

棉田土壤上几种磷肥用量估算法的比较研究

陈波浪¹, 盛建东^{1*}, 蒋平安¹, 刘永刚²

(1 新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052; 2 新疆农业职业技术学院, 新疆昌吉 831100)

摘要: 本文通过田间试验和室内模拟试验研究了不同磷肥估算法在棉田土壤上的应用。结果表明: 肥效函数法、土壤吸附等温线法、土壤磷酸盐吸收系数法和磷指标法均能应用于棉田土壤, 砂壤质棉田由此估算的施磷量分别为 P_2O_5 148、173、168 和 150 kg/hm², 壤质棉田施磷量分别为 P_2O_5 138、160、153 和 172 kg/hm², 其中以土壤磷酸盐吸收系数法操作最简便且精度与肥效函数法相当。

关键词: 棉田; 磷肥估算法; 需磷量

中图分类号: S143.2; S562.06

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)02-0465-05

Comparative study on phosphate fertilizer application estimation method in cotton field soil

CHEN Bo-lang¹, SHENG Jian-dong^{1*}, JIANG Ping-an¹, LIU Yong-gang²

(1 Faculty of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2 Xinjiang Agricultural Vocational Technological College, Changji, Xinjiang 831100, China)

Abstract: In this paper, different evaluation method on amount of phosphate application cotton field soil was studied by field experiments and laboratory simulations. The results show that the calculated phosphoric fertilizer application amounts of loamy sand cotton field were P_2O_5 148, 173, 168 and 150 kg/ha using the method of fertilizer efficiencies function, phosphate adsorption isotherm, phosphate adsorption coefficient and phosphate fertilizer index, respectively; and the phosphoric fertilizer application amounts on loamy cotton field were P_2O_5 138, 160, 153 and 172 kg/ha respectively. Based on our experiments, the method of phosphate adsorption coefficient was recommended because of its easy operation and high precision.

Key words: cotton field; phosphate estimation method; phosphate fertilizer requirement

磷是棉花生长发育必需的植物营养元素之一,也是新疆棉花高产的养分的第二大限制因子^[1]。植物吸收利用的是土壤中的有效磷,因此土壤有效磷的消长取决于土壤磷素的收支状况,而其消长速度取决于土壤性质。为了获得作物持续的高产稳产,必须建立起一个有效的土壤磷库,使土壤肥力逐步提高,保持土壤有效磷的供应能力,而施用磷肥是建立土壤有效磷库的主要措施。

科学施用磷肥是提高棉花产量和品质的主要施肥措施之一。关于磷肥用量的估算,国内外近年应

用较多的方法有^[2-15]: 1) 土壤有效磷肥力指标法,即根据土壤有效磷测定值的分级标准决定磷肥用量; 2) 磷指标法(PFI法),按土壤磷的容量和强度测定得出磷肥指数,计算不同土壤的磷肥用量; 3) 肥效函数法(FEF法),依据磷肥肥效函数求出最高产量和最佳产量的磷肥用量; 4) 土壤磷素等温吸附曲线法,由土壤磷素等温吸附方程估算磷肥用量; 5) 土壤的磷酸吸收系数法(PAC),根据磷酸吸收指数决定磷肥用量。然而将多种磷肥用量估算法运用到同一作物同一土壤的研究还少有报道,因此,本文通

收稿日期: 2009-03-12 接受日期: 2009-05-29

基金项目: 新疆维吾尔自治区高等学校科研计划重点项目(XJEDU2006I29); 新疆维吾尔自治区“十一五”重大专项“棉田水肥高效利用调控技术开发”课题(200731133-2); 新疆维吾尔自治区高校青年启动项目(XJEDU8008S17); 新疆维吾尔自治区土壤学重点学科项目资助。

作者简介: 陈波浪(1979—),男,湖南人,在读博士,讲师,从事植物营养与土壤相互作用研究。

Tel: 0991-8762975, E-mail: bolangch@yahoo.com.cn. * 通讯作者 E-mail: sjd-2004@126.com

过田间试验和室内模拟试验将上述 2) 至 5) 4 种磷肥用量估算法在棉田土壤上进行综合比较,以期获得一个简便易行、精确度又高的磷肥施用量估算法,为棉田磷肥的合理施用和磷肥利用率的提高提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验在新疆呼图壁县二十里店的两种不同质地(壤质和砂壤质土壤)的棉田土壤上进行,棉花品种为新陆早 24 号,2007 年 4 月 22 日播种,5 月中上旬间苗,基本苗定为 195000 株/hm²。棉田土壤的基本

理化性状见表 1。试验在砂壤质和壤质土上分别设 6 个施磷处理,为 P₂O₅ 0 kg/hm²(P₀)、75 kg/hm²(P₁)、150 kg/hm²(P₂)、300 kg/hm²(P₃)、600 kg/hm²(P₄)、1200 kg/hm²(P₅)。小区面积为 8 m²,重复 3 次随机区组排列。氮肥用尿素,用量 600 kg/hm²,钾肥用硫酸钾,用量(K₂O)120 kg/hm²,磷肥用三料磷肥,氮肥 50%作基肥,50%作追肥,磷肥和钾肥全部作基肥施用。用于进行土壤磷素等温吸附曲线法和土壤磷酸吸收系数法估算磷肥用量的土壤为播种前 0—20 cm 耕层的风干土,用于进行土壤磷指标法估算磷肥用量的土壤是将播种前 0—20 cm 耕层土壤按各施肥处理(不种棉花)培养 30 d 后采集的风干土壤。

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Some basic chemical and physical properties of soil in experiment

土壤质地 Soil texture	有机质 OM (g/kg)	全氮 Tot. N (g/kg)	碱解氮 Avail. N (mg/kg)	全磷 Tot. P (g/kg)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	全钾 Tot. K (g/kg)	有效钾 Avail. K (mg/kg)	pH (水:土 = 1:1)	土壤颗粒组成(%) Constituent of soil particles		
									< 0.002 mm	0.002~ 0.02 mm	0.02~ 2 mm
壤土 Loam	19.4	1.3	51.7	0.77	5.4	21.4	370	7.8	16.4	60.2	23.4
砂壤土 Sandy loam	21.4	1.1	58.7	0.66	1.8	18.3	229	8.0	11.1	48.7	40.7

1.2 测定方法

1.2.1 磷素等温吸附 称取过 0.5 mm 筛的风干土样 2.500g 若干份,分别放入 100 mL 三角瓶内,然后分别向其中加入 0、5.0、10.0、20.0、30.0、40.0、50.0、60.0、80.0、160.0 mg/L 磷标准液各 50.0 mL(磷标准溶液含 0.01mol/L CaCl₂),并加甲苯数滴防止微生物生长,塞上橡皮塞振荡 2 h,然后放入 25℃的恒温箱中存放 24 h,其间每隔 12 h 振荡一次,每次 30 min,然后 4000 r/min 离心 8 min,吸取适量上清液进行磷的测定,吸附磷量为加入磷量与残留磷量之差。以吸磷量对平衡液浓度作图,即得到磷的恒温吸附曲线。

1.2.2 土壤的磷酸吸收系数(PAC) 土壤的磷酸吸收系数(PAC)是指土壤吸收的磷换算成 1 kg 土所吸收的 P₂O₅ 的 mg 数,表示土壤对磷的吸持能力的大小^[15]。测定方法为:称取过 1 mm 筛的风干土样 1.0 g,加入 pH 为 7.0 的 2.0% 磷酸铵标准溶液 2 mL,恒温 25℃培养 24 h,加 0.5 mol/L 的 NaHCO₃ 5mL,25℃下恒温间歇振荡 1h,过滤,吸滤液 1 mL 稀释 50 倍后,再吸取 1 mL 用钼锑抗法测滤液中的磷,由加入土壤中的磷量减去残留在滤液中的磷量得土壤吸收的磷量,换算成每 1 kg 土所吸收的 P₂O₅ 的

mg 数,即为 PAC。

1.3 分析项目与方法

土壤有效磷用 0.5 mol/L NaHCO₃ 提取—钼锑抗比色法测定;土壤全磷用 H₂SO₄—H₂O₂ 消化—钼锑抗比色法测定;土壤有机质用硫酸重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮、全钾、碱解氮、有效钾测定均用常规分析方法;土壤 pH 值用水浸提(水土比为 1:1),电位法测定;以上均参照《土壤农业化学常规分析方法》^[16]。

2 结果与分析

2.1 棉田土壤磷素吸持特性及需磷量

与氮和钾相比,磷在土壤中的移动性弱且易固定,磷的吸持特性主要是土壤对磷的吸附与解吸过程,本文运用平衡法研究土壤体系对磷的吸附,根据磷等温吸附实验的结果进行磷等温吸附方程拟合,其磷吸附等温线符合 Langmuir 吸附等温线、Freundlich 吸附等温线和 Temkin 吸附等温线方程,其拟合结果见表 2。从表 2 可以看出,三个等温吸附方程拟合程度均达极显著水平,相关系数在 0.8413—0.9949 之间,尤以 Freundlich 方程的拟合度最好,

相关系数均在 0.99 以上。

土壤吸附等温线法是一种常见的土壤磷饱和吸附法,也可作为土壤需磷量估算的一种方式,Fox 等人研究认为,土壤溶液中平衡磷浓度能维持在 0.2 mg/L 时,一般旱地作物的生长量即可达到最高生长量的 92%—98%。故可把平衡溶液中磷浓度保持在 0.2 mg/L 时,土壤对磷的吸附量称为“标准需磷量 (SPR)”^[12]。从不同质地棉田土壤三种等温吸附方程的拟合度来看,以 Freundlich 吸附等温线最高,本文采用此方程来估算土壤需磷量,结果见表 2。由表 2 可知,砂壤质棉田需磷量为 P_2O_5 172.97 kg/hm²,壤质棉田需磷量为 P_2O_5 160.19 kg/hm²。

表 2 供试土壤磷的恒温吸附对几个等温式的拟合情况

Table 2 Fitting of phosphate isothermal adsorption date of the differently treated soils with the three adsorption equations

土壤质地 Soil texture	Langmuir 吸附等温式 Langmuir equations C/X = C/X _m + 1/KX _m			Freundlich 吸附等温式 Freundlich equations LogX = LogK + 1/nLogC			Temkin 吸附等温式 Temkin equations X = k ₁ ln(k ₂ C)			SPR (kg/hm ²)
	X _m	K	r	n	K	r	k ₁	k ₂	r	
壤土 Loam	1666.67	0.0254	0.9155	1.2641	51.01	0.9949	343.40	0.3829	0.9002	160.19
砂壤土 Sandy loam	1666.67	0.0168	0.8413	1.2752	32.09	0.9941	318.81	0.2768	0.8573	172.97

注(Note): r 为相关系数 Relation coefficient, 样本数 Sample No. n = 12, $r_{0.05} = 0.576$, $r_{0.01} = 0.708$

2.2 棉田磷素效应函数及需磷量

生物效应的肥效函数法是平衡施肥中经典而可靠的方法。本试验设计 6 个不同磷素水平,各处理子棉产量见表 3。由表 3 可知,各施磷处理子棉产量均显著高于对照。由于 P_2O_5 1200 kg/hm² 处理磷肥用量过高,不利于肥料效应函数方程的模拟,本文只选取前 5 个处理使用 Excel 和 DPS 统计软件,回归分析施磷量与产量之间的关系,它们之间的数量关系用肥料效应函数表示如下: $Y_{\text{砂壤土}} = 4627.12 + 1.0683P - 0.0036P^2$ ($R^2 = 0.9967$); $Y_{\text{壤土}} = 4875.16 +$

$1.0764P - 0.0039P^2$ ($R^2 = 0.9955$)。求得砂壤土棉田子棉最高产量为 4706.25 kg/hm² 时, P_2O_5 的施用量为 148.37 kg/hm², 壤土棉田子棉最高产量为 4949.27 kg/hm² 时, P_2O_5 的施用量为 138 kg/hm²。这与上述土壤吸附等温线法估算的磷肥用量相接近,也与张炎^[1]运用肥料效应函数法推荐的新疆棉田磷肥施用量 P_2O_5 157.5 kg/hm² 和李俊义^[7]在速效磷含量低于 15 mg/kg 的棉田上进行的田间肥效试验计算的最佳磷肥施用量 P_2O_5 160.8 kg/hm² 相当。

表 3 不同处理棉田子棉产量(kg/hm²)

Table 3 The yield of seed cotton in different treatment

土壤质地 Soil texture	施磷量 Fertilizer application rate (P_2O_5 kg/hm ²)					
	0	75	150	300	600	1200
壤土 Loam	3420 b	4933.8 a	4948.7 a	4846.9 a	4116.8 a	4305 a
砂壤土 Sandy loam	3627 b	4686.9 a	4706.2 a	4623.5 a	3972.0 ab	4153 ab

注(Note): 同行数值后不同小写字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters within a row mean significant at 5% level.

2.3 棉田土壤的磷肥指数及适宜磷肥用量

所谓磷肥指数(PFI),即每增加单位土壤有效磷含量(mg/kg)所需施入的磷肥(P_2O_5)数量(kg)。以土壤速效磷含量为自变量,施磷量为依变量,求方程式,直线方程的斜率即为磷肥指数。由于新疆回春比较慢,4 月份的气温不高,土壤有效磷含量相对稳定时间较长,本试验在施入不同量的磷肥 30 d 后取样,用 Olsen 法测定土壤速效磷含量,结果见表 4。

从表 4 可看出,施磷量(Y)与土壤速效磷含量(X)呈极显著的线性正相关, $Y_{\text{砂壤土}} = 10.48X - 65.16$ ($R^2 = 0.9181$), $Y_{\text{壤土}} = 17.76X - 257.64$ ($R^2 = 0.9714$)。据方程求得砂壤土棉田和壤土棉田的磷肥指数分别为 10.48 和 17.76。

磷临界值是指当某一土壤速效磷含量超过某一值时,作物增产效果不明显或下降,此时的土壤速效磷含量即为磷临界值。本试验将肥料效应函数方程

表 4 不同处理棉田土壤速效磷含量 (mg/kg)

Table 4 Soil available P concentration on cotton field in different treatment

土壤质地 Soil texture	施磷量 Fertilizer application rate (P_2O_5 kg/hm ²)					
	0	75	150	300	600	1200
壤土 Loam	12.66 d	16.10 d	21.61 cd	37.63 c	52.60 b	77.30 a
砂壤土 Sandy loam	6.06 de	11.62 de	15.96 d	37.48 c	84.37 b	103.67 a

注(Notes): 同行数值后不同小写字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters within a row mean significant at 5% level.

估算的磷肥施用量代入上述磷肥指数方程即得到砂壤土棉田和壤土棉田的磷临界值分别为 20.37 和 22.3 mg/kg。

有了磷肥指数和磷临界值,即可根据下式计算土壤施磷量: $Q = PFI \times (K - P_o)^{[6]}$, 式中: Q 为施磷量; PFI 为磷肥指数; K 为土壤磷临界值 (mg/kg); P_o 为实测土壤有效磷含量 (mg/kg)。由此估算砂壤土棉田和壤土棉田适宜磷肥用量分别为 P_2O_5 149.97 和 172.48 kg/hm²。这一结果在数值上与前两种方法估算的结果差别不大,只是两种质地棉田的需磷量与前两种结果不一致,即壤土棉田需磷量大于砂壤土棉田,这还需进一步研究。

2.4 棉田土壤的磷酸吸收系数 (PAC) 及需磷量

土壤溶液中的磷酸盐是作物根系容易吸收利用

的活性磷,但由于施入土壤中的磷酸盐不同程度地被化学固定或吸附,降低了磷的有效性。不同土壤因理化特性不同,对磷酸的吸收能力有很大的差异,因此往一定量土壤中加入磷酸盐达到吸附平衡后,不同土壤中残留在土壤溶液中的磷酸盐浓度是不同的,因而可通过测定土壤的磷酸盐的吸收系数(见表 5)来探讨不同土壤的磷肥合理用量。土壤磷酸吸收系数法(PAC)因不同地区和不同作物种类而异,本文依试验数据将 PAC 的 0.2%、0.3%、0.5% 和 2% 计算的施磷量列于表 5,与前 3 种磷肥估算量相比较。从表 5 可以看出,以 PAC 的 0.3% 计算的施磷量最为相近。由此可估算出砂壤土棉田和壤土棉田适宜磷肥用量分别为 P_2O_5 168.49 和 153.08 kg/hm²。

表 5 棉田土壤的磷酸吸收系数 (PAC) 及需磷量

Table 5 Phosphate adsorption coefficient and phosphate application in cotton field

土壤质地 Soil texture	PAC (mg/kg)	需磷量 Phosphorus requirement amount (P_2O_5 kg/hm ²)			
		0.2% PAC	0.3% PAC	0.5% PAC	2% PAC
壤土 Loam	23678.5	106.55	153.08	266.38	1065.53
砂壤土 Sandy loam	24961.5	112.33	168.49	280.82	1123.26

3 讨论与结论

土壤需磷量是研究磷肥利用率的关键指标,其估算可以通过土壤有效磷肥力指标法、肥料效应函数和土壤磷的饱和和吸附法。土壤有效磷肥力指标法因各地区有效磷肥力指标各异和精确度低而很难被广泛运用,生物效应的肥效函数法是磷肥用量研究中最经典、最可靠的方法,本试验由磷肥效应函数法估算的砂壤土棉田和壤土棉田需磷量为 P_2O_5 148.37 kg/hm² 和 138 kg/hm²,与张炎运用肥料效应函数法推荐的新疆棉田磷肥施用量 P_2O_5 157.5 kg/hm² 和李俊义在速效磷含量低于 15 mg/kg 的棉田上进行的田间肥效试验计算的最佳磷肥施用量 P_2O_5 160.8 kg/hm² 相当。土壤磷饱和和吸附法主要包括土壤吸附等温线法、土壤磷酸吸收系数法和磷肥

指标法,土壤吸附等温线法是一种常见的土壤磷饱和和吸附法,本试验运用土壤吸附等温线法估算砂壤土棉田和壤土棉田的标准需磷量为 P_2O_5 172.97 kg/hm² 和 160.19 kg/hm²,略高于肥料效应函数法估算的结果,两者相差每公顷不超过 30 kg。土壤磷酸盐吸收系数法是一种简便易行的土壤需磷量估算方法,日本将 PAC 作为例行分析项目,并以其 2%~5% 计算施磷量。我国由于磷肥资源短缺且多数地区生产水平不高,大部分地区尤其是河北、山西、陕西等北方石灰性土壤以 PAC 的 0.5% 计算施磷量,更为具体的是提出春麦以 PAC 的 0.2%、玉米以 PAC 的 0.3%、冬麦以 PAC 的 0.5% 计算施磷量^[15-17],棉花上的运用还未见报道。本文运用 PAC 法并与肥效函数法的结果作比较,发现以 PAC 的 0.3% 估算的砂壤土棉田和壤土棉田需磷量与肥效

函数法的估算的结果最为相近,即为 P_2O_5 168.49 kg/hm^2 和 153.08 kg/hm^2 ,由此 PAC 的 0.3% 也可以作为棉花运用 PAC 法计算施磷量的一个参数。磷指标法既有土壤磷素等温吸附曲线法的严密性,又有土壤有效磷肥力指标法的简易直观性,而且在土壤速效磷含量低于临界值时,磷指数法是定量地估算磷肥用量的简便方法,其精度不低于田间试验效应函数法,而高于土壤速效磷分级法^[3]。本试验供试土壤速效磷含量均低于临界值,根据磷指标值计算砂壤土棉田和壤土棉田的磷肥建议施用量分别为 P_2O_5 149.97 和 172.48 kg/hm^2 ,此结果与前三种估算方法在数量上差别不大,但对两种质地棉田的大小顺序则相反,即壤土棉田需磷量大于砂壤土棉田。

综合比较 4 种磷肥施用量估算方法的试验结果,可知两种质地棉田土壤需磷量差异不大,砂壤土在 P_2O_5 148 ~ 173 kg/hm^2 之间变动,壤土在 138 ~ 172 kg/hm^2 之间变动,将各种估算方法测得施磷量进行比较,其每公顷用量相差不超过 37.5 kg ,但磷指标法对两种质地的估算结果与前三种方法估算结果不一致,这说明此法在本试验两种质地的运用还需要进一步的探讨,肥料效应函数法和土壤吸附等温线法与土壤磷酸盐吸收系数法相比,操作过程复杂,尤其是肥料效应函数法需要整个生育期的田间试验,相对而言,土壤磷酸盐吸收系数法操作简便且精度与肥料效应函数法相当,此方法的运用对当地的磷肥推荐工作具有简便易行的指导作用和实践意义。

参 考 文 献:

- [1] 张炎,毛端明,王讲利,等.新疆棉花平衡施肥技术的发展现状[J].土壤肥料,2003,(4):7-11.
Zhang Y, Mao D M, Wang J L *et al.* Developing status of balanced fertilization technology of cotton in Xinjiang[J]. Soil Fert., 2003, (4): 7-11.
- [2] 金耀青,张奎男.用磷肥指标法决定棕黄土农田施磷量[J].辽宁农业科学,1987,(6):25-27.
Jin Y Q, Zhang K N. Determining the requirement of P fertilizer for Brownish yellow soils by the method of P index [J]. Liaoning Agric. Sci. 1987, (6): 25-27.
- [3] 孙庚寅,邱嘉璋.土壤磷素状况和磷肥的合理施用[J].江苏农业科学,1992,(1):35-37.
Sun G Y, Qiu J Z. Soil phosphorus and rational application of phosphorus fertilizer [J]. Jiangsu Agric. Sci., 1992, (1): 35-37.
- [4] 于群英,李孝良,许箴,王玉时.用磷指标法确定油菜磷肥施用量研究[J].土壤通报,2000,13(2):88-91.
Yu Q Y, Li X L, Xu Z, Wang Y S. Determining the requirement of P fertilizer for rape by the method of P index [J]. J. Soil Sci., 2000, 13(2): 88-91.
- [5] 孙权.宁夏主要土壤的磷肥指数及磷肥用量[J].土壤,2003,(1):83-85.
Sun Q. Study on phosphate fertilizer index and its application in the major soils of Ningxia [J]. Soil, 2003, (1): 83-85.
- [6] 李刚华,丁艳锋,杨文祥,吴昊.江苏省主要土壤的磷肥指数及适宜磷肥用量[J].土壤通报,2005,36(3):896-898.
Li G H, Ding Y F, Yang W X, Wu H. P fertilizer index and optimal P fertilizer application rate for different soil types in Jiangsu Province [J]. Chin. J. Soil Sci., 2005, 36(3): 896-898.
- [7] 李俊义,刘荣荣,王润珍,等.新疆棉花磷肥最佳用量及时期研究[J].中国棉花,1999,26(5):21-22.
Li J Y, Liu R R, Wang Y Z *et al.* A study on optimal application and stage for phosphate fertilizer on cotton in Xinjiang [J]. Chin. Cott., 1999, 26(5): 21-22.
- [8] 孙权,姬福,杨极武,辛少仙.宁南旱地冬小麦丰产栽培综合农艺措施优化方案的研究[J].干旱地区农业研究,1997,15(2):26-30.
Sun Q, Ji F, Yang J W, Xin S X. Optimal scheme of comprehensive agronomic measures for high-yield winter wheat cultivation in rainfed area in the South of Ningxia [J]. Agric. Res. Arid Area, 1997, 15 (2): 26-30.
- [9] 李寿田,周健民,王火焰,陈小琴,杜昌文.不同土壤磷的固定特征及磷释放量和释放率的研究[J].土壤学报,2003,40(6):908-913.
Li S T, Zhou J M, Wang H Y, Chen X Q, Du C W. Characteristics of fixation and release of phosphorus in three soils [J]. Acta Pedol. Sin., 2003, 40(6): 908-913.
- [10] 吕珊兰,杨熙仁,康新茸.土壤对磷的吸附与解吸及需磷量探讨[J].植物营养与肥料学报,1995,1(3-4):29-35.
Lu S L, Yang X R, Kang X R. Study on the adsorption and desorption of phosphorus in soils and phosphorus requirement [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1995, 1(3-4): 29-35.
- [11] 曹志洪,李庆远.黄土性土壤对磷的吸附和解吸[J].土壤学报,1988,25(3):218-225.
Cao Z H, Li Q K. Phosphorus sorption and desorption in yellow soil [J]. Acta Pedol. Sin., 1988, 25 (3): 218-225.
- [12] 刘树堂,姚源喜,赵永厚,等.用FOX法对长期定位施肥土壤磷素状况的研究[J].土壤通报,2003,34(4):299-301.
Liu S T, Yao Y X, Zhao Y H *et al.* A study on soil phosphorus in location experiment using Fox method [J]. Chin. J. Soil Sci., 2003, 34(4): 299-301.
- [13] 何文寿.宁夏灌淤土对磷吸附的初步研究[J].土壤学报,1992,29(5):142-149.
He W S. A preliminary study on phosphate adsorption by warped irrigated soil in Ningxia [J]. Acta Pedol. Sin., 1992, 29(5): 142-149.
- [14] 夏汉平,高子勤.磷酸盐在白浆土中的吸附与解吸特征[J].土壤学报,1993,30(2):146-156.
Xia H P, Gao Z J. Characteristics of phosphate adsorption and desorption in Albic soils [J]. Acta Pedol. Sin., 1993, 30(2): 146-156.
- [15] 孙权,储燕宁,于大华.宁夏主要土壤的磷酸吸收系数及需磷量[J].土壤肥料,2003,(3):8-10.
Sun Q, Chu Y N, Yu D H. Study on phosphate adsorption coefficient and its application in the major soils of Ningxia [J]. Soil Fert., 2003, (3): 8-10.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,1999.270-271.
Bao S D. Analytical methods for soil and agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999. 270-271.