

钾肥对杂交水稻养分积累以及生理效率的影响

胡 泓, 王光火

(浙江大学环境与资源学院, 浙江杭州 310029)

摘要: 在浙江省金华市进行连续4年水稻钾肥田间试验,以研究钾肥对杂交水稻氮磷钾养分吸收和利用效率的影响。结果表明,钾肥可促进氮磷养分从水稻的茎叶部位向穗输送,增加水稻产量。同不施钾处理比较,施钾处理杂交稻氮的平均吸收总量增加7.1~9.3 kg/hm²,磷增加0.9~1.1 kg/hm²,钾增加38.3~56.6 kg/hm²;氮和磷养分的利用效率无显著提高,而钾素的利用效率明显降低26.3%~28.9%。在养分的吸收和利用效率方面,杂交稻较常规稻表现出明显的生理优势。分析土壤交换性钾和缓效钾含量的年动态变化得出,杂交稻较常规稻消耗土壤中更多的缓效钾,施钾处理下的测试土壤速效钾含量逐年下降,而土壤缓效钾含量却有逐年上升的趋势。

关键词: 杂交水稻; 钾素; 养分利用效率

中图分类号: S143.3; S511 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2003)02-0184-06

Influence of potassium fertilizer on nutrient accumulation and physiological efficiency of hybrid rice

HU Hong, WANG Guang-huo

(Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China)

Abstract: Fertilizer K experiments were conducted for consecutive 4 years at Jinhua city in Zhejiang province under field condition to study the influence of fertilizer K on nutrient absorb and use efficiency for rice. The results indicated that fertilizer K could promote nitrogen and phosphorus transporting from stem and leaf to panicle in rice plant, therefore, the yield increased. Contrast to the treatment without fertilizer K application, average total N uptake of hybrid rice increased 7.1 - 9.3 kg/hm², total P increased 10 - 2.0 kg/hm², total K uptake increased 45.3 - 56.6 kg/hm² respectively. N and P nutrient use efficiency did not increased and reached to statistically significance, but K use efficiency significantly decreased 26.3% - 28.9% compared with inbred rice. Hybrid rices behaved of physiology advantage in nutrient uptake and use efficiency than that of inbred rice. By analyzing annual dynamic change of exchangeable K and non-exchangeable K in testing soil, suggested that hybrid rice depleted more non-exchangeable K in soil than inbred rice. The trend of content of available K in testing soil decreased annually whereas non-exchangeable K increased when fertilizer K were applied.

Key words: hybrid rice; potassium; nutrient use efficiency

我国南方耕地普遍缺钾,严重缺钾的土壤面积约占全国耕地土壤面积的三分之一^[1],主要分布在水稻耕作区内。杂交水稻较常规稻吸收更多的钾,是钾肥需要量较大的作物之一,因此,生产中越来越

重视钾肥在水稻种植中的施用。不少研究从杂交水稻的钾素吸收量和钾肥的施用技术等角度以探讨钾肥的合理施用^[2,3],讨论了不同水稻品种钾素利用效率的差异^[4,5],但有关杂交水稻氮、磷、钾积累分

收稿日期:2002-05-21

基金项目:国际肥料协会(IFA);磷钾研究所(PPI);国际钾研究所(IPI)资助项目。

作者简介:胡 泓(1968—),男,四川都江堰人,博士研究生,主要从事土壤资源研究。

国际水稻研究所的科学家 A. Doberman 博士和 C. Witt 博士对该研究的设计和指导,浙江金华市农业局的傅荣兴、孙庆祖、吾建祥等参加本研究的田间试验工作,表示衷心感谢。

配规律及其生理利用效率研究方面的尚少。为此,通过长期定位试验,以常规稻为参照,研究了钾肥对杂交水稻产量和经济性状、氮磷钾养分的积累与分配及其生理效率的影响,为杂交水稻的合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为位于金华市婺江下游的冲积型水稻土,其基本物理化学性质为 pH(H₂O) 7.8,有机碳 26.7g/kg,全氮 2.7g/kg,Olsen-P 11.5 mg/kg,NH₄Ac-K 24.5 mg/kg。供试水稻品种为:杂交早稻为威优-402,晚稻为协优 46;常规稻早稻为嘉-293,晚稻为秀水 11。

1.2 田间试验设计

在田间采用裂区设计,主区为肥料处理,设施氮磷(NP)、施氮磷钾(NPK);副区为水稻品种,插植密度早晚稻均为 20cm×20cm,3 次重复,小区面积为 45m²。氮磷钾化肥分别用尿素、过磷酸钙和氯化钾。每季施用量和方法为 N 肥(N 150 kg/hm²),50%作基肥,25%在分蘖前期施,25%在幼穗分化期施;P 肥(P 25 kg/hm²)全部作为基肥;K 肥(K 100 kg/hm²)50%作基肥,50%在幼穗分化期施。

1.3 样品的采集与分析测定方法

土壤样品的采集和测定:田间试验前,取表土(深度为 0~15cm)并测定其基本物理化学性质;每季晚稻收割后,在

每个小区内取表层土样(3 个重复),待土壤样品风干后,室内测定土壤样品的交换性钾(NH₄OAc 法)和缓效钾(NaTPB 法)含量。

水稻样品的采集和测定:水稻成熟时,在每个小区中央面积为 5m²(120 丛)的测产区收割稻谷,晒干,立即测产,考察其经济性状;同时在测产区外围随机取 12 丛水稻样品(收割地上部分),置于烘箱内以 70℃ 烘干至恒重(约 72h)并测定稻谷和稻草产量,然后再从已烘干的 12 丛水稻样品中均匀取稻谷和稻草样品,粉碎后装入密封袋,在室内测定氮磷钾养分含量。

2 结果与分析

2.1 施钾肥对产量和产量组成的影响

将施钾处理(NPK)与不施钾处理(NP)的产量相比较(表 1),常规稻平均增产 679.6kg/hm²(早稻)和 737.4 kg/hm²(晚稻);杂交稻平均增产 815.1 kg/hm²(早稻),814.9 kg/hm²(晚稻),均达极显著水平。在产量构成方面,除了千粒重外,钾肥的施用并未使水稻的每平方米穗数,每穗粒数、每穗实粒数的增加达到显著水平,但各项指标均有提高,其中每穗粒数与实粒数的 4 年平均值增加最为明显,增加幅度为 2.1%~9.3%,杂交稻与常规稻的增幅比较接近。

表 1 1997~2000 年各处理水稻平均产量及其平均产量构成

Table 1 Average grain yield and yield's component at all treatments from 1997~2000

季别 Season	品种 Variety	施肥处理 Treatment	每平方米穗数 Panicle number per m ²	每穗实粒数 Filled spikelets per panicle	每穗粒数 Spikelets per panicle	结实率 Filled percentage (%)	千粒重 Thousand grain weigh (g)	产量 Grain yield (kg/hm ²)	收获指数 Harvest index
早稻 Early rice	Jia293	NP	267±35	71±15	84±19	84.4±3.8	22.8±0.4	4915±982	0.69±0.02
	Jia293	NPK	284±31	75±15	87±17	87.1±4.2	22.5±1.0	5595±1211	0.70±0.01
	V402	NP	235±13	75±11	92±17	82.5±6.0	28.7±0.7	5492±649	0.69±0.02
	V402	NPK	241±26	78±6	95±13	82.6±7.4	29.4±1.2	6307±1081	0.69±0.01
晚稻 Second rice	Xiushui11	NP	293±62	52±7	56±7	92.9±3.4	26.5±1.1	4162±700	0.59±0.03
	Xiushui11	NPK	304±55	58±5	62±4	93.4±3.2	27.1±0.9	4898±611	0.61±0.06
	Xieyou46	NP	266±30	80±18	86±17	92.1±3.9	23.7±0.9	4999±778	0.65±0.02
	Xieyou46	NPK	282±28	84±15	94±12	89.0±5.6	24.8±1.0	5814±775	0.63±0.01
F 值 F value	品种间 Variety		12.41***	26.02***	29.51***	4.59*	8.88**	17.48***	6.31*
	处理间 Treatment		2.04ns	2.09ns	0.61ns	0.09ns	0.68ns	17.52***	0.01ns

注:*, **, *** 分别表示达到 5%, 0.1% 和 0.01% 的统计显著水平,ns 为不显著,下同。

Notes: *, **, *** indicate the statistically significance of 5%, 0.1% and 0.01%, respectively, ns indicate non significant, same as follows.

品种间产量构成的差异极为显著,杂交稻的平方米穗数,每穗粒数、每穗实粒数和千粒重明显高于常规稻,这也是杂交稻高产的主要原因。相关分析表明,产量与每平方米穗数,每穗粒数、实粒数呈极显著相关(相关系数分别为 0.6934*, 0.6731* 和 0.5198*, $n=288$),表明钾素有利于水稻的每穗粒数和实粒数的增加,是施钾增产的主要原因。

2.2 氮磷钾养分积累与分配特点

从 4 年的水稻养分吸收的平均值可以看出,杂交水稻对氮磷钾的吸收量大于常规稻(表 2)。同对照(NP 区)相比较,在钾肥的作用下,杂交水稻对氮磷钾的吸收量(不包括根系)增加,早稻氮磷钾吸收总量分别增加 10.7%、12.7%、51.2%;杂交晚稻分别增加 8.6%、6.8%、111.7%,均达到 5% 显著水平,其中钾的增幅最大。

与 NP 处理比较,可看出钾肥处理对水稻氮磷钾养分的积累和分配产生一定的影响。比较稻谷以及水稻地上部分养分积累总量的 4 年平均值可发现,稻谷氮磷钾养分积累量占其积累总量的百分比因钾肥的施入而提高,但稻谷中钾的积累比例却明显降低(图 1)。研究稻谷和稻草中氮磷钾养分的相对积累量,计算氮磷钾养分积累量相对比例,方差分析表明,稻谷的氮磷钾养分相对比例并不因为钾肥的施用而发生明显改变,而稻草中氮素所占比例显著下降、钾素比例显著上升(表 3),且达到 5% 的统计显著水平。表明钾肥的施用促进了水稻氮素和磷素从茎叶部位到穗部转运,使稻谷中氮素和磷素积累量的绝对数量与相对数量得以增加,而大量的钾素却积累在水稻的叶部和茎部。

杂交稻氮磷钾养分元素的积累和分配特点同常规稻存在一定差异,研究稻谷养分积累量以及稻谷养分积累量占养分积累总量的百分比(表 2 及图 1),可明显地看出,在相同施肥处理条件下,杂交稻稻谷氮磷钾养分积累量不仅在数量上超过常规稻,而且稻谷氮磷钾养分积累量占养分总积累量的百分比亦高于常规稻,表明在向稻穗输送氮磷钾养分的能力方面,杂交稻表现出一定的优势。

2.3 氮磷钾养分利用效率

根据 Gerloff 和 Gabelman^[6]提出的计算植物养分利用效率的方法,计算水稻对氮磷钾素的吸收利用效率,其基本公式为:

$$\text{NER} = \text{产量} / \text{养分吸收量}(\text{kg}/\text{kg})$$

就本质而言,NER 值是植物养分平均浓度的倒数^[7],表示吸收单位重量养分而生产稻谷的重量,

既表现了养分的吸收利用生理效率,也在一定程度上表示了水稻生产的经济效率。分别计算 4 年 8 个季节水稻养分利用效率(产量/养分总吸收量),结果表明,水稻氮素利用效率(NER)为 38~84 kg/kg,磷素为 243~378 kg/kg,钾素为 44~107 kg/kg 之间。从 4 年的养分利用效率平均值可以看出(表 4),同不施钾肥的处理氮和磷的 NER 值相比较,在施用钾肥的条件下,杂交早稻氮素的 NER 并不明显高于对照,而磷素的 NER 值低于对照;杂交晚稻的情况有所不同,氮和磷的 NER 值分别高于对照 10.1% 和 7.1%,但都未达到显著统计水平($p < 5\%$)。无论早稻还是晚稻,施钾条件下水稻钾素 NER 值明显低于对照处理,且达到极显著的统计水平($p < 0.01\%$)。

不同品种和季节间存在一定差异,杂交水稻的氮磷钾养分的 NER 值高于常规稻,均达到 0.1% 统计显著水平,钾素的 NER 值与常规稻无显著差异;同早稻比较,晚稻的氮磷钾养分的 NER 值较高,且均达到显著统计水平($p < 5\%$)。

2.4 土壤钾素状况年际动态变化

每季晚稻稻谷收割后,未采用稻草还田方式以补充钾肥,而将试验小区内稻草全部收割,测定土壤交换性钾含量与土壤缓效钾含量,以观察土壤钾素的动态变化特征。测定结果表明,自 1998 至 2000 年,施钾肥处理的土壤交换性钾含量呈逐年下降趋势(图 2),在 2000 年其含量仅为 16 mg/kg 左右,表现出极度缺钾状态,说明通过水稻生长吸收以及其它途径(淋失、下渗等)造成土壤中交换性钾的损失量,大于通过施用钾肥对土壤中钾素的补充量,测试土壤所处的稻田的钾素平衡状况已处于亏损状态。从另外的角度看,每季施 100kg/hm² 钾肥不能维持土壤速效钾含量水平,生产中应适当增加钾肥的用量。

不少研究表明,水稻吸收钾素总量中来自非交换性钾的比例大于交换性钾^[5]。从分析结果看出,在 NP 处理下,土壤缓效钾的含量下降 18.4~73.4 mg/kg(图 3),土壤速效钾的含量仅下降 2.6~10.0 mg/kg,土壤缓效钾是水稻吸收钾素的主要来源。不同品种水稻对土壤中缓效钾的吸收量有着明显差异,在 NP 处理下,杂交稻较常规稻消耗更多的缓效钾。值得注意的是,在施钾处理下土壤缓效钾含量不因水稻的吸收而逐年下降,反而略有上升的趋势,这是因为在土壤中交换性钾-非交换性钾的平衡体系中,土壤中钾素从交换态转变到非交换态的数量

要大于从非交换态转变到交换态的数量,即土壤中 放量和释放速率因钾肥的施入而逐年降低。
的交换性钾的固定现象,也表明测试土壤缓效钾释

表 2 长期定位钾肥试验各季水稻氮磷钾的吸收总量
Table 2 Total NPK uptake of rice in long term K fertilizer experiment

年份与季节 Year and season	品 种 Variety	氮素吸收总量 Total N uptake (kg/hm ²)		磷素吸收总量 Total P uptake (kg/hm ²)		钾素吸收总量 Total K uptake (kg/hm ²)	
		NP	NPK	NP	NPK	NP	NPK
1997 早稻 Early rice	嘉-293 Jia-293	102.5±7.3	115.9±14.1	20.4±5.1	23.8±6.8	82.6±2.2	102.5±9.0
1998 早稻 Early rice	嘉-293 Jia-293	87.5±2.9	99.9±9.3	13.2±3.6	18.3±3.0	36.8±1.4	92.6±7.7
1999 早稻 Early rice	嘉-293 Jia-293	77.0±4.2	85.2±3.6	10.6±0.6	13.8±0.1	47.3±5.0	99.8±5.9
2000 早稻 Early rice	嘉-293 Jia-293	70.0±4.9	63.8±9.8	14.7±1.7	14.1±2.2	63.5±7.0	77.9±6.6
平均 Average		84.2	91.2	14.7	17.5	57.5	93.2
标准差 SD		14.2	22.2	4.1	4.7	20.0	11.0
1997 早稻 Early rice	威优-402 V-402	102.0±14.2	117.3±6.2	22.5±6.3	25.4±4.9	95.3±8.3	112.3±5.2
1998 早稻 Early rice	威优-402 V-402	83.6±7.2	100.6±6.4	15.1±2.4	18.6±3.0	54.3±12.1	109.3±1.4
1999 早稻 Early rice	威优-402 V-402	85.5±4.7	100.6±10.6	12.0±0.5	15.5±2.2	61.8±6.2	118.1±17.1
2000 早稻 Early rice	威优-402 V-402	76.1±26.1	65.7±2.6	14.6±3.7	14.8±2.4	56.7±1.4	81.5±2.5
平均 Average		86.8	96.1	16.0	18.6	67.0	105.3
标准差 SD		10.9	21.7	4.5	4.9	19.1	16.3
1997 晚稻 Second rice	修水 11 Xiushui 11	71.4±4.9	75.0±7.6	14.8±2.5	18.8±0.8	50.2±14.1	84.5±6.7
1998 晚稻 Second rice	修水 11 Xiushui 11	80.8±6.8	82.1±4.3	14.6±3.6	17.5±1.7	50.7±12.1	77.4±15.6
1999 晚稻 Second rice	修水 11 Xiushui 11	76.5±13.6	80.1±4.4	10.3±2.4	10.1±1.4	38.8±7.0	74.5±3.4
2000 晚稻 Second rice	修水 11 Xiushui 11	80.3±5.2	75.2±5.3	15.2±2.5	12.6±0.6	54.0±4.1	56.3±1.5
平均 Average		77.2	78.1	13.7	14.7	48.4	73.2
标准差 SD		4.4	3.6	2.3	4.1	6.6	12.0
1997 晚稻 Second rice	协优 46 Xieyou 46	76.0±10.3	67.7±5.3	17.6±2.6	17.1±2.7	55.3±10.2	100.4±3.3
1998 晚稻 Second rice	协优 46 Xieyou 46	78.1±6.8	97.3±9.2	17.4±1.2	18.8±1.5	62.3±12.4	125.2±8.1
1999 晚稻 Second rice	协优 46 Xieyou 46	88.3±15.2	100.2±9.6	9.5±2.4	12.0±1.2	42.1±8.8	115.4±7.4
2000 晚稻 Second rice	协优 46 Xieyou 46	88.5±7.7	94.0±7.7	14.0±2.8	14.9±0.9	42.9±4.0	88.0±7.5
平均 Average		82.7	89.8	14.6	15.7	50.7	107.3
标准差 SD		6.6	14.9	3.8	3.0	9.8	16.4
方差分析 Variance analysis	F 值 F Value						
	处理 Treatment		3.741 *		4.172 *		130.390 ***
	品种 Variety		3.940 *		5.741 **		20.223 ***

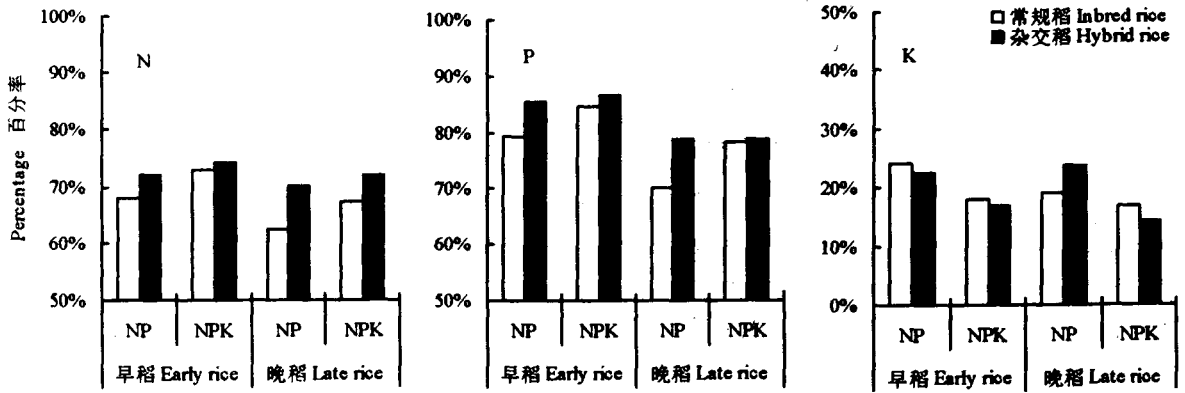


图1 稻谷中氮、磷和钾积累量占积累总量百分比4年平均

Fig.1 Percentage mean value of N, P and K accumulated in grain vs total N, P and K uptake by rice in 4 years

表3 稻谷和稻草中氮磷钾积累量相对比(4年平均)

Table 3 Proportional composition of NPK accumulated in grain and straw in 4 years

季别 Season	品种 Variety	施肥处理 Treatment	稻谷中氮磷钾比例 NPK ratio in grain (%)			稻草中氮磷钾比例 NPK ratio in straw (%)		
			N	P	K	N	P	K
早稻 Early rice	Jia293	NP	69	14	17	36	4	60
		NPK-1	69	14	17	24	2	74
	V402	NP	69	15	16	31	3	66
		NPK-1	68	15	17	22	2	76
晚稻 Second rice	Xiushui11	NP	72	14	14	40	6	54
		NPK-1	69	15	16	28	4	68
	Xieyou46	NP	71	14	15	37	5	58
		NPK-1	70	14	17	22	3	75
方差分析	F 值	处理 Treatment	0.791ns	0.262ns	0.785ns	13.021**	2.078ns	14.215**
Variance analysis	F value	品种 Variety	0.162ns	0.626ns	0.009ns	1.619ns	3.224ns	2.226ns

表4 钾肥试验中水稻氮磷钾养分生理利用效率4年平均

Table 4 Average NPK use efficiency of rice in fertilizer K experiment in 4 years

季节 Season	处理 Treatment	品种 Variety	氮素利用效率 N use efficiency (kg/kg)	磷素利用效率 P use efficiency (kg/kg)	钾素利用效率 K use efficiency (kg/kg)
早稻 Early rice	NP	Jia293	48.8 ± 10.8	281.2 ± 31.7	74.4 ± 19.2
	NPK-1		52.3 ± 5.6	272.8 ± 23.9	50.4 ± 6.4
	NP	V402	57.0 ± 7.8	317.7 ± 59.7	76.0 ± 14.4
晚稻 Second rice	NPK-1		57.4 ± 13.1	294.0 ± 38.8	51.5 ± 9.5
	NP	Xiushui11	52.9 ± 9.2	299.8 ± 38.0	84.3 ± 10.2
	NPK-1		59.8 ± 8.7	331.6 ± 65.3	65.5 ± 16.0
	NP	Xieyou46	59.6 ± 14.0	340.4 ± 40.0	96.7 ± 9.9
方差分析	F 值	处理 Treatment	1.999ns	0.017ns	78.624***
		品种 Variety	5.92**	5.808**	0.006ns
		季节 Season	3.859*	9.607**	13.441***

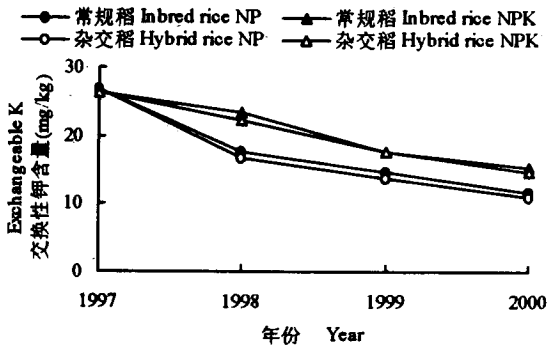


图2 各处理土壤交换性钾含量年动态变化

Fig 2 Annual dynamic change of exchangeable K content of soil in all treatments

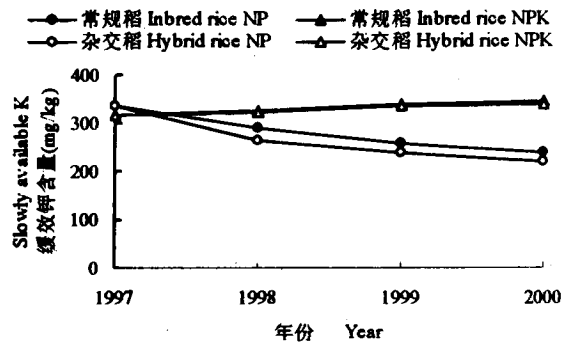


图3 各处理土壤缓效钾含量年动态变化

Fig 3 Annual dynamic change of non-exchangeable K content of soil in all treatments

3 讨论

同常规水稻比较,杂交水稻吸收更多的NPK养分,在不施钾肥的条件下,杂交早稻较杂交晚稻平均多吸收N 2.6 kg/hm²、P 1.3 kg/hm²和K 9.5 kg/hm²,杂交晚稻平均多吸收N 5.5 kg/hm²、P 1.0 kg/hm²和K 2.35 kg/hm²。在施钾肥的条件下,二者的差异更为显著,尤其是氮素和钾素,杂交早稻较杂交晚稻平均多吸收N 4.9 kg/hm²、P 1.2 kg/hm²和K 12.1 kg/hm²,杂交晚稻平均多吸收N 11.7 kg/hm²、P 1.0 kg/hm²和K 27.1 kg/hm²。在养分利用效率方面,无论是早稻还是晚稻,不同处理条件下杂交稻的氮磷养分利用效率显著地大于常规稻,表明在吸收相同数量氮和磷的条件下,杂交稻的稻谷以及地上干物质产量要大于常规稻,表现出杂交优势。同氮磷养分利用效率所不同的是,尽管杂交稻钾素的吸收量远大于常规稻,但对于钾素的利用效率与常规稻无统计上的显著差异,这与有关杂交稻生理性嗜钾现象的报道并不一致。说明杂交稻吸收钾的数量大于常规稻,不是生理性嗜好钾,而是其生物量较大相应地对钾素的需求量较大的缘故。

同对照处理相比较,钾肥的施用不仅使水稻的每平方米穗数、每穗实粒数和千粒重增加,产量提高,同时也促进对氮和磷养分的吸收。但对于水稻氮磷养分的利用效率则无显著的提高,反而钾素的利用效率显著地降低,表明在钾胁迫的条件下,水稻

能够经济、有效地利用钾素,当土壤中钾源相对充足时,利用效率降低,符合效益递减规律。养分的利用效率也存在着季节上的差异,晚稻的氮磷钾利用效率明显高于早稻,这也是晚稻产量高于早稻的原因之一。从养分利用效率的角度看,晚稻较早稻需要更多的养分以满足生长的需要。

从研究结果中还可以发现,水稻氮磷养分利用效率(NER)与水稻产量、产量构成、氮磷钾的养分积累特征以及水稻品种差异存在着密切联系。但能否根据氮磷养分利用效率(NER)值来建立评价体系,以衡量与评价水稻养分状况、土壤肥力状况以及供肥能力,仍需要进一步探讨。

参考文献:

- [1] 刘运武. 杂交水稻的施钾技术 [J]. 土壤学报, 1992, 29(3): 328-332.
- [2] 罗成秀. 高产条件下杂交水稻的施钾技术 [J]. 土壤肥料, 1982, 8(4): 8-11.
- [3] 张杨珠, 黄运湘, 邹应斌, 等. 高产土壤条件下双季杂交水稻的施钾效应 [J]. 湖南农业大学学报, 1998, (24): 305-311.
- [4] 符建荣, 詹长庚, 姜丽娜, 等. 晚稻品种间钾效率的差异评价 [J]. 土壤通报, 1995, 26 (7): 46-48.
- [5] 林咸水, 何念祖, 章永松, 等. 不同水稻品种对钾吸收和利用的差异及其产量和品质的关系 [J]. 土壤通报, 1995, 26 (7): 9-52.
- [6] Cbaliger V, Fegeria N K. Nutrient use efficiency in plants [J]. Common Soil SCI. Plant ANAL, 2001, 32: 921-950.
- [7] Clark R B. Crops as enhance of nutrient Use [M]. Academic Press, 1991. 131-209.