

高效施肥

BETTER CROPS CHINA

2017年10月总第39期

本期文章……

湖北省棉花施用控释尿素的肥效研究



控释氮肥施用对香蕉产量和氮素吸收的影响



内蒙古向日葵施用缓释尿素的效果研究



更多文章 敬请关注



控释肥料施用专辑 (二) 经济作物

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10月总第39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 / Oceania Group

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

甘蔗施用控释尿素的减肥潜力研究	3
周柳强 黄金生 曾 艳 区惠平 朱晓辉 谭宏伟	
湖北省棉花施用控释尿素的肥效研究	9
陈 防 鲁君民 刘华波	
缓释尿素与普通尿素配施在加工番茄上的作用效果	12
段 玉 侯建伟 张 君 史有国 景宇鹏	
控释氮肥施用对香蕉产量和氮素吸收的影响	17
曾 艳 周柳强 黄金生 区惠平 朱晓辉 谢如林 谭宏伟	
控释尿素在湖北棉花上的应用效果研究	24
鲁剑巍 李小坤	
缓（控）释尿素对马铃薯产量和肥料利用效率的影响	30
段 玉 张 君 侯建伟 栗艳芳 莎 娜	
内蒙古向日葵施用缓释尿素的效果研究	35
段 玉 侯建伟 张 君 景宇鹏	
湖北茄子施用控释尿素 (CRU) 对产量的影响	40
陈 防 汪 霄 李志国	
2017 年 IPNI 研究生奖学金评选结果揭晓	44

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。

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^[1],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^[2],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^[3, 5]。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^[2, 4]。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^[3]。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^[5]。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^[8,12],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^[6,7],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^[8–13],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 K₂O 60%), 钙镁磷肥 (含 P₂O₅ 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-P₂O₅-K₂O/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 (公斤/公顷)	N 总吸收量中肥 料 N 比例 (%)	生产 1t 原料蔗的 需 N 量 (公斤)	N 肥利用率 (%)	N 生理利用效率 (公斤/公斤 N)
	(克/公斤)						
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

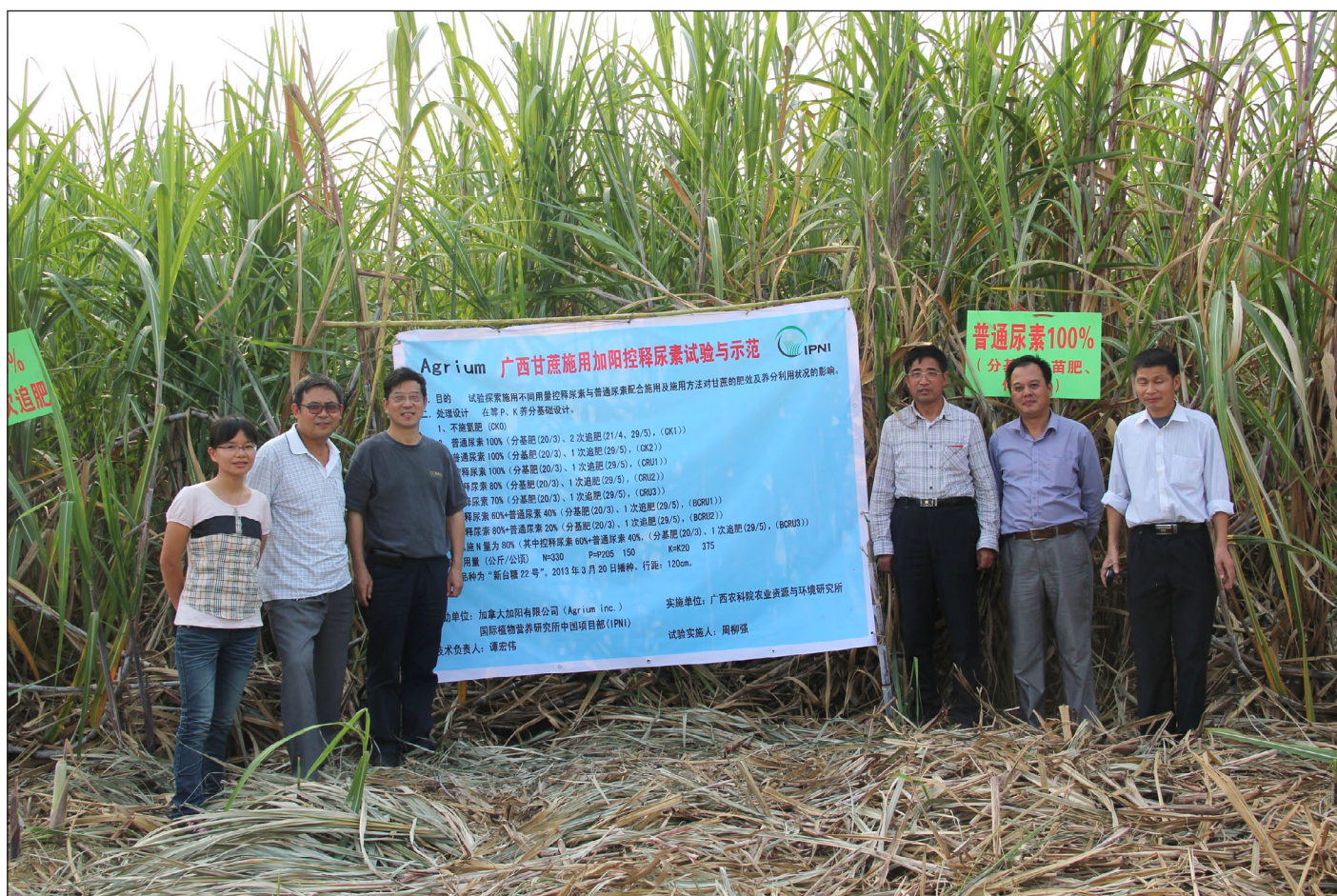
3.1 在相同施肥管理条件下，用控释尿素替代普通尿素，N 肥的增产效益明显提高，这与前人的研究结果基本一致^[8-13]。但甘蔗是多年生作物，播种一次，可以连续多年采收，宿根蔗的出苗及产量状况是甘蔗品种特性的重要评价指标^[2]。本试验两个试验点的结果均显示，控释尿素比普通尿素的增产效果，宿根蔗普遍高于新植蔗，说明控释尿素的肥效可以持续影响宿根蔗的产量形成，累积的增产效应明显，从而也提高了宿根蔗的 N 肥利用率。

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^[1]，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.

湖北省棉花施用控释尿素的肥效研究

陈 防¹ 鲁君民² 刘华波³

(1. 中国科学院武汉植物园, 湖北 武汉, 430074; 2. 湖北洪湖市大同湖管理区, 湖北 洪湖, 433200;

3. 湖北省孝感学院, 湖北 孝感, 432000)

摘要: 棉花是湖北省主要经济作物之一, 且需肥量大施肥次数较多。本研究以控释尿素“益多宝”为材料, 在湖北省的洪湖市和孝感市布置了田间肥效试验, 探讨了在棉花不同生育期的养分管理中, 基肥和追肥按不同比例施用的增产效果, 并与使用常规尿素肥料的处理进行了比较。研究表明, 普通尿素分期施用处理的棉花产量一般高于一次性施用处理; 在相同氮肥用量的条件下, 控释尿素处理比普通尿素处理有增产趋势; 在同样施用控释尿素的处理中, 施用量高(N 300 公斤/公顷)的处理棉花产量与施用量较低(N 225 公斤/公顷)的相比有增产趋势。考虑到成本原因, 推荐在当地棉花施肥上采用每公顷施用氮肥(N) 225 公斤, 磷肥(P_2O_5) 90 公斤, 钾肥(K_2O) 180 公斤, 其中控释肥 60%+ 尿素 40% 一次性基施的施肥策略。

关键词: 控释尿素; 棉花; 施肥策略; 产量

湖北省是我国棉花的主产省份, 2010 年湖北棉花的播种面积占全国的 9.9%, 位列第 4。棉花是湖北省的主要经济作物之一, 2010 年全省棉花播种面积为 720 万亩, 总产达 47.18 万吨。与其他主要农作物相比, 棉花生长期长, 株型较大, 是需肥量较大的农作物。氮素肥料在棉花的生长中是必不可少的三要素之一, 由于施用量大, 施用不当时容易造成浪费和环境污染, 因此, 如何提高氮肥的利用效率, 减轻棉花施肥的劳动强度成为棉花生产中需要解决的热点问题。

加拿大加阳有限公司(Agrium Inc.)的控释尿素“益多宝”是一种控释尿素肥料(Control release urea, CRU), 它主要是通过向尿素颗粒的外表加包膜材料来实现大田环境下氮素养分的均匀释放, 以达到提高氮肥利用效率, 降低成本, 减少污染的目的。目前该产品的纯氮含量为 44%, 一般情况下, 氮素的释放周期为 60-80 天, 可以满足大部分农作物对氮素养分的需要。为了研究和确认该产品在长江流域棉花上的施肥效果, 本研究于 2011-2012 年在湖北省的洪湖和孝感两地分别进行了控释尿素“益多宝”在棉花上的肥效田间试验, 试验结果如下。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试土壤

试验地点分别设在湖北洪湖市大同湖农场和孝感市孝南开发区共青村八组, 其土壤理化性质见表 1。

1.2 供试肥料

试验用氮肥为尿素(N 46%), 磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 12%), 钾肥为氯化钾(K_2O 60%), 控释氮肥由加阳公司提供(N 44%)。氮肥按试验设计施用, 磷肥、钾肥和硼砂(1 公斤/亩)均作为基肥于移栽前一次施入。

1.3 试验设计

试验处理共 11 个, 具体内容见表 2。试验小区面积 24-30 平方米, 重复 3 次, 随机区组排列。棉花品种在孝感是“诺华棉 1 号”, 在洪湖是“湘杂棉 19 号”, 种植密度均为每亩 1300 株。在孝感的试验棉花于每年 4 月 26 日播种, 5 月 11 日移栽, 11 月 20 日收获完毕。在洪湖的试验棉花于每年 4 月 21 日播种, 5 月 10 日移栽, 11 月

表 1 供试土壤理化性状

地点	pH	有机质	全氮	速效氮	速效磷	速效钾
		(克/公斤)		(毫克/公斤)		
洪湖	7.0	19.80	--	103	11.7	81.1
孝感	7.67	17.98	0.85	118	12.7	166

表 2 田间试验处理

编号	处理代码	处理内容	基肥 + 追肥 (尿素 / 控释肥)
1	CK	施磷钾肥 (P ₂ O ₅ 90+K ₂ O 180 公斤 / 公顷)	磷钾肥全部基施
2	RU300T	尿素 (N300 公斤 / 公顷) 分期施用	基 30%+ 追 20%+30%+20%
3	RU300B	尿素 (N300 公斤 / 公顷) 一次性基施	尿素 100% 基施
4	RU225T	尿素 (N225 公斤 / 公顷) 分期施用	基 30%+ 追 20%+30%+20%
5	RU225B	尿素 (N225 公斤 / 公顷) 一次性基施	尿素 100% 基施
6	CRU300B	控释肥 (N300 公斤 / 公顷) 一次性基施	控释肥 100% 基施
7	CRU225B	控释肥 (N225 公斤 / 公顷) 一次性基施	控释肥 100% 基施
8	CRU300(8+2)	控释肥 80%+ 尿素 20% 一次性基施	全部基施
9	CRU225(8+2)	控释肥 80%+ 尿素 20% 一次性基施	全部基施
10	CRU300(6+4)	控释肥 60%+ 尿素 40% 一次性基施	全部基施
11	CRU225(6+4)	控释肥 60%+ 尿素 40% 一次性基施	全部基施

15 日收获完毕。各试验示范小区间用沟厢或田埂分隔开, 单独设立排灌水沟, 各小区均采用当地最优的水分调控技术、病虫控制技术、杂草控制技术等进行生产管理, 管理措施一致。对不同施肥处理的各主要生育期生长情况进行观察记载, 记载播种期、移栽期、收获期、伏前桃、伏桃、秋桃、籽棉产量。

2 结果分析

洪湖和孝感两地试验结果表明 (表 3-4), 与不施氮肥处理相比, 施氮肥处理的株高、分枝数、单株桃数和籽棉产量均有明显增加 (增 73%~97%), 特别是控释肥 (N300 公斤 / 公顷) 一次性基施处理和控释肥 60%+ 尿素 40% 一次性基施处理。

在同样用氮量和同样施肥方法的条件下, 控释尿素

的产量比普通尿素提高 2.5%, 无论是尿素还是控释尿素, 每公顷施用 300 公斤的处理均比施用 225 公顷的处理产量高 1.1%~21.9%, 平均提高 8.7%, 差异达到显著水平 ($P \leq 0.05$), 同时, 由于控释肥减少了 2 次人工追肥, 每



表 3 2012 年不同处理棉花生长情况

处理	株高 (厘米)		分枝数		单株桃数	
	洪湖	孝感	洪湖	孝感	洪湖	孝感
CK	107.5	113	17	16.2	22.8	33
RU300T	144	126	21.5	18.3	47	41
RU300B	149	125	21.3	19.3	46	47
RU225T	141.2	124	19.6	19.3	44.7	45
RU225B	143.9	130	19.9	18.6	44.2	50.7
CRU300B	144	131	20.9	17.6	47	45
CRU225B	142	128	20.9	19.3	47.1	46.7
CRU300(8+2)	147	132	21	20	50	52
CRU225(8+2)	137.2	119	20	19.3	43	45.3
CRU300(6+4)	146	135	20.1	19	53.9	46.7
CRU225(6+4)	131	130	19.5	20	50	53.3

表 4 2011–2012 年棉花不同处理相对产量情况

处理	2011 年皮棉产量 (公斤 / 公顷)				2012 年皮棉产量 (公斤 / 公顷)			
	洪湖	%	孝感	%	洪湖	%	孝感	%
CK	1632	100f	1148	100b	1616	100b	1740	100c
RU300T	4117	252abc	1579	138ab	3164	196a	3135	180ab
RU300B	3903	239bcde	1374	120ab	2925	181a	3346	192a
RU225T	3678	225de	1519	132ab	2956	183a	3002	173b
RU225B	3610	221e	1414	123ab	2998	186a	3124	180ab
CRU300B	4196	257abc	1517	132ab	3210	197a	3369	194a
CRU225B	3848	236cde	1501	131ab	2875	178a	3091	178ab
CRU300(8+2)	4270	262ab	1850	161a	3113	193a	3113	179ab
CRU225(8+2)	4024	247bcd	1524	133ab	2877	178a	3068	176ab
CRU300(6+4)	4482	275a	1608	140ab	3190	197a	3146	181ab
CRU225(6+4)	3678	225de	1551	135ab	2877	177a	3124	180ab

注: F=5.85, 表中平均产量列字母不同表示差异极显著 (P ≤ 0.05, Duncan 检验)

公顷节约了人工成本 3000 元人民币以上, 同时减少了氮肥的损失 20% 左右, 经济效益和生态环境明显。

3 结论

根据本试验结果, 考虑到成本原因, 推荐在当地棉花施肥上采用每公顷施用氮肥 (N) 225 公斤, 磷肥 (P_2O_5)

90 公斤, 钾肥 (K_2O) 180 公斤, 其中控释肥 60%+ 尿素 40% 一次性基施的处理 (处理 11, CRU225 (6+4)), 在产量较高田块, 可提高氮肥施用量至 N300 公斤 / 公顷, 其他不变。

缓释尿素与普通尿素配施在加工番茄上的作用效果

段玉^{1,2} 侯建伟^{1,2} 张君^{1,2} 史有国³ 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, 011705; 3. 巴彦淖尔市农牧业科学院, 内蒙古 巴彦淖尔市, 015000)

摘要: 为研究两个不同氮用量下缓释尿素 (CRU) 与普通尿素 (RU) 不同配比对加工番茄的作用效果, 采用大田小区试验进行了 100% 和 80% 推荐氮用量下, CRU 与 RU 掺混施用对番茄产量、生理指标、氮肥利用率及土壤矿质氮残留的影响。结果表明: 施用氮肥显著增加了番茄的产量、株高、分枝数、单株结果数、单株重和可溶性固形物, 较不施氮肥分别提高 75.9%–136.9%、15.0%–45.6%、2.7%–13.7%、80.0%–150.0%、66.7%–141.7% 和 10.7%–32.1%。总氮量减量 20% 时, 普通尿素与缓释尿素掺混产量相近且与 100% 推荐施氮量没有显著差异; 施用缓释尿素番茄的秸秆和果实的含氮量高于不施缓释尿素处理, 100% 推荐施氮量的氮素利用率缓释尿素单施和缓释尿素与普通尿素配施, 比普通尿素一次基施 (RU100% B) 分别高 15.2–20.2 个百分点。80% 推荐施氮量的氮素利用率, 缓释尿素单施和缓释尿素与普通尿素配施比普通尿素一次基施分别高 18.4–20.9 个百分点和 15.2–21.8 个百分点。加工番茄收获后, 施氮处理的土壤中铵态氮和硝态氮含量略高于不施氮处理, 但差异不显著。因此综合考虑番茄产量、生理指标、氮肥利用率及土壤矿质氮残留情况下, 减少 20% 施氮量用缓释尿素或缓释尿素与普通尿素配合使用可以代替 100% 推荐施氮量, 且 80% 推荐施氮量: 70% CRU 基施 + 30% RU 开花期施处理效果最佳。

关键词: 番茄; 缓释尿素; 产量; 氮肥利用率; 氮残留

内蒙古河套灌区光热资源丰富、昼夜温差大、气候干燥, 有利于红色素和干物质的形成, 气候条件与新疆相似, 非常适宜番茄生长, 所产番茄的红色素、可溶性固形物含量高, 霉菌、病害少, 品质优。河套灌区是我国第二大加工番茄生产地, 播种面积最大时达到 8 万公顷, 近年来由于市场价格影响, 播种面积有所缩小。氮、磷、钾的不同配比对加工番茄产量有显著影响, 施肥不足造成产量下降, 但过量施肥造成旺长, 氮素对加工番茄生长影响最大^[1]。施肥具有提高产量和生物学性状的作用, 氮磷钾肥施用过量并没有增产, 生物学性状在施肥过量情况下并不与产量具有很好的相关性^[3]。张小玲^[4] 等对施用不同控释肥料对加工番茄产量的影响研究表明, 施用控释肥料加工番茄产量最高, 氮磷钾比例 1 : 0.6 : 0.5, 氮磷钾用量为: N 18.4 公斤 / 亩, P₂O₅ 7.2 公斤 / 亩, K₂O 6 公斤 / 亩。张炎^[5] 等通过施钾对加工番茄产量和品质的影响研究得

出, 氮钾比 1 : 0.8, 加工番茄高产的氮磷钾用量为: N 12 公斤 / 亩, P₂O₅ 7.2 公斤 / 亩, K₂O 9.6 公斤 / 亩。研究两个氮素用量下缓释尿素 (CRU) 与普通尿素 (RU) 的不同配比对加工番茄生长发育、产量、氮磷钾利用效率和土壤矿质氮积累的影响, 对于减少氮肥用量, 提高肥料利用率, 增产增收有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 试验地点概况

试验地设在巴彦淖尔市农牧业科学院园子渠试验站内, 占地 1.8 亩。2015 年 5 月至 2015 年 9 月番茄生长季总降水量 54.5 毫米, 总日照时数 1053.8 小时, 总积温 2187.7℃ (表 1), 试验地肥力中等 (表 2)。

表 1 加工番茄生育期气象资料

月份	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合计
降水量 (毫米)	0	5.7	18.1	4.4	26.3	54.5
日照时数 (时)	64.8	304.1	226.1	332.7	126.1	1053.8
积温 (℃)	132	639.8	490.5	686.8	238.6	2187.7

资料来源: 临河区气象观测站。

表 2 土壤基础养分状况

深度 (厘米)	pH	有机质	全盐	全氮 全磷 全钾			有效磷 速效钾 碱解氮		
				(克/公斤)			(毫克/公斤)		
0-20	8.8	13.0	0.58	0.80	0.40	20.0	26.2	130	73
20-40	8.9	12.3	0.52	0.73	0.56	17.5	21.5	130	70

1.2 供试作物及品种

加工番茄：屯河 48

氮肥品种：缓释尿素（CRU 由 Agrium（加阳公司）提供）、普通尿素（RU）（当地购买）。

1.3 试验设计

试验设 9 个处理（表 1），每个处理 3 次重复，采用随机区组排列。小区面积长 6 米 × 宽 5.1 米 = 30.6 平方米，6 行区，覆膜种植，滴灌浇水，大行 110 厘米，小行 60 厘米，株距 40 厘米，密度每亩 1900 株。氮磷钾用量根据土壤测试结果和产量目标以及经验确定，各处理磷钾肥全部基施。各处理如下：

- (1) CK（不施氮）；
- (2) 100% 推荐施氮量，全部 RU 按农民习惯施肥；
- (3) 100% 推荐施氮量，全部 CRU 基施；
- (4) 100% 推荐施氮量，60% CRU 基施 + 20% RU 开花期施 + 20% RU 果实膨大期施；
- (5) 100% 推荐施氮量：70% CRU 基施 + 30% RU 开花期施；
- (6) 80% 推荐施氮量，全部 RU 按农民习惯施肥；
- (7) 80% 推荐施氮量，全部 CRU 基施；
- (8) 80% 推荐施氮量，48% CRU 基施 + 16% RU 开花期施 + 16% RU 果实膨大期施；
- (9) 80% 推荐施氮量：56% CRU 基施 + 24% RU 开花期施。

1.4 田间管理

3 月中旬条碌碌地保墒，4 月 25 日旋耕一遍，条碌镇压，4 月 30 日机器铺滴灌带、覆膜。3 月 28 日加工番茄温室播种育苗，5 月 5 日间定苗，5 月 26 日露地定植、滴灌浇水，6 月 28 日锄草，7 月 5 日、7 月 28 日分别滴灌一次，每次灌水量 20 毫米，9 月 15 日收获。各处理磷钾肥全部基施，氮肥施用量严格按照施肥方案进行。5 月 26 日露地定植时在距番茄种植行 20 厘米处开沟，将基施肥均匀施入；6 月 28 日对各处理进行花期追肥，在距番茄植株 30 厘米处用点播器将肥料施入；7 月 20 日对各处理进行膨大期追肥，在距番茄植株 30 厘米处用点播器将肥料施入。

1.5 测试项目与方法

番茄产量：提前在每个小区内划定测产区，在番茄采收期，每次收获时将测产区内的成熟果实收获称重，计算产量，并通过秸秆与果实比例计算秸秆产量。

农艺性状：定点定株定期观察（共调查 50 株），详实记录生育期并根据调查的株数计算分枝数、株高、单株果数、红果率、单株重、单果重。

可溶性固形物：采用 GB10788—89 中折光计法测定其百分含量；

N 利用率 (%) = (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；

全 N：浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮，凯氏定氮法；

硝态氮：紫外分光光度法；

铵态氮：靛酚蓝比色法。

表 3 加工番茄缓释尿素试验施肥方案

处理	养分施用量 (公斤/公顷)			
	缓释尿素 (N)	普通尿素 (N)	P_2O_5	K_2O
1、CK（不施氮）	0	0	150	180
2、RU100%B (FP)	0	270	150	180
3、CRU 100%B	270	0	150	180
4、CRU 60%B+RU20%T (F) +RU20%T (E)	162	108	150	180
5、CRU 70%B +RU30%TF	189	81	150	180
6、RU80% (FP)	0	216	150	180
7、CRU 80%B	216	0	150	180
8、CRU48%B+16% RUFT + 16% RUET	129.6	86.4	150	180
9、CRU56%B+RU24%TF	151.2	64.8	150	180

1.6 数据分析

采用 Excel 及 DPS7.5 统计分析软件 LSD 法对试验数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对加工番茄产量性状的影响

由表 4 可知, 不施氮肥处理 (CK) 的分枝数、株高、单果数、单株重都最低, 不施氮肥处理收获时的红果率最高, 单果重 CRU48%B+RU16%T+RU16% T 和 CRU56%B+RU24%T 花期较高。

三, 普通尿素 一次性基施产量最低与缓释尿素 60% 基施 + 普通尿素 20% 花期追施 + 普通尿素 20% 膨大期追施 (CRU 60%B+RU20%T (花期)+RU20%T (膨大期)) 差异显著。在 80% 推荐施氮量时, 全部施用缓释尿素一次基施产量最高, 其次缓释尿素 60% 基施 + 普通尿素 20% 花期追施 + 普通尿素 20% 膨大期追施 (CRU48%B+16% RUFT + 16% RUET), 缓释尿素 70% 基施 + 普通尿素 30% 花期追施产量位列第三, 这三个处理比普通尿素 80% 基施 (RU80%B) 增产 30% 左右, 差异达到显著水平。总氮量较农民习惯用量减量 20% 时, 除普通尿素一次性基施产量较低外, 其余三个处理产量相近并与 100% 推荐施

表 4 不同施肥处理对加工番茄产量性状的影响

处理	分枝数 (个)	株高 (厘米)	单株果数 (个)	红果率 (%)	单株重 (公斤)	单果重 (克)
CK (不施氮)	7.3	51.5	30	77.5	2.4	80.2
RU100%B (农民习惯)	7.5	59.2	54	56.0	4.0	75.2
CRU 100%B	8.2	75.0	71	44.7	5.0	70.5
CRU60%B+RU20%T+RU20%T	8.3	66.0	75	50.0	5.8	77.2
CRU 70%B +RU30%T	7.5	64.0	73	39.3	5.8	79.7
RU80% (农民习惯)	8.2	69.3	75	47.8	5.7	75.9
CRU 80%B	7.8	74.2	65	46.7	5.0	76.9
CRU48%B+RU16%T+RU16% T	7.8	61.7	67	44.4	5.8	87.6
CRU56%B+RU24%T 花期	8.7	72.5	67	48.6	5.8	87.0

2.2 不同施肥处理对加工番茄产量的影响

由表 5 可知, 施用氮肥加工番茄的产量增产达到极显著水平。比不施肥处理增产 3300-6333 公斤/亩, 增产率为 71.4%-136.9%。在 100% 推荐施氮量下, 缓释尿素 60% 基施 + 普通尿素 20% 花期追施 + 普通尿素 20% 膨大期追施 (CRU 60%B+RU20%T (花期)+RU20%T (膨大期)) 处理产量最高, 全部施用缓释尿素基施产量次之, 缓释尿素 70% 基施 + 普通尿素 30% 花期追施产量位列第

氮量没有显著差异。说明减少 20% 施氮量用缓释尿素或缓释尿素与普通尿素配合使用可以代替 100% 推荐施氮量。

施用氮肥比不施肥处理 (CK) 加工番茄的可溶性固形物增加 0.7-1.5 个百分点, CRU 100%B 处理的固形物含量最高, 其次是 CRU48%B+16% RUFT + 16% RUET、CRU 60%B+RU20%T (F)+RU20%T (E) 和 CRU 60%B+RU20%T (F)+RU20%T (E) 与不施氮肥处理差异达到极显著水平 (表 5)。

表 5 不同施肥处理对加工番茄产量性状的影响

处理	番茄产量 (公斤/亩)	增产 (%)	增产 (%)	秸秆产量 (公斤/亩)	可溶性固形物 (克/100克)
CK (不施氮)	4627c	--	--	322.7d	4.67 c
RU100%B (农民习惯)	8133b	3506.7	75.9	437.3 c	5.33 bc
CRU 100%B	9533ab	4906.7	106.2	456.0ab	6.17 a
CRU60%B+RU20%T+RU20%T	10953a	6333.3	136.9	522.7abc	5.50 ab
CRU 70%B +RU30%T	9460ab	4833.3	104.6	551.3 ab	5.17 bc
RU80% (农民习惯)	7920b	3300.0	71.4	436.0bc	5.33 bc
CRU 80%B	9327ab	4706.7	101.8	546.0a	5.17 bc
CRU48%B+RU16%T+RU16% T	9327ab	4700.0	101.7	608.0a	5.67 ab
CRU56%B+RU24%T 花期	9267ab	4646.7	100.5	646.0a	5.83 ab

施用氮肥加工番茄的秸秆产量比不施肥处理增产 101.8–253.6 公斤 / 公顷，增产率为 30.4%–75.6%，达到极显著差异水平（表 5）。

2.3 不同氮素处理对氮素吸收利用的影响

表 6 结果表明，不施氮处理的秸秆含氮量和果实含氮量最低，吸收氮素量（N）最少，为 123.1 公斤 / 公顷，与所有施氮处理差异显著，CRU 60%B+RU20%T（花期）+RU20%T（膨大期）吸收氮量最高，与不施氮肥处理和 100% 用普通尿素基施差异显著，与其他处理没有显著差异。

从氮素利用率来看，100% 推荐施氮量的氮素利用率依次为 CRU 60%B+RU20%T（花期）+RU20%T（膨大期）> CRU100%B > CRU70%B +RU30%T（花期），比普通尿素一次基施（RU100%B）分别高 20.2、18.4 和 15.2 个百分点。80% 推荐施氮量的氮素利用率依次为 CRU56%B+RU24%T（花期）> CRU 80%B > CRU48%B+ RU16%T（花期）+RU16% T（膨大期）比普通尿素一次基施（RU80%B）分别高 21.8、20.9 和 20.3 个百分点。

2.4 不同氮素处理对收获后土壤氮素的影响

由表 7 看出，不同施氮处理加工番茄收获后的土壤硝态氮含量最低，但是与其他施氮处理没有显著差异。铵态氮也是不施氮肥处理最低，且与其他处理之间没有显著差异。矿质氮含量以不施氮肥处理最低，比施氮处理低 1.8–7.0 毫克 / 公斤，但各处理之间没有显著差异。说明缓释尿素在土壤中没有多少残留。



表 6 不同施肥处理对加工番茄氮素含量及利用率的影响

处理	秸秆含氮量 (%)	果实含氮量	吸 N 量 (公斤 / 公顷)	N 利用率 (%)
CK (不施氮)	1.303	0.084	123.1c	--
RU100%B (农民习惯)	1.727	0.107	243.8 b	44.7
CRU 100%B	1.527	0.120	293.6 ab	63.1
CRU60%B+RU20%T+RU20%T	1.610	0.102	298.3a	64.9
CRU 70%B +RU30%T	1.653	0.105	284.7 ab	59.9
RU80% (农民习惯)	1.700	0.111	248.0 ab	57.8
CRU 80%B	1.653	0.108	293.0 ab	78.7
CRU48%B+RU16%T+RU16% T	1.630	0.110	291.9 ab	78.1
CRU56%B+RU24%T 花期	1.560	0.113	295.0ab	79.6

表 7 不同施氮处理对收获后 0–20 厘米矿质氮含量的影响

处理	(毫克 / 公斤)					
	铵态氮		硝态氮		矿质氮	
	0–20 厘米	20–40 厘米	0–20 厘米	20–40 厘米	0–20 厘米	20–40 厘米
CK (不施氮)	16.3	17.6	8.6	10.3	24.9	27.9
RU100%B (农民习惯)	17.4	16.4	11.2	11.6	29.6	27.9
CRU 100%B	17.3	17.3	10.2	8.9	27.5	26.2
CRU60%B+RU20%T+RU20%T	15.4	15.4	11.3	10.3	26.7	25.7
CRU 70%B +RU30%T	21.2	21.2	10.7	10.0	31.9	31.3
RU80% (农民习惯)	18.8	18.8	9.2	9.2	28.0	28.0
CRU 80%B	21.0	21.0	9.6	11.9	30.6	32.9
CRU48%B+RU16%T+RU16% T	19.3	16.0	10.3	12.0	29.6	28.0
CRU56%B+RU24%T 花期	20.3	20.3	10.1	8.1	30.4	28.4

3 结论与讨论

1. 无论是 100% 推荐施氮量还是 80% 推荐施氮量, 普通尿素一次性基施产量最低, 以缓释尿素 60% 基施 + 普通尿素 20% 花期追施 + 普通尿素 20% 膨大期追施 (CRU 60%B+RU20%T (花期)+RU20%T (膨大期)) 产量最高。

2. 80% 推荐施氮量小, 用缓释尿素的处理产量与 100% 推荐量下普通尿素相当, 说明用缓释尿素可以减少 20% 的施氮量。

3. 缓释尿素单施和缓释尿素配合普通尿素施用增加加工番茄的可溶性固形物。

100% 推荐施氮量的氮素利用率缓释尿素单施或缓释尿素与普通尿素配施, 比普通尿素一次基施 (RU100%B) 分别高 15.2–20.2 个百分点。80% 推荐施氮量的氮素利用率缓释尿素单施和缓释尿素与普通尿素配施比普通尿素一次基施分别高 20.3–21.8 个百分点。



参考文献

- [1] 龚江, 王海江, 谢海霞, 等. 膜下滴灌氮、磷、钾耦合效应对加工番茄生长和产量的影响. 新疆农业科学. 2010(5): 854–858.
- [2] 田丽萍, 晋绿生, 孔祥耀, 等. 覆膜滴灌条件下加工番茄专用肥肥效的研究. 石河子大学学报 (自然科学版). 2006(6): 678–681.
- [3] 王进, 田丽萍, 白丽, 等. 膜滴灌条件下氮磷钾肥配施对加工番茄生物学性状与产量的影响. 石河子大学学报 (自然科学版). 2006(2): 205–209.

控释氮肥施用对香蕉产量和氮素吸收的影响

曾艳¹ 周柳强¹ 黄金生¹ 区惠平¹ 朱晓晖¹ 谢如林¹ 谭宏伟^{2*}

(1. 广西农科院农业资源与环境研究所, 广西南宁 530007; 2. 广西农科院甘蔗研究所, 广西南宁 530007)

摘要: 本文研究了不同用量控释氮肥对香蕉产量、农艺性状以及氮肥利用率的影响, 为南方香蕉生产中控释氮肥的合理施用提供科学依据。结果表明, 控释尿素的施用可显著增加香蕉产量, 施用控释尿素3年平均香蕉产量与不施氮肥处理相比, 增产7.46–31.59吨/公顷, 增产幅度达47.37–166.97%。随控释尿素施用量的增加, 香蕉产量有增加的趋势, 100%控释尿素的香蕉产量最高。与施用100%尿素处理相比, 施用100%控释氮肥和80%控释氮肥处理3年平均香蕉产量增产0.22–2.52吨/公顷, 增产幅度达0.92–7.0%。与普通尿素施用相比, 控释氮肥施用提高香蕉产量构成因子(果指数、果指重)、农艺性状(径周、株高)、地上部干重和植株氮素吸收, 其中以施用100%控释氮肥、80%控释氮肥处理表现最好。施用控释尿素比普通尿素产值提高6253.00–10309.00元/公顷, 每公斤N增产收益提高9.29–15.32元, 每公斤实物氮肥增产收益增加1.83–4.49元, 因而施用控释尿素比普通尿素可获得较好的投资回报。在全部施用控释尿素条件下, 减少20–30%的施用量, 产值减少7267.00–13013.00元/公顷, 但每公斤N增产收益提高17.02–24.69元, 每公斤实物氮肥增产收益增加7.49–10.86元; 产量、产值虽降低, 但施用控释尿素的单位回报率却有所提高。施用控释氮肥可促进香蕉获得高产, 增加植株氮素吸收, 提高氮肥利用率, 增加香蕉产值。本试验条件下, 控释氮肥适宜的控释氮肥比例为80%–100%。

关键词: 香蕉; 控释氮肥; 氮肥利用率; 产量

引言

化肥氮的施用在我国农业生产中发挥了举足轻重的作用, 但近年来随着我国氮肥施用量快速增加, 氮肥增产效应呈递减趋势, 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^[1]。在我国耕地资源有限、人口压力大的现实国情下, 如何在提高氮肥增产效应的同时, 降低施肥对环境的负面作用、提高氮肥利用效率已成为农业可持续发展的必然要求。

香蕉是我国栽培面积大、经济效益高的作物之一, 是热带高效农业的主要支柱产业之一^[2]。由于香蕉生育期长, 需肥量大, 需要多次精细施肥才能满足其生长发育需求^[3–5], 而常规施肥模式效率低, 难以满足香蕉的需求, 普通化肥氮如尿素, 由于其速效性特点, 施入香蕉地后短时间内迅速溶解, 一次性基施通常导致香蕉前期养分供应过量, 中后期营养供应不足, 养分利用率低、损失率高^[6], 只有通过分次施用才能达到为香蕉全生育期提供养分的目的,

但分次施用方法并不适应目前农村劳动力日益紧缺的现状。控释氮肥通过各种调控机制有效控制养分释放速度和时间, 延长香蕉对其养分吸收利用的有效期, 达到减少施肥次数即可满足香蕉全生育期对氮素养分的生理需求, 实现作物增产, 促进香蕉氮素的吸收利用^[7], 同时还可适当减少施氮量, 提高氮肥利用效率^[8], 减少对环境的污染。为了克服传统施肥模式下养分比例不协调、养分利用率低^[9–12]等弊端, 近年来人们对控释肥进行了深入的研究^[13–15]。陈祥等^[16]、易镇邪等^[17]认为控释氮肥能有效改善作物不同时期营养状况, 提高氮肥利用率, 并最终达到增产效果。侯雪坤等^[18]认为控释氮肥虽能提高氮肥利用率, 但对品质无明显影响。以往关于控释氮肥在香蕉上的应用研究较为缺乏。因此, 为了探讨控释氮肥在香蕉上的施用效果, 在广西香蕉主要种植区设置连续3年的定点大田试验, 研究其产量效应对香蕉农艺性状、产量、产量构成及氮素吸收利用的影响, 旨在为香蕉生产合理施用控释氮肥提供理论依据。

基金项目: 广西农科院基金(2015YT30、2015YT38、2013YM19、2015JM06)、广西自然科学基金2014GXNSFBA118088、IPNI。

作者简介: *为通讯作者: 谭宏伟(1961–), 研究员, 主要从事植物营养与生态环境研究工作, E-Mail: hwtan@gxaas.net。

曾艳(1982–), 主要从事植物营养与环境生态研究工作, E-mail: zengyan_528285@163.com

1 材料与amp;方法

1.1 试验区概况

大田试验于 2013–2015 年在广西南宁市西乡塘区广西壮族自治区农业科学院试验基地 (N: 22° 51' 15.60", E: 108° 14' 40.83", 海拔 H: 75 米) 进行。该地区属于典型的亚热带湿润季风气候, 平均气温 21.6℃, 年降水量 1650 毫米, 年均日照 1800 小时。供试土壤为第四纪红土的红泥土。试验前土壤 0–20 厘米耕层土壤有机质含量 21.15 克 / 公斤, pH (H₂O) 6.2, 碱解氮 115 毫克 / 公斤, 速效磷 35 毫克 / 公斤, 速效钾 142 毫克 / 公斤。

1.2 试验设计

田间试验设 5 个处理, 分别为不施氮肥 (N0)、100% 普通尿素 (RU100%)、100% 控释氮肥 (CRU100%)、80% 控释氮肥 (CRU 80%)、70% 控释氮肥 (CRU 70%), 每个处理都施用等量磷肥和钾肥, 不同年份香蕉具体施肥量见表 1。各施氮处理香蕉生育期内的施氮量保持一致, 均为 185 公斤 N·hm⁻²。控释氮肥加阳控释尿素 (含 N 44%) 为水溶性聚合物包膜的控释尿素, 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 K₂O 60%), 钙镁磷肥 (含 P₂O₅ 18%)。磷肥 100% 做基肥施用, 钾肥 40% 做基肥, 60% 做追肥。具体施肥措施见表 2。

试验小区面积为 46 平方米 (9 株), 重复 3 次, 随机区组排列, 种植规格为: 行距 × 株距 = 2.35 米 × 2.15 米。3 年香蕉的种植密度均为 1950 株 / 公顷。供试香蕉品种为桂蕉 6 号。

表 2 香蕉施肥处理及施肥方式

处理	施肥量	施肥时间
CK	不施氮肥	
RU100%	100% 普通尿素	基肥 + 5 次追肥
CRU100%	100% 控释氮肥	基肥 + 1 次追肥
CRU80%	80% 控释氮肥	基肥 + 1 次追肥
CRU70%	70% 控释氮肥	基肥 + 1 次追肥

2013 年 3 月 18 日定植, 2014 年 3 月 15 日收获结束, 留第二造苗, 2014 年 3 月 19 日施春 (基) 肥。2014 年 8 月 4 日开始抽穗, 2014 年 12 月 15 日开始收获, 2015 年 1 月 25 日收获结束; 2015 年 3 月 18 日施春 (基) 肥, (钙镁磷肥、氯化钾、普通尿素、加阳控释尿素), 定量混匀后撒施在畦面上), 然后盖土, 起平畦面, 同时用松土培覆蕉苗基部; 4 月 6 日施苗肥 (普通尿素), 开穴撒施, 施肥后盖土; 5 月 9 日施第二次苗肥 (普通尿素), 开穴撒施, 施肥后盖土; 6 月 10 日施伸长肥 (加阳控释尿素、普通尿素、加拿大氯化钾、钙镁磷肥), 开穴撒施, 施肥后盖土; 7 月 10 日施攻穗肥 (普通尿素), 开穴撒施, 施肥后盖土; 8 月 4 日施果实膨大肥 (加阳控释尿素、普通尿素、加拿大氯化钾), 在种植畦面撒施, 施肥后盖土、淋水。2015 年 7 月 5 日开始抽穗, 10 月 5 日结束抽穗。2015 年 10 月 5 日开始采收, 2015 年 1 月 10 日收获结束。

1.3 样品采集与测定方法

2013 年试验田施基肥前取 0–20 厘米耕层土壤, 按常规法测定土壤基本理化性质。2013–2015 年在香蕉收获期调查统计各处理商品蕉实际收获产量、售价、果指数、

表 1 不同年份香蕉施肥量

年份	处理	(公斤 / 公顷)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2013	CK	0	175.5	877.5
	RU100%	672.8	175.5	877.5
	CRU100%	672.8	175.5	877.5
	CRU80%	538.2	175.5	877.5
	CRU70%	470.9	175.5	877.5
2014	CK	0	228.2	877.5
	RU100%	897.0	228.2	877.5
	CRU100%	897.0	228.2	877.5
	CRU80%	717.6	228.2	877.5
	CRU70%	627.9	228.2	877.5
2015	CK	0.0	156.9	706.7
	RU100%	672.8	156.9	706.7
	CRU100%	672.8	156.9	706.7
	CRU80%	538.2	156.9	706.7
	CRU70%	470.9	156.9	706.7

果指重等。果指数为一串香蕉果穗的果指总数；单果质量用天平测定。2015年在香蕉收获期，在采收旺盛期2015年12月2日，各处理选择抽蕾期相近的有代表性3株香蕉，沿地面截取地上部位，分叶稍、假茎、果实和果轴制样，测定其N养分含量，用地上部的养分累积量求算氮肥利用率。

1.4 数据处理

测定结果用Excel 2003软件和DPSv7.05软件进行统计分析。

2. 结果与分析

2.1 控释氮肥施用对香蕉产量和产量构成因子的影响

2.1.1 控释氮肥施用对香蕉产量影响

从表3可看出，不同试验年份香蕉产量差异显著。2015年香蕉产量最高，2013年香蕉产量最低，但3年中不同施肥处理之间产量的差异性表现一致。表3也显示，控释尿素的施用可显著增加香蕉产量，施用不同用量控释尿素3年平均香蕉产量与不施氮肥处理CK相比，增产7.46–31.59吨/公顷，增产幅度达47.37–166.97%；随控释尿素施用量的增加，香蕉产量有增加的趋势，CRU100%处理的香蕉产量最高，控释尿素3个用量水平处理间差异不显著；与施用100%尿素处理RU100%相比，施用控释尿素70%(CRU70%)处理产量较低，施用控释尿素(CRU100%、CRU80%)3年平均香蕉产量增

产0.22–2.52吨/公顷，增产幅度达0.92–7.0%，但控释尿素3个用量处理与RU100%差异不显著，并且CRU70%处理产量在第2年显著低于CRU80%处理。可见，与普通尿素施用相比，适宜用量的控释氮肥施用有助于香蕉获得高产。

2.1.2 控释氮肥施用对香蕉产量构成因子的影响

影响香蕉产量的因素包括果指数、单果重等。施肥能够影响香蕉果实的生长发育，只有协调各因素指标才能保证香蕉高产优质。不同施肥处理对香蕉产量构成因子的影响结果见表3。从表3可以看到，施用氮肥显著增加了香蕉果指数和单果指重。施用控释尿素3个用量水平3年平均香蕉果指数较不施氮肥处理CK相比增加了28.46–65.67个，增幅达26.13–95.17%。随控释尿素施用量的增加，香蕉果指数增加。3年平均香蕉果指数CRU100%处理的最高，3个控释尿素用量处理间差异不显著；与施用100%尿素处理相比，施用控释尿素70%较RU100%果指数少，但随控释尿素施用量的增加香蕉果指数增加，施用控释尿素(CRU100%和CRU80%)3年平均香蕉果指数增加幅度达0.77–6.03%，但控释尿素3个用量处理与施用尿素处理差异不显著。香蕉果指重表现出与果指数相似的规律。控释尿素100%时香蕉的果指数和单果重均较高，从而有利于香蕉高产。由此可见，控释氮肥施用量能够影响香蕉产量构成因子，适宜的控释氮肥比例将有利于香蕉产量构成因子协调生长。本试验中，CRU100%处理影响产量构成因子的各指标表现协调并优于其他处理，故其产量最高。

表3 控释氮肥施用对香蕉产量和产量构成的影响

年份	处理	产量(吨/公顷)	较CK增产(%)	较RU增产(%)	果指数(个)	果指重(公斤)
2013	CK	16.19±3.93bB	--	--	93.37±4.30bB	88.96±3.70bB
	RU100%	23.86±3.77aA	47.37	--	120.03±6.31aA	102.06±3.12aA
	CRU100%	25.53±0.81aA	57.69	7.00	127.27±1.18aA	102.86±0.48aA
	CRU80%	24.08±8.92aA	48.73	0.92	123.40±4.83aA	99.95±4.17aA
	CRU70%	23.65±3.44aA	46.08	-0.88	121.83±5.28aA	99.63±1.90aA
2014	CK	24.52±8.84cB	--	--	109.67±5.19bB	114.51±3.93bB
	RU100%	38.36±1.74abA	56.44	--	138.67±1.81aA	141.85±1.22aA
	CRU100%	40.88±2.86aA	66.72	6.57	142.67±2.14aA	146.94±0.71aA
	CRU80%	38.74±3.08abA	57.99	0.99	140±0.71aA	141.88±2.42aA
	CRU70%	38.16±2.69bA	55.63	-0.52	138.33±1.10aA	141.44±1.96aA
2015	CK	18.92±5.74bB	--	--	69.0±5.23bB	140.58±2.18cB
	RU100%	48.1±5.68aA	154.23	--	129.33±3.97aA	190.64±1.95aA
	CRU100%	50.51±4.68aA	166.97	5.01	134.67±4.54aA	192.44±4.31aA
	CRU80%	47.71±4.33aA	152.17	-0.81	130.33±3.86aA	187.71±1.11abA
	CRU70%	45.5±4.12aA	140.49	-5.41	129±2.80aA	180.83±1.36bA



2.2 控释氮肥对香蕉农艺性状的影响

连续3年控释尿素施用对香蕉农艺形状的试验结果表明(表4),与不施氮肥相比,施氮显著增加香蕉径周和株高。其中施用控释氮肥与不施氮肥处理相比,径周增加6.41–10.45厘米,增幅为14.66–24.89%,各施用控释氮肥处理径周均随着施用量增加而增加,控释尿素处理间差异不显著;与RU100%相比,各施控释尿素处

理,2013、2014年果指数随控释尿素施用量的增加香蕉果指数而增加,径周增加0.22–0.91厘米,增幅为0.48–1.67%,但2015年各控释尿素处理果指数变化趋势略有不同,CRU80%、CRU70%平均径周小于RU100%,而CRU100%平均径周大于RU100%。

施控释氮肥比不施用氮肥处理的3年平均香蕉株高增加13.42–58.03厘米,增幅为7.33–29.96%。与RU100%相比,2013年控释尿素处理株高均比RU100%大;2014年CRU80%平均株高大于RU100%,但CRU100%、CRU70%平均株高小于RU100%;而2015年CRU100%平均株高大于RU100%,但CRU80%、CRU70%平均株高小于RU100%。

2.3 控释氮肥施用对香蕉地上部干物质含量的影响

香蕉成熟期地上部干物质质量不同处理间存在显著差异(表5)。3年平均数据显示,不同部位香蕉干物质含量均为:果实>叶稍>假茎>蕉轴。与不施氮肥处理相比,施用氮肥显著增加地上部干物质含量,增加7192–8672公斤/公顷,增幅为109.99–132.63%。与施用尿素处理

表4 控释氮肥施用对香蕉农艺形状的影响

年份	处理	茎周(厘米)	株高(厘米)
2013	CK	39.82±9.57bB	181.28±4.17bB
	RU100%	46.01±3.40aA	204.48±4.44aA
	CRU100%	46.46±1.89aA	205.37±2.66aA
	CRU80%	46.26±1.21aA	204.7±1.35aA
	CRU70%	46.23±1.39aA	205.23±0.63aA
2014	CK	48.13±3.03bB	183.17±3.65bB
	RU100%	54.56±2.07aA	200.89±2.32aA
	CRU100%	55.47±2.40aA	196.59±1.45aA
	CRU80%	55.24±1.43aA	201.85±3.05aA
	CRU70%	55.19±1.34aA	199.30±4.42aA
2015	CK	41.98±9.08bB	193.7±2.79cB
	RU100%	51.62±2.43aA	249.58±1.40aA
	CRU100%	52.43±4.66aA	251.73±1.15aA
	CRU80%	49.51±1.68aA	242.55±2.41abA
	CRU70%	49.36±1.47aA	239.58±2.48bA

表5 控释氮肥施用对香蕉干物质含量的影响

处理	CK	RU100%	CRU100%	CRU80%	CRU70%
假茎	1485	2858	2949	2787	2678
叶稍	2049	4201	4440	4200	3985
果实	2916	7249	7614	7187	6880
蕉轴	88	206	209	198	188
地上部合计	6539	14514	15211	14373	13731
较CK增产%	--	121.98	132.63	119.82	109.99
较RU100增产%	--	--	4.80	-0.97	-99.24

相比, CRU100% 处理的干物质量最高, 达 15211 公斤·hm⁻², 较 RU100% 处理提高 4.8%。而相比 RU100% 处理, CRU80%、CRU70% 成熟期香蕉地上部平均干物质含量均降低。

2.4 控释氮肥施用对香蕉氮养分吸收状况的影响

从表 6 可以得出, 施用控释尿素比 RU100% 处理的香蕉果实、假茎、叶稍、果轴的 N 含量分别提高 0.13–0.24、0.13–0.14、1.11–1.17、0.54–1.01 克/公斤; 地上部吸 N 量增加 20.30–22.93 公斤/公顷; 每生产 1 吨香蕉吸收的 N 增加 0.12–0.17 公斤; 氮肥利用率提高 2.26–2.56% (绝对值), 每公斤 N 素的生理利用效率降低 7.5–10.3 公斤。

在全部施用控释尿素的条件下, 减少 20–30% 的施用量处理的香蕉果实、假茎、叶稍、果轴的 N 含量分别降低 0.17–0.23、0.18–0.26、1.00–1.23、0.31–0.61 克/公斤; 地上部吸 N 量减少 15.8–21.6 公斤/公顷; 每生产 1 吨香蕉吸收的 N 减少 0.06–0.12 公斤; 氮肥利用率提高 0.72–1.58% (绝对值), 每公斤 N 素的生理利用效率提高 3.6–7.6 公斤。

在等 N 量的条件下, 控释尿素掺混 20% 的普通尿素施用, 比 100% 的控释尿素处理的香蕉果实、假茎、叶稍、果轴、球茎的 N 含量分别降低 0.08、0.22、–0.09、0.01 克/公斤; 地上部吸 N 量减少 11.1 公斤/公顷; 氮肥利用率降低 1.24% (绝对值), 每公斤 N 素的生理利用效率降低 0.81 公斤;

控释尿素减少 20–30% 施用量, 对香蕉各部位 N 养

分含量及 N 吸收情况的影响无明显规律, 由于多吸收的 N 素对产量的提高无明显影响, 故氮肥利用率及氮的生理利用效率均有所降低。

2.5 香蕉不同施用量及施用方式施用加阳控释尿素的经济效益分析

施用控释尿素比普通尿素的产值提高 6253.00–10309.00 元/公顷, 每公斤 N 增产收益提高 9.29–15.32 元, 每公斤实物氮肥增产收益增加 1.83–4.49 元, 因而施用控释尿素比普通尿素可获得较好的利润 (表 7)。

在全部施用控释尿素的条件下, 减少 20–30% 的施用量, 香蕉总产值减少 7267.00–13013.00 元/公顷, 但每公斤 N 增产收益提高 17.02–24.69 元, 每公斤实物氮肥增产收益增加 7.49–10.86 元; 减少控释尿素的施用量, 产量、产值虽降低, 但施用控释尿素的单位回报率却有所提高。

可见, 在等 N 条件下, 香蕉施用控释尿素, 比普通尿素处理的产值不仅提高, 平均每公斤 N 增产收益及平均每公斤实物氮肥的增产收益亦有所增加, 说明施用控释尿素可获得较大投资回报率。

3 讨论

合理施用氮肥是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%^[19]。这

表 6 控释氮肥施用对香蕉氮养分吸收状况的影响

处理	N 养分含量 (克/公斤)					N 吸收量 (公斤/公顷)	每公斤 N 增产 (公斤)	生产 1 吨香蕉需累积干物质 (公斤)	生产 1 吨香蕉需吸收 N (公斤)	N 生理利用效率 (公斤)	NUE (%)
	果实	假茎	叶稍	果轴	假茎及根						
CK	12.79	16.14	27.22	19.63	14.06	161.9	507	8.56			
RU100%	13.41	17.25	28.08	20.72	15.13	371	43.4	435	7.71	140	31.08
CRU100%	13.44	17.52	28.19	21.26	14.9	392.5	47	436	7.77	137	34.28
CRU80%	13.43	17.28	29.06	20.95	14.67	373	53.5	436	7.82	136	39.24
CRU70%	13.41	16.36	29.06	19.87	14.2	349.8	56.5	435	7.69	141	39.9

表 7 施用不同控释尿素经济效益分析

处理	产值 (元/公顷)	每公斤 N 增加 (元)	普通尿素			控释尿素		合计实物氮肥		每公斤实物氮肥增产值 (元)
			普通尿素	控释尿素	合计实物氮肥	普通尿素	控释尿素			
CK	49179	--	--	--	--	--	--	--	--	
RU100%	125060	112.8	1462.5	0	1462.5	0	1462.5	1462.5	51.88	
CRU100%	131313	122.1	0	1529	1529	0	1529	1529	53.72	
CRU80%	124046	139.1	0	1223.2	1223.2	0	1223.2	1223.2	61.21	
CRU70%	118300	146.8	0	1070.3	1070.3	0	1070.3	1070.3	64.58	

香蕉价格: 2.6 元/公斤

不仅造成农业资源浪费、成本增加，同时对环境有不良影响。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，该类肥料目前是国内外研究的热点^[20]。

本研究表明，施用控释氮肥的香蕉产量比施用普通尿素的香蕉产量有明显提高，施用控释氮肥显著增加香蕉果指数和单果指重。与施用100%尿素处理相比，施用100%控释氮肥和80%控释氮肥3年平均香蕉产量增产幅度达0.92–7.0%，施用100%控释氮肥和80%控释氮肥3年平均香蕉产量增产幅度达0.77–6.03%，这可能与在香蕉生长中后期，由于控释氮肥可以供应充足氮素，能够提供香蕉生长充足的氮素营养，因此获得最高产量。这与前人研究的控释氮肥对香蕉具有增产效果的结果^[21]一致。

本试验试验结果也表明，施用控释尿素香蕉农艺性状（如：株高，径周等）均优于普通尿素处理。说明施用控释肥促进了香蕉生长从而增加香蕉产量，其主要原因可能还是控释氮肥延长了氮素在土壤中留存时间、减少养分损失和提高作物有效性。

香蕉与一般果树比较，需肥量较大，追肥次数较多，全年约需追肥10–15次，因此降低香蕉的追肥次数将对降低农民的劳动强度和人工成本具有非常重要的意义。本研究表明，在等N或者施氮量减少情况下，减少追肥次数香蕉产量仍然增加，说明控释氮肥对香蕉生产具有重要作用，较普通肥料能显著提高氮肥利用率。究其原因可能是供试的控释尿素养分释放动态与香蕉需求较吻合^[22]，为香蕉提供了持续、较高水平的养分供应，满足植物在整个生长期对养分的需求，促进了香蕉株高、每穗果指数。

4 结论

4.1 控释尿素的施用可显著增加香蕉产量。施用控释尿素3年平均香蕉产量与不施氮肥处理相比，增产7.46–31.59吨/公顷，增产幅度达47.37–166.97%，随控释尿素施用量的增加，香蕉产量有增加的趋势，100%控释尿素的香蕉产量最高；与施用100%尿素处理相比，施用100%控释氮肥、80%控释氮肥3年平均香蕉产量增产



0.22–2.52 吨 / 公顷, 增产幅度达 0.92–7.0%。与普通尿素施用相比, 适量施用控释氮肥有助于香蕉获得高产。

4.2 与普通尿素施用相比, 控释氮肥施用提高香蕉产量构成因子(果指数、果指重)、农艺性状(径周、株高)、地上部干重和植株氮素吸收, 其中以施用 100% 控释氮肥、80% 控释氮肥处理表现最好。

4.3 施用控释尿素比普通尿素产值提高 6253–10309

元 / 公顷, 每公斤 N 增产收益提高 9.29–15.32 元, 每公斤实物氮肥增产收益增加 1.83–4.49 元, 因而施用控释尿素比普通尿素可获得较好的投资回报。在全部施用控释尿素的条件下, 减少 20–30% 的施用量, 产值减少 7267–13013 元 / 公顷, 但每公斤 N 增产收益提高 17.02–24.69 元, 每公斤实物氮肥增产收益增加 7.49–10.86 元; 产量、产值虽降低, 但施用控释尿素的单位回报率却有所提高。

参考文献

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5):778–783.
- [2] 李玉萍, 方佳. 中国香蕉产业现状与发展对策研究 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(8):443–447.
- [3] 樊小林, 梁有良, 王孝强, 等. 香蕉营养与施肥 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007:79–83.
- [4] 姚丽贤, 周修冲, 彭志平, 等. 巴西蕉的营养特性及钾镁肥配施技术研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1):116–121.
- [5] 杨苞梅, 林电, 李家均, 等. 香蕉营养规律的研究 [J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(1):117–121.
- [6] 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.
- [7] 李敏, 郭熙盛, 叶舒娅, 等. 硫膜和树脂膜控释尿素对水稻产量、光合特性及氮肥利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4):808–815.
- [8] 王艳, 王小波, 王小晶, 等. 包膜缓释肥料 (CSFS) 增产机理与氮肥利用率示踪研究 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(5):109–111.
- [9] 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.
- [10] 黄达斌, 林芑华, 林惠环, 等. 不同肥料配比对香蕉的施用效果 [J]. 福建果树, 2011(2):1–5.
- [11] 谢贵水, 林位夫, 陈俊明, 等. 不同质量配比的氮磷钾混合肥在香蕉园施用的效果 [J]. 热带作物学报, 2003, 24(1):36–40.
- [12] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发. 香蕉适宜氮、钾肥施用比例研究 [J]. 广东农业科学, 2004(1):35–36.
- [13] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发, 等. 高产香蕉平衡施肥技术研究 [J]. 土壤肥料, 2004(2):26–29.
- [14] 张玉树, 丁洪, 卢春生, 等. 控释肥料对花生产量、品质以及养分利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4):700–706.
- [15] 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.
- [16] 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, 14(3):450–455.
- [17] 易镇邪, 王璞. 包膜复合肥对夏玉米产量、氮肥利用率与土壤速效氮的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2):242–247.
- [18] 侯雪坤, 王鹏. 控释氮肥对玉米生长发育及产量和品质的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2009(5):61–63.
- [19] 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.
- [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] 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, 2012, 40(11):35–41.
- [22] 曲均峰, 赵福军, 傅送保. 香蕉应用不同氮肥的效果研究 [J]. 广东农业科学, 2010, (09):116–117.

控释尿素在湖北棉花上的应用效果研究

鲁剑巍 李小坤

(华中农业大学资源与环境学院, 湖北 武汉, 430070)

摘要: 华中农业大学资环学院在湖北武穴和荆州两地安排的试验结果表明,在常规施氮量每亩 20 公斤等氮量条件下,控释尿素一次基施处理和控释尿素和普通尿素配合一次基施处理比普通尿素基施增产 8.3%–29.6%,增产幅度超过当地多年研究形成和普遍接受的普通尿素基肥加 3 次追肥的处理。控释尿素的农学效率也明显高于等氮量的普通尿素处理。益多宝控释尿素比普通尿素增产和省工的优势十分明显。

试验中设置了 0–25 公斤/亩的控释氮用量试验,结果表明随着控释氮用量的增加,籽棉产量逐渐增加。在武穴试点上,棉花产量与控释氮施用量呈线性关系,说明试验最高 CRU 控释氮量 25 公斤/亩尚未达到最高产量施氮量,继续增加控释氮用量,可能还有增产的潜力;但是在荆州试点上,氮素用量从每亩 20 公斤增加到 25 公斤,籽棉产量没有显著增加。表明在供试地区,实现棉花最高产量的控释尿素施氮量大约在 20–25 公斤/亩。

与普通尿素比较,控释尿素明显增加了氮素养分的吸收利用,在常规氮肥用量(20 公斤 N/亩)条件下,控释尿素一次基施处理的 N 素利用率(当季回收率)比普通尿素基施处理增加了 5.5–16.4 个百分点,比普通尿素基追结合 4 次施肥的处理也提高了 3.3–14.8 个百分点。在武穴试点上,控释尿素与普通尿素配合一次基施处理的 N 素利用率比普通尿素处理增加了 17.0 个百分点,比普通尿素基追结合 4 次施肥的处理也提高了 14.8 个百分点。控释尿素氮素利用率显著提高。

关键词: 控释尿素;棉花;施肥;肥料利用率

前言

长江流域是我国棉花的主产区之一,湖北省是产棉大省,棉花是湖北省的主要经济作物。近二十年来由于棉区高产品种的推广和肥料施用量的增加,导致肥料的利用率不断下降,在施肥成本不断提高的同时,也增加了环境面源污染的风险。为了有效减少和控制化肥的用量,特别是氮素化肥的用量,华中农业大学资环学院与加拿大加阳公司(Agrium)合作,以加阳公司生产的缓控释尿素为材料,在湖北省的武穴市和荆州市产棉区开展了棉花缓控释尿素的肥效试验,研究结果如下。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与供试土壤

本试验于 2010 年 4 月–11 月在湖北省武穴市和荆州市两地进行,以研究控释尿素(CRU)在棉花上的施用效

果。武穴点试验安排在武穴市龙坪镇朱河村、荆州点试验安排在荆州区菱角湖管理区保障大队棉产区。各试验点基础土壤理化性状如下表:

1.2 试验设计

试验共设 11 个处理,分别为:(1)对照(PK);(2)尿素分期施用 N20;(3)尿素一次性施用 N20;(4)控释尿素 N10;(5)控释尿素 N15;(6)控释尿素 N20;(7)控释尿素 N25;(8)尿素一次性施用 N15;(9)60%控释肥+40%尿素配合施用(N15);(10)60%控释肥+40%尿素配合施用(N20);(11)尿素分期施用 N25。各处理 3 次重复。

处理中右下角的数字表示氮肥用量,单位为千克/亩。各处理的磷、钾和硼肥的施用量分别为 P₂O₅ 6 千克/亩、K₂O 12 千克/亩、硼砂 1 千克/亩。肥料品种分别为过磷酸钙、氯化钾和硼砂,全部一次性基施。第 2 和第 11 处理尿素按 30%–20%–30%–20% 的比例分别以基肥、

试验点	pH	有机质	全氮	碱解氮	速效磷	速效钾
		(克/公斤)		(毫克/公斤)		
武穴	8.8	35.6	1.52	115.3	17.8	95.4
荆州	8.9	32.4	1.23	110.1	17.7	131.7

苗肥、蕾肥和花铃肥施用。普通氮肥肥料品种为尿素，含 N 46%。控释尿素由 Agrium 公司提供，含 N 44%。

试验小区面积为 20 平米。武穴试验点棉花品种为 EK288，2010 年 5 月 27 日施基肥，5 月 29 日移栽，密度为 1600 株 / 亩；荆州试验点棉花品种为鄂杂棉 27F1，2010 年 4 月 16 日营养钵育苗，5 月 10 日移栽，密度为 1400 株 / 亩。

武穴试验点于 2010 年 8 月 15 日和 9 月 15 日调查控释尿素施用对棉花生长的影响，并在 9 月 15 日取植株样品。荆州试验点于 2010 年 7 月 15 日和 9 月 9 日调查控释尿素施用对棉花生长的影响，并在 9 月 9 日取植株样品。将各试验点所取棉株分茎秆、叶片、棉壳、棉絮和根系 5 部分测定含氮量，计算植株氮素吸收量和肥料利用率。适时收花，各小区单独计产。

1.3 计算公式

氮肥农学效率 = (施氮处理产量 - 不施氮处理产量) / 氮肥用量。

氮肥肥料利用率 = (施氮处理作物吸氮量 - 不施氮处理吸氮量) / 氮肥施用量 × 100。

2 结果与分析

2.1 控释尿素施用的棉花生长的影响

(1) 武穴试验点

移栽后 76 天对棉花进行第 1 次调查 (表 1)。可以看出，氮肥的施用明显促进了棉花的生长，株高、果枝数、蕾数、花数、小桃数和总果节数均有一定程度的增加。

表 1 8 月 15 日第 1 次调查结果

处理	株高 (厘米)	果枝数 蕾数 花数 小桃数 成桃数						脱落	总果节数	脱落率 (%)
		(个 / 株)								
1 CK	110.7	13.9	39.3	1.1	1.8	0.2	4.8	47.2	10.2	
2 尿素分次施用 (N ₂₀)	138.3	15.8	54.0	1.7	3.9	0.6	6.1	66.3	9.3	
3 尿素一次性施用 (N ₂₀)	133.3	16.4	56.3	2.3	4.2	0.7	9.7	73.3	13.3	
4 CRU (N ₁₀)	113.0	14.6	41.9	1.9	2.6	0.3	5.1	51.8	9.9	
5 CRU (N ₁₅)	131.0	15.2	46.3	2.1	4.6	1.0	6.1	60.1	10.1	
6 CRU (N ₂₀)	139.0	15.8	48.7	1.6	1.9	1.2	7.7	61.2	12.6	
7 CRU (N ₂₅)	145.0	16.2	60.9	5.5	4.8	1.4	6.2	78.8	7.9	
8 尿素一次性施用 (N ₁₅)	130.3	15.0	42.5	1.5	2.9	0.4	6.8	54.0	12.6	
9 60%CRU+40% 尿素 (N ₁₅)	134.7	15.3	40.5	1.3	2.2	0.8	5.5	50.3	10.9	
10 60%CRU+40% 尿素 (N ₂₀)	136.0	15.8	54.3	1.3	3.7	1.0	5.8	66.1	8.8	
11 尿素分次施用 (N ₂₅)	138.0	15.5	57.5	0.9	0.9	1.3	6.2	66.8	9.2	

注：成桃数 = 青桃 + 絮桃；
脱落 = 落蕾 + 落花 + 落桃；
总果节数 = 蕾数 + 花数 + 小桃数 + 成桃数 + 脱落。

表 2 9 月 15 日第 2 次调查结果

处理	株高 (厘米)	果枝数 蕾数 花数 小桃数 成桃数						脱落	总果节数	脱落率 (%)
		(个 / 株)								
1 CK	121.0	16.4	14.3	0.9	7.1	22.9	45.0	90.2	49.9	
2 尿素分次施用 (N ₂₀)	144.0	17.6	11.2	1.4	8.5	34.7	47.0	102.9	45.7	
3 尿素一次性施用 (N ₂₀)	139.0	17.9	9.3	0.9	8.5	36.1	47.6	102.5	46.5	
4 CRU (N ₁₀)	128.3	16.8	10.0	0.9	8.7	26.7	49.5	95.9	51.7	
5 CRU (N ₁₅)	138.0	17.3	7.9	0.7	6.1	28.9	54.9	98.4	55.8	
6 CRU (N ₂₀)	143.0	17.8	9.1	0.9	6.9	36.3	48.3	101.5	47.6	
7 CRU (N ₂₅)	150.0	18.8	8.3	2.7	7.6	39.7	54.9	113.2	48.5	
8 尿素一次性施用 (N ₁₅)	137.0	17.1	10.4	1.8	10.5	31.1	43.5	97.4	44.7	
9 60%CRU+40% 尿素 (N ₁₅)	135.7	17.4	8.5	1.3	7.3	29.0	52.0	98.1	53.0	
10 60%CRU+40% 尿素 (N ₂₀)	143.3	17.7	12.1	0.7	9.1	34.7	52.6	109.2	48.2	
11 尿素分次施用 (N ₂₅)	144.0	18.3	12.8	1.1	8.5	38.0	49.9	110.3	45.2	

移栽后 106 天对棉花进行第 2 次调查 (表 2)。CRU (N₂₅) 处理各生长指标和尿素分期施用处理相比显著增加。

(2) 荆州试验点

移栽后 65 天对棉花进行第 1 次调查 (表 3)。可以看出, 氮肥的施用促进了棉花的生长, 株高、果枝数、蕾数均有一定程度的增加, 但该时期的花数和小桃数变化不大。

移栽后 120 天对棉花进行第 2 次调查 (表 4)。可以看出, 氮肥的施用明显促进了棉花的生长, 株高、果枝数、蕾数、花数、小桃数和总果结数均有一定程度的增加。



2.2 施用控释尿素 (CRU) 对棉花产量的影响

2.2.1 CRU 施用效果

试验处理 (1)、(4)、(5)、(6) 和 (7) 为控释尿素 (CEU) 用量试验。可以看出 (图 1), 在武穴试验点, 不同用量 CRU 处理均可显著增加籽棉产量, 增幅

为 21.3–84.3%。棉花产量与 CRU 施用量呈线性关系, 说明试验最高 CRU 用量设置过低, 棉花还有增产潜力。荆州试验点, 各 CRU 处理也显著提高棉花产量, 增幅为 31.8–70.6%。棉花产量与 CRU 施用量呈线性加平台关系, 当施用量小于 20 千克/亩时, 籽棉产量随 CRU 施用量的

表 3 7 月 15 日第 1 次调查结果

处理	株高 (厘米)	果枝数 蕾数 花数 桃数			
		(个/株)			
1 CK	45.3	7.5	8.6	0.1	—
2 尿素分次施用 (N ₂₀)	47.0	8.3	10.1	0.1	0.1
3 尿素一次性施用 (N ₂₀)	52.3	9.1	12.0	0.3	0.1
4 CRU (N ₁₀)	51.7	8.0	10.1	0.1	0.1
5 CRU (N ₁₅)	51.3	7.9	10.0	0.1	—
6 CRU (N ₂₀)	58.3	8.8	13.8	0.2	—
7 CRU (N ₂₅)	51.7	8.6	11.6	0.1	0.1
8 尿素一次性施用 (N ₁₅)	49.3	8.6	11.1	0.3	0.3
9 60%CRU+40% 尿素 (N ₁₅)	53.7	7.3	13.3	0.1	—
10 60%CRU+40% 尿素 (N ₂₀)	53.3	9.3	12.7	0.3	0.3
11 尿素分次施用 (N ₂₅)	55.0	7.7	13.4	0.1	0.2

表 4 9 月 9 日第 2 次调查结果

处理	株高 (厘米)	果枝数 蕾数 花数 小桃数 成桃数 脱落 总果节数 脱落率							
		(个/株)							
1 CK	75.0	14.7	6.7	0.4	3.3	10.7	28.3	49.4	57.4
2 尿素分次施用 (N ₂₀)	86.0	17.0	9.3	0.9	5.3	15.8	30.3	61.7	49.1
3 尿素一次性施用 (N ₂₀)	84.0	17.0	6.7	0.4	4.3	15.3	28.3	55.1	51.4
4 CRU (N ₁₀)	84.0	17.0	7.0	0.6	4.3	13.7	30.7	56.3	54.5
5 CRU (N ₁₅)	89.7	17.7	8.3	0.5	4.3	17.7	32.3	63.2	51.2
6 CRU (N ₂₀)	100.7	19.0	13.0	1.2	10.7	20.3	47.0	92.2	51.0
7 CRU (N ₂₅)	101.3	19.0	13.0	1.5	10.3	19.7	45.3	89.8	50.5
8 尿素一次性施用 (N ₁₅)	78.7	15.7	7.3	0.6	4.7	13.7	32.0	58.2	55.0
9 60%CRU+40% 尿素 (N ₁₅)	87.3	17.3	8.3	0.9	7.0	15.7	31.7	63.6	49.8
10 60%CRU+40% 尿素 (N ₂₀)	93.3	17.7	10.0	1.1	5.7	14.3	38.0	69.1	55.0
11 尿素分次施用 (N ₂₅)	91.7	18.0	10.7	1.2	6.3	18.3	36.7	73.2	50.1

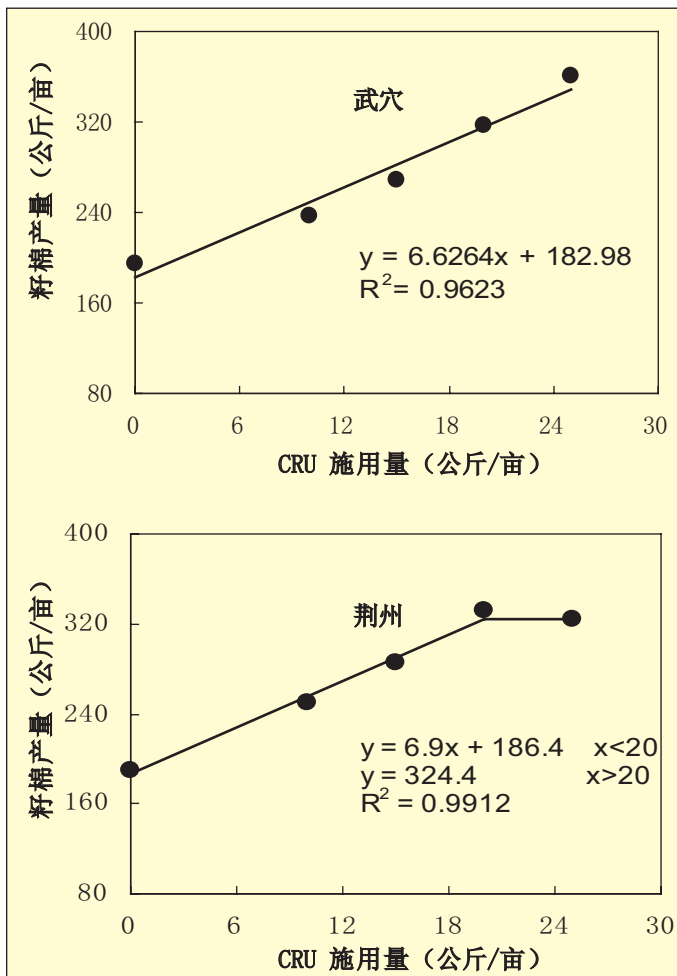


图1 控释尿素施用对籽棉产量的影响

增加而增加；当 CRU 用量高于 20 千克/亩，籽棉产量趋于稳定，为 324.4 千克/亩。

2.2.2 等量 CRU 与尿素对比试验

试验处理(1)、(2)、(3)、(6)和(10)为等氮量(N₂₀)条件下，CRU 和普通尿素对比试验，产量结果如表 5 所示。不同施氮处理均可显著增加籽棉产量。与尿素分期施用处理相比，武穴点和荆州点尿素一次性施用处理棉花分别减产 7.0% 和 13.9%；CRU 处理分别增产 1.7% 和 11.7%；60% CRU+40% 尿素配合施用处理分别增产 0.8% 和 6.9%。

2.2.3 不同用量 CRU 和尿素施用效果比较

试验处理(2)、(8)、(5)、(9)、(10)和(11)为不同氮肥用量条件下，CRU 和普通尿素施用效果试验，产量结果如表 6 所示。与尿素分期施用(N₂₀)处理相比，减少氮肥用量，尿素一次性施用(N₁₅)、CRU(N₁₅)和 60%CRU+40% 尿素配合施用(N₁₅)处理的棉花产量均显著降低，但 CRU 处理的降低幅度要小于普通尿素处理。

与尿素分期施用(N₂₀)处理相比，增加氮肥用量，尿素分期施用(N₂₅)和 CRU(N₁₅)处理产量显著增加，说明棉花是一种需氮量很高的作物。

表 5 等量控释尿素和普通尿素施用效果比较

处理	武穴			荆州		
	籽棉产量 (千克/亩)	增产	增幅 (%)	籽棉产量 (千克/亩)	增产	增幅 (%)
对照	195.5	--	--	195.5	--	--
尿素分期施用(N ₂₀)	312.0	116.5	59.6	312.0	116.5	59.6
尿素一次性施用(N ₂₀)	290.2	94.7	48.4	290.2	94.7	48.4
CRU(N ₂₀)	317.4	121.9	62.4	317.4	121.9	62.4
60%CRU + 40% 尿素(N ₂₀)	314.4	118.9	60.8	314.4	118.9	60.8

表 6 不同用量控释尿素和普通尿素施用效果比较

处理	武穴			荆州		
	籽棉产量 (千克/亩)	增产	增幅 (%)	籽棉产量 (千克/亩)	增产	增幅 (%)
尿素分期施用(N ₂₀)	312.0			297.7		
尿素一次性施用(N ₁₅)	263.1	-48.9	-15.7	234.5	-63.2	-21.2
CRU(N ₁₅)	268.5	-43.5	-13.9	255.0	-42.7	-14.3
60%CRU + 40% 尿素(N ₁₅)	267.5	-44.5	-14.3	251.2	-46.5	-15.6
尿素分期施用(N ₂₅)	344.6	32.6	10.5	318.7	21.0	7.1
CRU(N ₂₅)	360.3	48.3	15.5	323.7	26.0	8.7

2.3 氮肥农学效率

武穴试验点的低氮肥用量 (N₁₅) 条件下, CRU 处理氮肥农学效率和普通尿素处理相比变化不大, 高氮肥用量 (N₂₅ 或 N₂₅) 条件下, CRU 处理氮肥农学效率与尿素处理相比显著提高 (表 7)。

荆州试验点与武穴试验点不同, 低氮肥用量条件下, CRU 处理氮肥农学效率与尿素处理相比显著提高。高氮肥用量 (N₂₅) 条件下, CRU 处理氮肥农学效率也有增加的趋势, 如果继续提高氮肥用量, CRU 处理氮肥农学效率显著降低, 这可能与该试验点棉花产量水平较低有关。

常规氮肥用量 (N₂₀) 条件下, 尿素分期施用处理氮肥利用率与尿素一次性施用处理相比, 武穴和荆州两试验点肥料利用率分别提高 2.2% 和 6.8% (表 8)。控释氮肥处理 (CRU) 与尿素一次性施用处理相比, 肥料利用率提高 5.5% 和 16.4%; 与尿素分期施用处理相比提高 3.3% 和 9.6%。

3 讨论

(1) 两试验点棉花产量结果差异较大 (武穴产量较高, 荆州产量偏低), 可能与棉花品种不同有关。也可能与武

表 7 不同施氮处理的氮肥农学效率

处理	武穴		荆州	
	籽棉产量 (千克/亩)	农学效率 (公斤/公斤 N)	籽棉产量 (千克/亩)	农学效率 (公斤/公斤 N)
1 CK	195.5		195.5	
2 尿素分次施用 (N ₂₀)	312.0	5.8	312.0	5.8
3 尿素一次性施用 (N ₂₀)	290.2	4.7	290.2	4.7
4 CRU (N ₁₀)	237.1	4.2	237.1	4.2
5 CRU (N ₁₅)	268.5	4.9	268.5	4.9
6 CRU (N ₂₀)	317.4	6.1	317.4	6.1
7 CRU (N ₂₅)	360.3	6.6	360.3	6.6
8 尿素一次性施用 (N ₁₅)	263.1	4.5	263.1	4.5
9 60%CRU+40% 尿素 (N ₁₅)	267.5	4.8	267.5	4.8
10 60%CRU+40% 尿素 (N ₂₀)	314.4	5.9	314.4	5.9
11 尿素分次施用 (N ₂₅)	344.6	6.0	344.6	6.0

表 8 不同施氮处理棉花吸氮量及氮肥利用率

处理	养分吸收量 (千克/亩)		肥料利用率 (%)	
	武穴	荆州	武穴	荆州
对照	71.9	25.6	--	--
尿素分期施用 (N ₂₀)	123.7	75.2	17.3	16.5
尿素一次性施用 (N ₂₀)	117.1	54.7	15.1	9.7
CRU (N ₂₀)	133.6	104.0	20.6	26.1
60%CRU + 40% 尿素 (N ₂₀)	168.0	56.8	32.1	10.4

2.4 氮肥吸收利用率

常规氮肥用量 (N₂₀) 条件下, 尿素分期施用处理 N 养分吸收量与尿素一次性施用相比, 武穴和荆州两试验点分别增加 5.7% 和 37.5% (表 8)。CRU 处理 N 养分吸收量与尿素一次性施用处理相比, 两试验点分别增加 14.1% 和 90.0%, 与尿素分期施用处理相比, 分别增加 8.0% 和 38.3%。

穴种植模式和习惯有关。武穴试验点属棉花高产创建区, 整个生育期进行了 5 次化学调控, 分别于 6 月 22 日、7 月 17 日、8 月 17 日、9 月 3 日和 9 月 18 日兑水喷施缩节胺 0.5 克/亩、1.0 克/亩、1.5 克/亩、3 克/亩和 3.5 克/亩; 另外为了防虫喷施农药 13 次。另一方面, 两试验点棉花产量较往年均有一定程度的减产, 可能于本年度气候反常

有关：移栽后气温低，不利于棉株的生长发育；6月中旬至7月初，持续高温干旱天气达25天，对棉花蕾期生长发育不利；7月份，连降暴雨，降雨量达330毫米，对棉花开花结铃极为不利，授粉不良，脱落严重，有脱肥表现，明显影响生殖生长；9月中旬至10月底又出现频繁低温，不利吐絮。

(2) 两试验点的肥料吸收利用率均偏低，可能与取样时间有关。因为棉花收获特点与其它作物不同，采用的是适时收获，而且可能先后要摘7次花，所以取样时间安排在即将摘花的时候，可能并不是棉花的最大养分吸收期。另一方面，也可能与取样前打营养枝和打顶有关，损失了部分生物量，导致实测养分吸收偏低。因此，本报告中的肥料利用率只能相对比较各施肥处理在特定时期的结果。

4 结论

(1) 氮肥的施用能显著提高棉花产量。棉花产量随着CRU施用量的增加而增加，武穴试验点最佳施用量在25千克/亩，荆州试验点最佳施用量为20千克/亩。

(2) CRU施用效果与尿素分期施用处理相比略有增产，但与一次性施用处理相比显著增产。CRU和尿素配合施用与单施CRU相比效果相当。

(3) 减少CRU用量，棉花产量显著降低。增加CRU用量，不同试验点表现不同，高产区(武穴)仍有增产的趋势，普通棉产区(荆州)产量趋于稳定。

(4) CRU施用可减少施肥次数，提高氮肥农学利用效率和肥料吸收利用率。



缓（控）释尿素对马铃薯产量和肥料利用效率的影响¹

段玉 张君 侯建伟 栗艳芳 莎娜

(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)

摘要: 为明确缓释尿素在马铃薯上的施用效果, 2009–2011 年在马铃薯主产区武川县和察右中旗进行了马铃薯施用缓释尿素试验研究。结果表明, 马铃薯施用氮肥均有显著的增产效果, 施用缓释尿素比普通尿素增产 5.7%–12.7%, 平均为 7.4%, 以普通尿素配合缓释尿素基施产量最高。施用缓释尿素较普通尿素马铃薯的商品率提高 2 个百分点, 单株块茎数增加 0.2–0.6 个, 块茎单重增加 6.5–7.2 克。施用缓释尿素氮肥的农学效率提高 7.5–8.8 公斤/公斤 N, 氮素 (N) 利用率提高 11.4–15.9 个百分点, 可以显著提高氮肥施肥肥效, 减少氮素损失。一次性基施缓释尿素 75% 施氮量与 100% 普通尿素基施效果相当, 说明施用缓释尿素可以减少施氮量 25% 而基本不减产。

关键词: 马铃薯; 缓释尿素; 产量; 肥料利用率

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是内蒙古自治区的主要作物之一, 2010–2014 年, 马铃薯平均播种面积 970 万亩, 总产 91 万吨, 分别占全国的 12.3% 和 10%^[1]。氮素是马铃薯生长发育过程中所需的最重要营养元素, 每生产 1 吨马铃薯鲜薯吸收氮素 (N) 约为 5–6 公斤^[2], 是马铃薯种植者投入成本最大的肥料。马铃薯大多种植在沙质土壤上, 由于氮素在土壤中容易转化成氨从而造成氨挥发或转化成为硝酸盐或亚硝酸盐随水淋失, 渗入到地下水^[3, 4], 造成环境污染, 因而氮是最难以管理的营养元素。目前马铃薯生产上氮肥施用主要以基施为主, 追肥主要在苗期进行, 比例相对较少, 氮素利用率普遍较低, 当季利用率不足 30%, 氮素损失浪费较大。如何合理施用氮肥提高氮素利用率有重要意义。缓/控释肥料以养分缓慢释放, 释放期长达 65–90 天^[5], 有效延长了作物对肥料的吸收期, 肥料利用率显著提高, 对环境污染小等诸多优点成为 21 世纪化学肥料工业的发展方向, 缓释肥料的肥料效应、作物效应、环境效应、生物学效应均比普通尿素优越^[6, 7]。本文以加拿大加阳公司缓释尿素为研究材料,

采用多年多点试验研究缓释尿素对马铃薯产量性状、产量、氮素利用效率的影响, 为马铃薯科学施用氮肥提供依据。

1 材料方法

1.1 试验地点

试验在内蒙古武川县和察右中旗进行。

1.2 供试土壤

试验地选择肥力中下等土壤进行, 质地都为沙壤土, 土壤养分状况见表 1 (ASI)^[8]。

1.3 供试品种和肥料

试验品种为克新一号马铃薯。试验用缓释尿素由加拿大加阳公司提供, 包膜尿素是一种颗粒形态肥料, 含氮量 (N) $\geq 44.0\%$, 24 小时溶出率 $\leq 15\%$, 28 天溶出率 $\leq 50\%$, 60 天溶出率 $\geq 80\%$, 粒度 (1.00–4.75 毫米) $\geq 90\%$, 包膜材料: 聚氨基甲酸酯。普通尿素含氮量 46%, 磷肥用

表 1 试验土壤养分状况

地点	pH	OM (%)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K S Fe Cu			
						(毫克/升)			
2009 察右中旗喷灌	8.7	0.88	7.3	11.6	31.7	117.1	0	11	2.1
2009 武川滴灌	8.37	1.28	11.4	31.4	26.8	137	0	11.6	2.5
2010 武川喷灌	8.39	0.54	16.9	6.6	25.4	83.9	21.9	21.1	2
2010 武川滴灌	8.44	0.85	6.8	27.4	19.8	80.6	12.9	11.5	1.6
2011 武川滴灌	8.12	1.29	0.0	19.9	14.3	80.4	17.0	8.8	2.5

基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目部资助

作者简介: 段玉 (1963 –), 研究员, 硕士, 主要从事植物营养与施肥技术研究工作。邮箱: yduan@ipni.ac.cn。

三料磷肥含 P_2O_5 46%，钾肥用氯化钾含 K_2O 60%。田间管理和施肥磷钾肥全部在播种时做种肥条施，氮肥根据试验要求在播种带条施。

1.4 试验设计

试验在磷钾基础上施用氮肥，养分推荐用量由中加合作实验室推荐^[8]。试验设9个处理分别为：(1)不施氮(CK)，(2)100%推荐施氮量用普通尿素基施(RU100%B)，(3)40%推荐施氮量用普通尿素基施，60%推荐施氮量用普通尿素追施(RU40%B+RU60%T)，(4)40%推荐施氮量用普通尿素基施，60%推荐施氮量用缓释尿素基施(RU40%+CRU60%)B，(5)100%推荐施氮量用缓释尿素基施(CRU100%B)，(6)75%推荐施氮量用缓释尿素基施(CRU75%B)，(7)75%推荐施氮量用普通尿素基施(RU75%B)，(8)50%推荐施氮量用缓释尿素基施(CRU50%B)，(9)50%推荐施氮量用普

通尿素基施(RU50%B)。小区面积30平方米，三次重复，随机排列。其他试验情况见表2。

2 结果与分析

2.1 施肥对马铃薯产量的影响

试验各处理分别测产收获，各处理结果见表3。

试验结果表明：马铃薯施用氮肥均有增产效果，施用氮肥增加产量范围为247–607公斤/亩，平均为460公斤/亩，增产率7.1%–48.0%，平均为24.3%，不施氮肥处理与所有施氮处理有显著差异。在各施氮肥处理中，100%缓释尿素基施效果最好产量最高，其次是40%普通尿素+60%缓释尿素基施，40%普通尿素基施+60%普通尿素追施和75%缓释尿素基施，这四个处理产量相近差异不显著，比100%普通尿素基施增加1.8–7.4个百分点。

表2 试验基本情况

地点	2009 中旗喷灌	2009 武川滴灌	2010 武川喷灌	2010 武川滴灌	2011 武川滴灌
密度(株/亩)	3000	3000	4000	3000	3000
施肥时期	种肥5月13日， 追肥8月8日	种肥5月24日， 追肥7月5日	种肥5月18日， 追肥7月8日	种肥5月14日， 追肥7月20日	种肥5月13日， 追肥8月7日
N- P_2O_5 - K_2O (公斤/亩)	20-7-11	14-6-11	20-8-11	14-6-11	14-6-11
播种日期	5月13日	5月24日	5月18日	5月14日	5月13日
出苗日期	6月10日	6月18日	6月22日	6月25日	7月12日
开花期	7月8日	7月17日	7月21日	7月27日	8月5日
收获期	9月18日	9月20日	9月28日	9月30日	9月24日
降雨量毫米	165.5	158.5	171	171	215.5
灌水量立方米	喷灌11次， 每次喷灌约15毫米， 合计165毫米	第一次43.2毫米， 第二次70.0毫米 合计113.2毫米	喷灌11次， 每次喷灌约15毫米， 合计165毫米	第一次48毫米， 第二次48毫米 合计96毫米	滴灌3次， 每次滴灌25毫米， 合计75毫米
≥10℃积温 oC	基本每周1次	7月5日，7月12日	基本每周1次	7月3日，7月21日	7月10日，7月20日，8月7日
病虫害	2050℃ 无病虫害	2100℃ 有晚疫病	2250℃ 无病虫害	2250℃ 无病虫害	2250℃ 无病虫害

表3 不同施肥处理马铃薯产量变化

处理	产量(公斤/亩)					增产(%)			
	2009 中旗喷灌	2009 武川滴灌	2010 武川喷灌	2010 武川滴灌	2011 武川滴灌	平均	最小值	最大值	平均
CK	1938e	2796d	1185d	2370d	1559d	1970f	--	--	--
RU 100% B	2303b	3310b	1603ab	3033bc	1871bc	2424bc	18.4	35.3	24.1
RU 40% B+60% T	2370ab	3366ab	1753a	3340a	1953a	2556ab	20.4	47.9	31.4
(RU 40%+CRU 60%) B	2355ab	3394ab	1754a	3339a	1921ab	2553ab	21.4	48.0	31.0
CRU 100% B	2428a	3469a	1671a	3309a	1991a	2574a	24.1	41.0	31.5
CRU 75% B	2325b	3329b	1573ab	3154ab	1947a	2465ab	19.1	33.1	25.9
RU 75% B	2183c	3142c	1422c	3004bc	1855bc	2321cd	12.4	26.7	18.2
CRU 50% B	2110cd	3123c	1513b	3039bc	1890bc	2335c	8.9	28.2	19.5
RU 50% B	2077d	3048c	1307c	2822c	1820c	2215e	7.1	19.1	12.5

注：RU——普通尿素，CRU——缓释尿素，B——基施，T——追施



2.2 施用缓释尿素对马铃薯产量性状和商品率的影响

表 4 结果表明：马铃薯不施氮肥处理的单株结薯数最低，平均为 3.75 个，施用氮肥单株节薯数均有增加，增加 0.2–0.6 个，以 100% 缓释尿素和 75% 缓释尿素基施单株结薯数最高，分别为 4.38 和 4.31 个，比 100% 普通尿素基施增加 0.2 个。施用氮肥马铃薯单薯重增加，增加幅度平均为 12.2–26.6 克，以 RU 40% B+60% T、(RU 40%+CRU

60%) B 和 CRU 100% B 3 个处理单薯重较高，比普通尿素一次基施增加 6.2–7.5 克。

表 5 结果表明：施用氮肥马铃薯商品薯率均有所提高，由不施氮肥处理的 72.7% 到施用氮肥的 73.2%–77.7%，增加 0.5–5 个百分点。以普通尿素 40% 配合缓释尿素 60% 基施商品薯率最高，达 77.7%。100% 缓释尿素基施、40% 普通尿素基施 +60% 缓释尿素基施、40% 普通尿素基施 +60% 普通尿素追施、75% 普通尿素基施和 100% 普通尿素一次基施 4 个处理的商品薯率都超过 77%，这 4 个处理的商品薯率差异不大。

2.3 施用缓释尿素对氮素利用效率的影响

增施氮肥的农学效率 (AE) 为 17.4–66.9 公斤/公斤 (见表 6)，100% 普通尿素基施的农学效率最低，21.8%–43.5%，平均为 27.4%。其他处理顺序依次为：50% 缓释尿素基施 (51.8%) > 75% 缓释尿素基施 (49.1%) > RU 40% B+60% T (44.1%) > (RU 40%+CRU

表 4 不同施肥处理的马铃薯单株结薯数和单薯重的影响

处理	单株结薯数 (个)						单薯重 (克)						
	2009 中		2009 武		2010 武		2009 中		2009 武		2010 武		平均
	旗喷灌	川滴灌	川喷灌	川滴灌	川滴灌	平均	旗喷灌	川滴灌	川喷灌	川滴灌	川滴灌		
CK	2.96	3.70	3.82	4.50	3.78	3.75	187.6	136.6	101.7	158.4	145.4	145.9	
RU 100% B	3.30	4.45	4.38	4.62	3.60	4.07	199.6	137.0	120.1	197.3	171.3	165.1	
RU 40% B+60% T	3.55	4.20	4.30	4.93	3.91	4.18	192.8	147.8	143.8	204.0	174.5	172.6	
(RU 40%+CRU 60%) B	3.52	4.28	4.36	4.93	3.87	4.19	192.6	152.1	137.4	203.6	170.3	171.2	
CRU 100% B	3.50	4.18	4.89	5.02	4.30	4.38	201.1	167.0	125.8	198.5	170.4	172.6	
CRU 75% B	3.43	4.20	4.82	4.90	4.20	4.31	195.4	141.2	125.6	193.4	167.8	164.7	
RU 75% B	3.37	4.00	3.60	4.78	3.97	3.94	185.2	141.3	133.9	188.1	157.2	161.1	
CRU 50% B	3.38	3.93	3.71	4.72	4.03	3.95	180.1	138.7	148.4	193.5	157.8	163.7	
RU 50% B	3.25	3.93	4.21	4.68	3.63	3.94	187.5	138.0	113.2	181.7	170.3	158.1	

表 5 施肥对马铃薯商品薯率的影响

处理	商品薯率 (%)						
	2009		2010		2011		平均
	中旗喷灌	武川滴灌	武川喷灌	武川滴灌	武川滴灌		
CK	68.6	69.4	59.6	88.5	77.1	72.7	
RU 100% B	66.5	65.4	69.5	95.3	81.3	75.6	
RU 40% B+60% T	62.6	74.1	73.3	94.3	80.8	77.0	
(RU 40%+CRU 60%) B	65.7	71.1	76.4	91.8	83.3	77.7	
CRU 100% B	70.4	69.9	77.2	90.4	79.0	77.4	
CRU 75% B	71.9	61.9	77.3	94.3	80.0	77.1	
RU 75% B	63.5	60.5	76.3	91.2	77.4	73.8	
CRU 50% B	67.1	69.8	75.4	89.0	82.5	76.8	
RU 50% B	67.3	66.9	59.0	89.8	83.1	73.2	

60%) B (43.7%) > 100% 缓释尿素基施 (43.4%)。总的来看, 施用缓释尿素处理的农学效率在 35–40 公斤/公斤 N 之间, 而施用普通尿素处理的农学效率为 27–30 公斤/公斤 N, 缓释尿素较普通尿素的氮肥 (N) 农学效率增加 8.8–14.7 公斤/公斤, 平均为 11.8%。

马铃薯施用氮肥的氮素利用率为 21.8%–74.1% 之间 (表 7), 50% 缓释尿素基施氮素利用率最高达到 51.8%, 75% 缓释尿素基施次之为 49.1%, 依次为 RU 40% B+60% T 为 44.1%, (RU 40%+CRU 60%) B 为 43.7%, CRU100% 基施为 43.4%, 100% 普通尿素基施的氮素利用率最低, 平均为 32%。施用缓释尿素较施用普通尿素的氮素利用率增加 11.4–15.9 个百分点, 平均为 13.7%。

2.4 施用缓释尿素对土壤矿质氮残留的影响

收获后耕层土壤硝态氮和铵态氮含量随着温度湿度等变化较大, 3 年 5 项次试验来看 (见表 8, 图 1), 土壤矿质氮 (硝态氮 + 铵态氮) 含量的顺序依次为: CRU100%B > (RU40%+CRU 60%) B > RU40% B+60%T > CRU75% B > RU100%B > CRU50%B > RU75%B > RU50% B > CK。

其中 CRU100%B、(RU40%+CRU 60%) B、RU40% B+60%T 和 CRU75% B 4 个处理的矿质氮含量较高, 平均含量均超过 20 毫克/公斤, 但各处理之间总体相差很小, 不超过 2.5 毫克/公斤, 说明增施缓释尿素不会造成土壤氮素残留和积累。

从铵态氮和硝态氮两种形态氮素来看, 2009 年和 2011 年收获后土壤湿度较高, 残留氮主要形态为硝态氮, 2010 年收获后土壤湿度较小, 残留氮主要是铵态氮 (见图 1)。

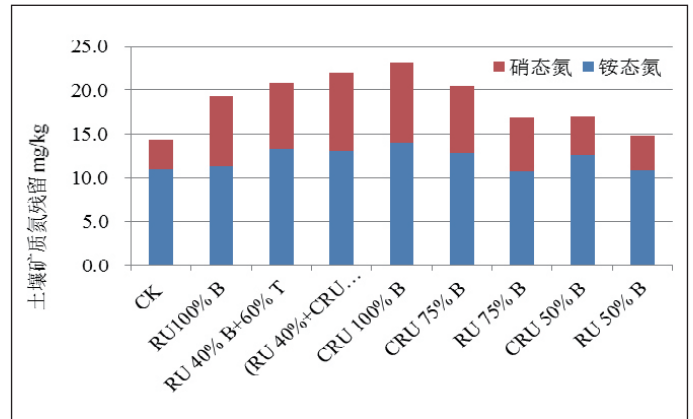


图 1 不同施肥处理收获时土壤铵态氮和硝态氮含量变化

表 6 马铃薯施用缓释尿素对农学效率的影响

处理	农学效率 AE (公斤/公斤)					平均
	2009		2010		2011	
	中旗喷灌	武川滴灌	武川喷灌	武川滴灌	武川滴灌	
CK	--	--	--	--	--	--
RU 100% B	26.1	25.7	29.8	33.2	22.3	27.4
RU 40% B+60% T	30.8	28.5	40.5	48.5	28.1	35.3
(RU 40%+CRU 60%) B	29.8	29.9	40.6	48.4	25.9	34.9
CRU 100% B	35.0	33.7	34.7	46.9	30.9	36.2
CRU 75% B	36.8	35.5	37.0	52.3	37.0	39.7
RU 75% B	23.3	23.1	22.6	42.3	28.2	27.9
CRU 50% B	24.5	32.7	46.8	66.9	47.4	43.7
RU 50% B	19.8	25.2	17.4	45.2	37.4	29.0

表 7 施用缓释尿素对马铃薯氮素利用率的影响

处理	氮素利用率 (%)					平均
	2009		2010		2011	
	中旗喷灌	武川滴灌	武川喷灌	武川滴灌	武川滴灌	
CK	--	--	--	--	--	--
RU 100% B	36.3	26.1	21.8	32.3	43.5	32.0
RU 40% B+60% T	39.3	30.9	40.2	61.7	48.7	44.1
(RU 40%+CRU 60%) B	42.2	35.4	38.3	56.8	45.7	43.7
CRU 100% B	46.7	34.4	37.2	50.8	47.8	43.4
CRU 75% B	47.4	38.6	35.5	64.1	60.1	49.1
RU 75% B	41.8	25.5	23.6	35.8	50.3	35.4
CRU 50% B	39.9	34.0	44.8	66.4	74.1	51.8
RU 50% B	35.8	26.8	20.5	39.1	57.1	35.9

表 8 马铃薯收获后耕层(0-20 厘米)土壤矿质氮含量(毫克/公斤)

处理	2009 中旗喷灌		2009 武川滴灌		2010 武川喷灌		2010 武川滴灌		2011 武川滴灌		平均	
	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮
CK	7.5	2.0	4.5	6.5	18.9	1.8	20.9	2.1	3.0	4.6	11.0	3.4
RU 100% B	9.4	3.2	4.7	12.6	19.3	3.4	20.0	2.7	2.8	18.7	11.2	8.1
RU 40% B+60% T (RU 40%+CRU 60%) B	7.2	3.5	7.4	12.4	19.8	1.7	28.9	3.1	3.3	17.1	13.3	7.6
CRU 100% B	7.1	4.4	10.8	11.5	19.5	1.9	24.4	2.5	3.8	24.1	13.1	8.9
CRU 75% B	7.6	2.9	9.3	17.4	23.5	2.3	26.5	2.9	3.1	20.1	14.0	9.1
RU 75% B	6.5	2.5	8.7	11.8	20.7	3.2	25.6	2.6	3.1	18.0	12.9	7.6
CRU 50% B	6.9	1.9	6.5	8.8	16.5	2.8	21.7	1.6	2.3	15.4	10.8	6.1
RU 50% B	7.4	1.9	5.4	8.4	22.1	2.0	24.9	2.8	3.0	7.5	12.6	4.5
RU 50% B	6.8	1.6	4.9	8.0	17.2	2.1	22.1	1.9	3.2	5.8	10.8	3.9

3 结论与讨论

马铃薯施用氮肥增产效果显著,施用氮肥平均增产 460 公斤/亩,平均增产率 24.3%。以普通尿素 40% 配合缓释尿素 60% 基施增产效果最好,单独使用缓释尿素基施可以减少施氮量 25% 马铃薯产量基本不减少。说明缓释尿素具有较好的节肥增效作用,在玉米、水稻等作物上表现结果相同^[9-12]。

施用氮肥单株节薯数均有增加,以 100% 缓释尿素和 75% 缓释尿素基施单株结薯数最高。施用氮肥马铃薯单薯重增加,以普通尿素 40% 配合缓释尿素 60% 基施、40% 普通尿素 +60% 缓释尿素基施和 100% 缓释尿素基施 3 个处理单薯重较高。施用缓释尿素马铃薯的商品薯率有所提高,以 100% 缓释尿素基施和 40% 普通尿素 +60% 缓释尿素基施商品率较高。研究表明,施用

缓释尿素马铃薯单株结薯数、单薯重和商品薯率都有所提高。

施用缓释尿素处理的农学效率在 40 公斤/公斤左右,而施用普通尿素处理的农学效率为 27-28 公斤/公斤。施用缓释尿素或缓释尿素与普通尿素配合氮素回收率在 40% 以上,而普通尿素基施氮素回收率都低于 30%。说明施用缓释尿素可以提高肥效,增加施肥效益^[5-7]。

施用缓释尿素可提高氮肥利用率 4.3-17 个百分点,因而施用缓释尿素可减少氮肥施用量。试验结果表明,用 75% 缓释尿素基施可以代替 40% 普通尿素基施 +60% 普通尿素追施或 40% 普通尿素基施 +60% 缓释尿素基施,没有减产。

收获后土壤铵态氮和硝态氮含量总体差异不大,以 100% 施氮量土壤矿质氮较多一些,氮各处理之间差异不大,可以认为缓释尿素在土壤中没有残留。

参考文献

- [1] 中国种植业信息网. 农作物数据库 [2011-5-20]. 网址: <http://zzys.agri.gov.cn/nongqing.aspx>.
- [2] 段玉, 妥德宝. 内蒙古马铃薯最佳养分管理. 呼和浩特: 内蒙古教育出版社 2011.2.
- [3] Carl J. Rosen and Peter M. Bierman. Best Management Practices for Nitrogen Use: Irrigated Potatoes. <http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/nitrogen/docs/08559-potatoesMN.pdf>.
- [4] Robert, M. and Bryan, H. Fertilizer Management Practices for Potato Production in the Pacific Northwest. [http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/1510bfb2a4649f7c8525756f005899e9/\\$FILE/BMP_Potato.pdf](http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/1510bfb2a4649f7c8525756f005899e9/$FILE/BMP_Potato.pdf).
- [5] 段路路, 张民, 刘刚, 等. 缓控释肥料养分释放特性评价及快速测定方法研究. 土壤学报, 2009, 46(2): 299-307.
- [6] 刘宁, 孙振涛, 韩晓日, 等. 缓/控释肥料的研究进展及存在问题. 土壤通报. 2010, 41(4): 1005-1009.
- [7] 古慧娟, 石元亮, 于阁杰, 等. 我国缓/控释肥料的应用效应研究进展. 土壤通报. 2011, 42(1): 220-224.
- [8] Bai, Y., L. Yang, and J. Jin. Principles and Practices of Soil Test Based Fertilizer Recommendations. China Agriculture Press. 2007.
- [9] 纪雄辉, 罗兰芳, 郑圣先. 控释肥料对提高水稻养分利用率和削减稻田土壤环境污染的作用. 磷肥与复肥. 2007, 22(3): 67-68.
- [10] 许仙菊, 马洪波, 宁运旺, 等. 缓释氮肥运筹对稻麦轮作周年作物产量和氮肥利用率的影响. 植物营养与肥料学报. 2016, 22(2): 307-316.
- [11] 邵鹏. 树脂包膜型缓释尿素在玉米上应用的肥效试验. 安徽农学通报, 2014, 20(14): 39-40.
- [12] 闫童, 丁文峰, 曹永贞, 等. 控释氮肥对夏玉米氮素积累及产量的影响. 中国农学通报. 2015, 31(36): 60-64.

内蒙古向日葵施用缓释尿素的效果研究

段玉 侯建伟 张君 景宇鹏

(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)

摘要: 2014年在内蒙古巴彦淖尔市五原县和赤峰市松山区分别进行了向日葵肥料的大田小区试验, 设置缓释尿素一次性基施(OPT₂), 优化施肥(OPT₁)处理, 并在OPT₁的基础上设置减素试验, 分别是减氮(OPT₁-N)、减磷(OPT₁-P)和减钾(OPT₁-K)处理, 同时以不施肥处理作为对照。结果表明, 向日葵施用氮磷钾肥均有增产效果, 表现为: 氮肥 > 钾肥 > 磷肥。向日葵施用缓释尿素增产效果显著, 在河套灌区和燕山丘陵旱作区向日葵基施缓释尿素比普通尿素基施配合追施分别增产0.78和6.58个百分点, 同时施用缓释尿素氮素的农学效率有所增加。向日葵施用氮磷钾肥的肥料利用率分别为26.9%–34.1% (N)、15.6%–16.5% (P₂O₅)和49.6%–57.6% (K₂O); 农学效率分别为1.2–2.36公斤/公斤(N)、1.43–4.07公斤/公斤(P₂O₅)和2.36–4.99公斤/公斤(K₂O)。最佳施肥处理(氮磷钾配合施用)向日葵的茎粗、盘径、千粒重和籽仁率都有所增加, 以OPT₂(缓释尿素一次使用)增加尤为明显, 较对照分别提高了3.3%、6.7%、4.3%和4.3%。因此在内蒙古向日葵主产区, 氮素仍然是三要素中限制向日葵产量的最重要元素; 缓释尿素一次施用可以代替普通尿素基施加追施, 且缓释尿素一次施用的肥料利用率显著提高。

关键词: 向日葵; 缓释尿素; 减肥效果

向日葵是内蒙古的重要经济作物, 年播种面积超过35万公顷, 占全国播种面积的40%左右, 占全国总产的50%以上^[1]。向日葵是内蒙古河套灌区的主要作物, 约占作物总播种面积的50%左右, 是河套灌区农民的主要经济作物。向日葵播种晚、生长快、植株高大在生育期间吸收氮、磷、钾较多, 每生产100公斤向日葵籽粒吸收氮素(N)4.68公斤, 吸收氮素(N)1.64公斤, 吸收钾素(K₂O)8.57公斤^[2]。氮素是三要素中增产最大, 最容易缺乏的元素。氮素由于在土壤中移动快, 不宜在土壤中保存, 氮素的合理施用也是最难以把握的养分元素^[3]。向日葵由于在生育后期容易倒伏, 灌水少或不灌水, 更增加其施肥难度, 造成氮素利用率较低, 施肥效益差等问题, 如何合理施用氮肥, 提高氮素利用率有重要意义。缓释氮肥可以为向日葵生长发育提供均衡的氮素养分, 可减少氮肥的施用次数, 减少氮素损失和浪费, 在向日葵上施用有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验在内蒙古巴彦淖尔市五原县(N108°11'23", E41°03'09")和赤峰市松山区(N118°10', E42°18')进行。

1.2 试验作物与肥料

试验作物: 向日葵(表1)。

肥料: 缓释尿素(CRU)由美国加阳(中国)公司提供, 含氮量(N)44%, 普通尿素(RU)含氮量(N)46%, 磷肥用三料磷肥含P₂O₅43%, 钾肥用氯化钾含K₂O60%。基肥在播种前覆膜时开沟条施, 追肥在向日葵株间打孔穴施。向日葵大行距80厘米, 小行距40厘米, 株数33000株/公顷。五原采用黄河水浇灌2次, 分别在播种前和现蕾期; 赤峰采用覆膜不灌溉。

表1 试验基本情况		
项目	向日葵施用缓释尿素肥效试验	
地点	五原	赤峰
品种	318	赤葵2号
密度(株/公顷)	33000	33000
播种期(月-日)	5-27	5-28
出苗期(月-日)	6-3	6-9
现蕾期(月-日)	7-5	7-20
开花期(月-日)	7-20	8-3
收获期(月-日)	9-10	9-15
生育期降雨量毫米	160	310
灌水量立方米	150	--
灌水时间	5-8/7-6	--

1.3 试验土壤状况

试验地肥力下等, 土壤为潮土, 质地沙壤土, 养分状况见表2。

表 2 试验土壤养分状况

地点	pH	OM	碱解氮 N	有效磷 P	速效钾 K
		(克/公斤)	(毫克/公斤)		
五原县	8.87	10.9	43	11.1	221
赤峰市	8.37	0.81	38	19.1	86

1.4 试验设计

试验设 6 个处理分别为：

- (1) OPT₁, NPK 用量相同, 氮肥用普通尿素(40%基施, 60%追施)
- (2) OPT₂, NPK 用量相同, 氮肥用缓释尿素(基施)
- (3) OPT₁-N (不施氮肥)
- (4) OPT₁-P (不施磷肥)
- (5) OPT₁-K (不施钾肥)
- (6) CK (不施肥)

小区面积 30 平方米, 三次重复, 随机排列。OPT 处理的 NPK 用量, 五原县为 225-112.5-90 千克/公顷, 赤峰市为 180-90-75 千克/公顷。

测试项目与方法

1) 产量及产量性状: 每个小区全区测产, 在每个小区中间行连续 3 株分器官留样, 并测定株高, 茎粗、盘径、

千粒重、结实率和籽实率等, 分茎秆、叶片和花盘切碎烘干, 测定各器官的干物质产量和籽实产量, 混匀(三次重复各取 3 株)后取样 250g 左右, 分别测定茎秆、叶片、花盘和籽实的氮、磷、钾养分含量。

2) 植株养分: 全 N 用凯氏定氮法; 全 P 用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法; 全 K 用 NaOH 熔融-火焰光度法。

3) NPK 养分利用率: 养分利用率(%) = (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;

1.6 数据处理

利用 SAS 9.0 进行方差分析(ANOVA), 用 EXCEL 2007 绘制表格。

2 结果与分析

2.1 施肥对向日葵产量的影响

试验正常成熟, 各小区分别收获测产, 产量结果见表 3, 表 4。

表 3 结果表明: 灌溉条件下, 在磷钾基础上施用氮肥增产 10.6%-11.3%, 比不施氮肥增产显著; 在氮钾基



础上施用磷肥增产 7.3%–8.0%，与不施磷肥差异显著；在氮磷基础上增施钾肥增产 9.1%–9.9%；表现为氮肥效果 > 钾肥效果 > 磷肥效果 >。从施用氮肥品种来看，缓释尿素一次性基施与普通尿素 40% 基施配合 60% 追施效果相当，略有增产。施肥的农学效率表明，缓释尿素一次性基施与普通尿素 40% 基施配合 60% 追施的农学效率基本一致。

施肥的农学效率表明，施用氮肥的农学效率为 1.9–2.04 公斤 / 公斤，缓释尿素比普通尿素 40% 基施配合 60% 追施氮素 (N) 的农学效率高 0.14 公斤 / 公斤。施用磷肥 (P₂O₅) 的农学效率为 2.16–2.96 公斤 / 公斤，施用钾肥 (K₂O) 的农学效率 4.15–4.49 公斤 / 公斤。

旱作覆膜的结果见表 4，在磷钾基础上施用氮肥增产 7.1%–13.3%，比不施氮肥增产显著；在氮钾基础上施用磷肥增产 5.2%–11.3%，与不施磷肥差异显著；在氮磷基础上增施钾肥增产 5.5%–11.6%。表现为氮肥效果 > 钾肥效果 > 磷肥效果。施用缓释尿素均比普通尿素 40% 基施配合 60% 追施增产 41.1 公斤 / 亩，增产 5.8%，同时施用氮磷钾肥的施肥肥效增高 6%。

施肥的农学效率表明，施用缓释尿素均比普通尿素 40% 基施配合 60% 追施氮素 (N) 的农学效率高 1.1 公斤 / 公斤，磷素 (P₂O₅) 的农学效率高 2.19 公斤 / 公斤，钾素 (K₂O) 的农学效率高 2.63 公斤 / 公斤。

上述分析表明：在水浇地缓释尿素可以代替普通尿素 40% 基施配合普通尿素 60% 追施，在旱地向日葵施用缓释尿素比普通尿素 40% 基施配合普通尿素 60% 追施增产 5.8%。

2.2 施肥对向日葵养分利用率的影响

灌溉向日葵一次性施用缓释尿素与普通尿素 40% 基施配合普通尿素 60% 追施效果基本相当或略有增加。试验结果表明 (表 5)，施用缓释尿素氮素 (N) 利用率提高 1.8 个百分点，磷素 (P₂O₅) 利用率提高 0.6 个百分点，钾素 (K₂O) 利用率提高 2.2 个百分点。

施用缓释尿素提高了肥料养分的利用率，促进了养分吸收。试验结果表明，每生产 100 公斤向日葵籽实吸收氮素 (N) 增加 0.06 公斤。

雨养向日葵施用缓释尿素同样促进了肥料养分的吸收利用，从而提高了肥料利用率。试验结果表明 (表 6)，施用缓释尿素的氮素 (N) 利用率比施用普通尿素提高 1.9 个百分点，磷素 (P₂O₅) 利用率提高 0.7 个百分点，钾素 (K₂O) 利用率提高 3.6 个百分点。

施用缓释尿素提高了肥料养分的利用率，促进了养分吸收吸收的增加。施用氮磷钾肥比不施氮肥的吸氮系数增加 1.5–1.5 公斤 / 100 公斤，比不施磷肥的吸磷 (P₂O₅) 系数增加 0.29–0.36 公斤 / 100 公斤，比不施钾肥的吸钾 (K₂O)

表 3 不同施肥处理对向日葵产量的影响 (五原, 灌溉)

处 理	产量 (公斤 / 亩)	比 CK 增产		养分增产 (%)			农学效率 (公斤 / 公斤)		
		(公斤 / 亩)	(%)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1、OPT ₁	298.2a	39.7	15.35	10.6	7.3	9.1	1.90	2.69	4.15
2、OPT ₂	300.2a	41.7	16.13	11.3	8.0	9.9	2.04	2.96	4.49
3、OPT ₁ -N	269.6bc	11.1	4.30	--	--	--	--	--	--
4、OPT ₁ -P	278.0b	19.5	7.54	--	--	--	--	--	--
5、OPT ₁ -K	273.3bc	14.8	5.71	--	--	--	--	--	--
6、CK	258.5c	--	--	--	--	--	--	--	--

注：字母相同表示没有显著差异，字母不同表示有显著差异。

表 4 不同施肥处理对向日葵产量的影响 (赤峰, 不灌)

处 理	产量 (公斤 / 亩)	比 CK 增产		养分增产 (%)			农学效率 (公斤 / 公斤)		
		(公斤 / 亩)	(%)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1、OPT ₁	227.5ab	27.9	13.99	7.1	5.2	5.5	1.26	1.88	2.36
2、OPT ₂	240.6a	41.1	20.57	13.3	11.3	11.6	2.36	4.07	4.99
3、OPT ₁ -N	212.3 cd	12.8	6.40	--	--	--	--	--	--
4、OPT ₁ -P	216.2bc	16.6	8.32	--	--	--	--	--	--
5、OPT ₁ -K	215.7bc	16.1	8.07	--	--	--	--	--	--
6、CK	199.6d	--	--	--	--	--	--	--	--

注：字母相同表示没有显著差异，字母不同表示有显著差异。

系数增加 2.37–2.59 公斤 / 100 公斤。

上述分析表明：缓释尿素一次施用不仅可以代替普通尿素 40% 基施配合普通尿素 60% 追施，而且施用缓释尿素提高了肥料利用率，本试验结果表明缓释尿素一次施用，氮肥 (N) 的利用率提高 1.8–1.9 个百分点，磷素 (P₂O₅) 利用率提高 0.6–0.7 个百分点，钾素 (K₂O) 利用率提高 2.2–3.6 个百分点。

照增加 0.6–1.3 厘米，缓释尿素一次施用较普通尿素 40% 基施 +60% 追施增加 0.7 厘米。不施氮、磷、钾处理的向日葵盘径都有所变小，分别比 OPT₁ 减小 0.1、0.8 和 0.2 厘米，分别比 OPT₂ 减小 0.9、1.5 和 0.9 厘米。

最佳施肥处理 (氮磷钾配合施用) 向日葵的千粒重较对照增加 8 克。不施氮、磷、钾处理的向日葵千粒重都有所降低，分别比 OPT 降低 6、2 和 10 克。

表 5 灌溉向日葵施用缓释尿素对养分吸收的影响 (五原)

处理	养分吸收量 (公斤 / 亩)			养分利用率 (%)			吸收系数 (公斤 / 100 公斤)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1、OPT ₁	12.19	4.19	23.03	26.9	15.6	49.6	4.09	1.41	7.72
2、OPT ₂	12.45	4.24	23.16	28.7	16.2	51.8	4.15	1.41	7.71
3、OPT ₁ -N	8.15	--	--	--	--	--	3.02	--	--
4、OPT ₁ -P	--	3.02	--	--	--	--	--	1.09	--
5、OPT ₁ -K	--	--	20.05	--	--	--	--	--	7.34

注：字母相同表示没有显著差异，字母不同表示有显著差异。

表 6 雨养向日葵施用缓释尿素对养分吸收的影响 (赤峰)

处理	养分吸收量 (公斤 / 亩)			养分利用率 (%)			吸收系数 (公斤 / 100 公斤)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1、OPT ₁	11.3	3.7	17.0	32.2	15.8	54.0	4.98	1.63	7.47
2、OPT ₂	11.6	3.7	17.4	34.1	16.5	57.6	4.80	1.56	7.25
3、OPT ₁ -N	7.5	--	--	--	--	--	3.51	--	--
4、OPT ₁ -P	--	2.8	--	--	--	--	--	1.27	--
5、OPT ₁ -K	--	--	10.5	--	--	--	--	--	4.88

2.3 施肥对向日葵产量性状的影响

最佳施肥处理 (氮磷钾配合施用) 向日葵的茎粗、盘径、单盘结实数、结实率、千粒重和籽仁率都有所增加，以 OPT₂ (缓释尿素一次使用) 增加尤为明显。

最佳施肥处理 (氮磷钾配合施用) 向日葵的茎粗较对照增加 0.08–0.09 厘米。不施氮、磷、钾处理的向日葵茎粗都有所降低，分别比 OPT₁ 降低 0.04、0.04 和 0.09 厘米，分别比 OPT₂ 变细 0.03、0.03 和 0.08 厘米。

最佳施肥处理 (氮磷钾配合施用) 向日葵的盘径较对

氮磷钾配合施用的籽仁率较对照增加 1.9–2.0 个百分点，缓释尿素一次施用较普通尿素 40% 基施 +60% 追施增加 0.1 个百分点，基本一致。不施氮、磷、钾处理的向日葵的籽仁率都有所降低，分别比 OPT₁ 降低 1.1、1 和 1.2 个百分点。

3 结论与讨论

3.1 研究表明，向日葵施用氮磷钾化肥均有增产

表 7 施用缓释尿素对灌溉向日葵产量性状的影响 (五原)

试验处理	株高	茎粗	盘径	千粒重 (克)	结实率	籽仁率
		(厘米)			(%)	(%)
1、OPT ₁	196.0	2.52	19.9	193	92.2	48.9
2、OPT ₂	197.1	2.51	20.6	193	90.7	49.0
3、OPT ₁ -N	193.9	2.48	19.7	187	91.4	47.8
4、OPT ₁ -P	198.4	2.48	19.1	191	92.9	47.9
5、OPT ₁ -K	197.2	2.43	19.7	183	86.8	47.7
6、CK	199.1	2.43	19.3	185	90.9	47.0

效果,增产效果为氮肥 > 钾肥 > 磷肥。这与其他研究结果是一致的^[2]。说明在内蒙古向日葵主产区,氮素仍然是限制向日葵产量的三要素的最重要元素;钾素的增产效果是仅次于氮素,向日葵吸收钾素较多,尽管土壤钾素含量较高,但已经不能满足向日葵对钾素的需求。

3.2 向日葵施用缓释尿素具有显著的增产效果,在河套灌区向日葵基施缓释尿素比普通尿素基施配合追施增产0.7个百分点,在燕山丘陵旱作区施用缓释尿素比普通尿素基施配合追施增产5.8%,同时施用缓释尿素氮素的农学效率有所增加。

3.3 向日葵施用氮肥的氮素利用率为26.9%–34.1%,在河套灌区100% N推荐施氮量用缓释尿素的氮素利用率比普通尿素40%做基肥60%做追肥的利用率高1.8个百分点;在燕山丘陵旱作区100% N推荐施氮量用缓释尿素的氮素利用率比普通尿素40%基施60%追施的氮肥利用率高1.9个百分点;说明采用缓释尿素一次施用可以代替普通尿素基施加追施,而且缓释尿素一次施用的肥料利用率显著提高。向日葵施用磷肥的 P_2O_5 养分利用率15.6%–16.5%,平均为16.0%;向日葵施用钾肥的 K_2O 养分利用率49.6%–57.6%,平均为53.3%。

3.4 向日葵施用氮肥的农学效率1.2–2.36公斤/公斤,平均为1.89公斤;施用磷肥(P_2O_5)的农学效率1.43–4.07公斤/公斤,平均为2.20公斤;施用钾肥(K_2O)的农学



效率2.36–4.99公斤/公斤,平均为4.00公斤。

3.5 最佳施肥处理(氮磷钾配合施用)向日葵的茎粗、盘径、单盘结实数、结实率、千粒重和籽仁率都有所增加,以 OPT_2 (缓释尿素一次使用)增加尤为明显。

参考文献

- [1] 中国种植业信息网. 农作物数据库 [EB/OL]. <http://zzys.agri.gov.cn/nongqing.aspx>, 2014-12-20.
- [2] 段玉, 妥德宝, 张君, 等. 氮磷钾平衡施用对油用向日葵产量及肥料效率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3):767–771.
- [3] 安玉麟, 郭富国, 杨文耀. 河套黄灌区油用向日葵氮磷钾肥料效应分析 [J]. 华北农学报, 2007, 22(5): 147–151.
- [4] 王德兴, 崔良基, 宋殿秀, 等. 氮、磷、钾配施对油葵产量与品质的影响. 辽宁农业科学, 2012, (1):4–9

湖北茄子施用控释尿素 (CRU) 对产量的影响

陈防 汪霄 李志国

(中国科学院武汉植物园, 湖北 武汉, 430074)

摘要: 茄子产量高需肥量大, 且氮肥施用对其产量和品质影响显著。为了进一步提高茄子氮肥利用率、减少茄果硝酸盐含量和氮肥损失, 作者在武汉市郊区蔬菜基地以加阳公司的缓控释尿素为材料, 在茄子上进行了控释尿素“益多宝”的肥效田间试验。试验结果表明, 控释尿素益多宝与普通尿素相比在等 N 量施肥情况下其产量、净收入、氮肥农学效率等均有增加趋势, 而养分管理专家系统的推荐施肥量是比较合理的。本试验中茄子产量随着施 N 量的增加而增大, 控释尿素与普通尿素搭配施用, 一定比例上降低了肥料投入成本, 提高了产投比。研究表明, 控释尿素与普通尿素的施用比例以 70% 比 30% 较好。

关键词: 控释尿素, 茄子, 产量, 产投比

茄子是夏秋主要的蔬果之一, 且结果期长, 需肥量大, 其中氮肥对茄子的产量起决定性作用。氮肥的大量投入, 虽然一定程度上提高了茄子的产量, 但是也对茄子品质有负面影响, 研究发现过量氮肥会导致茄果中硝酸盐含量超标, 氮肥流失还会造成农田面源污染, 带来一系列的环境问题。同时, 氮肥的追肥增大了劳动力与肥料成本的投入。因此, 如何提高肥料利用率, 减轻或免除肥料污染, 提高产投比, 已引起国内外的广泛关注。2015 年作者在武汉开展了加拿大加阳有限公司控释尿素“益多宝”肥效试验, 旨在寻求最佳的施氮量以及最优的控释尿素与尿素配比比例, 其结果将为控释尿素在蔬菜作物上的合理使用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于湖北省武汉市农科院武湖试验基地, 小区面积 30 平方米。

1.2 供试土壤

试验地土壤为灰潮土, 基本农化性状为: pH 7.81, 有机质含量 13.74 克/公斤, 全氮含量 1.05 克/公斤, 速效磷含量 24.50 毫克/公斤, 速效钾含量 127.11 毫克/公斤。

1.3 试验设计

试验设 8 个处理 (表 1), 分别为:

1) FP: 农民习惯施肥, 150 公斤/亩复混肥作为基肥施入, 无追肥;

2) RM100-RU: 养分专家系统推荐施肥, 施肥量为 $N-P_2O_5-K_2O=20-10-12$ (公斤/亩), 基施尿素 23.5 公斤/亩, 第一次追施尿素 10 公斤/亩, 第二次追施尿素 10 公斤/亩, 过磷酸钙基施 83.3 公斤/亩, 氯化钾基施 15 公斤/亩, 与第二次尿素一起追施 5 公斤/亩;

3) RM100-CRU: 养分专家系统推荐施肥, 施肥量为 $N-P_2O_5-K_2O=20-10-12$ (公斤/亩), 其中 45.5 公斤氮肥全部为控释尿素;

4) RM80-CRU: 养分专家系统推荐施 N 量的

表 1 试验设计 (公斤/亩)

处理	尿素	控释肥	过磷酸钙	氯化钾	复合肥	$N-P_2O_5-K_2O$
1.FP	3.3	0.0	0.0	0.0	150.0	24-22.5-22.5
2.RM100-RU	43.5	0.0	83.3	20	0.0	20-10-12
3.RM100-CRU	0.0	45.5	83.3	20	0.0	20-10-12
4.RM80-CRU	0.0	36.4	83.3	20	0.0	16-10-12
5.RM100-RU30/CRU70	13.0	31.8	83.3	20	0.0	20-10-12
6.RM100-RU40/CRU60	17.4	27.3	83.3	20	0.0	20-10-12
7.RM100-RU60/CRU40	26.1	18.2	83.3	20	0.0	20-10-12
8.RM-0	0.0	0.0	83.3	20	0.0	0-10-12

80%，施肥量为 $N-P_2O_5-K_2O=16-10-12$ （公斤/亩），其中 36.4 公斤氮肥全部施控释尿素；

5) RM100-RU30/CRU70: 养分专家系统推荐施肥，施肥量为 $N-P_2O_5-K_2O=20-10-12$ （公斤/亩），其中 20 公斤氮肥的 30% 施用尿素，70% 施控释尿素；

6) RM100-RU40/CRU60: 养分专家系统推荐施肥，施肥量为 $N-P_2O_5-K_2O=20-10-12$ （公斤/亩），其中 20 公斤氮肥的 40% 施用尿素，60% 施控释尿素；

7) RM100-RU60/CRU40: 养分专家系统推荐施肥，施肥量为 $N-P_2O_5-K_2O=20-10-12$ （公斤/亩），其中 20 公斤氮肥的 60% 施用尿素，40% 施控释尿素；

8) RM-0: 对照，不施氮肥，和其他处理施用等量的磷钾肥，全部基施。

试验材料来源：控释尿素（益多宝）由加阳有限公司提供，含 N44%；尿素为江西九江化肥厂生产，含 N46%；普钙为湖北省产，含 P_2O_5 12%；氯化钾为加拿大产，含 K_2O 60%。尿素市场价 2 元/公斤，控释尿素按 2.4 元/公斤计算，普钙 0.56 元/公斤，氯化钾 3.3 元/公斤，复混肥 2.3 元/公斤，茄子市场价格为 3 元/公斤。

试验共 24 个小区，小区面积 30 平方米（长 6 米 × 宽 5 米），每个小区分为 5 行，行间距平均为 1.2 米，每行种植 7 株茄子。小区区组间随机排列，重复 3 次。

1.5 试验操作进程

2015 年 4 月 20 日耕地平整，旋耕深度 15 厘米，4 月 25 日施入基肥。茄子采用育苗移栽，于 5 月 1 日将苗盘里的茄子幼苗（3-5 片完全展开的真叶）移栽进地里，5 月 30 日除草，6 月 13 日追施一次肥料。7 月 13 日第一次采收茄子（采收的茄子保证直径大小约为 5 厘米左右，茄长 25-30 厘米），之后分别于 7 月 19 日，7 月 28 日，8 月 9 日，8 月 24 日，9 月 12 日，10 月 20 日采收茄子，称重计产，累计采收 7 次。茄子种植和采收期间按常规方法进行田间的管理和病虫害防护工作。

1.6 计算公式：

氮肥农学效率（单位：公斤/公斤），即单位施氮量所增加的作物籽粒产量，氮肥农学效率 = (施肥区产量 - 不施氮肥区产量) / 施氮量。

总收入（单位：元/亩），总收入 = 茄子产量 × 茄



子价格。

净收入（单位：元/亩），净收入 = 总收入 - 肥料成本 - 种子、灌溉、农药成本。

产投比 = 总收入 / 肥料成本。

收益率 (%) = (施肥区净收入 - 不施氮肥区净收入) / 不施氮肥区净收入 × 100。

1.7 数据分析

所有数据采用 Spss 16.0 软件进行统计分析，最小显著极差法（LSD）进行差异显著性检验。文中图用 sigmaplot 10.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 控释尿素与尿素配施对茄子经济产量的影响

表 2 结果显示：处理 8（不施氮肥）产量最低，处理 3（养分专家系统推荐施肥）茄子产量最高，与其他处理差异显著。随着氮肥施入量的增大，茄子产量也逐渐增大，100% 的纯控释尿素处理下，茄子产量最高，比 RM-0 处理增产 61.9%，比传统施肥方式（FP 处理）增产 17.0%。控释尿素与普通尿素搭配施用，控释尿素与普通尿素的施用比例以 70% 比 30% 茄子产量最高，达到 4592.1 公斤/亩，比 RM-0 处理增产 59.2%，比 FP 处理增产 15.0%，但控释尿素与普通尿素不同配比的处理间产量差异未达到显著水平，可能是因为基础肥力较高，导致产量差异不显著，还需要通过多开展几年试验进行验证。

表 2 不同处理下茄子经济产量的差异比较

编号	处理	小区产量 (公斤 / 30 平方米)	折合产量 (公斤 / 亩)	比 RM-0 增产 (%)	比 FP 增产 (%)
1	FP	179.6 ab	3993.2	38.4	0.0
2	RM100-RU	204.2 a	4540.4	57.4	13.7
3	RM100-CRU	210.1 a	4670.6	61.9	17.0
4	RM80-CRU	196.1 a	4359.7	51.1	9.2
5	RM100-RU30/CRU70	206.5 a	4592.1	59.2	15.0
6	RM100-RU40/CRU60	184.0 a	4091.4	41.8	2.5
7	RM100-RU60/CRU40	184.3 a	4098.0	42.1	2.6
8	RM-0	129.7 b	2884.5	0.0	-27.8

2.2 控释尿素与尿素配施对茄子生物量的影响

表 3 结果显示：处理 8 茄子生物量最低，处理 5 茄子生物量最大，即不施氮肥时茄子生物量最低，但与其他处理无显著差异。处理 2 茄子生物量大于处理 3，但是茄子产量却小于处理 3。

这可能是由于普通尿素施入后释放速率较快，茄子营养生长期养分供应充足，造成茄子枝叶茂盛，但是也导致结果期氮肥供应不足，产量跟不上。而尿素与控释尿素配施很好的解决了这一问题，不仅保证前期营养生长的养分供给，而且后期结果时期控释尿素可以保证养分的持续供给，同时节约了追肥所需劳力。其中，控释尿素与普通尿素的施用比例以 70% 比 30% 的处理茄子生物量最高，达到 456.5 公斤 / 亩，比 RM-0 处理高出 37.5%，比 FP 处理高出 34.2%。

2.3 不同处理下氮肥农学效率及茄子经济效益的比较

表 4 中对比处理 2 与处理 3 的氮肥农学效率得出，等氮量控释尿素的氮肥农学效率高于普通尿素，总收入和收益率也均高于普通尿素，但由于控释尿素价格略高于普通尿素，所以控释尿素的产投比略低于普通尿素。因此，

在农业生产上可以考虑在不减产的情况下，将控释尿素和尿素配施，以降低肥料成本，更好匹配茄子需肥规律。

不同比例的尿素与控释尿素比较结果显示：控释尿素与普通尿素的施用比例以 70% 比 30% 处理的茄子产量、总收入、净收入、产投比、收益率、氮肥农学效率均高于另外两种不同尿素的配施比例（处理 6 和处理 7），收益率达到 61.7%，而处理 6 和处理 7 收益率分别为 43.2% 和 43.5%，低了大约 20 个百分点。



表 3 不同处理下茄子生物量的差异比较

编号	处理	小区生物量 (公斤 / 30 平方米)	折合生物量 (公斤 / 亩)	比 RM-0 增产 (%)	比 FP 增产 (%)
1	FP	15.3 a	340.2	2.5	0.0
2	RM100-RU	18.4 a	408.5	23.1	20.1
3	RM100-CRU	16.9 a	376.1	13.3	10.6
4	RM80-CRU	17.2 a	382.6	15.2	12.5
5	RM100-RU30/CRU70	20.5 a	456.5	37.5	34.2
6	RM100-RU40/CRU60	18.1 a	403.3	21.5	18.6
7	RM100-RU60/CRU40	19.7 a	437.1	31.6	28.5
8	RM-0	14.9 a	332.0	0.0	-2.4

表 4 不同处理下氮肥农学效率及茄子经济效益

编号	处理	产值			成本		净收入 (元/亩)	收益率 (%)	产投 比	氮肥农学 效率 (公斤/公斤)
		产量 (公斤/亩)	茄子价格 (元/公斤)	总收入 (元/亩)	肥料 (元/亩)	其他 (元/亩)				
1	FP	3993.2	3.0	11979.5	351.6	400.0	11227.9	37.9	34.1	46.2
2	RM100-RU	4540.4	3.0	13621.1	199.6	400.0	13021.5	60.0	68.2	82.8
3	RM100-CRU	4670.6	3.0	14011.7	221.8	400.0	13389.8	64.5	63.2	89.3
4	RM80-CRU	4359.7	3.0	13079.0	200.0	400.0	12479.0	53.3	65.4	92.2
5	RM100-RU30/CRU70	4592.1	3.0	13776.4	215.0	400.0	13161.5	61.7	64.1	85.4
6	RM100-RU40/CRU60	4091.4	3.0	12274.1	213.0	400.0	11661.2	43.2	57.6	60.3
7	RM100-RU60/CRU40	4098.0	3.0	12294.1	208.5	400.0	11685.6	43.5	59.0	60.7
8	RM-0	2884.5	3.0	8653.4	112.6	400.0	8140.8	0.0	76.8	0.0

3 主要结论

3.1 控释尿素“益多宝”与普通尿素相比在等 N 量施肥情况下产量增加了 130.2 公斤/亩，总收入增加 390.6 元/亩，净收入增加 368.3 元/亩，收益率增加 4.5%，氮肥农学效率增加 6.5 公斤/公斤。

3.2 养分管理专家系统的推荐施肥量是比较合理的，处理 NE-CRU100 在所有 8 个处理中经济产量最高。与传统施肥方式 (FP) 相比，产量增加 677.4 公斤/亩，总

收入增加 2032.1 元/亩，节约肥料成本 129.8 元/亩，净收入增加 2161.9 元/亩，收益率为 26.6%。

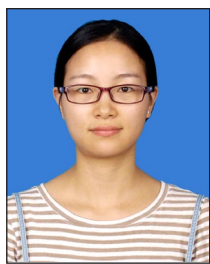
3.3 本试验结果表明，茄子产量随着施 N 量的增加而增大，氮肥施用量减少 20% 的处理茄子产量和纯收入均低于施氮量 100% 的相应处理。控释尿素与普通尿素搭配施用，一定比例上降低了肥料投入成本，提高了产投比。在施用 100% 氮肥时控释尿素与普通尿素的施用比例以 70% 比 30% 较好。

2017 年 IPNI 研究生奖学金评选结果揭晓

为鼓励在植物营养和养分管理相关学科取得优异成绩的优秀研究生，2017 年国际植物营养研究所 (IPNI) 研究生奖学金获得者已揭晓。经过评审委员会严格按照标准对每一位申请者的学术业绩和其他各方面进行评价，结果有 37 位来自 20 个国家和地区的在读研究生获得 2017 年度 IPNI 研究生奖学金。中国有 5 位研究生获得了这项奖励，每位获奖者得到 2000 美元资助。



陈照明，中国科学院南京土壤研究所植物营养学博士研究生。主要从事不同施肥方式下土壤-小麦系统中氮去向的研究。通过多年多点的田间试验来探寻不同施肥方式对小麦产量、氮肥利用率以及氮肥损失的影响，为小麦氮肥高效利用提供理论支持。未来希望在高校或者研究院所继续从事植物营养相关研究工作，为我国农业的可持续发展贡献自己的一份力量。



方先芝，浙江大学研究生。论文主要研究内容是硝酸盐转运蛋白 NRT1.1 调控植物抗非生物胁迫作用机制，研究发现 NRT1.1 通过调控硝酸盐的吸收能够缓解植物根际质子毒害，这一研究可能为提高低 pH 土壤种植作物的产量提供一种新的生物技术途径。



刘闯，中国科学院武汉植物园硕博连读研究生。研究方向为植物营养与农业生态，主要研究是水田两熟制作物对农田养分运筹响应及机理。通过田间定位试验和室内模拟分析对水田两熟制养分运筹、肥料统筹技术进行

研究，提出耕地培肥综合策略和肥料统筹策略，明确其机理，形成最佳轻简化技术和作物营养状况快速诊断技术，为长江流域粮食主产区油菜-水稻、小麦-水稻和早晚稻三种水田两熟制下的养分运筹和高效施肥提供科学依据和实用技术规范。未来希望从事植物营养与农业生态相关的教育和科研工作，为我国农业可持续发展 and 粮食安全贡献自己的力量。



刘晓伟，博士毕业于中国科学院大学(中国科学院南京土壤研究所)。植物营养学专业。博士毕业论文题目为“氮肥施用方式对水稻产量、氮肥利用率以及氮去向的影响”。博士期间主要关注如何提高稻田氮肥的利用效率、如何阻控氮肥损失等稻田氮素循环过程方面的研究。博士毕业后将继续从事植物营养与肥料方面的博士后工作。



默罕默德·舒艾博·拉纳，华中农业大学资源与环境学院植物营养学博士生，博士论文题目为“长期施钼对土壤磷转化特性及其生物有效性的影响”，其研究目标是探明长期施钼下根系分泌物组成对土壤磷素转化的影响及调控机制。默罕默德·舒艾博·拉纳希望毕业后能继续攻读博士后并从事植物营养与施肥领域的研究工作。

IPNI 研究生奖学金自 2007 年设立了研究生奖学金，凡有 IPNI 项目的任何国家，在具有学位授予资格的单位从事土壤和植物营养学相关学科的在读研究生都有资格申请。截止到 2017 年已有 40 位来自中国研究生获得此项殊荣。请符合条件的研究生请于每年 1 月 1 日至 4 月 30 日提交申请。详情请随时关注 www.ipni.net/awards。