

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2024.01.004

陈贵, 纪涵博, 鲁晨妮, 等. 缓控释肥配施脲铵运筹对水稻产量、氮素利用效率和土壤养分的影响. 土壤, 2024, 56(1): 28–34.

缓控释肥配施脲铵运筹对水稻产量、氮素利用效率和土壤养分的影响^①

陈 贵¹, 纪涵博², 鲁晨妮¹, 徐再萌¹, 朱静娜³, 胡文凌³, 章 斐³, 朱日清^{4*}

(1 浙江省嘉兴市农业科学研究院, 浙江嘉兴 314016; 2 吉林农业大学生命科学学院, 长春 130118; 3 浙江省嘉兴生态环境监测中心, 浙江嘉兴 314000; 4 浙江省嘉兴市秀洲区农业种植业推广总站, 浙江嘉兴 314001)

摘 要: 通过田间试验, 以传统配方肥+尿素一基两追施肥模式(CG)为对照, 研究了以脲甲醛类缓控释肥(NC)和木质素类缓控释肥(MC)为基肥、脲铵为分蘖或穗分化追肥的缓控释肥+脲铵一基一追施肥模式对水稻产量、氮吸收累积、氮素利用效率以及土壤养分的影响。结果表明: 缓控释肥+脲铵一基一蘖施肥模式水稻产量与 CG 处理相比无明显差异, 但脲甲醛类缓控释肥+脲铵(NC-S)和木质素类缓控释肥+脲铵一基一穗(MC-S)处理分别比 CG 处理明显增产 3.96% 和 6.01%, 主要原因为 NC-S 和 MC-S 处理每穗粒数分别比 CG 处理明显增加 16.7% 和 17.6%; 与 CG 处理相比, 脲甲醛类缓控释肥+脲铵(NC-F)和木质素类缓控释肥+脲铵一基一蘖(MC-F)处理成熟期地上部氮累积分别比 CG 处理增加 2.50% 和 5.89%, NC-S 和 MC-S 处理分别比 CG 处理明显增加 10.0% 和 11.6%; NC-S 和 MC-S 处理氮素利用效率(NUE)分别比 CG 处理高 3.96% 和 6.01%。缓控释肥+脲铵一基一追施肥模式增加了水稻氮吸收效率(NupE)和表观氮肥回收效率(ANR), 其中 MC-S 处理的 NupE 明显比 CG 处理高 11.6%, NC-S 和 MC-S 处理的 ANR 分别比 CG 处理明显高 25.4% 和 29.3%。缓控释肥+脲铵一基一追施肥模式土壤碱解氮含量明显比 CG 处理增加 6.58%~10.7%, 其中, 一基一穗施肥模式增加比例更大; 另外, 土壤有机质含量比 CG 处理增加 1.11%~7.56%。由此可见, 缓控释肥+脲铵一基一穗施肥模式更有利于提高水稻产量和氮素利用效率, 增加土壤肥力。

关键词: 水稻; 缓控释肥; 脲铵; 追肥时期; 氮素利用效率; 土壤养分

中图分类号: S14-33; S147.3; S158.3 文献标志码: A

Effects of Controlled-release Fertilizers and Ammonium Urea Managements on Rice Yields, Nitrogen Use Efficiencies and Soil Nutrients

CHEN Gui¹, JI Hanbo², LU Chenni¹, XU Zaimeng¹, ZHU Jingna³, HU Wenling³, ZHANG Fei³, ZHU Riqing^{4*}

(1 *Jiaxing Academy of Agricultural Science, Jiaxing, Zhejiang 314016, China*; 2 *College of Life Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China*; 3 *Jiaxing Ecology and Environment Bureau, Jiaxing, Zhejiang 314000, China*; 4 *Agricultural Technical Station of Jiaxing Xiuzhou District, Jiaxing, Zhejiang 314001, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to study rice yields, characteristics of N use efficiency and soil nutrients under controlled-release fertilizers (as urea formaldehyde-based one (NC) and lignin-based one (MC)) as basal fertilizer and ammonium urea as topdressing, which were contrasted by traditional formula fertilizer as basal fertilizer and urea as two topdressing (abbreviated as CG). The results showed that the treatments of controlled-release fertilizers as basal fertilizer and ammonium urea as tillering topdressing had no significant effect on rice yield compared to CG. However, compared to CG, NC and MC with basal fertilizers and ammonium urea as panicle fertilizer (abbreviated as NC-S and MC-S, respectively) significantly increased yield by 3.96% and 6.01%, respectively, which should be attributed to 16.7% and 17.6% respectively higher than CG in spikelet number per panicle, meanwhile, they significantly increased nitrogen accumulation in above-ground parts of rice by 10.0% and 11.6%. Compared to CG, NC and MC as basal fertilizers and ammonium urea as tillering fertilizer (abbreviated as NC-F and MC-F, respectively) increased nitrogen accumulation by 2.50% and 5.89%, respectively, meanwhile, they increased nitrogen use

①基金项目: 浙江省“尖兵”领雁”研发攻关计划项目(2022C02035), 浙江省自然科学基金项目(LTGN23D010001)和嘉兴市科技计划项目(2022AZ10007)资助。

* 通讯作者(zdyutou@163.com)

作者简介: 陈贵(1982—), 男, 山西运城人, 博士, 副研究员, 主要从事水稻氮素营养及生态环境研究。E-mail: chenzhao2004@163.com

efficiencies (NUE) by 3.96% and 6.01%, respectively. The treatments of controlled-release fertilizers as basal fertilizer and ammonium urea as topdressing enhanced both nitrogen uptake efficiency (NupE) and apparent nitrogen recovery (ANR), of which MC-S significantly increased NupE by 11.6% than CG, NC-S and MC-S significantly increased ANR by 25.4% and 29.3% than CG, respectively. The treatments of controlled-release fertilizers as basal fertilizer and ammonium urea as topdressing significantly enhanced soil alkali hydrolyzable nitrogen by 6.58%–10.7% compared to CG, of which the treatments with ammonium urea as panicle fertilizer showed better effect, meanwhile, organic matter contents were found 1.11%–7.56% higher than CG. Therefore, controlled-release fertilizers as basal fertilizer and ammonium urea as panicle fertilizer is more conducive to improve rice yield and characteristics of nitrogen use efficiency, and increase soil fertility.

Key words: Rice; Controlled-release fertilizer; Ammonium urea; Topdressing period; Nitrogen use efficiency; Soil fertility

水稻是我国第二大粮食作物,种植面积约占粮食作物总种植面积的 25.7%,其稳产增产是保障我国粮食安全、社会稳定的根基,施肥是保障水稻高产稳产的关键^[1]。为了达到水稻稳产高产的目的,传统肥料如普通复合肥、配方肥和尿素的施肥模式通常为—基三追,甚至更多,大大增加了施肥次数,同时损失大量氮素进入环境^[2-3]。随着人们对生态环境的日益重视,以及劳动力成本的逐年升高,绿色生态高效水稻施肥技术受到广泛关注。与传统肥料相比,新型肥料缓控释肥具有养分释放相对缓慢、利于作物对养分吸收、能明显减少施肥次数和节肥省工等特点^[4-5]。另外,脲铵作为一种新型氮素肥料,是由铵态氮和酰胺态氮按照一定比例复合造粒而成,兼具速效性和长效性特性^[6],这类新型肥料正成为科学研究和生产实践的热点。

前人围绕缓控释肥在水稻种植中的应用开展了较多研究,如针对不同类型缓控释肥肥效,缓控释肥替代传统化学肥料的应用效果,缓控释肥的减量和减施次数肥效,以及缓控释肥的环境效应等^[5,7-9],其中针对缓控释肥减少施肥次数是研究的热点之一。缓控释肥—基—追施肥模式是研究和应用中普遍关注的焦点,这可能与一部分研究结论或应用效果即水稻整个生育期缓控释肥和尿素—基—追对水稻的增产效果优于一次性基施缓控释肥效果^[10-12]有关,导致这种结论的主要原因为部分缓释肥料的养分释放特征与水稻实际养分需求并不完全吻合,一次性基施难以保证增产效果^[13]。因此,为了保证水稻中后期养分供应效果,缓控释肥—基—追模式是较为稳妥的施肥模式。然而,在研究和应用中,大部分研究者仅将缓控释肥—基—追模式中的追肥时期设置为分蘖期,忽视了穗分化期追肥^[12,14-17],而仅有部分研究者将追施时间设定于穗分化期^[18-19],比较分蘖期追施和穗分化期追施的研究报道更是少见。

为了明确缓控释肥—基—追模式不同追肥时期

在水稻种植过程中的应用效果,本研究以两种类型缓控释肥作为基肥,以新型氮素肥料脲铵为分蘖或穗分化追肥,较为全面地研究了不同追肥时期对水稻产量、氮素吸收利用效率以及土壤肥力的影响,以为丰富缓控释肥—基—追模式研究和应用提供理论数据和应用指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于浙江省嘉兴市农业科学研究试验基地,浙江省嘉兴市秀洲区王江泾镇。该地区属典型的亚热带季风气候,年均气温 15~16℃,年均降水量 1 194 mm,年均相对湿度 80%~85%,年均辐射量 462 kJ/cm²。土壤类型为长三角地区典型的水稻土青紫泥,耕层土壤理化性状:全氮 2.08 g/kg,碱解氮 165 mg/kg,有效磷 18.0 mg/kg,速效钾 120 mg/kg,有机质 45.9 g/kg, pH 6.12。

1.2 试验设计

试验共设 6 个处理:①不施氮肥(N0);②配方肥+尿素—基两追(氮素比例为基肥:分蘖肥:穗肥=40%:30%:30%)(CG);③脲甲醛类缓控释肥+脲铵—基—蘖(氮素比例为基肥:分蘖肥=55%:45%,下同)(NC-F);④脲甲醛类缓控释肥+脲铵—基—穗(氮素比例为基肥:穗肥=55%:45%,下同)(NC-S);⑤木质素类缓控释肥+脲铵—基—蘖(MC-F);⑥木质素类缓控释肥+脲铵—基—穗(MC-S)。配方肥由江苏华昌化工股份有限公司生产, N:P₂O₅:K₂O=18:8:18;脲甲醛类缓控释肥由佛山住商肥料有限公司生产, N:P₂O₅:K₂O=22:8:15;木质素类缓控释肥由万里神农有限公司生产, N:P₂O₅:K₂O=18:5:0;尿素由河南心连心化肥有限公司生产,含 N 460 g/kg;脲铵由江苏华昌化工股份有限公司生产,含 N 300 g/kg。除 N0 处理不施氮外,其他各处理氮施用量均为 N 200 kg/hm²。各处理磷钾肥用量保持一致,其中磷用

量为 P_2O_5 48.8 kg/hm², 钾为 K_2O 110 kg/hm²。

供试水稻材料为秀水 14(常规粳稻), 双本插, 栽培密度 30 万丛/hm²。基肥于水稻移栽前施入, 并与耕层土壤混合; 分蘖肥和穗肥以撒施方式施入。磷钾肥均以基肥形式于移栽前与耕层土壤充分混合一次性施入。各处理重复 3 次, 共计 18 个小区, 小区面积 20 m²。

1.3 样品采集与测定

产量: 水稻成熟后, 各小区人工收割, 脱粒测产。

考种: 水稻成熟收获前各区采集 5 穴代表性水稻地上部植株样品, 进行考种。

关键生育期地上部干物质累积: 关键生育期(分蘖期、齐穗期和成熟期)在各区采集 5 穴代表性水稻植株地上部样品, 105 °C 杀青 30 min, 70 °C 烘至恒重, 称量并计算干物质累积量。

关键生育期地上部氮吸收累积: 干物质称量后的各关键生育期水稻植株地上部样品磨细后, 用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮, 消煮液用全自动定氮仪测定氮含量, 计算氮素累积量(植株氮含量与干物质累积量乘积); 磷含量测定采用钼锑抗比色法, 计算磷素累积量(植株磷含量与干物质累积量乘积)。

土壤养分测定: 水稻收获后采用多点法在各试验小区采集耕层(0~20 cm)土壤混合样品, 自然风干后, 去除杂物, 研磨备用。土壤有机质采用 $H_2SO_4-K_2Cr_2O_7$ 外加热法测定; 全氮采用 H_2SO_4 +混合催化剂消解, 凯氏定氮法测定; 碱解氮采用碱解扩散法测定; 有效磷采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提-钼锑抗比色法测定; 速效钾采用 1.0 mol/L NH_4OAc 浸提-火焰光度法测定。

1.4 数据处理

试验数据采用 SAS 数据分析软件包进行处理和

统计分析, 采用 Sigmaplot 软件作图。

部分关键指标计算公式如下:

氮素利用效率(NUE)(kg/kg)=谷物产量/土壤供氮量(耕层土壤有效氮与施氮量之和);

氮吸收效率(NupE)(kg/kg)=水稻植株地上部氮累积总量/土壤供氮量;

干物质氮素生理利用率(PE-bio)(kg/kg)=水稻植株地上部干物质累积总量/水稻植株地上部氮累积总量;

谷物氮素生理利用效率(PE-grain)(kg/kg)=谷物产量/水稻植株地上部氮累积总量;

表观氮肥回收效率(ANR)(%)=(施氮处理水稻植株地上部氮累积总量-无氮处理水稻植株地上部氮累积总量)/施氮量。

2 结果与分析

2.1 水稻产量及其构成因子

由表 1 可见, 缓控释肥+脲铵一基一蘖处理与配方肥+尿素一基两追(CG)处理相比水稻产量无明显差异。缓控释肥+脲铵一基一穗处理明显增加了水稻产量, 其中 NC-S 和 MC-S 处理产量分别比 CG 处理明显增加 3.96% 和 6.01%($P<0.05$)。木质素类缓控释肥+脲铵一基一追处理水稻产量均高于脲甲醛类缓控释肥+脲铵一基一追对应处理。

与 CG 处理相比, NC-F 和 MC-F 处理单位面积穗数分别增加 3.68% 和 3.07%, 千粒重分别明显增加 7.35% 和 6.41%($P<0.05$)。NC-S 和 MC-S 处理每穗粒数与 CG 处理相比分别明显增加 16.7% 和 17.6%($P<0.05$), 与 NC-F 和 MC-F 处理相比分别明显增加 31.4% 和 34.2%($P<0.05$)。与 CG 处理相比, NC-S 和 MC-S 处理结实率分别下降 2.88%($P<0.05$)和 0.55%。

表 1 缓控释肥+脲铵一基一追处理水稻产量及其构成因子

Table 1 Rice yield and its components under controlled-release fertilizer and ammonium urea as basal fertilizer and topdressing, respectively

处理	产量(t/hm ²)	单位面积穗数(10 ⁴ /hm ²)	每穗粒数(粒/穗)	结实率(%)	千粒重(g)
N0	7.88 ± 0.27 d	240 ± 26 c	91.5 ± 6 d	96.7 ± 0.6 a	29.1 ± 0.6 a
CG	9.01 ± 0.11 c	326 ± 3 ab	117.5 ± 1 b	95.8 ± 0.7 a	25.3 ± 0.2 c
NC-F	8.95 ± 0.22 c	338 ± 9 a	104 ± 2 c	96.8 ± 0.3 a	27.1 ± 0.7 b
NC-S	9.37 ± 0.26 ab	321 ± 3 ab	136 ± 6 a	93.1 ± 2.9 b	24.7 ± 0.1 c
MC-F	9.08 ± 0.10 bc	336 ± 10 a	102 ± 3 c	96.6 ± 0.1 a	26.9 ± 0.9 b
MC-S	9.55 ± 0.09 a	310 ± 9 b	138 ± 6 a	95.3 ± 0.4 ab	24.6 ± 0.6 c

注: 表中同列不同小写字母代表处理间差异达显著水平($P<0.05$), 下同。

2.2 水稻关键生育期干物质和氮素累积

与 CG 处理相比, NC-F 和 MC-F 处理水稻分蘖盛期地上部干物质累积量增加, NC-S 和 MC-S

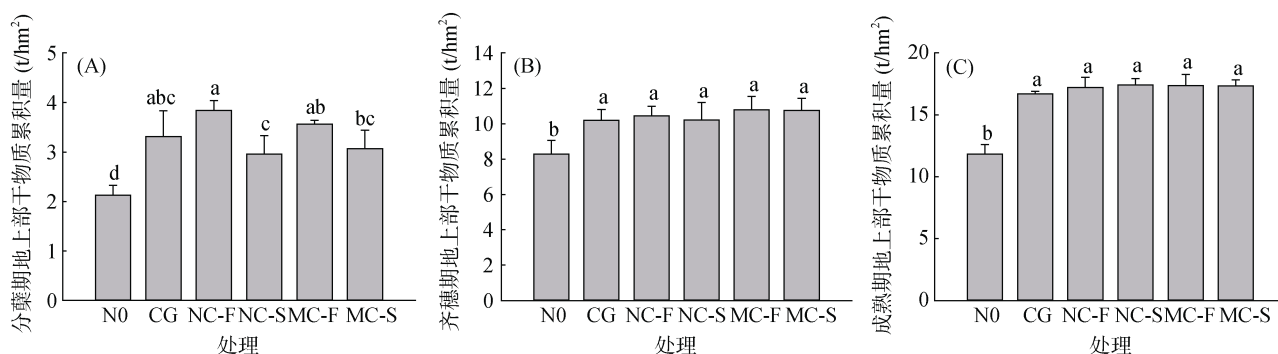
处理则一定程度降低, 但差异均未达显著水平。

NC-F 处理水稻分蘖盛期地上部干物质累积量较 NC-S 处理增加 29.8%($P<0.05$), MC-F 处理较 MC-S

处理增加 16.3%。与 CG 处理相比, 不同追施时期对水稻齐穗期和成熟期地上部干物质累积影响不明显(图 1)。

由图 2 可见, NC-F 和 MC-F 处理水稻分蘖盛期地上部氮素累积量分别比 CG 处理明显增加 28.6% 和 25.6%($P<0.05$), NC-S 和 MC-S 处理较 CG 处理明

显降低 22.2% 和 19.6%($P<0.05$)。齐穗期时, 与 CG 处理相比, 缓控释肥+脲铵一基一追不同追肥时期对水稻地上部氮素累积无明显影响。成熟期时, NC-F 和 MC-F 处理较 CG 处理分别增加 2.50% 和 5.89%, NC-S 和 MC-S 处理较 CG 处理分别明显增加 10.0% 和 11.6%($P<0.05$)。



(柱图上方不同小写字母代表处理间差异达显著水平($P<0.05$), 下同)

图 1 缓控释肥+脲铵一基一追处理水稻地上部干物质累积量

Fig. 1 Biomass of aboveground parts of rice under controlled-release fertilizers and ammonium urea as basal fertilizer and topdressing, respectively

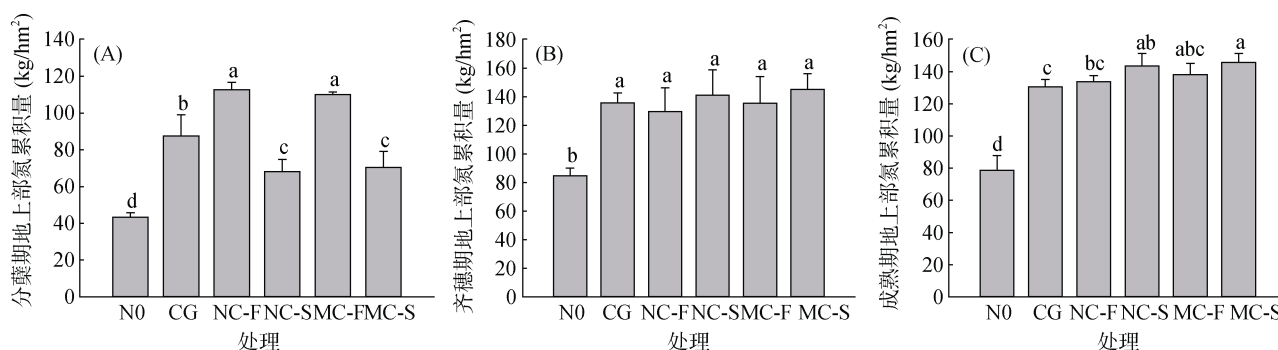


图 2 缓控释肥+脲铵一基一追处理水稻地上部氮累积量

Fig. 2 Nitrogen accumulations of aboveground parts of rice under controlled-release fertilizers and ammonium urea as basal fertilizer and topdressing, respectively

2.3 水稻氮素利用效率

由表 2 可见, NC-F 和 MC-F 处理水稻氮素利用效率(NUE)与 CG 处理相比无明显差异, 但 NC-S 和 MC-S 处理分别较 CG 处理提高 3.96% 和 6.01%, 其中后者差异达显著水平($P<0.05$); 与 CG 处理相比, 缓控释肥+脲铵一基一追处理增加了水稻氮吸收效率(NupE), 其中 MC-S 处理差异达显著水平($P<0.05$), 较 CG 处理增加 11.6%。缓控释肥+脲铵一基一追不同追施时期处理以及 CG 处理间水稻干物质氮生理利用效率(PE-bio)和谷物氮生理利用效率(PE-grain)无明显差异, 但缓控释肥+脲铵一基一追处理水稻表观氮肥回收效率(ANR)高于 CG 处理, 其中 NC-S 和

MC-S 处理分别明显比 CG 处理增加 25.4% 和 29.3% ($P<0.05$)。

2.4 稻田土壤养分

由表 3 可知, 与 CG 处理相比, 缓控释肥+脲铵一基一追处理稻田土壤全氮和有效磷含量无明显差异。缓控释肥+脲铵一基一追处理明显增加土壤碱解氮含量, 增加比例 6.58%~10.7% ($P<0.05$), 其中, 一基一穗处理增加比例更大。缓控释肥+脲铵一基一追处理与 CG 处理在土壤速效钾含量方面无明显差异。与 CG 处理相比, 缓控释肥+脲铵一基一追处理使土壤有机质含量增加 1.11%~7.56%。

表 2 缓控释肥+脲铵一基一追处理水稻氮素利用效率

Table 2 Nitrogen use efficiencies of rice under controlled-release fertilizers and ammonium urea as basal fertilizer and topdressing, respectively

处理	氮素利用效率 NUE (kg/kg)	氮吸收效率 NupE (kg/kg)	干物质氮生理利用效率 PE-bio (kg/kg)	谷物氮生理利用效率 PE-grain (kg/kg)	表观氮肥回收效率 ANR (%)
N0	20.1 ± 0.7 a	0.20 ± 0.02 c	151 ± 9 a	101 ± 14 a	—
CG	15.2 ± 0.2 cd	0.22 ± 0.02 bc	128 ± 3 b	62.4 ± 4.2 b	25.9 ± 5.1 c
NC-F	15.1 ± 0.4 d	0.23 ± 0.02 ab	128 ± 10 b	63.6 ± 4.8 b	27.5 ± 6.6 bc
NC-S	15.8 ± 0.4 bc	0.24 ± 0.03 ab	122 ± 8 b	66.0 ± 6.1 b	32.4 ± 8.7 ab
MC-F	15.4 ± 0.2 cd	0.23 ± 0.02 ab	126 ± 5 b	66.4 ± 4.9 b	29.7 ± 5.6 abc
MC-S	16.1 ± 0.2 b	0.25 ± 0.02 a	120 ± 8 b	67.8 ± 4.9 b	33.4 ± 4.7 a

表 3 缓控释肥+脲铵一基一追处理稻田土壤养分

Table 3 Soil nutrients under controlled-release fertilizers and ammonium urea as basal fertilizer and topdressing, respectively

处理	全氮(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(g/kg)
N0	2.07 ± 0.11 a	171 ± 4 bc	17.8 ± 4.9 a	129 ± 5 a	47.3 ± 3.5 a
CG	2.08 ± 0.01 a	167 ± 5 c	19.4 ± 3.9 a	116 ± 8 b	43.2 ± 0.9 b
NC-F	2.11 ± 0.06 a	178 ± 8 ab	20.4 ± 4.3 a	117 ± 6 ab	44.9 ± 0.7 ab
NC-S	2.29 ± 0.29 a	183 ± 7 ab	17.7 ± 4.0 a	112 ± 9 b	43.7 ± 3.2 ab
MC-F	2.13 ± 0.05 a	181 ± 10 ab	16.5 ± 3.2 a	119 ± 5 ab	45.1 ± 1.4 ab
MC-S	2.10 ± 0.01 a	185 ± 3 a	19.5 ± 0.2 a	118 ± 9 ab	46.5 ± 0.9 ab

3 讨论

本研究表明,与配方肥+尿素一基两追(CG)处理相比,缓控释肥+脲铵一基一追处理能够稳定或增加水稻产量,其中缓控释肥+脲铵一基一穗处理效果好于缓控释肥+一基一穗处理。缓控释肥+脲铵一基一穗处理增加了单位面积穗数和千粒重,但降低了每穗粒数,使水稻产量达到稳产(表 1)。缓控释肥+脲铵一基一穗处理明显增加了水稻分蘖期地上部氮含量和吸收累积量(图 2)。研究表明,分蘖期地上部茎叶氮含量高低是决定水稻分蘖能力强弱的关键因素之一^[20-21],氮含量高促进分蘖,因而增加了单位面积穗数和地上部干物质质量(图 1)。蒋琪等^[22]发现,缓控释肥+尿素一基一穗处理时晚稻有效穗数低于常规施肥处理,主要原因可能是在其研究中缓控释肥+尿素一基一追处理总氮养分投入少于常规施肥处理,土壤有效氮素养分偏低不利于有效分蘖形成所致。另外,范国灿^[14]研究发现,与常规施肥处理相比不同类型缓控释肥+尿素一基一穗处理时水稻有效穗数表现不一,有增有减,这可能是由于不同类型缓控释肥养分释放速率和主要时期不同,从而使土壤有效氮素养分对水稻分蘖的影响不同^[23-24]。

本研究中,缓控释肥+脲铵一基一穗处理降低了每穗粒数(表 1),表明此施肥模式不利于水稻穗分化和大穗形成,这与范国灿^[14]研究所得的缓控释肥+尿素一基一穗处理水稻每穗粒数低于常规施肥处理的

结论一致,但与张旭升等^[8]的研究结果,即缓控释肥+尿素一基一穗处理能增加水稻每穗实粒数相矛盾。主要原因可能是缓控释肥氮施入比例不同所致,本研究中缓控释肥氮基施比例 55%,而张旭升等^[8]研究中为 68.5%,投入比例大,肥效更长久,氮素养分供应更多。方文英等^[17]发现,不同类型缓控释肥+尿素一基一穗处理中氮素基肥不同比例投入时对水稻每穗粒数的影响不一致,说明不同类型缓控释肥、不同氮素基肥比例投入均会影响穗分化期土壤氮素水平,进而影响水稻每穗粒数。胡丹丹等^[25]也得出类似结论,即缓控释肥+尿素一基一穗处理中在缓控释肥氮投入比例为总氮投入量的 73% 时,与统一基两追相比,增加了水稻每穗粒数,但当投入比例为 58% 时,每穗粒数降低,说明缓控释肥氮投入比例是影响水稻穗分化和大穗形成的关键因素之一。除此之外,不同土壤类型也是影响缓控释肥+尿素一基一穗处理是否影响水稻穗分化的因素,如胡丹丹等^[25]在黄壤性稻田和潮沙泥田中所得结论不一致,在黄壤性稻田中明显增加了水稻每穗粒数,但在潮沙泥田中效果不明显。

本研究中,缓控释肥+脲铵一基一穗处理水稻产量明显高于一基一穗处理和配方肥+尿素一基两追处理,其高产的主要原因是每穗粒数增加明显,尽管单位面积穗数和结实率一定程度降低(表 1),说明缓控释肥+脲铵一基一穗处理能极大促进水稻穗发育和大穗形成,这与杨华军等^[19]的研究结果基本一致。研

究表明,施用缓控释肥可明显提高水稻生育中后期的植株吸氮量占总吸氮量的比例,保证水稻产量形成关键时期的养分供应,达到增产增效的目的^[26]。本研究中,在齐穗期时,缓控释肥+脲铵一基一追处理与配方肥+尿素一基两追处理水稻地上部氮素累积无明显差异,但至成熟期时缓控释肥+脲铵一基一追处理均高于配方肥+尿素一基两追处理,其中缓控释肥+脲铵一基一穗处理更加明显(图 2)。聂军等^[27]和吕玉虎^[28]研究发现,施用缓控释肥较常规施肥能有效提高水稻生育后期功能叶中叶绿素含量与光合速率,延长水稻生育后期光合功能,延缓叶片衰老,从而提高水稻产量。施用缓控释肥使水稻生育后期叶片中的蛋白水解酶活性得到提高,有利于生育后期叶片中蛋白质水解,并向籽粒进行再运转。另外,缓控释肥显著增加了根干重、总根长、根系体积和根系伤流强度,相关性分析表明,水稻籽粒产量与抽穗后的根干重、总根长、根系表面积、伤流强度等呈显著或极显著正相关^[4]。本研究中,缓控释肥+脲铵一基一追处理,特别是一基一穗处理,水稻保持稳产和高产可能与水稻植株后期氮素吸收增多,叶片叶绿素含量增加,光合效率提高,生育后期较高的蛋白水解酶活性,以及抽穗后有利的根系特性紧密相关。

杜君等^[29]研究表明,缓控释肥处理水稻生育后期功能叶中硝酸还原酶活性显著高于常规施肥处理,而谷氨酰胺合成和转化酶活性的增强作用可从抽穗期维持到蜡熟期。由此说明,缓控释肥施用可以增强植株体内氮代谢相关酶的活性,促进水稻生育后期氮素吸收与同化,增加吸氮量的同时提高利用率。本研究中,缓控释肥+脲铵一基一追模式提高了水稻的氮素吸收效率(表 2),增加了水稻整个生育期地上部的氮素吸收累积量(图 2),提高了氮肥的表观利用效率,降低了氮素环境损失,其中一基一穗处理效果优于一基一穗处理。然而,缓控释肥+脲铵一基一追模式对氮素生理利用效率的影响不明显(表 2),这与胡丹丹等^[25]报道的缓控释肥一基一穗处理提高了氮素吸收利用效率但对氮素的生理利用率影响不明显的结论一致。

本研究中,缓控释肥+脲铵一基一追处理增加了土壤碱解氮含量(表 3),这与报道的缓控释肥能够提高土壤中氮残留量^[30]基本吻合。另外,脲铵施用也可提高氮肥的利用效率^[31]。因此,本研究中缓控释肥+脲铵一基一追处理增加了土壤碱解氮含量是缓控释肥和脲铵共同作用的结果。另外,缓控释肥+脲铵一基一追处理在一定程度上增加了土壤有机质含量

(表 3),可能与木质素类缓控释肥本身含有一定有机物质有关。另外,是否与缓控释肥可能促进水稻根系发育^[4],导致土壤根系残留物和分泌物增多有关,有待进一步研究。

木质素类缓控释肥作基肥施用对水稻产量(表 1)、氮素吸收累积(图 2)、氮素利用效率、表观氮肥回收效率(表 2)以及土壤肥力(表 3)的效果均优于脲甲酰胺类缓控释肥,这与其他研究者^[17,22,32]得出的木质素类缓控释肥效果更好的结论基本一致。主要原因可能有:①木质素类缓控释肥养分的释放特征更契合水稻生长的需肥规律;②木质素类缓控释肥中有一定含量的有机质,其活性有机质中的一部分有机营养可直接被作物吸收利用,从而促进水稻生长和养分利用^[33];③由于木质素类缓控释肥中含有有机物质,可能对土壤微生物种类、数量和活性产生影响,进而影响碳和其他养分的循环利用效率^[34]。然而,有关木质素类缓控释肥更有利于促进水稻生长和养分吸收利用的具体原因,或者是不同因素的权重还需要进一步研究分析。综上所述,缓控释肥+脲铵一基一穗的施肥模式更有利于增加水稻产量,提高氮肥利用效率,减少稻田氨挥发,同时有利于增加土壤肥力。

4 结论

与传统的配方肥+尿素一基两追模式相比,缓控释肥+脲铵一基一追模式能够稳定或增加水稻产量,提高了水稻的氮素吸收效率,增加了水稻整个生育期地上部的氮素吸收累积量,提高了氮肥的表观利用效率。其中,缓控释肥+脲铵一基一穗模式的效果好于缓控释肥+一基一穗模式。缓控释肥+脲铵一基一穗模式高产的主要原因是极大促进了水稻穗发育和大穗形成。另外,缓控释肥+脲铵一基一追处理增加了土壤碱解氮含量,一定程度上增加了土壤有机质含量。总体而言,缓控释肥+脲铵一基一穗更有利于提高水稻产量和氮素利用效率,同时可以增加土壤肥力。

参考文献:

- [1] 陈天祥, 杨顺瑛, 王书伟, 等. 水稻氮素利用效率的基因型差异与调控途径[J]. 土壤, 2022, 54(5): 873–881.
- [2] 潘圣刚, 曹凑贵, 蔡明历, 等. 氮肥运筹对水稻氮素吸收和稻田渗漏水氮素浓度影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 2145–2150.
- [3] 王睿, 刘汝亮, 赵天成, 等. 缓控释肥侧施对水稻产量与农学性状的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(6): 1–5.
- [4] 彭玉, 马均, 蒋明金, 等. 缓控释肥对杂交水稻根系形态、生理特性和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1048–1057.

- [5] 侯红乾, 冀建华, 刘益仁, 等. 缓/控释肥对双季稻产量、氮素吸收和平衡的影响[J]. 土壤, 2018, 50(1): 43-50.
- [6] 张博文, 赵森, 敖玉琴, 等. 含氮氮肥对太湖稻麦轮作体系氮挥发及作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(3): 557-566.
- [7] 诸海燕, 朱恩, 余廷园, 等. 水稻专用缓释复合配方肥增产效果研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(3): 56-60.
- [8] 张旭升, 薛占奎, 王京奇, 等. 不同缓/控释肥料对早稻产量及农艺性状的影响[J]. 上海农业科技, 2019(1): 83-84, 90.
- [9] 沈兴连, 莫红华, 楼玲, 等. 不同缓控释肥对新垦水田水稻生长和产量的影响[J]. 中国稻米, 2022, 28(6): 122-124, 128.
- [10] 邢晓鸣, 李小春, 丁艳锋, 等. 缓控释肥组配对机插常规粳稻群体物质生产和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(24): 4892-4902.
- [11] 张桂萍. 缓控释肥在水稻上施用效果试验[J]. 福建稻麦科技, 2021, 39(3): 22-25.
- [12] 段秀建, 张巫军, 姚雄, 等. 缓控释肥组配对早熟籼稻作为中稻—再生稻栽培模式产量和氮肥利用率的影响[J]. 南方农业学报, 2022, 53(1): 38-46.
- [13] 薛利红, 杨林章, 施卫明, 等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——源头减量技术[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(5): 881-888.
- [14] 范国灿. 不同缓控释肥料对水稻秀水 134 产量和效益的影响[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(10): 1785-1787.
- [15] 刘红江, 郭智, 郑建初, 等. 不同类型缓控释肥对水稻产量形成和稻田氮素流失的影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(4): 783-789.
- [16] 胡柯鑫, 谢宜, 董春华, 等. 超级稻晚稻‘5 优 103’不同缓/控释肥应用效果研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(17): 1-7.
- [17] 方文英, 姚荣建, 陈佳麒, 等. 单季稻不同施肥方式的减肥及增产效应[J]. 中国稻米, 2019, 25(6): 86-88.
- [18] 侯朋福, 薛利祥, 俞映惊, 等. 缓控释肥侧深施对稻田氮挥发排放的控制效果[J]. 环境科学, 2017, 38(12): 5326-5332.
- [19] 杨华军, 章飞杰, 姜朝伟, 等. 不同缓控释肥在水稻机插侧深施肥上的应用效果[J]. 现代农机, 2021(3): 75-77.
- [20] Takahashi N, Okajima H, Takagi S, et al. The mechanism of tiller development in the rice plant[J]. Japanese Journal of Crop Science, 1956, 25(2): 73-74.
- [21] 潘寿, 骆乐, 刘小红, 等. 氮素对水稻分蘖芽发育的影响及其作用机制[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(6): 973-978.
- [22] 蒋琪, 陈少杰, 王飞, 等. 不同缓(控)释肥料及运筹对双季稻生产特性及经济效益的影响[J]. 中国稻米, 2021, 27(1): 85-88.
- [23] 熊海蓉, 文卓琼, 熊远福, 等. 3 种水稻缓/控释肥一次性施用效果比较[J]. 中国农学通报, 2015, 31(33): 1-5.
- [24] 冯兆滨, 冀建华, 刘秀梅, 等. 硅基膜材缓控释肥在红壤中的氮素释放特征研究[J]. 中国土壤与肥料, 2021(5): 239-244.
- [25] 胡丹丹, 范呈根, 洪欠欠, 等. 等养分条件下缓/控释肥料替代部分速效化肥对中稻生产效益的影响[J]. 中国稻米, 2018, 24(1): 16-19.
- [26] 彭玉, 孙永健, 蒋明金, 等. 不同水分条件下缓/控释氮肥对水稻干物质和氮素吸收、运转及分配的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(5): 859-870.
- [27] 聂军, 肖剑, 戴平安, 等. 控释氮肥对水稻氮代谢关键酶活性及糙米蛋白质含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2003, 29(4): 318-321.
- [28] 吕玉虎. 豫南稻区水稻缓/控释肥应用效果研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(9): 97-101.
- [29] 杜君, 孙克刚, 雷利君, 等. 控释尿素与普通尿素配施对水稻氮代谢关键酶活性及产质量的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(3): 67-72.
- [30] 焦晓光, 罗盛国, 闻大中. 控释尿素施用对水稻吸氮量及产量的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(6): 525-528.
- [31] 敖玉琴, 张维, 田玉华, 等. 脲胺氮肥对太湖地区稻田氮挥发及氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2016, 48(2): 248-253.
- [32] 楼玲, 金忠明, 朱焕潮, 等. 不同缓控释肥在机插水稻甬优 538 上的应用效果[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(9): 1584-1586.
- [33] 邱丽丽, 李增强, 徐基胜, 等. 生物质炭和秸秆施用对黄褐土生化性质及小麦产量的影响[J]. 土壤, 2021, 53(3): 475-482.
- [34] 张英, 武淑霞, 雷秋良, 等. 不同类型粪肥还田对土壤酶活性及微生物群落的影响[J]. 土壤, 2022, 54(6): 1175-1184.