

# 尿素配施氰氨化钙对湘南晚稻产量和氮素利用效率的影响

唐利忠<sup>#</sup> 曹亚娟<sup>#</sup> 石泉 刘思超 李超 屠乃美 周文新<sup>\*</sup> 易镇邪<sup>\*</sup>

(湖南农业大学 农学院/南方粮油作物协同创新中心, 长沙 410128; <sup>#</sup>共同第一作者: 975624569@qq.com;

<sup>\*</sup>通讯作者: yizhenxie@126.com)

**摘要:**为探究氰氨化钙颗粒肥在湘南水稻生产中的应用效果,在湖南衡阳县开展了大田试验,在总施氮量 150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下研究了氰氨化钙配施比例(0、20%、40%、60%)对晚稻产量、米质与氮素利用效率的影响。结果表明,配施氰氨化钙颗粒肥对晚稻有增产效果,其中配施 40%处理因有效穗数显著增加而增产显著;尿素配施氰氨化钙对稻米品质整体无显著影响,但能显著提升稻米粗蛋白含量,以配施 40%处理效果最好;配施 40%和 60%氰氨化钙可提高湘南晚稻氮素积累量,配施 60%条件下显著提高;配施氰氨化钙可提高晚稻氮素利用效率,氮素偏生产力与氮肥农学效率在配施 40%条件下最高,而氮肥利用率在配施 60%条件下最高;相关分析表明,氰氨化钙配施比例与产量、有效穗数、氮素偏生产力、氮肥农学效率呈显著正相关关系。可见,在施氮 150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下,配施 40%氰氨化钙对提高湘南晚稻产量与氮素利用效率效果较好。

**关键词:**湖南; 氰氨化钙; 晚稻; 产量; 氮素利用效率

**中图分类号:** S511.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2018)05-0054-04

据统计,我国单位面积氮肥施用量为 165.1 kg/hm<sup>2</sup>,远高于世界平均用量 52.9 kg/hm<sup>2</sup>,各类农田的氮流失量为 13.7~347.0 kg/hm<sup>2</sup>,远高于发达国家(4~107 kg/hm<sup>2</sup>),而当季氮肥利用率仅为 17.0%,远低于世界平均水平(58.0%)<sup>[1]</sup>。氮肥过量施用和氮素利用率低是造成这一现象的重要原因<sup>[2]</sup>。目前,我国已在水稻最佳施氮量和氮肥运筹方式上开展了大量的研究,取得了许多具有生产指导意义的成果,但这些成果却常常受农民的传统观念、经济性和自然环境等因素的影响,难以普遍推广应用。兼顾经济、环保和高效的新型缓、控释肥,为这一问题的解决提供了新的方向<sup>[3]</sup>。缓释肥可作基肥一次性施入,节本省工,且能提高氮素利用效率。氰氨化钙颗粒肥作为一种具有缓释功能的氮肥(含氮 20%),同时兼有土壤改良和消毒作用,已有了较为广泛的应用,但多应用于设施栽培<sup>[5-7]</sup>。湖南湘南衡邵丘陵盆地是重要的粮食主产区和水稻主产区,其粮食总产量占湖南省的 30%以上,但是长期以来,该区域水稻生产缺乏系统的高产高效施肥技术指导。本研究在衡阳县典型双季稻田开展大田试验,研究了氰氨化钙颗粒肥与尿素配施对晚稻产量、米质和氮素利用效率的影响,旨在为湘南地区晚稻高产高效施肥技术体系构建提供一定支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

于 2016 年在湖南省衡阳县西渡镇(112°39' E, 26° 99' N)开展双季晚稻大田试验。供试材料为衡阳县当地主推品种盛泰优 018,属三系杂交中熟晚稻,全生育期 114.5 d。供试土壤基本理化特性:pH 值 6.19,有机质含量 25.30 g/kg,全氮 1.51 g/kg,全磷 0.63 g/kg,全钾 19.01 g/kg,碱解氮 160.70 mg/kg,有效磷 9.64 mg/kg,速效钾 101.81 mg/kg。

试验所用氮肥为尿素(含 N 46%)和氰氨化钙颗粒肥(德国产庄伯伯牌,含 N 20%)。试验以不施氮处理为对照(CK),在总施氮量 150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下设置 4 个不同氰氨化钙颗粒肥配施比例处理:100%尿素(N0)、80%尿素+20%氰氨化钙(N1)、60%尿素+40%氰氨化钙(N2)、40%尿素+60%氰氨化钙(N3)。随机区组试验设计,3 次重复,小区面积 20 m<sup>2</sup>,水稻插植规格为 16.7 cm×20.0 cm。小区中间做田埂,田埂上覆盖塑料薄膜,并将薄膜埋入土内,防止侧渗,分别使用独立的排灌渠道。施肥按照 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:0.5:0.8 进行配施,氰氨化钙颗粒肥作基肥于移栽前 1 周一次性施入并翻耕入土,氮肥中基肥:蘖肥:穗肥=6:2:2,磷肥(过磷酸钙,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

收稿日期:2018-05-25

**基金项目:**国家自然科学基金(31171494);国家重点研发计划“粮食丰产增效科技创新”重点专项(2017YFD0301500);农业部行业计划项目(201503123-05)

表 1 氰氨化钙与尿素配施对晚稻产量及其构成因素的影响

处理	有效穗数 (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒重 (g)	理论产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	实际产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
CK	210.8 d	116.1 a	76.0 a	28.29 a	5261.4 c	4 925.7 c
N0	295.7 c	115.0 a	67.0 b	27.44 b	6252.8 b	5 841.8 b
N1	294.5 c	115.0 a	67.0 b	28.04 a	6363.6 b	5 917.5 b
N2	352.4 a	116.5 a	61.0 c	27.93 a	6994.7 a	6 699.0 a
N3	325.3 b	115.4 a	63.0 bc	27.86 a	6588.0 b	6 240.5 b

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

表 2 氰氨化钙与尿素配施对稻米品质的影响

处理	出糙率 (%)	精米率 (%)	整精米率 (%)	长宽比	垩白粒率 (%)	垩白度 (%)	碱消值 (级)	粗蛋白含量 (%)	直链淀粉含量 (%)
CK	78.17 ab	67.67 b	46.22 b	3.43 a	14.00 a	3.37 a	4 b	6.67 d	19.22 a
N0	79.98 a	68.75 ab	45.37 b	3.30 a	12.33 b	1.41 c	4 b	7.15 c	18.15 a
N1	77.87 b	66.43 c	43.48 c	3.30 a	11.33 c	1.36 c	4 b	7.58 b	18.68 a
N2	79.06 ab	67.94 b	49.53 a	3.18 a	13.67 a	2.25 b	4 b	8.88 a	19.75 a
N3	79.75 ab	69.42 a	45.91 b	3.24 a	9.33 d	1.21 c	5 a	8.75 a	19.39 a

12%)作基肥一次性施入,钾肥(氯化钾,含 K<sub>2</sub>O 60%)以基肥:厩肥=6:4 施入。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 产量与产量构成

成熟期每小区调查连续 60 丛水稻的有效穗数,计算单丛有效穗数,然后每小区按平均有效穗数取样 5 丛,带回室内考察每穗粒数、结实率和千粒重。各小区随机实收 3 m<sup>2</sup>,分收分晒,按 13.5%的含水量折算实际产量。

1.2.2 稻米品质

采用常规方法测定稻米碾米品质(出糙率、精米率、整精米率)、外观品质(垩白粒率、垩白度、长宽比)、蒸煮品质(碱消值、直链淀粉含量)和营养品质(粗蛋白含量)。

1.2.3 植株含氮量

结合水稻成熟期考种,将植株分成叶片、茎秆、稻穗等部分,分开装袋,烘干后粉碎过筛,H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 法消化,连续流动分析仪测定植株样品的全氮含量,计算各部位氮素累积量。

1.2.4 氮素利用效率

氮素偏生产力(NPFP,kg/kg)=单位面积产量/施氮量;氮肥农学效率(ANUE,kg/kg)=(施氮区产量-对照区产量)/施氮量;氮肥利用率(NUE)=(施氮区氮素积累量-未施氮区氮素积累量)/施氮量。

1.3 数据处理

用 Excel 2010 软件进行数据统计分析,SPSS 22.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 对晚稻产量及其构成因素的影响

由表 1 可见,水稻产量表现为 N2>N3>N1>N0>CK,其中 N2 处理显著高于其他处理,CK 显著低于其他处理,N0、N1 和 N3 处理间无显著差异,N1、N2 和 N3 处理分别较 CK 增产 1.3%、14.7%和 6.8%。N2 处理单位面积有效穗数最高,显著高于其他处理,而 CK 最低,显著低于施氮处理;每穗粒数以 N2 处理略高,各处理间差异不显著;结实率以 CK 最高,N2 处理最低,各施氮处理均显著低于 CK;千粒重以 N0 处理最低,显著低于其他处理。总体而言,配施氰氨化钙对晚稻有一定的增产效果,其中 N2 处理(配施 40%氰氨化钙)效果最佳,其产量显著提高的主要原因是单位面积有效穗数显著增加。

2.2 对晚稻米质的影响

由表 2 可见,出糙率以 N0 处理较高,N1 处理最低,两者差异显著,其他处理间差异不大;精米率呈 N3>N0>N2>CK>N1 的趋势,其中,N1 处理显著低于其他处理;整精米率呈 N2>CK>N3>N0>N1 的趋势,其中,N2 处理显著高于其他处理,而 N1 处理显著低于其他处理;长宽比处理间无显著差异;垩白粒率呈 CK>N2>N0>N1>N3 的趋势,其中 N2 和 CK 无显著差异,其他处理间差异显著;垩白度呈 CK>N2>N0>N1>N3 的趋势,其中,CK 显著高于其他处理;N3 处理碱消值显著高于其他处理;粗蛋白含量呈 N2>N3>N1>N0>CK 的趋势,其中,N2 与 N3 处理差异不显著,其他处理间差异显著;各处理直链淀粉含量无显著差异。总体而言,配施氰氨化钙对稻米整体品质影响不大,但能显著提升晚稻稻米的粗蛋白含量。

2.3 对晚稻氮素积累和利用效率的影响

表 3 氰氨化钙与尿素配施对晚稻氮素积累的影响 (kg/hm<sup>2</sup>)

处理	叶片	茎秆	稻穗	整株
CK	4.38	6.30	47.06	57.740c
N0	17.97	18.52	96.92	133.420 b
N1	17.40	18.17	97.45	133.020 b
N2	20.35	17.09	99.09	136.540 ab
N3	19.67	20.66	100.65	140.980 a

表 4 氰氨化钙与尿素配施对晚稻氮素利用效率的影响

处理	氮肥农学效率 ANUE (kg/kg)	氮素偏生产力 NPFP (kg/kg)	氮肥利用率 NUE (%)
N0	6.11 c	38.95 b	50.45 b
N1	6.39 c	39.23 b	50.19 b
N2	11.82 a	44.66 a	52.53 ab
N3	8.77 b	41.60 b	55.49 a

表 5 氰氨化钙配施比例与晚稻产量及氮素利用率的相关性

相关系数	产量及产量构成					氮素利用效率		
	实际产量	有效穗数	每穗粒数	结实率	千粒重	NPFP	ANUE	NUE
氰氨化钙配施比例	0.591*	0.821*	-0.075	-0.519	0.468	0.592*	0.591*	0.414

\*表示在 0.05 水平显著。

2.3.1 对各部位氮素积累量的影响

由表 3 可见,施氮使水稻成熟期叶片、茎秆、稻穗及整株氮素积累量显著增大。从整株来看,4 个施氮处理比较,N1 与 N0 处理相当,N2 处理较 N1、N0 处理高 3 kg/hm<sup>2</sup> 左右,但差异不显著,而 N3 处理显著高于 N1 和 N0 处理。可见,配施 40%或 60%氰氨化钙可提高湘南晚稻氮素积累量,在配施 60%氰氨化钙条件下显著提高。

2.3.2 对晚稻氮素利用率的影响

从表 4 可以看出,各施氮处理的氮素利用效率差异显著:氮肥农学效率表现为 N2>N3>N1>N0 的趋势,除 N1 处理与 N0 处理差异不显著外,其他处理间差异均显著;氮素偏生产力表现为 N2>N3>N1>N0 的趋势,其中,N2 处理显著高于其他处理;氮肥利用率表现为 N3>N2>N0>N1 的趋势,其中,N3 处理显著高于 N1 和 N0 处理。整体来看,配施氰氨化钙可提高晚稻氮素利用效率,在配施 40%~60%的条件下效果较好。

2.4 氰氨化钙配施比例与水稻产量及氮素利用效率的相关性

对氰氨化钙配施比例与水稻产量及氮素利用效率指标进行相关分析,发现氰氨化钙配施比例与产量、单位面积有效穗数呈显著正相关;与千粒重呈正相关,但未达显著水平;与结实率和每穗粒数呈负相关关系,但未达显著水平。氰氨化钙配施比例与水稻 NPFP 和 ANUE 呈显著正相关,与 NUE 的相关性不显著(表 5)。总体来看,提高氰氨化钙配施比例对提高实测产量、有效穗数及氮素利用效率有利。

3 讨论与结论

氰氨化钙颗粒肥是一种具有缓释效果的肥料,其缓释效果由氰氨化钙水解转化机理决定<sup>[8]</sup>。氰氨化钙可以作为土壤改良剂和消毒剂,主要应用于设施栽培等方面<sup>[5-7]</sup>,其在水稻上的应用研究较少。笔者曾于 2015 年在湖南衡阳县开展过氰氨化钙对水稻应用效果的初步研究<sup>[9]</sup>,发现氰氨化钙能促进水稻分蘖的发生,增加水稻生育前中期干物质积累,提高水稻叶面积指数。本试验在此基础上,于 2016 年继续开展大田试验,研究了氰氨化钙和尿素配施对湘南晚稻产量及产量构成的影响,发现在总施氮(N)量 150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下,氰氨化钙和尿素配施对晚稻有增产效果,且在配施 40%氰氨化钙条件下增产达显著水平,其中单位面积有效穗数和千粒重的提高对增产贡献较大,这与氰氨化钙促进水稻分蘖和灌浆中期充足的氮素供应有关。此结果与韩伟等<sup>[10]</sup>在一季中稻中的研究结果一致。本研究同时发现,施用氰氨化钙对晚稻稻米品质整体无显著影响,但能显著提升稻米粗蛋白含量,这可能与水稻后期氮素充足有关。

本试验还研究了氰氨化钙和尿素配施对湘南晚稻氮素利用效率的影响,发现氰氨化钙配施尿素对晚稻氮素吸收积累有一定的促进作用,这很大程度上是由于氰氨化钙促进分蘖的增加和干物质积累所致,其中配施 40%氰氨化钙处理对提高氮素偏生产力和氮肥农学效率效果显著,而尿素配施 60%氰氨化钙处理对提高氮肥利用率效果最好(与配施 40%氰氨化钙处理差



异不显著)。相关分析表明,氰氨化钙配施比例与晚稻产量和单位面积有效穗数呈显著正相关,与氮素偏生产力、氮肥农学效率和氮肥利用率呈正相关关系。

本试验初步证明,尿素配施氰氨化钙对湘南晚稻有较好的增产增效作用,且初步认为配施40%氰氨化钙效果最好,但就氰氨化钙的合理配施量还需从投出与产出角度做进一步研究。同时,也需要从土壤特性、水稻生理特性等角度就氰氨化钙对水稻的作用机理开展进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 张亦涛,刘宏斌,王洪媛,等. 农田施氮对水质和氮素流失的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(20): 6 664-6 676.
- [2] Zheng X H, Xian S. Systematic studies of nitrogen loss from paddy soils through leaching in the Dongting Lake area of China [J]. *Pedosphere*, 2011, 21(6): 753-762.
- [3] 张鸿燕,陈燕,刘宇新,等. 缓控释肥种类和用量对南方梗稻产量和收益的影响[J]. 中国稻米, 2016, 22(5): 35-37.
- [4] 邓安凤,杨从党,陈清华,等. 不同施肥方式对不同密度下直播稻的产量及群体光合物质生产的影响 [J]. 中国稻米, 2017, 23(4): 123-129.
- [5] Wan L B, Chen H K, Yu-Ming G E. Some problems to be settled urgently in the industrial development of slow / controlled release fertilizer in China[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2009 (3): 9-10.
- [6] Ritter C, Richter E, Knoelck I, et al. Laboratory studies on the effect of calcium cyanamide on wireworms (*Agriotes ustulatus*, Coleoptera: Elateridae)[J]. *J Plant Dis Protect*, 2014, 121(3): 133-137.
- [7] Zheng W Q, Guo Y, Li W M, et al. Bioassay of Rongbao (active ingredients of calcium cyanamide) against housefly maggots [M]// *New horizons in insect science: towards sustainable pest management*, 2015: 101-112.
- [8] 刘思超,唐利忠,石泉,等. 氰氨化钙在农业生产中的应用研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 1-6.
- [9] 唐利忠,刘思超,李超,等. 氰氨化钙颗粒肥在水稻栽培中的应用效果初探[J]. 作物研究, 2016(4): 381-386.
- [10] 韩伟,陈细桂,李传斌,等. 施用“荣宝”(正肥丹)对中稻作物产量的影响[J]. 农村经济与科技, 2013, 24(6): 166-168.

## Effects of Combined Application of Calcium Cyanamide and Urea on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Late Rice in Southern Hunan

TANG Lizhong<sup>#</sup>, CAO Yajuan<sup>#</sup>, SHI Quan, LIU Sichao, LI Chao, Tu Naimei, ZHOU Wenxin<sup>\*</sup>, YI Zhenxie<sup>\*</sup>

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University/South Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Changsha 410128, China; <sup>#</sup>Co-first author: 975624569@qq.com; <sup>\*</sup>Corresponding author: yizhenxie@126.com)

**Abstract:** A field experiment was conducted to explore the application effects of calcium cyanamide granular fertilizer in rice production in Hengyang county, Hunan province. The results showed that under the condition of total nitrogen application rate of 150 kg/hm<sup>2</sup>, the yield of late rice was increased with the application of calcium cyanide granular fertilizer. The yield of 40% combined treatment was significantly increased. The nitrogen accumulation was increased in treatments of combined applying 40%~60% of calcium cyanamide, and significantly increased in 60% treatment. Combined applying of calcium cyanamide could improve nitrogen utilization efficiency, NPFP and ANUE were the highest in 40% treatment, while NUE was the highest in 60% treatment. The correlation analysis showed that the applying proportion of calcium cyanamide were significantly positive correlated with the yield, effective panicles, NPFP and ANUE. So, under the condition of total nitrogen application rate of 150 kg/hm<sup>2</sup>, combined applying 40% of calcium cyanamide could get higher yield and nitrogen use efficiency of late rice in southern Hunan.

**Key words:** southern Hunan; calcium cyanamide; late rice; yield; nitrogen use efficiency

(上接第 53 页)

## Effects of Reducing Fertilization on Yield, Quality and Grass Suppression of Allelopathic Rice

PENG Liang<sup>1</sup>, WEN Minde<sup>2</sup>, LI Qi<sup>1</sup>, JI Jinghua<sup>1</sup>, LIN Fangyuan<sup>3</sup>, HU Fei<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup> College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; <sup>2</sup> Zhaofeng Rice Specialty Cooperation of Xinhui District of Jiangmen City, Jiangmen, Guangdong 529100, China; <sup>3</sup> Xinhui Agricultural and Forestry Bureau, Jiangmen, Guangdong 529000, China; <sup>\*</sup>Corresponding author: hufei@scau.edu.cn)

**Abstract:** The experiment was conducted under different fertilizer levels to explore the combined effects from allelopathy and the reduced use of fertilizers, with Allelopathy rice 3, Hualiangyou 3, Huazhenyou 3, Nongzhenyou 3 and Hangmeixiangzhan as materials. The results showed that a moderate amount of reducing fertilizer could increase yield and improve quality of rice, the four rice materials with allelopathy characteristics could cause the inhibition of paddy weeds number and biomass, the suppression effect was increasing with the decreased of fertilizer, the Allelopathy rice 3 and Hualiangyou 3 with fertilizer decrease 20% compared with conventional fertilization use could obviously reduce gramineae and broad-leaved weeds, and keep yield and improve quality, the same as Huazhenyou 3 and Nongzhenyou 3 with fertilizer decrease 30%.

**Key words:** reducing fertilization; allelopathic rice; inhibiting effect; weeds