

# 磷对杂交水稻生长发育及其生理效应影响的研究

刘运武

(湖南省衡阳市农科所, 421101)

## 摘 要

本文通过田间试验和室内分析,研究了杂交水稻各生育时期的吸磷特性,土壤的供磷特性及其磷肥对杂交水稻生长发育及生理效应的影响。结果表明,杂交水稻生产1000公斤稻谷,早稻需要的磷素比常规稻多,晚稻则相反;杂交早稻和杂交晚稻都以生育中期为吸磷最多,其吸磷量占全生育期吸磷总量的一半以上,土壤供磷则相反。施磷试验中发现,缺磷的植株矮小,生育延迟;施用磷肥可促进水稻植株生长,又可使之早熟高产;随着施磷量的提高,水稻地上部和叶片及种子的含磷量随之增加。缺磷时,水稻叶片中蛋白质氮含量下降;供磷不足时,影响光合初产物的正常运转,引起叶片积累淀粉,而使蔗糖合成减少。水稻缺磷,氮、钾利用率降低,施磷能提高杂交水稻对氮、钾的吸收利用。

**关键词** 杂交水稻, 需磷特性, 土壤供磷特性, 磷肥的施用, 产量, 生长发育, 生理效应

磷是细胞质和细胞核的主要成分之一,它直接参与水稻体内糖、蛋白质和脂肪的代谢。供磷不足就会影响到植株体内的各个需能代谢过程,特别是影响光合作用的正常进行。水稻施用磷肥后,稻株生长良好,分蘖正常,提早成熟,提高产量。近年来的科学研究证明:植物叶片细胞质中的无机磷酸盐通过叶绿体膜上的“磷酸运转器”控制光合初产物——磷酸丙糖从叶绿体外运,缺磷常导致叶绿体积累淀粉,使卡尔文循环不能正常运转<sup>[1]</sup>。关于磷素对水稻生理效应的影响,前人进行了很多研究,但大多在常规稻上进行,杂交水稻的研究则报道甚少。本文采用田间试验和室内分析相结合的方法,研究磷对杂交水稻吸磷、生理和产量的影响,为杂交水稻施磷提供基础资料。

## 1 材料与方 法

试验在本所试验场进行。供试土壤为第四纪红色粘土母质发育的红黄泥水稻土,肥力中上。1979—1980年为定位试验(两年四季均在同一块田固定的小区内进行);1978,1985年各季分别在不同的田块上进行。土壤的主要农化特性见表1。

表 1 供试土壤的主要农化特性

Table 1 Some chemical properties of the soils used for the experiment

年份	季别	pH	有机质	全氮	碱解氮	全磷	速效磷	全钾	速效钾
Year	Rice	(KCl)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	(K <sub>2</sub> O)	(K <sub>2</sub> O)
			Organic matter	Total N	Alkali-hydrolyzable N	Total P	Rapidly available P	Total K	Rapidly available K
1978	早稻	5.6	32.60	1.60	174	1.60	422*		52
	晚稻	5.1	31.00	1.50	204	1.10	165*		50
1979—1980		5.1	27.10	1.30	88	1.30	163*	12.5	49
1985	早稻	4.2	29.10	1.70	140	1.10	12.8	11.10	35
	晚稻	4.3	28.30	1.70	146	1.10	17.4	10.00	32

\* Olsen 法。

供试水稻品种和组合: 1978—1980 年, 早稻, 杂交早稻为“珍汕 97A × 早恢 1 号”, 常规水稻为“湘矮早 9 号”; 晚稻, 杂交稻为“威优 6 号”, 常规稻为“洞庭晚粳”。1985 年, 早稻为杂交稻“柳野 97A × 早恢 1 号”, 晚稻为“威优 64”。

试验设计: 1978 年早晚稻设: (1) 无肥区; (2) 饼肥区 (菜枯饼 1125kg/ha, 计 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>25.88kg/ha); (3) NP<sub>2</sub> (N225kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>120kg/ha); (4) NP<sub>1</sub>K (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>60kg/ha, K<sub>2</sub>O112.5kg/ha); (5) NP<sub>2</sub>K (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>120kg/ha); (6) NP<sub>3</sub>K (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>180kg/ha)。

1979—1980 年设: (1) 无肥区; (2) 饼肥区 (菜枯饼 750kg/ha, 计 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>17.25kg/ha); (3) NP<sub>2</sub> (N180kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>180kg/ha, 下同); (4) NP<sub>1</sub>K (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>120kg/ha, K<sub>2</sub>O112.5kg/ha); (5) NP<sub>2</sub>K (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>180kg/ha)。

1985 年设: (1) 无肥区; (2) N (早稻 N150kg/ha, 晚稻 N180kg/ha); (3) P (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>90kg/ha); (4) K (K<sub>2</sub>O112.5kg/ha); (5) PK (P 同(3), K 同(4)); (6) NK; (7) NP; (8) NPK。

田间试验均采用随机排列, 重复 3 次, 小区面积 33.35m<sup>2</sup>。

除各季土壤翻耕前取土和收获前后取植株和土样作基本分析外, 1978—1980 年在各季水稻生长期间, 每 5 天取一次植株和土样。植株以干样测定全量氮、磷、钾淀粉和糖; 土样以湿样测定碱解氮、速效磷、钾, 测定方法按常规方法进行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 杂交水稻的需磷特点

2.1.1 需磷数量和吸磷特点 据 1979 年对杂交水稻和常规稻的分析结果 (表 2) 表明, 杂交水稻一生中累积吸磷的数量多于常规稻。无磷区, 杂交早稻较常规早稻多 11.21kg/ha; 杂交晚稻较常规早稻多 0.81kg/ha。施磷区, 杂交早稻较常规早稻多 23.61kg/ha; 杂交晚稻较常规晚稻多 3.44kg/ha。

表 2 不同水稻对磷素的吸收利用情况(1979)

Table 2 Absorption and use of P by different rice (1979)

季别	处理	稻别	稻草	稻草总磷	稻谷	稻谷总磷	总磷量	增加磷量
Rice	Treatment	Rice	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
			Straw	Total P	Rice	Total P	Total	P
				in straw	grain	in rice	P	Increase
						grain		
早稻	无磷	杂交稻	4575.0	15.09	6071.4	45.53	60.62	11.2
		常规稻	3675.0	8.82	5969.4	40.59	49.41	
	施磷	杂交稻	5062.5	23.29	6770.4	58.90	82.19	23.0
		常规稻	4687.5	10.78	6050.1	47.80	58.58	
晚稻	无磷	杂交稻	3787.5	13.26	5700.0	35.63	48.89	0.8
		常规稻	3387.5	15.58	5000.0	32.50	48.08	
	施磷	杂交稻	5025.0	22.61	7462.5	43.28	65.89	3.4
		常规稻	4425.0	21.68	5662.5	40.77	62.45	

以 1000kg 稻谷计,吸磷量则表现不同,无磷区,杂交早稻较常规早稻多吸收 20.53%;杂交晚稻则相反,较常规晚稻少吸收 10.72%。施磷区,杂交早稻较常规早稻多吸收 25.41%;杂交晚稻较常规晚稻少吸收 19.95%。

杂交早稻对磷的吸收较常规早稻多,这一现象说明,生产实践中要获得杂交早稻高产,需要供给较常规早稻更多的磷。

若将水稻本田全生育期划分为前、中、后三个时期,即移栽至分蘖期为生育前期,分蘖至齐穗期为生育中期,齐穗至成熟期为生育后期,杂交水稻各生育期对磷的吸收比例不同(表 3)。由表 3 可以看出,在施肥情况下,杂交水稻前期对磷素的吸收较少,早稻占本田全生育期吸磷总量的 11.13%,晚稻占 14.90%;中期吸磷比例剧增,分别占本田全生育期吸磷总量的 61.09%和 64.71%;后期吸磷的比例仍保持在 27.78%和 20.39%的高水平。在不施肥的情况下,无论杂交早稻还是杂交晚稻生育中期的吸磷比例分别在 49.74%和 52.79%,不仅表现为比施肥区的吸磷比例为少,而且表现为早稻前期吸收比例为 26.45%,后期比例为 23.81%;晚稻前期吸收比例为 25.90%,后期比例为 21.31%,前期多于后期(与施肥区相反)。

由表 3 还可以看出,在杂交水稻的吸磷量上,不但在施肥和不施肥处理间表现出明显差异(早稻不施肥区比施肥区少吸收 24.55%,晚稻不施肥区比施肥区少吸收 79.34%),而且在同一处理的不同季别之间也表现极为明显的差异,如晚稻的施肥区比早稻的施肥区少吸收 7.50%,晚稻的不施肥区比早稻的不施肥区少吸收 54.92%。

2.1.2 杂交水稻各时期的磷素营养特点 对 1978—1980 年 3 年杂交水稻各生育时期(每 5 天一次)的测定结果表明:杂交早稻地上部全株干物质含磷高峰在生育前期,而单位时间每公顷植株的吸磷高峰则在生育中期,整个生育过程只出现一个明显的吸磷高峰。3 年测定结果平均是:杂交早稻施肥区每公顷施磷  $P_2O_5$ 120kg,前期干物质含磷量

表 3 杂交水稻各生育时期吸收养分的数量和比例(1978—1980)

Table 3 Amounts and proportions of nutrients absorbed by hybrid rice at various growing stages (1978—1980)

处理 Treat- ment	品种 Variety	生育期 Growing stage	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
			吸收量 (kg / ha) Absorbed	(%)	吸收量 (kg / ha) Absorbed	(%)	吸收量 (kg / ha) Absorbed	(%)
			早稻 Early rice					
不施肥	珍汕 97A × 早恢 1 号	前期	47.55	23.89	37.50	26.45	59.70	20.20
		中期	107.40	53.95	70.50	49.74	166.80	56.33
		后期	44.10	22.16	33.75	23.81	69.45	23.47
施肥	珍汕 97A × 早恢 1 号	前期	65.55	16.04	19.65	11.13	77.85	12.52
		中期	191.40	46.84	107.85	61.09	357.60	57.48
		后期	151.65	37.12	49.05	27.78	186.60	30.00
			晚稻 Late rice					
不施肥	威优 6 号	前期	34.65	19.76	23.70	25.90	63.30	22.20
		中期	121.35	69.20	40.30	52.79	152.70	53.55
		后期	19.35	11.04	19.50	21.31	69.15	24.25
施肥	威优 6 号	前期	87.15	26.64	24.45	14.90	126.45	22.01
		中期	167.25	51.12	106.20	64.71	414.00	72.06
		后期	72.75	22.24	33.45	20.39	34.05	5.93

10.6g/kg, 中期 6.4g/kg。而每天每公顷植株吸磷量, 生育前期 2.1kg/ha, 生育中期为 4.05kg/ha, 生育中期为生育前期的 1.93 倍(图 1)。

杂交晚稻施肥区植株生育前期含磷量 9.7g/kg, 生育中期为 7.0g/kg。每天每公顷植株吸磷量前期为 1.35kg/ha, 中期为 2.70kg/ha, 中期为前期的 2.0 倍(图 2)。

## 2.2 土壤的供磷特点

在水稻生长期间, 由于土壤随淹水时间延长和温度的变化及水稻的吸收导致土壤速效磷发生规律性的变化(图 1、2)。

图 1 看出, 杂交早稻施肥区土壤速效磷自水稻返青后(移栽后 5 天)急剧上升, 移栽后 35 天达到高峰, 35 天后迅速降低, 40 天后基本趋于平稳, 一直维持在 300mg/kg 的较高水平; 不施肥区和空白区(1980 年增设)与施肥区基本相似。图 2 看出, 杂交晚稻施肥区土壤速效磷, 水稻移栽后 25 天达到高峰, 比早稻早 10 天, 25 天后迅速下降, 移栽后 60 天又有所回升; 不施肥区和空白区土壤速效磷含量除高峰出现的时间晚 10 天和后期没有回升现象外, 其余均基本相似。

值得注意的是, 不施肥区土壤速效磷含量, 在早稻全生育过程和晚稻生育前期均比施肥区为高, 究其原因有待进一步研究。

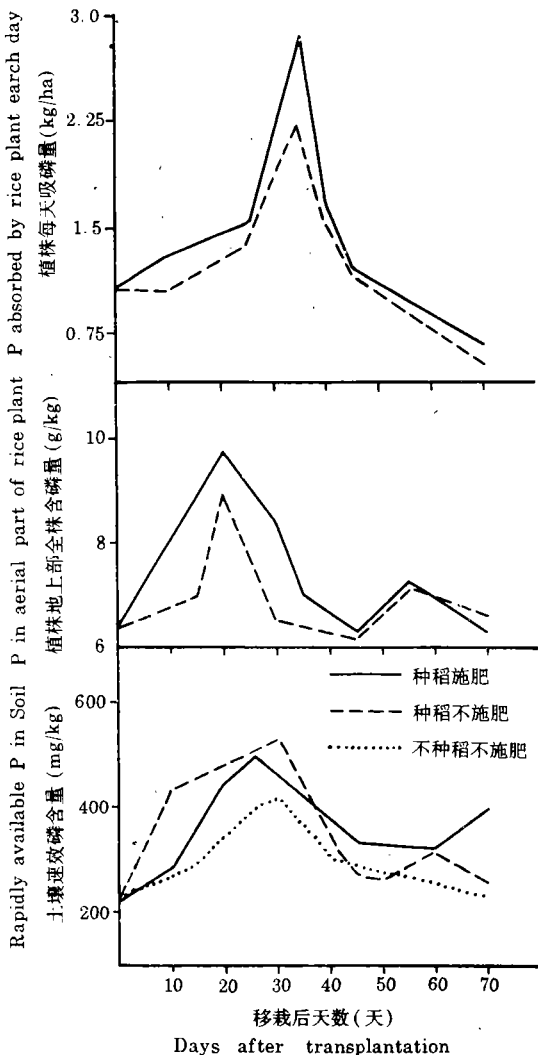
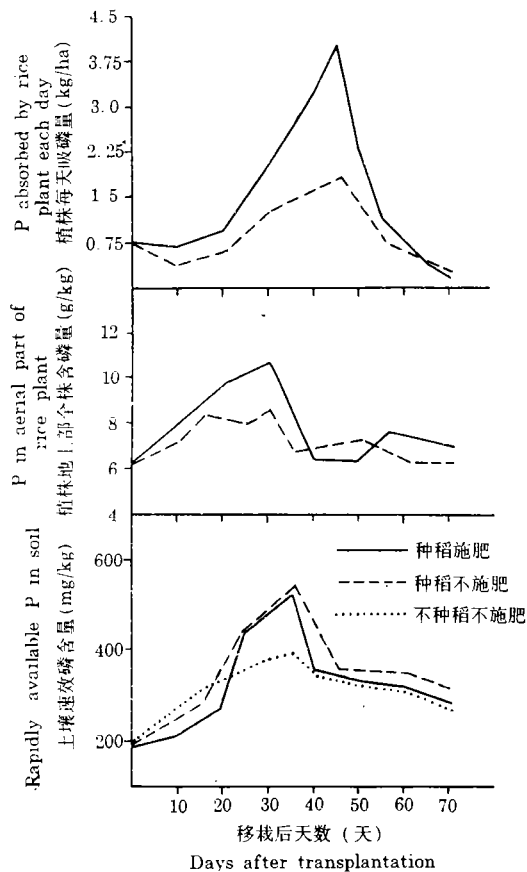


图1 杂交早稻植株吸磷与土壤速效磷水平

图2 杂交晚稻植株吸磷与土壤速效磷水平

Fig. 1 P absorbed by hybrid early rice and the level of rapidly available P in soil

Fig. 2 P absorbed by hybrid late rice and the level of rapidly available P in soil

### 2.3 磷对杂交水稻生长发育、生理效应及产量的影响

2.3.1 磷对杂交水稻生长发育和产量的影响 田间试验结果表明,不施磷肥(P<sub>0</sub>)的稻株矮,节间短,叶片短而窄,有效穗少,穗短,实粒数少,千粒重低,后期易早衰。土壤供磷不足,抑制了水稻的正常生长发育,导致产量下降。施用磷肥则水稻产量提高(表4、5)。

表5可以看出,早稻每公顷施磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)60—180kg的处理,稻谷产量比P<sub>0</sub>(不施肥区)高960.53—2078.58kg/ha,均达到1%的显著水准。比P<sub>25.88</sub>kg/ha(饼肥区)高797.97—1118.05kg/ha,也分别达到5%和1%显著水准。晚稻稻谷产量比P<sub>0</sub>处理高1383.00—1476.75kg/ha;比P<sub>25.88</sub>kg/ha处理高841.50—935.25kg/ha。均达到1%的显著水准。以每kg磷增产的稻谷看,以施磷60kg/ha处理,早稻增产稻谷29.31kg,

表 4 磷素对杂交水稻产量及构成产量因素的影响(1980)

Table 4 Effect of P on grain yield, the number of ears per m<sup>2</sup>, grains per ear and 1000—grain weight of hybrid rice (1980)

磷肥用量 (kg/ha)	穗数 (穗/m <sup>2</sup> )	实粒数 (粒/穗)	千粒重 (g)	产量 (kg/ha)	比 P <sub>0</sub> 处理增产		比 P 25.88 处理增产		
					(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)	
P applied	Number of ears per m <sup>2</sup>	Number of full grains ear per	1000— grain weight	Yield	Yield increase compared with treatment P <sub>0</sub>		Yield increase compared with treatment P 25.88		
				早稻	Early rice				
P <sub>0</sub>	183.66	91.85	26.40	4316.25					
P 25.88	202.40	91.70	27.20	5186.25	870.00	20.16			
P 120.00	217.39	96.21	27.00	6500.25	2184.00	50.60	1314.00	25.34	
P 180.00	228.63	106.85	27.68	6381.00	2064.00	47.84	1194.75	23.04	
				晚稻	Late rice				
P <sub>0</sub>	178.04	66.76	26.70	3333.68					
P 25.88	157.42	79.91	27.25	4025.25	191.57	20.74			
P 120.00	297.97	67.34	27.85	5709.00	2375.32	71.25	1683.75	41.83	
P 180.00	269.86	62.35	28.30	5652.75	2319.17	69.56	1627.50	40.43	

注: P 以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计, 后表同。

表 5 磷肥不同用量对稻谷产量的影响(1978)

Table 5 Effect of P-fertilizer levels on rice grain yield (1978)

磷肥用量 (kg/ha)	杂交早稻 Hybrid early rice		杂交晚稻 Hybrid late rice	
	平均产量 (kg/ha)	增产 (kg/ha)	平均产量 (kg/ha)	增产 (kg/ha)
P applied	Average yield	Yield increment	Average yield	Yield increment
P <sub>0</sub>	4722.40		5058.00	
P 25.88	5682.93	960.53**	5599.50	541.50**
P 60.00	6480.90	1758.50**	6441.00	1383.00**
P 120.00	6800.98	2078.58**	6449.25	1391.25**
P 180.00	6564.88	1842.48**	6534.75	1476.75**

\*\* 达到 1% 显著水准。

晚稻增产稻谷 23.05kg 为最高。

2.3.2 磷对杂交水稻生理效应的影响  
绿素含量的增高(表 6)。

研究结果表明, 磷能促进杂交水稻叶面积和叶

表 6 不同施磷水平对稻株生长发育及生理效应的影响(1979 早稻)

Table 6 Effect different levels of P application on the growth and Physiological effect of hybrid rice plant (1979, early rice)

施磷量 (kg / ha)	株高 (cm)	叶面积系数 Leaf area index			叶绿素含量 <sup>1)</sup> Content of chlorophyll (mg / kg)		孕穗期 Booting stage		产量 (kg / ha)
		分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	齐穗期 Full- heading stage	分蘖期 Tillering stage	齐穗期 Full- heading stage	蔗糖 Sucrose sugar (%)	淀粉 Starch (%)	
P <sub>0</sub>	91.83	1.31	5.53	4.23	2.84	3.17	3.58	3.07	6071.40
P 25.88	96.80	1.13	4.89	4.14	2.32	3.33	4.20	1.42	6147.98
P 120.00	94.32	0.93	5.84	5.65	1.04	3.68	4.56	1.09	6782.63
P 180.00	104.30	1.18	7.81	6.42	1.03	3.34	4.80	0.54	6770.40

1) 测定方法: 用酒精浸提(将叶片剪碎,放在钵中加酒精捣碎)后将浸提液于分光光度计上比色。

由表 6 可见,施磷后,水稻植株体内氮代谢增强,促使植株增高,光合叶面积扩大,这有利于水稻对光能的利用。

磷缺乏会导致水稻生育前期叶片叶绿素增加<sup>[1]</sup>。本试验测定了水稻分蘖盛期,齐穗期叶片的叶绿素含量,结果如下: 分蘖盛期 P<sub>0</sub> 和 P25.88kg / ha 的处理,叶片叶绿素含

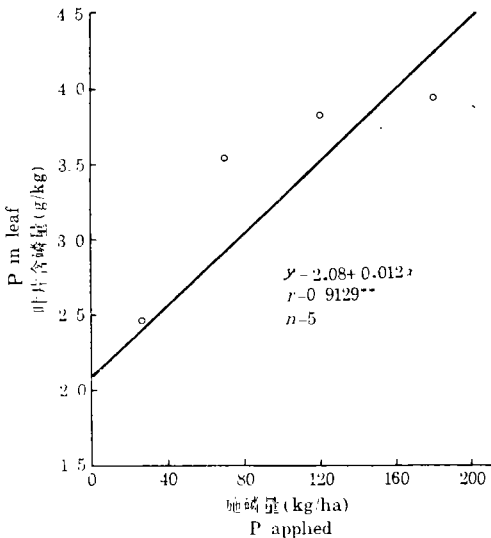


图 3 施磷量与叶片含磷量的相关性 (1978 年晚稻)

Fig. 3 Correlation between P supply and P content in leaf (1978, year late rice)

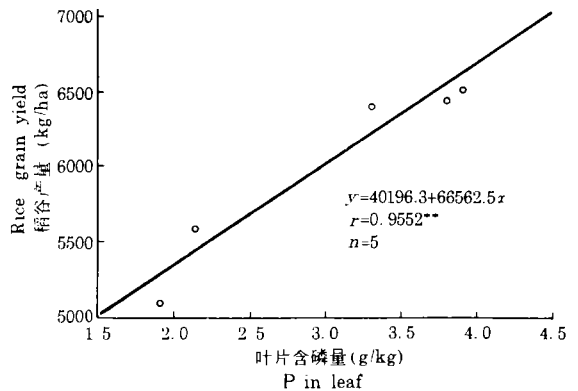


图 4 收获期叶片含磷量与稻谷产量的相关性 (1978,晚稻)

Fig. 4 Correlation between P content in leaf and rice grain yield at ripening stage (1978, year late rice)

量高于  $P120\text{kg}/\text{ha}$  和  $180\text{kg}/\text{ha}$  的处理,其原因可能是叶片小,叶绿素含量相对集中的缘故。

有研究认为植物叶片中的无机磷酸盐借助于“磷酸运转器”对光合初产物的转化,积累和运输起着重要的调控作用<sup>[1]</sup>。供磷充足,有利于将叶绿体内的磷酸丙糖外运到细胞质中合成蔗糖。因此,施用磷肥不仅能提高水稻叶片中的无机磷含量,而且叶片中的蔗糖含量也随着提高,但淀粉含量则随之下降(表 6)。与此相反,缺磷稻株叶片由于淀粉含量的增加导致光合初产物不能正常运转,进而影响光合作用致使产量降低。

2.3.3 磷对杂交水稻生理代谢的影响 试验结果表明:随着施磷水平的提高,杂交水稻各生育期地上部及叶片对磷的吸收随之增加。据对 1978 年的资料进行的相关分析,每公顷施磷在  $180\text{kg}$  范围内时,施磷量与叶片含磷量呈极显著正相关(图 3)。

试验还表明:随着供磷水平的提高,叶片含磷量增加,稻谷产量相应提高。据对 1978 年晚稻资料进行的相关分析表明,稻叶含磷量在  $0.45\text{g}/\text{kg}$  以下时,叶片含磷量与稻谷产量呈极显著正相关(图 4)。

2.3.4 磷对杂交水稻体内氮、磷、钾含量的影响 土壤供磷水平不同,不仅影响杂交水稻体内磷的含量,而且还影响体内氮、钾养分的含量。据对 1978 年晚稻分析资料的统计表明:水稻植株体内磷含量与氮、钾含量呈明显的相关性,其回归方程为:

$$y_N = 0.003216 - 25.895x + 124.2x^2$$

$$y_{K_2O} = -0.0108 - 30.78x + 165.0x^2$$

$y_N$  为收获期稻株体内含氮量  $\text{g}/\text{kg}$ ;  $y_{K_2O}$  为稻株体内含钾量  $\text{g}/\text{kg}$ ;  $x$  为稻株体内含磷 ( $P_2O_5$ ) 量;相关系数  $r$  分别为 0.8176 和 0.9065 达到了显著和极显著水准。在本试验条件下,随着施磷量的增加,水稻植株体内含磷量提高,氮、钾含量也相应增加,说明磷可促进稻株对氮、钾的吸收。以上进一步证实:在缺磷土壤上,种植杂交水稻施用磷肥能提高氮、钾肥的利用率<sup>[2,3]</sup>。

## 参 考 文 献

1. 王海龙、孙羲,1988: 磷对水稻生长发育的影响及其生理效应。浙江农业大学学报,第14卷1期,9—15页。
2. 刘运武,1990: 杂交水稻吸氮特性及氮肥利用状况的研究。土壤通报,第21卷2期,60—64页。
3. 刘运武,1992: 杂交水稻施钾技术的研究。土壤学报,第29卷第3期,328—333页。



## EFFECT OF PHOSPHORUS ON GROWTH AND PHYSIOLOGICAL EFFECT OF HYBRID RICE

Liu Yunwu

*(Institute of Agricultural science, Hengyang Hunan, 421101)*

### Summary

A field experiment was carried out to study P absorption by hybrid rice and P supply by soil as well as the effect of P on the growth and physiological effect of hybrid rice. Results showed that for hybrid rice with a high yield of more than 1000kg, the P requirement of early rice was more than that of general cultivar, while that of late hybrid rice was less than that of general cultivar. The amount of P absorbed by hybrid rice during the middle growing stage was over half of the total P absorbed during its whole growing period. However, the P supply by soil was less at the middle growing stage of rice. When rice plant suffered from phosphorus deficiency, it grew with short, small leaves and few tillers. Phosphorus fertilization could make rice grow normally, ripen early and get high yield. With the increasing of phosphorus applied the contents of P in rice leaves and seeds as well as shoots all increased. In the case of insufficient supply of phosphorus protein and nitrogen contents in the leaves of rice decreased. Fertilization of P enhanced the rate of photosynthesis of leaves, raised the grain yield and shortened the growth period of rice plant. It was found that the decrease of phosphorus content in leaves of rice was accompanied by an increase of starch accumulation and a decline of sucrose. Lack of phosphorus would decrease the efficiency of nitrogen and potassium applied, while phosphorus application could enhance the absorption and use of nitrogen and potassium by hybrid rice.

**Key words** Hybrid rice, Phosphorus requirement, Soil phosphorus supply, Phosphorus fertilizer application, Yield, Growth, Physiological effect.