

不同氮肥施用对双季稻产量及氮肥利用率的影响^①

周 亮, 荣湘民*, 谢桂先, 王心星, 谢 勇

(湖南农业大学资源环境学院, 土壤肥料资源高效利用国家工程实验室, 农田污染控制与农业资源利用湖南省重点实验室, 植物营养湖南省普通高等学校重点实验室, 长沙 410128)

摘 要: 通过田间小区试验, 研究了不同氮肥处理对双季稻产量及氮肥利用率影响。结果表明: 增施氮肥处理比不施氮肥处理双季稻的有效穗数、每穗粒数均显著提高, 早稻产量增产 77.0%~127.1%, 晚稻增加 62.9%~108.0%; 早稻中等量控释氮肥处理较普通尿素处理水稻单位有效穗数、每穗粒数、农学利用率均增加, 同时增产 5.0%, 氮肥利用率提高 18.0 个百分点; 减量控释氮肥处理与普通尿素处理比有效穗数、每穗粒数、产量、氮肥农学利用率有所下降但氮肥利用率提高 18.6~20.2 个百分点, 晚稻中各控释氮肥处理较普通尿素处理每穗粒数增加、产量增产, 增产率为 9.7%~27.7%, 氮肥利用率提高 28~31.1 个百分点, 且农学利用率显著提高; 不同用量控释氮肥处理间早稻有效穗数、产量随氮肥用量增加而增加, 晚稻中当施氮水平 $\leq 162 \text{ kg/hm}^2$ (按纯氮算) 时, 水稻单位有效穗、每穗粒数、结实率、产量随氮肥增加而增加; 当施氮水平 $> 162 \text{ kg/hm}^2$ (按纯氮算) 时, 随施氮量增加而减少。

关键词: 氮肥; 水稻产量; 氮肥利用率; 氮肥农学利用率

中图分类号: S145; S511

施用氮肥是促进水稻生长发育、提高产量的重要手段之一。在一定施氮范围内, 水稻的产量随供氮水平的提高而增加, 氮素积累总量和利用效率随着氮素水平的提高而增加, 但是, 超过一定的氮肥水平以后, 水稻的产量和氮素利用效率将不再提高^[1-3]。我国施肥过量的现象普遍存在, 单季水稻氮肥平均用量 180 kg/hm^2 , 比世界氮肥单位面积平均用量高 75% 左右^[4]。氮肥过量盲目的施用不仅导致氮肥利用率低, 还直接或间接地加重了地表水富营养化、地下水 and 蔬菜中 NO_3^- 含量超标、大气中 N_2O 排放量增加等一系列的环境污染问题^[5-6]。

提高氮肥利用率、减少氮肥损失的途径和方法较多, 其中缓控释肥能根据作物生长需求缓慢或控制养分释放速度, 与作物养分吸收具有较高同步性, 已成为国内外研究热点, 并已证明缓控释氮肥能够提高氮肥利用率, 减少氮肥的施用量^[7]。但我国缓控释肥料产业起步较晚, 研究主要集中在高效益的经济作物上, 在大田作物上缺乏系统的研究。因此, 本试验研究了不同氮肥用量在水稻上的应用效果, 旨在筛选出控释氮肥合理用量, 为控释氮肥在水稻上的应用推广提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2013 年在湖南浏阳市永和镇进行。供试土壤为河流冲积物发育的潮沙泥, 其基本农化性状为: 有机质、全氮、全磷、全钾的含量分别为 13.97、3.21、0.52、13.51 g/kg, 碱解氮、有效磷、速效钾的含量分别为 46.29、12.79、150.14 mg/kg, pH 5.70。

供试水稻品种: 早稻, 陵两优 268; 晚稻, HU159。

供试肥料: 氮肥为普通尿素(含 N 46%)、树脂包膜尿素(含 N 42%, 控释期 3 个月); 磷肥为过磷酸钙(含 P_2O_5 12%); 钾肥为氯化钾(含 K_2O 60%)。

1.2 试验设计

采用田间小区试验, 小区面积 20 m^2 ($4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$), 各小区间田埂隔开, 设 6 个处理: 不施氮肥(CK); 普通尿素(Urea); 等氮量控释氮肥(CRNF₁); 控释氮肥减氮 10%(CRNF₂); 控释氮肥减氮 20%(CRNF₃); 控释氮肥减氮 30%(CRNF₄)。每处理重复 3 次, 随机区组排列。早稻小区种植密度株行距为 $16.7 \text{ cm} \times 20.0 \text{ cm}$, 每穴 2~3 苗; 各处理氮用量(按纯 N 计)分别为: 0、150、150、135、120、105 kg/hm^2 ;

基金项目: 国家科技支撑计划课题项目(2012BAD15B04)和省教育厅平台项目(11K034)资助。

* 通讯作者(rongxm2005@126.com)

作者简介: 周亮(1987—), 男, 湖南怀化人, 硕士研究生, 主要研究方向为养分资源高效安全利用研究。E-mail: 695799089@qq.com

所有处理 P_2O_5 、 K_2O 用量相同,分别为 72、90 kg/hm²。晚稻小区种植密度株行距为 20 cm × 20 cm,每穴 2 ~ 3 苗;各处理氮用量(按纯 N 计)分别为 :0、180、180、162、144、126 kg/hm²;所有处理 P_2O_5 、 K_2O 用量相同,分别为 60、105 kg/hm²。普通尿素处理施氮量为当地常规施氮水平。

施肥处理所有磷肥作基肥一次性施入,氮肥、钾肥 60% 作基肥,40% 作蘖肥。早稻于 5 月 7 日施基肥移栽,5 月 21 日追肥,7 月 19 日收获;晚稻于 7 月 24 日施基肥移栽,8 月 1 日追肥,10 月 23 日收获。整个生育期内常规田间管理。

1.3 测定项目及方法

收获期植株养分测定 :每小区取 5 兜具代表性水稻样,105℃ 杀青 30 min,75℃ 烘干,然后采用凯氏定氮法测定植株氮含量。

考种与计产 :水稻收获时单打单收按小区计产量(稻谷、稻草产量)。水稻收获前取 5 兜水稻作为考种样品,考查株高、穗长、千粒重等。

1.4 数据分析方法

数据采用 DPS 和 Microsoft Excel 2003 软件进行处理分析,处理间差异显著性分析采用 LSD 检验法。收获指数(%) = 子粒产量/地上部生物量 × 100,氮肥

农学效率(kg/kg) = (施氮区产量-对照区产量)/施氮量,氮肥回收效率(%) = (施氮区地上部吸氮量-对照区地上部吸氮量)/施氮量 × 100。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥施用对双季稻产量构成因素及产量的影响

2.1.1 不同氮肥施用对双季稻产量构成因素的影响

水稻产量的构成因素即有效穗数、每穗总粒数、结实率和千粒重,与产量关系最为直接的是有效穗数、每穗总粒数,而千粒重一般较稳定,对产量影响较小^[8]。

从表 1 可知,增施氮肥可以增加双季稻的单位有效穗数。早稻中各增施氮肥处理单位有效穗数大于不施氮肥处理,且处理 Urea、CRNF₁、CRNF₂ 与 CK 处理比达到显著差异水平;晚稻中各增施氮肥处理单位有效穗数与不施氮肥处理比均差异显著。双季稻中普通尿素处理与控释氮肥处理间、各控释氮肥处理间单位有效穗数均无显著差异。早稻各施氮肥处理单位有效穗数大小顺序为:CRNF₁>Urea>CRNF₂>CRNF₃>CRNF₄;晚稻为:CRNF₂>CRNF₁>CRNF₃>Urea>CRNF₄。这表明控释氮肥适当减量不会显著影响双季稻的单位有效穗数。

表 1 不同氮肥施用对双季稻产量构成因素的影响
Table 1 Effects of different nitrogen fertilizers on yield components of rice

稻季	处理	每穴有效穗数	每穗粒数	结实率(%)	千粒重(g)
早稻	CK	8.6 b	60.74 b	84.56 a	24.16 a
	Urea	11.3 a	81.05 a	85.09 a	23.38 b
	CRNF ₁	11.4 a	83.23 a	87.02 a	24.53 a
	CRNF ₂	10.9 a	79.05 a	86.28 a	24.38 a
	CRNF ₃	10.4 ab	79.89 a	87.80 a	24.16 a
	CRNF ₄	9.5 ab	77.79 a	84.29 a	24.15 a
晚稻	CK	8.53 b	65.74 c	91.54 a	26.22 a
	Urea	13.33 a	78.03 b	91.86 a	26.90 a
	CRNF ₁	13.60 a	86.11 ab	91.28 a	26.44 a
	CRNF ₂	13.67 a	91.44 a	91.68 a	26.51 a
	CRNF ₃	13.40 a	85.91 ab	91.49 a	26.31 a
	CRNF ₄	13.20 a	84.08 ab	90.33 a	25.96 a

注:表中每列数据小写字母不同表示同一稻季不同处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平,下表同。

氮肥的施用同样能增加双季稻的每穗粒数,与不施氮肥处理相比,增施氮肥处理双季稻的每穗实粒数均显著大于不施氮肥处理。早稻中普通尿素处理与控释氮肥处理间、各控释氮肥处理间的每穗粒数差异不显著,大小顺序为:CRNF₁>Urea>CRNF₃>CRNF₂>CRNF₄;晚稻中除 CRNF₂ 处理外其他各施氮肥处理的每穗粒数差异不显著,其大小顺序为 CRNF₁ >

CRNF₃>CRNF₄>Urea。

氮肥的施用对双季稻的结实率与千粒重(除早稻中 Urea 处理)均无明显影响。说明增施氮肥通过提高水稻单位有效穗数和每穗粒数来增加水稻产量。

2.1.2 不同氮肥施用对双季稻产量的影响 氮肥施用是促进作物生长发育提高产量的重要措施。从

表 2 中可以看出，增施氮肥处理双季稻产量显著大于不施氮肥处理，早稻中施用氮肥比不施氮肥增产 77.0%~127.1%，晚稻增产 62.9%~108.0%。早稻中普通尿素处理与控释氮肥处理比，普通尿素处理与控释氮肥处理 CRNF₁、CRNF₂ 间差异不显著，三者大小顺序为：CRNF₁>Urea>CRNF₂，CRNF₁ 比 Urea 增产 5.0%，但普通尿素处理产量显著大于控释氮肥 CRNF₃、CRNF₄ 处理。各控释氮肥处理间产量随着施氮量的增加而增加，其中 CRNF₁ 显著大于 CRNF₂、

CRNF₃、CRNF₄，CRNF₂ 显著大于 CRNF₃、CRNF₄，CRNF₃、CRNF₄ 间差异不显著。晚稻中各控释氮肥处理产量均大于普通尿素处理，增产 9.7%~27.7%，且除 CRNF₄ 外均达到显著差异水平。各控释肥处理间比较可发现，当施氮水平≤162 kg/hm²(按纯 N 算)时，水稻产量随氮肥增加而增加；当施氮水平>162 kg/hm²(按纯 N 算)时，水稻产量随施氮量增加而减少。方差分析结果表明，CRNF₂ 显著大于 CRNF₄；其他各控释氮肥处理间差异不显著。

表 2 不同氮肥施用对双季稻产量的影响
Table 2 Effects of different nitrogen fertilizers on yield of rice

稻季	处理	产量 (kg/hm ²)	增产率(%)		地上部生物量 (kg/hm ²)	收获指数 (%)
			比 CK 增产	比 Urea 增产		
早稻	CK	2 568.7 d	—	—	5 662.3 e	45.7 b
	Urea	5 559.0 ab	116.4	—	10 919.2 ab	51.0 a
	CRNF ₁	5 834.2 a	127.1	5.0	11 644.7 a	50.5 ab
	CRNF ₂	5 249.6 b	104.4	-5.6	10 520.2 bc	50.5 ab
	CRNF ₃	4 707.3 c	83.3	-15.3	9 829.0 cd	48.3 ab
	CRNF ₄	4 547.8 c	77.0	-18.2	9 371.6 d	48.8 ab
晚稻	CK	3 351.6 d	—	—	6 019.4 d	55.7 a
	Urea	5 459.3 c	62.9	—	9 958.2 c	54.8 a
	CRNF ₁	6 855.1 ab	104.5	25.6	12 416.3 a	55.2 a
	CRNF ₂	6 972.8 a	108.0	27.7	12 153.2 ab	57.4 a
	CRNF ₃	6 546.0 ab	95.3	19.9	11 462.1 ab	57.1 a
	CRNF ₄	5 987.7 bc	78.7	9.7	10 969.5 bc	54.6 a

水稻收获指数是指籽粒产量占地上部总产量的百分比，因此，影响穗粒重、生物产量及物质分配的因素均与之密切相关^[9]。表 2 中，早稻季普通尿素处理的收获指数最大，且除不施氮肥处理外差异不显著，其大小顺序为：Urea>CRNF₁>CRNF₂>CRNF₄>CRNF₃>CK。晚稻季中 CRNF₂ 处理最大且各处理差异不显著，大小顺序为：CRNF₂>CRNF₃>CK>CRNF₁>Urea>CRNF₄。这可能是由于早稻中降雨量大、施肥量小，普通尿素处理养分流失相对较多，导致水稻茎蘖数少、长势差，地上部分生物量小；而控释氮肥可缓释或控释养分，养分流失相对较少，水稻茎蘖数多、长势好，地上部分生物量大。晚稻中降雨少、施肥量大，普通尿素处理和等量控释氮肥处理养分供应相对较足，增加了晚稻营养生长，使晚稻收获指数下降。

2.2 不同氮肥施用对双季稻氮肥利用率的影响

表 3 比较了不同氮肥施用对双季稻氮肥利用率和农学利用率的影响，可以发现早稻中控释氮肥处理的氮肥利用率比普通尿素处理高 18~20.2 个百分点，晚稻高 28~31.1 个百分点，且早晚稻中均达到显著差异水平。双季稻控释氮肥处理间氮肥利用率随氮肥

用量增加而减少，但未达显著差异水平。早稻季中普通尿素处理农学利用率小于等氮量的控释氮肥处理，但大于减氮控释肥处理，方差分析均未达到显著水平。控释氮肥处理间除 CRNF₃ 外氮肥农学利用率随氮肥用量增加而增加，且 CRNF₁ 处理显著大于 CRNF₃、CRNF₄，CRNF₂、CRNF₃、CRNF₄ 间差异不显著。晚稻季中普通尿素处理农学利用率显著小于各控释氮肥处理；各控释氮肥处理间呈单峰变化，当氮肥施用量≤162 kg/hm²(按纯 N 算)时，水稻农学利用率随氮肥增加而增加；当施氮水平>162 kg/hm²(按纯 N 算)时，水稻农学利用率随施氮量增加而减少。方差分析结果表明，控释氮肥处理间农学利用率差异不显著。

3 结论与讨论

研究表明：在一定施氮范围内，水稻的产量随施氮水平的提高而增加，但是，超过一定的氮肥水平以后，氮肥的奢侈施用反而会促进水稻无效分蘖增加，降低单位有效穗数，同时造成水稻的营养生长过剩而抑制了水稻生殖生长，导致水稻每穗粒数和结实

表 3 不同氮肥施用对双季稻氮肥利用率的影响
Table 3 Effects of different nitrogen fertilizers on nitrogen use efficiencies of rice

稻季	处理	施纯氮量 (kg/hm ²)	地上部吸氮量 (kg/hm ²)	氮肥利用率 (%)	氮肥农学利用率 (kg/kg)
早稻	CK	0	41.3 d	—	—
	Urea	150	87.2 c	30.6 b	19.9 ab
	CRNF ₁	150	114.2 a	48.6 a	21.8 a
	CRNF ₂	135	107.8 ab	49.2 a	19.9 ab
	CRNF ₃	120	100.8 abc	49.5 a	17.8 b
	CRNF ₄	105	94.6 bc	50.8 a	18.8 b
晚稻	CK	0	44.6 d	—	—
	Urea	180	81.2 c	20.3 b	11.7 b
	CRNF ₁	180	131.5 a	48.3 a	19.5 a
	CRNF ₂	162	126.0 a	50.2 a	22.4 a
	CRNF ₃	144	117.9 ab	50.9 a	22.2 a
	CRNF ₄	126	109.4 b	51.4 a	20.9 a

率下降最终使得水稻的产量下降。本试验中,施氮肥处理双季稻有效穗数、每穗粒数、产量均显著大于不施氮肥处理,早稻增产幅度为 77.0%~127.1%,晚稻为 62.9%~108.0%。不同用量控释氮肥处理间早稻有效穗数、产量随氮肥用量增加而增加,晚稻中当施氮水平≤162 kg/hm²(按纯 N 算)时,水稻单位有效穗、每穗粒数、结实率、产量随氮肥增加而增加;当施氮水平>162 kg/hm²(按纯 N 算)时,随施氮量增加而减少。这与韦正宝^[10]、龙继锐等^[11]研究结果相似。

氮肥利用率是评价作物对氮肥吸收的一个重要指标,反映作物对土壤中氮肥的回收利用效果;而氮肥农学利用率是单位施肥量对作物子粒产量增加的反映,是农业生产中最关心的经济指标之一。因此,将氮肥利用率与氮肥农学利用率一起考虑能较准确地反映出氮肥在作物体内吸收、利用状况^[12]。与普通尿素比,控释氮肥能缓慢或控制养分释放速度,且与作物生长同步,提高养分利用率增加作物产量。陈贤友等^[13]研究了包膜尿素和普通尿素不同掺混比例对水稻产量与氮肥利用率的影响结果表明,与普通尿素处理相比,等氮量下包膜尿素、70% 包膜尿素 + 30% 普通尿素和 50% 包膜尿素 + 50% 普通尿素处理分别增产 17.75%、10.49% 和 7.96%;氮肥利用率分别提高 18.73、14.33 和 9.15 个百分点;氮肥农学利用率也有显著增加。徐明岗等^[14]试验表明,与普通尿素处理相比,等量控释氮肥处理早晚稻产量分别增加 3.6% 和 9.3%,氮肥利用率提高 29.9 和 10.4 个百分点。本试验结果表明,早稻中等量控释氮肥处理较普通尿素处理水稻单位有效穗数、每穗粒数均增加,同时增产 5.0%、氮肥利用率提高 18.0 个百分点;

减量控释氮肥处理与普通尿素处理比有效穗数、每穗粒数、产量、氮肥农学利用率有所下降,但氮肥利用提高 18.6~20.2 个百分点;晚稻中各控释氮肥处理较普通尿素处理每穗粒数增加、产量增产,增产率为 9.7%~27.7%,氮肥利用率提高 28~31.1 个百分点,且氮肥农学利用率显著提高。

参考文献:

[1] 刘立军,王志琴,桑大志,杨建昌. 氮肥运筹对水稻产量及稻米品质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2002, 22(3): 46-50

[2] 徐春梅,周昌南,郑根深,王丹英,胡培松,章秀福. 施氮量和栽培密度对超级稻中嘉早 17 物质生产特性的影响[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(4): 502-508

[3] 傅跃进,邢曼平,滕新春,饶国发. 密度和氮肥水平对杂交水稻甬优 15 产量及经济性状的影响[J]. 浙江农业科学, 2012(1): 13-15

[4] 彭少病,黄见良,钟旭华,杨建昌,王光火,邹应斌,张福锁,朱庆森, Roland BCW. 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

[5] 王光火,张奇春,黄昌勇. 提高水稻氮肥利用率、控制氮肥污染的新途径-SSNM[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(1): 67-70

[6] 李庆逵,朱兆良,于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1997: 13-51

[7] 孙锡发,涂仕华,秦鱼生,冯文强,廖鸣兰,喻华. 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

[8] 湘鄂赣桂琼粤六省农业中专教材编审委员会. 作物栽培[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 30-53

[9] 何秀英,廖耀平,陈钊明,陈顺佳. 收获指数在水稻高产育种中的作用[J]. 种子, 1999(6): 39-41

- [10] 韦正宝. 不同控释氮肥用量对早稻生长性状及产量的影响[J]. 南方农业学报, 2011, 42(4): 388–390
- [11] 龙继锐, 马国辉, 周静, 宋春芳. 缓释尿素对超级杂交稻 Y 两优 1 号生长发育及氮肥利用率的影响[J]. 杂交水稻, 2007, 22(6): 48–51
- [12] 李方敏, 樊小林, 陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 494–500
- [13] 陈贤友, 吴良欢, 韩科峰, 李金先, 应金耀. 包膜尿素和普通尿素不同掺混比例对水稻产量与氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 918–923
- [14] 徐明岗, 李菊梅, 李冬初, 丛日环, 秦道珠, 申华平. 控释氮肥对双季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): 1 010–1 015

Effects of Different Nitrogen Fertilizers on Rice Yield and Nitrogen Use Efficiency

ZHOU Liang, RONG Xiang-min^{*}, XIE Gui-xian, WANG Xin-xing, XIE Yong

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, National Engineering Laboratory of Resources Efficient Utilization on Soil and Fertilizer, Hunan Provincial Key Laboratory of Farmland Pollution Control and Agricultural Resources Use, Hunan Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition in Common University, Changsha 410128, China)

Abstract: Field plot experiment was conducted to study the effects of different nitrogen fertilizers on rice yield and nitrogen use efficiency in this paper. The results showed that compared with control treatment, the effective panicles and total grain of double cropping rice were significantly increased and yield of early rice was increased by 77.0% to 127.1%, late rice by 62.9% to 108.0% by supplied nitrogen fertilizer, compared to the common urea, the effective panicles, total grain yield (increased by 5.0%), nitrogen use efficiency (increased by 18.0 percent point) and agronomic nitrogen use efficiency of early rice were increased, under application of the same nitrogen rate of controlled release nitrogen fertilizer; and the effective panicles, total grain yield, and agronomic nitrogen use efficiency were reduced while nitrogen use efficiency was increased by 18.6 to 20.2 percent point, under application of the reduced nitrogen rate of controlled release nitrogen fertilizer; the total grain yield (increased by 9.7% to 27.7%), nitrogen use efficiency (increased by 28 to 31.1 percent point) and agronomic nitrogen use efficiency of late rice were increased, under application of controlled release nitrogen fertilizer. The effective panicles and rice yield increased with the increase of controlled release nitrogen fertilizer application in early rice, while the effective panicles, total grain seed setting rate and rice were increased with the increase of fertilizer dosage below 162 kg/hm² and decreased with the increase of fertilizer dosage above 162 kg/hm².

Key words: Nitrogen fertilizers, Rice yield, Nitrogen use efficiency, Agronomic nitrogen use efficiency