

# 不同氮钾用量配比对 直播稻产量和品质的影响

李木英, 陈志攀, 石庆华, 潘晓华, 谭雪明

(作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室/江西农业大学, 江西南昌 330045)

**摘要:** 为提供水稻直播栽培合理的氮钾配施技术, 研究了 120, 165, 210 kg/hm<sup>2</sup> 3 个施氮水平以及 90, 150, 210 kg/hm<sup>2</sup> 3 个施钾水平的不同配比对直播稻产量和品质的影响。结果表明, 产量以 N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 配比最高。不同氮钾配比对直播稻产量影响显著。氮肥用量以 165 kg/hm<sup>2</sup> 适宜。相同氮肥用量下, 产量随着施钾量的增加而增加, 增施钾肥提高有效穗和每穗粒数。要获得高于 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 产量, 施氮量需 160 ~ 180 kg/hm<sup>2</sup>、氧化钾需 180 kg/hm<sup>2</sup> 以上。在低氮水平下, 增施钾肥有提高籽粒最大灌浆速率的趋势, 中、高氮水平下, 增施钾肥籽粒最大灌浆速率呈下降趋势。N<sub>2</sub> 水平的活跃灌浆期最短、籽粒最大灌浆速率最大。粒质量与籽粒最大灌浆速率和活跃灌浆期呈正相关。增施钾肥降低垩白米率和垩白度。胶稠度有随着氮钾施用量增加而下降、碱消值随氮钾施用的增加而提高的趋势。胶稠度和碱消值与籽粒灌浆特征和稻谷产量水平关系密切。

**关键词:** 直播稻; 氮钾配比; 产量; 品质

中图分类号: S511.062 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)06-1071-09

## Effects of Different Proportions of Nitrogen and Potassium amounts on Grain Yield and Quality of Direct-seeded Rice

LI Mu-ying, CHEN Zhi-pan, SHI Qing-hua, PAN Xiao-hua, TAN Xue-ming

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province/Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** In order to provide rational application technology of dosage of nitrogen and potassium in direct-seeded rice, the effects of different proportions of three nitrogen amount levels of 120 kg/hm<sup>2</sup>, 165 kg/hm<sup>2</sup>, 210 kg/hm<sup>2</sup> and three potassium amount levels of 90 kg/hm<sup>2</sup>, 150 kg/hm<sup>2</sup>, 210 kg/hm<sup>2</sup> on the grain yield and quality of direct-seeded rice were studied. The result showed that the proportion of N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> had the best yield. The effects of different proportions of nitrogen and potassium amounts were remarkable on yield of direct-seeded rice. The nitrogen dosage of 165 kg/hm<sup>2</sup> was optimal. The yield increased along with the application amount of potassium under the same nitrogen amount level. The effective panicles and grain numbers of per panicle increased along with the application amount of potassium. To achieve the yield of over 9 000 kg/hm<sup>2</sup>, the nitrogen amount of 160 - 180 kg/hm<sup>2</sup> and potassium oxide amount of over 180 kg/hm<sup>2</sup> were required. There was a trend that the maximum grain filling rate was increased by added potassium amount under the

收稿日期: 2012-08-20 修回日期: 2012-09-27

基金项目: 农业部超级稻研究专项“长江中下游稻区超级稻配套栽培技术开发与技术集成”、江西省科技厅“江西省重大战略产品科技创新项目”(2008AB00800) 和科技支撑计划项目(2009BNA03700)

作者简介: 李木英(1953—), 女, 研究员, 主要从事作物栽培与生理生态研究, E-mail: myli53@yahoo.com.cn。

lower nitrogen level, and that the maximum grain filling rate represented a downtrend when the potassium amount increased under higher nitrogen level. The active grain filling period was the shortest and the mean grain filling rate was the biggest at the levels of 165 kg/hm<sup>2</sup> nitrogen. The grain weight was positively correlated with maximum grain filling rate and active grain filling period. Added amount of potassium fertilizer reduced the chalky grain rate and chalkiness. The gelconsistency decreased along with the application amount of potassium. The alkali spreading value increased along with the application amount of potassium and nitrogen. The gelconsistency, alkali spreading value and the character parameters of grain filling, grain yield level were closely correlated.

**Key words:** direct-seeded rice; proportioning of nitrogen and potassium amount; yield; quality

氮素是影响水稻生长最敏感的元素,氮肥对水稻的群体构建、物质生产和转运、产量形成均具有重要影响<sup>[1-2]</sup>。中国稻田氮肥利用率在逐步下降,其中主要原因可能是与氮肥施用量持续增加有关,由于氮肥施用后直观效果更明显,因此稻农往往重视氮肥的施用,磷、钾肥施用量则相对较少<sup>[3]</sup>。合理施用氮肥不仅是实现水稻优质高产的最重要措施之一,同时也是提高肥料利用效率、降低生产成本、减少环境污染的关键。氮肥的施用效果与钾肥用量有密切关系<sup>[4]</sup>,钾肥施用水平不仅对水稻穗数、成穗率、每穗粒数、着粒密度、株高、叶片叶绿素含量(SPAD值)和光合速率有显著影响<sup>[5]</sup>,同时影响水稻植株吸氮量,氮素转运量和转运率<sup>[6]</sup>,增施钾肥提高抽穗后水稻干物质积累、结实率、粒质量和增强水稻的抗旱、抗病虫害和抗倒伏能力,有利于提高水稻的群体质量<sup>[7]</sup>。直播稻合理施肥尤其重要,施肥不当,更易导致无效分蘖过多,群体质量下降,降低成穗率或植株倒伏。盲目增施氮肥,忽视钾肥的施用,由此产量和氮肥效益随着施氮量增加而递减<sup>[8]</sup>。目前钾肥在对直播稻生长生育和稻米品质的影响的研究还鲜见报道,本文旨在明确不同氮钾用量配施对直播稻稻谷产量和品质的影响,以期直播稻高产优质氮钾肥的合理配施提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料与田间管理

试验于 2011 年在江西农业大学科技园进行。供试组合为陆两优 996。试验田土壤肥力为全 N 0.40 g/kg、碱解氮 64.42 mg/kg、有效磷 7.96 mg/kg、速效 K 63.81 mg/kg、有机质 2.14%、pH 值 5.38。4 月 5 日播种,播种量 37.5 kg/hm<sup>2</sup>。氮、钾肥用量配施处理见表 1。氮肥以尿素为肥源,按 W(基肥):W(分蘖肥):W(穗肥)=5:2:3 施用。钾肥分两次施用,以氯化钾为肥源,基肥和穗肥各占 50% 施用。基肥结合整田施入,分蘖肥于 4 叶时施用,穗肥在倒 2 叶抽出时施用。磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)用量为 90 kg/hm<sup>2</sup>,以钙镁磷为肥源,作基肥结合整田全部施入。其它管理一致,播种后至 3 叶期田面无水,沟内保持水层;播后 3 d 打除草剂封闭,施分蘖肥时田间开始上水,结合施分蘖肥第 2 次施用除草剂;薄水分蘖,够苗 80% 晒田,多次轻晒,足水保胎,干湿灌浆。

### 1.2 试验设计

试验设 3 个施氮水平,低 N 为纯氮 120 kg/hm<sup>2</sup>(N<sub>1</sub>),中氮为 165 kg/hm<sup>2</sup>(N<sub>2</sub>),高氮为 210 kg/hm<sup>2</sup>(N<sub>3</sub>);3 个施钾(K<sub>2</sub>O)水平,低钾为 90 kg/hm<sup>2</sup>(K<sub>1</sub>),中钾 150 kg/hm<sup>2</sup>(K<sub>2</sub>),高钾 210 kg/hm<sup>2</sup>(K<sub>3</sub>)。氮钾配比见表 1。各处理重复 4 次,随机区组排列,小区面积为 12.25 m<sup>2</sup>。

### 1.3 测定内容与方 法

考种与测产方法:各处理 3 次重复取样 10 株考种,每个小区取 4.5 m<sup>2</sup> 调查单位面积有效穗数,实割测产。籽粒的灌浆速率测定:各小区于抽穗期标记花期基本一致的稻穗,每隔 5 d 取 1 次,各处理取 3 次重复各 100 粒测定籽粒干质量,灌浆参数参照朱庆森等<sup>[9]</sup>的方法,用 Richards 方程进行拟合。稻米品质测定:委托湖北省农科院农业部食品质量监督检验测试中心分析测定。试验数据用 Excel 2003 和 DPS 7.05 处理和统计分析。作图应用 Sigmaplot 11.0 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮钾用量配比对直播稻稻谷产量的影响

2.1.1 稻谷产量 表 2 可见,不同氮钾配比处理间的水稻产量差异显著。在相同氮肥用量下,一般为

表1 不同氮、钾肥用量配比  
 Tab.1 The different amount proportioning of nitrogen and potassium

处理 Treatment	N/( kg · hm <sup>-2</sup> )	K <sub>2</sub> O/( kg · hm <sup>-2</sup> )	N: K
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	120	90	1: 0.75
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	120	150	1: 1.25
N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	120	210	1: 1.75
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	165	90	1: 0.55
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	165	150	1: 0.91
N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	165	210	1: 1.27
N <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	210	90	1: 0.43
N <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	210	150	1: 0.71
N <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	210	210	1: 1.00

产量随着施钾量的增加而增加,在低、中氮水平下,稻谷产量由高到低依次为 K<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>1</sub>,中氮水平下不同施钾水平产量差异显著;高氮水平下增施钾肥对稻谷产量影响较小。表2表明,稻谷产量随着施钾水平的提高而增加,但中、高钾水平产量差异不显著。在相同钾肥水平下,不同施氮水平的平均产量大小由大到小依次为 N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>、N<sub>1</sub>,N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub> 的产量比 N<sub>1</sub> 分别增产 19.8% 和 15.5%,差异显著。不同施钾水平的平均稻谷产量为 K<sub>3</sub>、K<sub>2</sub> > K<sub>1</sub>,K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> 比 K<sub>1</sub> 分别增产 3.92% 和 5.99%,K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> 产量差异不显著。本试验条件下,氮肥对直播稻产量的影响显著地高于钾肥。本试验产量最高的 N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 处理,为 9 045.33 kg/hm<sup>2</sup>,肥料用量最高的处理 N<sub>3</sub>K<sub>3</sub> 的产量为 8 380.78 kg/hm<sup>2</sup>。表明 N 肥用量与产量并非直线相关,中氮高钾配比产量最高,低氮低钾配比产最低。氮、钾用量对比对水稻产量影响效应如图 1 所示,呈开口向下的勺形态,要获得 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 以上产量,施肥量纯氮在 160 ~ 180 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 在 180 kg/hm<sup>2</sup> 以上。根据计算分析,直播稻产量与氮钾肥料用量的效益关系用拟合方程表达:

表2 不同氮钾对比对直播稻产量和产量构成因素的影响

Tab.2 Effect of amount proportioning of nitrogen and potassium on yeild and yield components of direct-seeded rice

处理 Treatment	有效穗/ (10 <sup>4</sup> · hm <sup>-2</sup> )		每穗粒数		结实率/%		千粒质量/g		实际产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	
	Effective panicles of per ha.		Spikelets number of per panicle		Seed setting percentage		1000 - grain weight		Actual yield	
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	260.65	e	100.36	c	95.20	a	28.23	a	6 958.33	e
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	272.35	de	104.82	bc	94.28	a	28.34	ab	7 289.33	d
N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	280.37	d	117.78	abc	94.89	a	28.42	ab	7 391.00	d
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	299.65	c	122.38	abc	93.09	a	27.22	bcd	8 266.00	c
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	318.72	b	126.55	ab	89.92	a	27.42	d	8 619.33	b
N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	334.32	a	127.95	a	89.46	a	27.69	cd	9 045.33	a
N <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	303.77	c	115.11	abc	92.12	a	27.48	a	8 189.33	c
N <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	312.22	bc	117.59	abc	89.87	a	28.02	abc	8 422.33	bc
N <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	312.65	bc	122.58	abc	92.86	a	28.38	cd	8 380.78	bc
N <sub>1</sub>	271.12	c	107.65	b	94.79	a	28.34	a	7 212.89	c
N <sub>2</sub>	317.56	a	125.63	a	90.82	a	27.44	b	8 643.56	a
N <sub>3</sub>	309.54	b	118.43	ab	91.62	a	27.96	c	8 330.78	b
K <sub>1</sub>	288.02	c	112.62	a	93.47	a	28.14	a	7 804.56	b
K <sub>2</sub>	301.09	b	116.32	a	91.36	a	27.73	ab	8 110.33	a
K <sub>3</sub>	309.11	a	122.77	a	92.40	a	27.70	b	8 272.33	a

同一列数据相同字母,分别表示差异未达 Duncan's 新复极差测验 5% 显著水平。

Data followed by same letters within the same column indicate non - significant difference at the 5% level by Duncan's test.

$$z = -0.43x^2 - 0.02y^2 + 154.5x + 9.9y - 6112 \quad (R^2 = 0.9741) \quad (1)$$

$z$  为产量  $x$  为氮肥用量  $y$  为钾肥用量。中、低氮水平钾/氮比等于或大于 1 ( $K/N \geq 1$ ) 的产量高于钾/氮比小于 1 ( $K/N < 1$ ) 的产量。

2.1.2 产量构成因素 表 2 还显示了不同氮钾肥用量对比对产量构成因素的影响。直播稻有效穗随着钾肥用量的增加而提高,在不同施氮水平下增施钾肥都利于提高有效穗数,同一氮肥水平不同钾肥水平间差异显著;氮肥用量则以 160 kg/hm<sup>2</sup> 处理有效穗最多,其次是高氮水平,低氮对有效穗数明显影响,各水平间差异显著。分析表明,氮肥和钾肥对有效穗影响交互效应显著 ( $F_{N \times K} = 2.54^{**}$ )。氮肥对每穗粒数的影响与有效穗一致。每穗粒数随着增施钾肥水平的提高而增加。高肥水平结实率下降,但处理间差异未达显著。粒质量随着氮肥用量的增加而减少,不同施氮水平差异显著;钾肥对粒质量和结实率的影响不明显。直播稻产量与单位面积有效穗、每穗粒数呈极显著正相关,相关系数分别为 0.992 3<sup>\*\*</sup> 和 0.891 5<sup>\*\*</sup>。施钾的增产效果在于增加有效穗数和每穗粒数。

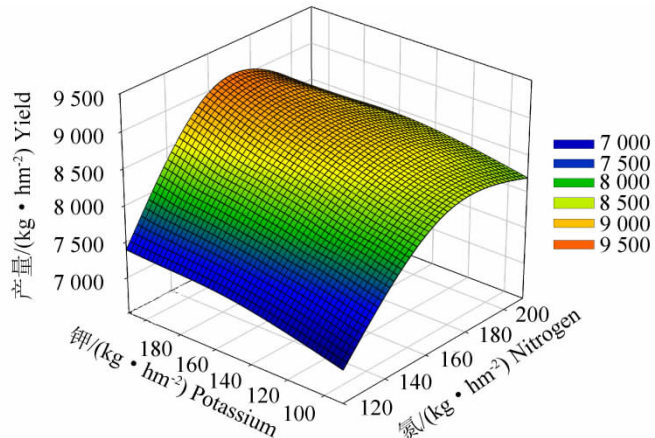


图 1 氮钾用量对比对直播稻产量的效应

Fig. 1 The effect of amount proportioning of nitrogen and potassium on the yield of direct-seeded rice

### 2.2 不同氮钾对比对直播稻干物质产量的影响

表 3 表明,施氮量对干物质产量的影响表现为  $N_2 > N_3 > N_1$ ,中氮水平以下随着施氮量增加而提高,

表 3 不同氮钾对比对直播稻干物质产量和分配的影响

Tab. 3 Effect of amount proportioning of nitrogen and potassium on the dry matter yield and distribution of direct-seeded rice

处理 Treatment	干物质产量/(kg · hm <sup>-2</sup> ) Dry matter accumulate		干物质分配/% Ratio of dry matter distribution			
			叶 Leaves	茎 Culm	鞘 Sheath	穗 Panicle
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	10 023.76	g	14.33	13.01	14.68	57.99
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	11 127.57	f	14.28	13.60	14.87	57.25
N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	11 814.07	e	14.33	13.82	15.21	56.63
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	12 751.77	cd	14.88	13.77	15.33	56.02
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	13 883.35	b	15.22	13.92	15.45	55.41
N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	14 694.71	a	15.24	14.35	15.60	54.81
N <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	12 504.87	d	15.79	13.11	15.11	55.99
N <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	13 060.55	c	15.85	13.04	14.96	56.15
N <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	13 634.35	b	15.79	13.44	15.11	55.66
N <sub>1</sub>	10 988.47	c	14.31	13.50	14.93	57.25
N <sub>2</sub>	13 776.61	a	15.12	14.03	15.47	55.38
N <sub>3</sub>	13 066.59	b	15.81	13.20	15.06	55.93
K <sub>1</sub>	11 760.13	c	15.05	13.32	15.07	56.57
K <sub>2</sub>	12 690.49	b	15.16	13.53	15.11	56.20
K <sub>3</sub>	13 381.05	a	15.16	13.89	15.32	55.63

同一列数据相同字母,分别表示差异未达 Duncan's 新复极差测验 5% 显著水平。

Data followed by same letters within the same column indicate non-significant difference at the 5% level by Duncan's test.

施氮水平高于 165 kg/hm<sup>2</sup> 干物质增产不明显,甚至下降。在相同施氮水平增加施钾量,提高干物质产量。不同钾肥处理对干物质产量有显著的影响。以 N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 配施干物质产量最高,与其它处理差异显著,其次是 N<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 和以 N<sub>3</sub>K<sub>3</sub>, 两者之间差异不显著。相关分析表明,稻谷产量与干物质产量极显著正相关( $r = 0.9727^{**}$ )。表 3 可见,增施氮肥提高叶质量、降低穗质量在总干质量中的比率,氮肥对茎、鞘干物质分配比率的影响规律不明显。钾肥对叶、穗在总物质中的分配比率没有明显的影响;而茎、鞘在总物质中的分配比率随着施钾量水平的提高而增加。

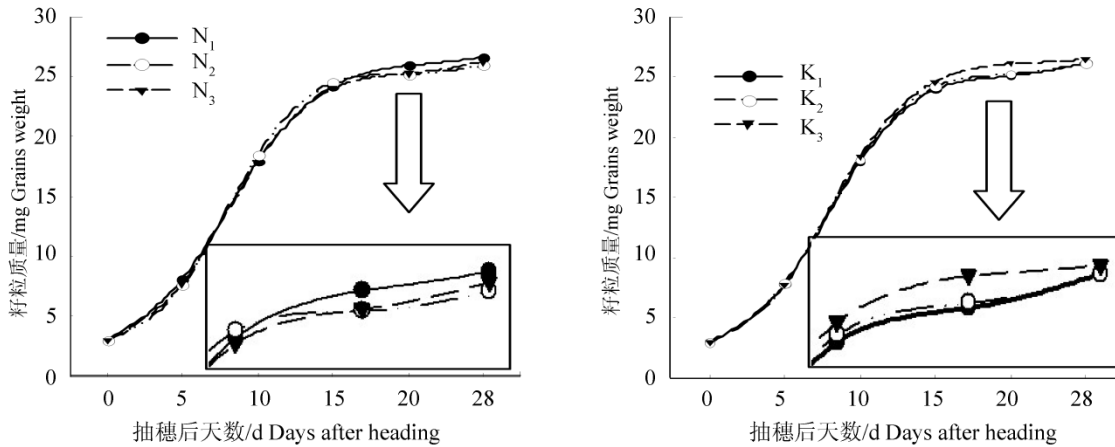


图 2 直播稻不同氮钾配比的籽粒灌浆动态

Fig. 2 Dynamics of Grain filling of different amount of nitrogen and potassium in direct-seeded rice

### 2.3 不同氮钾对比对籽粒灌浆特征参数的影响

2.3.1 灌浆动态 图 2 是直播稻不同氮钾水平的籽粒灌浆动态。直播稻籽粒灌浆在抽穗后 15 d 内完成了籽粒质量的 90% 以上,抽穗 15 d 后籽粒质量上升缓慢,但是确定最终粒质量在抽穗 15 d 之后。从图 2 可以看出,抽穗 15 d 之内, N<sub>2</sub> 处理粒质量增加快于 N<sub>3</sub> 和 N<sub>1</sub> 处理,15 d 之后 N<sub>1</sub> 逐渐快于 N<sub>2</sub> 和 N<sub>3</sub> 处理,最终以粒质量 N<sub>1</sub> 最高。钾肥对籽粒灌浆动态的影响表现在抽穗 10 d 以后, K<sub>3</sub> 籽粒灌浆量明显高于 K<sub>2</sub> 和 K<sub>1</sub>。

2.3.2 灌浆特征参数 籽粒灌浆过程用 Richards 方程拟合。其决定系数、参数估值如表 4,各处理决定系数达到 0.99 以上,说明各处理的灌浆过程符合 Richards 模型。表 4 表明籽粒的最大质量 A 是随着钾肥用量的增加而增加。灌浆特征如表 5 所示,不同氮钾处理对受精子房的生长潜势影响规律不明显。最大灌浆速率  $GR_{max}$  表现为 N<sub>1</sub> > N<sub>3</sub> > N<sub>2</sub>、K<sub>1</sub> > K<sub>2</sub> > K<sub>3</sub>; 在低氮水平下,增钾有提高  $GR_{max}$  的趋势,但在中、

表 4 不同氮钾对比籽粒灌浆过程的 Richards 方程参数

Tab. 4 The parameters of Richards equation under different nitrogen and potassium ratio during grain filling of direct-seeded rice

处理 Treatment	A/(mg · grain <sup>-1</sup> )	B	K	N	R <sup>2</sup>
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	26.222	21.500 8	0.336 9	1.396 0	0.999 6
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	26.558	31.170 7	0.349 4	1.572 7	0.999 7
N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	27.012	22.105 0	0.344 7	1.365 9	0.999 7
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	25.785	46.310 3	0.412 8	1.624 3	0.997 3
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	25.772	103.153 7	0.456 8	2.030 0	0.998 4
N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	26.201	161.242 2	0.504 0	2.272 8	0.999 4
N <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	26.493	14.939 1	0.305 6	1.243 0	0.998 0
N <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	26.119	20.933 2	0.335 9	1.384 6	0.998 9
N <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	26.088	70.496 4	0.433 7	1.794 6	0.998 3

A: 籽粒最大质量; B、K、N: 方程参数; R<sup>2</sup>: 方程决定系数。

A: The maximum grain weight; B, K, N: Parameters of the equation; R<sup>2</sup>: The coefficient of the equation.

高氮水平下,增钾  $GR_{max}$  呈下降趋势。氮、钾肥对达到最大灌浆速率的时间影响很小,各处理到达最大灌浆速率的时间都在 8 d 相差在 0.5 d 以内。活跃灌浆期,不同施氮量相差近 3 d,表现为  $N_2$  时间最短、 $N_3$  时间最长,  $N_1$  比  $N_2$  和  $N_3$  延长 2.66 和 0.43 d; 不同施钾量之间差距相差 1.5 d 左右,  $K_1$  和  $K_2$  差距很小,  $K_3$  比  $K_1$  和  $K_2$  缩短 1.56 d 和 1.33 d 左右。平均灌浆速率以中氮和高钾最高,  $N_2$  比  $N_3$ 、 $N_1$  分别高 0.180 mg/(grain · d)、0.172 mg/(grain · d),  $K_3$  比  $K_2$ 、 $K_1$  分别高 0.150 mg/(grain · d)、0.138 mg/(grain · d)。结果表明,活跃灌浆时间长的处理,平均灌浆速率小;活跃灌浆时间与平均灌浆速率极显著负相关( $r = -0.9869^{**}$ )。最终粒质量与最大灌浆速率的高低和活跃灌浆期的长短呈正相关,相关系数分别为 0.5869 和 0.5751。

表 5 不同氮钾配比的籽粒灌浆特征参数

Tab. 5 The character parameters of grain filling under different amount proportioning of nitrogen and potassium

处理 Treatment	$R_0$	$GR_{max}/$ (mg · grain <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )	$T_{max}/d$	$D/d$	$GR_{mean}/$ (mg · grain <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )
$N_1K_1$	0.2413	7.84	8.12	20.16	1.251
$N_1K_2$	0.2222	6.56	8.55	20.45	1.299
$N_1K_3$	0.2524	8.36	8.08	19.53	1.383
$N_2K_1$	0.2541	6.05	8.12	17.56	1.468
$N_2K_2$	0.2250	4.19	8.56	17.64	1.461
$N_2K_3$	0.2218	3.52	8.46	16.96	1.545
$N_3K_1$	0.2459	9.50	8.14	21.22	1.248
$N_3K_2$	0.2426	7.61	8.09	20.15	1.246
$N_3K_3$	0.2417	5.20	8.46	17.50	1.491
$N_1$	0.2386	7.49	8.25	20.05	1.311
$N_2$	0.2336	4.59	8.40	17.39	1.491
$N_3$	0.2434	7.44	8.23	19.62	1.329
$K_1$	0.2471	7.70	8.12	19.65	1.323
$K_2$	0.2299	6.12	8.41	19.42	1.335
$K_3$	0.2386	5.69	8.33	17.99	1.473

$R_0$ : 起始生长势;  $GR_{max}$ : 最大灌浆速率;  $T_{max}$ : 到达最大灌浆速率的时间;  $D$ : 活跃灌浆期;  $GR_{mean}$ : 平均灌浆速率。

$R_0$ : Initial grain filling potential;  $GR_{max}$ : Maximum grain filling rate;  $T_{max}$ : Time reaching maximum grain filling rate;  $D$ : Active grain filling period;  $GR_{mean}$ : Mean grain filling rate.

## 2.4 不同氮钾对比对直播稻米品质的影响

2.4.1 碾米品质和外观品质 表 6 所示,提高氮和钾用量有提高直播稻出糙率的趋势。氮肥对精米率和整精米率的影响规律不明显;增施钾肥提高精米率,在低氮条件下,增钾有提高整精米率的效果。氮肥用量对直播稻粒长的影响不明显,增施钾肥有增加粒长的趋势。低氮和高氮水平都导致稻米垩白度的升高;增施钾肥有明显的降低垩白米率和垩白度的效果。试验表明,增施钾肥有利于提高稻米的加工品质和外观品质。表 7 可见,稻米的垩白粒率和垩白度与最大灌浆速率和活跃灌浆期呈正相关,与到达最大灌浆速率的时间和平均灌浆速率呈负相关,此结果暗示,灌浆前期的籽粒灌浆速率对垩白的影响大。

2.4.2 蒸煮及营养品质 米饭的口感与直链淀粉含量和胶稠度密切相关。表 8 表明,直链淀粉含量以  $N_2$  和  $K_2$  最低;氮肥用量高于 165 kg/hm<sup>2</sup>、钾肥用量低于的 150 kg/hm<sup>2</sup>,直链淀粉含量有所提高。胶稠度有随着氮钾施用量增加而下降的趋势。糊化温度用碱消值表示,碱消值越大,淀粉凝胶就越硬,淀粉糊粘性就越小,据表 8,碱消值随氮、钾施用的增加提高。稻米蛋白质含量随着氮肥和钾肥用量的增加而增加,增施氮、钾肥利于提高稻米营养品质。从表 9 可见,直链淀粉含量与籽粒灌浆特征和稻谷产量关联度较低;胶稠度与籽粒灌浆特征和稻谷产量水平关系密切,胶稠度与籽粒最大灌浆速率和活跃灌浆期的天数极显著正相关、与平均灌浆速率和产量极显著负相关和显著负相关;碱消值与籽粒最大灌浆速率和活跃灌浆期的天数负相关、与到达最大灌浆速率的时间、平均灌浆速率和产量正相关。

表 6 不同氮钾对比对直播稻碾米品质和外观品质的影响  
 Tab.6 Effect of different amount proportioning of nitrogen and potassium on milling quality and appearance quality of direct-seeded rice

处理 Treatment	出糙率/% Brown rice rate	精米率/% Milled rice ratio	整精米率/% Head rice ratio	粒长/mm Kernel length	粒长/粒宽 Kernel length /kernel width	垩白率/% Chalky grain rate	垩白度/% Chalkiness
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	81.9	68.6	34.3	6.6	2.9	73.0	9.4
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	82.2	70.2	35.5	6.7	2.8	70.0	9.1
N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	82.3	70.4	37.3	6.7	2.8	68.0	8.8
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	81.6	68.9	37.5	6.6	2.9	78.0	8.8
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	82.5	70.2	39.7	6.7	2.8	72.0	8.3
N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	82.6	70.2	38.7	6.7	2.9	62.0	7.4
N <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	82.2	68.9	38.5	6.6	2.9	75.0	9.6
N <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	82.4	69.3	35.0	6.7	2.9	74.0	8.8
N <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	82.7	69.8	36.1	6.7	2.9	68.0	7.5
N <sub>1</sub>	82.1	69.7	35.7	6.7	2.8	70.3	9.1
N <sub>2</sub>	82.2	69.8	38.6	6.7	2.9	70.7	8.2
N <sub>3</sub>	82.4	69.3	36.5	6.7	2.9	72.3	8.6
K <sub>1</sub>	81.9	68.8	36.8	6.6	2.9	75.3	9.3
K <sub>2</sub>	82.4	69.9	36.7	6.7	2.8	72.0	8.7
K <sub>3</sub>	82.5	70.1	37.4	6.7	2.9	66.0	7.9

表 7 直播稻稻米垩白与灌浆特征参数的相关系数

Tab.7 Relationship coefficient between chalkiness and character parameters of grain filling in direct-seeded rice

项目 Item	$GR_{max} /$ ( $mg \cdot grain^{-1} \cdot d^{-1}$ )	$T_{max} / d$	$D / d$	$GR_{mean} /$ ( $mg \cdot grain^{-1} \cdot d^{-1}$ )
垩白率/% Chalky grain rate	0.505 6	-0.492 0	0.382 6	-0.495 1
垩白度/% Chalkiness	0.835 8**	-0.561 5	0.858 5**	-0.886 6**

\* 表示  $P < 0.1$  水平上显著; \*\* 表示  $P < 0.05$  水平上显著。

\* Represents remarkable significance at  $P < 0.1$  level; \*\* Represents remarkable significance at  $P < 0.05$  level.

### 3 小结与讨论

试验表明,氮、钾肥用量对直播早稻产量都有明显的影响,尤其是氮肥,并非用量越多产量越高,在本试验条件下,氮肥用量  $165 \text{ kg/hm}^2$  ( $N_2$ ) 为直播稻适量水平,产量以  $N_2K_3$  组合最高,  $W(\text{氮}):W(\text{钾}) = 1:( > 1)$  为好。要获得  $9\ 000 \text{ kg/hm}^2$  以上产量,施肥量纯氮在  $160 \sim 180 \text{ kg/hm}^2$ 、 $K_2O$  在  $180 \text{ kg/hm}^2$  以上。前人研究<sup>[8-10]</sup>认为,直播稻产量并不随氮肥用量增加而呈直线上升的趋势,产量在到达一定程度后保持稳定趋势,这是由于直播稻分蘖期短而集中,氮肥过多易催生大量分蘖,导致大量冗余生长,成穗率下降;或氮肥用量过高易造成水稻病虫害加剧,若在成熟期遇到持续阴雨天气还会造成倒伏,从而影响稻谷产量。本试验与之结果一致,本试验认为,过高施氮水平,主要提高了叶片干物质的分配比率,穗部的干物质分配比率有所下降,因而没有增产效果。本试验钾肥对直播稻的影响与才硕等移栽稻研究结果基本一致<sup>[11]</sup>。钾肥增产效应是通过提高有效穗数和每穗粒数来实现的;此外,增施钾肥提高茎、鞘干物质分配比率,有利植株抗倒性能的提高。

氮肥对垩白的影响现有研究结果不尽一致,梁国斌等<sup>[12]</sup>认为增施氮肥降低稻米垩白率;江立庚等<sup>[13]</sup>认为高氮提高稻米垩白米率。本试验结果,直播稻在低氮和高氮水平下稻米垩白米率和垩白度的

表 8 不同氮钾配比对稻米蒸煮品质及营养品质的影响

Tab. 8 Effect of different amount proportioning of nitrogen and potassium on cooking lquality and nutritiona lquality of direct-seeded rice

处理 Treatment	直链淀粉/% Amylose content	胶稠度/mm Gelconsistency	碱消值级 Alkali spreading value	蛋白质/% Protein content
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	24.9	50	3.0	6.8
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	23.9	50	6.2	7.1
N <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	24.0	50	4.0	7.1
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	24.4	40	3.0	7.3
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	23.2	40	6.5	7.3
N <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	23.9	40	6.5	7.4
N <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	24.2	55	3.0	7.5
N <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	24.2	40	6.5	7.4
N <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	25.8	40	6.5	7.6
N <sub>1</sub>	24.3	50	4.4	6.9
N <sub>2</sub>	23.8	40	5.3	7.3
N <sub>3</sub>	24.7	45	5.3	7.5
K <sub>1</sub>	24.5	48	3.0	7.2
K <sub>2</sub>	23.8	43	6.4	7.3
K <sub>3</sub>	24.6	43	5.7	7.4

表 9 直播稻稻米蒸煮品质与灌浆特征参数和产量的相关系数

Tab. 9 Relationship coefficient between cooking lquality and character parameters of grain filling in direct-seeded rice

项目 Item	$GR_{max} /$ ( $mg \cdot grain^{-1} \cdot d^{-1}$ )	$T_{max} /d$	$D/d$	$GR_{mean} /$ ( $mg \cdot grain^{-1} \cdot d^{-1}$ )	实际产量/ ( $kg \cdot hm^{-2}$ ) Actual yield
直链淀粉 /% Amylose	0.130 8	-0.210 0	-0.049 8	0.044 3	-0.175 4
胶稠度/mm Gel consistency	0.756 4 **	-0.326 3	0.817 7 **	-0.750 0 **	-0.695 5 *
碱消值 Alkali spreading value	-0.450 9	0.515 6	-0.135 0	0.130 3	0.365 5

\* 表示  $P < 0.1$  水平上显著; \*\* 表示  $P < 0.05$  水平上显著。

\* Represents remarkable significance at  $P < 0.1$  level; \*\* Represents remarkable significance at  $P < 0.05$  level.

升高,在氮肥适量水平(165 kg/hm<sup>2</sup>)下明显下降,笔者认为一是可能与品种特性有关,更重要的是与前期灌浆速率有关;本试验表明,适氮水平的最大灌浆速率明显低于低氮和高氮水平,平均灌浆速率则高于低氮和高氮水平,而稻米垩白度与最大灌浆速呈显著正相关、与平均灌浆速率极显著负相关。说明适宜施氮量不仅提高稻谷产量,还有提高稻米品质的效果。增施钾肥有明显的降低垩白米率和垩白度的效果。对于氮肥对稻米直链淀粉含量的影响,前人有不同看法,有的认为增氮降低直链淀粉含量<sup>[12,14-15]</sup>,也有认为低氮降低稻米的直链淀粉含量。本试验结果是氮肥水平为165 kg/hm<sup>2</sup>直链淀粉含量下降,高于和低于此水平都表现上升。氮肥对直链淀粉含量的不同影响,可能与各试验的栽培环境及供试品种对氮肥的响应有关。增施氮钾肥能明显提高稻米蛋白质含量,有利于改善稻米营养品质,本结果与王强盛等一致<sup>[16-18]</sup>。本研究表明,胶稠度随着氮钾施用量增加而下降,碱消值随氮、钾施用量的增加而提高。胶稠度与籽粒灌浆特征和稻谷产量水平关系密切,胶稠度与籽粒最大灌浆速率和活跃灌浆期的天数极显著正相关、与平均灌浆速率和产量极显著和显著负相关;碱消值与籽粒最大灌浆速率和活跃灌浆期的天数负相关、与到达最大灌浆速率的时间、平均灌浆速率和产量正相关。由此推测,直播稻蒸煮食味品质与田间生长势有一定的关系,生长势越强,蒸煮食味品质可能会下降。



## 参考文献:

- [1]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.
- [2]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.
- [3]彭少兵,黄见良,钟旭华. 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.
- [4]陈小琴,周健民,王火焰,等. 氮肥形态及氮钾施用措施对水稻生长和养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 376 - 382.
- [5]张玉屏,曹卫星,朱德峰,等. 红壤稻田钾肥施用量对超级稻生长及产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(6): 633 - 638.
- [6]王强盛,甄若宏,丁艳锋,等. 钾对不同类型水稻氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(4): 704 - 710.
- [7]陈楠,陈刚,黄义德,等. 氮、钾施用量对中粳稻群体质量和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 123 - 127.
- [8]陈关,李木英,石庆华,等. 施氮量对直播稻群体发育及产量的影响[J]. 作物杂志, 2011(1): 33 - 37.
- [9]朱庆森,曹显祖,骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报, 1988, 16(3): 182 - 192.
- [10]袁联国,夏伟,翁嘘遥,等. 直播水稻不同氮磷钾配比示范试验研究[J]. 上海农业科技, 2010(2): 49 - 51.
- [11]才硕,潘晓华,吴建富,等. 施钾量对超高产早稻品种产量和稻米品质的影响[J]. 江西农业学报, 2011, 23(5): 1 - 5.
- [12]梁国斌,莫亿伟,柳敏,等. 施氮对水稻植株和颖果发育及稻米品质的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(9): 1794 - 1802.
- [13]江立庚,曹卫星,甘秀芹,等. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 90 - 496.
- [14]李运祥,王忠,顾蕴洁,等. 施氮处理对稻米淀粉积累的影响[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2003, 26(3): 68 - 71.
- [15]朱朋波. 氮磷钾肥不同用量对稻米品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
- [16]王强盛,甄若宏,丁艳锋,等. 钾肥用量对优质粳稻钾素积累利用及稻米品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1444 - 1450.
- [17]姜龙. 实地氮肥管理对氮肥利用率及稻米品质的影响[J]. 北方水稻, 2010, 40(5): 13 - 18.
- [18]叶定池,林华,赵佩欧,等. 钾肥施用技术对水稻产量及稻米品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(17): 91 - 92.