

doi: 10.11838/sfsc.20180309

控释肥及尿素添加剂对双季稻光合特性及产量的影响

蔡威威, 艾天成*, 李 然, 金紫缘, 徐金刚, 曹坤坤

(长江大学农学院, 湖北 荆州 434025)

摘要: 试验选取 4 种新型尿素 (树脂包膜控释尿素 CRU、尿素配施氯甲基吡啶 NU、硝化抑制剂 DMPP、有效微生物菌剂 EM) 为材料, 通过大田双季稻试验, 研究新型尿素对水稻光合特性、生物量以及产量的影响。结果表明, 新型尿素均能提高水稻叶片的净光合速率, 早、晚稻分别以 CRU 和 DMPP 提高效果最为显著; 气孔导度受氮肥影响较小, 仅早稻季 CRU 降低叶片气孔导度比较显著; 包膜控释尿素 CRU 对水稻胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率的降低效果较为明显, 其他氮肥处理影响较小。4 种新型尿素相对对照普通尿素, 均显著促进了双季稻各生育期生物量的增加。CRU 处理增产效果最为显著和稳定, 早、晚稻相比 CK 处理平均增产 19.9% ($P < 0.05$), 而 NU、DMPP、EM 处理早稻增产不显著, 晚稻增产平均达到 14.6% ($P < 0.05$), 且晚稻增产效应优于早稻。

关键词: 控释尿素; 硝化抑制剂; EM 菌剂; 双季稻; 光合特性; 产量

中图分类号: S143.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257 (2018) 03-0054-07

水稻是世界各国特别是亚洲地区主要的粮食作物, 而中国是世界上最大的水稻生产国, 水稻产量位居全球首位^[1]。水稻整个生育期累积的干物质超过 90% 来自光合产物, 其中 90% 以上依靠水稻叶片光合作用产生^[2], 而其中又以水稻剑叶对产量的影响最为显著, 水稻产量的 40% ~ 60% 由剑叶光合作用贡献^[3]。中国的氮肥消耗位居全球第一, 氮肥用量约占全球总氮肥用量的 37%, 其中约占全国总氮肥用量的 24% 用于水稻生产^[4]。但是我国稻田氮肥利用率只有 20% ~ 40%^[5], 远低于其他国家, 稻田中氮肥损失高于 50%, 稻田氮素的损失不仅降低了氮肥利用率, 增加了种植成本, 同时氮素通过氨挥发、淋溶、径流等造成水体富营养化等一系列污染环境问题^[6-7]。因此为了提高氮肥利用率, 减轻环境污染, 包膜和添加剂等新型尿素被研制出来, 相比普通尿素, 新型尿素具有肥效持久、养分利用率高、污染小、能促进作物的生长和增加产量等优点^[8-9]。微生物菌剂与氮肥配施, 能够起到改良土壤微生物结构, 提高土壤肥力, 促进作物高质、高产等作用^[10]。

以往新型氮肥在水稻上的研究多集中在单一的新型氮肥试验, 而本文选取 4 种最有代表性的新型氮肥作为研究对象, 进行双季稻的大田试验, 探究不同类型氮肥对水稻不同生育期叶片光合特性、生物量累积以及最终产量的影响, 以期新型氮肥在水稻高产、优质、高效生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于湖北省荆州市荆州区气象局农业气象试验站内 (30°21'N, 112°09'E)。该地区作为江汉平原的代表站点, 属于亚热带季风气候区, 光能充足、热量丰富。太阳年辐射总量为 435 ~ 461 $\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$, 年平均气温 15.9 ~ 16.6℃, 年平均降水量 1 100 ~ 1 300 mm, 主要集中在早、晚稻季, 年日照时数 1 800 ~ 2 000 h。土壤为内陆河湖交替沉积形成的水稻土, 保水保肥能力良好, 质地为粉质中壤土。当地属于双季稻作区, 耕层 0 ~ 20 cm 土壤的基本理化性质为: 容重 1.44 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 有机质 28.38 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 1.37 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效磷 15.38 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 62.51 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 值 (H_2O) 7.20。

1.2 试验设计与田间管理

双季稻大田试验采用单因素随机区组设计, 共设 5 个不同的氮肥处理。(1) CK: 为普通尿素 (N 46%, 下同), 作为对照处理, 根据当地传统施肥方式

收稿日期: 2017-08-24; 最后修订日期: 2017-09-30

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103039); 国家“973”计划项目 (2010CB951302)。

作者简介: 蔡威威 (1990-), 男, 湖北孝感人, 实验员, 硕士, 主要研究方向为土壤肥料。E-mail: caiweiwei2014@sina.com。

通讯作者: 艾天成, E-mail: 619637248@qq.com。

来进行; (2) CRU: 为树脂包膜控释尿素 (N 42%), 控释期 90 d; (3) NU: 为尿素添加质量分数 0.5% 的硝化抑制剂氯甲基吡啶; (4) DMPP: 为尿素添加质量分数 1% 的硝化抑制剂二甲基吡唑磷酸盐; (5) EM: 为尿素配施 200 倍等重的 EM 菌液 (有效微生物菌 2×10^9 cfu · mL⁻¹, 主要包括酵母菌群、乳酸菌群、光合菌群、芽孢杆菌群和放线菌群等), 配制方法为菌剂: 红糖: 水 = 1: 1: 200 培养 48 h。所有处理的磷肥均为过磷酸钙 (P₂O₅ 12%), 钾肥为氯化钾 (K₂O 60%)。每个处理 3 次重复, 共计 15 个小区, 小区长 6 m, 宽 4.5 m。

施肥共分 3 次, 一次基肥在水稻移栽前施用, 两次追肥分别在分蘖期和抽穗期施用。施肥总养分量根据江汉平原地区相关专家的研究和荆州土肥站的推荐, 按以下设置 (各处理总养分量均一致): 总施肥量氮肥早稻为 N 165 kg · hm⁻², 晚稻为 N 180 kg · hm⁻², 各阶段施氮量根据肥料种类和特性而定, 为当地最优施肥方式, 具体施氮方案如表 1 所示。鉴于包膜控释肥养分释放的长效性, 只采用一次追施; 为了保证单一变量差异, 添加剂处理施氮量与 CK 保持一致。磷肥均为 P₂O₅ 60 kg · hm⁻², 作为基肥全部施入, 钾肥均为 K₂O 90 kg · hm⁻², 按比例 2: 1: 3 分 3 次施入。选用的早、晚稻品种分别为两优 287 和湘丰优 9 号, 皆为当地主推品种, 早稻和晚稻的大田移栽时间分别为 4 月 27 日和 7 月 26 日, 移栽密度为 21 万穴 · hm⁻², 每穴 2 株。

表 1 双季稻氮肥施用方案 (N kg · hm⁻²)

	处理	基肥	分蘖肥	穗肥
早稻	CK	90	30	45
	CRU	120	45	0
	NU	90	30	45
	DMPP	90	30	45
	EM	90	30	45
晚稻	CK	90	45	45
	CRU	120	60	0
	NU	90	45	45
	DMPP	90	45	45
	EM	90	45	45

试验小区间均用田埂分隔, 各小区四周田埂宽 30 cm, 高 20 cm, 并用塑料薄膜覆盖, 每个小区都有单独的排水沟, 以减少串流和侧渗。各个小区田间管理一致, 全部依照当地的常规管理进行。水分

管理依照当地常规习惯进行, 即前期淹水, 中期晒田, 后期干湿交替, 完熟落干。除草及病虫害防治均根据需要参照习惯种植模式统一进行。

1.3 测定方法

分别在早、晚稻的分蘖盛期、孕穗期、扬花期和成熟期, 使用便携式光合测定仪 (LI-6400, USA) 对水稻叶片进行光合测定, 每次测定选在晴朗天气的 9:00 ~ 11:00 进行, 每个小区固定 5 株长势一致的水稻, 选取水稻剑叶进行测定, 3 次重复。测量指标主要有净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci) 和蒸腾速率 (Tr)。测定时使用内置红蓝光源, 测定气体流速为 500 μmol · s⁻¹, 光照强度为 1 500 μmol · m⁻² · s⁻¹, 测定温度与当时叶温一致, CO₂ 浓度为大气 CO₂ 浓度, 测定过程中适时进行匹配, 以保证测定数据的准确性。

同时在对应的生育期分别测定植株地上部生物量, 在成熟收获时对小区进行测产。

1.4 数据处理

使用 Excel 2013 软件进行数据处理及作图, DPS 7.05 进行方差分析。图、表中不同字母表示处理间在 0.05 水平上的差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对双季稻光合特性的影响

2.1.1 不同施肥处理对双季稻净光合速率的影响

图 1 表示不同施肥处理之间, 双季稻各生育期净光合速率的变化特征。早稻 4 个生育期中, 各处理净光合速率呈现先逐步上升, 到扬花期达到最大, 后随早稻进入生育晚期而逐渐下降的变化趋势。分蘖盛期、孕穗期 CRU 的净光合速率相对最高, 但各处理之间差异未达到显著水平 ($P > 0.05$); 扬花期 CK 低于其它 4 个处理, 且与 CRU 差异达到显著水平 ($P < 0.05$), 与 CRU 相比净光合速率降幅达到 12.9%; 成熟期 CRU 极显著高于 CK 和 DMPP ($P < 0.01$), 但 CK 与 DMPP 差异不显著。晚稻从分蘖盛期到成熟期, 各处理净光合速率均呈下降规律。分蘖盛期, 与 CK 相比, 其他 4 个处理均提高了晚稻叶片的净光合速率, 且 DMPP 与 CK 差异达到显著水平 ($P < 0.05$); 孕穗期 DMPP 与 CRU、EM 差异显著, 其他各处理间无显著性差异; 扬花期净光合速率与分蘖盛期相似, CK 与 DMPP 之间存在显著差异 ($P < 0.05$); 晚稻成熟

期, 水稻进入生育晚期, 叶片逐渐黄枯, 各处理净光合速率均下降明显, 最终各处理间未发现显著差异。综合早、晚稻数据来看, 与 CK 相比, DMPP、

EM、NU 和 CRU 均能一定程度地提高水稻净光合速率, 早稻以 CRU 提高效果最为显著, 晚稻以 DMPP 提高效果最为明显。

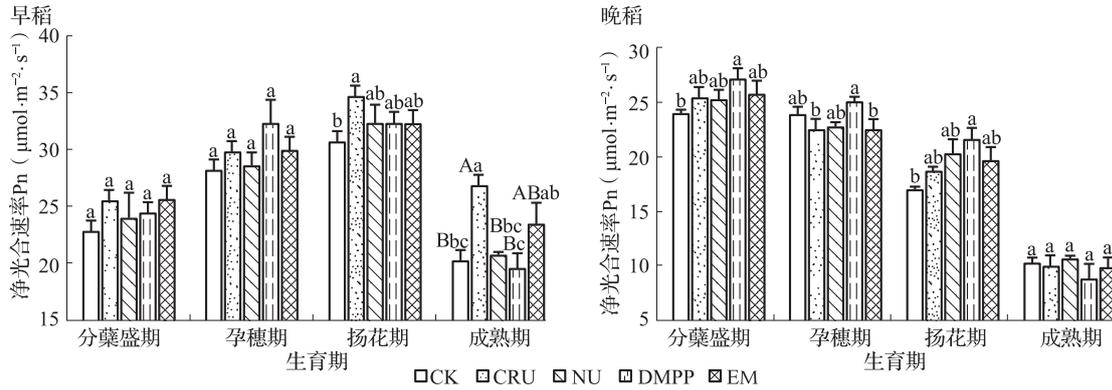


图1 不同施肥处理对双季稻净光合速率的影响

2.1.2 不同施肥处理对双季稻气孔导度的影响

图2表示双季稻叶片气孔导度对不同施肥处理的响应情况。早稻的气孔导度随着水稻生育期的进行, 总体呈现一定的波动趋势, 扬花期各处理叶片气孔导度达到最大, 但处理之间无显著性差异; 分蘖盛期处理之间也无显著差异; 孕穗期 CK、DMPP 数值高于其它3个处理, 且 CK 与 CRU 差异达到显著水平 ($P < 0.05$); 成熟期 CK、NU 高于其他3个处理, 且 CK 相比 CRU, 气孔导度显著增大了

24%, 其他各处理之间无显著差异。晚稻叶片气孔导度数据结果显示, 从分蘖盛期到孕穗期, 气孔导度呈现先小幅度减小, 到扬花期快速下降, 成熟期降到最低的变化特点。分蘖盛期 CK 气孔导度低于其它4个处理, 且 DMPP 与 CK 差异达到显著水平 ($P < 0.05$); 晚稻孕穗期、扬花期、成熟期, 相比 CK, DMPP 能一定程度地增大晚稻叶片气孔导度, 但5个处理彼此之间差异不显著。

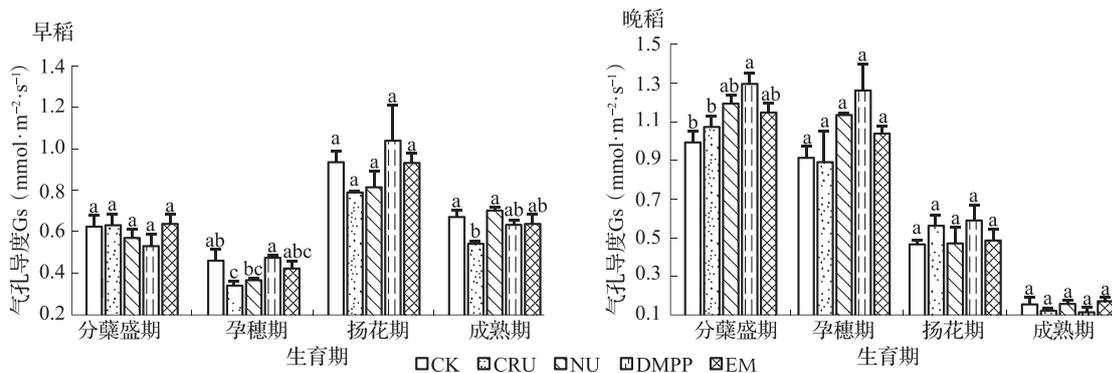


图2 不同施肥处理对双季稻气孔导度的影响

2.1.3 不同施肥处理对双季稻胞间 CO₂ 浓度的影响

水稻叶片胞间 CO₂ 浓度在不同施肥条件下变化如图3所示, 早稻季水稻胞间 CO₂ 浓度变化趋势呈现分蘖盛期到孕穗期降低, 扬花期、成熟期升高的特点。分蘖盛期各处理胞间 CO₂ 浓度均维持在 280 $\mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的较高水平, 处理间差异不显著; 孕穗期, 与其它4个施肥处理对比, CK 显著升高了胞间 CO₂ 浓度 ($P < 0.05$), 增幅分别达到 35.4%

(差异达极显著水平, $P < 0.01$)、23.4% (差异达极显著水平, $P < 0.01$)、13.7% 和 17.4%; 扬花期 CK 与 CRU、NU 差异显著 ($P < 0.05$); 成熟期 CK 与 CRU、EM 差异达到显著水平。晚稻季4个主要生育期的叶片胞间 CO₂ 浓度均维持在较高水平, 仅在成熟期随生育末期的临近而降低。分蘖盛期, 和其它4个处理对比, CK 显著降低了叶片胞间 CO₂ 浓度 ($P < 0.05$); 孕穗期、扬花期各处理之间无显著差异; 成熟期 CRU 与 CK、EM 差异达到显

著水平 ($P < 0.05$), 其余处理间差异不显著。综合早、晚稻数据来看, CRU 显著降低了早稻叶片的

胞间 CO_2 浓度, 而晚稻季各处理间胞间 CO_2 浓度的变化在不同生育期中存在变异。

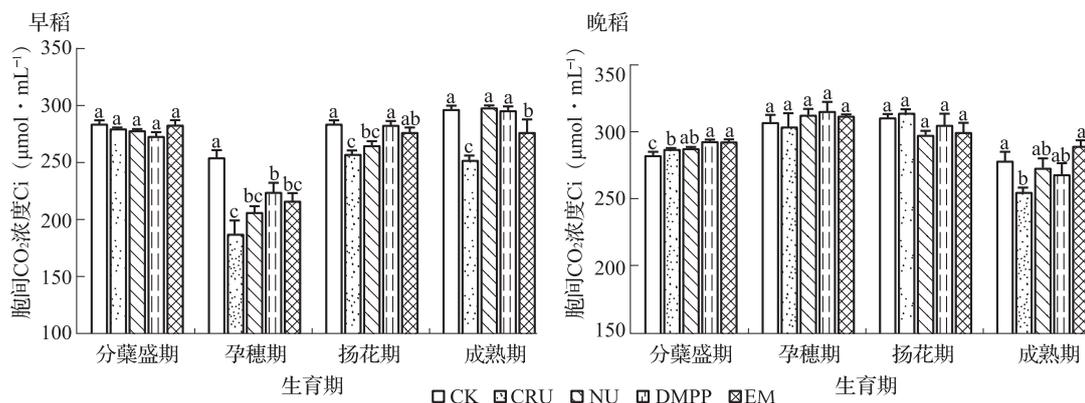


图3 不同施肥处理对双季稻气孔导度的影响

2.1.4 不同施肥处理对双季稻蒸腾速率的影响

不同施肥处理对双季早晚稻蒸腾速率的影响如图4所示, 早稻的蒸腾速率变化情况, 和其它处理相比, 分蘖盛期 CK 降低了叶片的蒸腾速率, 但仅与 EM 差异显著 ($P < 0.05$); 孕穗期 CRU、NU 和对照 CK、DMPP、EM 相比, 显著地降低了蒸腾速率 ($P < 0.05$); 扬花期结果与孕穗期类似; 成熟期 CRU 与 CK 仍然差异显著。晚稻的蒸腾速率变化情况与早稻有所不同, 晚稻蒸腾速率随生育期的进

行逐渐降低, 分蘖盛期 CRU、NU、DMPP 以及 EM 均显著地提高了蒸腾速率; 孕穗期 DMPP 处理蒸腾速率最高, 且与 CRU、NU、EM 差异达到显著水平 ($P < 0.05$); 扬花期处理之间差异不显著; 成熟期水稻叶片蒸腾速率降到最低, 且 DMPP 与 EM 存在显著差异 ($P < 0.05$)。整个早、晚稻季来看, CRU 显著地降低了早稻叶片的蒸腾速率, 而晚稻蒸腾速率在不同生育期的不同处理之间变异较大。

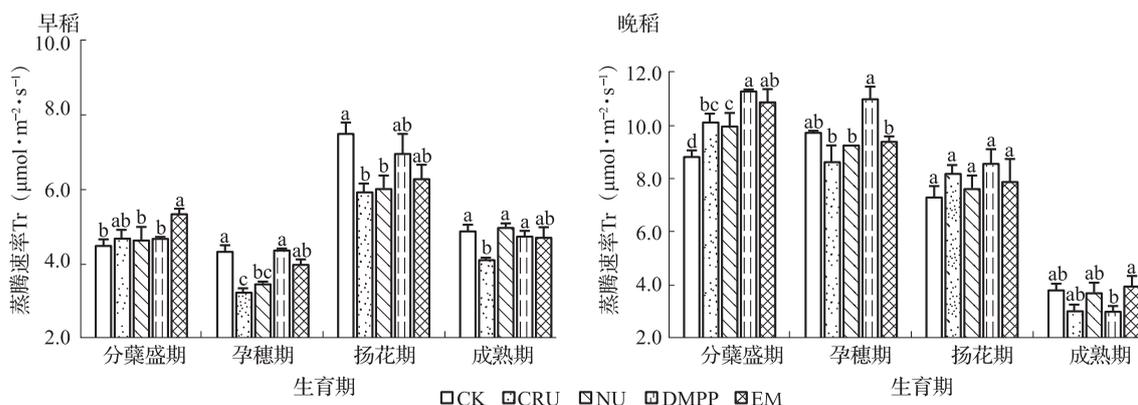


图4 不同施肥处理对双季稻蒸腾速率的影响

2.2 不同施肥处理对双季稻生物量及产量的影响

新型氮肥对水稻各生育期的生物量及产量影响如表2所示。相比普通尿素 CK, 4种新型氮肥均显著或极显著地增加了早、晚稻各生育期的植株生物量。具体分析来看, CRU 极显著地增加了早、晚稻各生育期的植株生物量 ($P < 0.01$), 早、晚稻季4个生育期分别平均增加 16.7% 和 22.7%; NU 相比 CK, 早、晚稻季4个生育期生物量平均增幅分别为 15.2% 和 11.6%; DMPP 除晚稻成熟期与 CK 达到

极显著差异 ($P < 0.01$) 以外, 其余生育期生物量均显著高于 CK ($P < 0.05$), 早、晚稻季4个生育期生物量平均增幅分别为 9.0%、11.1%; EM 菌剂相比 CK, 早、晚稻均显著提高了植株的生物量 ($P < 0.05$), 增幅分别达到 11.2% 和 11.5%。

相比普通尿素, 新型氮肥的施用普遍增加了水稻的产量, 早稻只有 CRU 与 CK 差异达到显著水平 ($P < 0.05$), 增产幅度为 19.8%; 而晚稻产量数据显示, CRU、NU、DMPP 以及 EM 相比 CK 处理均

存在显著增产效果 ($P < 0.05$)。综合早、晚稻生物量以及产量数据来看, 新型氮肥对水稻植株生物量的累积以及产量的增加均有一定的积极作用, 控释肥 CRU 的增产效果最为显著且最稳定, 两季平

均增产 20% 左右; 硝化抑制剂 DMPP 次之, 两季平均增产 14% 左右; NU 和 EM 菌剂在早稻上的增产效果不明显, 但在晚稻可以增产 14% 左右。

表 2 不同施肥处理对双季稻生物量和产量的影响

处理	生物量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)				产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	增产 (%)	
	分蘖盛期	孕穗期	扬花期	成熟期			
早稻	CK	309.3 ± 13.5cB	557.3 ± 14.6bB	1 142.7 ± 36.5bB	1 338.0 ± 19.4bB	6 887.3 ± 547.1b	—
	CRU	412.7 ± 7.5aA	732.7 ± 33.0aA	1 301.3 ± 47.1aAB	1 460.0 ± 35.6aAB	8 247.8 ± 618.5a	19.8
	NU	357.3 ± 7.0bB	702.0 ± 40.4aA	1 320.0 ± 27.7aA	1 476.7 ± 23.1aA	7 223.1 ± 672.5ab	4.9
	DMPP	354.0 ± 14.0bB	638.7 ± 33.2abAB	1 220.7 ± 45.4abAB	1 436.0 ± 30.7aAB	7 752.7 ± 1 369.3ab	12.6
	EM	326.7 ± 10.7bcB	693.3 ± 24.8aAB	1 298.0 ± 24.1aAB	1 405.3 ± 39.6abAB	7 155.5 ± 507.3ab	3.9
晚稻	CK	496.3 ± 25.4bB	771.3 ± 24.9bB	1 314.0 ± 26.0cB	1 516.0 ± 14.0cB	7 126.7 ± 249.7bB	—
	CRU	650.7 ± 36.8aA	986.7 ± 49.8aA	1 588.7 ± 37.1aA	1 800.3 ± 34.9aA	8 556.6 ± 600.1aA	20.0
	NU	642.0 ± 36.2aAB	850.0 ± 30.6bAB	1 381.3 ± 26.3bcB	1 701.3 ± 50.8abA	8 186.5 ± 755.1aAB	14.9
	DMPP	597.0 ± 38.0abAB	816.7 ± 27.4bB	1 422.0 ± 27.2bB	1 717.6 ± 34.0abA	8 224.8 ± 188.1aA	15.4
	EM	622.0 ± 31.4aAB	868.7 ± 40.2bAB	1 420.0 ± 39.0bB	1 660.0 ± 38.7bAB	8 088.0 ± 328.5aAB	13.5

注: 大、小写字母分别表示 0.01、0.05 显著水平。

3 讨论

3.1 不同氮肥处理对水稻光合特性的影响

水稻生育期光合特性的动态变化可以有效地反映出不同施肥处理不同生育期水稻光合特性的大小趋势, 从而有针对性地采取合理的栽培管理措施, 有效地提高水稻光合利用效率及产量。聂军等^[11]双季稻试验研究发现, 施用控释尿素较普通尿素对延缓早、晚稻功能叶的衰老和延长叶片的光合功能期均具有明显的效应。本试验早稻光合速率变化与其研究结果一致, 水稻进入拔节期以后, 施用控释尿素的水稻叶片净光合速率显著高于普通尿素。晚稻净光合速率的变化与早稻存在差异, 晚稻以添加硝化抑制剂的施肥处理对净光合速率提高最为明显, 晚稻生育中后期新型尿素的施用对于维持水稻较高的光合效能有积极作用, 早、晚稻净光合速率对不同氮肥施用的响应存在差异, 可能与早、晚稻品种不同, 对肥料的利用以及生长季跨度不同有关。

气孔导度表示植物叶片气孔开张的程度, 影响植物的光合作用、呼吸作用及蒸腾作用。本试验结果显示, 水稻植株叶片气孔导度在早、晚稻同一生育期的不同施肥处理间变化较小, 大部分生育期处理间均无显著差异, 可能原因是各种不同类型氮肥

的施用能够满足水稻的正常生长需求, 水稻叶片气孔导度受空气温度、 CO_2 浓度的影响较多。胞间 CO_2 是植物生理生态研究中经常用到的一个参数, 其大小取决于 4 个可能变化的因素: 叶片周围空气的 CO_2 浓度、气孔导度、叶肉导度和叶肉细胞的光合活性, 其与净光合速率间的关系也较为复杂^[12], 本研究结果发现早稻季, 4 种新型氮肥较普通尿素普遍降低了叶片胞间 CO_2 浓度, 且以控释氮肥 CRU 效果最为显著, 结合净光合速率数据, 植物叶肉细胞进行光合作用, 细胞间 CO_2 进入细胞内被吸收利用, CRU 处理的胞间 CO_2 浓度低, 表示细胞中 CO_2 浓度高, 从而更多 CO_2 被用来进行光合作用, 提高叶片光合速率, 可见早稻净光合速率与胞间 CO_2 浓度呈负相关关系。蒸腾速率是计量植物蒸腾作用强弱的一项重要生理指标, 蒸腾速率的快慢与植株形态结构和外界多种因素相关。蒸腾速率的数据显示早稻季控释氮肥的施用较普通尿素显著降低了水稻蒸腾速率, 与其减小叶片气孔导度有直接关系, 而晚稻蒸腾速率在不同生育期处理间变异较大, 可能与晚稻品种对不同氮肥吸收利用情况有关。

3.2 不同氮肥处理对水稻产量的影响

和前人研究结果一致, 新型氮肥拥有比普通尿素更稳定和高效的氮素供应, 能够促进水稻在营养生殖阶段植株长高、分蘖增多、叶绿素含量提高,

从而提高水稻光合效率, 进一步在生殖生长阶段增加水稻穗数、穗粒数, 提高结实率和千粒重, 最终增加生物量和产量^[13-16]。本研究中, 相比普通尿素 CK, 4 种新型氮肥均显著或极显著地增加了早、晚稻各生育期的植株生物量及最终产量, 且晚稻的增产效果比早稻明显, 因为早、晚稻是一个连续的过程, 早稻土壤中累积的氮素可以被晚稻生长继续利用, 而且晚稻施氮量略高于早稻, 结合早、晚稻季气象数据来看, 早、晚稻整个生育期的有效积温、总降水量分别为 1 270.9、1 413.8℃和 509.1、422.3 mm, 晚稻季有效积温比早稻季高出约 143℃, 适当的高温能够促进水稻植株新陈代谢, 促进肥料的养分释放, 同时早稻季降水量高于晚稻季, 特别是在早稻的关键生育期, 连续的阴雨天气影响水稻的灌浆、抽穗, 这一系列原因都可能导致两季水稻产量的差异。

对于不同的施肥处理, 树脂包膜控释尿素能够按照水稻生长的需肥曲线缓慢释放氮素, 特别在水稻生育中后期氮素释放率高^[15], 与水稻生育中后期吸氮量大的特点相吻合^[17], 通过对水稻叶片中内源激素含量及平衡的调控^[18], 有效延缓叶片衰老, 显著提高水稻生育中后期叶片光合效率^[15], 进而提高水稻生物量及产量。

普通尿素添加氯甲基吡啶, 能够有效抑制土壤硝态氮、铵态氮的转化速率, 起到氮肥保护剂的作用, 减少氮损失, 从而提高氮肥利用率^[19], 促进水稻产量的提高。而硝化抑制剂 DMPP 的添加对早、晚稻产量促进效果比较明显且稳定, 与 DMPP 能抑制亚硝化、硝化、反硝化细菌的活性, 从而阻碍 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 向 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 转化, 控制土壤中的氮尽量以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的形式存在, 而水稻为喜铵态氮作物有直接关系^[14,20]。EM 菌剂主要包含酵母菌群、光合菌群和乳酸菌群等^[21], 其施用能够提高土壤酶活性及微生物活性, 改善土壤微生物环境^[22], 使越来越多的有益微生物对土壤微生物群落和肥力的改良效果愈加明显^[23], 进而促进植株生长, 提高水稻光合效率, 增加水稻产量。

4 结论

新型氮肥通过调整氮肥的供应量、供应形式和供应时间, 能够降低水稻叶片胞间 CO_2 浓度、提高净光合速率, 促进植株生长发育, 累积更多有机物以及提高稻谷产量。施用包膜控释肥、硝化抑制剂

和生物菌剂能够提高水稻产量, 除 DMPP 外其他肥料价格均较低, 值得今后深入研究和大面积推广, 其中树脂包膜控释尿素在水稻种植中施用具有更好的综合效应, 更能实现水稻的高效高产。

参考文献:

- [1] 朱德峰, 程式华, 张玉屏, 等. 全球水稻生产现状与制约因素分析 [J]. 中国农业科学, 2010, 43 (3): 474-479.
- [2] 田红刚, 刘永巍, 樊冬生, 等. 超高产水稻生育后期剑叶光合生理特性变化的研究 [J]. 中国农学通报, 2008, 24 (10): 268-271.
- [3] 李仕贵, 何平. 水稻剑叶性状的遗传分析和基因定位 [J]. 作物学报, 2000, 26 (3): 261-265.
- [4] 彭少兵, 黄见良, Buresh R. 提高中国水稻的氮肥利用率机遇与挑战 [J]. 中国农业科学, 2002, 1 (7): 776-785.
- [5] Vlek P L G, Byrnes B H. The efficacy and loss of fertilizer N in lowland rice [J]. Fert. Res, 1986, 9 (1-2): 131-147.
- [6] 赵东, 颜廷梅, 乔俊, 等. 太湖地区稻田氮素损失特征及环境效应分析 [J]. 生态环境学报, 2012, 21 (6): 1149-1154.
- [7] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. 土壤与环境, 2000, 9 (1): 1-6.
- [8] 郑圣先, 聂军, 熊金英, 等. 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (1): 11-16.
- [9] 张莉, 熊波, 卢闯, 等. 包膜尿素与普通尿素掺混施用方式对土壤脲酶及春玉米生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (1): 40-44.
- [10] Higa T, Parr J F. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment [M]. Atami, Japan: International Nature Farming Research Center, 1994.
- [11] 聂军, 郑圣先, 戴平安, 等. 控释氮肥调控水稻光合功能和叶片衰老的生理基础 [J]. 中国水稻科学, 2005, 19 (3): 255-261.
- [12] 陈根云, 陈娟, 许大全. 关于净光合速率和胞间 CO_2 浓度关系的思考 [J]. 植物生理学通讯, 2010, (1): 64-66.
- [13] 邹应斌, 贺帆, 黄见良, 等. 包膜复合肥对水稻生长及营养特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (1): 57-63.
- [14] 俞巧钢, 陈英旭. 尿素添加硝化抑制剂 DMPP 对稻田土壤不同形态矿质态氮的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2011, 30 (7): 1357-1363.
- [15] 李敏, 郭熙盛, 叶舒娅, 等. 硫膜和树脂膜控释尿素对水稻产量, 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.
- [16] Iwaishi S. Effect of organic fertilizer and effective microorganisms on growth, yield and quality of paddy-rice varieties [J]. Journal of Crop Production, 2001, 3 (1): 269-273.
- [17] 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.

- [18] 聂军, 郑圣先, 廖育林, 等. 控释氮肥对水稻叶片内源激素含量及平衡的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2006, 32 (1): 15-19.
- [19] 王雪薇, 刘涛, 褚贵新. 三种硝化抑制剂抑制土壤硝化作用比较及用量研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (1): 54-61.
- [20] 杨立杰, 张丽莉, 李东坡, 等. 硝化抑制剂和秸秆对潮棕壤碳氮转化和微生物群落特征的短期影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (1): 86-91.
- [21] Higa T, Wididana G N. The concept and theories of effective microorganisms [C]. //Proceedings of the first international conference on Kyusei nature farmin. Washington, DC, USA: US Department of Agriculture, 1991. 118-124.
- [22] 刘思宇. EM 菌肥对黄瓜根际土壤酶活性的影响 [J]. 中国瓜菜, 2016, 29 (1): 11-13.
- [23] 王彦荣, 岩石真嗣, 三木孝昭, 等. 自然农法条件下稻田有益微生物菌群多年施用累积效果 [J]. 中国水稻科学, 2006, 20 (4): 443-446.

Effect of controlled release fertilizer and urea additive on photosynthetic characteristics and yield of double cropping rice

CAI Wei-wei, AI Tian-cheng^{*}, LI Ran, JIN Zi-yuan, XU Jin-gang, CAO Kun-kun (College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434025)

Abstract: Four new fertilizers (CRU: polymer-coated controlled release urea, NU: urea containing nitrapyrin, DMPP: urea containing nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate, EM: microbial inoculant combined application with urea) were selected as materials to study the effects of new fertilizers on photosynthetic characteristics and biomass and yield of double cropping rice in a field experiment. The four new fertilizers improved the net photosynthetic rate, CRU and DMPP got the best promotion in early rice and late rice respectively. Stomatal conductance was little influenced by nitrogen fertilizers, only CRU decreased it during early rice. Intercellular CO₂ concentration and transpiration rate decreased significantly when CRU was used, and there were little differences between rice varieties among other fertilizers. Compared with the conventional urea, the new fertilizers all got remarkable biomass increment, and CRU achieved the most stable and highest yield increase by 19.9% ($P < 0.05$) in both early and late rice, and NU, DMPP and EM achieved a yield increase by 14.6% ($P < 0.05$) in late rice, no significant increase occurred in early rice. Better growth and yield promotion was showed in late rice than in early rice.

Key words: controlled release urea; nitrification inhibitor; effective microorganisms; double cropping rice; photosynthetic characteristics; rice yield