

# 冬小麦 - 夏玉米轮作区动态平衡施肥配方的研究

刘惠芬<sup>1</sup>, 任瑞娴<sup>2</sup>, 牟善积<sup>1</sup>, 卢树昌<sup>1</sup>, 臧凤艳<sup>1</sup>, 桂枝<sup>1</sup>

(1. 天津农学院, 天津 300384; 2. 天津嘉吉化肥有限公司, 天津 300011)

**摘要:** 采用定位试验, 在冬小麦既定配方的基础上, 按 13 个不同三要素肥料配比, 对冬小麦 - 夏玉米轮作周期中夏玉米产量、肥料综合利用率、经济施肥量进行了研究。结果表明, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为 1:0.4:0.4 的配方即施 N195, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 78, K<sub>2</sub>O 78 kg · hm<sup>-2</sup> 夏玉米产量最高, 按此配方处理的肥料综合利用率也较高, 节本增效最显著。回归分析表明, 在前茬小麦施 N 262.5, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180, K<sub>2</sub>O 262.55 kg · hm<sup>-2</sup>, 夏玉米施 N 195 kg · hm<sup>-2</sup> 试验条件下, 合理的施磷量为 68.25 ~ 87.75 kg · hm<sup>-2</sup>, 即 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1:(0.4 ± 0.05), 既定配方磷的校正值为 39 ± 9.75 kg · hm<sup>-2</sup> (比例为 0.2 ± 0.05), 钾的合理用量为 78 ~ 97.5 kg · hm<sup>-2</sup>, 即 N:K<sub>2</sub>O = 1:0.4 ~ 0.5, 钾的校正值为 19.5 ~ 39 kg · hm<sup>-2</sup> (比例为 0.1 ~ 0.2), N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 1:0.4 ± 0.05:0.4 ~ 0.5 较为合理。

**关键词:** 冬小麦; 夏玉米; 轮作; 动态平衡施肥; 配方

中图分类号: S131 文献标识码: A 文章编号: 1672 - 2043(2004)03 - 0551 - 04

## Dynamically Balanced Fertilization with Formulations for a Winter Wheat - Summer Maize Rotation System

LIU Hui-fen<sup>1</sup>, REN Rui-xian<sup>2</sup>, MU Shan-ji<sup>1</sup>, LU Shu-chang<sup>1</sup>, ZANG Feng-yan<sup>1</sup>, GUI Zhi<sup>1</sup>

(1. Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Cargill Chemical Fertilizer Limited Company, Tianjin 300011, China)

**Abstract:** A method of fixed - site field was adopted in the present experiment for study of different N, P and K applications on effects of summer maize yield, fertilizer utilization ratio and economic fertilizer application rate. The results indicated that grain yields of summer maize had significant difference among the different N, P and K fertilization treatments. The treatment with N 195 kg · hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 78 kg · hm<sup>-2</sup>, and K<sub>2</sub>O 78 kg · hm<sup>-2</sup> (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O with 1:0.4:0.4) showed the highest grain yields, with maximum economic benefits and higher fertilizer comprehensive utilization efficiency. The yield regression analysis showed that when N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O application rates were 262.5 kg · hm<sup>-2</sup>, 180 kg · hm<sup>-2</sup> and 262.55 kg · hm<sup>-2</sup> in the winter wheat, reasonable P and K application rates were 68.25 ~ 87.75 kg · hm<sup>-2</sup> (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1:0.4 ± 0.05) and 78 ~ 97.5 kg · hm<sup>-2</sup> (N:K<sub>2</sub>O = 1:0.4 ~ 0.5) respectively, in the summer maize with N application at the rate of 262.5 kg · hm<sup>-2</sup>, equivalent to P and K in the fixed formulation 39 ± 9.75 kg · hm<sup>-2</sup> and 19.5 ~ 39 kg · hm<sup>-2</sup>, with the proportions 0.2 ± 0.05 and 0.1 ~ 0.2, respectively.

**Keywords:** winter wheat; summer maize; rotation; dynamic balanced fertilization; formulation

冬小麦 - 夏玉米轮作体系是华北地区农业生产的主要种植体系。在三要素化肥中, 施肥后氮、磷、钾在土壤中的积累量相差悬殊, 氮在土壤中的富集量很少, 磷的富集却极为明显。从施肥实践来看, 在这一生产体系中, 自 20 世纪 80 年代以来十分重视磷肥的投入。与氮肥不同, 磷肥施入土壤后, 大部分积累在土壤中<sup>[1]</sup>。随着土壤速效磷水平的提高, 磷肥利用率降低<sup>[2]</sup>, 磷肥的当季利用率仅为 10% ~ 20%<sup>[1, 3, 4]</sup>, 然而这些积累在土壤中的磷的后效却很高<sup>[5, 6]</sup>, 大量的

氮、磷等肥料组分随水流失进入水体或挥发进入大气环境或残留在土壤环境中, 不但造成了巨大的经济损失, 而且污染了环境, 严重地破坏了生态平衡<sup>[7]</sup>。因此, 在土壤磷素已积累到较高水平的情况下, 有无必要大量施用磷肥已成为生产中的一个重要课题。华北地区由于农作物产量的提高、有机肥用量的下降及秸秆还田比例减少等原因, 钾的缺乏继氮磷之后开始显现出来。北方地区陆续出现了一些缺钾与潜在缺钾的土壤, 天津地区土壤钾以 3.6 mg · kg<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup> 的速度递减<sup>[8]</sup>。显然, 土壤中氮、磷、钾的消长及相应的平衡施肥配方同 5 年前相比已发生了很大变化。两茬作物的施肥如果不通盘考虑, 上茬作物配方施肥实现的平

收稿日期: 2003 - 11 - 16

基金项目: 天津市科委 1999 年农业攻关项目

作者简介: 刘惠芬(1967—), 女, 副教授。E-mail: liuhuifen@eyou.com

衡营养必然带来下茬新的养分失衡,只有及时调整原有配方比例才能实现新的营养平衡,从而实现冬小麦-夏玉米整个轮作周期内的平衡施肥。为此,本试验在冬小麦既定施肥配方(即农业部发布的京、津、冀冬小麦模式化栽培的 N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O = 1: 0.5 ~ 0.7: 0.2 ~ 0.3)的基础上,连续 3 a 进行不同氮磷钾施肥配方的定位试验,分析不同配方对夏玉米产量、肥料综合利用率、经济效益等的影响,以期为冬小麦-夏玉米轮作区磷、钾肥的合理应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与土壤条件

定位试验于 2000 年开始,2002 年结束,共 3 a。试验区设在天津市农业高产示范区内,位于武清区下伍旗乡东王庄村。该试验区地势平坦,具有良好的灌排条件,多年来实行冬小麦-夏玉米轮作。土壤质地为壤质潮土,耕层土壤有机质为 11.8%,碱解氮 81.67 mg · kg<sup>-1</sup>,速效磷 14.21 mg · kg<sup>-1</sup>,速效钾 105.20 mg · kg<sup>-1</sup>,pH 值 8.0。

### 1.2 试验处理及设计

冬小麦一茬施肥按既定配方 N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O = 1: 0.5 ~ 0.7: 0.2 ~ 0.3,即国家农业部发布的京、津、冀冬小麦模式化栽培的氮磷钾施肥比例。考虑到冬小麦是越冬作物,其施肥已作为模式化栽培规范的内容之一经国家农业部发布,三要素的投入比至今已广为农村认可,即使磷肥有余,下茬玉米也能较好地利用,因此,冬小麦的施肥按既定配方不变,施肥量为 N 262.5, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180.0, K<sub>2</sub>O 262.5 kg · hm<sup>-2</sup>,在此基础上研究夏玉米的三要素投入比。试验共 13 个处理,见表 1,其中处理 13 为夏玉米既定配方。

### 1.3 试验材料与方法

供试 N 为尿素,P 为磷酸二胺,K 为氯化钾,均由天津嘉吉化肥有限公司提供。试验小区面积为 20 m<sup>2</sup>,每个处理重复 3 次,共计 39 个小区,随机区组设计。其中磷、钾肥在玉米播种前作为底肥开沟一次性均匀条施。氮肥分 2 次施用,1/2 作底肥,1/2 在玉米 9 叶一心时作为追肥,沟施 10 ~ 15 cm。株、行距为 0.30 m × 0.58 m,按株距刨坑,穴播,浇水后覆土,确保一次全苗,同时进行化学除草,种植密度为 60 000 株 · hm<sup>-2</sup>。试验每年 6 月 15 日—25 日采集土样,施入基肥并播种;播种 1 个月左右追施剩余氮肥,10 月 2 日—7 日收获,每处理小区单收单打,测定整个试验区籽粒产量。

表 1 夏玉米动态平衡施肥配方研究的试验设计

Table 1 Field experiment design of dynamic balanced fertilization with formulations in summer maize

处理	N: P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O 比例	N 用量 /kg · hm <sup>-2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 用量 /kg · hm <sup>-2</sup>	K <sub>2</sub> O 用量 /kg · hm <sup>-2</sup>
1	0: 0: 0	0	0	0
2	1: 0.2: 0	195	39	0
3	1: 0.2: 0.2	195	39	39
4	1: 0.2: 0.4	195	39	78
5	1: 0.2: 0.6	195	39	117
6	1: 0.4: 0.0	195	78	0
7	1: 0.4: 0.2	195	78	39
8	1: 0.4: 0.4	195	78	78
9	1: 0.4: 0.6	195	78	117
10	1: 0.6: 0.0	195	117	0
11	1: 0.6: 0.2	195	117	39
12	1: 0.6: 0.4	195	117	78
13	1: 0.6: 0.6	195	117	117

## 2 结果与分析

### 2.1 氮、磷、钾不同配方对夏玉米产量的影响

不同年份不同处理下夏玉米产量结果的方差分析结果见表 2。3 年试验结果基本一致,结果表明,不同肥料配比对夏玉米产量具有极显著影响,不同年份间产量变异很大。产量最高的一组为氮磷钾配合且磷水平较高的处理 8、处理 12、处理 13、处理 7 和处理 9; 第二组为磷水平较低 (N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1: 0.2) 的处理 3、处理 4、处理 5 及处理 11; 第三组为不施钾的处理 6、10 和处理 2。第一组与其余两组相比,产量明显提高,

表 2 不同施肥配方对夏玉米产量的影响 (kg · hm<sup>-2</sup>)

Table 2 Effects of different fertilizer formulations on summer maize grain yield (kg · hm<sup>-2</sup>)

处理	子粒产量			平均产量 及差异显著性
	2000 年	2001 年	2002 年	
8	6 948.0	9 460.5	7 813.5	8 074.5a
13	6 889.5	9 390.0	7 740.0	8 007.0a
12	6 778.5	9 454.5	7 761.0	7 998.0a
9	6 709.5	9 345.0	7 650.0	7 902.0ab
7	6 675.0	9 373.5	7 530.0	7 860.0ab
5	6 568.5	9 238.5	7 545.0	7 783.5bc
4	6 588.0	8 959.5	7 443.0	7 663.5bc
3	6 508.5	9 007.5	7 434.0	7 650.0bc
11	6 538.5	8 914.5	7 320.0	7 591.5c
6	6 465.0	8 224.5	7 320.0	7 336.5d
10	6 157.5	8 698.5	7 086.0	7 314.0d
2	6 061.5	8 482.5	6 870.0	7 138.5d
1(CK)	4 443.0	7 183.5	5 406.0	5 677.5e

注: 表中数据用 SAS 软件进行分析,多重比较采用 SSR 法, P = 0.05, 同列数据中具有相同字母的数据差异不显著。

且处理 8、12、13 与其他各个处理差异极显著;第三组不施钾的各处理产量均显著低于其他两组,说明该地区施用钾肥具有显著的增产效果。

## 2.2 磷钾配施对玉米产量的影响

在钾的各个处理水平下,产量随着施磷量的增加

而增加,施用量  $78 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  达到最大,磷由  $39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  增加到  $78 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 产量平均增加  $16.2 \text{ kg}$ , 每  $\text{kg P}_2\text{O}_5$  平均增产  $6.25 \text{ kg}$ , 进一步增施磷肥, 产量反而下降。钾对夏玉米产量的影响很大,但随着钾施用量的增加,钾的增产作用逐渐下降。

表 3 磷、钾对夏玉米产量的效应 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

Table 3 Effects of phosphors and potash on summer maize yields ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

年份	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 比例及施用量			K <sub>2</sub> O 比例及施用量			
	P1 (0.2) 39	P2 (0.4) 78	P3 (0.6) 117	K1(0) 0	K2(0.2) 39	K3(0.4) 78	K4(0.6) 117
2000	6 432.0 b	6 720.0 a	6 516.0 a	6 228.0 c	6 582.0 b	6 795.0 a	6 618.0 ab
2001	8 932.5 a	9 153.0 a	9 076.5 a	8 469.0 b	9 103.5 a	9 454.5 a	9 190.5 a
2002	7 320.0 b	7 600.5 a	7 401.0 b	7 092.0 b	7 468.5 a	7 737.0 a	7 467.0 a
平均	7 561.5 b	7 824.0 a	5 665.0 b	7 263.0 c	7 717.5 b	7 995.0 a	7 758.0 ab

不同磷水平处理的夏玉米产量在不同年份间表现不尽相同。试验第 1 年 (2000 年) P2(0.4) 与 P3(0.6) 处理产量均显著高于 P1(0.2) 处理, 但第 2 年 (2001 年) 3 处理差异不显著, 到第 3 年 P2(0.4) 处理产量显著高于其余 2 个处理, 从连续 3 年及总的平均产量看, 均以 P2(0.4) 处理产量最高。这说明磷的不足与过量都会使夏玉米产量下降。磷肥供应不足, 不能满足作物生长发育的消耗, 进而造成减产; 已有的研究表明, 磷的过量会强烈增强呼吸作用, 糖分大量消耗; 积累无效分蘖, 瘪粒增加; 叶肥厚密集, 植株矮小, 繁殖器官过早发育, 茎叶生长受到抑制; 磷过量降低 Zn、Fe、Mn、Mg 等的有效性, 减少作物对其的吸收利用, 进而影响作物产量。本试验也得到类似结果, 试验前两年磷的副作用表现不明显, 到 2002 年, P3(0.6) 处理的玉米分蘖率高达 20%, 虽及时进行清除, 仍对产量造成很大影响。

玉米为喜钾作物, 虽然本试验区实行前茬小麦秸秆焚烧后还田, 施用钾肥仍能显著提高夏玉米产量, 3 年的试验结果基本相同, K3(0.4) 和 K4(0.6) 处理均高于 K1(不施钾) 和 K2(0.2) 处理, 但随着钾用量增大, 其增产效应不断下降, 施钾量由 0 增加到  $39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 产量平均增加  $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 能增产玉米  $11.5 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ , 施钾量由  $39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  增加到  $78 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 产量平均增加  $277.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 能增产玉米  $7.1 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ , 进一步增加钾肥投入, 增产作用不明显。

## 2.3 氮、磷、钾不同配方对肥料综合利用率的影响及经济效益分析

不同配方处理对夏玉米的氮磷钾养分综合利用

率影响较大。从肥料综合利用率来看, 处理 3 最高, 为 40.53%, 处理 7 和 8 仅次于处理 3, 分别达到 39.65% 和 38.0%, 且与其它各处理特别是供磷水平较高的后 4 个处理差异明显。与既定配方处理 13 相比, 肥料综合利用率提高 25.8%, 增加 7.8 个百分点。与目前全国平均肥料利用率 32% 相比, 提高 6 个百分点。与天津地区平均肥料利用率 30% 相比提高 8 个百分点。不同处理对肥料综合利用率影响极显著, 总的趋势为肥料投入少的利用率偏高, 投入高的利用率偏低。

从减少肥料投入和增加作物产量 2 个角度, 分析不同配方处理对节本增效的影响, 以期获得夏玉米最佳施肥配方和处理。以既定配方处理 13 为对照, N 按  $2.8 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ , P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 按  $3.0 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ , K<sub>2</sub>O 按  $2.3 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 玉米价格 2000 年按  $0.9 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 2001 年按  $0.98 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 2002 年按  $0.86 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 计算各处理节本增效结果。无论是丰收年还是欠收年, 即不同年份间及 3 a 平均结果均以处理 8 经济效益最大, 其次为处理 7, 见表 4。

## 2.4 经济施肥量分析

采用二次多项式模型  $Y = B_0 + B_1 X + B_2 X^2$  对磷和钾投入与产量进行回归分析, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 按  $3 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$  计, K<sub>2</sub>O 按  $2.33 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$  计, 玉米按  $0.86 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$  计, 表 5。经济施磷量为  $71.25 \sim 85.65 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 平均为  $78.15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 与既定配方  $117 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  相比, 降低  $30.9 \sim 45.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 由既定配方 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1:0.6 降到 1:0.36~0.44; 经济施钾量为  $91.5 \sim 99 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 平均  $94.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 比既定配方降低  $18 \sim 25.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 由 N:K<sub>2</sub>O = 1:0.6 到 N:

表4 不同配方处理夏玉米的氮磷钾养分利用率及节本增效分析

Table 4 Fertilizer comprehensive utilization efficiency and economic benefits for summer maize with different N, P and K formulations

处理	肥料综合利用率/%				节本增效/元·hm <sup>-2</sup>			
	2000年	2001年	2002年	平均	2000年	2001年	2002年	平均
2	38.53	30.92	34.85	34.77	-238.6	-400.9	-241.6	-293.7
3	42.14	38.07	41.38	40.53	72.9	33.3	152.5	86.2
4	37.95	35.00	38.19	37.05	36.0	-105.6	69.4	-0.0
5	34.04	28.18	32.11	31.44	-37.3	82.5	66.3	37.2
6	41.25	21.24	39.05	33.85	7.5	-775.9	28.3	-246.6
7	40.30	38.59	40.06	39.65	105.7	282.3	118.2	168.7
8	39.75	36.13	38.20	38.00	260.5	278.4	271.1	270.0
9	31.88	31.28	30.34	31.17	-45.0	72.0	39.6	22.2
10	30.61	27.05	29.99	29.21	-386.2	-418.9	-289.8	-364.9
11	33.25	27.47	30.37	30.36	-134.1	-293.7	-179.4	-202.5
12	33.36	32.43	33.63	33.14	-9.0	155.4	108.9	85.1
13	31.76	28.65	30.30	30.20	0.0	0.0	0.0	0.0

注:肥料综合利用率=(施肥处理玉米吸收养分量-不施肥处理玉米吸收养分量)/施肥量。

表5 磷、钾投入与夏玉米产量的回归分析

Table 5 Regression between phosphors and potash inputs and summer maize yields

年份	回归模型系数				回归模型系数			
	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	经济施磷量/kg·hm <sup>-2</sup>	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	经济施钾量/kg·hm <sup>-2</sup>
2000	385.85	17.619 6	-1.854 7	71.25	414.87	11.906 4	-0.973 9	91.65
2001	571.85	9.313 0	-0.815 5	85.65	565.49	18.5603	-1.471 9	94.5
2002	447.38	16.755 2	-1.760	71.4	472.20	11.871 2	-0.896 2	99.3
平均	468.3	15.414 3	-1.479 3	78.15	484.20	14.115 4	-1.114 4	94.95

K<sub>2</sub>O 为 1:0.47~0.51, 平均下调比例为 0.11。由此提出, 定位试验条件下, 既定配方磷的校正值为 39 ± 9.75 kg·hm<sup>-2</sup>(比例为 0.2 ± 0.05), 钾的校正值为 19.5~39 kg·hm<sup>-2</sup>(比例为 0.1~0.2)。

### 3 结论

在定位试验条件下, 处理 8(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:0.4:0.4) 产量最高; 与既定配方 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:0.6:0.6 相比, 肥料利用率提高 25.8%, 增加 7.8 个百分点; 其综合经济效益最大, 与既定配方相比, 节约肥料投入 210 元·hm<sup>-2</sup> 左右, 产量增效 75~150 元·hm<sup>-2</sup>, 收入增加 10% 以上。

试验条件下, 从产量回归分析得到最高产量施磷量与施钾量, 进而计算既定配方磷的校正值为 39 ± 9.75 kg·hm<sup>-2</sup>(比例为 0.2 ± 0.05), 钾的校正值为 19.5~39 kg·hm<sup>-2</sup>(比例为 0.1~0.2)。

综合产量、肥料利用率及经济效益的分析结果, 本试验提出夏玉米施 N 195 kg·hm<sup>-2</sup> 条件下, 合理的施磷量为 68.25~87.75 kg·hm<sup>-2</sup>, 即 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=1:0.4 ± 0.05, 钾的合理用量为 78~97.5 kg·hm<sup>-2</sup>, N:K<sub>2</sub>O=1:0.4~0.5。目前三要素 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:

0.4 ± 0.05:0.4~0.5 较为合理, 但应根据不同年份土壤积累及作物的吸收利用情况, 不断对配方进行调整, 真正做到土壤养分的动态平衡。

### 参考文献:

- [1] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料[M]. 上海: 上海科技出版社, 1994. 261-262.
- [2] 刘善江, 张成军. 京郊小麦轮作系统磷肥施用技术的研究[J]. 华北农学报, 1998, 13: 39-42.
- [3] 熊毅, 等. 中国土壤(第二版)[M]. 北京: 科学技术出版社, 1990. 483-501.
- [4] 李云, 等. 一年两熟地区小麦的磷肥累积利用率研究[J]. 土壤肥料, 2002, (4): 26-29.
- [5] Sahrawat K L, Rego T J, Burford J R, et al. Response of sorghum to fertilizer phosphorus and its residual in a Vertisol[J]. *Fertilizer Research*, 1995, 41(1): 41-47.
- [6] Bolland M D and Barrow N J. The effect of level of application on the residual value of superphosphate on a sandy soil in southwestern Australia [J]. *Fertilizer Research*, 1991, 29(2): 163-172.
- [7] 陈倩, 穆环珍, 黄衍初. 木质素复合肥的研制及其对肥料氮磷有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 41-43.
- [8] 毛建华, 姚丙贵, 周艺敏. 天津市肥料使用中的若干问题及对策[Z]. 迈向 21 世纪的土壤科学. 全国土壤学会第九次全国会员代表大会论文集(天津市卷), 1999, 4-7.