

# 不同时期施氮比例与种植方式对豫南稻区粳稻产量性状和氮素利用效率的影响

彭 廷,韩雨恩,张 静,杜彦修,李俊周,孙红正,赵全志\*

(河南农业大学 农学院/河南省粮食作物协同创新中心/河南省水稻生物学重点实验室,河南 郑州 450002)

**摘要:**采用裂区设计,在豫南地区研究了不同时期施氮比例和种植方式(手插秧、机插秧)对水稻产量和氮肥利用率的影响,为指导豫南稻区水稻生产提供理论依据。结果表明,手插秧、机插秧2种植方式下,与不施氮肥处理相比,不同氮素配比(基肥与穗肥比例分别为4:6、5:5、6:4、7:3)均可提高水稻的穗粒数和产量,手插秧条件下以氮素配比为6:4产量最高,增幅达27.65%;机插秧条件下以氮素配比为7:3产量最高,增幅达115.55%;且机插秧产量高于手插秧,但差异未达到显著水平。手插秧在6:4处理条件下有效穗数和穗粒数高于其他处理;机插秧在5:5处理条件下有效穗数最高,在7:3处理条件下穗粒数最高;手插秧和机插秧对照的结实率和千粒质量最高。手插秧成熟期干物质积累在氮素配比为6:4达最大;抽穗开花期,手插秧与机插秧在氮素配比6:4与7:3处理条件下叶片、茎鞘、植株氮素含量较高;氮素生理利用率,在不同氮素配比条件下机插秧均高于手插秧,且2种植方式均以氮素配比7:3为最高;氮素偏生产力,手插秧条件下以氮素配比6:4为最高,机插秧条件下以氮素配比7:3最高;而百千克籽粒需氮量,手插秧条件下以氮素配比5:5与6:4最高,机插秧条件下以氮素配比6:4最高。因此,种植方式对氮素配比的响应存在明显差异,手插秧和机插秧的最佳施氮配比分别为6:4和7:3,此时产量和氮素利用效率最高。

**关键词:**水稻;手插秧;机插秧;氮肥运筹;氮肥利用率;产量性状

**中图分类号:** S147.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2017)11-0019-06

## Effects of Nitrogen Application Rate at Different Stages and Planting Pattern on Japonica Rice Yield Characters and Nitrogen Use Efficiency in Paddy Field of Southern Henan Province

PENG Ting, HAN Yuen, ZHANG Jing, DU Yanxiu, LI Junzhou, SUN Hongzheng, ZHAO Quanzhi\*

(College of Agronomy, Henan Agricultural University/Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops/Key Laboratory of Rice Biology in Henan Province, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The effects of nitrogen application rate at different stages and planting pattern [artificial transplanting (AT) and mechanical transplanting (MT)] on rice yield and nitrogen use efficiency were studied under the precise and quantitative cultivation with the split plot experiment design in paddy field in southern Henan province. This study could provide a certain theoretical foundation for rice production in paddy field in southern Henan province. The results indicated that under the two different planting patterns, different nitrogen ratios (the ratios of base tillering fertilizer to panicle fertilizer were 4:6, 5:5, 6:4, and 7:3) could significantly improve the grain number per spikelet and grain yield of rice. In the AT way, the nitrogen proportion of 6:4 had the highest yield, which increased by 27.65% compared with the

收稿日期:2017-07-15  
基金项目:国家自然科学基金项目(31271651);河南省水稻产业技术体系项目(S2012-04-02)  
作者简介:彭 廷(1985-),男,河南桐柏人,讲师,博士,主要从事水稻分子生理研究。E-mail:lypengting@163.com  
\*通讯作者:赵全志(1968-),男,河南平舆人,教授,博士,主要从事水稻生理生态研究。E-mail:qzhaoh@126.com

control without nitrogen fertilizer, while the nitrogen proportion of 7:3 in the MT way had the highest yield, which increased by 115.55% compared with the control. In addition, the production of MT was higher than that of AT, but the difference did not reach the significant level. In case of AT, effective panicles and grain number in 6:4 were higher than those of other treatments; while in MT, effective panicles were highest in 5:5, and grain number was highest in 7:3; and the seed setting rate and 1 000 grain weight were highest in control under AT and MT. The dry matter accumulation at the mature stage in AT reached the maximum at the nitrogen ratio of 6:4. At the heading and flowering stage, the nitrogen content in leaves and stems was higher with nitrogen ratios of 6:4 and 7:3 under AT and MT, respectively. The MT had a higher level than AT in the nitrogen use physiological efficiency under different nitrogen ratios, and the best nitrogen ratio was 7:3 for the two planting methods. The AT had the highest partial factor productivity at the nitrogen ratio of 6:4, but the MT was 7:3. The highest nitrogen use for 100 kg grain was 5:5 and 6:4 in AT, while 6:4 in MT. Therefore, there was a significant effect on yield with different nitrogen proportions under different cultivation ways. The best nitrogen ratios for AT and MT were 6:4 and 7:3 respectively, under which AT and MT had the highest yield and nitrogen use efficiency.

**Key words:** rice; artificial transplanting; mechanical transplanting; nitrogen management; nitrogen use efficiency; yield characters

水稻是我国主要的粮食作物,其种植面积占粮食作物的 1/3 以上,产量约占粮食总产量的 40%,我国有近 2/3 的人口以稻米为主食。因此,水稻在我国粮食安全中占有极其重要的地位<sup>[1]</sup>。水稻精确定量栽培包括高产优质群体生长发展动态指标的精确定量和栽培技术的精确定量<sup>[2]</sup>。精确定量栽培是水稻栽培科学技术新的发展方向<sup>[1]</sup>,能实现水稻栽培学科对“高产、优质、高效、生态、安全”的要求<sup>[3]</sup>。戴平安等<sup>[4]</sup>研究表明,70% 作基肥、30% 作穗肥稻谷产量最高,且在此氮素配比下,氮肥利用率和农学效率均较高。朱兆良等<sup>[5]</sup>总结的国内 782 个田间试验结果表明,我国主要农作物水稻及麦类对氮肥的利用率平均只有 28% ~ 41%。Wang 等<sup>[6]</sup>指出,较高的籽粒产量来自于较高的氮素利用率和氮素再分配率。赵志鹏等<sup>[7]</sup>研究表明,氮肥处理对水稻叶面积指数、群体干物质质量及产量有明显影响。前人对施氮量进行了广泛研究,其成果对水稻增产起到十分重要的作用。张洪程等<sup>[8]</sup>对机插精确定量栽培高产关键技术及每项技术关键点进行了阐述。关于氮肥施用量和追肥时期对水稻产量的影响已开展了大量的研究,一致的结论是适量的氮肥及其在各时期进行合理的分配可以获得较高的产量和氮肥利用率<sup>[9]</sup>。郑克武等<sup>[10]</sup>研究指出,过高的施氮量不利于产量和稻米品质提高。吴文革等<sup>[11]</sup>研究表明,在适宜的施氮水平下,协调好产量构成的重要因素,有利于高产,但不同生态类型对水稻温光利用等影响差别很大<sup>[12-13]</sup>。豫南稻区(北纬 31°46' ~ 31°52')是河南省最主要的水稻种植区,在豫南稻区

发展粳稻生产具有重要意义,但有关不同种植方式下不同时期施氮比例对豫南粳稻产量和氮肥利用率影响的研究较少。因此,开展豫南粳稻高产栽培技术研究,明确前后期(基蘖期、孕穗期)氮素配比对豫南粳稻产量和氮素利用效率的影响,对于指导豫南粳稻发展具有重要的理论和实践意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地点及供试品种

试验于 2013 年 4—10 月在河南农业大学信阳市平桥区甘岸镇二郎村实习基地进行。前茬为空白地,土壤类型为水稻土,pH 值 6.5 ~ 7.5,土壤基础肥力为有机质 28.6 ~ 42.1 g/kg,全氮 2.46 g/kg,有效磷 6.8 mg/kg,速效钾 169 mg/kg。供试材料为常规粳稻豫农粳 8 号。

### 1.2 试验设计

水稻于 4 月 21 日播种,5 月 11 日移栽,秧龄 20 d。8 月 21—25 日齐穗,10 月 20 日收割。机插秧选用洋马农机(中国)有限公司生产的洋马 VP6 水稻插秧机,株行距为 16 cm × 30 cm,栽插基本苗 62.5 万苗/hm<sup>2</sup>;手插秧采用人工插秧,株行距为 21 cm × 30 cm,栽插基本苗 47.6 万苗/hm<sup>2</sup>。以 9.75 t/hm<sup>2</sup> 为目标产量,100 kg 稻谷需氮量按 2.18 kg,目标产量需 N 量 212.55 kg/hm<sup>2</sup>,无氮区产量按 6 t/hm<sup>2</sup>,土壤供氮 94.2 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥当季利用率按 34.5% (2012 年测定值),根据斯坦福方程计算得总施氮量 277.5 kg/hm<sup>2</sup><sup>[14]</sup>。氮磷钾元素(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O)施用比例为 1:0.5:1.2,即施用过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量

12%) 1 156.3 kg/hm<sup>2</sup>, 硫酸钾 (K<sub>2</sub>O 含量 50%) 666 kg/hm<sup>2</sup>, 其中磷钾肥全部作基肥一次性施用。试验设 5 个氮肥配比处理和 2 种植方式, 5 个氮肥处理为: 基肥与穗肥比分别为 4:6、5:5、6:4、7:3, 用 T1、T2、T3、T4 表示, 以不施氮肥作对照 (CK); 2 种植方式分别为手插秧和机插秧。试验采用随机区组排列, 重复 3 次, 每小区面积 150 m<sup>2</sup>, 为防止串水串肥, 各小区间用聚乙烯挡板进行隔离, 各小区单排单灌, 四周设保护行。其他田间管理同高产栽培管理。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 产量及其构成因子 成熟期选取固定面积的植株分析籽粒产量及其构成因素, 收获时按照常规方法进行考种, 考查每穗粒数、有效穗数、结实率和千粒质量。各小区按实收穴数计产。

1.3.2 干物质积累 干物质的测定参照刁操铨等<sup>[15]</sup>的试验方法进行。分别于水稻的关键时期, 按每小区茎蘖数的平均数取代表性的植株 3 穴, 105℃下杀青 30 min, 80℃下烘干至恒质量后称质量, 并折算成每公顷干质量。

1.3.3 氮素含量及氮素利用效率指标 用凯氏定氮法测定植株和稻谷的含氮率<sup>[16-17]</sup>。

氮素生理利用率 (kg/kg) = (施氮区产量 - 无氮区产量) / (施氮区植株总吸氮量 - 无氮区植株总吸氮量),

氮素吸收利用率 = (施氮区植株总吸氮量 - 无氮区植株总吸氮量) / 氮肥施用量 × 100%,

氮素偏生产力 (kg/kg) = 施氮区产量 / 氮肥施用量,

氮素农学利用效率 (kg/kg) = (施氮区产量 - 无氮区产量) / 氮肥施用量,

稻谷收获指数 = 单位面积上稻谷的质量 / 单位

面积全部水稻地上部干物质的质量 × 100%。  
1.3.4 数据分析 采用 Microsoft Excel 2003 进行数据统计, 利用 SPSS 17.0 进行数据的方差分析处理和 Duncan's 新复极差检验。

2 结果与分析

2.1 基肥与穗肥配比对不同种植方式下豫南稻区粳稻产量及其构成因素的影响

由表 1 可知, 手插秧 T3 处理有效穗数和穗粒数高于其他处理; 机插秧 T2 处理有效穗数最高, 而穗粒数 T4 最高; 手插秧和机插秧 CK 在结实率和千粒质量上均比其他处理高。在纯氮用量为 277.5 kg/hm<sup>2</sup> 时, 机插秧 T4 处理产量最高, 机插秧 CK 产量最低。手插秧不同时期施氮比例的实际产量在 8.061 ~ 8.413 t/hm<sup>2</sup>, 分别比 CK 增产 22.31% ~ 27.65%。机插秧不同时期施氮比例的实际产量在 6.395 ~ 8.539 t/hm<sup>2</sup>, 分别比 CK 增产 61.4% ~ 115.5%。手插秧实际产量中, T3 最高, 其次为 T1, T4 产量最低; 机插秧实际产量中, T4 最高, 其次为 T2, T3 最低。手插秧 T1、T2、T3、T4 与机插秧 T1、T2、T4 实际产量差异不显著, 但均与机插秧 T3 差异显著。因此, 水稻不同栽培方式下, 不同时期施氮比例对产量存在明显影响, 手插秧最佳施氮比例为 6:4, 比对照高 27.65%; 机插秧最佳施氮比例为 7:3, 比对照高 115.55%。进一步分析不同处理的产量构成因子, 手插秧 T1、T2、T3 处理的有效穗数均高于 T4 处理, T3 处理主要通过有效穗数和每穗粒数的增加来提高水稻产量; 机插秧 T4、T2、T1 处理的有效穗数和每穗粒数均高于 T3 处理, 且机插秧 T4 处理主要通过每穗粒数的增加来提高水稻产量。

表 1 不同时期氮肥配施下水稻产量及其构成因素

种植方式	处理	有效穗数/ (万穗/hm <sup>2</sup> )	每穗粒数/粒	结实率/%	千粒质量/g	理论产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	实际产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )
手插秧	T1	183.23 ± 11.54ab	209.53 ± 18.87bcd	80.18 ± 1.20bcd	29.79 ± 0.60ab	9 068.41 ± 4.46c	8 265.60 ± 589.05a
	T2	168.40 ± 4.58bc	193.52 ± 15.44cde	79.62 ± 1.12cd	29.61 ± 0.41ab	7 653.29 ± 462.39de	8 140.80 ± 39.30a
	T3	192.61 ± 7.71ab	233.12 ± 19.74abc	72.75 ± 5.22e	28.63 ± 0.31bc	9 222.16 ± 54.84c	8 413.20 ± 180.30a
	T4	150.72 ± 6.40c	190.07 ± 2.19de	78.41 ± 1.32de	30.65 ± 0.67a	6 870.86 ± 163.98e	8 061.30 ± 679.05ab
	CK	123.65 ± 4.01d	153.71 ± 14.29ef	84.36 ± 2.22abcd	31.21 ± 0.43a	4 906.14 ± 30.03g	6 591.00 ± 630.15bc
机插秧	T1	189.40 ± 4.74ab	228.41 ± 15.56abcd	85.55 ± 1.11abc	29.37 ± 0.19ab	9 200.35 ± 340.32c	7 638.54 ± 453.59abc
	T2	197.12 ± 6.86a	240.31 ± 7.69ab	86.81 ± 0.25ab	29.46 ± 0.61ab	10 274.06 ± 153.36b	7 839.87 ± 514.99abc
	T3	179.88 ± 9.52ab	220.67 ± 14.85abcd	85.73 ± 0.70abc	27.50 ± 0.66c	7 898.03 ± 241.26d	6 395.06 ± 514.03c
	T4	194.80 ± 2.10a	259.10 ± 2.37a	87.59 ± 0.44a	30.33 ± 0.70ab	11 399.37 ± 351.85a	8 538.58 ± 167.06a
	CK	190.80 ± 8.32ab	132.35 ± 4.46f	88.99 ± 0.27a	30.99 ± 0.27a	5 902.90 ± 74.39f	3 961.38 ± 373.04d

注: 同列数据后不同字母表示差异达到 0.05 显著水平, 下同。

2.2 基肥与穗肥配比对不同种植方式下豫南稻区粳稻干物质积累的影响

由表 2 可知,手插秧不同处理的群体干物质质量随生育时期延长总体呈现逐渐增加的变化趋势,在灌浆期 T1、T3 处理达到最高,而 T2、T4 处理在成熟期达到最高。在成熟期,T3 处理的生物量最高,T1、T2、T3、T4 分别比 CK 高 18.78%、18.78%、

24.13%、5.86%。机插秧不同处理的群体干物质质量随生育时期延长总体也是呈现波动式增加的变化趋势,在灌浆期,T3 处理达到最高,而 T1、T2、T4 处理在成熟期达到最高。在成熟期,T2 生物量最大,T1、T3 其次,T4 处理的生物量最低,4 种氮肥配比的生物量均高于 CK,分别比 CK 高 23.35%、47.58%、15.07%、3.16%。

表 2 不同时期氮肥配施下水稻干物质积累的变化 t/m<sup>2</sup>

种植方式	处理	分蘖期	拔节期	孕穗期	抽穗开花期	灌浆期	成熟期
手插秧	T1	0.77 ± 0.04c	2.77 ± 0.25bc	3.72 ± 0.77ab	5.91 ± 0.91b	16.47 ± 0.49bcd	16.00 ± 1.18bc
	T2	0.73 ± 0.05c	3.29 ± 0.12b	4.70 ± 0.43a	7.21 ± 1.38ab	14.50 ± 0.46cde	16.00 ± 2.03bc
	T3	0.76 ± 0.05c	3.12 ± 0.43bc	4.46 ± 1.29a	6.60 ± 0.64ab	19.78 ± 0.60ab	16.72 ± 0.66bc
	T4	0.49 ± 0.02d	2.13 ± 0.18bc	5.11 ± 0.26a	6.31 ± 0.61b	11.89 ± 1.56e	14.26 ± 1.54bc
	CK	0.35 ± 0d	1.58 ± 0c	2.45 ± 0.10b	5.38 ± 0.64bc	13.01 ± 0.78de	13.47 ± 1.88c
机插秧	T1	1.39 ± 0.07a	5.89 ± 0.44a	4.60 ± 0.43a	6.78 ± 0.30ab	17.04 ± 1.72bc	18.33 ± 0.73ab
	T2	1.03 ± 0.11b	5.72 ± 0.90a	3.63 ± 0.50ab	7.63 ± 0.29ab	14.09 ± 0.58cde	21.93 ± 0.83a
	T3	0.94 ± 0.05bc	5.16 ± 0.16a	5.08 ± 0.09a	7.80 ± 0.84ab	22.01 ± 1.12a	17.10 ± 1.14bc
	T4	0.81 ± 0.10c	5.64 ± 0.66a	5.24 ± 0.59a	8.91 ± 0.01a	15.06 ± 1.62cde	15.33 ± 0.45bc
	CK	0.76 ± 0c	5.82 ± 0.75a	5.60 ± 0.26a	3.36 ± 0.49c	12.77 ± 0.06de	14.86 ± 0.41bc

2.3 基肥与穗肥配比对不同种植方式下豫南稻区粳稻各部位全氮含量的影响

由表 3 可知,抽穗期叶片中氮含量高于茎鞘,而成熟期籽粒中氮素含量高于叶片,茎鞘中氮素含量最低。抽穗期和成熟期,同一氮肥处理条件下机插秧处理叶片、茎鞘和植株中的氮含量总体上高于手插秧处理,而成熟期手插秧籽粒中氮含量总体上高于机插秧处理。抽穗期,手插秧处理叶片和植株氮含量均以 T4 为最高,显著高于 CK,但与其他氮素配比处理差异不显著,而茎鞘中氮含量以 T3 为最高,达 4.21 mg/g,显著高于 CK;机插秧 T3

处理叶片和植株氮含量最高,显著高于 T1、T2 处理,但与 T4 和 CK 差异不显著,茎鞘中氮含量 T3 处理最高,达 4.34 mg/g,显著高于 T1,但与其他氮素处理差异不显著。成熟期,手插秧处理叶片、茎鞘和植株中氮含量均以 T3 为最高,且显著高于 CK,而籽粒中氮素含量以 T1 处理为最高,显著高于 CK,但与其他氮素处理差异不显著;机插秧处理叶片、茎鞘和植株中氮素含量以 T1 处理为最高,且叶片中氮素含量显著高于其他处理,而籽粒中氮素含量以 T3 处理为最高,达 15.26 mg/g,显著高于 T4 和 CK。

表 3 不同处理对粳稻各部位全氮含量的影响 mg/g

种植方式	处理	抽穗期			成熟期			
		叶片	茎鞘	植株	叶片	茎鞘	籽粒	植株
手插秧	T1	12.66 ± 0.36cd	3.82 ± 0.06ab	7.03 ± 0.10c	10.86 ± 0.16bc	2.85 ± 0.37bc	14.76 ± 0.84a	12.13 ± 0.72ab
	T2	12.84 ± 0.67cd	3.57 ± 0.10bc	6.90 ± 0.29c	10.72 ± 0.67bc	2.69 ± 0.23bcd	14.51 ± 0.99a	12.21 ± 0.38ab
	T3	12.41 ± 0.25cd	4.21 ± 0.38ab	7.27 ± 0.36c	11.51 ± 0.49ab	2.91 ± 0.22bc	14.28 ± 0.36a	12.95 ± 0.13ab
	T4	13.78 ± 0.04bc	4.18 ± 0.21ab	7.81 ± 0.07bc	9.95 ± 0.09c	2.58 ± 0.12cd	14.12 ± 0.26ab	12.27 ± 0.21b
	CK	11.68 ± 0.84d	2.97 ± 0.23c	5.83 ± 0.29d	7.35 ± 0.21d	1.91 ± 0.29d	11.78 ± 0.61bcd	9.75 ± 1.11c
机插秧	T1	13.81 ± 0.60bc	3.51 ± 0.19bc	6.98 ± 0.30c	12.46 ± 0.56a	4.03 ± 0.38a	13.12 ± 0.28abc	14.28 ± 0.59a
	T2	13.53 ± 0.66bcd	4.10 ± 0.13ab	7.68 ± 0.31bc	10.81 ± 0.45bc	3.45 ± 0.32abc	13.07 ± 0.94abc	12.62 ± 0.55ab
	T3	15.99 ± 0.64a	4.34 ± 0.27a	8.75 ± 0.41a	10.46 ± 0.16bc	3.56 ± 0.46ab	15.26 ± 0.46a	12.84 ± 0.49ab
	T4	15.76 ± 0.98a	4.04 ± 0.16ab	8.35 ± 0.29ab	10.74 ± 0.11bc	3.49 ± 0.22abc	10.74 ± 1.01cd	12.42 ± 0.51ab
	CK	14.95 ± 0.51ab	4.31 ± 0.17a	8.30 ± 0.18ab	10.29 ± 0.87bc	2.69 ± 0.11bcd	10.15 ± 1.05d	12.45 ± 1.48ab

2.4 基肥与穗肥配比对不同种植方式下豫南稻区稻谷全氮含量和收获指数的影响

由表 4 可知,随氮肥后移,手插秧、机插秧百千克籽粒需氮量均呈先升高后降低的变化趋势。机插秧 T4 处理的百千克籽粒需氮量最低,T3 处理最高,

显著高于手插秧的 4 种氮肥配比处理。手插秧 4 种氮肥配比处理间差异不显著,但 T2、T3 处理百千克籽粒需氮量较高;机插秧 T1、T2、T3 处理间差异也不显著。氮肥配比对不同种植方式下稻谷全氮含量的影响不显著。手插秧 T1 的稻谷收获指数最高,达

40.38%,机插秧 T2 处理最低,手插秧 T1 处理和 T3 处理、机插秧 T4 处理的稻谷收获指数显著高于机插秧 T2、T3 处理,且手插秧整体的稻谷收获指数高于机插秧。

表 4 不同处理对百千克籽粒需氮量、稻谷全氮含量及收获指数的影响

种植方式	处理	百千克籽粒需氮量/kg	稻谷全氮含量/(kg/hm <sup>2</sup> )	稻谷收获指数/%
手插秧	T1	2.19±0.08bc	122.87±15.41a	40.38±0.59a
	T2	2.29±0.12bc	118.01±7.51a	37.21±2.45ab
	T3	2.29±0.03bc	120.30±5.52a	39.13±0.69a
	T4	2.25±0.14bc	113.97±10.29a	37.36±4.38ab
机插秧	T1	2.57±0.11ab	100.02±4.12a	34.58±2.83ab
	T2	2.63±0.20ab	103.11±13.26a	30.29±2.11b
	T3	2.82±0.23a	97.45±7.53a	30.55±1.98b
	T4	2.00±0.14c	91.45±7.29a	38.68±0.58a

2.5 基肥与穗肥配比对不同种植方式下豫南粳稻氮素利用率的影响

不同种植方式及氮肥配比处理的水稻总吸氮量

表 5 不同处理对粳稻吸氮量及氮素利用率的影响						
种植方式	处理	氮素吸收利用率/%	氮素农学利用率/(kg/kg)	氮素生理利用率/(kg/kg)	氮素偏生产力/(kg/kg)	总吸氮量/(kg/hm <sup>2</sup> )
手插秧	T1	28.45±6.63a	6.03±2.12c	20.16±2.55c	29.79±2.12a	181.98±18.39a
	T2	30.00±3.11a	5.58±0.14c	19.14±2.54c	29.34±0.14a	186.28±8.64a
	T3	32.16±1.77a	6.57±0.65c	20.36±1.31c	30.32±0.65a	192.27±4.90a
	T4	27.56±2.01a	7.36±2.27c	25.09±8.19bc	29.05±2.45a	179.52±5.59a
机插秧	T1	34.59±6.28a	13.25±1.63ab	39.35±4.04b	27.53±1.63ab	196.44±17.41a
	T2	38.00±6.37a	13.98±1.86a	38.32±6.60b	28.25±1.86a	205.90±17.69a
	T3	28.56±5.88a	8.77±1.85bc	31.60±5.99bc	23.05±1.85b	179.72±16.32a
	T4	25.18±3.19a	16.49±0.60a	57.15±5.01a	30.77±0.60a	170.33±8.85a

3 结论与讨论

氮素是影响水稻生长和产量形成的重要因素。氮素利用效率通用指标有氮素吸收利用率、农学利用率、生理利用率和偏生产力,这些指标从不同侧面描述了作物对氮素的利用情况<sup>[18-20]</sup>。本研究结果表明,豫南稻区手插秧种植条件下基肥:穗肥=6:4的氮素吸收利用率、氮素偏生产力和总吸氮量均高于其他氮素配比处理;机插秧基肥:穗肥=7:3的氮素农学利用率、氮素生理利用率、氮素偏生产力均高于其他氮肥配比处理;手插秧种植条件下基肥:穗肥=6:4的理论产量和实际产量最高,其产量提高主要通过有效穗数和每穗粒数的增加;机插秧种植条件下基肥:穗肥=7:3的理论产量和实际产量最高,其产量提高主要通过每穗粒数的增加。

水稻地上部分干物质积累量反映了营养物质的含量,手插秧与机插秧的 4 个处理在成熟期干物质积累量均高于对照,且手插秧在基肥:穗肥=6:4

和氮素利用率如表 5 所示,机插秧各处理的氮素农学利用率和氮素生理利用率均普遍高于手插秧各氮肥配比。手插秧不同氮素配比处理间氮素吸收利用率、氮素农学利用率、氮素生理利用率、氮素偏生产力和总吸氮量的差异均未达到显著水平,T3 处理总吸氮量最高,达到 192.27 kg/hm<sup>2</sup>,分别比 T1、T2、T4 处理高 5.65%、3.21%、7.10%;且 T3 处理的氮素吸收利用率、氮素偏生产力均高于 T1、T2、T4 处理,氮素农学利用率和氮素生理利用率虽然不是最高,但与其他氮素处理差异均未达到显著水平,表明手插秧基肥与穗肥配比为 6:4(T3)时,氮素利用率最高。机插秧 T4 处理的氮素农学利用率、氮素生理利用率和氮素偏生产力均高于其他氮肥处理,且 T4 的氮素生理利用率显著高于其他氮肥配比,氮素农学利用率显著高于 T3 处理,氮素偏生产力显著高于 T3 处理,说明机插秧基肥与穗肥配比为 7:3(T4)时,氮素利用率最高。

时达最大,各部位氮素含量中,抽穗期和成熟期同一氮肥处理条件下机插秧处理叶片、茎鞘和植株中的氮含量总体上高于手插秧处理,而成熟期手插秧籽粒中氮含量总体上高于机插秧处理,说明手插秧氮素更多被转运到籽粒中。抽穗开花期,手插与机插在氮素配比为 6:4 与 7:3 时叶片、茎鞘和植株氮素含量较高,而叶绿素合成与氮素密切相关,适当增加前期施氮比例有利于光合作用的提高,进而提高产量<sup>[21]</sup>。百千克籽粒需氮量,手插秧条件下以氮素配比 5:5 与 6:4 最高,机插秧条件下以氮素配比 6:4 最高。手插秧整体的稻谷收获指数高于机插秧。因此,在水稻不同种植方式下,不同时期氮素施用配比对氮素利用效率和产量存在明显影响,豫南稻区手插秧和机插秧氮素利用效率和高产的最佳基肥和穗肥配比分别为 6:4 和 7:3。

刘建等<sup>[22]</sup>研究表明,手插秧在基肥 40% 前提下,基肥 20% 时产量最高;严奉君等<sup>[23]</sup>认为,不同土壤肥力下麦秆覆盖处理,均以基肥:基肥:穗肥为

3:3:4 的氮肥运筹模式最优,均能有效调节水稻灌浆结实期叶片 SPAD 值,提高稻谷产量,这与本试验手插秧基肥:穗肥 = 6:4 条件下的产量最高研究结果一致。彭长青等<sup>[24]</sup>研究指出,提高基肥的施用量和施用比例可以显著增大机插水稻单位面积穗数。张洪程<sup>[25]</sup>和孙雄彪等<sup>[26]</sup>研究认为,机插秧的基肥与穗肥施用比例以 6:4 为宜。本研究结果表明,机插秧高产的最佳基肥:穗肥为 7:3,与张洪程<sup>[25]</sup>、孙雄彪等<sup>[26]</sup>的研究结果不一致,这可能由于生态类型和品种的差异所致,其机制有待进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等. 水稻高产技术的新发展——精确定量栽培[J]. 中国稻米,2005,11(1): 3-7.
- [2] 蒋彭炎. 水稻高产栽培理论与技术讲座(2) 高产水稻的若干生物学规律[J]. 中国稻米,1994,1(2):43-45.
- [3] 凌启鸿,张洪程,戴其根,等. 水稻精确定量施氮研究[J]. 中国农业科学,2005,38(12):2457-2467.
- [4] 戴平安,郑圣先,李学斌,等. 穗肥氮施用比例对两系杂交水稻氮素吸收、籽粒氨基酸含量和产量的影响[J]. 中国水稻科学,2006,20(1):79-83.
- [5] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1992.
- [6] Wang H, McCaig T N, DePauw R M, et al. Physiological characteristics of recent Canada western red spring wheat cultivars: Components of grain nitrogen yield[J]. Canadian Journal of Plant Science,2003,83(4):699-707.
- [7] 赵志鹏,曹黎明,王新其,等. 氮素与密度处理对水稻精量穴直播群体特征及产量结构的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2014,32(2):68-73.
- [8] 张洪程,李杰,戴其根,等. 机插秧“标秧,精插,稳发,早搁,优中,强后”高产栽培精确定量关键技术[J]. 中国稻米,2010,16(5):1-6.
- [9] 霍中洋,葛鑫,张洪程,等. 施氮方式对不同专用小麦氮素吸收及氮肥利用率的影响[J]. 作物学报,2004,30(5):449-454.
- [10] 郑克武,邹江石,吕川根. 氮肥和栽插密度对杂交稻“两优培九”产量及氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报,2006,32(6):885-893.
- [11] 吴文革,杨联松,苏泽胜,等. 不同施氮条件下杂交中籼稻的群体质量与产量形成[J]. 中国生态农业学报,2008,16(5):1083-1089.
- [12] 李杰,张洪程,董洋阳,等. 不同生态区栽培方式对水稻产量、生育期及温光利用的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(13):2661-2672.
- [13] 赵庆勇,朱镇,张亚东,等. 播期和地点对不同生态类型粳稻稻米品质性状的影响[J]. 中国水稻科学,2013,27(3):297-304.
- [14] 黄庆宇,李刚华,杨从党,等. 高产环境下水稻精确定量栽培技术初探[J]. 西南农业学报,2006,19(z1):162-165.
- [15] 刁操铨,贺汉林. 作物栽培学实验指导[M]. 北京:农业出版社,1988.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [17] 王绍华,曹卫星,丁艳锋,等. 基本苗数和施氮量对水稻氮吸收与利用的影响[J]. 南京农业大学学报,2003,26(4):1-4.
- [18] 李卫国,任永玲. 氮、磷、钾、硅肥配施对水稻产量及其构成因素的影响[J]. 山西农业科学,2001,29(1):53-58.
- [19] 李卫国. 钾肥对水稻生长发育的影响机理[J]. 山西农业科学,2001,29(4):37-39.
- [20] Novoa R, Loomis R S. Nitrogen and plant production[J]. Plant and Soil,1981,58(1):177-204.
- [21] 胡雅杰,朱大伟,邢志鹏,等. 改进施氮运筹对水稻产量和氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):12-22.
- [22] 刘建,魏亚凤,徐少安. 穗肥氮素配比对水稻产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 华中农业大学学报,2006,25(3):223-227.
- [23] 严奉君,孙永健,马均,等. 不同土壤肥力条件下麦秆还田与氮肥运筹对杂交稻氮素利用、产量及米质的影响[J]. 中国水稻科学,2015,29(1):56-64.
- [24] 彭长青,李世峰,卞新民,等. 机插水稻精确定量栽培调控技术研究[J]. 上海农业学报,2006,22(1):20-24.
- [25] 张洪程. 机插水稻高产栽培途径与技术[M]. 北京:中国农业出版社,2005:22-54.
- [26] 孙雄彪,金志杰,陈惠哲,等. 水稻机插秧不同时期氮肥配施对产量的影响[J]. 中国稻米,2009(4):59-61.