控释尿素在水稻上的肥料效应研究

李 伟

（重庆市农业技术推广总站，重庆，401121）

摘要：在不合理施肥导致的环境问题愈来愈为人们关注的今天，控释肥料开始走进农业生产领域。为探讨控释尿素在重庆地区水稻上的效果及其施用方法，为大面积推广应用提供技术，2009 年 –2010 年连续两年采用田间小区试验的方法，选择肥力水平为中偏下的水稻土进行控释尿素肥效试验。结果表明，试验条件下 40%N 普通尿素 +60%N 控释尿素底肥处理，氮素当季表观利用率达到 53.6%–58.6%，农学效率达到 9.1–18.1 公斤稻谷 / 公斤 N，其产量达到 8352.0–9771.6 公斤 / 公顷。即使减少 50% 的施氮量，控释尿素比普通尿素 150 公斤 / 公顷 N 的产量还高 3.3%。前期供肥充足增加有效分蘖，后期供肥持续稳定，与水稻的需肥特性吻合程度较高，是控释尿素处理氮素利用率和农学效率相对较高的原因所在。试验表明，供试控释尿素基本适合重庆主要水稻产区的土壤、气候条件，能够在生产上推广应用。

大量研究表明，我国水稻生产中氮肥的当季利用率只有 30%–35%。氮肥利用率低不仅导致农业生产成本高，资源的利用效率低，而且大量的氮素排放到大气和水域中，引发一系列的环境问题[1–2]。为了协调作物吸收氮素与肥料供应氮素的矛盾，科学家们研制出了控释肥料，控释尿素便是其中的一个品种。为了评估控释尿素在重庆地区的适应性，为今后水稻简化高效施肥提供新技术，也为适合重庆地区水稻生产的控释尿素的最佳释放时间和释放量的设计提供进一步完善的科学依据，于 2009–2010 年连续两年在水稻上开展控释尿素肥效试验。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点分别选择在重庆市北碚区澄江镇和东阳街道。试验地所处地貌为中浅丘陵，有灌溉渠道引水灌溉，灌溉保证率达到 80%，是重庆市重要的水稻主产区。试验地种植制度为一季中稻。

1.2 供试土壤

供试土壤系侏罗系上统沙溪庙组沙泥岩发育而成的水稻土。土壤质地为重壤，经中 – 加实验室分析肥力水平属中下等，其基本性状见表 1。

1.3 供试作物品种

供试水稻品种为 Q 优 6 号。

1.4 供试肥料

供试控释肥料为 Agrium 公司生产提供的控释尿素，含氮量 44%。对照肥料为四川泸天化生产的普通尿素，氮含量 46%。

磷肥为过磷酸钙，P_2O_5 含量 12%，钾肥为加拿大产氯化钾，K_2O 含量 60%。

1.5 试验处理

以重庆市大面积生产上水稻推荐施肥量 N 150 公斤 / 公顷，P_2O_5 90 公斤 / 公顷，K_2O 90 公斤 / 公顷为基础，设置氮素不同品种、不同施用方式和不同施氮量共计 9 个处理。其中 2009 年试验处理为：

① CK – 无 N 肥处理（对照）

② RUB – 普通尿素 100%N 全作底肥；

③ CRUB – 控释尿素 100%N 全作底肥；

④ RU(B +T)1– 普通尿素 40%N 底肥 +60%N 追肥；

⑤（RU+CRU)B–(40% N 普通尿素 + 60% N 控释尿素）作底肥；

⑥ RU (B+T)2– 普通尿素 75%N 底肥 +25%N 追肥；

⑦ CRU (B+T)2– 控释尿素 75%N 底肥 +25%N 追肥；

表 1 供试土壤基本性状 (ASI 法)

试验年度	实验室编号	pH	OM (%)	NH_4–N	有效磷 (P)	速效钾 (K)
				（毫克 / 升）		
2009	BNN ｜ G ｜ 01	5. 27	0. 97	33. 7	3. 5	55. 5
2010	B UW ｜ R ｜ 06	5. 47	0. 64	54. 2	15. 1	73. 0

⑧ RU（B+T）3－普通尿素 50%N 底肥 +50%N 追肥；

⑨ CRU（B+T）3－控释尿素 50N% 底肥 +50%N 追肥。

2010 年在对前一年试验结果分析的基础上，将处理略作调整，即只保留处理⑥－⑨的底肥用量，删去追肥。

1.6 试验方法

单因素随机区组法。三次重复。小区长 5 米，宽 4 米，面积 20 平方米。重复间走道宽 0.50 米，小区间走道宽 0.30 米，埂宽 0.25 米。

1.7 试验实施

试验于栽秧前 3 天整田划小区和第一次筑埂，第 2 天待浮泥沉实后加固小区泥埂，确保泥埂高出水面 10 厘米，并用薄膜包裹，防止渗水和垮塌。泥埂做好后施底肥，每个处理的磷肥、钾肥和试验设计规定的氮肥比例作为底肥。先将肥料均匀地撒在小区箱面上，然后用钉耙将肥料混入泥中。剩余氮肥在水稻移栽返青后浅水撒施。具体农事操作见表 2。

水稻成熟后分区收割计产考种。收获的同时采集土壤样品和植株样品，分析土壤中全氮含量以及植株中氮磷钾的含量。

氮素利用率按照差值法计算。

2 结果与分析

2.1 控释尿素氮的利用率

试验结果表明，控释尿素氮素利用率均高于普通尿素。2009 年三个不同的底肥和追肥比例，控释尿素处理的氮素利用率分别为 55.2%、54.3%、44.3.1%，均高于普通尿素，其中控释尿素全作底肥处理的氮素利用率是普通尿素的 2.6 倍，（RU+CRU）B 的氮素利用率 53.6%（图 1）。2010 年在氮肥均作底肥的条件下，控释尿素三个不同水平（150，112.5 和 75 公斤 N/ 公顷）的氮素当季利用率依次为 55.6%、54.9%、78.1%，比普通尿素高 23.3–62.6 个百分点（图 2）。40% 普通尿素加 60% 控释尿素作底肥（RU40%+CRU60%）B 的氮素利用率 58.6%，而普通尿素分次施肥（RU40% B+60% T）的利用率仅 36.1%。

从图 1 和图 2 还可以看出，不同年度间控释尿素 150 公斤 / 公顷底肥处理（CRUB）的氮素利用率十分相近，均为 55% 左右，表明控释尿素的氮素释放速率与水稻的吸氮规律的吻合度较好。

等氮量条件下控释尿素随着底肥比例的减少，其氮素利用率呈下降趋势（图 1），在施肥方式相同条件下，则随着施氮量减少，氮素利用率呈提高趋势（图 2）。

2.2 控释尿素氮的农学效率

与氮素利用率相似，农学效率也表现出控释尿素明显高于普通尿素。2009 年不同施肥方法比较，不论是全部作底肥还是不同比例的底肥追肥，控释尿素的农学效率均高于普通尿素，尤其是全部作底肥施用处理，控释尿素农学效率是普通尿素的 2.86 倍（表 3）。但总体上看，以普通尿素 40%+ 控释尿素 60% 作底肥处理的农学效率最高，每公斤氮素的稻谷产量达到 9.1 公斤，其次是控释尿素

表 2 试验实施农事操作

试验年度	播种	移栽	整田	移栽规格：行距 × 窝距（厘米）	施底肥	施追肥	收获期
2009	3/3	4/21	4/18	0. 33×0. 20	4/20	5/1	9/18
2010	3/5	4/18	4/5	0. 33×0. 20	4/17	5/1	9/18

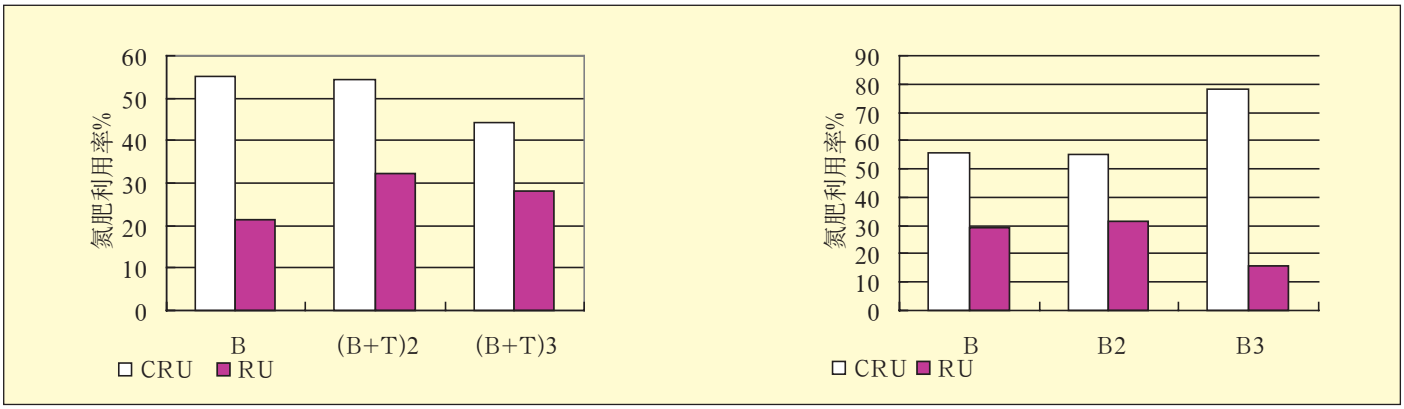

图 1 2009 年两种尿素 N 利用率

图 2 2010 年两种尿素 N 利用率

表 3　不同尿素品种的农学效率					
2009 年			2010 年		
试验处理	施 N 量（公斤 / 公顷）	N 农学效率（公斤 / 公斤）	试验处理	施 N 量（公斤 / 公顷）	N 农学效率（公斤 / 公斤）
CK	0	– –	CK	– –	– –
RU B	150	1. 4	RU B	150	8. 7
CRU B	150	4. 0	CRU B	150	12. 7
RU(B+6T)1	150	5. 3	RU(B+6T)1	150	12. 4
(RU+CRU)B	150	9. 1	(RU+CRU)B	150	18. 1
RU(B+T)2	150	4. 9	RU B2	112. 5	10. 9
CRU(B+T)2	150	6. 2	CRU B2	112. 5	16. 0
RU(B+T)3	150	3. 7	RU B3	75	7. 8
CRU(B+T)3	150	4. 3	CRU B3	75	20. 5

75% 底肥 +25% 追肥，达到 6.2 公斤，普通尿素全部作底肥处理的最低，仅 1.4 公斤。2010 年试验结果总的趋势与前一年基本一致，不同之处一是农学效率普遍较高，二是控释尿素减量 50% 处理的农学效率最高，达到 20.5 公斤。

2.3 控释尿素对水稻吸收氮素的影响

施用控释尿素可以明显提高水稻植株的氮素含量。在氮肥全部作为底肥施用条件下，控释尿素处理与普通尿素相比较，水稻籽粒吸氮量高 23.3%–30.6%，植株吸氮量高 24.3%–31.2%。不同的底肥追肥比例（2009 年），不同的氮肥水平（2010 年），其籽粒、植株吸氮总量，依然以控释尿素高于普通尿素（表 4）。就控释尿素而言，不同的底肥追肥比例比较（2009 年），籽粒、植株吸氮量则以全部作底肥处理最高，分别达到 139.5 公斤 / 公顷、213.2 公斤 / 公顷，随着底肥的降低，籽粒、植株吸氮量也依次下降。氮肥不同用量比较（2010 年），植株吸氮量则以 150 公斤 / 公顷 N 处理最高，达到 203.8 公斤 / 公顷，75% 和 50% 氮肥用量则分别下降到 182.2 公斤 / 公顷和 179.0 公斤 / 公顷。

2.4 控释尿素与土壤氮素含量

试验结束后采集试验小区土壤样品分析结果表明，控释尿素处理的小区土壤中全氮含量高于普通尿素，其中尤其以 2009 年的结果差异明显，控释尿素全作底肥的土壤全氮含量 1.37 克 / 公斤，而普通尿素仅 1.24 克 / 公斤（图 3），控释尿素 50% 作底肥处理（1.33 克 / 公斤）高于普通尿素（1.22 克 / 公斤）。2010 年试验结果两种尿素品种处理的土壤全氮含量差异不如 2009 年大，但更加具有规律性，即所有处理控释尿素土壤全氮含量均高于普通尿素（图 4）。在施肥方式相同的条件下（均作底肥），随着氮肥用量的减少其土壤中全氮含量也略有降低。需要指出的是，连续两年的结果都表明，40% 普通尿素 +60% 控释尿素作底肥处理（RU+CRU）B，其土壤全氮含量既低于普通尿素全作底肥，也低于控释尿素全作底肥。

表 4 不同氮肥品种与水稻氮素吸收量					
2009 年			2010 年		
试验处理	籽粒吸 N（公斤 / 公顷）	植株吸收量（公斤 / 公顷）	试验处理	籽粒吸 N（公斤 / 公顷）	植株吸收量（公斤 / 公顷）
CK	91. 2 c	130. 3 c	CK	83. 8 c	120. 3 c
RU B	106. 8 a	162. 5 a	RU B	107. 8 ab	163. 9 ab
CRU B	139. 5 b	213. 2 b	CRU B	132. 9 a	203. 8 a
RU(B+6T)1	120. 3 ab	189. 2 ab	RU(B+6T)1	113. 4 b	174. 4 abc
(RU+CRU)B	135. 8 ab	210. 7 ab	(RU+CRU)B	130. 6 ab	208. 1 ab
RU(B+T)2	113. 3 a	178. 4 a	RU B2	106. 4 a	155. 9 bc
CRU(B+T)2	122. 4 ab	211. 8 ab	CRU B2	122. 5 ab	182. 2 abc
RU(B+T)3	116. 3 a	172. 6 a	RU B3	91. 9 b	132. 0 c
CRU(B+T)3	118. 4 a	196. 7 a	CRU B3	118. 4 ab	179. 0 abc

注：籽粒吸氮量、植株吸氮量列上下两行凡没有相同字母则表示其氮素含量差异达到 5% 显著水平。

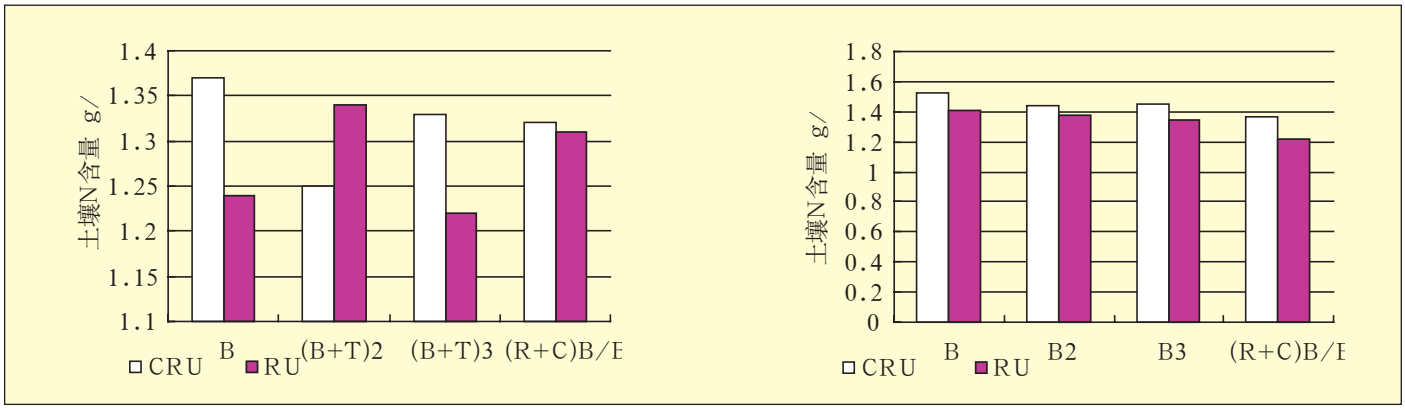

图 3 2009 年两种尿素水稻收后土壤全氮含量　　图 4 2010 年两种尿素水稻收后土壤全氮含量

2.5 控释尿素对水稻产量的影响

控释尿素对水稻产量的影响列于表 5。表中看出三点共性，一是连续两年的试验均以（RU+CRU）B 的产量最高，分别达到 9771.6 公斤 / 公顷和 8352.0 公斤 / 公顷。二是分次施肥的产量均高于一次施肥。三是控释尿素的产量同比均高于普通尿素。2009 年试验结果，CRU(B+T)2 的单产位居当年第二，达到 9325.74 公斤 / 公顷，RUB 的产量最低（8613.0 公斤 / 公顷），仅为控释尿素的 95.7%。2010 年 CRUB 处理单产（7536.0 公斤 / 公顷）位居第二。在施肥方式相同（一次底肥）条件下，不论控释尿素还是普通尿素，其产量均随氮肥用量的降低而降低，但增产幅度却随着氮肥用量的降低而提高，CRUB3 处理的水稻产量达到 7173.2 公斤 / 公顷，比 RUB3 增产 15.4%，甚至超过 RUB 的水稻产量（6941.8 公斤 / 公顷），其增产效果施肥显著。

表 5 不同尿素品种对水稻产量的影响

2009 年		2010 年	
试验处理	产量（公斤 / 公顷）	试验处理	产量（公斤 / 公顷）
CK	8400. 9 D	CK	5634. 5 D
RU B	8613. 0 BC	RU B	6941. 8 BC
CRU B	9000. 9 AB	CRU B	7536. 0 AB
RU(B+6T)1	9200. 8 AB	RU(B+6T)1	7495. 5 AB
(RU+CRU)B	9771. 6 A	(RU+CRU)B	8352. 0 A
RU(B+T)2	9136. 0ABC	RU B2	6866. 4 BC
CRU(B+T)2	9325. 7 ABC	CRU B2	7437. 5 AB
RU(B+T)3	8949. 6CD	RU B3	6216. 4 CD
CRU(B+T)3	9039. 1 BC	CRU B3	7173. 2 BC
$F = 13.334$，$F_{0.01}=5.67$		$F = 9.992$，$F_{0.01}=5.67$	

注：表中产量列上下字母不同表示差异极显著（$P < 0.01$，LSD 检验）

进一步分析水稻的产量构成因子（表 6）不难发现，施用控释尿素的处理，其有效穗均高于普通尿素，除 CRU B3 外，其余各处理的实粒数和结实率也是控释尿素高于普通尿素，从而使控释尿素得以增产。

3 讨论

3.1 试验条件下，连续两年均以（RU+CRU）B 组合产量最高，表明该肥料组合能够较好地满足水稻生长

表 6 不同处理产量构成因子分析

试验处理	窝数（万窝 / 公顷）	有效穗（万穗 / 公顷）	着粒数（粒 / 穗）	实粒数（粒 / 穗）	结实率（%）
CK	15	161. 7	174	140	80. 3
RU B	15	188. 1	183	154	84. 2
CRU B	15	192. 0	188	160	85. 2
RU(B+6T)1	15	191. 4	191	159	83. 1
(RU+CRU)B	15	195. 0	187	167	89. 4
RU B2	15	171. 6	182	150	82. 6
CRU B2	15	191. 4	186	155	83. 4
RU B3	15	165. 0	174	147	84. 5
CRU B3	15	207. 9	175	140	80. 1

发育的氮素需求。由于水稻生长的前期温度较低，控释尿素的氮素释放速率较慢，不能充分满足水稻前其生长的要求，需要通过氮素释放速率更快的普通尿素进行补充，满足苗期生长的营养需求，确保水稻拥有足够的有效分蘖。而控释尿素后期充足的供氮量，使水稻功能叶能够持续发挥作用，无早衰现象发生，提高了结实率，从而实现了增产。收获时（RU +CRU）B 处理呈现出谷黄秆青，剑叶直立景象，而单纯普通尿素处理的水稻叶色明显转黄。

3.2 控释尿素处理的小区土壤氮素含量高于普通尿素小区，究其原因可能与控释尿素氮的释放速率有关。由于控释尿素氮素释放是一个缓慢的过程，因而在土壤中除了被水稻有效吸收利用外，被水解并通过硝化作用流失的量也相对较小，从而增加了土壤中氮的含量[3]。因此，从整个意义上讲，施用控释尿素不仅能够实现增长，同时还有利于培肥土壤。

3.3 2009 年试验，随着追肥比例的提高，其氮素利用率呈现降低的趋势（图 1）。结合水稻籽粒吸氮量（表 4）分析，可能是因为控释尿素追肥比例提高到 50% 时，水稻灌浆结实过程中没有充分吸收利用这部分氮素造成的。另外，CRUB 和 CRUB3 的产量差异并不明显（表 5），进一步说明控释尿素作追肥的比例不宜过大。因此在 2010 年试验中取消了该处理。

3.4 控释尿素在水稻生产上推广应用的问题主要取决于其成本。按照本试验结果，在氮肥用量减少 50% 条件下施用控释尿素水稻产量可以基本保持稳定，若控释尿素价格控制在普通尿素 1.5 倍以内，则尿素投入不会增加。目前我市农村劳动力紧张，且费用不断上升。据调查在水稻移栽和施肥期间每一个工日费用约 60 元，一个工日可施追肥 0.5 公顷左右，每公顷可节省劳动力成本 120 元。更重要的是省去了追肥这一环节将深受农民欢迎。

参考文献

[1] 徐明刚，李菊梅，李冬初，等．控释氮肥对双季稻生长及氮肥利用率的影响．植物营养与肥料学报，2009，15(5):1010–1015.

[2] 朱兆良，文启孝．中国土壤氮素．南京：江苏科技出版社，1992.

[3] 武志杰，陈利军．缓释 / 控释肥料．北京：科学出版社，2003.