

机插稻鸭共作系统氮素基蘖肥用量对水稻群体质量与氮素利用的影响

余翔^{1,2}, 王强盛^{1,2}, 王夏雯¹, 王绍华¹, 蒋祖明³, 唐来春³, 丁艳锋^{1*}

(1 南京农业大学农业部作物生长调控重点开放实验室, 江苏南京 210095; 2 宿迁市农业科学研究院, 江苏宿迁 223800; 3 江苏省金坛市农林局, 江苏金坛 213200)

摘要:以武粳15为试材,研究了氮素基蘖肥用量对机插稻鸭共作水稻群体特征和氮素吸收利用的影响。结果表明:1)在稻鸭共作系统中,随氮素基蘖肥用量的减少,机插水稻群体最高分蘖数减少,最高分蘖数前后的分蘖发生和消亡速率降低,粒叶比、有效叶面积率、高效叶面积率提高,齐穗期和成熟期干物质积累量降低,各阶段尤其是拔节至齐穗期的吸氮量降低。2)当氮素基蘖肥用量适宜,基、穗肥比4.5:5.5时,机插水稻群体的分蘖成穗率较高,叶面积指数适宜,齐穗期至成熟期的干物质积累量最大,拔节前氮素基蘖肥利用率、氮肥当季利用率、氮素农学利用率、氮素收获指数和氮肥偏因素生产力协同提高,群体穗数合理,产量最高。3)稻鸭共作不仅提高拔节前氮素基蘖肥利用率和氮肥当季利用率,而且改善机插水稻的群体质量,提高抽穗后群体的生产能力和水稻产量。

关键词:机插水稻;稻鸭共作;氮素用量;群体质量;氮素利用

中图分类号:S511.047;S511.01 文献标识码:A 文章编号:1008-505X(2009)03-0529-08

Effects of the amount of basic and tillering nitrogen on population quality and nitrogen utilization of machine-transplanted rice in rice-duck farming system

YU Xiang^{1,2}, WANG Qiang-sheng^{1,2}, WANG Xia-wen¹, WANG Shao-hua¹, JIANG Zu-ming³, TANG Lai-chun³, DING Yan-feng^{1*}

(1 Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 Suqian Academy of Agricultural Science, Suqian, Jiangsu 223800, China

3 Jintan Agriculture and Forest Bureau of Jiangsu Province, Jintan 213200, China)

Abstract: Wujing15 (japonica rice cultivar) was used, and four different amount of basal and tillering nitrogen fertilizer (BN) were conducted to investigate the effects of nitrogen fertilizer on the population quality and nitrogen utilization of machine-transplanted rice in rice-duck farming system. The results showed as followed: 1) In rice-duck farming system, along with the reduction of the amount of BN, the maximum number of tillers and the speed of tiller appearance and dying decreased; the proportion of effective leaf area, high effective leaf area and the ratio of spikelets number to leaf area increased; dry matter and nitrogen accumulated from heading to maturity decreased; nitrogen uptake decreased at each stage especially from jointing to heading. 2) When the amount of BN at a suitable level, and the ratio of BN to topdressing nitrogen was 4.5:5.5, the ratio of effective tiller was higher under the machine-transplanted rice-duck farming system which at the same time contained a suitable LAI and reached the highest amount of day matter accumulated from heading to maturity. Moreover, higher BN utilization efficiency before jointing stage, nitrogen utilization efficiency, nitrogen harvest index, nitrogen agricultural efficiency and nitrogen partial factor productivity were achieved at that point also. 3) Machine-transplanted rice-duck farming system not only enhanced the nitrogen fertilizer use efficiency before jointing and of the whole planting season, but also improved the population quality and thus strengthen the ability of day matter producing and eventually rice yield.

收稿日期:2008-04-08 接受日期:2008-06-23

基金项目:国家粮食丰产科技工程(2006BAD02AB);国家科技计划重点项目(2007EA690004);江苏省科技招标项目(BE2007307);江苏省农业科技项目(BC2005312)资助。

作者简介:余翔(1983—)男,江苏宿迁人,硕士研究生,主要从事作物栽培科学研究。E-mail:2005101042@njau.edu.cn

* 通讯作者 E-mail:ricegroup@njau.edu.cn

Key words : machine-transplanted rice ; rice-duck farming system ; amount of nitrogen ; rice population quality ; nitrogen utilization

稻鸭共作技术是把水稻种植与动物养殖组合在一起,充分利用稻田光、热、水、气及生物资源的立体种养技术。该技术不仅可以增加稻田生态系统的稳定性,改善稻田的养分状况,还具有改善农田环境质量,提高农产品卫生品质的作用^[1-6],已在世界水稻主要产区得到广泛应用。稻鸭共作要求适当扩大水稻株行距,以满足鸭子在稻田穿行的需要,株行距可调式插秧机满足了这一需求,使得机插稻鸭共作模式逐渐在生产中推广;这不仅是农机与农艺相结合的典范,也符合现代高效生态农业的发展方向。有关机插水稻氮肥运筹的研究方面,袁奇等^[7]和彭长青等^[8-9]认为,应根据机插水稻的秧苗和分蘖发生特点,调整机插水稻前后期的施氮比例^[7-9]。但机插稻鸭共作系统的氮肥运筹不仅要考虑机插水稻的特点,还要考虑鸭子在稻田的活动和排便所带来的效应,如何在已有机插水稻施肥理论的基础上,探索出一种适用于机插稻鸭共作系统的施肥模式是一个非常有实际意义的问题,但是目前还没有相关的研究报告。适宜的氮素基、蘖肥用量可以优化水稻的群体质量和氮素利用,是获得高产的关键^[10]。本研究探讨了不同氮素基蘖肥用量对机插稻鸭共作水稻生长与氮素吸收、利用的影响,以期为机插稻鸭共作水稻的合理施氮提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006~2007 年在江苏省金坛市社头镇水稻试验田进行。供试土壤基础肥力为:有机质 19.4 g/kg,全氮 1.149 g/kg,碱解氮 112.4 mg/kg,速效磷 23.8 mg/kg,速效钾 89.6 mg/kg。供试水稻品种为武粳 15(主茎叶片数为 18、伸长节间数为 6),鸭子选用绍兴鸭。

试验以当地机插稻鸭共作生产常用氮素基蘖肥用量为参照,设常规氮素基蘖肥单一种植(BF)、常规氮素基蘖肥稻鸭共作(BFD)、常规氮素基蘖肥减少 10% 稻鸭共作(BF-10D)、常规氮素基蘖肥减少 20% 稻鸭共作(BF-20D)、常规氮素基蘖肥减少 30% 稻鸭共作(BF-30D)、无氮稻鸭共作对照(CKD)、无氮单一种植对照(CK)7 个处理(表 1)。非稻鸭共作处理小区面积为 4.5 m × 3 m,稻鸭共作处理小区面积为 20 m × 15 m,重复 3 次,随机区组排列。小区用

薄膜包埂,独立排灌,防止串肥。

试验用氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。氮素基肥、分蘖肥按 4:6 分两次施用,基肥在移栽前 3 d 施入,分蘖肥于移栽后 7 和 15 d 分两次等量施入;穗肥分促花肥和保花肥按 6:4 在倒 4 叶、倒 2 叶施用。磷肥(P_2O_5)、钾肥(K_2O)的用量各处理相同,均为 P_2O_5 120 kg/hm²、 K_2O 150 kg/hm²。磷肥作为基肥一次性施入,钾肥分为基肥和促花肥按 5:5 分两次施用。水稻栽插规格为 13.3cm(株距) × 30cm(行距),每穴 3 苗。放鸭小区田埂加高到 30 cm,加宽成 80 cm,以利于淹灌保水。各放鸭小区四周用鱼网和竹桩围护,防止鸭子逃跑或在小区间游窜。在放鸭小区田头搭建简易鸭棚,供投食和供鸭子避雨、休息。雏鸭出壳后的 12 d 在室内饲养,做好免疫接种和下水驯养工作,在水稻移栽后 10 d 放鸭进田,按 240 只/hm² 的放养密度分小区放养,水稻抽穗时收鸭。稻鸭共作期间田面水层一般保持在 8~12 cm。在水稻有效分蘖临界叶龄期排水烤田时鸭子暂时放养于附近水塘中,稻田复水后按放养数量放鸭回稻田,水稻抽穗鸭子离田后排掉田间水层。非稻鸭共作区采用干湿交替的湿润灌溉方式,于水稻有效分蘖临界叶龄期烤田。

1.2 测定项目与方法

在水稻全生育期标记叶龄,调查各处理茎蘖动态;移栽期、有效分蘖临界叶龄期(ATE)、拔节期(JS)、抽穗期(HS)、成熟期(MS)测定各处理干物质积累量,并进行氮含量测定;抽穗期考查群体质量;成熟期测定理论产量和实际产量。

采用半微量凯氏定氮法测定植株含氮率。以此为基础计算:

氮肥当季利用率(Nitrogen Use Efficiency, NUE) = (施氮区氮积累量 - 无氮区氮积累量) / 施氮量 × 100% ;

氮素收获指数(Nitrogen Harvest Index, NHI) = 子粒氮素积累量 / 总氮积累量 × 100% ;

氮素农学利用效率(Nitrogen Agricultural Efficiency, NAE) = (施氮区子粒产量 - 无氮区子粒产量) / 施氮量 × 100% ;

氮肥偏因素生产力(Nitrogen Partial Factor Productivity, PFP) = 施氮区子粒产量 / 施氮量 × 100% ;

氮素基蘖肥拔节前利用率(Basic and Tillering

表 1 各处理氮肥施用情况
Table 1 N application rate of treatments

处理 Treatments	施氮总量 Total N (kg/hm ²)	基、蘖氮肥 (kg/hm ²) Basic and tillering N		穗肥 (kg/hm ²) Topdressing N		基/追 Basic and tillering N/ Topdressing N
		基肥 Basic N	分蘖肥 Tillering N	促花肥 Spikelet-promoting N	保花肥 Spikelet-protecting N	
CK	0	0	0	0	0	
CKD	0	0	0	0	0	
BF	293.6	58.7	88.1	88.1	58.7	5.0/5.0
BFD	293.6	58.7	88.1	88.1	58.7	5.0/5.0
BF-10D	278.9	52.8	79.3	88.1	58.7	4.5/5.5
BF-20D	264.2	47.0	70.5	88.1	58.7	4.0/6.0
BF-30D	249.6	41.1	61.7	88.1	58.7	3.5/6.5

氮素利用效率 (Nitrogen Use Efficiency before Jointing, BUE) = (施氮区拔节前氮积累量 - 无氮区拔节前氮积累量) / 氮素基肥用量 × 100% ;

氮素转运量 (Nitrogen Transfer Amount, NTA) = 抽穗期营养器官中的氮积累量 - 成熟期营养器官中的氮积累量 ;

氮素转运率 (Nitrogen Transfer Efficiency, NTE) = (抽穗期营养器官中的氮积累量 - 成熟期营养器官中的氮积累量) / 抽穗期营养器官中氮积累量 × 100% .

2 结果与分析

2.1 茎蘖消长动态与成穗

本试验结果表明, 氮素基肥用量直接影响水稻群体分蘖的消长和分蘖成穗率。图 1 显示, 从 BFD 到 BF-10D、BF-20D、BF-30D 处理 随着氮素

基肥用量的减少, 4 个处理群体最高分蘖数逐渐减少, 分别为 510×10^4 、 480×10^4 、 460×10^4 、 435×10^4 个/hm²。群体最高分蘖数出现前后分蘖发生速率和消亡速率降低, 4 个处理最高分蘖数出现前 7 d 的分蘖平均日增量为 20.9×10^4 、 17.8×10^4 、 16.5×10^4 、 13.1×10^4 个/hm²; 出现后 7 d 的分蘖平均日消亡量为 7.4×10^4 、 5.0×10^4 、 3.2×10^4 、 2.1×10^4 个/hm²。

图 2 看出, 氮素基肥用量减少后分蘖成穗率提高, 处理 BF-10D、BF-20D、BF-30D 的分蘖成穗率均显著高于处理 BFD, 但 BF-10D、BF-20D、BF-30D 处理之间的差异不大。无氮稻鸭共作处理 (CKD) 与无氮单一种植对照 (CK) 相比, 最大分蘖数和分蘖成穗率都提高; 常规氮素基肥稻鸭共作处理 (BFD) 与常规氮素基肥单一种植处理 (BF) 相比, 最高分蘖数降低, 分蘖成穗率提高。

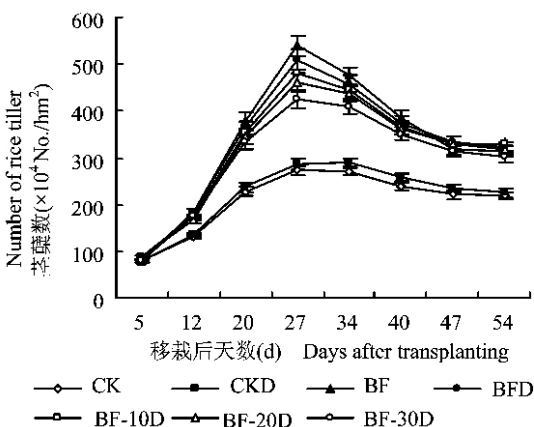


图 1 氮素基肥用量对机插稻鸭共作水稻群体茎蘖动态的影响

Fig.1 Effect of base nitrogen amount on the variety of rice tiller in machine-transplanted rice-duck farming system

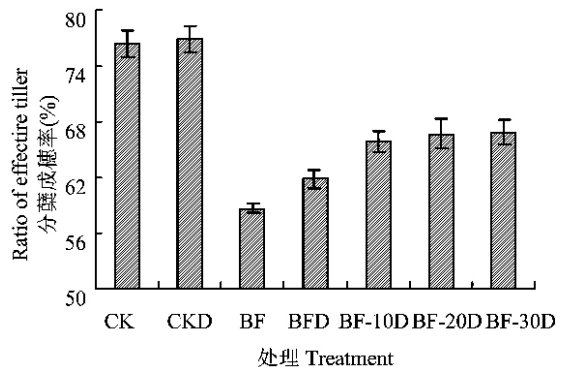


图 2 氮素基肥用量对机插稻鸭共作水稻群体成穗率的影响

Fig.2 Effect of base nitrogen amount on the ratio of effective tiller of rice in machine-transplanted rice-duck farming system

2.2 群体质量特征

由于群体分蘖消长动态的不同,水稻抽穗后的群体质量产生差异。表 2 看出,从 BFD 到 BF-30D 随着氮素基肥用量的减少,群体的叶面积指数降低,粒叶比、有效叶面积率、高效叶面积率提高,抽穗期和成熟期干物质积累量降低,群体总颖花量、抽穗后干物质积累量表现为先增后降,最大值均出现在 BT-10D 处理。氮素基肥用量减少 30% 以内虽然可以持续提高群体的有效叶面积率、高效叶面积

率和粒叶比,但是氮素基肥用量减少 $\geq 20\%$ 时会造成叶面积指数偏小、颖花量和各时期干物质积累不足。此外,与无氮单一种植对照(CK)相比,无氮稻鸭共作对照(CKD)的总颖花量、粒叶比、高效叶面积率和抽穗至成熟期干物质积累量均较高;与常规氮素基肥单一种植处理(BF)相比,常规氮素基肥稻鸭共作处理(BFD)的叶面积指数较适宜,总颖花量、粒叶比、高效叶面积率和抽穗至成熟期干物质积累量都有所提高。

表 2 氮素基肥用量对机插稻鸭共作水稻齐穗期群体质量的影响

Table 2 Effect of the amount of basic and tillering N on the population quality of machine-transplanted rice in rice-duck farming system at heading stage

处理 Treatments	叶面积指数 LAI	颖花量 Spikelet No. ($\times 10^4$ No./ hm^2)	粒叶比 Grain/Leaf	有效叶面积率 Ratio of effective leaf area (%)	高效叶面积率 Ratio of high effective leaf area (%)	干物质积累 Dry matter (kg/hm^2)		
						抽穗期 Heading	成熟期 Maturity	合计 Total
CK	3.57 f	25033 d	0.58 bc	97.9 a	66.1 b	6186 c	12000 c	5814 d
CKD	3.57 f	27057 c	0.63 a	98.3 a	68.6 a	6485 c	12705 c	6220 c
BF	7.81 a	42951 b	0.46 e	88.5 d	58.4 d	13806 a	21707 a	7901 b
BFD	7.44 b	45125 a	0.52 d	90.7 d	62.4 c	13658 a	21694 a	8037 ab
BF-10D	7.06 c	45481 a	0.54 d	92.4 cd	64.6 b	13202 a	21486 a	8284 a
BF-20D	6.72 cd	44947 a	0.57 cd	94.4 bc	65.5 b	12364 b	20543 ab	8179 a
BF-30D	6.45 de	43193 b	0.58 bc	95.5 b	66.2 b	11831 b	19533 b	7703 b

注 (Note): 同一列数据后不同小写字母表示差异达 5% 显著水平,下同。Values followed by different small letters in the same column are significant at 5% level. The same below.

2.3 氮素吸收、转运和利用

2.3.1 氮素吸收 图 3 看出,从 BFD 到 BF-30D 随氮素基肥用量的减少水稻群体各阶段吸氮量均有减少趋势,其中拔节期至齐穗期的群体吸氮量随氮素基肥用量的减少变化最为明显。机插稻鸭共作系统的氮素基肥用量减少 10% 对水稻群体各阶段吸氮量没有产生显著影响,而减少 $\geq 20\%$ 会对水稻群体有效分蘖临界叶龄期以前和拔节期至抽穗期的吸氮量产生较大的影响。比较无氮稻鸭共作(CKD)和无氮单一种植(CK)的吸氮量以及常规氮素基肥稻鸭共作(BFD)和常规氮素基肥单一种植(BF)的吸氮量还可以看出,在无氮情况下,稻鸭共作使水稻有效分蘖临界叶龄期前吸氮量、抽穗期至成熟期吸氮量和总吸氮量分别增加了 0.98、2.85 和 9.10 kg/hm^2 ,在常规施氮情况下分别增加了 4.21、5.00 和 8.40 kg/hm^2 。

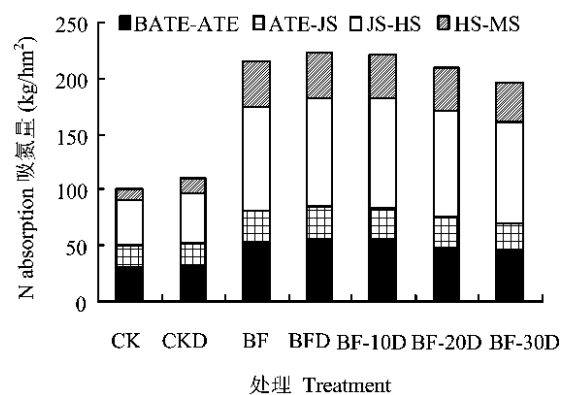


图 3 氮素基肥用量对机插稻鸭共作水稻群体各生育期氮素吸收量的影响

Fig. 3 Effect of the base N amount on the N absorption on each stage of machine-transplanted rice in rice-duck farming system

[注 (Note): BATE—水稻有效分蘖临界叶龄期前 Before available tillering ending; ATE—有效分蘖期临界叶龄 Available tillering ending stage; JS—拔节期 Jointing stage; HS—抽穗期 Heading stage; MS—成熟期 Maturity stage]

2.3.2 氮素转运 氮素的转运量可用抽穗期和成熟期营养器官中氮素吸收量的差值来表示；而氮转运效率是营养器官氮转运量占抽穗期氮积累量的百分比。表 3 看出,从 BFD 到 BF-30D 随氮素基肥用量的减少氮素的转运量和氮转运效率均表现为先升高后降低,4 个氮素基肥用量处理中,BF-10D 处理秸秆中氮素的转运量和转运率最高,子粒中氮素积累量和来自秸秆转运氮的比例也最高。无氮处理和施氮处理相比可以看出,施氮显著增加了秸秆氮转运量,但显著降低了秸秆氮转运率和转运氮占子粒氮的比例。在常规施氮情况下,稻鸭共作(BFD)比单一种稻(BF)显著提高了转运氮占子粒氮的比例,也增加了氮素转运量和氮转运率。

2.3.3 氮素利用 氮肥当季利用率、氮素收获指数、氮素农学利用效率和氮肥偏因素生产力是用来衡量水稻群体对氮素营养吸收与利用的生理指标。

表 4 显示,从 BFD 到 BF-30D 随氮素基肥用量的减少,氮素基肥拔节前利用率、氮肥当季利用率、氮素收获指数、氮素农学利用效率、氮肥偏因素生产力均呈现先升后降的变化,氮肥偏因素生产力、氮素收获指数 BF-20D 处理与 BF-10D 处理相差不大,其他各指标均为 BF-10D 处理最高。可见,机插稻鸭共作系统的常规氮素基肥用量减少 10% 时,水稻氮肥当季用率和单位氮素的产量效应提高。然而,氮素基肥用量减少 $\geq 20\%$ 时会影响水稻的氮素吸收,不利于氮素基肥拔节前利用率、氮肥利用率、氮素农学效率和氮肥偏因素生产力的协同提高。表 4 还看出,常规氮素基肥稻鸭共作处理(BFD)的 5 项氮素利用指标均高于常规氮素基肥单一种植对照(BF),其中氮素基肥拔节前利用率差异显著。

表 3 氮素基肥用量对机插稻鸭共作水稻氮素转运量、转运率的影响

Table 3 Effect of the amount of basic and tillering N on N transfer amount and transfer efficiency of rice in machine-transplanted rice-duck farming system

处理 Treatments	成熟期子粒氮积累量 N accumulation in grain at maturity (kg/hm ²)	秸秆氮转运量 N transfer from straw (kg/hm ²)	氮素转运率 N transfer efficiency (%)	占子粒氮的比例 Ratio of basic and tiller N in grain N (%)
CK	92.4 d	69.4 d	89.5 a	75.1 a
CKD	98.3 d	71.0 d	86.2 a	72.3 a
BF	156.6 bc	93.5 bc	61.5 c	59.7 c
BFD	161.1 b	100.4 b	63.7 c	62.3 b
BF-10D	169.7 a	108.2 a	67.2 b	63.8 b
BF-20D	160.2 b	99.5 b	67.1 b	62.1 b
BF-30D	149.0 c	92.9 c	66.2 bc	62.4 b

表 4 氮素基肥用量对机插稻鸭共作水稻氮素利用的影响

Table 4 Effect of the amount of basic and tillering N on the N utilization of machine-transplanted rice in rice-duck farming system

处理 Treatments	施氮量 N application (kg/hm ²)	基肥拔节前利用率 BUE (%)	氮素收获指数 NHI (%)	氮素农学利用效率 AE (kg/kg)	氮肥当季利用率 NUE (%)	氮肥偏因素生产力 PPF (kg/kg)
CK	0		91.9 a			
CKD	0		89.7 b			
BF	293.6	21.7 b	71.2 d	11.4 b	39.1 c	32.1 c
BFD	293.6	24.1 a	72.1 d	12.3 ab	41.9 ab	33.0 bc
BF-10D	278.9	25.6 a	76.2 c	13.8 a	43.3 a	35.7 a
BF-20D	264.2	21.2 b	76.7 c	12.9 ab	41.1 bc	35.9 a
BF-30D	249.6	19.5 c	75.8 c	11.4 b	38.4 c	35.8 a

2.4 水稻产量及其构成

氮素基肥用量主要影响水稻群体的穗数。表 5 表明, BFD、BF-20D、BF-30D 处理随氮素基肥用量减少, 群体最终穗数呈减少的趋势, BF-20D 和 BF-30D 处理的每公顷穗数分别比 BFD 处理减少 8.2×10^4 和 31.4×10^4 个, 差异显著; 而 BF-10D 处理穗数略多于 BFD 处理。从处理 BFD 到处理 BF-30D 随氮素基肥用量的减少每穗粒数有增加趋势但不明显, 水稻结实率和千粒重变化不大。从实际产量看, BF-10D 处理产量最高, 与 BF 处理差异显

著。BF-20D 处理的产量略低于 BFD 处理, 差异不显著; BF-30D 处理比 BF 处理减产 7.7%, 差异显著。比较无氮稻鸭共作对照(CKD)和无氮单一种植水稻(CK)以及常规氮素基肥稻鸭共作处理(BFD)和常规氮素基肥单一种植水稻(BF)的产量及其构成看出, 在无氮情况下稻鸭共作可以增加机插水稻群体的单位面积穗数实现增产; 在施氮量较高的情况下, 稻鸭共作则可以提高机插水稻群体的结实率, 实现增产。

表 5 氮素基肥用量对机插稻鸭共作水稻的产量及其构成的影响

Table 5 Effect of the amount of basic and tillering N on grain yield and its compounds in machine-transplanted rice-duck farming system

处理 Treatments	产量因素 Yield components				理论产量 Theoretic yield (kg/hm ²)	实际产量 Measured yield (kg/hm ²)
	单位面积穗数 Panicles per hm ² ($\times 10^4$ No./hm ²)	每穗粒数 Grains per panicle (No./panicle)	结实率 Seed setting rate (%)	千粒重 1000-grains wt. (g)		
CK	208.5 e	103.7 c	96.10 a	29.86 a	6204 e	6087 f
CKD	220.5 d	106.2 c	95.90 a	29.66 a	6660 d	6499 e
BF	316.4 a	130.6 b	85.67 d	27.19 b	9625 bc	9420 c
BFD	315.0 a	132.6 ab	87.67 c	27.12 b	9931 a	9690 b
BF-10D	316.5 a	134.7 a	90.35 b	27.10 b	10439 a	9945 a
BF-20D	306.8 b	135.3 a	90.16 b	27.13 b	10154 a	9495 bc
BF-30D	283.6 c	136.1 a	90.28 b	27.15 b	9461 c	8940 d

3 讨论

3.1 稻鸭共作系统氮素基肥用量和机插水稻的群体质量

抽穗后群体的光合生产能力是水稻群体质量的核心指标, 生产上常用抽穗至成熟期的干物质积累量来衡量抽穗后群体的光合生产能力^[11]。在本试验中, 当机插稻鸭共作系统的氮素基肥用量比常规用量减少 10% 时, 水稻群体抽穗至成熟期的干物质积累量增加, 这是减少 10% 的氮素基肥用量后群体无效生长减少, 群体质量得到了改善, 说明在机插稻鸭共作生产中应该适当减少系统的氮素基肥用量。然而, 适量的氮素基肥对促进水稻生长和氮素吸收也是必需的^[10]。在本试验条件下, 稻鸭共作系统的氮素基肥用量比常规用量减少 $\geq 20\%$ 时会使水稻群体的有效茎蘖数、叶面积指数和总颖花量不足, 影响水稻群体中后期的物质生产, 使水稻群体抽穗后至成熟期的干物质积累量和产量降低。

稻鸭共作系统中鸭子不间断地与水稻共作, 对

水稻群体的生长有一定的影响。本试验结果表明, 在不施氮和常规施氮两种情况下, 机插稻鸭共作水稻的群体质量都优于单一种植水稻。这与禹盛苗等^[6]的研究结果基本相似。试验还表明, 稻鸭共作系统抽穗期水稻群体的叶面积指数相对较低, 而生产上常用最适叶面积指数和抽穗期单茎绿叶面积来估算某个品种的最适宜穗数, 因此在稻鸭共作系统中应考虑鸭子的活动对抽穗期水稻叶面积指数的影响, 适当增加穗数, 以获得较高的产量。

3.2 稻鸭共作系统氮素基肥用量和机插水稻群体的氮素吸收和转运

氮肥当季利用率较低是常规水稻生产中存在的问题, 为提高水稻氮肥的利用率, 科研工作者进行了大量研究, 并取得了一定成果^[12-20]。本试验结果看出, 在无氮和常规施氮两种情况下, 稻鸭共作水稻群体总吸氮量分别比单一种植水稻多 9.1 和 8.4 kg/hm², 低于王强盛等^[11]的试验结果, 即在有机肥和无机肥混合基施的情况下, 稻鸭共作可以使水稻的吸氮量增加 20 kg/hm² 左右。这可能是由于试验所

选肥料种类和用量的不同造成的。本研究还看出,在常规施氮情况下,稻鸭共作可以提高机插水稻拔节前的氮素基肥利用率和氮肥当季利用率,当机插稻鸭共作系统中氮素基肥用量比常规用量减少10%时,水稻各阶段的吸氮量未受明显影响,水稻拔节前氮素基肥利用率和氮肥当季利用率进一步提高。

水稻吸氮能力的增强有利于减少氮素损失,减少对环境的污染。然而对提高经济收益而言,水稻所吸收的氮能否有效转运至经济器官仍是重要的考虑因素。本研究结果显示,氮素基肥用量对水稻抽穗后营养器官中氮素的转运也有影响。在本试验条件下,当稻鸭共作系统的氮素基肥用量比常规用量减少10%时,抽穗至成熟期水稻营养器官氮素转运量和转运率最高;而当稻鸭共作系统的氮素基肥用量比常规用量减少 $\geq 20\%$ 时,抽穗至成熟期水稻营养器官氮素转运量降低。这可能是由于氮素基肥偏多使无效分蘖增多,而无效分蘖中的氮不能有效地转移到子粒中去,从而使氮素转运量较低。但氮素基肥不足则会使齐穗前茎鞘中氮素积累量不足,造成齐穗后营养器官没有充足的氮向子粒中转运,氮素转运量也无法增加。因此,只有适宜的氮素基肥用量才能促进群体的合理发展和氮素的有效转运,最终获得产量的提高。

前人关于机插水稻施氮的研究认为,机插水稻的氮素基肥与穗肥的比例为6:4时效果最好^[8-9],本试验结果表明,在机插水稻与鸭共作结合后,由于鸭子的活动和鸭粪作为养分补充,应该适当减少氮素基肥用量。但过高估计鸭子的施肥作用同样是不科学的。在本试验条件下,通过减少10%的氮素基肥用量,将机插稻鸭共作系统的氮素基肥与穗肥比调整为4.5:5.5时最有利于水稻的群体发展和氮素吸收、转运。本试验所选用的品种和技术措施在当地具有一定的代表性,但用于生产时仍需考虑生产地的具体情况。

参考文献:

- [1] 王强盛,黄丕生,甄若宏,等. 稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 639-645.
Wang Q S, Huang P S, Zhen R H *et al.* Effect of rice-duck mutualism on nutrition ecology of paddy field and rice quality[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(4): 639-645.
- [2] 甄若宏,王强盛,张卫建,等. 稻鸭共作对水稻条纹叶枯病发生规律的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3060-3065.
Zhen R H, Wang Q S, Zhang W J *et al.* Effects of rice-duck integrated farming on developing regularity of rice stripe disease[J]. Acta Ecol. Sci., 2006, 26(9): 3060-3065.
- [3] Xiang P A, Huang H, Huang M *et al.* Studies on technique of reducing methane emission in a rice-duck ecological system and the evaluation of its economic significance[J]. Agri. Sci. China, 2006, 5(10): 758-766.
- [4] 邓晓,廖晓兰,黄璜. 稻鸭复合生态系统产甲烷细菌数量[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1695-1699.
Deng X, Liao X L, Huang H. Studies on amount of methanogens in the rice-duck agroecosystem[J]. Acta Ecol. Sci., 2004, 24(8): 1695-1699.
- [5] 向平安,黄璜,甘德欣,黄梅. 免耕稻-鸭生态种养技术的环境经济学分析[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 1981-1986.
Xiang P A, Huang H, Gan D X, Huang M. An environmental economics analysis of a rice-duck ecological management technique with no-tillage[J]. Acta Ecol. Sci., 2005, 25(8): 1981-1986.
- [6] 禹盛苗,欧阳由男,张秋英,等. 稻鸭共育复合系统对水稻生长与产量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1252-1256.
Yu S M, Ouyang Y N, Zhang Q Y *et al.* Effects of rice-duck farming system on *Oryza sativa* growth and its yield[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(7): 1252-1256.
- [7] 袁奇,于林惠,石世杰,等. 机插秧每穴栽插苗数对水稻分蘖与成穗的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 121-125.
Yuan Q, Yu L H, Shi S J *et al.* Effects of different tiller product ion planting seedlings per hill on outgrowth and quantities of machine-transplanted rice[J]. Trans. CSAE, 2007, 23(10): 121-125.
- [8] 彭长青,李世峰,卞新民,等. 机插水稻高产栽培关键技术的适宜值[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1619-1623.
Peng C Q, Li S F, Bian X M *et al.* Appropriate parameters for high-yielding cultivation of machine-transplanted rice[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(9): 1619-1623.
- [9] 彭长青,李世峰,钱宗华,等. 氮肥运筹对机插水稻产量形成的影响[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(12): 2275-2276, 2297.
Peng C Q, Li S F, Qian Z H *et al.* Effect of nitrogen application on yield formation of machine transplanted rice[J]. J. Anhui Agric. Sci., 2005, 33(12): 2275-2276, 2297.
- [10] 丁艳锋,刘胜环,王绍华,等. 氮素基肥用量对水稻氮素吸收与利用的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(8): 739-744.
Ding Y F, Liu S H, Wang S H *et al.* Effects of the amount of basic and tillering nitrogen applied on absorption and utilization of nitrogen in rice[J]. Acta Agron. Sin., 2004, 30(8): 739-744.
- [11] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海:上海农业科技出版社, 2000.
Ling Q H. The quality of crop population[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publisher, 2000.
- [12] 刘立军,桑大志,刘翠莲,等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1456-1461.
Liu L J, Sang D Z, Liu C L *et al.* Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. Sci. Agric. Sin., 2003, 36(12): 1456-1461.
- [13] 刘立军,徐伟,桑大志,等. 实地氮肥管理提高水稻氮肥利用

- 效率[J]. 作物学报 2006 32(7):987-994.
- Liu L J, Xu W, Sang D Z *et al.* Site-specific nitrogen management increases fertilizer-nitrogen use efficiency in rice[J]. *Acta Agron. Sin.*, 2006, 32(7): 987-994.
- [14] 刘艳阳, 张洪程, 胡星, 等. 精确和常规施氮对水稻产量与氮肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料 2006(4): 35-36.
- Liu Y Y, Zhang H C, Hu X *et al.* Influence of precise using N and normal-using N on the yield of rice and N using efficiency[J]. *Soil Fert. Sci. China*, 2006, (4): 35-36.
- [15] 范立春, 彭显龙, 刘元英, 宋添星. 寒地水稻实地氮肥管理的研究与应用[J]. 中国农业科学 2005 38(9):1761-1766.
- Fan L C, Peng X L, Liu Y Y, Song T X. Study on the site-specific nitrogen management of rice in cold area of northeastern China[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2005, 38(9):1761-1766.
- [16] 倪竹如, 陈俊伟, 阮美颖. 氮肥不同施用技术对直播水稻氮素吸收及其产量形成的影响[J]. 核农学报, 2003, 17(2): 123-126.
- Ni Z R, Chen J W, Ruan M Y. Effect of different modes of fertilizer N application on nitrogen absorption and yield of direct seeding rice[J]. *Acta Agric. Nuc. Sci.*, 2003, 17(2): 123-126.
- [17] 张亚丽, 沈其荣, 段英华. 不同氮素营养对水稻的生理效应[J]. 南京农业大学学报 2004 27(2):130-135.
- Zhang Y L, Shen Q R, Duan Y H. Physiological effects of different nitrogen forms on rice[J]. *J. Nanjing Agric. Univ.*, 2004, 27(2): 130-135.
- [18] 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.
- Ling Q H, Zhang H C, Dai Q G *et al.* Study on precise and quantitative N application in rice[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2005, 38(12): 2457-2467.
- [19] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学 2002 35(9): 1095-1103.
- Peng S B, Huang J L, Zhong X H *et al.* Strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [20] 郑圣先, 聂军, 熊金英, 等. 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应的研究[J]. 植物营养与肥料学报 2001, 7(1): 11-16.
- Zheng S X, Nie J, Xiong J Y *et al.* Study on role of controlled release fertilizer in increasing the efficiency of nitrogen utilization and rice yield[J]. *Plant. Nutr. Fert. Sci.*, 2001, 7(1): 11-16.