

土壤—根系微区养分状况的研究

II. 钾离子的富集与亏缺*

许曼丽 刘芷宇

(中国科学院南京土壤研究所)

植物根系吸收土壤中有效养分的过程,从每个单根来看总是从最邻近根系表面的微区土壤开始,逐渐向周围土壤扩展。由于植物对不同养分子需要量的不同以及各种离子在土壤中迁移速率的差异,在根系周围的土壤中距离不等的形成养分的富集或亏缺区。它们的存在反映着根—土养分供求间的关系和环境条件的影响。在这方面已往多集中于磷素微区状况的研究^[2],并已明确由于磷在土壤中移动性较小,因此,一般情况下根系周围都存在着亏缺区。但对钾的研究相对来说较少。六十年代初期 Barber 等应用放射性自显影的方法以 ⁸⁶Rb 代替 K 示踪的研究,曾观察到玉米根系周围的土壤中出现亏缺区^[3], Kauffman 等研究了玉米根际土壤中交换性钾的亏缺及其补充的可能机理,认为微区土壤中吸收的 K 量有 20% 来自非交换性钾^[5]。Farr 等则研究了交换性钾的亏缺范围,观察到洋葱根际微区土壤中存在着明显的亏缺陡度,其范围可扩展到数厘米^[4]。近年来, Tan 和 Nopamornbodi 应用电子探针测定近根 0.2—0.3 毫米土壤中有 K、P、Ca 和 S 的富集^[6]。

本文应用微钾玻璃电极和冰冻切片法研究了影响根际微区土壤中速效钾富集与亏缺的土壤条件,其中包括土壤类型、钾素供应状况和土壤含水量,以及作物种类和生育时期等的影响,并初步讨论了钾在根际微区内的供应机理。

材料与方 法

供试土壤为西北黄土高原发育的黄绵土,长江流域冲积物发育的淀浆白土和夹砂土,以及河床泛滥物发育的砂土。三种土壤速效钾含量和有关性质以及微电极的测定方法同前文^[4]。夹砂土含水溶性钾、钠、铵离子分别为 56 ppm, 220 ppm 和 2 ppm。

供试作物为棉花、大麦和箭筈豌豆。植物幼苗培育成集束的平面根层。

待测土壤经磨细过筛(100孔),均匀拌入 150 ppm (K) 的硫酸钾肥料,装入特制有机玻璃盒里,容重约为每立方厘米 1.1 克(干土)。用水湿润至含量为干土重的 20% (砂土)或 30% (黄绵土与淀浆白土),经平衡后再与集束平面根层相接触。把植物与土盒一起放入瓷盆中加土壤或石英砂进行生长培育。一定时期后取出土盒,液氮冰冻、切片。土样经风干、磨碎,用 1N 醋酸铵 (pH7) 浸提,火焰光度法测定交换性钾含量。集束平面根的培育和土壤接触生长的方法详见第 III 报^[1]。

* 仓东卿、金茂福同志协助制做微钾电极,谨此致谢。

1) 刘绳武、刘芷宇, 1983: 土壤—根系微区养分状况的研究 III. 水稻根际氮素的变化。(待刊稿)。

结果与讨论

(一) 影响微区土壤钾素分布的土壤条件

1. 土壤类型 生长在黄绵土、淀浆白土、夹砂土和砂土上的棉花, 苗蕾期用电极法和化学分析法测定微区内土壤的钾离子状况, 结果如图 1。表明在土壤水分充足的条件下距根 1 毫米土壤中的 K^+ 浓度大于距根 3 毫米土壤, 存在着 K^+ 向近根土壤富集的现象。其富集率的大小在不同土壤类型中的次序为黄绵土 > 夹砂土 > 淀浆白土 > 砂土, 与

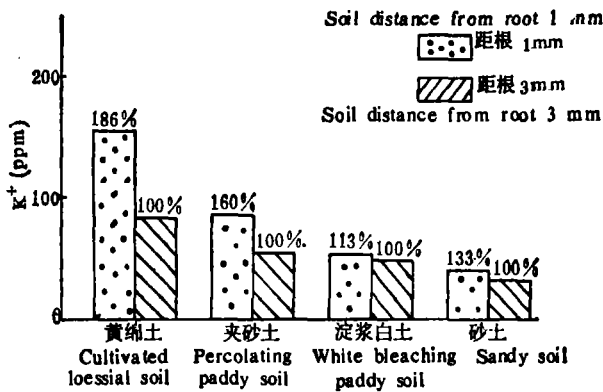


图 1 不同土壤类型根际微区内 K^+ 的分布 (棉花苗蕾期)

Fig.1 Distribution of K^+ in rhizosphere in different soils (Cotton in seedling-flowering bud stage)

土壤本身的有效钾含量有明显的相关性。例如, 黄绵土含钾较丰富, 速效钾为 194 ppm, 距根 1 毫米土壤 K^+ 浓度比 3 毫米土壤增加 86%, 向根际富集的现象极为显著。夹砂土含钾次之, 速效钾为 86 ppm, 距根 1 毫米土壤 K^+ 浓度比 3 毫米土壤增加 60%, 富集的现象也是明显的。而淀浆白土和砂土含速效钾都较低, 分别为 47 与 43 ppm, 距根 1 毫米土壤中 K^+ 浓度比 3 毫米土壤只增加 13% 和 33%。表明土壤速效钾含

量影响微区土壤中 K^+ 状况, 速效钾含量高, 富集现象就明显。但是速效钾含量相似的淀浆白土和砂土之间 K^+ 富集率的差异看来还与土壤的质地和交换容量有关, 因为淀浆白土粘粒含量较高, 一般在 20—25%, 交换容量也大, 而砂土粘粒含量则 < 10%。在 K^+ 富集的程度砂土比淀浆白土要大。表明土壤粘粒含量影响根际 K^+ 的分布。在一定范围内粘粒含量增加, K^+ 迁移的曲径增加因而速率减小, 根表面土壤中 K^+ 的富集率也减小。

2. 增施钾肥 除了土壤原有的速效钾水平对根际微区土壤 K^+ 的富集有明显的影 响以外, 在同一土壤中增施钾肥调节不同的有效钾含量也显著的增加根表面 1—2 毫米土壤中 K^+ 的富集率。从表 1 可看出, 在砂土上施钾 75 ppm 时, 与未种植物的对照土壤比较, 棉花微区土壤 K^+ 富集率平均为 42%, 而施钾量为 150 ppm 时, 富集率可达 52% 左右。不施钾的处理, 距根 1—2 毫米土壤中 K^+ 基本上很少富集, 甚至在多数情况下是出现 亏缺的现象。增施钾肥增加了土壤中 K^+ 的供应强度, 因而使微区土壤中 K^+ 向根表面 迁移的总量增加, 富集的相对量也就有所增加。

3. 土壤供应容积 考虑到土壤供应速效钾的能力不仅取决于单位土壤中的含 K^+ 量, 而且也取决于同一含 K^+ 水平下可供应的土壤容积。试验是将棉花的集束平面根层 培育在土壤容积分别为 64 和 1500 立方厘米的条件下, 一星期后取出土块立即用液氮冰 冻、切片。以原始土壤的含钾量为对照, 测出离根不同距离土壤中 K^+ 的亏缺率或富集率。

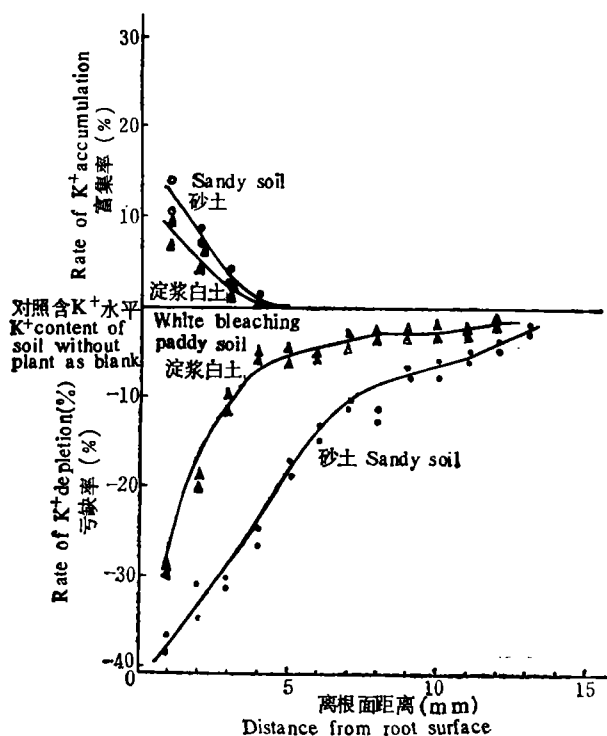
表 1 砂土中增施钾肥对棉花根际土壤含 K⁺ 量的影响*Table 1 Effect of potassium application on K⁺ content of rhizosphere soil of cotton in sandy soil

施钾处理 Application with K (K ⁺ —ppm)	根际 1—2mm 土壤的 K ⁺ 量 (ppm) K ⁺ content of rhizosphere soil of 1—2 mm				未种植物的空白 土壤 K ⁺ 量 (ppm) K ⁺ content in soil without plant	富集率或亏缺率 (%) Rate of accumulation or depletion
	重复次数 Replication			平均值 Average		
	1	2	3			
75	86.4	91.7	89.6	89.2±11.4	62.7±5.3	+37.7—46.3
150	163.0	159.3	160.5	160.9±8.1	106.1±10.2	+50.1—53.6
不施钾 Without K (check)	41.3	39.3	38.4	39.7±6.4	43.6±2.1	-5.3—11.9

* 棉花苗蕾期
Cotton in seedling-flowering bud stage

置信限 · p = 0.95
significance p = 0.95

图 2 表明,土壤容积为 64 立方厘米时,棉花根际微区内存在 K⁺ 亏缺区,其含量随着离根距离增加而减少,在离根 5 毫米以内亏缺现象极为明显,亏缺率最高可达到 38% 左右。在砂土中离根 7 毫米内存在明显的亏缺陡度,其变化近似直线,7 毫米以外则差异较小。表明在这种土壤上根际 K⁺ 的主要吸收区在 7 毫米以内。而淀浆白土的基本亏缺趋势与砂

图 2 土壤容积对根际微区 K⁺ 分布的影响Fig. 2 Effect of soil volume on distribution of K⁺ in rhizosphere soil

土相似,只是亏缺陡度主要出现在近根 1—4 毫米处。4 毫米以外变化则较小,最大亏缺率为 30% 左右。这说明淀浆白土中 K^+ 向根表面的迁移速率虽慢,但速效钾的补充能力却相对比较高,因而亏缺区的范围和亏缺率都小于砂土。

表 2 土壤含水量与棉花根际微区土壤含 K^+ 量的关系*

Table 2 Relationship between soil moisture content and potassium content in rhizosphere soil of cotton

土壤 Soil	含水量(重量%) Soil moisture content (wt.%)	微区 1—2mm 土壤含 K^+ 量 (ppm) K ⁺ content of rhizosphere soil of 1—2mm	亏缺率或富集率 Rate of depletion or accumulation	土壤 Soil	含水量(重量%) Soil moisture content (wt.%)	微区 1—2mm 土壤含 K^+ 量 (ppm) K ⁺ content of rhizosphere soil of 1—2mm	亏缺率或富集率 Rate of depletion or accumulation
砂土 Sandy soil	6	72.4±3.1	-24.6	淀浆 白土 White bleach- ing paddy soil	10	68.1±6.1	-18.6
	12	81.8±3.2	-14.8		20	74.5±5.6	-11.0
	22	109±8.9	+13.5		30	92.0±5.4	+10.0
未种植物的 土壤 K^+ 量 (ppm)		96.0±7.5	0	未种植物的 土壤 K^+ 量 (ppm)		83.7±5.4	0

* 棉花苗蕾期,
Cotton in seedling-flowering bud stage;

置信限 $P = 0.95$,
Significance $p = 0.95$.

当可供应的土壤容积为 1500 立方厘米时,无论是砂土或淀浆白土,离根 1—3 毫米土壤中都出现 K^+ 的富集现象,砂土富集率为 12%,淀浆白土为 8.5% 左右。而离根 4 毫米处即接近原有土壤含 K^+ 水平,表明根际内 K^+ 的富集区只局限于最靠近根系表面的微区土壤中。

4. 土壤水分 在不同含水量的淀浆白土和砂土的试验中,棉花苗蕾期根际微区土壤的含 K^+ 量有随着土壤水分状况不同而变化的趋势。根据电极法测定的结果可以看出,砂土在土壤含水量低于 15% (重量%) 时(田间持水量为 12%),根际土壤存在亏缺区,如含水量在 12% 时,亏缺率为 15%,含水量在 6% 时,亏缺率可达 25%。淀浆白土在土

表 3 土壤含水量对棉花含钾量的影响

Table 3 Effect of soil moisture regime on potassium content of cotton

土 壤 Soil	含水量(重量%) Soil moisture content (wt.%)	植株干物质量 (g) Dry matter of plant	植株含钾量 (K%) Potassium content of plant
砂 土 Sandy soil	6	1.72	1.55
	12	2.47	1.77
	22	6.74	2.37
淀浆白土 White bleaching paddy soil	10	3.37	1.81
	20	6.12	2.13
	30	10.25	2.47

壤含水量低于 25% (重量%) 时 (田间持水量为 27%), 出现亏缺区。如含水量在 20% 时, 亏缺率为 11%, 含水量在 10% 时亏缺率为 19%。但当它们的含水量高于田间持水量, 如砂土含水量为 22%, 淀浆白土为 30% 时, 近根 1—2 毫米土壤中都出现 K^+ 的富集现象。其富集率砂土中为 13.5%, 淀浆白土中为 10%。同时, 植物的干物重和含钾量也随着土壤含水量的增加而增长 (表 2, 3)。表明土壤水分状况影响着 K^+ 的迁移和供应, 在一定范围内随着土壤含水量的增加, 有利于 K^+ 向根表面富集, 为植株提供可吸收的 K^+ 量。

(二) 影响微区土壤钾素分布的植物因素

1. 根系吸收部位 用同样的方法测得棉花上下层不同根系部位中根际微区土壤的 K^+ 含量变化, 结果列于图 3。可以认为, 上层根 (根茎下 5 厘米) 周围的微区土壤中 K^+ 含量大于下层根 (根茎下 10 厘米) 周围土壤中的含量, 而上下两层根周围的土壤中 K^+ 含量的大小仍然是黄绵土 > 淀浆白土和砂土。尽管在上层根的微区土壤中存在距根 1 毫米的 K^+ 含量大于 3 毫米土壤的富集现象。但是, 下层根周围的土壤中这种现象极不明显, 在淀浆白土和砂土中还略有相反的亏缺趋势。

微区内这一分布特点看来与吸收根的分布区域有一定的联系, 在试验的盆栽条件下 10 厘米深度附近正是侧根主要出生之

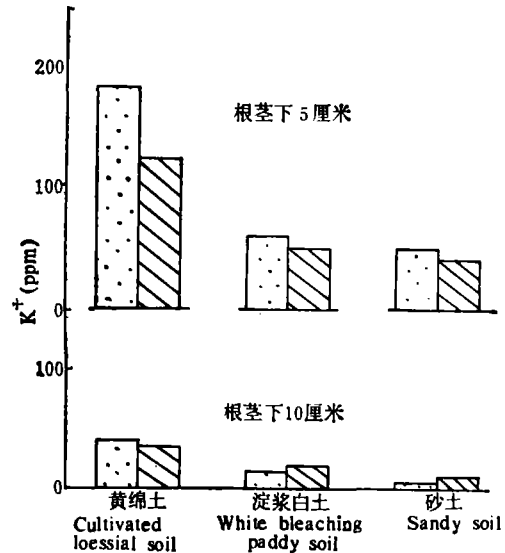


图 3 根系部位与根际土壤 K^+ 的分布
Fig. 3 Distribution of K^+ in rhizosphere of different portions of root

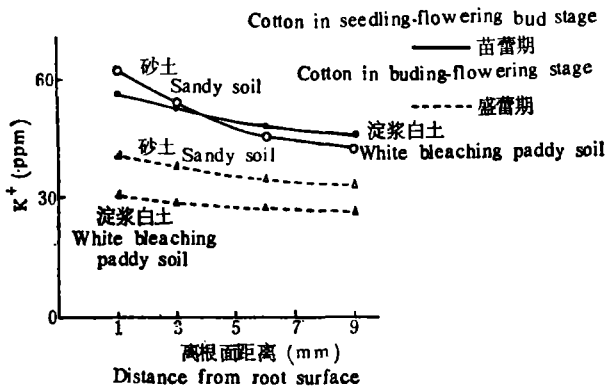


图 4 棉花不同生育期根际土壤 K^+ 的分布
Fig. 4 Distribution of K^+ in rhizosphere at different growth stages of cotton

处。因此, 吸收作用可能较为旺盛, 因而使微区土壤中 K^+ 含量明显降低, 也影响根系表面 K^+ 的富集。

2. 生育时期 棉花根际微区土壤 K^+ 分布除了受土壤条件的制约外, 还受植株本身生育时期的影响。图 4 表明, 苗蕾期距根 1 毫米土壤的含 K^+ 量高于 3 毫米土壤及其他距离的土壤, 砂土和淀浆白土趋势一致, 与离根 9 毫米土壤的含 K^+ 量相比较, 砂土上的富集率可达 44%, 淀浆白土上

为 23%。而盛蕾期两种土壤上根际附近 K^+ 含量明显下降, 只有 30 ppm 左右, 比原有土壤含 K^+ 量下降 30—40%, 存在亏缺区。但是在距根 1 毫米的土壤与 9 毫米的土壤相比较含 K^+ 量的差异则很小, 在根表面微区土壤中仍然有 K^+ 相对富集的趋势, 只是与苗蕾期相比富集率较小, 仅为 10% 左右。已知棉花盛蕾期吸收 K^+ 的总量约 10 倍于苗蕾期。由此可以认为根际微区土壤中 K^+ 的富集与亏缺和根系对 K^+ 的吸收, 以及植株对 K^+ 的需求有直接的关系。在植株吸 K^+ 旺盛时期根际微区土壤易于出现亏缺。相反, 则易于出现富集。

3. 作物种类 试验比较了棉花、大麦、箭筈豌豆根际微区土壤的 K^+ 分布。初步看

出, 不同作物对微区土壤 K^+ 分布的影响是不同的。在土壤容积为 64 立方厘米时, 测定结果表明棉花、大麦和箭筈豌豆的根际微区土壤都存在明显的 K^+ 亏缺区(图 5)。最大亏缺范围分别为 4—8 毫米左右, 以后逐渐接近根际外原有土壤 K^+ 含量。其中大麦和箭筈豌豆的亏缺率和亏缺范围都明显大于棉花, 在离根 1 毫米处箭筈豌豆的亏缺率为 83%, 大麦为 78%, 而棉花仅为 30%。相反, 在培育的土壤容积为 1500 立方厘米时根际出现 K^+ 富集的条件下, 三种作物离根 1—2 毫米土壤的富集率正相反(表 4)。棉花 K^+ 的富集率最高为 29—43%, 大麦次之为 9.3—14%, 箭筈豌豆则只有 3—8%。表明棉花比大麦和箭筈豌豆的根系在微区土壤中富集 K^+ 的能力要大, 亏缺率相对则小。

而植株的含钾量却是棉花最高为 3.27%, 大麦次之为 2.11%, 箭筈豌豆最低, 只有 1.58%。似乎与上述生育时期的结果相矛盾, 即吸收量大的植株反而亏缺率小或富集率大。看来其原因可能

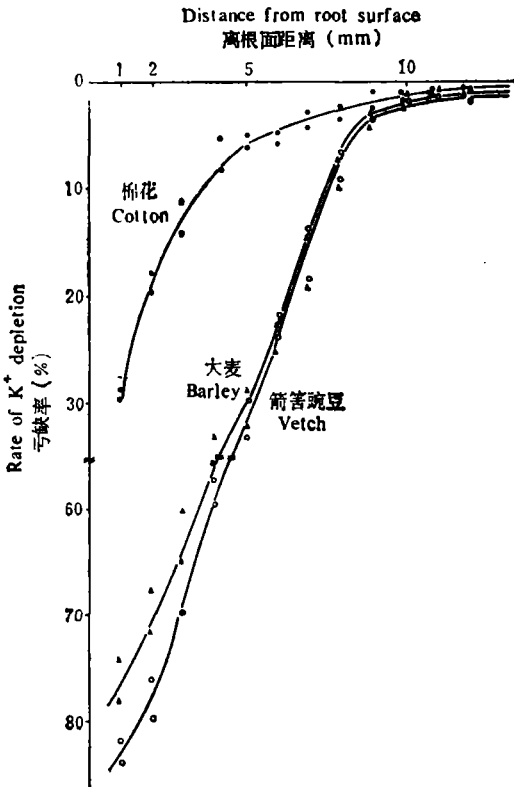


图 5 不同作物根际微区 K^+ 的分布 (淀浆白土)
Fig. 5 Effect of different crops on distribution of K^+ in rhizosphere (white bleaching paddy soil)

是与棉花叶面积较大、蒸腾率也高, 因而增加了 K^+ 的质流过程, 在伴随吸水的过程中使 K^+ 较多的在根表面累积。此外, 棉花的根系阳离子交换性能也明显高于大麦和箭筈豌豆, 在吸引阳离子向根系表面的富集上将起着一定的作用。

综上所述, 根际微区土壤中 K^+ 的亏缺与富集直接反映了植物—土壤供求间的关系, 当土壤中的 K^+ 供应大于植物的吸收量时即会出现富集, 反之则出现亏缺。因此土壤中有有效钾含量高, 或增施足够量的钾肥, 或增大土壤供应容积, 特别是当土壤含水量较高时都有利于根际微区土壤中 K^+ 向根表面富集。当然, 植株需求量较小的情况下, 例如生育的

表 4 砂土上不同作物根际微区土壤的含 K⁺ 量 (ppm)*

Table 4 Potassium content of rhizosphere soil of different crops in sandy soil(ppm)

作物种类 Crops	微区 1—2 mm 土壤含 K ⁺ 量 Potassium content in soil of 1—2mm from root				未种植物的空白土壤 含 K ⁺ 量 Potassium content of soil without plant as blank	富集率(%) Rate of accumulation	植株含 K ⁺ 量 (%) Potassium content of plant
	重 复 次 数 Replication			平 均 值 Average			
	1	2	3				
棉 花 Cotton	80.9	83.6	89.6	84.7±19.1	62.7±5.3	29.0—42.9	3.27
大 麦 Barley	78.6	82.2	82.2	81.0±8.9	71.9±4.9	9.3—14.3	2.11
箭筈豌豆 Vetch	36.9	35.4	37.3	36.5±4.3	34.5±4.0	2.6—8.1	1.58

* 置信限 $p = 0.95$, Significance $p = 0.95$

早期或吸收较弱的根系部位等也会促进这种富集。由于土壤性质的差异影响着 K⁺ 迁移时的速率,也就影响着根际微区内 K⁺ 的亏缺和富集程度,例如砂土粘粒含量少,离子移动时的曲径就小,因而亏缺和富集的程度都大于淀浆白土。

对于土壤中 K⁺ 向根表面迁移的机理,已有的报道认为主要是扩散过程。但是,以上的结果所出现的根际微区土壤中 K⁺ 的富集现象表明,在一定条件下质流过程同样是起着重要作用的,这看来主要是取决于土壤溶液中 K⁺ 的浓度,凡是有利于补充或增加土壤溶液中 K⁺ 浓度的土壤因素如提高土壤中速效钾含量或加大补充的土壤容积都将促进质流的供应过程。而一定的土壤水分含量又可以提高土壤中 K⁺ 活度,因此也增加了土壤中 K⁺ 的可移动性。此外,植株的蒸腾强度较大时,质流显然成为 K⁺ 供应的主要过程。因此可以认为土壤中 K⁺ 的迁移机理,可以是扩散作用为主也可以是质流过程为主,这将根据土壤和植株的某些条件而定。然而在试验条件下出现的亏缺区明显大于富集区,前者可扩展 10 毫米以外,而后者一般只在离根 1—3 毫米的范围内。而且,在一定的情况下,在近根处出现 K⁺ 富集的同时在外围土壤中仍然存在亏缺区,以及在试验的植物种类中棉花根系似乎更易于出现 K⁺ 的富集现象。这是否存在着这种可能性,即除了某些条件下供应大于需求而出现的富集现象以外,还包含着根表面吸引 K⁺ 的某种特性,从而即使存在亏缺陡度的条件下,最靠近根表面 1—3 毫米的微区土壤中仍然可能出现相对的 K⁺ 富集。当然,由于 K⁺ 在植物体内比较活跃,是否也有可能在某些植物上易于作为平衡其他阳离子而使 K⁺ 从根组织内外溢,致使近根的微区土壤中 K⁺ 浓度偏高。有关这方面的机理问题尚需要进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 许曼丽、刘芷宇, 1982: 土壤—根系微区养分状况的研究 I. 微钾玻璃电极的应用。土壤学报,第 19 卷, 4 期, 367—374 页。
- [2] Bhat, K. K. S., Nye, P. H. and Baldwin, J. P., 1976: Diffusion of phosphate to plant roots in soil IV. Plant and Soil, 44: 63—72.
- [3] Evans, S. D. and Barber, S. A., 1964: The effect of rubidium-86 diffusion on the uptake

- of rubidium-86 by corn. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28: 56—57.
- [4] Farr, E., Vaidyanathan, L. V. and Nye, P. H., 1969: Measurement of ionic concentration gradients in soil near roots. *Soil Sci.*, 107: 385—391.
- [5] Kauffman, M. D. and Bouldin, D. R., 1967: Relationship of exchangeable and non-exchangeable potassium in soil adjacent to cation-exchange resins and plant roots. *Soil Sci.*, 104: 145—150.
- [6] Tan, K. H. and Nopamornbodi, O., 1979: Electron microbeam scanning of element distribution zone in soil rhizosphere and plant tissue. *Soil Sci.*, 127: 235—241.

THE NUTRIENT STATUS OF SOIL-ROOT INTERFACE II. THE ACCUMULATION AND DEPLETION OF POTASSIUM

Xu Manli and Liu Zhiyu

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica Nanjing*)

Summary

The present article deals with the study of K^+ status in rhizosphere soil of cotton, barley and vetch by means of the potassium selective microelectrode and frozen slice methods.

It was found that there were some factors affecting the either accumulation or depletion of K^+ in rhizosphere soil of plants. The moisture content of soil was the main factor to induce the change of K^+ status. When the moisture content was lower than the field moisture capacity, there appeared a depletion gradient in rhizosphere. On the contrary, while it was higher than the field moisture capacity, an accumulation zone occurred. Under sufficient soil moisture condition, the difference in soil types with different content of available potassium significantly influenced the rate of K^+ accumulation, e. g., in the cultivated loessial soil (194 ppm K), the content of K^+ within the soil of 1 mm was higher by 86% than that within the soil of 3 mm from the root surface, while in percolating paddy soil (86 ppm K), it was higher by 60%, and in white bleaching paddy soil (47 ppm K) and sandy soil (43 ppm K), they were only higher by 13% and 33% respectively. In addition, applying K fertilizer to the soil mentioned above markedly increased the rate of K^+ accumulation. The distribution of K^+ in rhizosphere was also affected by the volume of soil which could supply K^+ for crop. For example, in a soil with the volume of 64cm³, the K^+ content of rhizosphere was gradually decreased and a depletion gradient appeared; whereas in a soil with the volume of 1500 cm³, there occurred K^+ accumulation zone no matter whether it was sandy soil or white bleaching paddy soil. The root portion and plant species were also associated with the K^+ accumulation or depletion of rhizosphere soil. For cotton in seedling-flowering bud stage, the K^+ content in the rhizosphere soil of the upper root portion (5 cm below node) was higher than that of the lower portion (10 cm below node). The K^+ depletion rate and extent in rhizosphere soil of barley and vetch was larger than that of cotton. In other case, however, the K^+ accumulation rate in rhizosphere soil of cotton was higher than that of barley and vetch. Consequently, it seems that the cotton roots are more liable to assemble soil K^+ than barley and vetch.

It is concluded that the intensity, capacity of potassium supply and moisture content of soil, are the important factors affecting K^+ accumulation or depletion in rhizosphere. In addition, the property of plant roots also plays an important role for K^+ in soil moving toward the root surface.