

文章编号: 1003-8701(2015)02-0034-04

# 不同种植方式对寒地水稻氮积累与产量的影响

蒋毅, 吴振雨, 周婷, 罗盛国\*

(东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:**采用龙优5号水稻为试材,通过田间试验,研究寒地直播稻与传统移栽稻氮素吸收及产量的差异,探明寒地直播稻的氮素积累规律,为直播稻施肥提供理论依据。结果表明,直播稻抽穗期和灌浆期叶片含氮量分别比移栽稻高10.2%( $P<0.05$ )和10.0%( $P<0.05$ ),显著提高了叶片光合能力。成熟期籽粒氮积累量比移栽稻高16.1%( $P<0.05$ ),抽穗后氮同化量和氮同化贡献率分别比移栽稻高104.7%( $P<0.01$ )和76.2%( $P<0.01$ ),氮肥偏生产力比移栽稻高37.2%( $P<0.01$ )。直播稻穗粒数和千粒重显著提高,结实率也有所增加,产量比移栽稻高8.1%( $P<0.05$ )。

**关键词:**寒地;直播稻;氮积累;产量

中图分类号:S511.042

文献标识码:A

DOI:10.16423/j.cnki.1003-8701.2015.02.010

## Effects of Different Cultivation Patterns on N Accumulation and Yield of Rice in Cold Region

JIANG Yi, WU Zhen-yu, ZHOU Ting, LUO Sheng-guo\*

(College of Resources and Environmental Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** A field experiment with rice cultivar Longyou 5 was conducted to study the difference in N accumulation and yield of direct-seeded and transplanted rice in cold area to provide theoretical basis for N-fertilizer application on direct-seeded rice. Results showed that N contents in direct-seeded rice leaf at heading and filling stages were 10.2% ( $P<0.05$ ) and 10.0% ( $P<0.05$ ) higher than that of transplanted rice, and the photosynthetic rate of direct-seeded rice leaf was significantly increased. The N accumulation in rice grains at maturity stage was 16.1% ( $P<0.05$ ) higher than transplanted rice grains. N assimilation and N assimilation contribution rate after heading of direct-seeded rice was 104.7% ( $P<0.01$ ) and 76.2% ( $P<0.05$ ) higher than transplanted rice, partial factor productivity of applied N of direct-seeded rice was 37.2% ( $P<0.01$ ) higher than that of transplanted rice, and the number of grain per panicle and 1000-grain weight was significantly increased. The filled grain rate were increased, and the yield of direct-seeded rice was 8.1% ( $P<0.05$ ) higher than transplanted rice.

**Key words:** Cold region; Direct-seeded rice; N accumulation; Yield

在我国许多稻区,直播稻播种面积正在迅速扩大<sup>[1]</sup>。与移栽稻相比,直播稻对氮素营养的需求有着自身的特点。我国南方稻区已有许多关于直播稻氮素吸收与产量的研究,而有关寒地直播稻氮素吸收与产量的研究却鲜有报道。随着农机农艺技术的进步,直播稻种植技术必将被越来越

多的农户所认可和采用<sup>[2]</sup>,因此,寒地直播稻施肥与管理技术的研究意义重大。

氮素是影响水稻生长最敏感的元素,对水稻的群体构建、物质生产和转运、产量形成均具有重要影响<sup>[3-4]</sup>。本试验探讨了寒地直播稻与传统移栽稻氮素吸收及产量的差异,为直播稻寻求适宜的施肥技术提供依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

试验于2013年在哈尔滨市阿城区红新村农

收稿日期:2014-10-18

基金项目:科技部“十二五”科技支撑项目(2013BAD20B04)

作者简介:蒋毅(1988-),男,在读硕士,研究方向为作物养分管理。

通讯作者:罗盛国,男,教授,E-mail:Luoshengguo56@163.com

户稻田中进行,水稻品种为龙优5号,12片叶,生育日数132 d左右,穗粒型品种。试验地土壤为黑土型水稻土,有机质含量 $37.44 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,碱解氮 $167.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) $13.63 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾( $\text{K}_2\text{O}$ ) $155.45 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH 6.92。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 试验设计

直播稻种植方式采用水直播,5月11日播种,10月3日收获。试验田面积为 $0.65 \text{ hm}^2$ ,播种量为 $50 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。施氮总量为 $115 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,基肥施 $35 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,6月3日施 $20 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 离乳肥,6月11日施 $30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 分蘖肥,7月23日施 $30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 穗肥。磷肥施 $\text{P}_2\text{O}_5$   $50 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,作基肥一次性施入。钾肥施 $\text{K}_2\text{O}$   $74 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,基肥施 $40 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,6月11日施 $10 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,7月23日施 $24 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,随氮肥一起施入。

移栽稻于4月15日播种,10月3日收获。面积为 $0.47 \text{ hm}^2$ ,采用机插秧,插秧密度为 $30 \text{ cm}\times 14 \text{ cm}$ ,施肥按当地农户的习惯施肥方式进行,施氮总量为 $146 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,基肥施氮 $53 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,插秧后10 d施氮 $46 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,插秧后20 d施氮 $47 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 施用量均为 $53 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,作基肥一次性施入。

### 1.2.2 测试项目与方法

直播稻和移栽稻分别按各自的生育期取样,分别于抽穗期(Heading, HD)、灌浆期(Filling stage, FL)、成熟期(Mature, MT)取样,每小区分别选取有代表性的5个点,每点取具有平均分蘖的

水稻2穴。抽穗期和灌浆期将植株按叶、茎、穗分开,清洗干净;成熟期按茎叶、稻穗分开,考种测产后清洗干净,均于 $85^\circ\text{C}$ 杀青30 min, $70^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,测定干物重后粉碎,经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后,用德国布朗卢比公司生产的AA3连续流动分析仪测定氮素含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻各器官含氮量

如表1所示,直播稻和移栽稻茎叶含氮量均随生育期不断降低,而穗含氮量随生育期表现不同,可能与施肥方式有关。在抽穗期,直播稻叶片和茎秆含氮量分别比移栽稻高10.2%( $P<0.05$ )和11.1%( $P<0.05$ ),但稻穗含氮量差异不显著。在灌浆期,直播稻叶片氮含量仍比移栽稻高10.4%( $P<0.05$ ),穗含氮量比移栽稻高5.7%。产生以上结果的原因,可能是移栽稻按农民习惯施肥的方式进行,氮肥全部在幼穗分化期之前作基肥施用。直播稻采用前氮后移的施肥方式,适当减少前期施氮量,在拔节期施入总氮量26%的纯氮,显著提高了抽穗期和灌浆期叶片含氮量,进而提高了叶片光合能力,延长了光合时间,有利于更多光合产物的合成,为水稻产量和氮效率的提高创造了条件。

在成熟期,直播稻穗氮含量比移栽稻高7.5%( $P<0.05$ ),但茎叶氮含量比移栽稻低11.1%( $P<0.05$ ),说明根据直播稻的需氮规律施肥,氮素运输畅通。

表1 不同种植方式水稻各器官含氮量

%

时期	处理	各器官含氮量		
		叶	茎	穗
抽穗期	直播	$2.59 \pm 0.15 \text{ a}$	$0.61 \pm 0.01 \text{ a}$	$0.87 \pm 0.02 \text{ a}$
	移栽	$2.35 \pm 0.03 \text{ b}$	$0.55 \pm 0.02 \text{ b}$	$0.89 \pm 0.01 \text{ a}$
灌浆期	直播	$1.59 \pm 0.09 \text{ a}$	$0.45 \pm 0.03 \text{ a}$	$0.92 \pm 0.04 \text{ a}$
	移栽	$1.44 \pm 0.05 \text{ b}$	$0.41 \pm 0.03 \text{ a}$	$0.87 \pm 0.02 \text{ a}$
成熟期	直播	$0.50 \pm 0.03 \text{ a}$		$0.92 \pm 0.01 \text{ a}$
	移栽	$0.55 \pm 0.02 \text{ b}$		$0.86 \pm 0.02 \text{ b}$

注:不同的大写字母表示1%水平差异显著,小写字母不同表示5%水平差异显著,下同

### 2.2 水稻各器官氮积累量

由表2可知,随生育期的进行,水稻茎叶氮积累量呈下降趋势,穗氮积累量呈增加趋势。在抽穗期,移栽稻由于在前期投入较多的氮肥,叶片氮积累量比直播稻高6.9%,穗氮积累量比直播稻高10.2%( $P<0.05$ )。

在灌浆期,直播稻叶片和茎秆氮积累量分别

比移栽稻高16.1%( $P<0.05$ )和14.6%( $P<0.05$ ),穗氮积累量基本一致。成熟期,直播稻茎叶氮积累量比移栽稻低13.4%( $P<0.05$ ),穗氮积累量比移栽稻高16.1%( $P<0.05$ )。

以上结果表明,直播稻由于后期氮素供应充足,在灌浆期能够维持较高的叶片氮积累量,延缓了功能叶片的衰老,提高了光合生产能力,同

时促进了灌浆至成熟期氮素从营养器官向生殖器官的运输,使成熟期穗氮积累量显著高于移栽稻,而移栽稻由于灌浆期早衰,氮素运输不畅,过

多的氮残留在营养器官中,随着营养器官的衰老而流失,造成氮肥的浪费。

表2 不同种植方式水稻各器官氮积累量

kg·hm<sup>-2</sup>

时期	处理	各器官氮积累量		
		叶	茎	穗
抽穗期	直播	40.78 ± 1.93 a	30.67 ± 1.37 a	14.41 ± 0.68 a
	移栽	43.58 ± 1.30 a	29.50 ± 1.43 a	15.88 ± 1.76 b
灌浆期	直播	27.25 ± 1.32 a	23.57 ± 1.18 a	49.08 ± 2.45 a
	移栽	23.47 ± 1.36 b	20.56 ± 1.32 b	50.45 ± 2.94 a
成熟期	直播	27.93 ± 1.62 a		76.28 ± 1.62 a
	移栽	32.24 ± 0.57 b		65.68 ± 2.27 b

### 2.3 穗氮阶段积累量

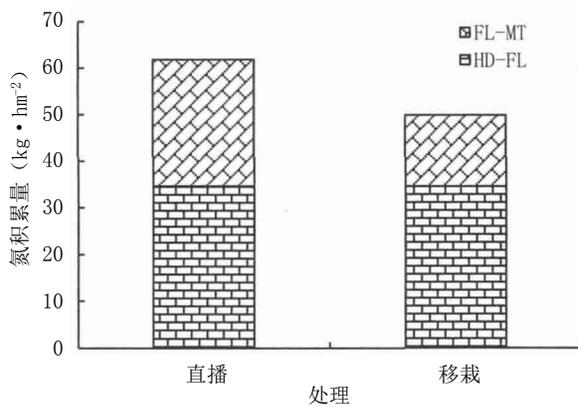


图1 不同种植方式水稻穗氮阶段积累

不同种植方式寒地水稻穗阶段氮素积累见图1。在抽穗期至灌浆期,直播稻和移栽稻的穗氮积累量基本一致。在灌浆期至成熟期,直播稻穗氮积累量比移栽稻高 11.97 kg·hm<sup>-2</sup> (P<0.01)。这是因为直播稻后期氮素供给多,使灌浆结实期有充足的氮素供应,且根系发育较好,通过旺盛的生理代谢,吸收了更多的氮素,促进了灌浆期至成熟期穗氮积累。而移栽稻后期氮素供应不足,

植株脱氮早衰,氮素运输不畅。

### 2.4 氮吸收与转运

茎叶氮转运量是抽穗期茎叶氮积累量与成熟期茎叶氮积累量的差值。如表3所示,移栽稻的茎叶氮转运量比直播稻低 6.2%,这是由于移栽稻在灌浆期出现早衰症状,氮素运转不畅所致。茎叶氮转运率是茎叶转运出去的氮占抽穗期茎叶氮积累量的百分比。直播稻前期施肥量比移栽稻少,抽穗期茎叶氮积累量略低,以致茎叶氮转运率比移栽稻高 9.02% (P<0.05)。

氮同化贡献率是抽穗后同化的氮占籽粒总氮量的百分比,氮转运贡献率是抽穗后茎叶转运出去的氮占籽粒总氮量的百分比。直播稻抽穗后氮同化量、氮同化贡献率分别比移栽稻高 104.7% (P<0.01) 和 76.2% (P<0.01),抽穗后氮素转运贡献率比移栽稻低 8.2% (P<0.05)。结果表明,直播稻由于抽穗后氮素营养充足,有利于根系活力的提高,氮积累量高。而移栽稻抽穗后由于供氮不足,根系活力开始逐渐下降,吸收氮素的能力也就开始逐渐下降,此时稻株内主要是氮素的转运与再分配。

表3 不同种植方式水稻氮转运和同化

处理	茎叶氮转运量 (kg·hm <sup>-2</sup> )	茎叶氮转运率 (%)	抽穗后氮同化量 (kg·hm <sup>-2</sup> )	抽穗后氮同化贡献率 (%)	抽穗后氮转运贡献率 (%)
直播	43.52 ± 1.76 a	60.91 ± 1.91 a	18.35 ± 0.84 A	24.05 ± 1.09 A	57.05 ± 1.53 a
移栽	40.83 ± 1.23 a	55.88 ± 2.03 b	8.96 ± 0.62 B	13.65 ± 0.75 B	62.17 ± 2.17 b

### 2.5 氮效率

#### 2.5.1 氮素收获指数

氮素收获指数是成熟期籽粒氮积累量占植株氮积累总量的百分比。从图2可以看出,直播稻的氮素收获指数为 0.72,移栽稻的氮素收获指数

为 0.65,差异达到显著水平 (P<0.05),结果表明,根据直播稻的吸氮规律施氮,促进了直播稻抽穗后的氮积累量,同时氮素运转畅通,减少了氮素在营养器官中的残留,提高了成熟期氮素在籽粒中的分配比例,实现了氮高效,有利于产量提高。

### 2.5.2 氮肥偏生产力

氮肥偏生产力是产量与施氮量的比值。由图3可知,直播稻的氮肥偏生产力为70.1 kg·kg<sup>-1</sup>,移栽稻氮肥偏生产力只有51.1 kg·kg<sup>-1</sup>,与直播稻差异极显著。主要原因是移栽稻全生育期施用纯氮

146 kg·hm<sup>-2</sup>,比直播稻多31 kg·hm<sup>-2</sup>,且集中在生育前期,导致前期氮肥的浪费和后期的不足,且灌浆期稻株脱氮引起早衰,产量较低。

### 2.6 产量和产量构成因子

直播稻有效穗数比移栽稻低50.5%(P<0.01),

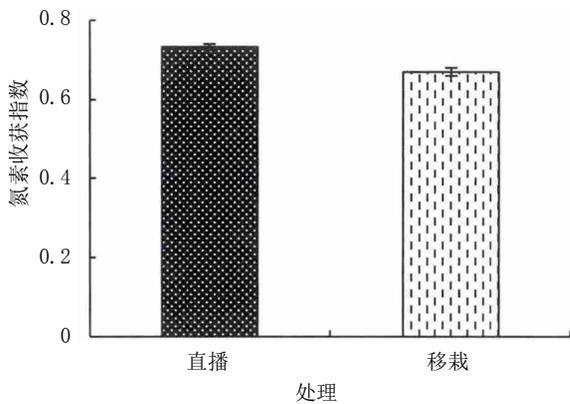


图2 不同种植方式水稻氮素收获指数

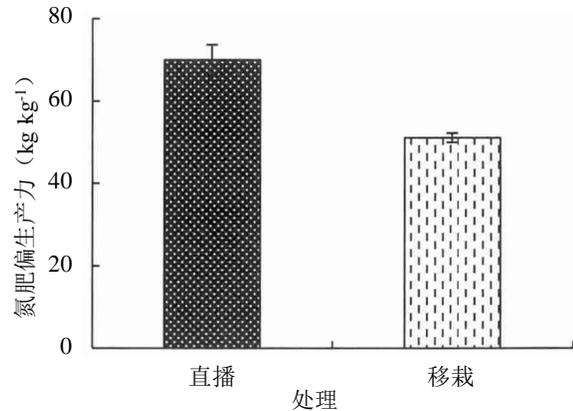


图3 不同种植方式水稻氮肥偏生产力

这是因为直播稻在生长前期分蘖节位低,下部叶片受到潜叶蝇危害,分蘖大量减少,导致有效穗数比预期结果低50%左右。但穗粒数、千粒重分别比移栽稻高50.1%(P<0.01)和3.4%(P<0.05),结实率增加3.3个百分点,产量提高了8.1%(P<

0.05),达到8.06 t·hm<sup>-2</sup>,表明直播稻抽穗后有充足的养分供应,在一定穗数条件下,穗粒数和千粒重显著增加,结实率也略有增加,增加了库容量,进而显著提高了产量。

表4 产量和产量构成因子

处理	有效穗数(×10 <sup>4</sup> 穗·hm <sup>-2</sup> )	每穗粒数	千粒重(g)	结实率(%)	产量(t·hm <sup>-2</sup> )	增产(%)
移栽	350.0±26.6 A	98.7±6.9 A	27.5±0.3 a	79.5±1.9 a	7.46±0.2 a	-
直播	232.6±15.7 B	148.1±7.3 B	28.4±0.4 b	82.8±2.6 a	8.06±0.4 b	8.1

## 3 结论与讨论

赵锋等<sup>[5]</sup>认为,直播稻种子萌发到出苗持续时间很长,肥料吸收利用总量较少,如果施氮量和施氮时期与移栽稻相同,就会造成肥料前期的浪费和后期的不足,导致氮肥利用率降低,也不利于直播稻优质群体的形成。范立春<sup>[6]</sup>的研究表明,幼穗分化期至抽穗期,寒地水稻氮素吸收速率平均为2.1 kg·hm<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>,在此时期施用氮肥很快便会被吸收。本试验根据寒地直播稻的吸氮特性,在拔节期施入30 kg·hm<sup>-2</sup>的纯氮,促进了直播稻对氮素的吸收,显著提高了抽穗期、灌浆期茎叶含氮量,进而提高了直播稻的光合生产能力,推迟了功能叶片的衰老,延长了光合时间,有利于光合产物的合成与转运,有利于产量的提高。后期施氮可以通过根系吸收直接进入籽粒<sup>[7]</sup>,且直播稻营养器官后期有充足的氮素积累,从而使

成熟期籽粒氮积累量显著高于移栽稻。

许晶<sup>[8]</sup>的研究结果表明,氮肥适当后移,寒地水稻前期在氮素相对缺乏的情况下,扎根较深,中后期施入氮肥后,水稻能迅速吸收利用氮素,从而减少氮肥的损失。本试验研究结果表明,直播稻后期氮素供应充足,抽穗后氮积累量显著高于移栽稻。陈丽楠<sup>[9]</sup>的研究表明,寒地水稻抽穗后氮积累量与产量呈显著正相关,抽穗后氮素同化贡献率与水稻氮效率呈显著正相关,而茎叶氮素转运贡献率与水稻氮效率呈显著负相关。本试验研究表明,直播稻抽穗后茎叶氮素转运贡献率显著低于移栽稻,而氮素同化贡献率却显著高于移栽稻,在获得较高产量的同时,显著提高了氮肥偏生产力,从而实现了氮素高效利用。

郁燕<sup>[10]</sup>指出,减少前期氮肥用量,增加后期氮肥用量,能控制无效分蘖,提高分蘖成穗率,并有利于大穗的形成。徐国伟<sup>[11]</sup>通过对(下转第61页)

劳动力向二、三产业转移,降低农业生产成本,提高农民收入,减轻土地压力,进而改善生态环境,提高耕地质量。

#### 4 结 论

研究以产量法作为中低产田划分依据,获取1990~2010年东北地区中低产田面积,通过多个年份的中低产田空间分布变化分析东北地区中低产田变化规律,可为东北地区中低产田耕地地力提升和资源优化配置提供科学数据。同时,笔者从农业自然条件、生产要素投入、农业技术进步等3个方面分析东北地区中低产田数量与质量变化原因,进而提出改善农业生产条件、提高土地利用效率、动态监测耕地质量、调整农业产业结构等中低产田改良措施。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 张琳,张凤荣,姜广辉,等.我国中低产田改造的粮食增产潜力与食物安全保障[J].农业现代化研究,2005,26(1):22-25.
- [ 2 ] 张平宇,程叶青,刘志强.加强东北商品粮基地建设,保障国家粮食安全[J].科学新闻,2004(9):22-24.
- [ 3 ] 程叶青.东北地区中低产田改造的区域模式与对策措施[J].干旱区资源与环境,2010,24(11):120-124.
- [ 4 ] 李晶宜.中国农业资源的可持续利用[J].中国人口资源与

环境,1998,8(4):11-15.

- [ 5 ] 李明秋,韩桐魁.论中低产田改造与土地资源的可持续利用[J].中国人口资源与环境,2001,11(51):24-25.
- [ 6 ] 刘兴土,佟连军,武志杰,等.东北地区粮食生产潜力的分析与预测[J].地理科学,1998,18(6):501-509.
- [ 7 ] 武志杰,晁岳侠,曾丽娟,等.东北大平原商品粮基地的农业资源开发对策[J].资源开发与市场,1996,12(6):256-257.
- [ 8 ] 黄勤,马中文,方黎,等.阜南县耕地地力评价与中低产田改良[J].中国农学通报,2012,28(9):91-96.
- [ 9 ] 郭文义,魏丹,周宝库,等.东北中低产田现状与综合治理对策[J].黑龙江农业科学,2008(6):52-55.
- [ 10 ] 夏建国,魏朝富,朱钟麟,等.中国中低产田土改造研究综述[J].中国农学通报,2005,21(4):212-218.
- [ 11 ] 石全红,王宏,陈阜,等.中国中低产田时空分布特征及增产潜力分析[J].中国农学通报,2010,26(19):369-373.
- [ 12 ] 刘兴土,何岩,邓伟,等.东北区域农业综合发展研究[M].北京:科学出版社,2002.
- [ 13 ] 张军,覃志豪,李文娟,等.1949-2009年中国粮食生产发展与空间分布演变研究[J].中国农学通报,2011,27(24):13-20.
- [ 14 ] 胡秀芳,宣勇,金鹭鹭.基于GIS的中国粮食生产时空变化研究[J].淮海工学院学报,2012,21(4):70-75.
- [ 15 ] 刘景辉,王志敏,李立军,等.超高产是中国未来粮食安全的基本技术途径[J].农业现代化研究,2003(3):161-165.
- [ 16 ] 朱德峰,庞乾林,何秀梅.我国历年水稻产量增长因素分析与今后的发展对策[J].中国稻米,1997(1):3-6.

(上接第37页)直播稻与移栽稻根系差异的研究表明,与移栽稻相比,直播稻因播种较浅,根层土壤中的氧气较多,有利于根系的发生和生长,单株根数多且根粗大,生育后期根系活力较强,能从土壤中吸收较多的养分。本试验结果表明,直播稻后期养分充足且根系发育较好,从而使穗粒数显著高于移栽稻。由于潜叶蝇危害,直播稻的有效穗数显著低于移栽稻,有效穗数的减少,也会导致穗粒数有所增加,加大了直播稻与移栽稻穗粒数上的差异。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 袁志章,胡祝祥,华荣,等.直播稻生产现状与应用前景分析[J].农业科技通讯,2009(1):89-92.
- [ 2 ] 李珣,苗立新,刘忠卓,等.水稻直播技术的发展现状与研究进展[J].北方水稻,2013,43(1):78-80.
- [ 3 ] 李木英,石庆华,王涛,等.氮肥运筹对陆两优996吸氮、干物质生产和产量的影响[J].江西农业大学学报,2008,30

(2):188-193.

- [ 4 ] 李木英,石庆华,方慧铃.涂鑫688氮素营养特性及其与群体发育和产量形成的关系[J].江西农业大学学报,2009,31(2):183-194.
- [ 5 ] 赵锋,程建平,张国忠,等.氮肥运筹和秸秆还田对直播稻氮素利用和产量的影响[J].湖北农业科学,2011,50(18):3702-3704.
- [ 6 ] 范立春.水肥耦合对寒地水稻养分吸收和产量的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2006.
- [ 7 ] Kano Kono Y. Partitioning of <sup>15</sup>N applied at reproductive stage among grains and in other tissues of rice plants[J]. Jan J Crop Sci, 1993(62): 577-584.
- [ 8 ] 许晶,赵宏伟,杜晓东,等.氮肥运筹对寒地粳稻氮肥利用率及产量影响的研究[J].作物杂志,2011(3):86-89.
- [ 9 ] 陈丽楠.前氮后移对寒地水稻光合特性和氮效率的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2010.
- [ 10 ] 郁燕.前氮后移对寒地水稻根系吸收能力和氮效率的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2009.
- [ 11 ] 徐国伟.种植方式、秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与品质的影响及其生理的研究[D].扬州:扬州大学,2007.