

# 不同叶龄期穗肥对籼稻产量及氮肥利用效率的影响

李贵勇<sup>1</sup> 何清兰<sup>2</sup> 朱建宇<sup>3</sup> 王秋英<sup>4</sup> 叶进华<sup>4</sup>

夏琼梅<sup>1</sup> 龙瑞平<sup>1</sup> 朱海平<sup>1</sup> 邓安凤<sup>1</sup> 杨从党<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup> 云南省农业科学院粮食作物研究所, 昆明 650205; <sup>2</sup> 永胜县农业技术推广中心, 云南 永胜 674200; <sup>3</sup> 宾川县宾居镇农业综合服务中心, 云南 宾川 671606; <sup>4</sup> 永胜县三川镇农业综合服务中心, 云南 永胜 674207; 第一作者: liguiy980200@163.com;

\* 通讯作者: yangcd2005@163.com)

**摘要:** 为了降低氮肥用量, 提高其利用效率, 在不施基肥的条件下, 研究了不同叶龄期穗肥对籼稻产量及氮肥利用效率的影响。结果表明, 倒 5 叶施 60%+倒 3 叶施 40%氮肥(T3, 氮肥用量 120 kg/hm<sup>2</sup>)、倒 4 叶施 100%氮肥(T4, 氮肥用量 120 kg/hm<sup>2</sup>)、倒 4 叶施 60%+倒 2 叶施 40%氮肥(T5, 氮肥用量 120 kg/hm<sup>2</sup>)、倒 5 叶施 100%氮肥(T2, 氮肥用量 120 kg/hm<sup>2</sup>)、均施氮肥(CK, 氮肥用量 195 kg/hm<sup>2</sup>)的产量分别为 12.90、12.74、12.69、12.32、13.25 t/hm<sup>2</sup>, 氮肥贡献率分别为 17.71%、16.58%、16.25%、13.77%、19.86%, 氮肥农学利用率分别为 18.08、16.73、16.33、13.26、13.24 kg/kg。总之, 倒 5 叶施 60%+倒 3 叶施 40%氮肥的处理比均施氮肥处理氮肥用量减少 38.46%, 但产量及氮肥利用率差异不大。

**关键词:** 水稻; 叶龄; 穗肥; 产量; 氮肥利用效率

**中图分类号:** S511.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)04-0147-04

当前云南省水稻生产过程中化肥施用存在以下几方面的问题: 一是施用量偏高, 化肥平均用量 488.25 kg/hm<sup>2</sup>, 其中氮肥用量达 326.25 kg/hm<sup>2</sup>, 远高于世界平均水平(120 kg/hm<sup>2</sup>); 二是施肥量不均衡, 经济发达地区用量较多, 偏远落后地区用量较少; 三是施肥结构不平衡, 重施化肥, 轻施有机肥; 四是肥料运筹不合理, 重施基肥, 而穗肥少施<sup>[1-2]</sup>。在云南省籼稻区, 前作多种植冬马铃薯、鲜食玉米等作物, 因冬春季降雨较少, 当季施用的肥料很难完全被这些作物吸收利用, 有部分肥料会留到水稻季被吸收利用<sup>[3]</sup>, 造成水稻季前期氮肥用量过多。为了降低氮肥用量, 提高其利用效率, 本试验在不施基肥的前提下, 研究了不同叶龄期穗肥施用对籼稻产量及氮肥利用效率的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2015-2016 年设在云南省宾川县宾居镇、文山县马塘镇、永胜县三川镇, 前作均为蚕豆, 试验田块土壤基础地力较高。播种、移栽节令均按当地最佳节令进行, 育秧方式为旱育秧。水稻品种为宜优 673, 移栽株行距 29.97 cm×13.32 cm, 等行单苗移栽。各试验点土壤理化性状检测结果见表 1。

### 1.2 试验设计

试验设计 6 个处理: T1, 不施氮肥; T2, 倒 5 叶施 100%氮肥; T3, 倒 5 叶施 60%氮肥+倒 3 叶施 40%氮肥; T4, 倒 4 叶施 100%氮肥; T5, 倒 4 叶施 60%氮肥+倒 2 叶施 40%氮肥; CK, 氮肥用量与当地最高产量的氮肥用量一致, 均施氮肥, 基肥: 分蘖肥: 促花肥: 保花肥=1:1:1:1。CK 中永胜、文山、宾川点上一年最高产量的氮肥用量分别为 210 kg/hm<sup>2</sup>、195 kg/hm<sup>2</sup> 和 180 kg/hm<sup>2</sup>, 3 个点氮肥平均用量为 195 kg/hm<sup>2</sup>; T2、T3、T4、T5 的氮肥用量均为 120 kg/hm<sup>2</sup>。所有处理的磷、钾肥施用时期和用量相同: 施用过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)600 kg/hm<sup>2</sup>, 作基肥于移栽前一次性施入; 施硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 54%)150 kg/hm<sup>2</sup>, 分基肥和促花肥 2 次施, 各占 50%。3 次重复, 18 个小区, 每个小区面积 30 m<sup>2</sup>, 随机区组排列, 所有小区薄膜包埂。秧苗期管理、大田期管理等参照水稻精确定量栽培技术<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2017-06-23

**基金项目:** 农业部公益行业(农业)科研专项(201303102; 20130129); 国家重点研发计划(2016YFD0300506); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)(2013CB835200); 云南省科技惠民专项(2016RA001); 云南省现代农业水稻产业技术体系

表 1 各试验点土壤理化性状

试验点	pH 值	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	全钾 (g/kg)	速效钾 (mg/kg)
宾川	6.31	38.11	2.09	153.04	0.99	25.82	10.35	215.32
文山	6.18	19.80	1.76	123.30	0.91	23.17	10.22	202.50
永胜	6.22	30.23	1.98	143.52	0.95	24.92	10.48	220.81

表 2 各处理产量及其结构

处理	地点	实际产量 (t/hm <sup>2</sup> )	有效穗数 (穗/m <sup>2</sup> )	穗粒数 (粒)	穗实粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒重 (g)
T1	宾川	14.00	252.15	179.90	169.20	94.05	32.56
	文山	7.64	197.10	149.31	122.22	81.86	32.20
	永胜	10.55	224.40	145.10	140.00	96.53	33.00
	平均	10.73 c	224.55 b	158.10 c	143.81 ab	90.81 a	32.59 a
T2	宾川	14.67	304.35	168.20	147.60	87.75	32.23
	文山	9.33	245.40	163.51	124.64	76.23	31.10
	永胜	12.96	288.90	156.60	140.10	89.48	31.50
	平均	12.32 b	279.60 a	162.77 bc	137.45 b	84.49 b	31.61 a
T3	宾川	15.51	313.35	177.90	152.70	85.83	31.95
	文山	9.86	248.40	163.43	126.23	77.24	31.50
	永胜	13.34	297.45	158.33	141.07	89.85	31.00
	平均	12.90 ab	286.35 a	166.55 ab	140.00 ab	84.31 b	31.48 a
T4	宾川	15.38	310.05	171.10	151.50	88.54	32.23
	文山	9.63	249.90	157.39	123.67	78.58	31.60
	永胜	13.20	301.05	155.70	140.60	90.36	31.33
	平均	12.74 ab	286.95 a	161.40 bc	138.59 b	85.83 b	31.72 a
T5	宾川	15.26	327.30	168.10	143.60	85.43	32.43
	文山	9.57	245.10	160.51	124.32	77.45	31.50
	永胜	13.23	301.35	155.70	138.03	88.69	32.17
	平均	12.69 ab	291.30 a	161.44 bc	135.32 b	83.86 b	32.03 a
CK	宾川	15.64	344.03	182.60	159.60	87.40	31.52
	文山	10.08	284.63	155.31	128.94	83.02	31.10
	永胜	14.04	322.58	175.03	149.83	86.59	31.83
	平均	13.25 a	317.08 a	170.98 a	146.12 a	85.67 b	31.48 a

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

1.3 测定项目及方法

每 7 d 调查 1 次小区水稻的叶龄和茎蘖动态,直到水稻最后一片叶长完为止。收获期每小区调查 50 丛的穗数作为有效穗数,选择有代表性的 5 丛进行室内考种,考察其实粒数、总粒数、结实率和千粒重,小区除去边行后实收测产。氮肥贡献率(%)=(施氮区产量-无氮区产量)×100/施氮区产量;氮肥农学利用率(kg/kg)=(氮肥施用区产量-无氮肥区产量)/施氮量。

1.4 数据分析

试验数据用 Excel 2010 软件进行处理与分析,所有数据均为 2015-2016 年试验的平均值。

2 结果分析

2.1 产量及产量构成

从表 2 可见,T1(不施氮肥)平均产量 10.73 t/hm<sup>2</sup>,变异系数较大,为 29.70%;CK(均施氮肥)平均产量最高,为 13.25 t/hm<sup>2</sup>,比 T1 增产 2.52 t/hm<sup>2</sup>,增产显著;T3(倒 5 叶施 60%和倒 3 叶施 40%氮肥)、T4(倒 4 叶施 100%氮肥)、T5(倒 4 叶施 60%和倒 2 叶施 40%氮肥)和 T2(倒 5 叶施 100%氮肥)的产量分别为 12.90、12.74、12.69、12.32 t/hm<sup>2</sup>,都比 CK 少施了 38.46%的氮肥,但减产幅度不大,而与 T1 相比分别增产 2.17、2.01、1.96、1.59 t/hm<sup>2</sup>,增产显著。从 3 个试点产量来看,宾川点氮肥空白产量较高,为 14.00 t/hm<sup>2</sup>,施氮肥后产量为 15.64 t/hm<sup>2</sup>,增产 1.64 t/hm<sup>2</sup>;文山点氮肥空白产量较低,为 7.64 t/hm<sup>2</sup>,施肥后最高产量为 10.08 t/hm<sup>2</sup>,增产 2.45 t/hm<sup>2</sup>;永胜点氮肥空白产量为 10.55 t/hm<sup>2</sup>,施肥后最高产量为 14.04 t/hm<sup>2</sup>,增产 3.48 t/hm<sup>2</sup>,增产潜力较

表 3 各处理的主要群体结构、氮肥贡献率及农学利用率

处理	地点	最高茎蘖数 (个/m <sup>2</sup> )	成穗率 (%)	氮肥贡献率 (%)	氮肥农学利用率 (kg/kg)
CK	宾川	456.64	75.34	10.49	7.82
	文山	391.57	72.69	24.26	12.54
	永胜	435.27	74.11	24.83	19.36
	平均	427.83 a	74.05 c	19.86 a	13.24 b
T2	宾川	389.00	78.24	4.53	5.54
	文山	322.26	76.15	18.17	14.13
	永胜	370.34	78.01	18.61	20.10
	平均	360.53 b	77.47 bc	13.77 b	13.26 b
T3	宾川	380.09	82.44	9.70	12.54
	文山	309.34	80.30	22.53	18.50
	永胜	366.23	81.22	20.89	23.21
	平均	351.89 b	81.32 ab	17.71 ab	18.08 a
T4	宾川	375.64	82.54	8.96	11.48
	文山	308.86	80.91	20.72	16.63
	永胜	365.26	82.42	20.07	22.07
	平均	349.92 b	81.96 ab	16.58 ab	16.73 a
T5	宾川	373.67	87.59	8.25	10.50
	文山	297.24	82.46	20.22	16.13
	永胜	357.09	84.39	20.27	22.36
	平均	342.67 b	84.81 a	16.25 ab	16.33 a

大。

从不同处理的产量结构来看,除了 T1 外,其他各处理的结实率、千粒重相近,不施肥处理产量低的主要原因是有效穗数和穗粒数较少,分别只有 224.55 穗/m<sup>2</sup> 和 158.10 粒,与其他处理差异显著;CK(均施氮肥)产量最高的主要原因是有效穗数和穗粒数较多,分别为 317.08 穗/m<sup>2</sup> 和 170.98 粒,与 T2 的差异达显著水平;T3 的穗粒协调较好,其产量结构与 CK 的差异不显著,有效穗数为 286.35 穗/m<sup>2</sup>,穗粒数为 166.55 粒,穗实粒数为 140.00 粒,结实率为 84.31%,千粒重 31.48 g。

**2.2 主要群体结构、氮肥贡献率及农学利用率**

从表 3 可见,随水稻穗肥施用叶龄期的延后,最高茎数蘖数有减少的趋势,成穗率有增加的趋势,但差异不显著,总体水稻群体偏小。CK 的最高茎蘖数为 427.83 个/m<sup>2</sup>。成穗率为 74.05%,T5 的最高茎蘖数、成穗率分别为 342.67 个/m<sup>2</sup>、84.81%。

从表 3 可见,CK、T3、T4、T5 和 T2 处理的肥料贡献率分别为 19.86%、17.71%、16.58%、16.25%、13.77%;永胜、文山点氮肥贡献率高,宾川点氮肥贡献率较低。从不同处理的氮肥农学利用率来看,T3、T4、T5、T2 和 CK 的农学利用率分别为 18.08、16.73、16.33、13.26、13.24 kg/kg,T2 和 CK 的氮肥农学利用率与其他处理差异显著;永胜点氮肥农学利用率最高,宾川点最低,T3 的永胜、文山、宾川点氮肥农学利用率分别为 23.21、18.50、12.54 kg/kg。

**3 讨论**

土壤氮素依存情况反映了土壤里的氮对水稻氮营养的贡献率,无氮处理产量则反映了土壤的基础供氮能力和环境因素状况<sup>[5-6]</sup>。本研究表明,在不施基蘖肥的前提下,倒 5 叶施 60%+倒 3 叶施 40%氮肥、倒 4 叶施 100%氮肥、倒 4 叶施 60%+倒 2 叶施 40%氮肥、倒 5 叶施 100%氮肥和均施氮肥(CK)处理的氮肥贡献率分别为 17.71%、16.58%、16.25%、13.77%、19.86%。从 3 个试验点基础地力来看,土壤的有机质、全氮、碱解氮的差异较大,宾川试验点的有机质、氮素含量最高,基础地力最好,氮肥空白产量 14.00 t/hm<sup>2</sup>,施肥后产量为 15.64 t/hm<sup>2</sup>,增产 1.64 t/hm<sup>2</sup>;文山点基础地力较低,氮肥空白产量 7.64 t/hm<sup>2</sup>,施肥后最高产量为 10.08 t/hm<sup>2</sup>,增产 2.44 t/hm<sup>2</sup>;永胜点氮肥空白产量 10.55 t/hm<sup>2</sup>,施肥后最高产量为 14.04 t/hm<sup>2</sup>,增产 3.49 t/hm<sup>2</sup>。可见,通过培肥地力,维持较高的地力水平对水稻的高产高效具有重要意义,尤其是在文山点,可以通过增施有机肥获得产量潜力的增加。

施用穗肥能显著促进大穗的形成,还可促进分蘖成穗,保证足穗,提高产量潜力,所以,明确穗肥施用的

适宜叶龄期是夺取高产的关键措施<sup>[7-12]</sup>。水稻精确定量栽培技术正常群体穗肥施用的最佳叶龄期为倒4叶露尖(促花肥施用时期)和倒2叶露尖(保花肥施用时期)<sup>[7-9]</sup>。本研究表明,在不施基肥的前提下,施用穗肥叶龄期延后,水稻群体偏小,茎蘖数减少,影响水稻产量潜力的发挥。综合来看,倒5叶施60%+倒3叶施40%氮肥的平均产量为12.90 t/hm<sup>2</sup>,氮肥农学利用率为18.08 kg/kg,比均施氮肥处理(CK)减少了38.46%的氮肥用量,但产量及氮肥利用率较高,与均施氮肥处理(CK)相比差异不显著。

### 参考文献

- [1] 唐芳, 郑毅. 云南省化肥利用现状与提高化肥利用率的措施[J]. 云南农业大学学报:自然科学版, 2004, 19(2): 192-198.
- [2] 刘润梅, 范茂攀, 汤利, 等. 云南省水稻生产中的肥料偏生产力分析[J]. 云南农业大学学报:自然科学版, 2012, 27(1): 117-122.
- [3] 李贵勇, 刘玉文, 袁江华, 等. “头季稻-再生稻-马铃薯”高效种植模式关键技术研究 and 应用[J]. 中国稻米, 2014, 20(3): 64-66.
- [4] 李贵勇, 宁加朝, 陈书, 等. 云南水稻精确定量栽培百亩连片亩产吨粮的原因分析[J]. 中国稻米, 2009, 15(4): 57-58.
- [5] 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.
- [6] 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 等. 水稻超高产栽培研究与探讨[J]. 中国稻米, 2012, 18(1): 1-14.
- [7] 凌启鸿, 张洪程, 苏祖芳, 等. 稻作新理论-水稻叶龄模式[M]. 北京: 科学技术出版社, 1994: 11-156.
- [8] 杨从党, 李刚华, 李贵勇, 等. 云南省立体生态稻区水稻叶龄模式建立[J]. 西南农业学报, 2013, 26(4): 1372-1377.
- [9] 杨从党, 李刚华, 李贵勇, 等. 立体生态区水稻定量促控栽培技术的增产机理[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1904-1913.
- [10] 凌启鸿. 作物群体质量 [M]. 上海: 上海科技出版社, 2000: 42-210.
- [11] 凌启鸿. 水稻精确定量栽培理论与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 1-137.
- [12] 张洪程, 吴桂成, 吴文革, 等. 水稻“精确稳前、控蘖优中、大穗强后”超高产定量栽培模式 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(13): 2645-2660.

## Effects of Ear Fertilizer in Different Leaf Age on Yield and Nitrogen Use Efficiency of *Indica* rice

LI Guiyong<sup>1</sup>, HE Qinglan<sup>2</sup>, ZHU Jianyu<sup>3</sup>, WANG Qiuying<sup>4</sup>, YE Jinhua<sup>4</sup>, XIA Qiongmei<sup>1</sup>, LONG Ruiping<sup>1</sup>, ZHU Haiping<sup>1</sup>, DENG An-feng<sup>1</sup>, YANG Congdang<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup> Food Crops Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; <sup>2</sup> Yongsheng City Agricultural Technology Extension Center, Yongsheng, Yunnan 674200, China; <sup>3</sup> Binju Town Comprehensive Agricultural Service Center, Binchuan, Yunnan 671606, China; <sup>4</sup> Sanchuan Town Comprehensive Agricultural Service Center, Yongsheng, Yunnan 674207, China; 1st author: liguiy980200@163.com; \*Corresponding author: yangcd2005@163.com)

**Abstract:** In order to reduce the amount of nitrogen fertilizer and improve its use efficiency, the effects of ear fertilizer in different leaf age on yield and nitrogen use efficiency of *indica* rice was studied without the application of base fertilizer and tiller fertilizer. The results showed that, for 5 leaf stage(60%) and 3 leaf stage(40%) poured nitrogen fertilizer(T3, 120 kg/hm<sup>2</sup>), 4 poured leaf stage(100%) nitrogen fertilizer(T4, 120 kg/hm<sup>2</sup>), 4 leaf stage(60%) and 2 leaf stage(40%) poured nitrogen fertilizer(T5, 120 kg/hm<sup>2</sup>), 5 poured leaf stage(100%) nitrogen fertilizer(T2, 120 kg/hm<sup>2</sup>), four times average application of nitrogen fertilizer(CK, 195 kg/hm<sup>2</sup>), the rice yields were 12.90, 12.74, 12.69, 12.32, 13.25 t/hm<sup>2</sup>, nitrogen contribution rate were 17.71%, 16.58%, 16.25%, 13.77%, 19.86%, and agronomic nitrogen utilization rate were 18.08, 16.73, 16.33, 13.26, 13.24 kg/kg, respectively. Compared with CK, the amount of nitrogen fertilizer of the treatment with 5 leaf stage(60%) and 3 leaf stage(40%) poured nitrogen fertilizer was reduced by 38.46%, but the grain yield and nitrogen use efficiency difference was not significant.

**Key words:** rice; leaf age; ear fertilizer; grain yield; nitrogen use efficiency