

有机无机肥配施对杂交水稻干物质生产、养分吸收及产量形成的影响

秦建权 冯跃华* 叶勇 李香玲 李杰 王旭 雷义 杨远志 王贵焜

(贵州大学农学院, 贵阳 550025; 第一作者: guzujqqin@163.com; * 通讯作者: fengyuehua2006@126.com)

摘 要: 增施有机肥、减少化学肥料的施用是减少环境污染和水稻可持续生产的重要途径。为探明有机肥和无机肥配施对水稻产量形成的影响机制, 本研究以杂交稻中优 808 为材料, 比较了不施肥(T1)、纯化学肥料(T2)、等养分条件下 53% 无机化肥 N 配合施用 47% 有机肥 N(T3)、86% 无机化肥 N 配合施用 14% 有机肥 N(T4) 4 种处理间的水稻产量和养分吸收差异情况。结果表明, T3、T4 处理比 T1 处理显著增产; 等养分条件下, T3、T4 处理与 T2 处理间的产量差异不显著, 其中 T4 处理的产量略高于 T2。与 T2 处理相比, T4、T3 处理的单位面积穗数和每穗粒数分别增加 6.08%、6.76% 和 7.76%、7.27%, 单位面积颖花数显著增加 14.63% 和 14.69%, 但结实率和千粒重差异不显著; 同时 T3、T4 处理的叶面积指数高于 T2 处理, 提高了粒叶比, 源库关系较协调, 促进了后期干物质生产和养分的吸收与积累, 从而增加了水稻产量。

关键词: 杂交水稻; 有机肥; 无机肥; 养分吸收; 产量

中图分类号: S511.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)03-0059-04

水稻(*Oryza Sativa* L.)是人类最重要的粮食作物, 随着世界人口的膨胀和非洲及拉丁美洲食用水稻的人口增加, 世界上约有 50% 的人口以稻米为主食^[1]。据预测^[2-3], 到 2025 年, 世界粮食产量需增加 50% 才能基本满足人口日益增长的需求。因此, 为适应世界人口的增长和保障粮食安全, 进一步提高水稻的产量显得日趋迫切且具有挑战性, 而提高水稻产量的主要途径是扩大种植面积和提高水稻的单产。朱德峰等^[4]研究表明, 在过去的几十年中, 水稻总产增长中面积增长的贡献率为 27%, 单产提高的贡献率为 73%; 在单产增产中, 更多的依赖于化学肥料的大量施用, 而长期大量施用化肥会导致土壤肥力退化、肥料损失严重且污染环境^[5]。如何协调水稻生产中高产与环境友好的关系是栽培学家和生态学家研究的重点。

氮肥管理是水稻栽培中增产效益最显著的技术, 对提高水稻单产发挥着重要作用。我国水稻氮肥消费量高达 570 万 t, 位居世界第一, 占我国氮肥总消费量的 24%, 占世界水稻氮肥消费总量的 37%, 单季水稻氮肥用量平均为 180 kg/hm² (苏湖地区平均达 375 kg/hm²), 比世界稻田氮肥单位面积用量高 35% 左右^[6], 而氮肥的吸收利用率和农学利用率均低于世界平均水平, 氮肥利用率仅为 30%~35%, 比发达国家低 15~20 个百分点^[6]。不合理的氮肥投入已成为制约水稻生产的重要限制因素。氮肥的过量施用一方面使氮素的利用

率大幅度下降; 另一方面, 没有被作物吸收利用的过量氮素进入水体、大气, 造成严重的面源污染, 对其他温室气体 CH₄、CO₂ 的释放也造成重要影响^[7-8]。通过配施有机肥, 不仅能够改善土壤养分平衡和有效性、土壤物理性状、增加土壤有机质含量、降低土壤容重、增加土壤孔隙度和降低化肥损失率, 对培肥和提高生态系统生产力起着关键作用, 而且在提高作物产量和改善作物品质方面也有重要作用^[9-10]。孟琳等^[11]研究指出, 有机氮肥与化学氮肥配施比单一施用化学氮肥能够获得更高或持平的稻谷产量, 并且能够有效提高氮肥利用率。目前, 关于有机肥和无机肥配施对土壤理化性状和水稻产量的影响虽有一定的报道, 但对水稻养分的吸收、干物质形成与积累及产量形成的影响研究较少。为此, 本试验在等养分条件下, 研究了有机无机肥配施对水稻干物质积累、养分吸收及产量形成的影响, 旨在探明

收稿日期: 2016-09-17

基金项目: 国家自然科学基金(31360311, 31160263); 公益性行业(农业)科研专项经费项目子项(201503118-03); 贵州省农业科技攻关项目(黔科合 NY[2011]3085 号、黔科合 NY[2013]3005 号); 贵州省作物学省级重点学科建设计划(黔学位合字 ZDXK[2014]8 号); 贵州省普通高等学校粮油作物遗传改良与生理生态特色重点实验室项目(黔教合 KY 字[2015]333)

有机肥与无机肥配施对水稻产量形成的影响机制,以期为水稻的可持续生产、减少肥料损失和合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

以中优 808 为试验材料,整个大田试验于 2015 年在贵州省绥阳县风华镇银堡村 (27°55′59″N, 107°05′14″E, H= 865 m) 进行;试验地耕层土壤 pH 值 5.65、有机质含量为 2.90 g/kg、碱解氮 153.59 mg/kg、速效磷 34.70 mg/kg、速效钾 244.01 mg/kg、全氮 2.25 g/kg、全磷 0.93 g/kg、全钾 23.53 g/kg。试验采用随机区组设计,共设 4 个处理:T1,不施肥;T2,施纯化肥,按氮 150 kg/hm²、P₂O₅ 96 kg/hm²、K₂O 135 kg/hm² 进行施肥;T3,有机无机肥配施(与 T2 处理等养分),有机肥采用厩肥(含氮 0.31%、含磷 0.17%、含钾 0.22%),施用量为 22 500 kg/hm²,养分不足部分用化肥补足,施用量为 N 80.25 kg/hm²、P₂O₅ 8.40 kg/hm²、K₂O 75.30 kg/hm²;T4,有机无机肥配施(与 T2 处理等养分),有机肥采用商品有机肥(含氮 2.79%、含磷 0.79%、含钾 1.16%),施用量为 750 kg/hm²,养分不足部分用化肥补足,施用量为 N 129.30 kg/hm²、P₂O₅ 82.43 kg/hm²、K₂O 124.52 kg/hm²。有机肥和磷肥全部作基肥施用,氮肥按基肥:分蘖肥:促花肥:保花肥=7:4:6:3 施用,钾肥按基肥和促花肥各 50%施用。

大田试验于 4 月 5 日播种,5 月 27 日移栽,8 月 15 日抽穗,10 月 2 日成熟;移栽规格 16.7 cm×30.0 cm,每个小区面积 21 m²,3 次重复,分小区单排单灌,田埂用塑料薄膜覆盖,大田自移栽起保持田面 3~5 cm 水层,成熟前 7 d 断水,自然落干。其他田间管理和病虫害防治同高产栽培。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 群体干物质积累量和叶面积指数

分别在抽穗期和成熟期取样,每小区取生长均匀并有代表性的植株 6 丛,在抽穗期,将样品分成叶、茎鞘、穗 3 部分,用长×宽系数法测定叶面积;在成熟期,将样品分成茎鞘、叶、枝梗、实粒、秕粒 5 部分;105℃杀青 30 min,80℃烘干到恒重后称重,然后计算群体地上部干物质积累量^[12]。

1.2.2 粒叶比

采用颖花数/叶面积、实粒数/叶面积、粒重/叶面积 3 种形式表示^[12]。

1.2.3 产量与产量构成

于成熟期,每个小区取中心 5 m² 作为测产小区,人工脱粒,晒干风选称重,称取 3 个 50 g 实粒,采用烘干法测定水分含量,然后以 13.5% 的水分含量来计算稻谷产量。在测产取样的同时,取代表性植株 6 丛带回室内考种,测定有效分蘖数,确定单位面积有效穗数,然后剪去根,将样品分成稻草和穗子,穗子采用手工脱粒,脱粒后通过水选法将实粒和空粒分开,经晒干后,称实粒和空粒总质量,然后从实粒和空粒中分别称取 3 个 30 g 小样,数每个小样的粒数,确定每穗粒数和结实率,然后于 70℃烘干 5 d 直到质量稳定,冷却至恒温然后称干质量,用来考查籽粒千粒重^[12-13]。

1.2.4 植株的养分吸收量

采用扩散法测定植株全氮含量,全磷用钼锑抗比色法测定,全钾用火焰光度法进行测定,结合干物质量计算单位面积植株养分吸收量^[14]。

1.2.5 数据处理

数据用 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 产量和产量构成

由表 1 可以看出,施肥处理(T2、T3、T4)的产量均显著高于不施肥处理(T1),其中以 T4 处理的产量最高,其次为 T2 和 T3 处理,T2、T3、T4 处理间产量差异不显著。从产量构成因素来看,单位面积有效穗数 T2、T3、T4 处理显著高于 T1 处理,其中以 T3 处理最高,与 T2 处理相比,T3 和 T4 处理分别增加 6.76% 和 6.08%,但是 T2、T3、T4 处理间差异不显著;每穗粒数以 T4 处理最高,其次分别为 T3、T2 和 T1 处理,与 T2 处理相比,T4 和 T3 处理分别提高了 7.76% 和 7.27%,但是各处理间差异也不显著;单位面积颖花数表现为 T3>T4>T2>T1,其中 T3 和 T4 处理均显著高于 T2 和 T1 处理,与 T2 处理相比,T3 和 T4 处理分别提高了 14.69% 和 14.63%;结实率以 T1 处理最高,其次分别为 T3、T2 和 T4 处理,但各处理间差异不显著;千粒重各处理间差异也不显著,以 T2 处理相对较高。由此可见,在水稻生产中,相对于施用纯化学肥料,有机肥与无机肥配施可以提高单位面积有效穗数和每穗粒数,导致单位面积颖花数显著提高。此外,由于有机肥的肥效时间长,结实率和千粒重不会因单位面积颖花数的增加显著降低,最终实现了水稻产量稳产或略有增加。

2.2 干物质积累、收获指数与作物增长率

由表 2 可以看出,在抽穗期,干物质积累量 T1 处

表 1 不同施肥处理对水稻产量及产量构成因素的影响

处理	有效穗数 (10 ⁴ /hm ²)	每穗粒数 (粒)	单位面积颖花数 (10 ³ /hm ²)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (t/hm ²)
T1	143.3 b	245.2 a	3.51 c	75.9 a	26.0 a	7.34 b
T2	164.4 a	254.5 a	4.17 b	73.8 a	27.1 a	9.28 a
T3	175.6 a	273.0 a	4.78 a	75.3 a	26.5 a	8.68 a
T4	174.4 a	274.2 a	4.78 a	71.3 a	25.9 a	9.41 a

同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

表 2 不同处理对干物质积累量、收获指数和生长速率的影响

处理	干物质积累量(g/m ²)		收获指数 (%)	作物生长率 (g/[m ² ·d])
	抽穗期	成熟期		
T1	1 187.1 b	1 404.5 c	51.5 a	3.75 b
T2	1 441.1 a	1 626.1 b	51.2 a	4.92 ab
T3	1 431.6 a	1 817.8 a	52.5 a	6.66 a
T4	1 372.4 a	1 741.0 ab	50.7 a	6.35 a

作物生长率指抽穗期至成熟期的生长速率。

表 3 不同处理对水稻叶面积指数和粒叶比的影响

处理	叶面积指数	颖花/叶 (朵/cm ²)	实粒/叶 (粒/cm ²)	粒重/叶 (mg/cm ²)
T1	3.74 b	1.00 a	0.76 a	19.9 a
T2	5.69 a	0.81 a	0.60 a	16.1 a
T3	6.16 a	0.89 a	0.67 a	17.7 a
T4	6.00 a	0.92 a	0.65 a	16.9 a

表 4 不同处理对水稻养分氮、磷、钾吸收的影响

处理	(kg/hm ²)		
	氮	磷	钾
T1	109.6 b	32.4 a	153.0 b
T2	145.5 a	35.6 a	194.9 a
T3	149.4 a	45.0 a	208.7 a
T4	168.7 a	41.3 a	187.7 ab

理显著低于其他处理,T2、T3 和 T4 处理间差异不显著;在成熟期,干物质积累量 T1 处理显著低于其他处理,T3 处理显著高于 T2 和 T1 处理,T4 和 T2 处理间差异不显著,与 T2 处理相比,T3 和 T4 处理分别增加 11.79%和 7.06%;收获指数各处理间差异不显著,T3 处理高于其他处理;抽穗期至成熟期的生长速率以 T3 处理最高,其次为 T4 和 T2 处理,T1 处理最小,其中 T3、T4 处理与 T1 处理间达显著差异。与 T2 处理相比,T3 和 T4 处理分别增加 35.37%和 29.07%。由此可以看出,虽然在抽穗前干物质的积累在各处理间的差异不大,但是在抽穗后有机肥无机肥配施处理促进了后期水稻的生长,显著增加了水稻群体后期的干物质积累量,这可能是有机肥无机肥配施增加水稻产量的主要原因之一。

2.3 叶面积指数与粒叶比

叶面积指数反映了水稻群体截获光能的能力,粒

叶比是衡量水稻源库关系是否协调的一个重要指标。由表 3 可以看出,叶面积指数以 T3 处理最高,其次为 T4 和 T2 处理,T1 处理最小,与干物质积累趋势一致,其中,T1 处理显著低于 T2、T3 和 T4 处理,T2、T3、T4 处理间差异不显著;从粒叶比来看,无论颖花/叶、实粒/叶还是粒重/叶,各处理间差异均不显著,由于 T1 处理的叶面积指数显著小于其他处理,T1 处理的粒叶比各参数均高于其他处理;与 T2 处理相比,T3 和 T4 处理的粒叶比均大于 T2 处理。由此可见,有机肥无机肥配施不仅可以提高叶面积指数,而且能很好的协调水稻群体的源库关系。

2.4 养分吸收积累量

由表 4 可以看出,T1 处理的氮、磷和钾吸收量均低于其他处理,其中氮和钾吸收量与其他处理间的差异达显著水平;T3 处理的氮、磷、钾吸收量大于 T2 处理,T4 处理氮和磷的吸收量也大于 T2 处理,但是 T2、T3、T4 处理间氮、磷、钾的吸收量无显著差异。由此可见,有机肥无机肥配施在一定程度上能够促进水稻植株对氮、磷和钾的吸收。

3 小结与讨论

长期大量施用化学肥料易造成土壤退化、肥料损失,并且会造成严重的水体污染等环境问题,而单施有机肥易造成当季水稻产量减产。有机肥无机肥配施是减轻化学肥料污染和增加水稻产量的重要途径,在水稻生产中已成为一种发展趋势^[15-17]。本研究结果表明,施用肥料的处理产量显著高于不施用任何肥料的处理,相对于纯施化学肥料的 T2 处理,有机肥无机肥配施的 T3 和 T4 处理水稻产量没有显著降低,T4 处理产量反而高于 T2 处理,增产的主要原因是有机肥无机肥配施处理能够增加单位面积有效穗数和每穗粒数,从而显著提高单位面积的颖花数,而结实率和千粒重不会显著降低;同时 T3 和 T4 处理能适当增加叶面积指数,提高粒叶比,协调源库关系,促进水稻抽穗至成熟期的物质生产,增加后期干物质积累量,这可能与有机

肥养分释放较慢、肥效长有关。同时有机肥无机肥配施有利于促进水稻植株养分向籽粒中转移和分配,从而提高水稻籽粒产量。此外,有机肥无机肥配施能够促进水稻对氮、磷和钾养分的吸收,主要可能是有机肥无机肥配施中有机肥易被微生物利用,刺激了土壤微生物的活动,从而增强了植株的养分吸收能力。

在水稻实际生产中,长期大量施用化肥和单施有机肥均不是解决水稻高产和环境保护的途径,充分利用无机肥的速效性和有机肥的持久性特点,通过有机肥无机肥配合施用的施肥技术,不仅能够改良土壤理化性状,提高土壤肥力,而且在水稻高产、稳产、优质和高效方面具有重要的作用。

参考文献

- [1] Ismail A M, Singh U S, Singh S, et al. The contribution of submergence-tolerant (*Sub1*) rice varieties to food security in flood-prone rainfed lowland areas in Asia[J]. *Field Crop Res*, 2013, 152:83-93.
- [2] Wassmann R, Jagadish S V K, Heuer S, et al. Climate change affecting rice production: the physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies[J]. *Adv Agron*, 2009, 101:59-122.
- [3] Wassmann R, Jagadish S V K, Sumfleth K, et al. Regional vulnerability of rice production in Asia to climate change impacts and scope for adaptation[J]. *Adv Agron*, 2009, 102: 91-133.
- [4] 朱德峰,程式华,张玉屏,等. 全球水稻生产现状与制约因素分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(3):474-479.
- [5] 黄英金,徐正进. 对超级稻研究中几个问题的思考[J]. 农业科技导报, 2004, 6(5):3-7.
- [6] Yang Jianchang, Du Yong, Wu Changfu, et al. Growth and development characteristics of super high yielding mid-season japonica rice [J]. *Front Agric China*, 2007, 1(2): 166-174.
- [7] 张民,史衍玺,杨守祥. 控制和缓释肥的现状与进展[J]. 化肥工业, 2001, 28(5):27-31.
- [8] Council for Agriculture Science and Technology. Preparing US agriculture for global climate change [R]. *Task Force Report Ames, Iowa*, 1992: 119.
- [9] 杨玉爱. 我国有机肥料研究及展望 [J]. 土壤学报, 1996, 33(4): 414-422.
- [10] 沈善敏. 国外的长期肥料试验[J]. 土壤通报, 1984 (2):85-91.
- [11] 孟琳,张小莉,蒋小芳,等. 有机肥料氮替代部分化肥氮对稻谷产量的影响及替代率[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2):532-542.
- [12] 冯跃华,邹应斌, Roland J, 等. 免耕移栽对两系杂交水稻两优培九若干群体特征的影响[J]. 中国水稻科学, 2011, 25 (1):65-70.
- [13] Qin Jianquan, Impa S M, Tang Qiyuan, et al. Integrated nutrient, water and other agronomic options to enhance rice grain yield and N use efficiency in double-season rice crop [J]. *Field Crop Res*, 2013, 148: 15-23.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000:308-315.
- [15] 刘守龙,童成立,吴金水,等. 等氮条件下有机无机肥配比对水稻产量的影响探讨[J]. 土壤学报, 2007, 44 (1):106-112.
- [16] 劳秀荣,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[J]. 土壤学报, 2003, 40(4):618-623.
- [17] 周卫军,王凯荣,张光远. 有机无机结合施肥对红壤稻田土壤氮素供应和水稻生产的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(5):914-921.

Effects of Combined Inorganic-organic Fertilizer on Dry Matter Production, Nutrient Absorption and Yield Formation in Hybrid Rice

QIN Jianquan, FENG Yuehua*, YE Yong, LI Xiangling, LI Jie, WANG Xu, LEI Yi, YANG Yuanzhi, WANG Guikun

(College of Agronomy, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 1st author: gzujqqin@163.com; *Corresponding author: fengyuehua2006@126.com)

Abstract: Increasing organic fertilizer and reducing the application of chemical fertilizer is an important approach for reducing environmental pollution and rice sustainable production. Aiming to ascertain the mechanism of combined inorganic-organic fertilizer on rice yield formation, an experiment was conducted to study the yield and nutrient absorption of a hybrid rice variety ‘Zhongyou 808’ under four different fertilization treatments. The results showed that, the yield of combined inorganic-organic fertilizer treatment (T3 and T4) were significantly higher than that of no fertilizer treatment (T1), there were no significant difference among T4, T3 and T2 treatment, and the yield of T4 treatment was higher than that of the chemical fertilizer treatment (T2). Compared to T2 treatment, the effective panicles per unit area and total grains of T4 and T3 treatment were increased by 6.08%, 6.76%, 7.76% and 7.27%, the spikelet number per unit were significantly increased by 14.63% and 14.69%. There were no significant difference in seed setting rate and 1000-grain weight among different treatments. The leaf area index of T3 and T4 treatment were higher than that of T2 treatment, which improved the grain-leaf ratio, the coordination of source-sink, the dry matter production, nutrient absorption and utilization at late growth stage, thus increased the rice yields.

Key words: hybrid rice; organic fertilizer; chemical fertilizer; nutrient absorption; yield