

# 甘蔗施用控释尿素的减肥潜力研究

周柳强 黄金生 曾艳 区惠平 朱晓辉 谭宏伟\*

(广西农科院农业资源与环境研究所)

**摘要:** 为探索甘蔗施用控释尿素的减肥效果,在广西两个主要甘蔗种植区分别连续两年开展了新植蔗和宿根蔗施用控释尿素与普通尿素的肥效对比、控释尿素减量 20–30% 的 N 量对甘蔗产量影响的田间试验。结果表明,不同试验地点间的差异不大,年度间差异明显;甘蔗施用控释尿素比施用普通尿素产量提高 2.50–8.20%, N 肥利用率明显提高,并持续影响宿根蔗的产量形成;累积的土壤氮素增产效应明显,年平均 N 肥利用率提高 3.6% (绝对值);应用控释尿素减量施用与产量、产值的直线效应方程推算,在产量相等的情况下,控释尿素可以减少 N 肥用量 13.4–18.8% (平均 15.5%);在产值相等的情况下,控释尿素可以减少 N 肥用量 13.3–15.2% (平均 14.4%);若在广西蔗区全部推广施用控释尿素,每年大约可以减少施用化学氮肥 3.4 万吨以上,减少 N 流失 2.3 万吨左右,这对广西实施化肥减施的成效及降低甘蔗种植区的 N 素面源污染均具有重要意义。

**关键词:** 甘蔗;控释尿素;氮肥利用率;减肥

甘蔗是广西主要经济作物,常年种植在 107 万公顷左右<sup>[1]</sup>,施肥量高低直接影响甘蔗的产量及农民的收益,甘蔗的需肥走向可以影响广西化肥市场的价格及品种的波动<sup>[2]</sup>,但普通化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<sup>[3, 5]</sup>。甘蔗生育期长,在低劳动力价格的条件下精耕细作,一季需要施用 3–4 次肥才能满足甘蔗生长对养分的需求<sup>[2, 4]</sup>。但近年来随着劳动力价格的不断提高,减少施肥次数甚至一次性施肥已成为甘蔗种植大户的选项<sup>[3]</sup>。为了保证甘蔗获得高产,施肥量往往比小农种植的少量多次管理要高许多,也导致氮肥利用效率的不断降低,加大了甘蔗种植环境的面源污染治理的压力<sup>[5]</sup>。甘蔗是广西实施 2020 年化肥用量零增长目标的重要管理的作物之一。控释肥料养分释放缓慢,释放期较长,一次施肥甚至能满足作物的整个生长期所需的养分供给<sup>[8,12]</sup>,这是群众接受控释肥料的理论基础。但农民在选用控释肥料时,对控释肥料的减肥效益及其施用技术不甚了解<sup>[6,7]</sup>,往往还是根据经验采用普通肥料的施用量。虽

然过去已有一些控释肥料的试验研究,但大多集中在肥效及 N 肥利用率方面<sup>[8–13]</sup>,对施用控释尿素后的减肥潜力涉及不多。为了探索甘蔗用控释尿素替代普通尿素后的减肥潜力及其 N 素的综合利用效益,2013–2015 年,我们在广西主要甘蔗种植区的武鸣县和兴宾区布置了两个试验点,每个试验点连续两年定点观测,通过研究甘蔗对控释尿素减肥的响应关系,以普通尿素为参比对照,推测控释尿素的减肥潜力,为甘蔗合理施用控释尿素、控释尿素在减量施肥方面的潜力预测提供科学依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验地点、供试土壤及种植管理情况

试验设在广西南宁市武鸣县锣圩镇、来宾市兴宾区桥巩乡,供试土壤的理化性状见表 1。

两个试验点供试土壤的有机质及速效氮含量均偏低,兴宾的土壤有效钾含量也偏低,土壤肥力状况与广西甘蔗

表 1 供试土壤理化性状

地点	土种	pH	有机质	速效氮	速效磷	速效钾
			(克/公斤)		(毫克/公斤)	
武鸣	赤红土(砂页岩)	5.8	13.22	70	31	138
兴宾	红泥土(硅质岩)	5.65	8.78	68	15	68

基金项目:广西农科院基金(2015YT30、2015YT38、2015JM06)、广西自然科学基金 2014GXNSFBA118088、IPNI。

作者简介:周柳强(1964–),男,研究员,研究方向:作物营养与生态环境。E-mail: lqzhou@gxaas.net

通讯作者:谭宏伟(1961–),男,研究员,主要从事植物营养与生态环境研究。E-mail: hwtan@public.nn.gx.cn

种植土壤肥力状况基本相当。武鸣试验点于 2013 年 3 月 20 日播种, 2013 年 11 月 19 日收获, 2014 年在原小区基础上, 进行宿根蔗的田间试验, 2014 年 12 月 21 日收获; 兴宾试验点于 2014 年 2 月 24 日播种, 2014 年 12 月 23 日收获, 2015 年在原小区基础上, 进行宿根蔗的田间试验, 2015 年 12 月 12 日收获。两地的供试甘蔗品种均为新台糖 22 号。

### 1.2 供试肥料与分配

控释尿素 (含 N 44%) 由加拿大加阳有限公司 (Agrium Inc.) 提供, 其他肥料在当地市场购买, 普通尿素 (含 N 46%), 氯化钾 (含 K<sub>2</sub>O 60%), 钙镁磷肥 (含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 18%)。磷肥 100% 做基肥施用, 钾肥 40% 做基肥, 60% 做追肥, 氮肥分别在苗期 (占 30%)、伸长期 (占 70%) 施用。

### 1.3 试验处理设计

试验在等 P、K 养分基础设计了 5 个处理。不施氮肥 (CK)、普通尿素 100% (100% RU)、控释尿素 100% (100% CRU)、控释尿素 80% (80% CRU)、控释尿素 70% (70% CRU), 每造甘蔗的年施肥量均为 330-150-375 公斤 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/公顷。

试验小区面积武鸣是 30 平方米、兴宾是 40 平方米, 随机区组排列, 3 次重复。

### 1.4 数据处理

分小区验收原料茎、秸秆 (蔗叶 + 梢尾) 产量, 求出原料蔗产量、秸秆产量。

甘蔗收获前, 每处理采集有代表性甘蔗 30 株 (3 重复), 分原料茎、秸秆两部分制样测试 N 养分含量 (克/公斤), 并求算甘蔗的养分吸收状况。

试验数据采用 EXCEL 整理、DPS 统计, 采用多重比较 (LSD 法) 进行差异显著性检验。

计算公式为:

控释尿素的减肥潜力 (%) = 100% - 根据控释尿素的

减施处理 (0、70%、80%、100%) 推算的线性方程求出与普通尿素甘蔗产量相等的相对 N 素用量 (%)。

$$N \text{ 素的农学效益 (公斤/公斤 N)} = (\text{施 N 处理的甘蔗产量 (公斤/公顷)} - \text{不施 N 处理的甘蔗产量 (公斤/公顷)}) / \text{施 N 量 (公斤/公顷)}$$

$$\text{尿素的农学效益 (公斤/公斤 N)} = (\text{施 N 处理的甘蔗产量 (公斤/公顷)} - \text{不施 N 处理的甘蔗产量 (公斤/公顷)}) / \text{施尿素量 (公斤/公顷)}$$

$$\text{甘蔗的吸 N 量 (公斤/公顷)} = (\text{原料茎产量 (公斤/公顷)} \times \text{原料茎干物质含量 (\%)} \times \text{原料茎含 N 量 (克/公斤)} + \text{秸秆产量 (公斤/公顷)} \times \text{秸秆干物质含量 (\%)} \times \text{秸秆含 N 量 (克/公斤)}) / 10^6$$

$$\text{每生产 1000 公斤原料蔗需要吸收的 N (公斤)} = \text{甘蔗的吸 N 量 (公斤/公顷)} / (\text{原料茎产量 (公斤/公顷)} / 1000)$$

$$N \text{ 肥利用率} = ((\text{施 N 肥处理的甘蔗吸 N 量 (公斤/公顷)} - \text{不施 N 处理甘蔗吸 N 量 (公斤/公顷)}) / \text{施 N 量 (公斤/公顷)}) \times 100\%$$

$$N \text{ 生理利用效率 (公斤/公斤 N)} = (\text{施 N 处理的甘蔗产量 (公斤/公顷)} - \text{不施 N 处理的甘蔗产量 (公斤/公顷)}) / (\text{施 N 肥处理的甘蔗吸 N 量 (公斤/公顷)} - \text{不施 N 处理甘蔗吸 N 量 (公斤/公顷)})$$

## 2. 试验结果与分析

### 2.1 甘蔗应用控释尿素效果及其减肥潜力

由表 2 得出, 在等 N 量的条件下, 甘蔗施用控释尿素比普通尿素处理的产量明显提高了 2.50-8.20%, 平均增产原料蔗 5816 公斤/公顷、提高 5.2%; 每公斤 N 增产原料蔗 17.6 公斤、提高 11.5%, 每公斤尿素增产原料蔗增加 4.7 公斤、提高 6.7%; 武鸣、兴宾两试验点的新植蔗 (分别于 2013 年、2014 年播种) 控释尿素增产效果分别为 2.95%、2.50%, 而宿根蔗控释尿素增产效果分别为 6.60%、8.20%, 宿根蔗的增产效益明显高于新植蔗, 说

表 2 不同处理甘蔗产量及 N 肥农学效率

处理	不同试验点甘蔗产量 (公斤/公顷)					N 肥农学效率 (公斤/公斤)
	武鸣 2013	武鸣 2014	兴宾 2014	兴宾 2015	4 点平均	
CK	48919 dD	75337 cB	57336 cB	62437 cC	61007 cC	
100%RU	99005 bB	136340 abA	103422 abA	106972 abAB	111435 abAB	152.9 cC
100%CRU	101922 aA	145341 aA	106005 aA	115748 aA	117254 aA	170.4 bBC
80%CRU	97338 bB	138118 abA	103505 abA	104219 bAB	110795 bAB	188.6 aAB
70%CRU	93922 cC	132229 bB	99088 bA	98344 bB	105896 bB	194.3 aA

明在相同施肥管理条件下,用控释尿素替代普通尿素,N肥的增产效益明显提高,而且可以持续影响宿根蔗的产量形成,累积的增产效应明显。

控释尿素减少20%的施用量,甘蔗明显减产2.36–9.96%,平均减产原料蔗6459公斤/公顷,减产5.5%;控释尿素减少30%的施用量,甘蔗亦明显减产6.52–15.04%,平均减产原料蔗11358公斤/公顷,减产9.7%,说明减少控释尿素的施用量对甘蔗产量有明显的影 响。在本试验设计范围内,甘蔗产量与控释尿素施用量基本呈线性关系为:武鸣(2013) $y=559.02x+50586$ , $R^2=0.975$ ;武鸣(2014) $y=731.36x+77046$ , $R^2=0.9842$ ;兴宾(2014) $y=519.15x+59037$ , $R^2=0.9685$ ;兴宾(2015) $y=528.57x+62151$ , $R^2=0.9992$ ;两年四点平均 $y=76.924x+8013.2$ , $R^2=0.9864$ ,式中 $y$ 为产量, $x$ 为相对施氮量。用回归直线方程推算,每年两个试验点不同处理控释尿素的平均减肥潜力分别为14.5%,15.2%,13.4%,18.9%和15.5%。换句话说,施用81.1–86.6%N控释尿素可以获得100%N普通尿素的相等产量,或施用控释尿素比普通尿素可以减少施用13.4–18.8%(平均15.5%)的N肥用量。

两个试验点四造的试验汇总统计结果表明(表3),试验年份、处理、



年份与地点之间的交互作用的差异均达到极显著水平,而地点、地点与处理、地点与年份的交互作用不明显,说明本试验处理间影响甘蔗产量的差异是稳定的、甘蔗产量结果差异还受到年际间气候条件的影响,而供试土壤条件的差异对甘蔗产量结果的差异影响并不明显,本试验结果可在广西主要典型蔗区推广。

## 2.2 甘蔗施用控释尿素的N素利用状况

四造甘蔗植株采样测试结果表明,在施N量相同的情况下,原料茎及秸秆的含N量、年平均吸N量、平均每生产1000公斤原料蔗需要吸收的N量均有所提高,但统计差异均达不到显著水平;由于施用控释尿素比施用普通尿素能明显提高甘蔗产量,N肥利用率明显提高了3.6%(绝对值)、N的农学效率(表2)及生理利用效率(表4)亦获得明显提高,甘蔗吸收的N可增加甘蔗产量,控释尿素比普通尿素增加61.3公斤/公斤N,提高12.1%,说明施用控释尿素,甘蔗茎及秸秆的N含量与普通尿素无明显差异,但促进了甘蔗吸收N后的对产量形成效果,因而产量获得明显提

表3 两个试验点四造甘蔗试验产量的方差统计表

变异来源	SS	df	MS	F	Prob.
点内年内区组间	139494730	8	17436841		
年份间	6280565357	1	6280565357	380.87	0.0001
地点间	1861315764	1	1861315764	0.44	0.6271
处理间	25104112165	4	6276028041	133.97	0.0002
地点×年份	4228360022	1	4228360022	256.42	0.0001
处理×年份	187382013	4	46845503	2.84	0.0402
地点×处理	304121660	4	76030415	1.82	0.2875
地点×处理×年份	166823618	4	41705905	2.53	0.0597
误差	527675189	32	16489850		
总和	38799850519	59			

表4 不同施肥处理的N素利用状况

处理	蔗茎 N 含量	秸秆 N 含量	吸 N 量	N 总吸收量中肥	生产 1t 原料蔗的	N 肥利用率	N 生理利用效率
	(克 / 公斤)		(公斤 / 公顷)	料 N 比例 (%)	需 N 量 (公斤)	(%)	(公斤 / 公斤 N)
CK	3.41 cB	8.01 bB	87.1 dC	--	1.43 bB	--	--
100%RU	3.94 abA	8.76 aA	177.2 abAB	50.7 bAB	1.60 aA	27.3 bB	506.3 bB
100%CRU	3.99 aA	8.82 aA	189.0 aA	53.8 aA	1.63 aA	30.9 aAB	567.6 aAB
80%CRU	3.88 abA	8.61 aA	171.3 bcAB	48.7 bBC	1.56 aAB	31.9 aA	629.9 aA
70%CRU	3.73 bAB	8.49 aAB	161.1 cB	45.7 cC	1.53 abAB	32.1 aA	636.8 aA
平均	3.79	8.54	157.2	49.7	1.55	30.5	585.1

高; N 肥利用率的提高, 相应残留在土壤中的肥料 N 就减少, 同时降低了施用氮肥对甘蔗种植环境的影响。

控释尿素减少 20–30% 的施用量, 原料茎及秸秆的 N 含量、每生产 1000 公斤原料茎需要吸收的 N 量均有所降低, 但 N 肥利用率及其生理利用效率均有所提高, N 的农学效率则明显提高, 这进一步说明在供 N 量低的情况下, 控释尿素持续提供的 N 能有效应用到甘蔗产量的形成, 从而提高了 N 素的利用效果。

### 2.3 甘蔗施用控释尿素的经济可行性及减肥潜力

四造汇总结果表明, 甘蔗施用控释尿素的平均每造的产值显著比施用普通尿素的平均每造产值高 2482.71 元 / 公顷, 提高 5.67%, 但由于两个试验合计持续 3 年, 甘蔗的收购价年度间不一致, 平均产值受甘蔗收购价的影响, 为准确推算施用控释尿素的经济效益, 我们用当造试验的 CK 处理的产值作为对照产值 (100%), 统计各施肥处理的相对产值的差异, 用相对 100% RU 处理的 N 肥单位施用效益来表达各施肥处理的 N 肥施用效益的差异。

从表 5 可看出, 在施 N 量相等的条件下, 甘蔗施用控释尿素获得的增产值比施用普通尿素获得的增产值均有所提高, 其中兴宾试验点的增收效果明显高于武鸣试验点, 四造平均增收效果为 9.5%; 施用 1 公斤 N 的控释尿素获得的增产值比施用 1 公斤 N 的普通尿素获得的增产值显著提高了 11.5%, 同样, 施用 1 公斤实物的控释尿素获得

的增产值比施用 1 公斤实物的普通尿素获得的增产值亦提高 4.7%, 从纯养分分析, 控释尿素的 N 销售单价不高于普通尿素的 11.5%, 施用控释尿素是有利润空间的。从实物施用量分析, 甘蔗施用控释尿素可以比施用普通尿素获得的产值高 9.5%, 控释尿素的销售单价不高于普通尿素的 4.7%, 施用控释尿素能够产生利润。

控释尿素减少 20–30% 的施用量, 甘蔗的总产值均明显下降, 但单位 N 及实物尿素) 的增产值则明显提高, 每公斤 N 的增产值, 减施 20%N 处理的增产值提高 7.5% (绝对值, 下同)、减施 30%N 处理的增产值提高 15%, 每公斤实物尿素的增产值, 减施 20%N 处理的增产值提高 12.5%、减施 30%N 处理的增产值提高 17.6%。

根据两年四造的试验结果获得相对于 CK 处理的产值与相对施 N 量的相关直线方程: 武鸣 (2013)  $y = 0.846x + 99.54$ ,  $R^2 = 0.999$ ; 武鸣 (2014)  $y = 0.767x + 99.31$ ,  $R^2 = 0.997$ ; 兴宾 (2014)  $y = 0.905x + 102.9$ ,  $R^2 = 0.968$ ; 兴宾 (2015)  $y = 1.142x + 103.4$ ,  $R^2 = 0.975$ ; 两年四点平均  $y = 0.915x + 101.3$ ,  $R^2 = 0.994$ , 式中 y 为产量, x 为相对施氮量。据此推算, 与获得施用普通尿素甘蔗产值相当的控释尿素 N 施用量为 84.85–86.68% (平均 85.6%) 的 N。从甘蔗相等产值考虑, 施用控释尿素可以比普通尿素减少 13.3–15.2% (平均 14.4%) 的 N 肥施用量。

表5 甘蔗施用控释尿素的经济可行性分析

处理	相对产值 (%)							与 100%RU 相比 每公斤 N 增产 (%)
	平均年产值 (元 / 公顷)	相对于 CK 产值 (%)	武鸣 2013	武鸣 2014	兴宾 2014	兴宾 2015	4 点平均	
CK	24608.55 dD	100.0 cC	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0 cC	
100%RU	43754.54 bAB	179.3 abAB	180.4	202.4	171.3	164.4	179.6 abAB	100.0 cC
100%CRU	46236.81 aA	189.0 aA	184.9	208.3	185.4	177.9	189.1 aA	111.5 bBC
80%CRU	42981.61 bBC	176.8 bAB	180.5	199.0	166.9	160.2	176.7 bAB	123.0 aAB
70%CRU	40910.79 cC	168.5 bB	100.0	100.0	100.0	100.0	168.4 bB	126.5 aA

### 3. 讨论与小结

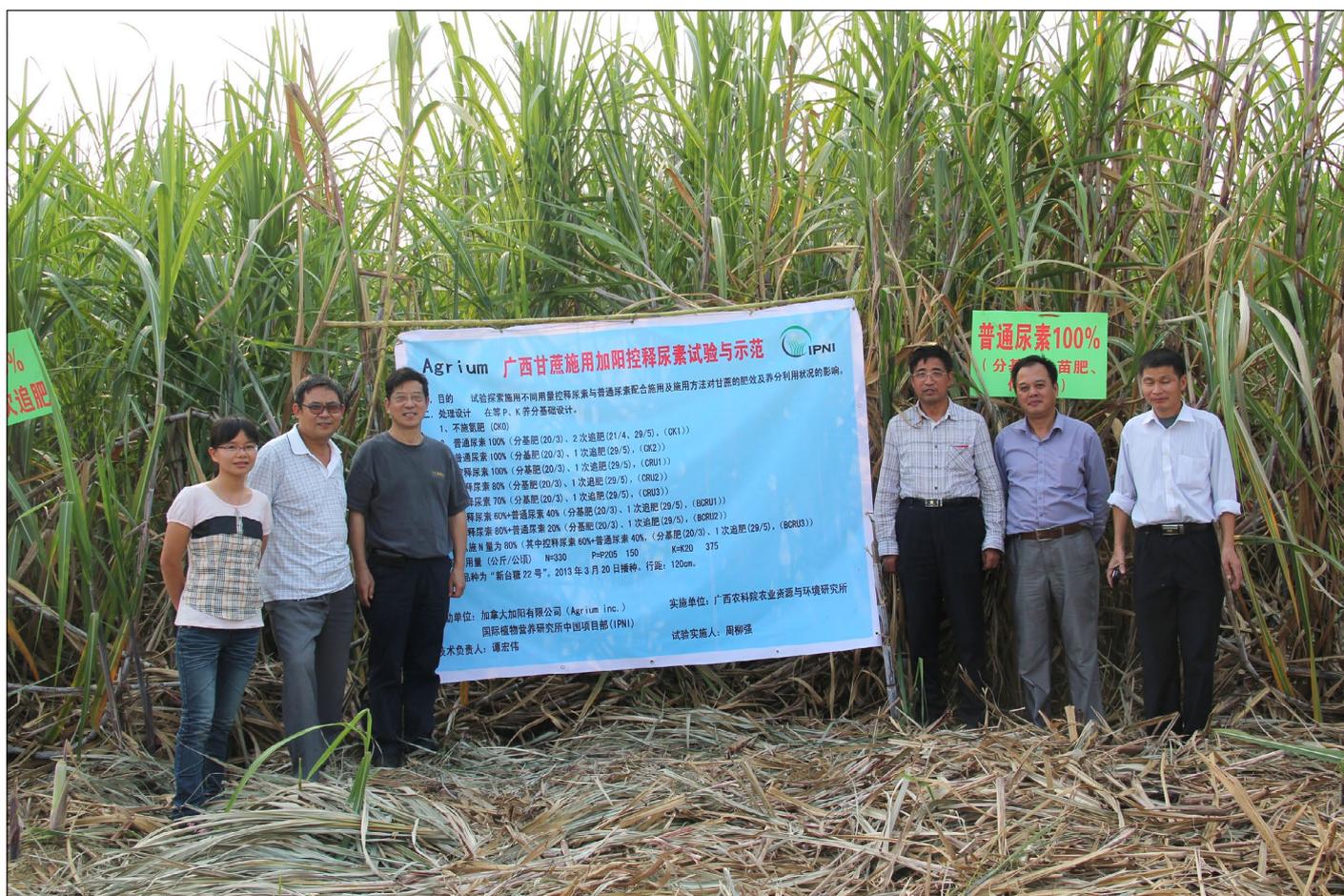
3.1 在相同施肥管理条件下，用控释尿素替代普通尿素，N 肥的增产效益明显提高，这与前人的研究结果基本一致<sup>[8-13]</sup>。但甘蔗是多年生作物，播种一次，可以连续多年采收，宿根蔗的出苗及产量状况是甘蔗品种特性的重要评价指标<sup>[2]</sup>。本试验两个试验点的结果均显示，控释尿素比普通尿素的增产效果，宿根蔗普遍高于新植蔗，说明控释尿素的肥效可以持续影响宿根蔗的产量形成，累积的增产效应明显，从而也提高了宿根蔗的 N 肥利用率。

3.2 在施肥量基本合理和甘蔗产量相同的情况下，控释尿素比普通尿素可以减少 13.4–18.8%（平均 15.5%）的 N 肥施用量；施用控释尿素比普通尿素增产，控释尿素减量施用，作物产量明显降低，就可以推算控释尿素代替普通尿素的减肥潜力，这是本文在化肥减施技术的一种理论探索，希望能获得更多专家的共鸣参与和完善。

3.3 不同厂家的控释尿素的 N 养分含量及其销售价格

均有所不同，推广使用控释尿素如何保证获得较好的收益，价格是农民主要关心的问题，也是企业制定产品开发战略需要考虑的重要因素，本试验从产量及 N 肥利用率角度来对比控释尿素与普通尿素经济效益，从 N 素的平均单价和实物尿素的平均单价提出了控释尿素与普通尿素价格差异控制水平，为控释尿素代替普通尿素推广使用提供一定的理论依据。本试验结果表明，加拿大加阳有限公司生产的控释尿素的 N 平均销售单价不高于普通尿素的 11.5%，实物平均销售单价不高于 4.7%，在广西甘蔗作物上应用均能获得比普通尿素更好的收益。

3.4 本试验两地三年四造的汇总统计结果表明：不同的试验地点对处理间的差异影响不大，因此可以在广西典型甘蔗种植区推广应用。2014/15 年榨季，广西甘蔗种植面积为 108.15 万公顷，生产原料蔗 7953 万吨<sup>[1]</sup>，约需要吸收 13.12 万吨的 N 肥，按本次试验的结果，即大约有 49.7% 的 N 来自于施肥，30% 左右的 N 肥利用率，推算广西甘蔗生产大约需要施用化学 N 肥 21.7 万吨，要保持广西甘蔗总产量在 8000 万吨左右，推广施用



控释尿素可以比施用普通尿素平均减少 15.5% 的化学 N 肥, 甘蔗种植业大约可以减少施用化学氮肥 3.4 万吨以上; 若按施用控释尿素比施用普通尿素的 N 肥利用率提高 3.6%、甘蔗平均施 N 量 330 公斤 / 公顷推算, 甘蔗种

植业大约还可以减少 2.3 万吨 N 的流失, 这对广西实施化肥减施的成效及降低甘蔗种植区的 N 素面源污染均具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴 2015 年 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [2] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 等. 甘蔗的施肥管理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [3] 王磊, 周柳强, 谢如林, 等. 不同控释尿素的氮素释放特性及在甘蔗上的应用研究 [J]. 广西农业科学, 2010, 41(4):345-348
- [4] 张肇元, 周清湘, 谭宏伟, 等. 广西土壤钾素状况与平衡施肥研究 [M]. 北京: 中国农业出版社 1998.
- [5] 李克敌, 韦宇宁, 林学军, 等. 广西农业环境污染的成因分析及对策研究. 广西农业科学, 2008, 39(2):256-260
- [6] 谢如林, 谭宏伟, 王献华, 等. 高产甘蔗的植物营养特性 [J]. 西南农学报, 2010, 23(2):828-831.
- [7] 谭宏伟, 刘永贤, 周柳强, 等. 基于滴灌条件下的甘蔗施肥减量技术研究 [J]. 热带作物学报, 2013, 34(1):24-28.
- [8] 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.
- [9] 孙克刚, 和爱玲, 李丙奇, 等. 控释尿素和普通尿素在夏玉米上的应用效果比较 [J]. 河南农业科学, 2008(12):61-63.
- [10] 夏海丰, 李楠, 高玮, 等. 树脂包膜控释尿素不同用量对玉米产量的影响及其肥效研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2007, 29(5):518-522.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 孙克刚, 杜君, 孙克振, 等. 控释尿素与化肥配施对水稻产量及氮素利用率的影响 [J]. 磷肥与复肥, 2015, 30(10):48-50.
- [14] 周柳强, 谭宏伟, 黄金生, 等. 广西甘蔗 4R 养分管理技术 [J]. 高产施肥, 2015, 5(34):29-32.