

轻简化施肥方式对水稻长势、产量及其构成因素的影响

杨佳佳¹, 张宏², 章哲¹, 章日亮¹, 马嘉伟^{3,*}

1. 兰溪市耕地质量与肥料推广中心, 浙江 兰溪, 321100

2. 金华市生态环境局兰溪分局, 浙江 兰溪, 321100

3. 浙江农林大学, 茶学与茶文化学院, 浙江 临安, 311300

摘要: 轻简化施肥(如缓控释肥应用、机械测深施肥等)是水稻种植生产中的一项技术革新。为明确其对水稻生产的实际影响,本研究通过田间试验,设置轻简化施肥与传统常规施肥对照处理,系统分析轻简化施肥对水稻长势、产量及其构成因素的作用效果。结果表明,侧深施肥处理水稻产量高于常规浅施,其中化肥侧深施用(T2)处理水稻产量较化肥浅施(T1)高8.5%,缓控释肥侧深施用(T3)处理水稻产量较缓控释肥浅施(T4)高13.7%。在侧深施肥方式下,T3处理水稻产量达到最高,较T2处理高9.6%。综上,在相同施肥方式下,使用减量缓控释肥仍可维持甚至提高水稻产量,表明缓控释肥结合侧深施肥是实现化肥减量增效的有效途径。

关键词: 水稻; 轻简化施肥方式; 产量; 产量构成因素

Effects of Light-and-Simplified Fertilization Practices on Rice Growth Performance, Yield, and Its Components

Jiajia Yang¹, Hong Zhang², Zhe Zhang¹, Riliang Zhang¹, Jiawe Ma^{3,*}

1. Lanxi Cultivated Land Quality and Fertilizer Extension Center, Lanxi, Zhejiang 321100, China

2. Zhang Hong, Lanxi Branch of Jinhua Ecological Environment Bureau, Lanxi, Zhejiang 321100, China

3. School of Tea Science and Tea Culture, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China

Abstract: Light-and-simplified fertilization, such as the application of slow/controlled-release fertilizers and mechanical deep placement, represents a technological innovation in rice cultivation. To clarify its actual impact on rice production, this study conducted field experiments comparing light-and-simplified fertilization with traditional conventional fertilization, systematically analyzing the effects of light-and-simplified fertilization on rice growth, yield, and its components. The results showed that the rice yield under side-deep fertilization was higher than that under conventional shallow fertilization. Specifically, the yield of the chemical fertilizer side-deep placement treatment (T2) was 8.5% higher than that of the chemical fertilizer shallow placement treatment (T1), while the yield of the slow/controlled-release fertilizer side-deep placement treatment (T3) was 13.7% higher than that of the slow/controlled-release fertilizer shallow placement treatment (T4). Under the side-deep fertilization method, the T3 treatment achieved the highest yield, which was 9.6% higher than that of the T2 treatment. In conclusion, under the same fertilization method, the use of reduced amounts of slow/controlled-release fertilizers can maintain or even increase rice yield, indicating that the combination of slow/controlled-release fertilizers with side-deep fertilization is an effective approach to achieving fertilizer reduction and efficiency enhancement.

Keywords: Rice; Light-and-simplified fertilization practices; Yield; Yield components

水稻是我国主要的粮食作物之一,施肥管理是水稻高产栽培的核心环节。传统水稻施肥方式存

在施肥次数多、劳动力投入大、肥料利用率低等问题，难以适应现代农业规模化与机械化发展需求^[1]。轻简化施肥通过优化施肥工艺与肥料类型，如机械侧深施肥、缓控释肥应用等，实现了施肥环节的省工、节本与增效，是水稻施肥技术的重要革新方向^[2]。缓控释肥作为新型肥料，在提高肥料利用率及作物产量方面有显著作用^[3]。该类肥料通过包膜或基质调控技术，使养分释放曲线与水稻需肥规律更趋一致，可减少氮素挥发和淋溶损失^[4]。有关研究发现，与传统施肥相比，机械侧深施肥可显著提高水稻产量，其原因在于肥料被精准输送至根系密集区，缩短了养分运输距离，促进了根系吸收^[5]。

在侧深施肥条件下，适当降低施氮量仍可维持甚至提高水稻产量^[6]。例如，怀燕等^[7]研究表明，侧深施肥配合氮肥减量 10%-20%不会导致减产，反而可提高氮肥利用率。许剑锋等^[8]也发现，侧深施肥能显著增加水稻有效穗数，从而提升产量。然而，目前相关研究多集中于单一技术（缓控释肥或侧深施肥）的肥效分析，两者协同应用，尤其是在减量施肥条件下的综合效应及其对产量构成因素的调控机制，仍缺乏系统研究^[9,10]。

目前相关研究多集中于单一技术的肥效分析，本研究以兰溪地区主栽水稻品种为试验材料，通过田间试验，对比轻简化施肥与传统施肥对水稻株高、穗长等长势指标，以及有效穗数、穗粒数、结实率、千粒重等产量构成因素的影响，旨在为轻简化施肥技术在当地水稻生产中的推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于游埠镇下王村（29.16050°N，119.35888°E），供试作物为晚稻品种“甬优1540”。供试土壤类型为水稻土，质地为壤土。试验前耕层土壤有机质30.0 g/kg、水解性氮152.6 g/kg、有效磷11.9 mg/kg、速效钾49 mg/kg、pH值为5.4。

1.2 试验设计

试验设置4个处理，处理1：常规浅施T1，基肥施复合肥（15-6-9）；处理T2：侧深施+常规施肥T2（100%常规用量）；处理3：侧深施+缓控释肥T3（90%常规用量）；处理4：浅施缓控释肥T4（90%常规用量），试验为大区处理，各处理面积为0.5亩。

施肥处理的基肥T1和T2均为配方肥料15-6-9（N-P₂O₅-K₂O），施用量为50 kg/亩，T3和T4为缓释肥料20-7-18（N-P₂O₅-K₂O），施用量为37.5 kg/亩，分蘖期追施一次分蘖肥，肥料为尿素（含氮46%），尿素用量15 kg/亩。所有处理均采用机械插秧，单灌单排。其他田间管理措施保持一致。7月21日插秧，8月20日追肥。

1.3 样品采集

在水稻成熟期，在每个处理区内，避开边行和两端的水稻（边际效应），随机而均匀地选取3个1m²的样方，采集水稻样品，测定株高、穗长、有效穗数，取20穗测定穗粒数，风干后测定千粒重。各个小区分别收获，现场记录水稻收获籽粒产量。

1.4 数据处理

数据处理采用 Microsoft Excel 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻产量的影响

施肥方式和肥料用量是影响作物产量的重要因素，如图1所示，T1施肥处理水稻产量410.96 kg/

亩，T2 处理水稻产量 449.31 kg/亩，T3 处理水稻产量 496.84 kg/亩，T4 处理水稻产量 428.53kg/亩。侧深施肥处理水稻产量显著高于常规浅施，其中化肥侧深施用（T2）处理水稻产量较化肥浅施（T1）高 8.5%，缓控释肥侧深施用（T3）处理水稻产量较缓控释肥浅施（T4）高 13.7%。在侧深施肥方式下，T3 处理水稻产量达到最高，较 T2（100%常规用量）处理高 9.6%；在相同施肥方式下，化肥浅施 T1 处理与浅施缓控释肥 T4 处理差异不显著。

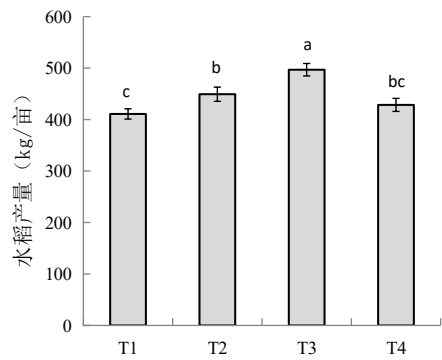


图 1 不同处理对水稻产量的影响
Fig. 1 Effects of Different Treatments on Rice Yield

2.2 不同处理对水稻长势的影响

由图 2 可见，水稻株高分布在 103cm-106cm 之间，各处理间水稻株高差异不显著。化肥侧深施用+缓控释肥 T3 处理施肥处理水稻株高最高。此外，水稻穗长分布在 20.7cm~21.8cm 之间，各处理之间差异不显著。

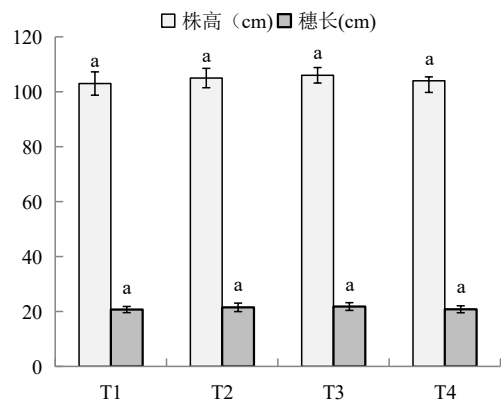


图 2 不同处理对水稻株高、穗长的影响
Fig. 2 Effects of Different Treatments on Plant Height and Panicle Length of Rice

2.3 不同处理对水稻产量构成因素的影响

由表 1 可见，侧深施肥+缓控释肥处理 T3 水稻亩有效穗显著高于其它处理，与其它处理差异显著，常规浅施 T1 处理水稻亩有效穗最低。穗粒数、结实率和千粒重各处理间差异不显著。等量施肥条件下，侧深施肥水稻亩有效穗显著高于化肥浅施，但侧深施肥和化肥浅施处理水稻穗粒数无差异，100%常规用量水平下，化肥侧深施用处理水稻亩有效穗较化肥浅施高 3.97%；90%常规用量水平下，T3 与 T4 处理水稻亩有效穗数有差异，T3 较 T4 高 9.4%，说明缓控释肥的施用量对水稻增产有影响。

表 1 不同处理对水稻产量构成因素的影响

Table 1 Effects of Different Treatments on Yield Components of Rice					
处理名称	每亩有效穗数 (万穗)	穗总粒数/粒	穗实粒数/粒	结实率 (%)	产量 (kg/ 亩)

T0	13.30c	140a	123a	87.86 a	25.12a	410.96c
T1	13.85bc	146a	128a	87.67 a	25.34a	449.31b
T2	15.42a	145a	127a	87.59 a	25.37a	496.84a
T3	13.97b	140a	122a	87.14a	25.15a	428.53bc

注：同一列中，不同小写字母表示处理间差异 0.05 水平差异显著。

2.4 不同处理对水稻经济效益的影响

从表2中可以看出，不同施肥方式水稻经济效益有所差异，常规施肥施肥T1产值1068.49元/亩，T2处理产值1168.21 元/亩，T3处理产值1291.78元/亩，T3处理产值1114.17元/亩。侧深施肥方式下，侧深施用+缓控释肥T3处理较侧深施+常规施肥T2（100%常规用量）处理收入高9.69%；在相同施肥方式下，化肥浅施T1处理较浅施缓控释肥T4处理收入高4.58%。说明侧深施肥+缓控释肥的施肥方式可以提高水稻产量和增加收入。

表 2 不同处理对水稻经济效益的影响

Table 2 Economic Benefits of Rice Under Different Treatments

处理名称	产量（kg/亩）	产值（元/亩）	肥料成本（元/亩）	收入（元/亩）
T1	410.96	1068.49	144.5	923.99
T2	449.31	1168.21	144.5	1023.71
T3	496.84	1291.78	158.25	1133.53
T4	428.53	1114.18	145.8	968.37

注：水稻收购价为 2.6 元/kg；15-6-9 肥料 2.2 元/kg，20-7-18 肥料 3.3 元/kg，尿素 2.3 元/kg。

3 讨论与结论

轻简化施肥能显著改善水稻中后期长势，这与缓控释肥的长效供肥特性密切相关。研究表明，“缓控释肥+侧深施肥”组合（T3）能够显著提高水稻产量，其主要增产途径是增加有效穗数，而非改变穗粒数或千粒重。这一结果与彭玉等^[11]的研究一致，他们发现缓控释肥可促进水稻根系生长，提高分蘖成穗率。杜雄鹰等^[12]也指出，侧深施肥条件下有效穗数的增加是产量提升的关键因素。可见，轻简化施肥对产量构成的调控具有较好的稳定性。缓控释肥的增产机制在于其养分释放曲线与水稻需肥规律高度吻合^[13]。常规化肥在前期易出现养分过剩，导致无效分蘖增多和氮素损失；后期则可能脱肥，加速叶片衰老^[14]。而缓控释肥通过包膜或基质调控技术，使氮素在水稻分蘖期和幼穗分化期保持平稳供应，从而促进有效分蘖成穗并维持较高的光合能力^[15]。本研究中 T3 处理有效穗数显著高于其他处理，也证实了这一机制。

机械侧深施肥将肥料集中施于根系分布层（约 5-8 cm 深度），显著缩短了养分向根表的扩散距离，减少了氨挥发和径流损失^[16]。已有研究表明，侧深施肥可提高氮肥利用率 10–20 个百分点^[7]。吴朋浩等^[17]在减氮 15%条件下同样观察到侧深施肥不减产甚至增产的效果。本试验中，在减氮 10%的条件下（T3），水稻产量反而高于常规用量处理（T2），进一步说明侧深施肥配合缓控释肥能够实现“减量增效”。

从经济效益看，T3 处理虽肥料成本略高（158.25 元/亩），但因其产量优势，收入仍达 1133.53 元/亩，较 T2 增收 9.69%。考虑到当前劳动力成本持续上升，轻简化施肥减少追肥次数（本试验仅追一次分蘖肥）所带来的隐性节工效益尚未完全计入，实际推广价值更高^[2,18]。本研究中株高、穗长等长势指标在处理间差异不显著，可能与试验地基础肥力较高（有机质 30.0 g/kg）有关，一定程度上缓冲了不同施肥处理的表现效应^[19]。未来在中等或中低肥力土壤上，轻简化施肥的长势促进效应可能更为明显^[20]。

综上,缓控释肥结合侧深施肥是兼顾产量、效益与环境的水稻施肥优化方案。建议在生产中推广应用,并进一步研究不同缓控释肥类型、减量梯度及多年连用对土壤肥力演变的长期影响。

参考文献

- [1] 王伟彪,伍少福.轻简化施肥技术对水稻产量和氮肥利用的影响[J].浙江农业科学,2021,62(9):1686-1688.
- [2] 孙克刚,杜君,和爱玲,等.轻简化施肥技术对水稻产量、氮肥利用率及经济效益的综合评价[J].河南农业科学,2019,48(8):46-52.
- [3] 王忠林.缓释肥对水稻甬优1540产量、土壤地力及肥料利用率的影响[J].浙江农业科学,2020,61(11):2205-2207.
- [4] 张民,杨越超,宋付朋,等.缓控释肥料的研究进展与展望[J].植物营养与肥料学报,2018,24(5):1351-1365.
- [5] Zhu C H, Yu P Z, Xiang J, et al. Effects of side deep fertilization on yield formation and nitrogen utilization of mechanized transplanting rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52: 4228-4239.
- [6] 官彩红,王强,孔祎昕,等.机插侧深施肥对水稻氮素吸收和氨挥发的影响[J].浙江农业科学,2022,63(6):1215-1217,1222.
- [7] 怀燕,陈照明,张耿苗,等.水稻侧深施肥技术的氮肥减施效应[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(2):217-224.
- [8] 许剑锋,吴家乐,金羽清,等.侧深施肥对水稻产量及养分吸收的影响[J].浙江农业科学,2024,65(6):1297-1301.
- [9] 吴可,谢慧敏,刘文奇,等.氮、磷、钾肥对南方双季稻区水稻产量及产量构成因子的影响[J].作物杂志,2021(4):178-183.
- [10] 刘兆辉,吴小宾,谭德水,等.缓控释肥氮素释放特征与水稻吸氮动态匹配性研究[J].农业环境科学学报,2019,38(7):1542-1551.
- [11] 彭玉,马均,蒋明金,等.缓/控释肥对杂交水稻根系形态、生理特性和产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(5):1048-1057.
- [12] 杜雄鹰,洪立荣,李德兵,等.机插同步侧深施肥对优质稻华浙优261产量和稻米品质的影响[J].中国稻米,2024,30(6):99-104.
- [13] 樊小林,刘芳,廖照源,等.缓控释肥料与作物高产高效的关系及其应用前景[J].中国农业科学,2015,48(17):3421-3434.
- [14] 李敏,叶舒娅,刘枫,等.控释肥对水稻光合特性、产量及氮素利用的影响[J].核农学报,2016,30(12):2426-2433.
- [15] 杨建昌,张建平,王志琴,等.水稻分蘖成穗与氮素营养关系的研究进展[J].中国农业科学,2018,51(5):878-889.
- [16] 李录久,王家嘉,李东平,等.机械侧深施肥对水稻产量、氮素利用效率及氮素损失的影响[J].中国水稻科学,2020,34(4):347-356.
- [17] 吴朋浩,王贵兵,戴志刚,等.减量机械侧深施肥对水稻产量与肥料利用率的影响[J].农业工程学报,2025,41(15):57-65.
- [18] 张福锁,崔振岭,王激清,等.中国农业养分利用效率的现状与提升途径[J].植物营养与肥料学报,2008,14(5):825-833.
- [19] 陈能场,郑煜基,林大松,等.施肥方式对水稻根系生长与养分吸收的调控机制[J].中国生态农业学报,2017,25(6):823-832.
- [20] 周静,王国强,朱建强,等.侧深施肥条件下氮肥类型对水稻根系分布及氮素吸收的影响[J].作物学报,2021,47(11):2212-2222.

¹ 第1作者简介:杨佳佳(1987-),女,农艺师,主要从事土壤肥料技术推广工作, E-mail: 342394383@qq.com。

*通讯作者简介:马嘉伟(1986-),男,博士研究生,副教授,主要从事植物营养与退化土壤改良研究, E-mail: jiaowma@zafu.edu.cn。