

# 控释氮肥对苹果生长影响及经济效益分析

邵 蕾<sup>1</sup>, 王丽霞<sup>1</sup>, 孙治军<sup>1</sup>, 张 民<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学 烟台研究院, 山东 烟台 264670 2. 山东农业大学 资源与环境学院 山东 泰安 271018)

**摘 要:** 采用静水释放试验和田间试验方法, 研究了有机高分子聚合物包膜控释氮肥的释放特征, 并以普通氮肥作对照, 研究了包膜控释氮肥对苹果的生长及经济效益的影响。控释肥静水释放试验表明: 控释氮素的释放速率分为逐渐增大、释放高峰、逐渐减小 3 个阶段。大田试验表明: 与普通氮肥相比, 控释氮肥在苹果整个生长周期内持续的释放养分; 在施氮量减少一半的情况下, 施用控释氮肥 0.458 kg/株比施用普通尿素 0.87 kg/株果实产量和经济效益分别提高了 30.08%、30%; 控释氮肥提高了果实糖、钙、维生素 C 含量, 降低了氮含量。

**关键词:** 控释氮肥; 苹果; 经济效益

**中图分类号:** S 661.106<sup>+</sup>.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)12-0001-04

据我国农业部统计, 2005 年我国苹果栽培面积为 189 万  $\text{hm}^2$ , 苹果产量达到 420 万 t, 分别占世界苹果总量的 2/5 和 1/3, 我国已成为世界最大的苹果生产国。氮素是一切植物必需的大量营养元素之一, 是作物生长的重要物质基础, 对作物的器官建造、物质代谢、生化过程、果实产量及品质的形成等都有不可替代的作用<sup>[1]</sup>。但氮肥的当季利用率仅为 30%~35%, 全国每年损失的氮肥量相当于 1 900 多万 t 尿素, 折合人民币 380 多亿元<sup>[2]</sup>。控释肥可提高氮素的利用率达 60%~80%<sup>[3,4]</sup>, 减少了氮肥淋失和氨挥发, 降低环境污染, 还可以提高作物产量、品质<sup>[6,7]</sup>。

虽然控释肥具有显著的环境效益、社会效益、经济效益, 但是目前由于价格高, 主要应用于经济效益较高的高尔夫球场、苗圃、专业草坪和景观园艺等, 在农业上的应用仅占世界化肥总消耗量的 0.5% 以下。美国是控释肥最大的消费国, 约占世界总用量的 70%, 日本和欧洲共占 30% 左右。限制控释肥料在我国普及推广的最主要因素是控释肥料的价格居高不下, 很难为农民所接受<sup>[8]</sup>。针对这一问题该研究利用流化床包膜技术, 结合苹果的需肥规律制成果树专用控释氮肥, 进行了控释氮肥不同施用量的肥效试验, 并与普通尿素进行对照, 以寻找符合苹果养分需求规律的控释氮肥及其适宜的施

用量, 为合理施用控释氮肥、提高苹果的产量、品质及经济效益提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验方法

**1.1.1 控释氮肥的静水释放试验** 供试肥料: 包膜控释氮肥 (43.7-0-0), 由山东农业大学资源与环境学院控释肥生产车间制作。采用大颗粒尿素以有机高分子聚合物在流化床包膜塔中进行包膜。水浸泡静置培养法: 称取 5.00 g 包膜肥料放入 100 目尼龙袋中, 置于 250 mL 分液漏斗中, 加入 150 mL 蒸馏水, 加盖密封, 置于 25℃ 的培养箱中。定期取样, 然后将瓶中的溶液放净, 并向玻璃瓶中加入 150 mL 去离子水继续培养, 直至养分溶出 80% 以上时视为释放完全。以溶解并渗出包膜颗粒的尿素质量与时间的关系来描述养分释放特征。测定时从分液漏斗中取出 5 mL 的待测液, 置于消化管中, 加入 8 mL 浓硫酸消煮, 凯氏法测定含氮量。

**1.1.2 田间试验** 该试验在山东省泰安市祝阳镇横岭村东北 200 m 的果园中进行, 供试果树为 13 a 生辽伏苹果树, 株行距 3 m×3 m, 按 1 100/hm<sup>2</sup> 株算。所用肥料除控释氮肥外, 速效肥料包括撒可富复合肥 (16-16-16)、硫酸钾 (0-0-50)、普通尿素 (46-0-0)。供试土壤为棕壤, 其耕层 (0~20 cm) 土壤有机质 10.52 g/kg, 全氮 0.445 g/kg, 碱解氮 39.74 mg/kg, 有效磷 32.94 mg/kg, 速效钾 42.35 mg/kg, pH (soil : H<sub>2</sub>O = 1 : 1) 6.33。在磷钾施用水平一致条件下, 施用不同量的控释氮肥 (表 1)。试验设 5 个处理, 3 次重复, 共 15 个小区, 每个小区 2 棵果树, 并设立隔离株与保护行。根据当地农民施肥习惯, 2004 年 3 月 6 日、2005 年 3 月 13 日、2006 年 3 月 15 日采用对角线沟施法施肥, 施肥深度 10~20 cm。控释氮肥一次性施入, 普通尿素在春天施 1/2, 2004、2005 年 10 月

**第一作者简介:** 邵蕾 (1980-), 男, 山东文登人, 博士, 讲师, 主要从事土壤化学与植物营养方面的研究工作。E-mail: shaolei6751@163.com。

**基金项目:** 国家“948”资助项目 (971053); 农业部跨越计划资助项目 (2001-跨 8); 农业科技成果转化资助项目 (农计函 [2004] 32 号)。

**收稿日期:** 2008-07-11

27 日追施 1/2。2004 年 6 月 17 日、2005 年 6 月 20 日、2006 年 6 月 15 日收获并计其产量。

表 1 肥料试验设计

处理 代号	控释氮肥或尿素 用量 kg·株 <sup>-1</sup>	复合肥用量 / kg·株 <sup>-1</sup>	硫酸钾用量 / kg·株 <sup>-1</sup>	施肥量 N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O/ kg·株 <sup>-1</sup>
CK	0	1.25	0.4	0.2-0.2-0.4
CRU1 *	0.229	1.25	0.4	0.3-0.2-0.4
CRU2	0.458	1.25	0.4	0.4-0.2-0.4
CRU3	0.920	1.25	0.4	0.6-0.2-0.4
Urea *	0.870	1.25	0.4	0.6-0.2-0.4

注: CRU: 轻释氮肥 Urea 普通尿素; 下同。

1.2 样品采集与测定方法

2004、2005 年 8 月 25 日, 在苹果不同生育期用土钻采集耕层土样, 风干后分别过 2 mm 和 0.25 mm 筛保存备用。采收苹果时, 每棵树采集树冠外围中部果实 20 个, 带回实验室后用间距为 0.8 cm 的双刃刀纵向切取果实, 去掉果皮、果心、果梗, 在 65℃ 烘箱内烘干, 粉碎后保存备用。

土壤基础肥力及土壤速效氮、全氮含量采用常规分析法测定。浓硫酸-双氧水联合消煮, 凯氏定氮法测定果实的全氮含量。干灰化, 原子吸收测定果实中钙含量。果实品质测定均用鲜样, 总糖的测定采用蒽酮比色法, 总酸含量的测定采用滴定法, 维生素 C 含量的测定采用 2,6-二氯酚靛酚法。

1.3 数据统计分析

田间调查和室内测定数据均采用 SAS 程序软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 控释氮肥的静水释放特征

由图 1 可知, 时段释放率为抛物线形, 前期释放速率较慢, 30~120 d 时释放速率达到最快, 然后释放速率逐渐降低, 这与宋付朋等<sup>[9]</sup>将控释肥释放过程分为迟滞期、恒释期和滞后期 3 个阶段相一致。到 270 d 时氮素的累计释放率达到 80%, 因此供试控释肥的控释时间约为 9 个月。该试验所用的自制控释氮肥表现出较好的控制氮素释放的效果。

2.2 控释氮肥对土壤全氮、碱解氮含量的影响

土壤全氮是土壤对作物供氮的潜力指标, 土壤有效氮可直接用来评价土壤供氮强度。综合 2 年的测定结果, 春天施肥后普通尿素处理 0~20 cm 土层的全氮含量显著上升, 原因是普通肥料施入土壤后迅速溶解, 土壤中养分离含量急剧增加; 至秋天施肥前达到最低, 秋天施肥后又上升(图 2)。而控释肥处理 2 a 的土壤全氮含量变化呈“双抛物线”形, 这是由控释肥的特性决定。由图 1 可知, 控释肥的释放分为迟滞期、恒释期和滞后期 3 个阶段。由图 2 可知, 控释肥在土壤中的释放也分为此 3 个阶段, 因此在一个生长周期内土壤中的全氮含

量变化曲线为“抛物线”形。普通尿素处理的土壤碱解氮含量变化趋势与全氮相似, 春天施肥急剧上升, 至秋天追肥前持续下降, 追肥后又上升(图 3)。Urea 处理碱解氮含量变化幅度 45~105 mg/kg, 而 CRU2、CRU3 处理的碱解氮变化幅度只有 65~95 mg/kg。除对照处理外, 2005 年施肥前(2 月 28 日)测定的各处理土壤的碱解氮含量高于 2004 年 10 月 26 日的测定值。这是因为: 冬季果树休眠时, 控释肥仍缓慢释放其中剩余的养分, 而普通尿素处理 10 月 27 日追施尿素; 冬季温度低, 硝化反应慢, 再加上根系吸收能力较弱, 淋溶少, 于是 N 在土壤中累积。

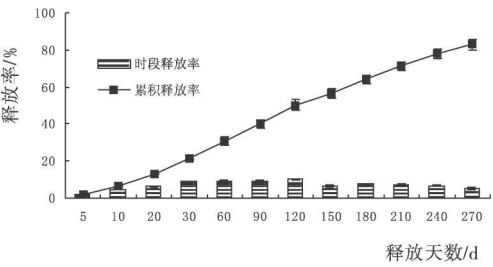


图 1 控释氮肥在 25℃ 静水中的氮素释放率

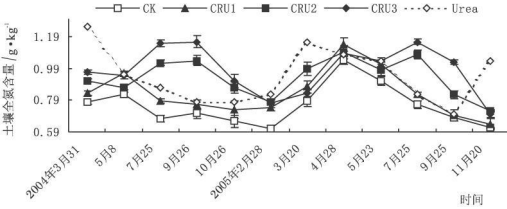


图 2 土壤全氮含量变化

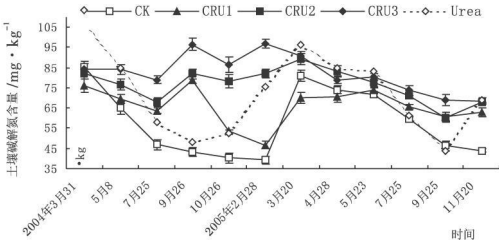


图 3 土壤碱解氮含量变化

2.3 控释氮肥对苹果产量、品质的影响

施用控释肥第 1 年(2004 年), 各处理的产量和单果重无差异(表 2), 2005、2006 年施用控释肥显著提高果实产量、单果重; 2005、2006 年施用控释尿素 0.458 kg/株比施用普通尿素 0.87 kg/株(施氮量减少 1/2)苹果产量分别提高了 30.08%、10.49%。充足的氮肥供应是获得作物高产的保证, 但是氮肥用量过高反而降低增产效应, 甚至引起减产<sup>[10]</sup>, 试验结果表明, 控释肥中以处理

CRU2 增产效果最好,在此基础再增加氮素用量,增产效果不明显。控释肥高量处理 CRU3 的单果重最大,说明增施氮肥,有助于果实的增大,这与前人的研究结果一致<sup>[1]</sup>。

控释肥施用第 1 年,各处理间果实的品质差异不显著。控释肥施用第 2 年,果实酸含量差异不显著,但糖含量 CRU2 处理最高,其次为 CRU1 和 CRU3 处理,再次为普通尿素处理,对照处理最低;相对于普通尿素处理,控释肥处理降低了果实中氮含量,提高了钙和维生素 C 含量(表 3)。

处理	糖 / %		酸 / %		N / %		Ca / mg · kg <sup>-1</sup>		维生素 C / mg · g <sup>-1</sup>	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
CK	9.74a	9.74d	0.1687ab	0.1673a	0.5949a	0.6382b	219.78a	202.08d	0.3401ab	0.3891b
CRU1	10.12a	11.07b	0.1566b	0.1453b	0.5949a	0.6077b	238.32a	262.92c	0.3858a	0.4744a
CRU2	9.75a	11.69a	0.1566b	0.1541ab	0.6130a	0.6041b	267.91a	369.04a	0.3321ab	0.4514a
CRU3	9.48a	11.20b	0.1588b	0.1524ab	0.5773a	0.6042b	326.56a	340.43a	0.3537a	0.4799a
Urea	9.69a	10.41c	0.1830a	0.1629a	0.6119a	0.6513a	325.61a	317.96b	0.3407b	0.2514c

2.4 控释氮肥在苹果应用中的经济效益分析

从投入来看,CRU2、CRU3 处理比普通尿素处理每棵树高 2.86、0.55 元(表 4)。2004 年各处理间的产出与经济效益差异不显著。2004 年果树开花时遭遇春寒,致使花蕾脱落、坐果率低,影响了产量。“辽伏”为早熟品种,泰安地区在 3 月下旬萌芽、在 4 月上旬初花、6 月中旬采收,果实成熟期短,苹果开花坐果、果实生长主要利

处理	2004			2005		
	投入元 · 株 <sup>-1</sup>	产出 / 元 · 株 <sup>-1</sup>	经济效益 / 元 · hm <sup>-2</sup>	投入 / 元 · 株 <sup>-1</sup>	产出 / 元 · 株 <sup>-1</sup>	经济效益 / 元 · hm <sup>-2</sup>
CK	4.2	31.50a	30.039a	4.2	27.23d	25.336d
CRU1	5.345	31.55a	28.829a	5.345	30.30cd	27.450cd
CRU2	6.49	31.96a	28.024a	6.49	46.70a	44.231a
CRU3	8.8	31.45a	24.915a	8.8	39.73a	34.026a
Urea	5.94	29.65a	26.081a	5.94	35.90bc	32.956bc

注 (1)各处理除肥料投入不同外,其它各项投入(如打药、管理、用工费等)均相同。(2)投入(元 · 株<sup>-1</sup>)= 控释氮肥(或尿素)施用量 × 价格 + 复合肥用量 × 价格 + 硫酸钾用量 × 价格;产出(元/株)= 苹果产量 × 苹果价格;经济效益(元 · hm<sup>-2</sup>)= (产出 - 投入) × 每公顷果树数。(3)普通尿素 2 元/kg,控释氮肥 5 元/kg,复合肥 2.4 元/kg,硫酸钾 3 元/kg,苹果 1 元/kg。

3 讨论

3.1 控释氮肥释放养分的吸收及对果实产量、品质的影响

控释肥的释放周期及模式可由包膜材料类型及其厚度来调控,只有根据作物的生长周期、养分需求选用适当控释肥,才能使控释肥养分的释放与作物对养分的需求达到动态平衡。苹果树对氮的需求分为 3 个阶段:大量需氮期,从萌芽到新梢加速生长期;氮素稳定供应期,从新梢旺长高潮后到果实采收前;氮素营养储备期,从采收后到养分回流。pH 值大于 5.6 的土壤,无论温度高低,尿素 3 d 即可完全分解<sup>[2]</sup>,造成了氮的淋溶和挥发、反硝化等损失,追施氮肥也不能满足作物整个生长期内养分的需要。果树春天的生长发育主要利用上年秋天树体贮存的养分,春天施肥的影响并不大<sup>[13]</sup>,因此控释氮肥释放速率的缓慢增加并不影响早期生长。果树从新梢旺长到

素 C 含量(表 3)。

表 2 控释氮肥和普通氮肥处理对产量和单果重的影响

处理	产量 / kg · 株 <sup>-1</sup>			单果重 / g		
	2004 年	2005 年	2006 年	2004 年	2005 年	2006 年
CK	31.50a	27.23d	18.91d	43.61a	48.94b	48.70b
CRU1	31.55a	30.30cd	29.36c	46.23a	49.95b	49.27b
CRU2	31.96a	46.70a	40.55a	47.50a	49.28b	49.66b
CRU3	31.45a	39.73a	44.84a	44.38a	55.48a	54.84a
Urea	29.65a	35.90bc	36.70b	44.82a	50.9a	49.39b

注:同列中的平均数用邓肯多重比较,不同字母的数值表示其间差异显著(p<0.05),以下同。

用上年树体贮存的养分。2005 年在投入不变的情况下,CRU2、CRU3 处理比普通尿素处理每棵树产出高 10.8、3.83 元。但是 CRU3 因为投入过高,其经济效益与普通尿素处理差异不显著。CRU2 处理相对于普通尿素处理多投入 605 元/hm<sup>2</sup>,经济效益提高了 11 275 元/hm<sup>2</sup>,增收 30%。

果实采收前需要充足的氮肥供应,但氮素过量对果实的品质往往产生不良的影响。此阶段 CRU2、CRU3 处理的土壤中有效氮含量变化幅度较小,既保证了果树对氮素的需求,又避免氮素的过量积累。采收后果树便进入了氮素营养储备期,此阶段植株体内氮素水平与来年果树生长及产量密切相关。7 月 25 日至 9 月 26 日正是控释氮肥的释放高峰期。控释肥提高了果实钙、钾含量,降低了氮素含量。果实中钙、钾含量与其硬度、比重、耐贮级次及风味级次呈极显著的正相关关系<sup>[14]</sup>;氮不仅影响果实的上色,而且还会降低果实的含糖量、耐贮性等。因此,控释肥提高苹果产量的同时也提高了果实品质。

3.2 控释氮肥在苹果上应用可行性

控释肥由于其价格过高,限制了其在农业上普遍推广应用。大量研究表明,包膜控释肥可以提高肥料的养

分利用率 50%~100%以上。按此计算,在控释肥用量减施 1/3 至 1/2 的情况下还有明显的增产效果。如果控释肥价格能够控制在包膜前肥料价格的 2 倍之内,农民可以在少施 1/3 至 1/2 肥料的情况下仍可获得相同或更多的经济产量,可给农民带来显著的经济效益。该试验所用控释氮肥价格为尿素的 2.5 倍,在施氮量相同的情况下,CRU3 处理比普通尿素处理每棵树投入高 2.86 元,虽然 2005 年产量有所提高,其经济效益差异仍不显著;相对于普通尿素,在少施一半纯氮的情况下 CRU2 每棵树投入只增加了 0.55 元,但产量提高了 30.08%,其经济效益提高了 30%。

#### 4 结论

有机高分子聚合物包膜控释氮肥在静水中养分释放达到了控制氮素释放的效果。

控释氮肥提高了果实产量、糖、钙及维生素 C 含量,降低了氮含量。

控释周期 9 个月的控释氮肥,可以在苹果整个生长期持续并高效的供应氮素,达到了增产、增收效果。施用控释氮肥 0.458 kg/株比施用普通尿素 0.87 kg/株(施氮量减少 1/2)果实产量提高了 30.08%,经济效益提高 11 275 元/hm<sup>2</sup>,增加收入 30%。

#### 参考文献

[1] 李文庆,张民,束怀瑞.氮素在果树上的生理作用[J].山东农业大学学报(自然科学版),2002,33(1):96-100.

- [2] 黄益宗,冯宗炜.农田氮损失及其阻控对策研究[J].中国科学院研究生院学报,2000,17(2):49-58.
- [3] Shoji S, Delgado J, Mosier A, et al. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air under water quality[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal, 2001, 32(7/8): 1051-1070.
- [4] 张民,史衍玺,杨守祥,等.控释和缓释肥的研究现状与进展[J].化肥工业,2001(5):27-30.
- [5] Dou H, Alva A K. Nitrogen uptake and growth of two citrus rootstock seedlings in a sandy soil receiving different controlled-release fertilizers[J]. Biol Ferti soil, 1998, 26: 169-172.
- [6] 孙娅婷,张民,徐振.包膜控释肥在波斯菊穴盘育苗上的应用及效应研究[J].北方园艺,2006(1):32-34.
- [7] 余爱丽,林衫,游捷,等.花卉专用控释肥对 4 种草本花卉生长的影响[J].北方园艺,2003(5):47-49.
- [8] 张琴.缓控释肥迈向产业化[J].中国农资,2005(10):40-42.
- [9] 宋付朋,张民,史衍玺,等.控释氮肥的氮素释放特征及其对水稻的增产效应[J].土壤学报,2005,42(4):619-626.
- [10] 王朝辉,李生秀.不同氮肥用量对硝酸盐累积的影响[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):22-28.
- [11] 束怀瑞.果树生理学[M].3版.北京:农业出版社,1997.
- [12] 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.
- [13] 彭福田.氮对苹果果实发育及产量、品质的调控[D].泰安:山东农业大学博士学位论文,2001.
- [14] 李宝江,林桂荣,刘凤君.矿质元素与苹果风味及耐贮性的关系[J].果树科学,1995,12(3):141-145.

## Effects of Controlled-release Nitrogen Fertilizers on Growth of Apple and Analysis of the Corresponding Economic Profit

SHAO Lei<sup>1</sup>, WANG Li-xia<sup>1</sup>, SUN Zhi-jun<sup>1</sup>, ZHANG Min<sup>2</sup>

(1. Yantai Academe of China Agriculture University, Yantai, Shandong 264670, China; 2. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

**Abstract:** Nitrogen release experiments and field experiments were conducted to study release characteristics of the controlled release fertilizers (CRF) coated with organic macromolecule polymer and to probe into the corresponding economic profit on apple tree compared to common urea fertilizer. The nitrogen release experiments results showed that three release stages were found in nitrogen release curve: increasing stage, peak stage, decreasing stage. Field experiments showed that controlled-release pattern of CRF met the nitrogen requirements of apple trees, and then promoted its yield and quality. Compared to the urea treatment, the fruit yield of CRU2 treatment was increased by 30.08%, and the economic profit was increased by 30%.

**Key words:** Controlled release nitrogen fertilizer; Apple; Economic profit