

# 长期施钾对春玉米土壤钾素状况的影响

侯云鹏<sup>1</sup> 谢佳贵<sup>1</sup> 仇少君<sup>2</sup> 何萍<sup>2,3</sup> 金继运<sup>2,3</sup>

(1. 吉林农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130124; 2. 农业部植物营养与肥料重点实验室, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 3. 国际植物营养研究所与中国农业科学院植物营养创新联合实验室, 国际植物营养研究所北京办事处)

**摘要:** 本研究探讨了 20 年每亩长期施用 7.5 公斤  $K_2O$  和 15 公斤  $K_2O$  对吉林春玉米雨养区典型黑土产量、土壤钾库和钾平衡的影响。研究表明, 尽管 20 年间春玉米产量变异较大, 但土壤内在钾养分供应(对照处理)能维持 466.7 公斤/亩的平均产量。与对照处理相比, 在 7.5 公斤  $K_2O$ /亩和 15 公斤  $K_2O$ /亩两个处理分别使平均产量增加 15.1% 和 13.8%。经过 20 年的钾肥施用, 由于过量施钾或钾肥施用与作物钾养分吸收时间不同步, 两个钾肥处理较对照处理显著增加 0–100 厘米的土壤剖面中速效钾, 但对缓效钾和全钾没有影响。因此, 钾肥增加籽粒产量和保持土壤速效钾方面具有重要作用。

**关键词:** 长期施钾玉米产量土壤钾素状况

钾(K)是植物必需营养元素之一。钾在细胞合成、养分摄取和转运、抗逆性和作物品质等方面扮演重要角色<sup>[1]</sup>。当前, 为满足我国当前人口的粮食需求, 促进农作物产量持续高产, 需要包括钾肥合理施用在内的综合的肥料管理措施。

测土能有效评价土壤养分的有效性并相应的决定施肥量, 进而保持作物较高的产量和土壤生产力<sup>[2]</sup>。目前, 根据“目标产量氮素需求量”和“0–90 厘米土壤无机氮贮存量”差异的土壤无机氮测试法成功应用于我国华北平原<sup>[3]</sup>。那么, 该方法是否能做效地指示土壤钾库或指导的钾肥施用呢? 通常, 土壤速效钾和缓效钾是作物养分利用的重要库<sup>[4]</sup>, 钾肥施用后, 它们两个可以相互调节和补充, 且钾肥施用后可以在土壤中保留数年, 因此, 结合长期钾肥定位试验可以监测钾肥对谷物产量的影响和不同土层深度土壤钾素变化状况。

吉林春玉米生产区位于“黄金玉米带”, 在中国的总玉米产量中占 12.6%<sup>[5]</sup>。该地区主要是旱作农业, 农民很少施用钾肥, 这对土壤钾素储存和缓冲能力产生潜在降低的影响。因此, 为了发展钾肥推荐施用和维持土壤的肥力, 本研究旨在根据长期钾肥定位试验探讨的钾肥施用对产量和农田钾平衡影响, 以及 0–100 厘米土壤剖面钾素变化。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计与样品测定分析

该试验从 1993 年开始, 位于中国东北吉林省公主岭县刘房子村(43°34' N 124°53' E, 海拔 200 米)。在试验的二十年里, 超过 500 毫米的降水有七年, 少于 400 毫米的降水量有六年, 其余七年介于 400–500 毫米之间。土壤是典型黑土土壤(FAO), 1992 年玉米收获后采取的表层土壤(0–20 厘米)基本理化性质分别为: 有机质 22.4 克/公斤, pH 6.4(1:2.5 土水比), 全氮 1.23 克/公斤, 全磷 1.14 克/公斤, 全钾 20 克/公斤, 碱解氮 97.2 毫克/公斤, 速效磷 32.4 毫克/公斤, 速效钾 156.5 毫克/公斤, 缓效钾 1065.4 毫克/公斤。

试验采用完全随机区组, 三次重复, 三个处理。三个处理分别为(1)对照, 不施钾( $K_0$ ); (2) 7.5 公斤  $K_2O$ /亩( $K_{7.5}$ ); (3) 15 公斤  $K_2O$ /亩( $K_{15}$ ), 钾肥基施, 钾肥种类为氯化钾。氮素施用总量为 15 公斤 N/亩, 四分之一的氮基施, 其余 3/4 在玉米 8–9 叶期施入, 氮肥种类为尿素; 磷肥施用量为 7.5 公斤  $P_2O_5$ /亩, 基肥施用, 磷肥种类为重过磷酸钙。春玉米垄耕, 播种在五月初, 收获在九月末。小区面积为长 10 米和 6 行春玉米, 行距 65 厘米, 株距为 23–34 厘米。其它的管理措施按农民习惯管理方法。

在收获时，以每个小区的三行进行采样，以确定玉米穗和秸秆产量、以及植株数。随机取五株地上部植株，分为玉米秸秆和籽粒二部分，在 60℃ 温度下烘干的重量。产量由三行玉米产量和五株玉米小样的比例计算而得。

土壤样品取自 2012 年各小区收获玉米后，土壤剖面中 100 厘米以上的土壤，分为 0-10、10-20、20-30、30-40、40-60、60-80、80-100 厘米，每个小区随机采集七点，每层土壤充分混匀。相应地，每层的土壤容重为 1.39、1.48、1.39、1.39、1.39、1.33 和 1.39 克/立方厘米，从保护行采集。植株样品钾含量分析采用  $H_2SO_4-H_2O_2$  消化法，原子吸收仪测定。土壤基本理化性质、速效钾、缓效钾和全钾分析方法见鲍士旦 (2000)。

## 1.2 数据处理

数据处理采用 SPSS 11.0 单因素方差分析法，5% 水平的 LSD 法检验。

## 2 结果分析

### 2.1 不同施钾处理玉米产量

1993-2012 年期间 (图 1)，两个钾肥施用处理增加粮食产量只有三年与对照处理不显著 ( $p > 0.05$ )。20 年间平均粮食产量增加约 66.7 公斤/亩，平均增长率为 15.1-13.8%，且两个钾肥处理对粮食增产率影响不显著 ( $p > 0.05$ )。在试验 20 年间，土壤内在钾素供应使每年平均产量保持在 466.7 公斤/亩 ( $K_0$  处理)。

### 2.2 不同施钾处理土壤不同形态钾素含量变化

土壤速效钾随土壤深度的增加而增加 (图 2)，特别是  $K_0$  和  $K_{7.5}$  处理。在 60 厘米以上每层土壤 (除 30-40 厘米外)， $K_{15}$  处理土壤速效钾显著 ( $p < 0.05$ ) 高于  $K_0$  和  $K_{7.5}$  处理。在 40 厘米以上，所有处理每层土壤缓效钾 (图 2) 保持稳定 ( $p > 0.05$ )，在 40 厘米以下土层随土壤

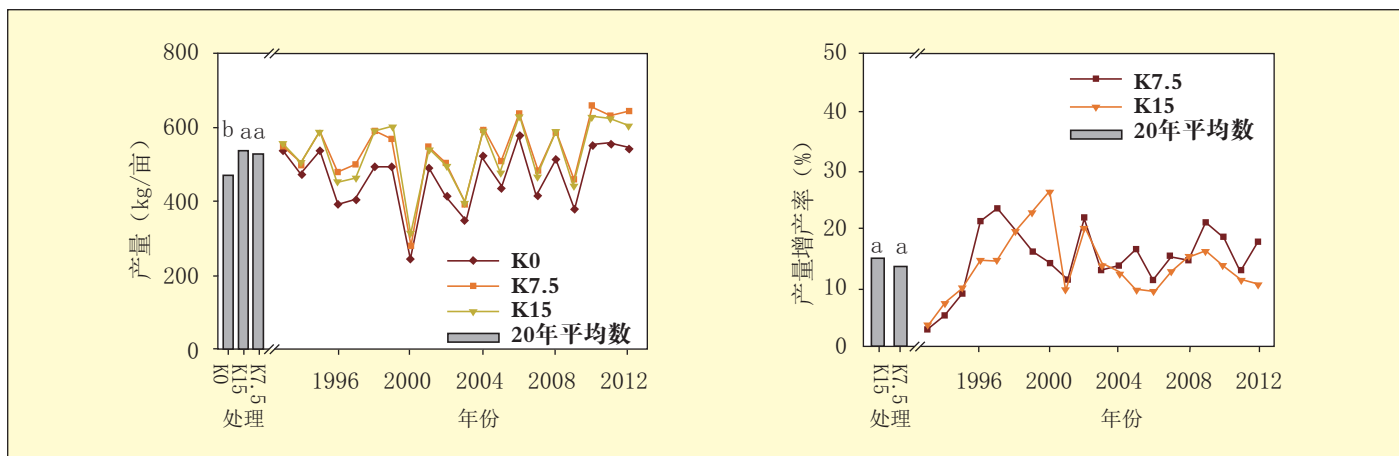


图 1 1993-2012 年不同处理籽粒产量及其增产率

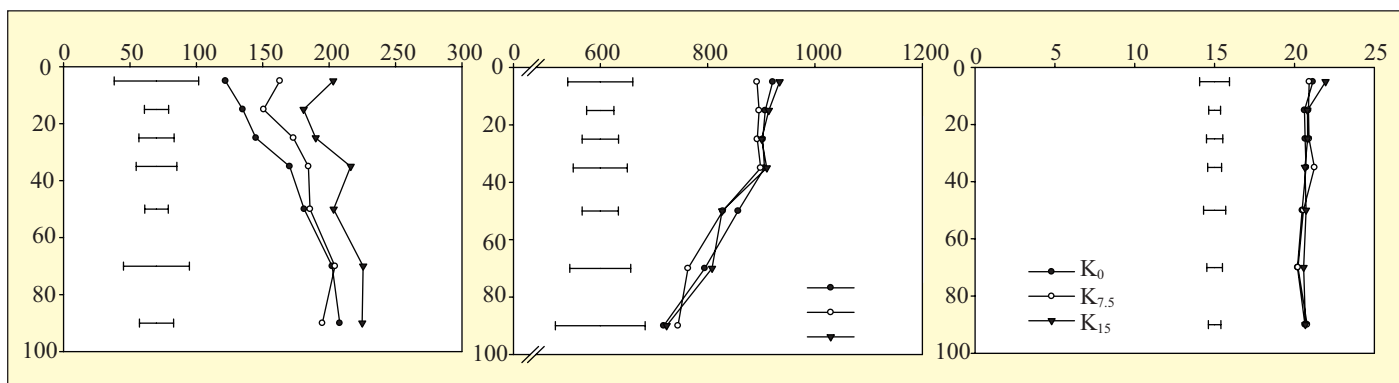


图 2 20 年钾肥施用后 0-1m 土壤剖面不同土层速效钾、缓效钾和全钾浓度 (2012 年春玉米收获后)

表 1 20 年钾肥施用后 0-1 米土壤剖面速效钾、缓效钾和全钾含量 (2012 年春玉米收获后) 单位: (公斤/亩)

处理	速效钾	缓效钾	全钾 ( $\times 10^3$ )
K <sub>0</sub>	160.0 b	766.7 a	19.0 a
K <sub>7.5</sub>	166.7 b	773.3 a	19.2 a
K <sub>15</sub>	193.3 a	773.3a	19.3 a

注: K 下标代表不同处理 K<sub>2</sub>O 量; 三次重复。每列不同字母表示 0.05 水平 LSD 检验。

深度有下降的趋势。土壤全钾 (图 2) 在 0-100 厘米土层稳定在 20 克/公斤, 虽然表层土壤 (0-10 厘米), K<sub>15</sub> 处理比其他两处理有略高, 但三个处理的每层土壤全钾差异不显著 ( $p > 0.05$ )。

经过 20 年钾肥施用 (表 1), 0-1 米土壤 K<sub>15</sub> 处理土壤速效钾含量显著 ( $p < 0.05$ ) 高于其它两处理。但 K<sub>7.5</sub> 处理与 K<sub>0</sub> 处理比较土壤速效钾含量接近。钾肥施用没有显著增加土壤缓效钾含量和全钾含量 ( $p > 0.05$ )。

### 2.3 不同施钾处理土壤钾素收支平衡

20 年钾肥施用后 (图 3), K<sub>0</sub>、K<sub>7.5</sub>、K<sub>15</sub> 处理地上部钾吸收量 (输出) 分别为 6.0、8.3 和 9.6 公斤/亩·年。K<sub>0</sub> 和 K<sub>7.5</sub> 处理显示钾的损失量分别为 6.0 和 2.0 公斤/亩·年; K<sub>15</sub> 处理盈余量为 2.8 公斤/亩·年。根据 1992 与 2012 年间在 0-20 厘米土层的速效钾含量的差值比较显示 (表 2), K<sub>0</sub> 处理土壤速效钾表现为亏缺, K<sub>15</sub> 处理土壤速效钾表现为盈余, 而 K<sub>7.5</sub> 处理土壤速效钾基本保持平衡。相似的, 在缓效钾 K 损失为 K<sub>0</sub> > K<sub>7.5</sub> > K<sub>15</sub>。

## 讨论与结论

玉米对钾元素是比较敏感的。相对于不施钾, Niu

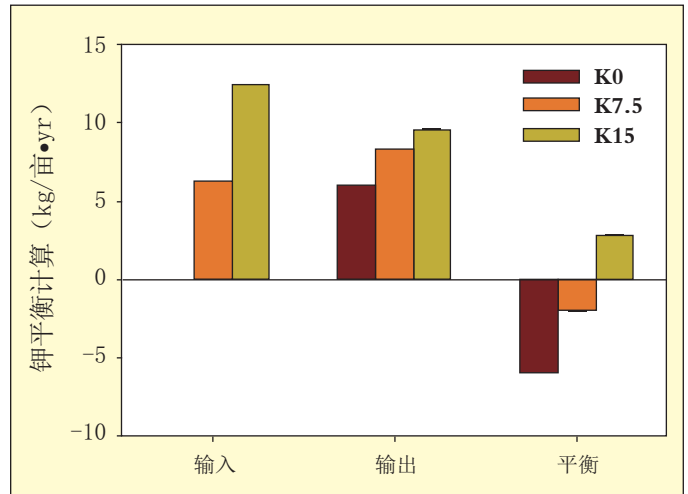


图 3 20 年间钾素年投入、年产出及钾平衡计算

注: 投入为钾肥施用量; 产出为地上部吸钾量; 钾平衡为投入减去产出。

等<sup>[6]</sup>报道在华北平原钾肥施用能提高夏玉米常规生产产量 9.9% - 14.9%, 在我们的研究中 (图 1) 玉米产量的平均增长率, 与上述的研究结果非常接近。

土壤速效钾和缓效钾调节和补充作物地上部钾吸收<sup>[7]</sup>。过量施钾与作物需求之间不同步导致 0-100 厘米土层速效钾淋洗 (图 2), Kolahchi 等<sup>[8]</sup>对钾淋洗也有相关报道。在 0-30 厘米土层土壤速效钾的差异 (图 2) 是由于根系钾吸收和土壤对肥料钾素固定造成的。0-100 厘米土壤剖面的土壤缓效钾的变化趋势 (图 2) 是作物根系引的土壤风化起或土壤微生物造成的<sup>[9]</sup>, 因为大多数作物根集中在 30-40 厘米土壤深度, 并随土壤深度增加而减少<sup>[10]</sup>。

根据 K 平衡计算, K<sub>0</sub>、K<sub>7.5</sub> 和 K<sub>15</sub> 处理分别表现为钾不足和盈余 (图 3); K<sub>0</sub> 处理 0-20 厘米土层速效和缓效钾损失的总和 (图 3) 低于地上部钾吸收量 (数据未显示), K<sub>7.5</sub> 处理钾肥用量接近地上部钾的吸收 (数据未显示), K<sub>15</sub> 处理在 0-20 厘米表现为土壤速效钾盈余和缓效钾损

表 2 20 年钾肥施用后 0-20 厘米速效钾、缓效钾总损失和年损失量 (2012 年春玉米收获后)

处理	速效钾		缓效钾	
	总量 (公斤/亩)	$\Delta$ (公斤/亩·年)	总量 (公斤/亩)	$\Delta$ (公斤/亩·年)
K <sub>0</sub>	5.4	0.3	33.5	1.7
K <sub>7.5</sub>	0.1	0.0	29.7	1.5
K <sub>15</sub>	-6.6	-0.3	27.8	1.4

注: 1992 年玉米收获后, 用 NH<sub>4</sub>Ac 提取的 0-20 厘米土层速效钾、缓效钾浓度分别为 156.5 毫克/公斤和 1065.4 毫克/公斤。0-20 厘米土壤容重为 1.44 克/立方厘米, 该值为 2012 年 0-10 和 10-20 厘米土壤容重的平均值。负值表示钾剩余。

失(表2), Bhattacharyya 等<sup>[9]</sup>也有类似的报道。这种现象是主要是由以下原因造成的:(1)根能吸收利用20厘米以下土层的速效和缓效钾;(2)从根区分泌的 $H^+$ 、根系和微生物呼吸过程中 $H_2CO_3$ 形成、尿素的水解和酸化作用、以及酸性肥料(KCl)施用促进了土壤中 $Ca^{2+}$ 释

放,并进一步增加 $K^+$ 的淋洗<sup>[8-9]</sup>;(3)与在土壤氮素相似,作物可能更喜欢同化土壤钾素,而不是肥料钾。

总之,钾肥施用可以显著( $p < 0.05$ )增加玉米产量,但当钾肥用量超过作物钾的需求或与作物生长不同步,不仅产量不增加,而且速效钾会发生淋洗现象。

## 参考文献

- [1] Pettigrew WT. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton [J]. *Physiol. Plant*, 2008, 133:670-681.
- [2] Slaton NA, Golden BR, Norman RJ, et al. Correlation and Calibration of Soil Potassium Availability with Rice Yield and Nutritional Status [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2009, 73:1192-1201.
- [3] Chen X, Zhang F, Römheld V, et al. Synchronizing N supply from soil and fertilizer and N demand of winter wheat by an improved Nmin method [J]. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, 2006, 74:91-98.
- [4] Garcia RA, Crusciol CAC, Calonego JC, Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system [J]. *Euro. J. Agron.*, 2008, 28:579-585.
- [5] 中华人民共和国农业部. 中国农业年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [6] Niu J, Zhang W, Chen X, et al. Potassium fertilization on maize under different production practices in the North China plain [J]. *Agron. J.*, 2011, 103:822-829.
- [7] Sharma, A., Jalali, V.K., Arora, S. Non-exchangeable potassium release and its removal in foot-hill soils of north-west Himalayas [J]. *Catena*, 2010, 82:112-117.
- [8] Kolahchi Z and Jalali M. Effect of water quality on the leaching of potassium from sandy soil [J]. *J. Arid Environ.*, 2007, 68:624-639.
- [9] Bhattacharyya R, Prakash V, Kundu S, et al. Potassium balance as influenced by farmyard manure application under continuous soybean-wheat cropping system in a Typic Haplaquept [J]. *Geoderma*, 2006, 137:155-160.
- [10] Peng Y, Niu J, Peng Z, et al. Shoot growth potential drives N uptake in maize plants and correlates with root growth in the soil [J]. *Field Crops Res.*, 2010, 115:85-93.