

有机无机肥配施对新垦盐渍荒地玉米 养分吸收利用的影响

霍琳¹, 张晓贺^{1,2}, 杨思存¹, 逢焕成³, 王成宝¹, 李玉义³, 姜万礼¹

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 在甘肃引黄高扬程灌区, 设置了氮肥与有机肥配合施用对新垦盐渍荒地玉米产量和养分吸收利用的影响试验。结果表明: 施肥能显著提高玉米籽粒产量, 增幅在 13.4% ~ 168.8%, 过量施用氮肥会对玉米叶片造成伤害, 影响秸秆产量, 肥料配施条件下无论是中氮(300 kg·hm⁻²) 还是高氮(600 kg·hm⁻²), 有机肥的作用都非常突出。玉米植株的养分含量和养分吸收量均随施肥量的增加而显著提高, 籽粒是吸氮和吸磷的主体, 秸秆是吸钾的主体, 有机无机肥配施能促进玉米对氮磷钾养分的吸收。本试验条件下, 不同施肥处理的氮肥利用率为 14.47% ~ 20.74%, 氮肥偏生产力为 11.06 ~ 25.69 kg·kg⁻¹, 氮肥农学效率为 3.04 ~ 11.40 kg·kg⁻¹, 氮肥生理效率为 20.08 ~ 56.63 kg·kg⁻¹, 总体都比较偏低, 主要原因是有机肥当季利用率低, 对氮素总量的贡献太小。

关键词: 引黄灌区; 新垦盐渍荒地; 有机无机肥配施; 养分吸收量; 氮肥利用效率

中图分类号: S158.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)05-0173-06

Effects of combined application of organic and chemical fertilizers on nutrient uptake and utilization of maize in newly reclaimed saline soil

HUO Lin¹, ZHANG Xiao-he^{1,2}, YANG Si-cun¹, PANG Huan-cheng³, WANG Cheng-bao¹, LI Yu-yi³, JIANG Wan-li¹

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

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

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of combined fertilization on yield as well as nutrient uptake and utilization of maize in newly reclaimed saline land in the high-lift irrigation area of Yellow River in Gansu Province. The results showed that fertilization could significantly increase the grain yield of maize by 13.4% to 168.8%. Excessive application of nitrogen fertilizer could injure the leaves and thus affect the straw yield. The effects of organic manure were very outstanding under the combined fertilization condition, no matter with middle nitrogen (300 kg·hm⁻²) or high nitrogen (600 kg·hm⁻²). Both the nutrient contents and uptakes in maize plants were improved significantly with the increase of fertilization rate. Grain was the main organ for nitrogen and phosphorus absorption, but straw was that for potassium absorption. Combined application of organic and inorganic fertilizers could promote the absorption of N, P and K in maize. Under different treatments, the nitrogen utilization ratio was 14.47% to 20.74%, the partial factor productivity from applied N was 11.06 to 25.69 kg·kg⁻¹, the agronomic efficiency of applied N was 3.04 to 11.40 kg·kg⁻¹, and the physiological efficiency of applied N was 20.08 to 56.63 kg·kg⁻¹, being relatively low as a whole because of the lower utilization of organic manure and the little contribution of organic manure to total nitrogen supply in the current year.

Keywords: irrigation area of Yellow River; newly reclaimed saline soil; combined application of organic and chemical fertilizers; nutrient uptake; nitrogen use efficiency

收稿日期: 2012-10-05

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项“盐碱地农业高效利用配套技术模式研究与示范”(200903001)

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

甘肃省盐碱地面积为 102.38 万 hm^2 , 占全省土壤面积的 2.26%。主要分布在河西走廊的酒泉、张掖、武威和沿黄灌区的白银、兰州^[1]。在沿黄灌区, 高扬程灌溉是农业的主体, 约占全区灌溉面积的 90%^[2]。该区土壤养分含量低、盐分含量高, 亟需通过土壤培肥和脱盐改造来实现高产稳产。施肥是提高土壤肥力、增加作物产量的重要措施, 但化肥在土壤中的作用易受土壤性质、肥料种类等的影响, 只有一部分能转化为可被作物吸收利用的有效养分, 利用效率较低^[3-4]; 有机肥中虽然含有作物生长的各种营养元素和一些生理活性物质, 在改良土壤结构方面也有显著优点, 但养分浓度低、肥效慢^[5-7]。在盐渍条件下, 作物生长本身就受到盐分抑制, 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。本研究旨在探讨有机无机肥配合施用对新垦盐渍荒地作物产量和养分吸收利用的影响, 以便通过最佳施肥管理, 使新垦盐渍荒地利用中得到改良。

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渍荒地, 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 $> 13 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。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°C , $\geq 0^\circ\text{C}$ 和 10°C 的积温分别为 $3\,208^\circ\text{C}$ 和 $2\,622^\circ\text{C}$, 无霜期 160~170 d; 年日照时数 2 919 h, 辐射量 $616.2 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

试验地为 2009 年新开垦的盐渍荒地, 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 $8.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $0.59 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 $1.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全钾 $1.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $45.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $6.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $193 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤容重 $1.43 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层含盐量分别为 4.22、4.75、5.27、6.29、8.91、10.72 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 属于氯化物—硫酸盐型盐渍土片。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 水平正交组合设计, 共 9 个处理。氮肥 (N) 设 0、300、600 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 三个水平, 有机肥 (M) 设 0、12、24 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 三个水平, 具体处理为:

(1) N_0M_0 (CK); (2) N_{300} ; (3) N_{600} ; (4) M_{12} ; (5) M_{24} ; (6) $\text{N}_{300}\text{M}_{12}$; (7) $\text{N}_{300}\text{M}_{24}$; (8) $\text{N}_{600}\text{M}_{12}$; (9) $\text{N}_{600}\text{M}_{24}$ 。试验小区面积 $4.4 \text{ m} \times 11.5 \text{ m} = 50.6 \text{ m}^2$, 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, 4 月 15 日播种, 种植方式为 70 cm + 40 cm 的宽窄行, 覆膜种植 2 行, 株距 25 cm, 保苗 6.75 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$; 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 $274.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $14.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷 $75.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全钾 $10.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 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, 玉米生育期间灌水 5 次, 灌溉定额 $6\,750 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 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 玉米收获时, 每个小区随机均匀选取 5 株玉米, 沿地面割下地上部分, 分籽粒和秸秆两部分采样, 烘干、粉碎过筛后, 分别测定全量氮、磷、钾。

1.3.2 测定分析 全氮用半微量凯氏定氮法; 全磷用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮, 钒钼黄比色法; 全钾用火焰光度法。

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。

2 结果与分析

2.1 不同施肥对玉米产量的影响

施肥是影响植株生长和产量形成的首要因素。由图 1 可以看出, 无论是单施氮肥、有机肥, 还是有机无机肥配合, 都显著提高了玉米籽粒产量和生物产量, 并且, 这种提高随施肥量的增加而增加。与不施肥处理 (CK) 相比, 单施氮肥的籽粒产量增加 88.2%~140.6%; 单施有机肥增加 13.4%~49.7%; 有机无机肥配合施用增加 106.4%~168.8%。无论是中氮 (N_{300}) 还是高氮 (N_{600}) 处理, 有机肥均显示出了显著的增产效果, M_{12} 和 M_{24} 分别比 M_0 增产 18.2%、41.5% 和 21.1%、28.2%, 只是在高氮 (N_{600}) 条件下, M_{12} 与 M_{24} 之间的增产效果已经不显著。从不同施肥处理生物产量来看, N_{600} 比 N_{300} 处理出现了减少, 这是因为过量施用氮肥使土壤盐分含量升高, 盐分对玉米叶片、茎秆造成损伤, 导致生物产量降低。

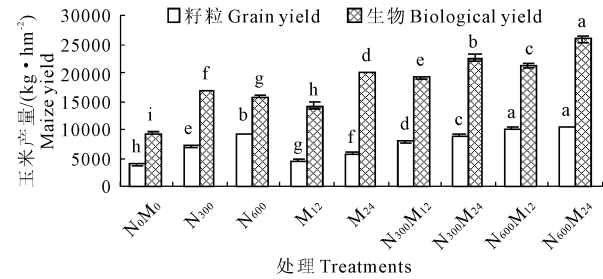


图 1 不同施肥处理的玉米产量
Fig.1 Maize fields of different fertilizer

2.2 不同施肥对玉米养分吸收利用的影响

2.2.1 对玉米籽粒和秸秆养分含量的影响 盐渍

表 1 不同施肥处理的玉米籽粒和秸秆养分含量

Table 1 Nutrient contents in maize grain and straw under different fertilization treatments

处理 Treatments	氮 N/(g·kg ⁻¹)		磷 P/(g·kg ⁻¹)		钾 K/(g·kg ⁻¹)	
	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒 Grain	秸秆 Straw
N ₀ M ₀	9.10f	3.15g	4.47d	1.45e	4.53d	10.74f
N ₃₀₀	10.88d	3.76e	4.56d	1.53e	4.74cd	11.83e
N ₆₀₀	12.39ab	5.15b	4.72d	1.68e	5.13ab	11.85e
M ₁₂	9.97e	3.42f	5.20c	1.82d	4.76cd	10.94f
M ₂₄	10.05e	3.66e	5.33c	2.09c	4.85c	10.91f
N ₃₀₀ M ₁₂	11.55cd	4.14d	5.38c	1.89d	4.96bc	12.97d
N ₃₀₀ M ₂₄	11.84bc	4.43c	5.64b	2.12bc	5.22a	13.52c
N ₆₀₀ M ₁₂	12.57a	5.42a	5.87ab	2.26ab	5.23a	14.14b
N ₆₀₀ M ₂₄	12.59a	5.33a	6.02a	2.40a	5.25a	14.51a

注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。
Note: Different small letters mean significant difference at 0.05 level. The same as below.

有机肥与氮肥配合施用对玉米磷素营养有显著的促进作用,不同施肥处理玉米籽粒和秸秆中的磷分别增加了 2.01%~34.68%和 13.33%~77.78%。在单施氮肥条件下,随着氮肥用量的增加,玉米籽粒和秸秆的含磷量都有增加的趋势,但差异并不显著;单施有机肥条件下,玉米的磷素水平有了很大提高,这是因为有机肥本身含磷量较高,但不同用量之间差异不显著;有机肥与氮肥配合施用后,玉米籽粒和秸秆的含磷量进一步提高,并且有随着氮肥和有机肥用量增加而增加的趋势。

施肥对玉米钾素吸收的影响要显著低于氮和磷,这是因为试验区土壤中的钾素含量较高,基本能够满足作物的吸收利用。但不同施肥处理之间存在着差异,规律是对秸秆含钾量的影响大于籽粒,氮肥与有机肥配合施用的效果优于单施。单施氮肥条件下,N₃₀₀和 N₆₀₀处理籽粒含钾量分别增加了 4.64%和 13.25%,秸秆含钾量分别增加了 10.15%和 10.34%,其中 N₆₀₀处理的籽粒含钾量已非常接近有机无机肥配合的水平。单施有机肥条件下,M₁₂和

条件下,适当增加养分元素供应水平或均衡配给有利于营养元素的吸收和同化^[8]。从表 1 可以看出,施肥对玉米籽粒和秸秆的养分吸收都有促进作用。与不施肥处理(CK)相比,不同施肥处理玉米籽粒和秸秆中的氮分别增加了 9.56%~38.35%和 8.57%~72.06%,氮肥对玉米氮素营养的影响要大于有机肥,不论是单施氮肥还是氮肥与有机肥配施,都显著增加了玉米籽粒和秸秆的含氮量,但在相同氮肥水平下,不同有机肥用量对玉米籽粒和秸秆含氮量的影响都达不到差异显著水平。同时,在高氮条件下,玉米生长受到盐害胁迫,秸秆含氮浓度有降低的趋势。

M₂₄处理籽粒含钾量分别增加了 5.08%和 7.06%,秸秆含钾量分别增加了 1.61%和 1.86%,增幅都明显低于单施氮肥处理。氮肥与有机肥配施后,显著提高了玉米钾素营养水平,籽粒含钾量分别增加了 9.49%~15.89%,秸秆含钾量分别增加了 20.76%~35.13%。

2.2.2 对玉米植株养分携出量的影响 养分携出量反映了作物对土壤和肥料养分的综合利用能力,它不仅依赖于植物体本身的养分含量,也决定了植物体的长势。在盐渍条件下,作物生长和养分吸收都受到胁迫,因此,不同施肥处理的养分携出量也表现出了很大差异(表 2)。从籽粒、秸秆和植株总体吸氮量来看,都是 N₆₀₀M₂₄处理最高,CK 最低,两者分别相差 3.72 倍、4.65 倍和 4.03 倍。籽粒是玉米植株吸氮的主体,总体都高于秸秆,比例是 1.12~3.40:1,M₂₄处理最低,N₆₀₀处理最高。单施氮肥条件下,N₃₀₀和 N₆₀₀处理的籽粒吸氮量分别比 CK 增加了 124.74%和 227.23%,秸秆吸氮量分别增加了 102.42%和 92.16%,高氮处理出现了下降。单施有

机肥条件下, M_{12} 和 M_{24} 处理的籽粒吸氮量分别只增加了 24.24%和 65.00%,但秸秆吸氮量却分别增加了 91.60%和 192.75%,说明化肥促进了籽粒吸氮,而有机肥促进了秸秆对氮素的吸收。氮肥与有机肥

配施后,籽粒和秸秆的吸氮量都大幅增加,但处理之间的差异却在缩小, $N_{300}M_{12}$ 与 $N_{300}M_{24}$ 相比,籽粒和秸秆吸氮量分别只增加了 14.12%和 31.50%,与 $N_{600}M_{12}$ 相比,也只增加了 38.02%和 31.57%。

表 2 不同施肥处理的养分携出量
Table 2 Nutrient uptake of maize under different fertilization treatments

处理 Treatments	吸氮量 N uptake /(kg·hm ⁻²)			吸磷量 P uptake /(kg·hm ⁻²)			吸钾量 K uptake /(kg·hm ⁻²)		
	籽粒 Grain	秸秆 Straw	合计 Total	籽粒 Grain	秸秆 Straw	合计 Total	籽粒 Grain	秸秆 Straw	合计 Total
N_0M_0	35.34h	17.71f	53.05h	17.36h	8.16h	25.52i	17.56g	60.36g	77.92g
N_{300}	79.42e	35.85e	115.27f	33.30e	14.59f	47.88g	34.61d	112.78e	147.39e
N_{600}	115.64b	34.03e	149.67d	44.07d	11.11g	55.18f	47.90b	78.33f	126.24f
M_{12}	43.91g	33.93e	77.84g	22.88g	18.07e	40.95h	20.97f	108.55e	129.52f
M_{24}	58.31f	51.85c	110.16f	30.94f	29.61b	60.55e	28.18e	154.60cd	182.78d
$N_{300}M_{12}$	92.50d	46.10d	138.60e	43.10d	21.04d	64.14d	39.72c	144.38d	184.10d
$N_{300}M_{24}$	105.56c	60.62b	166.18c	50.26c	29.03b	79.29c	46.52b	185.14b	231.66b
$N_{600}M_{12}$	127.67a	60.65b	188.32b	59.61b	25.29c	84.89b	53.12a	158.22c	211.34c
$N_{600}M_{24}$	131.30a	82.35a	213.65a	62.78a	37.07a	99.85a	54.76a	224.33a	279.10a

从籽粒、秸秆和植株总体吸磷量来看,其规律与吸氮量大致相同,也是 $N_{600}M_{24}$ 处理最高,CK 最低,两者分别相差 3.62 倍、4.54 倍和 3.91 倍;籽粒与秸秆的吸磷量比例大致为 1.05 ~ 3.97:1,也是 M_{24} 处理最低, N_{600} 处理最高。从单施氮肥处理的吸磷量来看,都比 CK 有大幅增加,但在籽粒中是 $N_{600} > N_{300}$ 处理,秸秆中却是 $N_{300} > N_{600}$,可能是过量施氮造成盐害抑制了磷的吸收。从单施有机肥来看,对籽粒吸磷量的促进作用虽然没有单施氮肥高,但对秸秆吸磷量的促进作用却显著高于单施氮肥,且有随着有机肥施用量增加而增加的趋势。氮肥与有机肥配施后,籽粒吸磷量随施肥量的增加而持续增加;秸秆吸磷量却是高有机肥处理明显大于低有机肥处理, M_{24} 甚至高于 $N_{300}M_{12}$ 和 $N_{600}M_{12}$ 处理;从植株吸磷总量来看,依然随施肥量的增加而增加。

从籽粒、秸秆和植株总体吸钾量来看,依然是 $N_{600}M_{24}$ 处理最高,CK 最低,两者分别相差 3.12 倍、3.72 倍和 3.58 倍,但秸秆是吸钾的主体,与籽粒吸钾量的比例为 1.64 ~ 5.49:1, N_{600} 处理最低, M_{24} 处理最高。单施氮肥条件下,籽粒吸钾量 $N_{600} > N_{300}$ 处理,秸秆却是 $N_{300} > N_{600}$,这是因为过量施氮造成盐害抑制了钾的吸收。单施有机肥条件下,随施肥量的增加,植株吸钾量大幅增加,但秸秆的增幅显著高于籽粒。氮肥与有机肥配施后,籽粒吸钾量在低氮条件下随施肥量的增加而显著增加,但在高氮条件下已不显著;秸秆吸钾量随有机肥用量的增加而增加,配施的氮肥已不是主要影响因素。

2.2.3 对氮肥利用效率的影响 本文研究的是氮肥与有机肥配施对新垦盐渍荒地作物养分吸收利用的影响,因此分析氮肥的利用效率非常重要。氮肥利用率 (Apparent recovery efficiency of applied N, ARE_N)反映了作物对施入土壤中的氮的回收效率,是评价作物对化肥养分吸收状况最常用的参数。由表 3 可知,不同施肥处理的 ARE_N 在 14.47% ~ 20.74%,总体比较低,其中 M_{12} 处理最低, N_{300} 处理最高,这是有机肥中的速效氮利用率太低所致。从单施有机肥来看,随施肥量的增加, ARE_N 在增加;但从单施氮肥和氮肥与有机肥配合施用来看,随施肥量的增加, ARE_N 都在不断降低,只是降低的幅度都很小,并没有表现出显著性差异。

氮肥偏生产力 (Partial factor productivity from applied N, PFP_N)反映了单位投入的肥料氮所能生产的作物籽粒产量,是评价肥料效应的适宜指标,由于不需要空白区产量和养分吸收量的测定,简单明了,它被国际农学界经常采用,也比较适合我国目前土壤和环境养分供应量大、化肥增产效益下降的现实。由表 3 可知,不同施肥处理的 PFP_N 在 11.06 ~ 25.69 $kg \cdot kg^{-1}$, $N_{600}M_{24}$ 处理最低, M_{12} 处理最高,总体趋势是随着施肥量的增加而降低。从肥料单施来看, N_{600} 比 N_{300} 降低了 36.06%, M_{24} 比 M_{12} 降低了 34.04%。氮肥与有机肥配施时,在等氮条件下, $N_{300}M_{24}$ 比 $N_{300}M_{12}$ 降低了 18.37%, $N_{600}M_{24}$ 比 $N_{600}M_{12}$ 降低了 15.96%;在等有机肥条件下, $N_{600}M_{12}$ 比 $N_{300}M_{12}$ 降低了 22.51%, $N_{600}M_{24}$ 比 $N_{300}M_{24}$ 降低了 20.22%,都

略高于等氮条件,可见过量施用氮肥是导致 PFP_N 下降的主要因素。

表 3 不同施肥处理的肥料利用率
Table 3 Fertilizer utilization rate under different treatments

处理 Treatments	氮肥利用率 $ARE_N/\%$	氮肥偏生产力 $PFP_N/(\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1})$	氮肥农学效率 $AE_N/(\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1})$	氮肥生理效率 $PE_N/(\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1})$
N_{300}	20.74a	24.34b	11.40a	55.20a
N_{600}	16.10bc	15.56d	9.09b	56.63a
M_{12}	14.47c	25.69a	3.04f	20.08e
M_{24}	16.66bc	16.94c	5.62e	33.77d
$N_{300}M_{12}$	18.15b	16.99c	8.76bc	48.27b
$N_{300}M_{24}$	17.60b	13.87e	7.83cd	44.50bc
$N_{600}M_{12}$	17.54b	13.16e	8.13bc	46.40bc
$N_{600}M_{24}$	17.04b	11.06f	6.95d	40.79c

氮肥农学效率(Agronomic efficiency of applied N, AE_N)是指单位施氮量所增加的作物籽粒产量,是评价肥料增产效应较为准确的指标,也是农业生产中最关心的经济指标之一。由表 3 可以知,不同施肥处理的 AE_N 在 $3.04\sim 11.40\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, M_{12} 处理最低, N_{300} 处理最高,总体较低,且随化肥用量的增加而降低。单施氮肥时, N_{600} 比 N_{300} 降低了 20.24%;但单施有机肥时, M_{24} 却比 M_{12} 增加了 84.81%。氮肥与有机肥配施时,在等氮条件下, $N_{300}M_{24}$ 比 $N_{300}M_{12}$ 降低了 10.58%, $N_{600}M_{24}$ 比 $N_{600}M_{12}$ 降低了 14.58%;在等有机肥条件下, $N_{600}M_{12}$ 比 $N_{300}M_{12}$ 降低了 7.12%, $N_{600}M_{24}$ 比 $N_{300}M_{24}$ 降低了 11.28%,都略低于等氮条件,可见有机肥当季利用率低是导致 AE_N 降低的主要因素。

氮肥生理效率(Physiological efficiency of applied N, PE_N)是作物地上部每吸收单位肥料中的氮所获得的籽粒产量的增加量,反映的是植物体内养分的利用效率,而不是肥料的增产效应。由表 3 可知,不同施肥处理的 PE_N 在 $20.08\sim 56.63\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, M_{12} 处理最低, N_{600} 处理最高,可见化肥氮对 PE_N 的影响显著高于有机氮,这是因为有机肥的肥效慢,养分浓度低,进入作物体内的数量少。从有机无机肥配施来看, $N_{300}M_{12} > N_{600}M_{12} > N_{300}M_{24} > N_{600}M_{24}$,其趋势是随有机肥用量增加而降低。

3 讨 论

在盐渍环境中,植物生长受到盐离子和矿质养分离子交互作用的影响。土壤溶液中高浓度的盐离子可以通过干扰 N、P、K、Ca、Mg 等矿质元素的吸收而造成植物体内养分吸收、利用和分配的不平衡。侯振安等^[9]通过对羊草和苜蓿的比较得出,随

土壤含盐量的增加,苜蓿和羊草植株 N、P 含量无明显变化,K 含量迅速降低,而 Na 含量急剧增加。苏国兴^[10]的研究结果却正好相反,表明 NaCl 胁迫可显著降低桑树根和叶片中 P、K、Ca、Mg、Zn 和 Fe 的含量,N 素含量有所下降,但差异不大。阎顺国^[11]的研究表明,NaCl 盐胁迫下碱茅地上部分 N、P、K 含量无显著变化,但根部吸收量均显著下降。但石应福等^[12]的研究却表明, SO_4^{2-} 型复合盐胁迫下碱茅 N、P、K 含量均增加。有关施肥对盐胁迫下作物养分吸收方面的研究报道,国内外都不多。宁建凤等^[13]的研究表明,外源氮能提高芦荟植株的抗盐性,随着供氮水平的不断增加,芦荟干物质产量和叶片中 N、P、K、游离氨基酸、可溶性糖、可溶性蛋白质、总蒽醌的含量均呈现先增加后降低的趋势。郝晋珉等^[4]的研究表明,盐渍土培肥过程中大量施用磷肥可以提高土壤含磷量,但其中很大一部分被转化为潜效的 $\text{Ca}_{10}-\text{P}$,而提高氮肥使用量,合理氮磷配比有助于降低潜效态 $\text{Ca}_{10}-\text{P}$ 的比例。本研究表明,虽然玉米植株的 N、P、K 养分含量和养分携出量在单施氮肥、单施有机肥与有机无机肥配合施用之间、不同肥料用量之间、籽粒与秸秆之间都表现出了很大差异,但施肥能促进 N、P、K 养分吸收的趋势始终是相同的,这与宁建凤、郝晋珉、石应福等人的研究结果是一致的。而之所以与侯振安、苏国兴、阎顺国等人的研究结果出现差异,很可能与不同研究者所采用的植物材料、组织器官及试验方法有关。

晁赢等^[14]通过轻壤质盐化潮土上 20 年的肥料长期定位试验研究表明,在等氮量条件下,长期施用常量无机肥虽然小麦和玉米秸秆的含氮量较高,但向籽粒氮转移量和生理效率却较低;长期施用常量有机肥小麦和玉米生理效率较高,而含氮量和氮转移量却较低;只有常量有机无机肥料配施才能逐步

提高小麦和玉米产量、含氮量、氮素转移量和生理效率。李冬初等^[15]的研究表明,有机无机肥配合施用既能快速提高稻田有效氮含量,又能长久保持土壤氮素含量,提高氮素利用率。李伟等^[16]连续两年进行的“不同量鸡粪与化肥配施的肥料效应”田间试验表明,随有机氮投入的增加,作物产量和吸收养分向籽粒中转移的比例也相应增加。本研究中,氮肥利用率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率随氮肥用量的增加而降低,随有机肥用量的增加而增加,其趋势与晁赢、李冬初、李伟等人的研究结果是一致的,但结果总体偏低,可能是研究区地处于干旱半干旱区,气候干燥,有机肥腐解速度慢,当季利用率低,对氮素总量贡献小所致,从而导致耕层土壤中的氮素残留量较低。由此可知,新垦盐渍荒地的改良培肥是一个漫长过程,只有持续不断地投入有机肥,使其土壤结构和微生物生存环境得到更新,才能保证作物稳定增产和农业可持续发展。

4 结 论

1) 施肥能显著提高新垦盐渍荒地玉米籽粒产量,与 CK 相比,单施氮肥增加 88.2% ~ 140.6%,单施有机肥增加 13.4% ~ 49.7%,有机无机肥配合施用增加 106.4% ~ 168.8%,无论是中氮(N₃₀₀)还是高氮(N₆₀₀)处理,有机肥均显示出了显著的增产效果。

2) 有机无机肥配合施用能显著提高玉米养分含量,与 CK 相比,籽粒含氮量提高了 26.92% ~ 38.35%,含磷量提高了 20.36% ~ 34.68%,含钾量提高了 9.49% ~ 15.89%;秸秆含氮量提高了 31.43% ~ 72.06%,含磷量提高了 40.00% ~ 77.78%,含钾量提高了 20.76% ~ 35.13%。

3) 有机无机肥配合施用能显著提高玉米养分吸收量,与 CK 相比,植株总吸氮量提高了 161.27% ~ 302.74%,其中籽粒吸氮量提高了 161.75% ~ 271.54%,秸秆吸氮量提高了 160.30% ~ 364.98%;植株总吸磷量提高了 151.34% ~ 291.28%,其中籽粒吸磷量提高了 148.26% ~ 261.63%,秸秆吸磷量提高了 157.90% ~ 354.35%;植株总吸钾量提高了 136.27% ~ 258.18%,其中籽粒吸钾量提高了 126.21% ~ 211.85%,秸秆吸钾量提高了 139.20%

~ 271.66%。

4) 本试验条件下,不同施肥处理的氮肥利用率为 14.47% ~ 20.74%,氮肥偏生产力为 11.06 ~ 25.69 kg·kg⁻¹,氮肥农学效率为 3.04 ~ 11.40 kg·kg⁻¹,氮肥生理效率为 20.08 ~ 56.63 kg·kg⁻¹,总体都比较低,主要原因是有机肥当季利用率低,对氮素总量贡献小。

参 考 文 献:

- [1] 甘肃省土壤普查办公室.甘肃土壤[M].北京:中国农业出版社,1993.
- [2] 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.
- [3] Loupassaki M H, Chartzoulakis K S, Digalaki N B, et al. Effects of salt stress on concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and sodium in leaves, shoots, and roots of six olive cultivars[J]. J Plant Nutr, 2002, 25(11): 2457-2482.
- [4] 郝晋珉,魏小静,牛灵安.盐渍土利用过程中土壤磷素的累积与利用[J].中国农业大学学报,1997,2(3): 69-72.
- [5] 谢承陶.盐渍土改良原理与作物抗性[M].北京:中国农业科技出版社,1993.
- [6] 黄 强,殷志刚,田长彦,等.施有机肥条件下的土壤溶液盐分变化动态[J].干旱区研究,2001,18(1): 53-56.
- [7] 邵翻身,崔志祥,樊润威,等.有机物料对盐碱化土壤的改良作用[J].土壤通报,1997,28(1): 9-11.
- [8] 杨劲松,陈德明,沈其荣.作物抗盐机制研究Ⅱ.小麦对盐分离子的吸收与运移[J].土壤学报,2002,39(5): 759-762.
- [9] 侯振安,李品芳,龚元石.盐渍土壤环境对羊草生长与养分吸收的效应[J].石河子大学学报(自然科学版),2001,5(1): 6-10.
- [10] 苏国兴.盐胁迫下桑树无机营养元素的消长变化[J].江苏农业科学,2002,(5): 61-63.
- [11] 阎顺国.碱茅营养吸收对盐胁迫及渗透胁迫的反应[J].草业学报,1995,4(2): 66-70.
- [12] 石应福,常淑平.碱茅营养元素吸收量与土壤含盐量的相关分析[J].甘肃农业大学学报,1990,25(3): 313-316.
- [13] 宁建凤,郑青松,刘兆普,等.外源氮对盐胁迫下库拉索芦荟幼苗生长和养分含量的影响[J].园艺学报,2005,32(4): 663-668.
- [14] 晁 赢,李絮花,赵秉强,等.有机无机肥料长期配施对作物产量及氮素吸收利用的影响[J].山东农业科学,2009,(3): 71-75.
- [15] 李冬初,李菊梅,徐明岗,等.有机无机肥配施对红壤稻田氮素形态及水稻产量的影响[J].湖南农业科学,2004,(3): 23-25, 31.
- [16] 李 伟,戴亨林,蔡国学.有机-无机复混肥料的肥料效应初探[J].磷肥与复肥,2003,18(6): 67-69.