

高效施肥

BETTER CROPS CHINA

2017年5月总第38期

本期文章……

豫南水稻应用控释肥料对产量、氮素利用率及土壤硝态氮含量的影响



控释尿素 (CRU) 在冬小麦夏玉米上的施用效果研究



控释尿素 (CRU) 在冬小麦夏玉米上的施用效果研究



更多文章 敬请关注



控释肥料施用专辑 (一) 粮食作物

III-3

75%CRU+25%RU

基施

III-2

100% RU

100%普通尿基施

高效施肥

国际植物营养研究所系列期刊
《BETTER CROPS》中文版专刊

2017年5月总第38期

主 编 何 萍
编 辑 陈 防 涂仕华 李书田
赵蓉蓉

国际项目部

Saskatoon, Saskatchewan, Canada
Kaushik Majumdar, Vice President, IPNI
Asia, Africa, and Middle East Group

理事会

Tony Will, Chairman (CF Industries)
Svein Tore Holsether, Vice Chair (Yara)
Joc O'Rourke, Finance Chair (The Mosaic Company)

IPNI 总部

Peachtree Corners, Georgia, USA
Terry L. Roberts,
President, IPNI

美洲和大洋洲项目部

Guelph, Ontario, Canada
Tom W. Bruulsema, Vice President
Americas and Research

东欧/中亚项目部

Moscow, Russia
Svetlana Ivanova, Vice President, IPNI Eastern Europe
/ Central Asia

中国项目部

何 萍 主 任 北京办事处 phe@ipni.net
李书田 副主任 北京办事处 sli@ipni.net
赵蓉蓉 女 士 北京办事处 rzhao@ipni.net
陈 防 副主任 武汉办事处 fchen@ipni.net
涂仕华 副主任 成都办事处 stu@ipni.net

会员公司：

Agrium Inc. • Arab Potash Company • BHP Billiton •
CF Industries Holdings, Inc. • International Raw
Materials LTD • K+S KALI GmbH • Kingenta Ecological
Engineering Group Co. • OCP S. A. • PhosAgro •
PotashCorp • Shell Sulphur Solutions • Simplot • Sinofert
Holdings Limited • The Mosaic Company •
Yara International ASA .

CONTENTS

目录

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	3
江西早稻缓释尿素肥效试验结果 李祖章 孙刚	8
益多宝缓释尿素在浙江省早稻生产中的增产效应 姜丽娜 王强	12
豫南水稻应用控释肥料对产量、氮素利用率 及土壤硝态氮含量的影响 孙克刚 杜君 和爱玲 杨焕焕 张运红	16
湖北中稻控释尿素肥效试验结果 鲁君民	22
控释氮肥对四川一季中稻产量及氮肥利用率的影响 陈琨 秦鱼生 喻华 樊红柱 曾祥忠 孙锡发 涂仕华	25
安徽水稻“益多宝”肥效试验结果 周可金 章立干	31
控释尿素在水稻上的肥料效应研究 李伟	35
控释尿素 (CRU) 在冬小麦夏玉米上的施用效果研究 孙克刚 杨焕焕	40
控释肥料在玉米小麦作物上一次性施肥技术应用研究 杨焕焕 孙克刚 和爱玲 杜君	47
控释尿素对春玉米产量、氮素回收率及农学效率的影响 刘双全 姬景红 李玉影 佟玉欣 郑雨 李杰 刘颖 张明怡 韩光	52
控释尿素对吉林春玉米产量和氮素吸收利用的影响 王寅 刘奕 高强 冯国忠 赵兰坡 何萍 金继运	56
内蒙古玉米施用缓释尿素的应用效果 段玉 侯建伟 张君 景宇鹏	61
控释尿素对云南旱地玉米产量和氮肥利用率的影响 尹梅 王贵宝 陈华 陈检锋 苏帆 付利波 王志远 任石所 张勤斌 黄惠 洪丽芳	67
控释尿素的发展与在我国农业生产中的应用前景	72

网页 : <http://www.ipni.net>
<http://china-zh.ipni.net>

The Government of Saskatchewan helps make this publication possible through its resource tax funding. We thank them for their support of this important educational project.

此刊物由加拿大萨斯喀彻温省政府资助。
特此致谢！

《高效施肥》为 IPNI 中国项目部的出版物，每年五月及十月各一期。
本刊物以推动科学化的合理施肥为目标。
可免费向北京、武汉、成都办事处索取。

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。水稻的高产高效一直是我们的重点。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颖数, 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P₂O₅ 46%), 钾肥为氯化钾(含K₂O 60%)。

表1 土壤基本化学性质

年份	地点	pH	有机质	全氮	速效N	速效P	速效K
			(克/千克)		(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、P₂O₅ 52.5公斤/公顷、K₂O 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、P₂O₅ 52.5公斤/公顷、K₂O 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、P₂O₅、K₂O用量分别为157.3公斤/公顷、34.5公斤/公顷、89.4公斤/公顷, 氮肥、返青肥、分蘖肥所占比例分别为57%、21.5%、21.5%; 处理2(NE100%BU)N、P₂O₅、K₂O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氮肥、分蘖肥、穗肥所占比例分别为30%、35%、35%; 处理9(OPTS)N、P₂O₅、K₂O用量分别为142.5公斤/公顷、45公斤/公顷、105公斤/公顷, 氮肥、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·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

表2 各年份不同地点试验处理

处理	庆安县		方正县
	2011年和2012年	2013年和2014年	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]。

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

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:P₂O₅:K₂O 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肥(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, 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	农学效率	氮肥利用率	吸氮量	农学效率	氮肥利用率	农学效率	氮肥利用率
		(公斤/公顷)	(公斤/公斤)	REN(%)	(公斤/公顷)	(公斤/公斤)	REN(%)	(公斤/公斤)	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	农学效率	氮肥利用率	吸氮量	农学效率	氮肥利用率	吸氮量	农学效率	氮肥利用率
	(公斤/公顷)	(公斤/公斤)	REN(%)	(公斤/公顷)	(公斤/公斤)	REN(%)	(公斤/公顷)	(公斤/公斤)	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.

江西早稻缓释尿素肥效试验结果

李祖章 孙刚

(江西省农科院土壤肥料研究所, 江西 南昌, 330200)

受美国加阳 (Agrium) 公司委托, 2010 年对其生产的缓释尿素“益多宝”进行了肥效试验, 目的通过比较尿素与缓释尿素的肥效、氮素利用率, 确定缓释尿素节能减排的效益及有效施用技术, 为缓释尿素在水稻上的有效使用提供技术依据。

1 材料与方 法

1、试验地点: 南昌县广福镇广福村。供试品种: 早稻: 春光 1 号。

2、供试土壤: 为近代河流冲积物发育的潮沙泥田, 排灌水条件好, 土壤肥力上等, 基本农化性状为: pH5.64, 有机质 29.4 克/公斤, 全 N2.3 克/公斤, 全磷 0.78 克/公斤, 碱解氮 164 毫克/公斤, 有效磷 22.8 毫克/公斤, 速效钾 155 毫克/公斤。

3、试验设计: 试验设 9 个处理, 分别为: (1) NPK-尿素 100% 基施; (2) NPK-尿素 40% 基施, 60% 追施; (3) NPK-尿素 40% 和 CRU 60% 基施; (4) NPK-CRU 100% 基施; (5) NPK-CRU 75% 全基施; (6) NPK-尿素 75% 全基施; (7) NPK-CRU 50% 全基施; (8) NPK-尿素 50% 全基施; (9) 对照 (PK 肥基施, 不施氮肥)。小区面积 30 平方米, 区组随机排列, 重复 3 次, 共 27 个小区。小区间用田埂分隔开, 单独设立排灌水沟, 各小区均采用最优的水分调控技术进行生产管理, 管理措施一致。

肥料用量: N, P₂O₅ 和 K₂O 用量分别为 150, 60 和 135 公斤/公顷, N 用尿素或缓释尿素, P 用钙镁磷肥, K 用氯化钾, 各处理施肥方案见表 1; 施肥方法: PK 肥一次性全作基肥, 氮肥按试验处理要求施用, 处理 2 中 60% 的尿素追肥部分分二次施用, 30% 作分蘖肥, 在栽禾后 5-7 天施用, 另 30% 作穗分化肥在栽禾后 30 天左右施用。

试验材料来源: 缓释尿素由美国加阳有限公司提供, 尿素: 江西九江化肥厂生产, 含 N46%; 钙镁磷肥为省产, 含 P₂O₅ 12%; 氯化钾为加拿大产, 含 K₂O 60%。

4、栽插规格: 每亩按 5×7 寸约 1.71 万蔸栽插。

5、调查记载: 对所有农事操作进行详细记载; 移栽后定点调查生长情况, 以后每隔 5 天调查一次, 包括株高、分蘖等, 记载各主要生育期并做好农事记载 (施肥、喷药、灌水等)。

6、取样: 土壤样品: 试验前取试验地基础土壤样品 1 个, 分析项目至少包括土壤 pH 值, OM, 速效 N, P, K; 早稻试验结束后及时按每个处理取土样分析, 共 9 个样, 分析项目至少包括土壤 pH 值, 速效 N, P, K; 植株样品在收获前一天按每个小区试验取考种和分析样, 共 27 个样, 每个样品最少 3 蔸禾, 先考种, 然后进行分析, 按稻谷、稻草分别分析氮含量。

7、操作过程: 2010 年 3 月 22 日浸种, 3 月 25 日播种育秧, 4 月 15 日进行第一次翻耕, 4 月 18 日进行第二次整田, 19 日-21 日作小区田埂, 4 月 22 日浅水下基肥,

表 1 各处理施肥方案 (公斤/公顷)

处理	处理内容	尿素	CRU	钙镁磷肥	氯化钾
1	尿素 100% 基施	325.5	0	499.5	225
2	尿素 40% 基施 +60% 追施	基施 130.2 + 追施 195.3	0	499.5	225
3	尿素 40% 和 CRU 60% 基施	基施 130.2	基施 204.3	499.5	225
4	CRU 100% 基施	0	基施 340.5	499.5	225
5	CRU 75% 基施		基施 255.4	499.5	225
6	尿素 75% 基施	基施 244.1	0	499.5	225
7	CRU 50% 基施	0	基施 170.1	499.5	225
8	尿素 50% 基施	基施 162.8	0	499.5	225
9	对照 (PK 基施, 不施 N)	0	0	499.5	225

然后趟田，4月23日抛栽，每个小区抛3盘，4月26日调查基本苗及株高等，然后按主要生育期进行定点调查，4月30日施分蘖肥与除草剂，5月20日施穗分化肥，7月21日取植株考种样，7月22日割禾，7月23日分小区打禾脱粒。

2 结果与分析

2.1 缓释尿素对早稻生长的影响

从表2试验调查结果可知：尿素100%基施与尿素40%基施+60%追施比较，尿素分次追施有利于提高早稻的株高，施缓释尿素有利于早稻株高的提高，说明缓释尿素具有促进早稻生长的效果。从产量构成结果看：缓释尿素主要是有利于提高早稻的有效穗、千粒重和株

高，从而达到增产的作用，对每穗实粒数和千粒重没有很大差异。

2.2 缓释尿素对早稻产量的影响

从表3产量结果可知：(1)以100%缓释尿素基施处理产量最高，为8422.6公斤/公顷，比100%尿素基施处理增产1200公斤/公顷，增产16.6%，差异极显著，40%尿素+60%缓释尿素基施处理比100%尿素基施处理增产911.1公斤/公顷，增产12.6%，差异显著；(2)100%缓释尿素基施处理与40%尿素+60%缓释尿素基施处理产量差异不明显，但比40%尿素基施+60%尿素追施处理和75%缓释尿素基施处理增产达显著水平；(3)75%缓释尿素基施处理与40%尿素基施+60%尿素追施处理产量基本相当；(4)75%缓释尿素基施处理比100%尿素基

表2 水稻生长情况调查

处理	基本苗	有效分蘖数		株高 (厘米)	每穗 (粒数)	千粒重 (克)
		x 1000				
1. CK (PK) B	718.2	3437.1	1713.3	119.1	132.6	25.5
2. RU100% B	666.9	3539.7	2313.0	123.3	140.5	25.7
3. CRU 100% B	718.2	3898.8	2570.0	123.3	140.4	25.6
4. RU 40% B+60% T	513.0	3565.4	2398.7	125.4	140.3	25.1
5. (RU 40%+CRU 60%) B	590.0	3591.0	2313.0	124.0	148.1	25.5
6. CRU 75% B	590.0	3334.5	2398.7	123.9	148.2	25.1
7. RU 75% B	718.2	3719.3	2056.0	125.2	143.2	25.3
8. CRU 50% B	666.9	3821.9	2227.3	122.4	134.7	25.6
9. RU 50% B	692.6	3744.9	2056.0	120.2	136.9	26.0

表3 不同形态尿素对早稻产量的影响

处理	产量			增产 (公斤/公顷)	增产率 (%)	LSD 0.05	LSD 0.01
	I	II	III				
UR10-0	21.8	22.4	20.8	7222.6	1600.1	28.5	BCD
UR4-UR6	22.2	22.6	24.2	7667.1	2044.5	36.4	bc
UR4-CRU6	26	24.6	22.6	8133.7	2511.2	44.7	ab
CRU10-0	26.3	24.2	25.3	8422.6	2800.1	49.8	a
CRU7.5-0	21.5	25	21.4	7544.8	1922.3	34.2	bc
UR7.5-0	20.3	21	21.4	6967.0	1344.5	23.9	cd
CRU5.0-0	20.7	22.6	20.1	7044.8	1422.3	25.3	cd
UR5.0-0	18.9	20.9	17.2	6333.7	711.1	12.6	de
CK	17.2	16.6	16.8	5622.5			e

表4 不同处理产量方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著水平
区组间	5.6674	2	2.8337	1.785	0.1997
处理间	162.4941	8	20.3118	12.792	0
误差	25.4059	16	1.5879		
总变异	193.5674	26			

施处理有增产作用，增产 4.4%，差异不明显；40% 尿素基施 +60% 尿素追施处理比 100% 尿素基施处理有增产作用，增产 6.2%，差异不明显；50% 缓释尿素基施处理与 75% 尿素基施处理产量表现基本一致，比 100% 尿素基施处理略有减产，减产 2.5%，差异不明显，比 50% 尿素基施处理增产 11.2%，差异不显著；（5）所有施氮肥处理比不施氮肥处理增产 711.1–2800.1 公斤 / 公顷，增产 11.2%–49.8%，说明氮肥对早稻产量的贡献比晚稻更大。

综合分析产量结果，可以得出初步结论：75% 加阳缓释尿素基施完全可以替代 100% 尿素，且还有增产作用。

2.3 不同形态尿素 N 的利用率

从表 5、表 6 结果可知：（1）施用缓释尿素能提高稻谷中的 N 含量，但对稻草的 N 含量除不施氮处理、50% 尿素处理和 75% 尿素处理含量明显低外，其他处理之间差异表现不明显，且重复之间、处理之间有一

表 5 不同形态尿素对早稻植株 N 含量的影响 (克 / 公斤)

处理	稻谷 N 含量			稻草 N 含量		
	I	II	III	I	II	III
UR10-0	12.1	11.8	11.8	6.45	6.28	6.21
UR4-UR6	12.0	11.7	12.0	6.54	6.31	6.48
UR4-CRU6	12.3	12.1	12.1	6.21	6.24	6.46
CRU10-0	12.4	12	12.1	6.24	6.29	6.53
CRU7.5-0	12.2	11.8	11.9	6.34	6.1	6.2
UR7.5-0	11.8	11.2	11.6	6.2	6.04	6.11
CRU5.0-0	11.9	11.6	11.8	6.19	5.89	6.04
UR5.0-0	11.6	10.9	11.2	5.46	5.61	5.64
CK	10.2	9.8	10.5	5.11	5.04	5.12

表 6 不同形态尿素对早稻植株 N 含量的影响 (公斤 / 亩)

处理	稻谷吸 N 量			稻秆吸 N 量			全株吸 N 量		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
UR10-0	5.22	5.20	4.84	3.32	2.97	2.70	8.54	8.17	7.54
UR4-UR6	5.25	5.24	5.71	3.28	3.13	3.30	8.53	8.37	9.00
UR4-CRU6	6.36	5.86	5.36	3.34	3.18	2.96	9.70	9.04	8.32
CRU10-0	6.48	5.71	6.03	3.33	3.12	3.43	9.81	8.82	9.45
CRU7.5-0	5.22	5.82	5.00	2.52	3.12	2.79	7.74	8.94	7.79
UR7.5-0	4.76	4.60	4.90	2.57	2.65	2.78	7.33	7.25	7.68
CRU5.0-0	4.88	5.16	4.65	2.37	2.70	2.50	7.25	7.87	7.15
UR5.0-0	4.35	4.48	3.79	1.97	2.50	2.02	6.31	6.97	5.81
CK	3.48	3.22	3.47	1.66	1.78	1.82	5.14	4.99	5.29

表 7 不同形态尿素 N 的利用率

处理	植株平均吸 N 量	植株吸收肥料 N 量		肥料 N 用量	N 素利用率 (%)
		(公斤 / 亩)			
UR10-0	8.08	2.94		10.00	29.4
UR4-UR6	8.63	3.49		10.00	34.9
UR4-CRU6	9.02	3.88		10.00	38.8
CRU10-0	9.36	4.22		10.00	42.2
CRU7.5-0	8.16	3.02		7.50	40.2
UR7.5-0	7.42	2.28		7.50	30.4
CRU5.0-0	7.42	2.28		5.00	45.7
UR5.0-0	6.37	1.23		5.00	24.5
CK	5.14				

定的变幅，这可能与取样有关；(2) 植株吸收 N 量以 100% 缓释尿素基施处理最高，其次为 40% 尿素 + 60% 缓释尿素基施处理，均明显高于 100% 尿素基施处理；75% 缓释尿素基施处理与 100% 尿素基施处理基本持平；40% 尿素基施 + 60% 尿素追施处理高于 100% 尿素基施处理，高 6.8%；50% 缓释尿素基施处理与 75% 尿素基施处理基本持平，说明使用 50% 以上缓释尿素，可以达到替代增加 25% 尿素的作用。(3) 施用 75% 缓释尿素基施处理吸氮量比 100% 尿素基施处理吸氮量还要高 1.0%，说明用 75% 缓释尿素完全可以达到替代 100% 尿素的作用。

从表 7 结果可知：(1) 所有施氮肥处理，氮素利用率以 50% 缓释尿素基施处理最高，为 45.7%，其次是 50% 缓释尿素基施处理，为 42.2%，以 100% 尿素基施处理最低，为 24.5%，其次是 100% 尿素基施处理，为 29.4%。(2) 在高肥力土壤条件下(基础产量 5622.5 公斤/公顷)，4 个等 N 处理比较，以 100% 缓释尿素基施处理氮素利用率最高，为 42.2%，其次为 40% 尿素 + 60% 缓释尿素基施处理，为 38.8%，分别比 100% 尿素基施处理提高 12.8 个百分点和 9.4 个百分点，采用加阳缓释尿素氮肥利用效率提高显著；40% 尿素基施 + 60% 尿素追施处理比 100% 尿素基施处理氮素利用率提高 5.5 个百分点，说明尿素分次施用有利于提高氮素利用率。(3) 在减施 25% 氮肥条件下，75% 缓释尿素基施处理比 75% 尿素基施处理氮素利用率提高 9.8 个百分点，而在减施 50% 氮肥条件下，50% 缓释尿素基施处理比 50% 尿素基施处理氮素利用率提高 21.2 个百分点，加阳缓释尿素三个施用水平的氮素利用率均大于 40%，说明采用加阳缓释尿素，具有显著提高氮肥利用率的作用。

2.4 不同形态尿素对土壤有效养分的影响

从表 8 土壤分析结果可知：(1) 不同形态尿素对土壤 pH 值没有影响。(2) 施用缓释尿素在等氮量条件下，土壤碱解氮略有提高，但不明显，说明使用缓释尿素有利于提高土壤氮库，保证或提高土壤肥力。(3) 由于磷钾施用各处理一致，土壤中有有效 P、K 含量基本与产量水平呈负相关，产量高，植株带走多，剩余土壤就少。

3 讨论

1、通过对试验的观察记载与分析，结果表明缓释尿素及氮肥后移有利于早稻有效穗的形成，从而达到增产的效果；施缓释尿素有利于早稻株高的提高，促进早稻生长。

2、通过对各处理产量统计分析表明，以 100% 缓释尿素基施处理产量最高，与 40% 尿素 + 60% 缓释尿素基施处理产量差异不明显，显著高于 100% 尿素基施处理，75% 缓释尿素基施处理与 40% 尿素基施 + 60% 尿素追施处理产量基本相当，说明 75% 加阳缓释尿素基施完全可以替代 100% 尿素。

3、通过对各处理氮素利用率的计算分析表明，所有施氮肥处理，氮素利用率以 50% 缓释尿素基施处理最高，为 45.7%，其次是 50% 缓释尿素基施处理，为 42.2%，以 100% 尿素基施处理最低；使用加阳缓释尿素可以使氮素利用率提高 9.4-12.8 个百分点，效果非常显著，施用 75% 缓释尿素基施吸氮量比施用 100% 尿素基施吸氮量高 2.7%，进一步佐证用 75% 缓释尿素完全可以达到替代 100% 尿素的作用。

表 8 不同形态尿素对土壤 pH 与碱解氮的影响

处理	pH	碱解氮		
		有效磷	速效钾	(毫克/公斤)
UR10-0	5.76	168	26.8	164
UR4-UR6	5.68	172	27.4	159
UR4-CRU6	5.84	175	24.9	172
CRU10-0	5.82	178	23.8	163
CRU7.5-0	5.76	168	26.4	176
UR7.5-0	5.78	159	27.5	154
CRU5.0-0	5.80	164	26.8	175
UR5.0-0	5.74	156	27.8	180
CK	5.90	149	28.6	184

益多宝缓释尿素在浙江省早稻生产中的增产效应

姜丽娜 王强

(浙江省农科院环境资源与土壤肥料研究所, 浙江 杭州, 310021)

2014年度在浙江省金华市蒋堂农业试验站布置了益多宝缓释尿素在早稻生产中的增产效应田间试验。供试土壤为红壤, 土壤有机质含量为 52.5 克/公斤, 全氮含量 3.0 克/公斤, 土壤有效磷含量为 5.2 毫克/公斤, 速效钾含量为 134.5 毫克/公斤。供试的早稻品种为浙优 18。试验方案由国际植物营养研究所武汉办事处统一制定, 各处理益多宝占总施氮量的比例及氮肥施用方式见表 1。其中 N0 处理不施氮肥, 习惯施肥氮肥施用量为 225 公斤 N/公顷, 处理 3-8 氮肥施用量与习惯施肥相等, 处理 9-14 氮肥施用量比习惯施肥减少 20%。各处理磷钾肥用量均为 P_2O_5 60 公斤/公顷, K_2O 90 公斤/公顷, 全部基施。试验中氮肥用尿素和“益多宝”, 磷肥为普钙, 钾肥为氯化钾。

与水稻相比, 早稻分蘖数较少, 因此试验产量比当地常规水稻产量有明显下降。

2 益多宝缓释尿素对早稻产量构成因子的影响

试验各处理考种结果见表 2。N0 处理早稻株高、穗长、每穗总粒数和秕谷率比习惯施肥处理显著降低, 千粒重也有降低的趋势。与习惯施肥处理相比, 施用益多宝的各处理株高、穗长、每穗总粒数都呈降低的趋势。与益多宝一次性施肥处理相比, 益多宝 + 追肥处理早稻株高、穗长有增加的趋势。

表 1 各处理益多宝占总施氮量比例及氮肥施用方式

编号	处理	基肥				备注
		基肥		分蘖期追肥		
		尿素	益多宝	尿素	孕穗期追肥	
1	N0	0	0	0	0	
2	习惯施肥	40	0	30	30	
3	70% 益多宝	30	70	0	0	
4	56% 益多宝 + 追肥	24	56	20		
5	60% 益多宝	40	60	0	0	与习惯施肥
6	48% 益多宝 + 追肥	32	48	20	0	等施氮量
7	40% 益多宝	60	40	0	0	
8	32% 益多宝 + 追肥	48	32	20	0	
9	减氮 -70% 益多宝	30	70	0	0	
10	减氮 -56% 益多宝 + 追肥	22.5	52.5	25	0	
11	减氮 -60% 益多宝	40	60	0	0	施氮量比习
12	减氮 -48% 益多宝 + 追肥	30	45	25	0	惯施肥减
13	减氮 -40% 益多宝	60	40	0	0	20%
14	减氮 -32% 益多宝 + 追肥	45	30	25	0	

1 试验总体情况

2014 年度早稻试验中早稻种子采用点播, 并在出苗后适当补苗。从早稻生长来看, 点播方式较好地避免了各小区出苗数差异较大的缺点。试验期间早稻长势正常, 但

与习惯施肥相比, 施用益多宝处理早稻有效穗、千粒重呈增加的趋势, 秕谷率则显著下降。益多宝不同施用比例对早稻有效穗、千粒重和秕谷率没有规律性的影响, 但与益多宝一次性施肥处理相比, 益多宝 + 追肥处理早稻有效穗和千粒重有增加的趋势。

表 2 益多宝对早稻产量构成因子的影响

处理	株高 (厘米)	有效穗 (每株)	穗长 (厘米)	每穗 总粒数	秕谷率 (%)	千粒重 (克)
N0	83.8c	4.4bc	18.8c	283.6bc	8.8bc	24.1b
习惯施肥	95.0ab	4.3c	21.5a	373.7a	20.9a	24.9ab
70% 益多宝	90.8ab	4.8abc	19.1c	288.5bc	9.3bc	25.8a
56% 益多宝 + 追肥	92.4ab	4.9abc	19.1c	274.8bc	13.3abc	24.3b
60% 益多宝	94.4ab	4.8abc	19.4bc	223.0c	15.5ab	24.8ab
48% 益多宝 + 追肥	95.0ab	5.0abc	19.7bc	300.0abc	10.1bc	24.6ab
40% 益多宝	93.5ab	5.3ab	19.6bc	313.2ab	11.4bc	24.8ab
32% 益多宝 + 追肥	94.8ab	5.3ab	19.9bc	282.8bc	9.4bc	24.9ab
减氮-70% 益多宝	90.9ab	4.4c	18.9c	258.0bc	9.9bc	24.5ab
减氮-56% 益多宝 + 追肥	96.7a	5.3a	19.1c	314.7ab	6.5c	25.0ab
减氮-60% 益多宝	92.1ab	4.7abc	20.4ab	284.5bc	10.4bc	25.3ab
减氮-48% 益多宝 + 追肥	92.5ab	5.2abc	18.9c	262.3bc	13.5abc	25.7a
减氮-40% 益多宝	88.9bc	5.0abc	19.0c	277.5bc	10.6bc	24.5ab
减氮-32% 益多宝 + 追肥	91.9ab	4.5abc	19.2bc	305.1ab	11.0bc	24.9ab

3 益多宝缓释尿素对早稻产量的影响

3.1 试验总体产量结果

表 3 是田间试验中各处理早稻产量。统计结果表明，N0 处理早稻产量为 4953.7 公斤/公顷，比习惯施肥处理降低了 23.4%，表明氮肥仍是早稻增产的限制因素。施用益多宝的 12 个处理中，仅有“减氮-40% 益多宝”处理和“减氮-32% 益多宝 + 追肥”处理早稻产量显著低于习惯施肥处理，其余益多宝处理早稻产量与习惯施肥处理间没有显著性差异。因此从早稻产量上衡量，本试验中处理 3-12 等益多宝施用量及施用方式均能保证早稻产量与习惯施肥持平或略增产。

3.2 益多宝施用比例对早稻产量的影响

由于该试验中包含了不同氮肥施用量，益多宝在总施

表 3 益多宝试验各处理早稻产量

编号	处理	产量 (公斤/公顷)	比习惯施肥 增产 (%)
1	N0	4953.7 e	-23.4
2	习惯施肥	6469.8 abc	-
3	70% 益多宝	6688.0 a	3.4
4	56% 益多宝 + 追肥	6620.7 ab	2.3
5	60% 益多宝	6555.0 abc	1.3
6	48% 益多宝 + 追肥	6311.2 abcd	-2.5
7	40% 益多宝	6506.3 abc	0.6
8	32% 益多宝 + 追肥	6113.8 cd	-5.5
9	减氮-70% 益多宝	6251.0 abcd	-3.4
10	减氮-56% 益多宝 + 追肥	6493.9 abc	0.4
11	减氮-60% 益多宝	6233.7 bcd	-3.6
12	减氮-48% 益多宝 + 追肥	6237.8 bcd	-3.6
13	减氮-40% 益多宝	5982.5 d	-7.5
14	减氮-32% 益多宝 + 追肥	5926.8 d	-8.4

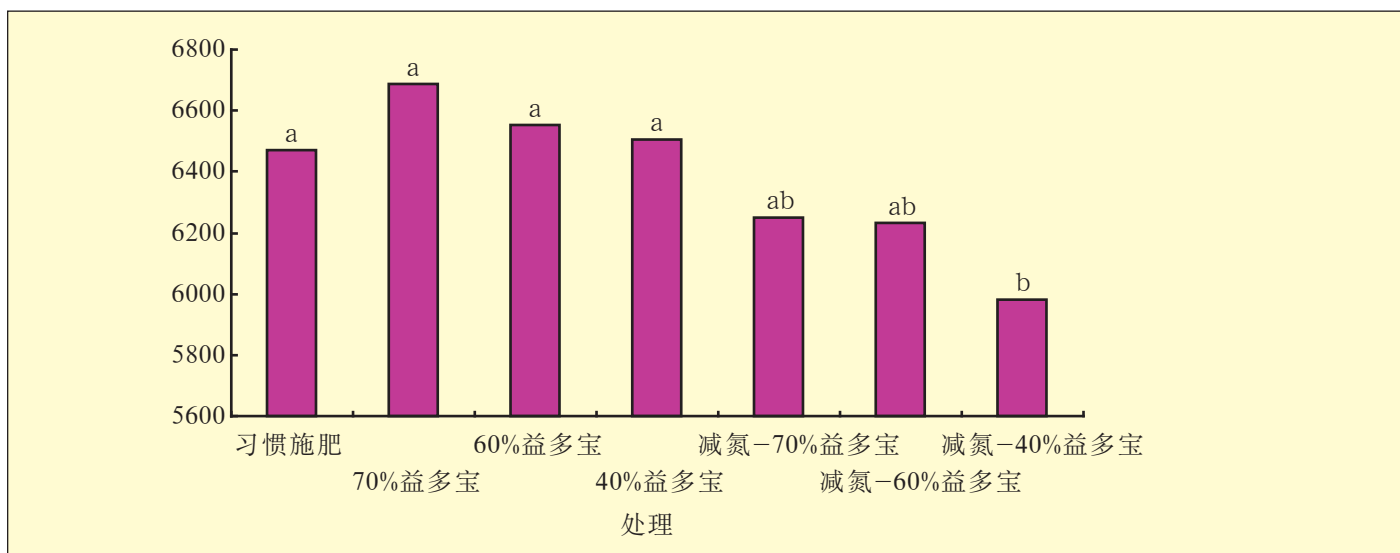


图 1 益多宝施用比例对早稻产量的影响

氮量中的不同比例，以及不同施肥方式等因素，为了比较益多宝缓释尿素在早稻上的增产效应，将试验中早稻产量根据不同因素进行了分析比较。

图 1 是不同益多宝施用比例对早稻产量的影响。除了“减氮 -40% 益多宝”处理显著降低了早稻产量外，其余益多宝处理早稻产量与习惯施肥间没有显著性差异。在相等施氮量的 3 个益多宝施用比例处理间，早稻产量有随着益多宝施用比例降低而下降的趋势。而在相同的益多宝施用比例下，与习惯施肥等施氮量的 3 个处理早稻产量均高于相同益多宝比例的减氮处理。结果表明增加总施氮量以及益多宝缓释尿素的施用比例都能促进早稻的增产。

3.3 追肥对早稻产量的影响

益多宝 + 追肥的各处理早稻产量见图 2。除了“减氮 -32% 益多宝 + 追肥”处理显著降低了早稻产量外，其余处理早稻产量与习惯施肥间没有显著性差异。在相等的施氮量下，3 个处理间早稻产量有随着益多宝施用比例降低而下降的趋势，而在益多宝施用比例相同的处理间，与习惯施肥等氮量的处理早稻产量高于减氮的处理。由于等施氮量的 3 个处理间追肥占总施氮量的比例相同，因此试验结果表明在施用追肥的情况下，氮肥施用量和益多宝施用比例仍然是影响早稻产量的影响因素。

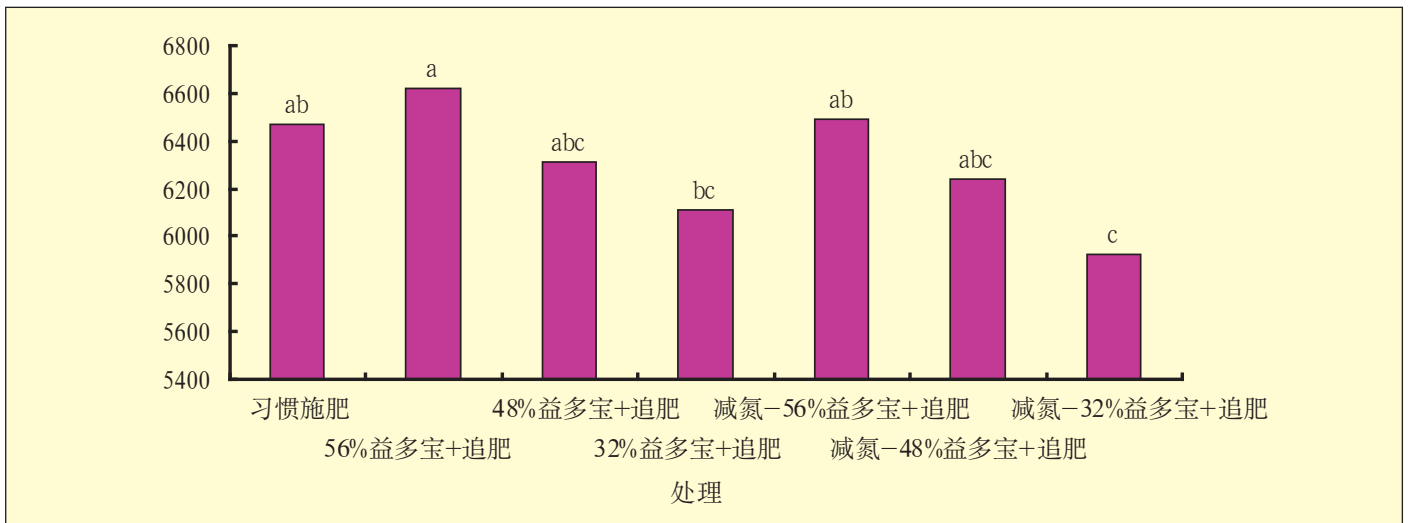


图 2 益多宝 + 追肥对早稻产量的影响

3.4 益多宝一次性施肥与追肥间早稻产量的差异

试验中设置了益多宝一次性施肥和益多宝 + 追肥处理之间的对比。表 4 中将施氮量相同的 3 个益多宝不同施用比例的处理以及 3 个益多宝 + 追肥的处理早稻产量分别平均，得出益多宝一次性施肥和益多宝 + 追肥对早稻产量的差异。结果表明，与习惯施肥等施氮量下，益多宝

一次性施肥早稻平均产量比习惯施肥增产了 1.7%，而益多宝 + 追肥早稻平均产量比习惯施肥减产了 1.9%。而在氮肥施用量比习惯施肥减少 20% 时，益多宝一次性施肥和益多宝 + 追肥分别比习惯施肥减产了 5.1% 和 4.0%。表明在氮肥施用量较高时，益多宝一次性施肥的增产效应高于追肥，而在氮肥施用量减少时，益多宝 + 追肥的增产效应优于益多宝一次性施肥。

处理	平均产量 (公斤/公顷)	比习惯施肥增产 (%)
习惯施肥	6469.8	-
益多宝一次性施肥	6583.1	1.7
益多宝 + 追肥	6348.5	-1.9
减氮益多宝一次性施肥	6155.7	-5.1
减氮(益多宝 + 追肥)	6219.5	-4.0

3.5 施肥产投比分析

根据当地肥料零售价格、稻谷收购价和劳动力成本，计算了各处理的施肥产投比(表 5)。结果表明，N0 处理施肥产投比为 7.7，在各处理中最高，但是 N0 处理显著降低了早稻产量。习惯施肥处理施肥产投比仅为 3.8，在各处理中处于最低，主要是习惯施肥处理 2 次追肥增加了

劳动力成本，同时也说明劳动力成本在水稻生产中占的比重越来越大。施用益多宝的各处理中，一次性施肥处理由于减少了追肥的劳动力支出，施肥产投比明显高于追肥处理。益多宝一次性施肥的处理中，不同氮肥施用量和不同益多宝施用比例的处理间施肥产投比都没有明显的差异。

表 5 益多宝田间施用产投比分析

处理	稻谷收益	施肥成本			施肥 产投比
		肥料投入	人工	总投入	
N0	14167.5	795.0	1050	1845.0	7.7
习惯施肥	18503.7	1674.3	3150	4824.3	3.8
70% 益多宝	19127.7	1832.0	1050	2882.0	6.6
56% 益多宝 + 追肥	18935.1	1801.7	2100	3901.7	4.9
60% 益多宝	18747.3	1810.0	1050	2860.0	6.6
48% 益多宝 + 追肥	18049.9	1783.4	2100	3883.4	4.6
40% 益多宝	18608.1	1765.0	1050	2815.0	6.6
32% 益多宝 + 追肥	17485.3	1747.6	2100	3847.6	4.5
减氮 -70% 益多宝	17877.9	1625.3	1050	2675.3	6.7
减氮 -56% 益多宝 + 追肥	18572.6	1594.2	2100	3694.2	5.0
减氮 -60% 益多宝	17828.3	1607.0	1050	2657.0	6.7
减氮 -48% 益多宝 + 追肥	17840.2	1580.3	2100	3680.3	4.8
减氮 -40% 益多宝	17110.0	1571.2	1050	2621.2	6.5
减氮 -32% 益多宝 + 追肥	16950.7	1252.8	2100	3352.8	5.1

注：稻谷收购价按 2.86 元/公斤。尿素按 1.8 元/公斤，过磷酸钙按 0.6 元/公斤，氯化钾按 3.3 元/公斤，益多宝按 2.16 元/公斤。施肥人工成本按 0.5 天/亩，140 元/天。

4 结论与建议

1、与习惯施肥相比，施用益多宝的各处理株高、穗长、每穗总粒数都呈降低的趋势。有效穗、千粒重呈增加的趋势，秕谷率则显著下降。

2、无论是益多宝一次性施肥和益多宝 + 追肥，早稻产量都有随着总施氮量和益多宝施用比例增加而增加的趋势。在氮肥施用量为 225 公斤/公顷时，益多宝一次性施肥增产效应优于益多宝 + 追肥的处理。但在氮肥施用量减少 20% 时，益多宝 + 追肥处理比益多宝一次性施肥具有更好的增产效应。

3、与习惯施肥等施氮量时，施用益多宝的各处理早稻产量都与习惯施肥持平或略增产，氮肥施用量比习惯

施肥减少 20% 时，早稻产量有降低趋势，仅“减氮 -56% 益多宝 + 追肥”处理早稻产量略高于习惯施肥。由于施用追肥明显降低产投比，因此考虑施肥成本和产量等因素，氮肥施用量为 225 公斤/公顷，益多宝施用比例 40%，不施追肥是目前早稻生产中适宜的施肥量和施肥方式。

4、在现有的土壤肥力下，通过合理施肥增加早稻产量具有较高的难度。试验中减氮 20% 的部分处理早稻产量与习惯施肥间没有显著性差异，而且追肥的劳动力已成为早稻生产中重要的支出成本。因此缓释肥在早稻上施用的研究重点应该是在减少总施肥量，或者减少追肥的情况下，维持现有的早稻产量，从而达到节本增效的效果。

豫南水稻应用控释肥料对产量、氮素利用率及土壤硝态氮含量的影响

孙克刚¹ 杜君 和爱玲 杨焕焕 张运红

(河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所 / 河南省农业生态与环境重点实验室, 河南 郑州, 450002)

摘要: 为探讨等量氮肥及合理节肥条件下, 控释尿素对水稻的增产效应及氮素的高效利用, 通过田间试验, 比较分析了控释尿素 (CRU) 和普通尿素 (CU) 在不同施用量下对水稻产量、氮肥利用率及土壤硝态氮含量的影响。结果表明: CRU100% 处理的产量最高, 达 599.1 公斤/亩, 较同等氮素用量的 CU100% 处理增产 25.38 公斤/亩, 差异呈显著水平。CRU3/4 处理与 CU100% 处理, 以及 CRU1/2 处理与 CU100% 处理之间产量差异不显著。这说明与普通尿素相比, 控释尿素减少 1/4-1/2 的氮素用量时也能达到同样的产量水平。氮肥利用率以 CRU1/2 处理最高, 达 68.3%, 较同等氮素用量的 CU1/2 处理提高 20.6 个百分点。同时, 控释尿素还可明显降低水稻土壤中硝态氮的含量, 减少硝态氮向土壤深层渗漏数量, 以减轻对地下水污染风险。

关键词: 控释尿素; 水稻; 产量; 氮肥利用率; 土壤硝态氮

目前, 中国在人均耕地日趋减少的情况下, 还将主要依靠提高单产来增加粮食产量^[1]。作物单产除受培育品种影响外, 还受栽培措施等方面的影响^[2], 而栽培措施中则以氮肥对作物产量的影响最大^[3]。氮肥作为粮食增产的决定因子, 在中国粮食生产中发挥着举足轻重的作用^[4]。据统计, 中国每年生产、施用的氮肥量 (纯氮计) 约为 2 千万吨, 但当季利用率仅为 30%-35%^[5-6]。因此, 普通氮肥的低利用率以及由此带来的环境污染, 一直是困扰农业生产的大问题。普通氮肥不仅利用率较低, 而且施入土壤后极易挥发、淋溶和发生反硝化反应, 导致氮素的大量损失, 造成环境污染^[7]。为此, 具有肥效长且稳定、利用率高等特点的控释肥料, 成为肥料研究领域的热点^[8]。

近年来, 一些科研单位和企业致力于研发和生产利用率较高的肥料品种, 以控释肥料代替普通化肥, 初具成效。例如, 宗晓庆等^[9]研究表明, 在同等氮素用量下, 与普通尿素相比, 硫膜控释尿素能显著提高玉米的产量; 卢艳艳等^[10]研究表明, 相对于硫膜控释尿素, 树脂膜控释尿素在玉米需肥高峰期更能持续保持较高水平的耕层

土壤无机氮含量, 玉米产量和氮素利用率均有不同程度的提高。杨雯玉等^[11]研究表明, 控释尿素与普通尿素配施与普通尿素单施相比, 无论是相同施氮量还是减少 30% 的施氮量, 冬小麦籽粒产量都极显著增加, 同时提高了氮肥利用率, 并降低了土壤中硝态氮的积累量; 薛高峰等^[12]研究表明, 包膜控释尿素能显著促进冬小麦生长发育, 增强对氮、磷、钾养分的吸收, 显著增加籽粒产量, 同时, 还能明显减少硝态氮向土壤深层渗漏数量, 减轻对地下水污染风险。

有关控释尿素在水稻的应用研究也较多, 也多集中在控释尿素对水稻的增产效应及提高氮肥利用率等方面^[13-17]。以往的研究大多是不同包膜类型的控释肥料或者控释尿素与普通尿素的不同配比在水稻上的应用研究, 而本文则以不同用量的控释尿素与等量普通尿素作对比, 研究其对水稻的增产效应、氮肥利用率及土壤硝态氮的影响, 旨在探讨等量氮肥下控释尿素对水稻的增产效应, 以及合理节肥下提高水稻氮素利用率、降低土壤硝态氮的累积提供科学依据。

¹ 基金项目: 河南省财政预算项目“氮肥增值提效及高效施用技术研究与应”本研究得到国际植物营养研究所 (IPNI) 北京办事处资助。

孙克刚, 男, 1965 年出生, 河南固始人, 研究员, 硕士, 河南省政府特殊津贴专家, 河南省优秀青年科技专家, 硕士生导师, 主要从事植物营养与施肥和精准农业养分管理与施肥方向的研究。获国家及省部级成果 15 项。《控释肥料高效施用技术研究与应》获 2012 河南省科技进步二等奖。《豫南稻区节肥增效关键技术研究与优化集成应用》获 2016 河南省科技进步三等奖。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验设在固始县杨集乡进行，试验地前茬为小麦，供试土壤为壤土，质地轻粘，试验前取耕层（0-20厘米）土层化验土壤基本理化性状。土壤理化性状为：pH6.3，有机质 15.4 克 / 公斤，碱解氮 78.0 毫克 / 公斤，速效磷 26.3 毫克 / 公斤，速效钾 85.7 毫克 / 公斤。

1.2 供试材料

供试水稻品种为“郑稻 18 号”（粳稻）。供试肥料中，控释尿素（N，34%）由金正大生态工程集团股份有限公司生产提供；普通尿素（N，46%）、普通过磷酸钙（ P_2O_5 ，12%）和氯化钾（加拿大产， K_2O ，60%）肥料均在当地农化市场购买。

1.3 试验设计

试验设 7 个处理：（1）CK（不施氮肥，只施磷、钾肥）。（2）控释尿素全量，一次底施（N 12 公斤 / 亩）。（3）普通尿素全量，一次底施（N 12 公斤 / 亩）。（4）控释尿素全量的 3/4，一次底施（N 9 公斤 / 亩）。（5）普通尿素全量的 3/4，一次底施（N 9 公斤 / 亩）。（6）控释尿素全量的 1/2，一次底施（N 6 公斤 / 亩）。（7）普通尿素全量的 1/2，一次底施（N 6 公斤 / 亩）。同时，普通过磷酸钙和氯化钾作基肥分别施 P_2O_5 5 公斤 / 亩和 P_2O_5 6 公斤 / 亩。

各处理 3 次重复，随机区组排列。小区面积 20 平方米，周围设 1 米保护行，重复间设走道，小区间设畦埂，上覆塑料薄膜，防止串水串肥。6 月 10 日划行移栽，株行距 30×14 厘米，密度为 14.3 万穴 / 公顷，田间管理按照常规方式进行。

1.4 测定项目及方法

成熟期收获时，各小区全部收获，实打实收，脱粒扬



净后取 1 公斤烘干，称质量，计算烘干率，单独计产，并折算成公顷产量。同时，分别采取各处理水稻的籽粒和秸秆样品，测定其全氮含量。植物全氮含量采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮，用半微量凯氏定氮法进行测定^[18]。

氮肥利用率 = [施氮区植株吸氮量 - 无氮区植株吸氮量] / 施氮量 × 100% (1)

水稻收获后，按土层深度（0-20 厘米，20-40 厘米，40-60 厘米，60-80 厘米，80-100 厘米）用土钻分层采集各小区的土壤样品。土壤硝态氮含量采用 0.01 当量浓度 $CaCl_2$ 为浸提液，在 210 纳米下用紫外分光光度法比色测定^[18]。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥处理对水稻产量及其主要构成因素的影响

由表 1 可看出，以控释尿素 100% 处理的产量最高，为 599.1 公斤 / 亩，较同等氮素用量的普通尿素 100% 处理增产 253.8 公斤 / 亩，差异呈极显著水平。其次控释尿素 3/4 处理的产量居第二位，为 577.2 公斤 / 亩。其它处理的产量分别为普通尿素 100% 处理 > 控释尿素 1/2 处理

表 1 不同氮肥处理对水稻产量及其主要构成因素的影响

处理	有效穗 / ($\times 10^4$ / 亩)	每穗实粒数 / 粒	千粒重 / g	实际产量 / (kg / 亩)	较 CK 增产 / (%)
CK	14.45e	117.2d	23.82b	351.3 f	0
CRU100%	20.06a	139.4a	26.02a	599.1 a	70.5
CU100%	19.38bc	135.8ab	25.83a	573.7 bc	63.3
CRU 3/4	19.46b	136.6a	25.65a	577.2 b	64.3
CU3/4	18.87c	130.2bc	25.17a	550.3 d	56.6
CRU 1/2	19.04c	131.8b	25.25a	566.0 c	61.1
CU1/2	18.62d	125.6c	24.84a	506.6 e	44.2

注：同列数据后不同大、小写字母分别表示差异达 ($P < 0.05$) 显著水平，下同。

>普通尿素 3/4 处理>普通尿素 1/2 处理>对照处理。对照处理的产量最低，为 351.3 公斤 / 亩。

其中，控释尿素 3/4 处理与普通尿素 100% 处理，以及普通尿素 100% 处理与控释尿素 1/2 处理之间产量差异不显著，这说明施用控释尿素比普通尿素减少 1/4-1/2 的氮素用量也可达到同样的产量水平。各施肥处理比对照处理增产效果显著，产量增加 121.9-247.8 公斤 / 亩，增产 34.7%-70.5%。表 1 中的考种表明，控释尿素能显著提高水稻的产量是与其对水稻的有效穗数、每穗实粒数和千粒重等产量因子的正效应有关。

2.2 不同氮肥处理对水稻氮肥利用率的影响

表 2 表明，氮肥利用率以控释尿素 1/2 处理最高，为 68.3%。其次为控释尿素 3/4 处理，为 49.9%。其它处理的氮肥利用率为普通尿素 1/2 处理>普通尿素 3/4 处理>控释尿素 100% 处理。普通尿素 100% 处理最低，为 33.8%。

当施入等氮量时，控释肥处理较普通尿素处理氮肥利用率呈现不同程度的提高，而且随着施氮量的降低，等氮量中，控释肥处理与普通尿素处理氮肥利用率的差值增加，其中，控释尿素 100% 处理比普通尿素 100% 处理提高 9.1 个百分点，控释尿素 3/4 处理比普通尿素 3/4 处理提高 8.5 个百分点，控释尿素 1/2 处理比普通尿素 1/2 处理提高 20.6 个百分点。

随着控释尿素用量的减少，氮肥利用率逐渐增加，与控释尿素 100% 处理相比，控释尿素 3/4 处理的氮肥利用率提高 7.0 个百分点，控释尿素 1/2 处理提高 25.4 个百分点，其中，控释尿素 1/2 处理比控释尿素 3/4 处理提高 18.4 个百分点。随着普通尿素用量的减少，氮肥利用率也呈增加趋势，与普通尿素 100% 处理相比，普通尿素 3/4 处理提高 7.6 个百分点，普通尿素 1/2 处理提高 13.9 个百分点，其中，普通尿素 1/2 处理比普通尿素 3/4 处理提高 6.3 个百分点。

2.3 不同氮肥处理对水稻土壤硝态氮的影响

从表 3 可看出，水稻增施氮肥可导致耕作层土壤硝态氮含量增加。各土层的土壤硝态氮含量基本上以 0-20 厘米耕作层最高。施氮肥处理的各土层土壤硝态氮含量均高于对照处理，且氮肥用量越大，各土层的土壤硝态氮含量越高。各处理土壤硝态氮含量变化，基本上 0-60 厘米土层的土壤硝态氮含量随氮肥施用量增加而升高的趋势明显，而 60-100 厘米土层的土壤硝态氮含量随氮肥施用量增加而升高，但趋势则相对平缓。

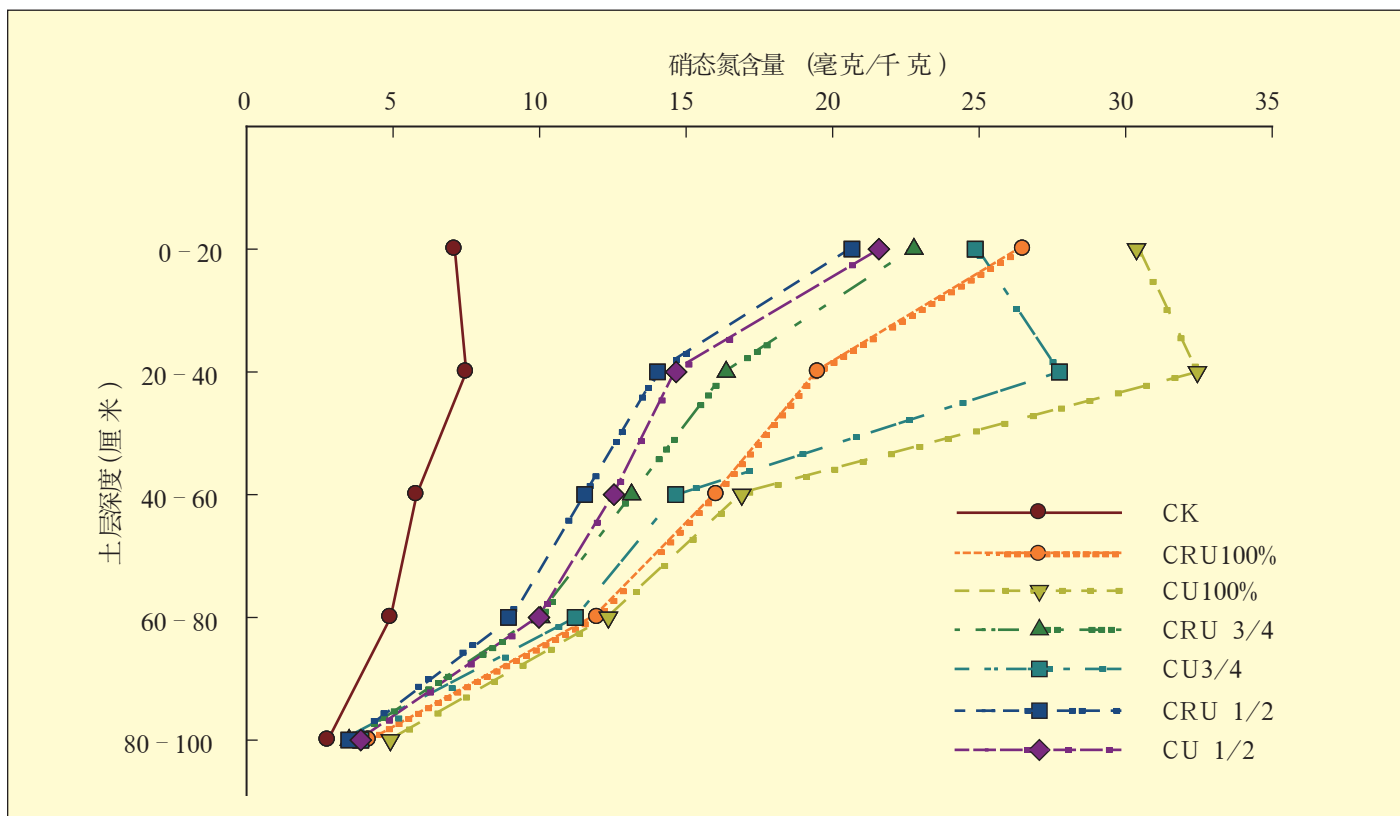
普通尿素 100% 处理和普通尿素 3/4 处理，随着土层深度的增加，硝态氮含量有先增加后降低的趋势。在 0-20 厘米土层硝态氮含量随着施氮量的增加而增加，而 20-40 厘米土层普通尿素 100% 和普通尿素 3/4 处理的硝态氮含量明显高于等量的控释尿素处理及其它处理，在

表 2 不同氮肥处理对水稻氮肥利用率的影响

处理编号	籽粒含氮量 (%)	秸秆含氮量 (%)	全株总氮量 (公斤 / 亩)	氮肥利用率 (%)
CK	1.27a	0.52a	6.56e	0
CRU100%	1.30a	0.57a	11.71a	42.9bc
CU100%	1.23a	0.54a	10.62c	33.8c
CRU 3/4	1.27a	0.56a	11.05b	49.9b
CU3/4	1.26a	0.53a	10.29c	41.4bc
CRU 1/2	1.24a	0.56a	10.66c	68.3a
CU1/2	1.25a	0.53a	9.42d	47.7b

表 3 不同氮肥处理对水稻土壤硝态氮含量的影响 (毫克 / 公斤)

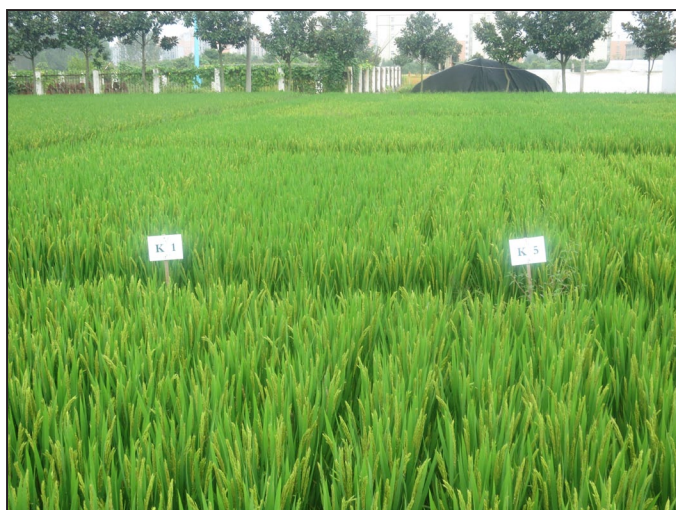
处理	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
CK	7.11d	7.50e	5.81d	4.92c	2.78d
CRU100%	26.51b	19.51c	16.05ab	11.98ab	4.18b
CU100%	30.37a	32.45a	16.90a	12.35a	4.91a
CRU 3/4	22.78c	16.37d	13.14bc	10.04b	3.50c
CU3/4	24.87bc	27.74b	14.65b	11.22ab	3.90bc
CRU 1/2	20.66c	14.02d	11.54c	8.94b	3.49c
CU1/2	21.58c	14.66d	12.54c	9.98b	3.90bc



60-100 厘米土层中，控释尿素处理较普通尿素处理其硝态氮含量也稍有降低。可见，控释尿素有明显降低土壤硝态氮含量的作用。因此，施用控释尿素不但可以明显降低土壤硝态氮的含量，还减少硝态氮向土壤深层渗漏，从而起到降低地下水硝态氮含量的作用。

3 结论

(1) 等氮量时，与普通尿素相比，控释尿素可显著提高水稻的产量，增产幅度为 4.42%—11.73%。其中，控释尿素 100% 处理的产量最高，为 599.1 公斤 / 亩，较同等



氮素用量的普通尿素 100% 处理增产 25.4 公斤 / 亩。其次控释尿素 3/4 处理的产量居第二位，为 577.2 公斤 / 亩，较同等氮素用量的普通尿素 3/4 处理增产 27.0 公斤 / 亩。控释尿素 3/4 处理与普通尿素 100% 处理，以及普通尿素 100% 处理与控释尿素 1/2 处理之间产量差异不显著，表明与普通尿素相比，控释尿素减少 1/4-1/2 的氮素用量时也能达到同样的产量水平。

(2) 与普通尿素相比，控释尿素能显著提高氮肥利用率。控释尿素处理较普通尿素处理的氮肥利用率呈现不同程度的提高，且随着施氮量的降低，等氮量中的控释尿素处理与普通尿素处理氮肥利用率的差值增加。其中，氮肥利用率以控释尿素 1/2 处理最高，为 68.3%，较同等氮素用量的普通尿素 1/2 处理提高 20.6 个百分点。控释尿素 100% 处理比普通尿素 100% 处理提高 9.1 个百分点，控释尿素 3/4 处理比普通尿素 3/4 处理提高 8.5 个百分点。同时，与普通尿素相比，控释尿素还能明显降低水稻土壤中硝态氮的含量，减少硝态氮向土壤深层渗漏数量，减轻对地下水污染风险。

本试验结果表明，在控释尿素对水稻产量的影响上，施用控释尿素明显优于普通尿素。控释尿素的增产效应说明施用控释尿素能有效地促进水稻的生长发育，尤其是在水稻生育中后期提供充足的氮素养分，使水稻产量得到有

效提高。这与前人^[19-21]的研究结果基本一致。主要是由于控释尿素能有效控制氮素释放,使氮素释放后移,为水稻的高产提供了重要保障。

氮肥在土壤中的损失方式主要是硝态氮淋失和氨挥发。普通尿素属于速效氮肥,在土壤中通过硝化-反硝化极易淋溶与挥发,导致氮素的损失及利用率的降低^[22-23],而控释尿素则通过调控机制使氮素释放延缓,从而减少或避免了这些损失,使氮肥利用率提高。杨俊刚等^[24]研究表明,与普通尿素相比,施用控释尿素能有效减少硝态氮的淋洗和氨挥发损失,氮素利用率明显提高。于淑芳等^[25]研究也表明,控释尿素能显著提高氮肥偏生产力,起到节肥增效作用。本研究也表明控释尿素相比普通尿素,能显著提高氮肥利用率。同时,还能明显降低水稻土壤中硝态氮的含量,并减少硝态氮向土壤深层渗漏数量,以减轻对地下水污染风险。

目前,中国水稻施氮量普遍较高,氮素损失较大,氮肥利用率较低。本研究比较分析了控释尿素和普通尿素在不同施用量下对水稻产量和氮肥利用率的影响,从而探讨等量氮肥及合理节肥条件下,控释尿素对水稻的增产效应及氮素的高效利用,其中,控释尿素减少1/4-1/2的氮素用量时能达到不减产,且还能显著提高其氮肥利用率。同时,与普通尿素分次施肥相比,控释尿素一次基施还能减少劳动成本。但本试验只是1年的结果,且在选择地点和土壤类型上存在较大不足,多年多点试验还需进一步研究。今后将开展不同控释时期的控释氮肥不同配比试验以及控释氮肥与普通氮肥不同配比试验,以期找到不同控释时期的控释氮肥以及控释氮肥与普通氮肥的最佳配比,为水稻的合理施肥、简化施肥和高产优质提供依据。



参考文献

- [1] 李方敏, 艾天成, 周升波, 等. 缓释氮肥对水稻的增产效果及其氮素利用率[J]. 土壤通报, 2004, 35(3):311-315.
- [2] 马富亮, 宋付朋, 高杨, 等. 硫膜和树脂膜控释尿素对小麦产量、品质及氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1):67-72.
- [3] 张强, 戴其根, 许轲, 等. 氮肥对小麦籽粒品质影响的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(1):139-140.
- [4] 任翠莲, 马银丽, 董娴娴, 等. 控释尿素对夏玉米产量、氮肥利用效率及土壤硝态氮的影响[J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(2):12-17.
- [5] 张民, 杨越超, 宋付朋, 等. 包膜控释肥料研究与产业化开发[J]. 化肥工业, 2005, 32(2):7-13.
- [6] 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.
- [7] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):915-924.
- [8] 卫丽, 马超, 黄晓书, 等. 控释肥对土壤全氮含量及夏玉米产量品质的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4):176-179.
- [9] 宗晓庆, 张民, 张庆富, 等. 硫包膜尿素对土壤性质和夏玉米生长的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2):227-231.
- [10] 卢艳艳, 宋付朋, 赵杰, 等. 控释尿素对土壤氨挥发和无机氮含量及玉米氮素利用率的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6):79-82.
- [11] 杨雯玉, 贺明荣, 王远军, 等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 627-633.
- [12] 薛高峰, 张贵龙, 孙炎鑫, 等. 包膜控释尿素(追施)对冬小麦生长发育及土壤硝态氮含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(2):377-384.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 陈贤友, 吴良欢, 李金先, 等. 新型包膜控释尿素对水稻产量与氮肥利用率的影响[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(6):829-833.
- [16] 袁嫚嫚, 叶舒娅, 刘枫, 等. 树脂包膜尿素对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国农业气象, 2011, 32(增1):83-87.
- [17] 王小娟, 宋海星, 刘强, 等. 纳米剂包膜氮肥对早稻养分吸收和产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2011(11):66-68.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 李方敏, 樊小林, 陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4):494-500.
- [20] 曹兵, 徐秋明, 任军, 等. 延迟释放型包衣尿素对水稻生长和氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3):352-356.
- [21] 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.
- [22] 胡玉婷, 廖千家骅, 王书伟, 等. 中国农田氮淋失相关因素分析及总氮淋失量估算[J]. 土壤, 2011, 43(1):19-25.
- [23] 董燕, 王正银. 尿素在土壤中的转化与植物利用效率[J]. 磷肥与复肥, 2005, 20(2):76-78.
- [24] 杨俊刚, 徐凯, 佟二健, 等. 控释肥料与普通氮肥混施对春白菜产量、品质和氮素损失的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(12):3147-3153.
- [25] 于淑芳, 杨力, 张民, 等. 控释尿素对小麦-玉米产量及土壤氮素的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(9):1744-1749.

湖北中稻控释尿素肥效试验结果

鲁君民

(湖北省洪湖大同湖管理区农科所, 湖北 洪湖, 433221)

摘要: 氮肥运筹可显著影响水稻生产, 本试验研究了控释氮肥施用对水稻产量的影响。研究表明, 由于水稻生长前期受到强降雨影响, 施肥效果与正常年份略有差异。本试验条件下, 施用 75% 控释尿素配合 25% 普通尿素的处理产量最高 (504.3 公斤/亩), 比对照处理 (416.2 公斤/亩) 增产 88.1 公斤/亩, 增产率达 21.2%。因此, 当地水稻氮肥施用推荐以 75% 控释尿素配合 25% 普通尿素作为追肥的施用策略。

关键词: 水稻; 氮肥; 控释尿素; 产量

氮肥用量是影响水稻产量的重要因素之一, 合理施用氮肥, 不仅是提高产量的需要, 同时也是提高经济效益和环境安全的需要。而施用控释氮肥是近年来推出的提高氮肥利用效率的有效措施之一, 为了验证控释尿素在水稻上的作用, 2010 年在美国加阳公司 (Agrium) 和 IPNI 中国项目的资助下, 我们对控释尿素用量和施肥方法进行了试验研究。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况:

田间试验布置在洪湖市大同湖管理区农科所, 土壤化验结果: pH7.23, 有机质 28.16 克/千克, 速效 N 125 毫克/千克, 速效 P 9.7 毫克/千克, 速效 K 68.7 毫克/千克, 肥力中等偏低。田块面积 10 亩, 一年两熟, 常年水稻产量 400-600 公斤/亩, 品种有两优 6326、杨两优 6 号, 新两优 6 号等。区域常年施肥方式为底肥 48% 复混肥 10-15 公斤, 分蘖肥尿素 12 公斤 (移栽后 5-8 天), 穗肥尿素 0-3 公斤 (幼穗分化 2 期或栽后 30 天左右)。油菜产量 100 公斤左右, 底肥 45% 复肥 25 公斤, 追尿素 10-15 公斤。小麦产量 280 公斤左右, 底肥 45% 复肥 15-20 公斤, 追尿素 5-8 公斤。

1.2 参试材料:

肥料: 尿素 (46% N)、控释尿素 CRU (44% N)、过磷酸钙 (12% P₂O₅)、氯化钾 (60% K₂O); 试验作物: 水稻广两优 100。

1.3 试验处理:

试验共 9 个处理, 1. 尿素 100% 基施, 2. 尿素 40% 基施 +60% 分蘖肥, 3. 尿素 40% 基施 +CRU60% 基施, 4. CRU100% 基施, 5. CRU75% 基施, 6. 尿素 75% 基施, 7. CRU50% 基施, 8. 尿素 50% 基施, 9. 不施氮肥。各处理施 P (普钙 50 公斤/亩)、K (氯化钾 10 公斤/亩) 相同, P 全部基施, K 基肥追肥各半, 三次重复, 小区面积 25 平方米, 移栽密度 8×67=536 株 (14300 株/亩)。共 27 个小区。尿素 100%=21.7 公斤/亩, CRU100%=22.7 公斤/亩。

1.4 栽培管理

育秧: 5 月 11 日播种, 按 1 公斤种 42 个盘, 秧田主治稻蓟马, 5 月 11 日揭膜, 5.16 日 1 叶 1 心, 5 月 20 日施提苗肥。

整地与移栽: 前茬小麦 5 月 20 日收打, 产量约 260 公斤/亩, 清除桔杆, 6 月 5 日机耕, 6 月 7 日施底肥插秧。

管理: 常规方式管理, 重点防治二三化螟、稻纵卷叶螟、稻飞虱、纹枯病。9 月 27 日收获测产。2010 年水稻生长前期的 7 月 8-15 日强降雨量 550 毫米, 7 月 9 日进入淹水期, 7 月 22 日排完水。

2 结果与分析

2.1 不同施肥品种和施肥量对水稻生长的影响

从生育进程分析认为, 2010 年受 7 月 8-15 日强降雨 (550 毫米) 影响, 9 月 4 日 2、4、5 处理有一定倒伏, 9

月 25 日 1 重复全部倒伏，2 重复 1、2、3、4、5 处理出现倒伏，3 重复尚未出现倒伏。处理 CRU100 基施叶绿素含量有所增加，叶片光合作用时间有所延长，比不施尿素延长叶片光合作用时间 3-4 天，比习惯施肥处理延长了 1-2 天。

从叶色分析，分蘖期（7 月 3 日）1、2、3 处理叶色最好，9 处理因未施肥叶色较差。7 月 8-22 日渍水对叶色观测产生影响，8 月 23 日 3、4 处理叶色较好，总的分析说明 CRU 肥效在慢慢增加，后效足、肥效稳。

水稻生长情况调查结果见表 2。结果表明，随着 N 肥

用量的减少，亩穗数减少。

最大分蘖、有效分蘖、株高和每穗粒数均以基施 60%-75% 的 CRU 较高（处理 5、6），这与最后的产量结果趋势是一致的。

2.2 不同施肥品种和施肥量对水稻产量与氮素利用率的影响

从 2010 年试验产量分析，由于受自然灾害（7 月 8-22 日渍害）影响，全试验区产量不高，其中全量 CRU100 基施产量较低，由于肥效长，易形成水稻晚熟

表 1 各处理生育进程差异

处理	播种期	移栽期	始穗期	收割期	9 月 4 日
1. 尿素 100% 基施	5. 11	6. 7	8. 8	9. 27	
4. CRU100% 基施	5. 11	6. 7	8. 9	9. 27	8% 倒伏
2. 尿素 40% 基施 +60% 分蘖肥	5. 11	6. 7	8. 9	9. 27	8% 倒伏
3. 尿素 40% 基施 +CRU60% 基施	5. 11	6. 7	8. 9	9. 27	
5. CRU75% 基施	5. 11	6. 7	8. 9	9. 27	8% 倒伏
6. 尿素 75% 基施	5. 11	6. 7	8. 7	9. 27	
7. CRU50% 基施	5. 11	6. 7	8. 9	9. 27	
8. 尿素 50% 基施	5. 11	6. 7	8. 8	9. 27	
9. 不施氮肥	5. 11	6. 7	8. 9	9. 27	

表 2 水稻生长情况调查

处理	基本苗	最大分蘖	有效分蘖	株高	每穗	千粒重
	(x 1000)			(厘米)	粒数	(克)
1. CK (PK) B	214. 5	1572	1330	106. 0	127	28. 6
2. RU100% B	214. 5	2246	1465	109. 5	150	28. 7
3. CRU 100% B	214. 5	1860	1645	127. 3	162	28. 4
4. RU 40% B+60% T	214. 5	2031	1686	124. 0	161	28. 2
5. (RU 40%+CRU 60%) B	214. 5	1903	1581	115. 3	186	27. 9`
6. CRU 75% B	214. 5	2344	1624	123. 0	179	27. 7
7. RU 75% B	214. 5	1645	1624	110. 6	150	28. 5
8. CRU 50% B	214. 5	1845	1630	118. 0	147	28. 8
9. RU 50% B	214. 5	1946	1609	112. 3	165	28. 5

表 3 不同施肥处理与产量

处理	重复 1	重复 2	重复 3	平均	产量	产量
	(公斤/25 平方米)				(公斤/亩)	(公斤/公顷)
1. CK	16. 5	15. 9	14. 3	15. 6	416. 2	6243. 0
2. RU100B	16. 9	17. 5	16. 9	17. 1	456. 2	6843. 0
3. CRU100 基施	17. 45	16. 8	15. 4	16. 55	441. 6	6624. 0
4. RU40B60T	18. 85	17. 2	16. 4	17. 5	466. 9	7003. 5
5. RU40CRU60B	20. 5	18. 2	17. 8	18. 8	501. 6	7524. 0
6. CRU75B	19. 85	19. 5	17. 3	18. 9	504. 3	7564. 5
7. RU75B	18	19.	16. 95	18. 0	480. 3	7204. 5
8. CRU50B	20. 3	18. 3	15. 5	18. 0	480. 3	7204. 5
9. RU50B	17. 1	18	16. 5	17. 2	458. 9	6883. 5

表 4 不同施肥处理的氮肥利用效率

处理	施 N 量	稻草与谷粒吸 N 量	N 回收率 (%)	农学效率 (公斤/公斤)
	(公斤/公顷)			
1. CK (PK) B	0.0	98.2	--	--
2. RU100% B	150.0	115.3	11.40	4.00
3. CRU 100% B	150.0	123.1	16.60	2.54
4. RU 40% B+60% T	150.0	135.5	24.87	5.07
5. (RU 40%+CRU 60%) B	150.0	151.8	35.73	8.54
6. CRU 75% B	112.5	114.6	14.57	6.41
7. RU 75% B	112.5	117.9	17.51	8.81
8. CRU 50% B	75.0	109.2	14.67	4.27
9. RU 50% B	75.0	109.9	15.60	6.41

注:N 回收率 (%) = (施 N 处理的吸 N 量 - 对照处理的吸 N 量) / 施 N 量 × 100

表 5 不同施肥处理的土壤氮素平衡 (公斤/公顷)

处理	试验前土壤 N	施 N 量	土壤总 N 量 (1+2)	稻草与谷粒吸 N 量	计算土壤 N 平衡 (3-4)	实测土壤 N 平衡
	1	2	3	4	5	6
1. CK (PK) B	281.3	0.0	281.3	98.2	183.10	260.11
2. RU100% B	281.3	150.0	431.3	115.3	316.00	284.03
3. CRU 100% B	281.3	150.0	431.3	123.1	308.20	285.66
4. RU 40% B+60% T	281.3	150.0	431.3	135.5	295.80	241.98
5. (RU 40%+CRU 60%) B	281.3	150.0	431.3	151.8	279.50	250.00
6. CRU 75% B	281.3	112.5	393.8	114.6	279.20	254.74
7. RU 75% B	281.3	112.5	393.8	117.9	275.90	233.36
8. CRU 50% B	281.3	75.0	356.3	109.2	247.10	239.94
9. RU 50% B	281.3	75.0	356.3	109.9	246.40	251.31

倒伏和病菌危害。处理 CRU75B 和 CRU50B 产量最高, RU40CRU60B 产量其次, 习惯施肥 RU40B60T 产量排在第 4 位。从不同施肥处理的氮肥利用效率来看, 以 RU 40CRU 60B 和 RU 40 B60 T 最高, 农学效率以 RU 40CRU 60B 和 CRU 75B 最高 (表 4)。从不同施肥处理对土壤氮平衡的影响来看 (表 5), 施氮肥量大的处理比施氮量小的处理土壤中积累的有效氮含量高。

3 结论

根据 2010 年试验分析, 受自然灾害天气影响, CRU100 基施产量低于习惯施肥处理, 75%CRU 基施和尿素与 CRU 以 2:3 配合基施施肥产量最高。考虑 2009 年 2010 年两年试验结果, 75%CRU 基施和尿素与 CRU 以 2:3 配施可作为最佳推荐施肥处理。

控释氮肥对四川一季中稻产量及氮肥利用率的影响

陈琨¹ 秦鱼生¹ 喻华¹ 樊红柱¹ 曾祥忠¹ 孙锡发 涂仕华^{1, 2*}

(1. 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 四川 成都, 610066; 2. 国际植物营养研究所成都代表处, 四川 成都, 610066)

摘要: 氮肥在土壤中极易损失(氨挥发、硝态氮淋失和反硝化)的特点是造成氮肥利用率低的主要原因。缓/控释肥料使用简便, 被认为是环境友好和提高肥料利用率的优良肥料新品种。为验证高分子包膜尿素在四川一季中稻上的应用效果以及为四川水稻简化高效施肥提供技术支撑, 于2009–2010年在位于成都平原上的彭州市开展水稻田间试验。试验设9个处理, 3次重复, 分别为N0(CK)、N75(RU)底、N75(CRU)底、N112.5(RU)底、N112.5(CRU)底、N150(RU)底、N150(CRU)底、N150(40%RU底+60%RU追)、N150(40%RU+60%CRU)底。结果表明, 无论是普通尿素还是控释尿素, 水稻产量均随氮肥用量的增加而增加; 与普通尿素相比, 在等氮量情况下控释尿素增产稻谷3.6%–11.4%, 氮肥利用率提高10个百分点以上, 氮肥农学效率增加25.0%–54.0%; 普通尿素底肥+追肥的效果优于普通尿素一次施肥, 40%普通尿素和60%控释尿素作底肥一次施用的效果优于其他所有普通尿素处理。根据试验结果, 成都平原一季中稻区的控释尿素最适用量为110–120公斤N/公顷。试验证明高分子包膜控释尿素是一种高效和环境有好的新型肥料, 可在四川稻区推广应用。

关键词: 控释尿素; 水稻; 氮; 施用量; 利用率; 农学效益

氮素是生命繁衍、成长和活动的重要元素, 在作物产量和品质形成中起着关键作用^[1–2]。中国氮肥消费量占世界氮肥总量的30%, 水稻生产所消耗的氮肥占世界水稻氮肥总消耗量的37%^[3]。但是, 我国水稻生产中氮肥施用量高而肥料利用率低的问题尤为突出, 水稻单季平均施氮量为180公斤/公顷, 比世界平均水平高出约75%, 而稻田氮肥吸收利用率仅为30%–35%, 低于发达国家10–15个百分点^[4–5], 不仅造成氮肥严重浪费, 还产生了一系列环境污染问题^[6]。当前, 我国正开展化学肥料零增长行动, 化肥减施增效已成为重大科学命题, 而控释氮肥是提高氮肥利用率、减少稻田氮素损失以及化肥减施增效调控的重要途径和措施之一^[7–8]。因此, 开展控释氮肥应用评价研究具有重要意义。

四川是农业大省, 水稻常年种植面积为2987.7万亩, 水稻产量1526.5万吨^[6]。肥料上的投入量较大, 但利用

率低, 损失大。为此, 我们以加拿大Agrium公司设计生产的高分子材料包膜的控释尿素(含氮量44%)为材料, 在四川盆地一季中稻免耕栽培区域开展研究, 以期探究控释氮肥在免耕条件下的适应性与效果, 为水稻简化高效施肥提供新技术。

1 材料与方 法

1.1 材料

试验安排在四川省彭州市升平镇龙富村17社, 土壤系第四纪新冲积母质形成的灰棕水稻土, 质地中壤, 富含氮、磷、缺钾, 肥力水平较高, 早育秧, 翻耕移栽, 前作为油菜, 供试品种为浥优838。2009–2010供试土壤基本肥力性状见表1。

表1 2009–2010供试土壤基本肥力性状

处理	pH	有机质	全氮			全磷			全钾		
			碱解氮	有效磷	有效钾	碱解氮	有效磷	有效钾	碱解氮	有效磷	有效钾
			(%)			(毫克/公斤)					
2009年试验地块	4.7	3.51	0.191	0.092	1.399	175.1	38.1	57.8			
2010年试验地块	6.16	3.21	0.212	0.060	1.15	168	14.6	60			

收稿日期:

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503118–11); 国家重点研发计划项目(2016YFD0300907)

作者简介: 陈琨(1983–), 男, 四川资中人, 硕士研究生, 从事土壤肥料与资源环境可持续利用研究, Email: chenkun410@163.com.

* 通讯作者, Email: stu@ipni.net.

1.2 试验设计

2009 和 2010 年试验均设 9 个处理：1、N₀ (CK)；2、N₇₅ (RU) 底；3、N₇₅ (CRU) 底；4、N_{112.5} (RU) 底；5、N_{112.5} (CRU) 底；6、N₁₅₀ (RU) 底；7、N₁₅₀ (CRU) 底；8、N₁₅₀ (40%RU 底 +60%RU 追)；9、N₁₅₀ (40%RU+60%CRU) 底。RU= 普通尿素，CRU= 控释尿素，下标数字为纯氮用量 (公斤 N/公顷)，底指底肥，追指追肥。此外，每个处理都施用 60 公斤 P₂O₅/公顷和 90 公斤 K₂O/公顷。试验设 3 次重复，小区随机排列，面积 4×5 米 =20 平方米。磷肥用过磷酸钙，钾肥用氯化钾，第 2、3、4、5、6、7、9 处理的氮肥及所有处理的磷肥栽秧时底肥一次施用，氯化钾底肥和分蘖时各 50%。

1.3 测定项目

水稻移栽前取试验田土壤分析 pH、有机质、全氮磷钾、碱解氮、有效磷、有效钾；定期调查水稻基本苗、分

蘖动态、有效穗、最高苗、产量等指标，收获后每小区取 3 株植株样考察千粒重、籽粒重、秸秆重、穗长、株高等性状，并分析植株全量氮磷钾指标。

1.4 统计分析及计算公式

对以上考察性状和测试指标进行平均值、标准差和方差分析。所有计算由 DPS 数据处理系统和 Microsoft Excel 操作系统完成。

植株氮磷钾吸收量 (公斤/公顷) = 收获期单位面积地上部干物重 × 植株含氮磷钾量 (%)

2 结果与讨论

2.1 控释尿素对水稻产量的影响

2009 年水稻产量总体高于 2010 年产量 (表 2)，这可能与两年试验地的肥力和气候等因素等差异有关。2009

表 2 控释尿素对灰棕水稻土水稻产量的影响

处理	2009 产量	比 RU ₁₅₀ 增/减产		2010 产量	比 RU ₁₅₀ 增/减产	
	(公斤/公顷)	(公斤/公顷)	(%)	(公斤/公顷)	(公斤/公顷)	(%)
N ₀ (CK)	6783.1 e	-2011.3	-22.87	4167.4 f	-2634.5	-38.73
N ₇₅ (RU) 底	8760.9 d	-33.5	-0.38	5276.8 e	-1525.1	-22.42
N ₇₅ (CRU) 底	9037.8 cd	243.4	2.77	5876.0 cd	-925.9	-13.61
N _{112.5} (RU) 底	8876.7 d	82.3	0.94	5568.7 de	-1233.2	-18.13
N _{112.5} (CRU) 底	9706.3 a	911.9	10.37	5932.0 c	-869.9	-12.79
N ₁₅₀ (RU) 底	8794.4 d	--	--	6801.9 b	--	--
N ₁₅₀ (CRU) 底	9549.8 ab	755.4	8.59	7459.7 a	657.8	9.67
N ₁₅₀ (RU 40% 底 +60% 追)	9056.2 cd	261.8	2.98	6995.8 b	193.9	2.85
N ₁₅₀ (40%RU+60%CRU) 底	9312.5 bc	518.1	5.89	7120.4 b	318.5	4.68

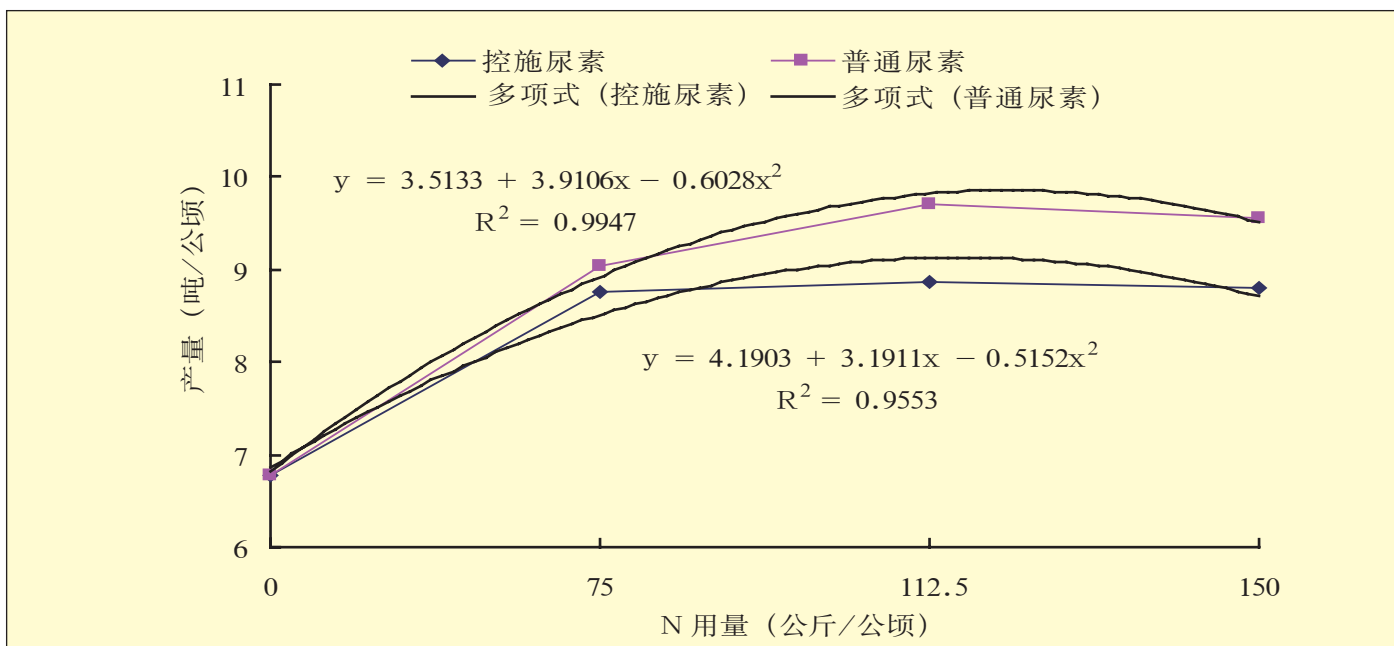


图 1 灰棕水稻土控释尿素用量对水稻产量的影响

年，普通尿素处理的水稻产量随着氮肥施用量增加而逐渐增加，而控释尿素处理的产量则先随氮肥施用量增加而增加，施氮量 >112.5 公斤 N/公顷后产量下降。在等 N 量条件下 2009 年施氮 75 公斤 N/公顷时控释尿素比普通尿素增产 276.9 公斤/公顷 (3.61%)，112.5 公斤 N/公顷时增产 829.6 公斤 (9.35%)，150 公斤 N/公顷时增产 755.4 公斤 (增长 8.59%)。

无论是普通尿素还是控释尿素，2010 年的水稻产量均随施氮量的增加而增加。与普通尿素相比，等 N 量时 75 公斤 N/公顷控释尿素增产 599.3 公斤/公顷 (11.36%)，112.5 公斤 N/公顷增产 363.3 公斤 (6.52%)，150 公斤

N/公顷增产 657.7 公斤 (9.67%)。

两年结果都表明普通尿素分次施用较底肥一次施用显著增产水稻产量；虽然 40% 普通尿素 +60% 控释尿素配合作底肥一次施用效果不如 100% 控释尿素底肥一次施用，但增产效果又明显优于普通尿素作底肥一次施用或分次施用。

经二次多项拟合分析，控释尿素的多项式为 $y = 3.5133 + 3.9106x - 0.6028x^2$ ， $R^2 = 0.9947$ ；普通尿素的多项式为 $y = 4.1903 + 3.1911x - 0.5152x^2$ ， $R^2 = 0.9553$ ，都属于二次曲线。施 N 量大于 125.5 公斤/公顷时稻谷产量下降 (图 1)。

表 3 控释尿素量对水稻分蘖率和有效穗的影响

年份	处理	基本苗	最高苗	有效穗	成穗率	成穗率增加	成穗率增加
		(万/公顷)			(%)	(万/公顷)	(%)
2009	N ₀ (CK)	67.65	253.35	153.08	85.86	--	--
	N ₇₅ (RU)底	67.35	239.52	183.69	76.69	--	--
	N ₇₅ (CRU)底	67.05	235.02	188.85	80.36	54.96	4.78
	N _{112.5} (RU)底	71.55	292.65	193.90	66.26	--	--
	N _{112.5} (CRU)底	73.24	289.04	199.00	68.85	38.86	3.91
	N ₁₅₀ (RU)底	66.15	296.25	178.59	60.28	--	--
	N ₁₅₀ (CRU)底	65.25	295.35	224.51	76.02	235.99	26.10
	N ₁₅₀ (RU 40%底 +60%追)	65.55	286.34	199.00	69.50	--	--
	N ₁₅₀ (40%RU+60%CRU)底	65.70	263.83	204.10	77.36	117.96	11.32
2010	N ₀ (CK)	70.16	163.70	144.56	88.31	--	--
	N ₇₅ (RU)底	70.16	278.50	195.59	70.23	--	--
	N ₇₅ (CRU)底	68.03	272.12	199.84	73.44	3.21	4.57
	N _{112.5} (RU)底	72.28	329.52	204.09	61.94	--	--
	N _{112.5} (CRU)底	74.41	321.02	263.62	82.12	20.18	32.59
	N ₁₅₀ (RU)底	74.41	314.64	263.62	83.78	--	--
	N ₁₅₀ (CRU)底	70.16	310.39	267.87	86.30	2.52	3.00
	N ₁₅₀ (RU 40%底 +60%追)	68.03	321.02	246.61	76.82	--	--
	N ₁₅₀ (40%RU+60%CRU)底	74.41	325.27	259.37	79.74	2.92	3.80

表 4 控释尿素对水稻产量构成因素的影响

处理	2009				2010			
	实粒数	粒重	秆重	千粒重	实粒数	粒重	秆重	千粒重
	(粒/穗)	(克/穗)		(克)	(粒/穗)	(克/穗)		(克)
N ₀ (CK)	175.93	3.63	3.14	24.78	94.7	3.92	1.81	31.83
N ₇₅ (RU)底	159.98	3.94	3.80	24.64	91.7	4.47	2.02	31.18
N ₇₅ (CRU)底	165.29	4.21	4.08	25.44	103.6	3.78	1.70	31.36
N _{112.5} (RU)底	137.03	3.34	3.89	24.34	103.9	3.35	1.70	30.92
N _{112.5} (CRU)底	166.97	4.18	3.68	25.01	118.5	3.79	1.92	32.24
N ₁₅₀ (RU)底	141.62	3.73	3.65	26.36	139.3	3.13	1.55	32.25
N ₁₅₀ (CRU)底	163.14	3.89	3.17	23.83	122.1	3.35	1.58	33.03
N ₁₅₀ (RU 40%底 +60%追)	144.20	3.55	3.38	24.61	124.6	3.10	1.45	31.55
N ₁₅₀ (40%RU+60%CRU)底	180.62	4.30	3.70	23.81	124.9	4.31	1.81	32.26

2.2 控释尿素对水稻最高苗和产量构成因素的影响

2009–2010 年间，在移栽后 35 天左右对水稻最高苗的调查表明，所有控释尿素处理的最高苗都不同程度地低于对应等氮量的普通尿素处理，但在生长后期其有效穗和成穗率又明显高于对应的普通尿素处理（表 3）。这表明控释尿素确实能有效控制水稻生长前期的氮素释放速率和水稻无效分蘖的生长，而生长后期又能保证充足的氮素供应形成更多的有效穗。

与普通尿素相比，施用控释尿素能显著增加水稻成穗率：2009 年（150 公斤 N/公顷）增加 26.10%，2010 年（112.5 公斤 N/公顷）增加 32.59%。40% 普通尿素 +60% 控释尿素作底肥处理比普通尿素 40% 作底肥 +60% 作追肥处理成能明显提高水稻穗率。

从水稻产量构成因素来看，2009 年水稻实粒数总体上明显高于 2010 年，但穗粒重年际间差异不大；2009 年穗秆重上总体高于 2010 年，但千粒重低于 2010 年（表 4）。两年缓释尿素处理的穗粒数、穗粒重和千粒重（2009 年 150 公斤 N/公顷处理除外）均高于普通尿素，每穗粒数高 10–20 粒。

2.3 控释尿素对氮肥利用率和农学效率的影响

2.3.1 控释尿素对 N 肥利用率的影响

两年的试验结果表明，控释尿素的氮肥利用率显著高

于等氮量普通尿素。无论控释尿素还是普通尿素，氮肥利用率都随施氮量的增加而降低，2010 年出现了反常情况，其原因有待进一步分析确认。氮肥分次施用的利用率明显高于底肥一次施用（表 5）。这些结果进一步证实了控释尿素能增加水稻产量和提高氮肥利用率的作用与效果，为今后控释尿素的应用推广提供了理论依据与技术支撑。

2.3.2 控释尿素对 N 肥农学效率的影响

无论是控释尿素还是普通尿素，氮肥的农学效率都随氮肥用量的增加而降低（表 6）。控释尿素的农学效率总是高于普通尿素，普通尿素分次施用的农学效率总是高于作底肥一次施用。总之，其趋势与氮肥利用率的趋势基本一致。

3 讨论

氮肥合理施用是水稻稳产、高产的基本保证，对提高氮肥利用率和增产效果具有双重意义^[10]。控释氮肥的应用就是氮肥合理施用的方法之一，已有研究结果表明施用控释氮肥能明显提高氮肥利用率和水稻产量。本研究结果显示控释尿素较普通尿素能有效提高水稻产量 3.6%–11.4%，等氮量情况下，控释尿素氮肥利用较普通尿素提高 10 个百分点以上。蒋曦龙等^[11]研究发现控释尿

表 5 控释尿素对 N 利用率的影响

年份	处理	籽粒产量	谷草产量	籽粒吸收	稻草吸收	合计吸收	N 利用率 (%)
		(公斤/公顷)		N(公斤/公顷)			
2009	N ₀ (CK)	6783.1	4462.5	72.7	30.4	103.1	--
	N ₇₅ (RU)底	8760.9	4564.4	103.2	36.9	140.1	49.34
	N ₇₅ (CRU)底	9037.8	5063.1	113.4	42.5	156.0	70.44
	N _{112.5} (RU)底	8876.7	4562.2	112.6	33.9	146.5	38.51
	N _{112.5} (CRU)底	9706.3	5924.8	126.1	52.0	178.1	66.65
	N ₁₅₀ (RU)底	8794.4	5080.4	115.5	39.5	155.0	34.58
	N ₁₅₀ (CRU)底	9549.8	7131.2	118.1	60.8	178.9	50.51
	N ₁₅₀ (RU 40%底 +60%追)	9056.2	6299.5	117.1	42.8	159.9	37.87
	N ₁₅₀ (40%RU+60%CRU)底	9312.5	6048.7	127.1	55.0	182.1	52.65
2010	N ₀ (CK)	4167.4	1924.4	59.2	18.0	77.2	--
	N ₇₅ (RU)底	5276.8	2381.2	69.3	20.3	89.6	16.46
	N ₇₅ (CRU)底	5876.0	2644.8	88.2	22.4	110.6	44.47
	N _{112.5} (RU)底	5568.7	2829.6	75.8	24.6	100.5	20.66
	N _{112.5} (CRU)底	5932.0	3013.1	94.6	31.0	125.5	42.93
	N ₁₅₀ (RU)底	6801.9	3374.0	99.0	29.2	128.2	34.00
	N ₁₅₀ (CRU)底	7459.7	3513.8	129.5	36.8	166.3	59.38
	N ₁₅₀ (RU 40%底 +60%追)	6995.8	3281.4	110.7	35.1	145.8	45.71
	N ₁₅₀ (40%RU+60%CRU)底	7120.4	2990.9	120.1	31.3	151.4	49.46

表 6 控释尿素对 N 农学效率的影响

处理	2009			2010		
	籽粒产量 (公斤/公 顷)	N 农学效率 (公斤/N)	增加 (%)	籽粒产量 (公斤/公 顷)	N 农学效率 (公斤/N)	增加 (%)
N ₀ (CK)	6783.1	--	--	4167.4	--	--
N ₇₅ (RU) 底	8760.9	26.4	--	5276.8	14.8	--
N ₇₅ (CRU) 底	9037.8	30.1	14.00	5876.0	22.8	54.02
N _{112.5} (RU) 底	8876.7	18.6	--	5568.7	12.5	--
N _{112.5} (CRU) 底	9706.3	26.0	39.63	5932.0	15.7	25.93
N ₁₅₀ (RU) 底	8794.4	13.4	--	6801.9	17.6	--
N ₁₅₀ (CRU) 底	9549.8	18.4	37.56	7459.7	21.9	24.97
N ₁₅₀ (RU 40% 底 +60% 追)	9056.2	15.2	--	6995.8	18.9	--
N ₁₅₀ (40%RU+60%CRU) 底	9312.5	16.9	11.27	7120.4	19.7	4.40

素养分释放与水稻养分吸收呈显著正相关性,更能满足水稻对养分的吸收,氮肥利用率提高了 50% 以上;王晓琪等^[12] 研究结果表明控释尿素配施使土壤硝态氮、铵态氮和碱解氮含量维持在较高水平,更有利于水稻中后期氮素供应,较普通尿素水稻产量增加了 4.08%–16.99%,氮肥利用率提高了 7.11%–46.75%;焦晓光等^[13] 利用 N15 标记研究发现控释尿素比普通尿素氮肥利用率提高了 3.64%–19.92%,可提高水稻产量 8.66%–25.70%。

氮肥的合理用量也是关注的重点。本研究设置 75、112.5、150 公斤/公顷低中高三个梯度氮肥用量,结果显示控释尿素最适宜的施氮量为 110–120 公斤/公顷。李云春^[14] 报道了当水稻目标产量为 8.35–8.41 吨/公顷时,控释尿素的适宜施用量为氮 102–128 公斤/公顷;而徐明岗等^[8] 在双季稻上的研究结果表明,控释肥用量为 N 75 公斤/公顷时与等量尿素相比可分别提高早、晚稻氮肥利用率 29.9 和 10.4 个百分点,可获得高的水稻产量。

本研究两年结果还显示控释尿素(60%)配施普通尿素(40%)一次基肥施用效果明显好于普通尿素分次施用,产量增加 2.99–3.78 个百分点,氮肥利用率提高 4.36–14.78 个百分点,农学效益增加 4.4%–11.27%。付月君等^[15] 研究结果表明一次性基施 40%CRNF+60%UR 可显著提高了水稻产量和氮肥利用率,氮肥表现观利用率、农学利用率、生理利用率及氮肥偏生产力也处于较高水平。本研究结果显示,控释尿素(60%)配施普通尿素(40%)一次基肥

施用的效果不如等氮量控释尿素(100%)一次基肥施用,与一些研究报道的控释尿素与普通尿素配施效果优于控释尿素单施的结论不一致^[15–16],这可能与水稻生长的前期温度和土壤的供肥力差异有关。当水稻栽插后的前期气温较低时,土壤供肥力也不足,配施速效氮肥的效果就会促进水稻早生快发,反之展示的则是控释尿素的后期长效优势。

4 结论

无论是普通尿素还是控释尿素,总体上随着氮肥施用量的增加,产量有所增加,在成都平原中等肥力土壤上的控释尿素最适宜施氮量为 110–120 公斤/公顷。控释尿素(60%)配施普通尿素(40%)一次基肥施用效果明显好于普通尿素分次施用,产量增加 2.99–3.78 个百分点,氮肥利用率提高 4.36–14.78 个百分点,农学效率增加 4.4%–11.27%。但控释尿素(60%)+普通尿素(40%)一次基肥施用的效果不如等氮量控释尿素(100%)一次基肥施用。等氮量情况下,控释尿素较普通尿素增产 3.61%–11.36%。控释尿素的氮肥利用率显著高于等氮量普通尿素,氮肥利用率随施氮量的增加而降低,普通尿素分次施用的利用率明显高于底肥一次施用(表 5)。控释尿素的农学效率总是高于普通尿素,普通尿素分次施用的农学效率总是高于作底肥一次施用。

参考文献

- [1] 张卫峰, 马林, 黄高强, 等. 中国氮肥发展、贡献和挑战 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(15):3161-3171.
- [2] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4):783-795.
- [3] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略 [J]. 中国农业科学, 2002, 35(9):1095-1103.
- [4] 李庆逵. 中国农业持续发展中的肥料问题 [M]. 江西: 江西科学技术出版社, 1997.
- [5] 王秀斌, 徐新朋, 孙刚, 等. 氮肥用量对双季稻产量和氮肥利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(6):1279-1286.
- [6] 蔡祖聪, 颜晓元, 朱兆良. 立足于解决高投入条件下的氮污染问题 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 1-6.
- [7] 鲁艳红, 纪雄辉, 郑圣先, 等. 施用控释氮肥对减少稻田氮素径流损失和提高水稻氮素利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 490-495.
- [8] 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.
- [9] 四川省农业厅. 四川省农业统计年鉴 (2009-2014)[Z].
- [10] 鲁艳红, 聂军, 廖育林, 等. 不同控释氮肥减量施用对双季水稻产量和氮素利用的影响 [J]. 水土保持学报, 2016, 30(2):155-161, 174.
- [11] 蒋曦龙, 陈宝成, 张民, 等. 控释肥氮素释放与水稻氮素吸收相关性研究 [J]. 水土保持学报, 2014, 28(1):216-220.
- [12] 王晓琪, 朱家辉, 陈宝成, 等. 控释尿素不同比例配施对水稻生长及土壤养分的影响 [J]. 水土保持学报, 2016, 30(4):178-182.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 付月君, 王昌全, 李冰, 等. 控释氮肥与尿素配施对单季稻产量及氮肥利用率的影响 [J]. 土壤, 2016, 48(4): 648-652.
- [16] 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.

安徽水稻“益多宝”肥效试验结果

周可金 章立干

(安徽农业大学, 安徽 合肥, 230036)

2013年受美国加阳公司委托, 安徽农业大学资环学院在安徽省肥东县店埠镇安乐村水稻上实施了缓控释尿素“易多宝”的田间肥效试验, 试验的基本情况和结果如下。

1 试验设计

试验地点: 安徽省肥东县店埠镇安乐村, N31°91'32", E117°43'78"。位于承包户费广发承包的70亩地上。试验处理和肥料用量见表1。

试验地的行距23.5厘米, 株距23.5厘米。密度: 18.15万株/公顷, 明显偏稀, 主要担心试验区施肥量大, 后期出现倒伏。试验品种: 两优100。保护行基肥的施肥量17.5千克/亩复合肥(15-15-15), 后期不追肥。试验小区采用3层较厚的塑料薄膜压到犁底层, 肥水不串流。育秧期: 4月29日, 栽插期: 6月9日, 分蘖期: 7月9日, 抽穗期: 8月13日(全缓释肥较迟一点)。氮肥为普通尿素和“益多宝”(控释尿素), 磷肥为普钙, 钾肥为氯化钾。“益多宝”含N量为44%。氮肥按处理分基肥和追肥, 磷钾肥全部基施, 于水稻插秧前1天施入, 并立即用铁齿耙耖入5厘米深度的土层内。试验设置12个处理, 3次重复, 随机区组排列, 每小区面积20平方米。其他田间管理按当地习惯和常规要求。

调查项目包括: 各处理植株样品分别在移栽期(于插秧当天在秧田中随机选择10株)、分蘖期、抽穗期、成熟期取样。试验前取土壤样品在肥料施入前采集, 主要分析土壤有机质、pH和速效N、P、K含量, 每个区组取3个土样混合, 取样深度为0-15厘米。

生育指标: 记载生育期(播种期、栽插期、分蘖期、抽穗期、乳熟期、成熟期和收获期)。测定叶面积、叶绿素含量、株高、分蘖数、倒3叶叶长、叶宽、植株生物量(克/平方米)和小区籽粒产量(公斤)。成熟期调查有效穗数、穗粒数、籽粒重、结实率等(取5兜)。在抽穗期选择晴天上午10点测定光合速率, 部位剑叶中部, 每处理重复测定5点。

试验地的土壤属水稻土中的白土类型, pH6.1, 有机质26.2克/公斤, 全氮1.5克/公斤, 有效磷16.3毫克/公斤, 速效钾126.3毫克/公斤, 有效锌1.4毫克/公斤, 有效硼0.6毫克/公斤, 有效硫51.0毫克/公斤。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理水稻形态指标的差异

表2的处理1-7结果表明, 单独施用控释尿素的处

理分蘖数比普通尿素减少, 但与普通尿素按照一定比例配

表1 控释尿素肥效试验处理及肥料用量表

编号	处理	普通尿素	控释尿素	P ₂ O ₅ +K ₂ O	备注
1	CK(仅施磷钾肥)	0	0	100%	1) 处理1-7, 每公顷施N
2	RU100	100%	0	100%	180公斤, P ₂ O ₅ 90公斤,
3	CRU100	0	100%	100%	K ₂ O 135公斤, 肥料全部一
4	CRU75+RU25	25%	75%	100%	次性基施。
5	CRU60+RU40	40%	60%	100%	2) 处理8-12, 在2-7处理
6	CRU45+RU55	55%	45%	100%	基础上N减量、P不变、K
7	CRU30+RU70	70%	30%	100%	增量, 每公顷N 144公斤,
8	(CRU100)×0.8	0	100%×0.8	100%	P ₂ O ₅ 90公斤, K ₂ O 180公
9	(CRU75+RU25)×0.8	25%×0.8	75%×0.8	100%	斤, 全部一次性基施。
10	(CRU60+RU40)×0.8	40%×0.8	60%×0.8	100%	3) 氮肥为尿素和控释尿素,
11	(CRU45+RU55)×0.8	55%×0.8	45%×0.8	100%	磷肥为普钙, 钾肥为氯化钾,
12	(CRU30+RU70)×0.8	70%×0.8	30%×0.8	100%	其他按设计。

施后,分蘖数减少不明显,其中 CRU75+RU25 处理和 CRU60+RU40 处理的分蘖数比单施普通尿素的还略有增加。在减量施肥处理 120-180(-N,+K,P 不变)中,-N 处理的分蘖数反而有所增加,其中控释尿素与普通尿素比例为 45:55 和 30:70 的处理与减量 20% 氮肥后的处理相比,分蘖数增加了 1-2 个,但控释尿素与普通尿素比例为 75:25 及 60:40 的处理与减量后处理的分蘖数变化不大。

表 3 结果表明,在抽穗期普通尿素处理的抽穗数、株高、秆粗、生物产量等性状均比控释尿素的高,说明控释尿素对抽穗期水稻的生长发育产生一定的影

响,但影响较小的处理有 CRU60+RU40 处理及其 CRU60+RU40 减量处理,以及控释尿素的减量处理。

2.2 不同施肥处理水稻光合生理指标的差异

表 4 可以看出,不同处理的净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度和气孔导度等光合生理参数存在明显差异。其中不施肥对照处理净光合速率和蒸腾速率均最低,CRU30+RU70 处理和 80% 控释尿素处理的净光合速率最高,分别比尿素 100% 处理的增加 12.6% 和 10.7%;蒸腾速率分别增加 14.5% 和 13.8%。光合速率增加为高产奠定了重要的物质基础。

表 2 分蘖期水稻各处理的形态生理指标 (7 月 9 日)

编号	处理	分蘖数	叶片长度 (厘米)	叶片宽度 (毫米)	叶面积 (平方厘米)	叶绿素含量 (SPAD)
1	CK(不施氮肥)	8.4	27.89	9.4	22.8	41.9
2	RU100	13.4	36.88	10.9	30.4	43.9
3	CRU100	11.4	33.05	10.7	25.4	43.8
4	CRU75+RU25	13.8	33.45	11.7	29.5	45.3
5	CRU60+RU40	13.6	30.45	10.9	24.6	41.2
6	CRU45+RU55	11.4	32.91	11.2	29	44.5
7	CRU30+RU70	11.6	32.57	10.5	26.5	44.5
8	(CRU100)×0.8	11.2	34.88	11.1	29.6	44.1
9	(CRU75+RU25)×0.8	13.2	35.98	11.7	33	44
10	(CRU60+RU40)×0.8	12.8	31.01	10.5	24.7	44.7
11	(CRU45+RU55)×0.8	14	36.76	11.7	33.9	42.4
12	(CRU30+RU70)×0.8	15.4	36.11	11.4	30.4	43.6

注:分蘖数包括无效分蘖,叶片长度、宽度和面积均指倒 3 叶。

表 3 抽穗期水稻各处理的形态生理指标 (8 月 15 日)

编号	处理	穗数	株高 (厘米)	秆粗 (毫米)	节间长		穗重	植株生物量 (克)
					(厘米)			
1	CK(不施氮肥)	5	82.4	7.27	37.4	2.2、6.2	8	61
2	RU100	10	94.5	8.34	36.2	5.7、2.7	14	88
3	CRU100	6	84.2	7.82	32.7	7.1、4.5	9	66
4	CRU75+RU25	7	94.0	7.64	34.8	6.3、3.2	9	69
5	CRU60+RU40	7	88.2	7.40	30.9	5.1、2.7	10	70
6	CRU45+RU55	6	81.5	8.14	29.3	7.5、2.4	9	64
7	CRU30+RU70	6	89.5	7.59	39.3	9.1、2.1	7	60
8	(CRU100)×0.8	8	91.2	7.86	39.2	7.4、2.2	11	72
9	(CRU75+RU25)×0.8	5	89.6	7.72	33.4	6.6、2.5	8	65
10	(CRU60+RU40)×0.8	7	84.9	7.26	32.5	6.8、2.3	8	72
11	(CRU45+RU55)×0.8	7	92.4	7.47	39.5	5.6、2.1	11	68
12	(CRU30+RU70)×0.8	8	91.5	8.53	38.8	7.8、3.0	10	63

表 4 抽穗期水稻各处理的光合生理指标 (8 月 15 日)

编号	处理	净光合速率 A	蒸腾速率 E	胞间 CO ₂ 浓度 Ci	气孔导度 Gs
1	CK(不施氮肥)	24.03	13.55	187.2	1.35
2	RU100	26.07	15.99	246.2	1.67
3	CRU100	25.48	18.86	219.0	0.79
4	CRU75+RU25	28.46	16.86	209.4	0.51
5	CRU60+RU40	25.70	15.14	196.8	0.47
6	CRU45+RU55	24.73	13.59	111.2	0.34
7	CRU30+RU70	29.35	18.31	144.6	0.58
8	(CRU100)×0.8	28.87	18.20	138.8	0.47
9	(CRU75+RU25)×0.8	26.03	18.02	167.0	0.48
10	(CRU60+RU40)×0.8	26.28	15.58	122.8	0.35
11	(CRU45+RU55)×0.8	24.09	17.39	177.8	0.49
12	(CRU30+RU70)×0.8	26.86	20.33	180.2	0.76

2.3 不同施肥处理水稻产量及经济性状的差异

表 5 可以看出,控释尿素 100% 处理的有效穗数比普通尿素处理减少 1 个,但穗粒数差异不大,而结实率

和千粒重反而有所增加。控释尿素与普通尿素按照 75 : 25、60 : 40、45 : 55 以及 30 : 70 不同配比处理的有效穗数、穗粒数、结实率以及千粒重均有所增加或相当,其中

表 5 水稻成熟期各处理的经济性状

编号	处理	有效穗数	穗长 (厘米)	穗粒数	瘪粒数	结实率 (%)	千粒重 (克)
1	CK(不施氮肥)	5	26.4	178.4	34.1	83.3	25.9
2	RU100	7	29.4	181.1	33.1	84.5	28.1
3	CRU100	6	26.3	179.2	32.4	86.5	29.1
4	CRU75+RU25	8	27.8	215.1	31.1	87.4	29.0
5	CRU60+RU40	8	29.0	182.2	29.1	86.1	27.9
6	CRU45+RU55	7	26.9	202.4	35.4	85.1	27.5
7	CRU30+RU70	8	27.5	183.7	30.4	84.3	31.1
8	(CRU100)×0.8	7	27.3	183.1	29.1	86.3	32.4
9	(CRU75+RU25)×0.8	8	27.3	193.8	25.8	88.3	28.4
10	(CRU60+RU40)×0.8	6	26.6	194.3	27.7	87.5	28.3
11	(CRU45+RU55)×0.8	8	30.5	215.5	25.3	89.5	29.9
12	(CRU30+RU70)×0.8	7	26.5	180.0	34.7	83.0	27.2

表 6 水稻收获期各处理的产量结果 (9 月 19 日)

编号	处理	小区产量 (公斤)			单产 (毫克/公斤)	与 RU100 对比 ±%
		I	II	III		
1	CK(不施氮肥)	11.5	12.0	12.5	6000 eD	-20.0
2	RU100	15.2	15.0	14.8	7500 cdBC	—
3	CRU100	14.1	14.5	15.1	7250 dBC	-3.3
4	CRU75+RU25	16.5	16.0	15.5	8000 abA	+6.7
5	CRU60+RU40	16.2	15.9	15.6	7950 abA	+6.0
6	CRU45+RU55	15.7	16.0	16.3	8000 abA	+6.7
7	CRU30+RU70	16.5	16.2	15.9	8100 aA	+8.0
8	(CRU100)×0.8	15.3	15.0	14.7	7500 cdBC	0
9	(CRU75+RU25)×0.8	16.0	16.2	16.4	8100 aA	+8.0
10	(CRU60+RU40)×0.8	15.7	15.4	15.1	7700 bcAB	+2.7
11	(CRU45+RU55)×0.8	15.7	16.0	16.3	8000 abA	+6.7
12	(CRU30+RU70)×0.8	15.0	14.5	14.0	7250 dC	-3.3

表7 小区产量的方差分析表

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
区组间	0.0606	2	0.0303	0.2090	0.8129
处理间	46.9497	11	4.2682	29.4710	0.0001
误差	3.1861	22	0.1448		
总变异	50.1964	35			

CRU75+RU25 处理的穗粒数最高,比普通尿素 100% 处理增加 34 粒,增幅达 18.8%,比控释尿素 100% 处理增加 20.0%。在不同配比尿素用量减少 20% 的施肥的处理中,除了 CRU30+RU70 配比处理的穗长、穗粒数、千粒重和结实率比尿素 100% 处理减少外,其他各处理均有所增加。可见,控释尿素和普通尿素搭配使用,对促进有效穗数、穗粒数、千粒重和结实率的增加有一定效果。而且在施肥量减少 20% 以后,控释尿素和普通尿素搭配仍然有较好的效果。

表 7 小区产量的方差分析结果表明,处理间差异达到极显著差异水平,区组间差异不显著,表明试验结果可靠,从表 6 的多重比较结果来看,控释尿素 100% 处理比普通尿素处理减产 3.3%,差异不显著;控释尿素与普通尿素的不同配比处理的产量均显著高于普通尿素 10% 处理,增幅在 6-8%,差异达显著和极显著水平。在减量 20% 的处理中,控释尿素 80% 处理与普通尿素 100% 处理产量相当,CRU30+RU70 配比处理比普通尿素 100% 处理减产 3.3%,差异不显著,其他处理均增产,幅度为 2.7-8.0%,增产最多的为 (CRU75+RU25) × 0.8,与普通尿素 100% 处理相比增产极显著,该处理的产量与 CRU30+RU70 处理产量相当。由此可见,在现有的栽培水平下,当每

公顷施 N180 公斤、P₂O₅ 90 公斤、K₂O 135 公斤时,控释尿素 30% 与普通尿素 70% 的配比产量最高;当亩施 N 144 公斤、P₂O₅ 90 公斤、K₂O 180 公斤时,控释尿素 75% 与普通尿素 25% 的配比产量最高。可见增施钾肥对促进氮肥的吸收和利用具有重要作用,因此,在该区域的水稻生产上,建议的施肥配方为:每公顷施 N144 公斤(控释尿素 75%+普通尿素 25%)、P₂O₅ 90 公斤、K₂O 180 公斤。

表 8 结果表明,氮肥减量 20% 以后,各处理的增产效果随着控释尿素与普通尿素的比例不同而存在较大差异,控释尿素比例越高的处理,减量 20% 后的增产效果越好,因此,采用控释尿素作氮肥,可以适当减少氮肥的使用量,有利于降低肥料成本,还能够防治氮肥的流失,保护环境。

表 8 各处理减量 20% 氮肥后的产量对比

处理	单产	减量 20% 的单产	减量 20% 产量 ±%
	(公斤/公顷)		
CRU100	7250	7500	+3.4
CRU75+RU25	8000	8100	+1.3
CRU60+RU40	7950	7700	-3.1
CRU45+RU55	8000	8000	0
CRU30+RU70	8100	7250	-10.5

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 材料与试验方法

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) (毫克 / 升)	速效钾 (K)
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 50%N 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。

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

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

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

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

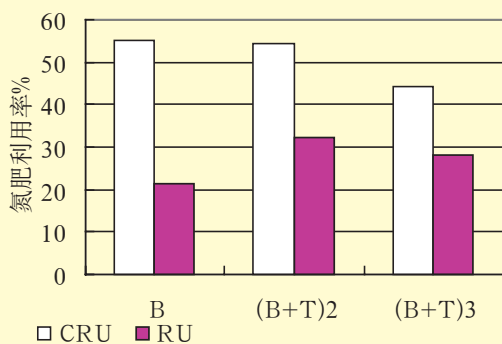


图 1 2009 年两种尿素 N 利用率

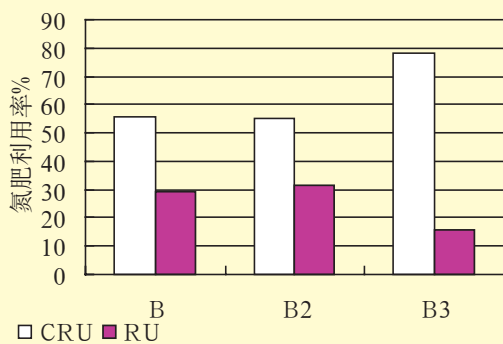


图 2 2010 年两种尿素 N 利用率

表3 不同尿素品种的农学效率

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

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	试验处理	籽粒吸N (公斤/公顷)	植株吸收量
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。

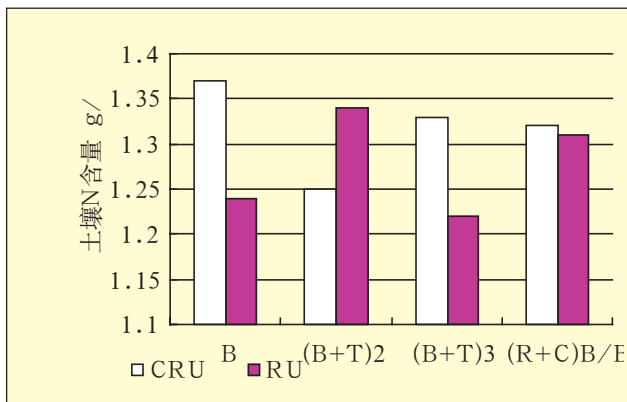


图 3 2009 年两种尿素水稻收后土壤全氮含量

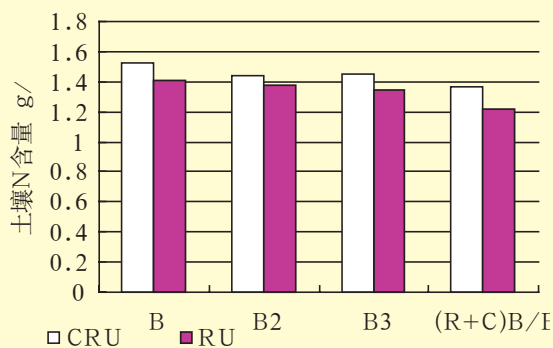


图 4 2010 年两种尿素水稻收后土壤全氮含量

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

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	9136.0 ABC	RU B2	6866.4 BC
CRU(B+T)2	9325.7 ABC	CRU B2	7437.5 AB
RU(B+T)3	8949.6 CD	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)

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。

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

试验处理	窝数 (万窝 / 公顷)	有效穗 (万穗 / 公顷)	着粒数		结实率 (%)
			实粒数 (粒 / 穗)		
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期生长的要求，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。

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.

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。

[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.

控释尿素 (CRU) 在冬小麦夏玉米上的施用效果研究

孙克刚 杨焕焕

(河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所 / 河南省农业生态与环境重点实验室, 河南 郑州, 450002)

摘要: 通过田间试验方法, 评价控释尿素 (CRU, 含量 44%) 在冬小麦和夏玉米上的施用效果和方法, 通过施用 CRU 对冬小麦以及夏玉米籽粒, 氮素利用率和土壤硝态氮的影响, 揭示 CRU 在驻马店冬小麦和夏玉米上的施用效果。试验结果表明: 等氮条件下, 40% 普通尿素与 60% 控释尿素掺混全部基肥对提高作物产量效果最好, 与普通尿素相比, 小麦增产了 41-53 公斤/亩, 增产幅度为 8.2%-13.6%, 玉米增产了 40-58 公斤/亩, 增产幅度为 8.1%-15.1%。施用 75% 的控释用量处理小麦产量为 495 公斤/亩, 玉米产量为 485 公斤/亩, 施用 100% 普通尿素用量处理小麦产量为 497 公斤/亩, 玉米产量为 495 公斤/亩, 不论是小麦还是玉米二者之间没有显著性差异, 说明在该地区通过控释尿素就可以减少 25% 的施氮量, 在提高产量方面控释尿素效果优于普通尿素; 40% 普通尿素与 60% 控释尿素掺混全部基肥处理氮肥利用率最高, 小麦为 47.8%, 玉米为 44.3%, 等氮条件下小麦提高了 10.7-20.1 个百分点, 玉米提高了 5.6-7.5 个百分点。另外, 在保证产量的情况下, 控释尿素处理收获后土壤硝态氮含量要低于普通尿素处理, 说明施用控释尿素均提高了小麦玉米产量及氮素利用率且降低了硝态氮被雨水淋失的风险。

关键词: 控施氮量; 冬小麦; 夏玉米; 氮肥利用率; 土壤硝态氮残余量¹

河南省粮食作物的主要种植制度以冬小麦-夏玉米一年两熟为主, 其中小麦种植面积约 8113 万亩, 玉米种植面积约 4727 万亩, 而大约有 95% 以上的玉米面积是与小麦轮作的夏玉米^[1]。化肥作为粮食的“粮食”, 对粮食的增产做出了巨大贡献, 有研究指出中国作物产量的增加其中 30%-50% 来源于化肥的投入^[2]。近年来, 为了追求高产, 小麦玉米生产过程中普遍存在氮肥用量过多的现象, 但是, 当粮食产量达到一定水平, 氮肥的过量施用会导致硝态氮淋失量的显著增加, 据估计, 全世界施入土壤中的氮肥, 大约有 30%-50% 经土壤淋失进入地下水^[3], 存在着氮肥利用率低的问题^[4-5], 而当化肥投入量超过土壤吸附和作物吸收能力时, 便会出现负作用^[6-8], 例如在引起土壤硝态氮淋失, 污染地下水, 造成严重的生态环境^[9-10]的同时还会诱发钾钙镁等金属离子的大量淋失^[11], 并进一步引起土壤的酸化^[12-13]。小麦玉米科学施肥是当前施肥的关键技术, 因此我们在驻马店进行控释肥试验, 意在通过减少氮肥、控释氮肥等氮肥运筹模式, 在保证增产、农民增收的前提下, 探求提高氮肥利用率, 减少土壤硝态氮残留, 降低硝酸盐污染的合理施氮肥措施, 以期为实现

农业生态系统高产、高效和促进农业持续发展提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

本试验在河南省驻马店农科所农场进行。供试土壤为砂浆黑土, 供试作物为冬小麦 (郑麦 366) 和夏玉米 (郑单 958)。各处理磷、钾肥用量相同并按当地农民习惯作为基肥施入普通过磷酸钙 (42%) 和加拿大产氯化钾各 6 公斤/亩; 大颗粒包膜尿素控释肥为美国加阳公司生产 (44%) 包膜尿素, 施肥量为 12 公斤/亩。试验前采取耕层土壤样品 (0-20 厘米) 进行分析, 供试土壤养分状况见表 1。

表 1 供试土壤养分状况

作物	有机质 (克/公斤)	速效养分 (毫克/公斤)		
		碱解氮	速效磷	速效钾
小麦	9.8	81.9	9.7	61.4
玉米	8	82.3	8.9	53.8

¹ 项目资助: 本研究得到国际植物营养研究所 (IPNI) 北京办事处资助。

² 作者简介: 孙克刚, 男, 河南省政府特殊津贴专家, 河南省优秀青年科技专家, 硕士生导师, 1965 年出生, 河南固始人, 研究员, 硕士, 主要从事植物营养与施肥和精准农业养分管理与施肥方向的研究。获国家及省部级成果 15 项。《控释肥料高效施用技术研究与应用》获 2012 河南省科技进步二等奖。

1.2 试验设计

试验选择当地主推的小麦玉米品种及适宜种植密度。试验设置 9 个处理，冬小麦夏玉米试验小区面积都为 $4 \times 5 = 20$ 平方米，各处理均为 3 次重复，采用完全随机区组设计，小区之间设畦埂，重复之间设走道，田间管理按丰产田要求并记载生物学性状。冬小麦播种量为 8.5 公斤/亩，播种时间为 2010 年 10 月；夏玉米播种密度为 5000 株/亩，播种时间为 2011 年 6 月 2 日。试验处理详见表 2。

土钻采取 0–120 厘米深度的土样，每小区 3 钻，每 30 厘米为一层，按层次混匀，用流动分析仪测定硝态氮含量。

2 结果与分析

2.1 控释尿素对冬小麦夏玉米产量的影响

2.1.1 控释尿素对冬小麦产量的影响

由表 3 可知，施用氮肥均有增产效果，比不施氮肥处理 (CK) 增产 80–232 公斤/亩，增产幅度 25.9%–

处理代号	处理	处理内容
P0	CK	对照，不施 N 肥
P1	BU100% B	100% 用量的普通尿素，全部做基肥施用
P2	CRU 100% B	100% 用量的控释尿素，全部做基肥施用
P3	BU 40% B+60% T	普通尿素，40% 播前基施，60% 追肥；
P4	(BU 40%+CRU 60%) B	40% RU 和 60% CRU 混配，全部作基肥施用
P5	CRU 75% B	70% 用量的控释尿素，全部做基肥施用
P6	BU 75% B	70% 用量的普通尿素，全部做基肥施用
P7	CRU 50% B	50% 用量的控释尿素，全部做基肥施用
P8	BU 50% B	50% 用量的普通尿素，全部做基肥施用

1.3 样品采集与测定

试验按小区单收，折算成亩产量，并用多重比较 (LSD 法) 进行差异显著性检验。植株全氮的测定采用半微量凯氏定氮法，并根据测定结果计算氮肥利用率及氮肥农学效率。

氮肥利用率 (公斤籽粒/公斤氮) = [施氮区吸氮量 - 不施氮区吸氮量] / 施氮量；

氮肥的农学效率 (%) = [施氮区作物产量 - 不施氮区作物产量] / 施氮量 × 100；

土壤硝态氮的测定：作物收获后，分别在各小区内用

75.1%，增产显著 ($P < 0.05$)。BU 40% B+60% T 处理产量最高，达到 541 公斤/亩，但是与 (BU 40%+CRU 60%) B 处理和 CRU 100% B 处理无统计上的差异显著 ($P > 0.05$)，等氮条件下，三个处理籽粒产量均显著高于 BU100% B 处理 ($P < 0.05$)；随着控释尿素用量的增加，小麦产量也呈增加趋势，CRU 100% B 处理比 CRU 75% B 处理增产 16.9%，产量提高 76 公斤/亩；比 CRU 50% B 处理增产 35.0%，产量提高 136 公斤/亩；CRU 75% B 处理比 CRU 50% B 处理增产 15.4%，产量提高 60 公斤/亩，普通尿素也表现出同样的趋势；CRU 75% B 处理与

处理	冬小麦籽粒产量				处理	玉米产量			
	产量 (公斤/亩)	5% 显著性	较 N0 增产	较 N0 增产 (%)		产量 (公斤/亩)	5% 显著性	较 N0 增产	较 N0 增产 (%)
N0	309	e	0	0	N0	354	e	--	--
BU100% B	497	b	188	60.8	BU100% B	495	b	141	39.8
CRU 100% B	525	a	216	69.9	CRU 100% B	522	a	168	47.5
BU 40% B+60% T	541	a	232	75.1	BU 40% B+60% T	528	a	174	49.1
(BU 40%+CRU 60%) B	538	a	229	74.1	(BU 40%+CRU 60%) B	535	a	181	51.1
CRU 75% B	495	b	186	60.2	CRU 75% B	485	b	131	37.0
BU 75% B	449	c	140	45.3	BU 75% B	448	c	94	26.6
CRU 50% B	442	c	133	43.0	CRU 50% B	442	c	88	24.9
BU 50% B	389	d	80	25.9	BU 50% B	384	d	30	8.8

CRU 100% B 处理相比, 虽然 75% 的氮肥用量下小麦籽粒产量降低, 但是与 BU100% B 处理相比, 75% 缓释尿素处理虽然降低了 25% 的氮肥用量, 却未影响籽粒产量。50% 的氮肥用量下小麦籽粒产量进一步降低, 但是同样表现出缓释尿素籽粒产量显著高于普通尿素。

2.1.2 控释尿素对夏玉米产量的影响

由表 3 可知, 施用氮肥均有增产效果, 比不施氮肥处理 (CK) 增产 30–181 公斤/亩, 增产幅度 8.8%–51.1%, 增产显著 ($P < 0.05$), 各处理产量以 (BU 40%+CRU 60%) B 处理产量最高, 为 535 公斤/亩。等氮量时, CRU 处理较 BU 处理表现出显著的产量优势, 等氮量比较, CRU 100% B 处理为 522 公斤/亩, 比 BU100% B 处理增加 5.5%, 产量提高 27 公斤/亩; CRU 75% B 处理为 485 公斤/亩, 比 BU75% B 处理增加 8.3%, 产量提高 37 公斤/公顷; CRU 50% B 处理为 442 公斤/亩, 比 BU50% B 处理增加 15.1%, 产量提高 58 公斤/亩。

随着控释尿素氮肥用量的增加玉米产量增加, CRU 100% B 处理比 CRU 75% B 处理增产 7.6%, 产量提高 37 公斤/亩, 比 CRU 50% B 处理增产 18.1%, 产量提高 80 公斤/亩, CRU 75% B 处理比 CRU 50% B 处理增产 9.7%, 产量提高 43 公斤/亩。普通尿素也表现出同样的趋势; 相同施氮处理 CRU100%B, (BU 40%+CRU 60%) B 和 BU 40% B+60% T 中, 处理 (BU 40%+CRU 60%) B 比 BU 40% B+60% T 玉米产量增加 7 公斤/亩, 但两者之间差异不显著, 但这两处理都与 CRU100%B 达到显著性差异; 施氮量为 75% 的 CRU 处理和 BU100%B 处理相比, 施氮量为 50% 的 CRU 处理和 BU 75100%B 处理相比, 产量并没有显著下降, 表明施用 CRU 可以在减少氮肥施用量的同时, 并不减少产量。

2.2 控释尿素对冬小麦夏玉米氮肥利用率的影响

2.2.1 控释尿素对冬小麦氮肥利用率的影响

由表 4 可知, 氮肥利用率以 (BU 40%+CRU 60%) B 最高, 为 47.8%, 其次为 CRU75% 处理为 46.6%。等氮量时, CRU 处理较 BU 处理氮肥利用率有不同程度提高, CRU100% B 比 BU100% B 处理提高 7.5 个百分点, CRU 75% B 处理比 BU75% B 处理增加 16.8 个百分点, CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理增加 20.1 个百分点。

随着控释尿素氮肥用量的增加小麦氮肥利用率呈先增加后降低的趋势, CRU 100% B 处理比 CRU 75% B 处理降低了 2.0 个百分点, 但二者没有显著性差异, 比 CRU 50% B 处理提高 14.1 个百分点, 二者达到显著性差异, CRU 75% B 处理比 CRU 50% B 处理提高 16.1 个百分点达到显著性差异, 普通尿素处理也有相同的趋势。

(BU 40%+CRU 60%) B 处理比 BU 40% B+60% T 处理氮肥利用率提高 2.8 个百分点。

氮肥农学效率以 (BU 40%+CRU 60%) B 最高, 为 15.1 公斤/公斤, 其次为 CRU 50% B 处理为 14.6 公斤/公斤。等氮量时, CRU 处理较 BU 处理氮肥农学效率有不同程度提高, CRU 100% B 比 BU100% B 处理提高 3.3 公斤/公斤, CRU 75% B 处理比 BU75% B 处理提高 4.2 公斤/公斤, CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理提高 9.6 个公斤/公斤。说明在施氮量较低时控释氮肥的优势更明显。(BU 40%+CRU 60%) B 处理比 BU 40% B+60% T 处理氮肥农学效率提高 2.2 个百分点。

2.2.2 控释尿素对夏玉米氮肥利用率的影响

由表 4 可知, 氮肥利用率以 (BU 40%+CRU 60%) B 最高, 为 44.3%, 其次为 BU 40% B+60% T 处理, 为 44.1%。等氮量时, CRU 处理较 BU 处理氮肥利用率有

表 4 控释尿素对冬小麦玉米氮素利用率的影响

冬小麦氮素利用率的影响					夏玉米氮素利用率的影响				
处理	施氮量		氮素利用率 (%)	氮素农学效应 (公斤籽粒/公斤氮)	处理	施氮量		氮素利用率 (%)	氮素农学效应 (公斤籽粒/公斤氮)
	(公斤/亩)	地上部氮素 (公斤/亩)				(公斤/亩)	地上部氮素 (公斤/亩)		
N0	0	6.6e	--	--	N0	0	6.4f	--	--
BU100% B	12	11.1b	37.1b	11.7ab	BU100% B	12	10.2b	32.3bc	11.8bc
CRU 100% B	12	12.0a	44.6a	14.0a	CRU 100% B	12	11.3a	41.2a	14.0ab
BU 40% B+60% T	12	12.1a	45.0a	13.9a	BU 40% B+60% T	12	11.7a	44.1a	14.5a
(BU 40%+CRU 60%) B	12	12.4a	47.8a	15.1a	(BU 40%+CRU 60%) B	12	11.7a	44.3a	15.1a
CRU 75% B	9	10.8c	46.6a	14.6a	CRU 75% B	9	9.6c	35.9b	14.6a
BU 75% B	9	9.3c	29.8b	10.4b	BU 75% B	9	8.9d	28.4cd	10.4c
CRU 50% B	6	8.5d	30.5a	14.6a	CRU 50% B	6	8.2e	31.3c	14.7a
BU 50% B	6	7.3e	10.4c	5.0c	BU 50% B	6	7.9e	25.7d	5.0d

不同程度提高, CRU100% B 比 BU100% B 处理提高 8.9 个百分点, CRU 75% B 处理比 BU75% B 处理增加 7.5 个百分点, CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理增加 5.7 个百分点。

随着控释尿素氮肥用量的增加玉米氮肥利用率增加, CRU 100% B 处理比 CRU 75% B 处理提高 5.2 个百分点, 比 CRU 50% B 处理提高 9.8 个百分点, CRU 75% B 处理比 CRU 50% B 处理提高 4.6 个百分点, 普通尿素处理也有相同的趋势。

(BU 40%+CRU 60%) B 处理比 BU 40% B+60% T 处理氮肥利用率提高 0.2 个百分点。

氮肥农学效率以 (BU 40%+CRU 60%) B 最高, 为 15.1 公斤 / 公斤, 其次为 CRU 50% B 处理为 14.7 公斤 / 公斤。等氮量时, CRU 处理较 BU 处理氮肥农学效率有不同程度提高, CRU 100% B 比 BU100% B 处理提高 2.3 公斤 / 公斤, CRU 75% B 处理比 BU75% B 处理提高 4.1 公斤 / 公斤, CRU 50% B 处理比 BU50% B 处理提高 9.7 个公斤 / 公斤。说明在施氮量较低时控释氮肥的优势更明显。(BU 40%+CRU 60%)B 处理比 BU 40% B+60% T 处理氮肥农学效率提高 0.6 个百分点。

2.3 控释尿素对冬小麦夏玉米土壤硝态氮残留量的影响

2.3.1 控释尿素对冬小麦土壤硝态氮残留量的影响

由图 1 可知, 小麦收获后土壤硝态氮主要集中在土壤 0-60 厘米, 60 厘米以后土壤硝态氮明显降低且同一土层各施氮处理的土壤硝态氮含量明显高于 N0, 施氮处理提高了土壤硝态氮含量。在硝态氮含量达到峰值的 0-30 厘米土层, BU100% B 处理, BU75% B 处理、BU50% B 处理硝态氮含量分别为 32.3 毫克 / 公斤, 24.9 毫克 / 公斤和 22.1 毫克 / 公斤呈逐渐降低的趋势, 而其他土层也有类似的趋势, 说明当施用普通尿素时随着施氮量的增加, 土壤硝态氮残留量增加; CRU100% B 处理、CRU75% B 处理和 CRU50% B 处理硝态氮含量分别为 16.3 毫克 / 公斤, 20.6 毫克 / 公斤和 21.4 毫克 / 公斤呈逐渐增加的趋势, 而其他土层 CRU75% B 处理和 CRU50% 处理土层的硝态氮含量都高于 CRU100% B 处理, 说明减少控释尿素的施用量可能不利于小麦对土壤氮素的吸收; 等氮条件下, BU100% B 处理硝态氮含量最高为 32.3 毫克 / 公斤, 其次是 BU 40% B+60% T 处理为 29.7 毫克 / 公斤, 再次是 (BU 40%+CRU 60%)B 处理为 29.1 毫克 / 公斤, 最后是 CRU 100% B 处理为 16.3 毫克 / 公斤, 其他土层趋势



也较为一致，说明缓释尿素处理能够保持土壤剖面较低的硝态氮含量，降低了硝态氮随降雨而导致的淋湿风险。

2.3.2 控释尿素对夏玉米土壤硝态氮残留量的影响

由图 2 可知，玉米收获后土壤硝态氮主要集中在土壤 0-60 厘米，60 厘米以后土壤硝态氮明显降低且同一土层各施氮处理的土壤硝态氮含量明显高于 N0，施氮处理提

高了土壤硝态氮含量。与 BU100% B 处理相比，BU75% B 处理、BU50% B 处理硝态氮含量逐渐降低，说明随着施氮量的增加，土壤硝态氮残留量增加；在硝态氮含量达到峰值的 0-30 厘米土层，BU100% B 处理，BU75% B 处理、BU50% B 处理硝态氮含量分别为 32.5 毫克 / 公斤，25.0 毫克 / 公斤和 23.3 毫克 / 公斤呈逐渐降低的趋势，而其他土层也有类似的趋势，说明当施用普通尿素时

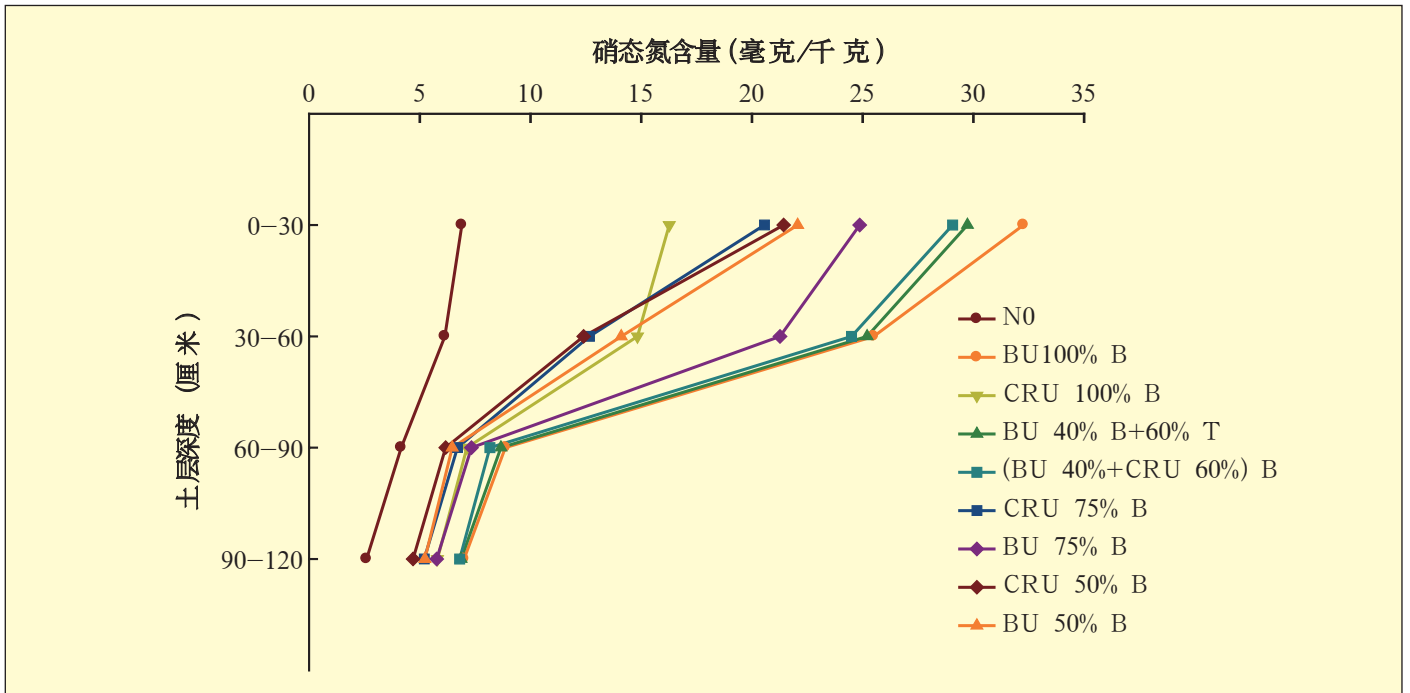


图 1 不同施肥处理对施氮条件下土壤剖面硝态氮含量的影响

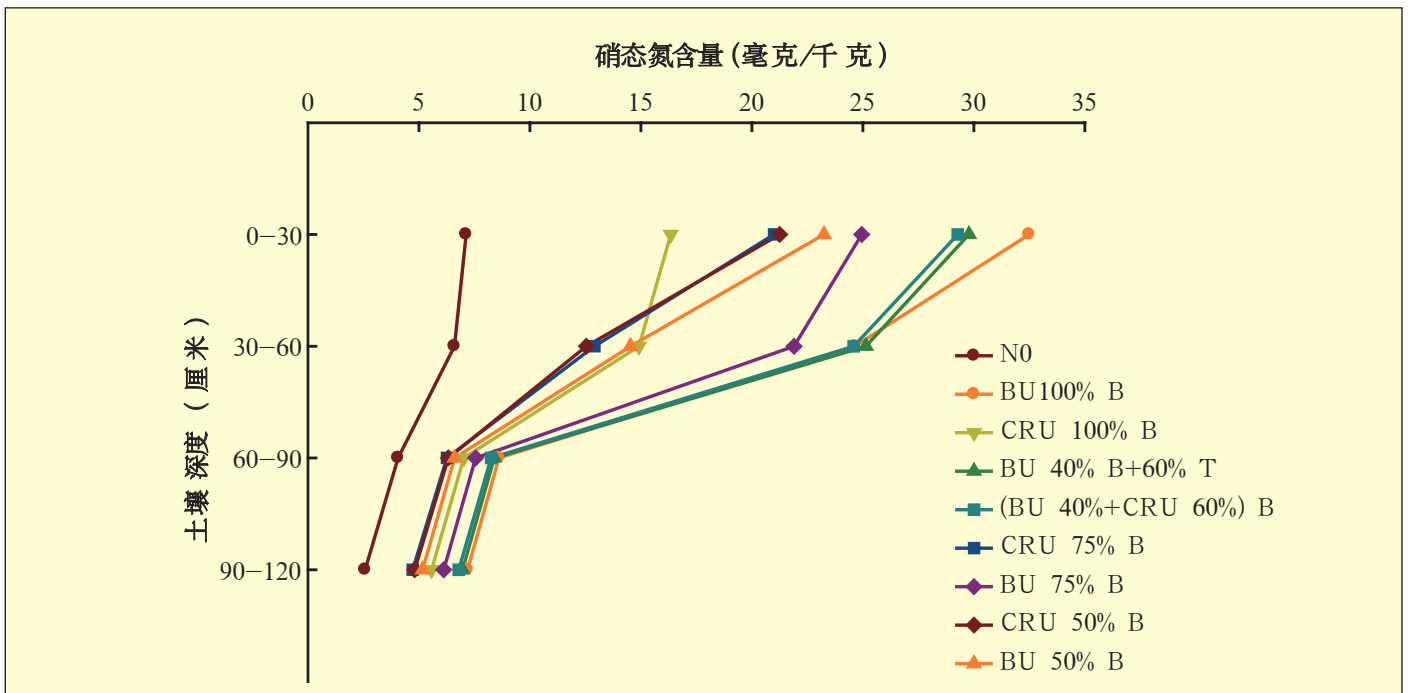


图 2 不同施肥处理对施氮条件下土壤剖面硝态氮含量的影响

随着施氮量的增加，土壤硝态氮残留量增加；CRU100% B 处理、CRU75% B 处理和 CRU50% B 处理硝态氮含量分别为 16.4 毫克 / 公斤，21.0 毫克 / 公斤和 21.3 毫克 / 公斤呈逐渐增加的趋势，而其他土层 CRU75% B 处理和 CRU50% 处理土层的硝态氮含量都高于 CRU100% B 处理，说明减少控释尿素的施用量可能不利于玉米对土壤氮素的吸收；等氮条件下，BU100% B 处理硝态氮含量最高为 32.5 毫克 / 公斤，其次是 BU 40% B+60% T 处理为 29.8 毫克 / 公斤，再次是 (BU 40%+CRU 60%)B 处理为 29.3 毫克 / 公斤，最后是 CRU 100% B 处理为 16.4 毫克 / 公斤，其他土层趋势也较为一致，说明缓释尿素处理能够保持土壤剖面较低的硝态氮含量，降低了硝态氮随降雨而导致的淋湿风险，这也与缓释尿素较多被作物吸收有关。

3 结论

3.1 在产量方面，小麦产量以 40% 普通尿素基施，60% 普通尿素追施处理最高，达到 541 公斤 / 亩，其次为 40% 普通尿素与 60% 控释尿素掺混全部基施处理，为 538 公斤 / 亩，玉米产量以 40% 普通尿素与 60% 控释尿素掺混全部基施处理处理最高达到 535 公斤 / 亩，其次为 40% 普通尿素基施，60% 普通尿素追施处理，为 528 公斤 / 亩。等氮量处理 100% 普通尿素全部基施，40% 普通尿素基施，60% 普通尿素追施，40% 普通尿素与 60% 控释尿素掺混三个处理之间没有达到显著性差异，但与 100% 普通尿素全部基施处理均达到显著性差异，说明控释尿素处理优于普通尿素处理，等氮条件下，40% 普通尿素与 60% 控释尿素掺混全部基施对提高作物产量效果



最好,与普通尿素相比,小麦增产了41-53公斤/亩,增产幅度为8.2%-13.6%,玉米增产了40-58公斤/亩,增产幅度为8.1%-15.1%。施用75%的控释用量处理小麦产量为495公斤/亩,玉米产量为485公斤/亩,施用100%普通尿素用量处理小麦产量为497公斤/亩,玉米产量为495公斤/亩,不论是小麦还是玉米二者之间没有显著性差异,说明在该地区通过控释尿素就可以减少25%的施氮量。

3.2 在氮素利用方面,40%普通尿素与60%控释尿素掺混全部基施处理、40%普通尿素基施,60%普通尿

素追施处理和100%控释尿素全部基施处理氮肥利用率小麦上依次为47.8%、45.0%和44.6%,玉米上依次为44.3%、44.1%和41.2%,三个处理间没有显著性差异,但都与100%普通尿素全部基施达到显著性差异;等氮量时,控释处理较普通尿素处理氮肥利用率有不同程度提高,小麦提高了10.7-20.1个百分点,玉米提高了5.6-7.5个百分点说明,在提高氮素利用率方面,40%普通尿素与60%控释尿素掺混全部基施处理效果最好。另外,在保证产量的情况下,控释尿素处理收获后土壤硝态氮含量要低于普通尿素处理,说明控释尿素与普通尿素相比显著提高小麦玉米的氮素利用率,降低土壤硝态氮的含量。

参考文献

- [1] 何守法. 小麦和夏玉米一体化种植布局与技术经济效果研究 [D]. 河南农业大学, 2009.
- [2] Xie JC, Xing WY, Zhou JM. Current use of nutrients for sustainable food production in China. Johnson AE, Syers JK, Eds. Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia. CAB International, Wallingford, 1998.
- [3] Van Drecht G, Bouwman A F, Knoop J M et al. Global pollution of surface waters from point and sources of nitrogen [J]. Sci. World, 2001, 2: 632-641.
- [4] 徐钰, 刘兆辉, 江丽华, 等. 不同氮肥运筹对冬小麦氮肥利用率和土壤硝态氮含量的影响 [J]. 水土保持学报, 2010, (04):90-93+98.
- [5] 陈祥, 同延安, 亢欢虎, 等. 氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, (03):450-455.
- [6] 宋长春, 何岩, 邓伟. 松嫩平原盐渍土壤生态地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 204-237.
- [7] 裘善文, 张柏, 王志春. 吉林省西部土地荒漠化现状、特征与治理途径研究 [J]. 地理科学, 2003, 23(2):188-192.
- [8] 李彬, 王志春, 梁正伟, 等. 吉林省大安市苏打碱土碱化参数之间的关系 [J]. 土壤通报, 2007, 38(3):443-446.
- [9] 栗丽, 洪坚平, 王宏庭, 等. 施氮与灌水对夏玉米土壤硝态氮积累、氮素平衡及其利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, (06):1358-1365.
- [10] 冯绍元, 张自军, 丁跃元, 等. 降雨与施肥对夏玉米土壤硝态氮分布影响的田间试验研究 [J]. 灌溉排水学报, 2010, (05):11-14.
- [11] Cahn M D, Bouldin D R, Cravo M S et al. Cation and nitrate leaching in an Oxisol of Brazilian Amazon [J]. Agron. J., 1993, 85: 334-340.
- [12] Vitousek P M, Naylor R, Crews T et al. Nutrient imbalances in agricultural development [J]. Science, 2009, 324: 1519-1520.
- [13] Zhang W F, Christie P, Goulding K W T et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.

控释肥料在玉米小麦作物上一次性施肥技术应用研究

杨焕焕 孙克刚 和爱玲 杜君

(河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所 / 河南省农业生态与环境重点实验室)

摘要：本实验在驻马店地力为中低水平的砂姜黑土上玉米小麦田间试验，研究控释肥料在小麦玉米作物上一次性施肥技术。结果表明，与只施用磷钾肥相比，施用氮肥显著提高了小麦玉米产量，玉米增产幅度为 16.7%–39.4%，小麦增产幅度为 16.7%–52.3%；与农民习惯施肥相比，优化施肥处理和等氮量控释肥一次性施入在提高产量和氮肥利用率方面效果显著，玉米增产幅 11.7%–18.4%，氮肥利用率提高了 15.5–20.0 个百分点，小麦增产幅度为 11.2%–17.0%，氮肥利用率提高了 15.5–17.4 个百分点；与优化施肥处理相比，等氮量控释肥一次性施入在提高小麦玉米产量方面效果相当，却减少了施肥次数；与等氮量控释肥一次性施入处理相比，连续三年减量 20% 氮素处理存在减产风险，玉米减产幅度为 5.3%–8.7%，小麦减产幅度为 5.2%–8.7%；减氮 20% 时氮肥利用率存在下降情况可能与当年产量下降与肥料品种有关。

关键词：控释肥；一次性施入技术；玉米；小麦；产量；氮肥利用率¹

黄淮海平原是中国重要的粮食生产基地，其中小麦和玉米种植占有重要的地位^[1-3]，施用氮肥是提高作物产量的重要手段，但农民为了追求高产，大量施用不仅导致了氮肥利用率偏低，而且造成了环境污染^[4-7]。以前农民施肥习惯只重视基肥，后来研究侧重于根据作物需肥规律施肥，也取得许多重要的研究成果^[8-10]，虽然氮肥后移可以提高作物对肥料的利用，但同时也增加了施肥次数，增加了劳动强度。控释肥料具有养分释放与作物需求同步，挥发、淋溶、固定少、对环境污染少等优点，因此成为新型肥料的研究热点^[11-13]，而当今社会发展的需要，城镇化发展，农村劳动力转移，种植业机械化程度的提高，都需要农作物栽培方式的简化配，因此控释肥料在小麦玉米作物上一次性施肥技术具有重要的意义，为此在河南省驻马店市砂姜黑土上开展小麦和玉米控释肥试验，主要验证通

过控释肥料的一次性施用，解决小麦多次施肥带来的劳动强度问题。

1 材料与方 法

1.1 试验地点描述和试验设计

玉米小麦试验均安排在驻马店地力为中低水平的砂姜黑土上，共设置中等肥力点(驻马店市西平县盆尧镇于营村)和低肥力点(驻马店农科院农场)两个试验点，中等肥力点小区面积为 5×6=30 平米，低肥力点小区面积为 6×8=48 平米。玉米试验：试验品种均为郑单 958，播种量为 5000 株/亩。小麦试验：播种量为 11 公斤/亩，2013–2014 年品种为新农 979。种植前采取耕作层土壤(0–20 厘米)进行基础土样分析，具体养分情况详见表 1。

表 1 供试土壤的理化性状

作物	地点	pH 值	有机质 (克/千克)	碱解氮	速效磷	速效钾	有效硫
				(毫克/千克)			
玉米	于营村	6.4	9.5	85.1	10.2	53.6	15.3
	农场	6.0	9.4	85.7	11.3	59.5	15.7
小麦	于营村	6.4	8.5	84.3	11.2	55.1	15.8
	农场	6.7	9.1	88.7	12.1	60.3	16.3

¹项目资助：农业部行业专项“主要粮食作物一次性施肥研究与示范”，编号 201303103；河南科技厅攻关项目《夏玉米简化高产施肥技术研究》，项目编号：152102110142；河南省财政预算项目“氮肥增值提效及高效施用技术研究与推广”。

²作者简介：杨焕焕，女，河南南阳人，硕士研究生，主要从事植物营养与施肥和精准农业养分管理与施肥方向的研究。

³通讯作者简介：孙克刚，男，河南省政府特殊津贴专家，河南省优秀青年科技专家，硕士生导师，1965 年出生，河南固始人，研究员，硕士，主要从事植物营养与施肥和精准农业养分管理与施肥方向的研究。获国家及省部级成果 15 项，《控释肥料高效施用技术研究与推广》获 2012 河南省科技进步二等奖。

1.2 试验设计

在小麦玉米试验在中等肥力和低等肥力上均设置 7 个处理, 试验处理详见表 2。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对玉米小麦产量的影响

2.1.1 不同施肥处理对玉米产量的影响

由表 3 可以知, 与处理 PK 比较, 不同施氮处理产量都有不同程度的提高, 增产幅度为 17.8%–39.4% (低肥力点) 和 16.7%–26.1% (中等肥力点), 且与处理 PK 达到显著性差异, 说明施用氮素可以提高玉米籽粒产量。低肥力点产量最高的为 100%CRFA 处理, 达到 585.8 公斤/亩, 其次为 OPT 处理达到 568.1 公斤/亩, 中等肥力点产量最高的仍为 100%CRFA 处理达到 598.4 公斤/亩, 其次为 OPT 处理达到 582.2 公斤/亩, 且不管是低肥力点还是中等肥力点二者的产量与 FP 处理达到显著性差

异, 增产幅度为 11.7%–18.4%, 说明控释肥 A 全部基施和优化施肥处理效果要在提高产量方面要优于农民习惯施肥; 与 100%CRFA 处理相比, 80%CRFA 处理减产了 6.7% (低肥力点) 和 5.3% (中等肥力点), 80%CRFB 处理低肥力点减产了 7.6% (低肥力点) 和 6.5% (中等肥力点), 80%CRFC 处理减产了 8.7% (低肥力点) 和 8.3% (中等肥力点), 且达到显著性差异, 说明减氮 20% 时, 玉米产量显著下降, 但减氮 20% 处理与 FP 处理相比, 低肥力点显著性提高, 中等肥力点除 80%CRFC 处理有所增加但未达到显著性差异外, 80%CRFA 和 80%CRFB 处理均显著提高, 说明与农民习惯施肥相比, 虽然氮肥用量减少了 20%, 但提高了玉米的产量, 且产量提高了 8.1%–10.4% (低肥力点) 和 5.2%–8.8% (中等肥力点)。

综上所述, 与只施磷钾肥处理相比, 增施氮素显著提高玉米籽粒的产量; 控释氮肥 A 全部一次性基施处理与优化施肥基施追施配合在提高玉米产量方面效果相当, 说明按最佳施氮量的控释肥一次性施入不仅提高了

表 2 试验设计

处理	处理内容
PK	只施磷钾肥: 过磷酸钙 (12%), 氯化钾 (60%)
FP	农民习惯施肥: 完全按调查的农民习惯用量配比和方式操作, 尿素按 4:6 在苗期、拔节期两次施入, N 肥用量为 15 千克/亩。
OPT	优化施肥: 根据当地测土配方及往年试验数据确定各养分投入量、基追比和施用方式, 尿素按 4:6 在苗期、拔节期两次施入, N 肥用量为 12 千克/亩。
100%CRFA	与处理 OPT 等 N 量, N 来自控释肥 A(44%), 一次性底施; N 肥用量为 12 千克/亩。
80%CRFA	与处理 OPT 相比减少 20%N 用量, N 来自控释肥 B(44%), 磷钾相同, 所有肥料一次底施, N 肥用量为 9.6 千克/亩。
80%CRFB	与处理 OPT 相比减少 20%N 用量, N 来自控释肥 B(44%), 磷钾相同, 所有肥料一次底施, N 肥用量为 9.6 千克/亩。
80%CRFC	与处理 OPT 相比减少 20%N 用量, N 来自控释肥 C(44%), 磷钾相同, 所有肥料一次底施, N 肥用量为 9.6 千克/亩。

注: 以上所有处理 P, K 用量相同, 均为 P₂O₅ 6 千克/亩, K₂O 8 千克/亩, 试验中磷肥用普钙 (12%), 钾肥用氯化钾 (60%)。

表 3 不同施肥处理对玉米产量的影响

试验点	处理	亩穗数 (个)	穗粒数 (粒)	百粒重 (克)	实际产量 (公斤/亩)
低肥力点	PK	5000	396.6	25.5	420.1d
	FP	5000	449.6	26.1	495.0c
	OPT	5000	458.1	29.6	568.1ab
	100%CRFA	5000	468.6	30.1	585.8a
	80%CRFA	5000	450.9	28.8	546.6b
	80%CRFB	5000	444.4	28.8	541.6b
	80%CRFC	5000	438.2	29.0	535.0b
中等肥力点	PK	5000	409.1	26.4	446.8e
	FP	5000	449.4	27.5	521.3d
	OPT	5000	467.1	29.8	582.2ab
	100%CRFA	5000	471.6	29.9	598.4a
	80%CRFA	5000	452.6	29.7	567.0abc
	80%CRFB	5000	453.9	29.4	559.6bc
	80%CRFC	5000	455.3	28.7	548.6cd

表 4 不同施肥处理对小麦产量的影响

试验点	处理	亩穗数 (万/亩)	穗粒数 (粒)	千粒重 (克)	实际产量 (公斤/亩)
低肥力点	PK	37.8	29.2	40.6	345.0d
	FP	41.8	30.7	43.8	435.1c
	OPT	42.6	33.1	43.6	484.0a
	100%CRFA	43.2	33.3	43.8	489.1a
	80%CRFA	42.7	32.9	43.4	465.3b
	80%CRFB	42.5	32.7	43.3	457.8b
	80%CRFC	42.7	32.8	43.3	460.0b
中等肥力点	PK	37.6	29.4	40.8	363.7d
	FP	41.8	31.6	44.0	434.2c
	OPT	42.9	32.8	43.9	491.5ab
	100%CRFA	43.4	33.3	44.1	508.1a
	80%CRFA	42.8	33.1	43.5	480.3b
	80%CRFB	42.7	33.1	43.2	474.3b
	80%CRFC	43.0	32.9	43.6	472.1b

玉米籽粒产量还减少了施肥次数；减施 20% 氮素处理与控释氮肥 A 全部基施处理相比产量有所下降；但与农民习惯施肥处理相比，产量结果显著提高，说明减量 20% 氮素处理并不降低产量，反而有所提高。

2.1.2 不同施肥处理对小麦产量的影响

由表 4 可以知，与处理 PK 比较，不同施氮处理产量都有不同程度的提高，增产幅度为 26.1%–41.8%（低肥力点）和 19.4%–39.7%（中等肥力点），且与处理 PK 达到显著性差异，说明施用氮素可以提高小麦的产量。低肥力点产量最高的为 100%CRFA 处理，达到 489.1 公斤/亩，其次为 OPT 处理达到 484.0 公斤/亩，中等肥力点产量最高的仍为 100%CRFA 处理达到 508.1 公斤/亩，其次为 OPT 处理达到 491.5 公斤/亩，且不管是低肥力点还是中等肥力点二者的产量与 FP 处理达到显著性差异，增产幅度为 11.2%–17.0%，说明控释肥 A 全部基施和优化施肥处理效果要在提高产量方面要优于农民习惯施肥；与 100%CRFA 处理相比，80%CRFA 处理减产了 4.9%（低肥力点）和 5.5%（中等肥力点），80%CRFB 处理低肥力点减产了 6.4%（低肥力点）和 6.7%（中等肥力点），80%CRFC 处理减产了 6.0%（低肥力点）和 7.1%（中等肥力点），且达到显著性差异，说明减氮 20% 时，小麦产量显著下降，但减氮 20% 处理与 FP 处理相比未到达显著性差异，说明与农民习惯施肥相比，减氮 20% 并未降低小麦产量，且产量提高了 5.2%–6.9%（低肥力点）和 8.7%–10.6%（中等肥力点）。综上所述，与只施磷钾肥处

理相比，增施氮素显著提高小麦的产量；控释氮肥 A 全部一次性基施处理与优化施肥基施追施配合在提高小麦产量方面效果相当，说明按最佳施氮量的控释肥一次性施入不仅提高了小麦产量还减少了施肥次数；减施 20% 氮素处理与控释氮肥 A 全部基施处理相比产量显著下降；但与农民习惯施肥处理相比，2013 年试验产量结果未达到显著性差异且有所提高，2014 年试验结果只有 80%CRFC 处理（低肥力点）和减 80%CRFB 处理（中等肥力点）显著下降，2015 试验结果减 20% 控释肥处理不论是低肥力点还是中等肥力点产量都显著下降，说明连续三年减量 20% 氮素处理存在减产风险。

2.2 不同施肥处理对小麦玉米氮肥利用率的影响

2.2.1 不同施肥处理对玉米氮肥利用率的影响

由表 5 可知，低肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.4%–48.0%，氮肥利用率最高的为 80%CRFA 处理为 48.0%，其次是 80%CRFB 处理为 45.2%，利用率最低的为 FP 处理为 19.5%；与 FP 处理相比，OPT 处理提高了 16.5 个百分点，100%CRFA 处理提高了 18.3 个百分点，80%CRFA 处理提高了 24.6 个百分点，80%CRFB 处理提高了 21.8 个百分点，80%CRFC 处理提高了 19.3 个百分点。中等肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.9%–48.5%，氮肥利用率最高的为 80%CRFA 处理为 48.5%，其次 80%CRFB 处理为 46.1%，最低为 FP 处理为 23.9%；与 FP 处理相比，OPT 处理提高了 15.5 个百分点，100%CRFA 处理提高了 20.0 个百分点，80%CRFA 处理

表 5 不同施肥处理对玉米氮素利用率的影响

处理	低肥力点			中等肥力点		
	籽粒含氮量	秸秆含氮量	氮肥利用率	籽粒含氮量	秸秆含氮量	氮肥利用率
	(公斤/亩)			(公斤/亩)		
PK	6.1	1.2	--	6.4	1.1	--
FP	8.1	2.7	23.4d	8.3	2.9	23.9e
OPT	9.3	2.7	39.9c	9.5	2.8	39.4d
100%CRFA	9.7	2.6	41.7c	10.0	2.9	43.9bc
80%CRFA	8.9	2.9	48.0a	9.3	3.0	48.5a
80%CRFB	8.9	2.7	45.2ab	9.0	3.0	46.1ab
80%CRFC	8.6	2.8	42.7bc	9.8	2.7	40.7cd

表 6 不同施肥处理对小麦氮素利用率的影响

处理	低肥力点			中等肥力点		
	籽粒含氮量	秸秆含氮量	氮肥利用率	籽粒含氮量	秸秆含氮量	氮肥利用率
	(公斤/亩)			(公斤/亩)		
PK	5.7	1.6	--	6.0	1.7	--
FP	8.0	2.8	23.7b	8.0	3.0	21.1b
OPT	9.0	3.1	39.4a	9.2	2.6	33.4a
100%CRFA	9.1	3.1	41.1a	9.5	2.6	36.8a
80%CRFA	8.4	2.9	42.3a	8.8	2.5	37.2a
80%CRFB	8.2	2.9	40.3a	8.6	2.6	35.4a
80%CRFC	8.2	2.9	40.3a	8.5	2.6	34.6a

提高了 24.6 个百分点, 80%CRFB 处理提高了 22.3 个百分点, 80%CRFC 处理提高了 16.8 个百分点。不论是低肥力点还是中等肥力点其它各施氮处理与农民习惯施肥相比均达到显著性差异, 说明优化施肥和施用控释氮肥处理在提高氮肥当季利用率方面均优于农民习惯施肥; OPT 处理与 100%CRFA 处理相比, 100%CRFA 处理比 OPT 处理提高了 1.8 个百分点(低肥力点)和 4.5 个百分点(中等肥力点), 说明等氮量时, 施用控释肥对氮肥的利用率效果较好; 与 100%CRFA 处理相比, 当氮肥用量减少 20% 时, 80%CRFA 处理提高了 6.3 个百分点(低肥力点)和 4.6 个百分点(中等肥力点), 80%CRFB 处理提高了提高了 3.5 个百分点(低肥力点)和 2.2 个百分点(中等肥力点), 80%CRFC 处理低肥力点提高了 1.0 个百分点, 中等肥力点降低了 3.2 个百分点。

综上所述, 在提高氮肥当季利用率方面, 各施氮处理效果均优于农民习惯施肥; 优化施肥处理与 100%CRFA 处理相比, 控释肥对氮肥的利用率效果较好且控释肥一次性施入减少了施肥次数, 节省了劳动力; 100%CRFA 处理相比, 当氮肥减量 20% 时, 三个减量处理氮肥利用率有所提高。

2.2.2 不同施肥处理对小麦氮肥利用率的影响

由表 6 可知, 低肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.7%–42.3%, 氮肥利用率最高的为 80%CRFA 处理为 42.3%, 其次是 100%CRFA 处理为 41.1%, 利用率最低的为 FP 处理为 23.7%; 与 FP 处理相比, OPT 处理提高了 15.6 个百分点, 100%CRFA 处理提高了 17.4 个百分点, 80%CRFA 处理提高了 18.6 个百分点, 80%CRFB 处理和 80%CRFC 处理提高了 16.6 个百分点。中等肥力点各施氮处理氮肥利用率为 21.1%–37.2%, 氮肥利用率最高的为 80%CRFA 处理为 37.2%, 其次是 100%CRFA 处理为 36.8%, 最低为 FP 处理为 21.1%; 与 FP 处理相比, OPT 处理提高了 12.3 个百分点, 100%CRFA 处理提高了 15.7 个百分点, 80%CRFA 处理提高了 16.0 个百分点, 80%CRFB 处理提高了 14.3 个百分点, 80%CRFC 处理提高了 13.5 个百分点。不论是低肥力点还是中等肥力点其它各施氮处理与农民习惯施肥相比均达到显著性差异, 但其它各施氮处理之间差异不显著, 说明优化施肥和施用控释氮肥处理在提高氮肥当季利用率方面均优于农民习惯施肥, 当氮肥用量减少 20% 时对氮肥利用率并没有显著的影响。

综上所述, 在提高氮肥当季利用率方面, 各施氮处理效果均优于农民习惯施肥; 优化施肥处理与 100%CRFA 处理相比, 二者效果相当, 但控释肥一次性施入减少了施肥次数, 节省了劳动力; 与 100%CRFA 处理相比, 当氮肥减量 20% 时, 2013 年试验 80%CRFA 氮肥利用率有所增加, 其他两个减量处理试验均有所降低, 这可能与该处理当年产量下降及肥料品种有关。

3 结论

3.1 与只施磷钾肥处理相比, 增施氮素显著提高小麦玉米的产量; 控释氮肥 A 全部一次性基施处理与优化施肥基施追施配合在提高小麦玉米产量方面效果相当, 说明按最佳施氮量的控释肥一次性施入不仅提高了小麦产

量还减少了施肥次数, 降低了劳动强度; 减施 20% 氮素控释肥处理与控释氮肥 A 全部基施处理相比, 小麦玉米产量均有不同程度的下降; 减施 20% 氮素控释肥处理与农民习惯施肥处理相比, 不论在小麦上还是在玉米上, 产量并未下降。

3.2 在提高氮肥当季利用率方面, 各施氮处理效果均优于农民习惯施肥; 优化施肥处理与控释氮肥 A 全部一次性基施处理相比, 二者效果相当, 但控释肥一次性施入减少了施肥次数, 节省了劳动力; 减施 20% 氮素控释肥处理与控释氮肥 A 全部基施处理相比, 小麦玉米试验上氮肥利用率都存在降低的情况, 这可能与当年产量下降及肥料品种有关。

参考文献

- [1] 殷培红, 方修琦, 马玉玲等. 21 世纪初我国粮食供需的新空间格局 [J]. 自然资源学报, 2006, (04):625-631+678.
- [2] 陈丽, 郝晋珉, 艾东等. 黄淮海平原粮食均衡增产潜力及空间分异 [J]. 农业工程学报, 2015, (02):288-297.
- [3] 杨晓梅, 李桂花, 李贵春等. 有机无机配施比例对华北褐土冬小麦产量与氮肥利用率的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (04):48-52.
- [4] Wang G H, Zhang Q C, Huang C Y. SSNM-A new approach to increasing fertilizer N use efficiency and reducing N loss from rice fields [J]. J. Zhejiang Univ. (Agric. Life Sci.), 2003, 29 (1) :67-70.
- [5] 郭胜利, 党廷辉, 郝明德. 施肥对半干旱地区小麦产量、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积和水分平衡的影响 [J]. 中国农业科学, 2005, (04):754-760.
- [6] 杨小梅, 刘树伟, 秦艳梅, 等. 中国玉米化学氮肥利用率的时空变异特征 [J]. 中国生态农业学报, 2013, (10):1184-1192.
- [7] 王激清, 刘社平, 韩宝文. 施氮量对冀西北春玉米氮肥利用率和土壤硝态氮时空分布的影响 [J]. 水土保持学报, 2011, (02):138-143.
- [8] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳等. 氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响 [J]. 作物学报, 2011, (02):339-347.
- [9] 裴雪霞, 王秀斌, 何萍等. 氮肥后移对土壤氮素供应和冬小麦氮素吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, (01):9-15.
- [10] 陈祥, 同延安, 亢欢虎等. 氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, (03):450-455.
- [11] 赵斌, 董树亭, 张吉旺等. 控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响 [J]. 作物学报, 2010, (10):1760-1768.
- [12] 丁洪, 王跃思, 秦胜金等. 控释肥对土壤氮素反硝化损失和 N_2O 排放的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2010, (05):1015-1019.
- [13] 于淑芳, 杨力, 张民等. 控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2010, (01):128-1.

控释尿素对春玉米产量、氮素回收率及农学效率的影响

刘双全 姬景红 李玉影 佟玉欣 郑雨 李杰 刘颖 张明怡 韩光

(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: 为明确控释尿素对春玉米的产量、氮素回收率及农学效率的影响, 2011–2015 年在黑龙江省哈尔滨市民主乡示范园区进行了 5 点次田间小区试验。结果表明, 控释尿素能够提高春玉米产量、氮素回收率及氮素农学效率。相同氮肥用量条件下, 采用控释尿素与普通尿素配合一次基施与普通尿素分次施用玉米产量相似。100% 氮肥用量下, 处理 3 (60% 控释尿素)、处理 4 (75% 控释尿素) 与处理 2 (普通尿素分次施用) 产量相似; 80% 氮肥用量下, 处理 6 (60% 控释尿素)、处理 7 (75% 控释尿素) 与处理 5 (普通尿素分次施用) 产量相似, 说明控释尿素与普通尿素 (控释尿素占比例 60–75%) 配合一次基施效果较好。单从增产角度来看, 普通尿素与控释尿素以 25% 和 75% 的比例混合施用效果较好, 但各氮素处理间产量之间差异不显著; 从氮素回收率和农学效率来考虑, 80% 氮肥用量下, 普通尿素与控释尿素以 40% 和 60% 的比例混合施用效果较好, 这种施肥方式在黑龙江省玉米生产上是可以推广和借鉴的氮素管理方式。

关键词: 控释尿素; 春玉米; 产量; 氮素回收率; 氮素; 农学效率

氮是玉米生长发育所必需的营养元素。近年来, 随着化肥投入量的增加, 肥料增产能力和利用率下降的现象相当普遍^[1–2]。合理施用氮肥对于提高玉米产量、氮肥利用率、减轻环境压力具有重要意义^[3]。而氮肥的合理施用除了要确定适宜的氮肥用量外, 还应注重肥料的施用时期和形态^[4]。包膜肥料的研究和应用为解决上述问题提供了新的途径^[5]。与普通尿素相比, 控释氮肥具有养分释放缓慢、作物吸收多的特点, 使用控释肥可以显著提高氮肥利用率^[6], 免去追肥环节, 在生产上具有较高的应用价值。目前, 很多研究者研究了缓控释尿素施用对作物产量、肥料利用率的影响。曹宁等^[7]的研究表明, 以硅藻土为载体的控释尿素替代普通尿素, 一次性基施的施肥方式替代基肥加追肥是可行的, 能达到省工、增效的目的, 尿素分次施用和控释尿素处理分别比尿素一次性施用处理玉米产量增加 23.48% 和 17.70%, 氮肥利用效率提高 17.33% 和 17.58%。李伟等^[8]的研究结果表明, 控释掺混肥对夏玉米增产效果显著, 能显著提高夏玉米氮素积累量, 较常规施肥处理的氮素积累量提高 7.88%–20.29%, 氮素利用效率增加 9.59%–24.69%。目前, 关于黑龙江省春玉米施用控释尿素效果的报道较少^[9–10]。以往研究多集中在控释肥施用对夏玉米的产量及肥料利用率的影响上, 而对于气候、土壤条件完全不同的春玉米控释尿素施用效果, 尤其是对土壤

氮素损失、平衡方面尚缺乏进一步深入研究。目前, 黑龙江省玉米氮肥施用主要采用一次基肥一次追肥的施肥方式 (40% 氮肥做基肥, 60% 氮肥做追肥), 由于玉米生育后期植株较高, 机械追肥困难, 采用缓控释肥与普通尿素混合一次性施肥能否达到相似的产量效果, 亟需试验研究和验证。因此, 本文旨在明确控释尿素在黑龙江省玉米主产区应用效果及对氮素回收率的影响, 为该区控释尿素的合理施用以及玉米简化高效施肥提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验地点

2011–2015 年试验设在黑龙江省哈尔滨市民主乡土壤肥料与环境资源研究所示范园区。

1.2 供试材料

供试土壤为黑土, 供试土壤基本化学性质见表 1。

供试肥料: 氮肥为市场销售的普通尿素 (BU, 含 N 46%), 磷肥为重过磷酸钙 (含 P_2O_5 46%), 钾肥为氯化钾 (含 K_2O 60%)。控释尿素 (CRU) 由中国农科院提供的美国加阳公司生产的树脂包膜尿素 (含 N 44%), 控释期为 90 天。

表1 0-30cm 土层供试土壤基本化学性质

年份	pH	有机质 g·kg ⁻¹	碱解 N	Olsen-P	速效 K
				mg·kg ⁻¹	
2011	5.99	36.0	136.5	35.8	148
2012	6.54	33.1	122.6	48.2	183.0
2013	6.65	34.8	125.7	42.8	176.2
2014	6.76	35.2	120.6	40.2	158.6
2015	6.68	34.8	105.1	30.4	149.2

供试玉米品种：2011年供试玉米品种为育258，密度为5.0万株·hm⁻²；2012年供试玉米品种为龙单42，密度为5.5万株·hm⁻²；2013年供试玉米品种为德美亚3号，密度为7.5万株·hm⁻²；2014年供试玉米品种为郑单958，密度为6.0万株·hm⁻²；2015年供试玉米品种为龙高L2，密度为6.0万株·hm⁻²。

1.3 试验设计

试验设7个处理（见表2），3次重复，随机区组排列，小区面积40平方米。

表2 试验处理及养分用量 / kg·hm ⁻²				
处理	具体施肥方案	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
处理1	不施N肥，N0	0	67.6	71
处理2	RU，40%播前基施，60%拔节期追肥	178	67.6	71
处理3	60%CRU+40%RU，一次施用（基肥）	178	67.6	71
处理4	75%CRU+25%RU，一次施用（基肥）	178	67.6	71
处理5	80%N，RU，40%播前基施，60%拔节期追肥	142.4	67.6	71
处理6	80%N，60%CRU+40%RU，一次施用（基肥）	142.4	67.6	71
处理7	80%N，75%CRU+25%RU，一次施用（基肥）	142.4	67.6	71

1.4 样品采集与田间管理

1.4.1 土壤样品采集

试验播种前和收获后按S点取样法采集土壤样品，取样部位为垄台坡的侧面。每小区用土钻取5钻，取后立即放入封口袋中，取样深度为0-30厘米。

1.4.2 植株样品采集

玉米成熟后，取小区中间4垄测产；采集各小区代表性玉米5株测定植株含氮量。

1.4.3 田间管理

正常田间管理。2011年4月27日播种，9月28日收获；2012年5月5日播种，10月3日收获；2013年5月

17日播种，9月27日收获；2014年4月30日播种，9月30日收获；2015年4月30日播种，10月9日收获。

1.4.4 测定方法

常规方法^[11]分析土壤pH及养分含量；植株和籽粒样品于105℃杀青30分钟，70℃烘干，称重，凯氏法测定样品中全氮含量。

1.5 数据分析及计算公式

试验数据用Excel 2007和SPSS 13.0统计分析。

产量 (kg·hm⁻²) (14%含水量) = [60穗玉米总粒重 (公斤) / 60 × 密度 (万株·hm⁻²) / 10] × 0.14 / 籽粒含水量 (%)

氮肥回收率 (NUE%) = (施氮区地上部分吸氮量 - 不施氮肥区地上部吸氮量) / 施氮量 × 100;

氮肥农学效率 (ANUE) (kg·kg⁻¹) = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / 施氮量;

2 结果与分析

2.1 控释尿素对玉米产量的影响

2011-2015年五点试验结果表明（表3），在相同磷肥和钾肥水平上，与处理1（不施氮）相比，各施氮处理

均增加玉米产量。相同氮肥用量条件下,采用控释尿素与普通尿素配合一次基施与普通尿素分次施用玉米产量相似。100%氮肥用量下,处理3(60%控释尿素)、处理4(75%控释尿素)与处理2(普通尿素分次施用)产量相似;80%氮肥用量下,处理6(60%控释尿素)、处理7(75%控释尿素)与处理5(普通尿素分次施用)产量相似,说明合理的控释尿素与普通尿素(控释尿素占比例60-75%)配合一次基施效果较好。从增产角度来看,普通尿素与控释尿素分别以25%和75%的比例混合施用效果较好,但各氮素处理间产量之间差异不显著。

2.2 控释尿素对玉米氮素回收率和氮农学效率的影响

相同氮肥用量条件下(100%、80%氮肥用量),控释尿素处理玉米植株氮素回收率和氮素农学效率均高于普通尿素处理的(表4)。普通尿素分别以25%和40%的比例与控释尿素混合施用效果均好于单施用普通尿素处理的,但各氮素处理间产量之间差异不显著。

从氮素回收率和农学效率来考虑,80%氮肥用量下,普通尿素与控释尿素分别以40%和60%的比例混合施用效果较好,这种施肥方式在黑龙江省玉米生产上是可以推广和借鉴的氮素管理方式。

3 讨论

氮肥管理的最终目的是既保证作物高产,又能达到经济效益和环境效益的统一^[12]。本文通过五年定点田间试验研究结果表明,黑龙江春玉米施N 178 kg·hm⁻²条件下,适宜的控释氮肥掺混比例为40-75%。控释尿素比例不同,主要是由于不同试验设置的控释尿素比例有所差异,另外也与试验所用控释尿素种类、土壤肥力、气候等有关。夏伟光等^[13]采用田间试验方法研究了控释尿素不同施用条件对冬小麦产量、氮素利用和经济效益的影响,无论是产量效应还是氮素利用效应,树脂包膜控释尿素(CRU)处理总体优于普通尿素(PU)处理,尤其树脂包膜控释尿素和普通尿素配施(60%CRU+40%PU)效果最佳。本试验结果也表明,100%普通尿素效果并不理想,易造成玉米生长的前期可供应氮量高于玉米实际需求量,一方面造成肥料氮素的浪费和环境污染风险,另一方面使得玉米生长后期氮素养分供应不足,造成植株脱肥,影响产量的提高。采用控释尿素与普通尿素一次性基施效果较好的原因主要是由于黑龙江省早春气候相对冷凉,玉米植株小,对养分需求量低,一次性施肥中施用的25-40%的普通尿

表3 不同施氮处理对玉米产量的影响 / kg·hm⁻²

处理	具体施肥方案	产量	增产	增产率(%)
处理1	不施N肥, N0	7228	--	--
处理2	RU, 40%播前基施, 60%拔节期追肥	10102	2875	39.8
处理3	60%CRU+40%RU, 一次施用(基肥)	10468	3241	44.8
处理4	75%CRU+25%RU, 一次施用(基肥)	11227	4000	55.3
处理5	80%N, RU, 40%播前基施, 60%拔节期追肥	10028	2800	38.7
处理6	80%N, 60%CRU+40%RU, 一次施用(基肥)	10732	3504	48.5
处理7	80%N, 75%CRU+25%RU, 一次施用(基肥)	10492	3265	45.2

表4 不同施氮处理玉米的氮素回收率和氮农学效率的影响

处理	具体施肥方案	氮素回收率	增加	氮素农学效率	增加
		(%)	(%)	(公斤/公斤)	(%)
处理1	不施N肥, N0	--	--	--	--
处理2	RU, 40%播前基施, 60%拔节期追肥	31.0	--	16.0	--
处理3	60%CRU+40%RU, 一次施用(基肥)	35.4	4.4	17.9	1.3
处理4	75%CRU+25%RU, 一次施用(基肥)	32.6	1.6	17.4	1.4
处理5	80%N, RU, 40%播前基施, 60%拔节期追肥	30.2	--	13.5	--
处理6	80%N, 60%CRU+40%RU, 一次施用(基肥)	37.4	7.2	18.4	4.9
处理7	80%N, 75%CRU+25%RU, 一次施用(基肥)	37.2	7.0	16.7	3.2

素足以保证玉米生育前期对氮素养分的需求；而随着玉米植株的生长，至拔节期对氮素需求量增加，结合黑龙江省雨热同季的气候特征，此时60–75%的控释尿素和部分盈余的普通尿素同时发挥作用，满足玉米对氮素的需求；另外，控释尿素具有缓慢释放的特点，在生育后期也能够维持玉米对氮素养分的需求。

4 结论

4.1 在相同磷、钾肥水平上，普通尿素与控释尿素分别以25%和75%的比例混合施用效果较好，但各氮素处理间产量之间差异不显著。

参考文献

- [1] 张夫道, 王玉军. 我国缓/控释肥料的现状和发展方向[J]. 中国土壤与肥料, 2008(4): 1–4.
- [2] 樊小林, 刘芳, 廖照源, 等. 中国控释肥料研究的现状和展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 463–473.
- [3] Mosisa W, Marianne B, Gunda S, et al. Nitrogen uptake and utilization in contrasting nitrogen efficient tropical maize hybrids[J]. Crop Sci, 2007, 47:519–528.
- [4] 薛高峰, 张贵龙, 孙焱鑫, 等. 包膜控释尿素(追施)对冬小麦生长发育及土壤硝态氮含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(2):377–384.
- [5] 衣文平, 孙哲, 武良, 等. 包膜控释尿素与普通尿素配施对冬小麦生长发育及土壤硝态氮的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3):687–693.
- [6] 杜君, 孙克刚, 张运红, 等. 控释尿素对水稻生理特性、氮肥利用率及土壤硝态氮含量的影响. 农业资源与环境学报, 2016, 33(2)134–141.
- [7] 曹宁, 陈志怡, 闫飞, 等. 控释尿素对玉米产量、氮肥利用率及土壤氮素的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(1):86–89.
- [8] 李伟, 李絮花, 唐慎欣, 等. 控释掺混肥对夏玉米产量及土壤硝态氮和铵态氮分布的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6):68–71, 91.
- [9] 郑雨, 唐树梅, 李玉影, 等. 控释尿素对黑龙江省玉米氮肥利用率及产量的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(1):127–131.
- [10] 姬景红, 李玉影, 刘双全, 等. 控释掺混肥对春玉米产量、光合特性及氮肥利用率的影响. 土壤通报, 2015, 46(3):669–675.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [12] Cui Z L, Zhang F S, Chen X P, et al. On farm estimation of indige-nous nitrogen supply for site specific nitrogen management in the North China plain[J]. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 2008, 81: 37–47.
- [13] 夏伟光, 武际, 高凤梅, 等. 控释尿素不同施用条件下冬小麦产量和氮素利用效应[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(1):38–44.

控释尿素对吉林春玉米产量和氮素吸收利用的影响

王寅¹ 刘奕¹ 高强^{1*} 冯国忠¹ 赵兰坡¹ 何萍^{2,3} 金继运^{2,3}

(1. 吉林农业大学资源与环境学院/吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 吉林长春 130118; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 3. 国际植物营养研究所北京办事处, 北京 100081)

摘要: 2009–2011年在吉林省中部黑土区设置五个大田试验, 研究不同控释尿素施用处理对春玉米产量、氮素吸收和利用的影响。多年多点平均结果显示, 玉米产量以控释尿素 157.5 公斤 N/公顷基施 (CRU75%B) 处理最高, 达 11180 公斤/公顷, 植株氮素吸收量以控释尿素 210 公斤 N/公顷基施 (CRU100%B) 处理最高, 达 242.7 公斤 N/公顷, 氮肥表观利用率以控释尿素 105 公斤 N/公顷基施 (CRU50%B) 处理最高, 达 42.9%。普通尿素 105 公斤 N/公顷基施 (BU50%B) 处理的产量、氮素吸收量和氮肥表观利用率均最低, 分别为 9992 公斤/公顷、187.7 公斤 N/公顷和 23.4%。相同施氮量和运筹方式条件下, 控释尿素与普通尿素的产量、氮素吸收量和氮肥利用效率总体上无显著差异, 但地点和年份间处理的表现有所不同。综合来看, 控释尿素在减量 25% 条件下基施可获得与全量普通尿素基施相当的产量水平和氮素吸收量, 且氮肥利用效率更高。

关键词: 春玉米; 控释尿素; 产量; 氮素吸收量; 氮素利用率

吉林是我国重要的粮食主产省, 全国 10 大产粮大县中有 7 个位于吉林省。玉米作为吉林第一大粮食作物, 种植面积占全省粮食作物的 80% 左右, 每公顷平均单产水平居全国第一^[1]。近年来, 由于劳动力成本增加、高氮复混肥运用以及中后期追肥不便, 吉林春玉米种植区农民的一次性施肥方式迅速增加, 据调查比例高达 78.3%^[2]。春玉米苗期需氮量较少, 氮素吸收高峰通常出现在拔节之后^[3-4], 氮肥一次性大量基施有悖其氮素需求规律, 对出苗和苗期生长不利, 肥料投入增加也使经济效益降低^[5-6]。此外, 过量施氮显著降低氮素利用效率^[7], 还可能引发水体富营养化^[8]、土壤酸化^[9]及大气活性氮排放增加^[10]等环境问题。

控释氮肥具有养分释放与作物吸收同步的特点, 是增

加产量、提高氮肥效率的有效途径^[11]。已有研究表明, 合理施用控释氮肥可满足玉米生育期养分需求, 促进生长发育获得高产^[12-14], 并减少地下水硝态氮污染^[15]。为明确控释氮肥在吉林春玉米上的施用效果及适宜施用方法, 本研究在吉林省中部黑土区设置多年多点大田试验, 研究不同控释尿素施用方法对玉米产量、氮素吸收及利用的影响, 为地区氮素的科学管理提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验概况

本研究在吉林省中部黑土区的公主岭市和德惠市开展, 其中公主岭市于 2009–2011 年设置 3 个大田试验,

表 1 田间试验的玉米品种、生育期和基础土壤理化性质

地点	年份	品种	生育期 (天)	pH	有机质 (克/公斤)	碱解氮	有效磷	速效钾
						(毫克/公斤)		
公主岭	2009	郑单 958	154	5.62	23.4	94.7	10.6	71
	2010	银河 36	147	5.72	22.5	95.2	10.3	67
	2011	先玉 508	151	5.35	19.4	147.4	26.9	164
德惠	2009	郑单 958	154	5.86	20.8	108.4	7.7	69
	2010	北育 288	149	5.96	24.5	109.4	7.4	73

基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 项目资助

作者简介: 王寅 (1986 -) 男, 博士, 讲师, 从事作物养分管理相关研究, E-mail: wy1986410@163.com

通讯作者: 高强 (1966 -) 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事作物养分管理相关研究, E-mail: gyt199962@163.com

德惠市于 2009–2010 年设置 2 个大田试验。试验地区属大陆性季风气候，雨热同期，年有效积温（10℃）在 2400–3000℃ 之间，年均降水量为 400–950 毫米，且 70% 左右集中在 7–8 月份，种植制度为一年一熟，以玉米为主。

大田试验地供试玉米品种均采用当地主栽品种，种植密度均为 6.0×10^4 株 / 公顷。春玉米于每年 5 月上旬播种，10 月上旬收获，生育期均在 150 天左右。各试验田块土壤类型均为黑土，基础土壤理化性质、玉米品种及生育期列于表 1。除 2011 年公主岭试验点的土壤速效氮、磷、钾较高外，其余试验的土壤 pH、有机质和速效养分含量均接近。

1.2 试验设计

所有大田试验均设置 9 个施肥处理，分别为：（1）不施氮对照（CK），（2）普通尿素全量基施（BU100% B），（3）控释尿素全量基施（CRU100% B），（4）普通尿素 40% 基施 + 60% 追肥（BU40% B + BU60% T），（5）40% 普通尿素 + 60% 控释尿素基施（BU40% B + CRU60% B），（6）普通尿素全量的 75% 基施（BU75% B），（7）控释尿素全量的 75% 基施（CRU75% B），（8）普通尿素全量的 50% 基施（BU50% B），（9）控释尿素全量的 50% 基施（CRU50% B）。其中，氮肥全量为 210 公斤 N / 公顷，磷、钾肥用量分别为 69 公斤 P_2O_5 / 公顷和 75 公斤 K_2O / 公顷，具体的施肥量和施肥运筹如表 2 所示。本研究所用控释尿素由加拿大加阳（Agrium）公司生产，含氮量为 44.0%，普通尿素含氮量为 46%，磷肥为过磷酸钙， P_2O_5 含量为 12%，钾肥为氯化钾， K_2O 含量为 60%。大田试验的小区面积均为 40 平方米，设 3 次

重复，随机区组排列。除施肥措施外，其它田间管理均与当地农民习惯保持一致。

1.3 测定项目与方法

大田试验基础土壤样品的采集和测定均用如下方法统一进行。施基肥前在整个田块均匀布点 15 个取 0–20 厘米耕层土壤，实验室风干磨细过筛后按常规法测定：pH 按水土比 2.5 : 1，pH 计测定；有机质用重铬酸钾容量法；碱解氮用碱解扩散法 - 标准酸滴定；有效磷用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提 - 钼锑抗比色法；速效钾用 1 mol/L NH_4OAc 浸提 - 火焰光度法。

收获时，对大田试验每个小区进行单收单打，测得籽粒产量，并在每小区取代表性植株 5 株，分秸秆和籽粒两部分称取干重后粉碎，采用 $H_2O_2 - H_2SO_4$ 消煮，用凯氏定氮仪测定秸秆和籽粒的含氮量。

氮肥利用率计算方法：

氮肥表观利用率（NRE，%）=（施氮区作物吸氮量 - 不施氮区作物吸氮量）/ 施氮量 × 100

氮肥农学利用率（NAE，公斤 / 公斤）=（施氮区作物产量 - 不施氮区作物产量）/ 施氮量

氮肥偏生产力（PFPPN，公斤 / 公斤）= 施氮处理玉米产量 / 施氮量。

1.4 数据统计分析

所有试验数据均采用 Excel 软件计算，用 SPSS17.0 软件进行统计分析，利用随机区组单因素方差分析比较单个试验各施肥处理间在 $p = 0.05$ 水平上的差异显著性，利用配对区组单因素方差分析比较所有试验各施肥处理间在 $p = 0.05$ 水平上的差异显著性。

表 2 田间试验不同施肥处理的施肥量

处理	控释尿素		普通尿素		过磷酸钙	氯化钾
	(公斤 N / 公顷)				(公斤 P_2O_5 / 公顷)	(公斤 K_2O / 公顷)
	基肥	基肥	追肥		基肥	基肥
CK	0	0	0		575	125
BU100% B	0	456.5	0		575	125
CRU100% B	477.3	0	0		575	125
BU40% B + BU60% T	0	182.6	273.9		575	125
BU40% B + CRU60% B	286.4	182.6	0		575	125
BU75% B	0	342.4	0		575	125
CRU75% B	358.0	0	0		575	125
BU50% B	0	228.2	0		575	125
CRU50% B	238.6	0	0		575	125

注：BU 表示普通尿素，CRU 表示控释尿素，B 表示基肥，T 表示追肥。

2 结果

2.1 不同控释尿素施用处理对春玉米产量的影响

大田试验结果显示,不同施肥处理之间春玉米的籽粒产量存在显著差异(表3)。除2009年德惠试验点外,其余试验各施氮处理的籽粒产量均显著高于不施氮处理。2009、2010和2011年公主岭试验点的最高产量分别出现在BU75%B、CRU75%B和BU40%B + CRU60%B处理,产量分别达到11657、10762和11642公斤/公顷。2009和2010年德惠试验点的最高产量分别出现在BU75%B和CRU100%B处理,产量分别达到12080和12429公斤/公顷。

从多年多点试验的平均产量来看,各施氮处理中以CRU75%B处理最高,达11180公斤/公顷,而BU50%B处理最低,为9992公斤/公顷。其中,CRU75%B、CRU100%B和BU40%B + CRU60%B处理的平均产量显著高于BU50%B处理。分析发现,一次性全量施用条件下、40%:60%分次施用条件下以及减量25%和50%条件下,控释尿素与普通尿素施用处理之间产量均无显著

差异。这可能是由于吉林中部黑土区土壤保肥能力和氮素供应能力较强,采用普通尿素分次施用、全量和减量75%一次性基施、控释尿素全量和减量基施,以及普通尿素与控释尿素掺混基施技术均可获得较高产量,而不同地点、不同年份施氮处理之间产量的趋势的差异可能与当地或当年的气候条件有关。总体来看,控释尿素在减量25-50%条件下施用可获得较高产量,而普通尿素50%减量一次性基施则导致产量显著降低。

2.2 不同控释尿素施用处理对春玉米氮素吸收的影响

施氮显著促进玉米植株对氮素的吸收累积(表4),除2010年公主岭试验点的BU50%B处理外,其余试验各施氮处理的植株氮素吸收量均显著高于不施氮处理。各施氮处理中,除2009年公主岭试验点以BU100%B处理的氮素吸收量最高外,其余试验均以CRU100%处理的氮素吸收量最高。综合所有试验结果来看,CRU100%处理的氮素吸收量最高,平均为242.7公斤N/公顷,而BU50%B处理最低,平均为187.7公斤N/公顷。与产量结果类似,一次性全量施用条件下、4:6分次施用条件

表3 不同施氮处理对春玉米籽粒产量的影响(公斤/公顷)

处理	公主岭			德惠		平均值
	2009	2010	2011	2009	2010	
CK	5357 c	7570 c	8568 f	10496 bc	10170 e	8432 c
BU100% B	10558 ab	9970 ab	10749 cde	10438 c	11851 ab	10713 ab
CRU100% B	9936 ab	9990 ab	11527 ab	10881 abc	12429 a	10953 a
BU40% B + BU60% T	10795 a	10164 ab	10495 de	11392 abc	11603 bc	10890 ab
BU40% B + CRU60% B	10927 a	10203 ab	11642 ab	12035 ab	10958 cd	11153 a
BU75% B	11657 a	8406 bc	11355 abc	12080 a	10751 de	10850 ab
CRU75% B	11289 a	10762 a	10852 bed	10772 abc	12227 ab	11180 a
BU50% B	9413 b	8149 bc	10342de	11863 abc	10191 e	9992 b
CRU50% B	8825 b	9744 ab	10075 e	11153 abc	10283 de	10016 ab

注:同一列内数值后不同小写字母表示处理间差异显著(p < 0.05),下同。

表4 不同施氮处理对春玉米植株氮素吸收量的影响(公斤N/公顷)

处理	公主岭			德惠		平均值
	2009	2010	2011	2009	2010	
CK	117.9 d	156.6 c	132.1 e	212.6 c	196.7 d	163.2 d
BU100% B	228.2 a	195.5 ab	195.1 ab	254.4 ab	278.9 ab	230.4 ab
CRU100% B	199.2 b	217.3 a	209.8 a	278.8 a	308.4 a	242.7 a
BU40% B + BU60% T	207.1 ab	205.0 ab	197.9 ab	249.5 ab	284.1 ab	228.7 ab
BU40% B + CRU60% B	211.8 ab	197.7 ab	189.8 bc	275.3 a	250.7 bc	225.1 ab
BU75% B	202.7 b	177.2 b	191.8 abc	257.2 ab	228.9 c	211.6 ab
CRU75% B	208.5 ab	191.8 ab	182.9 bc	252.7 ab	286.9 ab	224.6 ab
BU50% B	157.1 c	166.0 bc	161.5 d	238.9 b	215.2 c	187.7 c
CRU50% B	157.7 c	174.2 b	176.0 cd	277.5 a	255.9 bc	208.3 bc

下以及减量 25% 和 50% 条件下，控释尿素与普通尿素施用处理之间玉米植株的氮素吸收量均无显著差异。可见，控释尿素在减量 25% 条件下可保证较充足的氮素供应，但减量 50% 则将导致植株氮素吸收量显著下降。

2.3 不同控释尿素施用处理对春玉米氮肥利用效率的影响

通过分析氮肥表观利用率、农学利用率和偏生产力等指标以表征不同施氮处理条件下玉米植株对氮肥的利

用效率。氮肥表观利用率以 CRU50%B 处理最高，平均达到 42.9%，而以 BU50%B 处理最低，平均仅 23.4%。各处理中 CRU50%B、CRU100%B 和 CRU75%B 处理显著高于 BU50%B 处理，其余处理之间则无显著差异。氮肥农学利用率以 CRU75%B 处理最高，平均达 17.4 公斤/公斤，而以 BU100%B 处理最低，平均为 10.9 公斤/公斤。除 CRU75%B 处理显著高于 BU100%B 处理外，其余处理之间均无显著差异。氮肥偏生产力以 BU50%B 和 CRU50%B 处理显著最高，其次为 BU75%B 和 CRU75%B 处理，其余处理则显著较低，而这主要是在产量水平接近条件下由于施氮量的差异而造成的。总体来看，控释尿素施用处理的氮肥表观利用率和农学利用率相比普通尿素较高，但并未达到显著差异。

3 结论

多年多点平均结果显示，吉林省中部黑土区在采用相同施肥量和运筹方式条件下，控释尿素与普通尿素的产量、氮素吸收量和氮肥利用效率总体上均无显著差异，而地点和年份之间的处理表现存在一定变化。综合来看，控释尿素在减量 25% 条件下基施可获得与全量普通尿素基施相当的产量水平和氮素吸收量，且氮肥利用效率更高。

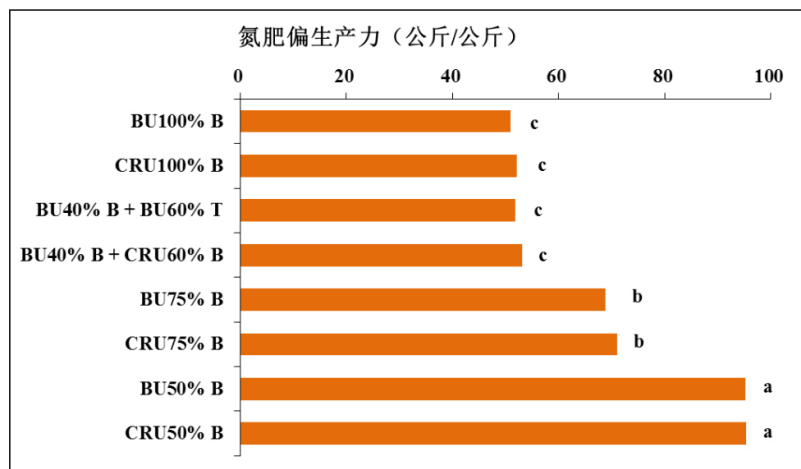
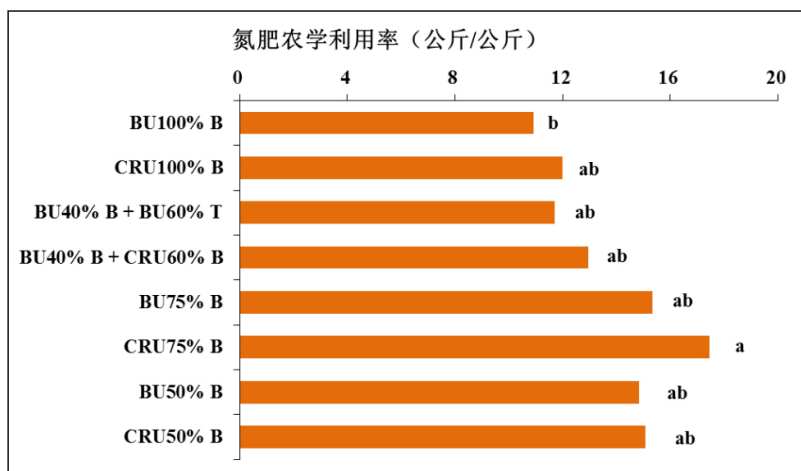
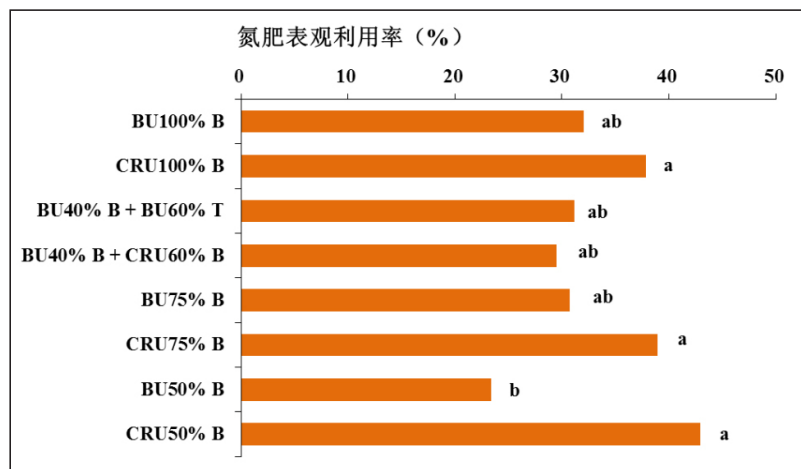


图 1 不同施氮处理条件下春玉米的氮肥利用效率

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [2] 高强, 李德忠, 汪娟娟, 等. 春玉米一次性施肥效果研究 [J]. 玉米科学, 2007, 15(4):125-128.
- [3] 刘景辉, 刘克礼. 春玉米需氮规律的研究 [J]. 内蒙古农牧学院学报, 1994, 15(3):12-18.
- [4] 曹国军, 刘宁, 李刚, 等. 超高产春玉米氮磷钾的吸收与分配 [J]. 水土保持学报, 2008, 22(2):198-201.
- [5] 杨俊刚, 高强, 曹兵, 等. 一次性施肥对春玉米产量和环境效应的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(19):123-128.
- [6] 尹彩侠, 孔丽丽, 侯云鹏, 等. 控释氮肥在玉米上的施用效果 [J]. 吉林农业科学, 2011, 36(4):24-27.
- [7] 隗英华, 汪仁, 孙文涛, 等. 春玉米产量、氮素利用及矿质氮平衡对施氮的响应 [J]. 土壤学报, 2012, 49(3):544-551.
- [8] Conley D J, Paerl H W, Howarth R W, et al. Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus [J]. Science, 2009, 323(5917):1014-1015.
- [9] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major chinese croplands [J]. Science, 2010, 327(5968):1008-1010.
- [10] Liu X J, Zhang Y, Han W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over china [J]. Nature, 2013, 494(7438):459-462.
- [11] Azeem B, KuShaari K, Man Z B, et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer [J]. Journal of Controlled Release, 2014, 181:11-21.
- [12] Noellsch A J, Motavalli P P, Nelson K A, et al. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape [J]. Agronomy Journal, 2009, 101:607-614.
- [13] 王永军, 孙其专, 杨今胜, 等. 不同地力水平下控释尿素对玉米物质生产及光合特性的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37(12):2233-2240.
- [14] Zhao B, Dong S T, Zhang J W, et al. Effects of controlled-release fertiliser on nitrogen use efficiency in summer maize [J]. PloS one, 2013, 8(8):e70569.
- [15] Díez J A, Roman R, Cartagena M, et al. Controlling nitrate pollution of aquifers by using different nitrogenous controlled release fertilizers in maize crop [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1994, 48:49-56.

内蒙古玉米施用缓释尿素的应用效果

段玉^{1,2} 侯建伟^{1,2} 张君^{1,2} 景宇鹏^{1,2}

(1. 内蒙古农牧业科学院资源环境与检测技术研究所, 内蒙古 呼和浩特, 010031; 2. 农业部内蒙古耕地保育科学观测实验站, 内蒙古 呼和浩特, 0117053)

摘要: 为了探究缓释尿素(CRU)在玉米上的吸收利用效果,在赤峰市和鄂尔多斯市分别进行了不同氮素处理对玉米产量、肥料吸收利用效果和土壤氮残留影响的大田小区试验。结果表明,施用氮肥玉米籽粒产量和秸秆产量可增加13.3%–157.2%和6.9%–64.2%。减少20%施氮量的同时配比75%的缓释尿素,玉米籽粒、秸秆氮含量和积累量最大,与100%推荐施氮量无显著性差异。缓释尿素占比60%以上时氮素回收率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率达最大值施用氮肥显著影响土壤中的硝态氮含量,硝态氮含量的变化是引起土壤矿质氮含量差异的主要因素。缓释尿素具有很好的增产和养分吸收利用效果,减少20%的施氮量缓释尿素占比30%以上与普通尿素配施即可替代100%推荐施氮量,且缓释尿素占比越大养分吸收利用效果越显著,但玉米产量间无显著性差异。

关键词: 玉米; 产量; 缓释尿素; 作用效果; 氮素残留

玉米是内蒙古的第一大作物,年播种面积超过300万公顷,占内蒙古粮食作物播种面积的50%,占全区粮食总产的70%以上^[1]。玉米生长发育期间吸收氮素较多,每生产100公斤玉米籽粒吸收氮素(N)1.5–2.5公斤,氮素是三大营养元素(NPK)中增产最大,最容易缺乏的元素^[2]。但近年来随着我国氮肥施用量的快速增加,氮肥增产效果逐渐递减,氮肥当季利用率偏低、损失率偏高,环境风险增加等问题日益凸显^[3]。在我国耕地资源有限、人口压力大的现实国情下,如何实现保证作物高产稳产的情况下减量化施肥,降低对环境的负面作用、提高氮肥利用率已成为我国农业可持续发展的必然要求。

普通氮肥,由于其速溶性特点,施用玉米田后短时间内迅速溶解,一次性基施通常导致玉米前期养分供应过量,中后期营养供应不足,养分利用率低^[4],只有通过少量分次施用才能达到为作物全生育期提供养分的目的,但此方法并不适应目前农村劳动力日益紧缺的现状。而缓释尿素通过各种调控机制有效控制养分释放速度和时间,延长作物对养分吸收利用的有效期^[5]。因此,缓释尿素与普通尿素掺混一次基施,可以实现肥料间肥效的有效接力,达到缓急相济,优势互补,平衡供肥和高效利用的目的。衣文平等^[6]于山东泰安的研究表明,在0%、20%、25%、30%和40%的缓释尿素比例中,30%的缓释尿素比例最能提高玉米产量、氮肥利用率和氮素积累量;而孙克刚等^[7]于河南驻马店小麦/玉米轮作的研究表明,在0%、30%、50%、70%和100%的缓释尿素比例中,70%

的缓释尿素比例的玉米产量和氮肥利用率最高;朱宝国等^[8]于黑龙江的研究表明,在0%、40%、60%和100%的缓释尿素比例中,40%的缓释尿素比例最能提高拔节期以后的玉米品质和叶绿素。

上述研究均表明,缓释尿素与普通尿素混施能提高玉米产量和氮素吸收利用,而对土壤质地和肥力差异悬殊的农田,通过缓释尿素与普通尿素合理配比一次性基施进行减量化施肥的研究相对较少。本研究以玉米为研究对象,在内蒙古东部(赤峰市)和西部(鄂尔多斯市)玉米种植区开展缓释尿素在玉米上的应用效果试验。研究其对玉米产量、氮肥利用效率及农学效率等的影响,以达到通过缓释尿素部分替代普通尿素保证玉米高产稳产的同时达到化学氮肥减量20%的目的,以期为缓释尿素的推广和应用和制定玉米高产高效的氮肥配方施肥技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验分别在内蒙古赤峰市农牧业科学院(N118°06', E42°10'48")和鄂尔多斯市现代农牧业科技示范园区(N110°27'13.7", E40°18'13.7")进行。

赤峰市农牧业科学院试验地肥力中上等(表1),土壤为栗钙土,质地为壤土。

鄂尔多斯市现代农牧业科技示范园区试验地肥力下等(表1),土壤为潮土,质地为沙壤土。

表 1 试验土壤养分状况

项 目	试验地	
	赤峰市	鄂尔多斯市
OM/%	0.29	0.18
NH ₄ -N/(毫克/千克)	0	0
NO ₃ -N/(毫克/千克)	34.5	3.3
有效 P/(毫克/千克)	42.3	22.9
速效 K/(毫克/千克)	102.5	86.5
pH 值	8.45	8.62

1.2 试验作物

试验作物均为玉米，品种是当地的主推品种，具体情况见表 2。

表 2 试验基本情况

项 目	试验地	
	赤峰市	鄂尔多斯市
玉米品种	京单 128	丰田 6 号
种植密度/(株/亩)	4500	4500
播种日期	5 月 8 日	5 月 4 日
施肥量 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (公斤/公顷)	180-90-75	270-120-180
施肥方法	一次性基施	一次性基施
降雨量/毫米	309	240
灌水量/(立方米/公顷)	447	1500
灌溉方式	滴灌	喷灌
有效积温/°C (≥ 10°C)	2900	3100

1.3 田间管理和施肥

试验用缓释尿素 (CRU) 由美国加阳 (中国) 公司提供，含氮量 (N) 43%；普通尿素 (RU) 含氮量 (N) 46%，磷肥用三料磷肥 (含 P₂O₅ 46%)，钾肥用氯化钾 (含 K₂O 60%)。氮磷钾肥一次性基施，施肥后覆膜铺设滴灌管，打孔穴播，大小垄种植，窄行距 35 厘米，宽行距 65 厘米，株距 28 厘米。

1.4 实验设计

试验在磷钾基础上施用氮肥 (普通尿素 (RU) 和缓释尿素 (CRU))，共设 7 个处理，分别为：

(1) CK，不施氮

(2) 推荐施氮量，施普通尿素 (RU)，即为：100%N(RU)；

(3) -N20% 推荐施氮量，施普通尿素 (RU)，即为：80%N (RU)；

(4) -N20% 推荐施氮量，CRU:RU=3:1，即为：80%N (75%CRU:25%RU)；

(5) -N20% 推荐施氮量，CRU:RU=3:2，即为：80%N (60%CRU:40%RU)；

(6) -N20% 推荐施氮量，CRU:RU=9:11，即为：80%N (45%CRU:55%RU)；

(7) -N20% 推荐施氮量，CRU:RU=3:7，即为：80%N (30%CRU:70%RU)；

小区面积 50 平方米，四次重复，随机排列。

1.5 测试项目与方法

作物产量调查：玉米成熟后，每小区选取代表性的 5 株进行玉米产量测定，并通过秸秆与籽实比例，计算玉米秸秆产量；

N 生理效率 (千克/千克) = (施肥区产量 - 不施肥区产量) / (施肥区植物吸收的养分量 - 不施肥区植物吸收的养分量)；

N 回收率 (%) = (施肥区植物吸收的养分量 - 不施肥区植物吸收的养分量) × 100 / 施肥量 式中：施肥量 = 指养分量；

N 农学效率 (千克/千克) = (施肥区产量 - 不施肥区产量) / 施肥量；

N 偏生产力 (千克/千克) = 施氮处理产量 / 施氮量；
植株及籽粒全 N 含量—浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮，凯氏法定氮法；

3 赤峰市和鄂尔多斯市玉米养分施用量 (公斤 N/公顷)

处 理	赤峰市		鄂尔多斯市	
	CRU(N)	RU(N)	CRU(N)	RU(N)
CK (不施氮)	0	0	0	0
100%N (RU)	0	180	0	270
80%N (RU)	0	144	0	216
80%N (75%CRU:25%RU)	108	36	162	54
80%N (60%CRU:40%RU)	86.4	57.6	129.6	86.4
80%N (45%CRU:55%RU)	64.8	79.2	97.2	118.8
80%N (30%CRU:70%RU)	43.2	100.8	64.8	151.2

收获后各小区分别取耕层土壤(0-20厘米)样品监测铵态氮和硝态氮

硝态氮—紫外分光光度法;
铵态氮—靛酚蓝比色法。

1.6 数据处理

利用 SAS9.0 进行方差分析(ANOVA), 用 EXCEL2007 绘制表格。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥处理对玉米产量的影响

2.1.1 籽实产量

赤峰市和鄂尔多斯市均表现为施用氮肥均显著增加了玉米的籽粒产量($p < 0.05$), 分别较不施氮肥(CK)处理增产 40.0-113.3 公斤/亩和 280.0-406.7 公斤/亩, 增产幅度为 5.0%-14.7% 和 123.9%-181.4%, 农学效率分别为 4.2-12.1 和 18.3-28.4(表 4)。

由表 4 可知, 减少 20% 的施氮量(80%N), 氮肥施用普通尿素增产效果不及 100% 推荐施氮量(100%N(RU)), 产量差异显著($p < 0.05$)。但缓释尿素与普通尿素不同比例混合,

可以在高产稳产的情况下减少 20% 的施氮量(80%N)。在赤峰市配比缓释尿素, 减少 20% 的施氮量玉米产量显著高于 100% 推荐施氮量(100%N(RU)); 在鄂尔多斯市减少 20% 的施氮量玉米产量也至少可以保证与 100% 推荐施氮量(100%N(RU)) 无显著差异, 且不减产。说明在赤峰市和鄂尔多斯市两个地区种植玉米通过缓释尿素的施用 -20%N 是可行的, 但缓释尿素比例至少在 30% 以上, 其占比比例越大产量增幅越大, 但其产量差异不显著。

2.1.2 秸秆产量

无论施用缓释尿素还是普通尿素, 赤峰市和鄂尔多斯市的玉米秸秆产量均有所增加, 分别增加了 0.5-1.6 吨/公顷和 2.7-3.6 吨/公顷(增幅分别为 3.4%-10.3% 和 55.3%-72.6%), (表 5), 每公斤氮素可使玉米秸秆产量分别增加 3.7-9.0 公斤和 12.3-16.4 公斤。

多重均值检验结果表明, 除各施氮处理与不施氮(CK)处理达显著差异水平外($p < 0.05$), 其它各处理间均未达显著差异水平。说明施氮的确可以增加玉米秸秆产量, 但缓释尿素、普通尿素、减少 20% 施氮量后缓释尿素与普通尿素混合并不会使玉米秸秆产量产生显著差异; 一定施氮量范围内, 氮肥用量不会成为玉米秸秆产量的限制因素。

表 4 不同施肥处理对玉米籽粒产量的影响

处 理	赤峰市				鄂尔多斯市			
	籽实产量	增产	较 CK 增幅	农学效率	籽实产量	增产	较 CK 增幅	农学效率
	(公斤/亩)	(%)	(公斤/公斤)	(公斤/亩)	(%)	(公斤/公斤)		
CK (不施氮)	793.3±80.0e	--	--	--	793.3±80.0e	--	--	--
100%N (RU)	853.3±26.7c	66.7	8.2	5.4	853.3±26.7c	66.7	8.2	5.4
80% N (RU)	820.0±33.3d	40.0	5	4.2	820.0±33.3d	40.0	5	4.2
80%N (75%CRU:25%RU)	906.7±33.3a	113.3	14.7	12.1	906.7±33.3a	113.3	14.7	12.1
80%N (60%CRU:40%RU)	900.0±6.7a	113.3	14.2	11.7	900.0±6.7a	113.3	14.2	11.7
80%N (45%CRU:55%RU)	886.7±20.0	100.0	12.6	10.4	886.7±20.0	100.0	12.6	10.4
80%N (30%CRU:70%RU)	873.3±20.0ab	80.0	10.3	8.5	873.3±20.0ab	80.0	10.3	8.5

注: 不同字母表示达到差异显著水平 ($P < 0.05$), 以下相同。

表 5 不同施肥处理对玉米秸秆产量的影响

处 理	赤峰市			鄂尔多斯市		
	秸秆产量	增产	较 CK 增幅	秸秆产量	增产	较 CK 增幅
	(公斤/亩)	(%)	(%)	(公斤/亩)	(%)	(%)
CK (不施氮)	1053.3±33.3b	--	--	326.7±73.3b	--	--
100%N (RU)	1160.0±20.0a	106.7	10.3	553.3±40.0a	220.0	67.4
80% N (RU)	1086.0±53.3ab	33.3	3.4	566.7±60.0a	233.3	71.7
80%N (75%CRU:25%RU)	1126.7±60.0ab	73.3	7.3	566.7±20.0a	240.0	72.6
80%N (60%CRU:40%RU)	1140.0±60.0ab	93.3	8.6	513.3±6.7a	180.0	55.3
80%N (45%CRU:55%RU)	1126.7±73.3ab	73.3	7	526.7±66.7a	193.3	59.5
80%N (30%CRU:70%RU)	1100.0±46.7ab	46.7	4.6	520.0±26.7a	193.3	58.8

2.2 不同氮肥处理对玉米氮吸收利用的影响

2.2.1 不同氮肥处理对植株氮养分吸收量的影响

不同氮肥处理玉米氮养分含量存在差异, 氮养分积累量具有显著差异(表6)。赤峰市和鄂尔多斯市两个试验地各氮肥处理的玉米籽粒氮素含量、秸秆氮素含量和植株氮素总吸收量均高于对照(CK), 增幅分别为0.8%–11.1%、7.7%–22.0%、11.4%–25.0%和19.4%–30.6%、22.2%–41.7%、153.4%–220.6%。各处理中, 减少20%施氮量缓释尿素与普通尿素3:1配比时, 玉米籽粒氮含量、秸秆氮含量及氮积累量达最大值, 分别为1.40%、1.11%、373.2公斤/公顷和0.47%、1.02%、136.9公斤/公顷。

赤峰市和鄂尔多斯市两个试验地的各个氮肥处理的玉米籽粒氮含量、秸秆氮含量和植株氮素总吸收量差异较大, 赤峰市分别是鄂尔多斯市的2.9–3.5倍、1.1–1.3倍和2.7–7.0倍。同一地区的玉米籽粒氮含量没有显著差异, 秸秆氮含量和植株氮素总吸收量只与对照差异显著($p < 0.05$), 减少20%施氮量的各处理与不减氮处理(100%N(RU))间没有显著差异, 说明在赤峰市和鄂尔多斯市玉米施肥过程中–20%N是可行的, 且–20%N的同时配比75%的缓释尿素, 玉米籽粒、秸秆氮素含量及积累量相对较大。

2.2.2 不同氮肥处理对氮养分吸收利用率的影响

缓释尿素显著提高了氮素回收率, 缓释尿素占比75%时氮素回收效果最佳, 氮肥利用率最高, 分别为41.5%(赤峰市)和52.3%(鄂尔多斯市)。缓释尿素为30%–60%时, 各处理间的氮肥利用率无显著性差异, 但均高于普通尿素处理(100%N(RU)和80%N(RU)), 最大可提高22.6个百分点(表7)。说明缓释尿素具有很好的缓释效果, 可以延长氮肥肥效, 促进玉米吸收氮素养分。

赤峰市和鄂尔多斯市两项试验均表明, 缓释尿素不能显著提高氮肥生理利用效率, 其变异范围分别为23.3–29.8千克/千克和30.7–44.0千克/千克。缓释尿素较普通尿素对氮肥偏生产力和农学效率具有显著的提高作用。减少20%氮施入量, 缓释尿素较普通尿素的氮肥偏生产力可分别提高28.1%–32.8%(赤峰市)和12.0%–16.3%(鄂尔多斯市), 分别在缓释尿素为75%和60%时达最大值; 缓释尿素较普通尿素的氮肥农学效率可分别提高57.4%–124.1%(赤峰市)和29.5%–55.2%(鄂尔多斯市), 分别在缓释尿素为75%和60%时达最大值。说明减少20%的氮施入量, 通过普通尿素配比60%以上的缓释尿素可以达到比100%推荐施氮量更好的氮素吸收利用效果。

表6 不同氮肥处理玉米籽粒和秸秆的氮素养分含量及积累量

处 理	赤峰市			鄂尔多斯市		
	籽粒	秸秆	植株总吸收量 (公斤/公顷)	籽粒	秸秆	植株总吸收量 (公斤/公顷)
	(%)			(%)		
CK (不施氮)	1.26 ± 0.12a	0.91 ± 0.09b	298.6 ± 8.6c	0.36 ± 0.06a	0.72 ± 0.03b	42.7 ± 12.4b
100%N (RU)	1.31 ± 0.05a	0.98 ± 0.05ab	332.7 ± 10.3b	0.45 ± 0.04a	0.88 ± 0.14ab	108.2 ± 20.8a
80% N (RU)	1.27 ± 0.06a	1.05 ± 0.06ab	333.3 ± 8.9b	0.43 ± 0.12a	0.94 ± 0.09b	108.1 ± 39.3a
80%N (75%CRU:25%RU)	1.40 ± 0.09a	1.11 ± 0.12a	373.2 ± 40.2a	0.47 ± 0.12a	1.02 ± 0.22a	136.9 ± 35.1a
80%N (60%CRU:40%RU)	1.36 ± 0.05a	1.03 ± 0.10ab	365.7 ± 13.8ab	0.47 ± 0.08a	0.93 ± 0.07ab	122.0 ± 7.3a
80%N (45%CRU:55%RU)	1.32 ± 0.05a	1.02 ± 0.05ab	348.7 ± 2.7ab	0.44 ± 0.06a	0.95 ± 0.06ab	119.5 ± 9.4a
80%N (30%CRU:70%RU)	1.29 ± 0.04a	1.09 ± 0.10a	348.3 ± 14.6ab	0.45 ± 0.06a	0.92 ± 0.11ab	114.2 ± 2.1a

表7 不同氮肥处理对玉米氮素养分吸收利用效率的影响

地 点	指 标	处 理						
		CK (不施氮)	100%N (RU)	80%N (RU)	80 (75%CRU :25%RU)	80 (60%CRU :40%RU)	80 (45%CRU :55%RU)	80 (30%CRU :70%RU)
赤峰市	氮素回收率/%	--	18.9c	19.3bc	41.5a	37.3ab	27.8abc	27.6abc
	生理利用率/千克/千克	--	28.3a	27.2a	23.3a	25.1a	29.8a	24.7a
	氮肥偏生产力/千克/千克	--	71.1C	88.9B	94.4A	93.8 A	92.4B	91.1B
	氮肥农学效率/千克/千克	--	5.4f	6.6e	12.1a	11.7b	10.4c	8.5d
鄂尔多斯市	氮素回收率/%	--	36.4c	36.3c	52.3a	44b	42.6b	39.7b
	生理利用率/千克/千克	--	30.7a	35.2a	44.0a	43.1a	41.7a	39.4a
	氮肥偏生产力/千克/千克	--	65.5b	64.0b	65.1b	74.7a	72.6a	71.7a
	氮肥农学效率/千克/千克	--	18.3c	19.4c	28.4a	27.4a	25.8b	23.7b

2.3 不同氮肥处理对土壤氮素残留的影响

赤峰市各氮素处理收获后耕层土壤硝态氮含量显著高于铵态氮，约为铵态氮含量的 3.5–7.0 倍，100%N (RU) 处理最大 (7.0 倍)，80%N (RU) 处理最小 (3.5 倍)。各处理间的硝态氮含量除减少 20% 施氮量缓释尿素与普通尿素混合的各处理间无显著性差异外，其它各处理间均具有达显著差异水平 ($p < 0.05$)，但各处理间的铵态氮含量均无显著性差异。说明处理间矿质氮含量的差异主要是由硝态氮的含量差异引起的。

施氮肥处理土壤的硝态氮含量均高于 CK (不施氮肥)，高出 6.1%–51.0%。减少 20% 施氮量时，施用缓释尿素土壤的硝态氮含量比单施普通尿素 (80%N (RU)) 高出 8.8%–14.2%，80%N(75%CRU 25%RU) 处理土壤的硝态氮含量最大，为 20.97 毫克/千克，较 100% 推荐施氮量低了 5.19 毫克/千克，达显著差异水平 ($p < 0.05$)。

鄂尔多斯市收获后耕层土壤硝态氮含量和铵态氮含量基本相当，除各氮素处理与对照 (CK) 达显著差异水平外 ($p < 0.05$)，其它各处理间均未达显著差异水平。施氮肥处理土壤的硝态氮和铵态氮含量均高于 CK (不施氮)，分别高出 15.7%–46.5% 和 26.3%–43.0%，80%N (75%CRU : 25%RU) 处理其含量最高，分别为 2.71 毫克/千克和 2.95 毫克/千克。减少 20% 施氮量施用缓释尿素土壤的硝态氮含量比单施普通尿素 (80%N (RU)) 高出 13.5%–26.0%，80%N (75%CRU : 25%RU) 处理土壤的硝态氮含量最大，为 2.71 毫克/千克，较 100% 推荐施氮量高出 26.6%，但未达显著差异水平。

3 讨论

高产、高效、简化施肥是未来科学施肥的目标和方向，因地制宜开发与应作物专用缓/控释肥料是实现科学施肥的重要途径和措施，也是适应当前农村大量劳动力转移出农业生产领域的现实需要^[9]。本研究中心氮肥一次性基施，通过缓释尿素与普通尿素合理配比，实现减少 20% 施氮量和肥料高产、高效的目的，从而简化施肥，减少施肥量，降低种植成本。氮是三大营养元素中对玉米产量贡献最大的营养元素，施用氮肥使赤峰市和鄂尔多斯市的玉米分别增产 0.6–1.7 吨/公顷和 4.2–6.1 吨/公顷，平均增幅为 13.3% 和 157.2%。鄂尔多斯市施用氮肥玉米产量效应最大，这可能与两个试验地的土壤质地和基础地力有关 (赤峰市的试验地土壤为栗钙土，肥力中上等 (表 1)；而鄂尔多斯市试验园区土壤为潮土，肥力下等 (表 1))。近些年来，不同学者在不同质地土壤、基础肥力和作物上进行了大量的缓释肥料效果研究。如汪强等在砂壤质土壤上，进行了冬小麦缓释氮肥一次底施与等量速效氮肥分次施用的效果研究^[10]；李宗新等在玉米上，研究了缓控释氮肥一次施用的效果^[11]；卢艳丽等在粉砂质潮土上，比较了冬小麦–夏玉米轮作不同缓/控释氮肥一次施用与普通尿素分次施用的效果。结果均表明，采用缓/控释氮肥在作物产量或氮肥利用率方面可取得与速效氮肥分次施用接近或显著增加的效果^[12]。与本文研究结果一致，本文试验结果表明施用缓释尿素较普通尿素的氮素回收率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率平均提高 8.4–14.3、

表 8 玉米收获后耕层 (0-20cm) 土壤矿质氮含量 (毫克/千克)

处 理	赤峰市		鄂尔多斯市	
	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮
CK (不施氮)	17.32 ± 1.69d	3.09 ± 0.40a	1.85 ± 0.75b	2.28 ± 0.15b
100%N (RU)	26.16 ± 6.54a	3.72 ± 0.90a	2.14 ± 0.39a	2.99 ± 0.60a
80% N (RU)	18.37 ± 0.26c	5.25 ± 2.64a	2.15 ± 0.58a	3.26 ± 0.47a
80%N (75%CRU:25%RU)	20.97 ± 6.02b	3.1 ± 0.28a	2.71 ± 0.06a	2.95 ± 0.05a
80%N (60%CRU:40%RU)	20.39 ± 7.00b	3.11 ± 0.20a	2.46 ± 0.34a	2.88 ± 0.51a
80%N (45%CRU:55%RU)	19.98 ± 6.79b	3.36 ± 0.34a	2.61 ± 0.09a	3.00 ± 0.79a
80%N (30%CRU:70%RU)	20.59 ± 2.55b	3.62 ± 0.75a	2.44 ± 0.49a	3.15 ± 0.23a

4.5–11.0 和 35.7–61.7 百分点。与郭萍等^[13] 研究结果均认为普通尿素配比 75% 的缓释尿素时玉米的籽粒产量、秸秆产量和氮素吸收利用效果最好。缓释尿素占比 75% 时, 缓释尿素较普通尿素的玉米籽粒产量、氮素回收率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率, 赤峰市平均提高 13.3%、14.3%、4.5% 和 61.7%; 鄂尔多斯市平均提高 157.2%、8.4%、11.0% 和 35.7%。玉米的增产效果高于一些研究结果^[13,14], 这可能与试验地点、土壤质地和基础肥力等差异有关。

硝态氮进入植物体内转换为铵态氮才能参与氨基酸和蛋白质的合成, 而 GS-GOGA 吨 循环是作物体内铵态氮同化的主要途径, 是整个氮代谢的中心^[15–18]。因此玉米氮代谢的关键酶 GS、GOGAT 活性很大程度的影响氮素的吸收利用和氮素残留, 进而影响玉米产量。郭萍等^[13] 研究表明, 50% 和 75% 的缓释尿素比例前期叶片氮代谢酶活性高, 保证了氮素吸收和物质生产, 后期氮代谢酶活性较高促进了氮素的利用, 从而获得高产。至于本文中缓释尿素与普通尿素掺混是否通过影响氮代谢关键酶活性提高了玉米产量和氮素的吸收利用效果还需进一步研究。

玉米收获后的土壤无机氮残留表明(赤峰市试验), 掺混缓释尿素处理较普通尿素显著提高了土壤的硝态氮含量(提高了 10.9%–14.2%), 而铵态氮含量无显著差异。说明缓释尿素能够减缓硝态氮向铵态氮的转化速率, 延长了作物对养分吸收利用的有效期。

参考文献

- [1] 黄伟, 武向良. 内蒙古玉米产业发展思路和布局研究 [J]. 现代农业, 2010, 2(1):42–43.
- [2] 赵洪祥, 边少锋, 孙宁, 等. 氮肥运筹对玉米氮素动态变化和氮肥利用的影响 [J]. 玉米科学, 2012, 20(3):122–129.
- [3] 朱兆良. 中国土壤氮素研究 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5):778–783.
- [4] 司东霞, 崔振岭, 陈新平, 等. 不同控释氮肥对夏玉米同化物积累及氮平衡的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 25(6):1745–1751.
- [5] 冯爱青, 张民, 李成亮, 等. 控释氮肥对土壤酶活性与土壤养分利用的影响 [J]. 水土保持学报, 2014, 28(3):177–184.
- [6] 衣文平, 朱国梁, 武良, 等. 不同量的包膜控释尿素与普通尿素配施在夏玉米上的应用研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6):1497–1502.
- [7] 孙克刚, 李丙奇, 李潮海, 等. 树脂包膜尿素与普通尿素配施及树脂包膜 BB 肥在玉米上增产效果研究 [J]. 河南化工, 2010, 27(23):26–29.
- [8] 朱宝国, 于忠和, 贾会彬, 等. 控释尿素和普通尿素混施对玉米

4 结论

(1) 施用氮肥显著增加了玉米籽实和秸秆产量, 且鄂尔多斯市玉米增产效果更为显著。赤峰市和鄂尔多斯市玉米籽实产量平均增产 13.3% 和 157.2%, 秸秆产量平均增产 6.9% 和 64.2%。缓释尿素比例越大增产效果越显著, 缓释尿素比例在 30% 以上时, 可减少 20% 的施氮量, 同时保证与 100% 推荐施氮量无显著性的产量差异。

(2) 赤峰市和鄂尔多斯市玉米施肥过程中减少 20% 的施氮量同时配比 75% 的缓释尿素, 玉米籽粒氮含量、秸秆氮含量和积累量最大且与 100% 推荐施氮量无显著性差异。不同氮肥处理和试验区玉米籽粒氮含量、秸秆氮含量和积累量差异显著, 赤峰市平均是鄂尔多斯市的 1.3 倍、2.3 倍和 3.5 倍。

(3) 缓释尿素显著提高了玉米氮素养分吸收利用效率, 占比例 60% 以上时效果最佳, 缓释尿素较普通尿素的氮素回收率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率, 赤峰市平均提高 14.3、4.5 和 61.7 百分点; 鄂尔多斯市平均提高 8.4、11.0 和 35.7 百分点。

(4) 施用氮肥显著影响土壤中的硝态氮含量, 硝态氮含量的变化是引起土壤矿质氮含量差异的主要因素。

- 生理特性和品质的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2011, (7):42–44.
- [9] 王宜伦, 李朝海, 王瑾, 等. 缓 / 控释肥在玉米生产中的应用与展望. 中国农学通报, 2009, 25(24):254–257.
- [10] 汪强, 李双凌, 韩燕来, 等. 缓释肥对冬小麦增产与提高氮肥利用率的研究. 磷肥与复肥, 2006, 21(6):74–75.
- [11] 李宗新, 王庆成, 刘霞, 等. 控释肥对夏玉米的应用效应研究. 玉米科学, 2007, 15(6):89–92, 96.
- [12] 卢艳丽, 白由路, 王磊, 等. 华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1):209–215.
- [13] 郭萍, 朱从桦, 查丽, 等. 缓释尿素与普通尿素不同配比对玉米氮代谢酶和氮素利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016, 10(6):99–105.
- [14] 李伟, 李絮花, 李海燕, 等. 控释尿素与普通尿素混施对夏玉米产量和氮肥效率的影响 [J]. 作物学报, 2012, 38(4):699–706.
- [15] 孙永健, 孙园园, 李旭毅, 等. 水氮互作下水稻氮代谢关键酶活性与氮素利用的关系 [J]. 作物学报, 2009, 35(11):2055–2063.

控释尿素对云南旱地玉米产量和氮肥利用率的影响

尹梅¹ 王贵宝² 陈华¹ 陈检锋¹ 苏帆¹ 付利波¹ 王志远¹ 任石所² 张勤斌² 黄惠² 洪丽芳¹
(1. 云南省农业科学院 农业环境资源研究所, 云南 昆明, 650205; 2. 云南曲靖麒麟区土壤肥料工作站, 云南 曲靖, 655000)

摘要: 为研究控释尿素对云南旱区玉米产量和氮肥利用率的影响, 为该区玉米氮肥合理施用提供技术支撑。控释尿素田间试验于 2011–2012 年在云南省曲靖区开展。试验设不施氮肥为对照 (CK), 控释尿素 (CRU) 100%, 75%, 50% 和普通尿素 (RU), 普通尿素 100%, 75%, 50%, 普通尿素 + 控释尿素配施对玉米产量、农艺性状和氮肥利用率的影响。结果显示, 不同施肥处理对收获期玉米农艺性状影响差异显著; 2 年试验中均以 CK 玉米的农艺性状最差, 2011 年 100% 控释尿素处理 (CRU100%) 和 40% 普通尿素 + 60% 控释尿素作基肥处理 (RU40%+CRU60%T) 的玉米农艺性状较优, 2012 年 100% 控释尿素 (CRU100%) 和 75% 控释尿素处理 (CRU75%) 以及 RU40%+CRU60%T 处理玉米的农艺性状较优。2011 年, CRU100% 处理玉米产量最高, CK 产量最低; 2012 年, CRU75% 处理玉米产量最高, 其次为 CRU100% 和 RU40%+CRU60% 处理, CK 产量最低。当氮肥用量相同时, 所有 CRU 处理的氮肥利用率均高于 RU 处理。一次性施用普通尿素处理的氮肥利用率为 22.2%–33.5%, 一次性施用控释尿素的氮肥利用率在 32.7%–46.5%, 高于一次性施用普通尿素处理。当氮用量相同时, 所有 CRU 处理的氮肥农学效率均高于 RU 处理。RU 处理氮肥农学效率为 3.1–8.6 公斤/公斤; 一次性施用 CRU 处理的氮肥农学效率在 7.7–12.7 公斤/公斤, 均高于一次性施用 RU 的处理。普通尿素和控释尿素配施的玉米产量、农艺性状和氮肥利用率均高于普通尿素处理。普通尿素分次施用处理的玉米产量和氮肥利用率低于控释尿素处理或普通尿素和控释尿素配施的处理。云南旱区玉米种植中, 比常规施肥减少氮用量的控释肥使用可提高玉米产量和肥料利用率, 氮用量为 105.0–157.5 公斤/公顷的控释尿素处理是较佳处理。

关键词: 玉米; 控释尿素; 氮素利用率; 氮肥农学效率; 产量

云南农业以旱作农业为主, 玉米是云南省种植面积最大的作物。近年来为了追求高产, 种植玉米时存在不合理施肥现象, 其中氮肥施用量过大, 导致氮肥利用率下降, 氮肥流失严重, 对环境产生了不良影响^[1–3]。提高氮肥利用率, 以及减少氮肥流失对环境的不良影响, 保证玉米的品质和产量^[4–5], 这对云南省的玉米生产具有重要意义。

由于云南坡耕地面积广, 坡耕地土壤侵蚀严重, 季节性干旱特点明显, 种植玉米多在坡耕地上采用覆膜种植, 为玉米氮肥的追施带来困难, 加之雨季降水较多, 氮磷流失的风险较大^[6–8]。控释肥因具有施用简单省时省工, 可提高肥料利用率, 减少因肥料流失而造成的不良环境影响等诸多优点, 一直是新型肥料研究和开发的热点^[9–14]。本研究于 2011 年、2012 年在云南省旱地玉米主产区曲靖市连续 2 年开展大田试验, 分析控释尿素和普通尿素对收获期玉米农艺性状、产量、籽粒氮素积累量、营养器官氮素积累量、氮肥利用率及氮肥农学效率的影响, 为云南旱区

玉米生产合理施用氮肥提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 供试土壤

试验地选在云南省曲靖市麒麟区的山原红壤坡耕地上, 2011 年在越州镇, 海拔 1891 米; 2012 年在茨营镇, 海拔 1920 米。试验区气候属北亚热带季风气候, 年均气温 14.5℃, 年降水量 960–1200 毫米, 年平均日照为 2096 小时; 从玉米出苗到成熟期内, 试验地均温 19.4℃, 降水量 690 毫米, 年平均日照 677 小时。试验地典型的种植制度为玉米–麦类 (豆类)。

2 个试验地土壤肥力中上等, 试验地的土壤养分状况见表 1。

表 1 试验地的土壤养分状况

试验地点	pH	有机质	全 N	碱解 N	有效 P	速效 K
		(克/公斤)		(毫克/公斤)	(毫克/公斤)	(毫克/公斤)
越州镇	6.6	30.8	1.6	161.7	21.7	137.6
茨营镇	7.3	31.2	1.4	119.3	22.4	139.3

1.1.2 供试肥料

供试的控释尿素为加阳高科技公司的益多宝产品，氮含量为 43%，控释时间为 180 天。氮肥为氮含量 46% 的尿素，磷肥为含 12% P₂O₅ 的普钙，钾肥为含 60% K₂O 的 KCl。

1.2 试验设计

2011 和 2012 年的试验处理一致，试验设计见表 2。

2011 年大田试验中各处理的 P₂O₅ 和 K₂O 施肥用量分别为 68、63 公斤 / 公顷，2012 年大田试验中各处理的 P₂O₅ 和 K₂O 施肥量为 120、75 公斤 / 公顷，磷、钾肥均作为底肥一次性施用。2 年试验中各处理的氮肥用量和施用方式见表 2。2 年大田试验中，各个小区面积为 20 平方米，3 次重复，随机区组排列。

2011 年供试玉米品种为麒单 2 号，种植密度为 63,000 株 / 公顷，5 月 2 日播种，9 月 9 日收获。2012 年供试玉米品种为路单 12 号，种植密度为 60,000 株 / 公顷，4 月 21 日播种，9 月 15 日收获。麒单 2 号和路单 12 号均为该地适宜栽培品种，产量水平和潜力相近。2 组试验均为覆膜种植，播种后灌溉 1 次，其余时间均为自然降水。

1.3 测定项目与方法

玉米收获时，各个小区单独计产，记录各个小区的农艺性状和植株生物量，室内分析籽粒和植株的 N 含量。植株的干物质采用烘干 - 质量法。植株和玉米籽粒的 N 含量测定采用硫酸 - 过氧化氢消煮法 - 蒸馏法^[14]。根据获得的玉米产量和 N 含量，计算氮素总积累量（公斤 / 公顷）、氮肥利用率（%）和氮肥农学效率（公斤 / 公斤）。

氮素总积累量 = 玉米植株生物量 × 植株含氮量 + 玉米籽粒生物量 × 籽粒含氮量，

氮肥利用率 (NUE) = (施氮区玉米地上部吸氮量 - 对照区玉米地上部吸氮量) / 施氮量 × 100%，

氮肥农学效率 (AEN) = (施氮区玉米产量 - 对照区玉米产量) / 施氮量。

数据统计分析应用 EXCEL 2003 和 DPS v 7.05 软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对收获期玉米农艺性状的影响

不同施肥处理对收获期玉米农艺性状的影响见表 3。

表 2 云南旱地玉米的施肥设计方案 (公斤 / 公顷)

作物	处理	普通尿素		控释尿素	
		普通尿素	控释尿素	普通尿素	控释尿素
CK	不施氮肥	0	0	0	0
RU100%	100% 普通尿素作基肥	210	0	240	0
CRU100%	100% 控释尿素作基肥	0	210	0	240
RU40%B+RU60%T	普通尿素 40% 基肥 +60% 追肥	84(基)+126(追)		96(基)+144(追)	
RU40% + CRU60%	40% 普通尿素 +60% 控释尿素基肥	84	126	96	144
RU75%	75% 普通尿素基肥	157.5	0	180	0
CRU75%	75% 控释尿素基肥	0	157.5	0	180
RU50%	50% 普通尿素基肥	105	0	120	0
CRU50%	50% 控释尿素基肥	0	105	0	120

表 3 不同施肥处理对云南旱地玉米农艺性状的影响

处理	2011			2012		
	株高 (厘米)	穗粒数	千粒重 (克)	株高 (厘米)	穗粒数	千粒重 (克)
CK	240.9 b	675 b	238 c	254 c	582.0 d	247 d
RU100%	245.6 b	697 ab	242 bc	259 bc	660.0 abc	254 d
CRU100%	260.8 a	720 a	262 ab	271 bc	654.0 abc	300 b
RU40%B+RU60%T	257.8 a	714 a	253 abc	270 ab	717.0 a	258 d
RU40%+CRU60%	260.2 a	694 ab	267 a	271 ab	693.0 abc	275 c
RU75%	248.9 b	673 b	251 abc	264 abc	640.0 bcd	291 b
CRU75%	259.0 a	697 ab	262 ab	275 a	632.0 cd	314 a
RU50%	257.4 a	704 a	243 bc	267 abc	701.0 ab	253 d
CRU50%	258.7 a	694 ab	255 abc	268 abc	666.0 abc	284 c

注：同列数据后标不同小写字母者表示差异显著 (P<0.05)。下表同。

由表 3 可知, 2011 年, CK、RU100% 和 RU75% 处理的株高均显著低于其他处理, CRU100% 处理最高; 2012 年试验中, CK 处理株高最小, CRU75% 处理植株最高。2011 年试验中, CRU100%、RU40%B+RU60%T 和 RU50% 处理的穗粒数均较多, 而 CK 与 RU75% 处理的穗粒数均较少, 显著少于其他处理; 2012 年, CK 的穗粒数最少, RU40%B+RU60%T 处理穗粒数最多。2011 年试验中, 玉米千粒重以 RU40%+CRU60% 处理最高, 而 CK 最低; 2012 年试验中, CRU75% 处理的千粒重最高, CK、RU100%、RU40%+CRU60% 和 RU50% 处理的千粒重均较低。

综合来看, 2 年试验中均为 CK 玉米的农艺性状最差; 2011 年试验中 CRU100% 和 RU40%+CRU60%T 处理玉米的农艺性状较优, 2012 年 CRU75%、CRU100% 和 RU40%+CRU60%T 处理玉米的农艺性状较优。

2.2 不同施肥处理对玉米产量的影响

不同施肥处理对玉米产量的影响见表 4。

由表 4 可知, 2011 年 CRU100% 处理玉米产量最高,

比产量最低的 CK 高 26.3%, 比 RU100% 处理高 15.6%; 2012 年 CRU75% 处理产量最高, 其次为 CRU100% 和 RU40%+CRU60% 处理, CK 产量最低。2 年的试验结果都显示, 在一次性施用 N 肥的所有处理中, 当施用量相同时, 控释尿素处理的产量均高于普通尿素处理, 其中控释尿素用量最低的 CRU50% 处理产量比 RU100%、RU75% 和 RU50% 处理高; RU40%+CRU60% 处理的产量也高于分次施用尿素的 RU40% B+RU60% T 处理。

2.3 不同施肥处理对玉米氮素利用的影响

不同施肥处理对玉米氮素的利用的影响见表 5。

表 5 显示, 2011 年和 2012 年 CK 的氮素总积累量均最低。2011 年, CRU100%、RU40%+CRU60%、CRU75% 和 RU40% B+RU60%T 处理氮素总积累量均较高; 2012 年, CRU75%、CRU100% 和 RU40%+CRU60% 处理氮素总积累量均较高。

当氮用量相同时, 所有 CRU 处理的氮肥利用率均高于 RU 处理。一次性施用普通尿素处理的氮肥利用率为 22.2%–33.5%, 施用控释尿素的氮肥利用率在为 32.7%–

表 4 不同施肥处理对云南旱地玉米产量的影响

处理	2011			2012		
	产量 (公斤/公顷)	较 CK± (%)	较 RU100%± (%)	产量 (公斤/公顷)	较 CK± (%)	较 RU100%± (%)
CK	8 480 d	--	-8.4	8 480 e	--	-15.6
RU100%	9 262 bcd	9.2	--	10 047 d	18.5	--
CRU100%	10 710 a	26.3	15.6	11 687 ab	37.8	16.3
RU40%B+RU60%T	9 825 abc	15.9	6.1	11 305 abc	33.3	12.5
RU40%+CRU60%	10 401 ab	22.6	12.3	11 379 ab	34.2	13.3
RU75%	8 972 cd	5.8	-3.1	11 115 bc	31.1	10.6
CRU75%	10 094 abc	19.0	9.0	12 001 a	41.5	19.5
RU50%	9 357 bcd	10.3	1.0	10 570 cd	24.7	5.2
CRU50%	9 799 abc	15.5	5.8	11 153 bc	31.5	11.0

表 5 不同施肥处理对云南旱地玉米对氮素利用的影响

处理	2011				2012			
	施氮量 (公斤/公顷)	总吸氮量	NUE (%)	NAE (公斤/公斤)	施氮量 (公斤/公顷)	总吸氮量	NUE (%)	NAE (公斤/公斤)
CK	0	190.2 d	--	--	0	202.2 c	--	--
RU100%	210	245.6 ab	26.4	3.7	240	255.6 ab	22.2	6.5
CRU100%	210	268.3 a	37.5	10.6	240	280.8 a	32.7	7.7
RU40%B+RU60%T	210	255.2 a	31.0	6.4	240	275.2 ab	30.5	6.6
RU40%+CRU60%	210	261.2 a	33.8	9.2	240	277.8 ab	31.4	7.3
RU75%	157.5	235.3 b	28.6	3.1	180	262.5 ab	33.5	8.6
CRU75%	157.5	253.7 a	40.3	10.3	180	283.8 a	45.3	12.7
RU50%	105	223.2 bc	31.4	8.4	120	242.4 b	33.5	8.3
CRU50%	105	234.6 b	42.3	12.6	120	258.0 ab	46.5	12.3

46.5%，高于一次性施用普通尿素处理。所有处理中，氮肥利用率较高的处理分别是 CRU75%、CRU100%、CRU50% 和 RU40%+CRU60% 处理。2011 年试验中，CRU100% 处理氮肥利用率比 RU100% 处理提高了 42.0%，CRU75% 处理比 RU75% 处理提高了 40.9%，CRU50% 处理比 RU50% 处理提高了 34.7%；2012 年试验中，CRU100% 处理氮肥利用率比 RU100% 处理提高了 47.3%，CRU75% 处理比 RU75% 处理提高了 35.2%，CRU50% 处理比 RU50% 处理提高了 38.8%。

氮肥用量均为 210 公斤 / 公顷的 4 个处理中，CRU100% 处理氮肥利用率最高，其次为 RU 40%+CRU 60%。2011 年试验中，CRU100% 和 RU 40%+CRU 60% 处理氮肥利用率分别比 RU100% 处理提高了 42.0% 和 28.0%，也比 RU40% B+RU60% T 处理提高了 21.0% 和 9.0%。2012 年试验中，CRU100% 和 RU 40%+CRU 60% 处理氮肥利用率分别比一次底施 RU100% 处理提高了 47.3% 和 41.4%，也比 RU40% B+RU60% T 处理提高了 7.2% 和 3.0%。无论是 CRU 处理还是 RU 处理氮肥利用率都随着施肥量的降低总是呈升高的趋势。

由表 5 还可知，当氮用量相同时，所有 CRU 处理的氮肥农学效率均高于 RU 处理。一次性施用 RU 的处理中，氮肥农学效率为 3.1-8.6 公斤 / 公斤；一次性施用 CRU 处理的氮肥农学效率在 7.7-12.7 公斤 / 公斤，均高于一次性施用 RU 的处理。氮肥农学效率高的处理为 CRU50%、CRU100%、CRU75% 和 RU40%+CRU60%。2011 年试验中，氮用量为 210 公斤 / 公顷 4 个处理氮肥农学效率差异较大，最高的 CRU100% 处理比最低的 RU100% 处理高 6.9 公斤 / 公斤，RU40%+CRU60% 处理的氮肥农学效率比分次施用的 RU40% B+60% T 处理提高了 2.7 公斤 / 公斤。2012 年试验中氮用量为 210 公斤 / 公顷 4 个处理氮肥农学效率差异不大，这与 2012 年总施氮量高于 2011 年有关。

3 讨论与结论

合理施用氮肥是获得作物高产优质的重要因素之一，但目前在我国农业生产中普遍存在着氮肥施用不合理的问题，导致氮肥当季利用率较低，仅为 30%-35%^[15]。这不仅造成农业资源浪费、成本增加，同时对环境有不良影响^[16-17]。控释肥具有控制养分释放的特点，可以提高肥料利用效率，省时省工，减少对环境的不良影响^[10, 18-19]，该类肥料目前是国内外研究的热点^[20]。

本研究中，施用控释尿素的玉米产量比施用普通尿素的玉米产量有明显提高，当施氮量相同时，可增产 4.7%-16.3%，这与前人研究的控释氮肥对玉米具有增产效果的结果一致^[21-22]。在施氮量相同的前提下，控释尿素处理的玉米农艺性状、产量、氮素积累量、氮肥利用率和氮肥农学效率均优于普通尿素处理。有研究表明^[10]，控释肥能增加玉米产量，是由于控释肥可显著提高植株花后的氮素积累，能保持较高的光合速率和干物质积累，保证籽粒对营养物质的需求，增加千粒质量的优势较大，本研究也有类似的结果。

本研究中，2011 年 3 个单施控释尿素的处理中，随控释尿素用量的增加，玉米产量呈依次提高的趋势，100% 控释尿素 (CRU100%) 处理的玉米产量最高，氮肥利用率和氮素农学效率是 50% 控释尿素 (CRU50%) 处理最高；2012 年 75% 控释尿素 (CRU75%) 处理的玉米产量和氮素农学效率最高，50% 控释尿素 (CRU50%) 处理的氮肥利用率最高。前人对控释肥在不同环境下最佳用量进行了研究，有研究者建议控释肥用量减量 25% 效果较佳^[7]，也有研究者认为控释肥料用量为常规肥料用量的 2/3 为适宜^[22]。本研究中，在试验当地的条件下，控释尿素的使用量为普通尿素的 50%-75% 较为高效和经济。

有研究认为^[22]，控释肥料在前期释放缓慢，不能满足作物生长的需要，控释尿素和普通尿素共同施用，既可满足作物前期对氮素的需求，又利用控释尿素的缓释性来满足作物中后期对氮素的需要。本研究中，2011 年试验中，RU40%+CRU60% 处理玉米产量仅次于 100%CRU 处理，氮肥利用率和氮肥农学效率均比单用普通尿素的处理高，说明其也是较优的处理；2012 年 RU40%+CRU60% 处理产量较高，但氮肥利用率和氮素的农学效率并不高，这与 2012 年试验总施氮量高有关。

本研究中，分批施用普通尿素的 RU40% B+RU60% T 处理也是当地农户的施肥习惯，其玉米产量低于 100% 控释尿素处理或控释尿素加普通尿素的处理 (RU 40%+CRU 60%)，其氮肥利用率和氮肥农学效率均低于施用控释尿素的处理。云南玉米的种植主要为覆膜种植，农户在追施尿素的时候难操作，常常是撒在靠近根茎部的膜上，造成养分的浪费，这样的操作费时费力；同时，由于云南的降水特点为在玉米生长中后期，即追肥期，常常有大暴雨，很容易造成追施肥料的流失，增加环境污染的风险。

一般而言，控释尿素的价格高于普通尿素，但控释尿素施用量仅为普通尿素的 50%-75%，这就降低了成本，

施用控释尿素的玉米产量有所提高,增加了产值,同时,施用控释尿素免去了为玉米追肥这一工序,解决了现今农村劳动力短缺的问题。本研究结果表明,施用控释尿素可使玉米增产,提高肥料利用率,减少养分的损失,降低对环境的不良影响,减少玉米生长期追施氮肥的劳动力,提

高了经济效益、社会效益和生态效益,在玉米大田生产中具有推广应用价值。不同的控释尿素具有不同的特点,要发挥其最好的效益,需要确定合适的量和方式。在本研究条件下,控释尿素的用量为普通尿素的50%–75%或控释尿素与普通尿素共同施用是产投比较优的处理。

参考文献

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):778–782.
- [2] 朱兆良, David Norse, 孙波. 中国农业面源污染控制对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [3] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报, 2007, 24(6):687–694.
- [4] 王空军, 张吉旺, 郭玉秋, 等. 我国北方玉米品种个体产量潜力与氮利用效率研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 879–894.
- [5] 赵斌, 董树亭, 张吉旺, 等. 控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1760–1768.
- [6] 付斌. 不同农作处理对坡耕地水土流失和养分流失的影响研究: 以云南红壤为例[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [7] 朱晓柯. 云南省坡耕地现状与防治策略[J]. 中国水土保持, 2008 (4):11–13.
- [8] 孙启铭. 坡耕地综合治理[J]. 云南农业, 2006(1):15.
- [9] 刘宁, 孙振涛, 韩晓日, 等. 缓/控释肥料的研究进展及存在问题[J]. 土壤通报, 2010, 41(4):1005–1009.
- [10] 赵先贵, 肖玲. 控释肥料的研究进展[J]. 中国农业生态学报, 2002, 10(3):95–97.
- [11] 李方敏, 樊小林, 王浩. 混料设计法在控释肥配比中的应用研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(7): 125–130.
- [12] 曹明, 宋媛媛, 樊小林. 控释氮钾比例对香蕉产量及氮磷钾肥料利用率的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(11): 35–41.
- [13] 刘延涛, 樊小林, 王南南, 等. 控释配方肥中不同控释养分比例对香蕉产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(8): 165–177.
- [14] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [15] 李庆奎, 朱兆良, 于天良. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998:1–5.
- [16] 田玉华, 尹斌, 贺发云, 等. 太湖地区稻季的氮素径流损失研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(6):1070–1075.
- [17] 廖宗文, 杜建军, 宋波, 等. 肥料养分控释的技术、机理和质量评价[J]. 土壤通报, 2003, 34(2):106–110.
- [18] 樊小林, 刘芳, 廖照源, 等. 我国控释肥料研究的现状和展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2):463–473.
- [19] 徐明岗, 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[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5):1010–1015.
- [20] 赵秉强, 张福锁, 廖宗文, 等. 我国新型肥料发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5):536–545.
- [21] 朱红英, 董树亭, 胡昌浩, 等. 不同控释肥用量对玉米生产效应的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(2): 114–116.
- [22] 曹兵, 李亚星, 徐凯, 等. 不同释放期的包膜尿素在夏玉米上的应用效果研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(3):621–624.

控释尿素的发展与在我国农业生产中的应用前景

氮是植物生命活动中最重要和需求量最大的营养元素，均衡氮素供应与作物优质高产息息相关。因此，化学氮肥成为全球农业生产中投入量最大的肥料品种。化学氮肥的活性非常高，它在土壤和水体中经微生物作用或因土壤理化特性差异而发生一系列化学反应——转化其形态，加速植物吸收或向环境中流失。例如，当铵态氮肥施于土壤表面时，就会产生氨挥发，降低肥效，特别是在碱性土壤上。酰胺态氮肥（尿素）施入土壤后，经微生物作用转化为铵态氮，然后经硝化作用氧化为硝态氮。在铵态氮的硝化作用过程中，会产生氧化亚氮（ N_2O ，一种温室气体）而逸入大气。在旱作条件下土壤中的硝态氮或施入土壤中的硝态氮肥，因具有不被土壤胶体吸附的特点易被雨水或灌溉水淋洗进入水体，恶化水质，造成水体富营养化；在渍水条件下易被还原成氧化亚氮或氮气，进入大气。所有因施肥不当和自然原因造成的氮素流失，无论是进入水体还是逸入大气，都会给生态环境和人类健康带来危害，并导致氮肥利用率低下。

半个多世纪以来，全球的科学家都在一直致力于研发氮肥新品种和氮肥施用新技术，攻克减少氮素损失的难题，以提高氮肥利用率，增加作物产量、品质和保护生态环境。自上世纪 60 年代以来，已先后研发出一系列缓/控释尿素产品包括硫包膜尿素，聚合物包膜尿素、涂层尿素、尿醛类；以及抑制酰胺态氮肥和铵态氮肥在土壤中转化的微生物抑制剂包括各种脲酶抑制剂和硝化抑制剂。尽管这些产品在不同年代都有所应用，但到目前为止应用最为广泛的还是聚合物包膜控释尿素，其次为脲酶抑制剂和硝化抑制剂。与此同时，还研究提出了多种提高肥料利用率的施肥新技术，它们各自适应于不同作物品种、土壤类型、耕作方式和气候条件等，其中最具代表性的是国际植物营养研究所等机构总结提出的“4R 养分管理”策略，即把正确的肥料品种，以正确的用量在正确的时候施用在正确的位置。

为了探讨聚合物包膜控释尿素在我国大田作物上的应用效果和施用技术，在国际植物营养研究所中国项目部的支持下，从 2008 年起我国先后有 15 个省、市、区（黑龙江、吉林、河北、内蒙、安徽、湖北、上海、江西、浙江、湖北、四川、重庆、云南、广东和广西）的相关科研院、校在 6 种农作物（水稻、玉米、马铃薯、棉花、香蕉和甘蔗）上开展了控释尿素的试验示范，取得了可喜的进展，为今后控释尿素在我国大面积农田作物上的推广应用积累了宝贵的经验和实用技术。研究表明，施用等氮量的控释尿素比普通尿素增产稻谷 8.5%–17.4%，玉米 3.0%–6.6%，马铃薯 4.0%–9.1%，棉花 7.5%–9.1%，甘蔗 3.0%–5.3% 和香蕉 6.8%–9.8%；减少棉花和甘蔗追肥次数 1 次、水稻、玉米和马铃薯追肥次数 1–2 次以及香蕉追肥次数 4 次；减少除棉花外其它作物测土推荐施氮量的 15%–25%；提高氮肥利用率 5–40 个百分点；并不同程度地增加种植者收入。

由于控释尿素比普通尿素具有诸多优越性，它无疑将会在我国今后的农业生产中和生态建设上得到更加广泛的应用，在我国化肥零增长的行动中发挥重大作用。当然，与其它肥料产品一样，控释尿素也必须遵循“4R 养分管理”策略才能充分发挥其应有作用。因此，它必须施入土层中，其使用前提是土壤必须含有充足的水分，即要么作物生长季节有充足的降水，要么有灌溉条件，才能保障控释尿素中的氮能够通过包膜扩散出来，供作物及时和持续吸收利用；在干旱地区或没有灌溉保证的条件下，则不适合施用控释尿素；对于生育期特短、与控释尿素中氮素释放时间不吻合的作物，也要慎用。随着今后研究的进一步深入，一定会有更多的氮肥新产品和新技术涌现出来，并不断丰富氮肥高效利用的理论和实践。

涂仕华 何萍