

# 控释尿素对水稻产量、 养分吸收及氮肥利用率的影响

李云春<sup>1</sup> 李小坤<sup>1</sup> 鲁剑巍<sup>1</sup> 徐维明<sup>2</sup> 杨运清<sup>2</sup> 鲁君明<sup>3</sup>

1. 华中农业大学资源与环境学院/农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070;

2. 湖北省沙洋县土壤肥料工作站, 沙洋 448200;

3. 湖北省洪湖市大同湖管理区农技推广中心, 洪湖 434300

**摘要** 采用多点大田试验, 研究施用控释尿素对水稻产量及其构成因素、养分吸收和氮肥利用率的影响。结果表明: 施用控释尿素可显著提高水稻产量, 控释尿素处理减量 25% 氮时, 与普通尿素一次性基施相比, 增产 5.3%~7.8%, 与普通尿素分期施用相比, 增产 2.6%~2.9%; 稻谷产量与控释尿素施用量呈二次函数关系, 控释尿素处理稻谷产量增加主要由于其显著提高实粒数。养分含量和吸收量结果显示, 控释尿素处理水稻地上部氮含量和吸氮量均显著增加; 施用控释尿素显著提高了氮肥吸收利用率, 增幅为 17.1%~34.1%。当目标产量为 8.35~8.41 t/hm<sup>2</sup> 时, 控释尿素的适宜施用量为氮 102~128 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词** 水稻; 产量; 控释尿素; 养分吸收; 氮肥利用率

**中图分类号** S 511; S 147.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0046-06

我国一直存在肥料利用率低、氮肥损失严重的问题, 给生态环境带来了巨大的压力<sup>[1-2]</sup>。施用控释肥料可以显著提高肥料的利用率<sup>[3-4]</sup>、减少养分损失、减轻环境污染, 同时还可以改善作物生长发育状况、提高作物的产量和品质<sup>[5-6]</sup>、节约劳动力成本, 应用前景广阔。从 20 世纪 60 年代开始, 美国、日本等发达国家就开始研究和改进化肥的制作技术, 力求从改变化肥本身的特性来提高肥料的利用率, 相继研制并推出控释肥料系列产品, 使化肥的利用率得以大幅度提高。但由于其价格高昂, 主要应用在高尔夫球场、苗圃、专业草坪和景观园艺上, 在大田推广应用较少<sup>[7]</sup>。从 20 世纪 90 年代开始, 我国控释肥料行业进入快速发展阶段, 产业体系逐渐形成。目前对控释肥料的养分释放机制研究比较深入, 研究方法主要包括静水浸泡、土壤培养和同位素示踪等<sup>[8-10]</sup>。控释肥料养分释放快速测定方法<sup>[11-12]</sup>已日益成熟, 能快速高效地评价控释肥料的养分释放特性, 为生产研制满足作物需求的控释肥料提供理论依据。经过不断的工艺改进, 控释肥料的成本已大幅下降, 并在大田生产上开始大面积推广。为评价

控释肥料在作物上的施用效果, 研究人员通过盆栽试验<sup>[13-14]</sup>和田间试验<sup>[15]</sup>开展了一系列研究, 证明控释肥料在提高作物产量及提高肥料利用率等方面潜力巨大。但对于控释肥料在水稻大田生产上的施用效果及施用量方面的研究<sup>[16]</sup>还不够深入, 特别是在不同控释肥料施用梯度下对水稻产量及养分吸收等方面的影响研究较少, 而这是控释肥料在大田得到推广应用最为关键的一步。笔者采用多点大田试验, 以普通尿素为对照, 设置不同水稻专用控释尿素用量水平, 以确定水稻专用控释尿素在水稻大田生产上的合理施用量, 并研究其养分吸收特点及对肥料利用率的影响, 为控释尿素在大田上的合理施用提供依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

试验于 2012 年 4 月在湖北省沙洋县曾集镇 (N 30°43'10.2", E 112°17'35.6") 和湖北省洪湖市大同湖管理区 (N 30°02'52.0", E 113°42'54.6") 进行。沙洋和洪湖试验点供试土壤均为水稻土, 基本

收稿日期: 2013-11-12

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303103)、中央高校基本科研业务费专项(2011PY150, 2013PY113)和长江学者和创新团队发展计划(IRT1247)

李云春, 硕士。研究方向: 现代施肥技术。E-mail: liyunchun@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 李小坤, 博士, 副教授。研究方向: 作物养分管理与现代施肥技术。E-mail: lixiaokun@mail.hzau.edu.cn

理化性状见表 1。

### 1.2 试验设计

沙洋试验点设 7 个处理, 分别为 CK: 对照, 不施氮肥;  $U_{150}$ : 普通尿素, 氮 150 kg/hm<sup>2</sup>;  $U_{75-37.5-37.5}$ : 普通尿素, 氮 150 kg/hm<sup>2</sup>;  $CRU_{75}$ : 控

释尿素, 氮 75 kg/hm<sup>2</sup>;  $CRU_{112.5}$ : 控释尿素, 氮 112.5 kg/hm<sup>2</sup>;  $CRU_{150}$ : 控释尿素, 氮 150 kg/hm<sup>2</sup>;  $CRU_{187.5}$ : 控释尿素, 氮 187.5 kg/hm<sup>2</sup>。洪湖试验点设其中的 CK、 $U_{150}$ 、 $U_{75-37.5-37.5}$ 、 $CRU_{112.5}$ 、 $CRU_{150}$  处理。

表 1 土壤基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soils

试验点 Trial site	pH	有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total N	碱解氮/(mg/kg) Avail. N	速效磷/(mg/kg) Avail. P	速效钾/(mg/kg) Avail. K
沙洋 Shayang	5.5	25.84	1.69	141.3	42.8	250.9
洪湖 Honghu	6.4	28.16	2.12	125.6	17.7	116.7

水稻专用控释尿素为聚氨基甲酸酯包膜尿素, 由美国 Agrium Advanced Technologies Company 提供, 含氮量为 44%。普通尿素施用量为田间最佳推荐用量, 施用控释尿素梯度结合普通尿素施用量设计。 $U_{150}$  普通尿素处理施肥方法为一次性基施;  $U_{75-37.5-37.5}$  普通尿素处理施肥方法为 50% 基施、25% 分蘖肥、25% 穗肥; 控释尿素均一次性基施。各处理磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)和钾(K<sub>2</sub>O)用量均为 90 kg/hm<sup>2</sup>, 肥料品种分别用过磷酸钙和氯化钾, 全作基肥一次性施用。小区面积 20 m<sup>2</sup>, 3 次重复, 随机区组排列。

沙洋试验点供试水稻品种为新两香 4 号, 2012 年 4 月 15 日播种, 6 月 2 日移栽, 8 月 28 日收获, 栽插行株距为 30 cm×14 cm; 洪湖试验点供试水稻品种为两优 2326, 2012 年 5 月 8 日播种, 6 月 10 日移栽, 9 月 12 日收获, 栽插行株距为 30 cm×17 cm, 其他田间管理同当地大田。

### 1.3 测定方法

土壤理化性质采用常规分析方法测定<sup>[17]</sup>。水稻收获前进行田间调查, 每小区随机取有代表性的水稻 6 蔸, 调查测定有效穗数、穗总粒数、结实率和千粒重, 小区产量单打单收计产。

氮含量测定: 浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消化, 流动注射分析仪(瑞典 FIAstar5000)测定。氮肥利用率计算方法<sup>[18]</sup>如下:

氮肥吸收利用率(N recovery efficiency, NRE)=(施氮区植株总吸氮量-无氮区植株总吸氮量)/施氮量×100%;

氮肥生理利用率(N physiological efficiency, NPE)=(施氮区产量-无氮区产量)/(施氮区植株总吸氮量-无氮区植株总吸氮量);

氮肥农学利用率(N agronomic efficiency,

NAE)=(施氮区产量-无氮区产量)/施氮量;

氮肥偏生产力(partial factor productivity of applied N, PFP)=施氮区产量/施氮量。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 MS Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施氮处理对水稻产量的影响

沙洋试验点结果(表 2)表明, 与对照相比, 施用控释尿素均获得显著增产, 增幅在 15.0%~20.5% 之间。与普通尿素一次性基施处理( $U_{150}$ )相比,  $CRU_{75}$  处理施氮量减少 50%, 产量相对增加 3.0%, 增产不显著;  $CRU_{112.5}$  处理施氮量减少 25%, 但增产效果显著, 相对增产 7.8%;  $CRU_{150}$  处理施氮量与普通尿素相当, 增产效果显著, 相对增产 6.3%;  $CRU_{187.5}$  处理施氮量增加 25%, 相对增产 3.0%, 增产不显著。控释尿素处理与普通尿素分次施用处理( $U_{75-37.5-37.5}$ )相比, 产量均无显著差异,  $CRU_{75}$  处理相对减产 1.7%;  $CRU_{112.5}$  处理增产效果最好, 相对增产 2.9%;  $CRU_{150}$  处理相对增产不明显;  $CRU_{187.5}$  处理相对增产 1.7%(表 2)。洪湖试验点结果表明, 与对照相比, 控释尿素处理增产效果显著, 增幅为 22.0% 和 20.0%。与普通尿素一次性基施处理( $U_{150}$ )相比,  $CRU_{112.5}$  与  $CRU_{150}$  处理均获得显著增产。控释尿素处理与普通尿素分次施用处理相比, 产量均无显著差异(表 2)。洪湖试验点产量水平略低于沙洋试验点, 但增产规律和沙洋试验点一致。多点试验结果表明, 在相同施氮量下, 与普通尿素一次性基施相比, 施用控释尿素可获得显著增产; 与普通尿素分次施用相比, 一次性基施控释尿素可获得同等高产水平。

表 2 不同施氮处理对水稻产量的影响<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of different N levels on rice yield

处理 Treatment	沙洋 Shayang		洪湖 Honghu	
	产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Yield	增产率/% Increasing rate	产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Yield	增产率/% Increasing rate
CK	7.03±0.14 c	/	6.74±0.07 c	/
U <sub>150</sub>	7.86±0.18 b	11.7	7.81±0.08 b	15.8
U <sub>75-37.5-37.5</sub>	8.23±0.12 ab	17.1	8.02±0.06 ab	18.9
CRU <sub>75</sub>	8.09±0.05 ab	15.0	/	/
CRU <sub>112.5</sub>	8.48±0.04 a	20.5	8.23±0.11 a	22.0
CRU <sub>150</sub>	8.35±0.04 a	18.7	8.09±0.07 a	20.0
CRU <sub>187.5</sub>	8.10±0.22 ab	15.1	/	/

1) 数据用 A±B 表示, A 为平均值, B 为标准误; 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平, 下同。Data indicated with A ± B, A is the average, B for the standard error. Values followed by different letters in same column mean significantly different among different treatments at 0.05 levels. The same in tables as follows.

## 2.2 不同施氮处理对水稻产量构成因素的影响

不同施氮处理对水稻产量构成因素(表 3)影响较大。与对照相比, 在不同控释尿素用量水平下, 有效穗数随施氮量的增加而明显增加, 分别提高 3.6%、13.4%、14.8% 和 24.9%; 穗总粒数随施氮量增加而提高, 但结实率明显下降。用实粒数来衡量上述 2 个因素, 在 CRU<sub>112.5</sub> 处理下, 实粒数明显增加(提高 7.8%), 而在 CRU<sub>187.5</sub> 处理下明显下降(降低 7.6%), 因此, 为保证一定的实粒数, 施氮量应适中。千粒重受施氮量的影响较小, 但随施氮量增加有小幅下降趋势。与普通尿素一次性基施处理(U<sub>150</sub>)相比, 在等氮施用量下, CRU<sub>150</sub> 处理实粒数提高 11.3%, 有效穗数和千粒重变化不明显, 最终理论

产量增加 9.0%; CRU<sub>112.5</sub> 处理施氮量降低 25%, 尽管有效穗数和千粒重有所降低, 但实粒数显著增加, 增幅达 14.0%, 最终理论产量增加 11.4%。因此, 实粒数的增加是水稻施用控释尿素获得显著增产的关键因素。与普通尿素分次施用处理(U<sub>75-37.5-37.5</sub>)相比, 在等氮施用量下, CRU<sub>150</sub> 处理实粒数提高 4.3%, 有效穗数和千粒重分别降低 1.1% 和 2.2%, 最终理论产量增加 0.9%; 控释尿素在 CRU<sub>112.5</sub> 处理下有效穗数降低 2.4%, 但实粒数提高 6.9%, 而千粒重相差无几, 最终理论产量增加 3.1%。水稻产量构成因素相互关联, 适宜的控释尿素能够很好的协调相关性状。与普通尿素相比, 实粒数的显著增加是水稻施用控释尿素最终获得高产的关键因素。

表 3 不同施氮处理对水稻产量构成因素的影响(沙洋试验点)

Table 3 Grain yield components as affected under different N levels (Shayang trial site)

处理 Treatment	有效穗数/(×10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Fertile panicle	实粒数 Filled grains	结实率/% Filled grain rate	千粒重/g 1 000-grain weight	产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Yield	理论产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Theory yield
CK	158.6	195	89.1	27.8	7.03	8.60
U <sub>150</sub>	180.8	185	79.8	28.1	/	9.38
U <sub>75-37.5-37.5</sub>	184.2	197	84.5	27.9	/	10.13
CRU <sub>75</sub>	164.3	202	85.6	28.0	8.09	9.26
CRU <sub>112.5</sub>	179.8	211	83.1	27.6	8.48	10.44
CRU <sub>150</sub>	182.1	206	82.2	27.3	8.35	10.22
CRU <sub>187.5</sub>	198.0	181	69.2	26.8	8.10	9.58

## 2.3 控释尿素最佳用量

沙洋试验点水稻产量与施用控释尿素量呈二次函数关系。拟合方程为  $y = -8.48 \times 10^{-5} x^2 + 0.0217x + 7.0192$  ( $R^2 = 0.989$ ), 其中  $x$  表示施氮量, 单位为 kg/hm<sup>2</sup>;  $y$  表示产量, 单位为 t/hm<sup>2</sup>。当施用控释尿素量在氮 128 kg/hm<sup>2</sup> 时, 达到最高产量 8.41 t/hm<sup>2</sup>。结合方程拟合结果和普通尿素处理产量结果分析, 当目标产量为 8.35~8.41 t/hm<sup>2</sup> 时, 控释尿素的适宜施用量为氮 102~128 kg/hm<sup>2</sup>, 与

普通尿素(氮 150 kg/hm<sup>2</sup>)相比, 可降低施氮量 14.7%~32.0%。

## 2.4 不同施氮处理对水稻养分吸收的影响

表 4 结果表明, 与对照相比, 稻谷和稻草的氮含量随控释尿素施氮量的增加而显著增加, 稻谷氮含量增幅在 14.4%~49.9% 之间, 稻草氮含量增幅在 31.8%~99.3% 之间, 稻谷增加幅度小于稻草。与普通尿素一次性基施处理(U<sub>150</sub>)相比, 在等氮施用量下, CRU<sub>150</sub> 处理稻谷和稻草的氮含量分别提高

26.4% 和 33.6%。与普通尿素分次施用处理 (U<sub>75-37.5-37.5</sub>) 相比, CRU<sub>150</sub> 处理稻谷和稻草的氮含量分别提高 12.2% 和 31.2%。与对照相比, 稻谷氮积累量在控释尿素不同施用量下均显著增加, 增幅在 33.9%~75.6% 之间, 在 CRU<sub>150</sub> 处理下积累最多, 达 97.9 kg/hm<sup>2</sup>。稻草氮积累量随控释尿素施氮量的增加而显著增加, 增幅在 39.4%~154.2% 之间, 在 CRU<sub>187.5</sub> 处理下积累达最大, 为 91.1

kg/hm<sup>2</sup>, 氮总积累量与稻草变化趋势相同。与普通尿素一次性基施处理 (U<sub>150</sub>) 相比, 在等氮施用量下, CRU<sub>150</sub> 处理稻谷和稻草的氮积累量均获得显著增加; 与普通尿素分次施用处理 (U<sub>75-37.5-37.5</sub>) 相比, CRU<sub>150</sub> 处理稻草氮积累量增加显著, 稻谷增加不显著。综上所述, 施用控释尿素能显著增加水稻的氮含量和氮积累量, 提高了水稻的养分吸收能力。

表 4 不同施氮处理对水稻养分吸收的影响 (沙洋试验点)

Table 4 Nutrient uptake of rice under different N levels (Shayang trial site)

处理 Treatment	稻谷氮含量/% Grain N uptake	稻草氮含量/% Straw N uptake	稻谷氮积累量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Grain N accumulation	稻草氮积累量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Straw N accumulation	氮总积累量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Total accumulation
CK	0.80±0.02 d	0.48±0.02 c	55.6±0.6 c	35.8±0.8 c	91.4±0.5 d
U <sub>150</sub>	0.93±0.01 c	0.64±0.03 b	72.8±2.5 b	51.7±61.5 b	124.5±4.0 c
U <sub>75-37.5-37.5</sub>	1.07±0.05 b	0.73±0.02 b	88.6±5.0 a	61.5±5.7 b	150.1±9.8 b
CRU <sub>75</sub>	0.92±0.04 c	0.63±0.05 b	74.4±2.5 b	49.9±0.5 bc	124.3±2.0 c
CRU <sub>112.5</sub>	1.06±0.04 b	0.67±0.03 b	90.0±3.1 a	58.8±5.2 b	148.7±8.3 b
CRU <sub>150</sub>	1.17±0.07 ab	0.86±0.04 a	97.9±6.3 a	77.9±6.7 a	175.8±9.5 a
CRU <sub>187.5</sub>	1.21±0.01 a	0.95±0.06 a	97.6±1.7 a	91.1±4.8 a	188.7±6.1 a

### 2.5 不同施氮处理对氮肥利用率的影响

施用控释尿素和施用普通尿素对氮肥利用率的影响有所不同 (表 5)。在不同的施用控释尿素水平下, 随施氮量的增加, 氮肥吸收利用率先增后减, 在 CRU<sub>150</sub> 处理下最高, 达 56.2%; 氮肥生理利用率因氮肥过量施用呈显著下降趋势, 从 CRU<sub>75</sub> 处理的 32.1 kg/kg 降到了 CRU<sub>187.5</sub> 处理的 10.9 kg/kg; 农学利用率呈显著下降趋势, 最低 (CRU<sub>187.5</sub>) 仅为 5.7 kg/kg; 氮肥偏生产力随施氮量增加, 逐渐下降。与

普通尿素一次性基施处理 (U<sub>150</sub>) 相比, CRU<sub>150</sub> 处理氮肥吸收利用率提高 34.1%, 氮肥生理利用率降低 9.3 kg/kg, 氮肥农学效率提高 3.3 kg/kg, 氮肥偏生产力提高 3.3 kg/kg。与普通尿素分次施用处理 (U<sub>75-37.5-37.5</sub>) 相比, CRU<sub>150</sub> 处理氮肥吸收利用率提高 17.1%, 氮肥生理利用率降低 4.8 kg/kg, 氮肥农学效率提高 0.8 kg/kg, 氮肥偏生产力提高 0.8 kg/kg。在等量氮肥施用下, 控释尿素提高了水稻对养分的吸收能力, 其氮肥利用率明显优于普通尿

表 5 不同施氮处理对氮肥利用率的影响 (沙洋试验点)

Table 5 Effect of different N levels on nitrogen use efficiency of rice (Shayang trial site)

处理 Treatment	施氮量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Nitrogen application rate	氮肥吸收利用率/% NRE	氮肥生理利用率/ (kg/kg) NPE	氮肥农学利用率/ (kg/kg) NAE	氮肥偏生产力/ (kg/kg) PFP
CK	0.0	/	/	/	/
U <sub>150</sub>	150.0	22.1	24.9	5.5	52.4
U <sub>75-37.5-37.5</sub>	150.0	39.1	20.4	8.0	54.9
CRU <sub>75</sub>	75.0	43.9	32.1	14.1	107.9
CRU <sub>112.5</sub>	112.5	51.0	25.1	12.8	75.3
CRU <sub>150</sub>	150.0	56.2	15.6	8.8	55.7
CRU <sub>187.5</sub>	187.5	51.9	10.9	5.7	43.2

素。综合比较, 由于控释尿素提高了水稻对养分的吸收能力, 使其在氮肥利用率上明显优于普通尿素, 有效减少了氮素的流失, 降低了环境风险。

## 3 讨论

控释尿素的特点是通过一定的措施控制氮素的释放, 使之与作物养分需求相匹配。本研究结果表

明, 等氮素投入或略微减量条件下, 控释尿素处理水稻产量与普通尿素分期施用处理相当, 说明该控释尿素的养分释放期与水稻的养分吸收是吻合的, 一次性施用该肥料可以达到普通尿素分次施用的效果, 从而减少施肥次数, 简化工序。一般而言, 氮肥过量施用<sup>[19]</sup>会带来严重的后果, 如倒伏、贪青晚熟, 但在本试验条件下, 控释尿素过量施用没有产生严

重的减产,可能是养分的控释在一定程度上降低了养分释放强度。普通尿素由于易溶于水,一次性大量施用<sup>[20]</sup>会提高前期损失率,显著降低水稻生育后期养分吸收强度,进而显著降低干物质积累量,导致水稻严重减产。控释尿素过量施用下的水稻养分吸收规律与晏娟等<sup>[21]</sup>研究结果一致,但在肥料利用率上有所不同。对于氮肥吸收利用率而言,在一定范围内普通尿素过量施用会显著降低利用率<sup>[22]</sup>,而控释尿素过量施用降幅不大,主要原因是施用控释尿素下稻草对氮素高强度吸收,储存了部分过量的氮素,尽管以此种方式提高氮肥吸收利用率后降低了环境风险,但从资源利用上来讲稻草过多吸收养分降低了养分利用效率,养分分配不合理,稻谷产量未增加,不利于高产高效。从不同施用控释尿素梯度下的氮肥吸收利用率来看,CRU<sub>75</sub>处理下氮肥尽管明显供应不足,但氮肥吸收利用率却相对较低,这与叶全宝等<sup>[23]</sup>和许仁良等<sup>[24]</sup>研究结果一致,可能原因是氮肥严重缺乏时已严重影响了作物的正常生长,导致作物对氮素的吸收急剧减少,最终使氮肥吸收利用率较低。

氮肥农学利用率反映了施用 1 kg 氮肥增加的产量,是吸收利用率和生理利用率的综合表达。随施氮量的增加,氮肥农学利用率下降明显。氮肥偏生产力反映水稻从环境中吸收的氮对产量的贡献能力,施氮量增加会降低其吸收能力。在等量氮肥施用条件下,施用控释尿素下的氮肥吸收利用率、农学利用率及偏生产力均优于普通尿素(不论是分次施用还是一次性基施),主要是由于控释尿素根据水稻养分需求分期释放养分<sup>[25]</sup>,使氮肥得到充分利用,但是由于水稻对养分的吸收存在基因型差异且土壤背景不同<sup>[26-27]</sup>对养分的释放效果影响也不同,因而为使控释尿素能更好的应用于生产,还需从水稻品种、土壤背景及气候差异等方面研究其施用效果。控释尿素能否在水稻上得到大面积推广应用,取决于施肥效果和肥料成本。从本试验结果可以看出,不同用量的控释尿素处理均取得了较好的增产效果,且在 2 个试验点表现一致,说明施用控释尿素能够保障施肥效果。另一方面,与普通尿素分次施用相比,减氮、一次性基施控释尿素也可保持高产,说明可以降低养分投入量及追肥劳动力成本。目前农村劳动力不足,特别是从事农业的青壮年严重不足,轻简化栽培正逐步推广<sup>[28]</sup>,一次性施用控释肥料解决了轻简化技术中的施肥次数问题,减轻了劳动强

度,增强了农民种粮积极性,可以充分利用有限的耕地资源,保障粮食安全。

## 参 考 文 献

- [1] 王伟妮,鲁剑巍,李银水,等. 当前生产条件下不同作物施肥效果和肥料贡献率研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3997-4007.
- [2] 闫湘,金继运,何萍,等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 450-459.
- [3] 符建荣. 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 145-152.
- [4] WAKIMOTO K. Utilization advantages of controlled release nitrogen fertilizer on paddy rice cultivation[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 2004, 38(1): 15-20.
- [5] 王为木,史衍玺,杨守祥,等. 控释氮肥对大白菜产量和品质的影响及其机理研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 357-362.
- [6] 林昌华,樊小林,陈晓远,等. 控释钾配方肥对烤烟产量和烟叶含钾量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(6): 720-724.
- [7] 张民,史衍玺,杨守祥,等. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. 化肥工业, 2001, 28(5): 27-30.
- [8] 段路路. 缓控释肥料养分释放机理及评价方法研究[D]. 泰安: 山东农业大学图书馆, 2008.
- [9] HARA Y. Application of parameterization using the Richards function to nitrogen release from coated urea and growth of rice seeds[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 2001, 35(3): 155-161.
- [10] KOCHBA M, AYALON O, AVNIMELECH Y. Slow release rate; individual granules and population behavior[J]. Fertilizer Research, 1994, 39: 39-42.
- [11] 戴建军,樊小林,喻建刚,等. 热固性树脂包膜控释肥料肥效期的快速预测方法[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 431-436.
- [12] 隋小慧,韩晓日,高鸣,等. 几种包膜缓控释肥料养分释放特征的研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 858-860.
- [13] 田吉林,诸海焘,廖宗文,等. 包膜尿素的养分释放特征及其肥效[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 128-132.
- [14] 李若楠,王丽英,张彦才,等. 氮肥追施时期及包膜控释氮肥对冬小麦产量和氮素吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 277-280.
- [15] 徐明岗,李菊梅,李冬初,等. 控释氮肥对双季水稻生长及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1010-1015.
- [16] 徐明岗,孙小凤,邹长明,等. 稻田控释氮肥的施用效果与合理施用技术[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 487-493.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-110.
- [18] 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): 1095-1103.
- [19] 邹长明,秦道珠,陈福兴,等. 水稻氮肥施用技术 I. 氮肥施用的

- 适宜时期与用量[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2000, 26(6): 467-470.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [23] 叶全宝, 张洪程, 魏海燕, 等. 不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究[J]. 作物学报, 2005, 31(11): 1422-1428.
- [24] 许仁良, 戴其根, 王秀芹, 等. 氮肥施用量、施用时期及运筹对水稻氮素利用率影响研究[J]. 江苏农业科学, 2005(2): 19-22.
- [25] 孙锡发, 涂仕华, 秦鱼生, 等. 控释尿素对水稻产量和肥料利用率的影响研究[J]. 西南农业学报, 2009, 22(4): 984-989.
- [26] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗. 水稻不同基因型氮素利用效率差异[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(3): 233-238.
- [27] CASSMAN K G, PENG S, OLK D C, et al. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems[J]. Field Crops Research, 1998, 56: 7-39.
- [28] 凌启鸿. 精确定量轻简栽培是作物生产现代化的发展方向[J]. 中国稻米, 2010, 16(4): 1-6.

## Effects of controlled-release urea on yield, nutrient uptaking and nitrogen use efficiency of rice

LI Yun-chun<sup>1</sup> LI Xiao-kun<sup>1</sup> LU Jian-wei<sup>1</sup> XU Wei-ming<sup>2</sup>  
YANG Yun-qing<sup>2</sup> LU Jun-ming<sup>3</sup>

1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University/  
Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of  
Yangtse River), Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China;

2. Soil and Fertilizer Station of Shayang County, Shayang 448200, China;

3. Agricultural Technology Center, Datonghu Administration District of Honghu City,  
Honghu 434300, China

**Abstract** Field trials in different locations were carried out to study effects of controlled-release urea (CRU) application on the yield, nutrient uptaking and nitrogen fertilizer use efficiency of rice. The results showed that the application of CRU significantly increased the yield of rice grain by 5.3%-7.8% comparing with that of the common urea treatment (total as basal) when subtracted 25% N, and increased the yield by 2.6%-2.9% comparing with that of common urea treatment (split application). The significant quadratic function correlation was found between the rice yield and the application amount of CRU. Increasing the number of filled grains was the main factor that CRU increased the yield of rice. The results also showed that the nitrogen content in the dry matter and N nutrient uptaking of rice were all increased significantly for the treatment CRU. The application of CRU increased the nitrogen use efficiency by 17.1%-34.1% comparing with the common urea. The appropriate N application amount of controlled-release urea for rice was 102-128 kg/hm<sup>2</sup> under the target yield of 8.35-8.41 t/hm<sup>2</sup>. Controlled-release urea could not only decrease the nitrogen application amount by 14.7%-32.0%, but also reduce the fertilization time for labor saving and high efficiency.

**Key words** rice; yield; controlled-release urea; nutrient uptake; nitrogen use efficiency