

控释肥用量对棉花生长特性和土壤肥力的影响^{*}

李成亮¹ 黄 波² 孙强生¹ 窦兴霞² 杨越超¹ 张 民^{1, 2†}

(1 土壤资源高效利用国家工程实验室, 国家缓控释肥工程技术研究中心, 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018)

(2 国家化肥产品质量监督检验中心(山东), 山东临沂 276001)

摘 要 以国抗棉 GK12 号为供试材料, 以等养分量复合肥作对照, 研究不同控释肥施用量对大田棉花生长和土壤肥力的影响。结果表明, 控释肥处理的棉花株高、茎粗、叶面积均较普通复合肥具有优势。控释肥对大田果枝数、桃数影响显著。在施氮量为 75 kg hm^{-2} 和 150 kg hm^{-2} 条件下, 控释肥处理的棉花产量较复合肥处理分别增加 18.9% 和 13.6%。在多个棉花生育期, 与复合肥处理相比, 控释肥处理提高了 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层硝态氮含量, 未对土壤的铵态氮含量造成显著影响, 土壤中有效磷和速效钾含量与普通复合肥处理间未出现显著的差异。

关键词 控释氮肥; 棉花; 复合肥; 土壤肥力

中图分类号 S145.5; S562 **文献标识码** A

棉花是我国重要的经济作物之一, 棉花生产在我国区域经济和社会发展中占有重要地位。合理施用氮肥始终是调控棉花生长发育、产量和品质的重要施肥措施之一。棉花具有生长期长且无限开花结铃的习性, 与其他作物相比, 需氮量相对较大。施用化肥增加的棉花产量占棉花单产的 33.5% ~ 56.1%。因此, 长期以来, 我国的棉花生产中以施氮肥为主^[1], 农民为了追求高产往往盲目增施氮肥, 且习惯偏重基肥^[2-3], 这不仅加重了土壤氮淋洗和对环境的污染^[4], 而且导致了因营养体生长过旺而贪青晚熟, 前期僵烂花, 后期铃及霜后花比重增加, 纤维品质大幅度降低^[5]。控释氮肥的施用将有助于提高氮肥的利用率和棉花的产量, 对改善生态环境也具有十分重要的意义。

控释肥可显著减少肥料养分的挥发和淋失, 大幅度提高肥料利用率, 减少因化肥施用对环境和地下水的造成污染风险^[6], 所以缓控释肥料被研制出来之后应用于多种大田作物和果树生产中^[7-13]。控释肥在棉花生产中虽有施用, 但研究不系统。棉花盆栽试验结果表明, 控释氮肥对棉花的果枝数、桃数在各施肥水平上与普通复合肥相比不显著, 施用

控释肥纯氮量分别在 0.2 g kg^{-1} 土和 0.4 g kg^{-1} 土时, 比相同施氮量普通复合肥具有显著的增产作用, 相对增产率分别为 113.1% 和 34.5%, 而且在施用量减少的情况下, 仍能获得高于普通复肥的产量^[14]。包膜控释氮肥提高了植株上部叶片的叶绿素含量和实际光合效率, 增加了 4.3% ~ 6.4% 的皮棉含量^[15]。目前, 控释氮肥在棉花生产上的研究主要集中于棉花生长指标和产量的影响, 对土壤肥力的影响研究较少。因此, 本研究利用包膜控释氮肥, 结合棉花需肥规律制成掺混控释复合肥, 进行大田棉花控释肥用量试验研究, 并与普通复合肥进行肥效对比, 在棉花不同生育期对植株和土壤进行采样分析, 研究控释氮肥不同用量在棉花上的增产效果及对土壤肥力的影响, 以期为控释肥在棉花上的大面积应用和推广提供理论依据。

1 材料与方法

控释肥以山东金正大生态工程股份有限公司生产的 $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ 质量比为 12:12:17 的复合肥及含氮量为 46% 尿素为原料, 筛选 2 mm 以上的颗

^{*} 山东省现代农业产业技术体系棉花创新团队(鲁农科技字[2012]26号)项目、“十二五”国家科技支撑计划(2011BAD11B01; 2011BAD11B02)和山东省自主创新成果转化重大专项(2012ZHZX1A0409)资助

[†] 通讯作者, E-mail: minzhang-2002@163.com

作者简介: 李成亮(1976—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 土壤肥科学及环境效应。E-mail: chengliang_li@yeah.net

收稿日期: 2013-05-20; 收到修改稿日期: 2013-10-20

粒,以硫磺和树脂为主要包膜材料包膜,由山东金正大生态工程股份有限公司研制生产。设计控释期约为 120 天(25℃ 静水浸提法测定),包膜后的控释复肥 N:P₂O₅:K₂O 的质量比为 10:10:14,控释尿素含氮量为 36%。并以未包膜的 N:P₂O₅:K₂O 质量比为 12:12:17 的复合肥与尿素作为普通复肥与控释肥作为对照进行试验。

1.1 试验设计

试验于 2011 年在山东省东营市利津县进行,土壤类型为潮土,土壤有机质含量为 10.3 g kg⁻¹,碱解氮、有效磷和速效钾含量分别为 70.63、11.99 和 76.10 g kg⁻¹,土壤的 pH(土水质量比为 1:1)为 7.90,土壤电导率为 210 μS cm⁻¹,碳酸盐含量为 67.9 g kg⁻¹。本试验共设 7 个处理(表 1),CK 为空

白,不施肥料;CRF(Controlled-Release Fertilizers)为控释肥处理;CCF(Common Compound Fertilizers)为普通复合肥处理;数字 1、2、3 分别为不同的肥料施用水水平,各处理均重复三次。小区面积为 3 m×6 m=18 m²。供试棉花品种为国抗棉 12 号(GK12),行距为 1.5 m 每行种植两排,株距为 0.4 m,种植密度为每公顷 3.33 万棵。控释肥在播种时一次作基肥施入土壤,普通肥料分两次施用,50% 作基肥,50% 在花铃期作追肥,施肥方式为开沟条施。4 月 28 日播种,待幼苗的真叶展开后定苗。在苗期(6 月 8 日)、蕾期(7 月 13 日)、花铃期(8 月 5 日)和吐絮期(9 月 7 日)采土壤和植株样品。棉花的收获持续至 11 月上旬。为了获得数据与生产情况相一致,试验田采用常规的管理模式。

表 1 试验设计
Table 1 Designing of the field experiment

处理号 No.	施肥处理及代号 Treatments and code	施入纯氮量 N application rate (kg hm ⁻²)	施入 P ₂ O ₅ 量 P ₂ O ₅ application rate (kg hm ⁻²)	施入 K ₂ O 量 K ₂ O application rate (kg hm ⁻²)	备 注 Remarks
1	空白 (CK) Blank	0	0	0	所用控释肥由 50% 普通复合肥 (12:12:17),30% 包膜复合肥 (10:10:14),20% 包膜尿素 (36:0:0) 掺混而成 The controlled release fertilizer used in the experiment was a blend of 50% compound fertilizer (12:12:17), 30% coated compound fertilizer (10:10:14) and 20% coated Urea (36:0:0)
2	控释肥 1 (CRF1) Controlled-release fertilizer 1	75	42	60	
3	控释肥 2 (CRF2) Controlled-release fertilizer 2	150	84	120	
4	控释肥 3 (CRF3) Controlled-release fertilizer 3	225	126	180	
5	普通复肥 1 (CCF1) Compound fertilizer 1	75	42	60	所用普通复肥由普通复合肥 (12:12:17) 和尿素 (46:0:0) 按设定量施入 The common compound fertilizer in use was a blend of common compound fertilizer (12:12:17) and urea (46:0:0) applied as setup in the experiment
6	普通复肥 2 (CCF2) Compound fertilizer 2	150	84	120	
7	普通复肥 3 (CCF3) Compound fertilizer 3	225	126	180	

1.2 样品采集与测定

棉花苗期、蕾期和花铃期的叶片叶绿素利用日本美能达公司生产的 SPAD-502 型手持叶绿素仪进行测定,叶绿素仪读数与叶绿素含量成正比;棉花株高测定从地表到植株顶端的高度,地表以上10 cm处测量棉花主茎的径粗;在各小区中选 3 棵代表性棉花植株,测定叶片的长度和宽度,棉花的叶面积则为长与宽的乘积乘 0.716,求取平均值作为每小区棉花的叶面积。在棉花花铃期和吐絮期调查棉花桃数和果枝

数。在棉花苗期破坏性采集植株样品,105℃ 条件下杀青 30 min,80℃ 烘干,称重计生物量。

在棉花苗期、蕾期、花铃期和吐絮期采集土壤样品,每小区各选三个点取土,并小心挑出其中混杂的控释肥颗粒(避免其污染取出的土壤样品),混匀采集 500 g 作为每小区样品,风干,过 2 mm 筛备用。土壤硝态氮和铵态氮用 0.01 mol L⁻¹氯化钙浸提,流动注射分析仪测定;土壤有效磷用 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃ 浸提,钼锑抗比色法测定;土壤速效钾用

1 mol L⁻¹醋酸铵浸提,火焰光度法测定。

1.3 数据处理

处理间数据差异利用 SAS 程序软件(SAS Institute, 1999) 进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 控释肥对大田棉花产量及构成因素的影响

不同肥料种类和施用量对花铃期和吐絮期棉花桃数存在不同程度的影响(图 1)。在花铃期,中量(N 150 kg hm⁻²)和高量(N 225 kg hm⁻²)控释肥处理(CRF2,CRF3)的棉花结桃数高于空白处理,也高于同等用量的普通复肥处理(CCF2,CRF3)。但对于低用量(N 75 kg hm⁻²)处理,复合肥处理的棉花结桃数高于控释肥处理。在吐絮期棉花的生殖生长达到顶峰,此时棉桃数目最多。以中等施肥水平控释肥处理结桃数最多,为平均 20 个株⁻¹,较同等用量的普通复合肥处理高 14%;其次为控释肥高施肥量处理,结桃数为 18.3 个株⁻¹,较普通复合肥处理高 6%。施用中高量控释肥处理的棉花要较同等施肥量的普通复合肥在花铃期和吐絮期结桃数多,说明施用控释肥能够在棉花生长后期依然供应充足的养分,促进棉花结桃。对照处理与三个用量复合肥处理间棉花结桃数差异不显著,说明复合肥的施用不能显著改善棉花结桃数,即使是不同的用量;这从另一个侧面说明,在棉花吐絮期复合肥难以持续供应养分。李伶俐等^[20]的研究结果表明,等氮条件下控释氮肥提高了单株结铃数和单铃重,子棉显著增产了 10.3%。孙强生等^[14]报道,控释肥在各施肥水平上与普通复合肥相比,虽棉铃数变化不显著,但每千克土施用 0.2 和 0.4 g 纯氮时,包膜控释肥较普通复合肥具有显著的增产作用。

与控释肥对棉花的结桃数影响相同,施用中高量控释肥的棉花果枝数在花铃期显著高于等施肥量的复合肥处理(图 2),即 CRF2 果枝数为 18 个株⁻¹,CCF2 果枝数为 14.3 个株⁻¹。控释肥处理较普通复合肥处理高 33%,两者差异达到显著水平。在吐絮期,除 CRF2 处理的果枝数略低,其他处理间差异不显著。

地上部和地下部关系研究较多,McMicheal 等研究认为在结铃前地下部分和地上部器官的发育显线性相关,但结铃后的情况则不同^[16]。不同控释肥处理棉花地上部干重与空白处理的存在显著差异。低量和中量施肥条件下,控释肥处理地上部分干重显著高于复合肥处理的。低量控释肥处理地

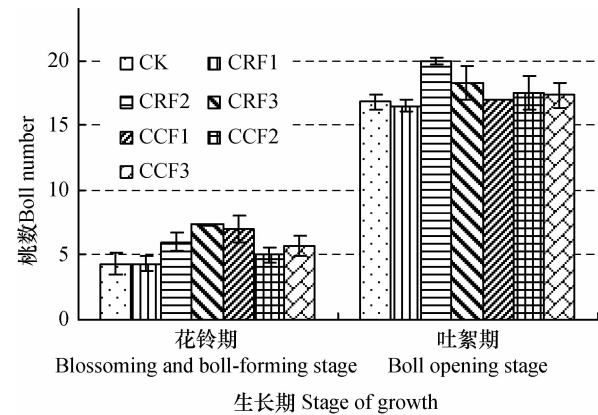


图 1 不同施肥处理对大田棉花桃数的影响
Fig. 1 Effects of the fertilizer treatments on boll number of the cotton in the field

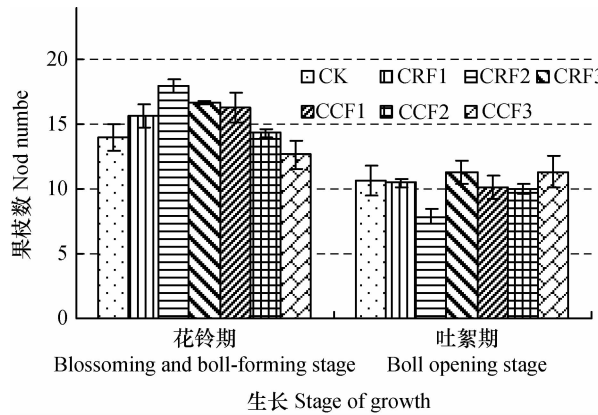


图 2 不同施肥处理对大田棉花果枝数的影响
Fig. 2 Effects of the fertilizer treatments on number of fruit spurs of the cotton in the field

下部分干重显著高于等量复合肥处理的,但中量施肥条件下二者差异不显著。低用量控释肥处理与普通复合肥高量施肥水平之间差异不显著(表 2)。除 CRF1 外,其余各施肥处理与空白之间的棉花地下部干重差异不显著,且各个施肥处理之间的棉花地下部干重差异也不显著。中低量控释肥处理棉花植株总干重与其余各个处理的差异达显著水平。中低施用量情况下,控释肥处理的植株根冠比明显低于普通复合肥处理,但控释肥高施用量处理高于普通复合肥处理。这表明,中低量控释肥促进了棉花苗期的营养生长,充足的养分供应在一定程度上制约了棉花根系的生长,导致根冠比略低。然而在高量施肥条件下,复合肥因短时间内养分过量释放,造成土壤中养分充足,棉花根系在小范围土体内吸取植株生长的所需养分,间接地制约了根系的生长,但是控释肥则反之。

表 2 不同施肥处理对苗期大田棉花生物量的影响
Table 2 Effects of fertilizer treatments on biomass of the cotton in the field

处理 Treatments	地上部干重	地下部干重	总干重	根冠比
	Dry weight of shoots(g plot ⁻¹)	Dry weight of roots(g plot ⁻¹)	Total dry weight(g plot ⁻¹)	Ratio of root/ shoot
CK	52.76 c	19.68 b	72.44 b	0.37
CRF1	75.35 a	28.07 a	103.42 a	0.37
CRF2	71.00 ab	27.25 ab	98.25 a	0.38
CRF3	57.53 bc	23.34 ab	80.87 b	0.41
CCF1	53.47 c	23.81 ab	77.28 b	0.45
CCF2	54.33 c	22.77 ab	77.10 b	0.42
CCF3	60.57 bc	22.39 ab	82.95 b	0.37

注:系列的平均数用邓肯多重比较,标不同字母的数值表示有显著差异($p < 5\%$) Note: The same lowercase letter in the same column means insignificance in difference between treatments at the 5% level by Duncan's multiple range tests

控释肥处理各施肥水平与普通复合肥处理各施肥水平对大田棉花产量的影响不尽相同(表 3)。控释肥处理 CRF1 和 CRF2 棉花产量随着施肥量的增加呈增加的趋势,但高施肥量处理 CRF3 产量却降低;普通复合肥处理随着施肥量的增加,产量也呈增加的趋势。各个处理较空白处理均有增产,普通复合肥随着施肥量的增加,增产率也随之增大,而控释肥处理 CRF2 增产率为 23.62%,CRF1 和 CRF3 的增产率为 21.18% 和 19.36%。在 75、150 和 225 kg hm⁻²纯氮施肥条件下,控释肥处理相对与普通复合肥处理均有增产效果,分别为 18.84%、11.64% 和 1.11%。这主要是由于普通复合肥为速溶性肥料,施入土壤后,除一部分被土壤吸附外,其余部分仍存留在土壤溶液中,由于硝化作用易成为

阴离子随水流失,施肥量增加存留在土壤溶液中相对较多,因此产量随施肥量的增加而增大,而增长率则相反。在大田掺混 50% 的包膜肥(30% 有包膜复合肥和 20% 的包膜尿素)提高肥料投入的经济成本,肥料利用率也有显著提升。因此,在大田实际生产中,减少肥料用量而实现棉花的稳产或增产是可行的。包膜控释肥的另外一个优点是减少了肥料的损失,降低了因为肥料淋失、挥发和径流等途径对环境造成的危害,保护了农业生态环境,产生了巨大的生态效益。这也是包膜控释肥在美国、日本等发达国家中被广泛推广的重要原因。鉴于上述观点,在棉花生产中推荐使用含有包膜控释肥的掺混肥料是可行的。

表 3 不同施肥处理对大田棉花产量的影响
Table 3 Effects of fertilizer treatments on cotton yield

处理 Treatments	籽棉产量 Yield of seed cotton(kg plot ⁻¹)	与 CK 相比的增产率 Increment over CK (%)	与相同施用量 CCF 相比的增产率 Increment over CCF (%)
CK	4.58 c	0	—
CRF1	5.55 ab	21.18	18.84
CRF2	5.56 a	23.62	11.64
CRF3	5.47 abc	19.36	1.11
CCF1	4.67 bc	1.93	—
CCF2	4.98 bc	8.81	—
CCF3	5.41 abc	18.09	—

注:同一系列的平均数用邓肯多重比较,标有不同字母的数值表示有显著差异($p < 5\%$);—表示缺值 Note: The same letter in the same vertical column means insignificance in difference between treatments at the 5% level by Duncan's multiple analysis; “—” it means no value available

2.2 控释肥对大田棉花生长发育的影响

在苗期各处理之间棉花株高未呈现差异(图3),这主要是测定时属于苗期前期,幼苗的生长还是依靠种子自带的养分,各处理肥料用量未对幼苗的生长造成影响。在蕾期控释肥处理表现出其优势,CRF1、CRF2 分别较同等施肥量的复合肥高,特别是 CRF1 较 CCF1 高 9.22 cm。在花铃期各处理之间没有太大的差异,这可能是由于到花铃期时调控作物以生殖生长为主,相对而言,营养生长不占主导地位,差异不明显。对于高施肥量的处理,在蕾期控释肥处理 CRF3 的株高低于复合肥处理。

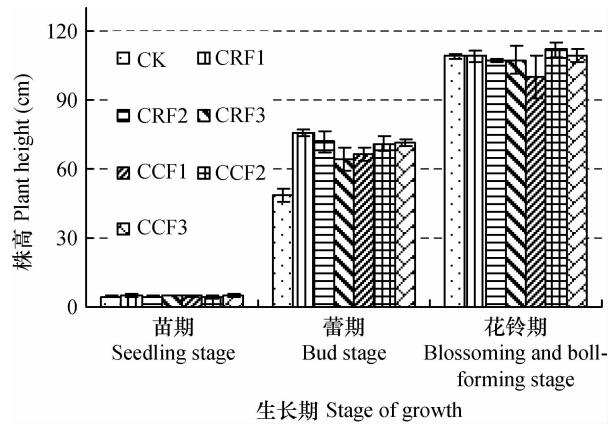


图3 不同施肥处理对大田棉花株高的影响
Fig. 3 Effects of the fertilizer treatments on plant height of the cotton in the field

在苗期各处理间棉花茎粗差异不显著(图4)。在苗期,处理间茎粗变化幅度不大,处于 0.18 ~ 0.19 cm 之间。随着生长期的延长,各施肥处理间的变化与差异在蕾期呈现出来,控释肥处理 CRF1 和 CRF2 茎粗分别为 1.09 cm 和 0.99 cm,分别较同等施肥量的普通复合肥粗 0.12 cm 和 0.13 cm,两者差异显著;但控释肥的高施肥量处理 CRF3 却较同等施肥量的普通复合肥处理 CCF3 茎粗小。在花铃期,各施肥处理茎粗均显著于空白处理的茎粗 1.20 cm,普通复合肥处理茎粗分别为 1.56、1.52、1.52 cm,与控释肥处理差异不显著。

氮肥的施用显著地影响棉花生长期叶片叶绿素含量^[15],也能影响棉花叶片的衰老程度^[17]。本研究中,棉花整个生育期内各处理棉花叶片叶绿素含量总体规律是前期有明显升高,在中后期逐渐达到平衡(图5)。这符合作物生长规律,并且不同处理对大田棉花叶绿素含量的影响有显著差异。控释肥和普通复肥处理的叶绿素含量均高于空白处理,这说明肥料在作物的生长过程中起了重要作

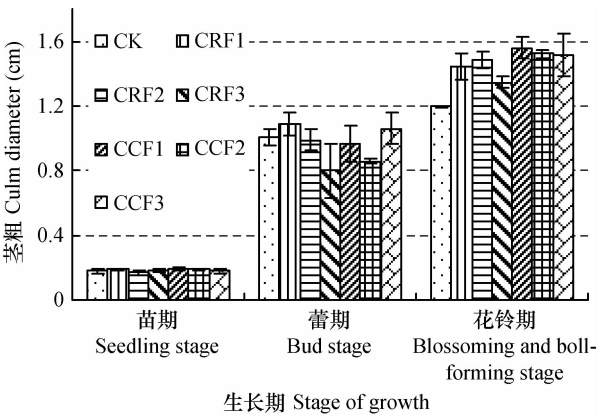


图4 不同施肥处理对大田棉花茎粗的影响
Fig. 4 Effects of the fertilizer treatments on culm diameter of the cotton in the field

用。随着控释肥施用量的增加,叶片中叶绿素的含量也明显增加;而普通复肥处理中,处理 CCF3 的叶绿素含量明显低于 CCF2,这可能是由于 CCF3 土壤中养分浓度过高,超过了棉花生长的需求。这也说明控释肥在优化作物生长方面较普通复肥有优越性,能适量地提供作物生长所需的养分,促进作物的正常生长发育。

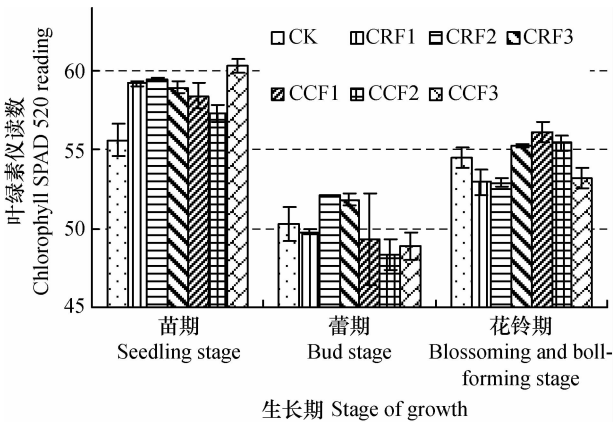


图5 不同施肥处理大田棉花叶绿素的变化
Fig. 5 Effects of the fertilizer treatments on chlorophyll of the cotton in the field

棉花生育期内各处理棉花叶面积呈逐渐增大趋势(图6),各施肥处理棉花叶面积均显著高于空白处理。在蕾期与花铃期这种趋势更加明显。在蕾期,各施用量控释肥处理较同等施用量的普通复合肥棉花叶面积高,低、中和高施用量下分别高 52.6、36.8、48.9 cm²,在花铃期控释肥处理较普通复合肥处理同样分别高 34.3、62.9、35.8 cm²。这主要是由于控释肥施入土壤后其养分能够缓慢释放,能够被作物更大程度的吸收利用,使作物生长较普

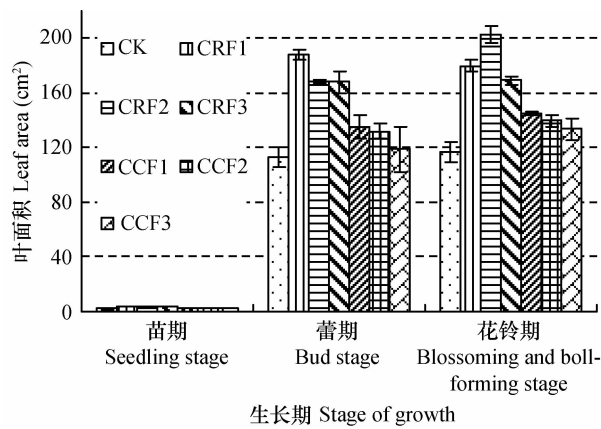


图 6 不同施肥处理大田棉花叶面积的变化

Fig. 6 Effects of the fertilizer treatments on leaf area of the cotton in the field

通肥料处理更具优势。在控释肥各处理中在蕾期低量施肥水平表现最好,叶面积最大,为188.2 cm²,而在花铃期中量施肥水平表现最好,叶面积最大为202.6 cm²。

2.3 控释肥对大田棉花土壤养分动态变化的影响

铵态氮和硝态氮是能被植物直接吸收利用的主要氮素形态。在旱地农田,硝态氮是植物的主要氮源,铵态氮经硝化作用也可转变为硝态氮,所以研究土壤中铵态氮和硝态氮含量可评价土壤对植物的供氮能力和强度。由图 7 可知,控释肥处理在各生育期 0~20 cm 土壤硝态氮含量一直维持较普通复合肥处理较高的水平,尤其是高量控释肥 CRF3

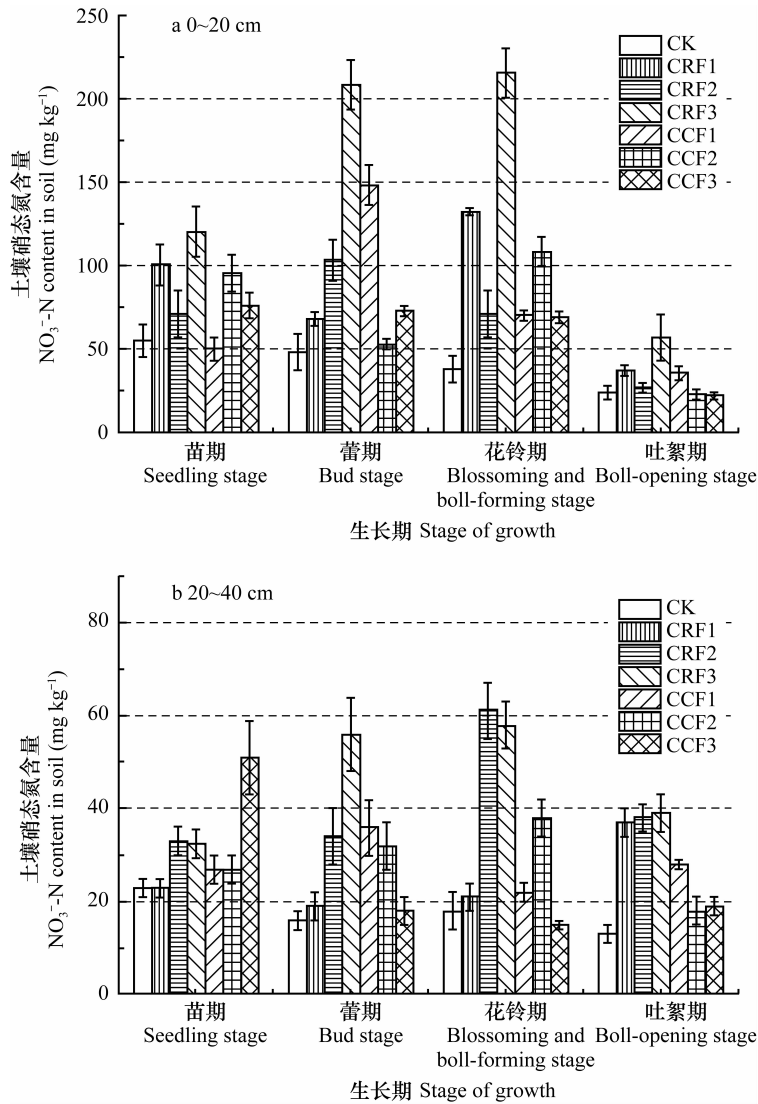


图 7 大田棉花土壤中硝态氮含量的变化

Fig. 7 Effects of the fertilizer treatments on soil NO₃⁻-N content in the cotton field

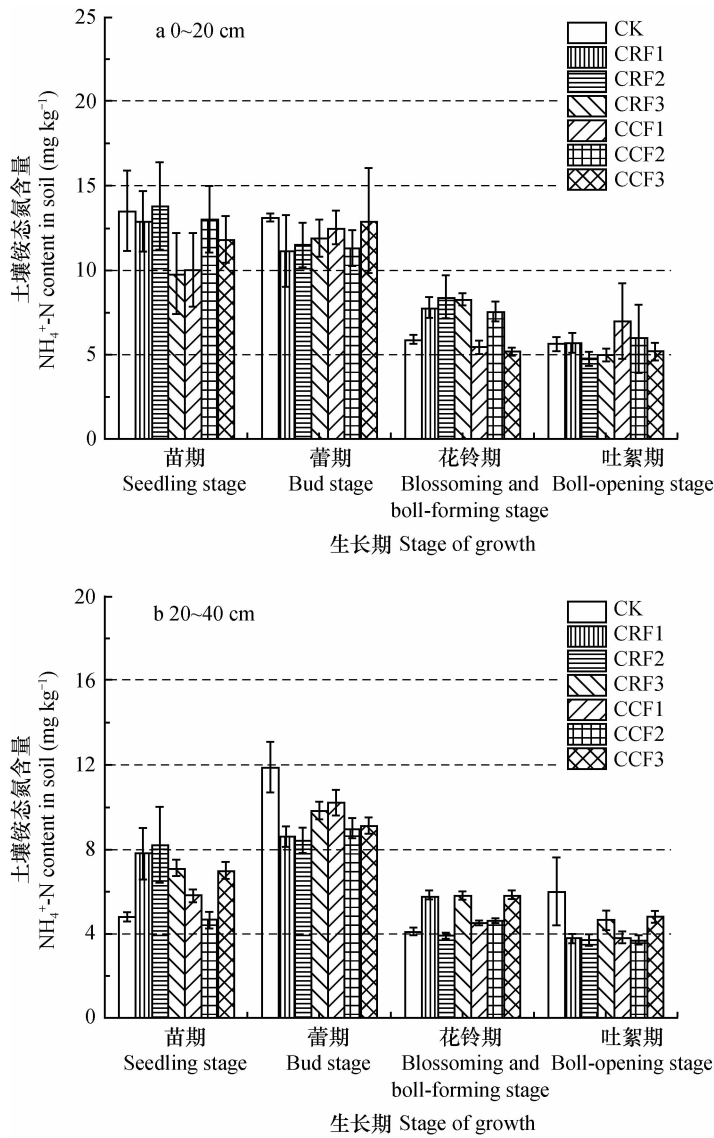


图 8 大田棉花土壤中铵态氮含量的变化

Fig. 8 Effects of the fertilizer treatments on soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content in the cotton field

处理在蕾期和花铃期均较等量普通复合肥高出 1 倍多,20 ~40 cm 土层的硝态氮含量变化与耕层的趋势相同,表明控释肥处理在棉花需氮高峰期可提供更为充足的氮素营养。

土壤中铵态氮含量的变化如图 8 所示,在 0 ~20 cm 土层中,控释肥处理呈现逐渐下降的趋势,而普通复合肥处理则是先上升后下降的趋势。控释肥处理在棉花苗期铵态氮含量与普通复合肥处理相差并不显著,在花铃期和吐絮期控释肥处理则显著高于普通复合肥处理。在 20 ~40 cm 土层中各处理间差异并不显著,均呈现先上升再下降的趋势。这些均表明,控释肥处理在棉花生长期可持续提供棉花

生长所需的氮素养分。

由图 9 可知,0 ~20 cm 土层控释肥处理有效磷含量呈现缓慢下降的趋势,而普通复合肥处理呈现下降再上升的趋势。在 20 ~40 cm 土层不同处理有效磷含量差异不显著。磷在土壤中的移动性较差,同时又易与土壤中的钙、镁等阳离子相互作用产生吸持、沉淀作用,使得土壤磷的有效性降低。控释肥不仅能够源源不断释放养分以供应棉花的生长需求,而且控释肥可以集中施在棉花根系附近,减少了磷等肥料养分与土壤接触的面积与机会,从而显著提高了肥料养分的有效性,既为棉花的生长提供了充足的养分,又节约了肥料资源,降低了生产成本。

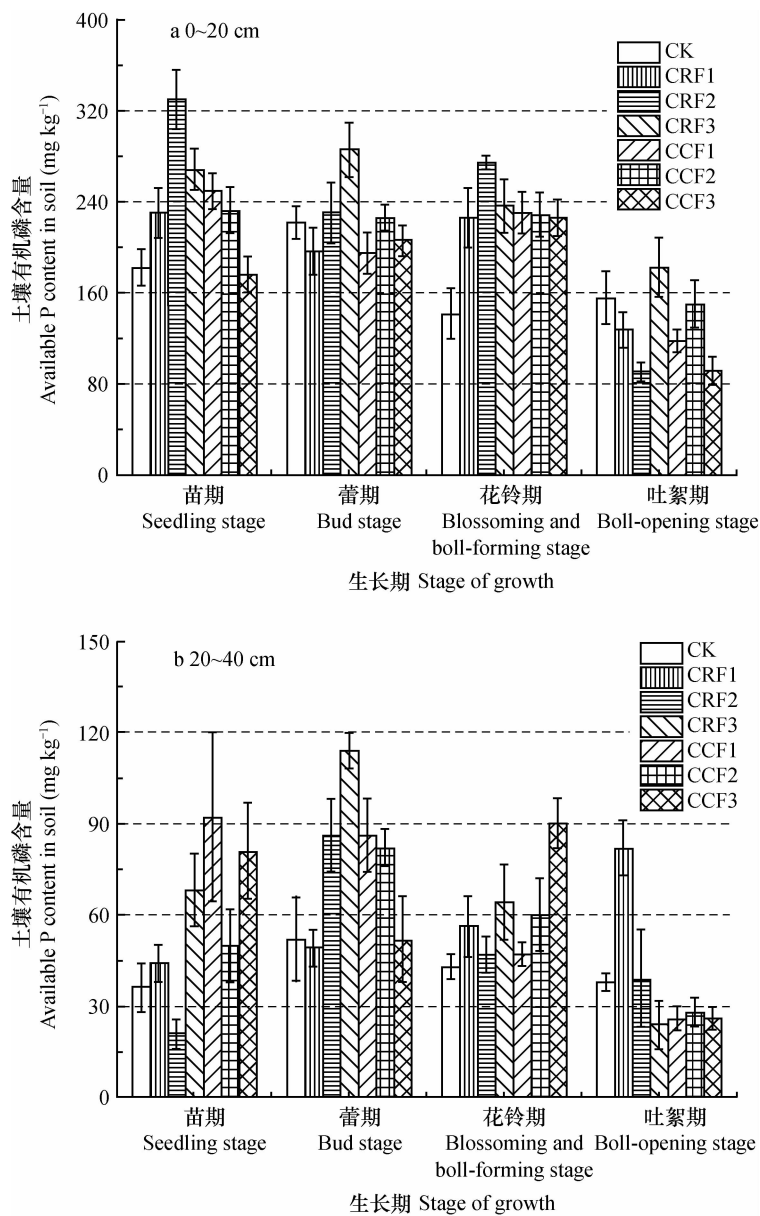


图9 大田棉花土壤中有效磷含量的变化
Fig. 9 Effects of the fertilizer treatments on content of soil available P in the cotton field

钾是棉花植株体内无机成分中数量最多的一种元素。但是钾与氮、磷不同,它不参与棉株体内有机化合物的合成,而是主要以离子态或可溶性盐类存在,部分则吸附在原生质表面^[18]。钾在棉株体内多分布在代谢较旺盛的组织中,钾是体内多种酶的活化剂,能促进植物体内多种代谢反应。钾能提高棉纤维的含量,使秸秆坚韧不易倒伏,提高棉株的抗旱、抗高温和抗病等抗逆能力^[19]。

在苗期和蕾期0~20 cm土层不同处理速效钾含量差异不显著(图10),棉花生长进入花铃期,各处理间差异因植株对钾吸收利用而逐渐增大。相

同施肥水平下,控释肥处理土壤速效钾含量明显高于CK和CCF处理;而20~40 cm土层不同处理速效钾含量差异不显著。植物营养理论研究表明:只有根际部分的钾是实际有效的,才是棉花能够直接吸收的生物有效养分,非根际土壤的钾并不代表土壤速效钾的供应状况,必须通过迁移进入根际后才能被作物吸收。施用控释肥不但为棉花提供了高浓度的钾素营养,而且由于控释肥集中施于棉花根系附近,避免钾离子向根表的长距离迁移,从而提高了养分的空间有效性。

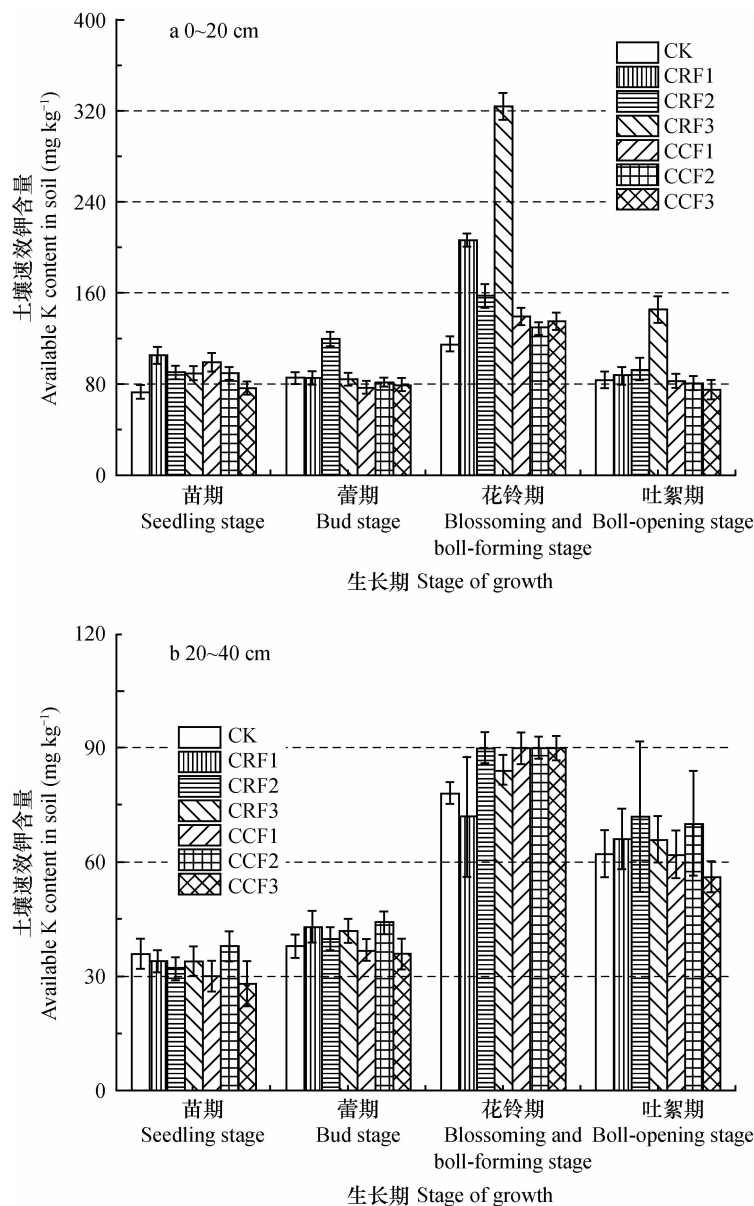


图 10 大田棉花土壤中速效钾含量的变化

Fig. 10 Effects of the fertilizer treatments on content of soil available K in the cotton field

3 结 论

在 75、150 和 225 kg hm⁻² 纯氮施肥条件下,控释肥处理的棉花产量比复合肥处理分别增产了 18.9%、13.6% 和 1.11%。中低施肥量条件下,与普通复合肥相比,控释肥显著提高棉花苗期的生物总量,且降低了苗期根冠比。在棉花吐絮期,以中等施肥水平控释肥处理棉花结桃数最多,为 20 个株⁻¹,较同等用量的普通复合肥处理高 14%。在棉花的不同生育期,处理间棉花生理指标的变化差异

不显著。在多个棉花生育期,与复合肥处理相比,控释肥处理提高了 0~20 cm 和 20~40 cm 土层硝态氮含量,但未对土层铵态氮含量造成显著影响。耕层土壤中有效磷含量随着施肥后时间的延长和作物的生长而逐渐降低。耕层土壤速效钾含量在棉花整个生育期是先升高后降低,在花铃期达到最高,且以高量控释肥为最高。控释肥养分释放率取决于土壤水分含量和温度,因此在湿热的花铃期达到最大。总之,在 N 75 kg hm⁻² 纯氮施肥条件下,控释肥处理对棉花生理指标和土壤肥力虽然均未造成较大差异,但是显著提高了棉花产量。

参 考 文 献

- [1] 薛晓萍,陈兵林,郭文琦,等. 棉花临界需氮量动态定量模型. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2363—2370. Xue X P, Chen B L, Guo W Q, et al. Dynamic quantitative model of critical nitrogen demand of cotton (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2363—2370
- [2] 侯秀玲,张炎,李磐,等. 施氮对南疆潮土硝态氮分布的影响. 干旱地区农业研究, 2006, 24(11): 73—84. Hou X L, Zhang Y, Li P, et al. Effect of nitrogen fertilizer on fluvoaquic soil $\text{NO}_3\text{-N}$ distribution in Nanjiang (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(11): 73—84
- [3] 王平,田长彦,陈新平,等. 南疆棉花施氮量及氮素平衡分析. 干旱地区农业研究, 2006, 24(11): 77—83. Wang P, Tian C Y, Chen X P, et al. Investigation of N fertilization practice and N equilibrium analysis in cotton fields in south Xinjiang (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(11): 77—83
- [4] 薛晓萍,郭文琦,周治国. 氮素对棉花氮素利用率和产量的影响. 中国科学通报, 2008, 24(10): 462—466. Xue X P, Guo W Q, Zhou Z G. Effects of nitrogen rate applied on nitrogen use efficiency and lint yield of cotton (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(10): 462—466
- [5] Rochester I J, Peoples M B, Hulgalle N R, et al. Using legumes to enhance nitrogen fertility and soil condition in cotton cropping systems. Field Crops Research, 2001, 70: 27—41
- [6] 陈剑秋,陈宏坤,张民,等. 控释复合肥田间养分释放特征及对土壤硝态氮和铵态氮累积的影响. 水土保持学报, 2011, 25(4): 110—115. Chen J Q, Chen H K, Zhang M, et al. Nutrient release characteristics of controlled release compound fertilizer in field and its effect on nitrate and ammonium accumulation (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(4): 110—115
- [7] 卢艳丽,白由路,王磊,等. 华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 205—215. Lu Y L, Bai Y L, Wang L, et al. Efficiency analysis of slow/controlled release fertilizer on wheat-maize in North China (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(1): 205—215
- [8] 彭春喜,余辉. 缓控释肥在花生上的应用效果研究. 河南农业科学, 2010, 1: 38—39. Peng C X, Yu H. Efficiency of slow/controlled release fertilizer in peanut growth (In Chinese). Henan Journal of Agricultural Sciences, 2010, 1: 38—39
- [9] 闫童,滕世辉,刘士亮. 水稻缓控释肥肥效试验研究. 北方水稻, 2013, 41(3): 20—22. Yan T, Teng S H, Liu S L. Efficiency of slow sustained-released fertilizer in rice (In Chinese). The Northern Rice, 2013, 41(3): 20—22
- [10] 何永秋,刘国顺,高传奇,等. 缓控释肥在烟草上的应用与展望. 中国农学通报, 2012, 28(28): 109—113. He Y Q, Liu G S, Gao C Q, et al. Application and prospect of slow/controlled release fertilizers in flue-cured tobacco (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(28): 109—113
- [11] 高文胜,范玲超,秦旭,等. 缓控释肥在果树生产中的应用与展望. 北方园艺, 2012, 16: 128—130. Gao W S, Fan L C, Qin X, et al. Application and prospect of slow/controlled release fertilizers in fruit production (In Chinese). Northern Horticulture, 2012, 16: 128—130
- [12] 丁文. 缓控释肥料对香蕉产量、品质和养分利用率的影响. 福建农业学报, 2013, 28(1): 47—50. Ding W. Effect of controlled release fertilizer on the yield and quality of banana and nutrient use efficiency (In Chinese). Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2013, 28(1): 47—50
- [13] Worrall R J, Lamont G P, Oconnell M A. The growth response of container grown woody ornamentals to controlled-release fertilizer. Scientia Horticulture, 1987, 32: 275—286
- [14] 孙强生,张民,苏秋红,等. 控释肥在盆栽棉花上的肥效研究. 水土保持学报, 2006, 22(6): 133—136. Sun Q S, Zhang M, Su Q H, et al. Effects of controlled release compound fertilizers on growth of potted cotton (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 22(6): 133—136
- [15] 李学刚,宋宪亮,孙学振,等. 控释氮肥对棉花叶片光合特性及产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 656—662. Li X G, Song X L, Sun X Z, et al. Effects of controlled release N fertilizer on photosynthetic characteristics and yield of cotton (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3): 656—662
- [16] McMichael B L. Water stress adaptation // Hesketh J D, Jones J D eds. Predicting Photosynthesis for Ecosystem Models. CRC Press, USA, 1980, 183—204
- [17] 刘连涛,李存东,孙红春,等. 氮素营养水平对棉花不同部位叶片衰老的生理效应. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 910—914. Liu L T, Li C D, Sun H C, et al. Physiological effects of nitrogen nutrition on the senescence of cotton leaves at different positions (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(5): 910—914
- [18] 孙羲,饶立华,秦遂初,等. 棉花钾素营养与土壤钾素供应水平. 土壤学报, 1990, 27(2): 166—171. Sun X, Rao L H, Qin S C, et al. Potassium nutrition of cotton plant in relation to potassium status in soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1990, 27(2): 166—171
- [19] 姜存仓,陈防,鲁剑巍,等. 钾高效基因型棉花的筛选及其生理机制的研究. 土壤, 2007, 39(6): 932—937. Jiang C C, Chen F, Lu J W, et al. On the screening high potassium efficiency cotton genotypes and its mechanisms (In Chinese). Soils, 2007, 39(6): 932—937
- [20] 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. 棉花学报, 2005, 17(5): 275—279. Li L L, Ma Z B, Tan J F, et al. Effects of controlled release N fertilizer on photosynthesis property and yield of cotton (In Chinese). Cotton Science, 2005, 17(5): 275—279

EFFECTS OF APPLICATION RATES OF CONTROLLED RELEASE FERTILIZERS ON COTTON GROWTH AND SOIL FERTILITY

Li Chengliang¹ Huang Bo² Sun Qiangsheng¹ Dou Xingxia² Yang Yuechao¹ Zhang Min^{1, 2†}

(1 National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources; National Engineering & Technology Research Center for Slow and Controlled Release Fertilizers, College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)
(2 National Center for Quality Supervision and Testing of Fertilizers, Linyi, Shandong 276001, China)

Abstract A field experiment of controlled release fertilizers (CRFs) on cotton was carried out to study effects of application rate of CRFs on cotton (Guokang 12) growth and soil fertility with the application of common compound fertilizers (CCFs) as control for comparison. Results show that CRFs significantly increased plant height, culm diameter, leave area and the numbers of fruit spurs and bolls of the cotton. When N 75 kg hm⁻² and N 150 kg hm⁻² was applied, yield of the cotton in Treatment CRFs was 18.9% and 13.6% higher than that in CK (CCFs), respectively. Besides, CRFs also significantly increased the content of NO₃⁻-N in the soil of the 0~40 cm soil layer, but didn't affect much the content of NH₄⁺ ♂ -N in the soil. No significant difference was observed in content of available P and K between Treatments CRFs and CCFs.

Key words Controlled release fertilizers; Cotton; Common compound fertilizers; Soil fertility

(责任编辑:汪枳生)