文章编号:1000-7601(2020)02-0221-06 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2020.02.31

氮、磷、钾及其配施对制种玉米养分吸收利用的影响

郭世乾[1],崔增团[1],师伟杰[2],程红玉[3],肖 让[4],
肖占文[3],赵芸晨[3],曹建祖[3]

(1. 甘肃省耕地质量建设保护总站,甘肃 兰州 730020;2.张掖市甘州区农业技术推广中心,甘肃 张掖 734000;
3.河西学院农业与生态工程学院,甘肃 张掖 734000,4.河西学院土木工程学院,甘肃 张掖 734000)

摘 要:采用随机区组试验,设不施肥(CK)、缺氮(PK,P_2O_5:K20=138:72)、缺磷(NK,N:K_20=448.5:72)、缺钾(NP,N:P_2O_5=448.5:138)、氮磷钾配施(N:P_2O_5:K_2O=448.5:138:72)5 个处理,研究河西地区氮、磷、钾及其配施对制种玉米养分吸收、肥料利用率和产量的影响。结果表明:氮磷钾配施(NPK)对制种玉米生物量的累积有明显促进作用,增产效果显著,产量达到 9 834.0 kg·hm^{-2},缺氮(PK)、缺磷(NK)、缺钾(NP)处理产量分别较氮磷钾配施(NPK)降低 6.06%、10.07%和 4.88%。产量的主要限制因子依次为磷、氮和钾。氮磷钾配施处理的氮、磷、钾肥料利用率分别为 22.64%、26.82%和 60.10%,氮、磷、钾肥农学效率分别为 N 1.33 kg·kg^{-1},P_2O_5 7.17 kg·kg^{-1},K_2O 6.66 kg·kg^{-1}。因此,河西地区制种玉米生产中应重视磷、钾肥的施用,加强氮肥的节肥增效管理。

关键词:制种玉米;氮、磷、钾肥;配施;产量;肥料利用率

中图分类号:S365;S513 **文献标志码**:A

Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and their combined application on nutrient absorption and utilization of seed maize

GUO Shiqian[1], CUI Zengtuan[1], SHI Weijie[2], CHENG Hongyu[3], XIAO Rang[4],
XIAO Zhanwen[3], ZHAO Yunchen[3], CAO Jianzu[3]

(1. *Cultivated Land Quality and Construction Protection Station of Gansu, Lanzhou, Gansu* 730020, *China*;
2. *Zhangye Ganzhou District Agricultural Technology Promotion Center, Zhangye, Gansu* 734000, *China*;
3. *College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye, Gansu* 734000, *China*;
4. *Civil Engineering College, Hexi University, Zhangye, Gansu* 734000, *China*)

Abstract: A randomized block experiment was conducted to study the effects of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) and their combined application on nutrient absorption, fertilizer utilization efficiency, and yield of seed maize production. The experiment included no fertilizer (CK), N deficiency (PK), P deficiency (NK), K deficiency (NP), combination N, P, and K (NPK). The results showed that the combined N, P, and K application obviously promoted biomass accumulation and yield of maize seed production, the yield of NPK treatment reached 9 834.0 kg·hm^{-2}, the yields of N deficiency (PK), P deficiency (NK), and K deficiency (NP) treatments decreased by 6.06%, 10.07%, and 4.88%, respectively, compared with NPK treatment. The limiting factors of yield were P, N, and K in order. The utilization efficiency of N, P, and K fertilizer under NPK treatment were 22.64%, 26.82%, and 60.10%, respectively. The agronomic efficiency of N, P, and K fertilizer was 1.33 kg·kg^{-1} of N, 7.17 kg·kg^{-1} of P_2O_5, and 6.66 kg·kg^{-1} of K_2O, respectively. Therefore, we should pay attention to the application of P and K fertilizer and strengthen the management of N fertilizer for maize seed production in

收稿日期:2019-06-13 **修回日期**:2019-12-20

基金项目:国家自然科学基金(41867010);校地合作横向课题(H2018005);甘肃省高等学校科研项目(2016A-078)

作者简介:郭世乾(1980-),男,甘肃永昌人,高级农艺师,主要从事耕地建设与管理、土肥水技术推广研究。E-mail:58719422@qq.com

通信作者:崔增团(1963-),男,陕西华阴人,推广研究员,主要从事耕地质量管理与建设、土壤肥料技术的应用推广和研究。E-mail:gsnywater@163.com

Hexi region.

Keywords: maize seed production; N, P, K fertilizer; combined application of fertilizer; yield; fertilizer utilization efficiency

甘肃省河西地区光照资源充足,昼夜温差大,灌溉农业发达,凭借优越的地理位置和得天独厚的自然条件,已成为全国最大的玉米制种主产区,生产了全国 50%以上的玉米良种[1]。随着制种玉米规模的不断扩大,连作现象非常普遍,导致土壤养分失衡,供肥能力不断下降,农民为了追求高产,不断增加施肥量,导致肥料利用率下降,养分流失带来的环境污染加重,种植效益降低[2-3]。

在农户传统的制种玉米生产施肥模式中,存在重氮、磷肥轻钾肥,重化肥轻有机肥,盲目加大施肥量,氮、磷、钾配比不科学,肥料品种较为单一等问题,造成肥料利用率低,土壤养分失衡,土壤面源污染等一系列问题[4]。2015 年国家农业部提出了化肥零增长行动,到 2020 年主要农作物化肥使用量实现零增长,肥料利用率达到 40%以上[5]。近年来,全国范围内开展了大量关于玉米减量增效施肥技术的试验示范和推广工作,为该技术的推广奠定了一定的基础,但关于减量施肥条件下制种玉米肥料利用率研究较少。本研究通过开展田间试验,摸清制种玉米氮、磷、钾吸收及肥料利用率状况,为进一步完善制种玉米化肥减量增效技术施肥指标体系,优化肥料配方提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试肥料:氮肥为尿素,含氮(N) 46%,由张掖新大弓农化公司生产;重过磷酸钙,含磷(P_2O_5) 46%,由昆明红云化工生产有限公司生产;钾肥为硫酸钾,含钾(K_2O) 24%,由张掖新大弓农化公司生产。供试制种玉米品种为郑单 958(母本:郑 58;父本:昌 7-2)。

1.2 试验地概况

试验于 2018 年 4—10 月在张掖市甘州区乌江镇贾寨村冯爱国制种玉米田(39°2′40″N, 100°25′10″E,海拔 1 472 m)进行,土壤类型为盐化潮土。0~20 cm 耕层土壤 pH 为 8.40,有机质含量为 43.9 g·kg^{-1},碱解氮 96.2 mg·kg^{-1},有效磷 42.65 mg·kg^{-1},速效钾 137.35 mg·kg^{-1}。前茬作物为制种玉米。

1.3 试验设计和方法

试验采用随机区组设计方法,设 5 个处理,分别为:不施肥(CK);缺氮(PK);缺磷(NK);缺钾(NP);氮磷钾配施(NPK)(各处理肥料施用量见表 1),氮肥中 30%作为基肥,70%作为追肥,分别在玉米拔节期、大喇叭口期和抽雄后追施,追施比例为 30%、40%和 30%,磷钾肥全部作为基肥,播种前结合整地一次性施入小区。每个处理 3 次重复,共 15 个小区,小区面积 39.2 m^2(长 7.0 m×宽 5.6 m),小区间筑宽 50 cm、高 30 cm 的地埂,四周设保护区。父母本采用满天星配置法,母本采用宽窄行种植方式,膜间宽行行距 60 cm,膜上窄行行距 40 cm,株距 20 cm,种植密度 10×10^4 株·hm^{-2},每小区种 7 膜,每膜种 2 行。于 4 月 21 日播种母本,3 d 后播种第一期父本,5 d 后播种第二期父本。试验期间加强田间管理。

表 1 试验施肥量设计/(kg·hm^{-2})

Table 1 Experimental fertilizer treatment

处理 Treatment	尿素 Urea	过磷酸钙 Calcium superphosphate	硫酸钾 Potassium sulfate	N	P_2O_5	K_20
CK	0	0	0	0.0	0	0
PK	0	300	300	0.0	138	72
NK	975	0	300	448.5	0	72
NP	975	300	0	448.5	138	0
NPK	975	300	300	448.5	138	72

1.4 测定项目与方法

1.4.1 植株生长性状的测定 于玉米拔节期每小区随机选母本 5 株,分别测定株高、单株叶片数、单株叶面积(长宽测量法)、叶面积指数(LAI)、地上部分干重、地下部分干重等指标。

1.4.2 玉米产量和经济性状的测定 于玉米成熟期每小区随机取 20 株母本果穗,分别收获,室内测定穗长、穗粗、穗行数、穗粒数、行粒数、单穗重、单穗籽粒重、秃尖长、出籽率、千粒重等经济性状;每小区收获中间 2 膜(4 行)全部母本果穗,自然晾晒,晾干后脱粒称重,计算小区产量并折算每公顷产量。

1.4.3 植株养分测定 于玉米成熟期每小区随机取 5 株母本植株,分为秸秆和籽粒两部分,于 105℃杀青 30 min 后,80℃烘箱中烘干至恒重后称重。籽粒和茎秆分别粉碎后采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮法消煮,全氮采用半微量蒸馏法[6]、全磷采用钼锑抗比色法[6],全钾采用火焰光度计法[6]。

1.4.4 肥料利用率分析 玉米养分吸收量(kg·hm^{-2})= 玉米籽粒产量(kg·hm^{-2})×籽粒养分质量

分数(%)+玉米秸秆产量(kg·hm^{-2})×秸秆养分质量分数(%);

氮(磷、钾)肥利用率(%)=[配方施肥区玉米吸氮(磷、钾)总量(kg·hm^{-2})-无氮(磷、钾)区玉米吸氮(磷、钾)总量(kg·hm^{-2})]/配方施肥区氮(磷、钾)投入量(kg·hm^{-2})×100%;

氮(磷、钾)肥农学利用率(kg·kg^{-1})=[配方施肥区玉米产量(kg·hm^{-2})-无氮(磷、钾)区玉米产量(kg·hm^{-2})]/配方施肥区氮(磷、钾)投入量(kg·hm^{-2})[7]。

1.5　数据整理与分析

试验数据采用 Excel 2007 和 DPSv 7.05 软件进行统计分析,方差分析采用 LSD 法。

2　结果与分析

2.1　不同施肥处理对制种玉米生长性状的影响

在玉米拔节期(6 月 8 日)测定母本植株生长性状,由表 2 可以看出,施肥对玉米生长性状产生了很大的影响。不施肥处理(CK)株高仅为 37.1 cm,而 PK、NK、NP、NPK 株高分别达到 43.0、42.6、42.9 cm 和45.2 cm,分别较对照增加 5.9、5.5、5.8 cm 和 8.1 cm。茎粗以 NPK 处理最大(2.404 cm)。施肥对单株叶片数影响不大,变幅在 7.5~7.8 片之间,但对地上和地下部生物量的累积产生一定的影响,其中 NPK 处理地上和地下部分干重均达到最大,地上部分干重较对照增加 2.370 g·株$^{-1}$,NK 处理植株生物产量显著降低,地下部分干重较 NPK 处理降低 0.655 g·株$^{-1}$。缺氮会显著影响玉米叶片生长,PK 处理单株叶面积为 834.0 cm^2,较对照仅增加了 64.9 cm^2,而 NK、NP、NPK 分别较对照增加了 104.6、174.8、203.8 cm^2。PK、NK、NP、NPK 拔节期叶面积指数(*LAI*)分别达到 0.83、0.87、0.94 和 0.97,较对照分别增加0.06、0.10、0.17 和 0.20。

2.2　不同施肥处理对制种玉米果穗经济性状的影响

由表 3 可以看出,不同施肥处理对制种玉米果穗经济性状产生了不同的影响,穗长变幅在 13.1~14.7 cm 之间,其中 NPK 处理最长,较对照增长 1.6 cm。各处理间穗行数差异不大,变幅在 12.1~12.4 行之间。施肥有助于提高单穗子粒数,PK、NK、NP、NPK 穗粒数分别达到 277.5、270.7、287.4、289.6 粒,较对照分别增加 23.8、17.0、33.7、35.9 粒。单穗籽粒重以 NPK 处理最大(107.8 g),其次为 NP 处理(99.8 g)。施肥对籽粒千粒重影响较大,变幅在 336.1~387.6 g 之间,其中 NPK 处理千粒重达到 387.6 g,较对照增加 15.3%,PK、NK、NP、NPK 与对照相比均达到极显著差异($P<0.01$)。可以看出,施肥主要会影响到玉米产量构成中的果穗子粒数和千粒重。

2.3　不同施肥处理对制种玉米产量的影响

由表 4 可以看出,施肥对制种玉米产量影响较大,PK、NK、NP、NPK 处理小区平均产量分别为 36.2、34.7、36.7 kg 和 38.5 kg,均高于不施肥处理;PK、NK、NP 每公顷产量分别达到 9 238.5、8 844.0 kg 和 9 354.0 kg,较配方施肥(NPK)分别降低 6.06%、10.07%和4.88%,不施肥处理产量较配方施肥降低 16.49%。可见该地区制种玉米高产的主要限制因子依次为磷、氮和钾。

2.4　不同施肥处理对制种玉米不同器官养分吸收的影响

2.4.1　*施肥对制种玉米不同器官氮素吸收的影响*　制种玉米成熟期各部位含氮量和吸氮量见表 5,施氮肥有助于提高玉米秸秆和籽粒含氮量,NK、NP 和 NPK 处理籽粒含氮量分别为 2.973%、3.105%

表 2　不同施肥处理对制种玉米生长性状的影响

Table 2　Effect of different fertilizer treatment on growth characters of seed maize

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem diameter	单株叶片数 Leaf number per plant	地上部分干重/(g·株$^{-1}$) Dry weight of above-ground part /(g·plant^{-1})	地下部分干重/(g·株$^{-1}$) Dry weight of under ground part /(g·plant^{-1})	单株地下节根条数 Node root number per plant	单株叶面积/cm^2 Leaf area per plant	叶面积指数 Leaf area index
CK	37.1cB	2.137bA	7.5aA	6.217dC	1.700dD	11.3cB	769.1bB	0.77bB
PK	43.0abA	2.364aA	7.7aA	7.653bcAB	2.225bcBC	13.5aAB	834.0bAB	0.83bAB
NK	42.6bA	2.327abA	7.8aA	6.995cdBC	1.998cCD	11.5bcB	873.7abAB	0.87abAB
NP	42.9abA	2.368aA	7.7aA	7.902abAB	2.422abAB	13.0abAB	943.9aA	0.94aA
NPK	45.2aA	2.404aA	7.8aA	8.587aA	2.653aA	14.2aA	972.9aA	0.97aA

注:数值后不同小写和大写字母分别表示处理间差异达显著水平($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$)。下同。

Note: Values followed by different lowercase and capital letters mean significant difference among the treatments at 5% and 1% level, respective. The same below.

表 3 不同施肥处理对制种玉米果穗经济性状的影响

Table 3 Effect of different fertilizer treatments on economic characters of seed maize spike

处理 Treatment	穗长/cm Spike length	穗粗/cm Spike diameter	穗行数 Row per spike	行粒数 Grain per row	穗粒数 Grain per spike	果穗重/g Weight per spike	籽粒重/g Grain weight per spike	出籽率/% Seed production percentage	千粒重/g 1000-grain weight	秃尖长/cm Barren tip length
CK	13.1bA	4.196bA	12.2aA	20.8bB	253.7cB	99.5cB	87.4cB	87.9aA	336.1bB	1.6aA
PK	13.6abA	4.268abA	12.2aA	22.8aAB	277.5abA	106.1bcAB	94.7bcAB	87.9aA	382.7aA	1.1bAB
NK	14.3abA	4.359abA	12.1aA	22.4abAB	270.7bAB	103.8bcB	91.7bcB	88.3aA	379.6aA	1.5aAB
NP	14.5aA	4.372abA	12.2aA	23.6aA	287.4aA	113.5abAB	99.8abAB	89.0aA	383.4aA	1.0bB
NPK	14.7aA	4.466aA	12.4aA	23.3aAB	289.6aA	121.2aA	107.8aA	89.2aA	387.6aA	1.2ab

表 4 不同施肥处理对制种玉米产量的影响

Table 4 Effect of different fertilizer treatment on yield of maize seed

处理 Treatment	小区产量 Plot yield/(kg·39.2m^{-2}) 1	2	3	平均 Average	产量 Yield /(kg·hm^{-2})	较配方施肥减产 Yield reduction compared with formula fertilization/%
CK	32.6	33.8	30.2	32.2	8212.5cB	16.49
PK	36.9	38.2	33.5	36.2	9238.5abAB	6.06
NK	32.8	36.8	34.4	34.7	8844.0bcAB	10.07
NP	38.3	35.0	36.7	36.7	9354.0abAB	4.88
NPK	37.6	37.9	40.1	38.5	9834.0aA	–

和 2.942%，分别较 CK 提高 0.090%、0.222% 和 0.059%。秸秆吸氮量以 NPK 处理最高(280.4 kg·hm^{-2})，籽粒吸氮量以 NP 处理最高(290.6 kg·hm^{-2})，分别较对照增加 116.4 kg·hm^{-2}和 53.7 kg·hm^{-2}。PK、NK、NP 和 NPK 处理总吸氮量分别较对照提高 16.69%、25.15%、32.50%和 42.02%，经方差分析得出 NPK 处理与 NP 处理间差异不显著($P>0.01$)，但与 CK、PK、NK 处理间均达极显著差异($P<0.01$)。由此可以看出，氮、磷、钾肥配施有助于提高制种玉米氮肥吸收率。

表 5 不同施肥处理对制种玉米不同器官氮素吸收的影响

Table 5 Effect of different fertilizer treatment on nitrogen uptake in different organs of seed maize

处理 Treatment	含氮量 N content/% 秸秆 Straw	籽粒 Grain	吸氮量 N uptake/(kg·hm^{-2}) 秸秆 Straw	籽粒 Grain	总吸氮量 Total N uptake /(kg·hm^{-2})
CK	2.043cB	2.883bA	164.0cC	236.9cB	400.9dD
PK	2.251bcAB	2.900bA	199.9bcBC	268.0abAB	467.8cC
NK	2.565abAB	2.973abA	239.2abAB	262.5bcAB	501.8bcBC
NP	2.406abcAB	3.105aA	240.6abAB	290.6aA	531.3abAB
NPK	2.743aA	2.942abA	280.4aA	289.0abA	569.4aA

2.4.2 施肥对制种玉米不同器官磷素吸收的影响 由表 6 可以看出，各施肥处理制种玉米籽粒含磷量高于秸秆。PK、NK、NP 和 NPK 处理籽粒含磷量分别较对照提高 0.175%、0.069%、0.186% 和 0.216%。籽粒吸磷量由高到低的顺序为 NPK>NP>PK>NK>CK 处理，NPK 处理与 NP、PK 处理间差异不显著($P>0.01$)，但与 CK、NK 处理间均达到极显著差异($P<0.01$)。总吸磷量以 NPK 处理最高(108.0 kg·hm^{-2})，其次为 NP 处理(98.7 kg·hm^{-2})，NPK 处理与其他 4 个处理间均达显著差异($P<0.05$)。由此可以看出，施磷肥可以增加玉米秸秆和籽粒中的磷含量，促进磷素的吸收。

2.4.3 施肥对制种玉米不同器官钾素吸收的影响 由表 7 可以看出，各施肥处理制种玉米秸秆含钾量明显高于籽粒。PK、NK 和 NPK 处理秸秆钾含量分别较对照提高 0.090%、0.117%和 0.054%，PK、NK、NP 和 NPK 处理秸秆吸钾量分别达到 160.5、170.6、140.1 kg·hm^{-2}和 180.9 kg·hm^{-2}，较对照分别提高 16.56%、23.89%、1.74%和 31.37%。总吸钾量以 NPK 处理达到最高(203.3 kg·hm^{-2})，其次为 NK 处理(189.3 kg·hm^{-2})，NPK 处理与 PK 处理、NK 处理间差异不显著($P>0.01$)，但与 NP 处理和对照(CK)间差异显著($P<0.01$)。

2.5 氮、磷、钾配施对制种玉米肥料利用率的影响

由表 8 可以看出，制种玉米配方施肥中氮、磷、钾肥农学效率分别为 N1.33 kg·kg^{-1}、P_2O_5 7.17 kg·kg^{-1}和 K_2O 6.66 kg·kg^{-1}，农学效率磷>钾>氮。氮、磷、钾肥料利用率分别为 22.64%，26.82% 和 60.10%，钾肥表现出较高的利用率。

表 6　不同施肥处理对制种玉米不同器官磷素吸收的影响

Table 6　Effect of different fertilizer treatment on phosphorus uptake in different organs of seed maize

处理 Treatment	含磷量 P content/%		吸磷量 P uptake/(kg·hm^{-2})		总吸磷量 Total P uptake /(kg·hm^{-2})
	秸秆 Straw	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒 Grain	
CK	0.371cB	0.412cC	29.8cCD	33.8dB	63.6cC
PK	0.409bcAB	0.587aA	36.4bBC	54.3bA	90.7bB
NK	0.305dC	0.481bB	28.5cD	42.5cB	71.0cC
NP	0.427abAB	0.598aA	42.6aAB	56.1abA	98.7bAB
NPK	0.451aA	0.628aA	46.1aA	61.8aA	108.0aA

表 7　不同施肥处理对制种玉米不同器官钾素吸收的影响

Table 7　Effect of different fertilizer treatment on potassium uptake in different organs of seed maize

处理 Treatment	钾含量 K content/%		吸钾量 K uptake/(kg·hm^{-2})		总吸钾量 Total K uptake /(kg·hm^{-2})
	秸秆 Straw	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒 Grain	
CK	1.714aA	0.206aA	137.7cB	16.9cC	154.6cC
PK	1.804aA	0.217aA	160.5bAB	19.9bB	180.2bAB
NK	1.831aA	0.216aA	170.6abA	19.1bBC	189.3abA
NP	1.403bB	0.217aA	140.1cB	20.3bAB	160.5cBC
NPK	1.768aA	0.228aA	180.9aA	22.4aA	203.3aA

表 8　氮、磷、钾配施对制种玉米肥料利用率的影响

Table 8　Effect of nitrogen, phosphorus and potassium combined application on fertilizer utilization efficiency of seed maize

肥料 Fertilizer	肥料农学效率/(kg·kg^{-1}) Fertilizer agronomy efficiency	肥料利用率/% Fertilizer utilization efficiency
N	1.33	22.64
P_2O_5	7.17	26.82
K_2O	6.66	60.10

3　讨　论

3.1　不同施肥处理对制种玉米生长和产量的影响

氮、磷、钾肥配施对制种玉米生长和产量影响显著。本研究结果表明,氮、磷、钾肥配施有利于促进玉米生长、提高产量,该研究结论与陈浩[8]、李玉影[9]、罗照霞[10]等人研究结论一致。缺氮主要影响地上部分生物量的累积和光合器官叶片的生长,单株叶面积减小,从而降低群体的叶面积指数。缺磷使玉米根系生长受阻,降低地下部分生物量的积累,而钾肥对玉米生长影响相对较小。玉米成熟期通过测产和考种得出,NPK 处理产量最高(9 834.0 kg·hm^{-2}),而缺氮(PK 处理)、缺磷(NK 处理)、缺钾(NP 处理)产量分别较 NPK 处理降低了 6.06%、10.07%和 4.88%,该地区制种玉米高产的主要限制因子依次为磷、氮和钾,本研究结论与孙宁科等[11]不同,可能与当地农户施肥习惯有关,长期重施氮肥,会造成土壤中氮素积累较多,而磷肥供肥能力较低。

3.2　不同施肥处理对制种玉米养分吸收和肥料利用率的影响

氮、磷、钾配施有利于促进制种玉米地上部分器官对养分的吸收和积累,NPK 处理植株地上部分总吸氮量、吸磷量和吸钾量分别达到 569.4 kg·hm^{-2}、108.0 kg·hm^{-2}和 203.3 kg·hm^{-2}。茎秆吸钾量大于籽粒,而吸氮量和吸磷量却是籽粒大于茎秆。由此可以看出,制种玉米植株中氮、磷养分主要转移到籽粒中,而钾主要转移到茎秆中。

肥料利用率是现代平衡施肥技术的重要参数[12]。本研究中,NPK 处理的氮、磷、钾肥当季利用率分别为 22.64%、26.82%和 60.10%,索东让[13]通过长期定位试验得出河西地区主要作物氮、磷、钾当季利用率分别为 24.0%~28.0%、17.2%~20.9%和 16.7%~22.1%,相比之下,本研究得出制种玉米氮肥利用率略低,磷、钾肥的利用效率相对较高。磷肥利用率高可能是由于长期施磷,土壤中积累的磷潜在有效性使磷肥利用率提高;钾肥利用率偏高主要由于河西地区土壤钾素含量较高,农业生产上长期不施化学钾肥或施用量较小,田间钾素一直处于亏缺状态[14]。制种玉米氮、磷、钾肥农学效率分别为 N1.33 kg·kg^{-1}、$P_2O_5$7.17 kg·kg^{-1}和 K_2O 6.66 kg·kg^{-1},而在现有生产条件下我国玉米氮、磷、钾肥农学效率分别为 N 9.8~11.2 kg·kg^{-1}、$P_2O_5$7.5~9.5 kg·kg^{-1}和 K_2O 5.7~9.2 kg·kg^{-1}[15-16],可见氮素农学效率远低于国内现有水平,这可能与目前制种玉米生产过程中氮肥施用过多,有机肥施用过少及施肥方法有关。

4 结 论

通过开展河西地区制种玉米肥料试验得出,氮、磷、钾配施(NPK 处理)最佳,产量达到 9 834.0 kg · hm^{-2},氮、磷、钾肥对产量的贡献率分别为 6.06%、10.07%和 4.88%,磷素是产量提高的第一限制因素,氮素的增产效益较小。氮、磷、钾肥料当季利用率分别为 22.64%、26.82%和 60.10%。因此,在制种玉米生产中应重视磷、钾肥的施用,加强氮肥的节肥增效管理,推广平衡施肥,以提高肥料利用率和环境效益。

参 考 文 献:

[1] 肖占文, 秦嘉海, 周俊, 等. 河西走廊灌漠土不同肥力水平下制种玉米氮素适宜用量的研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(6): 1358-1362.

[2] 侯格平, 吴子孝, 索东让. 张掖市玉米制种连作种植的不利影响与措施[J]. 中国种业, 2012, (1): 31-32.

[3] 程红玉, 肖占文, 秦嘉海, 等. 连作对玉米制种田土壤养分和土壤酶活性的影响[J]. 土壤, 2013, 45(4): 623-627.

[4] 杨峰鹏, 张军利, 杨冬冬, 等. 张掖市制种玉米测土配方施肥应用及建议[J]. 种子世界, 2015, (11):8-9.

[5] 农业部种植业管理司. 农业部关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知[EB/OL]. 中华人民共和国农业部.[2015-03-18]. http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm.

[6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M](第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 257-270.

[7] 罗龙皂, 李渝, 张文安, 等. 长期施肥下黄壤旱地玉米产量及肥料利用率的变化特征[J]. 应用生态学报 2013, 24(10) : 2793-2798.

[8] 陈浩, 王平, 刘淑英, 等. 施肥对河西绿洲制种玉米各器官养分吸收及产量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(2): 275-280.

[9] 李玉影, 刘双全, 姬景红, 等. 玉米平衡施肥对产量、养分平衡系数及肥料利用率的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(3):120-124,130.

[10] 罗照霞,雷建明,马忠明, 等. 不同农作措施对黄绵土坡耕地玉米产量及养分吸收的影响[J]. 西北农业学报, 2018, 27(6): 796-801.

[11] 孙宁科, 李隆, 索东让, 等. 河西走廊制种玉米氮磷钾适宜用量及需肥进程[J]. 西北农业学报, 2013, 22(9): 95-100.

[12] 王寅, 冯国忠, 焉莉, 等. 吉林省玉米施肥效果与肥料利用效率现状研究植物营养与肥料学报[J]. 2016, 22(6): 1441-1448.

[13] 索东让. 河西走廊绿洲灌区灌漠土肥料利用率研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(2), 18-28.

[14] 孙宁科, 李隆, 索东让, 等. 河西农田磷钾养分平衡及肥料利用率长期定位研究[J]. 土壤, 2013, 45(6):1009-1016.

[15] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.

[16] 闫湘. 我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.

(上接第 220 页)

[18] Spielmeyer W, Hyles J, Joaquim P, et al. A QTL on chromosome 6A in bread wheat (*Triticum aestivum*) is associated with longer coleoptiles, greater seedling vigour and final plant height [J]. Theoretical & Applied Genetics, 2007, 115(1):59-66.

[19] 孙璐, 周宇飞, 汪澈, 等. 高粱品种萌发期耐盐性筛选与鉴定[J]. 中国农业科学, 2012, 45(9): 1714-1722.

[20] 王秀玲, 程序, 李桂英. 甜高粱耐盐材料的筛选及芽苗期耐盐性相关分析[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1239-1244.

[21] Suge H, Nishizawa T, Takahashi H, et al. Phenotypic plasticity of internode elongation stimulated by deep-seeding and ethylene in wheat seedlings [J]. Plant, Cell and Environment, 1997, 20(7):961-964.

[22] 关小康, 杨明达, 白田田, 等. 适宜深播提高地下滴灌夏玉米出苗率促进苗期生长[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13):75-80.

[23] Xiong Q, Ma B, Lu X, et al. Ethylene-inhibited jasmonic acid biosynthesis promotes mesocotyl/coleoptile elongation of etiolated rice seedlings[J]. The Plant Cell, 2017, 29(5):1053-1072.

[24] Lee H S, Sasaki K, Kang J W, et al. Mesocotyl Elongation is essential for seedling emergence under deep-seeding condition in rice[J]. Rice, 2017, 10(1):32.

[25] 马殿荣, 王楠, 王莹, 等. 中国北方杂草稻深覆土条件下出苗动力源分析[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(2):215-218.

[26] 才卓. 高粱国外品种与地方品种出苗能力的研究[J]. 吉林农业科学, 1989, (3):34-35.

[27] Chung N J. Elongation habit of mesocotyls and coleoptiles in weedy rice with high emergence ability in direct-seeding on dry paddy fields [J]. Crop & Pasture Science, 2010, 61(11):911-917.

[28] Takahashi H, Takeda K. Diallel analysis of deep-seeding tolerance in barley [J]. Breeding Research, 1999, 1(3):135-141.

[29] Schillinger W F, Donaldson E, Allan R E, et al. Winter wheat seedling emergence from deep sowing depths [J]. Agronomy Journal, 1998, 90(5):582-586.

[30] Mohamed A, Barnett F L, Vanderlip R L, et al. Emergence and stand establishment of pearl millet as affected by mesocotyl elongation and other seed and seedling traits [J]. Field Crops Research, 1989, 20(1):41-49.

[31] 王良群, 仪治本, 梁小红, 等. 高粱出苗能力与幼苗器官形态的相关分析[J]. 山西农业科学, 1997, 25(3):28-31.

[32] 马立平. 由多指标向少数几个综合指标的转化——主成分分析法[J]. 北京统计, 2000,(8):37,35.

[33] 田治国, 王飞, 张文娥, 等. 多元统计分析方法在万寿菊品种抗旱性评价中的应用[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12):3315-3320.

[34] Richards R A, Lukacs Z. Seedling vigour in wheat-sources of variation for genetic and agronomic improvement [J]. Crop & Pasture Science, 2002, 53(1):41-50.

[35] Nik M M, Babaeian M, Tavassoli A. Effect of seed size and genotype on germination characteristic and seed nutrient content of wheat [J]. Scientific Research and Essays, 2011, 6(9):2019-2025.

[36] Takahashi H, Takeda K. Diallel analysis of deep-seeding tolerance in barley [J]. Breeding Research, 1999, 1(3):135-141.

[37] 尚佳薇, 王创云, 王楠, 等. 玉米耐深播优异种质的表型与生理特征分析[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(1):80-87.

[38] Zhao G, Fu J, Wang G, et al. Gibberellin-induced mesocotyl elongation in deep-sowing tolerant maize inbred line 3681-4 [J]. Plant Breeding, 2010, 129(1):87-91.