

控释氮肥与尿素配施对单季稻产量及氮肥利用率的影响^①

付月君¹, 王昌全^{1*}, 李 冰¹, 尹 斌², 张敬昇¹

(1 四川农业大学资源学院, 成都 611130; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要: 为探讨控释氮肥与尿素配合一次性基施对水稻产量及其氮肥利用效率的影响效应, 通过田间小区试验研究了不同比例控释氮肥(CRNF)与尿素(UR)配施对水稻干物质积累、产量构成, 以及氮肥表观、农学和生理利用率等的影响。结果表明: 配施 10%~80% CRNF 较常规施氮(T1)处理, 分别提高水稻籽粒干物质和产量 3.7%~13.9% 和 1.4%~13.4%; 较全量施用 CRNF(T6) 处理, 提高水稻籽粒干物质和产量 6.3%~16.7%、2.8%~16.6%。一次性基施 40%CRNF + 60%UR(T4)较一次性基施全量 CRNF 显著提高水稻籽粒吸氮量 24.2%, 差异显著($P<0.05$), 氮肥表观利用率、农学利用率、生理利用率及氮肥偏生产力也处于较高水平。在本试验条件下, 一次性基施 40%CRNF + 60%UR 既提高了水稻产量和氮肥利用率, 又减少了劳动投入, 可在实际生产中推广应用。

关键词: 水稻; 控释氮肥; 尿素; 产量; 氮肥利用率

中图分类号: S511

水稻是我国主要的粮食作物之一, 种植面积约占世界种植面积的 20%。而化肥是保证农作物正常生长和增产的重要因素, 对作物增产的贡献率达 40%。在水稻整个生长发育过程中, 氮素起着重要的作用, 但为追求水稻高产, 大量地施用氮肥, 不仅造成了氮肥施用过量、氮肥利用率低, 还产生了一系列的环境污染等问题^[1-2], 有研究指出改善水稻施肥量及其基追比例能够有效地提高水稻干物质积累、氮素分配及产量^[5]。但这样不仅增加了劳动成本, 且由于速效氮肥施入农田后会迅速转化, 氮肥并不能被作物有效吸收利用。尿素(UR)是目前农业市场所售的主要固态氮肥, 同时也是世界农业应用最为广泛的氮源^[4]。尿素在施入稻田中会通过 NH_3 挥发、硝化与反硝化作用、淋溶、径流等途径损失掉^[6-7], 会降低氮素利用率, 影响其经济效益。而施用缓控释肥是减少氮素损失、提高氮素利用率从而实现作物增产的一种有效方法^[8]。但由于目前缓控释肥价格较高, 且控制或减缓了养分的释放, 不能完全满足水稻在生育前期的养分需求, 因此应根据不同作物各生育期的需肥规律, 将不同养分释放速率的肥料配合施用, 一方面有效调节养分供应速率, 另一方面又能减少肥料投入和劳动成本, 兼顾经济效益^[9-10]。目前, 大量研究主要集中在

探索单独施用控释氮肥对水稻、小麦等作物的产量以及氮素利用率的影响^[11-13]。本文探索控释氮肥与速效氮肥不同配施比例对水稻产量和氮肥利用效率的影响, 旨在筛选出最佳配施比例, 为水稻生产中控释氮肥的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2014 年 5—9 月在成都市崇州桤泉镇进行, 区域属亚热带湿润季风气候, 年均气温 15.2℃, 年均降水量 1 000~1 200 mm, 年均无霜期 280 天以上。区域地形平坦, 供试地块田形方正, 灌排方便。供试土壤为水稻土, 其基本理化性质见表 1。

1.2 试验设计

试验共设 7 个处理, 分别为: 不施氮(CK); 常规施氮, 基追比 7:3 (T1); 10% 控释氮肥配施 90% 尿素, 一次性基施 (T2); 20% 控释氮肥配施 80% 尿素, 一次性基施(T3); 40% 控释氮肥配施 60% 尿素, 一次性基施(T4); 80% 控释氮肥配施 20% 尿素, 一次性基施(T5); 全量控释氮肥, 一次性基施(T6)。尿素含氮 46.4%, 由四川美丰化工有限公司生产。控释氮肥含氮 41.4%, 由中国科学院南

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD07B13)和四川省科技支撑计划项目(2012JZ0003, 2013NZ0028)资助。

* 通讯作者(w.changquan@163.com)

作者简介: 付月君(1990—), 女, 四川金堂人, 硕士研究生, 主要研究方向为稻田养分损失及利用。E-mail: estellemoon@163.com

表 1 供试土壤基本化学性质
Table 1 Physico-chemical properties of tested soils

土层 (cm)	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0~20	6.97	27.5	2.11	103.6	17.2	118.6

京土壤研究所提供。磷肥为过磷酸钙,含磷 (以 P_2O_5 计算) 12%,钾肥为氯化钾,含钾 (以 K_2O 计算) 60%。所有处理氮、磷、钾用量均相同,分别为 150、60、75 kg/hm², 磷钾肥全部作为基肥一次性施入,T1 处理追肥于基肥施用后 7~10 天进行。小区面积为 5 m×6 m=30 m², 每个处理设 3 次重复,随机区组排列,共计 21 个小区。小区间以薄膜隔开,尽量避免串水串肥。

供试水稻品种为 F 优 498,全生育期 140 天左右。水稻于 5 月 28 日移栽,9 月 14 日收获,秧苗间距为 30 cm×20 cm。其余田间管理与日常管理相同。

1.3 指标测定及计算方法

土壤基本理化性质采用常规方法进行分析测定^[14], 田间指标调查在水稻收获前进行,具体做法是每小区选取有代表性的水稻 5 穴,调查测定有效穗数、穗粒数以及结实率、千粒重,水稻产量按照小区单打单收计算。

植株全氮的测定:浓 H_2SO_4 - H_2O_2 消化,全自动凯氏定氮仪(FOSS)测定,氮肥利用率计算方法如下:

氮肥表观利用率(NAUE, %)= (施氮区植株吸氮量-不施氮区植株吸氮量)/施氮量×100%;

氮肥生理利用率(NPE, kg/kg)= (施氮区水稻产量-不施氮区水稻产量)/(施氮区植株吸氮量-不施氮区植株吸氮量);

氮肥农学利用率(NAE, kg/kg)= (施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量;

氮肥偏生产力(NPFP, kg/kg)= 施氮区产量/施氮量。

氮收获指数(NHI)= 籽粒吸氮量/植株总吸氮量。

1.4 数据处理与分析

所有试验数据采用 Excel 2013 和 SPSS 17.0 进行处理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 控释氮肥与尿素配施对水稻干物质积累及分配的影响

从表 2 可以看出,水稻地上部各器官干物质质量分配比例表现为籽粒>茎鞘>叶。各处理水稻地上部各器官干物质质量均以不施氮处理(CK)最低。施氮处理籽粒干物质质量较 CK 增加 42.0%~65.7%;地上部干物质总积累量较 CK 增加 34.0%~64.7%。其中以 40% 控释氮肥配施 60% 尿素处理 (T4) 籽粒干物质质量最高,较常规施氮 (T1) 增加 13.9%,差异达显著水平 ($P<0.05$)。而以全部施用控释氮肥 (T6) 茎鞘和叶干物质质量最高。从地上部各器官干物质分配率来看,以 T4 籽粒干物质分配率最高,T6 籽粒干物质分配率最低。

表 2 控释氮肥与尿素配施对水稻干物质积累及分配的影响
Table 2 Effects of CRNF and urea combined on rice dry matter accumulation and distribution

处理	干物质积累量 (kg/hm ²)			地上部分干物质积累量 (kg/hm ²)
	籽粒	茎鞘	叶	
CK	4 261.39 ± 42.45 f	3 677.76 ± 16.04 g	1 667.50 ± 55.58 e	9 606.65 ± 89.34 f
T1	6 197.54 ± 100.20 d	4 687.53 ± 57.86 f	1 991.74 ± 64.18 d	12 876.81 ± 105.22 e
T2	6 429.14 ± 162.84 c	4 835.75 ± 73.53 e	2 038.06 ± 16.04 d	13 302.94 ± 226.35 d
T3	6 521.78 ± 42.45 c	4 974.71 ± 27.79 d	2 167.75 ± 27.79 c	1 3664.24 ± 84.9 c
T4	7 059.08 ± 27.79 a	5 150.72 ± 42.45 c	2 204.81 ± 42.46 c	14 414.61 ± 57.85 b
T5	6 846.01 ± 32.09 b	5 252.63 ± 48.14 b	2 343.76 ± 32.09 b	14 442.40 ± 97.6 b
T6	6 049.32 ± 42.45 e	6 670.00 ± 27.79 a	3 103.40 ± 32.09 a	15 822.72 ± 42.45 a

注:表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平,下同。

2.2 控释氮肥与尿素配施对水稻产量及其产量构成因子的影响

从水稻产量来看(表 3),氮肥的施用能够有效地提高水稻产量,较 CK 提高 13.3%~32.1%,施氮处

理中以 T4 处理产量最高,且较 T1 处理提高 13.4%,T6 产量相对较低,差异显著。从产量构成因素来看,施氮处理有效穗数较 CK 增加 18.8%~34.4%,穗粒数较 CK 增加 15.3%~35.3%,穗长与 CK 差异显著,

表 3 控释氮肥与尿素配施对水稻产量及产量构成因子的影响
Table 3 Effects of CRNF and urea combined on rice yield and yield component factors

处理	产量 (kg/hm ²)	有效穗数(×10 ⁴ 穗/hm ²)	千粒重(g)	穗粒数	穗长(cm)	结实率(%)
CK	6 901.40 ± 177.48 e	170.75 ± 12.57 d	25.93 ± 0.81 c	176.67 ± 10.69 c	25.23 ± 0.47 c	87.42 ± 1.48 c
T1	8 038.50 ± 179.55 cd	202.77 ± 14.13 bc	28.74 ± 0.87 a	223.00 ± 33.45 ab	28.77 ± 0.74 b	90.54 ± 1.29 ab
T2	8 149.50 ± 222.91 c	197.43 ± 12.36 c	28.36 ± 0.80 ab	203.67 ± 8.02 bc	29.70 ± 1.30 ab	90.71 ± 1.39 ab
T3	8 526.30 ± 156.83 b	218.78 ± 10.49 ab	28.50 ± 0.41 ab	224.67 ± 6.66 ab	29.20 ± 0.10 ab	90.96 ± 0.71 ab
T4	9 115.55 ± 111.31 a	229.45 ± 9.81 a	29.60 ± 0.38 a	239.00 ± 23.64 a	31.10 ± 1.00 a	91.68 ± 0.72 a
T5	8 035.10 ± 143.68 cd	213.44 ± 11.19 abc	28.44 ± 0.32 ab	230.67 ± 17.10 a	31.03 ± 1.79 a	89.89 ± 0.98 ab
T6	7 820.00 ± 57.89 d	205.10 ± 11.84 bc	27.12 ± 1.45 bc	225.33 ± 20.74 ab	30.97 ± 1.27 a	89.48 ± 1.18 b

各施氮处理间差异不显著。施氮处理中以 T4 产量及其产量构成因素相对最高,全部施用控释氮肥 T6 处理产量和结实率较 T1 处理低,但差异不显著。随控释氮肥配施比例的提高,水稻产量及其产量构成因子均有相应的提高,但当控释氮肥配施比例达到 80% (T5) 时有所降低,施用全量控释氮肥 (T6) 处理相对最低。全量缓控释肥投入稻田,水稻生育后期养分供应过剩,结实率降低,从而影响了水稻的产量。

2.3 控释氮肥与尿素配施对水稻氮素吸收分配的影响

氮肥施用有助于提高水稻各器官对氮素的吸收(表 4)。各施氮处理氮素总吸收量较 CK 增加 67.27 ~ 103.74 kg/hm²。虽然全量控释氮肥 T6 处理的茎鞘和叶氮素吸收量相对最高,但籽粒吸氮量较其他配施处

理低,且差异达显著水平。其中 T4 处理籽粒氮素吸收量最高,较 T1 处理提高 19.9%,较 T6 处理高 24.2%。不同配施比例处理间茎鞘和叶氮素吸收分配率以全量控释氮肥 T6 处理最高。

2.4 控释氮肥与尿素配施对单季稻氮肥利用率的影响

由表 5 可以看出,添加一定比例的控释氮肥有助于提高水稻氮肥利用率。各施氮处理以 40% 控释氮肥配施 60% 尿素(T4)处理氮肥表观利用率、农学利用率、生理利用率及氮肥偏生产力相对最高,较常规施氮(T1)处理分别提高 54.2%、7.2 kg/kg、4.4 kg/kg、7.2 kg/kg。从不同的配施比例来看,随着控释氮肥比例的提高,水稻氮肥表观利用率、农学利用率、生理利用率、氮肥偏生产力相应提高,但当添加比例达到

表 4 控释氮肥与尿素配施对水稻氮素吸收分配的影响
Table 4 Effects of CRNF and urea combined on nitrogen uptake and distribution

处理	氮素吸收量 (kg/hm ²)				氮素吸收分配率(%)		
	茎鞘	叶	籽粒	总吸收量	茎鞘	叶	籽粒
CK	5.93 ± 0.04 e	9.22 ± 0.34 f	40.28 ± 0.52 f	55.44 ± 0.64 f	10.71 ± 0.06 e	16.63 ± 0.53 d	72.66 ± 0.55 a
T1	13.19 ± 0.36 d	20.65 ± 0.91 e	88.87 ± 0.47 d	122.71 ± 1.02 e	10.75 ± 0.38 e	16.83 ± 0.60 d	72.42 ± 0.23 a
T2	15.35 ± 0.4 c	21.85 ± 0.63 e	90.36 ± 1.9 d	127.56 ± 2.01 d	12.04 ± 0.49 d	17.13 ± 0.35 d	70.83 ± 0.41 b
T3	19.34 ± 0.88 b	23.68 ± 0.99 d	96.76 ± 0.03 c	139.78 ± 1.81 c	13.84 ± 0.46 c	16.93 ± 0.50 d	69.23 ± 0.90 c
T4	22.51 ± 0.21 a	30.15 ± 0.56 c	106.52 ± 0.87 a	159.18 ± 1.22 a	14.14 ± 0.06 bc	18.94 ± 0.31 c	66.92 ± 0.26 d
T5	22.53 ± 0.51 a	31.71 ± 0.67 b	99.21 ± 0.42 b	153.45 ± 1.19 b	14.68 ± 0.28 b	20.66 ± 0.34 b	64.66 ± 0.24 e
T6	23.10 ± 0.55 a	41.19 ± 0.67 a	85.75 ± 0.65 e	150.04 ± 0.82 b	15.39 ± 0.44 a	27.45 ± 0.30 a	57.15 ± 0.20 f

表 5 控释氮肥与尿素配施对水稻氮肥利用率的影响
Table 5 Effects of CRNF and urea combined on nitrogen use efficiency

处理	氮肥表观利用率(%)	氮肥农学利用率(kg/kg)	氮肥生理利用率(kg/kg)	氮肥偏生产力(kg/kg)	氮收获指数
CK	—	—	—	—	—
T1	44.85	7.58	16.90	53.59	0.72
T2	48.08	8.32	17.31	54.33	0.71
T3	56.17	10.83	19.28	56.84	0.69
T4	69.16	14.76	21.34	60.77	0.67
T5	65.34	7.56	11.57	53.57	0.65
T6	63.07	6.12	9.71	52.13	0.57

80% 时,亦即 80% 控释氮肥配施 20% 尿素(T5)时有所降低,施用全量控释氮肥时(T6)氮肥农学利用率、生理利用率和氮肥偏生产力相对较低。

3 讨论

控释氮肥的施用能有效提高作物地上部干物质和产量^[15-16],但其一次性全部施用易导致前期供氮不足、后期供氮过剩,尿素一次性施用会导致养分前期损失过多。本试验中,控释氮肥与尿素配施处理下的水稻籽粒干物质和产量比不施氮分别高 42.0%~65.7% 和 13.3%~32.1%,比常规施氮分别高 3.7%~13.9% 和 1.4%~13.4%,比施用全量控释氮肥处理高 6.3%~16.7% 和 2.8%~16.6%。张玉凤等^[17]研究表明,配施较施用全量控释氮肥作物产量更高,本试验也得出一致结果。其中,以 40% 控释氮肥配施 60% 尿素籽粒干物质和产量相对最高。

水稻对氮素的吸收主要集中在幼穗分化期,其对氮的吸收受到氮肥种类及运筹方式的影响,尿素很难满足水稻生育后期对氮的需求^[18-20]。本试验结果表明,适当比例的控释氮肥与尿素配施能够提高水稻籽粒氮素积累量,但当配施比例达到 80% 时,氮素在籽粒中的积累量开始降低,在茎叶中的积累量增加,茎叶中的氮素残留会导致氮素损失,即一次性过多的控释氮肥会使水稻后期贪青晚熟,产量降低。

氮肥利用率是评价作物对氮素吸收的一个重要指标。本研究表明,随着控释氮肥添加比例的提高,水稻氮肥表观利用率、农学利用率、生理利用率及氮肥偏生产力相应提高,这与前人报道结果基本一致^[21]。添加 40% 控释氮肥时最高,水稻氮肥表观利用率、农学利用率、生理利用率及氮肥偏生产力较尿素处理分别高出 54.2%、7.2 kg/kg、4.4 kg/kg、7.2 kg/kg,但当添加比例达到或超过 80% 时,氮肥利用率相关指标均呈下降趋势。

控释氮肥由于研制成本较普通肥料高,目前市场价格约 3.5 元/kg,而普通尿素 2.0 元/kg 左右。按照当地劳动力成本平均 120 元/天计算,一次性基施 40% 控释氮肥配施 60% 尿素较常规施氮(100% 尿素,基追比 7:3)可节约劳动力成本约 600 元/hm²,较施用全量控释氮肥节约肥料成本约 400 元/hm²,且显著提高了水稻产量,直接增加了水稻经济效益,是值得推广的水稻控释氮肥配施技术。

4 结论

一定比例控释氮肥与尿素配施能够有效提高水

稻籽粒干物质和产量,以配施 40% 控释氮肥最高,较常规施氮产量提高 13.4%,较施用全量控释氮肥提高 16.6%。配施控释氮肥有效地提高了水稻籽粒对氮素的吸收,与施用全量控释氮肥相比,40% 控释氮肥与 60% 尿素配施提高水稻总吸氮量 6.1%,提高籽粒吸氮量 24.2%。配施 40% 控释氮肥水稻氮肥利用率相对较高,较施用全量控释氮肥水稻表观利用率、农学利用率、生理利用率、氮肥偏生产力分别提高 9.7%、8.6 kg/kg、11.6 kg/kg、8.6 kg/kg。尿素能满足作物在苗期的养分需求,而控释氮肥能减缓养分释放,供应作物中后期养分需求。控释氮肥与尿素配合一次性施用,不仅能够使水稻增产,且还比施用全量控释氮肥减少经济投入,比分次施用尿素节约劳动成本,具有较强的推广意义。

参考文献:

- [1] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19: 259-273
- [2] 蔡祖聪,颜晓元,朱兆良. 立足于解决高投入条件下的氮污染问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 1-6
- [3] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等. 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): 1 095-1 103
- [4] Heffer P, Prud'homme M. Fertilizer Outlook 2011—2015[EB/OL]. International Fertilizer Industry Association IFA, Paris, 2011
- [5] 胡雅杰,朱大伟,邢志鹏,等. 改进施氮运筹对水稻产量和氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 12-22
- [6] Soares J R, Cantarella H, Menegale M L C. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 52: 82-89
- [7] 田玉华,尹斌,贺发云,等. 太湖地区水稻季氮肥的作物回收和损失研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 55-61
- [8] Ni X Y, Wu Y J, Wu Z Y, et al. A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism[J]. Biosystems Engineering, 2013, 115(3): 274-282
- [9] 翟军海,高亚军,周建斌. 控释/缓释肥料研究概述[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 45-48
- [10] 王寅,冯国忠,张天山,等. 基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 1 153-1 165
- [11] 汪强,李双凌,韩燕来,等. 缓/控释肥对小麦增产与提高氮肥利用率的效果研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 47-50
- [12] 胡春花,罗革宾,曾建华,等. 不同类型缓释氮肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 174-177

- [13] 周亮, 荣湘民, 谢桂先, 等. 不同氮肥施用对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2014, 46(6): 971–975
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [15] 张小翠, 戴其根, 胡星星, 等. 不同质地土壤下缓释尿素与常规尿素配施对水稻产量及其生长发育的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(8): 1 494–1 503
- [16] 王允青, 郭熙盛, 戴明伏. 氮肥运筹方式对杂交水稻干物质积累和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(2): 31–34
- [17] 张玉凤, 董亮, 于淑芳, 等. 控释掺混尿素对大白菜产量、品质及土壤硝态氮的影响[J]. 土壤, 2013, 45(1): 177–180
- [18] 晏娟, 尹斌, 张绍林, 等. 不同施氮量对水稻氮素吸收与分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 835–839
- [19] 黄见良, 邹应斌, 彭少兵, 等. 水稻对氮素的吸收、分配及其在组织中的挥发损失[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 579–583
- [20] 张晴雯, 杜春祥, 李晓伟, 等. 控释肥条件下沿南四湖农田水稻吸氮特征[J]. 环境科学, 2011, 32(7): 1 908–1 915
- [21] 李敏, 郭熙盛, 叶舒娅, 等. 硫膜和树脂膜控释氮肥对水稻产量、光合特性及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 808–815

Effects of Combined Application of Controlled-release Nitrogen Fertilizer and Urea on Rice (*Oryza sativa* L.) Yield and Nitrogen Use Efficiency

FU Yuejun¹, WANG Changquan^{1*}, LI Bing¹, YIN Bin², ZHANG Jingsheng¹

(1 College of Resources, Sichuan Agriculture University, Chengdu 611130, China;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Taking F you 498 rice variety as test material, a field experiment was carried out to study the effects of different ratios of controlled-release nitrogen fertilizer (CRNF) combined with urea (UR) on rice (*Oryza sativa* L.) yield, and nitrogen use efficiency. The results showed that, compared with the treatment of UR (T1), the treatments of combined with controlled-release nitrogen fertilizer (T2 – T6) increased the rice dry matter and yield for 3.7% – 13.9% and 1.4% – 13.4%, respectively. The dry matter and grain yield with combined treatments (T2 – T5) were 6.3% – 16.7% and 2.8% – 16.6% higher than CRNF only (T6). The nitrogen uptake of grain with 40% CRNF +60% UR was 24.2% higher than that of CRNF only, and the difference reached significant level ($P<0.05$). Meanwhile, the nitrogen apparent utilization efficiency (NAUE), nitrogen agronomic utilization (NAE), nitrogen physiological efficiency (NPE), nitrogen partial factor productivity (NPFP) were also in higher levels with the treatment of 40% CRNF +60% UR. Under experimental condition, 40% CRNF + 60% UR was the optimal treatment for high yield and nitrogen efficiency in rice, and could be popularized to practice.

Key words: Rice; Controlled release nitrogen fertilizer; Urea; Yield; Nitrogen use efficiency