

土壤养分状况系统研究法及其应用初报

金 继 运

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 100081)

摘 要

本文介绍了一个土壤养分状况系统研究方法,该方法包括土壤样品 11 种元素的速效含量测定、土壤对 7 种营养元素的吸附试验、盆栽试验和田间试验。应用该方法研究了 104 个土壤养分状况,盆栽试验发现 100 个土壤缺氮,101 个缺磷,60 个缺钾,38 个缺锌,23 个缺硫,22 个缺硼,分别有 19、18、14、13、11 和 3 个土壤缺铝、钙、镁、铜、锰和铁。盆栽试验得到的结果在部分土壤的田间试验中得到了验证。

关键词 土壤测试,养分限制因子,土壤缺素诊断

土壤养分状况系统研究法是在多年来国际上土壤测试和推荐施肥的基础上逐步发展形成的。美国佛罗里达的国际农化服务中心的 A.H. Hunter 在总结了前人土壤测试工作的基础上,吸收了美国北卡罗里那州立大学的 D. Wangh, R.B. Cate 和 L. Nelson 的研究结果^[1],于 1990 年提出了一套用于土壤养分状况评价的实验室分析和盆栽试验方法^[2]。1988 年,加拿大钾磷研究所的 S. Portch 对此方法稍加修改,开始了在中国合作项目中的应用^[3]。在此方法应用的基础上, Dowdle 和 Portch 于 1988 年提出了土壤养分状况系统研究的概念^[4]。此后,该研究方法很快在中一加合作项目中展开,已经在 13 个省的范围内 104 种土壤上进行了应用,取得了大量有价值的资料^[5],在某些省份,研究的结果已经用于指导高产和最大经济效益产量 (MYR/MEY) 研究^[2,6]及其他田间试验^[1,3],初步取得了较好的效果。现将该方法的主要特点及初步应用结果简报如下。

一、土壤养分状况系统研究法的理论基础及方法简介

土壤养分状况系统研究方法包括:(1)土壤样品的采集与处理;(2)实验室化学分析;(3)土壤对养分的吸附试验;(4)温室或网室盆栽试验;(5)田间试验。

(一) 土壤样品的采集与处理

采集土壤样品首先要选择在当地有代表性的地块,在一块地的取样的点数以 20—30 个点为好,以保证土壤样品有较好的代表性。用随机取样或系统取样法取耕层土样 70kg,在充分混合后再从中多点(不少于 30 个)选取一个 1.5kg 子样品供实验室分析和吸附试验。大样品在充分混合后用作盆栽试验。试验中土样的大小用容量表示。

(二) 实验室化学分析

实验室化学分析除了包括 pH、有机质和活性酸度等常规分析外,主要包括对氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、硼、锰、锌、铜共 11 种元素的速效含量的测定。其中速效性磷、钾、铜、铁、

锰、锌用国际农化服务中心的 ASI 浸提液浸提 (0.25mol/L NaHCO_3 - 0.01mol/L EDTA - $0.01\text{mol/L NH}_4\text{F}$);速效性硼和硫用 0.08mol/L 的磷酸钙溶液浸提;氨态氮和速效钙,镁用 1mol/L 的 KCl 浸提。这些浸提方法有多年实验室和田间试验的基础,能够较好的反映土壤速效养分供应情况,已经研究确定了各营养元素的临界值范围,在不少国家成功地应用过。

(三) 土壤对养分的吸附试验

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)而使有效性和利用率降低,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。多年来,对各营养元素被不同土壤或不同土壤组分的吸附过程开展了大量的研究工作。但是,由于吸附试验复杂难做,一直未能把土壤对养分的吸附固定作为一个因素直接应用于土壤养分状况的评价及施肥量的推荐上。该系统研究方法把吸附试验的操作系列化、程序化,按照土壤速效养分含量和土壤的吸附固定能力综合评价土壤养分状况,确定施肥水平。

吸附试验是在一系列一定量的土壤样品中加入各元素含量不同的溶液,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中的各种反应,用与原始土样的常规化学分析方法相同的浸提液浸提土壤,测定土壤中各营养元素的可浸提量,然后以各元素的加入量对风干后的可浸提量作吸附曲线图,用来评价土壤的吸附固定能力,并确定适宜的施肥量。

图 1 是供试的三个土壤(河南郑州潮土、山东莱阳棕壤和河北玉田潮土)对磷的吸附曲线,可以看出,河北潮土对磷的吸附固定能力比河南潮土强得多。如果要将土壤中的速效磷调到 40mgP/升土 ,每升河南潮土中只需加入大约 40mg 的 P ,而河北潮土中则必须加入约 140mg ,大约是河南潮土的 3.5 倍。可见,吸附试验对于可靠的评价土壤养分状况和确定合适的施肥量是相当重要的。

(四) 盆栽试验

盆栽试验可以在温室或网室条件下进行,一般以高粱为指示作物,盆栽的容器就地取材,用土量以体积计量,一般用土 150 — 500ml 不等。研究表明用 150ml 的土量就足以达到研究的目的。用特制的装置在盆钵底上装一个香烟过滤嘴供应水分。每盆留 8 — 15 棵高粱苗,生长 30 — 40 天,在高度密植情况下保证植物对土壤养分的高强度吸收,以达到使各种营养元素缺乏的问题充分显露的目的。

盆栽试验一般设置 13 — 16 个处理, 3 — 4 次重复,其中最重要的是一个最佳处理,最佳处理是依据化学测定和吸附试验的结果而确定的。仍以图 1 中三个土壤的施肥量为例,如果在以往工作的基础上暂定土壤速效 P 含量 13mg/L 为临界值,因为盆栽试验中

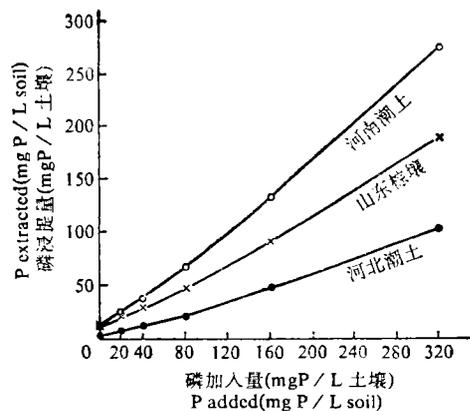


图 1 三个土壤对磷的吸附曲线
Fig. 1 Phosphorus adsorption curves
of 3 selected soils

对养分的吸收比田间条件下大得多,一般将盆栽土壤中适宜的养分含量调到相当于临界值的3倍,在这种情况下,土壤速效P的水平需要调到大约40mg/L,那么,根据吸附曲线,在河南潮土和河北潮土的最佳处理中则需分别加入40和140mgP/L土壤。依次类推,参照其他各元素的吸附曲线确定各元素在最佳处理中的施入量,当某一元素的原始含量超过其临界值三倍时,在最佳处理中就不加入该元素,如果原始土样中某元素含量不足,则参照土壤对其吸附固定能力将该元素调到最佳水平,这样,保证最佳处理中各营养元素的均衡供应。

当最佳处理确定之后,还要设置若干个辅助处理以验证最佳处理是否真的最佳。若最佳处理中已经加入了某元素,则另设一个最佳处理中减去该元素的处理;若最佳处理中未加入某元素,则另设一个在最佳处理基础上再加入该元素的处理,其他各元素的加入量与最佳处理相同。

盆栽试验结束后,收获植株地上部分,烘干称干物重,并统计分析各处理与最佳处理间的差异显著性,以最佳处理干物重为100%计算出各处理相对干物产量,并用以估计该土壤的养分限制因子及其缺乏的严重程度。

表1列出了依据上述原则,根据土壤测定和吸附试验结果,用河北玉田潮土进行盆栽试验的处理设置及相对干物产量结果^[9],可以看出,该土壤缺乏的养分及其严重程度的顺序依次是磷(相对干物产量23.5%)、氮(30.9%)、锌(82.7%)、钾(87.4%)和铜(90.1%)。该土壤中养分限制因子主要是缺磷和缺氮,其次是缺锌和缺钾,铜的缺乏也显著地影响了产量。

表1 河北玉田潮土盆栽试验结果

Table 1 Results of the pot experiment conducted on a fluvo-aquic soil from Yutian, Hebei

处 理 Treatment	平均干重 Average dry weight (g/pot)	相对产量 Relative yield (%)	养分状况评价 Nutrient status evaluation
最佳	2.72	100	
+1/2K	2.78	102.2	1/2K 即可
+2K	2.62	96.3	加大钾量无效
-N	0.84	30.9**	土壤缺氮
-P	0.64	23.5**	土壤缺磷
-K	2.35	86.4**	土壤缺钾
+B	2.62	96.3	土壤不缺硼
-Cu	2.45	90.1**	土壤缺铜
-Fe	2.71	99.6	土壤不缺铁
-Mn	2.66	97.8	土壤不缺锰
+Mo	2.59	95.2	土壤不缺钼
-S	2.87	105.5	土壤不缺硫
-Zn	2.25	82.7**	土壤缺锌
+1/2P	2.62	59.6**	1/2P 不足
+1/4K	2.40	88.2**	1/4K 不足
对照	0.53	19.5**	

** 在1%水平上显著。

(五) 田间试验

通过实验室化学分析、吸附试验和盆栽试验,对供试土壤的养分状况,存在的限制因子,及各限制因子对产量的影响程度有了较全面的了解,就可以有的放矢的安排田间试验。在安排田间试验时,除了所研究的因素以外的其它各营养元素,如果在盆栽试验中表现缺乏的,都要普遍施入合适的量,以消除这些限制因子的影响,保证所研究的因子的增产效应的最大限度的发挥。

二、土壤养分状况系统研究法的初步应用结果

(一) 土壤中养分限制因子分析

在我国 13 个省的范围内 104 个土壤中已经进行了盆栽试验,绝大部分的试验是成功的,依据化学分析和吸附试验所确定的最佳处理获取了最大的或接近最大的干物质生长量,并根据相对产量找出了各土壤的养分限制因子,估计出各自的缺乏严重程度。也有个别土壤,最佳处理的干物产量不是最高,其它减元素或加元素的处理的产量高于最佳处理,说明对最佳处理的估计有误,或所选用的浸提方法及相应的临界值需要调整,在此情况下,重新设定最佳处理,重新进行了盆栽试验。

表 2 汇总了 104 个土壤盆栽试验的结果,其中 101 个土壤显出缺磷,表现缺氮的有 100 个土壤,缺钾的 60 个,缺锌的 38 个,缺硫的 23 个,缺硼的 22 个,也有相当数量的土壤表现出缺钼、钙、镁、铜和锰,只有 3 个土壤表现出缺铁。其中影响产量最严重的是氮和磷,在不施用这两种元素的处理中,平均相对干物产量只有 43% 和 38%,在极端严重缺

表 2 土壤养分限制因子研究盆栽试验中缺素处理的相对干物产量

(以最佳处理产量为 100%;共 104 个土壤,取自 13 个省¹⁾)

Table 2 Relative yields (dry weight) of various nutrient-deficient treatments in pot experiments of 104 soils from 13 provinces (taking yield of optimum treatment as 100%)

缺 素 处 理 Treatment	缺素处理 减产的土壤数 Number of soils showed yield response	相对产量范围 Range of relative yield (%)	平均相对产量 Average relative yield (%)
-P	101	9—85	38
-N	100	6—83	43
-K	60	39—88	71
-Zn	38	44—89	75
-S	23	42—92	72
-B	22	65—91	80
-Mo	19	59—94	79
-Ca	18	2—85	50
-Mg	14	34—90	74
-Cu	13	42—89	74
-Mn	11	71—92	81
-Fe	3	46—71	62

1) 104 个土壤取自广东、吉林、辽宁、黑龙江、湖北、云南、四川、山东、江西、河北、广西、安徽、浙江,盆栽试验结果由有关省农业科学院土壤肥料研究所提供。

氮和磷的土壤上,不施这两种元素的处理的相对干物产量只有 6% 和 9%。缺钾、锌和硫的土壤,分布也比较广,不施这些元素的处理的平均相对产量在 70% 左右,在严重缺钾、锌、硫的土壤上,干物重相对产量分别为 39%、44% 和 42%。

表 2 的结果表明,除了氮、磷、钾大量营养元素以外,中、微量元素的缺乏问题也相当普通,有的已经成为主要的产量限制因子,在开展与土壤肥力和施肥有关的研究工作或进行施肥推荐工作时,必须综合考虑土壤中大、中、微量各元素的均衡供应,才能达到预期的效果。

(二) 田间试验初步结果

在山东、河北、吉林和黑龙江的 10 几个土壤上,依据盆栽试验的结果安排了田间试验,这些田间试验大部分是根据盆栽试验的结果选择 1—4 个元素进行研究,结果表明,盆栽试验中发现的严重影响干物产量的主要限制因子,在田间试验中都得到了验证,比如,河北玉田潮土,在盆栽试验中发现磷、钾、锌是主要限制因素,从最佳处理中减去磷、钾、锌,植物干物产量分别下降了 77.5%、13.4% 和 17.3%。田间试验中研究了冬小麦和夏玉米的磷、钾、锌肥配合施用。结果表明,每公顷施用 187.5kg 和 300kg P_2O_5 , 分别比低磷处理 (75kg P_2O_5 /ha) 增产小麦 28.7% 和 34.2%;每公顷施用 180kg 和 300kg K_2O 分别比低钾处理 (60kg K_2O /ha) 增产小麦 4.9% 和 12.1%,增产玉米 9.6% 和 15.8%。锌肥在小麦上没表现出增产效果,但在玉米上,每公顷施用 7.5kg Zn 比不施锌增产 81.1%^[2]。

表 3 黑龙江省 4 个土壤盆栽试验和田间试验中缺素处理的相对产量
(以最佳处理为 100%)

Table 3 Relative yields of various nutrient-deficient treatment in pot and field experiments of 4 soils from Heilongjiang (Taking yield of optimum treatment as 100%)

土 壤 Soil	试验类型 Type of experiment	缺 素 处 理 Nutrient-deficient treatment				
		-K	-S	-Zn	-B	-Cu
哈尔滨 黑 土	盆 栽	92	75	—	98	—
	田间玉米	90.3*	86.3*	—	96.2	—
	田间大豆	88.7*	89.8*	—	100	—
	田间水稻	93.7	86.8*	—	92.5	—
林 口 白浆土	盆 栽	83	—	79*	96	—
	田间玉米	84.7*	—	93.2	91.8	—
	田间大豆	92.8	—	86.9*	91.9	—
	田间水稻	97.2	—	94.1	92.7	—
庆 安 草甸土	盆 栽	77	—	89	—	87
	田间玉米	94.5	—	92.1*	—	95.6
	田间大豆	78.1*	—	97.9	—	91.6*
	田间水稻	85.7	—	87.3	—	96.8
双 城 黑 土	盆 栽	78	78	71*	—	—
	田间玉米	91.9*	82.0*	93.7	—	—
	田间水稻	91.4*	94.1	98.8	—	—

* 在 5% 水平上显著。

表 3 汇总了黑龙江的 4 个土壤上的盆栽试验和相应的玉米、大豆、水稻的田间试验中各缺素处理的相对产量(以最佳处理为 100%)^[4]。可以看出,在盆栽试验中表现严重缺乏的元素(如哈尔滨黑土中硫),一般在田间试验中可以有所反应;在盆栽试验中表现一般缺乏的元素(如 4 个土壤中的钾、硼),田间试验中大部分也可以看出不施该元素的减产趋势。但是,田间试验的条件与盆栽试验相差很大,各种作物的反应也各不相同,不可能完全重现盆栽试验中的发现。比如林口白浆土的缺锌在盆栽试验中和田间试验的大豆上表现出显著影响,在玉米和水稻上差异则不显著。但是,盆栽试验与田间试验的结果的总趋势是一致的。

三、结 语

本文所介绍的土壤养分状况系统研究法通过快速的土壤速效养分测定和吸附试验评价土壤养分供应状况,并通过盆栽试验,找出土壤养分限制因子及其缺乏严重程度,用以指导田间试验和施肥推荐。自引进我国以来,已经在 13 个省 104 个土壤上进行了鉴定土壤养分限制因子的盆栽试验,并在部分土壤上进行了田间试验。初步研究表明该系统研究方法在土壤肥力与施肥以及有关的研究方面有广阔的应用前景。但是,土壤本身是复杂的多相体系,营养元素与土壤各不同组分的反应复杂多变。我国土壤类型较多,各地区的气候条件、种植制度各不相同。该系统研究方法在不同地区,不同土壤,不同种植制度下的适用性,还需要大量的工作进行验证,其中有些测试方法和相应指标还需要根据我国或各地区具体情况进行修正。此外,如何充分应用该系统研究方法所取得的关于土壤养分状况的信息资料,开展平衡施肥和施肥推荐工作,还有许多工作有待深入的探讨。

参 考 文 献

1. 梁红等, 1992: 高产平衡施肥—钾肥肥效的研究。《土壤钾素和钾肥研究》。第 33—38 页, 中国农业科技出版社。
2. 金继运等, 1992: 高产小麦—玉米的经济合理施肥研究。《土壤钾素和钾肥研究》。第 96—103 页, 中国农业科技出版社。
3. 张宽等, 1992: 钾和硫对玉米和北方水稻产量的影响。《土壤钾素和钾肥研究》。第 18—21 页, 中国农业科技出版社。
4. Dowdle, S. and S. Portch 1988: A systematic approach for determining soil nutrient constraints and establishing balanced fertilizer recommendations for sustained high yields. Proceedings of the International symposium on Balanced Fertilization, November 8—12, 1988. Beijing, China.
5. Hunter, A.H. 1980: Laboratory and greenhouse techniques for nutrient survey to determine the soil amendments required for optimum plant growth. Mimeograph, Agro Service International, Florida, USA.
6. Jin, Jiyun and S. Portch 1991: Summary of greenhouse plant nutrient survey studies of Chinese soils. International symposium on the Role of Sulphur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition. April 3—10, 1991, Chengdu, Sichuan, China.
7. Portch, S. 1988: Greenhouse/Screenhouse soil nutrient survey procedures. Mimeograph. Potash and Phosphate Institute, Hong Kong.
8. Portch, S.; J. Jin and X.Chen, 1990: Identifying soil fertility constraints: A prerequisite for establishing maximum yield research in China. Proceedings of Symposium on Maximum Yield Research. A Satellite Symposium of the 14th International Congress of Soil Science. p.42—52. August 12—18, 1990. Kyoto Japan.
9. Wang Z.; J. Jin; G. Gao; L. Wang and B. Lin, 1991: Study of nutrient limiting factors in whe-

at-maize cropping system in three selected soils. International Symposium on the Role of Sulphur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition. April 3—10, 1991. Chengdu, Sichuan, China.

10. Waugh, D.L.; R.B. Cate, Jr.; and L.A. Nelson. 1973: Discontinuous models for rapid correlation, interpretation, and utilization of soil analysis and fertilizer response data. Technical Bulletin No. 7, North Carolina State University.

A SYSTEMATIC APPROACH FOR SOIL NUTRIENT STATUS STUDY AND ITS APPLICATION

Jin Jiyun

(*Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, 100081*)

Summary

A systematic approach for soil nutrient status study was introduced to China in 1988. The method includes 1) soil sampling; 2) soil testing for 11 nutrients content; 3) soil adsorption for 7 nutrients; 4) greenhouse study; and 5) field experiment. Pot experiments have been conducted to study nutrient status of 104 soils from 13 provinces. Of the 104 soils, 100 were deficient in N, 101 deficient in P, 60 deficient in K, 38 deficient in Zn, 23 deficient in S and 22 deficient in B. The number of soils showing deficiency in Mo, Ca, Mg, Cu, Mn and Fe was 19, 18, 14, 13, 11 and 3, respectively. The findings in greenhouse study have been verified in field experiments of selected soils.

Key words Soil testing, Soil nutrient inhibiting factor, Diagnosis of nutrient deficiency of soils