

玉米苗期氮、磷、钾养分吸收利用效率研究

赵霞^{1,2}, 杨豫龙¹, 王浩然¹, 穆心愿², 马智艳²,
唐保军², 刘天学¹, 李潮海¹

(1. 河南农业大学农学院, 郑州 450002; 2. 河南省农业科学院粮食作物研究所/河南省玉米生物学重点实验室, 郑州 450002)

摘要: 以黄淮海大面积种植的郑单958、先玉335、郑单538、豫单606、伟科702、郑单1002为试材, 利用水培和大田试验相结合的方法, 研究不同玉米品种苗期的氮、磷、钾吸收利用效率。结果表明, 不同玉米品种对N、P、K养分积累存在差异, 与NPK(全营养, 对照)处理相比, NPK-N(氮胁迫, 1/10的N含量)胁迫下N相对积累量(RNAA)最高的是郑单958; NPK-P(磷胁迫, 1/10的P含量)胁迫下P相对积累量(RPAA)最高的是先玉335; NPK-K(钾胁迫, 1/10的K含量)胁迫下K相对积累量(RKAA)最高的是豫单606。NPK胁迫显著提高玉米苗期对NPK的相对利用效率, 其中, N提高2.91倍, P提高3.98倍, K提高6.16倍。

关键词: 玉米; 利用效率; 氮磷钾胁迫

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Study on the Uptake and Utilization Efficiency of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Maize Seedling Stage

ZHAO Xia^{1,2}, YANG Yu-long¹, WANG Hao-ran¹, MU Xin-yuan², MA Zhi-yan²,
TANG Bao-jun², LIU Tian-xue¹, LI Chao-hai¹

(1. College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002;

2. Cereal Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences/

Henan Provincial Key Lab. of Maize Biology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Zhengdan958(ZD958), Weike702(WK702), Zhengdan1002(ZD1002), Xianyu335(XY335), Zhengdan538(ZD538) and Yudan606 were used as the experimental materials that were planted in large areas in Huanghuaihai. The nutrient solution test and field test were used to study the absorption and utilization efficiency of nitrogen, phosphorus, and potassium in different maize varieties at seedling stage. The results showed that there were differences in NPK accumulation between different maize varieties. Compared with NPK treatment, the highest relative nitrogen accumulation(RNAA) of maize seedlings under NPK-N stress was ZD958. Under the NPK-P stress, the highest relative phosphorus accumulation(RPAA) at seedling stage was XY335. The highest relative potassium accumulation(RKAA) at seedling stage under NPK-K stress was YD606. Under N, P and K stress, there were also genotype differences in NPK utilization efficiency of maize seedling stage. Nitrogen, phosphorus and potassium stress significantly increased the N, P and K utilization efficiency of maize seedlings. Nitrogen stress increased N relative utilization efficiency by 2.91 times, phosphorus stress increased the relative utilization efficiency of phosphorus by 3.98 times, and potassium stress increased potassium relative use efficiency by 6.16 times.

Key words: Maize; Usage efficiency; NPK stress

录用日期: 2018-08-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0301103, 2016YFD0300306)、河南省玉米产业技术体系建设专项(S2010-02-04, S2015-02-04)、公益性行业(农业)科研专项(201503130)

作者简介: 赵霞(1973-), 女, 河南开封人, 副研究员, 博士, 主要从事玉米生理生态及品种评价研究。E-mail: zhaoxia1007@126.com
杨豫龙为本文共同第一作者。

刘天学和李潮海为本文通讯作者。E-mail: liutianxue@163.com E-mail: lichao hai2005@163.com

玉米是我国重要的粮食、饲料和工业原料作物,种植面积和产量居于三大粮食作物之首。氮、磷、钾是玉米生长发育必需的三大营养元素,玉米对其吸收利用的效率直接影响着植株生长发育、产量及品质^[1,2]。在不同生育阶段,植株对各种营养元素吸收量不同,不同品种之间存在差异^[3-5]。施肥可显著提高作物产量^[6]。玉米植株地上部氮素吸收与产量之间存在极显著正相关^[7,8]。姬景红等^[9]研究表明,氮、磷、钾使用方式的合理运用可以提高玉米生育后期养分的吸收总量。苗期是玉米生长发育的基础阶段,苗期长势弱直接影响后期的栽培管理与产量。探索不同品种苗期对氮磷钾的吸收利用特征,有助于玉米的精准化施肥,同时对耐低氮、低磷、低钾品种的选育有重要意义^[10]。在前人研究中,研究手段以全生育期为主,不易做到局部控制和唯一差异性原则,试验规模也比较大,不方便多品种探究,同时在氮素吸收利用方面已有大量的成果与技术^[11]。在

苗期,磷、钾的养分积累、转运对玉米产量的研究较少。本试验探索不同品种苗期氮磷钾吸收利用效率以及与产量的关系,为玉米苗期肥料优化管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验采取大田与水培相结合,大田试验于2014~2015年位于河南省现代农业研发基地(N 34°47', E 113°40')。试验地地势平坦,排灌方便,地力均匀一致,种植制度为一年两熟小麦-玉米轮作制。土壤为轻壤质潮土。试验点耕层(0~20 cm)基础肥力、土壤物理性质和气象资料见表1、表2。根据全国第二次土壤普查分级标准^[12],试验地土壤有机质和全氮含量属于4级,速效氮、有效磷和速效钾属于5级肥力水平。

表1 供试耕层土壤农化性质

Table 1 The soil particle constituents and nutrients content at 0-20 cm soil depth in tested soils

年份 Year	土壤容重 (g/cm ³) SBD	土壤有机质 (g/kg) SOM	碱解氮 (mg/kg) AN	全氮 (mg/kg) N	有效磷 (mg/kg) AP	速效钾 (mg/kg) AK	pH值 pH value
2014	1.23	13.18	52.35	804	25.77	126.35	8.17
2015	1.25	12.25	54.67	796	23.51	135.70	8.06

表2 玉米生长期气象条件

Table 2 Meteorological conditions during maize growth

月份 Month	平均气温(°C) Average temperature		降雨量(mm) Rainfall		日照时数(h) Sunshine duration	
	2014年	2015年	2014年	2015年	2014年	2015年
6	29.90	26.60	68.70	29.23	178.80	160.70
7	26.93	28.70	61.10	77.2	63.40	208.40
8	25.43	27.60	17.87	115.00	57.10	191.80
9	19.83	22.10	93.17	39.60	45.07	167.30
6~9月平均	25.53	26.25	60.21	65.26	86.09	182.05

1.2 试验材料与设计

供试玉米品种为郑单958(ZD958)、先玉335(XY335)、豫单606(YD606)、郑单538(ZD538)、郑单1002(ZD1002)、伟科702(WK702)。营养液试验于2015年6~9月在河南省现代农业研发基地遮雨棚下进行。水培容器塑料槽长34 cm,宽26 cm,高12 cm,蓝色。选取大小一致、子粒饱满的种子经15%的H₂O₂消毒15 min后用蒸馏水冲洗干净,然后将种子均匀摆放在铺有湿润滤纸的发芽盒中,上盖一层湿

润滤纸,放入恒温箱(25°C,75%的相对湿度),每天喷洒蒸馏水。露白后,挑选生长一致的芽,均匀放入湿润沙子中,在长至1叶1心时挑选长势一致的苗用海绵包裹后种植在带有孔的泡沫板上,泡沫板放置槽内漂浮在液面上。为了使根系健壮生长和防止绿藻产生,水培容器和支持苗的平板采用不透光的塑料泡沫,以防止光线透入容器内部和因反光使苗灼伤。

营养液参照LIU等^[13]的方法配制,以全营养

NPK(对照),设NPK-N(氮胁迫,1/10的N含量)、NPK-P(磷胁迫,1/10的P含量)、NPK-K(钾胁迫,1/10的K含量)、低NPK等5个处理(表2)。每槽1个品种(4株),4次重复。全营养液组成:Ca(NO₃)₂ 2.0 mmol/L, KH₂PO₄ 0.25 mmol/L, K₂SO₄ 0.75 mmol/L, MgSO₄ 0.65 mmol/L, KCl 0.1 mmol/L, Fe-EDTA 0.1 mmol/L, H₃BO₃ 1.0 × 10⁻² mmol/L, MnSO₄ 1.0 × 10⁻³ mmol/L, ZnSO₄ 1.0 × 10⁻³ mmol/L, CuSO₄ 1.0 × 10⁻⁴ mmol/L,

(NH₄)₆Mo₇O₂₄ 5 × 10⁻⁶ mmol/L。PK处理以CaCl₂·2H₂O补充不足的Ca;NK亏缺处理以KCl补充不足的K;NP处理以NaH₂PO₄·2H₂O、Na₂SO₄和CaCl₂·2H₂O补充不足的P、S和Cl。用1 mol/L的NaOH溶液调节pH值为5.95~6.05。用空气压缩机通气,通过多通管使得每个容器相连且通气均匀(定时器自动转换,20 min/2.7 h)。每5~7 d更换1次培养液,并随机摆放塑料槽位置。

表3 试验处理

Table 3 Experiment treatments

处理 Treatment	N (mmol/L)	P (mmol/L)	K (mmol/L)
NPK	4.0	0.250	1.850
NPK-N	0.4	0.250	1.850
NPK-P	4.0	0.025	1.850
NPK-K	4.0	0.250	0.185
低NPK	0.4	0.025	0.185

大田试验共设置5个处理,NPK(播种时施入40%的氮肥+全部的磷钾肥,大喇叭口期60%的氮肥)、NPK-N(不施氮肥,施磷肥和钾肥,播种时施入全部的磷钾肥)、NPK-P(不施磷肥,施氮肥和钾肥,播种时施入40%的氮肥+全部的钾肥,大喇叭口期60%的氮肥)、NPK-K(不施钾肥,施氮肥和磷肥,即播种时施入40%的氮肥+全部的磷肥,大喇叭口期60%的氮肥)、0(不施肥)。试验采用裂区设计,肥料处理为主区,品种为副区。小区面积18 m²(3.6 m × 5 m),随机排列,4次重复。供试氮肥为尿素(含N 46%);磷肥为过磷酸钙(含P₂O₅ 12%);钾肥为氯化钾(含K₂O 60%),所有供试肥料由河南新乡心连心有限公司提供。

1.3 测定项目与方法

试验结束时每个小区3株,在105℃下杀青30 min,75℃烘干至恒重后称干重。植株烘干称重后分别粉碎过筛,采用H₂SO₄-H₂O₂消化,以半微量凯氏定氮法测定全氮,钒钼黄比色法测定全磷,火焰光度计法测定全钾。

氮积累量=地上部干重×N养分含量+根干重×N养分含量;

磷积累量=地上部干重×P养分含量+根干重×P养分含量;

钾积累量=地上部干重×K养分含量+根干重×K养分含量;

氮利用效率=苗期植株干重/植株氮积累量;

磷利用效率=苗期植株干重/植株磷积累量;

钾利用效率=苗期植株干重/植株钾积累量;

增产率(IR)=(处理产量-不施肥处理的产量)/不施肥处理的产量×100%;

N增产率(NIR)=(NPK处理产量-NPK-N处理的产量)/NPK-N处理的产量×100%;

P增产率(PIR)=(NPK处理产量-NPK-P处理的产量)/NPK-P处理的产量×100%;

K增产率(KIR)=(NPK处理产量-NPK-K处理的产量)/NPK-K处理的产量×100%。

1.4 数据处理与分析

为了消除不同品种间固有生物学差异,数据采用相对值,相对N积累量、相对N利用效率等指标进行统计分析,衡量不同品种对养分的相应差异。相对值=试验处理的重复测定值/对照的平均值^[4]。采用SPSS19.0统计软件进行处理。

2 结果与分析

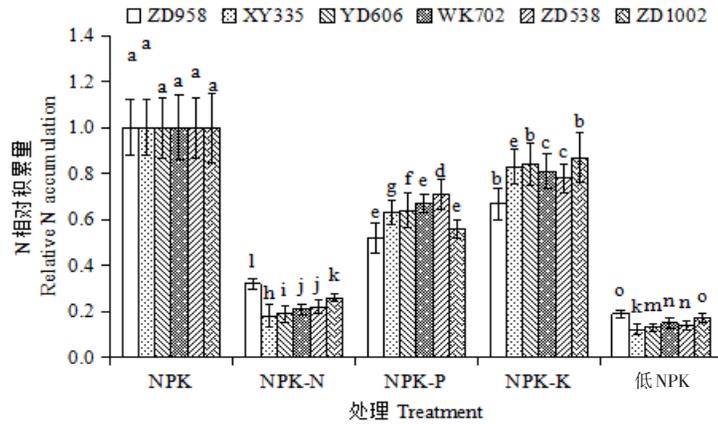
2.1 氮磷钾胁迫条件下不同基因型玉米养分积累量

2.1.1 氮素相对积累量

图1表明,与NPK处理相比,在NPK-N、NPK-P、NPK-K胁迫条件下,玉米苗期的N相对积累量减少,减少幅度因品种而异。NPK-P、NPK-K处理下,各品种的相对N积累量高于NPK-N处理。NPK-N处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002N相对积累量分别减少68%、82%、81%、79%、78%、74%。ZD958和ZD1002的N相对积累量

较大,XY335、YD606、WK702、ZD538的N相对积累量较小。WK702与ZD538差异不显著,其余品种之间存在差异显著。NPK-P处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002的N相对积累量分别减少48%、37%、36%、33%、29%、44%。ZD1002和WK702的N积累量较大,其余品种较小。ZD958、WK702、ZD1002之间无显著差异,其余品种之间存

在显著差异。NPK-K处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002相对N积累量分别减少33%、17%、16%、19%、22%、13%。ZD1002和YD606的N相对积累量较大,其余品种N积累量较小。且ZD958、YD606、ZD1002之间无显著差异,WK702和ZD538之间无显著差异,XY335和其他品种存在显著差异。



注:不同小写字母表示显著差异($P<0.05$)。下图同。

Note: Different small letters indicate significant differences at $P<0.05$ level. The same below.

图1 低量养分处理对不同基因型玉米氮素相对积累量的影响

Fig.1 Effect of NPK-N, NPK-P and NPK-K treatment on relative N accumulation of different maize cultivars

2.1.2 磷素相对积累量

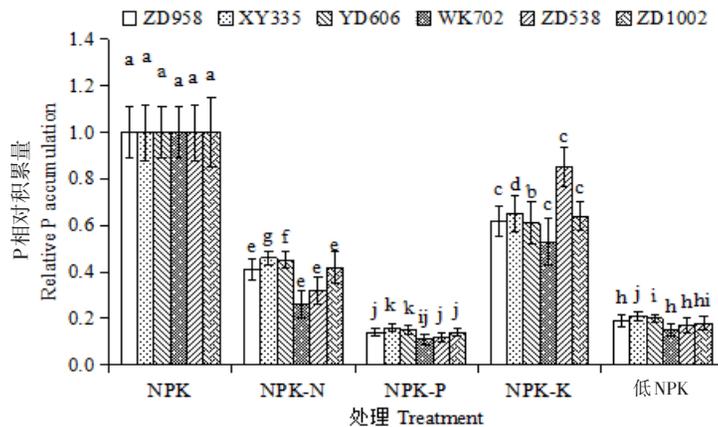


图2 低量养分处理对不同基因型玉米磷素相对积累量的影响

Fig.2 Effect of NPK-N, NPK-P and NPK-K treatment on relative P accumulation of different maize cultivars

图2表明,与NPK处理相比,在NPK-N、NPK-P、NPK-K胁迫条件下,玉米苗期相对P积累量减少,减少幅度因品种而异。NPK-N、NPK-K处理下,各品种的相对P积累量大于NPK-P处理。NPK-N处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002的P相对积累量分别减少59%、54%、55%、74%、68%、58%。XY335和YD606的P相对积累量

较大,其余品种P相对积累量较小。且ZD958、WK702、ZD538、ZD1002之间无显著差异,与XY335和YD606存在显著差异。NPK-P处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002的P相对积累量分别减少86%、84%、85%、89%、88%、86%。XY335和YD606的P相对积累量较大,其余品种P相对积累量较小。且ZD958、WK702、ZD538、

ZD1002之间无显著差异,与其他品种之间存在显著差异。NPK-K处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002的P相对积累量分别减少38%、35%、39%、47%、15%、36%。ZD538的P相对积累量最大,其余品种的P相对积累量较小。且ZD958、WK702、ZD538、ZD1002之间无显著差异,与其余品种之间存在显著差异。

2.1.3 钾素相对积累量

图3表明,与NPK处理相比,在NPK-N、NPK-P、NPK-K胁迫条件下,玉米苗期的K相对积累量减少,减少幅度因品种而异。NPK-N、NPK-P处理下,各品种的K相对积累量大于NPK-K处理。NPK-N处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002的K相对积累量分别减少64%、57%、60%、65%、67%、63%。XY335和YD606的K相对积累量

较大,其余品种K相对积累量较小。且WK702、ZD538、ZD1002之间无显著差异,与其余品种之间存在显著差异。NPK-P处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002相对K积累量分别减少59%、65%、62%、58%、60%、58%。ZD958、WK702、ZD1002的K相对积累量较大,其余品种的相对积累量较小。且ZD958与XY335之间存在显著差异,XY335与ZD958、ZD1002存在显著差异,其余品种之间无显著差异。NPK-K处理下,ZD958、XY335、YD606、WK702、ZD538、ZD1002的K相对积累量分别减少79%、81%、74%、78%、77%、78%。ZD538K相对积累量最大,其余品种K相对积累量较小。且ZD958、WK702、ZD538、ZD1002之间无显著差异,其余品种之间均存在显著差异。

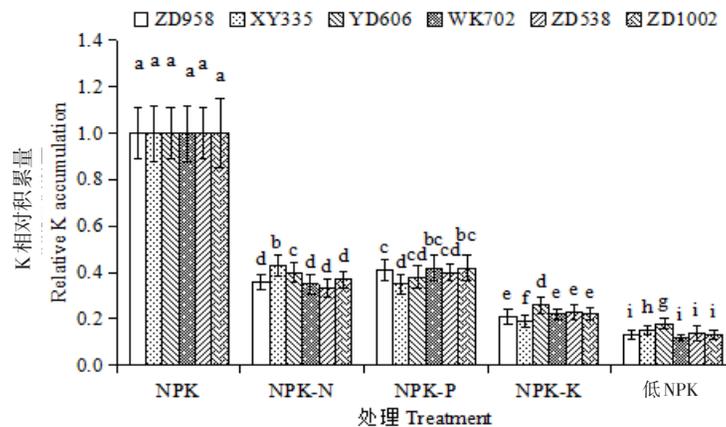


图3 低量养分处理对不同基因型玉米钾素相对积累量的影响

Fig.3 Effect of NPK-N, NPK-P and NPK-K treatment on relative K accumulation of different maize cultivars

2.2 氮磷钾胁迫条件下不同基因型玉米养分利用效率

2.2.1 氮素相对利用效率

图4表明,NPK-N、NPK-P、NPK-K处理下均增加玉米苗期对NPK的利用效率,且不同基因型品种之间存在差异。NPK-N处理下,WK702的N相对利用效率最大,为3.58;XY335的N相对利用效率最小,为2.01,ZD958、ZD538、ZD1002之间无显著差异,与其余品种之间均存在显著差异。NPK-P处理下,XY335的N相对利用效率最大,为1.68;ZD958最小,为1.47,XY335和YD606与其余品种之间存在显著差异。NPK-K处理下,XY335的N相对利用效率最大,为1.29;ZD958和ZD1002的N相对利用效率最小,均为1.22,且ZD958、WK702、ZD538、ZD1002之间无显著差异,XY335与YD606之间无显著差异。

2.2.2 磷素相对利用效率

图5表明,NPK-N、NPK-P、NPK-K处理下均增加玉米苗期对NPK的利用效率,且对P利用效率最大,不同品种之间因基因型不同存在养分利用效率的差异。NPK-N处理下,相对NPK处理增加不明显,XY335的P相对利用效率最大,为1.35,且XY335和YD606之间存在显著差异,其余品种之间均无显著差异。NPK-P处理下,使玉米苗期对P利用效率最大,其中XY335的P相对利用效率最大,为4.75;WK702的P相对利用效率最小,为3.51,ZD958、WK702、ZD538、ZD1002之间无显著差异,XY335与YD606之间无显著差异。NPK-K处理下,WK702的P相对利用效率最大,为1.18;XY335最小,为0.95,ZD958、ZD538、ZD1002之间无显著差异,与XY335、YD606、WK702与ZD958、ZD538、ZD1002之间存在显著差异。

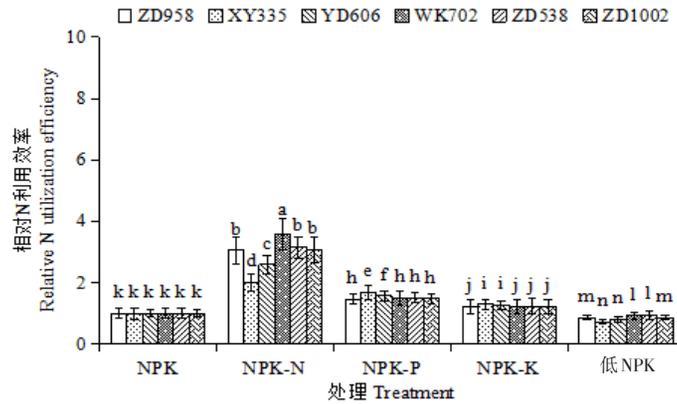


图4 氮胁迫处理对不同基因型玉米氮素相对利用率的影响

Fig.4 Effect of NPK-N treatment on relative N use efficiency of different maize cultivars

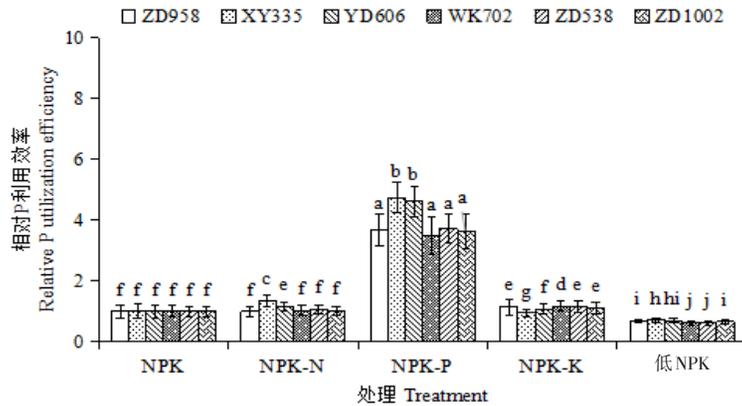


图5 磷胁迫处理对不同基因型玉米磷素相对利用率的影响

Fig.5 Effect of NPK-P treatment on relative P use efficiency of different maize cultivars

2.2.3 钾素相对利用效率

图6表明,NPK-N、NPK-P处理下增加玉米苗期K相对利用效率不明显,NPK-K处理增加玉米苗期K相对利用效率显著。NPK-K处理下,YD606的K

相对利用效率最大,为7.51;XY335的K相对利用效率最小,为4.12;ZD958、WK702、ZD538、ZD1002之间无显著差异,与XY335和YD606之间存在显著差异。

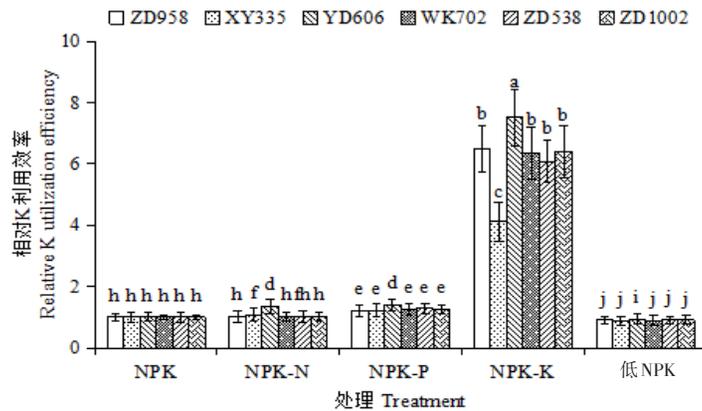


图6 钾胁迫处理对不同基因型玉米钾素相对利用率的影响

Fig.6 Effect of NPK-K treatment on relative K use efficiency of different maize cultivars

2.3 不同施肥处理下夏玉米产量的基因型差异

不同施肥处理下,不同基因型的玉米产量存在

差异(表4)。施肥情况下,品种间产量大小ZD1002>ZD538>ZD958>WK702>YD606>XY335。不施肥处

理下,品种间产量大小 ZD1002>ZD958>ZD538>WK702>YD606>XY335。不同基因型增产率存在差异。减 N 处理下,品种间产量大小为 ZD958>ZD538>ZD1002>YD606>XY335>WK702。减 P 处理下,品种间产量大小为 ZD958>ZD1002>ZD538>WK702>YD606>XY335。减 K 处理下,各品种间产量大小为 ZD1002>WK702>ZD958>ZD538>YD606>

XY335。品种间施肥的增产率顺序为 XY335>YD606>WK702>ZD1002>ZD538>ZD958;品种间施用 N 的增产率只有 YD606、WK702 和 ZD1002 超过了 5%,ZD1002 增产最多,ZD958 增产最少;施用 P、K,6 个品种全超过了 5%,P 增产为 WK702 最大,XY335 最少,K 增产为 XY335 最大,YD606 最小。

表4 不同配施处理对不同基因型玉米产量的影响

Table 4 Effects of different fertilizer treatments on genotype maize yield in different soil types

参试品种 TV	年份 Year	NPK	NPK-N	NPK-P	NPK-K	不施肥 No fertilizer	增产率 IR	N增产率 NIR	P增产率 PIR	K增产率 KIR
ZD958	2014	10 276.61 b	9 732.80	9 405.54 b	9 591.67 b	9 149.26 c	12.32 c	5.59 c	9.26 a	7.14 cd
	2015	12 228.52 a	11 947.04 a	11 310.26 a	11 314.82 a	11 069.19 a	10.47 f	2.36 h	8.12 b	8.08 b
	平均	11 252.56	10 839.92	10 357.90	10 453.25	10 109.23	11.31	3.81	8.64	7.65
XY335	2014	9 728.17 c	9 204.41	9 053.54 b	8 953.98 c	8 641.96 d	12.57 c	5.69 c	7.45 c	8.65 a
	2015	11 844.59 a	11 436.79 a	11 142.67 a	11 004.91 a	10 342.59 b	14.52 ab	3.57 f	7.63 c	6.30 e
	平均	10 786.38	10 320.60	10 098.10	9 979.44	9 492.28	13.63	4.51	6.82	8.09
YD606	2014	10 008.55 b	9 294.69	9 174.29 b	9 395.53 bc	8 796.91 cd	13.77 b	7.68 a	9.09 a	6.52 de
	2015	11 779.18 a	11 428.82 a	11 064.16 a	10 978.68 a	10 528.14 ab	11.88 d	3.07 g	6.46 d	7.29 c
	平均	10 893.87	10 361.75	10 119.22	10 187.10	9 662.53	12.74	5.14	7.66	6.94
WK702	2014	10 139.48 b	9 411.72	9 275.79 b	9 481.87 b	9 037.83 c	12.19 c	7.73 a	9.31 a	6.94 d
	2015	12 041.78 a	11 191.14 a	11 028.76 a	11 430.92 a	10 530.69 a	14.35 b	5.34 d	9.19 a	7.6 c
	平均	11 090.63	10 301.43	10 152.28	10 456.40	9 784.26	13.35	7.66	9.24	6.07
ZD538	2014	10 177.27 b	9 655.96	9 336.24 b	9 527.77 b	9 059.11 c	12.34 c	5.40 cd	9.01 a	6.82 d
	2015	12 087.21 a	11 727.47 a	11 165.7a	11 324.17 a	10 793.04 a	11.99 d	3.07 g	8.25 b	6.74 de
	平均	11 132.24	10 691.72	10 250.97	10 425.97	9 926.08	12.15	4.12	8.60	6.77
ZD1002	2014	10 085.32 b	9 668.17	9 352.89 b	9 622.09 b	9 082.81 c	11.04 e	4.81 e	7.83 c	4.31 f
	2015	12 326.78 a	11 485.27 a	11 360.56 a	11 526.62 a	10 694.94 a	15.26 a	6.94 b	8.51 b	7.33 c
	平均	11 206.05	10 574.36	10 356.73	10 576.72	9 888.88	13.32	5.97	8.20	5.95

3 结论与讨论

本研究表明,缺乏任何一种养分相比全肥料状态下均表现出氮、磷、钾吸收利用率低下,施氮磷肥或氮钾肥、磷钾肥均比不施肥显著提高玉米植株的氮、磷、钾的积累量和氮、磷、钾利用效率,与前人研究一致^[15-17]。氮、磷、钾胁迫能显著影响玉米幼苗成长,其中,氮胁迫影响最大,磷胁迫影响次之,钾胁迫影响最小。玉米不同基因型在氮的吸收、利用等方面存在显著差异^[18,19]。本研究表明,不同基因型玉米在苗期因施氮量的不同,吸收效率、养分利用效率均不同,且不同基因型之间存在显著差异。向春阳^[20]认为,不同基因型玉米对氮胁迫有着明显差异,在低氮或高氮处理下,用子粒产量、子粒含氮量、地上部干物重和地上部吸氮量的差异来衡量品种氮效率差异的指标。本研究着重测量苗期地上部干物重和地上部吸氮量来衡量不同基因型品种氮效率差异

的指标,结果两者一致。王艳研究表明^[21],在低磷处理下不同基因型玉米表现出显著的耐低磷差异。XY335 在磷胁迫下苗期植株吸磷量均高于其他品种,且玉米苗期的耐低磷能力与磷吸收效率呈显著正相关,并与 ZD958 差异显著。刘洋^[22]表明,ZD958 与 XY335 在施磷量为 40~80 kg/hm² 时,更有利于根系的吸收性能,且两个品种间差异不显著。两者结果不同的原因可能是因为施磷量和处理方式的不同造成的。研究表明,低钾胁迫下,不同玉米自交系因对低钾耐性不同导致植株干物质的积累也产生了不同程度的降低,XY335 降低幅度最大,YD606 降低幅度最小。齐宏志^[23]研究表明,钾亏损下地上部相对氮、磷、钾积累量表现为 XY335 最大,ZD958 最小。结果不同的原因可能是因为其测量指标的时期在生育后期。吕福堂则表明^[24],不同基因型玉米对土壤钾和肥料钾的吸收利用存在差异。具体的土壤钾和肥料钾的相互作用对玉米的生理机制响应尚无明确

报道,需进一步研究。在不同施肥处理下,各品种间表现出不同的产量和增产率。缺失氮肥或磷肥处理下,ZD958产量最高。缺失钾肥处理下,ZD1002产量最高。施用氮肥或磷肥,WK702增产率最大。施用钾肥处理下,XY335增产率最大。齐宏志^[23]研究证实了增施钾肥对XY335增产作用大于ZD958。张萌^[25]表明,在玉米生育后期追施磷肥可有效提高玉米产量,相对于磷一次性基施的方式差异不显著。

本研究表明,不同基因型的玉米品种对氮、磷、钾养分积累量和利用效率存在差异,ZD958、ZD538、ZD1002耐低氮能力较强,XY335和YD606相比其他4个品种有较强的耐低磷能力,YD606有较强的耐低钾能力,产量上ZD958相对其他5个品种表现出优势,XY335在低量养分处理下表现出劣势,XY335在施钾肥增产率较其他5个品种均表现出优势。

建议生产上在氮肥、磷肥、钾肥均衡施用基础上,应根据6个品种氮、磷、钾吸收利用的特点,合理施用种肥或基肥。ZD1002、ZD958、WK702、ZD538应适当用磷肥和钾肥,XY335应适当补施增施氮肥和钾肥,YD606适当补充氮肥和磷肥。

参考文献:

- [1] 王宜伦,自由路,王磊,等.基于养分专家系统的小麦-玉米推荐施肥效应研究[J].中国农业科学,2015,48(22):4483-4492.
Wang Y L, Bai Y L, Wang L, et al. Research on the fertilization effect of wheat - corn based on nutrient expert system[J]. China agricultural Science, 2015, 48(22): 4483-4492. (in Chinese)
- [2] 齐红志,刘天学,杜成凤,等.玉米苗期对氮、磷、钾亏缺的响应及基因型差异[J].河南农业大学学报,2011,45(2):142-148.
Qi H Z, Liu T X, Du C F, et al. Response to nitrogen, phosphorus, potassium deficiency in maize seedling stage and genotypic differences[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2011, 45(2): 142-148. (in Chinese)
- [3] 王敬锋,刘鹏,赵秉强,等.不同基因型玉米根系特性与氮素吸收利用的差异[J].中国农业科学,2011,44(4):699-707.
Wang J F, Liu P, Zhao B Q, et al. Differences in the characteristics of maize root system and nitrogen uptake and utilization of different genotypes[J]. Chinese Agricultural Science, 2011, 44(4): 699-707. (in Chinese)
- [4] 陆大雷,闫发宝,陆卫平.甜玉米磷素吸收利用的基因型差异[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2010,31(3):60-64.
Lu D L, Yan F B, Lu W P. Genotypic differences in the absorption and utilization of sweet corn phosphine[J]. Journal of Yangzhou University(Agricultural and life Sciences Edition), 2010, 31(3): 60-64. (in Chinese)
- [5] 魏湜,曹鑫波,李改玲,等.黑龙江玉米主产区不同基因型玉米氮素利用效率分析[J].东北农业大学学报,2017,48(2):1-7.
Wei S, Cao X B, Li G L, et al. Analysis of nitrogen utilization efficiency of different genotypes in the main producing areas of Heilongjiang corn[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2017, 48(2): 1-7. (in Chinese)
- [6] 王帅.长期不同施肥对玉米叶片光合作用及光系统功能的影响[D].沈阳农业大学,2014.
- [7] 郑伟,何萍,高强,等.施氮对不同土壤肥力玉米氮素吸收和利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(2):301-309.
Zheng W, He P, Gao Q, et al. Effects of nitrogen application on nitrogen uptake and utilization of different soil fertility[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2011, 17(2): 301-309. (in Chinese)
- [8] 侯云鹏,杨晓丹,杨建,等.不同施肥模式下玉米氮、磷、钾吸收利用特性研究[J].玉米科学,2017,25(5):128-135.
Hou Y P, Yang X D, Yang J, et al. Study on the absorption and utilization of corn nitrogen, phosphorus and potassium in different fertilization modes[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(5): 128-135. (in Chinese)
- [9] 姬景红,李玉影,刘双全,等.黑龙江省春玉米的优化施肥研究[J].中国土壤与肥料,2014(5):53-58.
Ji J H, Li Y Y, Liu S Q, et al. Study on optimal fertilization of spring maize in Heilongjiang province[J]. China Soil and Fertilizer, 2014 (5): 53-58. (in Chinese)
- [10] 曹敏建,衣莹,佟占昌,等.耐低氮胁迫玉米的筛选与评价[J].玉米科学,2000(4):64-69.
Cao M J, Yi Y, Tong Z C, et al. Screening and evaluation of resistance to low nitrogen stress[J]. Journal of Maize Sciences, 2000(4): 64-69. (in Chinese)
- [11] 罗延宏.玉米苗期耐低氮品种的筛选及其生理机制的初步研究[D].四川农业大学,2012.
- [12] 全国土壤普查办公室.全国第二次土壤普查暂行技术规程[M].北京:农业出版社,1979.
- [13] Liu Y, Mi G H, Chen F J. Rhizosphere effect and root growth of two maize(*Zea mays* L.) genotypes with contrasting P efficiency at low P availability[J]. Plant Science, 2004, 167(2).
- [14] 范曾丽,王三根.缺磷胁迫对不同玉米幼苗生长的影响[J].中国农学通报,2007(3):231-235.
Fan Z L, Wang S G. Effects of phosphorus deficiency stress on the growth of different maize seedlings[J]. China Agricultural Bulletin, 2007(3): 231-235. (in Chinese)
- [15] 王启现.夏玉米氮肥高效利用机制研究及周年氮素分析[D].中国农业大学,2004.
- [16] 刘凯,张吉旺,郭艳青,等.施磷量对高产夏玉米产量和磷素利用的影响[J].山东农业科学,2016,48(4):61-65.
Liu K, Zhang J W, Guo Y Q, et al. Effects of applying phosphorus on yield and phosphorus utilization in high-yielding summer maize[J]. Shandong Agricultural Science, 2016, 48(4): 61-65. (in Chinese)
- [17] 姚培清,王意琼,彭正萍,等.钾肥用量对夏玉米干物质和钾素积累、分配及抗倒性的影响[J].中国土壤与肥料,2016(4):113-117,138.
Yao P Q, Wang Y Q, Peng Z P, et al. Potash use of summer corn dry matter and potassium accumulation, distribution, and the influence of the lodging resistance[J]. Journal of Soil and Fertilizer in China, 2016(4): 113-117, 138. (in Chinese)
- [18] Wiesler F, Horst W J. Differences between maize cultivars in yield formation, nitrogen uptake and associated depletion of soil nitrate[J]. Agron Crop Sci., 1992, 168: 226-237. (下转第166页)

- Chinese)
- [15] Adetunji M C, Atanda O O, C.N. Ezekiel. Risk assessment of mycotoxins in stored maize grains consumed by infants and young children in Nigeria[J]. *Children*, 2017, 4(7): 58.
- [16] Hove M, Boevre M D, Lachat C, et al. Occurrence and risk assessment of mycotoxins in subsistence farmed maize from Zimbabwe[J]. *Food Control*, 2016, 69: 36–44.
- [17] Marin S, Ramos A J, Cano-Sancho G, et al. Mycotoxins: occurrence, toxicology, and exposure assessment[J]. *Food & Chemical Toxicology*, 2013, 60(10): 218–237.
- [18] Ortiz J, Van C J, Mestdagh F, et al. Mycotoxin co-occurrence in rice, oat flakes and wheat noodles used as staple foods in Ecuador [J]. *Food Addit Contam Part A: Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 2013, 30(12): 2165–2176.

(责任编辑:姜媛媛)

(上接第 161 页)

- [19] Wiesler F, Horst W J. Differences among maize cultivars in the utilization of soil nitrate and the related losses of nitrate through leaching[J]. *Plant and Soil*, 1993, 151: 193–203.
- [20] 向春阳,常强,马兴林,等.玉米不同基因型对氮营养胁迫的反应[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2002(4): 5–7.
Xiang C Y, Chang Q, Ma X L, et al. The reaction of different genotypes of maize to nitrogen nutrition stress[J]. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University*, 2002(4): 5–7. (in Chinese)
- [21] 王艳,孙杰,王荣萍,等.玉米自交系吸收利用磷素的差异及其相关性[J]. *应用与环境生物学报*, 2003(5): 479–481.
Wang Y, Sun J, Wang R P, et al. Differences in the absorption and utilization of phosphine by maize inbreeding[J]. *Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003(5): 479–481. (in Chinese)
- [22] 刘洋.不同磷肥施用量对玉米主要生理特性及产量的影响[D].吉林农业大学, 2013.
- [23] 齐红志.玉米氮磷钾吸收利用的基因型差异研究[D].河南农业大学, 2011.
- [24] 吕福堂,张秀省,张保华,等.不同玉米基因型吸钾和耐低钾能力的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005(4): 556–559.
Lu F T, Zhang X S, Zhang B H, et al. Studies on the ability of potassium uptake and low potassium tolerance in different maize genotypes[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2005(4): 556–559. (in Chinese)
- [25] 张萌,曹国军,耿玉辉,等.不同施磷方式对吉林省西部超高产玉米磷素吸收积累的影响[J]. *玉米科学*, 2015, 23(6): 102–107.
Zhang M, Cao G J, Geng Y H, et al. Effects of different application of phosphorus on the absorption and accumulation of ultra-high-yielding maize in western Jilin province[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2015, 23(6): 102–107. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)