

# 有机无机肥配施对新垦盐碱荒地土壤理化性状和作物产量的影响

霍琳<sup>1</sup>, 王成宝<sup>1</sup>, 逢焕成<sup>2</sup>, 杨思存<sup>1</sup>, 李玉义<sup>2</sup>, 姜万礼<sup>1</sup>

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 农业部甘肃耕地保育与农业环境科学观测实验站, 甘肃 兰州 730070;

2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

**摘要:** 通过田间小区试验研究了有机无机肥配合施用对甘肃引黄高扬程灌区新垦盐碱荒地土壤理化性状和玉米产量的影响。结果表明: 有机无机肥配合施用能显著改善土壤物理性状, 0~10、10~20 cm 和 20~40 cm 土层平均容重分别降低了 9.31%、6.16% 和 4.29%, 总孔隙度分别提高了 10.00%、7.56% 和 4.95%; 有机无机肥配施降低了 0~20 cm 土层紧实度, 且随着有机肥用量的增加, 降低的幅度越大; 施肥能改善新垦盐碱荒地土壤养分状况, 与 NOMO(CK) 处理相比, 耕层土壤有机质含量增加了 5.2%~24.0%, 全氮、磷、钾分别增加了 20.83%~58.33%、10.85%~81.40% 和 2.80%~15.42%, 碱解氮、速效磷、速效钾分别增加了 4.18%~113.42%、51.43%~312.38% 和 5.84%~32.22%。施肥能显著提高玉米籽粒产量, 增幅在 13.4%~168.8%; 氮肥在作物产量增加中起到了主导作用, 增幅达 53.5%~130.7%, 而有机肥的增幅只有 8.8%~22.1%。同时, 有机无机肥配施也能显著改善玉米植株性状, 施氮肥 300 kg·hm<sup>-2</sup>、有机肥 24 t·hm<sup>-2</sup> 处理的株高、穗长、行粒数最高, 施氮肥 600 kg·hm<sup>-2</sup>、有机肥 24 t·hm<sup>-2</sup> 处理的穗粗、穗行数和百粒重最高。

**关键词:** 有机无机肥配施; 新垦盐碱荒地; 土壤理化性状; 玉米产量; 引黄灌区

**中图分类号:** S156.4 **文献标志码:** A

## Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on physical and chemical properties and crop yields in alkali-saline soil

HUO Lin<sup>1</sup>, WANG Cheng-bao<sup>1</sup>, PANG Huan-cheng<sup>2</sup>, YANG Si-cun<sup>1</sup>, LI Yu-yi<sup>2</sup>, JIANG Wan-li<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences/Gansu Scientific Observing and Experiment Station of Ageo-Environment and Arable Land Conservation, Ministry of Agriculture, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Field experiment was conducted to investigate the effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on soil physical and chemical properties and crop yields in newly reclaimed alkali-saline land at Yellow River irrigation district of Northwest China's Gansu province. The results showed that combined application of organic and inorganic fertilizers significantly improved soil physical properties. Soil average bulk density in 0~10 cm, 10~20 cm, and 20~40 cm layers was respectively reduced by 9.31%, 6.16%, and 4.29%, whereas the total porosity of that increased by 10.00%, 7.56%, and 10.00%, respectively. Combined application of organic and inorganic fertilizers reduced the soil compaction in 0~20 cm layer, and the reduction range increased with the increase of organic manure. Application of fertilizers improved nutrient status of soil in newly reclaimed alkali-saline land. Compared with NOMO treatment, organic matter was increased by 5.2%~24.0%, total nitrogen, phosphorus and potassium by 20.83%~58.33%, 10.85%~81.40%, and 2.80%~15.42%, and available nitrogen, available phosphorus and available potassium by 4.18%~113.42%, 51.43%~312.38%, and 5.84%~32.22%, respectively. Application of fertilizers significantly improved crop yields by 13.4%~168.8%. Nitrogen fertilizer played a leading role in increasing crop yield by a range of 53.5%~130.7%, and the organic manure by 8.8%~22.1%. Meanwhile, combined application of organic and inorganic fertilizers significantly improved the performance of maize plant, with plant height, ear

收稿日期: 2014-05-20

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903001)和甘肃省农业科学院科技创新专项(2011GAAS06-17)

作者简介: 霍琳(1972—), 女, 甘肃甘谷人, 助理研究员, 主要从事植物营养与肥料研究。E-mail: gshuolin@163.com。

通信作者: 杨思存(1971—), 男, 副研究员, 主要从事土壤养分管理与盐碱地改良利用研究。E-mail: yangsicun@sina.com。

length, grains per row of maize in N 300 kg·hm<sup>-2</sup> and organic manure 24 t·hm<sup>-2</sup> being the highest, and similarly the ear diameter, rows per ear, hundred grain weight in N 600 kg·hm<sup>-2</sup> and organic manure 24 t·hm<sup>-2</sup>.

**Keywords:** combination of organic and inorganic fertilizers; newly reclaimed alkali-saline land; soil physicochemical properties; maize grain yield; the Yellow River irrigation district

土壤盐渍化是影响农业生产及生态环境的一个全球性问题。据统计,全世界盐渍土面积约  $9.5 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>,占陆地面积的 7.26%<sup>[1]</sup>。我国盐渍土总面积约为  $3\ 600 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占全国可利用土地面积的 4.88%,从热带到寒温带、滨海到内陆、湿润地区到极端干旱的荒漠地区均有大量分布,是我国最主要的中低产土壤类型之一<sup>[2]</sup>。西北、华北、东北地区及沿海是我国盐渍土的主要集中分布地区,其中西部六省区(陕、甘、宁、青、蒙、新)盐渍土面积占全国的 69.03%。在耕地土壤中,全国盐渍化面积达到  $920.9 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占耕地总面积的 6.62%<sup>[3-4]</sup>,农区耕地土壤受轻度、中度、重度盐胁迫的农作物减产幅度分别达到 20%、40% 和 70%,已成为农业可持续发展的重要障碍<sup>[5]</sup>。

高扬程灌溉是甘肃沿黄灌区灌溉农业的主体,约占全区灌溉面积的 90%,也是甘肃移民开发的主要区域<sup>[6]</sup>。高扬程灌区的新垦荒地是在新构造运动和不断侵蚀过程中形成的山前倾斜平原、古老河成阶地、起伏土丘和土质低山,由于气候干旱、降水稀少,土壤中过去积累下来的盐分仍大量残留于土壤中<sup>[7-8]</sup>。土地经过平整,形成多级梯度的台塬,引水灌溉后形成了新的农田;但这些农田土壤贫瘠、养分含量低、盐分含量高、保水保肥能力差,亟需通过土壤培肥和脱盐等人为改造,实现高产稳产。大量研究表明,无机肥可以增加土壤速效养分含量,提高土壤供肥强度;有机肥可以改良土壤结构和改善养分库容,提高土壤供肥容量,二者相结合是改土培肥、保证作物稳定增产的重要措施<sup>[9-10]</sup>。但在盐碱条件下,如果施肥不当,不但不会增产,还会增加土壤盐害,造成作物减产甚至绝收。新垦盐碱荒地面临着土壤培肥和快速脱盐的双重任务,合理施肥显得尤为重要。土壤理化性状是土壤最基本的属性,也是土壤肥力的反映。本研究以相邻荒地作为对照,探讨了有机肥和无机肥配合施用对甘肃引黄高扬程灌区新垦盐碱荒地土壤理化性状和作物产量的影响,旨在为新垦盐碱荒地的改良利用提供合理施肥建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验设在甘肃省靖远县北滩乡景滩村(37°05'

N, 104°40' E),位于兴电灌区的中游,海拔 1 645 m,是黄河水经提升 480 m 形成的新灌区,区内耕地大多为新开垦的盐碱荒地,成土母质为洪积黄土,土层厚度 3~27 m,土壤类型为灰钙土,地下水埋深在 40 m 以下,矿化度  $> 13$  g·L<sup>-1</sup>。该区处在旱地农业向荒地牧地过渡线的北部,属黄土丘陵沟壑干旱区,由于受青藏高原和腾格里沙漠的影响,形成了大陆性干旱荒漠气候,年平均降水量 259 mm,蒸发量 2 369 mm;年平均气温 6.6℃,大于 0℃和 10℃的积温分别为 3 208℃和 2 622℃,无霜期 160~170 d;年日照时数 2 919 h,辐射量 616.2 kJ·cm<sup>-2</sup>。

试验地为 2009 年新开垦的盐碱荒地,冬灌时进行了大水洗盐,2010 年开始试验,播前耕层土壤(0~20 cm)含有机质 8.01 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 0.59 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 1.09 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 1.09 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮 45.4 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 6.5 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 193 mg·kg<sup>-1</sup>,土壤容重 1.43 g·cm<sup>-3</sup>,0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层电导率分别为 1 320、1 487、1 648、1 966、2 785、3 350 μS·cm<sup>-1</sup>,土壤 pH 值在 8.25~8.74 之间。

### 1.2 试验设计与管理

试验采用 2 因素 3 水平组合设计,共 9 个处理。氮肥(N)设 0、300、600 kg·hm<sup>-2</sup>三个水平,有机肥(M)设 0、12、24 t·hm<sup>-2</sup>三个水平,具体处理为:(1) N0M0(CK);(2) N300;(3) N600;(4) M12;(5) M24;(6) N300M12;(7) N300M24;(8) N600M12;(9) N600M24。试验小区面积 4.4 m × 11.5 m = 50.6 m<sup>2</sup>,重复 3 次,随机区组排列。试验种植作物沈单 16 号为当地主栽玉米品种。2010 年 4 月 15 日播种,种植方式为 70 cm + 40 cm 的宽窄行,宽行覆膜,在膜上种植 2 行,行距 40 cm,株距 25 cm,保苗 6.75 万株·hm<sup>-2</sup>;2010 年 10 月 12 日收获,籽粒和秸秆分别称重。试验所用有机肥为纯猪粪,含有机质 274.8 g·kg<sup>-1</sup>、全氮 14.28 g·kg<sup>-1</sup>、全磷 75.25 g·kg<sup>-1</sup>、全钾 10.24 g·kg<sup>-1</sup>;所用氮肥为尿素。40%的氮肥和全部有机肥作为基肥,于播种前结合整地均匀施入耕层,剩余 60%氮肥于玉米拔节期结合灌水追施。试验地灌溉采用当地生产栽培条件下已经成熟的灌溉制度,全年灌水 5 次,灌溉定额 6 750 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,灌水分配比例为出苗~拔节 13%、拔节~抽雄 22%、抽雄~乳

熟 25%、乳熟~成熟 20%、冬灌 20%。试验地其它管理措施与当地大田相同。

### 1.3 样品采集与测定分析

1.3.1 样品采集 2010年3月5日试验开始前和10月18日玉米收获后,分别用“S”形取样法采集耕层(0~20 cm)基础土样和试验小区样品,分别混匀后带回实验室自然风干,磨碎,过0.25 mm筛后装入自封袋中备用;土壤容重用环刀法,分0~10、10~20、20~40 cm三个层次;土壤紧实度用美国SC-900锥形紧实度仪测定,每隔2.5 cm一个读数,总深度45 cm<sup>[11]</sup>。

1.3.2 测定分析 土壤有机质用重铬酸钾外加热容量法;全氮用半微量凯氏定氮法;全磷用HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>消煮、钼锑抗比色法;全钾用碱熔—火焰光度法;碱解氮用碱解扩散法;速效磷用Olsen法;速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度法;pH值用酸度计;电导率用5:1水土比浸提、DDS-308A型电导率仪测定<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2010软件处理数据及制图,用SAS8.0统计软件进行相关的统计分析。土壤总孔隙度用以下方法计算<sup>[11]</sup>: $S_t = 1 - D_b/D_p$ ,式中 $S_t$ 是土壤总孔隙度(%), $D_b$ 是土壤容重( $g \cdot cm^{-3}$ ), $D_p$ 是土粒密度( $g \cdot cm^{-3}$ ,土壤的土粒密度按2.65  $g \cdot cm^{-3}$ 计算)。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机无机肥配施对土壤物理性状的影响

2.1.1 对土壤容重和孔隙度的影响 从表1可以看出,三个土层都是NOM0处理(CK)的容重最高、孔

隙度最小。从不同土层来看,0~10 cm土层N600处理的容重分别比CK增加了0.73%、孔隙度降低了0.64%,但未达到差异显著水平;N300、M12、M24、N600M12处理的容重分别降低了2.19%、2.92%、8.03%和6.57%,孔隙度分别增加了2.44%、3.27%、8.36%和6.95%,它们之间的差异也不显著;N300M24处理的容重降低了11.68%、孔隙度增加了12.52%,与其它处理之间的差异达到了显著水平( $P < 0.05$ )。10~20 cm土层容重N300和N300M12处理比CK显著降低了5.63%和7.04%、孔隙度显著增加了6.76%和8.51%,但两个处理之间的差异不显著;M24和N300M24处理的容重显著降低了9.15%和9.86%、孔隙度显著增加了11.13%和11.75%,它们之间的差异也不显著。与0~10 cm和10~20 cm土层相比,20~40 cm土层的容重和孔隙度总体变化较小,只有N300M24处理的容重比CK显著降低了6.43%、孔隙度显著增加了7.34%,其它处理之间的差异都不显著。从不同肥料的效果来看,单施氮肥处理0~10、10~20、20~40 cm土层的平均容重分别降低了0.73%、3.87%和2.50%,孔隙度分别增加了0.90%、4.84%和3.03%;单施有机肥处理三个土层的平均容重分别降低了5.47%、7.04%和3.93%,孔隙度分别增加了5.82%、8.72%和4.61%;有机无机肥配施处理三个土层的平均容重分别降低了9.31%、6.06%和4.29%,孔隙度分别增加了10.00%、7.56%和4.59%,可以看出单施有机肥和有机无机肥配施对0~20 cm土层土壤结构的改善作用明显高于单施氮肥,而20~40 cm土层的变化幅度只在2.50%~4.29%之间,并不是太大。

表1 有机无机肥配施对土壤容重和孔隙度的影响

Table 1 Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on the bulk density and porosity of soil

编号 Number	处理 Treatments	土壤容重 Soil bulk density/( $g \cdot cm^{-3}$ )			土壤孔隙度 Soil porosity/%		
		0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm
1	NOM0	1.37 a	1.42 a	1.40 a	48.32 c	46.28 c	47.14 b
2	N300	1.34 ab	1.34 bc	1.36 ab	49.50 bc	49.41 abc	48.84 ab
3	N600	1.38 a	1.39 ab	1.37 ab	48.01 c	47.63 bc	48.30 ab
4	M12	1.33 abc	1.35 abc	1.35 ab	49.90 abc	49.20 abc	49.05 ab
5	M24	1.26 abc	1.29 c	1.34 ab	52.36 abc	51.43 a	49.58 ab
6	N300M12	1.24 bc	1.32 bc	1.36 ab	53.26 ab	50.22 ab	48.70 ab
7	N300M24	1.21 c	1.28 c	1.31 b	54.37 a	51.72 a	50.60 a
8	N600M12	1.28 abc	1.35 abc	1.32 ab	51.68 abc	49.16 abc	50.21 ab
9	N600M24	1.24 bc	1.38 ab	1.37 ab	53.29 ab	48.01 bc	48.39 ab

注:不同小写字母表示同一列的差异达显著水平( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters in the column means significant difference at  $P < 0.05$  level. The same below.

2.1.2 对土壤紧实度的影响 从图 1 可以看出,不同氮肥用量对 0~45 cm 土层平均紧实度的影响有随施氮量的增加而增加的趋势,但规律性不强,主要是耕作年限太短,氮肥对土壤紧实度的影响还没有显现出来。从有机肥对 0~45 cm 土层平均紧实度的影响来看,不管是单施有机肥还是有机无机肥配合施用,在全剖面也没有表现出明显的规律性。但

从分层来看,有机肥对土壤紧实度的影响规律性比较明显,0~10 cm 和 12.5~20.0 cm 土层都是 M0 处理最高,分别为 1 630 kPa 和 2 410 kPa;其次是 M12 处理,分别为 1 568 kPa 和 2 404 kPa;M24 处理最低,分别为 1 440 kPa 和 2 348 kPa,说明随着有机肥施用量的增加,0~20 cm 土层的紧实度也在不断降低。

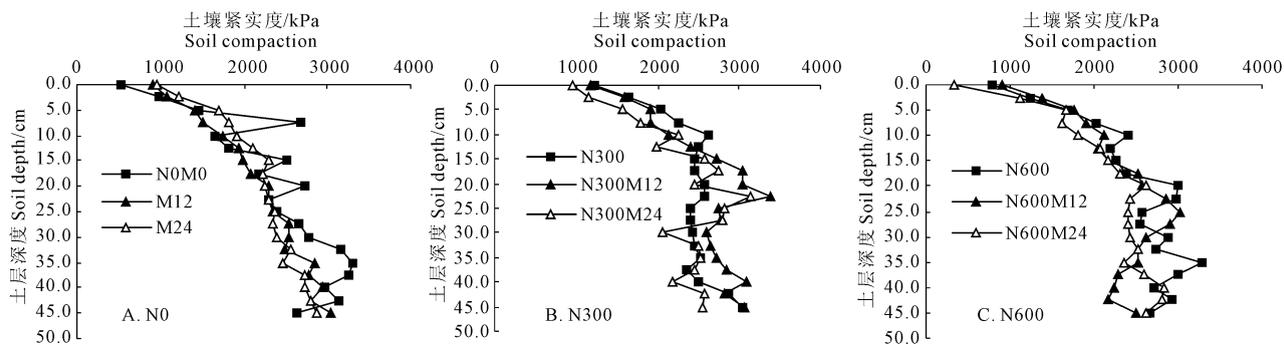
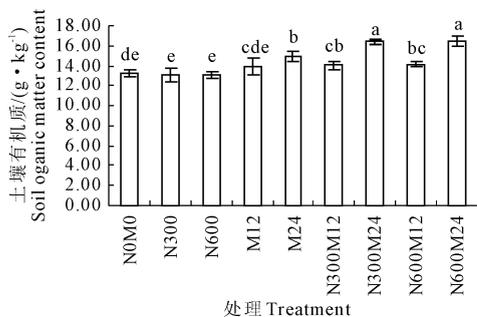


图 1 有机无机肥配施对土壤紧实度的影响

Fig.1 Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on the compaction of soil

## 2.2 有机无机肥配施对土壤化学性状的影响

2.2.1 对土壤有机质的影响 从图 2 可以看出,除单施氮肥,单施有机肥和有机无机肥配合施用都能不同程度地增加土壤有机质含量,且有随着有机肥用量的增加而提高的趋势。与 N0M0 处理相比,N300 和 N600 处理的土壤有机质含量分别降低了 0.98% 和 0.91%,但达不到差异显著水平;M12、N300M12 和 N600M12 处理分别增加了 5.21%、5.96% 和 6.79%,各处理间差异不显著;M24、N300M24 和 N600M24 处理分别增加了 12.98%、23.77% 和 24.00%,与其它处理之间的差异达到了显著水平 ( $P < 0.05$ ),但 N300M24 与 N600M24 处理之间的差异不显著。



注:柱上不同字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different letters mean significant at  $P < 0.05$  level. The same below.

图 2 不同施肥处理的有机质含量

Fig.2 Soil organic matter content of different fertilizer

2.2.2 对土壤氮素的影响 从图 3 可以看出,施肥对土壤氮素有显著改善作用,土壤全氮和碱解氮都有随施肥量的增加而增加的趋势。与 N0M0 处理的全氮含量相比,N300 处理几乎没有变化;N600 和 M12 处理分别增加了 4.21% 和 2.68%,差异不显著;M24 和 N300M12 处理分别增加了 8.43% 和 8.81%,N300M24、N600M12 和 N600M24 处理分别增加了 13.79%、13.79% 和 16.48%,这几个处理之间的差异不显著,但与 CK 之间均达到了差异显著水平 ( $P < 0.05$ )。与土壤全氮相比,施肥对土壤碱解氮含量的影响更大,除 M12 处理只比 CK 增加了 4.18%,达不到差异显著水平外,其它处理的增幅均达到了极显著水平 ( $P < 0.01$ ),N300 和 N600 处理分别增加了 48.79% 和 100.00%,M24 处理增加了 12.61%,N300M12 和 N300M24 处理分别增加了 50.00% 和 52.71%,N600M12 和 N600M24 处理分别增加了 103.36% 和 113.42%,其中 N300、N300M12 和 N300M24 处理之间差异不显著,N600 和 N600M12 处理之间差异也不显著。

2.2.3 对土壤磷素的影响 从图 4 可以看出,施肥对土壤全磷和速效磷都有一定影响,但影响的程度不同。与 N0M0 处理相比,N300 和 N600 处理的全磷量分别降低了 1.37% 和 4.82%,但达不到差异显著水平;M12、M24、N300M12、N300M24、N600M12 和 N600M24 处理分别增加了 0.70%、6.21%、10.35%、11.73%、8.28% 和 14.49%,它们与 CK 之间均达到了差异显著水平 ( $P < 0.05$ ),但各处理之间的差异

不显著。从土壤速效磷的变化来看,N300 和 N600 处理分别降低了 7.59% 和 13.82%,M12 和 M24 处理分别增加了 8.13% 和 23.58%,N300M12、N300M24、N600M12 和 N600M24 处理分别增加了

23.04%、30.08%、21.14% 和 34.42%,但 N300M24 和 N600M24 处理之间、M24 和 N300M12、N600M12 处理之间的差异都不显著。

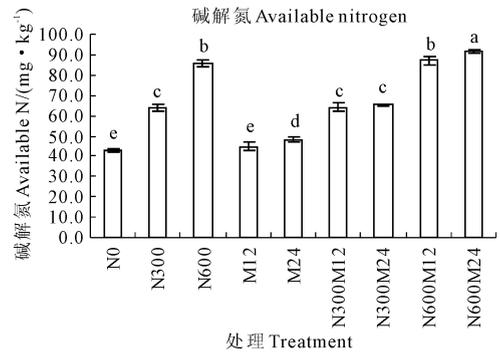
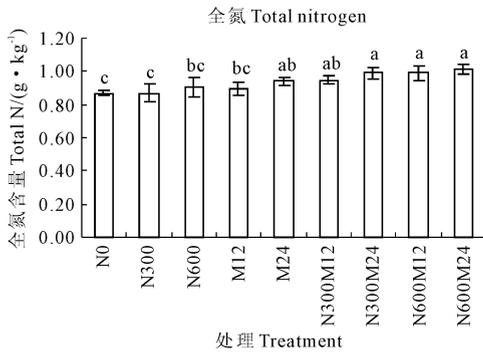


图 3 有机无机肥配施对土壤氮素含量的影响

Fig.3 Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on the contents of nitrogen in the soil

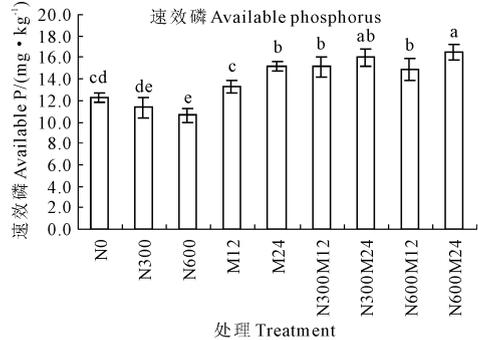
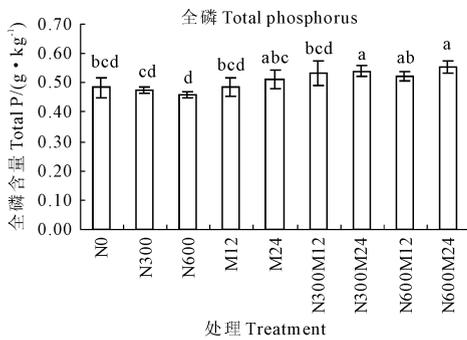


图 4 有机无机肥配施对土壤磷素含量的影响

Fig.4 Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on the contents of phosphorus in the soil

2.2.4 对土壤钾素的影响 从图 5 可以看出,施肥对土壤全钾和速效钾含量也有一定影响。与 N0M0 处理相比,N300 和 N600 处理的全钾含量分别降低了 2.34% 和 3.74%,M12 处理增加了 2.80%,但都达不到差异显著水平;M24 处理的增幅最大,达到了 16.36%,其次是 N300M24、N600M12 和 N600M24 处理,分别增加了 15.42%、11.68% 和 14.49%,但这四

个处理之间的差异也不显著。土壤速效钾的变化趋势与全钾相似,N300 和 N600 处理均显著降低了 9.72%,其它处理均显著增加 ( $P < 0.05$ ),其中 N300M12 和 N600M12 处理分别增加了 7.76% 和 5.84%,M12、N300M24 和 N600M24 分别增加了 11.52%、18.50% 和 15.56%,M24 处理的增幅最大,达到了 32.22%。

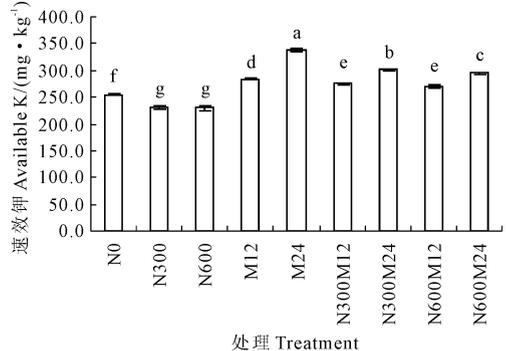
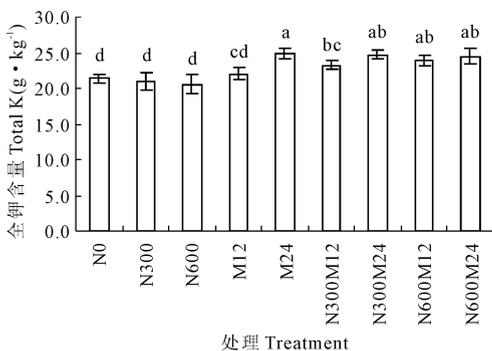


图 5 有机无机肥配施对土壤钾素含量的影响

Fig.5 Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on the contents of potassium in the soil

### 2.3 有机无机肥配施对玉米产量和植株性状的影响

由表 2 可以看出,无论是单施氮肥、单施有机肥,还是有机无机肥配合施用,都显著提高了玉米籽粒产量,并且这种提高随施肥量的增加而增加。与 NOM0 处理(CK)相比,N300 和 N600 处理的籽粒产量分别增加了 88.2% 和 140.6%;M12 和 M24 处理分别增加了 13.4% 和 49.7%;N300M12、N300M24、N600M12 和 N600M24 处理分别增加了 106.4%、129.7%、161.7% 和 168.8%。与单施氮肥和单施有机肥相比,氮肥与有机肥配施并没有表现出正交互作用。N300 条件下,M12 和 M24 处理分别增产

9.7% 和 22.1%,N600 条件下分别增产 8.8% 和 11.7%;但在 M12 条件下,N300 和 N600 处理分别增产 81.9% 和 130.7%,M24 条件下分别增产 53.5% 和 79.6%,可见在作物增产中起主导因素的仍然是氮肥。从不同施肥处理对玉米植株性状的影响来看,有机无机肥配施后,玉米植株的各种性状指标都得到了极大改善,其中 N300M24 处理的株高、穗长、行粒数最高,N600M24 处理的穗粗、穗行数 and 百粒重最高,但两个处理的各项指标间都没有达到差异显著水平。

表 2 有机无机肥配施对玉米产量和植株性状的影响

Table 2 Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on grain yield and plant parameters of maize

处理 Treatments	产量 Grain yield (kg·hm <sup>-2</sup> )	株高 Plant height /cm	穗长 Ear length /cm	穗粗 Ear diameter /cm	穗行数/行 Rows per ear	行粒数/粒 Grains per row	百粒重 100 - GW /g
NOM0	3880.3 h	233.1 e	15.0 c	4.42 c	11.9 e	25.3 c	17.09 c
N300	7301.0 e	252.4 cd	19.7 ab	5.13 b	12.7 bc	31.6 b	15.72 c
N600	9337.1 b	255.3 c	18.9 b	5.15 ab	12.5 bc	30.8 b	14.94 c
M12	4401.5 g	242.9 de	19.5 ab	5.13 b	12.5 bc	31.4 b	15.30 c
M24	5806.9 f	257.3 bc	19.8 ab	5.17 ab	12.9 ab	31.1 b	19.25 bc
N300M12	8007.8 d	258.4 c	20.1 ab	5.21 ab	13.0 ab	31.9 ab	19.96 bc
N300M24	8913.0 c	270.3 a	21.5 a	5.24 ab	13.3 ab	36.7 a	20.42 ab
N600M12	10154.1 a	262.5 ab	20.6 ab	5.29 ab	13.2 ab	31.9 ab	21.17 abc
N600M24	10429.8 a	267.6 ab	19.2 ab	5.42 a	13.6 a	32.5 ab	23.84 a

## 3 讨论与结论

### 3.1 有机无机肥配施对土壤物理结构的影响

土壤容重、孔隙度、紧实度是土壤最基本的物理性状,是土壤松紧状况和作物根系穿孔能力的度量,其变化与耕作、施肥措施密切相关。程科等<sup>[13]</sup>研究表明,免耕/深松、深松/翻耕和翻耕/免耕的轮耕处理与 5 年连续免耕相比,0~20 cm 土层容重显著降低了 3.6%~4.5%,土壤孔隙度增加了 8.0%~10.8%。许淑青等<sup>[14]</sup>研究表明,免耕+秸秆覆盖(NTS)能显著改善土壤结构,连续定位 7 年后 0~5、5~10 cm 土层容重显著降低、孔隙度明显增大。本研究表明,施肥对 0~20 cm 土层容重、孔隙度、紧实度的影响程度明显高于 20~40 cm 土层。单施有机肥和有机无机肥配施对改善土壤结构有一定效果,分别使 0~10、10~20 cm 土层容重降低了 5.47%、7.04% 和 9.31%、6.06%,虽然只是一年的结果,但比程科、许淑青等<sup>[13-14]</sup>多年定位试验的结果还要高,这一方面是不同试验采用的耕作施肥方式不同,另一方面,本试验是在新开垦的盐碱荒地上进行,土

壤结构极差,0~10 cm 和 10~20 cm 土层容重分别达到了 1.37 g·cm<sup>-3</sup> 和 1.42 g·cm<sup>-3</sup>,施入大量有机肥后土壤变得疏松软绵,随着非毛管孔隙的增加和微生物活动的加剧,土壤紧实度也随着降低,因此,土壤结构能有大的改善也在情理之中。

### 3.2 有机无机肥配施对土壤养分积累的影响

李文祥、李娟、马强等<sup>[15-17]</sup>的研究结果表明,长期有机无机肥配合施用可以明显提高土壤中有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷含量,增强土壤养分容量及供应强度。本研究结果与上述研究者的结果是一致的,只是增加的幅度略高,这与研究区域的土壤条件有关。本研究区新垦盐碱荒地土壤贫瘠,耕层土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷含量分别只有 8.01 g·kg<sup>-1</sup>、0.59 g·kg<sup>-1</sup>、1.09 g·kg<sup>-1</sup>、45.4 mg·kg<sup>-1</sup> 和 6.5 mg·kg<sup>-1</sup>,按第二次全国土壤普查土壤养分含量分级标准评价,都属于极低水平,增加化肥、有机肥投入后土壤养分含量发生大幅度变化也在情理之中。对于土壤有机质而言,有机肥中的有机质含量本来就高,经过一季种植并没有完全分解而留在了土壤中,也可能导致土壤有机质含量显著

增加。对于土壤氮素而言,有机肥对土壤全氮的影响要明显大于氮肥,氮肥对土壤碱解氮的影响较大,这一方面可能是施入的氮肥没有被作物完全吸收而残留于土壤中,另一方面也与施入的有机肥和氮肥对土壤氮素的激发效应有关。对于磷素而言,增施有机肥能显著增加土壤全磷和速效磷含量,单施氮肥却降低了土壤全磷和速效磷,可能是在氮肥单施条件下虽然作物的生长量增加了,但对磷素的消耗也在增加,在没有外源磷素补充条件下,只能消耗土壤中的磷素来满足作物的生长需求。对于钾素而言,施肥有一定影响,但总体变化不大,这主要是研究区土壤的全钾和速效钾含量达到了  $1.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $193 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,在这种高钾环境中土壤钾素的平衡并不容易被打破,即便是在施肥和作物种植情况下,土壤中各种形态的钾素仍然处在一个相对比较稳定的状态。

### 3.3 有机无机肥配施对作物产量的影响

作物产量的形成受多种因素影响,其中均衡施肥是最主要的因素之一。刘恩科等<sup>[18]</sup>研究表明,长期均衡施氮磷钾化肥,以及氮磷钾化肥与有机肥配施,有利于土壤养分协调供应,保持较高的土壤肥力,巩固穗粒数、增加粒重,提高玉米的产量。张桂兰等<sup>[19]</sup>研究认为只要施肥合理、配比适宜,均能取得高产、稳定、增产效益,其中尤以有机肥和无机肥配合增产的效果最好。本研究表明,无论是单施氮肥、单施有机肥,还是有机无机肥配合施用,都能显著提高玉米籽粒产量,增幅达  $13.4\% \sim 168.8\%$ ,并且这种提高随施肥量的增加而增加,这与上述研究者的结果是一致的。另外,在本试验条件下,氮肥与有机肥配施并没有表现出正交互作用,氮肥在作物产量增加中起到了主导作用,增幅达  $53.5\% \sim 130.7\%$ ,而有机肥的增幅只有  $8.8\% \sim 22.1\%$ ,这可能是试验时间短、有机肥并没有完全分解所致。

### 参考文献:

[1] Szaboles L. 盐渍土是个世界性的问题[C]//国际盐渍土改良学

术讨论会论文集.北京:北京农业大学出版社,1985:9-17.

- [2] 王遵亲,祝寿全,俞仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993:400-515.
- [3] 石玉林主编.《中国1:100万土地资源图》土地资源数据集[M].北京:中国人民大学出版社,1991.
- [4] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [5] 樊自立,马英杰,马映军.中国西部地区的盐渍土及其改良利用[J].干旱区研究,2001,18(3):1-6.
- [6] 牛叔文,陈作芳.农业区域开发探索——甘肃省沿黄灌区农业综合开发研究[M].兰州:兰州大学出版社,1998.
- [7] 荆向田.白银高扬程灌区土壤次生盐渍化成因及改良措施[J].甘肃农业科技,1997,(10):22-24.
- [8] 刘世华.白银市盐渍地现状、治理情况及对策探讨[J].甘肃农业,2003,(2):56.
- [9] 文启孝.我国土壤有机质和有机肥料研究现状[J].土壤学报,1989,26(3):255-261.
- [10] 索东让.长期定位试验中化肥与有机肥结合效应研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):71-75.
- [11] 依艳丽.土壤物理研究法[M].北京:北京大学出版社,2009.
- [12] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- [13] 程科,李军,毛红玲.不同轮耕模式对黄土高原旱作麦田土壤物理性状的影响[J].中国农业科学,2013,46(18):3800-3808.
- [14] 许淑青,张仁陟,董博,等.耕作方式对耕层土壤结构性能及有机碳含量的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(2):203-208.
- [15] 李文祥.长期不同施肥对壤土肥力及作物产量的影响[J].中国土壤与肥料,2007,(2):23-25.
- [16] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2008,41(1):144-152.
- [17] 马强,刘中良,周桦,等.不同施肥模式对作物?土壤系统养分收支的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(3):520-524.
- [18] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等.长期施氮、磷、钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):789-794.
- [19] 张桂兰,宝德俊,王英,等.长期施用化肥对作物产量和土壤性质的影响[J].土壤通报,1999,30(2):64-67.