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为 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（克 / 公斤）	全 N（克 / 公斤）	碱解 N（毫克 / 公斤）	有效 P（毫克 / 公斤）	速效 K（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% P_2O_5 的普钙，钾肥为含 60% K_2O 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 P_2O_5 和 K_2O 施肥用量分别为 68、63 公斤 / 公顷，2012 年大田试验中各处理的 P_2O_5 和 K_2O 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
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)	0	96(基)+144(追)	0
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 产量（公斤/公顷）	2011 较 CK ±（%）	2011 较 RU100% ±（%）	2012 产量（公斤/公顷）	2012 较 CK ±（%）	2012 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	1 0 570 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 施氮量（公斤 / 公顷）	2011 总吸氮量（公斤 / 公顷）	2011 NUE（%）	2011 NAE（公斤 / 公斤）	2012 施氮量（公斤 / 公顷）	2012 总吸氮量（公斤 / 公顷）	2012 NUE（%）	2012 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] 劳家柽．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.