

水肥一体化施氮量对水稻生长和产量的影响

窦超银¹, 袁 尧², 王 洁³, 周明耀¹, 叶振威¹

(1. 扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225009; 2. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017;
3. 扬州市水利局, 江苏 扬州 225500)

摘要:为了更为合理的确定水肥一体化条件下水稻的氮肥用量,通过盆栽试验和溶解施肥模拟了水肥一体化灌溉施肥过程,研究了不同施氮量对水稻生长和产量的影响。试验结果表明随着施氮量的增加,水稻茎蘖数、株高、LAI 和地上干物质重均有先增大后减小的变化趋势,施氮量 225 kg/hm² 水稻长势最好,施氮量 270 kg/hm² 长势最差;施氮量对 SPAD 无显著影响;穗长、穗重、每穗实粒数和每穗粒数均随着追肥施氮量增加而减小,千粒重随着追肥施氮量增加先增大后减小,施氮量 135~225 kg/hm² 时,产量相近,但施氮量 270 kg/hm² 处理产量最低,且显著低于其他水平。因此,水肥一体化条件下,高施氮量不利于水稻生长和产量形成,适当减少氮素用量不会造成减产,综合考虑稻田排水和提高肥效,参考施氮量以 180 kg/hm² 为宜。

关键词:水稻;水肥一体化;氮肥用量;长势;产量

中图分类号:S365,S274.3

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2019)07-0030-05

Effects of different nitrogen application amount on the growth and yield of rice under integrated fertilizer irrigation condition

DOU Chaoyin¹, YUAN Yao², WANG Jie³, ZHOU Mingyao¹, YE Zhenwei¹

(1. School of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu;
2. Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu;
3. Yangzhou Water Conservancy Bureau, Yangzhou 225000, Jiangsu)

Abstract: In order to determine a more reasonable range of nitrogen application for rice under integrated fertilizer irrigation condition, pot experiment and dissolved fertilizer application were carried out and simulated the fertilizer irrigation management. Effects of different nitrogen application (pure nitrogen: 135, 180, 225 and 270 kg/hm²) on the growth and yield of rice were studied during the experiment. The results showed that: as the amount of nitrogen application increased, the tiller number, stem length, leaf area index, and shoot dry matter increased first and then decreased. Desirable growth was got in the case of 225 kg/hm² while undesirable growth was found in the level of 270 kg/hm². Fertilizer application had no significant effect on SPAD during the growing period. Besides that, ear length, panicle weight, filled grains per spike and grains per spike decreased with the increase of nitrogen application, while thousand seed weight increased firstly and then decreased. Nitrogen application from 135 to 225 kg/hm² had no significant effect on rice yield, while yield decreased and significantly less than other treatments with the application of 270 kg/hm². Therefore, under integrated fertilizer irrigation condition, high amount of nitrogen application was not good for plant growth and harvest; the rational reduction of nitrogen application would not lead to cut the yield. Therefore, comprehensively considering the drainage and fertilizer efficiency, nitrogen application of 180

收稿日期:2019-03-29

基金项目:江苏水利科技项目(2017053);江苏省水利科技重大技术攻关项目(2016007)

作者简介:窦超银(1982—),男,高级工程师,主要从事节水灌溉理论与技术、农业水土资源高效利用研究工作。

kg/hm² was recommended.

Key words: rice; integrated fertilizer irrigation; nitrogen application; plant growth; yield

施肥量是影响水稻生长和产量的关键因素之一,尤其氮素作为构成蛋白质、核酸、叶绿素和酶的组成部分,用量对水稻的生命活动、产量形成和品质的好坏有着极为重要的影响。现有研究表明氮素不足,株高矮小,分蘖少,导致产量明显下降^[1];随着施氮量增加,根系对氮素的吸收量及各器官累积量均增加,为高产奠定了基础^[2];当施氮水平超过一定阈值后,水稻贪青晚熟,产量呈现降低趋势^[1]。在江苏地区,根据不同目标产量水平,从7.5 t/hm²以下至10.5 t/hm²以上,氮肥推荐使用量为120~270 kg/hm²^[3]。在实际应用中,还需要考虑灌溉方式的影响,采用节水灌溉技术可通过调控土壤环境,提高氮素利用效率^[4],如膜下滴灌滴水施肥可减少肥料流失,促进水稻根系的生长,获得较高产量^[5];轻度干湿交替灌溉下,施氮240 kg/hm²可增强根系、叶片和籽粒活性,从而提高产量和改善品质^[6];控制灌溉模式下,施氮量180 kg/hm²即较有利于根系生长和叶氮累积^[7],获得较高产量,同时改善稻米加工品质^[8]。现有研究为近年来快速发展的水稻管道输水节水灌溉施肥管理提供了参考,但随着水肥一体化理论和设备的发展,在新建的水稻高效节水灌溉工程中,管灌水肥一体化得到越来越多的应用。传统的施肥方式发生了变化,养分以溶液形式与灌溉水同时直接进入田间,改变了养分在田间的迁移转换与吸收过程,从而进一步改变了对肥量的需求,及施肥量的确定将直接影响管灌工程效益的发挥。因此,为探求水稻管灌水肥一体化下适宜氮素用量,本文通过试验研究施氮量对水稻生长和产量的影响,以确定适宜的氮素用量,从而为水稻管灌水肥一体化灌溉施肥制度的合理制定提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 供试材料

试验于2018年6~10月在扬州大学灌溉试验场内采用盆栽试验进行,供试土壤取自江都区邵伯镇戚墅村农田0~40 cm土层,试验土壤为潴育型水稻土,壤质粘性,土壤全氮1.0 g/kg、速效磷61.5 mg/kg、速效钾164.3 mg/kg, pH 6.7。土壤经风干、碾压、过筛后装入盆钵,供试盆钵为白色塑料桶,规格25 cm(内径)×32 cm(高),每盆装10 kg

土,供试水稻品种为宁粳7号,每桶用苗3穴,每穴2株。

1.2 试验设计

试验以氮肥(尿素)施用量为试验因素,设4个氮素(纯氮)用量,分别为135(N9)、180(N12)、225(N15)和270 kg/hm²(N18),即尿素(含氮46.4%)用量分别为291、388、485和582 kg/hm²,氮肥施肥比例为基肥:分蘖肥:穗肥=5:2:3,基肥在装土时与土壤掺混填入桶中,灌溉采用浅湿灌溉制度,水层落于2~3 d灌水,灌至3~5 cm水层,追肥采用人工模拟水肥一体化,将各处理所需肥量称重与水充分溶解后随灌溉水施入;磷钾肥以及其他田间管理同当地常规田间管理一致。考虑到部分测定内容需要破坏水稻样品,每个处理设置6次重复。

1.3 测定内容与方法

株高、分蘖数:选定代表性植株在不同生育期用直尺量取株高,统计茎蘖数。叶绿素含量(SPAD):对每个处理选定植株采用日本产SPAD-502 PLUS便携式叶绿素计定期测定叶片叶绿素含量。叶面积指数(LAI):叶面积指数采用长宽法观测,每个生育期取样观测1次。干物质重:在不同生育期取整株水稻,洗净后将叶、茎鞘、穗分装,于105℃烘箱中杀青30 min,再降温至75℃恒温烘48 h后称取干物重。产量及产量构成因素:成熟期统计穗长、穗重、穗粒数、结实率,统计产量。

2 结果与分析

2.1 施氮量对水稻茎蘖数的影响

各处理生育期内茎蘖数变化如图1所示,随着水稻生长进行,进入分蘖期后茎蘖数迅速增加,增幅平均达107.2%;拔节期后茎蘖数稳定,约在16.2~23.3之间;成熟期有少量减小,减幅约7.1%。各处理之间差异表明,分蘖开始阶段各处理分蘖数接近,无显著差异;拔节期后,茎蘖数随着施氮量增加有先增大后减小的变化趋势,其中N15处理茎蘖数多于其他处理,显著高于N12处理,抽穗期后与N18处理差异也达到显著水平,但N9、N12和N18处理之间差异不显著。说明茎蘖数的变化主要取决于水稻生长-消亡的生长特性;施氮量改变茎蘖数的数量,但不改变生长进程;水肥一体化条件下,分蘖期施氮量增加可促进分蘖,当施

氮量 270 kg/hm^2 时反抑制分蘖, 追穗肥时, 分蘖已完成, 不同施氮量对茎蘖数已无明显影响。顾树平、苏东行等研究均表明施肥可提高根系活力, 促进根系分蘖早生快发, 茎蘖数随施肥量增加而增大^[9-10], 本试验中 N18 处理分蘖数的减少可能是由于水肥一体化氮素浓度较高所导致。

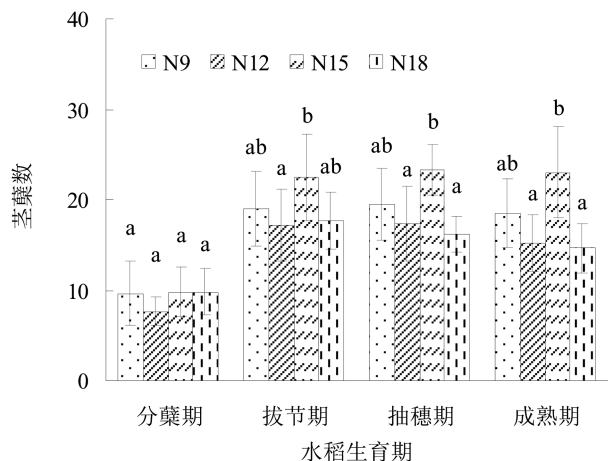


图1 不同施氮量下水稻茎蘖数变化

2.2 施氮量对水稻株高的影响

水稻生育期内株高变化如图2所示, 各处理株高均随着水稻生长先增大后减小, 抽穗期前株高增长较快, 分蘖期~拔节期, 株高增长 $26.3\% \sim 40.9\%$, 拔节期~抽穗期, 株高增长 $20.7\% \sim 30.2\%$, 成熟期株高平均减少约 5.0% 。各处理之间差异表明, 分蘖期株高均接近 50 cm , 差异不显著, 追分蘖肥后, 株高随氮肥施用量的增加有先增大后减小的趋势, N15 处理植株高于其他处理, 在追穗肥后, 与其他处理之间差异达到显著水平; N18 处理在施分蘖肥后显著矮于 N9 和 N15 处理, 随着生育期进行, 株高差距减小, 抽穗期和成熟期株差异不显著。结果表明适当增加氮肥施用量有利于植株生长; 但当高施用量时, 不利于植株生长, 这与过量的氮肥将导致水稻株高的增加的结论相反^[11], 是由于高浓度肥液在拔节期抑制植株生长、成熟期早衰所致。

2.3 施氮量对水稻 LAI 的影响

水稻生育期内 LAI 变化如图3所示, 抽穗期前随着生长进行 LAI 增大, 其中分蘖~拔节增幅较大, 平均增大 90.5% , 拔节~抽穗增幅减小, 平均增长 16.8% ; 抽穗期后 LAI 减小, 抽穗~乳熟期平均减小 24.6% 。各处理之间差异表明, 分蘖期各处理 LAI 相近, 差异不显著; 拔节期随着追氮量增加叶面积减小, N9 和 N12 处理高出 N18 处理 38.8% 和

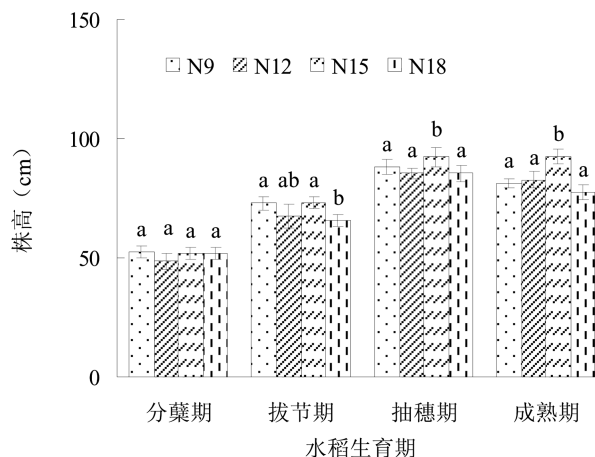


图2 不同施氮量下水稻株高变化

26.3% , 差异达到显著水平, N15 处理 LAI 值为 6.3 , 与其他处理差异均不显著; 追穗肥后, N9、N12 和 N15 处理 LAI 值分别增加了 10.8% , 13.9% 和 32.4% , LAI 值在 $7.9 \sim 8.4$ 之间, 处理之间差异不显著, N18 处理 LAI 仅增大 10.0% , 其值显著低于其他处理; 乳熟期 N18 处理叶面积衰减明显, LAI 值仅为 3.9 , 显著低于其他处理, N12 处理 LAI 减小 29.4% , 显著低于 N9 处理, N15 处理 LAI 值为 6.6 , 与 N9 和 N15 处理差异不显著。试验表明 LAI 总体变化趋势仍取决于作物生长特性, 前期追氮量大不利于 LAI 增大, 追施穗肥时 LAI 增量随追氮量的增加而增大, 但当氮素浓度较大时, 不利于获取高 LAI, 同时, 高浓度氮肥易导致后期 LAI 的衰减, 高氮浓度的不利影响仍是水肥一体化与常规施肥的主要差别^[12]。

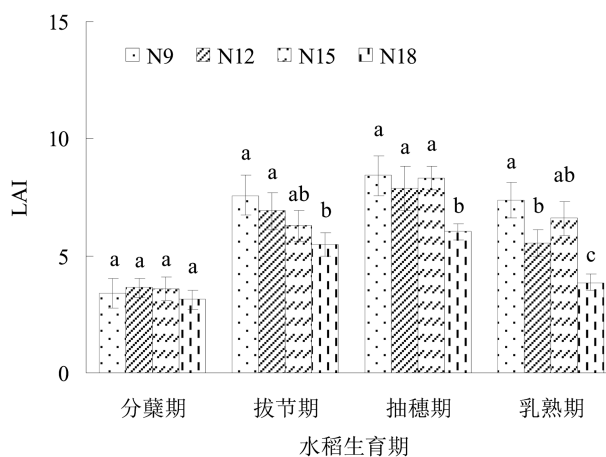


图3 不同施氮量下水稻 LAI 值变化

2.4 施氮量对水稻 SPAD 的影响

水稻生育期内 SPAD 值变化如图4所示, 拔节期和抽穗期 SPAD 值变化较小, 均值分别为 45.9 和 46.1 , 成熟期 SPAD 减小, 均值为 38.4 。各处理之

间,随着追肥施氮量的增加,SPAD 有增大的趋势,但增幅较小,低于 4%,处理间差异均不显著,表明试验氮素用量水平下,施氮量对 SPAD 无显著影响。

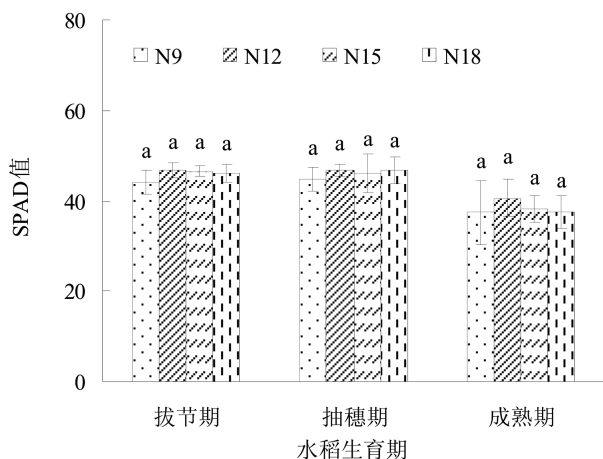


图4 不同施氮量下水稻 SPAD 值变化

2.5 施氮量对水稻地上干物质重的影响

水稻地上干物质重变化如图 5 所示,在生育期内,地上干物质重随着水稻生长持续增加,拔节期较分蘖期增加 97.2%,抽穗期和乳熟期分别较前一生长阶段增长 133.7% 和 126.8%。各处理之间,分蘖期、拔节期和抽穗期地上干物质差异均不显著;乳熟期除 N18 处理显著低于其他处理外,处理之间差异不显著。一般节灌模式下,施肥量的增加会促进水稻干物质累积,尽管这一作用可能并不明显^[13];也有研究认为高氮处理会减小干物质重,过多施氮肥完全没有必要^[14]。本试验结果与前人结论相近,同时表明施氮量对干物质累积的影响与生育期有关,追分蘖肥时,施氮量对地上干物质累积影响较小,追穗肥时,高施氮量不利于干物质累积。

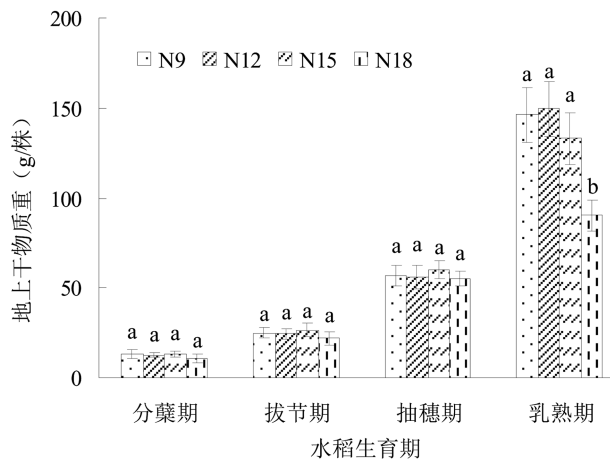


图5 不同施氮量下水稻地上干物质重变化

2.6 施氮量对水稻产量及其构成的影响

试验考种结果如表 1 所示,N15 处理单盆有效

穗数最多,显著高于其他处理;N18 处理有效穗数较 N15 和 N9 处理少 18.7% 和 9.5%,且差异达到显著水平;N9 和 N12 处理有效穗数接近,差异不显著。穗长、穗重、每穗实粒数和每穗粒数均随着追肥施氮量增加而减小,变幅分别为 7.6%、41.2%、17.3% 和 16.4%,方差分析表明各处理穗长差异不显著,N18 处理穗重显著小于其他处理,N18 和 N15 处理每穗实粒数和每穗粒数显著少于 N9 和 N12 处理。各处理结实率相近,变幅仅 2.2%,差异不显著。千粒重随着追肥施氮量增加先增大后减小,N15 处理和 N18 处理千粒重分别为最大和最小,高出 7.8%,但处理之间差异均不显著。N9 和 N15 处理理论产量和实际产量相近,无显著差异,N12 处理产量低于 N9 和 N15 处理,差异不显著,N18 处理产量最低,显著低于其他处理。

尽管氮素是构成产量的重要元素,氮肥施用过量易导致水稻贪青晚熟,成熟期大量可溶性糖滞留在基鞘,从而降低了籽粒灌浆速率和水稻籽粒产量^[15];结实率和千粒质量亦会随施氮量增加而下降^[8];虽然增施氮肥可能会增加穗数进而提高产量^[16],但更为可靠的是在节水灌溉条件下,适当减少肥料施用仍可获得较高的产量^[14]。本试验中,追氮量增加不利于穗粒增加,却有利于增大粒重,从而保证高产稳产,但当施氮量达到 270 kg/hm² 时,水稻生长受到抑制,穗数少、穗粒数少,且粒重轻,导致产量低,这说明在水肥一体化条件下,高浓度肥液不利于生产,适当减少氮肥用量不会导致减产,与前人研究结论基本一致。

3 结论

(1)水肥一体化条件下,施氮量的变化不会改变水稻生长特性,但会影响水稻长势;在分蘖期前,影响不明显,随着作物生长进行,施氮量的增加有利于促进水稻植株生长,如茎蘖数增加,株高增长,LAI 值增大和地上干物质重的增加,但在施氮量达到 270 kg/hm² 时,肥液浓度较高,反不利于水稻生长,且作用显著,长势甚至低于低氮水平。SPAD 受施氮量影响较小,各生育期各处理差异均不显著。

(2)施氮量增加不利于穗长、穗重、每穗实粒数和每穗粒数的增加,但施氮量低于 225 kg/hm² 时,增加施氮量可获取较多的穗数和千粒重,从而氮素用量改变时,产量相对稳定。当施氮量达到 270 kg/hm² 时,各考种指标均降低,导致产量显著低于其他处理。

表 1 水稻盆栽试验籽粒产量及产量构成

处理	有效穗数 /个·盆 ⁻¹	穗长 /cm	单穗重 /g	每穗实粒数 /粒	每穗粒数 /粒	结实率 /%	千粒重 /g	理论产量 /g·盆 ⁻¹	实际产量 /g·盆 ⁻¹
N9	46.7±3.2a	17.3±1.4a	2.4±0.4a	121.1±8.5a	129.7±9.5a	93.6±4.7a	22.9±1.0a	129.5±14.8a	106.9±11.5a
N12	45.0±6.1ac	16.8±0.6a	2.3±0.5a	113.7±7.1a	124.1±5.6a	91.6±5.6a	23.0±1.0a	117.7±11.5a	100.6±11.5a
N15	52.0±3.4b	16.5±2.1a	2.1±0.5a	103.4±10.1b	111.4±9.6b	92.9±7.2a	23.6±1.8a	126.9±20.6a	103.8±11.8a
N18	42.3±2.5c	16.0±1.3a	1.4±0.3b	100.1±12.3b	108.5±13.2b	92.3±5.1a	21.9±2.0a	92.7±11.2b	70.5±17.4b

根据试验结果,在水肥一体化条件下,适当减少氮肥用量不会导致减产,从提高氮素利用效率和经济性角度考虑,施氮量 135 kg/hm² 即可满足水稻生长需求;但本试验中,灌溉参考浅湿灌溉制度进行管理,同时未考虑排水和深层渗漏影响。因此,在田间应用水肥一体化技术时建议 180 kg/hm² 作为施氮量参考值。

参考文献:

- [1] 全国农业技术推广服务中心. 单季稻测土配方施肥技术[M]. 北京:中国农业出版社出版. 2011.
- [2] 侯云鹏,韩立国,孔丽丽,等. 不同施氮水平下水稻的养分吸收、转运及土壤氮素平衡[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4):836-845.
- [3] 张福锁,陈新平,陈清,等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京:中国农业大学出版社. 2009.
- [4] 彭世彰,张正良,罗玉峰,等. 灌排调控的稻田排水中氮素浓度变化规律[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9):21-26.
- [5] 崔婷婷,李王成,夏婷,等. 几种灌溉方式和施氮量对水稻产量影响的研究述评[J]. 中国稻米, 2016, 22(4):31-34.
- [6] 肖新,朱伟,肖靓,等. 不同水肥管理对水稻分蘖期根系特征和氮磷钾养分累积的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(4):903-908.
- [7] 张自常,李鸿伟,曹转勤,等. 施氮量和灌溉方式的交互作用对水稻产量和品质影响[J]. 作物学报, 2013, 39(1):84-92.
- [8] 宁慧峰,崔嘉欣,刘浩,等. 灌溉方式和施氮量对水稻产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, (12):1-7.
- [9] 顾树平,李刚,易峰,等. 不同基肥配比对秸秆全量还田条件下机直播水稻分蘖特性及产量的影响[J]. 上海农业学报, 2016, 32(5):33-39.
- [10] 苏东行. 基肥氮量对水稻分蘖和倒伏的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2012.
- [11] Khush G S. Green revolution: preparing for the 21st century[J]. Genome, 1999, 42(4), 646-655.
- [12] 柏彦超. 不同水、氮条件对水稻生长及部分生理特征的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2008.
- [13] 何军,崔远来,张大鹏,等. 不同水肥耦合条件下水稻干物质积累与分配特征[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(5):1-5.
- [14] 周明耀,赵瑞龙,顾玉芬,等. 水肥耦合对水稻地上部分生长与生理性状的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8):38-43.
- [15] 姚锋先. 不同水氮管理对水稻生长和水氮效率影响的生理机制研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2011.
- [16] 尤小涛,荆奇,姜东,等. 节水灌溉条件下氮肥对粳稻产量和品质及氮素利用的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(2):199-204.