

等氮条件下有机无机肥配比对 水稻产量的影响探讨*

刘守龙^{1,2} 童成立¹ 吴金水^{1†} 蒋 平³

(1 中国科学院亚热带农业生态研究所,亚热带农业生态重点实验室,长沙 410125)

(2 华中农业大学资源与环境学院,武汉 430070)

(3 湖南省土肥站,长沙 410005)

摘 要 利用湖南省 9 个稻田生态系统长期定位监测点(1986 年~1999 年)资料,分析了不同施肥制度下稻谷产量和土壤肥力的差异,着重探讨了等氮投入条件下有机无机肥配比对产量和土壤肥力的影响。结果表明:与无肥处理相比较,长期施用化肥的增产率为 115% (早稻)和 68% (晚稻),低量有机肥施用为 128% (早稻)和 79% (晚稻),高量有机肥为 123% (早稻)和 79% (晚稻)。水稻生长期间的矿质养分供应是引起试验期间不同施肥方式下稻谷产量差异的主要原因。对不同处理之间经济产量的差异进行了分析,低量有机肥与化肥处理产量差呈现先增加后降低的趋势,低量有机肥与高量有机肥处理产量差呈逐步降低的趋势。说明等氮投入条件下不同施肥方式对产量影响的差异可能只是试验时间较短情况下出现的暂时现象,随着培肥时间的延长和基础地力的提高,当土壤本身可以提供较多的矿质养分时,施肥方式之间的差异将降低。对土壤肥力变化分析表明,化肥单施在提供速效养分的同时也具有培肥土壤的能力,明显提高了土壤中各养分含量,但其效果低于有机无机肥配施处理。高量有机肥土壤养分含量均高于低量有机肥处理。

关键词 稻田生态系统;产量;土壤肥力;有机无机肥配施;长期定位试验

中图分类号 S14-35 **文献标识码** A

施肥是调控农田系统生产力的重要手段。根据中国科学院生态系统研究网络的总结,在其他条件不变的情况下施肥进步对粮食增产的贡献率在 30%~45% 左右,随各地区气候条件不同各异^[1]。从移耕农业(不施肥)到现代农业稻作生产的施肥进步对产量的贡献使生物量增加 1 倍,稻谷产量增加 83%^[2]。很多长期定位施肥试验的研究结果表明在试验早期施用化肥作物产量明显高于施用厩肥^[3~5],但试验后期(通常为 20 a 后)有机肥处理产量会达到或超过化肥水平,显然化肥施用有利于速效养分的供应而厩肥施用更有利于土壤物理、化学和生物学特性的改善^[6]。有机和无机肥料配施结合了化肥和有机肥二者之长,对提高土地生产力和改善土壤性状均可起到明显的作用^[7~9]。有机无机肥配施的方法和比例不同程度的影响着土壤的肥力性状,如猪粪配施化肥对土壤氮素容量提高的影响略低于秸秆与化肥的配合施用^[10]。此外,国内有些长期定位试验结果表明有机无机肥配施中有机肥养分和无机养分比例对产量具有一定的影响,在有机肥

的比例超过某个界限时作物产量就会降低,在有机无机肥配合施用时应注意适当的比例^[11,12]。这些研究在指出养分投入量等同的情况下有机肥比例增加可能导致土地生产力下降的同时,很少解释其具体的原因。而且这种试验结果仅仅是建立在 20 a 左右的监测时间基础上,并未探讨更长的监测后是否可能产生变化。国外长期定位试验(通常是 50 a 以上),如奥地利 Grossenzersdorf 大麦-黑麦试验、日本 Knosu 水稻试验等,均表明在等养分投入的条件下,有机肥料和无机肥料增产效果十分接近^[6]。这似乎预示着化肥的增产效果在一定时间后可能接近有机无机肥料配施。Dawe 等^[13]总结亚洲 25 个稻田长期定位试验结果,也发现推荐量的化肥施用对水稻与小麦产量的影响与有机无机肥配施之间无显著差异。因此,关于施肥方式对作物产量影响的研究结论存在很多不同之处,值得进一步探讨。本文根据湖南省稻田长期定位监测试验的结果,分析了化肥单施、有机无机肥料配合施用及其比例对水稻产量和土壤养分指标的影响,并根据不同施肥方式间产量差异的时间

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX 3-SW-426)和国家自然科学基金重点项目(40235057)共同资助

† 通讯作者, Tel: 0731-4615224; E-mail: jswu@isa.ac.cn

作者简介:刘守龙(1978~),男,山东成武人,博士研究生,研究方向为区域土壤养分循环与优化管理

收稿日期:2005-09-28;收到修改稿日期:2005-12-12

变化,土壤肥力的差异探讨分析了试验时间延长后不同施肥处理对水稻产量的影响,以期为南方稻田养分的优化管理措施研究提供部分依据。

1 材料与方法

选择位于湖南长沙(CS, Changsha), 宁乡(NX,

Ningxiang), 汉寿(HS, Hanshou), 桃江(TJ, Taojiang)、新化(XH, Xinhua)、临澧(LL, Linli)、南县(Nan, Nanxian)、株洲(ZZ, Zhuzhou)、武冈(WG, Wugang)的国家级稻田肥力长期定位监测点进行。各监测点的土壤类型、气候、主要性质、利用和管理状况列于表1。全部试验均于1986年开始,设计方案一致。其处理设置如下:

表1 监测点气候条件、种植制度、土壤类型及其主要性状

Table 1 Climate, cropping system and soil types and their main properties in various experimental sites

地点 Plots	年均气温 MAT()	年均降水量 MAP(mm)	土壤类型 Soil type	轮作制度 Rotation	pH	有机碳 Organic C (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)
长沙(CS)	16.5	1364	红紫泥(red purple paddy)	玉米-稻	6.52	12.99	1.29	0.56
宁乡(NX)	17.2	1553	河沙泥(river sandy paddy)	玉米-稻	5.20	17.05	1.76	0.56
汉寿(HS)	16.9	1504	黄泥田(yellow paddy)	稻-稻-肥	5.65	17.34	2.01	0.42
株洲(ZZ)	17.6	1525	青泥田(cyan paddy)	稻-稻-麦	6.25	26.86	2.42	0.66
临澧(LL)	16.6	1314	红黄泥(red yellow paddy)	稻-稻-肥	5.65	19.95	2.24	0.55
新化(XH)	17.0	1568	河沙泥(river sandy paddy)	稻-稻-肥	5.20	11.25	0.92	0.60
桃江(TJ)	16.7	1681	黄泥田(yellow paddy)	玉米-稻	6.10	19.37	1.91	0.65
南县(Nan)	16.9	1340	紫潮泥(purple moisture paddy)	稻-稻-油	8.05	26.39	2.72	0.81
武冈(WG)	16.7	1419	青鸭屎泥(duck-feces like paddy)	稻-稻-肥	7.78	23.20	2.51	0.59

注: Note: Rice-maize; Rice-rice-green manure; Rice-rice-wheat; Rice-rice-rape;从1993年起改为 changed to in 1993;土壤理化性状为1986年测定 Soil properties were determined in 1986;MAT: 年均气温 Mean annual temperature; MAP: 年均降水量 Mean annual precipitation

:对照(CK),不施肥料;

:化肥单施(Chemical fertilizer, NPK),采用测土施肥技术,根据监测点土壤NPK供应状况和作物预期需求量确定施用无机N、P、K肥料(表2);

:低量有机肥(Low ratio of manure, L-OM),以NPK处理施N量为标准,有机肥N占施N总量的30%;

:高量有机肥(High ratio of manure, H-OM),以NPK处理施N量为标准,有机肥N占施N总量的

60%。

各监测点所用有机肥为当地农家肥(主要为猪粪),其养分含量在各年份之间可能存在一定差异,测定后决定有机肥施用量。

监测前和每年秋后各处理取耕层混合土样,按常规方法测定有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾和pH值。微生物量氮、磷以熏蒸提取法测定^[14,15]。每季作物收获后,测定生物产量和经济产量,并采取植物样品分析其氮、磷、钾含量。

表2 监测点施肥处理N、P、K投入量

Table 2 N, P and K application rates in different fertilization treatments in various sites(kg hm⁻² a⁻¹)

监测点 Plots	化肥单施 NPK			低量有机肥 L-OM		高量有机肥 H-OM	
	N	P	K	P	K	P	K
长沙(CS)	540	65	314	73	310	93	290
宁乡(NX)	530	30	218	115	310	208	385
汉寿(HS)	300	24	140	27	140	33	145
株洲(ZZ)	540	52	228	78	266	100	328
临澧(LL)	310	45	135	61	177	90	222
新化(XH)	315	24	178	24	173	40	176
桃江(TJ)	510	54	268	110	268	203	274
南县(Nan)	510	51	130	51	130	51	130
武冈(WG)	320	38	136	32	137	43	148

注:表中数据为1986年至2001年平均值,N投入量低量和高量有机肥与化肥单施一致,故未重复列入 Note: data in the table are mean values of the period from 1986~2001, the N inputs of the 3 treatments are the same, thus not listed in the table

2 结果与分析

2.1 施肥方式的产量增益

水稻产量从 1987 年开始测定。1987 年 ~ 1999 年间在不施用任何肥料 (CK) 的情况下早稻平均产量为 $1\ 542 \sim 3\ 217\ \text{kg hm}^{-2}$, 晚稻平均产量高于早稻, 为 $2\ 607 \sim 3\ 858\ \text{kg hm}^{-2}$ (表 3)。说明各监测点基础地力具有较大的差异。化肥单施处理早稻平均产量为 $4\ 231 \sim 5\ 562$

kg hm^{-2} , 晚稻为 $4\ 606 \sim 6\ 545\ \text{kg hm}^{-2}$, 与不施肥相比较, 早稻产量提高幅度在 $52\% \sim 198\%$ 之间, 晚稻增产幅度为 $54\% \sim 79\%$ 。除长沙监测点早稻化肥单施效果高于有机无机肥配合施用外, 其余监测点上有机无机肥配施均进一步提高了水稻产量。各监测点低量有机肥处理早稻产量与对照相比提高幅度为 $74\% \sim 197\%$, 高量有机肥处理提高幅度为 $74\% \sim 185\%$ 。对于晚稻, 低量有机肥产量比对照提高 $51\% \sim 99\%$, 高量有机肥的提高幅度为 $45\% \sim 107\%$ 。

表 3 各监测点不同施肥处理下水稻产量

Table 3 Rice yields of different treatments in the sites (kg hm^{-2})

监测点 Plots	对照 CK		化肥单施 NPK		低量有机肥 L-OM		高量有机肥 H-OM	
	早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻	早稻	晚稻
	Early rice	Late rice	Early rice	Late rice	Early rice	Late rice	Early rice	Late rice
长沙 (CS)	2 039 (334)	3 352 (706)	4 794 (474)	5 999 (938)	4 616 (623)	6 338 (695)	4 607 (539)	6 371 (628)
宁乡 (NX)	2 490 (998)	3 563 (419)	5 353 (845)	6 078 (799)	5 662 (742)	6 554 (1212)	5 588 (617)	6 483 (1060)
汉寿 (HS)	2 459 (709)	3 745 (564)	4 670 (799)	5 778 (832)	5 071 (729)	5 956 (1013)	4 773 (832)	5 702 (765)
株洲 (ZZ)	3 217 (515)	3 658 (676)	4 887 (556)	5 772 (633)	5 644 (731)	6 341 (640)	5 605 (495)	6 545 (562)
临澧 (LL)	2 260 (598)	3 536 (773)	5 079 (609)	5 857 (967)	5 899 (746)	6 706 (903)	5 671 (863)	6 618 (825)
新化 (XH)	2 805 (481)	3 445 (548)	5 562 (544)	6 545 (831)	5 754 (569)	6 620 (640)	5 647 (548)	6 381 (536)
桃江 (TJ)	2 508 (600)	3 858 (586)	4 231 (526)	5 595 (561)	4 374 (705)	5 808 (475)	4 382 (887)	5 609 (420)
南县 (Nan)	1 542 (544)	2 841 (754)	4 592 (615)	4 965 (704)	4 572 (647)	5 031 (552)	4 400 (524)	5 120 (538)
武功 (WG)	1 725 (442)	2 607 (449)	4 440 (679)	4 606 (835)	4 890 (540)	5 176 (735)	4 740 (586)	5 391 (645)

注: 产量数据为 1987 年至 1999 年平均值, 括号内为标准差 Note: The data of crop yield are the mean values of the period between 1987 ~ 1999, and the figures in the parentheses are standard deviations

根据监测点平均结果可以得出, 湖南省稻作区化肥单施对早稻和晚稻的产量增益 (图 1) 分别为 115% (净增产量 $2\ 507\ \text{kg hm}^{-2}$) 和 68% (净增产量 $2\ 288\ \text{kg hm}^{-2}$); 低量有机肥分别为 128% (净增产量 $2\ 826\ \text{kg hm}^{-2}$) 和 79% (净增产量 $2\ 658\ \text{kg hm}^{-2}$); 高量有机肥为 123% (净增产量 $2\ 707\ \text{kg hm}^{-2}$) 和 79% (净增产量 $2\ 624\ \text{kg hm}^{-2}$)。可见湖南地区早稻对施肥的响应幅度远高于晚稻, 其产量的绝对增加量也略高。基础地力对晚稻的作用占总产量的 50% 以上, 而早稻低于 50% 。总体上看, 有机无机肥配施产量略高于化肥单施, 而低量有机肥处理略高于高量有机肥处理。经统计分析, 各施肥处理早晚稻产量均显著高于不施肥处理, 但各施肥处理间差异并不显著。

2.2 不同施肥方式产量差异的年际变化

各监测点平均化肥处理产量在试验期间略低于有机无机肥配施处理。但随时间变化二者产量的差异也发生明显的变化。低量有机肥与化肥处理产量差异呈现先增加后降低的变化趋势 (图 2)。早稻初始时化肥处理产量高于低量有机肥, 但试验第二年这种情况就产生了变化。此后, 二者之间产量差异逐步增加, 直到试验进行到第 6 年后二者产量差异又出现了逐步减小的趋势, 到 1999 年低量有机肥处理产量仍明显高于化肥处理。试验开试时晚稻产量低量有机肥处理略高于化肥单施, 随时间增加差异增大, 直到试验进行 9 ~ 10 a 后二者差异又出现了下降的趋势。

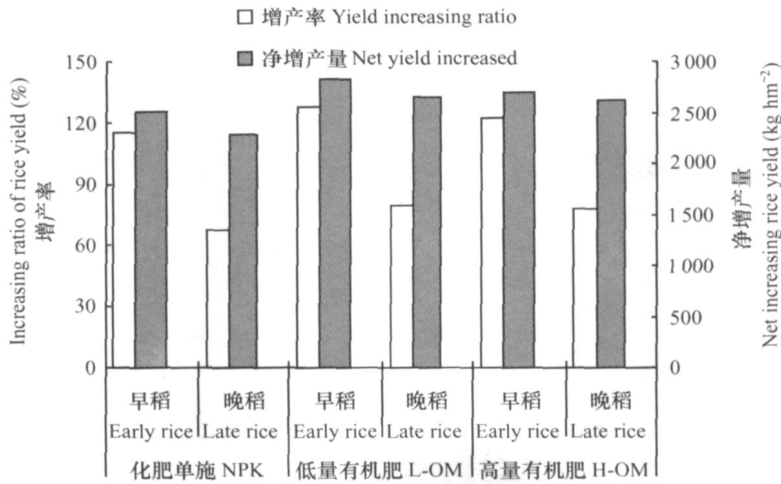


图 1 监测点各施肥处理平均增产率及净增产量

Fig. 1 Mean yield increasing ratio and net yield increments of the treatments in the experiment sites

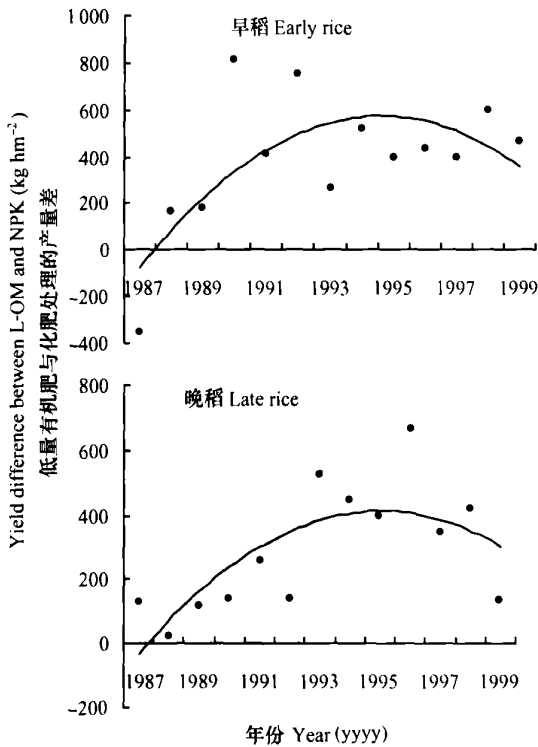


图 2 监测点平均低量有机肥与化肥处理稻谷产量差的变化动态

Fig. 2 Dynamic change in average yield difference between Treatments L-OM and NPK in the experiment sites

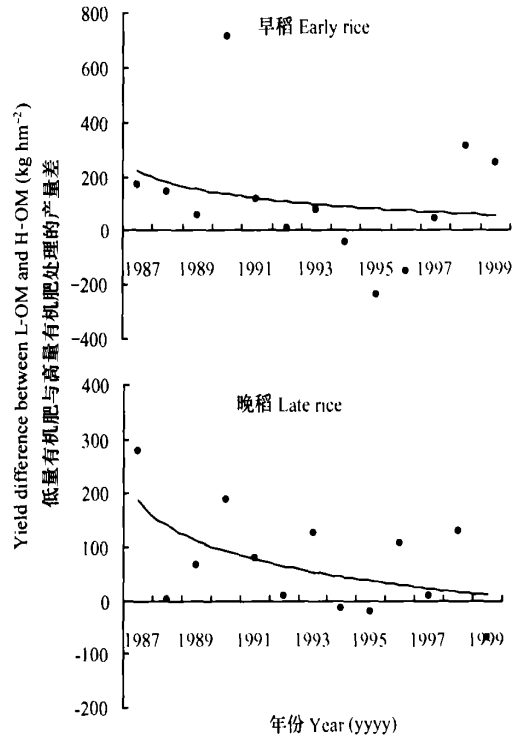


图 3 监测点平均低量有机肥与高量有机肥处理稻谷产量差的变化动态

Fig. 3 Dynamic change in average yield difference between Treatments L-OM and H-OM in the experiment sites

尽管在试验进行的 13 a 中,低量有机肥处理早稻和晚稻平均产量均高于高量有机肥处理。但二者之间差异在年际之间存在一定的波动,部分年份也出现高量有机肥处理高于低量有机肥处理的现象。

由图 3 可见,早稻产量低量有机肥和高量有机肥之间产量差的年际波动并没有明显的规律,降低趋势不明显。晚稻产量二者之间产量差的年际波动规律性明显,产量差呈逐步降低的趋势。

2.3 施肥方式对土壤养分指标的影响

于 1999 年晚稻收割后,采样分析不同施肥方式下土壤全量、速效养分以及微生物生物量氮、磷状况(表 4)。结果表明:与不施肥处理相比较,9 个监测点平均,化肥单施 13 a 中使土壤有机碳、全氮分别提高 8.56%和 8.66%,对全钾作用不明显;速效养分受化肥施用影响较大,各指标提高幅度在 8.08%~127.63%之间;微生物生物量氮、磷提高 20%左右。说明化肥单施同样具有培肥地力的作用。有机无机肥料配施处理对养分的提高作用优于

化肥单施处理,各土壤养分指标提高幅度均在 20%以上,说明试验设置的有机无机肥配施比例范围与单施化肥比较均具有一定的优越性。有机无机肥料配施比例也影响土壤养分状况。高量有机肥处理与低量有机肥处理比较,除全钾含量略低外,有机碳、全氮、全磷分别提高 2.17 g kg⁻¹、0.11 g kg⁻¹、0.12 g kg⁻¹;碱解氮、速效磷、速效钾分别提高 14.8 mg kg⁻¹、13.1 mg kg⁻¹、4.4 mg kg⁻¹;微生物生物量氮、磷略有增加。不同有机无机肥料配施土壤养分的差异表明,高量有机肥施用能够更快的提高土壤肥力。

表 4 不同监测点各施肥处理下土壤养分平均含量

Table 4 Average soil nutrient contents in 4 different fertilization treatments in the experiment sites

处理 Treatments	有机碳 Soil organic C (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	全钾 Total K (g kg ⁻¹)	碱解氮 Available N (mg kg ⁻¹)	微生物生物量氮 Microbial biomass N (mg kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	微生物生物量磷 Microbial biomass P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available P (mg kg ⁻¹)
CK	20.26	1.84	0.51	17.0	104.6	58.9	5.8	11.6	41.8
化肥单施 NPK	22.00	2.00	0.64	17.1	113.0	72.8	13.1	13.7	50.6
低量有机肥 L-OM	24.78	2.23	0.72	17.2	126.7	85.6	20.0	16.3	51.1
高量有机肥 H-OM	26.95	2.34	0.85	17.0	141.5	91.1	33.1	17.0	55.6

3 讨论

中国的长期土壤肥力试验网络主要包括全国化肥试验网(始于 1981 年)、中国科学院生态系统研究网络长期定位试验(1990 年)和国家土壤肥力与施肥效益长期定位监测(1986 年)等。尽管各试验网络施肥处理设置不尽相同,但从结果中仍可以看出,各施肥制度中,化肥与有机肥的配施具有最高的产量,化肥单施产量高于有机肥的单独施用^[1,3,16]。印度长期定位试验(10 a)结果也表明,淋溶土旱地在施用氮肥的同时配合作物秸秆可以提高作物的产量^[17]。本研究长期试验来自于国家土壤肥力与施肥效益长期定位监测,在双季稻作区施肥制度对水稻产量的影响基本与其他地区一致。然而,这些试验均只进行了 20a 左右,相对于很多长期试验来讲只是前期阶段,随着时间的延长有机肥、无机肥、有机无机肥配施处理之间的产量差异是否能继续保持这种趋势仍需验证。而根据近百年或百年以上的长期试验结果,例如 Rothamsted 试验站的 Broadbalk 小麦连作肥料试验(1843 年~)和日本 Konosu 中央农

业试验站水稻施肥试验(1926 年~),有机肥和无机肥之间的产量差异可能随着时间的延长逐渐消失甚至出现有机肥高于无机肥的现象^[6]。这提示我们,在试验时间达到一定长度后有机无机肥料的配施比例对产量的影响差异可能也会减小。

通常,在土壤肥力较低的情况下,单施化肥能够快速提供作物生长所必需的养分;而有机肥中养分释放速率较慢,难以及时补充作物生长需求。这就导致试验初期有机无机肥配施处理作物产量往往不如化肥单施。本研究中各监测点均经过多年耕种,试验开始时就具有较高的肥力(表 1)。因此,其土壤养分缺乏量较小,有机无机肥配施处理中矿质养分和有机养分的释放既能补充土壤养分不足,又具有持久释放的能力,因此从试验开始时其产量就接近或超过化肥单施处理。目前国内外也有很多长期试验涉及到长期施肥条件下不同有机无机肥配施比例对产量的影响,但很少进行了深入的探讨。很多研究者认为有机无机肥配施中并非有机肥所占比例越高越好,而是可能存在最佳比例^[11,12,18,19]。湖南省稻田长期定位试验期间,在氮素投入量基本一致的情况下,高量有机肥处理早稻比低量有机肥产量

低 2.34%, 晚稻低 0.58%, 似乎也存在着这种现象。有机肥施用比例过高导致水稻产量降低的原因主要来自于有机肥比例过高引起肥料中矿质养分含量降低, 同时有机肥比例提高导致投入的碳氮比过高并引起水稻生长早期土壤微生物与水稻争氮, 从而影响氮素的早期供应^[20,21]。但通过土壤养分状况分析(表 4)发现高量有机肥处理可能更快的改善土壤养分状况, 这意味着随试验时间的延长, 高量有机肥与低量有机肥处理间土壤基础肥力差异会逐步增加。在土壤基础肥力差异增加的同时, 二者作物产量的差异也可能发生变化。最终当长期施用高量有机肥使土壤能够提供水稻生长前期所需要的养分时, 二者之间的产量差异将不复存在。这也是国外长期试验后期施用有机肥处理产量可能达到甚至高于化肥处理的原因^[6]。化肥处理矿质养分含量高, 但其后期养分供应能力较低, 因此试验前期产量低于有机无机肥配施处理。根据试验结果, 化肥同样具有培肥地力的作用。随试验时间的延长, 土壤地力的增加, 作物的后期养分供应提高, 其产量也可能逐步达到与有机无机肥配施处理接近的程度。但由于其对土壤基础肥力的改善能力较低, 导致其产量可能略低。

本试验中随试验时间的延长, 有机无机肥配施处理之间的产量差异呈现一定的减小趋势(图 3)。化肥单施处理在试验后期也出现了与低量有机肥处理产量差异降低的趋势(图 2)。这说明随试验时间的延长, 等氮投入条件下不同施肥方式对产量的影响差异将会逐步减小。在目前国内长期定位试验中有机无机肥料配施比例对产量的影响可能只是由于试验时间较短情况下出现的暂时现象。施肥对产量的影响仍主要取决于养分投入量的大小。

4 小 结

湖南省稻田生态系统 13 a 的长期定位试验结果表明, 施用化肥和有机无机肥料配合施用均可大幅度的提高水稻的产量和土壤肥力状况, 施用化肥的产量增益和土壤肥力提高效果均低于有机无机肥料配施。基础地力对晚稻产量发挥着更为重要的作用, 而早稻产量受施肥方式影响较大。低量有机肥处理早稻平均产量比高量有机肥处理高 2.34%, 而晚稻产量差异较小。对不同施肥方式之间产量差异的变化趋势分析, 揭示了在养分投入量一致的情况下, 随着试验时间的延长, 土壤基础地力提高, 不同施肥方式之间的产量差异将逐步减小。

参 考 文 献

- [1] 沈善敏, 殷秀岩, 宇万太, 等. 农业生态系统养分循环再利用作物产量增益的地理分异. 应用生态学报, 1998, 9(4): 379~385. Shen S M, Yin X Y, Yu W T, et al. Geographic differentiation of yield-increase efficiency caused by recycled nutrients in agro-ecosystems (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(4): 379~385
- [2] 谢小立, 周卫军, 王凯荣. 稻田施肥制度进步的产量响应. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 83~85. Xie X L, Zhou W J, Wang K R. Output response to fertilization development in rice cropping (In Chinese). Chinese Journal of Eco-agriculture, 2002, 10(3): 83~85
- [3] 林葆, 林继雄, 李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化. 植物营养与肥料学报, 1994, 1: 6~18. Lin B, Lin J X, Li J K. The changes of crop yield and soil fertility with long-term fertilizer application (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1994, 1: 6~18
- [4] 王绍明. 不同施肥方式下紫色水稻土壤肥力变化规律研究. 农村生态环境, 2000, 16(3): 23~26. Wang S M. relationship between fertilization methods and soil fertility of purplish paddy soil (In Chinese). Rural Eco-environment, 2000, 16(3): 23~26
- [5] Fan T L, Wang S Y, Tang X M, et al. Grain yield and water use in a long-term fertilization trial in Northwest China. Agricultural Water Management, 2005, 76: 36~52
- [6] 沈善敏. 国外的长期肥料试验. 土壤通报, 1984, 2: 85~91. Shen S M. Overseas long-term fertilization experiments (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1984, 2: 85~91
- [7] Zoltán Berzsenyi, B Gy Öffy, DangQuoc Lap. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. European Journal of Agronomy, 2000, 13: 225~244
- [8] 刘秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响. 土壤学报, 2003, 40(4): 618~623. Lao X R, Sun W H, Wang Z, et al. Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(4): 618~623
- [9] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究. 土壤学报, 1996, 33(2): 138~147. Liu X L, Gao Z, Liu C S, et al. Effect of combined application of organic manure and fertilizers on crop yield and soil fertility in a located experiment (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(2): 138~147
- [10] 高亚军, 黄东迈, 朱培立. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对氮素肥力的影响. 土壤学报, 2000, 37(4): 456~463. Gao Y J, Huang D M, Zhu P L. The long-term impact of different management on nitrogen fertility in rice-based cropping system (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(4): 456~463
- [11] 王传雷, 瞿和平, 万一花, 等. 有机无机肥配合施用长期定位试验. 湖北农业科学, 2003, 5: 58~59. Wang C L, Qu H P, Wan Y H, et al. Long-term experiment of combined application of organic and inorganic fertilizer (In Chinese). Hubei Agricultural Sciences,

- 2003, 5: 58 ~ 59
- [12] 郑兰君, 曾广永, 王鹏飞. 有机肥、化肥长期配合施用对水稻产量及土壤养分的影响. 中国农学通报, 2001, 17(3): 48 ~ 50. Zheng L J, Zeng G Y, Wang P F. Impacts of combined application of organic and inorganic fertilizers on rice yield and soil fertility (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2001, 17(3): 48 ~ 50
- [13] Dawe D, Dobermann A, Ladha J K, *et al.* Do organic amendments improve yield trends and profitability in intensive rice systems? Field Crops Research, 2003, 83: 191 ~ 213
- [14] Brookes P C, Landman A, Pruden G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen, a rapid direct extraction method to measure microbial nitrogen in soil. Soil Biol & Biochem., 1985, 17: 827 ~ 842
- [15] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biol & Biochem., 1982, 14: 319 ~ 329
- [16] 周卫军, 王凯荣, 张光远. 红壤稻田系统有机物循环再利用潜力及增产作用. 长江流域资源与环境, 2002, 11(2): 141 ~ 144. Zhou W J, Wang K R, Zhang G Y. Potential and yield-increase effect caused by organic matters recycling in red paddy system (In Chinese). Resources and Environment in Yangtze Basin, 2002, 11(2): 141 ~ 144
- [17] Sharma K L, Uttam Kumar Mandal, Srinivas K, *et al.* Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. Soil & Tillage Research, 2005, 83: 246 ~ 259
- [18] 宋永林, 袁锋明, 姚造华. 北京褐潮土长期施肥条件下对冬小麦产量及产量变化趋势影响的定位研究. 北京农业科学, 2001, 1: 29 ~ 32. Song Y L, Yuan F M, Yao Z H. Long-term fertilization effects on yield and yield changing trend of winter wheat in purple moisture soil, Beijing (In Chinese). Beijing Agricultural Sciences, 2001, 1: 29 ~ 32
- [19] Yadav R L, Dvivedi B S, Prasad K, *et al.* Yield trends, and changes in soil organic-C and available NPK in a long-term rice-wheat system under integrated use of manures and fertilizers. Field Crops Research, 2000, 68: 219 ~ 246
- [20] 李俊良, 韩琅丰, 江荣凤, 等. 碳、氮比对有机肥料氮素释放和植物吸氮的影响. 北京农业大学学报, 1996, 1(5): 57 ~ 62. Li J L, Han L F, Jiang R F, *et al.* Effects of C/N on the release of nitrogen from organic manures and of nitrogen absorbed by plant (In Chinese). Journal of China Agricultural University, 1996, 1(5): 57 ~ 62
- [21] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 等. 不同碳源物质对土壤无机氮生物固定的影响. 河北农业科学, 2004, 8(1): 6 ~ 9. Tang Y X, Meng C X, Jia S L, *et al.* Effects of different organic substance on biological fixation in soil (In Chinese). Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2004, 8(1): 6 ~ 9

EFFECT OF RATIO OF ORGANIC MANURE/ CHEMICAL FERTILIZER IN FERTILIZATION ON RICE YIELD UNDER THE SAME N CONDITION

Liu Shoulong^{1,2} Tong Chengli¹ Wu Jinshui^{1†} Jiang Ping³

(1 Key Laboratory of Subtropical Agronomy, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

(2 College of Resource and Environment, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China)

(3 The Soil and Fertilizer Station of Hunan Province, Changsha 410005, China)

Abstract Based on the data obtained from 9 long-term field experiments (1986 ~ 1999) in Hunan Province, difference in rice yield and soil fertility between paddy fields under different fertilization patterns was analyzed, with emphasis on effect of ratio of organic manure/ chemical fertilizer on rice yield and soil fertility under the same N input condition. Results show that: based on averages over 13 years, Treatment NPK was 115.43% (early rice) and 68.20% (late rice), Treatment L-OM, 128.45% (early rice) and 79.26% (late rice), and Treatment H-OM, 122.87% (early rice) and 78.66% (late rice) higher than CK in yield. Mineral nutrients supply in the rice growth period is the key factor that leads to difference in rice production between different treatments. Compared with CK, Treatment NPK was obviously higher in soil nutrient content, indicating that chemical fertilizer does not only supply mineral nutrients to the crop, but also improve soil fertility. Treatment H-OM was higher than Treatment L-OM in soil nutrient content, suggesting that a high proportion of organic manure in fertilization has better effect on improvement of soil fertility. During the early monitoring period, the difference between Treatments L-OM and NPK in yield was widening, and then narrowing in the last few years. The difference between Treatment L-OM and H-OM always showed a narrowing trend, especially for late rice. All these suggest that yield difference varying with organic-inorganic fertilizer ratio is a temporary phenomenon and with the time going by and improvement of soil fertility, this difference will become narrower and narrower and even disappear.

Key words Rice cultivation ecosystem; Rice yield; Soil fertility; Combined application of organic and inorganic fertilizer; Long-term experiments