

# 土壤积累态磷研究

## I. 一次大量施磷的产量效应

时正元 鲁如坤 顾益初

(中国科学院南京土壤研究所)

### 摘 要

试验表明,在红壤和石灰性潮土上,一次大量施磷的总产量(红壤为6季,潮土为3季),在总施磷量相等的情况下,都高于或至少等于分次施磷,但其增产作用主要表现在前1—2季作物上。随着时间的延长,一次施磷的产量逐渐下降直至低于分次施磷,说明了随土壤和磷肥作用时间的延长,积累态磷的有效性逐渐下降,积累态磷的有效性不仅决定于与土壤接触的时间,以及土壤磷素吸附位的饱和度,还与作物类型有密切关系,如试验中的萝卜菜,利用积累态磷的能力甚高。

从实用方面看,一次大量施磷最好不超过两季磷的总用量,只有在土壤磷素水平较高时,可以适当超过两季。

土壤在不断施磷时,磷素将在土壤中不断和积累<sup>[1]</sup>。国内外的研究结果都表明,磷肥当季利用率一般在10—25%。<sup>[2,3]</sup>它受作物类型、土壤性质、磷肥种类和用量等一系列因素的影响。因此,每年施入的磷大约有75—90%积累在土壤中。1992年我国磷肥消费量为515万吨 $P_2O_5$ ,按此推算,即有380—400万吨的磷当季残留在土壤中,这是一笔巨大的财富,所以积累态磷的性质和有效性日益受到人们的重视。

本文采用大田试验,以一次大量施磷和分次(季)施磷的方法,在总用量相等的情况下,研究土壤和磷肥接触时间长短对作物的产量效应。另外,一次大量施磷也有一定的实用意义,如有一些国家推荐采用这一方法<sup>[4]</sup>以节约劳力或为了某些特殊目的,如免耕制度下一次大量施磷等。

大田试验分别在江西鹰潭发育于第四纪红色粘土的红壤上和河南封丘冲积性潮土上进行,它们的基本性状列于表1。从表1可知,两种供试土壤的性质差异很大(包括磷素固定量),但都是肥力较低的土壤。

试验分为5个处理:1.不施磷(NK,  $P_0$ );2.每季施2.5kg $P_2O_5$ /亩,季季施( $P_1$ );3.每次施

5.0kg $P_2O_5$ /亩,每两季施一次( $P_2$ );4.每次施7.5kg $P_2O_5$ /亩,每三季施一次( $P_3$ );5.季施5.0kg $P_2O_5$ /亩,整个轮作周期中只施一次,以后不再施磷( $P_4$ )。磷肥为过磷酸钙,其它氮、钾肥料按当地不同作物的习惯用量施用。小区面积,红壤为30m<sup>2</sup>,重复3次,潮土为31.5m<sup>2</sup>,重复4次。试验在潮土上进行了三季(小麦—玉米—小麦),在红壤上进行了六季(花生—荞麦—萝卜菜—花生—萝卜菜—花生),现将结果报告如下。

表1 供试土壤的基本状况

| 项 目                       | 潮 土  | 红 壤  |
|---------------------------|------|------|
| pH(H <sub>2</sub> O)      | 8.1  | 4.7  |
| 有机质 g/kg                  | 8.5  | 17.1 |
| 全 N g/kg                  | 0.48 | 0.34 |
| 全钾 (K <sub>2</sub> O)g/kg | 21.4 | 12.7 |
| 速效钾(K)mg/kg               | 79   | 50   |
| 缓效钾(K)mg/kg               | 591  | 138  |
| 全磷( $P_2O_5$ )g/kg        | 1.2  | 0.53 |
| Olsen-P mg/kg             | 2.4  | 3.9  |
| 磷素固定量 mg/kg               | 136  | 364  |

## 一、磷肥一次大量施用和分次(季季)施用的产量比较

从表 2 可知,在总施磷量相同的情况下,一次大量施用和分次季季施用,在红壤和石灰性潮土上,都以一次大量施磷的总产量显著高于分次施磷的产量。国外在石灰性土壤上进行的试验也有类似的结果<sup>[3,4]</sup>。在我们的试验中,不论是石灰性土壤还是固磷能力较强的红壤,一次施磷,其总产量都优于或至少等于分次施用的。一般认为,土壤与磷肥接触时间愈长,其有效性愈低,因而季季施应比一次大量施产量要高,但在表 2 结果中,似乎并未反映出这一规律来,其原因下面将进一步探讨。

表 2 磷肥一次施用和分次施用对产量的影响

| 处 理            | 红 壤(6 季)      |      |     | 潮 土(3 季)      |      |     |
|----------------|---------------|------|-----|---------------|------|-----|
|                | 施 $P_2O_5$ 总量 | 总 产  | 相对  | 施 $P_2O_5$ 总量 | 总产   | 相对  |
|                | (公斤)          | (公斤) | (%) | (公斤)          | (公斤) | (%) |
| NK( $P_0$ )    | 0             | 616  | 100 | 0             | 1175 | 100 |
| 季季施( $P_1$ )   | 15            | 1562 | 253 | 7.5           | 1517 | 129 |
| 二季施一次( $P_2$ ) | 15            | 1611 | 262 | 10*           | 1749 | 149 |
| 三季施一次( $P_3$ ) | 15            | 1702 | 277 | 7.5           | 1724 | 147 |
| 只施一次( $P_4$ )  | 5             | 1285 | 210 | 5             | 1552 | 132 |

\* 此处理为每两季施一次,每次施  $P_2O_5$  5 公斤,三季共施二次。

## 二、每两季和每三季施一次的磷肥肥效

表 3 列出了每两季施一次和每两季都施磷肥的产量比较,两种处理中磷肥和土壤的接触时间,大约差一个季节。

从表中可以看到,在潮土上每两季施一次,产量显著比每季施为高。但在红壤上情况有所不同。在第一个周期中,一次施和分次施在产量上并无显著差异。这就明显表现出土壤性质特别是土壤磷固定量的影响。由于红壤的磷素固定量大(表 1),因此,在红壤上土壤和磷肥作用的时间对磷肥有效性的影响就比潮土大。所以在潮土上一次施磷产量明显优于分次施的情况

表 3 每季施和两季施一次磷的产量比较

| 土 壤 | 作 物               | NK           |                  | 每季施          |                  | 每两季施一次       |                  |
|-----|-------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
|     |                   | 施 $P_2O_5$ 量 | 总产量              | 施 $P_2O_5$ 量 | 总产量              | 施 $P_2O_5$ 量 | 总产量              |
| 潮 土 | 第一周期<br>小麦-玉米-小麦  | 0            | 961.9*<br>(100%) | 5            | 1103.9<br>(115%) | 5            | 1287.3<br>(134%) |
|     | 第二周期<br>花生-荞麦-萝卜菜 | 0            | 151.2<br>(100%)  | 5            | 191.1<br>(126%)  | 5            | 186.6<br>(123%)  |
| 红 壤 | 第一周期<br>花生-萝卜菜-花生 | 0            | 146.7<br>(100%)  | 5            | 748.8<br>(510%)  | 5            | 826.7<br>(564%)  |
|     | 第二周期<br>花生-萝卜菜-花生 | 0            | 146.7<br>(100%)  | 5            | 748.8<br>(510%)  | 5            | 826.7<br>(564%)  |

\* 施  $P_2O_5$  量和总产量均为每亩公斤数,括号内为产量相对%。

下,在红壤上未能表现出这一优点。但在红壤第二周期中却表现出来了。这是因为在第一周期中积累在土壤中的磷,掩蔽了红壤磷吸附位的一部分,从而使红壤固磷能力减小,使时间的作用减弱,这就清楚地表明时间对残留磷有效性的影响还受土壤磷素水平(磷素吸附饱和度)的影响。类似规律也在每三季施一次的处理中发现(表 4)。从表 4 可以看出,在用磷能力较小的潮土上三季施一次磷比每季施的产量高,在固磷能力大的红壤上,第一周期一次施和每季施产量相近似,而第二周期中则以一次施的产量较高,上述结果都说明,土壤和磷肥的作用时间仍然影响着积累态磷的有效性,但这种影响也同时受土壤性质和土壤磷素水平的影响。

表 4 每季施和每三季施一次的产量比较

| 土 壤 | 周 期* | NK           | 每季施 2.5kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 三季施一次                                  |
|-----|------|--------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
|     |      |              | 连施三季                                    | 一次施 7.5kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| 潮 土 | 第一   | 1174.6(100%) | 1517.2(129%)                            | 1724.4(147%)                           |
| 红 壤 | 第一   | 337.9(100%)  | 637.8(189%)                             | 657.8(195%)                            |
|     | 第二   | 277.8(100%)  | 924.3(333%)                             | 1044.5(376%)                           |

\* 种植内容同表 3. 下同。

三、影响一次大量施磷有效性的因素

许多试验都证明,随着磷在土壤中的时间愈长,其有效性将逐步下降<sup>[5-8]</sup>,我们的结果也证明了这一点<sup>①</sup>。根据这一理论,可以推想一次大量施磷与季季施磷都增加了磷肥和土壤的接触时间,这对磷肥肥效的发挥不利。但是从两种施肥方法的总产量看,为什么一次大量施磷的产量常常高于或至少等于季季施磷呢?

表 5 的结果表明,一次大量施和每季施产量差异主要表现在第一季上。在以后一次施并未能在产量上表现出优越性,比如在潮土上,第一季一次施比每季增产 35%,第二季增产 20%,

表 5 每季施和三季施一次的各季作物  
相对产量(%)

| 土 壤 | 季 别  | 每季施产量 | 每三季施一次产量 |
|-----|------|-------|----------|
| 潮 土 | 第一周期 |       |          |
|     | 1    | 100   | 120      |
|     | 2    | 100   | 120      |
|     | 3    | 100   | 77       |
| 红 壤 | 三季总产 | 100   | 114      |
|     | 第一周期 |       |          |
|     | 1    | 100   | 120      |
|     | 2    | 100   | 100      |
|     | 3    | 100   | 98       |
|     | 三季总产 | 100   | 103      |
|     | 第二周期 |       |          |
|     | 1    | 100   | 129      |
|     | 2    | 100   | 109      |
|     | 3    | 100   | 109      |
|     | 三季总产 | 100   | 113      |

到第三季反而显著低于每季施的(减产 23%),虽然从三季总产看,一次施比每季施要高。在红壤上,第一周期第一季的产量一次施比季季施增产 20%,但第二季平,第三季即有减产。可见,不论在潮土上还是在红壤上,三季施一次的优越性主要表现在第一、二季上(但在红壤第二周期中一次施的一直维持到第三季,产量仍比季季施的高)。

综上所述,一次大量施磷和季季施磷相比,主要是在施肥当季为作物提供了更多的有效性磷,即磷素供应的强度因素大大增加了。从而导致产量显著增加,但在第二季、第三季随着时间的延续,这种优势大大减弱,意味着磷有效性下降了,虽然从三季总产看,一次大量施比季季施仍然增产。因此,从两地大田试验看,一次大量施磷,其残留在土壤中的

① 未发表资料

(下转第 89 页)

## 参 考 文 献

- [1] Nielsen, D. R. et al., *Agricul. Water Manage.* 6:93—107, 1983.
- [2] Vauclin, M. et al., *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:175—184, 1983.
- [3] 雷志栋等, 土壤特性空间变异性初步研究, *水利学报*, 第 9 期, 10—21 页, 1985。
- [4] 吕军, 俞劲炎, 水稻土物理性质空间变异性研究, *土壤学报*, 第 27 卷, 1 期, 8—16 页, 1990。
- [5] 陈志雄, M. Vauclin, 封丘地区土壤水分平衡研究, I, *土壤学报*, 第 26 卷, 4 期, 309—315 页, 1989。
- [6] 陈亚新, 史海滨, 渠床土壤入渗率的空间变异性, *水利学报*, 第 2 期, 11—18 页, 1991。
- [7] 章衡, 土壤有机质, 速效磷含量的等值图与合理采样的方法, *土壤通报*, 第 3 期, 139—141 页, 1989。
- [8] 唐鸿龄等编著, *应用概率*, 南京工学院出版社, 67—147 页, 1988。
- [9] Journel, A. G. and C. J. Huijbregts, *Mining Geostatistics*, Academic Press, New York, 32—96 页, 1978.
- [10] Yates, S. R. 等(王学锋译编), 应用协同克立格法估算土壤含水量, *土壤学进展*, 第 19 卷, 5 期, 51—57 页, 1991。

~~~~~  
(上接第 59 页)

磷(积累态磷)的有效性仍是随着时间的延续不断下降的, 这种有效性下降的主要原因是由于供磷强度因素的下降。而强度因素的下降又主要决定于红壤性质(特别是固磷能力)。

从实用的角度看, 一次大量施磷最好不超过两季的总用量, 但在磷素水平较高的土壤可以超过两季。

表 6            磷肥的后效\*

| 季别 | 作 物 | 对照(NK) | 第一季施磷的后效<br>(5kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /亩) |
|----|-----|--------|---------------------------------------------------|
| 1  | 花 生 | 100    | 125                                               |
| 2  | 养 麦 | 100    | 154                                               |
| 3  | 萝卜菜 | 100    | 231                                               |
| 4  | 花 生 | 100    | 128                                               |
| 5  | 萝卜菜 | 100    | 686                                               |
| 6  | 花 生 | 100    | 156                                               |

\* 产量相对值, 以对照为 100%

积累态磷随着时间的延长有效性不断降低, 其速度在不同土壤上是不同的, 所以后效也不同。表 6 列出了红壤上一次施磷 5 公斤(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)时的后效。从表中可以看到, 在通常大田磷肥用量情况下(5 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/亩), 一次施磷的后效到第 6 季仍然比对照增产 56%。表中数据还清楚地表明, 积累态磷的肥效还决定于作物, 在花生和养麦的情况下, 后效相对值为 125—156%, 而种萝卜菜时却大大增加, 达 231—686%。

## 参 考 文 献

- [1] 鲁如坤、史陶钧, 土壤磷素在利用过程中的消耗和积累, *土壤通报*, No. 6—8, 1980。
- [2] 熊毅等主编, *中国土壤* (二版), 492 页, 科学出版社, 1987。
- [3] Halverson, A. D. & A. L. Black, *SSSAJ*, 49, 933—937, 1985.
- [4] Read, D. W. L. et al, *Can. J. Soil Sci.* 57, 255—262, 1977.
- [5] Fitter, A. H., *J. Soil Sci* 25, 41—50, 1974.
- [6] Larsen, S. and A. E. Widdowson, *J. Soil Sci*, 22, 5—8, 1971.
- [7] Waqar, B. I. et al; *Can. J. Sci Sci*, 66, 105—119, 1986.
- [8] Parfitt, A. L. et al, *J. Soil Sci*, 40, 371—382, 1989.