

# 黄土高原旱地磷肥残效及利用率研究

王 生 录

(甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要:** 连续4年的冬小麦定位试验证明, 旱地施磷( $P_2O_5$ )量在75~300 kg/hm<sup>2</sup>时, 小麦的增产率基本随磷肥用量的增加而提高, 但 $P_2O_5$ 的增产作用和磷肥利用率却随磷肥用量的增加而降低; 磷肥不仅当季增产显著, 而且后效明显, 第1季施磷后在第4季 $P_2O_5$ 施用量75 kg/hm<sup>2</sup>的增产率为53.9%, 施用量150 kg/hm<sup>2</sup>的增产率为64.3%, 施用量300 kg/hm<sup>2</sup>的增产率为109.6%, 1 kg  $P_2O_5$ 累计增产小麦依次为38.7 kg, 25.5 kg, 15.1 kg, 分别为第1次效果的2.26倍、2.38倍和2.85倍。磷肥的利用率随用量增加而降低, 当季利用率低, 累计利用率高, 施 $P_2O_5$ 75~300 kg/hm<sup>2</sup>时, 当季利用率为12.0%~4.3%, 累计利用率达25.0%~12.4%。

**关键词:** 磷肥; 分配方式; 残效; 利用率

中图分类号: S143.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)01-0071-05

## Study on Residual Effect of Phosphorus Fertilizer and Use Efficiency in Dryland of Loess Plateau

WANG Sheng-lu

(Dryland Agriculture Institute of, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

**Abstract:** Long-term oriented experiment shows that if applying P ( $P_2O_5$ ) is 75~300 kg/hm<sup>2</sup> in dryland through planting winter wheat for 4 years, increasing ration is enhanced with use dose, but increase function of  $P_2O_5$  and use ratio of P fertilizer fall with add of application. Not only increases Phosphorus fertilizer the yield of temporal season but also later efficiency is evident. Increase production ration of applying P 75 kg/hm<sup>2</sup>, 150 kg/hm<sup>2</sup>, and 300 kg/hm<sup>2</sup> in fourth season is respectively 53.9%, 64.3%, and 109.6% after applying P in the first season, so increase yield of 1 kg  $P_2O_5$  is respectively 38.7 kg, 25.5 kg, and 15.1 kg, which are 2.26, 2.38 and 2.85 times of first applying P. Use ration of P fertilizer is low in that season, but accumulation use ration is high, such as use ration is 12.0%~4.3% in that season and accumulation use ration 25.0%~12.4% with P 75~300 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key words:** Phosphorus fertilizer; distribution manners; residual efficiency; use ration

大多数研究表明, 磷肥肥效缓, 持续时间长, 但如何确定其肥效大小和分配方式, 国内的研究并不多, 旱地尤其缺乏这方面的系统资料。甘肃农科院在陇东旱塬连续进行4年的冬小麦磷肥不同用量及分配方式的田间定位试验, 系统研究了旱地施用磷肥的当季肥效、残效、当季利用率和累计利用率, 为合理施用磷肥及提高磷肥利用率提供了科学依据。

### 1 材料与方法

试验在甘肃省镇原县上肖乡实施。试验地土壤为覆盖黑垆土, 耕性好, 蓄水保墒能力较强, 但土壤养分含量较低, 试验播种前0~20 cm 土地耕层养分状况测定结果如表1。

试验4年内 $P_2O_5$ 的总用量分别为0, 75, 150, 225, 300,

375, 450, 600 kg/hm<sup>2</sup>, 第1季冬小麦施磷水平为 不施 $P_2O_5$  ( $P_0$ ); 施 $P_2O_5$  75 kg/hm<sup>2</sup> ( $P_{75}$ ); 施 $P_2O_5$  150 kg/hm<sup>2</sup> ( $P_{150}$ ); 施 $P_2O_5$  300 kg/hm<sup>2</sup> ( $P_{300}$ )。小区面积67 m<sup>2</sup>, 随机排列, 重复3次。试验地不施有机肥料, 施尿素225 kg/hm<sup>2</sup>, 折纯氮103.5 kg/hm<sup>2</sup>。磷肥(普通过磷酸钙, 含 $P_2O_5$  11%)作基肥按设计处理于播种前结合耕地一次施入, 氮肥70%作基肥, 30%作返青期追肥, 试验播种量187.5 kg/hm<sup>2</sup>, 均为人工手锄开沟溜种。第2季播种时将原有小区均裂为4个亚小区, 并按表2设计施用磷肥, 其余操作与第1季小麦相同。每年小麦成熟时取样考种并分析植株N、P、K含量, 收获后取0~20 cm 土样分析土壤速效磷含量, 中期管理同大田。

\* 收稿日期: 2002-11-25

基金项目: 国家科技攻关项目(2001BA508B18)。

作者简介: 王生录(1962-), 男, 甘肃临泽人, 副研究员, 主要从事旱地土壤施肥培肥研究工作。

表 1 供试土壤耕层养分状况

处 理	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · /kg <sup>-1</sup> )	速效氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
11. 70	0. 76	0. 68	61. 0	11. 5	158. 0	
11. 85	0. 73	0. 69	52. 5	10. 5	158. 0	
11. 30	0. 74	0. 69	61. 0	11. 0	163. 0	
12. 30	0. 74	0. 69	55. 5	10. 0	153. 0	

表 2 磷肥分配方式处理 kg/hm<sup>2</sup>

编号	第 1 季	第 2 季	第 3 季	第 4 季	合计
1	0	0		0	0
2	0	75	0	0	75
3	0	150	0	0	150
4	0	300	0	0	300
5	75	0	0	0	75
6	75	75	150	0	300
7	75	150	0	0	225
8	75	300	0	0	375
9	150	0	0	0	150
10	150	75	0	0	225
11	150	150	0	0	300
12	150	300	0	0	450
13	300	0	0	0	300
14	300	75	0	0	375
15	300	150	0	0	450
16	300	300	0	0	600

## 2 结果与讨论

### 2.1 磷肥当季的增产效果

试验结果表明,在旱塬土壤条件下,不同用量磷肥均有明显增产效果(表 3)。第 1 季施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 75, 150, 300 kg/hm<sup>2</sup> 的处理,小麦当季分别增产 34.3%、44.7%、44.0%,1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 分别增产小麦 16.4、10.7、5.3 kg。如果第 1 季不施,由于经历了 1 年的消耗,第 2 季所施磷肥的相对效果较高,3 个用量的增产率依次达到 62.2%、79.6%、82.9%。虽然第 2 季干旱严重,小麦普遍减产,但 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的增产效果仍不低于产量水平高的第 1 季。产量结果还看出,第 1 季施用磷肥之后,第 2 季继续施用磷肥的效果则明显降低,例如在第 1 季 3 个用量的基础上,第 2 季继续施入相应量的磷肥时,增产率分别为 4.5% ~ 25.3%、9.0% ~ 23.5%、8.3% ~ 12.0%,1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦分别只有 1.2 ~ 4.8 kg、0.9 ~ 4.9 kg、0.8 ~ 3.4 kg。可见,随着第 1 季施磷量的增加,第 2 季施入磷肥的增产效果随着用量的增加而肥效明显降低,同时施磷量过高,导致养分供应比例失调,最终使肥效降低。说明在农业生产实践中合理施用磷肥对提高磷肥经济效益有重要意义。

### 2.2 磷肥不同用量及分配方式的残效

磷肥施入土壤后,第 1 季作物常常只能吸收利用一小部分,其余的大部分仍残留在土壤中。表 4 结果表明,这部分残留磷对后作仍有明显的增产效果,表现出一定的残效。试验第 1 季施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75, 150, 300 kg/hm<sup>2</sup> 的处理,3 年残效分别累计增产小麦 1 671.0、2 214.0、2 902.5 kg/hm<sup>2</sup>,分别是施磷

当季肥效的 1.36 倍、1.38 倍、1.84 倍,1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的增产量依次为 22.3、14.8、9.8 kg;3 个用量的磷肥施于第 2 季时,2 年残效累计增产 783.0 ~ 2 149.5 kg/hm<sup>2</sup>,是当季肥效的 63% ~ 130%,1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产小麦 10.4 ~ 7.1 kg,同量磷肥分配方式不同时,其总效果显著不同,例如在第 1 季施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75, 150, 300 kg/hm<sup>2</sup> 的基础上,第 2 季继续加相同用量的磷肥,即总用量增至 225, 375, 450, 600 kg/hm<sup>2</sup> 时,不管施肥年份如何分配,残效的增产幅度都比一次性施磷的低,个别处理出现了不增产的情况。进一步分析还可看出,一次性施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 ~ 300 kg/hm<sup>2</sup>,往后几年产量仍大于对照区,表明一次性施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75, 150, 300 kg/hm<sup>2</sup> 至少保持在 3 季冬小麦上有后效;一次性施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 300 kg/hm<sup>2</sup> 往后几年产量均大 150 kg/hm<sup>2</sup> 和 75 kg/hm<sup>2</sup> 处理的产量,说明磷肥用量越大,后效也越大。这里需要说明的是,由于对照长期不施磷,作物产量从第 1 季的 3 592.5 kg/hm<sup>2</sup> 下降至第 4 季的 706.5 kg/hm<sup>2</sup> (表 3),由此而使施磷处理残效的增产效果十分显著,其增产率也远比施磷当年的高(如 75 kg/hm<sup>2</sup> 残效增产率为 41.8% ~ 53.9%,150 kg/hm<sup>2</sup> 为 56.8% ~ 64.0%,300 kg/hm<sup>2</sup> 为 48.2% ~ 109.6%);但从绝对产量来看,残效产量则在逐个下降,一次性施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 ~ 300 kg/hm<sup>2</sup>,当季产量为 4 824.0 ~ 5 173.5 kg/hm<sup>2</sup>,残效产量分别为 2 826.0 ~ 1 087.5 kg/hm<sup>2</sup>、2 953.5 ~ 1 480.5 kg/hm<sup>2</sup>。由此看出,尽管磷肥有较长的肥效,但随年限的延长残效则逐年下降。因此,在农业生产实践中,对磷肥的施用既要考虑它的增产效果,也要考虑磷肥在前作中的残效,只有这样才能科学合理地施用磷肥,使之发挥最大经济效益。

### 2.3 磷肥不同用量及分配方式的利用率

从表 5 冬小麦不同处理吸磷量及磷肥利用率的结果可以看出,单位面积作物吸收的磷量基本随施磷量的增加而增加,只是在干旱少雨年份(1994 ~ 1996 年),由于小麦受旱严重,吸磷量明显低于丰雨年份(1992 ~ 1993 年),磷肥利用率的变化趋势恰好相反,而且施磷越多,利用率越低,当季利用率低,累计利用率高,一次施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75, 150, 300 kg/hm<sup>2</sup> 的处理,经种植 4 季小麦之后,累计利用率分别为 25.0%、14.3%、12.4%,分别是当季利用率的 2.1 倍、2.3 倍和 2.9 倍,而第 1 季不施磷,第 2 季施同量磷肥的处理,累计利用率也分别达到施磷当季的 1.6 倍、1.5 倍和 2.4 倍。同量磷肥在不同分配条件下,对磷肥利用率的影响较大,凡是第 1 季施磷量较低的,利用率均高;第 1 季用量较高的,利用率则均低,如以总量 225, 375, 450 kg/hm<sup>2</sup> 为例,第 1 季施 75 kg/hm<sup>2</sup>,第 2 季施 150 kg/hm<sup>2</sup>,累计利用率为 15.7%,反之为 11.7%,第 1 季施 75 kg/hm<sup>2</sup>,第 2 季施 300 kg/hm<sup>2</sup>,利用率为 16.0%,反之为 5.9%,第 1 季施 150 kg/hm<sup>2</sup>,第 2 季施 300 kg/hm<sup>2</sup>,利用率为 9.7%,反之则为 5.4%。进一步比较还可看出,当磷肥用量从 225 kg/hm<sup>2</sup> 增至 600 kg/hm<sup>2</sup> 时,年度间磷肥残效利用率都很低,部分处理的利用率甚至为零,这与前述残效产量结果相一致。因此,要提高磷肥利用率必须掌握适宜用量,并充分利用它的后效作用。

### 2.4 磷肥对冬小麦根系生长的影响

盆栽试验证明, 磷肥对小麦根系的生长发育有着十分明显的促进作用。表 6 结果看出, 施  $P_2O_5$  75, 150, 300  $kg/hm^2$  处理拔节期每盆的根重平均为 1.80, 11.12, 12.64 g, 分别比无磷处理增加 86.0%、111.0%、139.8%。成熟期每盆的根重平均为 9.62, 10.92, 14.32 g, 分别比无磷处理增加 48.0%、68.0%、120.3%。由于根系是作物从土壤中吸收水分及养分的重要器官, 根系增加反映出根的吸收面积增大, 对水分及养分的吸收能力也必然会增强, 这对旱地作物的生长发育有着重要的意义。

2.5 磷肥对冬小麦水分利用效率的影响

磷肥促进根系生长发育的作用不仅有利于作物对养分的吸收利用, 而且有利于对水分的吸收利用。试验结果(表 7)表明, 不同用量的磷肥, 不管施肥条件如何变化, 对麦田耗

水量的影响不大, 但对水分利用效率则有显著影响, 无论当季肥效, 还是残效, 水分利用效率均随磷肥用量的增加而提高。一次性施  $P_2O_5$  量为 75, 150, 300  $kg/hm^2$ , 水分利用效率为 6.68~8.13  $kg/(mm \cdot hm^2)$ , 平均为 7.20  $kg/(mm \cdot hm^2)$ , 比不施磷处理水分利用效率提高 37.7%。磷肥分配方式不同, 当施磷总量达到 225~600  $kg/hm^2$  时, 水分利用效率为 7.4~7.8  $kg/(mm \cdot hm^2)$ , 平均为 7.62  $kg/(mm \cdot hm^2)$ , 比不施磷处理水分利用效率提高 45.7%。由此说明, 旱地施用磷肥具有以肥促根、以根调水的积极作用。黄土旱塬土层深厚, 深层贮水稳定, 增施磷肥有利于对深层水分的利用, 增强作物抗旱能力, 是提高水分利用效率的重要措施之一。

表 3 磷肥不同用量及分配方式对冬小麦产量的影响

第 1 季			第 2 季			第 3 季			第 4 季			合计		
用量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	产量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	增产/%	用量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	产量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	增产/%	用量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	产量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	增产/%	用量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	产量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	增产/%	用量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	产量/( $kg \cdot hm^{-2}$ )	增产/%
0	3592.5		0	1993.5	/	0	1182.0	/	0	706.5	/	0	7474.5	
			75	3234.0	62.2	0	1624.5	37.3	0	1047.0	48.2	75	9498.0	27.1
			150	3580.5	79.6	0	1500.0	26.9	0	1401.0	98.3	150	10074.0	34.8
			300	3646.5	87.9	0	2484.0	110.2	0	1554.0	120.0	300	11277.0	50.9
75	4824.0	34.3	0	2826.0	/	0	1639.5	/	0	1087.5	/	75	10377.0	38.8
			75	2953.5	4.5	150	2604.0	58.8	0	1360.5	25.1	300	11742.0	57.1
			150	3540.0	25.3	0	2062.5	25.8	0	1327.5	22.1	225	11754.0	57.3
			300	3193.5	13.0	0	2289.0	39.6	0	1327.5	22.1	375	11634.0	55.6
150	5197.5	44.7	0	3120.0	/	0	1809.0	/	0	1161.0	/	150	10888.5	51.1
			75	3207.0	2.7	0	2382.0	31.7	0	1327.5	14.3	225	12114.0	62.1
			150	3859.5	23.5	0	2235.0	23.5	0	1447.5	24.7	300	12739.5	70.4
			300	3406.5	9.0	0	2463.0	36.2	0	1300.5	12.0	450	12367.5	65.5
300	5173.5	44.0	0	2953.5	/	0	2350.5	/	0	1480.5	/	300	11958.0	60.0
			75	3207.0	8.6	0	2356.5	0.3	0	1267.5	-14.4	375	12004.5	60.6
			150	3306.0	12.0	0	2230.5	-5.1	0	1540.5	4.1	450	12250.5	63.9
			300	3199.5	8.3	0	2316.0	-1.5	0	1576.5	6.5	600	12265.5	64.1

表 4 磷肥不同用量及不同分配方式的残效

处 理/ ( $P_2O_5 kg \cdot hm^{-2}$ )	第 1 季		第 2 季		第 3 季		第 4 季		合 计	
	增产/ ( $kg \cdot hm^{-2}$ )	1kg $P_2O_5$ kg	增产/ ( $kg \cdot hm^{-2}$ )	1kg $P_2O_5$ kg	增产/ ( $kg/hm^{-2}$ )	1kg $P_2O_5$ (kg)	增产/ ( $kg \cdot hm^{-2}$ )	1kg $P_2O_5$ kg	增产/ ( $kg \cdot hm^{-2}$ )	1kg $P_2O_5$ kg
P75- P0- P0- P0	1231.5	16.4	832.5	11.1	457.5	6.1	381.0	5.1	1671.0	22.3
P150- P0- P0- P0	1606.5	10.7	1132.5	7.6	627.0	4.2	454.5	3.0	2214.0	14.8
P300- P0- P0- P0	1581.0	5.3	960.0	3.2	1168.5	4.0	774.0	2.6	2902.5	9.8
P0- P75 P0- P0			1240.5	16.5	442.5	5.9	340.5	4.5	783.0	10.4
P0- P150- P0- P0			1587.0	10.6	318.0	2.1	694.5	4.6	1012.5	6.7
P0- P300- P0- P0			1653.0	5.5	1302.0	4.3	847.5	2.8	2149.5	7.1
P75- P150- P0- P0	1231.5	16.4	714.0	4.8	432.0	1.9	240.0	1.1	663.0	3.0
P150- P75- P0- P0	1606.5	10.7	381.0	5.1	573.0	2.5	621.0	2.8	1191.0	5.3
P75- P300- P0- P0	1231.5	16.4	367.5	1.2	649.5	1.7	240.0	0.6	889.5	2.3
P300- P75- P0- P0	1581.0	5.3	253.5	3.4	6.0	0	0	0	6.0	0
P150- P300- P0- P0	1606.5	10.7	280.5	0.9	654.0	1.5	139.5	0.3	793.5	1.8
P300- P150- P0- P0	1581.0	5.3	352.5	2.4		0	60.0	0.1	60.0	0.1
P300- P300- P0- P0	1581.0	5.3	246.0	0.8	0	0	96.0	0.2	96.0	0.2

合计数不包括施磷当季的结果。

表 5 磷肥不同用量及不同分配方式的利用率

处 理 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/hm <sup>-2</sup> )	第 1 季		第 2 季		第 3 季		第 4 季		合 计	
	吸磷量/ (kg/hm <sup>-2</sup> )	利用率/ %	吸磷量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	利用率/ %	吸磷量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	利用率/ %	吸磷量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	利用率/ %	增产/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 增产/ kg
P <sub>75</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	33.0	12.0	18.90	4.4	10.65	5.0	9.45	3.6	72.0	25.0
P <sub>150</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	33.6	6.2	19.90	5.3	10.05	1.5	8.70	1.3	73.5	14.3
P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	37.1	4.3	23.25	3.7	16.50	2.9	11.4	1.5	88.5	12.4
P <sub>0</sub> - P <sub>75</sub> P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	24.2		18.00	9.6	10.35	3.4	8.40	2.2	61.5	15.2
P <sub>0</sub> - P <sub>150</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	24.2		22.95	8.1	10.95	2.1	9.60	1.9	67.5	12.1
P <sub>0</sub> - P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	24.2		21.45	3.6	16.50	2.9	12.45	1.9	75.0	8.4
P <sub>75</sub> - P <sub>150</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	33.0	12.0	18.90	3.1	12.60	0.5	9.75	0.1	75.0	15.7
P <sub>150</sub> - P <sub>75</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	33.6	6.2	20.85	2.8	14.10	1.8	10.80	0.9	79.5	11.7
P <sub>75</sub> - P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	33.0	12.0	23.25	3.0	14.70	0.8	10.35	0.2	81.0	16.0
P <sub>300</sub> - P <sub>75</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	37.1	4.3	22.95	1.6	15.15	0	10.05	0	85.5	5.9
P <sub>150</sub> - P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	33.6	6.2	24.45	1.9	15.30	1.2	10.35	0.4	84.0	9.7
P <sub>300</sub> - P <sub>150</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	37.1	4.3	23.40	1.1	14.70	0	11.40	0	87.0	5.4
P <sub>300</sub> - P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	37.1	4.3	23.70	0.7	14.10	0	13.35	0.3	88.5	5.3

表 6 磷肥对冬小麦根系生长的影响

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 用量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	拔节期/(g · 盆 <sup>-1</sup> )					成熟期/(g · 盆 <sup>-1</sup> )				
	I	II	III	x	%	I	II	III	x	%
0	5.91	4.59	5.32	5.27	100.0	8.12	6.10	5.27	6.50	100.0
75	10.18	9.93	9.29	9.80	186.0	11.20	10.82	6.85	9.62	148.0
150	12.59	10.34	10.42	11.12	211.0	13.00	11.65	8.11	10.92	168.0
300	11.68	15.93	12.64	12.64	239.8	11.58	16.08	15.29	14.32	220.3

表 7 磷肥对冬小麦水分利用率的影响

水分利用率: kg/(mm · hm<sup>-2</sup>)

处 理 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/hm <sup>2</sup> )	第 1 季		第 2 季		第 3 季		第 4 季		平 均	
	耗水量/ mm	水分利 用效率	耗水量/ mm	水分利 用效率	耗水量/ mm	水分利 用效率	耗水量/ mm	水分利 用效率	耗水量/ mm	水分利 用效率
P <sub>75</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	521.6	9.3	413.7	6.9	279.0	6.0	247.5	4.5	365.5	6.68
P <sub>150</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	531.9	9.8	443.5	7.1	257.4	6.0	285.0	4.1	379.5	6.75
P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	526.0	9.9	407.9	7.2	256.8	9.8	267.2	5.6	364.5	8.13
P <sub>0</sub> - P <sub>75</sub> P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	483.6	7.5	405.8	8.0	241.4	6.8	277.4	3.8	352.1	6.53
P <sub>0</sub> - P <sub>150</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	483.6	7.5	435.6	8.3	261.2	6.9	286.5	5.0	361.7	6.93
P <sub>0</sub> - P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	483.6	7.5	424.7	8.6	290.4	8.1	288.3	5.4	334.8	7.40
P <sub>75</sub> - P <sub>150</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	521.6	9.3	432.0	8.3	287.9	7.2	273.2	4.8	378.2	7.40
P <sub>75</sub> - P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	521.6	9.3	393.2	8.1	290.6	8.0	293.2	4.5	374.8	7.48
P <sub>150</sub> - P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	531.6	9.8	416.3	8.3	286.5	8.6	286.5	4.5	380.3	7.80
P <sub>300</sub> - P <sub>300</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	526.0	9.9	380.9	8.4	318.8	7.2	285.5	5.6	377.8	7.80
P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub> - P <sub>0</sub>	483.6	7.5	386.5	5.1	220.0	5.4	252.1	2.9	335.6	5.23

2.6 土壤速效磷含量变化

表 8 是不同用量的磷肥施入土壤后耕层速效磷(P)含量变化情况。试验 1992 年播前因无施磷干扰,土壤速效磷都很接近,为 10~ 15 mg/kg,按不同用量施用磷肥并种植 4 季小麦之后,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 零处理只有消耗而无补充,故速效磷含量下降为 4.2 mg/kg,比原有水平降低了 7.3 mg/kg,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>75 kg/hm<sup>2</sup>和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>75 kg/hm<sup>2</sup>处理也分别比原有水平下降了 5.1 mg/kg 和 4.0 mg/kg,只有 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>300 kg/hm<sup>2</sup>处理

表 8 耕作层土壤速效磷含量变化

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 总用量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	速效磷含量/(mg · kg <sup>-1</sup> )				
	基础 水平	第 1 季 收后	第 2 季 收后	第 3 季 收后	第 4 季 收后
0	11.5	8.0	7.0	6.0	4.2
75	10.5	10.0	8.0	7.0	5.4
150	11.0	14.0	10.0	8.0	7.0
300	10.0	18.0	13.0	10.0	11.0
375				12.5	14.5
450				12.5	16.5
600				21.5	20.0

经 4 季作物吸收利用后仍然保持原有水平, 但施磷量增加到 375, 450, 600 kg/hm<sup>2</sup> 时, 速效磷含量依次为 14 5, 16 5, 20 0 mg/kg, 远远高于基础土壤含磷水平, 说明增施磷肥对提高土壤速效磷具有重要作用。结合 4 年试验产量, 在本试验年份的降水条件下, 施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>300 kg/hm<sup>2</sup> 可基本满足 4 季冬小麦的需要。

3 小 结

(1) 旱地土壤施用磷肥, 能提高土壤有效磷含量, 一次性施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>75, 150, 300 kg/hm<sup>2</sup> 至少保持 4 季作物有残效, 并且

参考文献:

[1] 张兴高, 崔明九, 武天云, 等. 旱塬土壤施肥培肥技术研究[A]. 王吉庆. 陇东高原半湿润偏旱农业综合发展研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1995. 148- 155

[2] 山仑, 等. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M]. 北京: 科技出版社, 1993

(上接第 60 页)

表 5 施用磷肥对剖面硝态氮累积率与氮素平衡的影响					
施肥量/(kg·hm <sup>-2</sup> ) NO <sub>3</sub> - N 氮肥利用率/氮回收率/ 亏缺率/					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	累积率/%	%	%	%
45	45	6.00	52.62	58.62	41.38
	90	5.76	65.20	70.96	29.04
	135	2.95	66.04	68.99	31.01
90	0	27.43	42.33	69.76	30.24
	45	4.77	61.19	65.96	34.04
	90	2.18	57.70	59.88	40.12
	135	6.56	53.42	59.98	40.02
135	180	6.03	58.37	64.40	35.60
	45	20.68	45.31	65.99	34.01
	90	15.65	54.09	69.74	30.26
	135	9.76	51.52	61.28	38.72
180	0	42.32	32.54	74.86	25.14
	90	17.03	47.26	64.29	35.71
	180	9.83	50.56	60.39	39.61

3 结 论

长期试验表明, 黄土旱塬长期不平衡或过量施用氮肥,

用量增加, 残效相应提高, 但从绝对产量来看, 随着种植年限延长, 残效则逐年下降。在分配施磷条件下, 残效基本随施磷量的增加而降低。施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>300 kg/hm<sup>2</sup> 可基本满足 4 季冬小麦对磷的需求。因此, 利用磷肥残效时, 既要考虑它的增产效果, 更重要的是看对作物产量的影响程度, 这对合理经济施磷有重要意义。

(2) 磷肥的利用率随用量增加而降低, 单季利用率低, 累计利用率高, 施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>75~ 300 kg/hm<sup>2</sup> 时, 单季利用率为 12.0%~ 4.3%, 累计利用率达 25.0%~ 12.4%, 是首季利用率的 2.1~ 2.9 倍。

土壤剖面中硝态氮的深层累积是不可避免的, 其累积数量、深度和累积率与氮磷施用量及搭配比例密切相关。硝态氮在土壤深层累积的深度通常在 60 cm 以下, 严重时可以超过 200 cm。因施肥组合方式的不同, 14 年后 0~ 200 cm 硝态氮累积率为 8.5%~ 31.0%, NPM>N>NP>M。如果氮磷肥按不同比例搭配, 在氮磷比例严重失调时, 硝态氮累积率剧增, 15 年后最大累积率达到 42.3% (单施氮 180 kg/hm<sup>2</sup> 处理)。试验表明, 土壤剖面 NO<sub>3</sub>- N 的累积量与累积率一般随氮肥用量的增加而增加, 而且 NO<sub>3</sub>- N 累积深度随氮肥用量的递增而加深。在 NO<sub>3</sub>- N 严重累积的情况下, 配施磷肥可以明显的减少硝态氮的累积数量和累积率, 且随磷肥用量的增加而减幅增大。从土壤氮素平衡来看, 施氮量越大, 氮素利用率越低; 配施磷肥越多, 氮肥利用率越高。为了防止硝态氮的严重积累及其对环境的潜在威胁, 在生产上切实可行的措施就是氮磷肥合理配施。

参考文献:

[1] Keeney, D R. N nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution[A]. In: F J. Stevenson (ed.), Nitrogen in Agricultural Soils[M]. Madison: Wisconsin Agronomy, 1982. 605- 949

[2] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. 213- 249

[3] 张福珠, 熊先哲, 戴同顺. 应用<sup>15</sup>N 研究土壤- 植物系统中氮素淋失动态[J]. 环境科学, 1984, 5(1): 21- 24

[4] 王家玉, 王胜佳, 陈义. 稻田土壤中氮素淋失的研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(1): 28- 35

[5] 张国梁, 章申. 农田氮素淋失研究进展[J]. 土壤, 1998, 6: 291- 297

[6] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究[J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 45- 51

[7] 郭胜利, 党廷辉, 郝明德. 黄土高原沟壑区不同施肥条件下土壤剖面中矿质氮的分布特征[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(1): 22- 27

[8] 樊军, 郝明德, 党廷辉. 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 23- 26