

# 控释肥在我国棉花上的应用研究现状与展望

张超<sup>1</sup>, 马晓丽<sup>1</sup>, 耿计彪<sup>1,2\*</sup>, 杨修一<sup>2\*</sup>, 李强<sup>2</sup>, 于起庆<sup>2</sup>, 杨玉坤<sup>2</sup>

(1. 金沂蒙集团有限公司, 山东临沂 276700; 2. 山东省水土保持与环境保育重点实验室, 临沂大学资源环境学院, 山东临沂 276005)

**摘要** 通过对现阶段控释肥尤其是控释氮肥在棉花上的应用研究, 结合棉花的生长特性和需肥规律, 总结控释肥对棉田土壤养分变化和氨挥发的影响, 探讨肥料利用率及棉花产量对施用控释肥的响应, 并提出控释肥在棉花应用上的不足与展望, 以为控释肥的应用推广及技术创新提供理论依据。

**关键词** 控释肥; 棉花; 土壤性质; 产量; 品质

**中图分类号** S143.1; S562 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)30-0018-03

## Research Advances and Prospects on Application of Controlled-Release Fertilizers in Cotton Planting

ZHANG Chao<sup>1</sup>, MA Xiao-li<sup>1</sup>, GENG Ji-biao<sup>1,2</sup> et al (1. Jin Yi Meng Group Co., Ltd., Linshu, Shandong 276700; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Water and Soil Conservation and Environmental Protection, College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi, Shandong 276005)

**Abstract** Based on a large number of literature about the controlled-release fertilizer, especially controlled-release nitrogen fertilizer on cotton, effect of controlled-release fertilizer on the properties of soil, ammonia volatilization was summarized, response of fertilizer utilizing efficiency, yield of cotton to the application of controlled-release fertilizer combine with the growth and fertilizer requirement of cotton was discussed. Deficiencies of application and prospects of controlled-release fertilizers were put forward. It can provide theoretical basis for the application and extension and technical innovation of controlled release fertilizer.

**Key words** Controlled release fertilizer; Cotton; Properties of soil; Yield; Quality

棉花是我国重要的经济作物, 其生长、发育和产量形成需要化肥提供矿质营养。近年来, 随着世界人口的快速增长和农用耕地的减少, 人类更需要提高农作物的产量来满足不断增长的需求, 对化肥的依赖性更强<sup>[1]</sup>。但是我国肥料利用率较低, 目前, 氮肥利用率为 30%~35%, 钾肥平均利用率为 35%~50%, 磷肥总利用率为 10%~25%, 相当于每年损失 1 900 万 t 尿素, 折合人民币 380 亿元以上<sup>[2-3]</sup>。同时, 大量、过量使用化肥会造成作物生长过旺, 养分流失严重, 过量肥料在植物根际积累, 不仅会破坏植物根系细胞结构, 导致作物减产甚至死亡, 并且土壤中硝态氮过量积累, 随大量灌水向土壤深层淋溶, 进而污染地下水, 使河流、湖泊等水体富营养化<sup>[4-5]</sup>。

化肥是棉花生产的物质基础, 当前世界各大产棉国在施肥方面仍以氮肥为主, 但是传统的速效化肥由于肥效期短, 养分容易淋失、挥发和固定, 需要多次追施, 耗费大量人力和资源<sup>[6]</sup>。由于控释肥可根据作物需求而缓慢释放养分, 提高肥料利用率, 减少环境污染, 并且省时省工, 成为新型肥料的研究热点<sup>[7]</sup>。我国的控释肥起步较晚, 但是发展很快。将包膜控释肥在多种作物上进行盆栽、田间试验和示范, 结果表明包膜控释肥可使肥料养分利用率提高 50%~100%, 其中氮肥利用率提高 10~20 百分点, 按此计算, 在肥料用量减施 1/3~1/2 的情况下仍有明显的增产效果<sup>[8]</sup>。与普通肥料相比, 施用控释肥料可提高肥料利用率, 增加作物产量, 改善品

质, 改良土壤物理性状, 提高土壤养分有效性, 促进作物生长和减少环境污<sup>[9]</sup>。现阶段, 对控释肥在水稻、小麦、玉米等作物上的应用较多, 并且施用控释肥能够显著增加粮食作物产量, 但是对于控释肥在棉花上的应用效果缺乏系统的研究。通过对现阶段控释肥在棉花上的应用现状, 结合不同学者成果, 系统总结其对棉田土壤养分、肥料利用效率、棉花产量及品质的影响, 并指出现阶段在棉田应用上的不足, 展望其需求及发展, 以期对控释肥在我国棉花上的推广应用及工艺技术创新提供理论依据。

## 1 控释肥对棉田土壤养分的影响

棉花是需肥量较大的作物, 其产量提高主要依靠普通氮肥的大量投入, 这导致土壤板结, 有机质含量降低, 养分流失严重。控释肥料具有养分释放规律与作物养分吸收基本同步的特点, 一次性施用后, 不会造成棉花旺长, 也不会使后期棉田脱肥, 可达到提高肥料利用率、减少环境污染的目的<sup>[10-11]</sup>。普通肥料不能直接施在棉花的种子或根周围; 而控释肥释放缓慢, 不会产生养分分离子的急剧增加, 可直接施在种子或根周围<sup>[12]</sup>。研究表明, 棉花施用控释氮肥后, 蕾期前土壤中的铵态氮和硝态氮含量低于施用普通氮肥处理, 但初花期至收获结束时, 控释氮肥处理的土壤显著高于普通氮肥<sup>[10, 13]</sup>; 控释氮肥显著提高初花期和盛花期的土壤速效钾含量, 分别增加 9.34%~30.58% 和 10.84%~25.47%<sup>[7]</sup>。控释氮肥在田间土壤中的释放特性、土壤的供氮特征和棉花的需肥规律能够达到一致性, 实现同步营养的目的<sup>[14]</sup>。

土壤容重影响土壤的孔隙度与孔隙大小的分配, 以及土壤的穿透阻力, 从而影响土壤的水、肥、气、热条件与作物根系的生长<sup>[9]</sup>。向土壤中添加控释肥残膜后, 孔隙度明显增加, 土壤容重降低, 土壤比重变化不大<sup>[15]</sup>, 表明残膜在一定含量施用范围内, 显著改善土壤结构。施入硫包膜尿素, 遇

**基金项目** 山东省自然科学基金项目(ZR2018PD001); 中国博士后科学基金项目(2017M622120); 山东省水土保持与环境保育重点实验室开放基金项目(STKF201606)。

**作者简介** 张超(1979—), 男, 山东临沂人, 工程师, 从事生态肥料的研究工作。\*通讯作者, 耿计彪, 讲师, 博士, 从事新型肥料的研究与应用; 杨修一, 讲师, 博士, 从事土壤养分循环研究。

**收稿日期** 2018-06-19; **修回日期** 2018-07-04

雨能产生酸根,对于长期习惯施用生理碱性肥料(例如碳酸氢铵)的地区,是一种改良土壤理化性状的理想肥料品种<sup>[16]</sup>。但是过量施用控释含硫尿素,棉花会表现为早衰,营养生长过旺,蕾铃脱落率高<sup>[17]</sup>,使棉花减产。适量硫膜可改善土壤中 Mg、Ca 的活化程度,而过量硫膜则会抑制其活化;同时,硫膜显著增加土壤中水溶性  $\text{SO}_4^{2-}$  的积累<sup>[18]</sup>。

## 2 控释氮肥对氨挥发的影响

氨挥发是氮肥施入土壤后,氮素气态损失的重要途径,其主要受土壤条件、气候因子和施肥状况等影响。施用包膜尿素的土壤氮残留高于普通尿素处理<sup>[17]</sup>,氨挥发量减少 51.3%~91.3%<sup>[18]</sup>。尿素施入土壤 10 d 内,氨挥发量迅速增加,然后逐渐平稳下降;控释肥处理则氨挥发量较小,且 33 d 达到稳定状态;但氨挥发量均与施氮量成正比<sup>[19]</sup>。郑圣先等<sup>[20]</sup>研究表明控释氮肥的氨挥发量比尿素处理降低 54%,利用率提高 37.5%,淋失量降低 32.5%。也有研究表明,控释肥处理氨挥发量仅为常规肥料(相同施肥量)处理的 47.5%;全处理收益比常规肥料处理提高 30.2%,氮肥效率提高 7.8%<sup>[21]</sup>。大量研究显示,使用控释肥既节省追肥所需的劳动力投入,又能减少肥料用量,使氮肥利用率提高 10%~30%<sup>[22]</sup>。控释复合肥与普通复合肥相比,氮的利用率由 22.5% 提高到 60.0%~62.5%,磷的利用率由 15.0% 提高到 26.5%~30.2%<sup>[23]</sup>。

## 3 控释肥对棉花产量的影响

为了满足棉花营养生长和生殖生长的需求,在生育中、后期供应充足的氮肥,是棉花高产的物质保证。有学者认为,棉株对氮肥的最大需求期是从初花开始,控释肥肥效在后期略显不足<sup>[24]</sup>,并且控释肥前期释放速度慢,对棉花前期生长不利,苗期易出现“控长”。若使控释肥发挥最大效益,需与普通尿素掺混施用,掺混最佳比例为 7:3。此比例混施有助于苗期棉株迅速生长,增加后期有效光合叶面积<sup>[24]</sup>。也有研究表明,棉花前期生长,控释肥与普通肥料生长差异不明显;但控释肥可满足棉花中后期的养分需求,生长稳健不早衰,脱落少,光合速率明显高于对照<sup>[17]</sup>,叶片硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性增加,超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性增强<sup>[6]</sup>,有利于增加成桃,增产显著<sup>[25]</sup>。

棉花高产以生物量为基础,而生物量的积累又以养分吸收为基础。蕾期至盛铃期是棉花干物质累积速率最快的时期,此阶段养分供应充足,可为高产、优质打下坚实的物质基础。研究表明,在苗期时,控释肥与普通肥料处理棉株干物质质量差异较小,但蕾期以后显著高于对照,收获结束时增加 4.2%~6.1%<sup>[10]</sup>。控释肥处理棉田干物质日积累最大值出现在盛花至盛铃时期,并且控释肥处理棉株在后期仍能保持相对较高的干物质日积累量,从而增加后期干物质的积累量,进而提高棉花产量<sup>[26-28]</sup>。

控释肥的施用增加田间种植棉花的产量,增产幅度在 6.2%~45.3%;在盆栽上的效果更为显著,增产 33.35%~113.05%<sup>[29]</sup>。在棉花产量构成因素方面,对于控释肥能否增加单株结铃数、桃数和单铃重结果不一。余策金等<sup>[30]</sup>在棉

花上应用控释肥的结果表明,其能使铃重增加,单株结铃数提高,单铃重增加 0.5 g;这是由于控释氮肥处理可提高中后期棉叶叶肉细胞 PSII 实际光化学效率和 PSII 潜在光化学活性,改善叶肉细胞的光合能力,提高群体光合效率,增加单株结铃数和铃重<sup>[17]</sup>。Geng 等<sup>[10]</sup> 研究结果显示,控释氮肥通过增加铃重达到增产,对铃数和衣分影响较小。也有一部分学者认为,与生产对照相比,不同控释氮肥处理的棉花最终果枝数、果节数及单铃重与普通氮肥处理无显著差异<sup>[31]</sup>,魏建林等<sup>[32]</sup> 研究表明棉花的衣分、铃重与肥料的种类无关。

## 4 控释肥对棉花品质的影响

棉花纤维品质是由品种遗传特性、资源环境和栽培措施共同决定的。施氮量对棉纤维伸长率、长度、马克隆值影响较显著,对断裂比强度和整齐度影响较小<sup>[32]</sup>。李学刚等<sup>[33]</sup> 研究表明树脂包膜尿素处理,7 月下旬棉铃纤维比强度和 8 月棉铃纤维马克隆值显著增大,7 月下旬棉铃纤维成熟度增加显著,皮棉产量和籽棉产量分别增加 6.4% 和 6.2%;与普通氮肥处理相比,控释氮肥处理对棉株 3~5 果节和中上部果枝的棉铃纤维品质影响显著,呈现出铃重增加、衣分降低的趋势,而对其他部位棉铃素质及纤维品质无显著影响。控释氮肥处理显著增大纤维马克隆值,增加纤维比强度,提高纤维成熟度,但对纤维长度影响不显著<sup>[34]</sup>。Yang 等<sup>[35]</sup> 研究表明,控释肥对纤维伸长率无显著影响,但显著增加纤维长度和断裂比强度。

## 5 控释肥料在棉花应用上存在的问题与展望

**5.1 控释肥在棉花应用上存在的问题** 综上所述,控释肥可提高土壤养分含量,减少氨挥发和淋溶损失,提高棉花产量,改善纤维品质,但是仍然存在许多薄弱环节与问题,有待更加深入地研究和探讨。一是包膜控释肥大部分都是由不可降解的石油基聚合物作为包膜材料,在土壤中降解缓慢,这是否会对土壤造成二次污染,对生态环境造成危害等问题,需要进一步做出系统研究,并形成完善的评价体系。二是对控释肥的增产评价,仅局限于简单的肥效试验,缺乏其在土壤中释放规律、形态转化和去向等方面的综合评价。控释肥的养分释放能与棉花养分吸收相同步,尽管已有很多人研究控释肥在静水和土壤中的释放机理,但关于释放机理和作物吸收特性相互联系的机理研究较少。三是控释肥养分释放受膜材料特性和环境条件制约,而目前棉花专用控释肥料缺失。一种控释肥往往在不同地点、作物上施用,未充分考虑棉花需肥特性、地域差异、气候差异、土壤差异等特点,也往往导致控释肥的增产效果不理想。四是包膜所用核心肥料大部分为尿素或复合肥,不能满足棉花对微量元素,尤其是硼、锌等的需求,使棉花纤维品质下降。

**5.2 控释肥在棉花上的应用展望** 棉花生育期长,在日常管理和收获过程中,用工量大,在我国农业由粗放型经济向集约型转变和农村劳动力转向城市的过程中,棉花也由传统栽培模式向现代简化栽培管理转变。要解决棉花生产中的诸多矛盾和问题,建议今后从以下几个方面加强研究:①根据土壤肥力、土壤质地、环境条件,结合棉花需肥特性,形成不

同工艺的包膜技术,开发棉花专用控释肥料;②研发出生态环保、易降解且控释性能好的包膜材料,降低包膜材料的成本;③形成含大量、中量和微量等多种营养成分的控释肥料,并根据棉花无限生长特性,添加适量生长调节剂。因此,充分发挥控释肥对棉花的增产潜力,减少棉花的种植用工,是保证棉花种植面积、增加棉农植棉兴趣、实现栽培轻简化的重要措施;开发新型环保、高效的控释肥料,不仅具有重要的经济意义,对生态环境的保护也具有重要价值。

## 参考文献

- [1] 沈华民.全球化时代化肥工业的发展创新[J].化肥工业,2017,44(1):4-8.
- [2] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [3] 武志杰,周健民.开发缓释控释肥料 提高化肥利用率[J].中国科学院院刊,1999,14(5):356-360.
- [4] 张民,史衍玺,杨守祥,等.控释和缓释肥料的研究现状与进展[J].化肥工业,2001,28(5):27-30.
- [5] HANAFAI M, ELTAIB S M, AHMAD M B. Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertilizer [J]. European polymer journal, 2000, 36: 2081-2088.
- [6] 耿计彪,张民,马强,等.控释氮肥对棉花叶片生理特性和产量的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):267-271.
- [7] 耿计彪,张民,李成亮,等.控释氮肥对盆栽棉花产量及土壤养分状况的影响[J].棉花学报,2015,27(5):401-407.
- [8] 张民,杨越超,宋付朋,等.包膜控释肥料研究与产业开发[J].化肥工业,2004,32(2):7-13.
- [9] 粟晓万,杜建军,贾振宇,等.缓/控释肥的研究应用现状[J].中国农学通报,2007,23(12):234-238.
- [10] GENG J B, MA Q, ZHANG M, et al. Synchronized relationships between nitrogen release of controlled release nitrogen fertilizers and nitrogen requirements of cotton [J]. Field crops research, 2015, 184: 9-16.
- [11] 张淑英,鲍明运,张凌.施用控释肥对棉田氮素移动规律影响的初步研究[J].安徽农业科学,2008,36(3):1137-1139.
- [12] 邵蕾,张民,王丽霞.不同控释肥类型及施肥方式对肥料利用率和氮素平衡的影响[J].水土保持学报,2006,20(6):115-119.
- [13] YANG X Y, GENG J B, LI C L, et al. Cumulative release characteristics of controlled-release nitrogen and potassium fertilizers and their effects on soil fertility, and cotton growth [J]. Sci Rep, 2016, 6: 1-11.
- [14] GENG J B, MA Q, CHEN J Q, et al. Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton [J]. Field crops research, 2016, 187: 87-95.
- [15] 耿毓清,张民,段路路,等.控释肥残膜对土壤物理性质及油菜生长效应的影响[J].水土保持学报,2006,20(4):94-97.
- [16] 易妍睿,刘光文,胡启明,等.棉花追施包膜尿素试验初探[J].湖北农

- 业科学,2006,45(1):49-51.
- [17] 李伶俐,马宗斌,谭金芳,等.控释氮肥对棉花产量的影响及光合特性的研究[J].棉花学报,2005,17(5):275-279.
- [16] 郑磊,张民,杨越超,等.控释肥及硫膜对土壤性质和水稻生长发育的影响[J].水土保持学报,2009,23(2):193-197.
- [17] ZAREABYANEH H, BAYATVARKESHI M. Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop [J]. Environmental earth sciences, 2015, 74(4): 3385-3393.
- [18] CHALK P M, CRASWELL E T, POLIDORO J C, et al. Fate and efficiency of <sup>15</sup>N-labelled slow- and controlled-release fertilizers [J]. Nutrient cycling in agroecosystems, 2015, 102(2): 167-178.
- [19] TIAN X F, GUO Y L, LI C L, et al. Controlled-release urea decreased ammonia volatilization and increased nitrogen use efficiency of cotton [J]. Journal of plant nutrition and soil science, 2017, 180(6): 667-675.
- [20] 郑圣先,刘德林,聂军,等.控释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率[J].植物营养与肥料学报,2004,10(2):137-142.
- [21] 徐道青,郑耀峰,王维,等.棉花专用缓释控释肥对产量及环境因子的影响[C]//土壤水资源高效利用与农业面源污染防治技术研讨会论文集.合肥:安徽省科学技术协会学会部,2011:77-79.
- [22] 李伶俐,马宗斌,林同保,等.控释氮肥对棉花的增产效应研究[J].中国生态农业学报,2007,15(3):45-47.
- [23] 梁喜,何生丽.包膜缓释复合肥对黑麦草生长及提高肥料利用率的研究[J].新疆农业大学学报,2002,25(2):38-41.
- [24] 陈宏坤,李博.掺混型控释肥对棉花产量及氮肥利用率的影响[J].中国农学通报,2012,28(3):213-217.
- [25] 黄齐奎,江文凤,王四芳.湖北汉川棉花上应用缓释控释肥的效果[J].江西棉花,2011,33(1):104-106.
- [26] 胡伟,张炎,胡国智,等.控释氮肥对棉花植株 N 素吸收、土壤硝态氮累积及产量的影响[J].棉花学报,2011,23(3):253-258.
- [27] 宋世佳,张永江,刘连涛,等.不同施肥模式对棉田肥料利用率及产量的影响[J].河北农业大学学报,2011,34(4):10-15.
- [28] 胡伟,张炎,胡国智,等.控释尿素与普通尿素对棉花生长、养分吸收和产量的影响[J].新疆农业科学,2010,47(7):1402-1405.
- [29] 孙强生,张民,苏秋红,等.控释肥在盆栽棉花上的肥效研究[J].水土保持学报,2006,20(6):133-136.
- [30] 余策金,李北京,郭在斌,等.赣北瑞昌棉花施用缓释控释肥对比试验[J].棉花科学,2013,34(2):26-28.
- [31] 李学刚,孙学振,宋亮亮,等.控释氮肥对棉花生长发育及产量的影响[J].山东农业科学,2009(6):79-81,98.
- [32] 魏建林,崔崇宗,杨果,等.控释氮肥在棉花上的施用效果研究[J].中国棉花,2011,38(12):26-28.
- [33] 李学刚,宋亮亮,孙学振,等.控释氮肥对棉花纤维品质、产量及氮肥利用效率的影响[J].作物学报,2011,37(10):1910-1915.
- [34] 李学刚,孙学振,宋亮亮,等.控释氮肥对不同部位棉铃素质及纤维品质的影响[J].棉花学报,2013,25(4):316-322.
- [35] YANG X Y, GENG J B, LI C L, et al. Combined application of polymer coated potassium chloride and urea improved fertilizer use efficiencies, yield and leaf photosynthesis of cotton on saline soil [J]. Field crops research, 2016, 197: 63-73.

(上接第7页)

取溶剂。该方法简单易行,无需复杂的玻璃仪器。溶剂消耗少,且可以回收循环使用,具有提取周期短、对环境污染小的优点,可以用于实验室从杜仲橡胶翅果中快速提取杜仲精胶。

## 参考文献

- [1] 杜红岩.杜仲活性成分与药理研究的新进展[J].经济林研究,2003,21(2):58-61.
- [2] 夏树林,朴晶.杜仲叶中多糖的提取及其抗疲劳作用的研究[J].安徽农业科学,2010,38(33):18747-18748.
- [3] 栾辉,郑红星,杜林杉,等.杜仲叶中活性成分积累变化规律[J].安徽农业科学,2016,44(1):182-183.
- [4] 李世传.杜仲的活性成分及其在猪饲料中的应用[J].中国饲料,2014(13):25-27.
- [5] 陈静,刘昌勇,杜红岩,等.杜仲叶饲料添加剂对鸡肉及鸡皮中胶原蛋白含量的影响[J].河南大学学报(医学版),2011,30(1):17-19.
- [6] 付文,刘安华,王丽.杜仲胶的提取与应用研究进展[J].弹性体,2014,24

- (5):76-80.
- [7] 孙霞容,彭亚岚,焦冬生,等.杜仲胶对天然橡胶性能影响的研究[J].特种橡胶制品,2015(2):20-21.
- [8] 张学俊,王庆辉,宋磊,等.不同温度条件下溶剂循环溶解-析出提取杜仲胶[J].天然产物研究与开发,2007,19(6):1062-1066.
- [9] 王聪,毛波,王旭,等.高温蒸煮结合溶剂提取法提取杜仲胶的工艺研究[J].化学与生物工程,2012,29(2):77-79.
- [10] 李学锋,王刚,彭少贤.杜仲胶的溶剂-沉淀法提取[J].湖北化工,1997(1):35-37.
- [11] 丁奋霞,苏印泉,杜双田,等.生物法提取杜仲胶菌株筛选及发酵条件优化[J].西北林学院学报,2012,27(2):149-154.
- [12] 刘贵华,张永康,肖美凤,等.纤维素酶解预处理法提取杜仲胶的工艺研究[J].林产化学与工业,2010,30(2):77-82.
- [13] 何国菊.杜仲翅果籽油和杜仲胶提取工艺优化[J].安徽农业科学,2011,39(18):10846-10848.
- [14] 欧阳辉,余信,李继华,等.从杜仲翅果中提取杜仲胶的工艺研究[J].西北林学院学报,2009,24(4):160-162.
- [15] 游东宏,吴媛媛.杜仲翅果壳中杜仲胶的提取工艺探讨[J].宁德师范学院学报(自然科学版),2014,24(3):273-275.
- [16] 张向宇.实用化学手册[M].2版.北京:国防工业出版社,2011:943-944.