

doi:10.7668/hbxb.2014.06.035

滨海盐碱地玉米施肥效应及土壤供肥潜力研究

潘洁¹,肖辉¹,王立艳¹,程文娟¹,于彩虹¹,陆文龙²

(1. 天津市农业资源与环境研究所,天津 300192;2. 天津市农业科学院,天津 300192)

摘要:在典型滨海盐碱地区,采用随机区组试验设计,研究了玉米需肥特性、施肥效应及土壤供肥能力,以期为滨海盐碱地区合理施肥提供参考。结果表明,玉米籽粒养分含量平均为:N 1.224%, P_2O_5 0.480%, K_2O 0.377%;秸秆养分含量平均为:N 0.820%, P_2O_5 0.142%, K_2O 2.552%;生产 100 kg 经济产量所需养分量平均为:N 1.92 kg, P_2O_5 0.60 kg, K_2O 2.55 kg。肥料增产率高低顺序为氮肥(44.39%)>磷肥(13.79%)>钾肥(6.55%);每千克氮、磷、钾肥可分别增产 9.44,8.38,2.83 kg 籽粒;玉米氮、磷、钾肥当季利用率分别为 19.96%,5.60%,30.64%。通过建立玉米施肥效应模型,获得本试验条件下最佳经济施肥量为氮(N)348.5 kg/hm²、磷(P_2O_5)133.6 kg/hm²、钾(K_2O)19.1 kg/hm²。本试验条件下土壤氮、磷、钾养分校正系数分别为 52.06%,190.30%,32.67%;氮、磷、钾肥相对产量分别为 69.26%,87.88%,93.85%,土壤养分丰缺程度氮处于低水平,磷、钾处于中等水平,高低顺序为钾肥>磷肥>氮肥。因此,滨海盐碱地区玉米施肥应重视氮、磷肥的施用,不施或少施钾肥,即可获得高产并取得较高的经济效益。

关键词:滨海盐碱地;玉米;肥料效应;土壤供肥能力

中图分类号:S158.5 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2014)06-0208-06

Study on Fertilization Effects on Maize and Soil Nutrient Supply Capacity in Coastal Saline Areas

PAN Jie¹,XIAO Hui¹,WANG Li-yan¹,CHENG Wen-juan¹,YU Cai-hong¹,LU Wen-long²

(1. Tianjin Institute of Agricultural Resources and Environment, Tianjin 300192, China;

2. Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300192, China)

Abstract: Based on randomized block experimental design, the nutrient absorption characteristics of maize, fertilization effects and soil nutrients supply capacity were investigated in order to provide reference for rational fertilization in coastal saline areas. The results showed that N, P_2O_5 and K_2O contents of maize grain were 1.224%, 0.480%, 0.377%, respectively; and the N, P_2O_5 , K_2O contents of straw were 0.820%, 0.142%, 2.552%, respectively. N, P and K amounts required per 100 kilogram economic outputs of maize were 1.92, 0.60, 2.55 kg, respectively. The maize yield increment rates by the application of N, P, K fertilizer were separately 44.39%, 13.79%, 6.55%, and the maize yield increment per kilogram of N, P, K were separately 9.44, 8.38, 2.83 kg. Fertilization effect on maize yield showed the trend of N > P > K. Fertilizer usage efficiency of N, P, K fertilizer were separately 19.96%, 5.60%, 30.64% under this experimental condition. The equation of fertilization effects on maize was obtained by mathematic simulation, and the optimum economic amounts of N(N), P(P_2O_5), K(K_2O) were 348.5, 133.6, 19.1 kg/ha, respectively. Soil nutrient correction coefficients of N, P, K were 52.06%, 190.30%, 32.67%, respectively. The relative yields of N, P, K were 69.26%, 87.88%, 93.85%, respectively. The experimental results indicated that soil N supply capacity was low, soil P, soil K supply capacity were at the medium level. The order from high to low was K > P > N. Therefore, in the coastal saline maize fertilization process, we should pay attention to nitrogen, phosphate fertilizer application, reducing the amount of potash, in order to obtain high yield and get higher economic efficiency.

收稿日期:2014-09-07

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAD05B08);天津市科技支撑计划项目(13ZCZDNC09900)

作者简介:潘洁(1968-),女,江苏溧阳人,副研究员,主要从事盐碱区土壤改良研究。

通讯作者:陆文龙(1964-),男,江苏苏州人,研究员,博士,主要从事盐碱区水土利用及生态恢复研究。

Key words: Coastal saline soil; Maize; Fertilization effects; Soil nutrient supply capacity

全世界盐渍土面积约为 $9.5438 \times 10^8 \text{ hm}^2$,我国各类盐渍土总面积约 $0.99 \times 10^8 \text{ hm}^2$,滨海盐渍土分布在长达 18 000 km 的海岸线上^[1],是盐渍土的重要类型,它的合理利用关系到国家粮食及生态安全^[1-2],但由于盐碱含量高、淡水资源缺乏、地下水位高,土壤质量差等不利因素影响^[3],致使滨海盐碱地区可种作物不多、产量低、效益差,属于典型的中低产田。当前针对滨海盐碱地的研究主要集中在土壤改良^[4-6]及生态建设方面^[7-8],而对于滨海盐碱地作物养分需求、土壤养分特征及供肥潜力等方面的报道较少。

玉米耐盐碱能力较强^[9],且生长期正处于雨季,是滨海盐碱地区主要的粮食作物。一般生长期短,生物量大,对养分的需求量也大^[10-11],但由于盐碱土壤养分失衡、农民施肥结构不合理,影响了玉米产量的提高,降低了施肥效益。本研究以典型滨海盐碱地为研究对象,研究其土壤供肥潜力、玉米需肥特性及施肥效应,为滨海盐碱地区玉米科学施肥和农业可持续发展提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验设在天津滨海新区大港农场,地处北纬 $38^\circ 44' 15''$,东经 $117^\circ 13' 48''$,该地区属温带大陆性季

风气候,滨海冲积平原,全年平均气温 12°C ,无霜期 7 个月。年降雨量 570 ~ 690 mm,但分布不均,70% 集中在 6 - 8 月份,年均蒸发量 1 100 mm。地下水位 0.9 ~ 1.5 m。试验田土壤属中壤土,试验前基本性状为:有机质 14.96 g/kg、全氮 1.06 g/kg、碱解氮 95.55 mg/kg、有效磷 4.80 mg/kg、速效钾 199.0 mg/kg、全盐 2.11 g/kg、pH 值 8.45。

1.2 试验材料

玉米供试品种为郑单 958,每小区留苗 43 株,折合密度为 54 000 株/ hm^2 ,2013 年 7 月 13 日播种,11 月 5 日收获,全小区计产,采集分析样品。试验田按北方正常玉米试验地管理方法管理。

1.3 试验设计

试验采用随机区组试验设计,设氮、磷、钾三因素,每个因素分 4 个水平,分别为 0、1、2、3 水平,0 水平指不施肥,2 水平指当地近似最佳施肥量,1 水平 = 2 水平 $\times 0.5$,3 水平 = 2 水平 $\times 1.5$,共 14 个处理。在本次试验中确定玉米 2 水平用量为:氮 (N) 270 kg/ hm^2 、磷 (P_2O_5) 90 kg/ hm^2 、钾 (K_2O) 200 kg/ hm^2 ,肥料品种为尿素 (N 46%)、过磷酸钙 (P_2O_5 12%)、硫酸钾 (K_2O 50%),磷、钾肥全部基施,氮肥 50% 基施,50% 喇叭口期追施。小区面积 2 m \times 4 m = 8 m^2 ,小区间隔 1 m,各处理重复 3 次。

表 1 玉米试验方案

Tab. 1 Experiment design of maize

| 试验处理 Treatment | 因子水平码值 Factor code | | | 施肥量/(kg/ hm^2) Application rates of fertilizer | | |
|---|-----------------------|------------------------|----------------------|---|------------------------|----------------------|
| | N | P_2O_5 | K_2O | N | P_2O_5 | K_2O |
| 1 ($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 ($\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$) | 0 | 2 | 2 | 0 | 120 | 180 |
| 3 ($\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$) | 1 | 2 | 2 | 135 | 120 | 180 |
| 4 ($\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$) | 2 | 0 | 2 | 270 | 0 | 180 |
| 5 ($\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$) | 2 | 1 | 2 | 270 | 60 | 180 |
| 6 ($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$) | 2 | 2 | 2 | 270 | 120 | 180 |
| 7 ($\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$) | 2 | 3 | 2 | 270 | 180 | 180 |
| 8 ($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_0$) | 2 | 2 | 0 | 270 | 120 | 0 |
| 9 ($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$) | 2 | 2 | 1 | 270 | 120 | 90 |
| 10 ($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$) | 2 | 2 | 3 | 270 | 120 | 270 |
| 11 ($\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$) | 3 | 2 | 2 | 405 | 120 | 180 |
| 12 ($\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_2$) | 1 | 1 | 2 | 135 | 60 | 180 |
| 13 ($\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_1$) | 1 | 2 | 1 | 135 | 120 | 90 |
| 14 ($\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_1$) | 2 | 1 | 1 | 270 | 60 | 90 |

1.4 样品分析及数据处理

土壤有机质采用重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定法;土壤全氮采用半微量凯氏法;土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;土壤速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法;土壤全盐采用烘干质量法;pH 值采用玻璃电极法。植物样品经硫酸、双氧水消煮后,凯氏定氮法测氮,钒钼黄吸光度法测磷,火焰光度法测钾。

数据统计采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件进行分析。

1.5 相关计算公式

肥料增产率 = [NPK 施肥小区作物产量 (kg/hm²) - 缺 N/P/K 肥小区作物产量 (kg/hm²)] / 缺 N/P/K 肥小区作物产量 (kg/hm²) × 100% ①

其中, NPK 施肥小区对应表 1 中处理 6; 缺 N/P/K 肥小区对应表 1 中处理 2、4、8, 下同。

单位肥料用量增产量 (kg) = [NPK 施肥小区作物产量 (kg/hm²) - 缺 N/P/K 肥小区作物产量 (kg/hm²)] / 肥料用量 (kg/hm²) ②

肥料利用率 = [NPK 施肥小区作物吸收养分量 (kg/hm²) - 缺 N/P/K 肥小区作物吸收养分量 (kg/hm²)] / 肥料养分使用量 (kg/hm²) × 100% ③

土壤地力贡献率 = 无施肥小区作物产量 (kg/hm²) / NPK 施肥小区产量 (kg/hm²) × 100% ④

其中, 无施肥小区对应表 1 中处理 1。

相对产量 = 缺 N/P/K 肥小区产量 (kg/hm²) / NPK 施肥小区产量 (kg/hm²) × 100% ⑤

土壤养分校正系数 = 缺 N/P/K 肥小区作物地

上部分吸收该元素量 (kg/hm²) / [该元素土壤测定值 (mg/kg) × 2.25] × 100% ⑥

其中, 2.25 为公式校正系数。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对玉米生物量及地上部养分含量的影响

滨海盐碱地玉米产量高低与施肥密切相关(表 2), 各处理籽粒产量高低顺序为 11 (N₃P₂K₂) > 7 (N₂P₃K₂) > 6 (N₂P₂K₂) > 10 (N₂P₂K₃) > 9 (N₂P₂K₁) > 8 (N₂P₂K₀) > 5 (N₂P₁K₂) > 14 (N₂P₁K₁) > 4 (N₂P₀K₂) > 3 (N₁P₂K₂) > 13 (N₁P₂K₁) > 12 (N₁P₁K₂) > 2 (N₀P₂K₂) > 1 (N₀P₀K₀)。处理 1 (N₀P₀K₀) 产量最低, 与全肥处理 6 (N₂P₂K₂) 相比减产 32.19%, 差异达显著水平, 且除与处理 2 差异不显著外, 与其他处理相比差异均达显著水平; 在施肥处理中缺氮处理 2 (N₀P₂K₂) 产量最低, 与全肥处理 6 (N₂P₂K₂) 相比减产 30.74%, 且与其他施肥处理(处理 3 至处理 14) 相比差异也均达显著水平。表明滨海盐碱地区不施肥或不施氮肥无法获得高产。处理 2、3、6、11 的籽粒产量随施氮量的增大产量逐渐升高, 且处理 3、6、11 分别比不施氮处理 2 高出 24.28%, 44.39%, 46.74%, 差异均达显著水平, 处理 3 与处理 6、11 之间差异也达显著水平, 处理 6、11 之间差异不显著, 表明盐碱地区施氮可显著提高玉米产量, 但当施氮量达到一定高度时再增加氮肥用量, 增产效果会降低。处理 4、5、6、7 随施磷量的增加, 玉米籽粒产量

表 2 玉米生物量与地上部养分含量

Tab. 2 Maize biomass and nutrient concentration

| 处理 Treatment | 籽粒产量 /(kg/hm ²) Grain yield | 秸秆量 /(kg/hm ²) Straw yield | 籽粒养分含量/% Nutrient concentration of grain | | | 秸秆养分含量/% Nutrient concentration of straw | | |
|--|---|--|---|-------------------------------|------------------|---|-------------------------------|------------------|
| | | | | | | | | |
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| 1 (N ₀ P ₀ K ₀) | 5 625 ± 240g | 4 956 ± 248g | 1.137 | 0.478 | 0.416 | 0.758 | 0.141 | 2.206 |
| 2 (N ₀ P ₂ K ₂) | 5 745 ± 255g | 5 389 ± 269fg | 1.205 | 0.477 | 0.367 | 0.793 | 0.187 | 2.964 |
| 3 (N ₁ P ₂ K ₂) | 7 140 ± 193ef | 5 843 ± 293ef | 1.209 | 0.502 | 0.359 | 0.700 | 0.135 | 2.681 |
| 4 (N ₂ P ₀ K ₂) | 7 290 ± 155de | 6 295 ± 315de | 1.234 | 0.494 | 0.383 | 0.735 | 0.176 | 2.431 |
| 5 (N ₂ P ₁ K ₂) | 7 740 ± 126bc | 6 427 ± 322cd | 1.251 | 0.493 | 0.373 | 0.819 | 0.130 | 2.339 |
| 6 (N ₂ P ₂ K ₂) | 8 295 ± 309a | 7 171 ± 359ab | 1.265 | 0.545 | 0.419 | 0.849 | 0.120 | 2.742 |
| 7 (N ₂ P ₃ K ₂) | 8 415 ± 167a | 7 260 ± 363a | 1.247 | 0.451 | 0.364 | 0.886 | 0.125 | 2.994 |
| 8 (N ₂ P ₂ K ₀) | 7 785 ± 193bc | 6 227 ± 312de | 1.235 | 0.528 | 0.371 | 0.881 | 0.125 | 2.366 |
| 9 (N ₂ P ₂ K ₁) | 7 950 ± 208b | 6 284 ± 314de | 1.219 | 0.488 | 0.403 | 0.922 | 0.141 | 2.094 |
| 10 (N ₂ P ₂ K ₃) | 8 265 ± 165a | 6 722 ± 336bcd | 1.228 | 0.460 | 0.367 | 0.919 | 0.146 | 2.549 |
| 11 (N ₃ P ₂ K ₂) | 8 430 ± 250a | 6 911 ± 346abc | 1.269 | 0.478 | 0.360 | 0.841 | 0.136 | 2.659 |
| 12 (N ₁ P ₁ K ₂) | 6 990 ± 110f | 6 352 ± 318de | 1.252 | 0.495 | 0.387 | 0.765 | 0.143 | 2.879 |
| 13 (N ₁ P ₂ K ₁) | 7 125 ± 154ef | 6 270 ± 314df | 1.211 | 0.409 | 0.348 | 0.854 | 0.124 | 2.314 |
| 14 (N ₂ P ₁ K ₁) | 7 575 ± 274cd | 6 359 ± 318de | 1.168 | 0.425 | 0.366 | 0.763 | 0.158 | 2.511 |

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 (P < 0.05)。

Note: Different small letters after the data within the same column mean significant difference (P < 0.05).

也逐渐提高,处理 5、6、7 分别比不施磷处理 4 高出 6.17%、13.79%、15.43%,且与处理 4 之间差异均达显著水平,处理 5 与处理 6、7 之间差异也达显著水平,但处理 6、7 之间差异不显著,表明适量施用磷肥也可显著提高玉米产量,但用量过高,增产效果也会下降。处理 8、9、6、10 随施钾量的增大,玉米籽粒产量也有上升趋势,处理 9、6、10 分别比不施钾处理 8 高出 2.12%、6.55%、6.17%,处理 8、9 之间、6、10 之间差异均不显著,6、10 与 8、9 之间差异达显著水平,表明施钾也能增加玉米产量,但增产效果远低于氮、磷肥。在所有处理中 11(N₃P₂K₂)、7(N₂P₃K₂)、6(N₂P₂K₂)、10(N₂P₂K₃)产量较高,但四者之间差异不显著,表明氮磷钾肥合理配施可获得较高的玉米产量,但氮、磷、钾施用量过大时,产量增加也不明显。

不同处理玉米秸秆量与籽粒产量变化趋势基本一致,无肥处理 1(N₀P₀K₀)最低,7(N₂P₃K₂)、6

(N₂P₂K₂)、11(N₃P₂K₂)秸秆量较高。

由于施肥模式不同,玉米籽粒和秸秆养分含量也略有不同,籽粒养分含量变化范围为(N):1.137%~1.269%;磷(P₂O₅):0.409%~0.545%;钾(K₂O):0.348%~0.419%,平均含量 N:1.224%,P₂O₅:0.480%,K₂O:0.377%;秸秆养分含量变化范围为(N):0.700%~0.922%;磷(P₂O₅):0.120%~0.187%;钾(K₂O):2.094%~2.994%,平均含量 N:0.820%,P₂O₅:0.142%,K₂O:2.552%。

2.2 玉米需肥特性及 100 kg 经济产量所需养分量

不同施肥处理生物量大小不同,地上部所带走的养分含量多少也有差别(表 3),生物量越大,带走的养分量也就越大。同样由于受施肥水平和施肥模式的影响,各处理 100 kg 经济产量所需的养分量也略有不同,变化范围为氮(N):1.78~2.01 kg;磷(P₂O₅):0.52~0.65 kg;钾(K₂O):2.06~3.15 kg;平均需养分量 N:1.92 kg,P₂O₅:0.60 kg,K₂O:2.55 kg。

表 3 玉米需肥特性

Tab.3 Fertilizer demand characteristics of maize

| 处理 Treatment | 地上部带走总养分量/(kg/hm ²) The amounts of nutrient absorbed by subaerial parts of maize | | | 100 kg 经济产量所需养分/kg Nutrients requirement for 100 kg maize grain yield | | |
|---|--|-------------------------------|------------------|---|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| 1(N ₀ P ₀ K ₀) | 101.5 | 33.9 | 132.7 | 1.80 | 0.60 | 2.36 |
| 2(N ₀ P ₂ K ₂) | 111.9 | 37.5 | 180.7 | 1.95 | 0.65 | 3.15 |
| 3(N ₁ P ₂ K ₂) | 127.2 | 43.7 | 182.3 | 1.78 | 0.61 | 2.55 |
| 4(N ₂ P ₀ K ₂) | 136.2 | 47.1 | 181.0 | 1.87 | 0.65 | 2.48 |
| 5(N ₂ P ₁ K ₂) | 149.5 | 46.5 | 179.2 | 1.93 | 0.60 | 2.32 |
| 6(N ₂ P ₂ K ₂) | 165.8 | 53.8 | 231.4 | 2.00 | 0.65 | 2.79 |
| 7(N ₂ P ₃ K ₂) | 169.3 | 47.0 | 248.0 | 2.01 | 0.56 | 2.95 |
| 8(N ₂ P ₂ K ₀) | 151.0 | 48.9 | 176.2 | 1.94 | 0.63 | 2.26 |
| 9(N ₂ P ₂ K ₁) | 154.9 | 47.7 | 163.6 | 1.95 | 0.60 | 2.06 |
| 10(N ₂ P ₂ K ₃) | 163.3 | 47.8 | 201.7 | 1.98 | 0.58 | 2.44 |
| 11(N ₃ P ₂ K ₂) | 164.9 | 49.6 | 214.1 | 1.96 | 0.59 | 2.54 |
| 12(N ₁ P ₁ K ₂) | 136.1 | 43.7 | 209.9 | 1.95 | 0.62 | 3.00 |
| 13(N ₁ P ₂ K ₁) | 139.8 | 36.9 | 169.9 | 1.96 | 0.52 | 2.38 |
| 14(N ₂ P ₁ K ₁) | 137.0 | 42.2 | 187.4 | 1.81 | 0.56 | 2.47 |

2.3 玉米肥料效应及施肥模型

滨海盐碱地玉米肥料效应见表 4,将表 2 相关数据代入公式①即得不同肥料的增产率,本试验肥料增产率氮肥(44.39%)>磷肥(13.79%)>钾肥

(6.55%),表明滨海盐碱地区玉米氮肥增产效果最为明显,磷、钾肥次之。将表 1、2 相关数据代入公式②即得不同肥料每千克养分的增产量,本试验每千克氮增产 9.44 kg 籽粒,每千克磷增产 8.38 kg 籽粒,

表 4 玉米肥料效应

Tab.4 Fertilizer response of maize

| 项目 Item | 氮肥 N fertilizer | 磷肥 P fertilizer | 钾肥 K fertilizer |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| 肥料增产率/% Yield increment rates of fertilizer | 44.39 | 13.79 | 6.55 |
| 每千克养分增产量/kg Yield increment of per kilogram fertilizer | 9.44 | 8.38 | 2.83 |
| 肥料利用率/% Fertilizer usage efficiency | 19.96 | 5.60 | 30.64 |

每千克钾增产 2.83 kg 籽粒,表明单位质量养分氮、磷增产效果较好,钾肥效果较差。将表 1,3 相关数据代入公式③即得不同肥料利用率,本试验条件下处理 6(N₂P₂K₂) 玉米氮肥当季利用率为 19.96%,磷肥利用率为 5.60%,钾肥利用率为 30.64%。

以氮、磷、钾施用量为自变量,产量为因变量,进行多元二次逐步回归分析,剔除显著性较差项后得到优化回归模型如下:

$$Y = 5\,619.2 + 9.360N + 2.228P - 0.016\,2N^2 - 0.011\,8P^2 - 0.001\,4K^2 + 0.022\,0NP + 0.007\,5NK + 0.002\,0PK, (R = 0.998\,2)。$$

利用该回归模型可得出该试验区最高产量可达 9 177.9 kg/hm²,对应的氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)施用量分别为 405,180,270 kg/hm²。代入肥料及玉米价格(N:4.35 元/kg;P₂O₅:6.25 元/kg;K₂O:7.2 元/kg;玉米籽粒:2.2 元/kg),可获得本试验条件下最佳经济施肥量,氮(N):348.5 kg/hm²、磷(P₂O₅):133.6 kg/hm²、钾(K₂O):19.1 kg/hm²,产量为 8 079 kg/hm²。最佳经济施肥量受肥料及玉

米价格的影响,不同年份、不同地区会有差异,应根据实际情况,进行适当调整。

2.4 盐碱土壤供肥能力

将无肥区 1(N₀P₀K₀)产量与全肥区 6(N₂P₂K₂)产量代入公式④,即得本试验条件下土壤地力贡献率为 67.81%,表明玉米一半以上的产量可由土壤养分提供。

土壤养分丰缺状况可采用相对产量来表达,分级标准是:相对产量 < 50% 为“极低”,相对产量在 50% ~ 75% 之间为“低”,相对产量在 75% ~ 95% 之间为“中”,相对产量 > 95% 为“高”。利用公式⑤可计算本次试验氮、磷、钾肥的相对产量(表 5),结果表明,土壤氮丰缺程度处于低水平,磷、钾均处于中等水平,高低顺序为钾肥 > 磷肥 > 氮肥。

土壤供肥量的高低与土壤速效养分含量及土壤养分校正系数有关,即可以利用土壤速效养分测定值乘以校正系数来表征土壤“真实”的供肥能力。利用公式⑥,可获得本次玉米试验土壤氮、磷、钾养分校正系数分别为 52.06%,190.30%,32.67%。

表 5 土壤供肥能力

Tab.5 Soil nutrient supply capacity

| 项目 Item | 氮肥 N fertilizer | 磷肥 P fertilizer | 钾肥 K fertilizer |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| 相对产量/% Relative yields | 69.26 | 87.88 | 93.85 |
| 丰缺分级 Nutrient supply capacity | 低 | 中 | 中 |
| 土壤养分校正系数/% Soil nutrient correction coefficients | 52.06 | 190.30 | 32.67 |

3 结论与讨论

滨海盐碱地由于土壤盐碱且结构差,对玉米的萌发及生长均产生一定的抑制作用。首先,土壤盐碱含量高,种子萌发过程中吸水困难,致使种子萌花时间长且出苗率低;其次,玉米在生长过程中,由于土壤溶液渗透势低,根系吸水困难,尤其遇到干旱,更易缺水枯萎;再次,土壤碱性高,土壤中磷、铁、钙等元素容易被土壤固定,不易吸收利用,玉米容易缺素,致使生长受到抑制。因此,盐碱地区玉米产量及生物量与非盐碱地区相比偏低^[12],肥料效应较差。

虽然肥料效应偏低,但滨海盐碱地区施肥仍能明显提高玉米产量,本试验条件下,全肥区 6 与不施肥 1 相比产量能提高 47.47%;在施肥处理中,以不施氮肥产量最低,与全肥区相比减产 30.74%,且不施氮肥处理与其他处理相比差异也均达显著水平,表明在滨海盐碱地区进行合理施肥,且重视氮肥的施用,也能获得较高的玉米产量^[13]。

玉米需肥特性因不同品种、不同地区会有一定的差异^[14],在本试验条件下,玉米地上部养分分析

表明,籽粒平均养分含量为:N:1.224%,P₂O₅:0.480%,K₂O:0.377%;秸秆养分含量平均为:N:0.820%,P₂O₅:0.142%,K₂O:2.552%。生产 100 kg 经济产量所需平均养分量为:N:1.92 kg,P₂O₅:0.60 kg,K₂O:2.55 kg。

肥料效应的高低受作物品种、肥料品种及使用量、土壤养分供应量、水热条件、日常管理等因素的影响^[15],本试验条件下,全肥区 6(N₂P₂K₂)肥料增产率高低顺序为氮肥(44.39%) > 磷肥(13.79%) > 钾肥(6.55%);每千克氮增产 9.44 kg 籽粒,每千克磷增产 8.38 kg 籽粒,每千克钾增产 2.83 kg 籽粒。滨海盐碱地区土壤缺氮少磷、钾丰富,因此,施用氮、磷肥增产效果较好,钾肥效果较差。本试验中玉米氮肥当季利用率为 19.96%,磷肥利用率为 5.60%,钾肥利用率为 30.64%。氮、磷利用率较低原因可能为:盐碱地土质较差,限制了玉米产量的提高,降低了玉米吸收量;玉米季水热同期,肥料养分流失量大;土壤盐碱,降低了肥料有效性,磷肥尤为突出;肥料使用量较大。因此,在滨海盐碱地区玉米季施肥应重视氮磷的施用,降低钾肥施用比例;重视缓释肥

料或增效肥料的施用,降低总养分投入量。

土壤供肥能力大小可由作物相对产量及土壤养分校正系数来表征^[16],本次试验氮、磷、钾肥的相对产量分别为 69.26%,87.88%,93.85%,土壤养分丰缺程度氮处于低水平,磷、钾均处于中等水平,高低顺序为钾肥>磷肥>氮肥,也进一步说明,盐碱地施用氮、磷肥增产效果较好,钾肥增产效果较差。经计算,本试验条件下土壤氮、磷、钾养分校正系数分别为 52.06%,190.30%,32.67%,可为本地区配方施肥提供依据。

通过多元二次逐步回归分析,建立了优化回归模型。依据模型,得出该试验区最高产量可达 9 177.9 kg/hm²,对应的氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)施用量分别为 405,180,270 kg/hm²;最佳经济施肥量为氮(N):348.5 kg/hm²、磷(P₂O₅):133.6 kg/hm²、钾(K₂O):19.1 kg/hm²,产量为 8 079 kg/hm²。最高产量时,施肥过大,容易造成养分流失,环境污染,且经济效益低,因此,不建议采用。最佳经济施肥量经济效益高,环境污染风险小,可作为本地区玉米施肥的参考。

参考文献:

- [1] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993:1-4,322-375.
- [2] 郭爱娟,刘存歧,王军霞,等.土地利用方式对滨海盐碱地土壤性质的影响[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2013,30(1):95-100.
- [3] 李建华,刘仲齐.天津滨海地区可持续发展的生态建设策略[J].天津农业科学,2008,14(6):1-5.
- [4] 陈志鸿,胡勇军,郭继勋.生物、化学改良对重度盐碱化草地土壤水分特征影响的比较研究[J].东北师范大学学报:自然科学版,2002,34(3):92-97.
- [5] 李跃进,苗青旺,陈昌和,等.土壤碱化和化学改良对土壤团粒结构的影响[J].干旱区资源与环境,2006,20(1):136-139.
- [6] 肖 辉,潘 洁,程文娟,等.咸水结冰灌溉与覆膜对滨海盐土水盐动态的影响[J].水土保持学报,2011,25(1):180-183,187.
- [7] 王文杰,贺海升,祖元刚,等.施加改良剂对重度盐碱地盐碱动态及杨树生长的影响[J].生态学报,2009,29(5):2272-2278.
- [8] 张立宾,宋日荣,吴 霞.柽柳的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果研究[J].安徽农业科学,2008,36(13):5424-5426.
- [9] 童文杰,陈中督,陈 阜,等.河套灌区玉米耐盐性分析及生态适宜区划分[J].农业工程学报,2012,28(10):131-137.
- [10] 张效朴,詹其厚.淮北砂姜黑土区玉米高产施肥的理论与实践[J].土壤,1998,30(4):198-204.
- [11] 杨安贵,陈国惠,冯 丽,等.玉米精量节肥防治面源污染高产栽培模式的研究[J].中国生态农业学报,2004,12(4):145-148.
- [12] 高 伟,金继运,何 萍,等.我国北方不同地区玉米养分吸收及累积动态研究[J].植物营养与肥料学报,2008(4):623-629.
- [13] 宇万太,姜子绍,马 强,等.不同施肥制度对作物产量及土壤磷素肥力的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(5):885-889.
- [14] 詹其厚,王慎强,周 静,等.沿淮低洼地玉米施肥效应与土壤供肥能力研究[J].土壤通报,2011,44(6):1415-1419.
- [15] 房 杰,邱 萍,岳惠玲,等.提高肥料利用率的因素与对策[J].现代农业科技,2010(15):321,323.
- [16] 詹其厚,陈 杰.淮北变性土区夏玉米对氮磷钾肥的响应特点研究[J].土壤通报,2007,38(3):491-494.