肥料增产贡献率及其对土壤有机质的影响

刘振兴　杨振华*　邱孝煊　刘玉环*
林炎金　庄淑英*　方　红　林增泉

（福建农科院土壤肥料研究所　350013）

摘　要

本文通过十年定位监测，研究了不同施肥结构肥料的效应特点及肥料各组分的增产贡献率，同时也分析了施肥结构与水稻产量和土壤有机质的关系。结果表明不同施肥结构对水稻产量的影响是明显的，其产量总趋势是：MNPK>NPK>MNP，MN>NP，M、N>CK。肥料的增产贡献率为35.4%。施用化肥仍是主要的增产途径，其增产占总增产的70%左右，而有机肥仅占30%。有机肥的增产主要是由于有机肥携入的钾所致，约占80%。氮钾的增产效果相当，氮为44%，且主要是化肥氮的贡献；钾为50%，化肥钾与有机肥钾的功效相当。有机肥氮磷钾一定程度上可代替化肥氮磷钾的增产作用，其代替率分别为N 12%，P 29%，K 53%。因此在有机肥与化肥氮配合施用情况下便可满足总增产中90%以上的增产需求。磷肥的增产效果颇低，甚至造成可能是诱发了某种微量元素（如Zn）紧缺而减产。因此氮磷钾的增产效果是K、N>P。长期施用化肥对土壤有机质的影响不大，主要是增加谷物产出。然而在化肥与有机肥配施情况下，在获得更高的谷物产出的同时，土壤的有机质含量也会有较大的提高，为作物的进一步增产提供土壤的肥力基础。

关键词　施肥结构，肥料，增产贡献率，土壤有机质，水稻

不同施肥结构一方面影响着水稻产量，另一方面影响着土壤肥力的演变矢向与进程。前者是显而易见的，而后者则是缓慢而不易察觉的。从保持和提高土壤肥力的角度看，良好的施肥结构是十分必要的，也是持续农业的基本要求。但要对不同施肥结构作出贴近事实的评价并不是短期内所能圆满达到的，而是需要建立在较长时期的跟踪监测的基础上。近十几年来，我国开展的土壤肥料长期定位试验逐渐增多，在肥料的效应及其对土壤理化特性的影响方面作了大量的研究工作。但从总的化肥配施结构及其各组分对水稻产量的增产贡献率方面的研究尚嫌不足。联合国粮农组织曾从宏观上估算出化肥在农业各项增产措施中的作用占30—50%[1]。本文旨在长期定位试验基础上，对不同施肥结构肥料效应的特点及肥料各组分的

* 福建省南平地区农科所，建阳，354200
本文承林继雄先生斧正，特此致谢。

增产贡献率以及施肥结构与土壤有机质的关系进行研究，以便为施肥决策提供理论依据。

一、材料与方法

试验在红壤性水稻土黄泥田上进行。试验土壤的基础肥力性状为：有机质1.85%，全氮0.12%，全磷0.11%，速效磷26mg/kg，速效钾30mg/kg，pH6.3。试验设八个处理三次重复，小区面积0.02亩。试验的八个处理是①CK，②N，③NP，④NPK，⑤M，⑥MN，⑦MNP，⑧MNPK。每季亩施N 8公斤，P_2O_5 5.5公斤，K_2O 9公斤。有机肥（M）早季亩施紫云英1000公斤，稻草300公斤；晚季亩施稻草300公斤，折每年亩投N3.8公斤，P_2O_5 0.85公斤，K_2O 4公斤。试验连续进行十年。除施肥不同外，其它管理措施均保持一致。

$$肥料的增产贡献率（\%）=\frac{施肥处理最高产量-不施肥处理产量}{施肥处理最高产量}\times 100\%$$

$$某肥料组分的增产贡献率（\%）=\frac{某组分增产量}{各组分增产量之和}\times 100\%$$

肥料组分分成六组：①有机肥、化肥，②化肥N、P、K，③有机肥N、P、K，④有机肥N、化肥N，⑤有机肥P、化肥P，⑥有机肥K、化肥K。因有机肥N、P、K的增产量难于通过试验设计求得，所以本文采用间接法求得，即有机肥N、P、K的增产量＝化肥N、P、K的增产量－与有机肥配施时化肥N、P、K的增产量。假设试验条件下N或P或K的增产效果是一定的，那么在与有机肥配施时化肥N、P、K的增产效果的表观降低量即为有机肥N、P、K的增产量。

$$两组分之间交互作用大小的交互值（\%）=（\frac{两组分配施时的增产量}{两组分分施时的增产量之和}-1）\times 100\%$$

负值表明有负的交互作用，反之亦然。由于有机肥的N、P、K与化肥N、P、K之间营养等效性的差异，所以分别从（MN－N），（MNP－NP）和（MNPK－NPK）三组求出的有机肥的增产效果差异较大，故以三者平均取值。

二、结果与讨论

（一）不同施肥结构对水稻产量的影响

1.总趋势：表1可以看出不同施肥结构对水稻产量的影响是明显的，其十年总产顺序是MNPK＞NPK＞MNP，MN＞NP，M、N＞CK。

长期不施肥（CK）亩产波动在280公斤上下，与施肥区（MNPK）相比其基础肥力贡献率为64.6%，其中晚季较早季高，早季为61.5%，晚季为67.7%。肥料的增产贡献率为35.4%，约占产量的三分之一。

相关分析表明，化肥区（NPK）产量随年份有明显的下降（$r=-0.9725^{**}$，$n=5$），说明化肥的肥效逐年降低。

除有机肥单施（M）外，其余有机肥与化肥配施的处理（MN，MNP，MNPK）肥效也有不同程度的下降。与对照相比有机肥单施（M）的或化肥偏施（N，NP）的增产幅度相对较小，仅达20—25%；而有机肥与化肥配施（MNPK）的或氮磷钾（NPK）平衡施用的增产幅度较大，达40—55%。

表1　水稻产量的变化

Table 1　The changes of the rice yield　　(kg/mu)

处理 Treatment	阶段产量 Every two years' output 81—82	83—84	85—86	87—88	89—90	十年总产 Total output	平均单产 Mean yield	平均增产(%) Mean increased rate	L.S.D. 5%	1%
CK	1190	1023	992	1183	1195	5582	279.1	100	a	A
N	1527	1231	1247	1342	1445	6797	339.9	121.8	b	B
NP	1577	1240	1295	1391	1438	6941	347.1	124.4	c	C
NPK	1814	1709	1664	1575	1565	8327	416.4	149.2	f	F
M	1458	1272	1161	1464	1461	6815	340.8	122.1	b	BC
MN	1690	1594	1536	1490	1573	7884	394.2	141.2	d	DE
MNP	1712	1668	1503	1537	1571	7991	399.6	143.2	e	E
MNPK	1804	1764	1805	1662	1602	8637	431.9	145.7	g	G

施用化肥(MNPK-M)平均可增产32.6%，施用有机肥平均可增产14.6%。因此，从总的增产效果看，施用化肥是主要的增产途径，在肥料的增产（35.4%）中，化肥占69.1%，而有机肥仅占30.9%（见表4）。在化肥单独施用情况下，只有氮（磷）钾的合理配合才能获得较好的增产效果。而欲获得更高的谷物产出则必须配施一定数量的有机肥。

2.氮磷钾与有机肥的交互作用：从试验结果上看（表2），化肥与有机肥之间无正的交

表2　化肥氮磷钾与有机肥的交互作用

Table 2 Interaction between fertilizer N、P、K、and organic manure

项目 Item	计算式 Calculation formula	增产 Increased output (kg/mu)	%	交互作用情况 Comparison of interaction	交互值(%) Interactive effect
N	N-CK	60.7	21.8	N～M:	-6.2
NP	NP-CK	67.9	24.4	MN(41.2)<N(21.8)+M(22.1)	
NPK	NPK-CK	137.2	49.2	NP～M:	-7.1
M	M-CK	61.6	22.1	MNP(43.2)<NP(24.4)+M(22.1)	
MN	MN-CK	115.0	41.2	NPK～M:	-23.3
MNP	MNP-CK	120.4	43.2	MNPK(54.7)<NPK(49.2)+M(22.1)	
MNPK	MNPK-CK	152.7	54.7		
+K	NPK-NP	69.1	24.8	+K～+M:	-30.7
+M	NPM-NP	52.3	18.8	+KM(30.3)<+K(24.8)+M(18.9)	
+MK	NPKM-NP	84.6	30.3		

互作用。这同1990年全国化肥试验网多点多年试验的结果是相似的。氮或氮磷与有机肥配施（N+M，NP+M）的增产效果基本上与其分别施用时的增产效果之和相当或略低。而氮磷钾与有机肥配施（NPK+M）的，与前述相比虽然增加了化肥钾因子，然而其增产效果却反而相对地降低了，仅占其分别施用时增产效果之和的77%，说明有机肥与化肥钾之间具有明

显的负交互作用。其产生的原因在于钾是作物重要的增产因子，化肥钾与有机肥钾在肥效上具有相当程度的营养等效性（来源不同的同种营养元素分别施用时增产作用的相近程度），分别施用时这两种来源不同的钾可产生相似的大幅度的增产。而在两者配施条件下，由于受报酬递减率的制约，其增产效果不可能机械地叠加，必然会有所下降。降低幅度则取决于元素等效性的高低，等效性越高负联应则越大。与此同理，氮、氮磷与有机肥配施之间之所以有较小的负联应是由于这两种肥源中氮磷的等效性较低的缘故。

3.增产贡献率的分解：氮的增产效果（N-CK），化肥氮的平均增产效果为21.8%（表3）。氮肥无论是单独施用还是与有机肥配合施用其增产效果都较明显且相近。每公斤氮素平均可增产6.7—7.6公斤稻谷，说明氮素仍是增产的主要因素之一。

磷的增产效果较低，平均仅为2.7%，而且其增产效果呈逐年下降趋势。前五年每公斤

表3 化肥氮磷钾的增产效果

Table 3 Effect of fertilizer N、P、K on yield

施用方法 Method of application		计算式 Calcuation formula	增产 Increased yield (kg/mu)	%	每公斤增产（kg） Increased output per kg of N、P_2O_5、K_2O
N	单施Seperated	N-CK	60.7	21.8	7.6
	配施Mixed	MN-M	53.4	19.1	6.7
P	单施Seperated	NP-N	7.6	2.7	1.4
	配施Mixed	MNP-MN	5.4	1.9	1.0
K	单施Seperated	NPK-NP	69.1	24.8	7.7
	配施Mixed	MNPK-MNP	32.3	11.5	3.6

P_2O_5增产稻谷8公斤，后五年则仅为3.6公斤，甚至有时造成减产。十年平均每公斤P_2O_5仅增产1.4公斤。磷肥的这种低效应可能与长期施用磷肥造成土壤中磷的过度累积有关。据报道过多的磷可引起锌等微痕量元素有效性的降低[2]。因此长期施磷的土壤上应酌情少施或间季施用。

施用钾肥具有明显的增产效果，增产率可达24.8%，每公斤K_2O平均增产稻谷7.7公斤。其中晚季增产幅度较早季高，晚季为8.5公斤，早季为5.8公斤。

因此从化肥氮磷钾的增产效果上看，总趋势是K、N>P，氮钾的增产效果相当，氮的增产贡献率为44.2%，钾为50.3%。磷的增产效果颇差，其增产贡献率仅为5.5%（表4）。

化肥基础上增施有机肥，化肥氮磷钾的增产效果均有所下降，尤其是以钾下降为明显。N、P、K的增产效果分别从化肥单施的60.7、7.6、69.1kg/mu降为与有机肥配施的53.4、5.4、32.3kg/mu（表3）。说明化肥氮磷钾与有机肥之间具有不同程度的负联应。即说明了化肥氮磷钾的增产作用或多或少地被有机肥携入的氮磷钾所代替，而并非完全叠加性的。代替率分别为N 12%，P 29%，K 53.3%（表4）。

有机肥单施（M）的增产效果之所以不很高，仅为22.1%，是由于有机氮分解速度较

表4　各肥料组分的增产贡献率

Table 4　Contribution of fertilizers to yield increase

项　目 Item	比对照增产 Yield increase ($kg \cdot mu^{-1}$)	增产率 Increase rate (%)	肥料组分增产贡献率 Contribution to yield increase (%)
Org-M	61.6	22.1	31.0
Che-(NPK)	137.2	49.2	69.0
Che-(NPK)+Org-M	152.7	54.7	
Che-N	60.7	21.8	44.2
Che-P	7.6	2.7	5.5
Che-K	69.1	24.8	50.3
Che-(NPK)	137.2	49.1	
Org-N	7.3	2.6	15.7
Org-P	2.2	0.8	4.8
Org-K	36.8	13.2	79.5
Org-M(或 Org-NPK)	61.6	22.1	
有机肥基础上 Organic material as base fertilizer			
Che-N	53.4	19.1	88.0
Org-N	7.3	2.6	12.0
Che-P	5.4	1.9	71.0
Org-P	2.2	0.8	29.0
Che-K	32.3	11.6	46.7
Org-K	36.8	13.2	53.3

注：Org：有机肥；Che：化肥。

慢，供氮不足所致，尤其是在试验的初期几年。而造成22.1%增产的主要原因则是由于有机肥携入的钾的贡献。这一点只要考虑到钾在有机肥中的形态及其可迅速有效化的特点便不难以理解。也可以从有机肥代钾的良好效果中得以说明。在氮磷良足供给而钾素单缺情况下，有机肥（折亩投K_2O 4 kg）的代钾效果可高达增施化学钾肥（K_2O 9 kg）之效果的76%（表2）。正由于有机肥（本试验稻草为主）的强钾弱氮的供肥特点，因此在有机肥基础上增施化学氮肥（M+N）后，水稻产量便有明显的提高，其增产率从有机肥单施的22.1%提高到配施氮肥的41.2%，提高幅度达19.1%，与氮肥单施的（21.8%）效果相当，显示了氮的增产效应。在此基础上再增施磷钾肥（MN+PK），其增产幅度仅再提高13.5%，相当于钾肥配施（NPK）中的钾增产效果的50%。说明了化肥钾与有机肥钾的增产效果确非完全叠加性的，而存在着负的交互作用。综上所述，就有机肥的增产效果而言，主要是由于有机肥携入的钾所致，占总增产率的79.5%。其余20.5%，则为有机氮和有机磷的贡献，其中有机氮

占15.7%，有机磷占4.8%（表4）。

（二）不同施肥结构下的土壤有机质和水稻产量变化关系

从表5可以看出，在施用纯化肥情况下有机质基本上保持相对稳定。与对照相比有机质仅相对提高3.2%左右；而有机肥单施（M）或与化肥配施（MN，MNP，MNPK）的有机质

表5 施肥10年对水稻产量和有机质的影响

Table 5 Influence of fertilization for 10 years on soil organic matter and rice yield

处理 Treatmnnt	CK	N	NP	NPK	M	MN	MNP	MNPK
有机质OM（%）	2.2	2.28	2.26	2.27	2.44	2.67	2.49	2.48
平均值Mean	2.2		2.27		2.44		2.55	
%	100		103.2		111		115.9	
10年总产Total output	5582	6797	6941	8327	6815	7884	7991	8637
平均值Mean (kg/mu)	279		368		340		409	
%	100		131.9		121.9		146.6	

含量则分别提高了0.24%和0.35%，比对照的2.2%相对提高了11%和16%，也比化肥处理的2.27%相对提高了7.5%和12.3%。有机质的增加顺序是MN>MNP、MNPK，M>N，NPK、NP>CK。科诺诺娃的研究表明长期施用化肥情况下，实际上并未发现土壤中有机质含量的增加，而只能稳定在相当低的水平上，而且常常是在原来的水平上[3]。这同我们的研究结果基本上是一致的。这个结果表明该试验土壤在现有特定的气候条件，耕作体制和施肥结构（化肥单施）下，土壤有机质似乎基本上达到了数量上的表观平衡。通过施肥而施入的矿质营养只是提供了比对照产量（279公斤/亩）高出31.9%的谷物产出。而在水稻生产过程中不可避免的土壤有机质的矿化引起的有机质消耗则通过水稻的根系生物量和稻茬的自然归还得以相当程度的补充。因此有机质保持相对稳定，但这并不意味着施用化肥对土壤有机质的品质不产生影响。

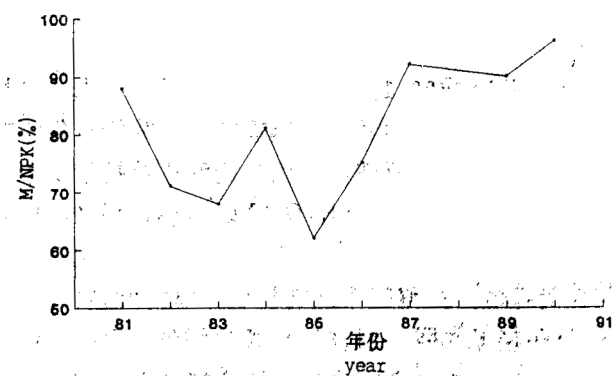

图 有机肥（M）与化肥（NPK）产量比的变化

Fig. Change of the yield ratio between M and NPK treatments

在化肥配施有机肥的情况下，由于增加了外源有机物的输入，破坏了土壤中固有的有机质的低水平的平衡而趋于建立新的平衡。在趋近新的平衡过程中有机物一方面通过矿化作用提供水稻增产所需的更多的营养，另一方面又通过有机物的腐殖化作用积累土壤有机质。因此在获得比化肥单施高出11%的谷物产出的同时，土壤有机质含量也相对提高了11.3%。

有机肥单施从提高土壤有机质的角度，与化肥单施的相比效果要好，但产量

却不如氮磷钾配施的高。从阶段产量上看，试验初期几年里有机肥单施处理产量占化肥区(NPK)产量的百分率较低。除试验的第一年较高(87.8%)外其后五年变幅在60—80%之间，前六年的平均值为74%。而试验的近期几年中其比率有较大的提高，第七到第十年平均为93.1%(如图)，与前六年相比提高了24.6%，同时有机质含量也较化肥区相对增加了7.5%。这个结果引示我们：有机肥单独施用的增产效果具有明显的滞后性，其肥效的大度显现是建立在其自身对土壤的一定程度的肥沃化基础上，而达到这种肥沃度所需的时间又是特定的土壤环境和耕作制度下所寓定的。这也是有机农业的另一佐证：有机肥在农业土壤生态良性循环中具有化肥所不可完美代替的作用。完全肥区（NPK）虽然基本上可以获得较高的产量，但在保持和提高土壤有机质方面显然不及增施有机肥的，这在持续农业中不得不被视为疑虑之一。

综上所述，只有化肥，尤其是氮磷钾完全肥基础上配施有机肥才能在增加产量和提高土壤有机质等方面俱佳齐美，为持续农业打下土壤的肥力基础。

三、结　论

1.长期不施肥黄泥田产量波动在280公斤上下，其基础肥力贡献率为64.6%。长期施用化肥肥效随年份有明显下降。有机肥与化肥配施的增产幅度较大，达40—55%。

2.施用化肥仍是主要的增产途径，在肥料中其增产贡献率为70%左右，有机肥为30%。有机肥增产中主要是有机肥携入的钾所致，占79.5%。

3.氮的净增产效果为21.8%，每公斤氮素可增产7.6公斤稻谷；钾与氮相近，分别为24.8%和7.7公斤；磷则较低，分别仅为2.7%和1.4公斤。氮磷钾的增产贡献率分别为44.2%、5.5%和50.3%。

4.有机肥携入的氮磷钾可在不同程度上取代化肥氮磷钾的增产作用，取代率分别为N 12%，P 29%，K 53.3%。因此就有机肥中氮磷钾的增产贡献率而言，N占15.7%，P 4.8%，K 79.5%。

5.化肥氮磷钾与有机肥配施具有不同程度的负交互作用，其中以钾为明显。这与化肥钾和有机肥钾在肥效上具较高程度的等效性有关。

6.施用化肥对土壤有机质含量的影响不大，而主要体现在增加的谷物产出上。化肥与有机肥配施不但可以获得很高的水稻产量，而且还能较大地提高土壤的有机质含量。有机肥单施的增产效果具有明显的滞后性，首先是培肥土壤，尔后促进增产。

参 考 文 献

[1] 张世贤，1989：中国的农业发展及平衡施肥在农业上的应用。国际平衡施肥学术讨论会论文集，11页。农业出版社。

[2] 彭克明、裴保义，1980：农业化学，161页。农业出版社。

[3] M. M. Кононова，1985：有机质和土壤肥力。土壤学进展，第四期，30-36页。

CONTRIBUTION OF FERTILIZERS TO YIELD INCREASE AND ITS EFFECT ON SOIL ORGANIC MATTER

Liu Zhenxing Qiu Xiaoxuan Lin Yanjin Fang Hong Lin Zhengquan

(*Soil and Fertilizer Institute, Fujian AAS*, 350013)

Yang Zhenhua Liu Yuhuan Zhuang Shuying

(*Nanping Prefectional Institute of Agri. Sci.*, 354200)

Summary

This paper deals with the contribution of fertilizers to yield and the effect of different fertilization system on rice yield through a ten-year field experiment. Results indicated that fertilization system greatly affected rice yield. The general trend was MNPK>NPK>MNP, MN>NP, M,N>CK. Using chemical fertilizer was a major measure for higher output and its contribution accounted for 70% of all the output increased, and other 30% attributed to organic fertilizer. Yield increase from organic fertilizer was mostly attributed to K (80%) carried by organic material. About 44% of yield increase was attributed to N applied, mainly inorganic form. Potassium fertilization contributed to 50% of yield increase, with similar effect from organic and inorganic sources. So the use of organic fertilizer in combination with chemical one might fulfil 90% requirement for higher output. Effect of P fertilizer was rather poor, even it might cause a decrease in yield owing to the stress of some micro-element which may be induced by overuse of P fertilizer. Long-term application of chemical fertilizer had little effect on soil organic matter content, but signiticantly increased output of grains. However when organic fertilizer was used with chemical one, not only a good output might be attained, but an increase in soil organic matter might become possible so as to establish a better foundation for further more output.

Key words Fertilization system, Fertilizer, Yield contribution, Soil organic matter, Rice