文章编号：1005-0906(2015)04-0124-08 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20150422

施钾对春玉米产量、养分吸收及分配的影响

侯云鹏,杨 建,孔丽丽,秦裕波,尹彩侠,李 前,王立春,谢佳贵
(吉林省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部东北植物营养与农业环境重点实验室,长春 130033)

摘 要：通过连续两年田间试验,研究吉林省中部玉米主产区施钾对春玉米产量、养分吸收、转运、分配及钾肥利用率的影响。结果表明,施用钾肥可显著提高春玉米产量,在一定施钾范围内,春玉米产量随施钾量的增加而增加,当施钾量超过90 kg/hm²后产量不再增加,根据玉米产量(y)和施钾量(x)拟合,得出最佳施钾量为82.9～86.6 kg/hm²。施钾肥可提高干物质最大积累速率和积累总量、养分最大吸收速率和吸收总量,提前干物质最大积累速率和养分最大吸收速率出现的时间。施钾可提高春玉米氮、磷、钾养分向子粒的转运量及转运率,施钾量30～90 kg/hm²范围内抽雄期养分积累量与子粒转运量和转运率呈正比,当施钾量超过90 kg/hm²后,氮、磷、钾养分转运出现负效应。钾素农学利用率和偏生产力随着施钾量的增加而下降,钾肥当季回收率以施钾量90 kg/hm²处理最高。在吉林省中部玉米主产区,适宜施钾量为82.9～86.6 kg/hm²。

关键词：春玉米;干物质积累;养分吸收;钾肥利用率
中图分类号：S513.062 **文献标识码**：A

Effects of Potassium Fertilizer Application on Yield, Nutrient Absorption and Distribution of Spring Maize

HOU Yun-peng, YANG Jian, KONG Li-li, QIN Yu-bo, YIN Cai-xia, LI Qian, WANG Li-chun, XIE Jia-gui
(*Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region, Ministry of Agriculture/ Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun* 130033, China)

Abstract: Field experiments were conducted to study the effects of potassium fertilizer application on yield, nutrient absorption, transformation and potassium utilization efficiency in main maize production areas in central Jilin province. The results showed that potassium fertilizer application improved the yield of spring maize significantly. The yield of spring maize was increased in a certain range of potassium application rates, but it was not increased anymore when potassium application rates exceeded 90 kg/ha. Simulated by linear-plateau models, the optimum potassium application rate was 82.9-86.6 kg/ha. According to maize yield(y) and potassium application rates(x) fitting, potassium fertilizer application increased the maximum rates and the total amounts of dry matter accumulation and nutrients absorption, also occurred the time early of the maximum rates of dry matter accumulation and nutrients absorption. Potassium fertilizer application could enhance the translocation amounts and rates from N, P, and K nutrition to grain in spring maize. The amounts of nutrient accumulation at tasseling stage was proportional to the amounts and rates of the translocation to grain at the range of 30-90 kg/ha(K_2O), but it could cause negative effect for N, P and K nutrients translocation, when potassium application rates exceeded 90 kg/ha. Agronomic efficiency and partial factor productivity of potassium were reduced by increasing potassium application rates, and the treatment of 90 kg/ha(K_2O) got the highest value of potassium recovery efficiency. The recommended optimum potassium dosages for areas was 82.9-86.6 kg/ha in main maize production areas in central Jilin province.

Key words: Spring maize; Dry matter accumulation; Nutrient absorption; Potassium utilization efficiency

收稿日期：2014-11-22
基金项目：国家科技支撑计划(2013BAD07B14,2013BAD07B02,C2228010203)、中国—国际植物营养研究所(IPNI)合作项目(BFDP-Jilin-2014)
作者简介：侯云鹏(1982-),助理研究员,主要从事植物营养研究。E-mail:exceedfhvfha@163.com
王立春、谢佳贵为本文通迅作者。E-mail:wanglichun1960@163.com E-mail:xiejiagui@163.com

玉米是吉林省是种植面积最大的作物,其种植面积占全省耕地总面积的61.8%以上。在玉米生产中,钾素是实现玉米高产和稳产重要的营养元素之一,对提高玉米的产量形成和改善子粒品质等方面具有十分重要的作用。在植株体内,钾不仅可以提高光合作用与光合产物运转,增强作物的抗逆性和抗病能力,还会影响氮、磷等养分的吸收与利用,且玉米对钾素的吸收量比较大,仅次于氮,因此,合理施用钾肥是实现玉米持续高产的重要措施。近年来,由于氮、磷化肥用量的逐年增加,复种指数和作物产量的不断提高,使作物对钾的需求量明显增加。然而,在传统玉米生产中,人们往往重视氮、磷肥而忽略钾肥的投入,加之有机肥施用量的减少,造成土壤钾素亏缺严重[2~5],导致玉米产量不高,品质下降。因此,合理施用钾肥对土壤培肥、实现作物增产和保护生态环境具有重要意义。

目前,围绕施用钾肥对玉米产量、农学效应与品质及土壤钾素平衡状况等方面开展了大量研究,并获得了一些重要结论。谢佳贵[6]等研究表明,施用钾肥可以显著增加玉米产量;赵利梅等[7]研究表明,施用钾肥可以使玉米子粒的粗脂肪、淀粉、还原糖和蔗糖含量得到提高;尹彩侠等[8]研究发现,土壤养分测定值与施钾量之间存在着密切的直线负相关。有关于施用钾肥对玉米氮、磷吸收的影响报道较少。本文通过连续两年田间试验,研究不同施钾水平条件下对氮、磷、钾养分吸收与利用,从而探明玉米钾肥调控机理,为玉米合理施用钾肥提供理论基础和技术指导。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于2012、2013年在吉林省公主岭市刘房子镇(124°58′23.7″E,44°39′31.2″N)进行。该地区位于吉林省中部,供试土壤为黑土,质地为中壤,0~20 cm层土壤基本养分状况见表1。试验共设5个处理,钾肥用量分别设为0、30、60、90、120 kg/hm^2(分别以K_0、K_{30}、K_{60}、K_{90}、K_{120}表示)。试验各处理氮(N)、磷(P_2O_5)肥用量相同,分别为180、75 kg/hm^2。施肥方法为1/3氮肥与全部磷、钾肥于播种前基施,2/3氮肥在拔节期作追肥施用。氮、磷、钾肥分别采用尿素(N46%)、重过磷酸钙(P_2O_5 46%)和氯化钾(K_2O 60%)。

供试玉米品种均为先玉335,4月29日播种,种植密度为6.0万株/hm^2,9月30日收获。小区面积40 m^2,6垄宽,随机区组排列,3次重复,两边设有保护行,其他田间管理按生产田进行。2012年公主岭玉米生长季内≥10℃积温为3 072℃·d,降雨量为483.5 mm;2013年公主岭玉米生长季内≥10℃积温为2 894℃·d,降雨量为506.8 mm。因两年气候因素相差较小,且试验结果趋势基本一致,本文主要分析2012年试验结果。

表1　供试土壤基本养分状况

Table 1　The basic nutrient characters of the tested soils

年份 Year	有机质(g/kg) OM	碱解氮(mg/kg) Available N	有效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K	全钾(g/kg) Total K	pH值 pH value
2012	20.21	102.92	16.75	93.26	13.2	5.9
2013	19.68	110.28	18.02	85.34	11.4	5.6

1.2　测定项目与方法

分别于玉米苗期、拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期和成熟期(即出苗后26、46、60、80、97、145 d)采集植株样本,每小区采取有代表性玉米5株(苗期取40株),灌浆期和成熟期的植株样品分为秸秆和子粒两部分。于105℃杀青30 min后,80℃烘干至恒重,称重并计算地上部干物重。样品粉碎过0.5 mm筛,分别测定氮、磷、钾养分含量。分析采用H_2SO_4-H_2O_2法消煮,全氮采用凯氏法进行测定,全磷采用钒钼黄比色法测定,全钾采用火焰光度计法测定;成熟期收获每试验小区中间四垄玉米,按14%水分计产。

1.3　计算公式与统计方法

钾收获指数(HI) =成熟期子粒钾吸收量/植株钾总吸收量×100;

钾肥当季回收率(RE_K)=(收获期施钾区地上部总吸钾量-收获期不施钾区地上部总吸钾量)/钾肥施用量×100;

钾肥农学效率(AE_K)= (施钾区玉米产量-不施钾区玉米产量) /钾肥施用量;

氮肥偏生产力PFP_K)=施氮区产量/氮肥施用量;

转运量=灌浆前营养体养分吸收量-成熟期营养体养分吸收量;

转运效率=养分转运量/灌浆前营养体养分吸收

量×100%；

子粒中养分比例=成熟期子粒氮(磷、钾)吸收量/植株氮(磷、钾)吸收量×100%。

1.4 数据处理

试验数据采用Microsoft Excel 2013和SPSS 19.0统计软件处理。

2 结果与分析

2.1 施钾对春玉米产量及其构成因子的影响

施用钾肥对玉米产量及其构成因子产生重要的影响。结果表明，二年的产量结果趋势一致，施钾处理玉米产量均高于不施钾肥处理，其中K_{60}、K_{90}和K_{120}处理与不施钾肥处理差异达显著水平($P<0.05$)。在不同施钾处理中，玉米产量随施钾量的增加呈先增后降的趋势。施钾量在30～90 kg/hm²范围内，玉米产量随钾肥用量的增加而增加，当钾肥用量超过90 kg/hm²处理后，玉米产量开始下降(表2)。

产量构成因子结果与产量结果趋势一致，穗粒数和千粒重随着施钾量的增加呈先增后降的趋势。当施钾量超过90 kg/hm²后，穗粒数和千粒重下降。适宜的钾肥用量可以提高玉米穗粒数和千粒重，从而提高玉米产量。

表2 不同施钾处理对玉米产量及其构成因子的影响

Table 2 Effects of different K application treatments on yield and it's components in maize

处理 Treatment	2012年			2013年		
	穗粒数(粒) Grains per cob	千粒重(g) 1 000-grain weight	产量(kg/hm²) Yield	穗粒数(粒) Grains per cob	千粒重(g) 1 000-grain weight	产量(kg/hm²) Yield
K_0	497.3 d	297.2 b	10 398 c	503.2 d	289.7 b	10 556 c
K_{30}	539.7 c	328.8 a	11 153 bc	533.7 c	323.4 a	11 214 bc
K_{60}	567.6 b	330.6 a	11 714 ab	577.4 b	325.9 a	11 696 ab
K_{90}	601.4 a	334.7 a	12 338 a	613.5 a	328.8 a	12 112 a
K_{120}	592.4 a	332.6 a	12 162 a	606.7 a	327.6 a	12 040 a

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下表、下图同。

Note: Different small letters in the same column indicated significant difference at 0.05 probability level. The same below.

依据玉米产量(y)与施钾量(x,)的关系建立线性加平台回归方程$y=a+bx$。

由图1可知，2012、2013年最高产量钾肥用量分别为82.9 kg/hm²和86.6 kg/hm²，可获得玉米产量12 249、12 075 kg/hm²。当施钾量超过82.9 kg/hm²和86.6 kg/hm²后，玉米产量不再增加。

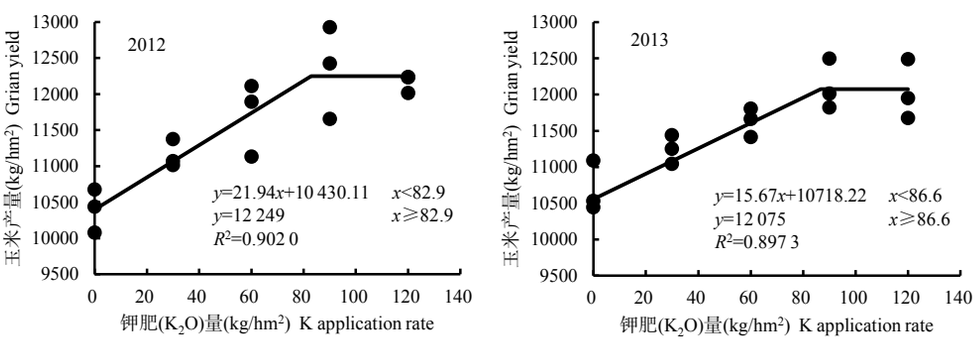

图1 玉米产量与施钾量(K_2O)关系的模型拟合

Fig.1 The fitting models of describing relationships between maize yield and the K

2.2 施钾对玉米干物质积累及养分吸收的影响

不同施肥处理条件下，玉米不同生育期干物质积累和养分吸收可用Logistic方程$Y=k/(1+ae^{bX})$描述，式中，Y为干物质积累或养分吸收量，X为时间(d)，k、a、b为待定参数。由上述方程可以反映钾肥不同用量引起干物质积累和养分吸收量变化。

2.2.1 春玉米干物质积累动态

从Logistic方程拟合结果可以看出，与不施钾肥

处理相比,施钾各处理干物质最大积累速率和积累总量均有不同程度的提高,提高幅度分别为5.0%~19.0%和6.9%~18.3%。在不同施钾处理中,干物质最大积累速率和积累总量随施钾量的增加呈先增后降的趋势,其中,施钾量90 kg/hm²(K_{90})处理干物质最大积累速率和积累总量最大,较其他施钾处理分别提高1.7%~15.3%和0.4%~10.7%。适宜的钾肥用量有利于干物质最大积累速率和积累总量的提高。

表3还表明,施用钾肥可提前干物质最大积累速率出现的时间,出现时间较不施钾肥处理提前0.3~3.0 d。施钾量90 kg/hm²(K_{90})处理干物质最大积累速率出现的时间最早,较其他施钾处理提前1.9~2.7 d。干物质最大积累速率越高、出现的时间越早,越有利于干物质积累总量的提高。

表3　春玉米干物质积累Logistic方程回归分析

Table 3　Logistic equation analysis for dry matter accumulation of spring maize

处理 Treatment	回归方程 Regression equation	相关系数 r	最大积累速率[g/(株·d)] The highest accumulation rate	最大积累速率出现天数(d) Days of the highest accumulation rate	积累总量 (g/株) Total accumulation
K_0	$y=292.547/(1+150.840\times e^{-0.060x})$	0.997	4.42	83.0	289.8
K_{30}	$y=313.205/(1+134.403\times e^{-0.059x})$	0.994	4.64	82.7	309.8
K_{60}	$y=323.470/(1+147.311\times e^{-0.061x})$	0.998	4.94	81.8	321.0
K_{90}	$y=345.270/(1+142.130\times e^{-0.062x})$	0.997	5.35	80.0	342.8
K_{120}	$y=344.191/(1+149.218\times e^{-0.061x})$	0.991	5.26	81.9	341.5

2.2.2　春玉米养分吸收动态

Logistic方程拟合结果表明,施用钾肥均可提高养分最大吸收速率和吸收总量。氮、磷、钾最大吸收速率较不施钾肥处理分别提高12.7%~41.6%、20.4%~59.2%和47.9%~66.1%,吸收总量分别提高7.8%~24.4%、15.2%~34.8%、3.3%~16.7%。在不同施钾处理中,养分最大吸收速率和吸收总量均随施钾量的增加呈先增后降的趋势,其中施钾量90 kg/hm²(K_{90})处理养分最大吸收速率和吸收总量最大,氮、磷、钾最大吸收速率较其他施钾处理分别提高1.3%~25.6%、2.7%~32.2%和2.4%~12.3%,吸收总量分别提高0.6%~15.4%、1.6%~17.0%和1.7%~13.0%(表4)。适宜的钾肥用量有利于养分最大吸收速率和吸收总量的提高。

表4　春玉米氮、磷、钾吸收量Logistic方程回归分析

Table 4　Logistic equation analysis for N, P, K uptake of spring maize

处理 Treatment	项目 Item	回归方程 Regression equation	相关系数 r	最大积累速率[g/(株·d)] The highest accumulation rate	最大积累速率出现天数(d) Days of the highest accumulation rate	吸收总量 (g/株) Total uptake
K_0	N	$y=2.823/(1+87.777e^{-0.065x})$	0.998	45.94	68.7	2.83
K_{30}		$y=3.015/(1+95.939e^{-0.069x})$	0.997	51.79	66.4	3.05
K_{60}		$y=3.199/(1+126.861e^{-0.074x})$	0.999	58.88	65.8	3.25
K_{90}		$y=3.461/(1+130.512e^{-0.075x})$	0.998	65.04	64.8	3.52
K_{120}		$y=3.459/(1+130.596e^{-0.074x})$	0.995	64.22	65.6	3.50
K_0	P	$y=0.476/(1+63.908e^{-0.055x})$	0.983	6.52	75.8	0.46
K_{30}		$y=0.550/(1+71.568e^{-0.057x})$	0.981	7.85	74.8	0.53
K_{60}		$y=0.574/(1+99.170e^{-0.064x})$	0.984	9.22	71.6	0.56
K_{90}		$y=0.639/(1+97.108e^{-0.065x})$	0.978	10.38	70.4	0.62
K_{120}		$y=0.633/(1+93.569e^{-0.064x})$	0.982	10.11	71.1	0.61
K_0	K	$y=2.015/(1+307.710e^{-0.095x})$	0.991	47.96	60.2	2.09
K_{30}		$y=2.413/(1+1\ 078.460e^{-0.118x})$	0.982	70.94	59.4	2.16
K_{60}		$y=2.545/(1+927.158e^{-0.118x})$	0.987	74.89	58.0	2.29
K_{90}		$y=2.705/(1+894.897e^{-0.118x})$	0.983	79.65	57.7	2.44
K_{120}		$y=2.718/(1+769.749e^{-0.118x})$	0.985	77.78	58.1	2.40

表4表明，施用钾肥可提前养分最大吸收速率出现的时间，氮、磷、钾最大吸收速率出现时间较不施钾肥处理分别提高2.3～3.9 d、1.0～5.4 d和0.8～2.5 d。施钾量90 kg/hm²(K_{90})处理氮、磷、钾最大吸收速率出现的时间最早，较其他施钾处理分别提前0.8～1.6 d、0.7～4.4 d和0.3～1.7 d。养分最大吸收速率越高、出现的时间越早，越有利于养分吸收总量的提高。

2.3 施钾对氮、磷、钾养分转运及分配的影响

2.3.1 氮、磷、钾养分的转运

玉米子粒中养分吸收的一部分来源于根系吸收养分的直接供应，另一部分是营养器官中养分的转移。养分的转运量可用抽雄期和成熟期营养体中养分累积量之差来表示，养分的转运量和转运效率，是营养体养分向子粒转移量的重要指标。

表5表明，施钾可以提高营养器官向生殖器官的氮、磷、钾转运量和转运效率，与不施钾肥处理相比，施钾处理氮、磷、钾转运量和转运效率差异均达到显著水平($P<0.05$)，转运量提高幅度分别为19.5%～61.4%、14.2%～48.5%和39.4%～66.9%，转运效率提高幅度分别为3.5%～6.9%、0.9%～5.9%和4.5%～7.5%。当施钾量超过90 kg/hm²后，氮、磷、钾转运量和转运效率开始下降，表明适宜的钾肥用量可以促进玉米抽雄期氮、磷、钾养分向子粒的转运，使子粒养分显著提高，达到源库的平衡。钾肥供应不足，会使营养体氮、磷、钾营养的制造与运输能力不足，而过量供应会导致营养体氮、磷、钾代谢过旺，不利于营养体中氮、磷、钾养分向子粒中转运。各处理间子粒中氮、磷、钾养分比例间无显著差异。

表5还表明，在氮、磷、钾养分中，转运效率和子粒中养分比例以磷最高，(59.98%～65.56%、78.43%～81.15%)，其次为氮(48.44%～78.18%、42.96%～49.89%)，钾最低(24.68%～32.22%、27.86%～31.61%)，表明作为主要代谢库的子粒对氮、磷的需求量大于对钾的需求，是造成养分转运效率差异的主要原因。

表5 营养体氮、磷、钾向子粒的转运量及转运效率

Table 5 Translocation amount and efficiency of N, P and K from vegetative organs to grains

项目 Item	营养体养分转运 Translocation of nutrients in vegetative mass	处理 Treatment				
		K0	K1	K2	K3	K4
N	转运量(kg/hm²)	48.44 d	57.91 c	71.28 b	78.18 a	75.78 ab
	转运效率(%)	42.96 c	46.41 b	49.70 ab	49.89 a	48.96 a
	子粒中养分比例(%)	62.17 a	61.97 a	63.07 a	62.81 a	62.34 a
P	转运量(kg/hm²)	9.08 d	10.37 c	11.43 b	13.48 a	12.83 a
	转运效率(%)	59.98 b	60.91 b	61.93 b	65.56 a	63.53 ab
	子粒中养分比例(%)	79.08 a	78.43 a	79.10 a	81.15 a	80.07 a
K	转运量(kg/hm²)	31.99 c	44.60 b	49.62 ab	53.39 a	47.48 ab
	转运效率(%)	24.68 b	30.68 a	32.02 a	32.22 a	29.20 a
	子粒中养分比例(%)	27.86 a	29.84 a	31.61 a	31.28 a	30.04 a

2.3.2 玉米不同器官氮、磷、钾的分配

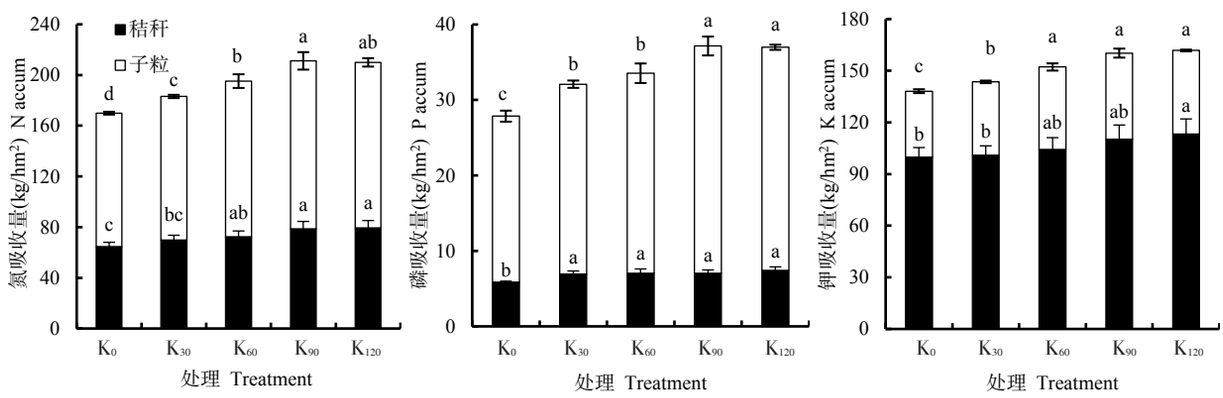

图2 玉米成熟期氮、磷、钾养分分配

Fig.2 The distributions of N, P and K nutrients at maturity in maize

图2表明,不同施钾处理下玉米成熟期各器官氮、磷素分配量表现为子粒>秸秆,而钾素的分配不同,表现为秸秆>子粒。施钾各处理成熟期氮、磷、钾分配量均高于不施钾肥(K_0)处理,其中,子粒的氮、磷、钾分配量差异达显著水平($P<0.05$)。当施钾量超过90 kg/hm^{2}后,氮磷钾积累量开始下降。秸秆与子粒趋势不同,氮、磷、钾分配量均随施钾量的增加而增加。表明施钾量对氮、磷、钾养分向营养器官和生殖器官的分配量具有调控作用,适宜的钾肥用量有利于子粒中养分的积累,使子粒养分提高,而钾肥供应过量会使玉米秸秆中的养分过多地滞留于营养器官中,不利于子粒中养分的积累,最终影响产量。

2.4　施钾对春玉米氮肥利用率的影响

表6表明,不同施钾处理的钾肥农学利用率和钾肥偏生产力呈现出随施钾量的增加而下降的趋势,两年结果趋势一致,钾肥用量从30 kg/hm^{2}增加至120 kg/hm^2,2012年玉米钾肥农学利用效率和偏生产力分别从25.2 kg/kg和371.8 kg/kg下降至14.7 kg/kg和101.4 kg/kg,2013年玉米钾肥农学利用效率和偏生产力分别从21.9 kg/kg和373.8 kg/kg下降至16.5 kg/kg和100.3 kg/kg,钾肥当季回收率与农学利用率和偏生产力趋势不同,随施钾量的增加呈先增后降的趋势,当施钾量超过90 kg/hm^{2}后,钾肥当季回收率显著下降。

表6　施钾对玉米钾肥利用率的影响

Table 6　Effects of K fertilizer application on K utilization efficiency in maize

处理 Treatment	2012年			2013年		
	钾肥农学利用率 (kg/kg) AE_K	钾肥当季回收率 (%) RE_K	钾肥偏生产力 (kg/kg) PFP_K	钾肥农学利用率 (kg/kg) AE_K	钾肥当季回收率 (%) RE_K	钾肥偏生产力 (kg/kg) PFP_K
K_0	–	–	–	–	–	–
K_{30}	25.2 a	13.7 c	371.8 a	21.9 a	15.9 c	373.8 a
K_{60}	21.9 b	28.9 a	195.2 b	19.0 ab	23.5 b	194.9 b
K_{90}	21.6 b	29.6 a	137.1 c	17.3 ab	30.7 a	134.6 c
K_{120}	14.7 c	23.7 b	101.4 d	16.5 b	25.8 b	100.3 d

3　结论与讨论

钾是玉米生长发育所必需的大量营养元素之一,钾素的供应不足将限制玉米产量的提高。大量研究表明,施用钾肥能够显著提高玉米产量[10~12]。刘淑霞等[13]研究发现,随着施钾量的增加,玉米产量增加,当施钾量达到一定值,玉米产量最高;钾肥施用量继续增加,玉米产量呈下降趋势。本研究结果表明,玉米产量随施钾量的增加而增加,当施钾量高于90 kg/hm^{2}时,产量随施钾量的增加而下降。依据玉米产量与施钾量的关系建立线性加平台回归模型分析,得出适宜施钾量为82.9~86.6 kg/hm^2。由此可见,大量投入钾肥并不能使玉米高产,适宜的钾肥用量才是玉米高产稳产的关键。

生物量积累和其体内的养分作为产量形成的基础,受施钾水平的影响显著。王宜伦等[14]研究表明,施用钾肥可显著提高玉米各生育期养分吸收总量。本研究结果表明,不施钾时玉米干物质最大积累速率和养分最大吸收速率最低,出现时间最晚,同时干物质积累总量和养分吸收总量均最低。在施钾各处理中,干物质最大积累速率、养分最大吸收速率、干物质积累和养分吸收总量随施钾量的增加呈先增后降的趋势,以施钾量90 kg/hm^{2}处理最高。表明钾素供应过量或不足均不利于春玉米养分吸收和干物质积累,最终影响产量。在N、P、K三要素中,K的最大吸收速率出现最早,N居中,P的最大吸收速率最晚。从养分最大吸收速率和干物质最大积累速率出现的时间来看,养分最大吸收速率出现的时间在干物质积累最大速率之前。虽然二者出现时间不具有同步性,但干物质积累速率和养分吸收速率趋势一致,可见,干物质积累速率是以养分吸收速率为前提。与吴迪等[15]和刘占军等[16]的研究结果一致。

如何协调作物源库之间的关系,成为能否实现作物高产的关键[17]。作物源库机理是养分在源库间的转化、分配。提高养分向库器官中的转运和分配是提高产量的重要因素[18,19]。对玉米而言,植株营养体养分是子粒生产的主要的源,因此在生育后期植株养分输出量是衡量“源库”是否协调的重要指标。戴明宏等[20]研究表明,子粒受植株的影响,养分不足或过量直接影响养分向子粒中的转运及分配。

本研究表明，玉米植株氮、磷、钾转运量和转运率均随施钾量的增加呈先增后降的趋势，当钾肥用量超过90 kg/hm²后，营养体中养分向子粒转运量出现负效应。成熟期各器官养分积累量也证明了这一点，子粒氮、磷、钾积累量随施钾量的增加呈先增后降的趋势，当施钾量超过90 kg/hm²后，氮磷钾积累量开始下降。秸秆与子粒趋势不同，氮、磷、钾分配量均随施钾量的增加而增加。可见，钾肥供应过量或不足，均不利于玉米群体源库的供应。而适宜钾肥用量提高营养体养分向子粒的转运，直接改善了营养体养分向子粒的转输，增加了收获期子中养分所占整个植株比例，从而获得更高的经济产量。

肥料利用效率是表征合理施肥的重要指标，通过当季回收率、农学效率和肥料偏生产力等参数来表示[21]。大量研究表明，随着钾肥用量的提高，作物产量和钾吸收量增加，钾肥利用效率降低。在本研究中，钾肥用量在30～90 kg/hm²范围内，随着钾肥用量的增加，钾吸收总量和玉米产量不断增加；当施钾量超过90 kg/hm²后，钾吸收总量和玉米产量呈下降趋势，钾素农学利用率、偏生产力表现为随施钾量的增加呈显著下降趋势。K_{30}和K_{60}处理玉米钾素农学利用效率和偏生产力最高，而产量却低于最佳施钾量K_{90}处理。因此，钾肥利用效率等指标并不是越高越好，而是在维持较高的目标产量前提下，减少钾肥的损失才具有实际意义。

在吉林省中部黑土区，钾肥供应显著提高玉米产量、干物质积累总量和养分吸收总量，主要是由于适宜的钾素供应水平下，玉米干物质最大速率和养分最大吸收速率得到提高，出现的时间提前，同时提高了氮、磷、钾转运量及转运率，最终使玉米高产。因此，综合产量、养分吸收、转运及钾肥利用率等因素，在吉林省中部玉米主产区，适宜钾肥施用量在82.9～86.6 kg/hm²。

参考文献：

[1] 中国统计年签2013[M]．北京：中国统计出版社，2013．

[2] 谭德水，金继运，黄绍文．长期施钾与秸秆还田对西北地区不同种植制度下作物产量及土壤钾素的影响[J]．植物营养与肥料学报，2008，14(5)：886-893．
Tan D S, Jin J Y, Huang S W. Effect of long-term K fertilizer application and returning wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting systems in northwestern China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(5): 886-893. (in Chinese)

[3] 刘荣乐，金继运，吴荣贵，等．我国北方土壤-作物系统内钾素循环特征及秸秆还田与施钾肥的影响[J]．植物营养与肥料学报，2000，6(2)：123-132．
Liu R L, Jin J Y, Wu R G, et al. Study on the characteristics of potassium cycling indifferent soil-crop systems in northern China[J]. Plant Nutr.Fert. Sci., 2000, 6(2): 123-132. (in Chinese)

[4] 王宏庭，金继运，王 斌，等．山西褐土长期施钾和秸秆还田对冬小麦产量和钾素平衡的影响[J]．植物营养与肥料学报，2010，16(4)：801-808．
Wang H T, Jin J Y, Wang B, et al. Effects of long- term potassium application and wheat straw return to cinnamon soil on wheat yields and soil potassium balance in Shanxi[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(4): 801-808. (in Chinese)

[5] 谭德水，金继运，黄绍文，等．长期施钾对玉米连作土壤-作物系统钾素特征的影响[J]．土壤通报，2009，40(6)：1376-1380．
Tan D S, Jin J Y, Huang S W, et al. Effect of long-term application of K fertilizer on potassium character of soil-crop system under continuous maize cultivation[J]. Chin J. Soil Sci., 2009, 40(6): 1376-1380. (in Chinese)

[6] 谢佳贵，王立春，尹彩侠，等．吉林省不同类型土壤玉米施肥效应研究[J]．玉米科学，2008，16(4)：167-171．
Xie J G, Wang L C, Yin C X, et al. Response to fertilization of maize on the different types of soil in Jilin province[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(4): 167-171. (in Chinese)

[7] 赵利梅，王贵平，高炳德，等．氮磷钾平衡施肥对春玉米子粒建成及品质形成影响的研究[J]．内蒙古农业大学学报，2000，21(增刊)：17-20．
Zhao L M, Wang G P, Gao B D, et al. Studies on the effects of N. P. K. equilibrium fertilization on seed and quality formative law of spring maize[J]. J. Inner Mongolia Agric. Univ., 2000, 21(S1): 17-20. (in Chinese)

[8] 尹彩侠，侯云鹏，秦裕波，等．吉林省不同类型土壤玉米施用钾肥效应研究[J]．吉林农业科学，2010，35(5)：22-24．
Yin C X, Hou Y P, Qin Y B, et al. Studies on potassium fertilizer effect of maize on different types of soil in Jilin province[J]. Jilin Agric. Sci., 2010, 35(5): 22-24. (in Chinese)

[9] 谭德水，金继运，黄绍文，等．东北地区黑土、草甸土长期施钾对玉米产量及耕层土钾素形态的影响[J]．植物营养与肥料学报，2007，13(5)：850-855．
Tan D S, Jin J Y, Huang S W, et al. Effect of long-term K application on corn yield and potassium forms in plough layer of black soil and meadow soil in northeast of China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(5): 850-855. (in Chinese)

[10] 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. Effect of N application on nitrogen absorption and utilization of spring maize under different soil fertilities[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(2): 301-309. (in Chinese)

[11] 倪大鹏，刘 强，阴卫军，等．施钾时期和施钾量对玉米产量形成的影响[J]．山东农业科学，2007，21(4)：76-80．
Ni D P, Liu Q, Yin W J, et al. Effects of the times and rates of potassium application on maize yield formation[J]. J. Shandong Agric. Sci., 2007, 21(4): 76-80. (in Chinese)

[12] 郑福丽，刘兆辉，张文君，等．不同钾肥用量对玉米产量和土壤养分的影响[J]．山东农业科学，2006(6)：50-52．
Zheng F L, Liu Z H, Zhang W J, et al. Effects of different potassium application rates on maize yield and soil nutrients[J]. J. Shan-

dong Agric. Sci., 2006(6): 50-52. (in Chinese)

[13] 刘淑霞,吴海燕,赵兰坡,等 . 不同施钾量对玉米钾素吸收利用的影响研究[J] . 玉米科学,2008,16(4):172-175 .
Liu S X, Wu H Y, Zhao L P, et al. Effects of different potassium rates on potassium absorption and utilization by maize plant[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(4):172-175. (in Chinese)

[14] 王宜伦,李潮海,何 萍,等 . 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究[J] . 植物营养与肥料学报,2010,16(3):559-566 .
Wang Y L, Li C H, He P, et al. Nutrient restrictive factors and accumulation of super-high- yield summer maize[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(3): 559-566. (in Chinese)

[15] 吴 迪,黄绍文,金继运,等 . 氮肥运筹、配施有机肥和坐水种对春玉米产量与养分吸收转运的影响[J] . 植物营养与肥料学报,2009,15(2):317-326 .
Wu D, Huang S W, Jin J Y, et al. Effects of nitrogen fertilizer management, organic manure application and bed-irrigation sowing on maize yield, and nutrient uptake and translocation[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(2): 317-326. (in Chinese)

[16] 刘占军,谢佳贵,张 宽,等 . 不同氮肥管理对吉林春玉米生长发育和养分吸收的影响[J] . 植物营养与肥料学报,2011,17(1):38-47 .
Liu Z J, Xie J G, Zhang K, et al. Maize growth and nutrient uptake as influenced by nitrogen management in Jilin province[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(1): 38-47. (in Chinese)

[17] 易镇邪,王 璞,张红芳,等 . 氮肥类型与施用量对华北平原夏玉米源库关系的影响[J] . 植物营养与肥料学报,2006,12(3):294-300 .
Yi Z X, W P, Zhang H F, et al. Effects of type and application rate of nitrogen fertilizer on source-sink relationship in summer maize in North China Plain[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(3): 294-300. (in Chinese)

[18] 龚月桦,高俊凤 . 高等植物光合同化物的运输与分配[J] . 西北植物学报,1999,19(3):564-570 .
Gong Y H, Gao J F. Transport and partitioning of photo assimilate in higher plant[J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin., 1999, 19(3): 564-570. (in Chinese)

[19] 王 雪,张 阔,孙志梅,等 . 氮素水平对萝卜干物质累积特征及源库活性的影响[J] . 中国农业科学,2014,47(21):4300-4308 .
Wang X, Zhang K, Sun Z M, et al. Effects of nitrogen levels on characteristics of dry matter accumulation and source-sink activities of radish[J]. Sci. Agric. Sin., 2014, 47(21): 4300-4308. (in Chinese)

[20] 戴明宏,陶洪斌,王利纳,等 . 不同氮肥管理对春玉米干物质生产、分配及转运的影响[J] . 华北农学报,2008,23(1):154-157 .
Dai M H, Tao H B, Wang L N, et al. Effects of different nitrogen managements on dry matter accumulation, partition and transportation of spring maize(*Zea mays* L.) [J]. Acta Agric. Boreali- Sin., 2008, 23(1): 154-157. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)

2016年《黑龙江农业科学》征订启事

《黑龙江农业科学》是黑龙江省农业科学院主办的综合性科技期刊,是全国优秀期刊、黑龙江省优秀期刊。现已被中国核心期刊(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库等多家权威数据库收录。

本刊内容丰富栏目新颖,信息全面,可读性强。月刊,**每月10日出版**,国内外公开发行。**国内邮发代号14-61**,每期定价**12.00**元,全年**144.00**元;国外发行代号M8321,每期定价12.00美元,全年144.00美元。

热忱欢迎广大农业科研工作者、农业院校师生、国营农场及农业技术推广人员、管理干部和广大农民群众踊跃订阅。全国各地邮局均可订阅,漏订者可汇款至本刊编辑部补订。**汇款写明订购份数、收件人姓名、详细邮寄地址及邮编**。

另有合订本珍藏版欢迎订购。2007年合订本每册定价80.00元,2008~2009年合订本每册定价90.00元,2010~2014年合订本150.00元,邮费各10.00元,售完为止。

欢迎投稿　　欢迎订阅　　欢迎刊登广告

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号 《黑龙江农业科学》编辑部　**邮编**:150086
电话:0451-86668373　**投稿网址**:www.haasep.cn