

## 钾营养效率不同的小麦品种间根际钾营养动态的比较

邹春琴<sup>1</sup> 李振声<sup>2</sup> 李继云<sup>3</sup> 张福锁<sup>1</sup>

(1 中国农业大学资源与环境学院; 2 中国科学院遗传研究所; 3 中国科学院生态研究中心)

**摘要** 用三室土培技术, 研究了钾营养效率不同的 4 个小麦品种根际速效钾、缓效钾的动态变化与钾效率的关系。结果表明, 在不施钾条件下, 低效低响型品种京核 1 号根际速效钾和缓效钾的耗竭程度较大。相反, 高效低响型品种太核 5025、低效高响型品种 6154 的根际速效钾和缓效钾的耗竭程度都较小。而中间类型品种京选僵 6 的根际钾耗竭程度更小。小麦根际钾的变化与根系分泌  $H^+$  能力有一定的关系。

**关键词** 根际; 钾动态; 钾营养效率; 小麦

**分类号** Q 945.12

## Study on Depletion of Potassium in the Rhizosphere Soil of Different Wheat Varieties of K Efficiency

Zou Chunqin<sup>1</sup> Li Zhenheng<sup>2</sup> Li Jiyun<sup>3</sup> Zhang Fusuo<sup>1</sup>

(1 College of Resource and Environmental Sciences, CAU; 2 Institute of Genetics, CAS;

3 Center for Environment and Ecology, CAS)

**Abstract** The depletion of potassium in the rhizosphere soil of four wheat varieties with different potassium nutrition efficiency was studied in soil culture with 3-compartment-pot. The results demonstrated that both of available and non-exchangeable K were highly depleted in the rhizosphere soil of Jinghe 1 which has low K efficiency and low responsiveness to K; and low depletion of available and non-exchangeable occurred for Taihe 5025, a cultivar with high K efficiency and low responsiveness to K; 6154, a cultivar with low K efficiency and high responsiveness to K, and Jing-xuan-yan 6, a cultivar with moderate K efficiency and responsiveness to K. The relationship of K depletion in rhizosphere soil of wheat and  $H^+$  excretion from the roots was also discussed.

**Key words** rhizosphere; K dynamic change; K nutrition efficiency; wheat

根际是受根系影响而在物理、化学和生物学性质等方面均不同于土体的极小部分土壤区域。根际范围内只有有效养分(包括速效养分和缓效养分)能直接被根系吸收。因此, 根际养分状况的变化反映了养分的生物有效性和植物对养分利用能力的大小。

有关作物根际钾的研究曾有一些报道, 如用放射性同位素<sup>86</sup>Rb 进行的研究发现, 玉米根系周围有明显的钾亏缺区<sup>[1]</sup>; 研究油菜根际土壤与土体土壤中交换性钾的动态变化后, 也发现在油菜根际也有明显的钾亏缺区<sup>[2]</sup>; 玉米根际微区土壤中吸收的钾有 20% 来自非交换性钾<sup>[3]</sup>; 洋葱根际钾的亏缺范围可达到数厘米<sup>[4]</sup>; Tan 用电子探针测定近根 0.2~0.3 mm 内有钾的富集<sup>[5]</sup>; 曹一平等的研究也表明, 在 2 种不同质地土壤上栽培的小麦, 其根际钾的亏缺明显不同, 砂土上最大钾的亏缺率达 77%, 在 1 mm 左右有钾的相对富集, 最大亏缺出现在 4 mm 左右, 亏缺区一直伸展到 15 mm<sup>[6]</sup>。由此可见, 影响根际微区钾素状况的因素主要是土壤和

收稿日期: 1998-04-02 修回日期: 2000-03-10

国家自然科学基金重大项目(39790100)和博士后基金资助项目

邹春琴, 北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区), 100094

植物自身特性。但迄今尚无关于钾效率不同的小麦品种根际钾营养特点的研究报道。

作者已从 20 个小麦品种中筛选出钾效率存在显著差异的 4 个品种, 并将它们划分为 4 种类型<sup>[7]</sup>。本研究拟通过研究钾效率不同的小麦品种根际钾的营养特点, 查明钾效率与小麦对土壤中速效钾、缓效钾的利用能力的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试作物

试验选用 4 个小麦品种, 钾营养特性为: 京核 1 号为低效低响应; 太核 5025 为高效低响应; 6154 为低效高响应; 京选偃 6 为中间类型。

### 1.2 植株培养及试验装置

**1.2.1 根际土壤钾的变化** 试验采用改进的分室培养方法, 培养室框架为有机玻璃板, 总体分为 3 室, 中室及左右各 1 个边室, 中室两边为 350 目尼龙网<sup>[6]</sup>。该尼龙网的特点是植物根系不能通过, 而水分和养分可以自由通过, 这样就有效地形成根区、根际土壤区域、土体土壤区域。试验所用土壤采自北京市农场局下属长阳农场的砂壤土, 其土壤含钾量为: 速效钾  $45.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 缓效钾  $87.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试土壤先过 1 mm 筛, 每个根箱三室的土壤总量为 235 g。所有处理均不施钾肥, 只施用氮、磷肥。施纯氮量为  $0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (尿素), 施  $\text{P}_2\text{O}_5$  量为  $0.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (重过磷酸钙), 将氮磷肥与土壤混匀后装入根箱。小麦种子经催芽后密集种植于中室, 每个根箱种植 30 粒。各品种重复 3 次, 小麦生长期从边室定量浇水。生长 35 d 后收获。

**1.2.2  $\text{H}^+$  分泌量的测定<sup>[8,9]</sup>** 将小麦种子消毒处理后在饱和  $\text{CaSO}_4$  溶液中浸泡 0.5 h, 清水冲洗后在石英砂中发芽, 4 d 后挑选生长一致的幼苗, 用蒸馏水冲洗干净, 移栽于蒸馏水中。3 d 后, 去掉胚乳, 然后转入 pH 6.5 的营养液中, 缺钾营养液的组成为 ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ):  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $1.0 \times 10^{-3}$ ;  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $1.0 \times 10^{-3}$ ;  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $2.5 \times 10^{-4}$ ;  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $1.0 \times 10^{-3}$ ;  $\text{CaCl}_2$ ,  $1.5 \times 10^{-3}$ ;  $\text{Fe-EDTA}$ ,  $1.0 \times 10^{-4}$ ;  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $1.0 \times 10^{-6}$ ;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $1.0 \times 10^{-6}$ ;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $5.0 \times 10^{-7}$ ;  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $5.0 \times 10^{-8}$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_4$ ,  $1.0 \times 10^{-6}$ 。小麦在正常营养液中培养至 5 叶龄时, 在测定  $\text{H}^+$  分泌量之前, 先在无钾的营养液中放置 24 h, 取 15 株生长一致的幼苗用  $0.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CaSO}_4$  溶液浸洗 3 次, 吸干水分后放入 50 mL 吸收液中, 吸收液由  $\text{K}_2\text{SO}_4$  和  $\text{CaSO}_4$  组成, 浓度分别为  $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 并吸收 3 h, 然后用标准  $\text{NaOH}$  滴定吸收液中的  $\text{H}^+$  量的变化。

### 1.3 分析方法

**1.3.1 植株全钾含量的测定** 收获时, 将中室小麦植株取出, 烘干称重, 磨粉待用。植株钾含量用浓度为  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{HCl}$  振荡浸提 30 min, 用 2655-00 火焰光度计测定浸提液中钾的含量。

**1.3.2 土壤速效钾和缓效钾含量的测定** 中室小麦取出后, 用人工方法将湿度适宜的 2 个边室土由内向外逐层推移进行根际土样的分离, 切片距离如下: 近根 0~14 mm 内每 2 mm 切 1 片, 共 7 片; 14~20 mm 内, 每 3 mm 切 1 片, 共 2 片; 20~40 mm 内, 每 5 mm 切 1 片, 共 4 片; 40~50 mm, 每 10 mm 切 1 片, 共 1 片。左右 2 个边室同时进行切片, 并将同样距离的切片土壤混合, 风干后测定土壤速效钾和缓效钾含量。土壤速效钾含量测定用浓度为  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{NH}_4\text{OAc}$  (pH 7.0) 溶液浸提, 土壤缓效钾含量用浓度为  $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{HNO}_3$  溶液

振荡浸提, 浸提液中的钾均用 2655-00 火焰光度计测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦生物量和钾吸收量

小麦生长至 35 d 收获时, 4 个品种的植株生长及钾素吸收量等均有一定差异(表 1)。

表 1 小麦的生长及其对钾的吸收

小麦品种	地上部干重 $m/g \cdot \text{盆}^{-1}$	根干重 $m/g \cdot \text{盆}^{-1}$	冠/根	钾含量 $w/\%$	吸钾量 $m/mg \cdot \text{盆}^{-1}$	钾利用效率 $w/g \cdot g^{-1}$
太核 5025	0.72 b	0.40 c	1.80	0.92 b	6.62 bc	108.7 ab
京核 1 号	0.88 a	0.54 a	1.63	1.07 a	9.334 a	94.3 c
6154	0.75 b	0.53 ab	1.42	1.01 a	7.62 b	98.4 bc
京选偃 6	0.72 b	0.45 bc	1.60	0.86 c	6.22 c	115.7 a

表中的英文字母 a, b 等表示各小麦品种间差异的显著性,  $P=0.05$ , 邓肯法。钾利用效率=地上部干重/吸钾量

试验所用土壤为钾含量很低的砂性土壤, 并且土壤钾的缓冲能力很低, 因此, 钾是小麦生长的主要限制因子之一。从表 1 看出, 京核 1 号的生物量和根系生长量较高, 大于其他 3 个品种, 并达 5% 显著水平; 6154 的根系生长量也较大, 但其冠/根比较小, 其原因可能是利用养分的效率较低。相反, 高效低响型品种太核 5025 的根系和地上部的生长量均较低, 但其冠/根比值最高。4 个小麦品种对钾的吸收量也有明显不同, 京核 1 号的吸钾量仍是最高。值得注意的是, 京选偃 6 体内的钾含量最低, 比其他 4 个品种低 6.5%~19.6%, 但钾的利用效率最高, 这与盆栽试验的苗期结果一致<sup>[7]</sup>。4 个小麦品种的生长和对钾吸收的差异亦直接影响到根际土壤中钾的动态变化。

### 2.2 小麦根际土壤中钾的变化

**2.2.1 速效钾的变化** 图 1 结果表明, 京核 1 号小麦根际土壤速效钾在距根表 14 mm 范围内有明显的钾亏缺区, 亏缺的强度较大, 说明京核 1 号对速效钾的吸收能力较强, 这可能与京核 1 号是一个耐低钾能力强的品种有关。相反, 钾高效品种太核 5025 根际钾的耗竭程度不大, 这与其在苗期吸收钾能力差, 而利用效率较高的特性相吻合。6154 根际速效钾的动态变化与太核 5025 相似, 在近根表 6 mm 范围内钾的耗竭程度较小, 在这个微区速效钾含量相对较高, 随后在距根表 6~14 mm 范围内也出现了不同程度的钾素亏缺, 但亏缺的程度不大。京选偃 6 根际钾的动态属另一种类型, 在近根表 10 mm 范围出现了钾离子的亏缺, 但亏缺的程度较小, 且亏缺比较平缓, 这反映了植株对速效钾的吸收能力较低。

**2.2.2 小麦根际土壤中缓效钾的耗竭** 图 2 结果表明, 小麦根际土壤缓效钾的变化与速效钾有所不同, 所有供试的 4 个小麦品种根际缓效钾都出现明显的亏缺。从亏缺范围来看, 4 个品种差异不大, 均在距根表 14 mm 左右, 但亏缺程度有明显的差异。与根际速效钾的变化相似, 京核 1 号小麦根际缓效钾的亏缺程度最大, 表明该品种对缓效钾的利用能力较强。其他 3 个品种根际缓效钾的亏缺程度差异不大, 其亏缺率也低于京核 1 号。

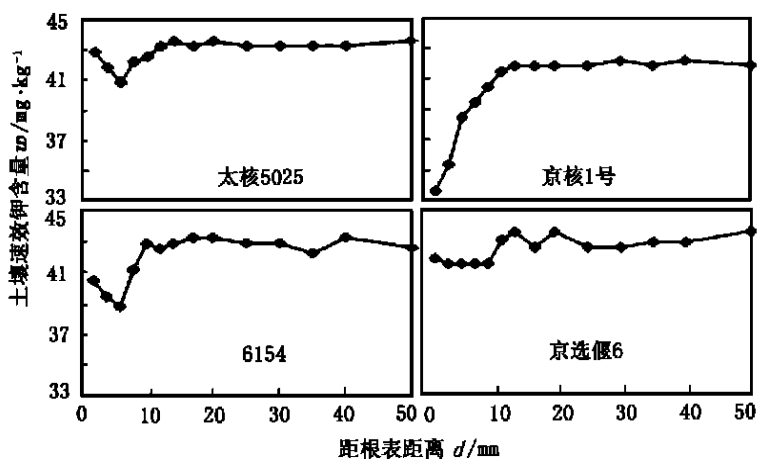


图1 小麦根际土壤速效钾的耗竭

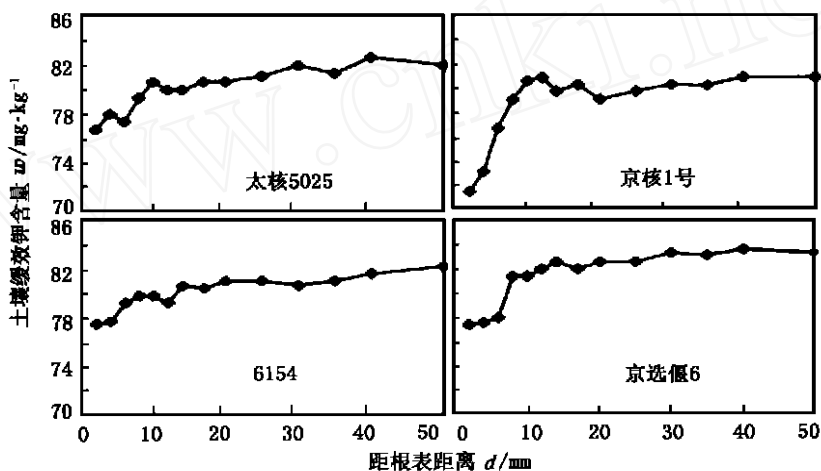


图2 小麦根际土壤缓效钾的耗竭

2.2.3 小麦根系分泌 $H^+$ 量的差异 在正常浓度范围内,植物对钾的吸收是一个主动过程,同时分泌质子,使溶液酸化。表2表明,在供试的4个品种中,6154根系 $H^+$ 的分泌量最大,京选偃6分泌质子的能力较差。6154属低效高响型品种,在钾充足供应时,其根系生长量较大,因此总的质子分泌量较大。但是,单位根的 $H^+$ 分泌量除京选偃6外,3个品种间无明显差异。京选偃6在苗期吸收钾的能力较差,钾利用效率较高等特性与此相吻合。

表2 不同小麦品种根系分泌 $H^+$ 的差异

小麦品种	根鲜重 $m/mg \cdot \text{盆}^{-1}$	$H^+$ 分泌量		
		整株 $/\mu\text{mol} \cdot \text{株}^{-1}$	地上部 $b/\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}(\text{fv})$	根
太核5025	$2.74 \pm 0.14$	$0.53 \pm 0.05$	$1.24 \pm 0.17$	$2.92 \pm 0.37$
京核1号	$2.79 \pm 0.20$	$0.59 \pm 0.02$	$1.21 \pm 0.17$	$3.17 \pm 0.67$
6154	$3.31 \pm 0.24$	$0.72 \pm 0.06$	$1.27 \pm 0.11$	$3.28 \pm 0.35$
京选偃6	$3.13 \pm 0.18$	$0.32 \pm 0.01$	$0.60 \pm 0.04$	$1.53 \pm 0.09$

### 3 讨论

从 4 个小麦品种根际土壤中速效钾和缓效钾的变化来看, 不同钾效率的小麦品种间存在明显的差异, 这与其对土壤中钾的吸收和钾在体内的累积量基本一致。京核 1 号在苗期吸钾量高, 其根际土壤速效钾和缓效钾的亏缺程度最大, 表明该品种对土壤钾的吸收利用能力较强。同时, 该小麦根系分泌  $H^+$  的能力较强, 这可能是其能很好利用根际土壤速效钾和缓效钾的主要原因之一。但是, 由于该品种的产量水平不高, 不符合常规育种的要求。其他 3 个品种根际土壤中速效钾和缓效钾的亏缺程度明显较低, 植株所吸收的钾量也明显低于京核 1 号。6154、太核 5025 根际速效钾含量相对较高, 而缓效钾含量较低, 可能是由于其根系活化作用较强, 导致土壤缓效钾和矿物钾释放较多, 这种特性对于我们选育耐低钾的钾高效小麦品种非常重要。因为, 大多数土壤的全钾含量并不低, 只是由于速效钾含量较低, 钾素供应不足而导致作物缺钾。因此, 作物能否有效地活化并利用土壤中的难溶性钾也是钾高效品种选育中一个非常重要的指标之一。同时应该看到, 正是因为太核 5025 在苗期对土壤中钾的耗竭较少, 有足够的钾供其后期生长发育所用, 为其获得高产奠定基础, 这种材料是育种上最有价值的类型。

钾效率的高低是由 3 个方面决定的, 即根系对土壤钾的活化能力, 吸收能力, 植物体内钾的利用能力。根际土壤中钾的变化体现了前 2 个方面, 因此, 在比较分析钾效率与根际土壤速效钾、缓效钾变化的关系时, 应综合考虑。从本试验结果来看, 高效型品种苗期根际钾的耗竭较低, 可能正是后来其表现钾高效的基础。但是, 土壤中速效钾、缓效钾和矿物钾等存在一个动态平衡中, 根际养分的变化是一个非常复杂的过程, 根际钾动态的变化只是根系活化利用钾的一个方面的表现, 还有许多问题需要更深入的研究。

本研究部分工作在中国科学院遗传研究所和中国科学院生态环境研究中心完成, 特此感谢。

### 参 考 文 献

- 1 Evans S D, Barber S A. The effect of diffusion on the uptake of rubidium-86 by corn. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1964, 28: 56~ 57
- 2 Kuchenbuch R, Junk A. Influence of potassium supply on the availability of potassium in the rhizosphere of rape. *Z Pflanzenernaehr Boden*, 1984, 147: 435~ 448
- 3 Kauffman M D, Bouldin D R. Relationship of exchangeable and non-exchangeable potassium in soil adjacent to cation-exchange resins and plant roots. *Soil Sci*, 1967, 104: 145~ 150
- 4 Farr E, Vaiyanthan L V, Nye P H. Measurement of ionic concentration gradients in soil near roots. *Soil Sci*, 1969, 107: 385~ 391
- 5 Tan K H, Nopamornbodi O. Electron microbeam scanning of element distribution zone in soil rhizosphere and plant tissue. *Soil Sci*, 1969, 127: 235~ 241
- 6 曹一平, 徐永泰, 李晓林. 小麦根际微区钾养分状况的研究. *北京农业大学学报*, 1991, 17(2): 69~ 73
- 7 邹春琴. 钾高效小麦品种的筛选及其机理研究. [博士后出站报告]. 中国科学院遗传研究所, 1997
- 8 Anthony D M, Glass M, Yaesh Siddiqi, Kevin I Giles. Correlations between potassium uptake and hydrogen efflux in barley varieties. A potential screening method for the isolation of nutrient efficient lines. *Plant Physiol*, 1991, 68: 457~ 459
- 9 Sze H, Churchill A K.  $Mg^{2+}$ -ATPase of plant plasma membrane is an electrogenic pump. *Proc Natl Sci USA*, 1981, 78: 5578~ 5582