

不同肥料结构对水稻群体干物质生产及养分吸收分配的影响

杨长明^{1,2}, 杨林章², 颜廷梅², 欧阳竹¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 大田试验研究结果表明: 单施化肥的水稻植株干物质积累和养分吸收主要集中于生长中前期。而有机无机肥配施, 特别是化肥与厩肥配合施用有利于水稻植株在中后期, 尤其是灌浆期对养分吸收和干物质的积累, 其中以植株对磷的吸收比例在各肥料结构间差异最大($p < 0.01$)。有机无机肥配施还可促进水稻植株养分向籽粒中转移和分配。从而明显增加了水稻结实率和千粒重, 进而大大提高了水稻籽粒产量($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。

关键词: 水稻; 肥料结构; 干物质生产; 养分吸收和分配

中图分类号: S511.062

文献标识码: A

文章编号: 0564-3945(2004)02-0199-04

近年来, 国内外关于施肥种类(有机肥和无机肥)对土壤养分和作物生长的影响作了大量研究。许多研究结果表明, 性质不同的养分输入对农田生态系统的影响是不同的, 有机肥或有机、无机肥配合施用可以有效改善土壤 N、P、K 等养分元素的平衡状况, 并明显增加土壤有机质含量和养分的有效性, 从而提高了土壤肥力和生态系统生产力^[1~5, 10~14]。但是, 过去的研究多着重于不同施肥方式对土壤理化性质、土壤肥力、土壤养分平衡及作物产量影响等方面, 而关于不同养分输入, 特别是不同有机肥配施对作物干物质积累和养分吸收动态研究较少^[6~9, 15]。本研究试图通过设置不同有机肥和无机肥的配比试验, 重点探讨不同养分处理对水稻干物质生产和养分吸收、分配动态的影响, 旨在为进一步揭示不同养分处理对作物产量形成的影响机制, 为优化稻田养分管理处理、提高作物生产力提供理论依据。

1 试验区自然概况与研究方法

1.1 自然概况

试验于 1999–2000 年在中国科学院常熟农业生态实验站进行, 该站地处太湖流域, 属亚热带中部湿润季风气候, 年平均气温 15.5℃, 最高气温 39.1℃, 最低气温 -11.3℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的有效积温 4933.7℃, 年降雨量 1038mm, 试验地土壤类型为竖头乌栅土, 有机质含量 33.8g kg⁻¹; 全 N 1.85g kg⁻¹; 有效 P 14.26 mg kg⁻¹; 交换性 K 93.8 mg kg⁻¹。

1.2 研究方法

本次试验设置 4 种处理: iv. 单施无机肥(CF): N、P、K 施用量分别为 250kg hm⁻² (N), 60kg hm⁻² (P₂O₅) 和 80kg hm⁻² (K₂O); ㊟ 无机肥+ 秸秆(CS) (N、P、K 养分总量同 iv); ㊠ 无机肥+ 厩肥(CM) (N、P、K 养分总量同 iv); ㊡ 对照(CK)。处理 ㊟和 ㊠中秸秆和厩肥分别为 2500 kg hm⁻² 和 1500 kg hm⁻², 测定其 N、P、K 养分含量, 并折合成相应的无机肥用量, 再用化肥补足, 直至 N、P、K 养分总施入量同处理 iv。磷肥和有机肥作基肥一次施入, 氮肥和钾肥分别作基肥、分蘖肥和穗肥, 分 3 次施入, 比例为 5: 3: 2。每处理设 5 次重复, 共 20 小区, 小区面积为 30m², 采用随机区组排列。

1.3 测定项目及方法

干物质重测定: 分别于分蘖期、孕穗期、抽穗期和灌浆期每小区取样 5 株(蔸), 按茎、叶和穗(孕穗期后)分开, 烘干称重;

植株养分含量测定: 植株各器官样品采用 H₂SO₄ - H₂O₂ 消化, 全氮用凯氏定氮法; 全磷含量采用钒钼黄比色法; 全钾含量用火焰光度计法。

2 结果与分析

2.1 不同肥料结构对水稻群体干物质积累的影响

试验证明, 水稻产量高低主要决定于抽穗至成熟期光合生产能力, 抽穗后生产的干物质愈多, 产量也就愈高。图 1 为不同肥料结构下水稻植株干物质积累随

收稿日期: 2003-01-05

基金项目: 国家重点基础研究发展项目“973”(G1999011802) 和中国科学院创新工程方向性项目(KZCX2-413)

作者简介: 杨长明(1973-), 男, 安徽巢湖人, 博士, 主要从事农业和土壤生态系统结构、功能的演变规律和调控机制方面的研究。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

生育期变化曲线。从图 1 可明显看出,各处理下的水

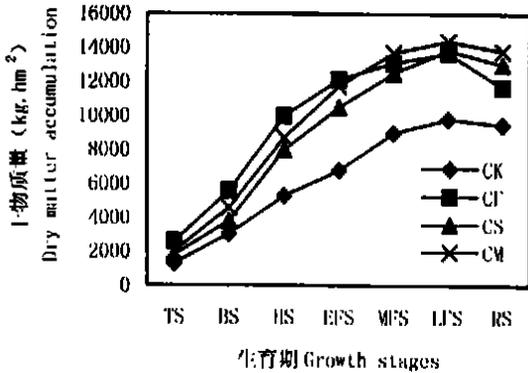


图 1 不同肥料结构下水稻植株干物质积累变化

Fig. 1 Accumulation of rice dry matter under different nutrient treatments
TS 分蘖期 T illering stage, BS 孕穗期 Booting stage, HS 抽穗期 Heading stage, EFS 灌浆初期 Early filling stage, MFS 灌浆盛期 Middle filling stage, LFS 灌浆末期 Latter filling stage. CM 和 CS 化肥与厩肥或秸秆配施 Combined application of farm yard manure or wheat straw, CF 单施化肥, Chemical fertilizers, CK 对照 Control.

下同 The same as below.

稻植株干物质质量随生育进程皆呈现先增后减的变化趋势,但通过比较发现,不同肥料结构间水稻植株干物质积累特征存在明显差异($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。在水稻生育前期(分蘖-孕穗),单施化肥(CF)的水稻植株干物质积累量明显高于有机无机配施(CS 和 CM)的水稻。随着水稻生育期的推进,在抽穗后,单施化肥的

表 1 不同肥料结构下水稻植株 N、P、K 含量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 1 The amount of NPK in different nutrient treatments

| 肥料结构 Treatment | N | | | P_2O_5 | | | K_2O | | |
|-------------------|-----------|------------|-----------|------------------------|------------|-----------|----------------------|------------|-----------|
| | 孕穗期 BS | 齐穗期 FHS | 灌浆期 FS | 孕穗期 BS | 齐穗期 FHS | 灌浆期 FS | 孕穗期 BS | 齐穗期 FHS | 灌浆期 FS |
| CM | 91.4 | 130.1 | 145.5 | 18.5 | 31.3 | 37.8 | 90.2 | 144.8 | 146.9 |
| CS | 84.2 | 116.2 | 137.6 | 16.1 | 27.1 | 33.1 | 92.7 | 152.5 | 155.5 |
| CF | 96.3 | 112.4 | 130.5 | 22.7 | 28.7 | 31.7 | 111.5 | 131.1 | 130.1 |
| CK | 57.3 | 78.1 | 98.3 | 14.5 | 18.4 | 22.4 | 77.8 | 103.3 | 104.3 |

BS 孕穗期 Booting stage, FHS 齐穗期 Full heading stage, FS 灌浆期 Filling stage. 下同 The same as follow

2.3 水稻不同生育期 N、P、K 积累比例

表 2 为不同肥料结构下各生育期水稻植株 N、P、K 积累比例,从表 2 中可明显看出,不同肥料结构间水稻各生育期植株 N、P、K 积累比例有明显不同($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。由于水稻生育前期单施化肥(CF)土壤有效养分较高,使得在孕穗前单施化肥(CF)的水稻植株 N、P、K 积累比例要明显高于有机无机肥配施的水稻($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。厩肥+化肥(CM)的肥料结构下水

水稻植株干物质积累速率趋于平缓,而有机肥与化肥配施的水稻植株干物质积累速率明显加快,以至于有机肥与化肥配施的水稻分别在抽穗(CM)或灌浆(CS)前后其干物质总量就超过了单施化肥(CF)的水稻。在灌浆期,有机无机肥配合施用的水稻植株干物质质量较单施化肥(CF)平均高 21.3% (CM) 和 15.8% (CS) ($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。另外,有机无机肥配施的水稻植株干物质质量在生育后期下降的幅度和速率也明显低于单施化肥(CF)的水稻($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。相比较而言,厩肥与化肥配施对水稻生育中后期植株干物质积累的提高作用要优于秸秆+化肥的肥料结构。

2.2 不同肥料结构对水稻植株 N、P、K 含量变化的影响

单位土地面积孕穗前水稻地上部 N、P、K 含量均以单施化肥的处理为最高(见表 1),而孕穗后,随着水稻生育进程,有机无机肥配施的水稻植株 N、P、K 含量增加较快,而且,在灌浆期,有机无机肥配施的水稻植株也保持较高的 N、P、K 含量。厩肥+化肥(CM)和秸秆+化肥(CS)的肥料结构分别在齐穗期和灌浆期,水稻植株单位面积 N、P、K 含量均超过了单施化肥的水稻。厩肥与化肥配施(CM)肥料结构对水稻植株中后期 N、P 含量的增加效应要明显大于秸秆+化肥(CS)的肥料结构。而对提高植株钾的含量来说,秸秆+化肥(CS)的肥料结构又优于厩肥与化肥配施(CM)肥料结构,这可能是作物秸秆在水稻生育中后期矿化作用最大,释放更多的钾的缘故。

稻植株 N、P、K 积累主要集中于孕穗~齐穗期,而秸秆+化肥(CS)的肥料结构下水稻植株 N、P、K 积累主要集中于齐穗~成熟期,说明有机无机配施,可明显提高水稻中后期,特别是灌浆期植株对养分的吸收和积累。特别是不同肥料结构间水稻植株对磷的吸收比例差异最为明显($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$),水稻植株总吸 P 量差异不显著,但在不同生育期分配特征有显著差异。单施化肥(CF)的土壤,水稻对 P 的吸收集中于生育前期,孕穗

前植株吸 P 量占全生育期 P 吸收量就高达 65.8%, 而生长中后期 P 积累量较少; 化肥与秸秆配施(CS)的水稻植株在生育前、中期 P 积累量皆较少, 到灌浆初期吸 P 量才有所回升; 化肥+ 厩肥(CM)的肥料结构下, 水稻植

株吸 P 量主要集中于生育中后期, 孕穗- 灌浆期吸 P 量占总吸 P 量的 62.5%, 并且吸 P 高峰期在抽穗- 灌浆期, 这对于维持水稻生育中后期较高的光合速率和籽粒形成提供了养分基础。

表 2 不同生育期水稻植株 N、P、K 积累比例(%)

Table 2 The accumulation percentage of NPK at different growth stages

| 肥料结构 Nutrient Treatments | N | | | P ₂ O ₅ | | | K ₂ O | | |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 孕穗前 Before BS | 孕穗- 齐穗 From BS to FHS | 齐穗- 成熟 From FHS to RS | 孕穗前 Before BS | 孕穗- 齐穗 From BS to FHS | 齐穗- 成熟 From FHS to RS | 孕穗前 Before BS | 孕穗- 齐穗 From BS to FHS | 齐穗- 成熟 From FHS to RS |
| CM | 63.78 | 19.45 | 16.77 | 42.78 | 39.64 | 17.58 | 75.34 | 18.15 | 6.51 |
| CS | 60.85 | 18.45 | 20.70 | 41.38 | 37.67 | 20.95 | 71.25 | 20.21 | 8.54 |
| CF | 70.13 | 17.44 | 12.43 | 71.47 | 19.47 | 9.06 | 89.04 | 12.47 | - 1.51 |
| CK | 68.55 | 19.28 | 12.19 | 46.25 | 41.04 | 12.71 | 87.15 | 12.23 | 0.62 |

2.4 N、P、K 在水稻植株各器官中的分配

在成熟期对水稻植株不同器官 N、P、K 含量进行了测定(图 2)。从图 2 可见, 在成熟期, 各肥料结构下

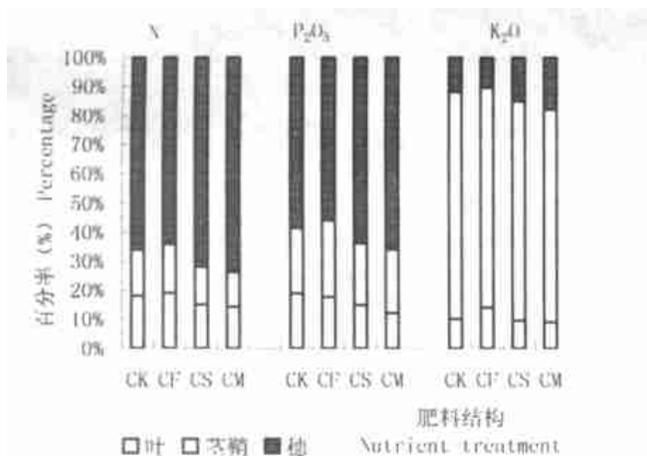


图 2 成熟期 N、P、K 在水稻植株各器官的分配

Fig. 2 Distribution of NPK in rice plant at ripening stage

水稻植株穗部 N、P 含量较高, 茎叶残留量低; 穗部钾

含量较低, 大部分仍残留在茎叶中。通过比较不难发现, 有机无机肥配施的水稻植株 N、P、K 在穗部的分配比例明显高于单施化肥(CF)的处理。厩肥+ 化肥(CM)和秸秆+ 化肥(CM)处理的肥料结构下水稻植株穗部含氮比例较单施化肥(CF)分别高 11.1% 和 8.28%, 含磷比例较单施化肥(CF)分别高 13.4% 和 9.78% ($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$), 说明有机无机肥配施, 特别是厩肥与化肥配合施用(CM)可以促进水稻植株养分向穗和籽粒中转移和分配。

2.5 不同肥料结构对水稻产量及其构成因素的影响

表 3 为不同肥料结构下稻谷产量及构成因素比较, 经方差分析, 结果表明, 有机无机肥配施(CS 和 CM)的水稻稻谷产量均高于单施化肥(CF)的处理($p < 0.05$)。秸秆+ 化肥(CS)和厩肥+ 化肥(CM)配施下水稻产量比单施化肥(CF)分别高 11.6% 和 14.7%。厩肥与化肥配合施用与单施化肥的稻谷产量差异达到极显著水平($p < 0.01$), 较秸秆与化肥的模式也高 4.8%, 但未达到显著水平($p < 0.05$)。

表 3 不同肥料结构下水稻产量及其构成因素比较

Table 3 Comparison of yield components and yield of rice under different nutrient treatments

| 肥料结构 Nutrient treatments | 有效穗数 Effective panicle (10^4 hm^{-2}) | 每穗实粒数 No. full grain (粒) panicle ⁻¹ | 结实率 Full grain (%) | 千粒重 1000 grains weight (g) | 产量 Grain yield (kg hm^{-2}) |
|--------------------------------|---|--|--------------------------|----------------------------------|--|
| CF | 119.7 | 138.4 | 74.2 | 24.95 | 7243.2 |
| CS | 132.7* | 141.7 | 83.1** | 26.23** | 8082.9* |
| CM | 138.7* | 142.9 | 84.5** | 27.14** | 8307.8** |
| CK | 102.3 | 113.4 | 75.7 | 23.26 | 6131.1 |

* , * * 分别表示差异达到 0.05 和 0.01 的显著水平

从产量构成因素来看(表 3), 单位面积有效穗数

以有机无机肥配施多于单施化肥的处理, 但差异不甚

显著($p < 0.05$)。每穗实粒数以厩肥与化肥配施的配施处理最高, 秸秆+ 化肥(CS)和厩肥+ 化肥(CM)的配施处理较单施化肥分别高 6.7% 和 13.9%, 但除厩肥+ 化肥(CM)与单施化肥(CF)之间差异达到显著水平外, 其余均未达到显著水平($p < 0.05$)。肥料结构 CS 和 CM 的水稻结实率和千粒重也明显高于肥料结构 CF, 而且差异均达到极显著水平($p < 0.01$), 这可能是由于有机与无机肥配施的水稻在生长发育中后期有较多的物质转移到籽粒之中的缘故。同时也说明有机-无机肥料配施的施肥结构有明显增产效果的主要因素是结实率和粒重的增加。

3 结语

不同施肥结构对水稻植株群体干物质积累和养分吸收有显著的影响, 研究表明, 有机无机肥配施, 特别是化肥与厩肥配合施用可明显提高水稻中后期, 尤其是灌浆期植株对养分的吸收和积累, 促进水稻植株养分向穗和籽粒中转移和分配。从而明显增加了水稻结实率和千粒重, 进而大大提高了水稻籽粒产量。

参考文献:

- [1] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机-无机肥料配施的增产效益及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 138-147.
- [2] 任祖金, 陈玉水, 唐福钦, 等. 优化肥料结构促进稻田土壤生态良性循环[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 548-554.
- [3] 周伯瑜, 杨子江. 论有机肥料在农业生态系统中的地位和作用[J]. 生态学杂志, 1992, 11(3): 53-55.

- [4] 杨林章, 刘元昌, 徐琪, 等. 施肥对水稻产量和稻田土壤理化性质的影响[J]. 生态学杂志, 1989, 8(3): 39-43.
- [5] 王奎波, 余美炎, 申秀珍. 有机无机肥配施对小麦氮素吸收及土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 1994, (3): 109-111, 114.
- [6] 张鸿程, 皇甫湘荣, 宝德俊, 等. 冬小麦地上部器官氮磷钾的积累分配和运转的研究[J]. 土壤通报, 2000, (4): 177-179.
- [7] 杜承林, 祝斌, 覃海斌, 等. 复石灰水稻土的生产能力与水稻的养分吸收[J]. 土壤, 2001, (3).
- [8] 郑剑英, 吴瑞俊, 翟连宁. 坡耕地长期施肥对作物产量及吸 N、P 量的影响[J]. 水土保持研究, 1996, (2): 3-17.
- [9] 沈维良, 周广成, 刘朝武. 氮肥运筹方式对冬小麦群体结构及产量的影响[J]. 土壤, 2000, (5).
- [10] I R Richards, I D Turner, P A Wallace. Manure and fertilizers contributions to soil mineral nitrogen and the yield of forage maize [J]. Nutrient cycling in Agroecosystems, 1999, 55: 175-185.
- [11] Mappaona, Shigekata Yashida, Makoto Kitou. Yield response of cabbage to several tropical green manure legumes incorporated into soil. Soil Sci. plant nutr., 1994, 40(3): 415-424.
- [12] Muhammad SharifZia, Muhammad Munsif, Muhammad Aslam, et al. Integrated use of organic manures and inorganic fertilizers for the cultivation of low land rice in Pakistan[J]. Soil sci. plant nutr., 1992, 38(2): 331-338.
- [13] Sharma M P, Bali S V, Gupta D K. Soil fertility and productivity of rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticumaestivum*) cropping system in an Inceptisol as influenced by integrated nutrient management [J]. Indian Journal of Agronomy, 2001, 71(2): 82-86.
- [14] Dobermann A, Witt C, Dawe D, et al. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia[J]. Field Crops Research, 2002, 74(1): 37-66.
- [15] Shaik M ohammad, Mohammad S. Long-term effects of fertilizers and integrated nutrient supply systems inintensive cropping on soil fertility, nutrient uptake and yield of rice[J]. The Journal of Agricultural Science, 1999, 133(4): 365-370.

Effects of Nutrient Regimes on Dry Matter Production and Nutrient Uptake and Distribution by Rice Plant

YANG Chang-ming^{1,2}, YANG Lin-zhang², YAN Ting-mei², OUYANG Zhu¹

(1. Institute of Geography Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101;

2. Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008)

Abstract: A field experiment indicated that the major proportion of dry matter(DMC) and nutrient were accumulated and absorbed by rice plant at early-middle of growth stages by exclusively chemical fertilizers(CF), while the combined applications of chemical fertilizers with organic sources, especially farm yard manure(FYM) could markedly increase the proportion of dry matter production and P and K uptake in the middle-later of growth stages, especially in the filling stage. In addition, the combined applications of chemical fertilizers with the organic sources, facilitated the allocation and transfer of nutrient elements, especially P to rice ears and grains, which resulted in significant increase in the proportion of full grain, 1000 grains weight and grain yield.

Key words: Rice; Nutrient regimes; Dry matter production; Nutrient uptake and distribution