

引用格式:

覃斌, 孙鑫, 刘福强, 何在周, 向军, 陶祖豪, 王慰亲, 郑华斌, 唐启源. 氮肥管理对有序机抛早稻产量及氮素利用的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(1): 1-8.

QIN B, SUN X, LIU F Q, HE Z Z, XIANG J, TAO Z H, WANG W Q, ZHENG H B, TANG Q Y. The effect of nitrogen fertilizer management on the yield and nitrogen utilization of ordered machine throwing early rice[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(1): 1-8.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



氮肥管理对有序机抛早稻产量及氮素利用的影响

覃斌, 孙鑫, 刘福强, 何在周, 向军, 陶祖豪, 王慰亲, 郑华斌, 唐启源*

(湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 以常规早稻品种湘早籼 24 号为材料, 于 2021—2022 年开展大田试验, 设 3 个氮肥水平, 即 120 kg/hm² (N1)、150 kg/hm² (N2)和 180 kg/hm² (N3), 4 个氮肥分配处理 T1、T2、T3、T4, 基肥、分蘖肥、穗肥的施用比例分别为 1:1:1、0:1:1、1:0:1、1:1:0, 以生产推荐施肥 CK(施氮量 120 kg/hm², 基肥、分蘖肥、穗肥的施用比例为 5:3:2)和零氮处理(N0)为对照, 研究施氮量和氮肥分配对有序机抛早稻产量、生长特性及氮素利用的影响。结果表明: N3、N2、N1 的早稻平均产量依次降低, N1 的平均产量显著低于 CK 而高于 N0 的; 在不同氮肥分配下, T2 的产量低于 T1、T3、T4 和 CK 的, 其中显著低于 T4 的; 分析产量构成因子发现, 产量的降低主要缘于单位面积穗数的下降; 基肥不施氮肥的 T2 处理的分蘖率虽未显著降低, 但其成穗率低, 导致单位面积有效穗数下降; 随着施氮量的增加, 早稻氮素利用率随之下降; 在不同氮肥分配下, T2 的氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率均显著低于 T4 的。可见, 基肥缺失氮肥对有序机抛早稻的产量和氮素利用率影响较大, 而穗肥不施氮肥对有序机抛早稻的产量和氮素利用率影响较小, 推测前期氮肥管理可能是水稻有序机抛栽培高产的关键因子。

关键词: 早稻; 氮肥分配; 有序机抛; 产量; 氮肥利用率

中图分类号: S511.062

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)01-0001-08

The effect of nitrogen fertilizer management on the yield and nitrogen utilization of ordered machine throwing early rice

QIN Bin, SUN Xin, LIU Fuqiang, HE Zaizhou, XIANG Jun, TAO Zuhao,

WANG Weiqin, ZHENG Huabin, TANG Qiyuan*

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: This study investigated the effects of nitrogen fertilizer application rate and distribution on the yield, growth characteristics and nitrogen utilization of ordered machine throwing early rice. Field experiments on conventional early rice variety Xiangzaoxian 24 were conducted from 2021 to 2022 by setting three levels of nitrogen applications, namely N1(120 kg/hm²), N2(150 kg/hm²) and N3(180 kg/hm²), five groups of nitrogen fertilizer allocation ratios of basal fertilizer, tillering fertilizer and panicle fertilizer, T1(1:1:1), T2(0:1:1), T3(1:0:1), T4(1:1:0), and the control CK(nitrogen application rate of 120 kg/hm², the application ratio 5:3:2) and zero nitrogen treatment(N0). The results showed that the average yield of early rice with orderer machine throwing decreased sequentially with the decrease of nitrogen application rate, and the average yield of N1 was significantly lower than that of CK and higher than that of N0. The yield of T2 was lower than those of T1, T3, T4 and CK, with a significant decrease compared to T4. Analysis of yield

收稿日期: 2023-05-04

修回日期: 2024-01-29

基金项目: 国家水稻产业体系岗位专家项目(CARS-01-27)

作者简介: 覃斌(1998—), 男, 湖南常德人, 硕士研究生, 主要从事水稻高产优质栽培研究, 183803196@qq.com; *通信作者, 唐启源, 博士, 教授, 主要从事水稻高产优质栽培研究, cntqy@aliyun.com

components reveals that the decrease in yield mainly resulted from the decrease in the number of spikes per unit area. The tillering rate of T2 treatment did not significantly decrease, but had low panicle formation rate and decreased panicles per unit area. The nitrogen utilization efficiency of ordered machine throwing early rice decreases when the nitrogen application rate increases. The nitrogen absorption and utilization efficiency, as well as the agronomic utilization efficiency of T2 were significantly lower than those of T4. It could be seen that instead of panicle fertilizer, basal fertilizer with nitrogen fertilizer had a significant impact on the yield and nitrogen utilization efficiency of ordered machine throwing early rice. It could be concluded that nitrogen fertilizer management in the early stage might be a key factor for high yield in ordered machine throwing cultivation of rice.

Keywords: early rice; nitrogen fertilizer allocation; ordered mechanical throwing cultivation; yield; nitrogen fertilizer utilization rate

秧苗有序机抛是一种新型的水稻机械化种植模式,可实现水稻分行、分蔸有序抛栽,具有秧苗返青快、低节位有效分蘖多等特点^[1-2],近年来在湖南、江西、安徽等省迅速推广。与传统插秧模式相比,有序机抛主要表现出前期发苗快、分蘖率高、单位面积有效穗多等特点^[1];与手抛秧相比,有序机抛主要表现出群体生育后期的干物质同化量增加、叶片衰老速度降低、结实率增加等特点^[1]。可见,有序机抛的产量形成特点及生长发育特性与传统的插秧、抛秧种植方式存在差异,但目前有序机抛的栽培措施仍与传统的插秧、抛秧模式保持一致,导致生产上可能存在栽培管理与群体生长特性不匹配的问题,进而限制其高产潜力的发挥。

氮是影响水稻生长发育和产量形成的最主要元素^[3]。增施氮肥可提高有效穗数和每穗粒数^[4],但过量的氮肥投入会降低产量增长率,甚至造成减产^[5]。在不同施氮水平下,早生分蘖对水稻的产量贡献率基本不变,晚生分蘖对群体产量的贡献率随着氮肥施用量的增加而增加^[6-7]。不同的生态区、品种、种植制度、种植季节和种植方式下水稻高产栽培的氮肥运筹策略存在明显差异^[8-10],而不同条件下水稻对氮素的吸收、转运及利用特征是决定其适宜氮肥运筹的前提和关键。在有序机抛模式下,虽然前人围绕其生长发育特性开展了相关研究,但是该模式下水稻的氮素利用特征尚不清楚。本研究中,在双季早稻模式下,通过研究有序机抛产量形成、生长发育和氮素利用对不同氮肥用量和分配比例的响应特点,旨在明确有序机抛栽培的氮肥利用特征,为有序机抛高产氮肥管理模式的建立提供依据。

1 试验地概况

试验于 2021—2022 年在湖南省益阳市大通湖区千山红镇(112°15'28"E, 29°01'19"N)进行。田块基本理化性状: pH7.98, 有机质 27.90 g/kg, 碱解氮、有效磷、缓效钾、速效钾含量分别为 117.37、15.57、335.30、111.07 mg/kg。

2 材料与方法

2.1 材料

常规早稻品种湘早籼 24 号。

2.2 试验设计

试验采用裂区设计: 主区为施氮量(N), 设 3 个水平, 分别为 N1(120 kg/hm²)、N2(150 kg/hm²)和 N3(180 kg/hm²); 副区为氮肥分配处理 T1、T2、T3、T4, 基肥、分蘖肥、穗肥的施用比例分别为 1:1:1、0:1:1、1:0:1、1:1:0。此外, 设置生产推荐施肥对照(施 N 量为 120 kg/hm², 基肥、分蘖肥、穗肥的施用比例为 5:3:2, CK)和不施氮处理(N0)。3 次重复。共 42 个小区, 小区面积 25 m²。各小区之间用田埂隔开, 覆膜, 单排单灌, 防止小区之间串水串肥。各小区移栽密度保持一致, 有序机抛秧株行距为 25 cm×13 cm。试验所有小区 P₂O₅、K₂O 施用量分别为 75、150 kg/hm², 磷肥全部用作基肥, 钾肥按基肥和穗肥各 50%施用。全生育期水管理及病虫草害管理按照当地高产栽培模式管理。

2.3 测定项目与方法

2.3.1 测产与考种

成熟期每个小区选取长势基本一致的 5 m² 中

央区域作为测产区,收割后脱粒并将稻谷晒干,用风选机去除杂质和空瘪粒。放置 3 d,待稻谷吸湿平衡后测定稻谷质量,并用自动数字水分仪(DMC-700)测定稻谷籽粒含水量,统一换算成 13.5%的标准含水量,计算水稻产量。

在测产区域周边选取长势基本一致的 10 蔸样品进行考种。统计有效穗数、结实率和千粒质量,计算穗粒数和理论产量,根据理论产量计算收获指数。

2.3.2 茎蘖动态的测定

每小区选定 10 穴,水稻抛栽返青后每隔 3 d 调查 1 次分蘖数,直至分蘖数稳定或齐穗期为止,记录基本苗、最高苗和有效穗数,计算最高分蘖率和成穗率。

2.3.3 氮含量及氮素利用效率的测定

将水稻抽穗期的叶、茎鞘、穗分别粉碎,成熟期的叶、茎鞘、枝梗、空粒、实粒分别粉碎过 0.2 mm 孔径筛,用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化,采用凯氏定氮法测

定植株各器官的氮含量,并计算植株各器官的氮素积累量。参照蒋鹏等^[11]的方法,计算氮素收获指数、氮肥农学利用率;参照侯红乾等^[12]的方法,计算氮肥吸收利用率、氮肥生理利用率。

3 结果与分析

3.1 有序机抛早稻的产量及产量构成

从表 1、表 2 可以看出,施氮量和不同氮肥分配对有序机抛早稻的产量影响显著,但无交互作用。N3、N2、N1 的早稻平均产量依次降低,N1 的平均产量显著低于 CK 的,但仍显著高于 N0 的。在不同氮肥分配下,2021 年 T2 的产量均显著低于 T4 的,T2 的产量均低于其他处理的,T4 的产量最高;2022 年 T2 的产量显著低于 T1、T3 和 T4 的,T4 的产量最高。分析产量构成因子发现,在不同氮肥分配下,2021 和 2022 年 T2 的单位面积有效穗数均显著低于 T4 的,T4 的单位面积有效穗数最高,而穗粒数、结实率和千粒质量的变化规律不明显。

表 1 2021 年不同处理早稻的产量与产量构成

施氮量	氮肥分配	产量/(t hm ⁻²)	有效穗数/m ²	穗粒数	结实率/%	千粒质量/g	收获指数/%
N0		3.70D	219.0C	105.5B	78.2	24.6	51.2B
CK		7.14AB	356.0B	127.7A	73.2	24.5	52.5AB
N1	T1	6.95ab	375.0a	121.6ab	68.2b	24.4	52.7
	T2	6.43b	291.0b	140.7a	72.8ab	24.2	51.8
	T3	6.85ab	398.0a	111.2b	74.7a	24.6	52.9
	T4	7.03a	404.0a	110.6b	71.0ab	24.4	52.8
	均值	6.82C	367.0B	121.3A	73.8	24.4	52.6AB
N2	T1	7.19a	389.0b	120.8a	75.7	24.3	52.9a
	T2	6.66b	355.0c	122.7a	77.6	24.4	51.2b
	T3	7.01ab	413.0ab	107.6b	74.3	24.2	53.5a
	T4	7.22a	417.0a	113.5ab	71.8	24.5	52.9a
	均值	7.02BC	393.5AB	116.2B	74.9	24.5	52.6AB
N3	T1	7.14ab	416.0ab	115.3b	71.7	24.4	53.6
	T2	6.78b	390.0b	109.2b	74.7	24.5	53.0
	T3	7.37a	439.0a	118.9a	69.2	24.5	54.3
	T4	7.54a	450.0a	110.3b	73.8	24.5	54.0
	均值	7.21A	423.8A	113.4B	72.3	24.4	53.7A
方差分析	N	*	**				
	T	**	**	*			*
	N × T			*			

同列不同小写字母表示同一施氮量各氮肥分配处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); 同列不同大写字母表示不同施氮量间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。"*""**""***"分别示在 0.05、0.01 水平影响显著。

表2 2022年不同处理早稻的产量与产量构成

Table 2 Yield and yield composition of early rice under different treatments in 2022

施氮量	氮肥分配	产量/(t hm ⁻²)	有效穗数/m ⁻²	穗粒数	结实率/%	千粒质量/g	收获指数/%
N0		4.45C	270.0D	96.1B	83.4A	24.6	57.3A
CK		7.40A	463.0A	120.9A	71.5C	24.4	54.4B
N1	T1	7.06a	412.0b	127.3ab	77.1a	24.4	56.4
	T2	6.55b	355.0c	135.5a	68.5b	24.2	55.9
	T3	7.01a	395.0b	134.7a	76.4a	24.6	56.9
	T4	7.25a	467.0a	118.2b	73.4ab	24.4	55.1
	均值	6.97B	407.3C	128.9A	73.8B	24.4	56.1AB
N2	T1	7.59a	470.0a	121.4b	75.6a	24.3	56.1a
	T2	6.64b	359.0b	136.3a	74.0a	24.4	51.5b
	T3	7.66a	434.0a	120.4b	78.7a	24.2	56.3a
	T4	7.74a	481.0a	114.0b	78.8a	24.5	54.1ab
	均值	7.41A	436.0BC	123.0A	76.2B	24.5	54.5AB
N3	T1	7.89a	466.0a	122.2ab	75.3a	24.4	54.2ab
	T2	6.83b	379.0b	139.0a	75.6a	24.5	55.5a
	T3	7.84a	464.0a	119.5b	76.4a	24.5	54.7ab
	T4	7.99a	485.0a	124.3ab	75.8a	24.5	53.0b
	均值	7.64A	448.5AB	126.2A	75.7BC	24.4	54.4AB
方差分析	N	*	*				**
	T	**	**	**			*
	N × T						

同列不同小写字母表示同一施氮量各氮肥分配处理间的差异有统计学意义($P<0.05$); 同列不同大写字母表示不同施氮量间的差异有统计学意义($P<0.05$)。*、**、***分别示在 0.05、0.01 水平影响显著。

表明氮肥分配影响有序机抛早稻的单位面积有效穗数,各处理间产量的差异主要缘于单位面积有效穗数的差异,基肥缺失氮肥的 T2 处理对有序机抛早稻产量影响较大,而穗肥不施氮的 T4 处理对有序

序机抛早稻的产量影响较小。

3.2 有序机抛早稻的茎蘖动态

从表 3、表 4 可以看出,氮肥分配对有序机抛

表3 2021年不同处理早稻的生长性状

Table 3 Growth traits of early rice under different treatments in 2021

施氮量	氮肥分配	基本苗数/ ($\times 10^5/\text{hm}^{-2}$)	最高苗数/ ($\times 10^6/\text{hm}^{-2}$)	有效穗数/ ($\times 10^6/\text{hm}^{-2}$)	分蘖率/%	成穗率/%
N0		9.05	2.615E	2.190C	289.6E	76.3
CK		9.35	4.497D	3.560B	481.1D	74.4
N1	T1	9.85	5.240ab	3.750a	532.5b	72.0b
	T2	9.70	4.646b	2.910b	479.2c	66.1c
	T3	9.80	5.312a	3.980a	542.1ab	74.1b
	T4	10.35	5.500a	4.040a	531.5b	76.9a
	均值	9.93	5.1745C	3.670B	521.3C	72.3
N2	T1	10.65	5.601a	3.890b	525.9c	72.8b
	T2	9.75	5.331b	3.550c	546.8b	66.2c
	T3	9.15	5.261b	4.130ab	575.0a	72.6b
	T4	9.80	5.321b	4.170a	543.6b	77.7a
	均值	9.84	5.378B	3.935AB	547.8B	72.3
N3	T1	9.20	5.617b	4.160ab	610.5b	70.5b
	T2	9.55	6.064a	3.900b	635.6a	63.1c
	T3	9.20	5.851ab	4.390a	636.4a	69.1b
	T4	10.75	6.224a	4.500a	579.6c	76.1a
	均值	9.68	5.939A	4.238A	615.5A	69.7
方差分析	N		*	**		
	T		*	**	*	*
	N × T					

同列不同小写字母表示同一施氮量各氮肥分配处理间的差异有统计学意义($P<0.05$); 同列不同大写字母表示不同施氮量间的差异有统计学意义($P<0.05$)。*、**、***分别示在 0.05、0.01 水平影响显著。

表 4 2022 年不同处理早稻的生长性状

施氮量	氮肥分配	基本苗数/ ($\times 10^5/\text{hm}^{-2}$)	最高苗数/ ($\times 10^6/\text{hm}^{-2}$)	有效穗数/ ($\times 10^6/\text{hm}^{-2}$)	分蘖率/%	成穗率/%
N0		10.51	3.557B	2.700D	338.3C	76.9
CK		11.56	6.348A	4.630A	549.1A	73.7
N1	T1	10.51	5.388b	4.120b	514.3b	76.3a
	T2	11.11	5.223b	3.550c	472.2c	66.7b
	T3	10.36	6.318a	3.950b	614.7a	62.8b
	T4	10.66	6.213a	4.670a	593.6a	74.0a
	均值	10.66	5.786A	4.073C	548.7B	70.0
N2	T1	10.51	6.078ab	4.700a	579.7c	74.3a
	T2	10.06	5.568b	3.590b	554.6c	66.6b
	T3	9.60	6.243a	4.340a	650.0a	67.9b
	T4	10.36	6.483a	4.810a	627.4b	74.5a
	均值	10.13	6.093A	4.360BC	602.9A	70.8
N3	T1	10.81	6.093ab	4.660a	564.6c	79.6a
	T2	10.36	5.448b	3.790b	530.9c	67.3c
	T3	10.66	6.483a	4.640a	613.6b	74.8b
	T4	9.90	6.768a	4.850a	685.4a	71.2b
	均值	10.43	6.198A	4.485AB	598.6A	73.2
方差分析	N		*	*		
	T		**	**	*	*
	N \times T					

同列不同小写字母表示同一施氮量各氮肥分配处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); 同列不同大写字母表示不同施氮量间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。*、**、***、****分别示在 0.05、0.01 水平影响显著。

早稻的最高苗数、有效穗数、分蘖率和成穗率均影响显著。2021、2022 年, T2 的有效穗数均低于 T1、T3、T4 的。2021 年, 3 个施氮水平下 T3 的分蘖率最高, 且均高于 CK 的。2022 年, 在施氮量为 N1 和 N2 时, T3 的分蘖率最高; 施氮量为 N3 时, T4 的分蘖率最高。不同氮肥分配下, 2021 年 T2 的成穗率显著低于 T1、T3 和 T4 的, 也低于 CK 的。2022 年, 在施氮量为 N1 时, T2 的成穗率低于 T1、T4 和 CK 的; 施氮量为 N2、N3 时, T2 的成穗率低于 T1、T3、T4 和 CK 的。以上结果表明, 基肥不施

氮肥的 T2 处理的无效分蘖数增加, 导致成穗率降低和单位面积有效穗数下降。

3.3 有序机抛早稻的氮素积累量

氮素积累量反映了不同处理有序机抛早稻的氮素吸收能力。从表 5 可以看出, 施氮量和氮肥分配对有序机抛早稻地上部氮素积累的影响显著, 但无显著交互作用。在不同施氮量下, 2021、2022 年, 早稻 N3 的地上部氮素积累量显著高于 N2、N1、CK 和 N0 的, N1 的地上部氮素积累量显著低于 CK

表 5 不同处理早稻地上部的氮素积累量

施氮量	氮肥分配	2021 年氮素积累量		2022 年氮素积累量	
		抽穗期	成熟期	抽穗期	成熟期
N0		4.40D	6.34D	4.17D	6.78D
CK		12.24B	16.09B	15.02B	17.87B
N1	T1	11.07b	14.01b	12.68b	15.94b
	T2	11.54c	13.08c	10.79c	14.21c
	T3	13.29a	14.92a	12.70b	16.69a
	T4	12.69a	15.32a	15.18a	17.35a
	均值	12.15C	14.33C	12.86C	16.05C

表 5(续)

施氮量	氮肥分配	g/m ²			
		2021年氮素积累量		2022年氮素积累量	
		抽穗期	成熟期	抽穗期	成熟期
N2	T1	13.02a	16.51b	14.88b	19.10b
	T2	12.72b	14.68c	13.09c	15.68c
	T3	14.24a	16.05b	15.94ab	18.78b
	T4	15.06a	17.70a	17.47a	20.02a
	均值	13.76B	16.24B	15.35B	18.39B
N3	T1	14.91b	17.10c	16.52b	20.44b
	T2	14.42b	15.61d	14.68c	18.04c
	T3	16.30a	19.01b	18.59a	21.00ab
	T4	16.96a	20.20a	18.56a	22.15a
	均值	15.65A	17.98A	17.09A	20.41A
方差分析	N	*	*	*	**
	T	**	**	**	**
	N × T				

同列不同小写字母表示同一施氮量各氮肥分配处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); 同列不同大写字母表示不同施氮量间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。"*""**""***"分别示在 0.05、0.01 水平影响显著。

的。在不同氮肥分配之间, 2021年抽穗期, 施氮量为 N1 和 N2 时, T2 的地上部氮素积累量显著低于 T1、T3、T4 的; 成熟期, T2 的地上部氮素积累量显著低于 T1、T3、T4 的; 2022年抽穗期和成熟期, T2 的地上部氮素积累量均显著低于 T1、T3 和 T4 的。以上结果表明, 基肥不施氮肥会降低有序机抛早稻的地上部氮素积累量。

3.4 有序机抛早稻的氮素利用率

从表 6、表 7 可以看出, 氮肥分配对有序机抛早稻氮素利用率的影响显著。在不同施氮量下, CK、N1、N2、N3 处理下, 有序机抛早稻的氮肥农学利用率依次下降。在不同氮肥分配之间, 2021年, T2 的氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率和氮素收获指

表 6 2021年不同处理早稻的氮素利用率

Table 6 Nitrogen utilization efficiency of early rice under different treatments in 2021 %					
施氮量	氮肥分配	氮肥吸收利用率	氮肥农学利用率	氮肥生理利用率	氮素收获指数
N0					66.01A
CK		67.19A	28.60A	42.41B	63.19AB
N1	T1	57.80ab	27.05ab	47.35b	59.33b
	T2	43.15b	22.75b	51.56a	53.85c
	T3	54.01ab	26.27ab	45.84b	63.38ab
	T4	61.11a	27.69a	45.92b	65.27a
	均值	54.02B	25.94A	47.67A	60.46C
N2	T1	57.23ab	23.23a	41.12ab	63.76a
	T2	44.38b	19.74b	44.04a	56.10b
	T3	52.27ab	22.03ab	42.39ab	65.17a
	T4	64.65a	23.48a	37.43b	63.61a
	均值	54.63B	22.12B	41.25B	62.16BC
N3	T1	49.76a	19.12ab	40.82	59.93ab
	T2	40.12b	17.11b	42.04	57.72b
	T3	54.46a	20.38a	38.33	62.68ab
	T4	57.05a	21.31a	38.49	63.87a
	均值	50.35B	19.48C	39.92B	61.05C
方差分析	N		**	**	
	T	**	**	*	**
	N × T				

同列不同小写字母表示同一施氮量各氮肥分配处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); 同列不同大写字母表示不同施氮量间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。"*""**""***"分别示在 0.05、0.01 水平影响显著。

表 7 2022 年不同处理早稻的氮素利用率

Table 7 Nitrogen utilization efficiency of early rice under different treatments in 2022						%
施氮量	氮肥分配	氮肥吸收利用率	氮肥农学利用率	氮肥生理利用率	氮素收获指数	
N0					69.10A	
CK		63.13A	24.20A	37.48B	69.17A	
N1	T1	49.11ab	21.69a	43.49a	64.24a	
	T2	42.20b	17.42b	40.21b	59.15b	
	T3	53.02ab	21.27a	40.08b	66.11a	
	T4	61.44a	23.27a	38.46c	67.75a	
	均值	51.44C	20.91B	40.54A	64.31B	
N2	T1	65.57a	20.92a	34.11	66.89a	
	T2	48.54b	14.59b	30.13	57.91b	
	T3	69.18a	21.38a	32.82	67.33a	
	T4	70.65a	21.86a	31.34	66.26a	
	均值	63.49AB	22.03B	31.67C	64.60B	
N3	T1	59.18a	19.09a	29.28b	62.74	
	T2	41.57b	13.20b	33.06a	61.43	
	T3	66.80a	18.77a	29.14b	63.94	
	T4	63.81a	19.65a	29.29b	63.12	
	均值	57.84BC	19.33C	30.17C	62.81C	
方差分析	N	*	*			
	T	**	**	**	**	
	N × T					

同列不同小写字母表示同一施氮量各氮肥分配处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)；同列不同大写字母表示不同施氮量间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。*、**、***分别示在 0.05、0.01 水平影响显著。

数均显著低于 T4 的。2022 年, T2 的氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率均显著低于 T4 的, 且在施氮量为 N2 和 N3 时, T2 的氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率均显著低于 T1、T3 和 T4 的; 在施氮量为 N1 和 N2 时, T2 的氮素收获指数均显著低于 T1、T3 和 T4 的。以上结果表明, 基肥不施氮肥(T2)对有序机抛氮素利用率影响较大, 而穗肥不施氮肥(T4)对有序机抛的氮素利用率影响较小。

4 结论与讨论

林忠成等^[8]研究发现, 基肥和分蘖肥占总施氮量的 60%~70%时, 水稻有较高的干物质积累量、氮素积累量、氮素当季利用率。郭宏文等^[13]研究发现, 基肥和分蘖肥占总施氮量比例为 70%时, 水稻的产量最高, 茎蘖成穗率达 70%以上, 表明施足基肥与分蘖肥有利于水稻获得较高产量。胡群等^[14]研究发现, 基肥和分蘖肥比例减少, 水稻产量先增加后减小。张琪等^[15]研究发现, 水稻不施基肥会导致分蘖发生慢, 最高茎蘖数、有效穗数及齐穗期和成熟期的干物质积累量降低, 氮肥偏生产力也降低, 最终导致产量降低。陈军等^[16]研究发现, 在水

稻生长前期减施氮肥, 可有效抑制前期无效分蘖, 提高水稻的成穗率; 水稻生长后期施氮过多, 会导致水稻叶绿素含量增加, 但是产量并未提高。本研究中, 有序机抛早稻基肥不施氮肥而分蘖肥和穗肥多施氮肥, 导致单位面积有效穗数下降, 产量降低。有关氮肥施用量以及氮肥运筹对水稻的产量和生长发育的影响已有很多研究^[17-19], 不同的水稻种植模式、施氮量以及氮肥运筹方式导致的结果不同, 但比较一致的结果是基肥和分蘖肥的施用对水稻产量影响显著。本研究中, 有序机抛早稻的平均产量随着施氮量降低而降低, 在不同氮肥分配下, T2 的产量低于 CK、T1、T3、T4 的, 其中, 显著低于 T4 的, 表明基肥不施氮肥对有序机抛早稻产量影响显著, 这与前人的研究结果基本一致; 基肥不施氮肥而分蘖肥和穗肥多施氮肥的处理(T2)降低了有序机抛早稻的氮素积累量, 使得氮肥吸收利用率、农学利用率和氮素收获指数显著下降, 进而影响有效穗、分蘖率和成穗率, 最终导致产量显著下降; 氮肥只作基肥和分蘖肥施用的处理(T4)的氮肥吸收利用率、农学利用率和氮素收获指数均较高, 表明基肥的施用比例对有序机抛早稻的产量、成穗率和氮

肥利用都有显著影响。

水稻移栽后,秧苗有一定的移栽损伤恢复期,移栽后2周内水稻吸氮量少^[20],而有序机抛秧苗损伤轻、返青快、低节位有效分蘖多,生长前期吸氮量较多,如果生长前期施氮不足而中后期施氮过多,则导致有序机抛水稻的氮素积累量减少,氮素利用率降低。当土壤基础肥力高时,由于作物不能充分利用基施氮肥,可不施基肥,从而减少氮肥损失^[21-22]。本试验中,基肥不施氮肥的T2处理降低了有序机抛早稻的总吸氮量,使得氮肥吸收利用率、农学利用率和氮素收获指数显著下降,说明在不同的土壤基础肥力条件下,应采用不同的基肥施用比例,对低肥力的稻田要注重基肥和分蘖肥的运筹,而在高肥力条件下,基肥对水稻产量及产量构成影响不明显^[20]。本试验中,采用氮肥运筹为前中期施肥的T4处理,有序机抛早稻可获得较高的氮素利用率和较高的产量。

本研究结果表明,前期氮肥管理可能是水稻有序机抛栽培实现高产的关键因子。未来研究需从前期施氮量、氮肥分配比例、密氮耦合效应等角度来进一步优化,以探索出适用于有序机抛早稻高产栽培的氮肥管理模式。

参考文献:

- [1] 王慰亲,唐启源,陈元伟,等. 水稻机械精量有序抛秧栽培的产量形成和生长发育特征研究[J]. 作物学报, 2021, 47(5): 942-951.
- [2] 罗友谊,王慰亲,郑华斌,等. 不同机械有序种植方式对水稻生长特性及产量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(7): 162-171.
- [3] 汪本福,余振渊,程建平,等. 氮素对水稻产量和品质形成的影响研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 76-83.
- [4] 从夕汉,施伏芝,阮新民,等. 施氮量对不同品种水稻氮素利用及碳氮代谢关键酶的影响[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(3): 325-330.
- [5] 徐海波,王光明,隗溟,等. 高温胁迫下水稻花粉粒性状与结实率的相关分析[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(3): 205-207.
- [6] 汪洋. 氮素营养对水稻分蘖的产量异质性影响及调控[D]. 武汉:华中农业大学, 2017.
- [7] 刘杨,王强盛,丁艳锋,等. 水稻分蘖发生机理的研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 1-5.
- [8] 林忠成,李土明,吴福观,等. 基肥与穗肥氮比例

对双季稻产量和碳氮比的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 269-275.

- [9] 唐利忠,石泉,王晓玉,等. 氮肥用量和运筹方式对湘南早稻产量和氮素利用效率的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(11): 72-81.
- [10] 李阳,杨晓龙,汪本福,等. “早籼晚粳”双季机插周年氮肥高效运筹研究[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(5): 9-16.
- [11] 蒋鹏,熊洪,朱永川,等. 施氮量和氮肥运筹模式对糯稻养分吸收积累和氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2016, 42(4): 349-353.
- [12] 侯红乾,冀建华,刘秀梅,等. 不同比例有机肥替代化肥对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 土壤, 2020, 52(4): 758-765.
- [13] 郭宏文,李土明,李刚,等. 氮肥运筹对双季稻产量及氮素利用率的影响[J]. 耕作与栽培, 2006(3): 8-10.
- [14] 胡群,夏敏,张洪程,等. 氮肥运筹对钵苗机插优质食味水稻产量及氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(11): 1666-1676.
- [15] 张琪,陶诗顺,黄正,等. 不同基肥施用方式对油后直播杂交稻生长和产量的影响[J]. 杂交水稻, 2021, 36(6): 54-57.
- [16] 陈军,叶荣榕,李程勋,等. 不同氮肥运筹方式对水稻氮素利用率及产量的影响[J]. 福建农业学报, 2012, 27(7): 759-763.
- [17] 陈志峰. 直播双季稻氮肥运筹研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2018.
- [18] 陈宇眺. 栽培模式对水稻产量和氮肥利用率的影响及生理机制的研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2016.
- [19] 林晶晶,李刚华,薛利红,等. ¹⁵N示踪的水稻氮肥利用率细分[J]. 作物学报, 2014, 40(8): 1424-1434.
- [20] 范立慧,徐珊珊,侯朋福,等. 不同地力下基肥运筹比例对水稻产量及氮肥吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(10): 1872-1884.
- [21] BALASUBRAMANIAN V, MORALES A C, CRUZ R T, et al. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice systems[M]// BALASUBRAMANIAN V, LADHA J K, DENNING G L. Resource Management in Rice Systems: Nutrients. Dordrecht: Springer, 1999: 79-93.
- [22] SINGH B, SINGH Y, LADHA J K, et al. Chlorophyll meter-and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(4): 821-829.

责任编辑:毛友纯

英文编辑:柳正