

陕西省主要土壤养分有效性的研究

梁东丽, 李小平, 赵护兵, 谷洁

(陕西省土壤肥料研究所, 陕西杨陵 712100)

S158.3

S153.6

[摘要] 应用化学分析、吸附反应和生物诊断的方法, 系统研究了陕西省关中塬土、汉中水稻土、渭北黑垆土、陕北黄绵土和秦巴山区黄泥巴等5种主要土壤养分的丰缺状况, 确定了供试土壤的养分限制因子。结果表明, 5种主要土壤普遍缺P和N, 部分土壤中K, S, Cu, Zn供应不足, 水稻土含B量极低。各养分含量与吸附量均呈极显著的直线相关, 除水稻土外, 土壤对Cu, Mn, Zn的吸附因土壤差异较大。生物学试验结果表明, OPT的估计是合理的, 作物生长情况与化学分析结果和吸附试验相吻合。

[关键词] 陕西土壤; 吸附特性; 养分状况; 养分平衡

[中图分类号] S158.3 **[文献标识码]** A

我国以不足全世界7%的耕地养活着世界22%的人口, 不断增长的人口及人们对食物以及其他生活必需品不断增长的需求, 都要求有限的土地生产出更多优质的粮食和农产品。在这种高度集约的种植制度下, 充分研究土壤各种养分状况, 合理利用土壤资源, 在获得高产优质产品的同时, 保护环境、促进农业可持续发展是农业化学家长期关注的问题。土壤养分状况系统研究法是1973年由Wangh等^[1]首先提出, 它包括样品采集、室内分析、吸附试验、盆栽生物学试验及大田检验。在此基础上, Hunter^[2]对此进行了改进, 于1984年完善了室内测试和盆栽试验方法。1988年加拿大钾磷研究所Dawdle和Portch对此法稍加修改, 并开始在中国应用^[3]。近年来, 有关这方面的研究有过许多报道^[4~6], 本文利用这种方法对陕西省主要土壤养分吸附特性及其有效性进行了研究, 旨在为陕西省的粮食生产和肥水补给提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤包括陕西5种主要土壤, 即关中塬土、汉中水稻土、渭北黑垆土、陕北黄绵土和秦巴山区黄泥巴。塬土采自关中杨陵五星乡, 水稻土采自汉中市城关镇, 黑垆土采自永寿县临军镇, 黄绵土采自米脂县桥河岔乡, 黄泥巴采自安康市紫阳县平定乡。每个土壤样品都由0~15 cm土层的30个点混合, 风干后过2 mm筛。供试作物为高粱。

1.2 化学分析

土壤化学分析工作由PPI/PPIC北京中加合作土壤植物测试实验室协助完成。使用

[收稿日期] 1999-02-05

[基金项目] 陕西省自然科学基金资助项目(96SM24)

[作者简介] 梁东丽(1963-), 女, 助理研究员

ASI 浸提液(0.25 mol/L NaHCO_3 +0.01 mol/L EDTA+0.01 mol/L NH_4F)浸提土壤中的有效 P、K、Cu、Fe、Mn 和 Zn;用 0.08 mol/L $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ 溶液浸提土壤中的有效 S 和 B,用 1 mol/L KCl 浸提土壤中的活性 Ca、Mg 和速效 N,分别用比色、比浊或原子吸收法测定上述 11 种元素的有效含量。用 0.2 mol/L NaOH+0.01 mol/L EDTA+20 g/kg 甲醛混合液浸提土壤有机质,并用比色法测定,pH 用酸度计测定水土质量比为 1:10 的 1 mol/L KCl 浸提液。

1.3 吸附试验

当植物营养元素以肥料的形式施入土壤后,可以被土壤组分吸附(或固定),而使有效性及利用率降低,吸附固定能力的大小因土壤组分的不同和各营养元素的特征而异。该系统研究法按照土壤速效养分含量和土壤吸附固定能力综合评价土壤养分状况,确定施肥水平,是在土壤肥力和施肥研究中的突破。吸附试验是在一系列定量的土壤样品中加入各营养元素含量不同的溶液(表 1),在自然条件下风干,在短时间内模拟田间条件下各元素与土壤组分从水分饱和到风干过程的各种反应,用与原始土样相同的测定方法浸提和测定,然后以各元素的加入量对风干后可浸提量作吸附曲线图,用来评价土壤的吸附固定能力,并确定盆栽试验中适宜的元素用量。

表 1 吸附液中各养分的含量

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

处理	K	P	S	Zn	Cu	Mn	B
1	0	0	0	0	0	0	0
2	25	20	10	2.5	1	5	0.25
3	50	40	20	5.0	2	10	0.50
4	100	80	40	10	4	20	1
5	200	160	80	20	8	40	2
6	400	320	160	40	16	80	4

1.4 盆栽试验

本试验所推荐的最佳处理是按照原始土壤中各元素的含量和土壤对各元素的吸附固定能力确定的,如果原始土壤中已含有足够的某元素,最佳处理中就不加入这种元素,如果原始土壤中某元素含量不足,则参照土壤对其吸附固定能力,将该元素调剂到最佳水平。当最佳处理确定后,还要设置若干个辅助处理以验证最佳处理。根据土壤化学分析和吸附试验结果,确定盆栽试验中各种元素的最佳配比,各元素的用量是将盆栽土壤中适宜的养分含量调到相当于临界值的 2~3 倍。各种土壤盆栽试验处理见表 2,重复 4 次,随机排列。

表 2 盆栽试验不同土壤的各元素组合试验方案

土样	处理号												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
黄泥巴	OPT	-N	-P	-K	-B	-Cu	-Fe	+Mn	+Mo	+S	+Zn	1/2K	1/2P
水稻土	OPT	-N	-P	-K	-B	-Cu	+Fe	+Mn	+Mo	-S	-Zn	1/2K	1/2K
黑垆土	OPT	-N	-P	-K	+B	-Cu	-Fe	-Mn	+Mo	-S	-Zn	1/2K	1/2P
黄绵土	OPT	-N	+P	-K	+B	-Cu	-Fe	-Mn	+Mo	-S	-Zn	1/2S	
垆土	OPT	-N	-P	+K	+B	-Cu	-Fe	-Mn	+Mo	-S	-Zn	1/2K	

取 300 mL 的塑料杯,底部打孔,每杯装土 350 g,先按处理称量 4×350 g 土,然后加入相应的营养元素液,等营养液自然风干后,混合均匀,分装于 4 个塑料杯,为 4 个重复,用去离子水湿润土壤后,每盆种植 15 株高粱,6 d 后定苗,每杯下接 13 cm 长的过滤嘴吸取水分,除对照的 -N 处理盆用去离子水外,每盆盛有 0.3 g/L NH_4NO_3 溶液。42 d 后,收获地上部分,烘干称质量,以 OPT 处理的植株干质量为 100%,计算其他处理的相对产量。

2 结果与分析

2.1 土壤养分的化学分析

从表 3 可见,陕西的 5 大类主要土壤,其土壤化学性和土壤有机质含量差异较大,即陕北黄绵土<黄泥巴<黑垆土<水稻土<塬土,这是由这些地区的自然气候条件、长期的种植耕作方式及土壤条件决定的。pH 值为水稻土<黄泥巴<塬土<黑垆土<黄绵土。土壤本身的 pH 值限定了某些土壤养分的有效性,从速效养分分析结果看,5 种土壤均缺氮和磷(测定值均低于 ASI 设定的临界值),均不存在缺钙和镁的问题。关中塬土富含钾,但缺硫,另外 Mn, Cu, Fe 也较缺乏;陕北黄绵土缺 Fe 严重,另外 Zn, Mn, Cu 也都低于临界值;黑垆土缺 S 严重, Zn, Fe, Mn 养分含量也较低;水稻土有效钾含量仅为临界值的 55.64%, B 和 Cu 含量接近临界值,土壤 Fe, Mn 含量分别是临界值的 12 倍以上,这与水稻土长期的厌氧条件有关;黄泥巴含 K 量低,另外, B 也极缺,仅为 0.06 mg/kg, Fe 和 Cu 含量小于临界值, S 和 Zn 含量较高,为临界值的 5 倍。

表 3 土壤化学分析结果

土 类	pH	OM	mg · kg ⁻¹										
			Ca	Mg	K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
黄泥巴	7.8	7 100	5 070.1	901.5	85.0	8.15	3.4	59.7	0.06	1.6	6.3	27.5	4.1
水稻土	5.5	8 000	2 160.4	222.3	46.8	34.0	5.4	18.8	0.26	5.7	138.1	109.3	2.6
黑垆土	8.1	7 500	2 705.4	147.0	144.3	17.0	8.8	1.9	0.74	2.0	6.4	4.8	1.3
黄绵土	8.4	5 800	1 543.0	236.9	123.2	5.6	4.6	27.4	0.62	1.1	3.9	5.0	2.4
塬 土	7.9	9 200	2 725.4	450.8	180.0	21.0	13.8	19.0	0.87	1.8	5.4	7.3	2.3

注:ASI 设定的临界值 N 为 50~55 mg/kg, P 为 12 mg/kg, K 为 78 mg/kg, Ca 为 400 mg/kg, Mg 为 122 mg/kg, S 为 12 mg/kg, Fe 为 12 mg/kg, B 为 0.2 mg/kg, Cu 为 1.5 mg/kg, Mn 为 5 mg/kg, Zn 为 2.0 mg/kg。

2.2 吸附试验结果

供试土壤对各营养元素的吸附各有其特点,土壤对磷和锰的吸附在低加入量时吸附较强;各个土壤对 K, P, B 3 种元素的吸附差异较大;对锰和铜的吸附,除水稻土比较特殊外,其余各个土壤间差异较小。

K 的吸附图(图 1)表明,各个土类间差异明显,回归方程拟合为 $Y=a+bx$ 直线方程, ($r=0.9896$) 达极显著水平,黄泥巴对 K 的吸附率为 67.9%~90.76%;其次为水稻土,吸附率为 43.08%~47.1%,变化不大;黑垆土、塬土、黄绵土对 K 的吸附基本接近,其直线斜率分别为 0.001 543, 0.001 42 和 0.001 375。P 的吸附表明(图 1),加入量与浸提量仍为直线方程,以黄泥巴对 P 的吸附最强,在加入量为 320 mg/kg 时,其吸附率达 82%,其次为水稻土、塬土和黑垆土,其吸附斜率基本接近,为 0.419 7, 0.471 1 和 0.475 7, 吸附性最差的是黄绵土,在最高加入量时其吸附率为 20.6%。对 S 吸附最强的是黄绵土,在

10~160 mg/kg 时吸附率为 28%~77.5%, 水稻土在最高加入量 160 mg/kg 时吸附率达 55%, 黑垆土和塬土吸附力较弱, 其吸附斜率为 0.602 和 0.638。B 的吸附为各个土体间差异较明显, 以塬土和黄泥巴吸附力差异最大, 吸附斜率为 0.484 9 和 0.515 5, 在加入量为 0.25~4 mg/kg 时, 吸附率达 68%~52%, 水稻土、黄绵土和黑垆土较接近, 其吸附斜率分别是 0.683 2, 0.578 6 和 0.515 5。Cu 的吸附达到极显著的直线相关, 除水稻土本身含 Cu 量高外, 从 0~16 mg/kg 加入量时, 吸附率从 80% 下降至 28.1%, 而黄绵土从 17% 增至 34%, 黑垆土、黄泥巴、塬土的吸附趋势基本一致。Mn 的吸附多发生在加入量低时 (20 mg/kg), 其拟合方程为 $Y=a+bx^2$, 达极显著水平。以水稻土对 Mn 的吸附力最弱, 在加入量为 5~80 mg/kg 时, 吸附率为 30%~8.5%, 其余 4 种土壤基本接近。Zn 的吸附在各个土壤间无明显差异, 均表现出吸附率随加入量增加而下降的趋势。在 0~40 mg/kg, 塬土吸附率为 38.8%~31.9%, 黑垆土为 54%~28.3%, 黄泥巴为 40%~13.03%, 水稻土为 49.6%~26.5%, 黄绵土为 22%~18.6%。

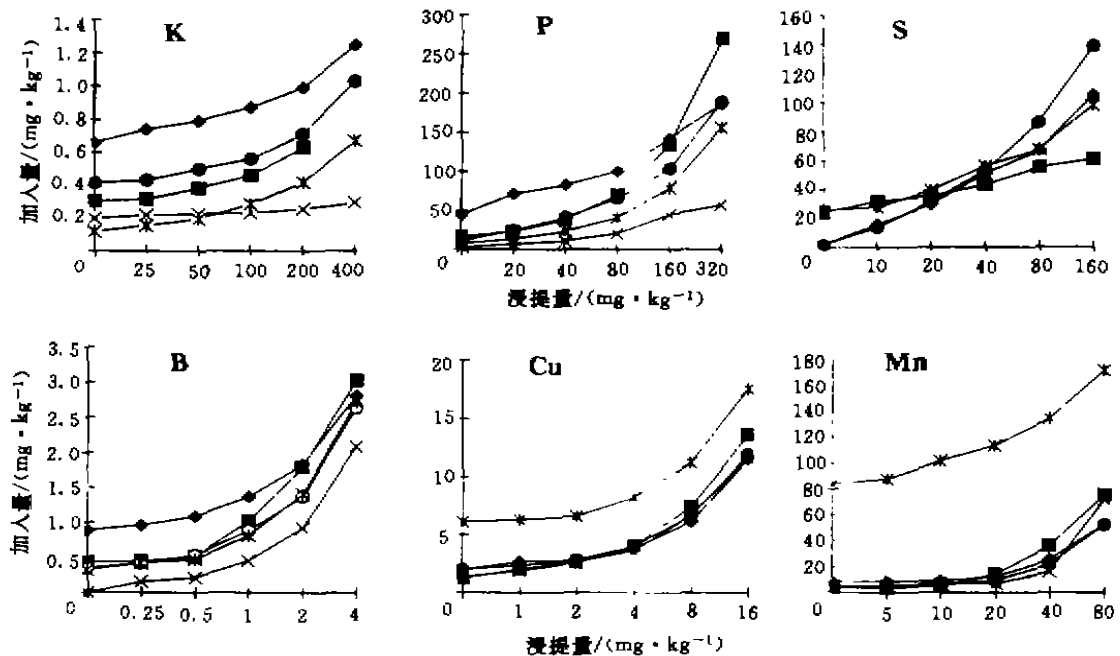


图 1 陕西省主要土壤 6 种元素吸附曲线

—◆— 塬土; —■— 黄绵土; —●— 黑垆土; —×— 黄泥巴; —*— 水稻土

2.3 生物有效性诊断

生物学试验方案是在土壤化学分析及吸附试验基础上进行的, 13 个处理的生物试验的结果 (表 4), 能够更进一步反映土壤真正的缺素状况。

2.3.1 黄泥巴 按相对产量可分为: ①严重缺乏元素 N 和 P, 其相对产量仅为 OPT 的 34.07% 和 33.63%; ②较为缺乏的元素 Fe, 1/2P, 1/2K, B 和 K, 植株干质量依次降低, 相对产量 < 90%; ③不缺乏的元素 S, Zn, Mn, Cu 和 Mo, 与 OPT 处理相比, 补充 Mo, Mn, S 产生增产效应, 说明估计适当。由此可见, 黄泥巴元素缺乏顺序为 $P > N > Fe > B > K$ 。

表 4 土壤速效养分变化对高粱植株干质量和相对产量的影响

供试 元素	黄泥巴		水稻土		黑垆土		黄绵土		塋土	
	干质量/ g	相对产量/ %	干质量/ g	相对产量/ %	干质量/ g	相对产量/ %	干质量/ g	相对产量/ %	干质量/ g	相对产量/ %
OPT	2.26	100.0	3.62	100.0	2.47	0	3.23		5.64	
N	0.77	34.07	1.91	52.76	1.09	44.13	1.81	56.03	2.49	44.15
P	0.76	33.63	0.83	22.93	0.91	36.84	3.14	97.2%	2.38	42.20
K	1.78	78.76	2.14	59.12	2.06	83.40	2.92	90.40	5.58	98.94
B	1.98	87.61	3.04	83.98	2.45	99.19	2.77	85.76	5.23	92.73
Cu	2.12	93.81	3.05	84.25	2.21	89.47	3.25	100.62	4.19	74.29
Fe	2.01	88.94	3.21	88.67	2.31	93.52	2.74	84.83	4.18	74.1
Mn	2.07	91.59	2.84	78.45	2.11	85.43	3.43	94.16	4.86	86.1
Mo	2.28	100.88	3.04	83.78	1.93	78.14	3.30	102.17	5.04	89.36
S	2.21	97.78	2.94	81.22	2.17	87.85	2.65	82.04	4.21	74.65
Zn	2.34	103.54	3.39	93.65	1.67	67.61	2.85	88.24	5.95	105.60
1/2K	2.02	89.38	3.34	92.26	2.29	92.71	2.94	91.02	5.37	95.21
1/2P	1.98	87.61	—	—	1.95	78.95	—	—	3.79	67.20
1/2S	—	—	—	—	—	—	3.03	93.81	—	—
2K	—	—	3.42	94.48	—	—	—	—	—	—
CK	0.72	31.86	1.82	50.27	1.17	47.37	1.02	31.58	2.24	39.71

2.3.2 水稻土 按相对产量可分为:①相对产量低于60%的严重缺乏元素P、N和K;②较为缺乏的元素Fe、Cu、B、Mo、S和Mn,其植株干质量依次降低,加入Fe、Cu、Mn后造成产量低于OPT,可能与引起其他元素不平衡有关;③不缺乏的元素Zn,有趣的是1/2K和2K间相对产量接近,说明1/2K已能够满足作物的生长需求,土壤对各元素的缺乏顺序为 $P>N>K>B>S$ 。

2.3.3 黑垆土 按相对产量可分为:①土壤极度缺乏的元素P和N,相对产量分别为36.84%和44.13%;②土壤较为缺乏的元素Zn、K、Mn、S、Cu和1/2P,引起减产,说明OPT中P的估计是正确的;③土壤相对富足的元素B和Fe, +B并未对产量产生影响。1/2K已能够满足高粱的生长需求。在推荐施肥中,应按 $P>N>Zn>K>Mn>S>Cu$ 的顺序优先予以补充。

2.3.4 黄绵土 按各处理与OPT的相对产量可分为:①土壤极度缺乏的元素N,其相对产量为56.03%;②土壤较为缺乏的元素S、Fe、Zn,当施硫量达到OPT中1/2S时,即能满足作物的正常生长, +B引起作物略有减产,其原因有待进一步探讨;③不缺乏的元素K、1/2K、Mn、Mo和Cu。值得注意的是-K和1/2K处理产量接近,说明K不是土壤的限制因子,但+P并未引起减产,这是元素相互配合平衡施用的结果,土壤的缺素顺序为 $N>S>Fe>Zn$ 。

2.3.5 塋土 供试的处理可分为:①土壤极度缺乏的元素P和N,相对产量分别为42.2%和44.15%;②土壤较缺乏的元素S、Fe、Cu、Mn和Mo,1/2P引起减产,说明OPT中P估计适中;③土壤较富足的元素是K、B、Zn,1/2K和K均对产量无影响,这与塋土富含速效钾的分析结果相吻合。在施肥中,应按 $P>N>S>Fe>Cu>Mn$ 的顺序予以补充。

3 讨 论

土壤分析、吸附试验及生物学试验表明,陕西 5 种主要土壤中,各个土壤养分的补充顺序是:黄泥巴为 $P > N > Fe > B > K$,水稻土为 $P > N > K > B > S$,黑垆土为 $P > N > Zn > K$,黄绵土为 $N > S > Fe > Zn$,塬土为 $P > N > S > Fe > Cu > Mn$ 。与最佳处理的相对产量比较,空白处理的相对产量为 31.58%~50.27%,而且对照的产量顺序为塬土>水稻土>黑垆土>黄绵土>黄泥巴,与有机质分析结果相吻合,这与不同土壤本身的地力水平密切相关,对照处理的产量高于-N 和 -P 处理,这与土壤养分平衡有关。某些试验产量结果高于 OPT 处理,因此,用各营养元素临界含量的 3 倍作为确定盆栽的试验施用量,有待于进一步完善。

[参考文献]

- [1] Wang D L, Cate R B J, Nelson A. Discontinuous models for rapid correlation, interpretation, and utilization of soil analysis and fertilizer response data[J]. Technical Bulletin, 1997, 7: 131~135.
- [2] Hunter A H. A consultancy report: Soil Fertility analytical services in Bangladesh[R]. Dhaka Bangladesh, Bangladesh Agricultural Research Council, 1984.
- [3] 金继运. 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992. 1~16.
- [4] 张 军, 董晓霞, 张淑芳, 等. 土壤速效养分的吸附特征与生物有效性[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(2): 116~124.
- [5] 吴 巍, 张 宽, 王秀芳. 土壤有效钾的吸附特征与钾肥有效性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 271~276.
- [6] 谢建昌, 马茂桐, 杜承林, 等. 北方土壤钾素肥力及其管理[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995. 74~81.

The adsorption characteristic and biological availability of soil nutrients in Shaanxi

LIANG Dong-li, LI Xiao-ping, ZHAO Hu-bing, GU Jie

(Soil and Fertilizer Institute of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Chemical analysis, adsorptive reaction and biological diagnosis were systematically employed to study the status of nutrients in five soils to determine the demanding order for fertilizers. The results showed that N and P deficiency widely existed in the soils, followed by K, S, Cu, Zn deficiency, and B in paddy soil. The added concentration nutrients and adsorptive amount had a good correlation among all test elements and test soils. Except paddy soils, Cu, Zn, Mn adsorption rates were not effected by soils. P, S, and B adsorption differed among the five soils. Biological diagnosis tests showed that OPT was reasonable to some extent. Crop growth was identical with the results of chemical analysis and adsorption tests.

Key words: adsorption; nutrient balance; soil; limited factor