

# 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理 对磷、钾和 pH 的影响<sup>①</sup>

高亚军<sup>②</sup> 朱培立 王志明 黄东迈

(江苏省农科院土肥所 南京 210014)

李生秀

(西北农林科技大学资源与环境科学系)

**摘 要** 免耕土壤速效磷含量在整个剖面均低于耕翻土壤, 0~5cm 土壤生物量磷含量免耕高于耕翻, 5~15cm 免耕低于耕翻; 施肥和休闲土壤均维持了较高的有效磷和生物量磷水平。种植作物的免耕土壤缓效钾含量与耕翻土壤没有显著差异, 0~5cm 速效钾含量呈免耕高于耕翻的趋势, 休闲的免耕土壤整个剖面缓效钾和速效钾含量都高于耕翻; 免耕土壤缓效钾的分布无明显的层次性, 速效钾则相反; 施肥明显提高土壤速效钾含量, 但对缓效钾的影响不大。长期免耕没有导致土壤酸化; 免耕土壤 pH 与耕翻土壤没有差异。

**关键词** 耕作方式; 培肥制度; 磷; 钾; pH

我国南方水旱轮作的面积较大<sup>[1]</sup>, 在这些地区如何通过合理的土壤管理措施既可达到高产节源, 培肥土壤, 又能有效减少环境污染, 发展生态农业是当前的重要问题。关于免耕少耕的研究国内外已作了大量工作<sup>[2~7]</sup>, 但以旱地土壤和作物为多, 涉及水田和水旱轮作的免耕少耕较少。长期施用不同肥料对土壤培肥效果的研究结合水旱轮作及免少耕的也不多<sup>[8~10]</sup>。水旱轮作是将两个截然不同的土壤环境联结在一起, 如何将水旱作物不同的生长要求通过新的耕作施肥措施加以协调, 达到持续增产, 是本研究的主要目的。1983年江苏农科院在张家港设立了一个长期定位试验, 1995年试验结束后对各处理的土壤肥力进行了分析, 本文仅就土壤磷、钾和 pH 方面的变化作一探讨。

## 1 材料与方法

田间长期定位试验设在江苏省长江南岸张家港市鹿苑镇。该地区海拔 4m 左右, 常年降雨量 1039.3mm, 年均蒸发量 800mm, 常年平均气温 15.2℃, 年均 5cm 地温 16.8℃。

供试土壤为长江冲积母质发育的灰潮土(G ray Fluvo-aguic Soil); 耕层(0~15cm)有机质含量 19.7g/kg, 全氮 1.28g/kg, 速效磷( $P_2O_5$ )20.8mg/kg, 非交换性钾(K)422 mg/kg, 交换性钾(K)58mg/kg, pH 8.09; 粘土矿物以水云母为主, 还有一些绿泥石、高岭石等; 小于 2 $\mu$ m 的土壤颗粒占 68g/kg, 2~10 $\mu$ m 的占 114g/kg, 10~50 $\mu$ m 的占 637g/kg, 50~100 $\mu$ m 的占 91g/kg。供试作物为水稻和小麦, 均选用当地主导品种, 水稻为早单八, 小麦为杨麦五号。

本研究设免耕(NT)和常规耕翻(CT)两种耕作方式, 及不施任何肥料(对照, CK)、单施化肥(CF)、猪粪与化肥配施(PM)、秸秆与化肥配施(CS)和常年休闲(F)五种培肥制度, 完全组合共包括十个处理, 重复三次, 30 个小区随机排列。常规耕翻指每季作物播前将土壤耕

① 国家自然科学基金重点项目(批准号 39430090)和国家自然科学基金项目(批准号 33880537)

② 现在西北农林科技大学工作

翻一遍(一般耕深达 15cm), 基肥及作物残茬耕翻入土中, 作物收获后只留低茬而将秸秆其余部分移走。免耕操作为播前只作表层(不深于 5cm)的旋耕灭茬, 而不进行耕翻, 肥料表施。休闲小区常年不施任何肥料, 也不种任何作物, 保持天然杂草植被, 免耕休闲区每季杂草收获后铺盖于地表, 耕翻休闲区杂草在耕翻时一并埋入土壤耕层。各施肥处理养分总投入量见表 1。

定位试验开始于 1983 年 6 月, 1995 年 10 月结束, 共种植 13 季水稻、12 季小麦。每年 10 月下旬种植小麦, 6 月上旬收获; 6 月下旬种植水稻, 10 月上旬收获。1995 年 10 月水稻收获后每个处理采集一份多小区、多点混合土壤样品, 分 0~5cm, 5~15cm, 和 15~30cm 三个层次, 所有土样风干后磨细, 分别过 2mm、1mm 和 0.25mm 筛以备分析。

土壤速效磷的碳酸氢钠浸取—钼锑抗比色法<sup>[11]</sup>测定; 土壤生物量磷测定: 将 2mm 的风干土样取三份, 加水使之含水量达到田间持水量的 65% 左右, 于 30℃ 恒温条件下好气培养 10 天。然后将其一份于 25℃ 暗处用氯仿熏蒸 24 小时, 除去土壤中残余氯仿后用 0.5mol L<sup>-1</sup>NaHCO<sub>3</sub> 浸取; 另两份不作熏蒸, 其中之一直接用 0.5mol L<sup>-1</sup>NaHCO<sub>3</sub> 浸取; 另一份用含磷的 0.5mol L<sup>-1</sup>NaHCO<sub>3</sub> 溶液浸取(其磷含量相当于 P 25mg/g 烘干土)。浸取液用钼锑抗比色法测定其中之含磷量。土壤生物量磷含量以下式计算:  $MBP = 25(b-a)/0.4(c-a)$ , 其中 a 为从未熏蒸土壤中浸取的磷量, b 为从熏蒸土壤中浸取的磷量, c 为从未熏蒸土壤用含标准量磷的 NaHCO<sub>3</sub> 浸取的磷量<sup>[12]</sup>; 土壤非交换性钾测定: 硝酸浸提—火焰光度法<sup>[11]</sup>; 土壤交换性钾测定: 醋酸铵浸提—火焰光度法<sup>[11]</sup>; 土壤 pH 用玻璃电极法, 土水比为 1:2.5<sup>[11]</sup>。

表 1 各处理十二年总施肥量(kg/hm<sup>2</sup>)

处理	单施化肥	猪粪+化肥	秸秆+化肥
N	4856	5241(33.9%)	4607(12.1%)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1500	4649(68.0%)	1875(13.0%)
K <sub>2</sub> O	3645	5177(29.6%)	4589(20.5%)

注: 括号中为有机态养分所占的比例; 所用矿质肥料分别为尿素, 过磷酸钙和氯化钾

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤磷

许多研究表明<sup>[13~15]</sup>, 由于作物残茬在地表的覆盖、磷肥的表施及磷在土壤中较小的移动性, 免耕土壤中磷素常在表层富集, 越往下则明显减少, 而耕翻土壤的磷素分布相对较均匀, 随深度增加, 磷含量下降较慢, 甚至可能在某个层次有增加的趋势。本试验中速效磷在土壤剖面中的分布也反映了这样的特点(表 2)。Carter<sup>[5]</sup>指出, 免耕 16 年的土壤 0~4cm 速效磷明显多于耕翻土壤。Juo<sup>[13]</sup>等也发现免耕土壤 0~15cm 速效磷含量显著高于耕翻土壤。但本研究表明, 种植作物时免耕土壤速效磷含量在整个剖面均低于耕翻土壤。产生不同结果的原因有待进一步查明。长期不施磷肥或有机肥, 土壤速效磷含量会很快下降, 而连续施用足够数量的磷肥或有机肥或二者配合, 可使土壤速效磷保持较高的水平<sup>[16, 17]</sup>。本研究结果表明(表 2), 经过 25 季作物的消耗, 不施肥土壤速效磷含量降到了相当低的水平; 施化肥和秸秆+化肥的土壤(猪粪+化肥的处理施磷量远高于这两处理, 所以不用来作比较)0~5cm 速效磷含量比相应的不施肥土壤高 2.5~4 倍, 另外两个土层也比不施肥处理高出许多。休闲土壤也维持了较高的有效磷水平。

有效磷在土壤中不仅存在着化学固定, 而且能被微生物固定; 化学固定往往大大降低磷的有效性, 而生物固定只是有效磷形态的转化, 它对减少磷的化学固定, 提高磷素的利用率

具有重要作用。

根据表2所示,土壤生物量磷含量稍高于土壤速效磷含量:免耕土壤生物量磷为8.8 mg/kg,速效磷为6.0mg/kg;耕翻土壤生物量磷为8.5mg/kg,速效磷为7.9mg/kg。生物量磷(MBP)与速效磷(AP)含量之间有显著的相关性,可用直线方程  $MBP=0.6307 \cdot AP+1.8545$  ( $R^2=0.5345^{**}$ )表示。免耕土壤表层(0~5cm)的速效磷含量低于耕翻土壤,而生物量磷正相反,免耕高于耕翻;5~15cm 免耕土壤生物磷含量低于耕翻土壤;15~30cm 土层无明显规律。免耕土壤随深度增加生物量磷含量降低较快,耕翻土壤中这种变化相对较小。长期不施肥的土壤生物量磷含量最低,施有机肥的土壤生物量磷含量最高,只施无机肥的土壤略高于不施肥的土壤;休闲处理免耕土壤表层生物量磷含量比其它任何土壤的都高出许多,而相应的耕翻土壤表层生物量磷含量只略高于施无机肥土壤,这说明休闲免耕土壤表层的微生物活动最强烈,这与大量杂草及其根系在表层富集有直接关系。

## 2.2 土壤钾

试验结果表明(表3),种植作物处理的免耕土壤缓效钾含量与耕翻土壤没有显著差异。休闲免耕土壤整个剖面缓效钾含量都高于耕翻。随着土壤深度增加,不论免耕还是耕翻,缓效钾含量都呈下降趋势,而且下降幅度在免耕与耕翻之间没有太大不同,说明免耕土壤缓效钾的分布并未呈现明显的层次性,耕作措施没有引起土壤缓效钾库的变化。

长期不施任何肥料的土壤缓效钾含量显著低于施肥和休闲处理。这与台湾的长期定位试验结果不同,据林家芬<sup>[10]</sup>报导,每季作物施用 K 78.9kg/ha,48年后不施钾肥的土壤全钾含量没有明显差异,缓效钾亦然。产生不同结果的主要原因可能是施钾量不一样,本研究中的施钾量是台湾试验中的施钾

量的1.5倍左右,但也可能与本研究是水旱轮作,而台湾的试验为连作稻,即种植制度不同有关。虽然有机肥无机肥配施处理的施钾量要比单施无机肥的高出平均34%,但是单施无机肥与有机肥处理之间的差异也仅仅表现在土壤表层(0~5cm)。免耕条件下,休闲土壤的缓效钾含量与秸秆+化肥的接近。而在耕翻条件下,休闲土壤缓效钾含量只在0~5cm高于不施肥土壤。

速效钾含量与缓效钾含量之间虽有极显著的相关性(线性相关系数  $r^2=0.7315^{**}$ ),但土壤管理措施对土壤速效钾与缓效钾的影响既有相似之处,也有不同的地方(表3)。休闲的免耕土壤从表层到下层速效钾含量均显著高于耕翻,缓效钾含量亦有同一趋势。休闲的耕翻土壤其含钾水平低于不耕翻休闲土壤可能与后者有机质的积累较前者为多(高亚军等待刊稿),因而对钾有一定的固定人作用有关。种植作物的免耕土壤缓效钾含量与耕翻土壤差异不大,速效钾含量在表层(0~5cm)免耕与耕翻也无明显差异,而在表层以下,则呈免耕低于耕翻的趋势。免耕土壤中速效钾的分布具有层次性,下层含量大多低于表层(0~5cm),这亦与缓效钾不同;此外,施肥对土壤速效钾含量的影响远远大于对缓效钾的影响,

表2 土壤磷素指标

耕作方式	土层(cm)	速效磷(P)含量(mg/kg)				
		休闲	对照	化肥	猪粪+化肥	秸秆+化肥
免耕	0~5	12.4	2.3	8.0	25.2	11.5
	5~15	5.7	1.8	2.1	10.1	6.6
	15~30	1.6	0.5	1.1	0.9	1.4
耕翻	0~5	6.0	3.0	11.9	30.5	13.5
	5~15	6.6	2.3	10.3	21.8	5.7
	15~30	3.0	0.7	1.4	2.1	0.7
		生物量磷(P)含量(mg/kg)				
免耕	0~5	26.4	11.2	17.3	17.2	16.6
	5~15	8.5	4.6	4.6	4.8	9.1
	15~30	2.1	1.8	1.6	2.5	4.0
耕翻	0~5	12.9	10.8	11.0	22.3	15.0
	5~15	9.9	6.9	10.2	9.6	9.3
	15~30	2.4	2.2	1.1	2.3	2.4

与不施肥处理相比, 休闲和施肥处理的 0~5cm 土壤速效钾含量高出 61.9%~222%(免耕)和 42.5%~121.8%(耕翻), 而 0~5cm 土壤缓效钾含量只高出 28.8%~51.2%(免耕)和 31.0%~56.7%(耕翻)。休闲土壤 0~5cm 和 5~15cm 的速效钾含量明显高于种植作物土壤。值得注意的是, 秸秆+化肥处理的施钾量低于猪粪+化肥, 然而土壤速效钾和缓效钾含量前者却大大高于后者, 而且作物吸钾量二者大致相同(表 3), 这意味着猪粪+化肥土壤中可能有较大的钾损失。施用钾肥或有机肥对维持土壤较高的钾水平具有显著作用<sup>[9]</sup>, 特别是作物秸秆, 含钾量很高, 而且都是水溶性的, 长期实施秸秆还田十分重要<sup>[18-20]</sup>。

### 2.3 土壤 pH

由于土壤具有较强的缓冲能力, 因此一般情况下, 其 pH 不会发生太大的变化, 但如果长期施用大量的酸性肥料(如铵态氮肥)等, 往往引起土壤的酸化, 而且不少人认为免耕比耕翻土壤表层 pH 下降更快<sup>[2 3 6 15]</sup>, 因为在免耕系统中, 氮肥常常施于地表, 而且覆盖的有机物料矿化也会产生大量的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。但 Lal<sup>[14]</sup> 报导, 在尼日利亚实行免耕没有发现土壤的 pH 值降低或土壤钙含量下降的现象, 这些相互不一的结果似乎说明免耕法是否产生土壤酸化问题, 在不同农业气候带和土壤类型上的情况并不一样。

本研究长期定位试验在石灰性土壤上进行, 所用氮肥为尿素, 13 年后土壤 pH 在 7.14~8.28 之间, 与原始土(0~15cm, pH 8.09)相比没有显著差异。所有土壤的 pH 相差最大的, 也没超过一个单位(表 4)。因此可以说在与本研究条件相似的情况下, 实行免耕法是不会导致土壤酸化的。

不论何种耕作方式或何种培肥处理, 土壤 pH 都是随深度增加而增加, 而且增加的幅度以休闲和不施肥的为最小, 有机肥与无机肥配合的土壤增幅最大, 单施无机肥处理介于中间。免耕土壤 pH 与耕翻相比没有差异, 这与 Juo<sup>[14]</sup> 的研究结果一致, 但据黄东迈报道<sup>[20]</sup>, 在黄棕壤水稻土上连续免耕四年以后, 不同施肥处理的土壤 pH 均低于常规耕作。不施肥土壤整个剖面的 pH 都高于其它

表 3 土壤钾素指标

耕作方式	土层 (cm)	休闲	对照	化肥	猪粪+化肥	秸秆+化肥
缓效钾(K)含量(mg/kg)						
免耕	0~5	501.3	334.5	430.8	456.5	505.9
	5~15	471.9	338.2	366.9	377.2	411.3
	15~30	366.4	351.1	376.4	389.7	363.5
耕翻	0~5	435.3	332.4	438.2	495.1	520.8
	5~15	340.3	325.4	443.6	432.4	425.4
	15~30	342.0	354.8	335.3	359.0	359.4
速效钾(K)含量(mg/kg)						
免耕	0~5	179.3	55.6	90.1	93.4	114.5
	5~15	102.5	51.9	56.4	60.6	72.2
	15~30	54.8	43.2	46.9	41.9	45.2
耕翻	0~5	89.6	51.5	86.7	92.1	114.1
	5~15	64.3	56.4	81.3	75.9	95.5
	15~30	48.1	56.0	52.7	47.7	51.5
25 季作物总吸钾(K)量(kg/hm <sup>2</sup> )						
免耕		1090.3	1972.8	2166.0	2165.6	
	耕翻	1081.0	1826.1	2146.7	2179.6	

表 4 土壤 pH

耕作方式	土层 (cm)	休闲	对照	化肥	猪粪+化肥	秸秆+化肥
免耕	0~5	7.58	8.01	7.65	7.49	7.47
	5~15	7.68	8.10	8.06	7.85	8.00
	15~30	8.05	8.20	8.20	8.26	8.19
耕翻	0~5	7.84	7.90	7.79	7.55	7.41
	5~15	7.69	8.00	7.90	7.74	7.99
	15~30	8.14	8.20	8.27	8.28	8.25

肥料处理, 5~15cm 和 15~30cm 两个土层 pH 均以休闲处理最低, 而 0~5cm 土层 pH 均以有机肥加化肥处理最低。

### 3 结论

免耕土壤速效磷含量在整个剖面均低于耕翻土壤,这可能意味着稻麦轮作条件下免耕土壤对有效磷的固定作用较强;土壤生物量磷含量0~5cm免耕高于耕翻,5~15cm免耕低于耕翻;施肥和休闲土壤均维持了较高的有效磷和生物量磷水平。种植作物的免耕土壤缓效钾含量与耕翻土壤没有显著差异,0~5cm以下土层速效钾含量呈免耕低于耕翻的趋势,休闲的免耕土壤整个剖面缓效钾和速效钾含量都高于耕翻;免耕土壤缓效钾的分布无明显的层次性,速效钾则相反;施肥明显提高土壤速效钾含量,但对缓效钾影响不大。长期免耕对土壤pH没有产生显著影响。

### 参 考 文 献

- 1 张同树,程尧.我国富水区域水旱轮作与农业持续发展.农业技术经济,1998,2:52~54
- 2 Blevins R L, Thomas G W, and Cornelius P L. *Agron. J.*, 1977, 69:383~386
- 3 Dick W A. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1983, 47:102~107
- 4 余晓鹤,朱培立,黄东迈.土壤表层管理对稻田土壤N矿化势、固N强度及铵态N的影响.中国农业科学,1991,24:73~79
- 5 Carter M R, Rennie D A. *Can. J. Soil Sci.*, 1982, 62:587~597
- 6 Doran J W. *Soil. Soc. Am. J.*, 1980, 44:765~771
- 7 Dowdel R J, Cannell R Q. *J. of Soil. Sci.* 1975, 26:53~61
- 8 毛达加.近百年来国外长期肥料定位研究的进展.北京农业大学资料汇编,1984,4:1~14
- 9 沈善敏.国外的长期肥料试验(二).土壤通报,1984,15(2):134~138
- 10 林家芬,李子纯,张爱华等.长期连用同样肥料对于土壤化学性质与稻谷数量之影响.*J. Taiwan Agri. Res.* 1973, 22:241~262
- 11 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法.北京:科学出版社,1983.
- 12 Brookes P. C., D. S. Powelson, and D. S. Jenkinson *Soil Biol. Biochem.* 1982, 14:319~329
- 13 Juo A. S. R., and R. Lal. *Soil Science.* 1979, 127:168~173
- 14 Lal R. *Soil Sci Soc. Am. J.* 1976, 40:762~768
- 15 Shear G. M., and W. W. Moschler. *Agron. J.* 1969, 61:524~526
- 16 姚喜源,有机肥和无机肥配合施用对调节土壤P素平衡的影响,土壤肥料,1989,1:5~9
- 17 Krishnamoorthy K. K. 1984. 印度长期肥料试验总结,土壤学进展,12(5):36~40
- 18 Ponnampereuma F. N. Straw as a source of nutrients for wetland rice. In: *Irrled. Organic Matter and Rice.* Los Banos, Philippines, 1984, 117~136
- 19 颜丽,关连珠,祝凤春.玉米秸秆配施化肥对土壤K、S养分的调节作用,土壤通报,1994,25(7):61~63
- 20 黄东迈.免耕少耕条件下土壤肥力与施肥,土壤通报,1988,2:93~97