

农艺措施对紫色水稻土无机磷形态的影响

马红亮¹ 高明² 魏朝富²

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 西南农业大学 重庆 400716)

摘要 本文对不同农艺措施下紫色水稻土无机 P 的形态进行了分级测定, 结果表明: 有机肥与化肥配合施用, 有利于促进 P 素向有效态转化。不同有机肥处理对土壤 P 库的贡献大小不一样, 其顺序为: 猪粪>化肥>对照>绿>蚕豆青; 耕作措施对 P 各形态的有效性影响较大, 效果依次为水旱轮作>免耕垄作>常规耕作; 土壤中无机 P 的形态与土壤肥力水平密切相关。

关键词 紫色水稻土; 无机 P; 形态; 农艺措施

中图分类号 S158.3

土壤中 P 的形态及其转化的研究, 一直受到国内外学者的高度重视。应用无机 P 分级方法, 研究土壤 P 素有效性和 P 肥在石灰性土壤中的形态及有效性变化, 已有许多报导^[1-6]。

我国是一个农业大国, 化肥使用已占相当大的比例, 除了有机肥的使用, 化肥是不可替代的, 而且有机肥会不断随着人民生活水平的提高而增加它在农业土壤上的作用, 而耕作制一直是一项重要的农业生产和农田生态管理措施, 随着研究的深入, 从传统的翻耕发展到如今的免耕、水旱轮作、垄作等不同方式。然而, 如何发挥它们各自的优势, 充分利用不同资源, 促进农业可持续发展已成为人们关心的课题。国内外就免耕、水旱轮作在长期试验下对土壤理化性质的影响有过研究^[7, 8], 但紫色水稻土中 P 的形态转化和有效性鲜为报导。

成瑞喜, 刘景福等人^[9]用新的无机 P 分级方法对中酸性土进行了研究, 初步发现新的分级方法也使用于中酸性土壤无机 P 的分级研究。本文根据此研究结果, 用新的无机 P 分级体系对有机肥与化肥配施试验, 不同耕作制的长期定位试验和不同肥力水平的紫色水稻土中 P 的形态进行了研究, 以期充分利用我国日益增长的有机肥资源, 改良土壤以及采用较合理的耕作制提供一定的决策依据和有效途径。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验处理

1.1.1 有机肥施用试验(A) 试验地点设在西南农业大学实习农场, 土壤为中性紫色水稻土, 基本性质见表 1。试验设 7 个处理, 方案见表 2。采用随机区组设计, 处理重复 4 次, 小区面积为 20.0m²。其中化 1 表示有机 N: 无机 N=1:1.5, 化 2 表示有机 N: 无机 N=1:2.5; 1981~1985 年实行稻-麦轮作, 1986~1989 年采取稻-豆轮作。有机肥在植稻前 20 天施入土壤混匀, P 肥作底肥一次施, N 肥 1/3 作底肥, 2/3 作追肥。水稻成熟时开沟排水, 待收获后施入有机肥翻耕, 种小春作物时再施 P 肥和 N 肥。大、小春作物田间管理按高产栽培技术进行。1990 年水稻收获时取 4 个重复合并成一个土样, 测定土壤无机 P 各形态的含量, 田间试验区共为 9 年。

1.1.2 稻田长期垄作免耕定位试验(B) 试验地点设在重庆市北碚区西南农业大学试验农场, 该农场地处东径 106°26', 北纬 30°26', 海拔 230m, 年平均气温 18.3°C, 年降雨量 1105.4mm, 5~9 月的降雨量占全年雨量的 70%, 年日照 1276.7 h, 无霜期年均约 334 天, 处于北碚向斜的中部, 土壤为中生代侏罗系沙溪庙组灰棕紫色沙泥岩母质上发育的中性紫色水稻土, 为冲沟田, 其基本理化性质见表 1。其它见表 3。试验前一直采用一季中稻+冬水耕作制。

1990 年开始建立紫色水稻土不同耕作制的长期定位试验, 试验共设 4 个处理: (1) 常规平作(中稻-冬水田), 按传统方法每年三犁三耙翻耕植稻, 水稻收获后灌冬水; (2) 垄作免耕(中稻-冬水田), 作垄

表 1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic properties of test soils

试验地点	pH	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)	碱解 N (N) (mg/kg)	速效 P (P) (mg/kg)	速效 K (K) (mg/kg)	物理性砂粒 (g/kg)	物理性粘粒 (g/kg)
A	7.0	22.9	1.15	0.57	25.7				456.0	154.0
B	7.1	23.1	1.74	0.75	22.7	120.1	7.5	71.1	447.4	144.2

表 2 有机肥与化肥配施定位试验方案

Table 2 Scheme of the stationary experiment on formulated application of organic manure and chemical fertilizer

处理	施肥量			9 年共施肥量		
	M (t/hm ²)	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	M (t/hm ²)	N (t/hm ²)	P ₂ O ₅ (t/hm ²)
对 照	0	0	0	0	0	0
化 肥	0	96	50	0	1.73	0.90
蚕豆青+化 1	9.750	81	40	87.750	1.46	0.82
细绿萍+化 2	13.54	96	50	121.86	1.73	0.90
猪 粪+化 2	9.750	96	50	87.750	1.73	0.90
细绿萍+化 1	18.75	81	40	168.75	1.46	0.72
猪 粪+化 1	13.50	81	40	121.50	1.46	0.72

M:有机肥

表 3 长期定位试验供试土壤有关性状

Table 3 Properties of the soil in a long term test

处 理	pH	CaCO ₃	土颗粒组成 (mg/kg)		
			<0.01	<0.001	
常规平作	中稻-冬水田	7.1	1.20	462	157
免耕垄作 1	中稻-冬水田	7.1	1.20	462	155
免耕垄作 2	中稻-小 麦	7.1	0.20	443	148
水旱轮作	中稻-小 麦	6.8	1.00	436	137

表 4 长期定位试验各处理肥料施用量(kg/hm²)

Table 4 Fertilizer application rates in treatments of the long term test

处 理	水 稻	小 麦
常规平作(中稻)	N 132.1; P 30.6; K 78.6	
垄作免耕(中稻)	N 132.1; P 30.6; K 78.6	
垄作免耕(稻麦)	N 132.1; P 30.6; K 78.6	N 161.2; P 30.6; K 97.9
水旱轮作(稻麦)	N 132.1; P 30.6; K 78.6	N 161.2; P 30.6; K 97.9

表 5 不同紫色土的基本性质

Table 5 Basic properties of different purple soils

采集地	土 属	土 壤	土层 (cm)	有机质 (g/kg)	pH	<0.01mm 物理性粘粒 (g/kg)	<0.001mm 粘粒 (g/kg)	无定形铁 (g/kg)	铁活化度
重庆	中性紫色	大肥泥田	0~20	45.33	7.3	481.0	129.2	3.52	0.302
北碚	水稻土	豆瓣泥田	0~22	40.73	6.7	582.8	207.8	3.34	0.296
四川	酸性紫色	油沙田	0~21	35.97	6.3	252.5	124.2	2.79	0.509
宜宾	水稻土	红沙田	0~21	17.45	5.2	262.9	98.3	2.87	0.447
四川	钙质紫色	黄泥田	0~20	28.74	8.0	617.2	274.3	1.97	0.180
遂宁	水稻土	二泥田	0~12	22.84	7.9	663.6	264.8	1.78	0.113

规格为：一垄一沟 55cm，垄顶宽 25cm，沟宽 30cm，沟深 35cm，每小区作 5 垄，水稻收获后免耕灌冬水；(3) 垄作免耕(中稻 - 小麦)，全年不翻不耕，作垄规格与处理(2)相同，水稻收获后种小麦，小麦生长期，降低垄沟水位，保持湿润灌溉，第 2 年小麦收获后灌水种植水稻；(4) 水旱轮作(中稻 - 小麦)，按传统方法水稻平作，水稻收获后，放干田内的水翻耕种小麦，小麦收获后灌水犁耙种水稻。

每个处理小区面积为 20m²，4 次重复，随机区组排列，垄作和平作处理每小区种水稻 600 窝，各处理的施肥量列于表 4，小麦和水稻都是过磷酸钙作底肥一次施用，尿素底肥施 2/3，追肥施 1/3，氯化钾底肥和追肥各施 1/2，每年施肥都是如此，免耕施肥和追肥都是表面施肥，免耕施肥后覆土。每年水稻收获后取耕层 0~20cm 土壤样品为材料，同一处理混合进行分析。1990 年~1997 年(3)、(4) 处理采取水稻 - 小麦轮作，1998 年后采取水稻 - 油菜轮作。供试品种：为当地大面积种植的品种。

1.1.3 不同土壤类型试验 土壤采自不同的地方，肥力的高低根据地方上的经验而确定。详细情况见表 5。

1.2 分析方法

无机 P 分级采用蒋柏藩等人建立的新分级体系

进行测定^[2]，无机 P 各形态包括 Ca₂-P；Ca₈-P；Al-P；Fe-P；O-P；Ca₁₀-P。各形态 P 的含量均以 P mg/kg 表示。

2 结果与讨论

2.1 有机肥与化肥配合施用对土壤无机P形态的影响

在水旱轮作条件下，紫色水稻土经 9 年有机肥与化肥的配合施用（结果见表 6），与不施肥（对照）相比较(见图 1. A)，结果与不同的有机肥自身的性质和施肥量有关，在猪粪中有一半的 P 是无机 P^[10]，而且猪粪分解的半衰期为 7 年，绿肥分解的半衰期为 3.3 年^[8]，这样猪粪积累多，分解少，自然被植物吸收的就少，P 含量就高(见图 1. C)；这一结果与猪粪中含有较多 P，而且被微生物固定的时间长也有关^[10]。萍+化 1 和蚕+化 1 中有机 N/无机 N 相对于化 2 要高，有利于各 P 形态的转化和有效化，便于植物吸收利用，因此萍+化 1 和蚕+化 1 使 P 降低。单施化肥使 O-P 降低，因为 O-P 主要和有机质的含量有关，而只施化肥，只能消耗更多的有机质，迫使 O-P 向其它形态转化，从而自身降低。这也表明了土壤各 P 形态之间在植物的需求下有动态的平衡关系。

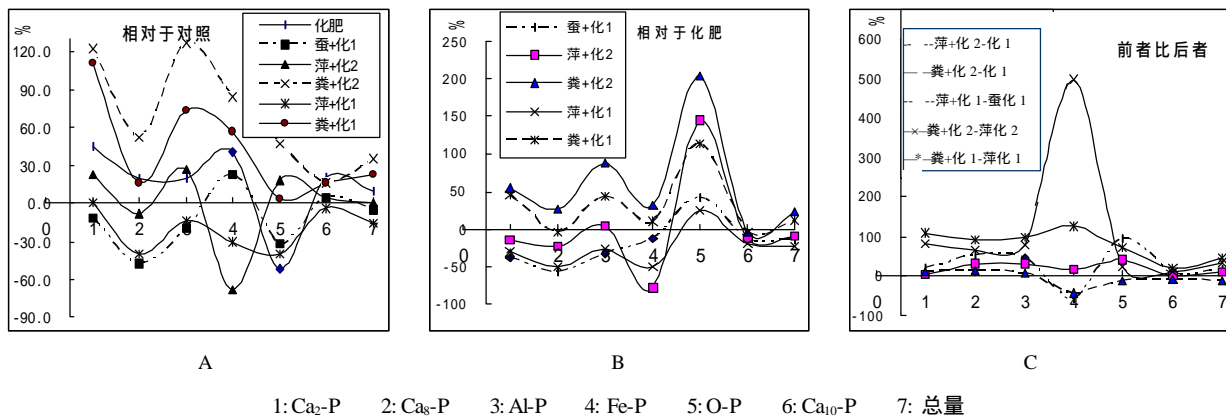


图 1 有机肥与化肥配合施用对无机P形态影响的消长关系

Fig. 1 Effects of formulated application of organic manure and chemical fertilizer on inorganic phosphorus forms

有机肥与化肥的配合施用(结果见表 6)与单施化肥相比较(见图 1. B)，萍+化 1 和蚕+化 1 相对于单施化肥降低了 P 的含量，粪+化 1 和粪+化 2 相对于单施化肥增加了 P 的含量。再一次说明绿肥(细绿萍和蚕豆青)有促进土壤 P 养分各形态的转化和有效性，而猪粪因主要是代谢产物，直接的贡献较多，间接的

促进作用不明显。有机肥与化肥的配合施用使 O-P 增加，特别是萍+化 2 和粪+化 2 增加最多，分别达到 144.8% 和 203.4%，而 Ca₁₀-P 的降低也是 P 有效化的标志，因为它被广泛认为是迟效态。

图 1. B，猪粪和化肥配合施用要比细绿萍和化肥配合施用使各形态 P 增加的多，而且增加最多的都

是O-P,其次是Al-P,最少的是Ca₁₀-P。有机肥相同的情况下(见图1.C),比如在施用同量的绿萍条件下,化肥仍有增加各形态含量的效果,但Fe-P在化肥多的情况下反而降低;在施用同量的猪粪情况下,增加化肥同样有增加P含量的效果。而且在有机肥存在

下化肥形态的P多数以O-P和Ca₈-P形态累积起来,特别是O-P,这与只施用化肥使O-P降低的结果相反,可见有机肥与化肥的配合施用既可提高有效态含量又可使迟效态得以积累,随时备用。

表6 不同有机肥与化肥配施处理土壤无机P各形态的含量($\times 10^2\text{mg/kg}$)

Table 6 Contents of different forms of inorganic phosphorus in soils under different organic manure and chemical fertilizer treatments

处 理	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca ₁₀ -P	总量
对照	0.09	0.25	0.15	0.39	0.60	2.4	3.9
化肥	0.13	0.30	0.18	0.55	0.29	2.9	4.3
蚕+化1	0.08	0.13	0.12	0.48	0.41	2.5	3.7
萍+化2	0.11	0.23	0.19	0.12	0.71	2.5	3.9
粪+化2	0.20	0.38	0.34	0.72	0.88	2.8	5.3
萍+化1	0.09	0.15	0.13	0.27	0.36	2.3	3.3
粪+化1	0.19	0.29	0.26	0.61	0.62	2.8	4.8

从上面的结果得出,化2高于化1,而化2中无机N的比例比较高,化肥对P含量的影响较大,但有机肥对P形态的转化有利。

本文中有机N的增加减少了土壤中P素的含量,这与姚源喜,杨延蕃等人研究的结果是一致的^[11]。从本试验结果也可看出降幅最高的都是O-P形态,最低的是Ca₂-P形态,这也正是有机物对O-P形态P的一种正激化效应的表现,说明有机肥特别是有机N肥含量高的有机肥处理有利于缓效P形态向有效态的转化,促进作物吸收利用。

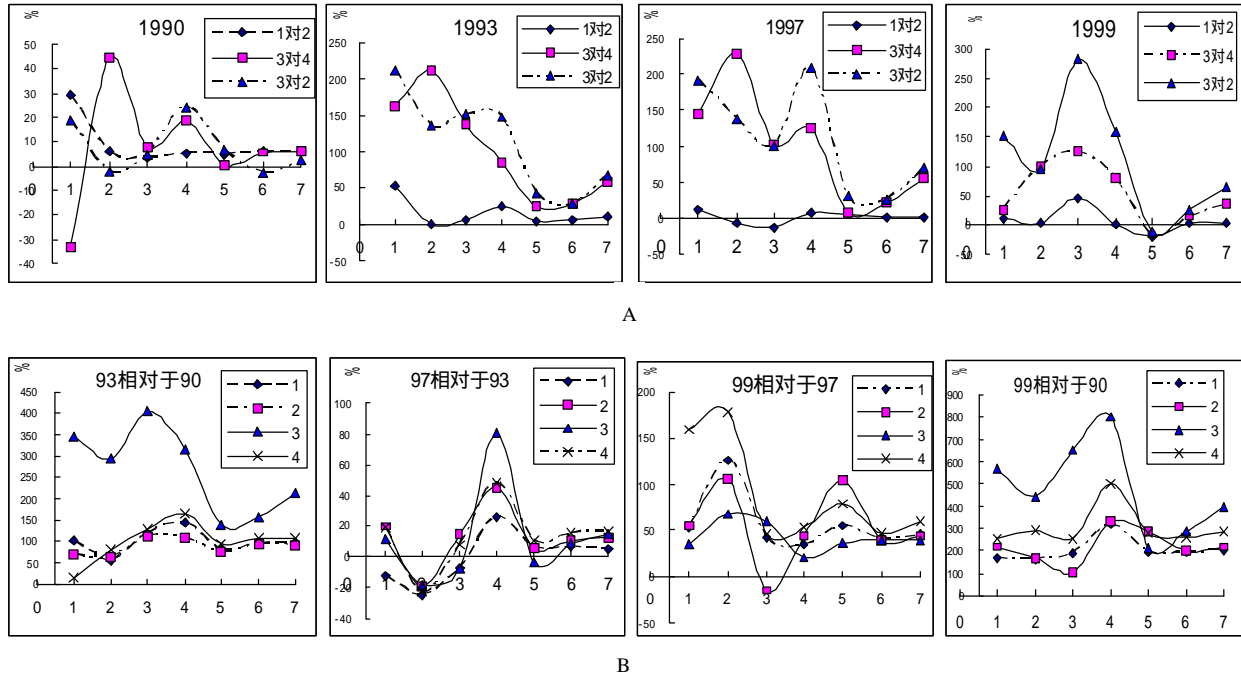
2.2 不同耕作方式对土壤无机P形态的影响

农田耕作方式是农业丰产,培肥土壤,保护环境,充分利用各种资源,实现高产、优质、高效农业的重要措施,通过长期的定位试验研究结果表明(表7):不同耕作方式土壤中P的各种形态含量不一样。在不同耕作方式的长期试验中,各形态P的变幅也不同(图2. A),这与免耕垄作对土壤理化性质所发挥的作用有密切关系,免耕技术是维持土壤良好结构的重要技术措施,它有利于提高土壤导温率,使土壤受热较快,保温性好,有利于促进水稻根系的早发,快发。土壤通气透水良好,可促进土壤微生物的活力,能增强土壤P素供应,降低流失^[13]。同时,垄作可以改善水田土壤生态环境和作物生态条件。而且垄作就是通过微地形改造,轻而易举地增厚作物根系活动的熟土层,改善土壤层次的水热动态,加强土壤代谢势。它也改善了田间微气候,形成植株群体通风透光的新途径,群体内各层相对光照增加,植株分蘖力强,根系活力旺盛,叶绿素含

量高。综合这些,免耕垄作,从各方面都优于常规平作,更有利于作物的生长发育,所以免耕垄作的中稻对养分的需求,比如对P的需求就比较高,才使得实验结果是常规平作高于免耕垄作。

免耕垄作2比水旱轮作各级P的含量高(图2. A),这表明水旱轮作又比免耕垄作占有一定优势。尽管免耕垄作有那么多优点,但毕竟免耕土壤的亚耕层因为受到人工耕作和培肥的作用,致使土壤容重剧增,含水量锐减,酸度增大,大量营养元素聚减,多种可溶态微量元素含量低,而且相对于常规耕作的相应层次^[14],氧化还原电位仍旧很低,土壤通透性差,土壤空气中氧含量低,再者养分多集中在浅层,土壤肥力潜力难以充分发挥。并且垄作作为一种微地形,虽然改变了土壤和大气之间的热交换和热的再分配,增加通风透光的途径,增强了土壤的生态功能,但仍旧不能改变土壤下层的理化性质和土壤环境,促进养分的释放和有效转化吸收利用。而水旱轮作可以做到既有利于土壤电位的提高,有机物质释放养分,又可以改善土壤亚耕层环境,使作物充分利用土壤上下层的养分和环境,满足作物生长和发育需要,提高产量和质量,结果就降低了土壤P素的含量。

免耕垄作2也比免耕垄作1高(图2. A),这表明一方面免耕垄作2种小麦需要施肥,增加P肥投入;另一方面,免耕垄作1冬水田有利于作物秸秆淹水腐烂分解,部分养分释放,更多地被第2年的作物大量吸收所至,它们共同作用就产生了本试验的结果。



图例 1: 常规耕作 2: 免耕垄作 1 3: 免耕垄作 2 4: 水旱轮作
 横坐标 1: Ca₂-P 2: Ca₈-P 3: Al-P 4: Fe-P 5: O-P 6: Ca₁₀-P 7: 总量
 A 对 B 指 A/B×100%

图 2 不同的耕作措施对无机P形态影响的消长关系
 Fig. 2 Effect of different farming practices on inorganic phosphorus forms

表 7 不同耕作处理土壤无机P各形态的含量 (×10²mg/kg)

Table 7 Contents of different forms of inorganic phosphorus in soils under different farming treatments

年 份	处 理	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	AL-P	Fe-P	O-P	Ca ₁₀ -P	总量	pH	全 P (g/kg)	有机质 (g/kg)	有效 P
1990	常规平作	0.223	0.355	0.449	0.515	0.553	3.10	5.19	7.316	0.801	23.0	8.16
	免耕垄作 1	0.173	0.336	0.435	0.490	0.528	2.93	4.89	7.364	0.771	23.3	4.77
	免耕垄作 2	0.205	0.329	0.455	0.609	0.561	2.85	5.01	7.372	0.73	25.1	5.56
	水旱轮作	0.307	0.228	0.423	0.513	0.558	2.71	4.74	7.116	0.652	20.8	11.6
1993	常规平作	0.448	0.554	0.979	1.26	0.988	6.03	10.3	—	0.633	26.7	10.4
	免耕垄作 1	0.292	0.547	0.916	1.02	0.941	5.68	9.40	—	0.560	27.8	7.57
	免耕垄作 2	0.911	1.29	2.30	2.52	1.35	7.30	15.7	—	1.03	34.0	32.7
1997	常规平作	0.348	0.414	0.967	1.36	1.08	5.66	9.83	—	0.706	29.7	12.3
	水旱轮作	0.395	0.419	0.909	1.59	1.05	6.48	10.8	—	0.658	28.4	5.93
	免耕垄作 1	0.350	0.445	1.05	1.48	0.996	6.31	10.6	—	0.554	30.4	5.14
1999	免耕垄作 2	1.02	1.06	2.12	4.56	1.30	7.98	18.0	—	0.963	36.8	17.5
	水旱轮作	0.417	0.321	1.04	2.01	1.20	6.56	11.5	—	0.773	29.4	6.87
	常规平作	0.605	0.945	1.30	2.15	1.63	9.12	15.8	7.372	0.753	33.8	10.3
	免耕垄作 1	0.541	0.914	0.891	2.13	2.03	8.8	15.3	7.029	0.825	30.8	10.6
1999	免耕垄作 2	1.37	1.78	3.41	5.51	1.78	11.1	25.0	6.545	1.04	37.3	28.3
	水旱轮作	1.080	0.893	1.51	3.08	2.14	9.7	18.4	6.379	0.956	30.2	19.5

各处理均有随着试验年份的延长,各形态P的含量有增加的趋势(表7)。不同年份之间P形态的消长幅度见图2.B。在实验开始的第1年,P的各种形态在

不同耕作制中变化不大,1993~1999年,最明显的是Ca₂-P, Ca₈-P, Al-P, Fe-P, Ca₁₀-P的变化规律相近(R=0.963),并呈增加趋势,O-P也增加,但变化趋势

不明显。由于每年施肥，每年都有P被各种情况固定积累，而土壤固定和释放一直处在平衡系统中，才有各形态有效性的变动，这与陈欣等人的结果一致^[12]。不同的处理，在1990年，差别不大，到1993, 1997, 1999年最明显的变化是免耕垄作2处理的各形态P含量在几个处理中最为突出，而且，年年在增加，整体上各P形态的变化很有规律，每年的重复性较好。

有效 P 和 Ca_2-P , Ca_8-P , $Al-P$, $Fe-P$, $O-P$, $Ca_{10}-P$, 总量，有机质的相关系数分别是 0.85128, 0.84689, 0.85092, 0.71312, 0.53017, 0.5849, 0.72181, 0.62921。pH 在 1999 年比 1990 年除常规耕作升高了 0.8% 以外，其它处理降低 4.5% ~ 11.2%，免耕垄作 2 降低最多 11.2%，pH 达到 6.55。

总之，单就土壤而言，本实验结果具有一定的

意义，它通过土壤中P的无机形态的变化，反映了不同耕作方式对农作物利用P素的变化，具有科学的指导价值，但还缺乏作物方面响应的大田实验的验证，需要进一步的研究和探讨。

2.3 土壤类型对无机P形态的影响

同一土属不同土种之间各P形态的消长幅度见图3.A，同一土属，不同土种中，总的结果是，高肥力土壤的P形态高于低肥力土壤，变化不很明显。但很明显的一点就是，不管是哪种土属，高肥力的土壤在主要的P形态上（ Ca_2-P , Ca_8-P , $Al-P$, $Fe-P$ ）都高于低肥力土壤，而所谓的肥力高低，本来就是平时实践中的经验，并无理论依据。而现在通过实验数据可以更科学地说，P的有效形态的分布和含量可以表征土壤的肥力。

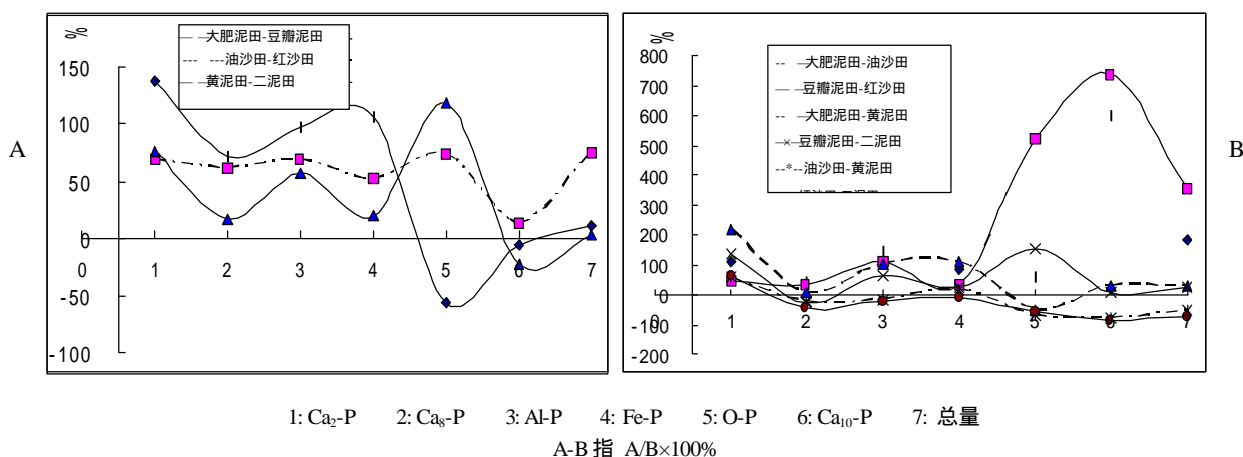


图 3 不同土壤类型对无机 P 形态影响的消长关系
Fig. 3 Effect of different soil types on inorganic phosphorus

表 8 不同类型土壤无机 P 各形态的含量 (mg/kg)

Table 8 Contents of different forms of inorganic phosphorus in soils of different types

土壤	肥力	Ca_2-P	Ca_8-P	$Al-P$	$Fe-P$	$O-P$	$Ca_{10}-P$	总量
大肥泥田	高	37.99	56.01	51.09	98.81	41.49	279.51	564.89
豆瓣泥田	低	15.94	32.41	25.87	47.91	94.95	294.79	511.88
油沙田	高	18.42	39.41	21.11	54.03	26.44	39.920	199.34
红沙田	低	10.94	24.31	12.47	35.24	15.26	35.110	133.33
黄泥田	高	11.93	52.41	25.17	47.03	81.29	214.82	432.65
二泥田	低	6.77	44.76	16.00	39.13	37.30	273.76	417.71

同一土壤肥力，不同土种之间的 P 各形态之间的消长幅度见图 3.B，这 6 种土壤分别属于不同的 3 种土属。就不同的土属而言，酸性的油沙田和红沙田的 $Ca_{10}-P$ 显著低于中性的大肥泥田和豆瓣泥田，以及钙质的黄泥田和二泥田。钙质土也较中性土偏

低，同时只有黄泥田的 $O-P$ 比大肥泥田的高，这与土壤有机质，粘粒和物理性粘粒以及 pH 等土壤性质有关。可见土壤中 P 的形态和含量多在以中性，而且有机质在 4%~4.5% 为宜，这与理论上的研究一致。

而 $O-P$ 不但与有机质相关 ($r=0.414$)，也与土

壤粘粒 ($r=0.640$) 及物理性粘粒 ($r=0.684$) 有关。至于 $Ca_{10}\text{-P}$, 高肥力反而低, 这不难看出, 既然无机 P 总量高肥力多, 那么一定是发生了形态的转化, 使它向其它形态 ($Ca_2\text{-P}$, $Ca_8\text{-P}$, $Al\text{-P}$, $Fe\text{-P}$) 转化, 特别在中性和钙质土属上, 正是这样。酸性土壤与它较低的 pH 和有机质有关, 其中 $Ca_8\text{-P}$, $Ca_{10}\text{-P}$ 与 pH 的相关系数分别为 0.879, 0.745, 然而, $Ca_2\text{-P}$ 与 pH 的相关系数仅为 0.038, 这也是 $Ca_2\text{-P}$ 在酸性土高于钙质土的原因。

3 结论

1. 有机无机肥配合施用, 有利于土壤无机 P 各形态的平衡和转化, 从而充分利用有机肥, 弥补无机肥的不足, 促进植物对养分的吸收, 降低土壤和环境污染。

2. 不同的耕作制, 从常规平作 免耕垄作 水旱轮作, 表现出明显的优势; 从中稻-冬水田 中稻-小麦, 有利于 P 素的积累; 而且从时间上看, 各 P 形态逐年拉开距离, $Al\text{-P}$, $Fe\text{-P}$, $Ca_{10}\text{-P}$ 积累多, 利用困难; $O\text{-P}$ 变化不大, 但也在增加; $Ca_2\text{-P}$, $Ca_8\text{-P}$ 积累少, 但变化趋势是一样的。

3. 不同 pH 的土壤, 以中性土为最佳, 有利于有效 P 的积累和向有效态的转化, 酸性土含量明显低于其它土。这可能与土壤质地有关 (粘粒成分和 pH 较低), 导致大量 P 素无法保留。

参考文献

- 1 Chang, SC and Jackson ML. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 1957, 84: 133~144
- 2 顾益初, 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷分级测定方法. 土

壤, 1990, 22 (2): 101~102

- 3 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷有效性研究. *土壤*, 1992, 24 (2): 61~4
- 4 顾益初, 李阿荣, 蒋柏藩. 不同磷源在石灰性土壤中的供磷能力. *土壤*, 1991, 23 (6): 296~301
- 5 尹金米, 曹翠玉, 史瑞和. 磷肥在石灰性土壤中的形态转化及其有效性. *土壤通报*, 1989, 20 (1): 14~16
- 6 蒋柏藩. 磷肥在土壤中的形态转化及其有效性. *土壤学进展*, 1981, (2): 1~11
- 7 谢先举. Study on the no-tillage of dry land in China. *耕作与栽培*, 1995, (1): 16~20
- 8 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤等. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力形状的影响. *应用生态学报*, 2000, 11 (4): 549~552
- 9 成瑞喜, 刘景福, 徐芳森. 磷肥对中酸性土壤无机磷形态转化及其有效性的影响. *土壤*, 1995, 27 (5): 225~228
- 10 莫淑勋, 钱菊芳, 钱承梁. 猪粪等有机肥料中磷素养分循环再利用的研究. *土壤学报*, 1991, 28 (3): 309~315
- 11 姚源喜, 杨延蕃. 有机肥和无机肥配合施用对调节土壤磷素平衡的影响. *土壤肥料*, 1989, (1): 5~9
- 12 陈欣, 宇万太, 沈善敏. 磷肥低量施用制度下土壤磷库的发展变化 II. 土壤有效磷及土壤无机磷组成. *土壤学报*, 1997, 34 (1): 81~88
- 13 施彩仙. 免耕与翻耕直播对土壤特性及水稻生长的影响. *土壤肥料*, 1999, (5): 8~10
- 14 吴珊眉, Groffman PM. 免耕与常规耕作土壤肥力的分异. *南京农业大学学报*, 1987, (2): 82~89
- 15 魏朝富, 陈世正, 谢德体. 长期施用有机肥料对紫色水稻土有机无机复合性状的影响. *土壤学报*, 1995, 32(2): 159~166

EFFECT OF AGRONOMIC MANAGEMENT ON FORMS OF INORGANIC PHOSPHORUS IN PURPLE PADDY SOIL

Ma Hongliang¹ Gao Ming² Wei Chaofu²

(¹ Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008; ² Southwest Agricultural University, Chongqing 400716)

Abstract Fractionation of inorganic phosphorus in purplish paddy soils under different farming practices was carried out. The results show that formulated application of organic manure and chemical fertilizers may facilitate transformation of phosphorus into available forms. Its contribution to soil available P pool varies with the kind of manure used, in the sequence of pig manure>chemical fertility>control>green duckweed>horsebean. The effects of farming practices on availability of various phosphorus farms are significant. They are in the order of water-drought rotatatio>non-tillage ridge in a field>routine tillage. The contents of various forms of P are closely related to soil fertility.

Key words Purple soil, Inorganic phosphorus, Forms, Farming practices