

控释尿素接触施用对水稻秧苗生长的影响

李锦涛¹, 胡 洋¹, 李 炫¹, 丁紫娟¹, 杨 朔¹, 聂玺斌¹, 黄 飞¹, 侯 俊^{1*}, 曹 兵^{2, 3*}

(1. 长江大学农学院 / 湿地生态与农业利用教育部工程研究中心, 湖北 荆州 434025; 2. 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097; 3. 北京市缓控释肥料工程技术研究中心, 北京 100097)

摘 要: 育秧箱接触施肥技术是将控释氮肥在水稻育秧时一次性集中施于水稻种子附近, 水稻根系紧密包裹住控释肥, 水稻带肥移栽, 是一种轻简高效的控释肥施肥技术。为了研究控释尿素不同施用量和育苗方式对水稻秧苗生长的影响, 以当地常规氮肥用量 (180 kg/hm^2 , 折合每盘控释尿素 1550 g) 为基准, 按照常规育秧方式设置不同控释尿素氮用量 (CK, 25%CRU、50%CRU、75%CRU 和 100%CRU), 同时在 50%CRU 处理上采用 3 种优化育秧方式 (钵型毯状育苗盘 B、采用“土肥混合物 + 种子 + 土”装填顺序 S 和两者组合优化 SB, 处理分别为 50%CRU+S、50%CRU+B 和 50%CRU+SB) 进行接触施肥育苗研究。结果表明: 控释尿素接触施肥育苗氮用量不宜超过每盘 775 g , 即 50%CRU 处理的秧苗素质最佳, 而 75%CRU 和 100%CRU 对秧苗生长有不同的抑制作用。与常规育苗 (CK) 相比, 50%CRU 的出苗率、整齐度、壮秧指数和充实度差异不显著, 但是根干重、地上部干重和根系活力分别显著增加 52.25%、73.22% 和 21.23%。随着控释尿素用量增大, 育苗土含水量减小, 土壤铵态氮和电导率增加, 75%CRU 和 100%CRU 的秧苗叶片丙二醛 (MDA) 含量比 CK 提高 46.6% ~ 272.0%, 而叶片超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性分别降低 22.8% ~ 30.5% 和 6.5% ~ 29.2%。3 种优化育苗方式能在一定程度上提高秧苗高度和壮秧指数, 对其他指标无显著影响。综上, 控释尿素接触施肥用氮每盘 775 g (相当于 90 kg/hm^2) 时秧苗生长最佳, 优化育苗方式对壮秧指数和秧苗高度有促进作用, 而对秧苗其他生长指标未产生显著影响。

关键词: 控释尿素; 接触施肥; 水稻; 秧苗素质; 铵态氮; 抗氧化酶

提高氮素化肥利用率和发​​展可持续的高效农业已成为当今全球共同关注的热点。随着中国老龄化的日趋严峻, 劳动力因素限制了水稻的可持续发展^[1], 施肥轻简化和精准化成为农业现代化的迫切需求^[2]。接触施肥在玉米种植上已有显著效果, 该技术能减少 30% 的施氮量, 并促进高产稳产^[3], 其原因主要是接触施肥能引起玉米根系分布发生变化, 使近根部和表层土根系分布增多, 有利于根系快捷地吸收养分^[4]。水稻育秧箱接触施肥技术是将水稻全生育期所需氮素在水稻育秧时以控释氮肥的形式一次性集中施于水稻种子附近, 移栽时插秧

机把控释氮肥连同秧苗一起带入水稻田中, 省时省工, 同时可提高肥料利用率 20% 以上, 减少氮淋溶损失 52%^[5]。Zhang 等^[6]采用日本控释尿素及配套机械进行大田试验, 发现该技术减量施氮 (120 kg/hm^2) 的氮素利用率为 51% ~ 56%, 比常规普通氮肥分次施氮 (300 kg/hm^2) 提高 16.6% ~ 24.7%。Yang 等^[7]研究表明控释尿素直接接触水稻种子, 秧苗不会烧根, 施氮量减少 33% 的条件下提高了地上部生物量和水稻产量。

然而, 水稻的育秧箱全量施肥技术自 20 世纪 90 年代从日本引入我国却未能大面积推广, 其原因主要是若干问题尚未解决, 其中至少有 3 点与育秧有关。第一, 控释尿素添加量不明确。控释尿素用量要基于水稻全生育期的需求, 同时秧苗素质要好。箱式育秧的大田效果已取得较大进展^[5-7], 然而, 接触施肥的秧苗素质鲜有报道。杨越超等^[8]研究了育秧盘控释肥用量对秧苗生理特性的影响, 但未对秧苗素质进行研究。第二, 育秧阶段如何布设才能促进秧苗素质还不明确。育苗过程中, 育苗

收稿日期: 2021-12-23; 录用日期: 2022-02-26

基金项目: 长江大学湿地生态与农业利用教育部工程研究中心开放基金 (KF202109); 国家重点研发计划 (2017YFD0200705); 北京市农林科学院创新能力建设专项 (KJCX20220301); 北京市农林科学院创新平台建设 (PT2022-39)。

作者简介: 李锦涛 (2001-), 本科, 主要从事养分资源综合管理研究。E-mail: 1482549092@qq.com。

通讯作者: 侯俊, E-mail: houjungoodluck1@163.com; 曹兵, E-mail: 609284507@qq.com。

土、肥料和种子的布设顺序直接影响秧苗素质和插秧效率,例如,“育苗土+肥+种子+覆土”优于“育苗土+种子+肥+覆土”^[8],但对秧苗素质的影响还需要深入研究。第三,育秧箱全量施肥技术配套育秧盘的研究较少。机插秧过程不可避免对根系造成一定程度的损伤,而育秧过程中选择合适的育苗盘则可尽量减少这种损伤。钵体毯状育苗盘由中国农业科学院水稻所研制,由于底部对根系进行了分格处理,与普通育苗盘相比,增加了根长度、根表面积、根直径和根体积,同时可以减少漏秧率及伤根,促进秧苗早发,提高有效穗数并增加产量^[9]。叶春等^[10]研究表明,钵型毯状育苗盘与常规平盘相比能提高双季稻的秧苗素质,提高产量和氮素利用效率。

针对以上问题,本文设置控释尿素接触施肥下不同氮用量及3种优化育秧方式进行接触施肥育苗试验,研究其对水稻秧苗素质的影响,为水稻育秧箱全量施肥技术提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2021年4月22日至5月18日在长江大学教学科研基地温室进行。供试水稻品种为绣占15(中垦锦绣华农武汉科技有限公司)。供试的营养土根据当地机插秧要求配制而成(湖北省荆州市国富农场合作社提供),当地稻田土每方添加3 kg复合肥(N-P₂O₅-K₂O, 15-15-15),并采用敌克松兑水稀释1000倍杀菌粉碎过3 mm筛,进行早育秧。稻田土基本性状为pH值6.27、土壤全氮1.26 g/kg、全磷0.51 g/kg、全钾9.51 g/kg、碱解氮78.61

mg/kg、有效磷20.75 mg/kg、速效钾95.51 mg/kg、有机质22.31 g/kg。试验所用控释尿素含氮(N)量43%,释放曲线为S形曲线,释放期120 d,由国家缓控释肥料工程技术研究中心提供。

1.2 试验设计

当地每公顷需要约270盘秧苗,一季稻的全生育期施氮N 180 kg/hm²(湖北省荆州市国富农场合作社),每盘秧苗需要带入的控释尿素量为1550 g。以此为基准,设置5个氮用量。试验共设置8个处理:(1)常规育苗对照(CK),不施氮肥;(2)控释尿素提供基准氮量的25%(25%CRU),每盘施用控释尿素388 g;(3)控释尿素提供基准氮量的50%(50%CRU),每盘施用控释尿素775 g;(4)控释尿素提供基准氮量的75%(75%CRU),每盘施用控释尿素1163 g;(5)控释尿素提供基准氮量的100%(100%CRU),施用控释尿素1550 g;(6)50%CRU的基础上进行育苗土装填方式的优化(50%CRU+S);(7)50%CRU的基础上优化育苗盘,采用钵形毯状育秧盘(50%CRU+B);(8)50%CRU的基础上采用钵形毯状育秧盘(B)和育苗土装填方式(S)进行优化(50%CRU+B+S)。杨越超等^[8]认为育苗土填装方式以“土+肥+种子+土”(S0)和“土肥混合+种子+土”(S)有优势,而且后者一次性将土壤和肥料混合,育苗过程中土壤和肥料同时铺盘从而减少一道布设工序。育苗盘有传统平盘(B0)和水稻钵形毯状育秧盘(B),标准规格均为60 cm×30 cm×3.2 cm,本研究以后者作为优化育苗盘^[9]。每处理3次重复,采用完全随机设计,按照当地育苗习惯进行管理。

表1 接触施肥处理

处理	施用方式	每育秧盘控释尿素用量 (g)	模拟施氮量 (kg/hm ²)	育秧盘	育苗土填装方式
CK	—	—	—	B0	S0
25%CRU	接触施肥	388	45	B0	S0
50%CRU	接触施肥	775	90	B0	S0
75%CRU	接触施肥	1163	135	B0	S0
100%CRU	接触施肥	1550	180	B0	S0
50%CRU+S	接触施肥	775	90	B0	S
50%CRU+B	接触施肥	775	90	B	S0
50%CRU+SB	接触施肥	775	90	B	S

注:每育秧盘控释尿素用量根据模拟施氮量和每公顷所需要的秧苗数计算。B0和S0分别表示育秧盘和育苗土填装方式,不进行优化,均用常规模式;B和S分别表示采用钵形毯状育秧盘和“土肥混合+种子+土”进行优化。

1.3 项目测定与方法

控释尿素养分释放速率按照《缓释肥料国家标准》(GB/T 23348-2009)采用25℃静水培养和凯氏定氮法测定(国家缓/控释肥工程技术研究中心提供数据)。控释尿素在稻田土中的释放速率采用肥包法测定^[11],试验前于2020年5~10月测定完毕。控释尿素氮素时段释放速率为某一时间间隔内的养分释放量,时段释放速率(%)=该时间间隔内的氮素养分释放量/控释氮肥全氮量×100。

出苗率、苗高和叶片叶绿素含量的测定:出苗5 d后选择秧盘上具有代表性区域(秧盘50%的面积)调查出苗数,调查面积约90 cm²(30 cm×30 cm),每5 d分别采用直尺和SPAD502仪测定苗高和SPAD值。用曹树青等^[12]的方法将SPAD换算为叶绿素含量。出苗率计算公式为:出苗率(%)=(出苗数/种子总数)×100。

秧苗素质的测定:15 d秧龄时秧苗大部分为三叶一心,每盘取代表性植株30株测定叶片茎基宽、茎叶干重,并计算充实度、壮秧指数和整齐度等秧苗素质^[13]。然后,随机选取其中的10~15株根系测定根系干重和根长等指标,其余部分根系用氯化三苯基四氮唑(TTC)测定根系活力^[14]。秧苗素质的计算公式如下:

充实度 = 茎叶干重 / 苗高

壮秧指数 = 茎基宽 × 充实度

$$\text{整齐度} = \frac{\left[1 - \left(\frac{|x_a - \bar{x}_a|}{\bar{x}_a}\right)\right]}{2} + \frac{\left[1 - \left(\frac{|x_b - \bar{x}_b|}{\bar{x}_b}\right)\right]}{2}$$

式中, x_a 和 x_b 分别代表苗高和茎基宽, $\bar{x}_a$ 和 $\bar{x}_b$ 分别代表苗高和茎基宽的平均值。

秧苗叶片酶活性及丙二醛(MDA)含量的测定:出苗后15 d,取秧苗地上部完全展开叶片,NBT法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,过氧化氢紫外分光光度法测定过氧化氢酶(CAT)活性,采用硫代巴比妥酸法测定MDA的含量^[11]。

育苗土壤性质的测定:出苗后每隔3 d,即1、4、7、10和13 d用W.E.T土壤多参数测定仪[沃德精准(北京)科贸有限公司,中国北京]测定土壤盐度,用烘干法测定含水量。出苗10和15 d取育苗土鲜样,分别采用紫外分光光度计和靛酚蓝比色法测定土壤硝态氮(数值较小且大部分为0,因

此本论文未列出)和铵态氮含量^[15]。

1.4 数据处理

用Excel 2019和SPSS 19.0对数据进行统计分析,用LSD法比较处理间0.05水平上的差异。

2 结果与分析

2.1 控释氮肥的养分释放特征

供试肥料CRU在25℃的静水培养条件下,前期释放养分缓慢,前7 d累积释放3.70%,前14 d累积释放6.0%,前30 d累积释放11.70%,中期开始加速释放,到112 d已累积释放69.10%(图1a)。供试肥料CRU在稻田土壤培养条件下,前14

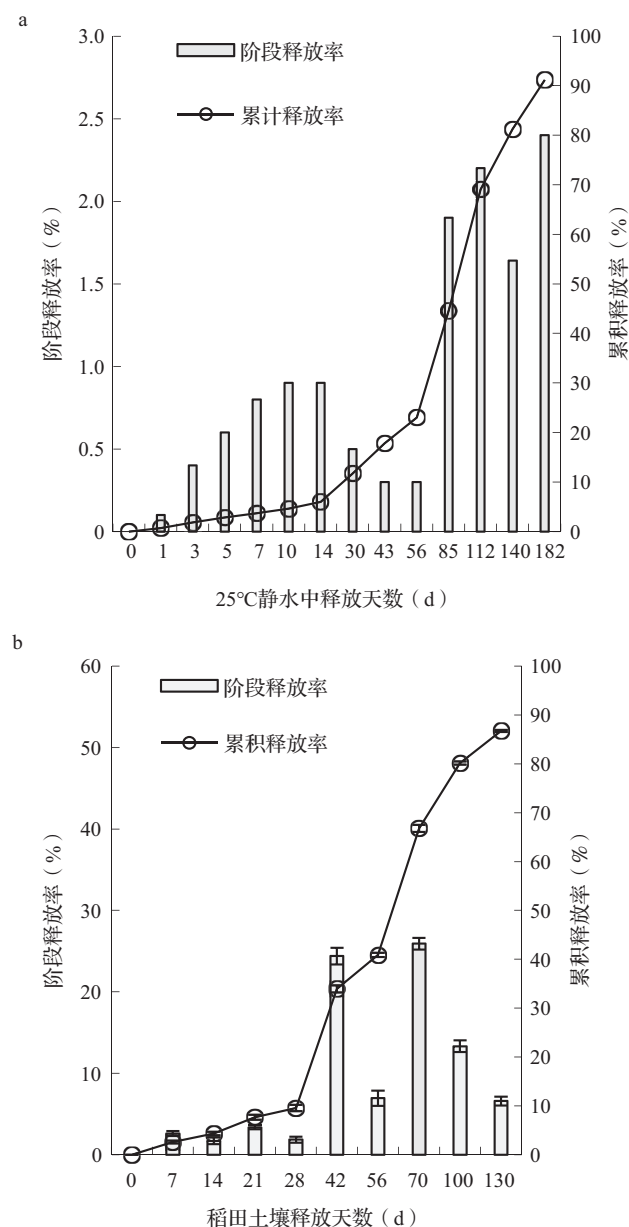


图1 25℃静水和稻田土壤控释尿素累积释放曲线

d 累积释放 1.44%，有利于育苗；前 42 d 累积释放 9.07%，在中期开始加速释放，到 100 d 已累积释放 71.75%（图 1b），比 25℃ 静水释放快。当地一季稻生育期为 110 ~ 150 d，因此，所用材料 CRU 满足箱式接触施肥下水稻育秧的需要。

2.2 控释尿素接触施用对出苗率、苗高和叶绿素含量的影响

控释尿素与种子直接接触的情况下，25%CRU

和 50%CRU 处理的出苗率与 CK 相比无显著差异（表 2），这说明 50% 的氮用量下（以 180 kg/hm² 为基准，下同）未影响种子发芽。而随着施氮量的提高出苗率显著降低，例如，75%CRU 和 100%CRU 的出苗率与 CK 处理相比分别显著降低 17.29% 和 36.08%。优化处理 50%CRU+S、50%CRU+B 和 50%CRU+SB 出苗率与 50%CRU 相比差异不显著，且比 CK 略低。

表 2 不同处理下的出苗率、苗高和叶绿素含量

处理	出苗率 (%)	苗高 (cm)			叶绿素含量 (mg/dm ²)	
		5 d	10 d	15 d	5 d	10 d
CK	85.78 ± 0.05a	5.16 ± 0.54bc	7.08 ± 0.51c	9.91 ± 1.05b	2.89 ± 0.31a	3.76 ± 0.09ab
25%CRU	83.76 ± 0.02ab	5.14 ± 0.40bc	7.38 ± 0.10bc	10.74 ± 0.57b	2.87 ± 0.66a	4.11 ± 0.40a
50%CRU	79.81 ± 0.03abc	5.51 ± 0.10ab	7.49 ± 0.35bc	12.56 ± 0.78a	3.14 ± 0.35a	4.24 ± 0.19a
75%CRU	68.49 ± 0.03d	4.59 ± 0.54c	7.20 ± 0.17c	9.77 ± 0.85b	2.73 ± 0.08a	3.49 ± 0.35bc
100%CRU	49.70 ± 0.05e	3.83 ± 0.32d	5.78 ± 0.18d	6.15 ± 0.05c	2.73 ± 0.12a	3.26 ± 0.25c
50%CRU+S	75.25 ± 0.01c	5.97 ± 0.73a	7.43 ± 0.54bc	12.75 ± 0.86a	3.05 ± 0.15a	3.80 ± 0.32ab
50%CRU+B	78.23 ± 0.04bc	6.01 ± 0.27a	8.11 ± 0.71ab	12.70 ± 1.62a	3.09 ± 0.30a	3.98 ± 0.23ab
50%CRU+SB	79.88 ± 0.04abc	6.06 ± 0.05a	8.55 ± 0.57a	12.55 ± 0.95a	3.07 ± 0.24a	3.97 ± 0.21ab

注：表中同列数据后小写字母相同表明处理间差异不显著（*P*<0.05）。下同。

第 5 d，与 CK 相比，25%CRU 和 50% CRU 的秧苗高度差异不显著，而 75%CRU 略低，100%CRU 的苗高显著减小 25.8%。第 10 和 15 d 具有相似的规律。5 d 时，各处理叶绿素未出现明显差异，10 d 时，与 CK 相比，25%CRU 和 50%CRU 处理的叶绿素含量差异不显著，而 75%CRU 和 100%CRU 处理的叶绿素含量分别减少 7.18% 和 13.30%。优化处理 50%CRU+S、50%CRU+B 和 50%CRU+SB 与 50%CRU 相比未显著改变苗高和叶绿素含量（仅 10 d 时，50%CRU+SB 苗高比 50%CRU 大），与 CK 相

比能一定程度上提高秧苗高度。

2.3 控释尿素接触施用对秧苗素质的影响

地上部干重反映秧苗茎叶的物质积累情况。表 3 数据表明，25%CRU、50%CRU、75%CRU 处理的地上部干重与 CK 相比分别显著提高了 46.44%、73.22%、30.39%，而 100%CRU 处理的地上部干重与 CK 相比差异不显著。与 CK 相比，25%CRU、50%CRU、75%CRU、100%CRU 处理的充实度和壮秧指数均无显著差异。除 100%CRU 整齐度比 CK 显著降低 13.77% 外，其余施肥处理整齐度与 CK 相

表 3 不同处理下的秧苗素质

处理	地上部干重 (mg)	充实度	壮秧指数	整齐度 (%)
CK	11.65 ± 0.71d	0.12 ± 0.02b	0.21 ± 0.02b	92.75 ± 0.03a
25%CRU	17.06 ± 1.40bc	0.15 ± 0.07ab	0.30 ± 0.11b	91.12 ± 0.01a
50%CRU	20.18 ± 1.24ab	0.13 ± 0.01ab	0.28 ± 0.04b	90.16 ± 0.06a
75%CRU	15.19 ± 3.50c	0.16 ± 0.04ab	0.25 ± 0.02b	86.37 ± 0.06ab
100%CRU	11.63 ± 1.39d	0.19 ± 0.02ab	0.23 ± 0.03b	79.98 ± 0.01b
50%CRU+S	20.48 ± 1.69a	0.16 ± 0.02ab	0.27 ± 0.07b	90.10 ± 0.03a
50%CRU+B	20.31 ± 1.31a	0.13 ± 0.05ab	0.28 ± 0.13b	89.76 ± 0.08a
50%CRU+BS	20.04 ± 0.99ab	0.20 ± 0.02a	0.47 ± 0.08a	87.58 ± 0.03ab

比无显著差异。优化处理 50%CRU+S、50%CRU+B 和 50%CRU+SB 与 50%CRU 处理的地上部干重之间无显著差异，但与 CK 相比显著提高了 72.02% ~ 75.79%。50%CRU+S、50%CRU+B 和 50%CRU+SB 与 50%CRU 处理的充实度之间无显著差异，而 50%CRU+SB 的充实度比 CK 显著提高了 66.67%。与 CK 和 50%CRU 相比，优化处理 50%CRU+SB 的壮秧指数分别提高了 123.81% 和 67.86%，50%CRU+S 和 50%CRU+B 与 CK 和 50%CRU 相比均无显著差异。3 个优化处理的整齐度与 CK 和 50%CRU 相比无显著差异。

如表 4 所示，随着控释尿素施用量的增加，根干重和根系活力均先增加后减小，在 50%CRU 下达到最大值，50%CRU 处理的根干重和根系活力与 CK 相比分别显著提高了 21.23% 和 52.25%，25%CRU 处理的根干重和根系活力与 CK 相比没有显著差异，75%CRU 和 100%CRU 处理的根干重与 CK 相比分别显著减小 16.52% 和 38.75%，75%CRU 处理的根系活力与 CK 相比无显著差异，而 100%CRU 处理的根系过少（烧根）无法获取足够的根尖样品。各处理的根长随育苗盘控释尿素用量的增加而减小，与 CK 相比，25%CRU 处理显著增加 27.62%，50%CRU 处理无显著差异，75%CRU 和 100%CRU 处理分别显著减小 18.10% 和 43.05%。优化处理 50%CRU+S、50%CRU+B 和 50%CRU+SB

的根干重、根长和根系活力与 50%CRU 处理相比均无显著差异；而根干重显著高于 CK，根长和根系活力与 CK 相比差异不显著。

表 4 控释尿素接触施用及育苗方式对根系的影响

处理	根干重 (mg)	根长 (cm)	根系活力 [mg/(g·h)]
CK	7.02 ± 0.62cd	5.25 ± 0.05b	1.11 ± 0.09bc
25%CRU	7.69 ± 0.44bc	6.70 ± 0.82a	1.30 ± 0.04ab
50%CRU	8.51 ± 1.04ab	4.76 ± 0.11bc	1.69 ± 0.39a
75%CRU	5.86 ± 1.03d	4.30 ± 0.16c	0.80 ± 0.16c
100%CRU	4.30 ± 0.36e	2.99 ± 0.13d	NA
50%CRU+S	8.78 ± 1.07ab	4.74 ± 0.09bc	1.33 ± 0.08ab
50%CRU+B	8.42 ± 0.11ab	4.78 ± 0.47bc	1.39 ± 0.21ab
50%CRU+SB	9.39 ± 0.42a	4.96 ± 0.54bc	1.48 ± 0.25ab

注：NA 指处理 100%CRU 的根系过少，无法进行根系活力的测定，故无数据。

2.4 控释尿素接触施用对育苗土性质的影响

各处理中 75%CRU 和 100%CRU 处理育苗土壤含水量最低，此外，10 和 20 d 时的 75%CRU 和 100%CRU 的电导率均高于 227 mS/m，是 CK 的 2 ~ 3 倍，且差异显著（表 5）。这说明 75%CRU 和 100%CRU 处理尿素态氮水解导致电导率过高，不利于秧苗生长。优化处理 50%CRU+S、50%CRU+B 和 50%CRU+SB 随时间的推移，电导率在 10d 后呈下降趋势。

表 5 控释尿素接触施用及育苗方式对育苗土含水量和电导率的影响

指标	处理	1 d	4 d	7 d	10 d	13 d
含水量 (%)	CK	35.07 ± 0.07a	26.13 ± 0.05a	26.70 ± 0.04cd	28.47 ± 0.04abc	31.30 ± 0.02a
	25%CRU	34.67 ± 0.03a	20.83 ± 0.03ab	27.93 ± 0.04bc	29.07 ± 0.06ab	26.43 ± 0.02b
	50%CRU	31.07 ± 0.03ab	22.17 ± 0.02ab	33.83 ± 0.01a	25.20 ± 0.02abc	23.80 ± 0.01b
	75%CRU	23.93 ± 0.05b	21.30 ± 0.04ab	21.77 ± 0.03d	22.13 ± 0.04abc	24.13 ± 0.02b
	100%CRU	27.03 ± 0.02ab	16.97 ± 0.02b	25.33 ± 0.01cd	20.93 ± 0.06c	23.97 ± 0.02b
	50%CRU+S	31.97 ± 0.02ab	21.77 ± 0.04ab	33.13 ± 0.04ab	25.20 ± 0.02abc	34.63 ± 0.03a
	50%CRU+B	28.20 ± 0.05ab	23.57 ± 0.05ab	32.77 ± 0.03ab	26.90 ± 0.03abc	33.07 ± 0.04a
	50%CRU+SB	29.70 ± 0.05ab	22.87 ± 0.02ab	34.27 ± 0.01a	31.83 ± 0.03a	31.13 ± 0.04a
电导率 (mS/m)	CK	159.33 ± 32.62b	147.33 ± 1.53d	118.33 ± 10.02b	111.00 ± 6.56c	96.67 ± 1.53d
	25%CRU	181.33 ± 9.29ab	151.33 ± 9.24cd	116.67 ± 4.62b	142.33 ± 6.66c	131.00 ± 6.56c
	50%CRU	199.67 ± 19.43ab	175.00 ± 14.00bcd	142.33 ± 17.79b	210.33 ± 11.85b	160.33 ± 10.02c
	75%CRU	205.00 ± 27.40a	184.00 ± 10.39bc	147.33 ± 17.10b	227.00 ± 33.42b	228.67 ± 30.29b
	100%CRU	192.33 ± 14.57ab	241.00 ± 26.23a	193.67 ± 33.13a	337.33 ± 38.81a	309.67 ± 7.09a
	50%CRU+S	180.33 ± 7.37ab	165.33 ± 22.55bcd	132.00 ± 17.35b	210.33 ± 11.85b	151.67 ± 7.64c
	50%CRU+B	178.33 ± 34.12ab	197.33 ± 4.04b	150.67 ± 19.86b	211.67 ± 23.01b	153.00 ± 18.33c
	50%CRU+SB	173.00 ± 7.00ab	147.33 ± 1.53d	144.33 ± 12.50b	217.67 ± 16.50b	149.37 ± 23.12c

如图2所示,第10和第15 d的所有控释尿素处理都显著高于CK处理(第10 d 25%CRU 除外),且随着控释尿素用量的增多土壤铵态氮浓度呈升高的趋势。在第10和第15 d 100%CRU 处理的铵态氮含量均显著高于其他处理。10 d 时,优化处理50%CRU+S 和 50%CRU+SB 的土壤铵态氮浓度显著高于50%CRU 处理,50%CRU+B 与50%CRU 处理相比无显著差异,15 d 时3组优化处理与50%CRU 处理相比无显著差异。此外,所有施控释尿素处理

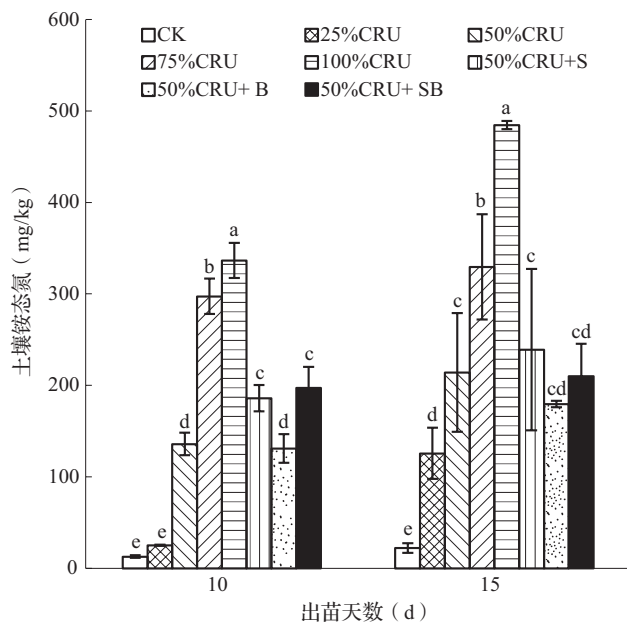


图2 出苗后10和15 d 育苗土的铵态氮浓度

第15 d 的土壤铵态氮浓度比第10 d 高,这说明育苗土的铵态氮随着时间的增加产生了一定积累。

2.5 控释尿素接触施用对育苗叶片酶活性和MDA 的影响

如表6所示,25%CRU 和50%CRU 处理的SOD 活性均高于CK,75%CRU 和100%CRU 处理的SOD 活性显著低于CK。这说明控释尿素CRU 提供较低氮含量时(如25%和50%的施氮量)有助于提高秧苗的SOD 活性,反之,会降低SOD 活性。随着控释尿素施氮量的增加,CAT 的活性先增加后降低,与CK 相比,25%CRU 和50%CRU 显著提高32.21%~40.26%,75%CRU 与其相似,而100%CRU 显著降低29.23%。各处理秧苗叶片POD 活性差异不显著。优化处理50%CRU+S、50%CRU+B 和50%CRU+SB 的SOD、CAT 和POD 活性与50%CRU 相比均无显著差异。

100%CRU 处理叶片MDA 含量是7.04 nmol/g,显著高于其他处理,而其他处理间无显著差异,这说明100%CRU 施氮量过大产生的高铵态氮(图2)造成了秧苗生长的逆境环境。优化处理50%CRU+S、50%CRU+B 和50%CRU+SB 的MDA 含量与50%CRU 和CK 都没有显著差异。因此,育苗时控释尿素提供25%CRU 和50%CRU 施氮量均有利于秧苗生长;过高施氮量可能损害秧苗。

表6 控释尿素接触施用及育苗方式对育苗叶片酶活性和MDA 的影响

处理	SOD (U/g)	CAT [U/(g·min)]	POD [U/(g·min)]	MDA (nmol/g)
CK	5.80 ± 0.27b	22.85 ± 1.16b	2016.00 ± 288.25a	1.89 ± 0.19b
25%CRU	7.74 ± 0.83a	30.21 ± 1.95a	2955.42 ± 346.32a	1.99 ± 0.51b
50%CRU	7.32 ± 0.91a	32.05 ± 2.03a	2912.19 ± 374.19a	2.06 ± 0.44b
75%CRU	4.48 ± 0.36c	21.36 ± 1.57b	2232.93 ± 189.12a	2.77 ± 0.69b
100%CRU	4.03 ± 0.55c	16.17 ± 0.99c	2015.36 ± 212.56a	7.04 ± 1.31a
50%CRU+S	7.69 ± 0.52a	30.75 ± 1.33a	2557.14 ± 342.62a	2.18 ± 0.24b
50%CRU+B	7.63 ± 0.95a	29.59 ± 1.47a	2735.69 ± 401.83a	2.16 ± 0.58b
50%CRU+SB	6.87 ± 0.69ab	30.65 ± 1.56a	2659.75 ± 215.63a	2.15 ± 0.91b

3 讨论

3.1 控释尿素接触施用对秧苗素质的影响

秧苗素质是保证水稻高产的前提^[16]。本研究表明控释尿素每盘388~775 g(25%CRU 和50%CRU)与水稻种子在接触施用下,其地上部干

重、充实度、状秧指数、整齐度优于CK 或与CK 相似。杨越超等^[8]研究不同控释尿素用量接触施用对秧苗生理特性的影响,认为每盘800和1000 g 最佳,本试验从秧苗素质上进行研究其最佳用量略低。随着施氮量增加,75%CRU 和100%CRU 的根干重减小(表4),而25%CRU 和50%CRU 的根长优于

其他处理。这说明尽管控释尿素具有缓释性能,但过量施用也不利于根系生长。Zhang 等^[6]仅仅比较了控释尿素在中低施氮量下(120 和 80 kg/hm²)与传统施氮量(300 kg/hm²)下氮素利用和氮淋洗的差异,并未公开秧苗的相关结果。Yang 等^[7]也对大田试验进行报道,未研究控释尿素接触施氮对秧苗素质的影响。

本研究基于前人的研究优化了“土、肥和种子”的装填顺序^[8]和育苗盘^[9],结果表明“土肥混合+种子”和“钵形毯状育秧盘”单一优化下与 50%CRU 相比,对秧苗素质未产生显著影响,而优化处理 50% CRU+SB 的壮秧指数比 CK 显著提高 123.81%。“土+肥料+种子+土”和“土肥混合+种子+土”在种子萌发后,根系可与控释氮肥颗粒接触,释放氮素利于根系吸收是较为理想的方式^[8]。与常规平盘相比,钵形毯状育秧盘采用分隔根系的模式,提高根长度、根直径和根体积等^[9],根数也增多^[10],其优势需要进一步大田试验来验证。

3.2 控释尿素接触施用对秧苗抗氧化酶、MDA 及育苗土壤性质的影响

土壤含水量和电导率均受到各育苗处理的影响。在有限的育秧盘空间内控释肥用量大则育秧土壤就少,育苗盘的蓄水能力就差,而水分的亏缺会影响秧苗生长发育^[17]。此外,尽管控释尿素释放缓慢(图 1),高施氮量(例如,75%CRU 和 100%CRU)下电导率较高,对秧苗有所损伤^[18]。本研究通过测算控释尿素占据育秧盘约 5 ~ 10 mm 深度,做出的假设是箱式育秧的育苗盘尺寸需要比常规育苗盘略深以容纳足够育秧土壤保证土壤含水量,还需要生产实践的进一步探索。

SOD 是植物体内清除活性氧自由基的关键酶,CAT 是植物体内 H₂O₂ 等活性氧的清除酶,POD 是细胞防御活性氧毒害酶系统的成员之一,能催化 H₂O₂ 氧化其他底物以清除 H₂O₂,MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量是细胞膜脂过氧化作用的重要指标^[19]。每盘育秧盘用控释尿素 388 ~ 775 g (25%CRU 和 50%CRU) 利于提高 SOD 和 CAT 的活性,而降低 MDA 的活性,对 POD 活性无显著影响(表 6)。杨越超等^[8]在山东育苗试验表明,每盘控释氮肥用量 800 和 1000 g 时秧苗叶片中的 SOD、CAT 和 POD 均高于常规尿素处理,而 MDA 含量则低于常规尿素处理,其适宜控释尿素用

量高于本研究。造成控释尿素用量差异的主要原因是试验地的平均温度不同,本研究所在地是荆州,5 月平均温度比杨越超等^[8]试验地山东泰安高,控释尿素释放较快。控释尿素高施氮量下(如每盘 1200 g)会导致叶片内的 SOD、CAT 和 POD 活性的降低和 MDA 含量的增加^[8],这与本研究中 100%CRU (每盘 1550 g)处理的规律很相似(表 6)。

4 结论

(1) 常规施氮(180 kg/hm²)条件下箱式育秧接触施肥育秧过程中每育秧盘施用 388 ~ 775 g (25%CRU 和 50%CRU)在保证出苗率的同时秧苗素质提高,综合考虑每盘用量 775 g 为宜。本试验育苗综合优化措施仅提高了苗高和壮秧指数,其优势需要大田试验来验证。

(2) 控释尿素施氮高会损伤秧苗,其机制是减少育苗土的含水量并增大铵态氮含量和电导率,同时降低叶片 SOD 和 CAT 活性,增大 MDA 含量。

参考文献:

- [1] 王雪芹. 农村人口老龄化现状及对农业经济的影响[J]. 世界热带农业信息, 2021 (11): 85-86.
- [2] 王伟彪, 伍少福. 轻简化施肥技术对水稻产量和氮肥利用的影响[J]. 浙江农业科学, 2021, 62 (9): 1686-1688.
- [3] 谷佳林, 王崇旺, 李玉泉, 等. 包膜尿素氮素释放特性及其采用接触式施肥对春玉米生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (6): 1486-1491.
- [4] 杨俊刚, 倪小会, 徐凯, 等. 接触施用包膜控释肥对玉米产量、根系分布和土壤残留无机氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (4): 924-930.
- [5] 刘汝亮, 李友宏, 张爱平, 等. 育秧箱全量施肥对水稻产量和氮素流失的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23 (7): 1853-1860.
- [6] Zhang A P, Gao J, Liu R L, et al. Nursery-box total fertilization technology application for increasing nitrogen use efficiency in Chinese irrigated riceland: N-soil interactions [J]. Land Degradation & Development, 2016, 27 (4): 1255-1265.
- [7] Yang Y C, Zhang M, Li Y C, et al. Controlled-release urea commingled with rice seeds reduced emission of ammonia and nitrous oxide in rice paddy soil [J]. Journal of Environmental Quality, 2013, 42 (6): 1661.
- [8] 杨越超, 张民, 陈剑秋, 等. 控释氮肥对水稻秧苗形态特征和生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (5): 1126-1135.
- [9] 陈惠哲, 徐一成, 张玉屏, 等. 超级早稻钵形毯状秧苗机插效果及产量形成[J]. 中国农业科学, 2019, 52 (23): 4240-4250.

- [10] 叶春, 李艳大, 曹中盛, 等. 不同育秧盘对机插双季稻株型与产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2020, 34(5): 435–442.
- [11] 张昌爱, 于秀英, 杨力, 等. 肥包埋置测定包膜尿素在土壤中氮素释放的方法及应用[J]. 环境化学, 2017, 36(9): 2055–2061.
- [12] 曹树青, 陆巍, 翟虎渠, 等. 用水稻苗期叶绿素含量相对稳定期估算水稻剑叶光合功能期的方法研究[J]. 中国水稻科学, 2001(4): 70–74.
- [13] 李应洪, 王海月, 吕腾飞, 等. 不同秧龄下机插方式与密度对杂交稻光合生产及产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2017, 31(3): 265–277.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [15] 张志良, 翟伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 张洪程, 吴桂成, 李德剑, 等. 杂交粳稻超高产群体动态特征及形成机制的探讨[J]. 作物学报, 2010, 36(9): 1547–1558.
- [17] 易子豪, 朱德峰, 王亚梁, 等. 水分亏缺对水稻秧苗素质的影响及调控[J]. 中国稻米, 2020, 26(6): 32–36.
- [18] 孙宇瑞. 土壤含水率和盐分对土壤电导率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2000(4): 39–41.
- [19] 魏海燕, 张洪程, 马群, 等. 不同氮肥吸收利用效率水稻基因型叶片衰老特性[J]. 作物学报, 2010, 36(4): 645–654.

Effects of contact application of controlled-release urea for rice seedling raising and optimized methods on seedling growth

LI Jin-tao¹, HU Yang¹, LI Xuan¹, DING Zi-juan¹, YANG Shuo¹, NIE Xi-bin¹, HUANG Fei¹, HOU Jun^{1*}, CAO Bing^{2, 3*}
(1. College of Agriculture, Yangtze University, Engineering Research Center of Ecology and Agricultural Use of Wetland Ministry of Education, Jingzhou Hubei 434025; 2. Institute of Plant Nutrition and Resource, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Science, Beijing 100097; 3. Beijing Engineering Technology Research Center for Slow/Controlled-Release Fertilizer, Beijing 100097)

Abstract: The seedling-box total fertilization technology is a simple and efficient controlled-release urea (CRU) fertilization technology, which is one-time application of CRU near rice seeds during the rice seedling raising, and the fertilizer is attached to the rice root system and brought into the paddy field when transplanting. In order to study the effects of different application rates and raising seedlings methods of CRU on rice seedling growth, the local conventional nitrogen application rates (180 kg/hm², 1550 g CRU was used per seedling tray) was used as the benchmark, five CRU rates (CK, 25% CRU, 50% CRU, 75% CRU and 100% CRU) were set up in this study, for the 50% CRU treatment, three including seedling ways were studied, including boxing-tanzhuang (in Chinese) seedling trays (50%CRU+B), the soil-fertilizer-seeds filling methods (50%CRU+S), and the combined seedling ways of B and S (50%CRU+BS). The results showed that CRU fertilization rates by coexistence placement should not exceed 745 g per seedling tray. The seedling quality of 50%CRU treatment was the best, while 75%CRU and 100%CRU treatments had different inhibitory effects on seedling growth. Compared with conventional seedling raising (CK), 50% CRU had similar emergence rate, uniformity, seedling strengthening index and plumpness, but significantly increased the root dry weight, shoot dry weight and root activity by 52.25%, 73.22% and 21.23%, respectively. With the increase of the amount of controlled-release urea, the water content of seedling soil decreased, and the NH₄⁺-N and electrical conductivity of soil increased. Compared with CK, the adverse growth environment caused by 75% CRU and 100% CRU increased MDA of seedling by 46.6% ~ 272.0%, and decreased SOD and CAT content by 22.8% ~ 30.5% and 6.5% ~ 29.2%, respectively. The three optimized seedling raising methods can improve the seedling height and seedling strengthening index, but had no significant effect on other seedling growth indicators. In conclusion, the seedling growth was the best when CRU was used as 745 g per seedling tray (about 90 kg/hm²) as contact-application way. The optimized seedling raising method promoted the seedling strengthening index and seedling height, but had no significant effect on other growth indexes of seedlings.

Key words: controlled release urea; contact-application; rice; seedling quality; ammonium nitrogen; antioxidant enzymes