丰华占和粤香占对水肥互作的产量效应

樊小林[1]，梁新松[1]，周少川[2]

(1 华南农业大学 资环学院 肥料与平衡施肥研究室，广东 广州 510642；
2 广东省农业科学院 水稻研究所，广东 广州 510640)

[摘 要] 通过大田试验研究了常规水作(P)和覆草旱作(M)、肥料种类、肥料用量(高量，HD；低量，LD)及其交互作用对丰华占和粤香占水稻籽粒产量的影响。结果表明，肥料种类对早稻、晚稻产量均无明显影响，基肥 1 次施用芭田包膜控释肥(BT)和华南农大控释肥料(AgroBB)的产量与分 3 次施用尿素(Urea)的相同。早稻尿素处理，M 的产量>P 的产量，两种控释肥均表现为 P 的产量>M 的产量；晚稻均是 P 的产量>M 的产量。晚稻覆草旱作 Urea，BT，AgroBB 处理较常规水作的相应肥料处理分别减产 17.6 %，21.5 %和 12.1 %。早、晚稻水作 BT 和 AgroBB 的效果优于旱作，旱作下晚稻的效果优于早稻，两种控释肥料间 AgroBB 的效果优于 BT。施 N 量 150 kg/hm^{2}的产量显著大于 225 kg/hm^2。早稻 LD 的产量较 HD 高 4.6 %～7.2 %，晚稻的高 7.1 %～9.7 %。早晚稻尿素处理 LD 的增产率最大，BT 和 AgroBB 的无显著差异。早稻、晚稻各种肥料处理下，丰华占和粤香占的产量均无明显差异。除 AgroBB 处理早稻的水分管理×施肥量×品种，及晚稻的水分管理×施肥量、施肥量×品种的交互作用对水稻产量有显著影响外，其余的肥料，施肥量、水分管理、品种间的交互作用对水稻产量无显著影响。试验中施用尿素和 BT 的稳产性差，而 AgroBB 具有稳产效果。在珠江三角洲栽培丰华占，建议早稻采用浅灌和利用降雨，结合稻草覆盖的水分管理措施，每公顷施用 150 kg N (尿素)，并按基肥 40 %，分蘖初期 30 %和分蘖末期 30 %分配。晚稻可采用同样的施肥量和分配原则，但建议在孕穗期和抽穗期采用常规水作以获得最大产量。

[关键词] 水分管理；施肥量；肥料种类；品种；交互作用；产量效应

[中图分类号] S511.06 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2005)11-0001-08

当今在全球范围内随着人口增长和经济发展，工业、城市和农业用水均与日剧增；但由于气候变暖，生态失衡及环境污染等原因，可利用水资源量日益减少，水资源供求矛盾越来越引起人们的重视。据报道[1~4]，2025 年以前，约占全世界人口 1/3，即 27 亿人居住的地区将面临严重缺水。我国淡水资源短缺的问题尤为突出，是世界上 13 个贫水国之一。水资源紧缺问题已成为我国农业和社会经济发展的制约因素[5]。而且有限的水资源在时空分布上亦很不均匀，长江流域及其以南地区水资源占全国的 80 %，而耕地只占 36 %；长江以北地区水资源不到全国的 18 %，耕地却占 64 %，表现为长江以南水资源较丰，淮河以北水资源不足[5~9]。我国位于东亚季风带，年降水量的 70 %～90 %集中在 6～9 月份，且多以暴雨形式出现，水资源的 70 %以上由洪水组成，利用难度非常大。近年来，水系污染又进一步加剧了淡水资源的匮乏。

我国人口众多，粮食需求量大，粮食安全问题不仅受到国外学者的关注，近期来也特别受到国家的重视。水稻是我国的主要粮食作物之一，关系着 10 多亿人口的温饱问题。然而，农业用水占我国水资源总消耗量的 80 %[10]。在农业用水中，水稻又是第一用水大户。纵观全球水稻产区，水稻生产用水量占农业总用水量的 50 %左右[11]。我国水稻生产用水量所占比例更高，约占全国总用水量的 54 %，占农业总用水量的 65 %以上[12]。因此，在既缺水又要获得水稻高产优质的情况下，探索水稻节水、高产栽培新模式，是缓解我国水资源短缺和提高粮食产量的重要途径。本研究以优质稻核心种质青六矮 1 号衍生品种丰华占和粤香占为供试品种，进行了水稻水分

[收稿日期] 2005-08-26
[基金项目] 国家农业科技跨越计划项目(2003-09)；国家自然科学基金项目(30270769，30370820)；广东省科技厅国际合作项目(C50406，C50202)
[作者简介] 樊小林(1958－)，男，陕西三原人，教授，博士，博士生导师，主要从事植物营养、肥料与平衡施肥研究。E-mail：xlfan@scau.edu.cn
[通讯作者] 周少川(1962－)，男，广东潮阳人，研究员，主要从事水稻遗传育种研究。E-mail：xxs123@pub.guangzhou.gd.cn；Xxs123@163.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

管理、养分管理及其互作的研究,以期为丰华占和粤香占的节水和高产栽培提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

供试品种为广东省农业科学院水稻研究所的优质稻核心种质青六矮1号衍生品种丰华占和粤香占。丰华占早稻全生育期128 d,晚稻全生育期约为112 d;粤香占早稻全生育期125 d,晚稻全生育期110 d。两品种的生育期相近。

1.2 试验设计

试验为随机化约束多因素试验,采用裂裂区设计[13],试验第一主因素为水分管理,即覆草旱作(Mulching,M)和常规水作(Paddy,P),第二主因素是施肥量,即高量(High Dosage,HD)和低量(Low Dosage,LD) 2个水平,前者每公顷施用纯氮225 kg,后者为150 kg;第三主因素是品种,即丰华占(FengHuaZhan,FHZ)和粤香占(YueXiangZhan,YXZ);供试因素是肥料,包括尿素(Urea,U)、芭田包膜控释肥(BT)和华南农大控释肥料(AgroBB)。每处理(Treatment,T)重复3次,在同一区组内随机排列,试验设计见表1。3种肥料2个施用水平下的磷、钾用量相等,均为每公顷60 kg P_2O_5,180 kg K_2O。供试尿素为含氮量46%的海南富岛大粒尿素,磷肥为含P_2O_5 12%的过磷酸钙,钾肥为含氧化钾50%的硫酸钾,BT是供肥期为40～45 d的包膜复混肥(14.74-5-15),Agro BB是供肥期为40～45 d的包膜型控释肥料(华南农业大学肥料学研究室用广东市场上氮钾复混肥(15-0-15)生产)。小区面积9 m^2(实际收获中部6 m^2),小区间以宽20 cm,高25 cm的地垄隔离,地垄两侧和顶部用0.2 mm塑料薄膜包裹,且在地垄两侧小区地平面以下埋深20 cm,以防止小区间耕层水分互渗的干扰。

表1 试验设计及处理

Table 1 Design of the experiment and tag of each treatment

试验的主处理 Main factors			供试肥料 Fertilizer		
水分 Water	施肥量	品种	尿素 Urea	芭田包膜控释肥 BT	华南农大控释肥 AgroBB
常规水作 Paddy	高量 HD	丰华占 FHZ	T1	T2	T3
		粤香占 YXZ	T4	T5	T6
	低量 LD	丰华占 FHZ	T7	T8	T9
		粤香占 YXZ	T10	T11	T12
覆草旱作 Mulching	高量 HD	丰华占 FHZ	T13	T14	T15
		粤香占 YXZ	T16	T17	T18
	低量 LD	丰华占 FHZ	T19	T20	T21
		粤香占 YXZ	T22	T23	T24

1.3 肥水管理

试验期间,早晚两季水稻尿素处理的施用方案为基肥40%,分蘖初期30%,分蘖末期30%,而BT和AgroBB均在插秧前以基肥的形式一次施用,磷肥和钾肥全作基肥。覆草旱作处理(M)区的土壤水分用张力计监控和水表计量灌溉,田间持水量控制在80%～90%。常规水作处理(P)区在晒田以前保持3～5 cm的水层,晒田后复水,收获前2周落干。遇有大暴雨或降雨造成大田积水超过2 cm时,M处理区组在测量田面积和水深度后排水,并以田间水面高度测量仪计算排水量,剩余降雨量计为本次降雨的灌溉量。在插秧后1周内将干稻草均匀覆盖在水稻株、行间,稻草覆盖量为4 860 kg/hm^2。

1.4 供试土壤及其理化性质

试验地位于华南农业大学农场(北纬23.16°,东经113.23°的亚热带气候区),系由赤红壤发育的水稻土。土壤质地为粘壤土。耕层土壤化学性状为:pH值5.7,有机质27.01 g/kg,全氮0.89 g/kg,速效氮29.00 mg/kg,全磷0.97 g/kg,速效磷37.48 mg/kg,速效钾29.95 mg/kg。

1.5 试验结果的统计分析

试验数据采用美国芝加哥SPSS公司的统计程序SPSS 12[13],进行多因素方差分析(GLM Multivariate Analysis)。

2 结果与分析

2.1 早晚季各处理水稻籽粒产量的差异

表2是2004年早稻和晚稻的籽粒实收产量。由表2可知,24个处理间水稻籽粒产量有一定差异,一致表现为早稻的产量大于晚稻。水分管理、施肥量

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高低、品种差异、肥料种类等因素对水稻籽粒产量的影响，以及各个因素间的交互作用可以通过多因素方差分析结果进行判断。

表 2　2004 年早、晚两季水稻各处理籽粒产量实测结果

Table 2　Grain yield of both 1st and 2nd rice in 2004　　kg/hm²

季别 Season	试验处理 Treatments			尿素 Urea	芭田包膜肥 BT	控释肥 AgroBB
早稻 1st rice	P	HD	FHZ	6 215±329	7 296±11	6 593±87
			YXZ	6 604±210	6 980±129	7 531±156
		LD	FHZ	6 802±259	7 527±120	7 399±210
			YXZ	6 393±239	7 703±112	7 522±70
	M	HD	FHZ	7 392±209	6 725±185	6 703±65
			YXZ	7 338±162	6 845±353	6 918±67
		LD	FHZ	8 238±61	6 844±70	6 767±122
			YXZ	8 096±281	7 374±286	7 322±86
晚稻 2nd rice	P	HD	FHZ	5 507±113	5 482±211	4 896±48
			YXZ	5 476±141	5 832±154	4 794±181
		LD	FHZ	6 076±203	5 669±208	5 426±207
			YXZ	5 670±17	6 105±84	5 412±118
	M	HD	FHZ	4 297±270	4 281±92	4 588±185
			YXZ	4 489±102	4 252±192	4 566±181
		LD	FHZ	4 921±323	4 675±80	4 571±217
			YXZ	5 023±188	4 911±182	4 600±185

注：每一个数据为 3 个小区实收产量的平均值。

Note: Each number in above table is average of three replications.

2.2　肥料品种对水稻产量的效应

不同肥料品种对水稻产量的影响见图 1。

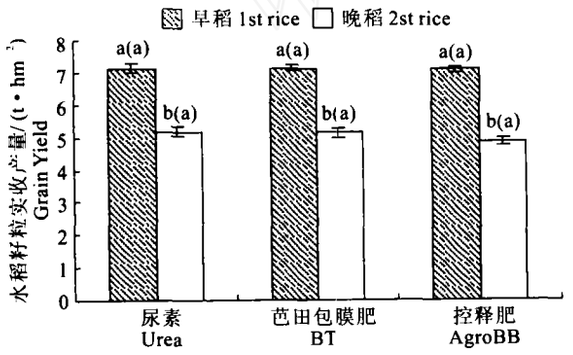

图 1　肥料对水稻产量的影响

括弧内字母相同分别表示早、晚稻肥料间的差异不显著；括弧外的字母不同，分别表示每种的差异不显著；晚稻间的差异显著。多重比较用 Duncan 法

Fig. 1　Effect of fertilizer on rice grain yield

Different letters outside bracket indicate significant difference between 1st and 2nd rice for each fertilizer respectively. Same letters in bracket means no significant difference among fertilizers for 1st and 2nd respectively

由图 1 可知，无论是早稻还是晚稻，3 种肥料间产量的差异均未达显著水平，但是每种肥料早稻的产量均显著高于晚稻，即尿素分 3 次施用的水稻产量和 BT，AgroBB 控释肥料以基肥 1 次施用的效果相同。由此可见，施用肥效期为 40～45 d 的长效肥或控释肥料，既可以简化水稻生产过程的肥料管理措施，节约施肥劳动力，又可以获得与传统施用尿素同等水平的产量。因此，水稻施用长效肥料是简化水稻肥料与施肥管理、节约生产成本的有效措施之一。当然，能否在生产实践中普遍施用长效肥或控释肥料，还取决于长效肥或控释肥料的造价是否与尿素的相等。另外，还要考虑水分、肥料用量和品种等因素对一次施肥的效应。

2.3　水分管理对水稻产量的效应

由表 3 可见，各种肥料处理下，常规水作(P)和覆草旱作(M)两种水分管理方式对水稻籽粒产量有显著影响。在尿素处理中，M 处理早稻的产量＞P 处理，而两种控释肥料表现为 P 处理早稻的产量＞M 处理；3 种肥料对晚稻产量的影响均表现为 P 处理的产量＞M 处理，且差异均达显著水平。Urea＋M 处理早稻较 Urea＋P 处理增产 19.4 %，BT＋M 较 BT＋P 减产 5.8 %，AgroBB＋M 较 AgroBB＋P 减产 4.6 %，两种控释肥料间 BT 的减产率较大；晚稻 Urea、BT、AgroBB 各肥料 M 处理较相应 P 处理的减产率分别是 17.6 %，21.5 %和 12.1 %，其中 BT 的减产率最大。综合上述可知，除早稻尿素处理

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

外,常规水作处理的产量均明显大于覆草旱作处理,覆草旱作处理在晚稻上的减产率明显大于早稻。控释肥料BT和AgroBB在早、晚稻水作的效果优于旱作,在旱作下晚稻的效果优于早稻,两种控释肥料间AgroBB的效果优于BT。

表3 肥料和水分管理对早晚两季水稻籽粒产量的影响

Table 3 Effect of fertilizer and mulching on grain yield of both 1st and 2nd rice

季别 Season	处理 Treatments		平均产量/(kg·hm⁻²) Average yield	SE	P和M间差异 Diff between P and M (Sig)
早稻 1st Rice	尿素 Urea	P	6 503	112	0.000 0
		M	7 766	112	
	芭田包膜肥 BT	P	7 376	116	0.019 1
		M	6 917	116	
	控释肥 AgroBB	P	7 261	72	0.001 9
		M	6 928	72	
晚稻 2nd rice	尿素 Urea	P	5 682	118	0.000 019 7
		M	4 682	118	
	芭田包膜肥 BT	P	5 772	98	0.000 000 1
		M	4 530	98	
	控释肥 AgroBB	P	5 226	51	0.000 000 2
		M	4 592	51	

注:常规水作(P)和覆草旱作(M)间采用多因素方差分析统计,结果表明Sig均<0.05,差异达显著水平。

Note:Sig was smaller than 0.05 and indicated significant difference between P and M by use of GLM Multivariate Analysis.

2.4 肥料用量对水稻产量的效应

由表4可知,无论是早稻还是晚稻,3种肥料的高量(HD)和低量(LD)处理间水稻籽粒产量均有显著差异,并一致表现为LD处理的产量显著大于HD。早稻、晚稻LD处理的产量较HD分别高4.6%~7.2%和7.1%~9.7%。而且早晚稻尿素处理LD的增产率最大,BT和AgroBB的无显著差异。由此可见,无论是施用尿素,按照基肥施用40%、分蘖初期施用30%、分蘖末期施用30% 3次施肥方式,还是控释肥料以基肥一次施入,每公顷施用225 kg纯氮的水稻籽粒产量反而较每公顷施用150 kg纯氮的低。即每公顷施用150 kg纯氮较高量处理(每公顷施用225 kg纯氮),既节约了30%的氮素,又增加了5%~10%的籽粒产量。因此,在本试验条件下,无论是常规水作还是覆草旱作,丰华占和粤香占每公顷的适宜纯氮用量为150 kg。

表4 肥料施用量对早晚两季水稻籽粒产量的影响

Table 4 Effect of fertilization dosage on grain yield of both 1st and 2nd rice

季别 Season	处理 Treatments		产量/(kg·hm⁻²) Yield	SE	HD和LD间差异 Diff between HD and LD (Sig)
早稻 1st rice	尿素 Urea	HD	6 887	112	0.025
		LD	7 382	142	
	芭田包膜肥 BT	HD	6 961	116	0.027
		LD	7 362	116	
	控释肥 AgroBB	HD	6 936	72	0.007
		LD	7 253	72	
晚稻 2nd rice	尿素 Urea	HD	4 942	118	0.011 2
		LD	5 122	118	
	芭田包膜肥 BT	HD	4 962	98	0.014 6
		LD	5 340	98	
	控释肥 AgroBB	HD	4 740	51	0.000 3
		LD	5 078	51	

注:肥料用量间采用多因素方差分析统计,结果表明Sig均<0.05,差异达显著水平。

Note:Sig was smaller than 0.05 and indicated significant difference between HD and LD by use of GLM Multivariate Analysis.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.5 品种差异对水稻产量的效应

由表 5 可见，无论是早稻还是晚稻，在 3 种肥料处理中，丰华占和粤香占两个品种间的水稻籽粒产量均无统计上的差异。从水稻籽粒产量看，施用尿素时，早晚稻丰华占的产量略大于粤香占，早稻丰华占较粤香占增产 0.77%，晚稻增产 0.70%。在早稻两种控释肥料处理中，丰华占较粤香占减产，BT 处理减产 1.8%，AgroBB 减产 6.2%；而晚稻 BT 处理丰华占较粤香占减产 4.7%，AgroBB 处理的却增产 0.5%。因此，无论是早稻还是晚稻，分次施用尿素均有利于丰华占产量的提高。两个水稻品种对控释肥料的响应与其生长季节有关，在温度由低向高的早稻生长过程中，粤香占的反映较好，而在温度由高向低的晚稻中，丰华占对控释肥料的响应有所好转，特别是在 AgroBB 处理中，丰华占的产量还略高于粤香占。

表 5 不同品种对早晚两季水稻籽粒产量的影响

Table 5 Effect of varieties on grain yield of both 1st and 2nd rice

季别 Season	处理 Treatments		产量/(kg·hm^{-2}) Yield	*SE*	FHZ 和 YXZ 间差异 Diff between FHZ and YXZ (Sig)
早稻 1st rice	尿素 Urea	FHZ	7 162	142	0.790 1
		YXZ	7 107	142	
	芭田包膜肥 BT	FHZ	7 098	116	0.449 8
		YXZ	7 226	116	
	控释肥 AgroBB	FHZ	6 866	72	0.000 4
		YXZ	7 323	72	
晚稻 2nd rice	尿素 Urea	FHZ	5 200	118	0.833
		YXZ	5 164	118	
	芭田包膜肥 BT	FHZ	5 027	98	0.091
		YXZ	5 275	98	
	控释肥 AgroBB	FHZ	4 921	51	0.734
		YXZ	4 897	51	

注：品种间采用多因素方差分析统计，结果表明 Sig 均>0.05，差异不显著。

Note: Sig was bigger than 0.05 and indicated no significant difference between FHZ and YXZ by use of GLM Multivariate Analysis.

2.6 水肥品种交互作用对水稻产量的效应

虽然表 3，4，5 结果表明，在某一肥料处理下，施肥量、水分管理和品种对水稻籽粒产量的影响不等，但是难于反映肥料施用量、品种、水分之间的联合效应。因此，对施肥量、水分管理和水稻品种 3 个因素两两之间和三者之间的交互作用对水稻产量的影响进行了综合分析，结果见表 6，7。

表 6 施肥量、水分管理和水稻品种交互作用对早稻籽粒产量的影响

Table 6 Effect of synergy function of water, dosage and variety on grain yield of 1st rice

交互项 Items of interaction	肥料种类 Types of fertilizer	平均产量/(kg·hm^{-2}) Average yield	标准误 *SE*	显著性 Sig
水分管理×施肥量 Water management×dosage	尿素 Urea	7 135	201	0.144 9
	芭田包膜肥 BT	7 162	165	0.649 3
	控释肥 AgroBB	7 095	102	0.431 8
水分管理×品种 Water management×variety	尿素 Urea	7 135	201	0.829 1
	芭田包膜肥 BT	7 162	165	0.247 8
	控释肥 AgroBB	7 095	102	0.488 0
施肥量×品种 Dosage×variety	尿素 Urea	7 135	201	0.285 7
	芭田包膜肥 BT	7 162	165	0.189 7
	控释肥 AgroBB	7 095	102	0.263 4
水分管理×施肥量×品种 Water management×dosage×variety	尿素 Urea	7 135	284	0.389 7
	芭田包膜肥 BT	7 162	233	0.899 7
	控释肥 AgroBB	7 095	145	0.012 3

注：多因素方差分析结果，当 Sig<0.05 时，表中交互作用对产量的影响显著，当 Sig>0.05 时，差异不显著。

Note: When Sig was smaller than 0.05, there was significant difference for the item of interaction by use of GLM Multivariate Analysis.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由表6,7可知,除AgroBB处理早稻的水分管理×施肥量×品种,及晚稻的水分管理×施肥量、施肥量×品种的交互作用对水稻产量有显著影响外,其他处理,无论是早稻还是晚稻,三因素两两之间或三因素之间的交互作用对水稻产量均无显著影响。即施肥量、品种和水分管理相互间任何组合均不会产生联合增产效应。据此可以方便的安排肥、水、品种的试验研究,或在生产实践中简化肥、水、品种管理措施。也就是说在生产实践中,可以通过调整单一因素而调节水稻产量。

表7 施肥量、水分管理和水稻品种交互作用对晚稻籽粒产量的影响

Table 7 Effect of synergy function of water, dosage and variety on grain yield of 2nd rice

交互项 Items of interaction	肥料种类 Types of fertilizer	平均产量/(kg·hm^{-2}) Average yield	标准误 *SE*	显著性 Sig
水分管理×施肥量 Water management×dosage	尿素 Urea	5 182	168	0.564 3
	芭田包膜肥 BT	5 151	138	0.300 4
	控释肥 AgroBB	4 909	72	0.000 6
水分管理×品种 Water management×variety	尿素 Urea	5 182	168	0.290 6
	芭田包膜肥 BT	5 151	138	0.310 3
	控释肥 AgroBB	4 909	72	0.890 4
施肥量×品种 Dosage×variety	尿素 Urea	5 182	168	0.496 8
	芭田包膜肥 BT	5 151	138	0.533 4
	控释肥 AgroBB	4 909	72	0.043 4
水分管理×施肥量×品种 Water management×dosage×variety	尿素 Urea	5 182	237	0.676 9
	芭田包膜肥 BT	5 151	195	0.750 3
	控释肥 AgroBB	4 909	102	0.144 2

注:多因素方差分析结果,当Sig<0.05时,表中交互作用对产量的影响显著,当Sig>0.05时,差异不显著。

Note: When Sig was smaller than 0.05, there was significant difference for the item of interaction by use of GLM Multivariate Analysis.

由表6,7还可知,早稻中施肥量、品种、水分管理的交互效应以BT处理最大,Urea处理次之,AgroBB处理的最小;晚稻中Urea处理的最大,BT处理的居中,AgroBB处理的最小。但是并不能因此断定AgroBB处理的交互作用最小,而事实上各处理间的交互作用无统计上的差异。因为要判断肥料与品种、水分管理的交互作用优劣,还要看其标准误(*SE*)的大小。从表6,7中肥料用量、品种、水分管理三者的交互效应中3个肥料处理的产量和*SE*看,早稻AgroBB处理各交互作用的产量分别较Urea和BT只减少了0.56%和0.94%,但是AgroBB各交互作用的*SE*比Urea和BT分别减少了48.9%和37.8%;晚稻的相应数据是5.27%,4.70%和57.0%,47.7%。由此可知,在分次施用尿素和一次施用BT肥料处理中,虽然施肥量、水分管理、水稻品种的交互作用略大于AgroBB处理,但是无统计上的差异。然而,AgroBB处理的*SE*远小于Urea和BT处理,表明施用尿素和BT肥料的稳产性很差,而AgroBB处理具有稳产的效果。所以,AgroBB在各种肥水品种组合下有利于发挥肥料的互作效应。

3 讨 论

施肥量、水分管理和品种是农业生产的3大要素。据文献报道[14],肥料在我国粮食生产中的贡献率高达40%~50%,品种、农药等的贡献也高达50%以上。长期以来良种、良法一直是粮食作物高产优质的保障。但是由于生产实践中粮食生产者往往注重产量,特别是自2004年以来,国家粮食提价以后,在原本施肥量已经很高的基础上,农民还大量盲目地施用肥料,使施肥量更高。在一般情况下,追加施肥量可以提高粮食产量,但是当土壤肥力已经很高,施肥量过大时再维持高水平施肥量或进一步增加施肥量可能造成减产。此外,大量施肥还会带来诸如地下水、地表水硝酸盐含量过高,N_2O排放加剧全球增温效应(GWP)等环境问题。因此,从环境保护、高产优质、低成本(农民增收)3个方面综合考虑,急需在农业生产中推荐基于水稻水、肥、良种互作及其产量效应研究为基础的肥水管理措施。

广东是沿海发达地区,自20世纪90年代起其施肥量已经位居全国第三[15,16],目前的施肥量远大于90年代的水平。肥水污染与水稻生产问题已经引

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

起社会各界的关注[17]。在丰华占水稻栽培中农民仍然习惯于采用大水大肥的管理措施，因此该品种的配套栽培技术之一就是推荐高量施肥。然而丰华占与粤香占比较，对氮肥的效应究竟如何，尚需要严格的试验结果说明。而这一资料对大面积推广和应用丰华占，对既保障高产，又节约化肥投资，增加农民收入，以及保障环境清洁与农业持续发展等至关重要。结合广东省用肥量大、珠三角地区土壤肥力高等特点，本研究以粤香占为对照品种，对丰华占的水、肥及其交互效应进行了深入的研究，结果表明，早、晚稻丰华占和粤香占均在每公顷施用 150 kg 纯 N 时，籽粒产量显著高于每公顷施用 225 kg 纯 N 的产量，这一结果与该品种推荐的大水大肥的肥料管理措施不符。说明在珠三角地区或在土壤肥力较高的地区，栽培丰华占或粤香占时，减少常规施氮量（225 kg/hm^2）的 1/3，不仅可以大大节约肥料的投入，减轻农民负担，而且少量施肥处理（LD）的产量还高于大量施肥处理（HD）。其可能原因首先在于农学育种家习惯于为最大限度的发挥品种的增产潜力，不惜大水大肥，而在某种程度上可能忽视了品种的养分高效性；其次，在大水大肥条件下，水稻的营养体易于徒长，枝叶繁茂，掩盖了肥料的增产效应。施肥量、水分管理、品种三者的交互作用不明显，表明在生产实践中可以通过调整单一因素而调节水稻产量，从而简化水稻栽培中的肥、水、品种管理措施。

在水分管理上，早稻采用常规淹水处理，在分次施用尿素时反而对籽粒产量不利，而在覆草旱作时产量较高。其可能原因是早稻降雨多，气温低，所以在覆草旱作情况下降雨可以保障水稻的需水，而不淹水有利于土壤温度提升，因此利于水稻生长。晚稻尿素处理表现为常规淹水的产量高，覆草旱作的产量明显小于前者，这可能是由于晚稻季节降雨少，旱作对水稻孕穗和抽穗影响大，造成较大减产。在肥料与施肥管理上，综合早晚稻的试验结果认为，虽然 3 种供试肥料对水稻籽粒产量无显著影响，但是由于尿素的成本低，所以尿素分次施用的方案较理想，在两种控释肥料中 AgroBB 的稳产性能佳，产量变异小。每公顷施用 150 kg 纯 N 的产量优于每公顷施用 225 kg 纯 N 的处理。因此，建议在珠三角地区栽培丰华占，早稻可以采用浅灌和主要利用降雨，并采用稻草覆盖的水分管理措施，每公顷施用 150 kg N（尿素），并以基肥 40%，分蘖初期 30%和分蘖末期 30%的分配原则施肥。晚稻可采用同样的施肥量和分配原则，但建议采用常规水作以获得最大产量。

[参考文献]

[1] 王海滨. 水资源危机和节水型持续农业[J]. 农村经济，1999，(5)：30－33.

[2] 田文苓，崔振才. 水资源可持续利用与工农业可持续发展[J]. 海河水利，1999，(2)：8－10，46.

[3] 沈文华，王中华. 缓解我国水资源危机的若干对策[J]. 北京农学院学报，2000，15(4)：63－68.

[4] 王　辉，曾祥宽，张燕之，等. 水稻旱作在我国发展的前景分析[J]. 农业经济，2001，(11)：36－38.

[5] 黄修桥，高　峰，于宪杰. 节水灌溉与 21 世纪水资源的持续利用[J]. 灌溉排水，2001，20(3)：1－5.

[6] 朱永忠，徐朝辉，周向东. 我国农业水资源可持续发展问题初探[J]. 水利经济，1999，(5)：45－48.

[7] 布　赫，杜润生. 在"21 世纪中国水资源可持续利用战略研讨会"上的讲话[J]. 国土经济，1999，(6)：9－10.

[8] 魏昌林. 中国水资源态势及对策[J]. 中国投资，1999，(10)：18－20.

[9] 刘凤英. 中国水资源可持续利用的研究[J]. 江苏理工大学学报，2001，(1)：36－39.

[10] 金千瑜，欧阳由男. 我国发展节水型稻作的若干问题探讨[J]. 中国稻米，1999，(4)：9－12.

[11] Kirkham M B. Water Use in Crop Production[M]. New York：Food Products Press，1999. 241－264.

[12] 司徒淞，王和洲，张　薇. 中国水稻节水若干问题的探讨与建议[J]. 灌溉排水，2000，19(1)：30－33.

[13] 汪仁官，陈荣昭，译. 现代外国统计学优秀著作译丛：实验设计与分析[M]. 北京：中国统计出版社，1998. 524－543.

[14] 李庆逵，朱兆良，于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌：江西科学技术出版社，1998. 38－51.

[15] 陕西省科学技术协会. 民以食为天[M]. 西安：世界图书出版公司，1997. 260－263.

[16] 樊小林. 陕西省化肥利用现状与提高化肥利用率的关键技术[A]. 中国植物营养与肥料学会，加拿大钾磷研究所. 肥料与农业发展国际学术讨论会论文集[C]. 北京：中国农业科技出版社，1999. 160－168.

[17] Fan X L，Zhang J P，Wu P. Water and nitrogen use efficiency of lowland rice in ground covering rice production system (GCRPS) in South China[J]. J of Plant Nutrition，2002，25(9)：1855－1862.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Yield response of Fenghua Zhan and Yuexiang Zhan to water management and fertilizer and fertilization as well as their interaction

FAN Xiao-lin[1], LIANG Xin-song[1], ZHOU Shao-chuan[2]

(1 *Fertilizer and Balanced Fertilization Research Laboratory, SCAU, Guangzhou, Guangdong 510642, China;*
2 *Rice Research Institute, Academy of Agricultural Science of Guangdong, Guangzhou, Guangdong 510640, China*)

Abstract: Rice grain yield (RGY) response of Fenghua Zhan and Yuexiang Zhan to upland cultivation with rice straw mulching (M), normal lowland cultivation (P), fertilizers (two types of CRF of BT and AgroBB, urea), dosages (high amount, HD, 225 kg N per hm^2 and low amount, LD, 150 kg N per hm^2) and their interaction had been studied by field experiments in both 1st rice and 2nd rice in Guangzhou. Results showed that fertilizers and their dosage had no significant influence on RGY of both 1st and 2nd rice under either M or P condition. RGY of BT and AgroBB with once basal application was the same as that of urea with 3 splitting application. For the 1st rice, RGY of M was more than that of P in urea plots, whereas RGY of P more than of M in both BT and AgroBB treatments. For the 2nd rice, RGY of P was bigger than that of M for all fertilizer treatments. The yield decreased by 17.6%, 21.5% and 12.1% for urea, BT, AgroBB respectively. Yield of BT and AgroBB treatments in P was higher than that in M for both 1st and 2nd rice. Between two CRFs, AgroBB was favorable to stabilize RGY compared to BT. RGY in LD treatment (150 kg N per hm^2) was significantly higher than that of HD (225 kg N per hm^2). RGY of LD treatments was 4.6% to 7.2% higher than that of HD for 1st rice and the corresponding date was 7.1% to 9.7% for 2nd one. Increase rate of RGY in urea plots at LD was the maximum among the three fertilizers and no statistic difference between BT and AgroBB existed, neither did RGY for every treatment between two varieties. There was no significant interaction effect of fertilizers, dosage and varieties and water managements on RGY expect for a few treatments. Among the interaction effect, AgroBB was better than urea and BT. Therefore, less irrigation with rice straw mulching and urea application of 150 kg N per hm^2 splitting as 40% of basal, 30% of topdressing at tillering stage and the other 30% at the end of tillering stage was suggested for 1st rice production in pearl river delta. For the 2nd rice, one could use the same fertilization program except normal paddy water management system at both tillering stage and booting stage.

Key words: water management; dosage; types of fertilizer; variety; interaction; response of rice grain yield

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net