

纳米碳增效尿素对水稻田面水氮素流失及 氮肥利用率的影响

王小燕^{1,2}, 王焱^{1,2}, 田小海^{1,2}, 马国辉^{2,3*}

(1. 长江中游湿地农业教育部工程研究中心, 荆州 434025; 2. 长江大学农学院, 荆州 434025;
3. 国家杂交水稻工程技术研究中心, 长沙 410125)

摘要: 为了探讨纳米碳增效尿素对水稻田面水氮素流失特征及肥料利用率的影响, 以普通尿素处理为对照, 对水稻田面水氮素浓度、氮素径流流失特征、产量及氮肥利用率进行了试验研究。结果表明, 施用氮肥后, 田面水全氮浓度迅速增加, 且施氮量越高, 田面水全氮浓度越大。纳米碳增效尿素处理与普通尿素处理比较, 其田面水全氮浓度下降速度较快, 氮素随排水流失风险期短。应用对数方程模型预测, 纳米碳增效尿素田面水安全排放期为施肥后 11.5~15.9 d, 普通尿素田面水安全排放期为施肥后 12.5~17.3 d, 纳米碳增效尿素处理与普通尿素处理比较, 其遇雨引起氮素流失期限缩短 1.0~1.5 d。该研究同时得出, 总氮素径流流失量随施氮量的增加而增加, 相同施氮量的两肥料处理间比较, 纳米碳增效尿素处理氮素随降水流失量显著小于普通尿素处理, 仅为普通尿素的 70.6%~74.3%。该研究进一步表明, 纳米碳增效尿素处理籽粒产量、氮肥农学利用率亦显著大于普通尿素处理, 产量最大提高幅度达 10.2%, 氮肥农学利用率最大提高幅度达 44.5%。总之, 与普通尿素处理比较, 纳米碳增效尿素处理遇雨引起氮素流失期限缩短、氮素径流流失量小, 产量、氮肥农学利用率均较高, 是优于普通尿素的新型高效肥料, 其中施氮量为 225 kg/hm² 的处理, 是该试验条件下的氮肥运筹的高产、高效、安全模式。

关键词: 尿素, 纳米材料, 氮, 肥料, 径流, 纳米碳, 氮素流失, 氮肥利用率, 水稻

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.016

中图分类号: S145.6, X52

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-01-0106-06

王小燕, 王焱, 田小海, 等. 纳米碳增效尿素对水稻田面水氮素流失及氮肥利用率的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 106-111.

Wang Xiaoyan, Wang Yi, Tian Xiaohai, et al. Effects of NMUrea on nitrogen runoff losses of surface water and nitrogen fertilizer efficiency in paddy field [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 106-111. (in Chinese with English abstract)

0 引言

我国稻谷产量占粮食总产的 40% 以上, 氮肥在提高水稻产量中起了十分重要的作用^[1-3]。然而大量研究表明, 氮肥施用过量, 并不能使水稻产量进一步提高, 更多的氮通过氨挥发、硝化-反硝化、渗漏、径流等多种途径流失, 最终导致肥料利用率降低^[4-8]。据联合国粮农组织统计, 目前我国氮肥用量占全球氮肥用量的 30%, 其中水稻田单季氮肥用量占世界水稻氮肥总用量的 37%, 比世界单位面积平均用量高出 65%, 而氮肥农学利用率显著低于世界平均水平^[9-11]。目前, 随着不可更新能源不足状况的加剧, 如何在农业生产中实现产量不降低的前提下, 降低氮肥投入、减少氮肥流失、提高氮肥利用率是亟待解决的问题之一。然而仅依靠传统肥料, 很难应对以上

窘境^[12-15]。有研究表明, 纳米触媒处理水后, 可提高水的细胞生物透性^[16], 促进作物的生长^[17-19]。又有研究表明, 纳米碳增效肥可显著提高小麦等作物的产量, 提高其肥料利用率^[20]。因此, 有必要在前人研究基础上, 研发新型纳米碳增效肥料, 并探讨其对产量、氮素流失特征、氮素利用特征的影响及其机理, 以加快杂交稻高产、优质、节氮减排栽培技术的创建。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验于 2009 年水稻生长季在长江大学“种三产四”项目基地进行, 试验点位于松滋市南海镇, 东经 111°773', 北纬 30°178', 属亚热带季风湿润气候区, 年均降雨量为 1200 mm, 2009 年中稻生育期间总降雨量为 307.1 mm。

1.2 试验材料与设计

试验以高产品种皖稻 153 为试验材料。播种前 0~20 cm 土层土壤各养分状况为: 有机质 11.00 g/kg, 全氮 1.00 g/kg, 速效氮 82.03 mg/kg, 速效磷 33.25 mg/kg, 速效钾 57.11 mg/kg。试验中纳米碳增效尿素 (NMUrea) 和普通尿素 (Urea) 均设置 6 个施 N 量处理: 0、90、135、180、225、270 kg/hm²。

纳米碳增效尿素由北京华龙肥料科技有限公司提

收稿日期: 2010-03-16

修订日期: 2010-12-08

基金项目: 国家自然科学基金 (30771269); 企业合作项目 (09H1317); 长江大学“大学生创新性实验计划”项目 (1023) 资助

作者简介: 王小燕 (1978—), 女, 山东泰安人, 讲师, 博士, 主要从事作物生理生态研究。荆州 长江中游湿地农业教育部工程研究中心, 434025。

Email: wamail_wang@163.com

*通信作者: 马国辉 (1959—), 男, 湖南汉寿人, 研究员, 主要从事杂交水稻生理生态研究。长沙 国家杂交水稻工程技术研究中心, 410128。Email: maguohui@hhrac.ac.cn

供，由普通尿素添加纳米碳制成。配制过程如下：先将普通尿素磨成粉状（直径为 ≤ 0.2 mm），然后按 1000:3 的质量比与纳米碳混合均匀，并制成与普通尿素大小一致的颗粒。纳米碳增效尿素成份组成质量分数为：纳米碳 0.3%， $N \geq 46\%$ ，缩二脲 $\leq 1.4\%$ ， $H_2O \leq 0.3\%$ 。普通尿素成分组成质量分数为： $N \geq 46\%$ ，缩二脲 $\leq 1.4\%$ ， $H_2O \leq 0.3\%$ 。

试验田两端设有非试验保护区（面积约为 167 m^2 ）。小区面积为 3.5 \times 8=28 m^2 ，随机区组排列，重复 3 次。小区间用塑料农膜包埂，以减少侧渗、串流，设立相互独立的排灌系统，除按水稻生长需要进行排水烤田外，通过渠灌维持不低于 10 cm 的田面水。低于小区田埂 3 cm 的排水缺口可将遇暴雨而外溢的田面水自动输入排水渠，保持小区稳定水位。

各处理磷肥用过磷酸钙（ P_2O_5 ，90 kg/hm^2 ），钾肥用氯化钾（ K_2O ，144 kg/hm^2 ）。氮肥（纳米碳增效尿素和普通尿素）、磷肥和钾肥均于插秧前 1 d 作基肥施入，施入后，立即用铁齿耙耙入 5 cm 深的土层内。5 月 20 日播种，湿润育秧，6 月 7 日移栽，叶龄为 5 叶 1 心，行株距为 23.3 cm \times 23.3 cm，一穴双株。移栽 3~4 d 后查缺补苗，保证全苗。其它管理同当地水稻高产田。

2009 年在整个水稻生长季有 4 次降雨量在 40 mm 以上的强降雨，其中前 3 次降雨时间分别为 06-07-06-09、06-17-06-20、06-28-06-30，总降雨量分别为：52.4、40.0 和 137.4 mm；在 06-09、06-18、06-29 分生了地表径流，径流量根据径流深度（各小区均为 10.5 cm）以及径流发生面积（各小区面积均为 28 m^2 ）估算，3 次降雨引起的径流量均按 10.5 cm \times 28 m^2 =2.94 m^3 记。第 4 次强降雨发生在 08-13-08-16，此时田面水全氮含量已远远低于安全排放临界值（2 mg/L），其地表径流氮素流失量忽略不计。于分蘖末期进行晒田排水，各小区排水量均按 10.5 cm \times 28 m^2 =2.94 m^3 记。

1.3 测定项目与方法

- 1) 田面水含氮量。参照张志剑^[21]法测水样全氮浓度。
- 2) 叶片 SPAD 值。于分蘖盛期、孕穗初期、乳熟期、

成熟期取样，用 SPAD-502 叶绿素测定仪测定叶片 SPAD 值，每小区测 15 个叶片，所测叶片均为最后一片完全展开叶。SPAD 是 Soil and plant analyzer development 的缩写，即土壤、作物分析仪器开发，通过 SPAD-502 测定植物的 SPAD 值，可了解植物的绿色程度，衡量叶片光合能力的高低。

3) 产量。小区实打测产，脱粒后称湿基质量并测籽粒含水量，根据含水量换算实际产量。

4) 籽粒含水量。采用德国产 Sartorius MA35 型红外水分测定仪测定。

5) 径流流失量、氮肥农学利用率等。按如下公式计算^[21-23]：

氮素径流流失量=流失过程氮素质量浓度 \times 径流量，其中流失过程氮素质量浓度根据各处理田面水氮素浓度拟合方程估算，径流量根据径流深度以及径流发生面积估算。

氮肥农学利用率=(施氮处理产量-不施氮处理产量)/施氮量

6) 数据处理。试验数据用 Excel 和 DPS2000 数据处理系统分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻田面水氮素浓度变化的影响

由图 1 可以看出，施肥后 2 d，田面水全氮浓度迅速升高，且随着施氮量的增加而增加；随着时间的推移，田面水全氮含量迅速下降。图 1 还显示出，纳米碳增效尿素处理与普通尿素处理间比较，自施肥后 2d 至 21 d，田面水全氮含量均表现为 NMUrea<Urea，差异达显著水平；其中施肥后 2、4、7、14 和 21 d，NMUrea 处理全氮浓度分别比 Urea 处理降低 10.0~35.9%、6.0~42.2%、5.7~42.3%、12.7~34.0%、10.1~47.0%。

2.2 田面水全氮浓度变化的拟合模式

田面水氮素质量浓度与时间的量化结果见表 1。从模式类型显示，达到显著与极显著水平的最佳拟合模式均为非直线型，表现为指数递减。根据指数方程估计，纳

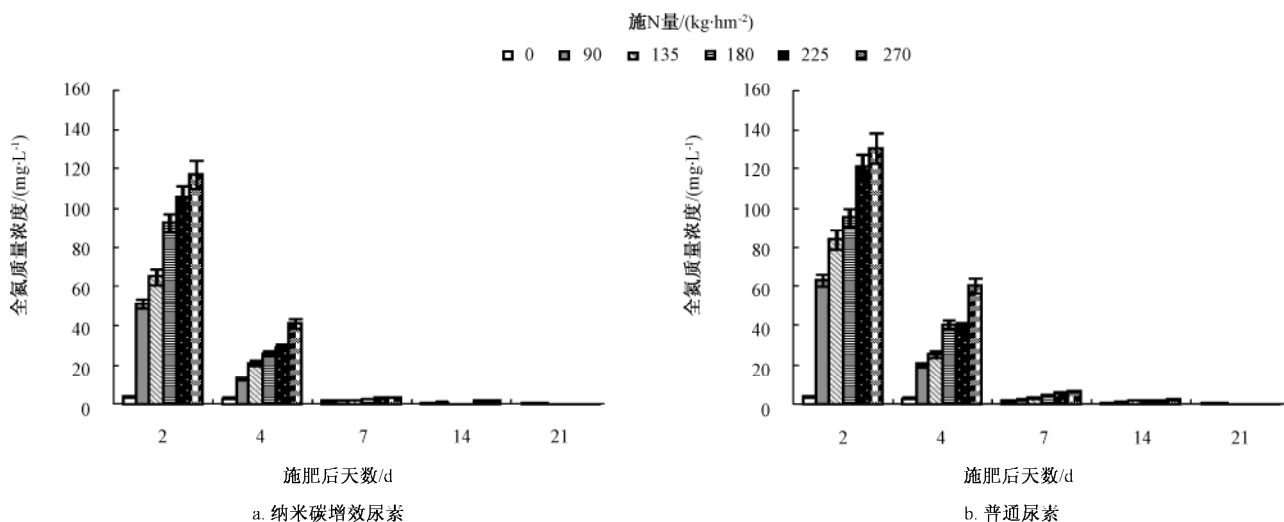


图 1 不同处理对田面水全氮变化动态的影响

Fig.1 Effects of different treatments on dynamic changes of TN concentration

米碳增效尿素处理田面水全氮浓度在稻田中减少 1/2 的时间为 0.9~1.4 d, 普通尿素为 1.4~2.3 d, 即相同施氮量条件下, 田面水全氮浓度在稻田中减少 1/2 的时间, 纳米碳增效尿素比普通尿素缩短 35.7%~39.1%。表明在本试验条件下, 纳米碳增效尿素有利于缩短田面水全氮高值持续期, 降低降雨或排水后地表径流引起氮素流失风险。《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中规定, “农业用水和一般景观用水” V 类水总氮浓度为 2 mg/L^[24]; 《地表水资源质量标准》(SL63-94) 规定导致湖泊和水库重度富营养化的总氮浓度为 1.3 mg/L^[25]。由本研究结果可以得出, 纳米碳增效尿素各施氮量处理田面水全氮浓度在施基肥后 11.5、12.4、13.2、13.7 和 14.2 d 降至 2 mg/L, 施肥后 13.3、14.1、14.9、15.4 和 15.9 d 降至 1.3 mg/L; 普通尿素各施氮量处理在施基肥后 12.5、13.5、14.7、15.2 和 15.7 d, 田面水全氮浓度降至 2 mg/L, 施基肥后 14.2、15.2、16.4、16.9 和 17.3 d 降至 1.3 mg/L。表明在本试验条件下, 纳米碳增效尿素各处理在施基肥后 11.5~15.9 d 内, 普通尿素处理在施基肥后 12.5~17.3 d 内遇雨或

排水, 均亦引起氮素流失、加剧下游水体富营养化; 不同施氮量水平下, 纳米尿素处理与普通尿素处理比较, 其遇雨引起氮素流失期限缩短 1.0、1.1、1.5、1.5、1.4 和 1.3 d。

2.3 降雨和主动排水对不同处理田间氮素流失量的影响

2009 年在整个水稻生长季有 4 次降雨量在 40 mm 以上的强降雨, 其中前 3 次降雨时间分别为 06-07-06-09、06-17-06-20、06-28-06-30, 分别在 06-09、06-18、06-29 分生了地表径流, 并引起氮素流失。第 4 次强降雨发生在 08-13-08-16, 此时田面水全氮含量已远远低于安全排放临界值 (2 mg/L), 其地表径流氮素流失量忽略不计。分析表 2 不同时期降雨引起地表径流流失数据可以得出, 降雨时间越早, 引起氮素流失量越大, 其中不同施氮量条件下, 纳米碳增效尿素与普通尿素处理间比较, 3 次降雨过程其总氮素流失量分别为普通尿素的 74.3%、71.6%、74.3%、71.2%、70.6%, 这与田面水全氮浓度变化一致, 表明施用纳米碳增效尿素可以显著减少降雨引起的氮素径流流失。

除降雨引起的被动排水外, 稻作期还有主动排水, 本试验主动排水在烤田期进行, 烤田排水也引起了一定量氮素流失 (表 2), 其中纳米碳增效尿素处理氮素流失量小于普通尿素处理。

由表 2 同时可以看出, 随施氮量的增加, 总氮素径流流失量逐渐增加, 差异显著, 表明在生产实践中在不降低产量的前提下应适当减少氮肥用量, 以减少氮素径流流失; 纳米碳增效尿素处理与普通尿素处理比较, 其总氮素径流流失量为普通尿素的 70.5%~74.3%, 表明施用纳米碳增效尿素与普通尿素相比, 可显著降低总氮素径流流失量, 这是纳米碳增效尿素氮素利用率提高的基础之一。

表 1 田面水氮素浓度随时间变化的拟合模式

Table 1 The quantitative models for nitrogen concentration changed with time in the field surface water

施 N 量/ (kg·hm ⁻²)	纳米碳增效尿素		尿素	
	拟合模式	相关系数	拟合模式	相关系数
0	$y = 6.116e^{-0.204x}$	0.9952	$y = 13.965e^{-0.163x}$	0.9757
90	$y = 31.978e^{-0.2408x}$	0.8449	$y = 45.086e^{-0.2499x}$	0.859
135	$y = 41.685e^{-0.2451x}$	0.8116	$y = 60.697e^{-0.2535x}$	0.8692
180	$y = 59.535e^{-0.2567x}$	0.8353	$y = 77.13e^{-0.2491x}$	0.8608
225	$y = 67.801e^{-0.2568x}$	0.8352	$y = 93.198e^{-0.2523x}$	0.8848
270	$y = 83.634e^{-0.2622x}$	0.8396	$y = 117.12e^{-0.2597x}$	0.8853

注: 样本数量 n=21。y 为田面水全氮质量浓度, mg/L, x 为施氮后的时间, d。

表 2 不同处理对田间氮素流失量的影响

Table 2 Effects of different treatments on the loss of N in the field

施氮量/ (kg·hm ⁻²)	降水径流氮素流失参数						烤田排水氮素流失参数			总氮素径流流失参数			
	第 1 次降水 N 流失量/ (kg·hm ⁻²)		第 2 次降水 N 流失量/ (kg·hm ⁻²)		第 3 次降水 N 流失量/ (kg·hm ⁻²)		NMUrea /Urea	氮素流失量/ (kg·hm ⁻²)		NMUrea /Urea	氮素流失量/ (kg·hm ⁻²)		NMUrea /Urea
	NMUrea	Urea	NMUrea	Urea	NMUrea	Urea		/%	NMUrea		Urea	/%	
0	2.84		0.45		0.05		-	0.03		-	3.37		-
90	12.82Ee	17.42Ee	1.47e	1.84e	0.10	0.12	74.3	0.05	0.06	83.3	14.44Ee	19.43Ee	74.3
135	16.42Dd	23.12Dd	1.81d	2.36d	0.12	0.15	71.6	0.06	0.07	85.7	18.41Dd	25.69Dd	71.6
180	22.39Cc	29.90Cc	2.22c	3.18c	0.13	0.21	74.3	0.06	0.10	60.0	24.80Cc	33.38Cc	74.3
225	25.49Bb	35.67Bb	2.53b	3.68b	0.15	0.23	71.2	0.07	0.11	63.6	28.23Bb	39.69Bb	71.1
270	30.77Aa	43.52Aa	2.91a	4.20a	0.16	0.24	70.6	0.07	0.11	63.6	33.91Aa	48.07Aa	70.5

注: 同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同。

2.4 不同处理对水稻产量、氮肥利用率的影响

由表 3 可以看出, 随施氮量增加, 籽粒产量呈先增加后降低趋势, 其中施氮量为 225 kg/hm² 时纳米碳增效尿素处理和普通尿素处理均达产量最大值。相同施氮量水平, 纳米碳增效尿素处理与普通尿素处理比较, 施氮量为 90 kg/hm² 时, 产量差异不显著, 施氮量在 135~270 kg/hm² 范围内, 纳米碳增效尿素处理籽粒产量较普通尿

素处理显著提高, 最大提高幅度达 10.2%, 此时施氮量为 225 kg/hm²。表 3 还示出, 每生产 1 kg 籽粒纳米碳增效尿素比普通尿素节氮 0.2%~9.2%。以上表明在本试验条件下, 与普通尿素相比, 纳米碳增效尿素增产潜力更大, 更节氮, 是适用于杂交稻高产节氮安全栽培模式的理想肥料类型。

由表 3 同时可以看出, 氮肥农学利用率随施氮量增

加亦呈逐渐降低趋势，其中施氮量为 90 kg/hm² 时，纳米碳增效尿素处理与普通尿素处理间差异不显著，随施氮量进一步增加，纳米碳增效尿素处理显著大于普通尿素处理，且随施氮量的增加，其氮肥农学利用率提高幅度逐渐增加。

表 3 各处理产量、氮肥利用率的差异

Table 3 Differences of grain yield and N efficiency in different treatments

施 N 量/ (kg·hm ⁻²)	肥料类型	产量/ (kg·hm ⁻²)	增产率/ %	节氮率/ %	氮肥农学 利用率/ (kg·kg ⁻¹)	氮肥农学 利用提高 率/%
0	-	7830.4j	-	-	-	-
90	NMUrea	9643.6i	0.2	0.2	20.1a	1.2
	Urea	9622.0i			19.9a	
135	NMUrea	10332.9e	6.0	5.7	18.5b	30.5
	Urea	9747.5h			14.2e	
180	NMUrea	11009.5b	7.2	6.7	17.7c	30.3
	Urea	10270.5f			13.6f	
225	NMUrea	11546.7a	10.2	9.2	16.5d	40.1
	Urea	10482.7d			11.8g	
270	NMUrea	10880.4c	9.4	8.6	11.3g	44.5
	Urea	9941.7g			7.8h	

注：增产率指相同施氮量条件下纳米碳增效尿素较普通尿素产量提高百分比；接氮率指每生产 1 kg 籽粒纳米碳增效尿素较普通尿素节氮百分比；氮肥农学利用提高率指相同施氮量条件下纳米碳增效尿素较普通尿素氮肥农学利用率提高百分比。

3 讨 论

有研究表明，施氮后面水氮素浓度迅速增加，且随施氮量的增加而增加，但随时间推移田面水全氮浓度迅速下降^[21-23]。进一步研究表明，施肥后 1 d 全氮含量即下降为施肥当天的 25.13%~50.25%，施肥后 4 d 则下降到 10% 以下^[22]。张志剑等也有研究表明，施氮后 7 d 田面水全氮浓度降至施氮后 1 d 的 5.32%~38.58%，并提出施氮后 7 d 内是防止田面水氮素大量流失的关键时期^[21]。本研究在前人研究基础上进行，结果表明，施肥后，不同处理田面水全氮浓度均迅速增加，且随施氮量增加而增加，这与前人研究结果一致。本研究进一步表明，纳米碳增效尿素处理全氮浓度下降趋势与普通尿素一致，但其可在较短时间内达到全氮安全排水临界值，不同施氮量处理其全氮安全排水临界期提前 1.0~1.5 d。表明如在达到安全排水临界值之前遇暴雨而引起被动排水，纳米碳增效尿素处理氮肥流失量将显著降低。根据估算，在本试验条件下，纳米碳增效尿素处理降水引起的氮素径流流失量仅为普通尿素的 70.6%~74.3%，烤田排水引起的氮素径流流失量仅为普通尿素的 60.0%~85.7%，因此施用纳米碳增效尿素可以显著降低总氮径流流失量，为提高稻田氮肥利用率奠定了进出。关于施用纳米碳增效尿素后田面水氮素浓度降低的机理可能与纳米材料具有独特的物理化学性质有关，这尚需要进一步研究。

纳米材料对作物生长具有显著影响。有研究表明，用纳米陶瓷进行豇豆和萝卜浸种，可显著提高发芽势、

发芽率、幼苗鲜重^[26]；提高大豆根系活力和吸水能力，增加体内抗氧化酶活性和植物的抗逆能力^[19]。刘安勋等研究表明，纳米材料可促进水稻种子和幼苗的代谢，使其早发、早生根、多生根，但纳米复合材料对水稻植株的影响在分蘖期最为明显，随着水稻生长时期的推进，纳米材料处理与对照间差异变小^[16]。曾昭华在水稻栽培中使用由南昌纳米高新技术开发公司研制的强的纳米 863 生物助长器浸种，结果表明，早稻增产 9.0%，连晚稻增产 8.3% 以上^[17]。本研究结果则表明，除施氮量为 90 kg/hm² 外，纳米碳增效尿素与普通尿素相比，籽粒产量均显著提高，其中最大提高幅度为 10.2%，平均提高幅度为 8.2%。进一步分析表明，纳米碳增效尿素与普通尿素相比，增产潜力更大，氮肥利用率亦较高，最大产量可达 11 546.7 kg/hm²，比相同施氮量的普通尿素处理高出 1 064 kg/hm²；平均氮肥农学利用率为 16.82 kg/kg，是普通尿素的 1.26 倍；每生产 1 kg 籽粒纳米碳增效尿素比普通尿素节氮 0.2%~9.2%。以上结果给我们启示，本试验所施用的纳米碳增效尿素与普通尿素元素组成、形状、大小等一致，其对产量、肥料利用率等的促进效应完全归因于占肥料比例 0.3% 的纳米碳，这可能与纳米改善了水稻根系周围微环境，使肥料氮更易于被根系交换吸附，进而促进水稻根系对氮素的吸收有关，其生化机制，尚需要进一步研究。

在水稻高产创建实践中，在提高产量、减少氮肥投入的同时，也应兼顾肥料的价格和经济效益。本试验所采用的新型肥料纳米碳增效尿素成本略高于普通尿素，由北京华龙科技肥料有限公司提供的纳米碳成本价为 200 元/kg。若普通尿素纯氮施用量为 225 kg/hm²，则施用等量的纳米碳增效尿素成本提高 293.5 元/hm²；因纳米碳增效尿素肥效高，施 N 量为 225 kg/hm² 条件下，产量比普通尿素高出 1 064 kg/hm²，若稻米的价格按 1 元/kg 记，则施用纳米碳增效尿素每公顷经济效益比普通尿素增加 1 064 元以上，远大于纳米碳的经济投入。因此生产中施用纳米碳增效尿素前景广阔。

4 结 论

1) 施肥后，不同处理田面水全氮浓度均迅速增加，且随施氮量增加而增加；纳米碳增效尿素处理全氮浓度下降趋势与普通尿素一致，但不同施氮量处理全氮安全排水临界期提前 1.0~1.5 d，遇雨或主动排水引起的氮素流失风险降低。

2) 本试验条件下，公顷施氮量为 225 kg 的纳米碳增效尿素处理，最终籽粒产量达 11 546.7 kg/hm²，比普通尿素提高 10.2%，氮肥农学利用率为 16.5 kg/kg，比普通尿素提高 40.1%，总氮素径流流失量为 28.23 kg/hm²，仅占普通尿素氮素径流流失量的 71.1%，是本试验条件下的氮肥运筹的高产、高效、安全模式。

[参 考 文 献]

[1] 刘立均, 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.
Liu Lijun, Sang Dazhi, Liu Cuilian, et al. Effects of real-time and site-specific nitrogen management on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12): 1456—1461. (in Chinese with English abstract)
- [2] 徐国伟, 吴长付, 刘辉, 等. 秸秆还田与氮肥管理对水稻养分吸收的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(7): 191—195.
Xu Gguowei, Wu Changfu, Liu Hui, et al. Effects of straw residue return and nitrogen management on nutrient absorption of rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(7): 191—195. (in Chinese with English abstract)
- [3] Alison J E, Jeffrey A B, William R H, et al. Rice yield and nitrogen utilization efficiency under alternative straw management practices[J]. *Agronomy Journal*, 2000, 92(6): 1096—1103.
- [4] 尹娟, 费良军, 田军仓, 等. 水稻田中氮肥损失研究进展[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(6): 189—191.
Yin Juan, Fei Liangjun, Tian Juncang, et al. Research advance of nitrogen fertilizer losses from paddy field[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(6): 189—191. (in Chinese with English abstract)
- [5] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. *土壤与环境*, 2009, 9(1): 1—6.
Zhu Zhaoliang. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2009, 9(1): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [6] 柏彦超, 倪梅娟, 王娟娟, 等. 水分胁迫对旱作稻产量与养分吸收的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(6): 101—104.
Bai Yanchao, Ni Meijuan, Wang Juanjuan, et al. Effects of water stress on rice yields and nutrients absorption under aerobic condition[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(6): 101—104. (in Chinese with English abstract)
- [7] Fan X L, Zhang J P, Wu P. Water and nitrogen use efficiency of lowland rice in ground covering rice production system in south China[J]. *J. of Plant Nutrition*, 2002, 25(9): 1855—1862.
- [8] Alison J E, Jeffrey A B, James E H, et al. Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in rice following straw incorporation and winter flooding[J]. *Agronomy Journal*, 2001, 93(6): 1346—1354.
- [9] Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO). Statistical databases[EB/OL]. <http://www.fao.org>, 2001-05-16/2009-02-1-20.
- [10] 王光火, 张奇春, 黄昌勇. 提高水稻氮肥利用率/控制氮肥污染新途径—SSNM[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2003, 29(1): 67—70.
Wang Guanghuo, Zhang Qichun, Huang Changyong. SSNM-A new approach to increasing fertilizer N use efficiency and reducing N loss from rice fields[J]. *Journal of Zhejiang University :Agric and Life Sci*, 2003, 29(1):67—70. (in Chinese with English abstract)
- [11] 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): 1059—1103.
Peng Shaobing, Huang Jianliang, Zhong Xuhua, et al. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency in irrigated rice in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(9): 1059—1103. (in Chinese with English abstract)
- [12] 程建平, 曹凑贵, 蔡明历, 等. 不同灌溉方式对水稻产量和水分生产率的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(12): 28—33.
Cheng Jianping, Cao Cougui, Cai Mingli, et al. Effects of different irrigation modes on the yield and water productivity of rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(12): 28—33. (in Chinese with English abstract)
- [13] 周明耀, 赵瑞龙, 顾玉芬, 等. 水肥耦合对水稻地上部分生长与生理性状的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(8): 38—43.
Zhou Mingyao, Zhao Ruilong, Gu Yufen, et al. Effects of water and nitrogen coupling on growth and physiological characteristics of overground part of rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8): 38—43. (in Chinese with English abstract)
- [14] Peng S B, Huang J L, Zhong X H, et al. Challenge and opportunity in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. *Agric. Sci. in China*, 2002, 1(7): 776—785.
- [15] 苏胜奇, 王正尹, 董燕, 等. 环视复合肥条件下覆盖旱作对水稻氮素利用和稻米品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(3): 47—50.
Su Shengqi, Wang Zhengyin, Dong Yan, et al. Effects of slow-release compound fertilizer and mulched dry-farming on nitrogen use efficiency and quality of rice[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(3): 47—50. (in Chinese with English abstract)
- [16] 刘安勋, 卢其明, 曹玉江, 等. 纳米复合材料对水稻生长发育的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(2): 344—347.
Liu Anxun, Lu Qiming, Cao Yujiang, et al. Effects of composite nanomaterials on rice growth[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(2): 344—347. (in Chinese with English abstract)
- [17] 曾昭华. 强的纳米 863 生物助长器在水稻上的应用[J]. *中国水稻*, 2002(1): 29.
Zeng Shaohua. The application of growing actuator of nano materials on rice[J]. *China Rice*, 2002(1): 29. (in Chinese with English abstract)
- [18] 刘秀梅, 张夫道, 张树清, 等. 纳米碳酸钙在花生上的施用效果研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 385—389.
Liu Xiumei, Zhang Fudao, Zhang Shuqing, et al. Responses of peanut to nano-calcium carbonate[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(3): 385—389. (in Chinese with English abstract)

- [19] 陆长梅, 张超英, 温俊强, 等. 纳米材料促进大都萌发生长的影响及其机理研究[J]. 大豆科学, 2002, 21(3): 168—171.
Lu Changmei, Zhang Chaoying, Wen Junqiang, et al. Research of the effect of nanometers materials on germination and growth enhancement of glycine max and its mechanism[J]. Soybean Science, 2002, 21(3): 168—171. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘健, 张阳德, 张志明. 纳米增效肥料对冬小麦产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(35): 15578—15580.
Liu Jian, Zhang Yangde, Zhang Zhiming. Study on application of nanometer biotechnology on the yield and quality of winter wheat[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(35): 15578—15580. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张志剑, 董亮, 朱荫湄. 水稻田面水氮素的动态特征模式表征及排水流失研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(4): 475—480.
Zhang Zhijian, Dong Liang, Zhu Yinmei. The dynamic characteristics and modeling of nitrogen in paddy field surface water and nitrogen loss from field drainage[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2001, 21(4): 475—480. (in Chinese with English abstract)
- [22] 邱卫国, 唐浩, 王超. 水稻田面水氮素动态径流流失特性及控制技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(4): 740—744.
Qiu Weiguo, Tang Hao, Wang Chao. Rule of lose of nitrogen fertilizer in the surface water of rice fields and the control technology[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(4): 740—744. (in Chinese with English abstract)
- [23] 单峰, 王淑平, 王慧慧, 等. 太湖典型地区水稻田面水氮素时空变异特征研究[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(3): 284—290.
Dan Feng, Wang Shuping, Wang Huihui, et al. Temporal-spatial variability of nitrogen in surface water of paddy field in Taihu region[J]. Journal of Jinlin Agricultural University, 2009, 31(3): 284—290. (in Chinese with English abstract)
- [24] GB3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [25] SL63-94, 地表水资源质量标准[S].
- [26] 陈学军, 万新建, 方荣. 纳米 863 功能陶瓷器在豇豆和萝卜上的浸种效应[J]. 江西农业科技, 2000, (6): 34.
Chen Xuejun, Wan Xinjian, Fang Rong. The effects of growing actuator of nano materials on seed soaking in cowpea and radish[J]. Jiangxi Agricultural Science and Technology, 2000, (6): 34. (in Chinese with English abstract)
- [27] 张凤翔, 周明耀, 周春林, 等. 水肥耦合对水稻根系形态与活力的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 197—200.
Zhang Fengxiang, Zhou Mingyao, Zhou Chunlin, et al. Effects of water and fertilizer coupling on root morphological characteristics and activities of rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(5): 197—200. (in Chinese with English abstract)

Effects of NMUrea on nitrogen runoff losses of surface water and nitrogen fertilizer efficiency in paddy feild

Wang Xiaoyan^{1,2}, Wang Yi^{1,2}, Tian Xiaohai^{1,2}, Ma Guohui^{2,3*}

(1. Engineering Research Center of Wetland Agriculture in the Middle Reaches of the Yangtze River, Ministry of Education Jingzhou, 434025, China; 2. Agronomy Colledge, Yangtze University, Jingzhou, 434025, China; 3. China National Hybrid Rice Research and Development Center, Changsha, 410125, China)

Abstract: To elucidate the effects of NMUrea on the N runoff losses characteristics and nitrogen use efficiency, the experiment was carried out and the nitrogen concentration, nitrogen runoff losses character, and grain yield were studied, with common Urea as control(CK). The results showed that total nitrogen (TN) concentration increased sharply after nitrogen fertilizer application. At the same nitrogen rate, the TN concentration in the NMUrea treatments decreased significantly faster than those of the normal Urea. Based on a logarithm model, the safe drainage time was 11.5-15.9 d after nitrogen application for NMUrea and 12.5-17.3 d after nitrogen application for Urea, respectively. The amount of N loss from drainage increased with the increase of nitrogen fertilizer rate. At the same N fertilizer rate, N loss in NMUrea treatment was less than that in the Urea treatment, and that was 70.6%-74.3% of Urea's. It was also indicated that grain yield and N agronomic efficiency of NMUrea treatment were higher than those of Urea treatments. On the above basis, it was concluded that NMUrea treatments gained higher grain yield and N agronomic efficiency, and lower N loss compared with the normal Urea treatments. The treatment with 225 kg/hm² NMUrea-N was recommended as the best rate for achieving high-yield, high-N efficiency and safe cultivation technique in hybrid rice.

Key words: Urea, Nano structured materials, nitrogen, fertilizers, runoff, Nano-carbon, Nitrogen runoff losses, nitrogen fertilizer use efficiency, rice