

施肥插秧一体化技术对水稻产量及氮素流失的影响

谷学佳¹, 王玉峰¹, 张 磊¹, 王开军², 刘志发², 陈 磊²

(1. 农业部东北平原农业环境重点实验室/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室/黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 方正县农业技术推广中心, 黑龙江 方正 150800)

摘要:为了明确施肥插秧一体化技术对在水稻上的应用效果和环境效益,研究了施肥插秧一体化技术采用缓释肥氮肥减量 15%、30%、50%,以及采用普通肥料基肥一体化+追肥的施肥模式对水稻产量、地表径流氮素浓度、氮素流失量及流失率的影响。结果表明:采用施肥插秧一体化技术能够实现水稻增产,施用缓释肥减量 15%的情况下水稻增产 6.27%,减量 30%的情况下水稻增产 4.04%,采用普通肥料基肥一体化+追肥施肥模式在氮肥减量 15%的情况下水稻增产 3.87%。采用施肥插秧一体化技术能够有效降低水稻地表径流中氮素的浓度,常规施肥方式总氮浓度最高达到 13.12 mg·L⁻¹,采用施肥插秧一体化技术的各个处理最高仅为 2.38 mg·L⁻¹。采用施肥插秧一体化技术能够显著降低氮素流失量和流失率。常规施肥方式全生育期总氮流失量达到 15.47 kg·hm⁻²,流失率为 9.38%;采用施肥插秧一体化技术的各个处理全生育期总氮流失量平均仅为 3.35 kg·hm⁻²,流失率为 2.85%。采用施肥插秧一体化技术能够减少氮肥施用量,增加产量,减少氮素流失。因此,水稻施肥插秧一体化技术是一项资源节约型、环境友好型的水稻种植技术。

关键词:施肥插秧一体化;水稻;产量;氮素流失

中图分类号:S511.048;S511.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2017)08-0012-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.08.0012

水稻施肥插秧一体化技术是一项以精准一体化施肥为前提,与培肥地力、培育壮苗、灌水管理、肥料选用、病虫害防治、农业机械选用等单项技术综合组装配套的栽培体系。其核心技术是在插秧的同时,将肥料精准施入秧苗附近大约 3~5 cm,深度 5 cm 处。也称为侧深施肥或侧条施肥^[1]。该项技术具有实现精准施肥,提高肥料利用率;减少肥料流失,减轻环境污染;促进水稻发育,成熟早;提高水稻产量和品质;节省种植用工成本,节约肥料成本等优点^[2]。如果采用缓释肥料就可以实现一次性施肥,在秧苗根际附近形成一个贮肥库逐渐释放养分供给水稻生育的需求,适应水稻自身代谢的需要,从而减少了肥料养分的固定和流失,提高了肥料利用率可减少化肥用量和追肥

次数^[3]。因此,本试验采用施肥插秧一体化技术研究不同施氮量及施肥方式条件下对水稻产量和氮素流失的影响,为减少氮素流失,发展环境友好型水稻种植技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试肥料为缓释肥料(N≥24%、P₂O₅≥12%、K₂O≥12%)、复合肥料(含量为N≥18%、P₂O₅≥16%、K₂O≥12%)、尿素(含量为N≥46%)。供试水稻品种为龙稻 18。插秧机械采用井灌施肥插秧一体机。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2016 年在黑龙江省方正县水稻研究院试验区进行。土壤类型是白浆土,基本化学性质见表 1。水稻 4 月 2 日浸种,4 月 14 日育苗,5 月 22 日移栽,机械插秧,10 月 12 日收获。

表 1 供试土壤的基本化学性质

Table 1 Basic chemical properties of tested soil

有机质/ (g·kg ⁻¹)	速效氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	pH
Organic matter	Available N	Available P	Available K	
25.8	121	38.9	81.2	6.67

收稿日期:2017-06-13

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2014ZX07201-009);国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2015ZX07103-007);国家重点研发计划资助项目(2016YFD0800505);哈尔滨市科技创新人才专项资金资助项目(2014RFXJY007)、(2014RFQYJ029);黑龙江省农业科学院院级课题资助项目(QN028)

第一作者简介:谷学佳(1984-),男,黑龙江省桦南县人,硕士,助理研究员,从事农业环境研究。E-mail: gxjforever@aliyun.com。

通讯作者:王玉峰(1967-),女,山东省莱州市人,硕士,研究员,从事农业环境研究。E-mail: wangyf2011@163.com。

试验共设置 5 个处理,采用大区试验,每个处 理面积为 1 333.32 m²,具体试验设计见表 2。

表 2 试验设计

Table 2 Design of experiments

处理 Treatments	内容 Contents	总施氮量/(kg·hm ⁻²) Amount of N
1	常规施肥 85%氮量的缓释肥料与插秧同时施入。	140.25
2	常规施肥 70%氮量的缓释肥料与插秧同时施入。	115.50
3	常规施肥 50%氮量的缓释肥料与插秧同时施入。	82.50
4	常规施肥 85%氮量,40%氮肥与插秧同时施入,40%氮肥作为孽肥,20%作为穗肥。	140.25
5	常规施肥方式,磷肥、钾肥、40%氮肥作为基肥一次性施入,40%氮肥作为孽肥,20%作为穗肥。	165.00

水稻生育期内共排水 4 次,其中 5 月 19 日为 泡田后插秧前排水,不同处理具体排水量见表 3。

表 3 稻田排水量

Table 3 Drainage of paddy field

处理 Treatments	排水量/(m ³ ·hm ⁻²) Drainage				
	05-19 May 19th	06-02 June 2nd	06-30 June 30th	08-29 August 29th	总排水量 Total amount of drainage
1	670.00	406.67	276.67	230.00	1583.33
2	710.00	400.00	286.67	203.33	1600.00
3	683.33	376.67	270.00	170.00	1500.00
4	710.00	390.00	290.00	240.00	1630.00
5	740.00	390.00	260.00	163.33	1553.33

1.2.2 测定项目及方法 (1)水稻产量及其构成因素:在水稻成熟期,选择有代表性的地块选 5 点,每点 1 m²实收计产。记录平方米有效穗数,每点取 1 个标准样,带回室内测定实粒数、千粒重。(2)农田地表径流量及总氮流失量:稻田每次排水时,通过测定排水前后水位差计算得出农田地表径流量,并采集各处理水样,带回实验室分析水样氮素含量,分析方法见表4。(3)农田地表径流总氮流失率:农田地表径流总氮流失率=地表径流总氮流失量÷当季农田氮肥施用量×100%^[4]。

表 4 氮素指标分析方法

Table 4 Analysis method of nitrogen

样品 Sample	分析方法 Analysis method
水样:总氮	碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法
水样:硝态氮	紫外分光光度法/流动分析仪
水样:铵态氮	靛酚兰比色法/流动分析仪

1.2.3 数据处理 采用 Excel 2013 和 Spss 18.0 进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 施肥插秧一体化技术对水稻产量的影响

由表 5 可以看出,处理 1 采用施肥插秧一体化技术在氮肥减量 15%的条件下获得了最佳的产量指标,产量达到 9 588.8 kg·hm⁻²,比处理 5(常规对照)增产 6.27%。这是因为施肥插秧一体化技术虽然降低了肥料投入量,但与插秧同时施肥减少了泡田排水养分的流失,并且将缓释肥料精准施入水稻根际附近,形成了贮肥库能逐渐释放供应水稻的养分需求,提高了肥料利用率,为水稻产量形成奠定了基础^[5]。施用缓释肥的 3 个处理(处理 1、处理 2、处理 3)水稻产量随着施氮量的减少而降低,其中处理 3 在减施氮量 50%的条件下产量最低,为 8 980.5 kg·hm⁻²,与处理 5(常规对照)相比减产 0.47%。处理 4 在氮肥减量 15%的条件下,40%的氮肥采用施肥插秧一体化技术,后期追肥方式与常规施肥相同,也获得了较高的产量,与处理 5(常规对照)相比增产 3.87%。因为基肥采用了与插秧同时施肥的方式减少了泡田排水养分的流失,并且将肥料精准施

入水稻根际附近,提高了肥料利用率,有利于水稻前期的生长发育,为获得较高的产量打下基础。但其 60%的氮肥采用与处理 5(常规对照)相同的

撒施追肥方式,增加了肥料流失的机率,而处理 1 能够做到养分持续均衡的供应,因此处理 4 在同样施氮量的条件下产量比处理 1 低。

表 5 施肥插秧一体化技术对水稻产量的影响

Table 5 Effects of fertilization and transplanting integration technique on rice yield									
处理 Treatments	每平米株数 Plants number	每平米有效穗数 Effective panicle number	株高/cm Plant height	穗长/cm Spike length	穗粒数 Grain number per spike	结实率/% Seed setting rate	千粒重/g 1000-grain weight	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield	增产率/% Yield increase rate
1	25	477 a	106.5 a	20.4 a	90.2 a	95.3 a	26.8 a	9588.8 a	6.27
2	25	462 a	104.1 b	19.1 ab	88.3 a	94.9 a	26.2 a	9387.7 ab	4.04
3	25	436 b	98.7 c	18.2 b	80.3 b	87.7 b	24.4 a	8980.5 b	-0.47
4	25	464 a	103.8 b	18.7 ab	86.2 a	91.9 ab	25.7 a	9372.2 ab	3.87
5	25	454 ab	101.8 b	18.6 ab	84.7 ab	88.6 b	24.9 a	9022.5 b	-

同列数据中不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上呈显著差异。
The lowercase letters in thesame column mean significant difference at the level $P<0.05$.

2.2 施肥插秧一体化技术对稻田地表径流氮素浓度的影响

由图 1 可知,5 月 19 日是插秧前泡田排水,仅处理 5(常规对照)在排水前进行了施肥,地表径流中总氮浓度明显高于其它处理,达到了 $13.12\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,由于还进行了 2 次追肥,地表径流中总氮浓度始终高于其它处理。处理 4 基肥采用了施肥插秧一体化技术,因此前期地表径流中总氮浓度明显低于处理 5(常规对照),随着追肥的进行总氮浓度有所提高但始终保持在较低水平。施用缓释肥的 3 个处理(处理 1、处理 2、处理 3)采用施肥插秧一体化技术,并且全生育期末进行追肥,总氮浓度始终保持在最低水平。

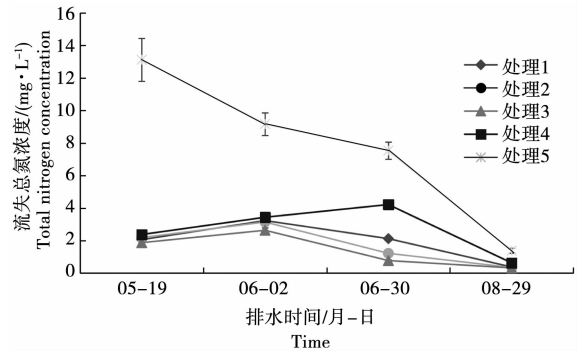


图 1 施肥插秧一体化技术对水稻地表径流总氮浓度的影响
Fig. 1 Effects of fertilization and transplanting integration technique on total nitrogen concentration of surface runoff

由图 2 和图 3 可知,水稻地表径流中氮素形态以铵态氮为主,铵态氮浓度明显大于硝态氮浓度,但变化特征与总氮基本一致。处理 5(常规对

照)的硝态氮浓度和铵态氮浓度均明显高于其它处理,其次为处理 4,施用缓释肥的 3 个处理(处理 1、处理 2、处理 3)硝态氮浓度和铵态氮浓度均保持在最低水平。说明采用施肥插秧一体化技术能够有效降低水稻地表径流中氮素的浓度,降低了氮素流失的风险。

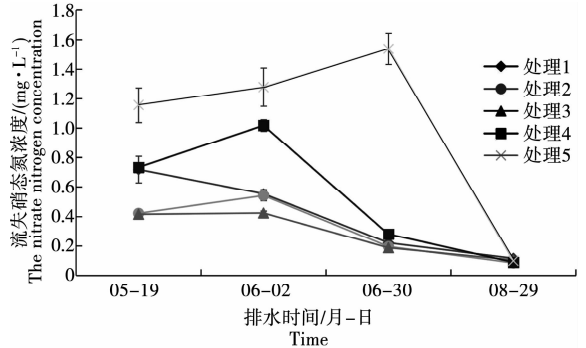


图 2 施肥插秧一体化技术对水稻地表径流硝态氮浓度的影响
Fig. 2 Effects of fertilization and transplanting integration technique on nitrate nitrogen concentration of surface runoff

2.3 施肥插秧一体化技术对稻田地表径流氮素流失量的影响

由图 4 可知,处理 5(常规对照)各次排水总氮流失量明显高于其它处理,随时间的推移呈下降趋势,这与水稻前期基肥的大量施用有关,并且随着排水量的减少和浓度的降低,流失量也逐渐减少。处理 4 基肥采用施肥插秧一体化技术,因此每次排水氮素流失量明显低于处理 5(常规对照),但由于进行了撒施追肥,因此流失量高于

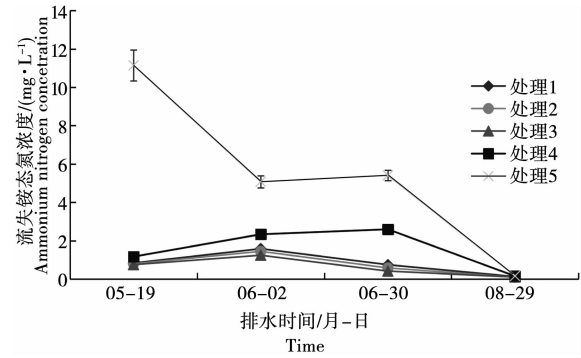


图 3 施肥插秧一体化技术对水稻地表径流铵态氮浓度的影响
Fig. 3 Effects of fertilization and transplanting integration technique on ammonium nitrogen concentration of surface runoff

施用缓释肥的处理。处理 1、2、3 基于缓释肥采用施肥插秧一体化技术,进行一次性全量施肥,全生育期氮流失量都保持在最低水平。水稻生育期内硝态氮流失量(见图 5)低于铵态氮流失量(见图 6),流失规律与总氮保持一致。

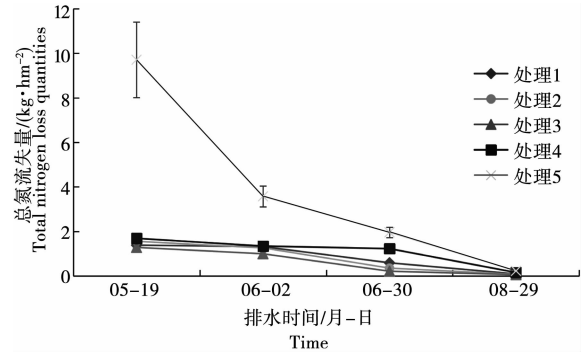


图 4 施肥插秧一体化技术对水稻地表径流总氮流失量的影响
Fig. 4 Effects of fertilization and transplanting integration technique on total nitrogen loss quantities of surface runoff

从水稻整个生育期氮素总流失量来看(见图 7),氮素主要以铵态氮形式流失,处理 1~处理 5 硝态氮流失量占总氮流失量的比重分别为 22.30%、18.17%、20.06%、23.14%、11.43%;处理 1~处理 5 铵态氮流失量占总氮流失量的比重分别为 42.48%、40.97%、43.41%、57.28%、75.34%。处理 5(常规对照)氮素流失量最大,总氮流失量为 15.47 kg·hm⁻²,硝态氮流失量为 1.77 kg·hm⁻²,铵态氮流失量为 11.65 kg·hm⁻²;处理 3 氮素流失量最小,总氮流失量为 2.54 kg·hm⁻²,硝态氮流失量为 0.51 kg·hm⁻²,铵态氮流失量为 1.10 kg·hm⁻²。

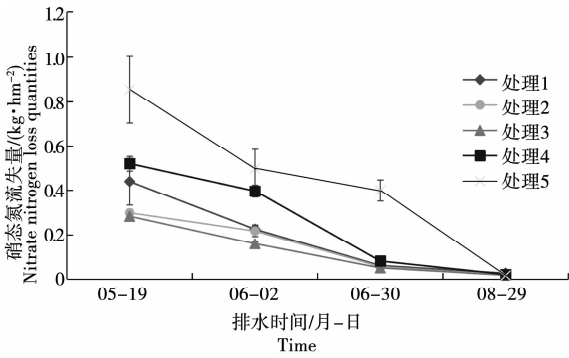


图 5 施肥插秧一体化技术对水稻地表径流硝态氮流失量的影响
Fig. 5 Effects of fertilization and transplanting integration technique on nitrate nitrogen loss quantities of surface runoff

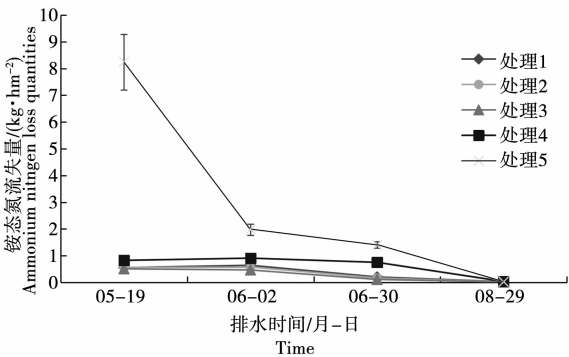


图 6 施肥插秧一体化技术对水稻地表径流铵态氮流失量的影响
Fig. 6 Effects of fertilization and transplanting integration technique on ammonium nitrogen loss quantities of surface runoff

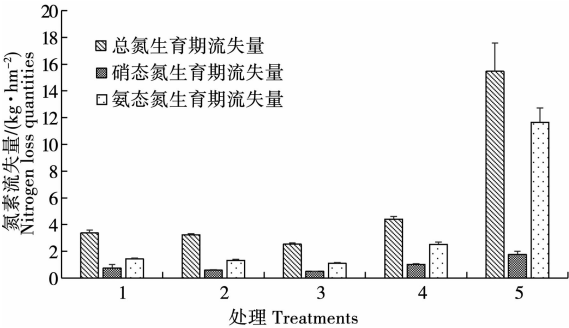


图 7 施肥插秧一体化技术对水稻生育期内地表径流氮流失量的影响
Fig. 7 Effects of fertilization and transplanting integration technique on nitrogen loss quantities of surface runoff

2.4 施肥插秧一体化技术对稻田地表径流氮素流失率的影响

农田地表径流氮素流失率为地表径流氮素流失量与当季农田氮肥施用量的比值。由图 8 可看出,处理 5(常规对照)氮素流失率最高,达到

9.38%；其余4个处理差异不大，处理1氮素流失率为2.40%、处理2氮素流失率为2.80%、处理3氮素流失率为3.08%、处理4氮素流失率为3.14%；处理2和处理3虽然减施氮量比处理1多，但是氮肥流失量减小的幅度没有氮肥投入量减小的幅度大，因此总氮流失率均高于处理1。处理4氮素流失率低于处理5高于其它3个处理，说明采用施肥插秧一体化技术无论是采用缓释肥一次性施肥还是采用普通肥料基肥一体化+追肥施肥模式都能够有效的减少氮素流失。

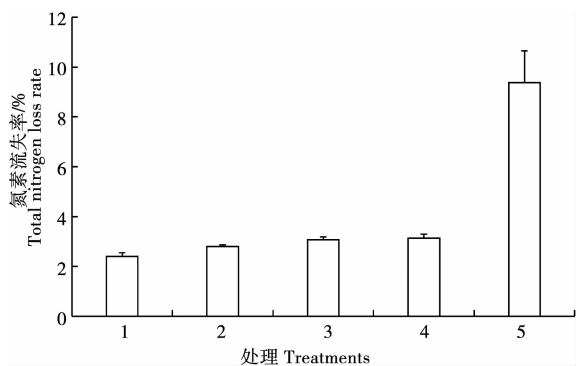


图8 施肥插秧一体化技术对水稻生育期内地表径流氮肥流失率的影响

Fig.8 Effects of fertilization and transplanting integration technique on total nitrogen loss rate of surface runoff

3 结论

采用施肥插秧一体化技术能够实现水稻增产，施用缓释肥减量15%的情况下水稻增产6.27%，减量30%的情况下水稻增产4.04%，采用普通肥料基肥一体化+追肥施肥模式在氮肥减量15%的情况下水稻增产3.87%。

采用施肥插秧一体化技术能够有效降低水稻地表径流中氮素的浓度，降低了氮素流失的风险。泡

田排水是水稻地表径流的高风险期，常规施肥方式总氮浓度达到 $13.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，采用施肥插秧一体化技术的各个处理最高仅为 $2.38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，并且全生育期始终保持在最低水平。

采用施肥插秧一体化技术能够显著降低氮素流失量和流失率。常规施肥方式在水稻前期使用大量的基肥，因此各次排水氮素流失量明显高于采用施肥插秧一体化技术的处理，全生育期总氮流失量达到 $15.47 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，流失率为9.38%；而采用施肥插秧一体化技术的各个处理全生育期总氮流失量平均仅为 $3.35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，流失率为2.85%。

采用施肥插秧一体化技术无论是采用缓释肥一次性施肥，还是采用普通肥料基肥一体化+追肥施肥模式都能够减少氮肥施用量，增加产量，并显著降低了农田地表径流氮素流失量和流失率。因此，水稻施肥插秧一体化技术有效的缓解了水稻生产发展带来的环境问题，提高了水稻种植的机械化水平，对于建立环境友好型农业技术体系，实现水稻清洁生产具有重要意义。

参考文献:

- [1] 白雪,郑桂萍,王宏宇,等.寒地水稻侧深施肥效果的研究[J].黑龙江农业科学,2014(6):40-43.
- [2] 毕春辉,陈长海,李明金,等.浅谈水稻侧深施肥技术[J].农业装备技术,2011,37(6):24-25.
- [3] 张爱平,刘汝亮,杨世琦,等.基于缓释肥的侧条施肥技术对水稻产量和氮素流失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):555-562.
- [4] 刘红江,郭智,郑建初,等.太湖地区氮肥减量对水稻产量和氮素流失的影响[J].生态学杂志,2017,36(3):713-718.
- [5] 刘汝亮,李友宏,王芳,等.缓释肥侧条施肥技术对水稻产量和氮素利用效率的影响[J].农业资源与环境学报,2014,31(1):45-49.

Effects of Fertilization and Transplanting Integrated Technology on Rice Yield and Nitrogen Loss

GU Xue-jia¹, WANG Yu-feng¹, ZHANG Lei¹, WANG Kai-jun², LIU Zhi-fa², CHEN Lei²

(1. Key Laboratory of Agricultural Environment of Northeast Plain, Ministry of Agriculture/Key Lab of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province/Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Fangzheng Agricultural Technology Extension Center, Harbin, Heilongjiang 150800)