

# 滨海盐碱地不同施肥模式对棉花氮磷养分积累和产量的影响

何伟, 韩飞, 关瑞, 王桂伟, 王会, 娄燕宏, 宋付朋, 诸葛玉平

(土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

**摘要:** 为探索盐碱地棉花种植最佳施肥模式, 在山东省东营市中度滨海盐碱地设置了 6 种施肥模式(包括不施肥对照、习惯施肥、优化施肥、一次性施肥、减量化肥以及减量化肥+有机肥), 通过对棉花关键生育时期植株调查取样和测定分析, 探讨了不同施肥模式对棉花养分积累及产量的影响。结果表明: 一次性施肥处理(非控释氮和控释氮 1:2 配合)与同等养分水平的优化施肥处理相比, 棉花的干物质积累量和各器官氮磷含量均有显著提高, 前者花铃期氮磷养分总积累量分别比优化施肥处理高 23.39% 和 13.97%, 比不施肥处理高 50.98% 和 46.94%。减量化肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 减量 20%) + 有机肥处理棉花产量最高, 比不施肥处理高 31.14%, 比习惯施肥处理高 13.37%, 经济效益增长 1 925 元/hm<sup>2</sup>; 一次性施肥处理棉花产量与习惯施肥相近, 经济效益比习惯施肥增长了 279 元/hm<sup>2</sup>。籽棉产量与吐絮期土壤碱解氮、有效磷含量呈显著正相关。在中度滨海盐碱地采用减量化肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 减量 20%) + 有机肥和一次性施肥处理措施节本增产效果较好。

**关键词:** 滨海盐碱地; 一次性施肥; 有机肥; 棉花; 养分积累

**中图分类号:** S143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2018)03-0295-06

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.03.044

## Effects of Different Fertilization Models on Nitrogen, Phosphorus Accumulation and Yield of Cotton in Coastal Saline-alkali Soil

HE Wei, HAN Fei, GUAN Rui, WANG Guiwei, WANG Hui,

LOU Yanhong, SONG Fupeng, ZHUGE Yuping

(National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

**Abstract:** In order to get optimal fertilization model for cotton planting in saline-alkali soil, a field experiment was conducted in a moderate saline-alkali soil in Dongying, Shandong Province. Six fertilization treatments (including control without fertilization, conventional fertilization, optimized fertilization, one-time fertilization, chemical fertilizer reduction, chemical fertilizer reduction + organic fertilizer) were set up. The nutrient accumulation and yield of cotton were studied by sampling and analyzing the plant during the key growth periods. Results showed that compared with optimized fertilization treatment, dry matter yield and the nutrient contents of nitrogen and phosphorus in the organs for the one-time fertilization treatment were significantly increased. The total accumulations of nitrogen and phosphorus in the boll stage of one-time fertilization treatment were 23.39% and 13.97% higher than those of optimized fertilization treatment, respectively. Furthermore, these two increasing rates were 50.98% and 46.94% respectively compared with control. The treatment of chemical fertilizer reduction (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O reduced 20%) + organic fertilizer had the highest cotton yield, which was 31.14% higher than control, 13.37% higher than conventional fertilization treatment, and the economic benefit was 1 925 Yuan/hm<sup>2</sup> higher than conventional fertilization. Cotton yield of one-time fertilization treatment was similar to that of custom fertilization treatment, and economic benefit was 279 Yuan/hm<sup>2</sup> higher than conventional fertilization. Cotton yields were positively correlated with the contents of soil alkaline hydrolysable nitrogen and available phosphorus. In the moderate coastal saline soil,

**收稿日期:** 2018-01-03

**资助项目:** 山东省自主创新及成果转化专项(2014ZZCX07402); 国家科技支撑计划项目(2013BAD05B03); 中国博士后科学基金项目(2016M602169); 山东农业大学泉林黄腐酸肥料工程实验室开放基金项目; 山东农业大学青年科技创新基金项目

**第一作者:** 何伟(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤质量演变与退化治理研究。E-mail: hewei0534@163.com

**通信作者:** 王会(1989—), 女, 博士, 讲师, 主要从事土壤养分循环及其环境效应研究。E-mail: huiwang@sdau.edu.cn

诸葛玉平(1969—), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤生态及环境调控研究。E-mail: zhugeyp@sdau.edu.cn

the chemical fertilizer reduction (N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  reduced 20%) + organic fertilizer and one-time fertilization measures would give the better performance in cost-saving and yield-increasing.

**Keywords:** coastal saline soil; one-time fertilization; organic fertilizer; cotton; nutrient accumulation

黄河三角洲盐碱地是我国重要的后备土地资源,面积  $4.43 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,且每年约有  $(1.33 \sim 2.00) \times 10^3 \text{ hm}^2$  新生的盐碱地形成<sup>[1]</sup>。在土壤退化严重、土地资源紧缺的严峻形势下,对黄河三角洲盐碱地资源进行绿色开发和可持续利用具有重要的现实和长远意义。盐渍土中过多的可溶性盐分,对土壤的物理、化学及生物学性质均有负面影响<sup>[2-4]</sup>,导致土壤不能正常地向作物提供其生长发育所需的水、肥、气、热条件,从而抑制作物出苗和生长。在长期的生产实践中,研究者总结出一系列的盐碱地开发治理技术如挖沟开渠、秸秆还田、种植耐盐作物、深耕深翻、添加化学改良剂等<sup>[5-7]</sup>。其中,发展耐盐植物不仅能提高土地生产力水平,并且有利于盐渍环境下农业生态的良性循环和环境改善,在获得作物产出的同时实现对盐碱土壤进行改造,被普遍认为是盐碱地开发利用最为经济有效的措施。

棉花是我国重要的经济作物之一,具有较强的抗盐碱能力,在黄河三角洲区域经济和社会发展中占有重要地位<sup>[8]</sup>。水肥管理措施是影响棉花产量和品质的重要因素,合理的施肥可以显著提高棉花产量品质,提高经济效益和环境效益。迄今为止,研究者对盐碱地的养分特征及其对棉花生长的影响进行了较多研究,但关注点多集中于对土壤本身的改良和养分利用效率的提高<sup>[9-12]</sup>。司转运等<sup>[13]</sup>通过不同水氮供应方式发现氮肥在一次灌溉过程前期施用能得到最大程度的利用。董合忠等<sup>[14]</sup>对山东东营滨海盐渍棉田的研究发现,土壤盐分的高低影响土壤有机质和氮磷钾等的含量,进而影响棉花的产量。而关于替代性施肥技术如一次性施肥(控释肥与非控释肥配合)、化肥减量配施有机肥对棉花生长状况和产量的影响鲜有报道。

本研究拟开展滨海盐碱地一次性施肥、化肥减量、化肥减量配施有机肥等替代性施肥技术对棉花生长和各部位氮磷养分含量的影响,探明滨海盐碱地上棉花在不同施肥模式下的养分积累规律,以探索特定自然条件下提高棉花种植经济效益的最佳施肥手段,为进一步提高盐碱地养分利用水平、促进盐碱地高效利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验在山东省东营市利津县汀罗镇渤海农场( $37.79^\circ \text{ N}$ ,  $118.63^\circ \text{ E}$ )进行,农场南抵黄河尾间北岸,西接利津县汀罗镇,东接济南军区黄河三角洲生

产基地,北至河口区六合乡。该地属暖温带大陆性季风气候,多年平均气温  $12.8^\circ \text{ C}$ ,无霜期 206 d,  $\geq 10^\circ \text{ C}$  的积温约  $4\ 300^\circ \text{ C}$ 。年降水量 555.9 mm,多集中在夏季,占全年降水量的 65%<sup>[15]</sup>。

土壤为中度盐化潮土(中国土壤系统分类名称:淡色潮湿锥形土),试验开始前土壤有机质含量为 11.06 g/kg,碱解氮、有效磷和速效钾的含量分别为 42.33, 12.14, 209.40 mg/kg,土壤 pH(土水质量比为 1:2.5)为 7.70,土壤电导率为 556.6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ (土水比 1:5),全盐含量为 3.66%。

### 1.2 试验设计

棉花于 2016 年 5 月 7 日播种。试验共设 6 个施肥处理,包括 1 个不施肥对照、1 个习惯施肥、1 个优化施肥和 3 个替代性施肥技术(表 1),3 次重复,共计 18 个试验小区。试验为随机区组设计,每个试验小区面积为  $20 \text{ m}^2$  ( $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ )。每小区种植 6 行棉花,宽窄行种植,窄行 0.5 m,宽行 0.9 m。各小区之间分别留 0.3 m 的垄背,垄背之间留 0.9 m 的排水沟,排放雨水。距离道路保持 3 m,种植棉花作为保护行。

本次试验所使用的化肥为尿素(N 46%)、磷酸二铵(N 15%,  $P_2O_5$  42%)、硫酸钾( $K_2O$  50%)。控施尿素为山东农业大学新型肥料研制中心生产的树脂包膜尿素(N 43%);有机肥为当地商品有机肥,以牛粪、糠醛渣为主要原料,有机质含量 45%,氮磷钾总养分 5%(N 1.3%,  $P_2O_5$  1.9%,  $K_2O$  1.8%)。一次性施肥处理(CNPK)全部肥料均做基肥施用,其他施肥处理(CF、NPK、RNPK、RNPKM)化肥基肥和追肥施用比例分别为 40%和 60%,化肥减量+有机肥处理(RNPKM)的有机肥做基肥一次性施用。棉花播种前撒施基肥并翻耕,花铃期进行追肥。其他栽培、管理措施与大田相同。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 样品采集 分别于苗期(6月20日)、蕾期(7月10日)、花铃期(8月15日)、吐絮期(9月17日)采集土壤样品和植物样品。每小区按对角线取样法用土钻(内径 5 cm)在棉花窄行中间采集 3 个 0—20 cm 耕层土样,并将 3 个土样合并为一个混合样,样品带回实验室风干,测定土壤有效磷、土壤碱解氮等。在每个小区取 3 株棉花,根茎叶萼桃等各部位分离,测定生物量,植物样品在  $105^\circ \text{ C}$  下杀青 30 min 后,在  $60^\circ \text{ C}$  烘干称重,粉碎测定养分含量。收获期每小区棉花分别采摘并测产。

表1 各处理施肥方式及施肥量

单位: kg/hm<sup>2</sup>

处理	施肥方式	化肥施用量			有机肥施用量			控施氮施用量
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
CK	对照,不施肥	0	0	0	0	0	0	0
CF	习惯施肥,基追比2:3	228	90	90	0	0	0	0
NPK	优化施肥,基追比2:3	180	105	90	0	0	0	0
CNPK	一次性施肥(非控释氮和控释氮1:2配合)	180	105	90	0	0	0	120
RNPK	化肥减量20%,基追比2:3	144	84	72	0	0	0	0
RNPKM	化肥减量20%,基追比2:3,施有机肥	144	84	72	39	57	54	0

1.3.2 测定方法 将不同时期的样品烘干粉碎后,按照器官分别测定其全氮、全磷含量。并通过加权统计方法得到整株棉花养分积累量。植物氮磷含量的测定均采用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮做预处理,全自动化学分析仪(Smartchem200)测定,测氮采用水杨酸盐一次氯酸盐比色法,测磷采用钒钼黄比色法<sup>[16]</sup>。土壤碱解氮测定采用碱解扩散法;土壤有效磷为 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提,钼蓝比色法测定<sup>[17]</sup>。

#### 1.4 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 18.0 数据处理软件进行方差分析和相关性分析,多重比较采用 Duncan 新复极差法,相关分析采用 Pearson 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥模式对棉花干物质积累量的影响

就不同生育期而言,棉花生长最快的时期是蕾期到花铃期,表现为这一时期棉花植株干物质积累量的增幅最多,不同处理增幅在 66.32~92.47 g/株(表2);花铃期到吐絮期棉花植株的干物质质量增幅相对较小,不同处理增幅在-3.09~44.69 g/株,尤其是对照处理(CK)干物质质量甚至有所降低,这与这一阶段棉花由前期营养生长转入生殖生长有关。但是不同处理干物质质量在各生育期均表现为差异不显著( $P > 0.05$ ),此与盐碱地空间异质性较大有关。

表2 不同处理在不同时期整株棉花的干物质总量

单位: g/株

处理	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
CK	1.71±0.33a	16.07±2.18a	92.95±5.43a	89.86±10.34a
CF	3.19±1.20a	19.92±4.06a	90.70±18.36a	135.39±19.31a
NPK	2.46±1.30a	13.01±6.73a	79.33±25.59a	114.17±47.34a
CNPK	2.47±0.98a	16.65±6.13a	109.12±10.26a	113.77±27.37a
RNPK	2.48±0.53a	13.00±3.25a	80.60±11.75a	120.05±21.06a
RNPKM	2.49±0.14a	13.56±1.47a	96.80±10.39a	132.64±15.32a

注:表中数据为平均值±标准误差;同列中不同字母代表差异达显著性水平( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.2 不同施肥模式对棉花氮素积累特征的影响

就棉花不同生长时期而言,苗期氮素积累量差异不明显( $P > 0.05$ ),蕾期 CK 和 RNPK 处理低于 CF 处理,差异显著( $P < 0.05$ ),花铃期氮素积累量最大,CK 处理明显低于其他各处理(表3)。对比不同施肥处理,一次性施肥(非控释氮和控释氮1:2配合)处理(CNPK)吸收积累的氮最多,为 134.57 kg/hm<sup>2</sup>,其次为化肥减量+有机肥的 RNPKM 处理,为 117.69 kg/hm<sup>2</sup>,CK 最少为 89.13 kg/hm<sup>2</sup>,其

他处理氮积累量在 101.6~109.06 kg/hm<sup>2</sup>(表3)。CNPK 和 RNPKM 处理氮积累量分别比 CK 高 50.98% 和 32.04%,分别比 CF 处理高 33.16% 和 16.46%。在化肥氮施用量相同的条件下,一次性施肥处理(非控释氮和控释氮1:2配合)(CNPK)比 NPK 处理的氮积累量高 23.39%;而施有机肥的 RNPKM 处理比 RNPK 处理的氮积累量高 9.96%。与花铃期相比,吐絮期氮积累量略有降低,这与此时期棉花各器官含氮量均有所降低有关。

表3 不同施肥模式下棉花各时期氮积累量

单位: kg/hm<sup>2</sup>

处理	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
CK	1.68±0.39a	12.86±1.70b	89.13±3.24b	60.90±4.73c
CF	2.12±0.19a	25.54±3.98a	101.06±12.76ab	97.49±3.60a
NPK	1.97±0.21a	18.80±4.18ab	109.06±9.02ab	101.60±3.89a
CNPK	2.32±0.10a	17.72±2.17ab	134.57±15.91a	112.04±8.47a
RNPK	2.05±0.15a	16.87±1.71ab	107.03±15.30ab	74.03±3.38bc
RNPKM	2.34±0.36a	11.30±1.24b	117.69±5.18ab	90.24±11.50ab

### 2.3 不同施肥模式对棉花磷素积累特征的影响

苗期磷素积累量差异不明显( $P > 0.05$ ),蕾期 NPK

处理的磷素积累量高于其他各处理,差异显著( $P < 0.05$ ),在花铃期 CNPK 处理吸收的磷显著高于其他处

理( $P<0.05$ ),达到  $35.26 \text{ kg/hm}^2$ ,其次为优化施肥处理 NPK,为  $30.94 \text{ kg/hm}^2$ ,CK 磷积累最少为  $24.00 \text{ kg/hm}^2$ (表 4)。CF、NPK、CNPK、RNPk 和 RNPkM 处理的磷积累量分别比 CK 高  $24.09\%$ 、 $28.93\%$ 、 $46.94\%$ 、 $17.62\%$ 、 $15.75\%$ 。NPK 和 CNPK 处理的磷的积累量比习惯施肥处理(CF)分别高  $3.89\%$ 和  $18.41\%$ ,化肥减量处理 RNPk 和 RNPkM 的磷积累量比 CF 处理分别低

$5.22\%$ 和  $6.73\%$ ,表明磷肥施用量越多,棉花磷的积累量越多,但差别不显著,可见化肥减量同样能满足棉花对磷的需求。在化学磷肥施用量相同的条件下,CNPK 处理的磷积累量比 NPK 高  $13.97\%$ ,RNPk 和 RNPkM 处理的磷积累量相差不大,说明磷肥作基肥一次性施用即可满足棉花整个生长期对磷的需求,而施用有机肥对棉花磷素积累未表现出明显促进作用。

表 4 不同施肥模式下棉花各时期磷积累量

单位:  $\text{kg/hm}^2$ 

处理	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
CK	$0.55 \pm 0.12a$	$3.63 \pm 0.34b$	$24.00 \pm 2.68b$	$23.68 \pm 2.16b$
CF	$0.67 \pm 0.09a$	$5.69 \pm 0.82b$	$29.78 \pm 1.27b$	$28.69 \pm 1.30ab$
NPK	$0.60 \pm 0.09a$	$8.63 \pm 1.58a$	$30.94 \pm 3.05b$	$31.02 \pm 2.90ab$
CNPK	$0.67 \pm 0.06a$	$6.39 \pm 0.88ab$	$35.26 \pm 3.58a$	$34.16 \pm 2.66a$
RNPk	$0.50 \pm 0.10a$	$5.00 \pm 0.50b$	$28.23 \pm 2.19b$	$24.14 \pm 1.72b$
RNPkM	$0.56 \pm 0.14a$	$4.17 \pm 0.63b$	$27.78 \pm 1.33b$	$30.54 \pm 3.47ab$

## 2.4 不同施肥模式对棉花产量及其经济效益的影响

不同施肥处理相比于不施肥对棉花均有显著提高产量的效果,其中以 RNPkM 处理产量最高,每个小区达到  $6.19 \text{ kg}$ ,相比于 CF 处理提高了  $13.37\%$ 。不同施肥模式中,RNPk 产量最低,每个小区为  $5.34 \text{ kg}$ ,相比于 CK 增产了  $14.59\%$ (图 1),NPK 和 CNPK 分别比 CF 增产了  $3.11\%$ 和  $2.20\%$ 。

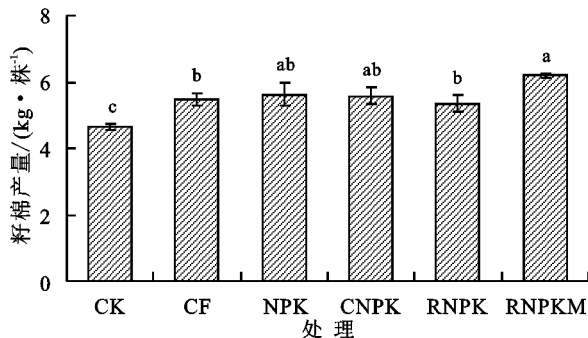


图 1 不同施肥模式下的棉花产量

根据 2016—2017 年棉花收购价格平均值,在其他生产成本相同情况下,仅考虑各种肥料成本,计算各个施肥模式产值与利润。由表 5 可知,从各种肥料增加产值和利润角度考虑,减量化肥+有机肥处理的利润最大,为  $18298 \text{ 元/hm}^2$ ,比 CK 利润增加  $2920 \text{ 元/hm}^2$ ,比 CF 利润增加  $1925 \text{ 元/hm}^2$ ,其次为优化施肥处理,利润为  $17042 \text{ 元/hm}^2$ ,比 CK 利润增加  $1664 \text{ 元/hm}^2$ ,比 CF 利润增加  $669 \text{ 元/hm}^2$ 。

表 5 各种施肥方式下种植棉花的经济效益

处理	籽棉产量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	籽棉价格/ ( $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	产值/ ( $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	肥料成本/ ( $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	利润/ ( $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
CK	2330	6.6	15378	0	15378
CF	2730	6.6	18018	1645	16373
NPK	2815	6.6	18579	1537	17042
CNPK	2790	6.6	18414	1762	16652
RNPk	2670	6.6	17622	1229	16393
RNPkM	3095	6.6	20427	2129	18298

## 2.5 不同施肥模式对土壤有效养分的影响

吐絮期 CK 处理土壤碱解氮含量低于其他各处理,仅与 RNPkM 处理达到差异显著性( $P<0.05$ ),除 RNPkM 处理,其他各处理间无明显差异( $P>0.05$ ),RNPkM 处理土壤碱解氮含量比 CK 处理高  $41.39\%$ ,比 CF 处理高  $10.51\%$ (图 2)。吐絮期 CK 处理有效磷含量最低,与除 CF 处理以外的其他处理差异均达到显著性水平( $P<0.05$ ),RNPkM 处理土壤有效磷含量比 CK 处理高  $64.32\%$ ,比 CF 处理高  $39.21\%$ (图 3)。

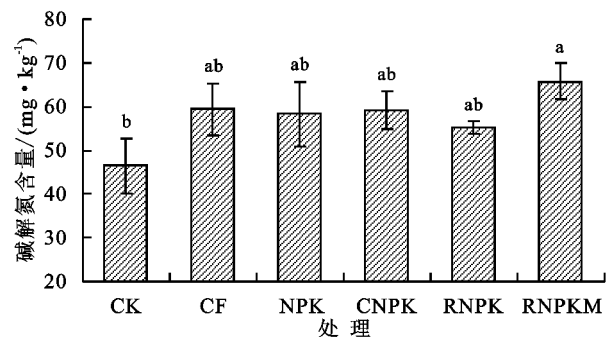


图 2 棉花施肥后吐絮期土壤碱解氮含量

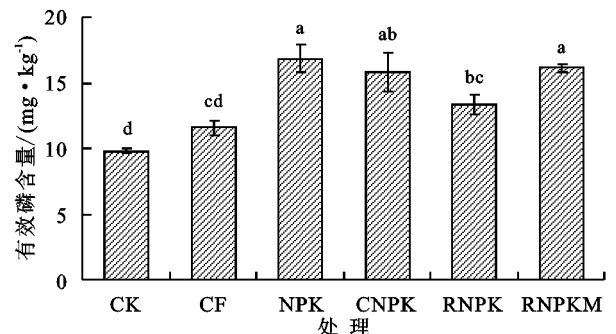


图 3 棉花施肥后吐絮期土壤有效磷含量

## 3 讨论

作物的生物学潜力是由其农艺性状所决定的,并能对作物的产量性状产生一定的影响<sup>[18]</sup>。有研究<sup>[19-20]</sup>指出作物的干物质量、作物养分积累量、土壤

养分含量等都与作物的产量存在一定的关系,但这种关系可能因作物种类、土壤性质、气候特点等而异。本研究对吐絮期干物质量、氮积累量、磷积累量、土壤碱解氮含量、有效磷含量及棉花产量数据进行了相关分析(表6),结果发现籽棉产量与植株干物质量的相关系数为0.783,相关性未达到显著性水平( $P=0.066$ ),李成亮等<sup>[21]</sup>研究了不同控释肥用量对棉花生长特性和土壤肥力的影响也有类似结果;籽棉产量与氮积累量和磷积累量的相关系数分别为0.643( $P=0.168$ )和0.682( $P=0.135$ ),也未表现出明显的相关关系,这与罗佳等<sup>[22]</sup>和陈宝燕等<sup>[23]</sup>对不同有机肥或化肥施用条件下棉花田间试验的研究结果相似。棉花干物质量、养分积累量与产量之间不存在显著的相关关系,这与对小麦等其他作物的研究结果不一致<sup>[24]</sup>,可能与相对其他作物,棉花收获指数较低有关;同时也说明棉花的养分需求与养分供应不对称,棉花的营养生长过于旺盛,转入生殖生长时供肥量不足,高的养分积累量未能转化成高的产量<sup>[25]</sup>。籽棉产量与土壤碱解氮含量的相关系数为0.981,表现出极显著的正相关关系( $P=0.001$ ),籽棉产量与土壤有效磷含量的相关系数为0.815,也表现出显著的正相关关系( $P=0.048$ ),徐文修等<sup>[26]</sup>通过对作物茬口对连作棉田土壤环境及棉花产量的影响也得出类似结果。由此可知,吐絮期土壤有效养分的高低直接关系到棉花的产量。

表6 积累量及土壤化学性质与产量间的相关关系

指标	干物质量	氮积累量	磷积累量	碱解氮	有效磷	籽棉产量
干物质量	1					
氮积累量	0.505	1				
磷积累量	0.376	0.946**	1			
碱解氮	0.862*	0.705	0.707	1		
有效磷	0.378	0.702	0.762	0.736	1	
籽棉产量	0.783	0.643	0.682	0.981**	0.815*	1

注:干物质量、氮磷积累量、土壤有效养分含量的数据均采用吐絮期数据;\*\*表示在0.01水平(双侧)上显著相关,\*表示在0.05水平(双侧)上显著相关。

有机肥既能改善土壤物理性质又能提高土壤的肥力供肥能力,是维持土壤生物肥力、保证耕地可持续利用的有效替代性肥料<sup>[27-28]</sup>。前期研究<sup>[22]</sup>表明,增施有机肥既能增加棉花养分积累量又能提高棉花产量。本试验的结果也显示施有机肥处理(RNPKM)与相同化肥施用量的未施有机肥处理(RNPK)相比既可增加棉花氮、磷积累量,也使得棉花产量提高了15.92%,这可能与施有机肥后棉花成苗率、棉铃数增加有关<sup>[29-30]</sup>,同时施用有机肥后土壤养分有效性有明显提高,对滨海盐碱地有较大的改土作用。将有机肥作为

化肥的替代性肥料,陶磊等<sup>[31]</sup>在北疆棉区的研究发现,有机肥替代20%~40%常规化肥用量能满足棉花正常生长,并且能达到与单施化肥处理相同产量。本研究结果也显示,减量化肥+有机肥处理比习惯施肥增产13.37%、比优化施肥处理增产9.95%,证实即使在减施化肥条件下增加有机肥的施用也可提高滨海盐碱地棉花的产量。

与常规肥料相比,控释肥料的养分供应更加稳定而持续,被认为是提高农业生产经济效益和环境效益的有效手段<sup>[32]</sup>。控释肥与非控释肥结合一次性施用,可以解决控释肥在作物生育前期养分释放稍慢的问题,满足作物整个生长发育期的养分需求,提高土壤养分有效性,具有更为显著的增产效果<sup>[33]</sup>,既能促进作物增产又能节约劳动力,增加农民收入<sup>[34]</sup>。段然等<sup>[35]</sup>在湖垵旱地的研究发现,控释肥与非控释肥结合的一次性施肥对作物产量影响显著,施用少量控释肥的作物产量能达到与施用高量普通化肥的作物产量相同的效果。本研究结果表明,一次性施肥处理(非控释氮和控释氮1:2配合)的棉花产量比习惯施肥处理的棉花产量增加2.20%。说明控释肥与非控释肥结合的一次性施肥在氮肥减量的情况下同样能提高棉花生产效率,实现农业生产的节本增效,可作为盐碱地绿色开发及规模化种植的一种有效的替代性施肥技术。

## 4 结论

与其他处理相比,一次性施肥处理(非控释氮和控释氮1:2配合)的氮和磷的积累均为最高,花铃期氮、磷积累量分别达到134.57,35.26 kg/hm<sup>2</sup>。减量化肥+有机肥处理籽棉产量最高,比习惯施肥高13.37%,经济效益比习惯施肥增长了1925元/hm<sup>2</sup>,有效提升了中度盐碱地棉花生产水平。一次性施肥处理(非控释氮和控释氮1:2配合)籽棉产量与习惯施肥效果接近,经济效益比习惯施肥增长了279元/hm<sup>2</sup>。籽棉产量与植物氮、磷积累量无明显相关关系,但与吐絮期土壤碱解氮、有效磷含量呈显著正相关,意味着土壤养分有效性是影响棉花产量的关键因素。鉴于本研究试验年限较短,研究结果还需多年田间试验进一步验证。

### 参考文献:

- [1] 刘国平. 黄河三角洲滨海盐渍土改良措施[J]. 山东农业大学学报(社会科学版), 2009, 11(3): 68-69.
- [2] Karamesouti M, Detsis V, Kounalaki A, et al. Land-use and land degradation processes affecting soil resources: Evidence from a traditional Mediterranean cropland (Greece) [J]. Catena, 2015, 132: 45-55.
- [3] Xie X F, Pu L J, Wang Q Q, et al. Response of soil

- physicochemical properties and enzyme activities to long-term reclamation of coastal saline soil, Eastern China [J]. *Science of The Total Environment*, 2017, 607/608: 1419-1427.
- [4] Nouri H, Borujeni S C, Nirola R, et al. Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2017, 107: 94-107.
- [5] Han L P, Liu H T, Yu S H, et al. Potential application of oat for phytoremediation of salt ions in coastal saline-alkali soil[J]. *Ecological Engineering*, 2013, 61: 274-281.
- [6] 张克强,白成云,马宏斌,等.大同盆地金沙滩盐碱地综合治理技术开发研究[J].*农业工程学报*,2005,21(增刊2):136-141.
- [7] 田长彦,买文选,赵振勇.新疆干旱区盐碱地生态治理关键技术研究[J].*生态学报*,2016,36(22):7064-7068.
- [8] 关元秀,刘高焕,刘庆生,等.黄河三角洲盐碱地遥感调查研究[J].*遥感学报*,2001,5(1):46-52.
- [9] 秦都林,王双磊,孙学振,等.滨海盐碱地棉花秸秆还田对土壤理化性质及棉花产量的影响[J].*作物学报*,2017,43(7):1030-1042.
- [10] Tian X F, Li L, Zhang M, et al. Controlled release urea improved crop yields and mitigated nitrate leaching under cotton-garlic intercropping system in a 4-year field trial [J]. *Soil and Tillage Research*, 2018, 175: 158-167.
- [11] 张季阳,段爱旺,孟兆江,等.不同水分状况下棉花茎直径变化规律研究[J].*农业工程学报*,2005,21(5):7-11.
- [12] 毛树春,薛中立,杨汝献,等.麦棉两熟平衡施肥效应研究[J].*棉花学报*,1994,6(增刊1):46-51.
- [13] 司转运,高阳,申孝军,等.水氮供应对夏棉产量、水氮利用及土壤硝态氮累积的影响[J].*应用生态学报*,2017,28(12):3945-3954.
- [14] 董合忠,辛承松,唐薇,等.山东东营滨海盐渍棉田盐分与养分的季节性变化及对棉花产量的影响[J].*棉花学报*,2006,18(6):362-366.
- [15] 尹建道.山东滨海地区盐碱地土壤分析研究[J].*内蒙古林业科技*,1998(6):13-16.
- [16] 潘延安,雷沛,张洪,等.重庆园博园龙景湖新建初期内源氮磷分布特征及扩散通量估算[J].*环境科学*,2014,35(5):1727-1734.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 张丽英,张正斌,徐萍,等.黄淮小麦农艺性状进化及对产量性状调控机理的分析[J].*中国农业科学*,2014,47(5):1013-1028.
- [19] 聂新辉,尤春源,鲍健,等.基于关联分析的新陆早棉花品种农艺和纤维品质性状优异等位基因挖掘[J].*中国农业科学*,2015,48(15):2891-2910.
- [20] Pandey V, Patra D D. Crop productivity, aroma profile and antioxidant activity in *Pelargonium graveolens* L'Hér. under integrated supply of various organic and chemical fertilizers [J]. *Industrial Crops and Products*, 2015, 67: 257-263.
- [21] 李成亮,黄波,张民,等.控释肥用量对棉花生长特性和土壤肥力的影响[J].*土壤学报*,2014,51(2):295-305.
- [22] 罗佳,陈波浪,向光荣,等.有机肥对盐渍化耕地棉花干物质积累、养分吸收及产量的影响[J].*中国土壤与肥料*,2017(2):107-113.
- [23] 陈宝燕,马兴旺,杨涛,等.棉花生育时期 SPAD 值准确性与样本数的关系[J].*中国农业科学*,2011,44(22):4748-4755.
- [24] 杜承林,祝斌,陶帅平,等.施钾对扬麦 158 等小麦品种的养分吸收与生物产量的影响[J].*土壤学报*,2001,38(3):301-307.
- [25] 薛晓萍,郭文琦,王以琳,等.不同施肥水平下棉花生物量动态增长特征研究[J].*棉花学报*,2006,18(6):323-326.
- [26] 徐文修,罗明,李银平,等.作物茬口对连作棉田土壤环境及棉花产量的影响[J].*农业工程学报*,2011,27(3):271-275.
- [27] 田小明,李俊华,危常州,等.连续 3 年施用生物有机肥对土壤有机质组分、棉花养分吸收及产量的影响[J].*植物营养与肥料学报*,2012,18(5):1111-1118.
- [28] Geng J B, Sun Y B, Zhang M, et al. Long-term effects of controlled release urea application on crop yields and soil fertility under rice-oilseed rape rotation system [J]. *Field Crops Research*, 2015, 184: 65-73.
- [29] 陶瑞,李锐,谭亮,等.减少化肥配施有机肥对滴灌棉花 N、P 吸收和产量的影响[J].*棉花学报*,2014,26(4):342-349.
- [30] 谭新霞.滴灌棉田增施有机肥对棉花产量的影响研究[J].*江西棉花*,2010,32(4):42-44.
- [31] 陶磊,褚贵新,刘涛,等.有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J].*生态学报*,2014,34(21):6137-6146.
- [32] Trinh T H, Kushaari K Z. Dynamic of Water absorption in controlled release fertilizer and its relationship with the release of nutrient [J]. *Procedia Engineering*, 2016, 148: 319-326.
- [33] Nardi P, Neri U, Matteo G D, et al. Nitrogen release from slow-release fertilizers in soils with different microbial activity [J]. *Pedosphere*, 2017, doi: 10.1016/S1002-0160(17)60429-6.
- [34] 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.
- [35] 段然,汤月丰,文炯,等.减量施肥对湖垵旱地作物产量及氮磷径流损失的影响[J].*中国生态农业学报*,2013,21(5):536-543.