

早稻磷肥残效对当年晚稻产量的影响*

张仕祥¹ 李辉信¹ 胡 锋^{1†} 黄发泉² 黄花香²

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 江西省邓家埠水稻原种场, 江西 余江 335200)

摘 要 通过 2 年的大田实验, 研究了早稻磷肥施用量 0、30、60、90、120、150 kg hm⁻² (以 P₂O₅ 计) 6 个水平下的残效效应, 分析了晚稻有效穗数、穗粒数、结实率和千粒重等产量构成因素及水稻实际产量与磷肥残效水平之间的相关性。结果表明: 磷肥残效主要通过有效穗数和穗粒数影响晚稻产量。晚稻增产百分率随着早稻磷肥施用量的增加而增加。由于年际之间气候条件 (主要是干旱因素) 的分异, 磷肥残效对晚稻增产效果在不同年际之间表现出较明显的差异; 磷肥对提高晚稻抗旱能力有一定的作用。同时早稻磷肥施用量应该控制在 P₂O₅ 为 85 ~ 135 kg hm⁻² 的范围。

关键词 磷肥; 残效效应; 水稻; 产量; 产量构成; 磷肥适宜用量

中图分类号 S143.2 **文献标识码** A

磷肥是影响水稻产量的重要因素^[1]。磷肥施入土壤后, 由于土壤对磷的固定作用和磷在土壤中的移动性差等原因, 使磷肥当季利用率不高, 一般多在 5% ~ 20% 之间^[2]。实验资料表明, 磷肥在后茬作物上往往表现出很明显的残效效应^[2~7], 但这些研究主要是针对旱作物和单季稻, 而对南方双季稻区磷肥的残效效应研究尚未见报道。我国南方红壤区土壤普遍缺磷, 双季稻生产中一般两季均施用大量磷肥; 过量施用磷肥会造成资源浪费增加生产成本, 并可能导致环境污染问题^[8, 9]。为此, 本文通过田间实验研究早稻磷肥残效对晚稻产量及构成因素的影响, 在此基础上探讨磷肥的适宜用量问题, 为双季稻磷肥的合理施用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在江西省鹰潭市余江县 (28°15' N, 116°55' E) 境内的江西省邓家埠水稻原种场进行, 该地区属亚热带湿润季风气候, 光、热和水资源丰富, 年平均降水量为 1 752 mm, 年平均蒸发量为 1 373 mm, 但是光热水资源在时空分布上不均匀⁽¹⁾。试验区 2003 年遇到特大干旱, 且持续高温; 2004 年水热状况则与多年平均水平相当。

供试土壤类型为弱淹潮沙泥田水稻土⁽¹⁾, 土壤测定项目方法见文献^[10]。土壤基本性状详见表 1。

表 1 试验地土壤基本肥力性状

Table 1 Basic properties of the soil in the experimental field

有机质	全氮	全磷	pH (H ₂ O)	有效磷	速效钾	缓效钾	碱解氮
Organic matter	Total nitrogen	Total phosphorus		Available phosphorus	Available potassium	Slowly available potassium	Alkalyzable nitrogen
(g kg ⁻¹)				(mg kg ⁻¹)			
28.6 ±3.3	1.6 ±0.2	0.12 ±0.03	5.58 ±0.12	11.1 ±3.6	39.1 ±14.6	269.0 ±75.7	133.9 ±18.5

注: 数据为 10 个点分析结果 Notes: These data are the mean results of samples from ten sampling points

* 国家“863”节水农业重大专项“南方季节性缺水灌区(江西鹰潭)节水农业综合技术体系集成与示范”项目(2002AA2Z4331)资助

† 通讯作者, E-mail: fenghu@njau.edu.cn

作者简介: 张仕祥(1976~), 男, 江苏盱眙人, 硕士, 主要从事土壤和农业生态研究。E-mail: xuyizhangshix@yahoo.com.cn, 现供职于中国烟草总公司郑州烟草研究院

(1) 江西省余江县土壤普查办公室. 余江县土壤. 1986

收稿日期: 2005-05-08; 收到修改稿日期: 2005-11-21

1.2 试验设计与田间管理

2003 年和 2004 年磷肥试验在相邻两块不同的农田里进行。两块农田土壤基本肥力性状相当,土壤全磷和有效磷含量基本没有差异。

早稻磷肥试验设 0、30、60、90、120 和 150 kg hm⁻² 6 个水平,重复 3 次,小区面积为 20 m²,随机区组排列。磷肥全部作基肥施用,早稻供试品种为“精早 47”。

晚稻磷肥残效试验在早稻原有小区中进行,不施用磷肥,晚稻供试品种为“4015”。本试验将早稻磷肥残效作为研究因素,早稻和晚稻氮肥和钾肥以固定量施用,氮肥用量为 N 225 kg hm⁻²,钾肥用量为 K₂O 75 kg hm⁻²。氮肥基肥、分蘖肥和穗肥的比例为 5 2 3,钾肥作基肥施用。氮肥品种为尿素,含 N 462 g kg⁻¹;磷肥品种为钙镁磷肥,含 P₂O₅ 120 g kg⁻¹;钾肥品种为氯化钾,含 K₂O 600 g kg⁻¹。

2003 年和 2004 年分别在晚稻磷肥残效试验的同一农田里同时安排晚稻磷肥试验,晚稻磷肥试验设置水平同早稻磷肥试验,晚稻供试品种和肥料品种及运筹同晚稻磷肥残效试验。

施用基肥时肥料均匀撒施到各个小区,然后耕耙整平;采用手工插秧,保证栽插密度及行株距一致;早稻栽插密度为 20.0 cm × 20.0 cm,晚稻栽插密

度为 20.0 cm × 26.7 cm,单本栽植;根据病虫害测报信息及时防治病虫害;晚稻磷肥试验和晚稻磷肥残效试验同时施用分蘖肥和穗肥。

1.3 取样考种

在晚稻成熟收割前一天,每一小区先随机计算 20 穴的水稻平均成穗分蘖数,在此基础上取样 5 穴,考察株高、穗长、每穴有效穗数、每穗实粒数、每穗空粒数和千粒重。各个小区单收单打,晒干扬净后单独计实际产量。

2 结果与分析

根据表 2 的试验结果,以 2003 年和 2004 年 2 年的水稻产量及其构成因素(有效穗数、穗粒数、结实率、千粒重)为目标函数,用 Excel[®] 和 SPSS(11.5) 统计软件分析并建立上述指标与试验处理间的数学模型,利用数学模型分析上述各项指标与磷肥残效水平间的数学关系,从而确定早稻磷肥残效处理水平对晚稻各项产量构成因素与实际产量的影响。

2.1 磷肥残效对有效穗数和穗粒数的影响

根据表 2,将磷肥残效处理水平与有效穗数和穗粒数作线性相关性分析,得到如下方程:

表 2 磷肥残效对晚稻产量构成因素的影响

Table 2 Effect of residual P on yield composition of late-rice

年份 Year	早稻磷肥施用水平 Application rate of early-rice (P ₂ O ₅ , kg hm ⁻²)	有效穗数 Panicles (×10 ⁴ hm ⁻²)	穗粒数 Grains per panicle	结实率 Seed set (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	晚稻实际产量 Grain yield of late-rice (kg hm ⁻²)
2003	0	232.5 ±9.9C	137.0 ±3.3bc	74.2 ±1.6A	19.8 ±0.1ab	3 506.7 ±79.4D
	30	255.0 ±5.8B	146.7 ±4.5ab	73.0 ±0.5AB	19.7 ±0.3ab	3 518.3 ±34.1D
	60	265.0 ±9.3B	144.8 ±6.5ab	74.8 ±1.0A	19.9 ±0.4a	3 595.0 ±66.1D
	90	290.0 ±9.8A	150.1 ±9.1a	69.4 ±1.0C	19.2 ±0.1b	3 896.7 ±36.9C
	120	255.8 ±5.9B	142.5 ±4.8ab	71.0 ±1.8BC	19.4 ±0.3ab	4 062.5 ±52.2B
	150	235.8 ±4.0C	127.0 ±4.9c	70.0 ±1.5C	19.4 ±0.2ab	4 200.0 ±23.8A
2004	0	251.3 ±5.4c	116.1 ±9.8AB	86.1 ±1.2ab	20.6 ±0.1a	4 393.0 ±97.6D
	30	297.5 ±7.0bc	109.3 ±5.4AB	86.1 ±0.6ab	20.5 ±0.3a	4 448.5 ±71.3D
	60	297.5 ±5.7bc	100.3 ±5.1B	86.6 ±1.4ab	20.2 ±0.3a	4 605.8 ±73.8C
	90	302.5 ±7.0bc	101.3 ±6.5B	87.7 ±0.0a	20.3 ±0.4a	4 862.5 ±57.3AB
	120	291.3 ±3.3b	110.2 ±5.2AB	85.5 ±1.2ab	20.4 ±0.6a	4 912.3 ±50.0A
	150	310.0 ±9.4a	119.3 ±6.3A	85.3 ±1.2b	20.3 ±0.3a	4 764.2 ±16.1B

注:表中所标字母是年内方差分析,大写字母表示 $p < 0.01$ 水平,小写字母表示 $p < 0.05$ 水平 Notes: The letters following the data in the table are analysis of variance within the year. The capital letters express $p < 0.01$ levels, and the small letters express $p < 0.05$ levels

磷肥残效处理水平与晚稻有效穗数关系曲线:

$$y_1 = -0.0077x_a^2 + 1.200x_a + 229.4 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.8336^{**} \quad (2003 \text{ 年})$$

$$y_2 = -0.0036x_b^2 + 0.8098x_b + 260.8 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.7036^* \quad (2004 \text{ 年})$$

式中, x_a , x_b 分别表示为 2003 年和 2004 年早稻磷肥施用量。下同。

磷肥残效处理水平与晚稻穗粒数关系曲线:

$$y_3 = -0.003x_a^2 + 0.3894x_a + 136.6 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.9048^{**} \quad (2003 \text{ 年})$$

$$y_4 = 0.003x_b^2 - 0.4301x_b + 117.0 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.9495^{**} \quad (2004 \text{ 年})$$

由表 2 可知, 2003 年和 2004 年磷肥残效处理水平对有效穗数的影响趋势是一致的, 都呈现为先随着处理水平的提高而增加, 然后又降低。2 年的结果都说明在低磷肥残效水平下, 有效穗数随着磷肥残效水平的提高而增加, 在高磷肥残效水平下, 有效穗数却随着磷肥残效水平的提高而减少。在高磷肥残效水平下有效穗数的减少, 可能是因为水稻所需要的其他养分因子成为有效穗数增加的限制因子, 也可能是由于磷肥的供给使得水稻生长过旺而导致有效穗数的降低。2003 年晚稻有效穗数低于 2004 年晚稻有效穗数, 主要是因为 2003 年晚稻生长期遇到持续高温干旱天气, 影响了晚稻的分蘖。对 2 年的晚稻有效穗数作方差分析, 年内处理间差异见表 2, 年际间有效穗数存在极显著性差异 ($p < 0.01$)。

2003 年的晚稻穗粒数在磷肥残效处理水平区间内是二元一次凸型抛物线, 而 2004 年的则相反, 是二元一次凹型抛物线, 在整个处理范围内, 均是 2003 年晚稻穗粒数大于 2004 年晚稻穗粒数, 在 CK 和 $P_2O_5 150 \text{ kg hm}^{-2}$ 处理水平处较为接近。对 2003 年和 2004 年 2 年的晚稻穗粒数作方差分析, 年内处理间差异见表 2, 年际间穗粒数存在极显著性差异 ($p < 0.01$)。

2.2 磷肥残效对结实率和千粒重的影响

根据表 2, 将磷肥残效处理水平与结实率和千粒重分别作线性相关性分析, 得到如下方程:

磷肥残效处理水平与晚稻结实率关系曲线:

$$y_5 = 3 \times 10^{-5}x_a^2 - 0.0343x_a + 74.45 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.5654 \quad (2003 \text{ 年})$$

$$y_6 = -0.0002x_b^2 + 0.0295x_b + 85.90 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.5378 \quad (2004 \text{ 年})$$

磷肥残效处理水平与晚稻千粒重关系曲线:

$$y_7 = 5 \times 10^{-6}x_a^2 - 0.0042x_a + 19.82 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.565 \quad (2003 \text{ 年})$$

$$y_8 = 3 \times 10^{-5}x_b^2 - 0.0055x_b + 20.56 \quad (8)$$

$$R^2 = 0.7359^{**} \quad (2004 \text{ 年})$$

由表 2 可知, 2003 年晚稻结实率随着磷肥残效处理水平的提高而降低, 而 2004 年的晚稻结实率基本保持在 85% 左右, 变化较小。2004 年的晚稻结实率高于 2003 年晚稻结实率。对 2 年晚稻结实率数据进行方差分析, 年内处理间差异见表 2, 年际间有极显著性差异 ($p < 0.01$)。

2004 年晚稻千粒重皆大于 2003 年晚稻千粒重。2003 年晚稻千粒重随着磷肥残效处理水平的提高而降低, 2004 年的晚稻千粒重也有前者的趋势, 但在处理水平大于 $P_2O_5 90 \text{ kg hm}^{-2}$ 时就不再减少。对 2 年千粒重数据作方差分析, 年内处理间差异见表 2, 年际间千粒重有极显著性差异 ($p < 0.01$)。2003 年晚稻千粒重与 2004 年存在差异主要是因为 2003 年试验地区特大干旱和持续高温造成的, 说明持续干旱和高温影响水稻灌浆, 进而最终影响水稻千粒重。

2.3 磷肥残效对晚稻实际产量的影响

根据表 2, 将磷肥残效对晚稻实际产量分别作线性相关性分析, 得到如下方程:

磷肥残效处理水平与晚稻实际产量关系曲线:

$$y_9 = 0.0196x_a^2 + 2.210x_a + 3469 \quad (9)$$

$$R^2 = 0.9380^{**} \quad (2003 \text{ 年})$$

$$y_{10} = -0.0287x_b^2 + 7.648x_b + 4328 \quad (10)$$

$$R^2 = 0.7959^{**} \quad (2004 \text{ 年})$$

2004 年的晚稻实际产量在整个磷肥残效处理水平高于 2003 年的实际产量, 2003 年的晚稻实际产量随着磷肥残效处理水平的提高而增加, 在 P_2O_5 为 150 kg hm^{-2} 时晚稻实际产量达到最高, 为 4200 kg hm^{-2} ; 2004 年的晚稻实际产量随着磷肥残效量的增加而增加, 当早稻磷肥施用量达到 $P_2O_5 133.3 \text{ kg hm}^{-2}$ 时, 晚稻产量达到最高, 为 4837 kg hm^{-2} , 然后又随着磷肥残效水平增加略微降低。对 2 年的晚稻实际产量数据作方差分析, 年内处理间差异见表 3, 特别是 $P_2O_5 90, 120, 150 \text{ kg hm}^{-2}$ 与其他三个处理水平间有极显著差异 ($p < 0.01$), 说明磷肥残效水平对晚稻实际产量的影响是很明显的。年际间晚稻实际产量有极显著性差异 ($p < 0.01$)。

表 3 2003 年和 2004 年早稻实际产量和早稻磷肥及晚稻磷肥残效增产量及增产百分率

Table 3 Grain yield of early-rice and yield increment and increase rate of the early-rice applied with P and the late-rice in response to residual P in 2003 and 2004 year

磷肥施用水平 Application rate (P ₂ O ₅ , kg hm ⁻²)	早稻磷肥试验 Early-rice tested with P					晚稻磷肥残效试验 Late-rice tested with residual P					
	实际产量(kg hm ⁻²) Grain yield		增产量(kg hm ⁻²) Yield increment		增产百分率(%) Increase rate of yield		增产量(kg hm ⁻²) Yield increment		增产百分率(%) Increase rate of yield		
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	
0	5 840 ±39A	6 858 ±38C	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	5 663 ±35B	7 044 ±63B	- 176.7	185.7	- 3.03	2.71	11.7	55.5	0.33	1.26	
60	5 660 ±35B	7 287 ±82A	- 180.0	428.7	- 3.08	6.25	88.3	212.8	2.52	4.84	
90	5 520 ±64C	7 243 ±76A	- 320.0	384.6	- 5.48	5.61	390.0	469.5	11.12	10.69	
120	5 608 ±83BC	7 242 ±28A	- 231.7	383.7	- 3.97	5.60	555.8	519.3	15.85	11.82	
150	5 581 ±45BC	7 012 ±45B	- 259.2	154.0	- 4.44	2.25	693.3	371.2	19.77	8.45	

通过对表 2 实际产量数据的计算,用增产量和增产百分率来表示早稻磷肥残效对晚稻的增产情况,得到 2003 年和 2004 年早稻磷肥残效对晚稻的增产量和增产百分率(表 3)。其中,增产量为不同处理水平的实际产量与地力产量(即 0 处理水平时的实际产量)的差,增产百分率为增产量除以地力产量结果百分比^[11]。对表 3 磷肥残效与晚稻增产百分率作相关性分析,得方程:

$$y_{11} = 0.0007x_a^2 + 0.0376x_a \quad (11)$$

$$R^2 = 0.9573^{**} \quad (2003 \text{ 年})$$

$$y_{12} = -0.0005x_b^2 + 0.1386x_b \quad (12)$$

$$R^2 = 0.8329^{**} \quad (2004 \text{ 年})$$

通过相关性分析,2003 年和 2004 年磷肥残效与晚稻增产百分率间都达到显著性相关,说明可以用增产百分率来衡量磷肥残效对晚稻实际产量的影响。

2003 年磷肥试验的早稻实际产量是随着磷肥用量增加而降低的,减产的主要原因是因为在早稻扬花灌浆直至收获期间遇到严重干旱,导致早稻减产,减产百分率在 3.0%~5.5%,达到 176.7~320 kg hm⁻²;2004 年磷肥试验早稻的实际产量是随着磷肥用量增加而增加的,增产百分率在 2.3%~6.3%,达到 185.7~428.7 kg hm⁻²,而且增产百分率在低磷水平时大于高磷水平。对于磷肥残效试验来说,磷肥残效的增产百分率大体上随着早稻磷肥用量的增加而增大,2003 年最高增产 693.3 kg hm⁻²,增产百分率达到 19.8%;2004 年最高增产 519.3 kg hm⁻²,增产百分率达到 11.8%,这正说明早稻磷肥在晚稻上有很强的残效效应。2003 年晚稻的增产百分率

要高于 2004 年晚稻的增产百分率,而 2003 年试验地区遇到特大干旱,这是因为磷素有助于提高水稻抗旱性能^[12],与前人的研究结论相同。

2.4 磷肥合理施用量问题

通过对表 3 早稻磷肥 2 年试验的实际产量拟合方程可知,2004 年早稻实际产量高于 2003 年早稻实际产量,2003 年早稻产量有随着磷肥用量增加而降低的趋势,并且在 CK 处理时实际产量最高,为 5 840 kg hm⁻²;2004 年早稻实际产量在磷肥低处理水平时随着磷肥用量的增加而增加,在磷肥施用量 P₂O₅ 为 85.3 kg hm⁻² 时,实际产量达到最高值,为 7 280 kg hm⁻²,然后随着磷肥用量的增加而减少。对 2 年早稻实际产量数据作方差分析,年内处理间差异见表 3,年际间早稻实际产量有极显著性差异($p < 0.01$)。

2003 年晚稻试验 0、30、60、90、120 和 150 kg hm⁻² 6 个水平的实际产量依次为 3 959、4 131、4 195、3 955、4 129、4 477 kg hm⁻²,与磷肥残效试验同水平实际产量相比,分别较磷肥残效增产 452.5、612.5、600.0、58.3、66.7、276.8 kg hm⁻²,差异不是很大。尤其在早稻磷肥施用量为 90、120 kg hm⁻² 时二者相差更小。2004 年晚稻磷肥试验 6 个处理水平的实际产量依次分别为 4 401、4 584、4 679、4 924、4 976、4 825 kg hm⁻²,分别较同年磷肥残效增产 8.0、135.2、73.1、61.1、64.0、61.0 kg hm⁻²,两者相差要小于 2003 年的相差。晚稻磷肥试验地在早稻栽插前施用了磷肥基肥,同样存在磷肥残效效应,如果扣除早稻磷肥残效效应,那么晚稻磷肥残效试验的实际产量是可以更加接近甚至有可能等于晚稻磷肥

试验的实际产量。这说明晚稻不施用或者少施用磷肥同样可以维持晚稻有较稳定的产量,同时既能够降低因为磷肥投入所增加的成本,又能够充分发挥磷肥残效,提高磷肥利用率,节约我国磷肥资源。当然由于年际之间气候条件(主要是干旱因素)的分异,结果需进一步研究证实。同时2004年数据表明,早稻磷肥施用量控制在 P_2O_5 为85.3~133.2 kg hm^{-2} 的范围,也可以在早稻上实现最高实际产量,在不施用磷肥的基础上,实现晚稻较高的实际产量。

参考文献

- [1] Lu J L, Fortune S, Brookes P. P fractions in drainage waters from the broadalk continuous wheat experiment at Rothamsted. *Pedosphere*, 2004, 14(2): 235~240
- [2] 田忠孝,曹季江. 磷肥残效研究. *土壤*, 1997, 29(5): 251~253, 280. Tian Z X, Cao J J. The research of residual phosphorus (In Chinese). *Soils*, 1997, 29(5): 251~253, 280
- [3] 张素君,张岫岚,刘鸿翔,等. 东北黑土地地区农业中磷肥残效的研究. *土壤通报*, 1994, 25(4): 178~180. Zhang S J, Zhang Y L, Liu H X, *et al.* The research of the residual P in the black-soil agricultural region of north-east China (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 1994, 25(4): 178~180
- [4] 张璐,沈善敏,廉鸿志,等. 辽西褐土施肥及养分循环再利用中长期试验. 作物产量. *土壤与环境*, 2000, 9(3): 239~242. Zhang L, Shen S M, Lian H Z, *et al.* Long-term trial on fertilization and on nutrient recycling in farming systems. Crop yields (In Chinese). *Soil and Environmental Sciences*. 2000, 9(3): 239~242
- [5] 王生录,陈炳东,崔云玲,等. 陇东旱地磷肥不同分配方式的肥效、残效及利用率研究. *甘肃农业科技*, 1998, 9: 35~40. Wang S L, Chen B D, Cui Y L, *et al.* The research of P fertilizer efficiency, residual efficiency and the rate of utilization with different distributed measures on dry land in the eastern Gansu Province (In Chinese). *Agricultural Science and Technology of Gansu*, 1998, 9: 35~40
- [6] 朱培立,王志明,黄东迈,等. 磷、钾肥对薄荷产量的影响及其残留效应. *江苏农业科学*, 2000(1): 48~50. Zhu P L, Wang Z M, Huang D M, *et al.* The effect of P and K fertilizer on mint yield and the residual effect of P and K fertilizer (In Chinese). *Jiangsu Agricultural Science*, 2000(1): 48~50
- [7] 曾宪坤. 磷的农业化学(). 磷肥与复肥, 1999, 4: 61~64. Zeng X K. The agricultural chemistry of phosphorus fertilizer () (In Chinese). *Phosphorus Fertilizer and Multiplex Fertilizer*, 1999, 4: 61~64
- [8] 单艳红,杨林章,王建国. 土壤磷素流失的途径、环境影响及对策. *土壤*, 2004, 36(6): 602~608. Shan Y H, Yang L Z, Wang J G. Soil phosphorus loss to water: Its pathways, environmental impact, and countermeasures (In Chinese). *Soils*, 2004, 36(6): 602~608
- [9] 王小治,盛海君,栾书荣,等. 渗育性水稻土渗滤液中的磷组分研究. *土壤学报*, 2005, 42(1): 78~83. Wang X Z, Sheng H J, Luan S R, *et al.* Fractionation of phosphorus in leachate from perco-genic paddy soils in the Taihu Lake region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1): 78~83
- [10] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社, 2000. 146~185. Lu R K. ed. *Soil and Agrochemistry Analyse Methods* (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Science & Technology Press, 2000. 146~185
- [11] 浙江农业大学主编. 作物营养与施肥. 北京:农业出版社, 1987. 30~34. Zhejiang Agricultural University. ed. *Plant Nutrient and Fertilization* (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1987. 30~34
- [12] 张士功,刘国栋,刘更另. 植物营养与作物抗旱性. *植物学通报*, 2001, 18(1): 64~69. Zhang S G, Liu G D, Liu G L. Plant nutrition and drought resistance of crops (In Chinese). *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(1): 64~69

RESIDUAL EFFECT OF PHOSPHORUS FERTILIZER APPLIED TO EARLY-RICE ON YIELD COMPOSITION OF LATE-RICE

Zhang Shixiang¹ Li Huixin¹ Hu Feng^{1†} Huang Faquan² Huang Huaxiang²

(1 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

(2 *Dengjia Town Rice Seed Experiment Station of Jiangxi Province, Yujiang, Jiangxi 335200, China*)

Abstract A two-year field experiment with plots of early rice applied with different rates of phosphorus fertilizer (P_2O_5 , 30, 60, 90, 120, 150 kg hm^{-2}) were carried out in 2003 and 2004 to study residual effect of P on the yield composition of late rice. According to the correlation analysis of effective ears number, grain number per ear, maturity degree, 1000-grain weight, and grain yield with P application rates, it could be concluded that P residual effect was significant mainly on effective ears number and grain number per ear and eventually the yield of rice. The more phosphorus fertilizer applied on early-rice, the higher the yield increase rate of late-rice. Owing to the difference of rainfall between 2003 and 2004, the P residual effect on late-rice yield was different. P could play an important role in improving the ability of late-rice to stand drought. It is therefore recommended that the application rate of P should be in the range from 85 to 135 kg hm^{-2} .

Key words Phosphorus fertilizer; Residual effect; Rice; Grain yield; Yield composition; Reasonable application rate of P