

CNIC-00199

CN9000173

U03-HAU-0019

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

铷-86用作钾的示踪剂的可能性分析

及其在农业示踪上的应用



中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00199 .

U03-HAU-0019

铷-86用作钾的示踪剂的可能性分析 及其在农业示踪上的应用

郑维民 杨福存

(河北农业大学, 保定)

吴振英

娄海

(保定地区农业局)

(河北省玉田县科委)

中国核情报中心

北京·1988.4

摘 要

^{86}Rb 与K被作物吸收、分布及其在土壤中移动的相关分析表明：作物各生育期吸收的 ^{86}Rb 与K及其在体内分布呈显著相关，而 ^{86}Rb 与K在土壤中移动的相关程度因条件而异。 ^{86}Rb 示踪结果表明：在一般条件下 ^{86}Rb (K)在土壤中的纵向移动缓慢，土壤质地、水分状况对 ^{86}Rb (K)的移动、固定有较大影响；番茄、玉米、高粱、红小豆和红麻等作物对 ^{86}Rb (K)的吸收分布规律为钾肥的合理施用提供了科学依据。

关键词 ^{86}Rb K 相关性 土壤 作物

**POSSIBILITY OF RUBIDIUM-86 AS A TRACER
OF POTASSIUM AND ITS APPLICATION
IN AGRICULTURE AS A TRACER**

Zheng Weimin Yang Fucun

(Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei Province)

Wu Zhenying

(Agricultural Bureau of Baoding Prefecture, Hebei Province)

Lou Hai

(Yutian County Committee of Science and Technology,

Hebei Province)

ABSTRACT

The correlation analysis for the absorption and the distribution of ^{86}Rb and K by plant and their movements in the soil showed that the correlation is significant at each growing period of the plant, but their movement correlation in the soil is affected by the texture of soil and water conditions. The experiment with the tracer ^{86}Rb showed that the movements of K(^{86}Rb) in the directions of length and breadth are slow in soil. The texture of soil and water condition affect the movement and fixation of K(^{86}Rb) in soil. The law of absorption of ^{86}Rb (K) by tomato, corn, sorghum, red bean and kenaf etc. provides scientific basis for the proper fertilization.

前 言

迄今为止,在钾元素的示踪技术中还没有一个较理想的同位素,K的示踪研究多用 ^{86}Rb 作示踪剂^[1,2],对此国内外研究者持不同看法^[3,4],致使K的示踪研究受到一定限制,为此不少学者仍在不断探索^[5]。鉴于 ^{86}Rb 核素的半衰期、射线种类和能量比较适合农业科学研究的特点,我们从1984~1987年,从 ^{86}Rb 与K被作物吸收、体内分布以及它们在土壤中移动的关联性入手,结合进行作物和土壤的示踪试验,旨在为进一步阐明 ^{86}Rb 做K的示踪剂的可能性及其在K示踪中的合理位置,以期更好地发挥 ^{86}Rb 在示踪中的作用。

材料和方法

一、 ^{86}Rb 与K的相关分析

(一) 土壤 供试作物红麻(84-121),西红柿(天津大红),玉米(丹玉13),高粱(T×3197B)。用28×29cm塑料桶装土13.5kg,供试土壤理化性质见表1。

表1 供试土壤理化性质

土壤名称	全N(%)	有机质(%)	速效磷(P_2O_5) (ppm)	速效钾(K_2O) (ppm)	pH
潮 土	0.089	1.45	69.7	126	7.9
菜园土	0.093	2.87	66.9	92.5	7.9

(红麻、玉米、高粱、红小豆、用潮土、西红柿用菜园土)

红麻试验设不施K和施K两个处理,钾肥用 K_2SO_4 1.6g/盆, ^{86}Rb 50 μCi /盆,钾肥在红麻幼苗期以溶液形式追施入,分期收获,重复二次。

西红柿试验设不施K和 K_1 , K_2 三个处理, K_1 施 K_2SO_4 2.25g/盆, ^{86}Rb 施用量为50 μCi /盆,钾肥以溶液形式于西红柿秧苗移栽缓苗后打孔施入,分期取株,3次重复。

高粱试验设施K与不施K两个处理,钾肥用 KCl 1.6g/盆, ^{86}Rb 标记活度100 μCi /盆,以溶液形式表施后复土2cm,重复2次。玉米试验与高粱同。

(二) 土柱 供试土壤分别用代换量(15.7me/100g)的中壤和代换量(9.2me/100g)的砂土。用塑料布围成直径15cm,高30cm的圆桶,放入坑内,装土5kg,使上沿与地表平,下口与土壤相通,四周用土填好,两种土壤分别设一次灌水和多次灌水两个处理,重复两次首先于土柱中加入5mL内含0.16g K_2SO_4 , ^{86}Rb 活度4 μCi 的溶液,平衡24小时后,在一次灌水处理中加水1000mL,于多次灌水处理中加水2500mL,并且每天加水1000mL,10天后取出土柱,沿中间纵向切开,烘干,一半进行自显影,另一半分层测 ^{86}Rb 放射性活度和K的含量。

植物标本分析均用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮火焰光度计测定K的含量,土壤中K用1N醋酸铵

• 刘国振、贾彦枝同志1985年参加部分工作,王顺光、赵京考、张朋娟、孙凤梅、康建卫等同志参加部分工作,特此致谢。

浸提大坩光度计测定。植物和土壤样本的放射性活度均用FH-408定标器和FJ-307固体闪烁计数器测定。

二、K(⁸⁶Rb) 在土壤中的移动

(一) 土柱及高聚盆栽条件下K(⁸⁶Rb) 的移动 (见相关性部分中的一、(一)、(二))

(二) K(⁸⁶Rb) 的横向移动

K的横向移动, 取25×10cm 塑料盆, 装砂壤土2.5kg, 加水使其湿润, 在盆中心直径为0.5cm的穴内, 加1mL4 μ Ci的⁸⁶Rb溶液, 以加源后稍干做的自显影为对照, 另设加源后30天, 40天做自显影, 两个处理比较K随时间横向移动的距离。

(三) K(⁸⁶Rb) 的固定

1. 干湿交替 取潮黄土和硫酸盐黄土各10g于三角瓶中, 用微量自动加样器加入2 μ Ci/mL的⁸⁶Rb溶液0.5mL, 干湿交替以7天为一周期, 分别测定21天和35天的固定率。

2. 风干处理 取土加源同1, 土壤由湿润逐渐变干燥, 分别测定21天和35天的固定率。

3. 淹水处理 取土加源同1, 淹水培养21天, 35天。

以上处理均设2次重复, 并以在同样条件下加放射源而不进行浸提的土壤放射性活度为对照, 其它处理用中性醋酸铵浸提, 过滤后烘干, 测定放射性活度。

三、作物对K(⁸⁶Rb) 的吸收、分布

(一) 番茄

1. 盆栽试验 采用27×27cm塑料桶, 每盆土壤12.5kg, 设不施钾肥, K₁施K₂O 0.94g/盆, ⁸⁶Rb标记活度25 μ Ci/盆, K₂施K₂O 1.88g/盆, ⁸⁶Rb标记活度50 μ Ci/盆, 同时每盆施纯N 1.8g, P₂O₅ 1.2g, 磷全部作基肥, 氮肥三分之一作基肥, 三分之二作追肥, 分别在初花期, 果实膨大期追施。标记钾肥以溶液形式于移栽缓秧后追施。试验每处理15盆, 每次收获3盆。供试土壤为保定郊区菜园土, 理化性质见表1。供试品种加拿大8号。秧苗4月19日移栽, 每盆1株, 于追施钾肥后5, 20, 35, 50, 65天取株测定。

2. 田间试验 田间试验在保定南大区进行, 供试品种加拿大8号, 土壤理化性质同上。试验设施钾与不施钾两个处理, 钾肥用量为K₂O 25kg/亩(注: 1亩=666.7m²), 分两次施入: 番茄定植前基施12.5kg/亩, 第一果穗果实膨大期追施12.5kg/亩, 小区面积0.05亩, 简单对比排列4次重复。田间管理与当地同。

(二) 高粱 采用土培法, 塑料盆25×25cm, 装土15kg, 供试土壤理化性质见表(1)。每盆施KCl 1.6g放射性活度100 μ Ci/盆, 供试高粱二倍体3197B, 四倍体3197B, 6月12日播种, 每隔10~15天进行1次活体测量; 成熟期取全株烘干按部位进行放射性测量。

(三) 玉米 玉米与高粱盆栽试验同, 供试品种单玉13, 4月20日播种, 每盆1株, 分期取株进行放射性测量, 重复2次。

(四) 红小豆

1. 土培试验 供试品种为冀红小豆1号, 6月25日播种每盆1株, 每盆装土11.25kg, 供试土壤为中壤质潮土。理化性质见表1。钾肥用KCl 1.6g/盆, ⁸⁶Rb标记活度100 μ Ci/盆, 7月8日引入, 各生育期取苗进行养分分析, 并用G-M计数管配合FH-408定标器进行植株活体测量, 同时进行放射自显影。

2. 水培 取成熟期植株放入KHP完全营养液中, ⁸⁶Rb 20 μ Ci/盆, 一昼液后取样考种并进行放射测定。

(五) 红麻 采用30×20cm塑料盆，每盆装土13.5kg。供试土壤理化性质见表1。试验设 $N_{30}P_0K_0$ 和 $N_{30}P_0K_{20}$ 2个处理，重复3次。

氮肥用尿素(含N46%)，磷肥用过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)钾肥用 K_2SO_4 (含 K_2O 50%) ^{86}Rb 标记活度50 μCi /盆。所有肥料均于装盆前与土壤充分混合。红麻供试品种74-121，4月25日播种，6月2日定苗，每盆1株，分别于6月5日，6月25日，8月2日和9月16日取样(每次取两个重复)进行放射测量。钾肥不同施用时期和收获时期的田间试验在玉田县进行。处理1沟施后播种，处理2同样肥料做追肥(相当追肥)。不同收获时期试验分别于9月5日、15日、25日和10月5日4次收获逐制，每次取样面积1厘(6.667 m^2)，称取鲜茎重，然后逐洗晒干，称取稍麻重，以此推算鲜茎出麻率及单产。

结果与讨论

一、 ^{86}Rb 与K的相关性

(一) 作物对 ^{86}Rb 、K的吸收及其在体内的分布

1. 不同作物对 ^{86}Rb 、K的吸收 我们分析测定了红麻、西红柿、高粱和玉米几种作物体内K的含量与 ^{86}Rb 的放射性活度，结果见表2。

表2 不同作物体内K含量与 ^{86}Rb 放射性活度

作物名称	K(g/株)	^{86}Rb 放射性活度(cpm/株)
红 麻	0.305	14595
番 茄	0.044	64548
高 粱	1.418	203626
玉 米	1.757	272042

将表2中各组K与Rb的数据输入计算机进行相关分析，求得相关系数 $r=0.9842$ ，经显著性检验， $r_{0.05}=0.950$ ， $r>r_{0.05}$ ，达到5%的显著水准，相关显著。

2. 西红柿不同生长期对 ^{86}Rb 与K的吸收

(1) 西红柿处理1各生长期体内K的含量与 ^{86}Rb 放射性活度数据见表3。

表3 K_1 处理西红柿各生长期体内 ^{86}Rb 放射性活度与K含量

生 育 期	总干重(g)	K含量(g)	^{86}Rb 放射活度(cpm)
苗 期	1.37	0.032	1192
初 花 期	7.30	0.197	12801
盛 花 期	17.56	0.374	16056
果实膨大期	29.93	0.634	21849

经相关分析，相关系数 $r=0.9468$ ，显著性检验结果 $r_{0.05}=0.950$ ，基本上达到5%显著水准，相关显著。

(2) 西红柿处理2各生长期吸收K与 ^{86}Rb 的数量见表4。

表4 K₂S₂O₈处理的红柿各生育期体内⁸⁶Rb放射活度与K含量

生育期	总干重 (g)	K含量 (g)	⁸⁶ Rb放射活度 (cpm)
蕾 期	1.20	0.030	3672
初 花 期	7.47	0.2161	15001
盛 花 期	20.83	0.520	22360
果实膨大期	31.50	0.944	64548

将各生育期K的含量与⁸⁶Rb放射性活度进行相关分析,其结果为:相关系数 $r=0.9500$,显著性检验 $r_{0.05}=0.950$,相关系数 r 达到5%显著水准。结果表明西红柿钾肥两个用量和⁸⁶Rb对应的标记活度条件下,各生育期吸收的K与⁸⁶Rb仍然呈密切相关。

3. 作物体不同部位⁸⁶Rb与K的分布

(1) ⁸⁶Rb与K在红麻不同器官中的分布 前期红麻不同器官中⁸⁶Rb与K的分布见表5。

表5 红麻前期不同器官中⁸⁶Rb与K的分布

器官	干重 (g)	K 含 量		⁸⁶ Rb	
		含 量 (g)	占全株的百分率 (%)	活度 (cpm)	占全株总放射性的百分率 (%)
根	0.60	0.017	8.2	1632	6.5
皮	0.96	0.036	17.4	4349	17.3
麻骨	1.26	0.058	28.0	6867	27.4
叶	3.36	0.096	46.4	12230	48.8

将不同器官中K的含量与⁸⁶Rb放射活度进行相关分析,其结果为:相关系数 $r=0.9992$,显著性检验 $r_{0.01}=0.9900$,相关系数达到1%的显著水准。

红麻生育中期不同器官中⁸⁶Rb与K的分布见表6。

表6 红麻生育中期不同器官中⁸⁶Rb与K的分布

器官	干 重 (g)	K		⁸⁶ Rb	
		含量 (g)	占全株的百分率 (%)	放射性活度 (cpm)	占全株总放射性的百分率 (%)
根	1.29	0.034	11.1	1677	11.5
皮	1.74	0.055	18.0	2662	18.2
麻骨	2.62	0.096	31.5	4162	28.6
叶	4.35	0.120	39.4	6090	41.7

将表6中不同器官中对应的⁸⁶Rb与K的数据进行相关分析,其结果为:相关系数 $r=0.9862$,显著性检验 $r_{0.01}=0.990$,相关系数接近1%显著水准。

(2) 西红柿各生育期不同器官中⁸⁶Rb与K的分布结果见表7。

将表7中各时期不同器官中⁸⁶Rb与K的数值进行相关分析结果为:其相关系数 r 分别为0.9940, 0.9795和0.9868。显著性测定结果表明,各时期相关系数均达到5%显著水准。

表7 高粱的各生育期不同器官中⁸⁶Rb与K的分布

生育期	器官	K		⁸⁶ Rb	
		含量(g)	占全株的百分率(%)	放射性强度(cpm)	占全株总放射性百分率(%)
初花期	根	0.008	3.7	486	3.2
	茎	0.048	22.2	2340	15.5
	叶	0.180	74.1	12255	81.3
盛花期	根	0.025	5.0	2316	10.2
	茎	0.072	13.8	3194	13.9
	叶	0.290	55.8	10560	46.0
	果	0.132	25.4	6200	29.9
果实膨大期	根	0.032	3.8	2261	3.5
	茎	0.100	12.0	7696	12.0
	叶	0.311	36.8	21291	33.0
	果	0.392	46.5	33300	51.5

(3) 高粱不同器官中⁸⁶Rb与K的分布结果见表8,将不同器官中⁸⁶Rb与K的数据进行相关分析。

表8 高粱不同器官中⁸⁶Rb与K的分布

器官	干重(g)	K		⁸⁶ Rb	
		含量(g)	占全株的百分率(%)	放射性强度(cpm)	占全株的百分率(%)
根	10.28	0.2786	24.6	13672	24.2
茎	6.50	0.2503	22.0	11310	20.1
叶	12.80	0.1498	13.4	7552	13.4
叶鞘	6.40	0.1146	10.1	4880	8.7
穗	23.90	0.3380	29.9	19000	33.6

测得相关系数 $r=0.9943$, 显著性检验 $r_{0.01}=0.9590$, 达到极显著水准。

(4) 玉米孕穗期体内不同器官中⁸⁶Rb与K的分布 测定结果见表9,将不同器官中K的含量与⁸⁶Rb放射性活度进行相关分析,测得相关系数 $r=0.9984$, 显著性检验 $r_{0.01}=0.874$, 达到极显著水准。

(三) ⁸⁶Rb与K在土壤中的移动

1. 高粱盆栽条件下⁸⁶Rb与K在土壤中的移动

3个月的正常浇水管理,高粱收获后,将土坨小心取出,去掉边缘土壤,修成垂直平面,取其不同层次土样,测定⁸⁶Rb放射性活度与K的含量,结果见表10。

表9 玉米不同器官中⁸⁶Rb与K的分布

部 官	K		⁸⁶ Rb	
	含量(g)	占全株的百分率(%)	放射能强度(cpm)	占全株的百分率(%)
根	0.40	20.0	6171	23.5
茎	0.61	30.5	8636	32.9
叶	0.57	28.5	8352	31.9
雄 穗	0.27	17.5	404	1.9
苞 叶	0.06	3.0	825	3.2
雌 穗	0.06	3.0	1287	4.8
花 盆	0.03	1.5	436	1.7

表10 各层土壤中⁸⁶Rb与K的分布*

层 次	K		⁸⁶ Rb	
	含 量 (ppm)	占全层的百分率(%)	放射强度(cpm)	占全层的百分率(%)
0-5cm	211.45	67.4	214.0	89.1
5-10cm	75.73	24.1	95.7	28.9
10-15cm	17.30	5.5	30.4	8.5
15-20cm	9.29	3.0	16.0	4.5

*表中K的含量,已除去土壤中原有的速效K。

将各层土样K与⁸⁶Rb的数值进行相关分析,其结果是相关系数 $r=0.9896$,显著性检验 $r_{0.01}=0.990$,基本上达到1%显著水准。

2. ⁸⁶Rb与K在不同水分、土壤质地条件下的移动。

⁸⁶Rb与K在土柱各层中的分布见表11,将对应的⁸⁶Rb活度与K的含量各组数据进行相关分析结果为:中壤土多次灌水处理中⁸⁶Rb与K在各层中分布的相关系数 $r=0.7180$,一次灌水的相关系数 $r=0.9178$,砂土多次灌水和一次灌水处理中⁸⁶Rb与K在土柱各层中的相关系数分别为0.1188和0.2917。

从以上结果可以看出,红麻、西红柿、高粱和玉米作物之间对⁸⁶Rb与K吸收的相关系数, $r=0.9842$,这些作物各生育期对⁸⁶Rb与K吸收分布的相关系数均在0.9以上,统计检验达5%或1%水准,表明作物对K与⁸⁶Rb的吸收及其在体内各器官分布呈显著正相关,因此用⁸⁶Rb做示踪剂研究这些作物对K的吸收运转规律是可行的;⁸⁶Rb与K在土壤中移动相关性受水分状况和土壤质地影响较大,中壤土在一次灌水或高粱盆栽条件下⁸⁶Rb与K在土壤中移动的相关系数均在0.9以上,而在连续灌水条件下⁸⁶Rb与K移动的相关系数明显下降,由高度相关下降为中度相关。⁸⁶Rb与K在砂土中各层的分布相关性很差,表明⁸⁶Rb与K的移动是不大一致的,从表11可以看出,无论一次灌水还是多次灌水处理K的下移速度比⁸⁶Rb要快。

二、用⁸⁶Rb研究K在土壤中的移动和固定

(一) 质地、水分状况对K移动的影响

土壤的物理性状及其几何因素,对于K离子扩散影响很大⁽⁷⁾。K在三个处理土柱中的分布

表11 “Rb与K在不同水分质地条件下的移动”

水分状况	土层深度 (cm)	中 壤 土				砂 土			
		K		⁸⁶ Rb		K		⁸⁶ Rb	
		含量 (ppm)	占全层的百分率 (%)	放射性强度 (cpm)	占全层的百分率 (%)	含量 (ppm)	占全层的百分率 (%)	放射性强度 (cpm)	占全层的百分率 (%)
多 次 灌 水	0~5	264	30.0	808	88.9	155	15.2	841	52.0
	5~10	244	28.1	84	8.9	280	27.3	665	41.2
	10~15	147	21.8	17	1.8	305	29.7	95	5.9
	15~20	20	3.1	3	0.4	206	20.0	14	0.9
	20~25	0	0	0	0	80	7.8	0	0
一 次 灌 水	0~5	564	68.0	1063	95.5	270	24.5	1230	87.9
	5~10	244	29.8	35	3.2	305	24.9	172	11.4
	10~15	9	1.2	14	1.3	280	25.4	10	0.7
	15~20	0	0	0	0	150	13.8	0	0
	20~25	0	0	0	0	15	1.4	0	0

• 表由Rb的含量在除去土壤中原有的水K。

见表12, 结果表明, 在湿润状态下, 无论中壤土还是砂土, K基本上都集中在0~5cm土层内, 当水分状况由湿润变为灌水时, 明显地促进了K在该种土壤中下移, 灌水次数越多, 下移越明显。中壤土一次灌水和多次灌水0~5cm土层内的K比湿润处理分别多下移3.4%和10.6%。改变水分状况, 对K在砂土中移动影响更明显, 一次灌水和多次灌水处理0~5cm土层内的K分别比湿润处理减少了10.2%和46.2%。

表12 水分状况对K在不同土壤中移动的影响

土层 (cm)	中 壤 土			砂 土		
	湿 润	一 次 灌 水	多 次 灌 水	湿 润	一 次 灌 水	多 次 灌 水
0~5	99.1	95.7	89.1	98.2	88.0	52.0
5~10	0.9	3.1	8.8	1.8	11.4	41.2
10~15	0	1.2	1.8	0	0.6	5.9
15~20	0	0	0.3	0	0	0.9
20~25	0	0	0	0	0	0

• 表内数字为各层土壤中⁸⁶Rb放射性强度占全层总放射性强度的百分率 (%)

如果从水分状况相同而质地不同的角度比较K的移动, 可以看出, 在湿润状态下质地对K的移动影响不大, 一次灌水条件下, 砂土比中壤土在0~5cm土层内多下移7.7%的K, 多次灌水时, 质地性状对K的移动影响十分明显。由表12可以看出, 0~5cm土层内砂土比中壤土减少了37.1%。不同质地, 水分状况对K移动的影响从放射性自显影图1可以得到进一步证实。

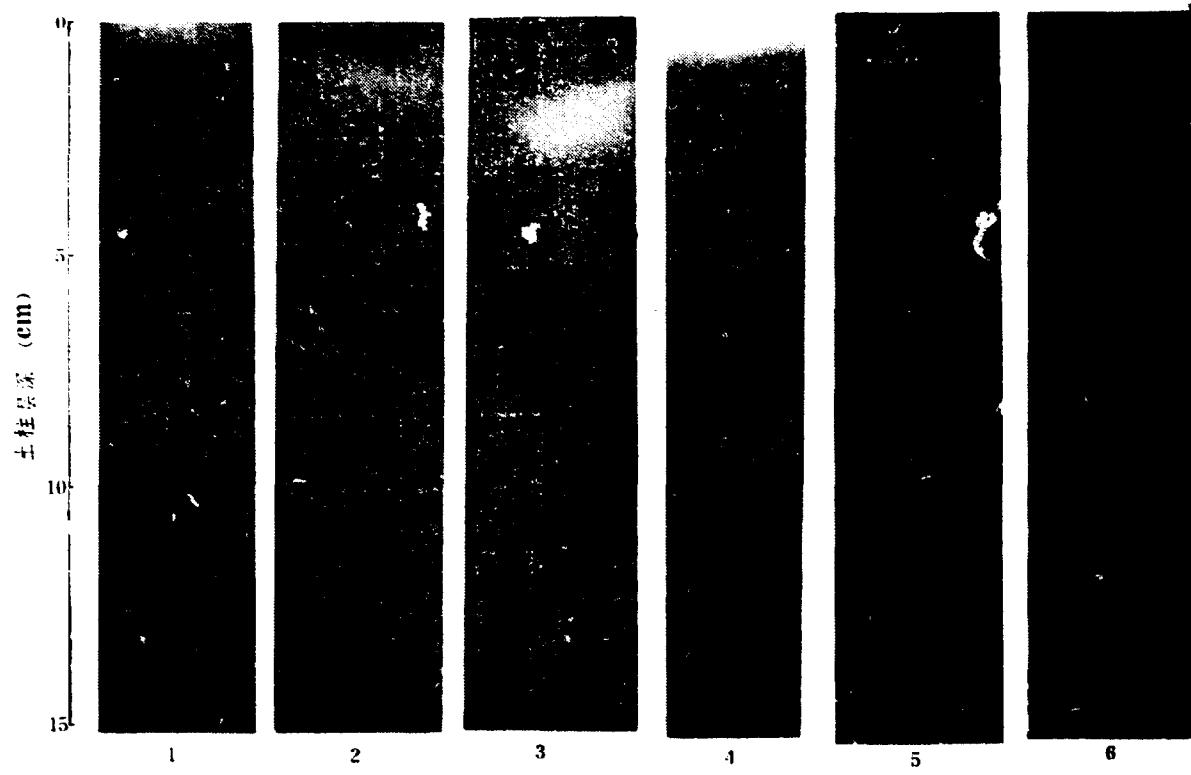


图1 K在不同质地, 水分状况下移动的自显影

(1) 中壤土湿润; (2) 中壤土一次灌水; (3) 中壤土多次灌水; (4) 砂土湿润; (5) 沙土一次灌水; (6) 沙土多次灌水。

注: 亮度表示K在土壤中的分布

(二) 盆栽条件下K的移动

高粱盆栽的水肥管理更接近实际情况, 经过3个多月时间, K在土壤中的分布见表13, 不难看出, 有86.4%的K仍然集中在0~10cm土层内, 其中0~5cm内占59.7%, 只有12.9%移动到15~20cm土层内, 20cm以下, 仅占0.7%, 足见K的移动速度是比较慢的。

表13 K在高粱盆栽土壤中的分布

土 层 (cm)	比放射活性(cpm/100mg土)	土壤总放射活性(cpm)	各层放射活性占总活度的(%)
0~5	214	107000	59.7
5~10	95.7	47850	26.7
10~15	30.4	15200	8.5
15~20	16.0	8000	4.4
20以下	2.5	1250	0.7

(三) K的横向移动

K在砂壤土中, 在湿润条件下横向移动情况可以用放射性自显影图2说明。经过30天后, ^{86}Rb 显影直径为2.2cm, 经过40天, ^{86}Rb 显影直径为2.3cm, 结果表明, 在不翻动情况下, K在土壤中的横向移动十分缓慢。

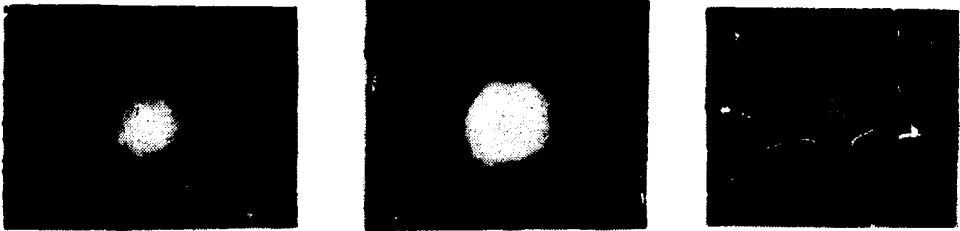


图2 K在土壤中横向移动自显影(亮点范围直径, cm)

左 横向移动40天 (2.3)

中 横向移动30天 (2.2)

右 对照 (1.8)

(四) 土壤水分状况对K固定的影响

干湿交替, 风干, 淹水三种水分状况下K的固定率见表14, 结果表明, 三种水分状况的

表14 水分状况对K固定的影响(固定百分率%)^{*}

土 类	时 间	处 理		
		干 湿 交 替	风 干	淹 水
潮 溼 土	21天	73.70	63.30	62.20
碳酸盐溼土		72.86	62.00	61.80
潮 溼 土	35天	81.58	71.20	47.43
碳酸盐溼土		75.54	64.70	58.70

^{*}处理的 ^{86}Rb 放射性活度比上对照的活度即是该土壤的固定率

固定率由大到小的顺序为干湿交替>风干>淹水,随着时间的延长,干湿交替和风干处理的固定率有所增加,而淹水处理有释放的趋势,以潮褐土为例,干湿交替和风干处理由21天到35天的固定率分别增加7.88%和7.9%;淹水处理释放率为14.8%。

此结果与A. Van, Diest的观点⁽¹⁾一致,即土壤中的粘土矿物既是K源又是K库,当土壤水分充足时,土体增大,粘土矿物晶格膨胀可以提高阳离子代换量,在土壤干湿交替条件下,由于水分变化导致粘土矿物晶格中K会出现得而复失的现象,然而,在失去的K位上重新得到的K常被固定成非代换态。因此土壤水分干湿交替会加剧土壤K的固定,而在延长淹水时间时还有释放K的趋势。

三、用⁸⁶Rb研究作物对K的吸收、分布

(一) 番茄

1. 番茄对K的吸收 盆栽试验各次测定结果见表15, 图3。

表15 各时期番茄吸K量 (以每株番茄⁸⁶Rb放射活度表示)

生育期	K ₁				K ₂			
	累积吸K量 (cpm)	阶段净吸收量 (cpm)	阶段净吸收量占总吸收量的 (%)	阶段日均吸收量 (cpm/d)	累积吸K量 (cpm)	阶段净吸收量 (cpm)	阶段净吸收量占总吸收量的 (%)	阶段日均吸收量 (cpm/d)
苗期	974	974	1.8	194	3100	3100	3.6	620
初花期	7034	6060	11.1	404	12460	9360	10.9	624
第一果穗着果期	16016	8982	16.4	598	22028	9555	11.2	637
果实膨大期	34708	18692	34.3	1246	53617	31578	36.9	2105
结果期	54611	19903	36.4	1326	85620	31995	37.4	2133

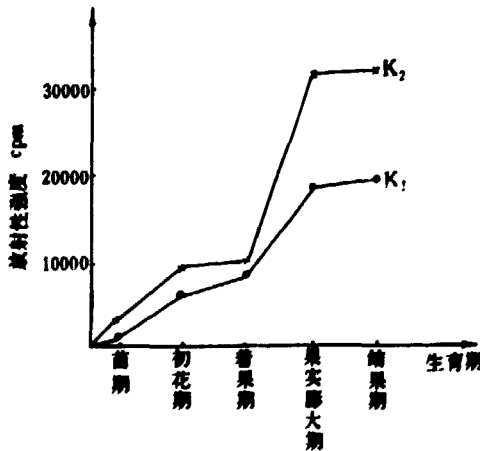


图3 番茄钾肥不同用量各时期植株内净吸收量变化曲线

结果表明,番茄对K的吸收贯穿整个生育期,植株内K含量随生长发育而增长,这个趋势一直延续到生长结束。以K₁为例,阶段日均吸K量从苗期的194cpm增长到结果期的1326cpm,增长了近7倍。但是各阶段吸K量的增长并不是均衡的,生长前期增长速度缓慢,后期增长迅

速。以第一果穗着果期为界，此期前（营养生长阶段）吸K量占总吸K量的29.3%，此期后吸K量占总吸K量的70.7%，这一特点表明，番茄吸K的高峰期出现在第一果穗果实膨大期之后。图3也反映了上述变化趋势，另外从图3还可以看出，K₂各时期植株内⁸⁶Rb放射性活度均高于K₁处理，说明在施K量增高情况下，番茄吸K量也随着增大。

2. K(⁸⁶Rb)在番茄体内的分布 试验结果见表16，结果表明，无论K₁还是K₂处理，在番茄苗期植株体内K70%以上集中在叶中，根次之，茎最少。当番茄进入结果期后，K在果实中含量居首位占全株总含量的47.2%。

表16 施肥后不同时期K(Rb)在番茄各器官的分布

器官	K ₁				K ₂			
	苗期 7/5	初花 22/5	着果期 6/6	果实膨大期 21/6	苗期 7/5	初花 22/5	着果 6/6	果实膨大期 21/6
果			47.2	60.1			33.5	52.9
根	18.8	8.0	7.4	5.0	11.8	3.6	1.3	4.2
茎	7.6	17.3	8.5	8.4	5.0	19.4	20.7	11.6
叶	73.6	74.7	36.9	26.5	83.2	77.0	44.5	31.3

注：表内数字为各器官⁸⁶Rb放射性活度占全株总活度的百分率。

叶退居二位，占全株总含量的36.9%，茎占8.5%，根最少。到果实膨大期这个规律更明显，果实中K高达60.1%，叶中K下降到26.5%。此期K₂处理番茄体内K的分布与K₁处理稍有区别，主要表现在结果期仍然以叶中K含量居首位，占全株总含量的44.5%，果实占33.5%，到果实膨大期才与K₁相同。产生上述差异的原因可能与K₂处理K的供应充足有关，从表15可以看出苗期，初花期和第一穗着果期，K₂处理番茄株内K总量比K₁同期分别高2126cpm，5426cpm和6012cpm，由于株内有较丰富的K，进入结果期后仍然可以满足果实生长的需要。进入果实膨大期（6月21日后）由于果实膨大期需K量猛增，叶片内K大量转移到果实中，导致番茄体内K的分布为：果实>叶片>茎>根的情况。番茄体内不同时期K的分布变化表明，K在番茄体内移动性较强，并且在果实膨大期K将优先供应果实生长。Widders, I. E在《番茄根系发育与K营养的关系》一文^[9]中指出，番茄茎叶中K浓度的下降期，也就是果实重量迅速增长期。可见充足的K营养是提高番茄产量不容忽视的因素。

不同时期自显影结果（图4.5）表明，苗期，新叶>根>下部叶；初花期为新叶>茎>根>下部叶，与表16结果一致。另外从自显影还可以看出苗期和初花期番茄植株的叶柄、叶柄与茎交结处以及叶脉中放射性⁸⁶Rb活度较大，说明K在输导组织中含丰富并且表现出局部富集的功能。

3. 田间试验结果

(1) 钾肥对番茄植物学性状的影响 调查结果列表17。结果表明，在土壤有机质丰富，N、P水平较高的菜园土施用钾肥促进了番茄的果穗分化，对单株果穗数和坐果数均有显著影响。施K比不施K的对照增加单株果穗数0.4~1.1个，单株座果数增加0.3~2.1个，显著性测定均达到5%水准。

(2) 钾肥对果重的影响 钾肥对番茄产量影响见表18，结果表明，在高肥水条件下，施用钾肥的增产幅度为6.9~13.3%，统计检查达1%显著水准。



图4 番茄苗期K (Rb) 在植株内分布自显影图
注：亮度表示K的含量。



图5 番茄初花期K (Rb)在植株体内分布自显影

表17 钾肥对番茄植株性状的影响

处 理		株高 (cm)	茎粗 (cm)	单株已观果穗数 (个)	单株坐果数 (个)
1	施K	71.15	1.24	4.9	11.1
	对照	72.60	1.24	4.5	9.0
2	施K	68.83	1.16	5.6	15.30
	对照	60.50	1.12	4.5	13.53
3	施K	52.50	1.16	3.9	4.30
	对照	49.50	1.17	3.5	4.0
4	施K	56.42	1.12	4.6	8.6
	对照	50.60	1.09	4.2	7.5
t值		1.91	—	3.28	3.31

($f_{0.05} = 3.188$, $f_{0.01} = 5.841$)

表18 钾肥增产效果 (kg/亩)

处 理	亩 产(kg)	比对照增产(kg)	增 产 (%)	每0.5kgK增产量(kg)
施 K	3845	376.5	10.85	7.53
不施 K	3465.5			

($P_{0.01}=5.84$ t 值为12.9)

盆栽试验不同时期取株所得果重列表19。结果表明,无论 K_1 或 K_2 处理各时期果重均比对照高,并且后期增重比前期大,这一现象可以从番茄各时期对 $K(^{86}Rb)$ 的吸收量不同得到解释。如前所述,在番茄营养生长阶段吸K量较少,土壤中K基本上能满足植株生长的要求,当

表19 钾肥不同用量与不同时期果重的关系

处 理	6月6日		6月21日		7月6日	
	果重g/株	比对照增重%	果重g/株	比对照增重%	果重g/株	比对照增重%
对照	42.9	—	90	—	268	—
K_1	45.9	6.9	107.0	18.8	326	21
K_2	43.2	0.6	92.7	3	302.6	12.9

番茄进入果实膨大期由于需要K量急剧上升,土壤中K显出不足,施K处理表现出比较明显效果。从施K数量来看,尽管 K_2 处理比 K_1 用量多一倍,但其增产效果却不如 K_1 好,表明环境中的K并不是越多越好,尽管植株内 $K(^{86}Rb)$ 含量随施K量增多而增高(如图16所示),但与增产量不呈简单正相关。日本的斋藤隆指出^[12]由于K的过量施用影响了氮素的肥效,使生长受到抑制或者妨碍MgO的吸收而引起缺乏症,导致减产。示踪试验与田间试验结果,为高肥力土壤条件下,钾肥的合理施用提供了科学依据。

(二) 高粱对K的吸收及分布

高粱三叶期后,对第三叶片进行活体测量,结果见表20。结果表明,高粱三叶期已开始吸收土壤中的 $K(^{86}Rb)$,

表20 高粱各生育期第三叶片单位面积的 ^{86}Rb 放射性活度

日期	二B ₂			四B ₂		
	累积吸收活度 (cpm/cm ²)	阶段净吸收活度	占总放射活度 (%)	累积吸收活度 (cpm/cm ²)	阶段净吸收活度	占总放射活度 (%)
6月27日	62	62	10.19%	57	57	9.8
7月4日	104	41	6.7%	91	33	5.5
7月19日	104	—	—	129	38	6.3
7月27日	123	19	0.3%	159	30	5
8月5日	275	152	24.5%	158	—	—
8月15日	264	—	—	358	198	32.8
8月26日	619	355	57.3%	602	246	40.8

表21 二、四倍体高粱成熟期K (⁴²K) 在各器官中的分布

器官	二B ₃			四B ₃		
	放射性比活度 (cpm/100mg)	总活度 (cpm)	占全株总活度的 (%)	放射性比活度 (cpm/100mg)	总活度 (cpm)	占全株总活度的 (%)
根	133	4.4×10	7.6	222	4.2×10	6.7
茎	174	1.1×10	19.0	315	5.0×10	8.0
叶	59	7.6×10	13.1	274	4.3×10	6.9
鞘	15	4.8×10	8.3	229	1.8×10	2.8
穗	126	3.0×10	51.9	200	4.7×10	75.4

二B₃和四B₃此期净吸收量分别占全生育期的10.2%和9.6%。从7月4日至7月27日进入吸收平稳期，虽然累积吸收量略有增长，但变化不大，净吸收量都在6.7%以下。8月5日以后，高粱进入旺盛生长时期，根系对K的吸收迅速增长，并且一直延续到生长末期。二B₃和四B₃ 8月5日阶段净吸收量为24.5%和32.8%到8月26日分别增长到57.3%和40.8%，均达到全生育期的吸收高峰。反映出二、四倍体高粱生长后期根系对K的吸收能力仍然较强。

高粱成熟期K在各器官中的分布见表21，结果表明，二倍体和四倍体高粱均以穗的总强度最高，分别占全株的51.9%和75.4%，茎叶次之，根最少，表明高粱后期吸收的K主要供给穗子生长。从表20和21还可以看出四B₃比二B₃各生育期对K的吸收利用能力稍强。

(三) 红小豆叶片吸收K的动态

1. 不同时期对红小豆第三片叶进行活体测量 结果见表22。

表22 红小豆第三片叶不同时间放射性活度 (cpm/单位面积)

日 期	19/7	27/7	5/8	15/8	26/8
⁸⁶ Rb比活度 (cpm/单位面积)	171	196.3	245.3	248.5	602.1

红小豆第三叶片中的⁸⁶Rb活度一直处于增加状态，到结实期⁸⁶Rb的比活度比花期高出近二倍多。说明红小豆对⁸⁶Rb(K)的吸收一直比较活跃，而吸收后的K(⁸⁶Rb)转移到荚中数量比P少，这一点从表23成熟期考种结果可以得到证明，成熟期保留在植株中K的含量为63.1%，而P只有49.1%，有50.8%的P转移到籽实中，K只有36.9%转移到籽实中。

表23 红小豆成熟期不同器官中N.P.K的分布

器官	N			P			K		
	%	总量	占全株的%	%	总量	占全株的%	%	总量	占全株的%
植株根叶茎	1.91	0.36	50.6	0.018	0.0040	49.1	1.33	0.29	63.1
豆 荚	2.31	0.04	5.2	0.022	0.0006	7.7	1.19	0.04	7.6
豆 粒	3.11	0.32	44.2	0.035	0.0035	43.1	1.36	0.14	29.3

2. 成熟期红小豆对⁸⁶Rb(K)的吸收及分布 测定结果见表24。结果表明红小豆成熟期根系仍然有吸收³²P(⁸⁶Rb) K的能力，但⁸⁶Rb与P的吸收速率不同，从表24可以看出，

表24 成熟期红小豆24h吸收的³²P、⁸⁶Rb、(K)在各器官的分布

器官	³² P				⁸⁶ Rb			
	100mg cpm	干重 (g)	总计数 (cpm)	占全株总脉冲 (%)	100mg cpm	干重 (g)	总计数 (cpm)	占全株总脉冲 (%)
根	32637	3.21	1.0×10 ⁶	52.9	39891	3.26	1.3×10 ⁶	22.8
茎	7049	7.00	4.9×10 ⁵	25.9	33869	5.16	1.7×10 ⁶	29.8
叶	2225	9.15	2.0×10 ⁵	10.6	20771	8.35	1.7×10 ⁶	29.8
叶柄	2544	2.61	6.6×10 ⁴	3.5	27589	2.30	6.3×10 ⁵	11.0
豆粒	709	9.9	9.0×10 ⁴	3.7	2669	10.29	2.7×10 ⁵	4.7
豆荚	1498	2.95	4.4×10 ⁴	2.3	2241	2.00	4.5×10 ⁴	0.8

除去根以外在茎、叶、叶柄以致于在豆粒和豆荚中⁸⁶Rb的放射性活度均比³²P高，甚至有的高出十倍。这一点进一步证明了红小豆后期对⁸⁶Rb(K)的吸收活力较高的特性。另外，红小豆成熟期吸收的³²P和K仍有5%左右，转移到籽粒中。可见生长后期充足的K营养对养分吸收和光合产物的运输极为重要。

3. 各生育期自显影结果 各生育期不同器官自显影结果(附自显影照片)，图6表明⁸⁶Rb根、茎、叶、花、根瘤内的分部情况。反映出K主要分布在新生器官和输导组织中，根瘤内的K一直维持较高水平见图7。红小豆一生对K需要迫切，根瘤内K的含量一直维持较高水平，证明K在提高红小豆产量中的作用，1985年田间试验结果表明K₂N₀处理比K₀N₀的处理结荚率提高12.3%，籽实增加15.8%。这一结果为进一步研究K是否有促进红小豆根瘤生



图6 ⁸⁶Rb在红小豆茎、叶、花中分布



图7 ⁸⁶Rb在红小豆根中分布

长和提高其固N能力的作用等问题提供了依据。

(四) 红麻

1. 红麻株高和干物质增长与K(^{86}Rb) 吸收的关系

试验结果示于表25和图8, 红麻植株生长速度苗期比较缓慢, 日均增长量仅0.9cm, 旺长初生长速度增加到1.78cm/d。进入旺长中后期生长速度达最高值 3.26cm/d, 后期又下降到1.86cm/d, 干物质累积进程与株高增长有相同的趋势, 苗期缓慢日均增长仅0.05g/株, 旺长初期上升为0.48g/株, 旺长中后期达最高值0.76g/株, 后期下降为0.63g/株。在各时期放射性活度变化与株高、干物质增长有相同的规律, 苗期较低, 吸收量仅占全生育吸收量的3.4%, 旺生初期吸收量上升为25.5%, 旺长中后期吸收量达最高值, 此段吸收量占全生育期吸收的41.2%, 生长后期吸K量有所下降但仍处于较高水平。株高与干物质的增长是提高红麻产量的重要因素, 红麻生育期株高增长, 干物质累积与K吸收量变化的同步关系反映出钾素在提高红麻产量中的重要作用。从表25和图8还可以看出, 红麻钾素的日吸收量高峰值

表25 红麻各时期株高、干物质增长与K吸收的关系

生育阶段 (月/日)	株高 (cm)	阶段日均增长量 (cm)	累积干物重 (g)	阶段日增重 (g/株d)	累积吸收 (cpm)	阶段吸收 (cpm)	占总吸收的 %	阶段日均吸收 (cpm)
5.2 ~ 6.5	27.2	0.90	1.44	0.65	3544	3544	3.4	118
6.6 ~ 6.25	59.3	1.78	10.0	0.48	30640	27096	25.5	1354
6.25 ~ 8.2	188.0	3.26	39.9	0.76	74344	43704	41.2	1150
8.3 ~ 9.16	265.0	1.86	67.8	0.68	106110	31766	29.9	721

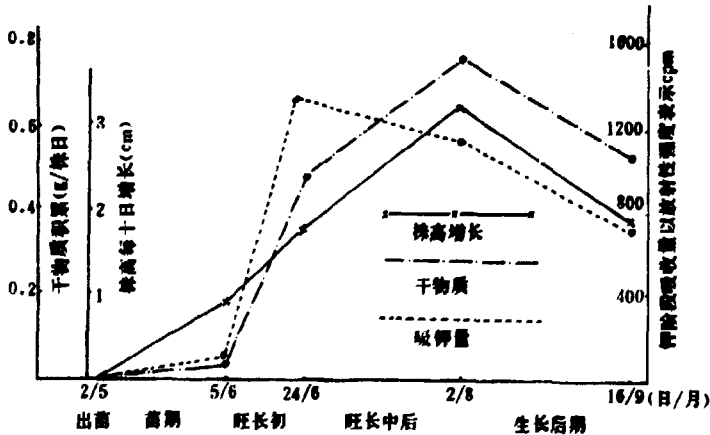


图8 红麻植株各时期不同器官干物质累积与K分布的关系

(1354cpm) 出现在旺长初期而后日吸收量逐渐下降, 日均吸收量表明的是红麻对 K 的吸收率, 其高峰值出现在株高增长和干物质累积的高峰值之前, 这一事实告诉我们红麻施用钾肥以早施为宜。此结果与田间试验一致, 田间试验结果 (见表26) 表明, 在密度基本一致情况下, 钾肥作种肥笨麻率低于背肥, 而株高, 茎粗, 鲜茎重及产量均高于背肥, 前者比后者产量增加65斤, 增产18.6%。说明钾肥作种肥的效果优于追肥 (背肥)。

表26 钾肥不同施用方式对红麻生物学性状及产量的影响

处理	小区株数	实际密度 (株数/亩)	小区茎麻	茎麻率 (%)	株高 (cm)	茎粗 (cm)	小区鲜茎重 (kg)	小区鲜麻重 (kg)	亩产 (kg/亩)
基肥	1785	17850	289	16.2	319.2	1.29	434.4	21.7	217.0
青施	1802	18020	425	23.6	268.3	1.12	368.9	18.45	184.5

2. 红麻不同时期不同器官干物质累积与K (⁴⁰Rb) 分布的关系

表27 红麻各时期不同器官干物质与K分布的关系

日期	干 物 重 (g)								放 射 活 度 (cpm)							
	根	占全株 %	麻骨	占全株 %	麻皮	占全株 %	叶	占全株 %	根	占全株 %	麻骨	占全株 %	麻皮	占全株 %	叶	占全株 %
6.5	(根茎)		0.58		40.3		0.86	59.7	(根茎)		1189		33.5		2355	66.5
6.2	1.29	12.9	2.62	26.0	1.74	1.74	4.35	43.5	3521	11.5	8740	28.5	1590	18.3	12789	41.7
8.2	4.2	10.5	12.8	32.3	10.6	26.7	12.1	30.5	9590	12.9	27776	37.4	14776	19.3	22674	30.5
9.1	4.5	6.6	30.5	45.7	20.6	30.3	12.2	17.9	16200	15.2	54900	51.7	18540	17.5	16470	15.6

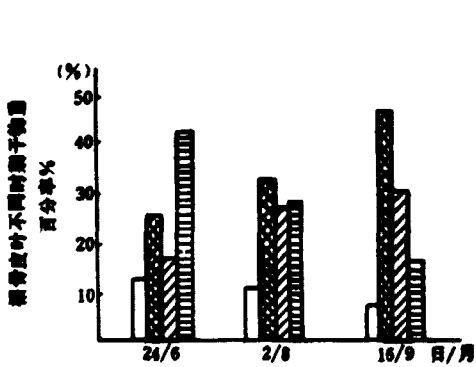


图9 红麻不同时期根、骨、皮、叶物重比例变化

图中所示符号与图10所标相同

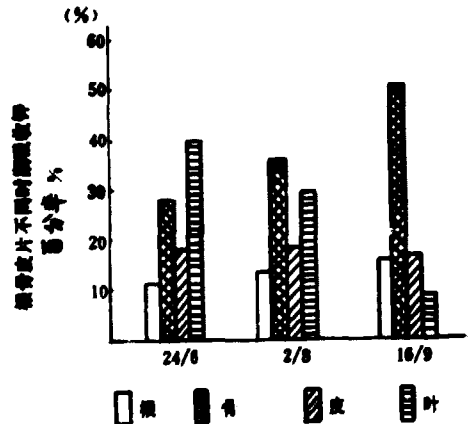


图10 红麻不同时期根、骨、皮、叶内K分布的比例变化

试验结果 (表27、图9) 表明, 不同器官占全株干物质重量的比值随生育时期而变化。叶片干重物所占全株干重物质的比值, 随生育天数的延长逐渐下降, 从苗期的最高值59.7%下降到后期的17.9%, 麻骨和麻皮所占的比值随生育天数增加而增加, 收获期最高值分别为45.7%和30.3%; 根系的干物质所占的比值随生育天数增加逐渐减少, 但变化不大。综合表27, 图9和图10可以看出, 植株体内各生育期叶片、麻骨和麻皮中K的含量比例变化的消长规律与它们干物质累积变化规律基本是一致的, 这一事实表明, 红麻前期叶片中的K后期要转移到茎秆中, 麻骨和麻皮中K含量的增高又促进了它们干物质的累积, 可见只有保证红麻生育期前期充足的K营养才能满足生育后期的需要; 另外从麻皮和麻骨的干物质累积和吸K速

度可以看出,从8月2日到9月16日,麻秆干物质和K含量几乎同步增长,增长值分别为13.4%和14.3%,而此期麻皮的干物质重只增长6.4%,K的含量却降低了1.8%;结果表明适宜的工艺收获时期以9月16日左右为宜。延长生长时间,由于后期麻秆增长比麻皮快,虽然产量可以提高,但品质会下降,田间试验结果(表28,29)进一步证实了这一点。

表28 不同收获时期产量构成

收获时间(月、日)	取样面积0.5亩	取鲜茎重(kg)	取鲜麻重(kg)	鲜茎出麻率(%)	单产(kg/亩)
9.5	0.5	25.9	1.34	5.17	133.9
9.15	0.5	30.0	1.95	6.50	195.0
9.25	0.5	25.0	1.69	6.75	168.8
10.5	0.5	31.0	2.11	6.80	210.8

表29 不同收获时期对纤维拉力的影响

时 期	9月5日	9月15日	9月25日	10月5日
拉 力(kg)	42.7	49.0	53.5	36.2

从表28可以看出,随着收获期的推迟,单位面积的鲜茎重、出麻率,及单产表现递增的趋势,但纤维拉力却以9月15~25日收获的最好。

3. ^{86}Rb 自显影结果

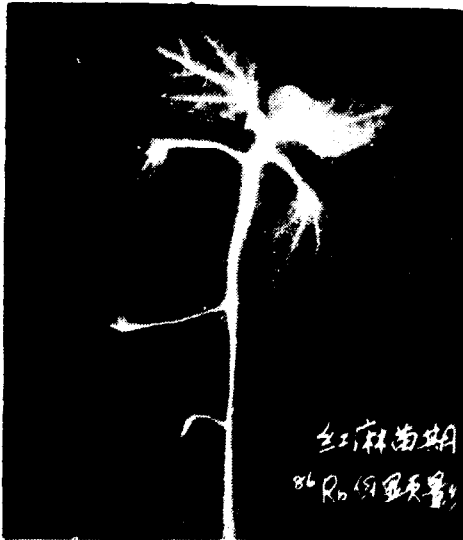


图11 红麻苗期 ^{86}Rb 自显影



图12 红麻后期 ^{86}Rb 自显影

苗期和后期自显影(图11,12)表明,红麻苗期体内 ^{86}Rb 放射性比活大于后期;苗期 ^{86}Rb 在体内分布,茎>叶柄>叶脉>叶肉,上部叶>下部叶;后期茎>叶柄>花蕾>叶脉>叶肉。自显影的结果进一步证实了K在植株内不同器官中的分布与测定结果与表27是一致的,表明了红麻苗期对K的需要就很迫切,早期供K十分必要;K在红麻体内主要集中的输导组织中,

并且移动性强在生产上保证红麻前期丰富的K营养对提高产量和品质是十分重要的。

小 结

1. 用番茄、高粱、玉米和红麻做 ^{86}Rb 与K的相关试验表明, ^{86}Rb 与K的含量及其在各器官中的分布呈显著正相关。用 ^{86}Rb 研究作物对K的吸收运转规律是可行的; ^{86}Rb 与K在土壤中移动的相关程度与土壤质地、水分状况关系密切。用 ^{86}Rb 研究K在土壤中移动和固定时要考虑具体条件。

2. 用 ^{86}Rb 研究K在土壤中移动结果表明,质地轻、水分充足,尤其在淋溶条件下,K的移动快,反之亦然。在湿润条件下K的纵横移动均十分缓慢;土壤水分状况影响K的固定率。

3. 用 ^{86}Rb 研究了K被作物吸收及运转规律,揭示了K与植株生长的关系及各生育期吸收K的特点,以此指导K的合理施用取得了良好结果。

参 考 文 献

- [1] Vauzy.E.H and Barber.S.A., *soil sci.Amer.Proc.* (27), 193-197, 1963.
- [2] Hugh Frick and Loyal F.Bauman, *Crop Science*, (1) 18, 1978.
- [3] Zoeldes.F., *Physiologia Plantarum*, (4) 53, 1981.
- [4] 李其福等, *原子能农业应用* (1) 26-29, 1984.
- [5] 陈子元等, *核技术及其在农业科学研究中的应用*, 科学出版社, 450-452, 1983.
- [6] *Radioisotopes*, 武长宏译, *核农学通报*, (5) 35-36, 1987.
- [7] 袁可健, *植物营养元素的土壤化学*, 科学出版社, 203-206, 1983.
- [8] A.Vza Diest, 黎德印译, *国外农学-土壤肥料*, (1) 23, 1982.
- [9] Widders I.E.et al., *J.Amer.Soc.Hort.Sci.*, 104 N 2, 216-220, 1979.
- [10] (日)高藤隆著,王寿廷译, *番茄生理基础*, 上海科技出版社, 73-77, 1981.

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre