环境和作物营养特性等多种因素的综合影响^[13]，其分析结果只能判断养分限制因子存在的一种可能性而不能确定养分丰缺。

3 小结

张家界市旱地土壤中有效 Ca、Fe、Mn 和 B 含量

普遍丰富，且对 P 素养分的吸附能力强。土壤养分分析结果与盆栽试验结果并不完全一致，单纯以土壤养分分析结果来判断土壤养分盈亏并不精确，必须开展相应的生物盆栽试验加以验证。生物盆栽试验中 3 种供试土壤上缺 N、缺 P、缺 S 分别使高粱生物量平均减少 79%、41%、33%。由此，N、P、S 分别是张家界旱地土壤普遍存在的第一、二、三养分限制因子。

参考文献：

[1] Hunter AH. Laboratory and greenhouse techniques for nutrient survey to determine the soil amendments required for optimum plant growth. Florida, USA: Mimeograph. Agor. Service International, 1980: 54-72
 [2] 金继运, 张宁, 梁鸣早, 吴荣贵, Portch A. 土壤养分状况系统

- 研究法在土壤肥力研究及测土施肥中的应用 // 金继运. 土壤养分状况系统研究法学术讨论会论文集. 北京: 北京农业出版社, 1992: 40-51
- [3] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法. 北京: 中国农业出版社, 2005: 1-10
- [4] 阮云泽, 孙桂芳, 唐树梅. 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
- [5] 刘平, 张仁绥, 卢益武. 土壤养分系统研究法的改进及应用. 西南农业学报, 2001(1): 65-69
- [6] 赵瑞芬, 陈明昌, 张强. 山西省褐土土壤养分限制因子研究. 山西农业科学, 2003, 31(3): 35-39
- [7] 章明清, 彭嘉桂, 杨杰. 土壤养分状况系统研究法在花生平衡施肥上的应用研究. 福建农业学报, 2000, 15(1): 55-58
- [8] 谭雪明, 石庆华, 潘晓华. 江西省 4 种水稻土养分限制因子的初步研究. 江西农业大学学报, 1998, 25(12): 427-432
- [9] 张学军, 桂林国, 王兴仁. 宁夏扬黄新灌区春小麦产量的土壤养分限制因子的初步研究. 土壤通报, 2000, 31(4): 183-184
- [10] 李娟, 赵良菊, 郭天文. 土壤养分状况系统研究法在兰州灌淤土平衡施肥中的应用研究. 甘肃农业研究, 2002(6): 39-41
- [11] 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
- [12] Ye XJ, Wang HY, Tu SH. Nutrient limiting factors in acidic vegetable soils. *Pedosphere*, 2006, 16(5): 624-633
- [13] 杨苞梅, 李敏怀, 姚丽贤, 李国良, 何兆桓, 周昌敏, 涂仕华. 广东省香蕉主产区蕉园土壤的养分限制因子研究. 云南农业大学学报, 2008, 23(6): 818-825
- [14] 吴志鹏, 马友华, 宋法龙, 孙秀伦, 戴厚才, 王树文, 邹顺利. 江淮丘陵地区水稻“颖壳不闭”土壤养分限制因子研究. 中国农学通报, 2008, 24(7): 288-293
- [15] 妥德宝, 段玉, 赵沛义, 李焕春, 刘茂. 土壤养分状况系统评价法及其在内蒙古旱作农业上的应用. 内蒙古农业科技, 2006(6): 9-10

Study on Soil Nutrient Limiting Factors of Dry Cropland in Zhangjiajie City, Hunan Province

YIN Li-chu¹, LUO Lan-fang¹, PENG Yu², ZHOU Shu-guang², LUO Jian-xin¹

(1 College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2 Technical Center of Hunan Tobacco Industry Co. LTD., CNTC., Changsha 410007, China)

Abstract: The limiting factors of soil nutrients were identified by systematic application of indicator plant (grain sorghum) and diagnostic soil analyses (soil adsorption trial and pot experiment) in three different dry croplands in Sangzhi County, Zhangjiajie City, Hunan Province. The results showed that the available Ca, Fe, Mn and B were sufficient in the soils, which having higher adsorption capacity for P than other nutrients. Compared with that of OPT treatment, biomass of grain sorghum plant grown under N-, P-, and S-lacked treatments decreased averagely by 79%, 41% and 33% respectively, it suggested N, P and S are the first, second and third nutrient limiting factors, respectively.

Key words: Soil nutrient, Limiting factor, Systematic approach, Dry cropland