控释尿素对黑龙江水稻产量和氮素利用率的影响

姬景红　李玉影　刘双全　佟玉欣　李　杰　刘　颖　张明怡

（黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所，黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室，黑龙江省肥料工程技术研究中心，黑龙江 哈尔滨，150086）

摘要：通过 5 年 5 点次田间试验，研究控释尿素、普通尿素及控释尿素与普通尿素不同比例混合施用对黑龙江水稻产量及氮素利用率的影响。2011 年和 2012 年试验结果表明，采用控释尿素配施普通尿素（比例为 3:2）一次性基施，水稻产量水平与普通尿素一次基施加一次追施（施用比例为 2:3）效果相当。2013 年和 2014 年试验结果表明，在 100%NE 推荐施氮量条件下，控释尿素占 75%、60%、45% 和 30% 分别比 100% 普通尿素一次性基施水稻平均增产为 15.2%、15.2%、12.3% 和 8.1%；氮农学效率平均增加 6.2 公斤 / 公斤、6.2 公斤 / 公斤、5.0 公斤 / 公斤和 3.3 公斤 / 公斤，氮回收率增加 7.6 %、9.5 %、6.5 % 和 4.2 %。2015 年试验结果表明，NE 推荐施肥平衡了氮磷钾肥用量及比例，水稻产量最高，肥料利用效率最高。NE 推荐施肥较农民习惯施肥氮农学效率增加 1.9 公斤 / 公斤，氮素利用率增加 1.7%。2013 年、2014 年和 2015 年试验结果表明，控释尿素与普通尿素混合在黑龙江水稻生产上一次性施用以控释尿素比例在 45%–75% 效果较好。

关键词：控释尿素；水稻；产量；氮素利用率

水稻是黑龙江省主要粮食作物之一，常年种植面积在 6000 万亩。水稻的高产高效是一直是我们关注的重点。黑龙江省水稻生产中常采用基肥加一次追肥、二次追肥、三次追肥的方式，既费时又费力。随着生产资料及农村劳动力价格的上涨，研究者在不断探索水稻简化高效的施肥措施，而控释尿素的生产和应用为水稻生产的节能高效带来了新的途径。合理施用控释氮肥能够减少氮肥用量、增加水稻产量、提高氮肥农学效率 [1]。徐明岗等 [2] 的研究结果表明，在我国南方红壤地区施用日本 Meister 类型控释肥比同用量的尿素（N 75 公斤 / 公顷），显著增加水稻有效穗数和有效蘖数，分别增加早、晚稻产量 3.6% 和 9.3%，增加氮肥利用率 29.9% 和 10.4%。孙锡发等 [3] 在四川省进行的水稻试验中施用加拿大生产的高分子包膜尿素肥料，与普通尿素一次施用相比，在中高肥力土壤上水稻增产 10.0%；在中低肥力土壤上水稻增产 27.0%。近年来，有关控释尿素或控释尿素与普通尿素配施在水稻上的应用效果方面研究较多，但多集中在南方双季稻上且所选择的控释肥料也各不相同 [2–6]，而关于黑龙江省一季稻施用控释尿素效果的报道相对较少，且多为一年一点试验 [7–9]。因此，本文通过设置多年田间试验，研究控释尿素对黑龙江水稻产量及氮肥利用率的影响，为水稻简化高效施肥提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤：土壤类型为黑土，供试土壤基本化学性质见表 1。

供试水稻品种：2011 年和 2012 年水稻品种均为东农 428；2013 年水稻品种为龙粳 31；2014 年水稻品种为中龙粳 2 号；2015 年水稻品种为阳光 4 号。

供试肥料：氮肥（BU）为市售普通尿素（含 N 46%）；控释尿素（CRU）为树脂包膜尿素（含 N 44%，控释期 90 天），由美国加阳公司生产；磷肥为重过磷酸钙（含 P_2O_5 46%），钾肥为氯化钾（含 K_2O 60%）。

表 1 土壤基本化学性质

年份	地点	pH	有机质（克 / 千克）	全氮（克 / 千克）	速效 N（毫克 / 千克）	速效 P（毫克 / 千克）	速效 K（毫克 / 千克）
2011	庆安县平安镇太平村	6. 32	42. 7	2. 3	181. 7	28. 9	95. 0
2012	庆安县久胜镇久旭村	5. 88	44. 1	2. 3	145. 5	23. 4	170. 0
2013	庆安县平安镇太平村	5. 86	43. 8	2. 3	106. 8	36. 7	165. 1
2014	庆安县平安镇太平村	5. 79	45. 2	2. 1	112. 0	35. 8	167. 9
2015	方正县水稻研究院	5. 86	33. 0	1. 6	102. 7	20. 0	163. 0

1.2 试验设计

2011 年 – 2014 年试验地点为庆安县，2015 年试验地点为方正县。2011 年和 2012 年试验设 9 个处理，2013 年和 2014 年试验设 11 个处理，2015 年试验设 9 个处理，3 次重复，随机区组排列，小区面积 39 平方米。2011 年和 2012 年 100%NE（养分专家推荐）施肥量分别为 N 157.5 公斤 / 公顷、P_2O_5 52.5 公斤 / 公顷、K_2O 75 公斤 / 公顷；2013 年和 2014 年 100%NE（养分专家推荐）施肥量分别为 N 180 公斤 / 公顷、P_2O_5 52.5 公斤 / 公顷、K_2O 75 公斤 / 公顷。2011 年 –2014 年中除 2011 年和 2012 年的处理 4 采用 40% 氮结合全部磷钾肥基施，60% 氮分蘖期施用外，其他各处理氮磷钾肥均一次性基施；2015 年处理 1（FP）N、P_2O_5、K_2O 用量分别为 157.3 公斤 / 公顷、34.5 公斤 / 公顷、89.4 公斤 / 公顷，氮基肥、返青肥、分蘖肥所占比例分别为 57%、21.5%、21.5%；处理 2（NE100%BU）N、P_2O_5、K_2O 用量分别为 169 公斤 / 公顷、83 公斤 / 公顷和 83 公斤 / 公顷，处理 2 和处理 5 氮基施、分蘖肥、穗肥所占比例分别为 30%、35%、35%；处理 9（OPTS）N、P_2O_5、K_2O 用量分别为 142.5 公斤 / 公顷、45 公斤 / 公顷、105 公斤 / 公顷，氮基施、分蘖肥、穗肥所占比例分别为 40%、30%、30%；磷肥 100% 做基肥，钾肥 50% 作基肥，50% 作穗肥；其它处理氮磷钾肥均一次性基施（表 2）。

1.3.2 水稻吸氮量及产量 收获时，每小区取 2 平方米水稻考种、测产；将水稻秸秆和籽粒 105℃杀青 0.5 小时，70℃烘干，称重，采用凯氏法测定全氮含量。

1.4 数据处理及计算公式

采用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 进行数据的统计分析。

氮肥表观回收率（REN%）=（施氮小区植株地上部吸氮量 – 不施氮小区植株地上部吸氮量）/ 施氮量 ×100；

氮肥农学效率（AEN）（$kg \cdot kg^{-1}$）=（施氮小区产量 – 不施氮小区产量）/ 施氮量。

2 结果与分析

2.1 控释尿素对水稻产量的影响

2011 年和 2012 年庆安水稻试验结果表明（表 3），氮肥用量为 100% 的各处理产量（处理 2 和处理 3）均较高且差异不显著，40% 普通尿素基施结合 60% 普通尿素分蘖期追施（处理 4）水稻产量最高，但与 60% 控释尿素与 40% 普通尿素混合施用一次性基施（处理 5）水稻产量差异不显著，两处理较 100% 普通尿素一次性基施（处理 2）分别平均增产水稻 14.7% 和 11.7%。主要是由于控释肥与普通尿素掺混，可以弥补控释肥前期释放速率过慢的不足，及时供给水稻生长所需养分，后期又不脱肥。2013 年和 2014 年试验结果表明，在 100% 推荐施氮量条件下，控释尿素占 75%（处理 3）、60%（处理 4）、45%（处

表 2 各年份不同地点试验处理

处理	庆安县 2011 年和 2012 年	庆安县 2013 年和 2014 年	方正县 2015 年
处理 1	N0	N0	FP: 农民习惯施肥（基、返青、穗肥）
处理 2	NE100%N:100%BU	NE100%N:100%BU	NE100%N:100%BU（基、蘖、穗肥）
处理 3	NE100%N:100%CRU	NE100%N:75%CRU +25% BU	NE100%N:60%CRU +40% BU
处理 4	NE100%N:40%BU 基 +60%BU 蘖	NE100%N:60%CRU +40% BU	NE100%N:75%CRU +25% BU
处理 5	NE100%N:60% CRU+40% BU	NE100%N:45%CRU +55% BU	NE80%N:100%BU（基、蘖、穗肥）
处理 6	NE75%N:75%CRU	NE100%N:30%CRU +70% BU	NE80%N:60%CRU +40% BU
处理 7	NE75%N:75%BU	NE80%N:100%BU	NE80%N:75%CRU +25% BU
处理 8	NE50%N:50% CRU	NE80%N:75%CRU +25% BU	N0
处理 9	NE50%N:50%BU	NE80%N:60%CRU +40% BU	OPTS: 当地推荐氮量（基、蘖、穗肥）
处理 10	– –	NE80%N:45%CRU +55% BU	– –
处理 11	– –	NE80%N:30%CRU +70% BU	– –

注 :CRU 为控释尿素，BU 为普通尿素；NE100%N 为采用养分专家系统推荐施氮量，NE80%N、NE75%N、NE50%N 分别为养分专家系统推荐施氮量的 80%、75%、50%。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤基本化学性质 试验前采集 0–20 厘米土层土壤样品（S 点取样法），采用常规方法分析土壤基本化学性质 [10]。

理 5）和 30%（处理 6）分别比 100% 普通尿素一次性基施（处理 2）水稻平均增产为 15.2%、15.2%、12.3% 和 8.1%。2015 年方正试验结果表明，施用普通尿素的三个处理，即农民习惯施肥（处理 1）、NE 推荐施肥（处理 2）及当地推荐施肥（处理 9），以处理 2 水稻产量最高，显著高于处理 1 和处理 9。处理 1 、处理 2 和处理 9 这三个处理 N:P_2O_5:K_2O 施用比例分别为 4.6:1.0:2.6，2.0:1.0:1.0，3.2:1.0:2.3，NE 推荐施肥处理虽较农民习惯施肥处理和当地推荐施肥处理增加了氮肥用量，同时也调整了氮磷钾肥施用量和比例，是该处理产量最高的一个原因，另一个原因可能是该处理氮肥分配比例和时期更加合理。这也说明，NE 推荐施肥平衡了氮磷钾肥用量及比例，效果较好。

2011–2015 年试验结果均表明，水稻产量随着施氮量的增加而增加。同一施氮量条件下，均表现为控释尿素与普通尿素以一定比例混合施用均较普通尿素一次性施用具有显著的增产作用。施用控释尿素可以在减少氮肥用量的同时，不减少产量。如 2011 年和 2012 年，75% 控释尿素（处理 6）与 100% 普通尿素（处理 2）水稻籽粒产量差异不显著，显著高于 75% 普通尿素（处理 7）。2013 年和 2014 年，80% 推荐氮量中控释尿素占 60%（处理 4）和 45%（处理 5）的两处理的水稻产量高于 100% 普通尿素一次性基施处理（处理 2），可见，控释肥料与普通肥料比例合理搭配可以在减少氮肥用量 20% 的条件下，仍然能获得较高的水稻产量水平。通过 2013–2015 年三年三点水稻产量结果分析，控释尿素所占比例以控释尿素占 45%–75% 效果较好，尤其是 60%–75% 的控释尿素施用比例效果更佳（表 3）。

2.2 控释尿素对氮素利用率的影响

2011 和 2012 年水稻地上部氮素吸收趋势与产量趋势相似。以 100% 氮用量的各处理植株吸氮量较高，施氮量降低则氮素吸收降低。100% 氮肥用量的处理 4 和处理 5 氮素吸收利用率最高，显著高于处理 2。相同氮用量条件下，控释尿素处理氮吸收量、肥料利用率高于普通尿素处理，说明控释尿素在氮素吸收和利用方面具有一定的优势。氮素农学效率表现出随着施氮量的降低而增加的趋势（表 4）。2013 年和 2014 年试验结果也表明，随着施氮量的增加植株氮素吸收量增加。在 100% 推荐施氮量条件下，控释尿素占 75%（处理 3）、60%（处理 4）、45%（处理 5）和 30%（处理 6）比 100% 普通尿素一次性基施（处理 2）分别平均增加氮农学效率 6.2 公斤 / 公斤、6.2 公斤 / 公斤、5.0 公斤 / 公斤和 3.3 公斤 / 公斤，增加氮回收率 7.6%、9.5%、6.5% 和 4.2%；在 80% 推荐施氮量条件下，控释尿素占 75%（处理 8）、60%（处理 9）、45%（处理 10）和 30%（处理 11）比 100% 普通尿素一次性基施（处理 7）分别平均增加氮农学效率 8.1 公斤 / 公斤、9.2 公斤 / 公斤、6.7 公斤 / 公斤和 4.8 公斤 / 公斤，增加氮回收率 11.0%、12.4%、8.6% 和 4.8%。说明，黑龙江省水稻生产控释尿素与普通尿素混合比例以 45%–75% 较佳（表 5）。

2015 年试验结果表明，采用氮肥一次基肥的处理，高控释氮肥施用比例增加吸氮量（处理 4 和处理 3 相比，处理 7 和处理 6 相比），但差异不显著。施用普通尿素的三个处理，即农民习惯施肥（处理 1 氮肥用量为 N157.3 公斤 / 公顷）、NE 推荐施肥（处理 2 氮肥用量为 N169 公斤 / 公顷）及当地推荐施肥（处理 9 氮肥用量为 N142 公

表 3 不同处理水稻产量（公斤 / 公顷）

处理	庆安				庆安				方正	
	2011 年	2012 年	平均	增产 (%)	2013 年	2014 年	平均	增产 (%)	2015 年	增产 (%)
处理 1	5819 d	4354 e	5087	– –	4606 g	5713 g	5160	– –	7902 b	57. 2
处理 2	8834 ab	6795 b	7815	– –	7447 e	7203 ef	7325	– –	8436 a	67. 8
处理 3	8880 ab	7034 b	7957	1. 8	7766 cd	9109 a	8438	15. 2	7700 b	53. 2
处理 4	9323 a	8568 a	8946	14. 5	8144 ab	8731 ab	8438	15. 2	8257 a	64. 3
处理 5	9130 a	8336 a	8733	11. 7	8399 a	8046 bcd	8223	12. 3	7832 b	55. 8
处理 6	9030 a	6851 b	7941	1. 6	8326 a	7511 def	7919	8. 1	7215 d	43. 6
处理 7	7914 c	6399 c	7157	– –	6731 f	6949 f	6840	– –	7492 c	49. 1
处理 8	8338 bc	6160 c	7249	– –	7297 e	8563 ab	7930	– –	5026 e	– –
处理 9	7851 c	5761 d	6806	– –	7913 bc	8263 bc	8088	– –	7813 b	55. 5
处理 10	– –	– –	– –	– –	7732 cd	7749 cde	7741	– –	– –	– –
处理 11	– –	– –	– –	– –	7528 de	7384 def	7456	– –	– –	– –

注 :2011 – 2014 年增产率是以处理 2 为对照进行计算的，2015 年增产率是以处理 8(N0) 为对照进行计算的。

斤 / 公顷），植株吸氮量以 NE 推荐施肥处理最高，显著高于农民习惯施肥和当地推荐施肥，为水稻高产奠定基础。100% 推荐氮肥用量和 80% 推荐氮肥用量情况下，均表现为高控氮比的处理（控释尿素占 75%，普通尿素占 25%）与普通尿素 100% 分次施用氮肥表观利用率相差不多（处理 4 与处理 2 相比；处理 7 与处理 5 相比），说明控释尿素以较高比例与普通尿素混合一次施用能够达到与普通尿素分次施用相似的效果。100% 推荐氮肥用量条件下，施用普通尿素的三个处理，即农民习惯施肥（处理 1）、NE 推荐施肥（处理 2）及当地推荐施肥（处理 9），以处理 2 氮的农学效率和氮表观回收率最高（分别为 20.2 公斤 / 公斤，38.4%），当地推荐施肥处理 9 其次（分别为 19.6 公斤 / 公斤，37.4%），农民习惯施肥最低（分别为 18.3 公斤 / 公斤，36.7%），该结果进一步说明，NE 推荐施肥效果较好。

3 结 论

3.1 控释尿素处理较普通尿素处理表现出明显的产量优势，施用控释尿素在减少氮肥施用量的同时，并不减少水稻产量。采用控释尿素结合普通尿素一次性基施（控释尿素与普通尿素比例为 3 : 2），水稻产量水平与普通尿素一次基施加一次追施效果相当。

3.2 控释尿素与普通尿素以一定比例混合施用均较普通尿素一次性施用增加植株氮素吸收量、氮农学效率、氮素利用率。养分专家系统（NE）推荐施肥水稻产量、植株吸氮量、氮的农学效率和氮素利用率最高，当地推荐施肥（OPTS）其次，农民习惯施肥（FP）最低。

3.3 综合考虑黑龙江水稻产量、氮肥农学效率、氮肥利用率，控释尿素与普通尿素混合做基肥一次性施用时，以 45–75% 的控释尿素施用比例效果最佳，不同地区适宜的控释尿素施用比例略有不同。

表 4 不同处理对水稻氮素利用效率的影响（2011 年、2012 年）

处理号	处理	2011 年庆安			2012 年庆安			平均	
		吸氮量（公斤 / 公顷）	农学效率（公斤 / 公斤）	氮肥利用率 REN(%)	吸氮量（公斤 / 公顷）	农学效率（公斤 / 公斤）	氮肥利用率 REN(%)	农学效率（公斤 / 公斤）	氮肥利用率 REN(%)
1	N0	95. 6 f	– –	– –	93. 3 d	– –	– –	– –	– –
2	100%BU	156. 7 b	38. 8 bc	19. 1 d	129. 1 bc	22. 7 c	15. 5 e	30. 8	17. 3
3	100%CRU	163. 1 ab	42. 9 abc	19. 4 d	135. 1 b	26. 6 bc	17. 0 d	34. 8	18. 2
4	40%BU 基 +60%BU 蘖	171. 9 a	48. 5 a	22. 2 bcd	147. 7 a	34. 5 ab	26. 8 a	41. 5	24. 5
5	60% CRU+ 40%BU	173. 5 a	49. 4 a	21. 0 cd	152. 6 a	37. 7 a	25. 3 a	43. 6	23. 2
6	75%CRU	150. 1 bc	46. 0 ab	27. 2 ab	129. 2 bc	30. 4 abc	21. 1 c	38. 2	24. 2
7	75%BU	139. 2 cd	36. 8 cd	17. 7 d	127. 2 bc	28. 8 bc	17. 3 d	32. 8	17. 5
8	50% CRU	126. 1 de	38. 7 bc	32. 0 a	122. 8 c	37. 4 a	22. 9 bc	38. 1	27. 5
9	50%BU	118. 9 e	29. 5 d	25. 8 bc	118. 6 c	32. 2 ab	17. 8 d	30. 9	21. 8

表 5 不同处理对水稻氮素利用效率的影响（2013 年、2014 年、2015）

处理	2013 年庆安			2014 年庆安			2015 年方正		
	吸氮量（公斤 / 公顷）	农学效率（公斤 / 公斤）	氮肥利用率 REN(%)	吸氮量（公斤 / 公顷）	农学效率（公斤 / 公斤）	氮肥利用率 REN(%)	吸氮量（公斤 / 公顷）	农学效率（公斤 / 公斤）	氮肥利用率 REN(%)
处理 1	82. 07 f	– –	– –	87. 3 f	– –	– –	127. 7 bc	18. 3 c	36. 7 c
处理 2	140. 40 bc	15. 78 f	32. 41 d	119. 5 e	8. 3 e	17. 8 g	134. 9 a	20. 2 ab	38. 4 bc
处理 3	140. 84 bc	17. 56 ef	32. 65 d	146. 3 ab	18. 9 ab	32. 8 bcd	123. 5 cd	15. 8 d	31. 7 d
处理 4	150. 27 a	19. 66 cd	37. 89 abc	143. 6 abc	16. 8 abc	31. 3 cde	129. 7 b	19. 1 bc	35. 4 c
处理 5	150. 08 a	21. 07 bc	37. 79 abc	133. 1 cd	13. 0 cde	25. 4 defg	127. 5 bc	20. 8 a	42. 6 a
处理 6	144. 69 ab	20. 67 bc	34. 79 cd	130. 3 de	10. 0 de	23. 8 efg	120. 0 d	16. 2 d	37. 1 c
处理 7	130. 76 e	13. 74 g	33. 82 cd	119. 3 e	8. 6 e	22. 2 fg	125. 7 bc	18. 2 c	41. 2 ab
处理 8	132. 71 de	18. 69 de	35. 17 cd	149. 1 a	19. 8 a	42. 9 a	70. 0 e	– –	– –
处理 9	141. 84 bc	22. 97 a	41. 51 a	144. 0 abc	17. 7 abc	39. 4 ab	123. 2 cd	19. 6 ab	37. 4 c
处理 10	139. 36 bcd	21. 71 ab	39. 79 ab	135. 5 bcd	14. 1 bcd	33. 4 bc	– –	– –	– –
处理 11	134. 98 dce	20. 29bcd	36. 74 bcd	128. 9 de	11. 6 de	28. 8 cdef	– –	– –	– –

参考文献

[1] 符建荣 . 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究 [J]. 植物营养与肥料学报，2001，7(2):145–152.

[2] 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.

[3] 孙锡发，涂仕华，秦鱼生，等 . 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.

[4] 李云春，李小坤，鲁剑巍，等 . 控释尿素对水稻产量、养分吸收及氮肥利用率的影响 [J]. 华中农业大学学报，2014，33(3) 46–51.

[5] 陈贤友，吴良欢，韩科峰，等 . 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.

[6] 郭 晨，徐正伟，李小坤，等 . 不同施氮处理对水稻产量、氮素吸收及利用率的影响 [J]. 土壤，2014，46(4): 618–622.

[7] 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.

[8] 王泽胤 . 不同配比控释尿素对水稻的影响 [J]. 黑龙江农业科学，2008(5):63–64.

[9] 孙 磊 . 控释氮肥在水稻上的应用效果研究 [J]. 作物杂志，2009(2):76–78.

[10] 鲍士旦 . 土壤农化分析 [M]. 北京 : 中国农业出版社，2007.