

# 黄土区土壤钾的形态及其释放

贾恒义 彭琳

## 摘 要

本文研究了黄土区(陕西部分)土壤钾的形态,按毫克/100克土计,有机钾0.36—5.04,水溶性钾0.24—2.37,代换性钾3.61—16.96,有效钾3.85—19.33,非代换性钾64.45—149.77,结构钾1,840.3—2,538.3,全钾为1,920—2,640。有效钾为非代换性钾的11.42%,结构钾的0.53%和全钾的0.51%。水溶性钾和代换性钾分别是有效钾的8.2%和91.8%。

通过主成分分析可知,土壤各种形态的钾与有机质呈正相关;水溶性钾、代换性钾、非代换性钾与有机态钾,代换性钾和非代换性钾与粉粒和粘粒也呈正相关,但都与沙粒呈负相关。钾的释放符合于幂回归方程( $y=ax^{-b}$ )。释放量从北向南是逐渐增加的。幼年土壤和轻黑垆土耕作层释放量高于其他层次,但是粘黑垆土和黑垆土的粘化层的释放量高于其它层次。

钾是植物的重要营养元素之一。土壤中的钾有多种形态,但从植物营养来说,可分速效钾、缓效钾和结构钾等。当季作物主要取决于速效钾的供应水平。它不仅受施肥的影响,而且受缓效钾贮量和供应强度的控制。因此要了解土壤钾营养,就要弄清这些问题。

黄土区土壤因母质、风化条件不同,土壤速效钾、缓效钾的含量和释放各有差异。所以研究黄土区土壤钾的形态与基本性质的关系,对钾肥的供配和农业生产的发展具有重要的意义。

## 一、供试土样和方法

(一) 供试土样 采于黄土区陕西部分,从北到南,为黄绵土、黑垆土和黑垆土,还有泾惠灌区的灌淤土。其土壤的主要性质见表1。

(二) 方法<sup>[1]</sup> 1. 有机态钾: 30%  $H_2O_2$  法。2. 水溶性钾: 水:土=5:1浸提。3. 代换性钾: 1N  $NH_4OAc$  (pH=7) 法。4. 非代换性钾: 1N  $HNO_3$  法。5. 全钾:  $HF-HClO_4$  法。6. 钾的释放: 用1N  $HNO_3$  溶液连续浸提7次。各种形态的钾和钾的释放均用Zeiss(三型)火焰光度计测定。

## 二、结果与讨论

### (一) 土壤钾的形态

黄土区土壤的主要性质和土壤钾的各种形态的算术平均值( $\bar{x}$ ),样本标准差(S)和变异系数(CV)(表2)表明:沙粒、有机质、有机态钾和水溶性钾的含量比较离散,结构钾和全钾的分布比较聚集,粉粒、粘粒、代换性钾和非代换性钾离散程度居中。

1. 有机态钾: 土壤有机质中的钾大部分来自新鲜的动植物残体。但是钾在生物体

表 1

供试土样的基本性质

地 点	土壤与编号	深度 (厘米)	CaCO <sub>3</sub> %	有机质 (%)	沙 粒 (%)	粉 粒 (%)	粘 粒 (%)
靖边县 大路沟	82—14 绵沙土	0—13	11.33	0.41	44.8	46.1	8.9
		13—25	11.91	0.28	49.6	41.5	8.7
		25—95	11.59	0.26	38.1	54.7	7.1
		95—150	10.62	0.23	43.6	49.3	7.0
志丹县 杏 河	82—02 黄绵土	0—13	13.20	0.81	26.4	63.6	9.8
		13—27	13.05	0.29	23.2	67.7	8.9
		27—63	14.00	0.30	32.6	60.7	7.2
		63—150	13.19	0.26	27.0	65.9	6.9
安塞县 沿河湾	80—A—02 黄绵土	0—14	12.40	0.86	20.5	69.5	9.8
		14—35	13.68	0.29	24.5	65.9	9.6
		35—100	13.17	0.23	19.3	70.8	9.9
		170—180	12.91	0.25	13.4	74.7	11.9
靖边县 五里湾	82—11 沙黑垆土	0—13	7.74	1.65	37.1	52.6	10.2
		13—56	7.28	1.36	33.95	53.0	13.0
		56—90	8.08	1.12	29.04	59.0	11.9
		145—165	7.55	0.86	35.0	54.3	10.6
		165—220	7.48	0.88	25.8	63.1	11.1
		220—240	10.15	0.54	26.5	64.4	8.9
志丹县 杏 河	82—01 轻黑垆土	0—13	3.37	1.18	26.3	62.6	11.0
		13—23	3.40	1.14	25.8	61.1	12.0
		70—90	10.60	0.63	23.7	61.5	14.8
		90—102	13.49	0.44	25.4	61.4	13.0
		102—150	12.68	0.40	26.5	61.9	11.4
洛川县	83—01 黑垆土	0—25	6.45	1.13	16.46	73.5	9.7
		25—37	8.38	1.08	17.32	71.3	10.7
		37—52	4.26	0.68	8.30	77.1	14.3
		52—105	2.42	0.85	13.60	67.7	18.7
		105—145	13.36	0.69	5.78	74.0	20.2
		145—210	21.90	0.49	9.09	73.0	17.7
		210—250	22.98	0.34	11.02	75.8	13.0
蒲城县 孙 镇	78—A—03 黑垆土	0—24	9.01	1.01	15.1	72.6	11.8
		24—41	7.14	0.63	12.6	75.9	11.3
		58—125	4.00	0.73	9.9	68.8	21.3
		125—147	13.19	0.72	14.0	66.2	20.2
		167—200	15.81	0.32	10.9	73.0	15.0

(续表 1)

地 点	土壤与编号	深度 (厘米)	CaCO <sub>3</sub> %	有机质 (%)	沙 粒 (%)	粉 粒 (%)	粘 粒 (%)
高陵县 张卜	8—22 黑垆土	0—20	12.00	0.93	15.4	83.0	7.7
		20—30	13.00	0.91	7.2	83.4	9.8
		30—100	6.00	0.75	7.8	80.0	12.3
		100—190	6.60	0.56	26.7	57.3	15.9
		190—200	16.80	0.43	7.4	73.0	19.5
高陵县 通远	2—55 灌淤土	0—19	11.40	0.81	15.7	65.0	18.8
		19—28	11.10	0.75	15.8	66.6	17.1
		28—110	10.00	0.43	12.9	71.5	15.3
		110—170	13.30	0.52	12.6	68.8	18.5
		170—200	11.70	0.42	12.7	70.2	17.1

表 2 土壤有机质、颗粒组成与不同形态钾的平均值、标准差和变异系数

项 目	有机质 (%)	沙粒 (%)	粉粒 (%)	粘粒 (%)	有机态钾 (毫克/ 100克土)	水溶性钾 (毫克/ 100克土)	代换性钾 (毫克/ 100克土)	缓效性钾 (毫克/ 100克土)	结 构 钾 (毫克/ 100克土)	全 钾 (毫克/ 100克土)	缓效钾 占全钾 (%)
平均值( $\bar{x}$ )	0.66	21.3	71.0	12.7	1.62	0.91	10.23	97.51	2,103.01	2,202	4.44
样本标准差(S)	0.34	11.0	9.3	4.1	1.32	0.49	4.13	25.58	148.94	146.79	1.20
变异系数(cv)	0.51	0.52	0.13	0.32	0.81	0.54	0.40	0.26	0.071	0.066	0.27

内并不和有机物质形成不溶性的复合物，故很易从动植物残体中淋洗出，从而使有机物中的钾具有很大的有效性，补充土壤中的有效钾。动植物残体经过腐烂分解后，一部分钾被淋失，还有一部分钾被闭塞在土壤有机物中，由有机物吸收阳离子特性所致属于吸附性钾。

有机态钾，耕作层平均值为3.44毫克/100克土，耕作层以下平均值为0.77毫克/100克土，总平均值为1.62毫克/100克土。黄土区从北向南，由于成土母质、成土过程和耕作施肥的差异，土壤有机质差异较大，可能影响有机态钾的变异系数也较大。有机质同有机态钾有极显著的相关性。

2. 水溶性钾：水溶性钾和代换性钾保持平衡关系，并随着水土比例和溶液中盐分浓度而变化。如果土壤溶液稀释则溶液中钾的总量增加，同样溶液的组成变化，则产生新的代换作用，直达平衡，溶液中钾的浓度也随之变化。

水溶性钾平均值为0.91毫克/100克土，分别是有机态钾、代换性钾、非代换性钾、结构钾和全钾的56.17%、8.89%、0.93%、0.043%和0.041%，同有机质、有机态钾的相关系数分别是 $r = 0.5132^{***}$ 和 $r = 0.6372^{**}$ 。

3. 代换性钾：代换性钾是一种速效性钾。它受土壤吸收容量、盐渍饱和度，互补离子、耕作、栽培施肥、灌溉和休闲等因素的影响。同时代换性钾和非代换性钾之间存

以下平均值为95.95毫克/100克土, 总平均值是97.51毫克/克土。非代换性钾为结构钾的4.62%和全钾的4.41%。非代换性钾同有机质粉粒、粘粒呈正相关, 但同沙粒呈负相关, 其相关系数分别为:  $r = 0.4921^{**}$ ,  $r = 0.4256^{**}$ ,  $r = 0.3721^{*}$ ;  $r = -0.4911^{**}$ 。

5. 结构钾: 结构钾也称无机钾, 系全钾减去 $1NHNO_3$ 提取的钾, 它是构成矿物晶层或深受结构束缚的钾, 一般不易溶解, 也不为溶液中的阳离子代换, 因而也不易被植物吸收利用。

结构钾在1,840.34—2,538.30毫克/100克土之间, 平均值为2,108.61毫克/100克土。为全钾的95.49%左右, 与全钾呈正相关,  $r = 0.9856^{**}$ 。

6. 全钾: 黄土区土壤全钾含量是较高的, 在1.92—2.64%之间, 平均值2.21%。

(二) 土壤钾的主成分分析

计算出特征值及相应的特征向量见表3、表4。从方差贡献率来看, 沙粒>有机质>全钾>粘粒>非代换性钾……。

在着一个平衡关系, 即代换性钾可以进入晶格成为非代换性钾而被固定, 而非代换性钾可以释放补充代换性钾。因此, 代换性钾和其它形态的钾之间也就没有截然的界限。

代换性钾一般指的是土壤胶体表面电荷所吸附的钾, 可以用 $1NNH_4OAC$ 代换出来。代换性钾的含量: 耕作层平均值为12.76毫克/100克土, 耕作层以下平均值是9.6毫克/100克土, 总的平均值是10.23毫克/100克土。代换性钾同有机质、非代换性钾、粉粒和粘粒呈正相关, 同沙粒呈负相关, 其相关系数分别是:  $r = 0.4669^{**}$ ,  $r = 0.5636^{**}$ ,  $r = 0.3111^{*}$ ,  $r = 0.4641^{**}$ 和 $r = -0.4494^{**}$ 。

4. 非代换性钾: 非代换性钾是指存在于固体土粒上, 但不能为某些中性盐 (通常是 $NH_4OAC$ ) 的阳离子代换出来的钾。非代换性钾不仅包含有粘土矿物晶层中固定态钾, 还包含有粘土固定的钾。虽然非代换性钾是难以利用, 但可以作为代换性钾的补充来源, 故也称作缓效钾或酸溶性钾。

非代换性钾是用 $1NHNO_3$ 溶液提取的, 并减去代换性钾的含量。耕作层平均值为103.73毫克/100克土, 耕作层

表 3 土壤指标相关矩阵的特征值和贡献率

项 目	特 征 值									
	1. 沙粒	2. 有机质	3. 全钾	4. 粘粒	5. 缓效钾	6. 代换性钾	7. 有机钾	8. 水溶钾	9. 粉粒	10. 结构钾
特 征 值	3.20341	2.37266	1.95868	1.08172	0.50195	0.40477	0.29220	0.18142	0.00349	0.00002
方差贡献率(%)	32.03429	23.72699	19.58685	10.81732	5.01591	4.04771	2.92201	1.81420	0.03508	0.00005
累计方差贡献率(%)	32.03429	55.76098	75.34783	86.16806	91.18097	95.22868	98.15069	99.96489	99.99997	100.00000

表 4

五个主成分的特征向量

主成分 指标	1. 沙 粒	2. 有机质	3. 全 钾	4. 粘 粒	5. 缓效钾
1. 沙 粒	0.4375	0.3067	0.1432	0.3131	0.1056
2. 有 机 质	-0.2905	0.4462	0.0289	0.2166	0.1940
3. 全 钾	-0.2428	0.0108	0.6369	-0.0325	0.1168
4. 粘 粒	-0.3159	-0.3156	-0.0658	0.4398	-0.5164
5. 缓 效 钾	-0.4171	0.0652	-0.2523	0.2047	0.6347
6. 代 换 钾	-0.4419	0.0848	-0.0269	0.3046	-0.2753
7. 有 机 钾	-0.1215	0.5541	-0.1486	-0.0165	-0.1415
8. 水 溶 钾	-0.0958	0.5071	-0.0304	-0.4079	-0.4034
9. 粉 粒	-0.3784	-0.2054	-0.1491	-0.5947	0.0960
10. 结 构 钾	-0.1697	-0.0003	0.6774	-0.0666	0.0066

而累计方差贡献率,第一、二、三主成分综合了原有信息的75.0%,到第五个主成分综合了原有信息的90.0%以上。

对某个主成分进行分辨的主导思想是:首先看哪些变量在这个主成分上负荷最大,然后再从土壤基本性质上讨论这些变量合在一起的含意:

(1) 第一主成分的物理意义,是黄土区土壤沙粒化过程各种形态钾的量度。各种形态钾对第一主成分皆是逆向负荷,即沙粒含量愈高,则各种形态钾含量愈低,其中代换性钾和非代换性钾负荷比较高,与沙粒关系密切。这个结果和B. P. Singh的结果基本是一致的[5]。

(2) 第二主成分的物理意义,是黄土区土壤有机质化过程中各种形态钾的量度。各种形态的钾对第二主成分都是正向负荷,表示土壤有机质含量增高,则各种形态钾的含量增加,其中有机态钾,水溶性钾负荷较高。有机质同各种形态的钾呈正相关,除结构钾和全钾外,都达 $\alpha = 0.01$ 水平。

(3) 第三主成分的物理意义,是黄土区土壤全钾与各种形态钾的量度。皆为逆向负荷,其绝对值较小。

(4) 第四主成分的物理意义,是黄土区土壤粘粒化过程中各种形态钾的量度。代换性钾,非代换性钾对第四主成分是正向负荷,而水溶性钾为逆向负荷。正向负荷表示粘粒含量愈高,则代换性钾、非代换性钾也愈高。

(5) 第五个主成分的物理意义,是黄土区土壤非代换钾与各种形态钾的量度。代换性钾、水溶性钾、有机钾对第五个主成分是逆向负荷,一般绝对值大于第三主成分。

上述主要讨论了黄土区土壤主要性质与各种形态钾的负荷,至于各种形态钾相互的

负荷还须进一步分析讨论。

综上所述,通过前五个主成分分析,目前情况下,在五个主成分中有机质受人为活动因素影响较大。因此,要合理利用土地,建立最佳的土壤生态系统,防止水土流失,植树种草,秸秆还田,增加土壤有机质,提高土壤肥力。

### (三) 土壤钾的释放

土壤钾的各种形态是一个动态平衡系统。非代换性钾的释放是动态平衡的逆过程,通常把此过程称作有效化过程。土壤中水溶性钾和代换性钾由于作物的吸收或其他自然因素作用降低时,非代换性钾补充,以达到新的平衡。土壤非代换性钾的释放容量和强度,反映了土壤供钾的潜力。以 $1\text{NHNO}_3$ 连续浸提土壤7次(第一次浸提钾的量减去代换性钾的量)以表示钾的释放容量和强度。

1. 耕作层钾的释放:耕作层土壤钾的释放过程(图1)。谢建昌(1981年)用红壤、砖红壤、水稻土和潮土等7种土壤试验[4],Geetanjali·Ghosh用酸性( $\text{pH}=4.3-5.8$ )试验,其释放过程和我们应用黄土区主要土壤释放过程是一致的。此结果表明:

(1) 耕作层作代换性钾从北向南是逐渐增加的(图1),第一次浸提量从73.67到

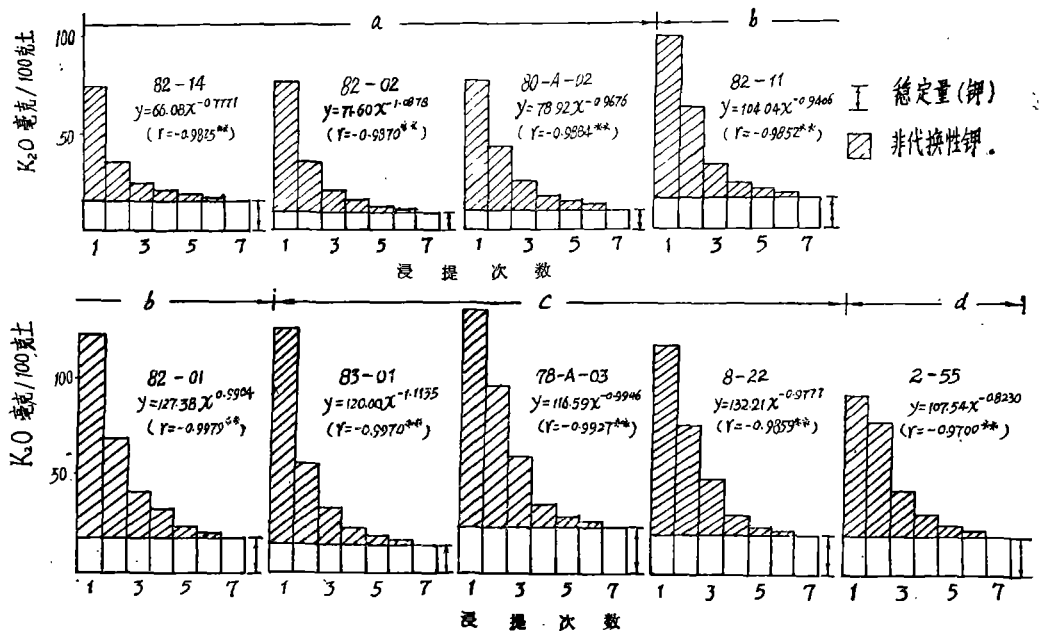


图1 不同土壤耕作层钾的释放

137.87毫克/100克土。陕西省土壤肥料研究所钾肥组研究表明,缓效钾在黄土区从766 ppm增加到1,077 ppm[3],和我们的结果基本是吻合的。前述非代换性钾与粘粒呈正相关,与沙粒呈负相关。这表明黄土区非代换性钾与土壤颗粒组成的南北变化规律(刘东生, 1964)是一致的。

(2) 稳定量 (Constant rate K), 即连续第七次浸提钾的量, 基本和(1)变化是一致的。黄绵土是10.54—16.62毫克/100克土, 黑垆土是18.32—19.05毫克/100克土, 黑垆土为21.08—24.85毫克/100克土, 说明各种土壤的稳定量是不同的。

(3) 从北向南释放的容量是渐增的, 而强度则相反, 黄绵土37.4%, 轻黑垆土36.2%, 黑垆土33.78%, 一般浸提到第三次相对强度趋于一致。释放量黄绵土低, 黑垆土高, 黑垆土位于二者之中。

土壤非代换性钾释放过程符合幂回归方程 $y = ax^{-b}$ , 为负相关, 相关程度皆达到 $\alpha = 0.01$ 水平。

2. 土壤发生层次钾的释放: 上面讨论了耕作层南北方向的变化, 现在再讨论黄土区不同土壤类型主要发生层次钾的释放变化。

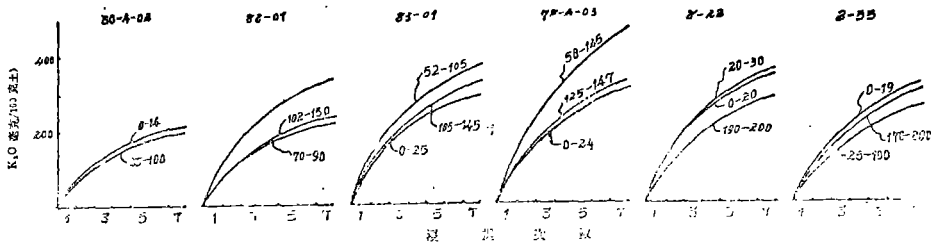


图2 不同土壤主要发生层次钾释放累积图

黄绵土是自然土壤剖面被剥蚀掉, 在黄土母质上发育的幼年土壤, 钾的释放量从测定的剖面来看, 皆以耕作层的释放量大于以下层次的释放量。如图1中的80—A—02剖面所示。释放的积累量也是如此(图2中80—A—02)。耕作层土壤浸提7次的累积量是209.95毫克/100克土, 以下土层则是204.17毫克/100克土。轻黑垆土也是耕作层高于其他层次。耕作层的累积量是332.39毫克/100克土, 以下土层则是216.66—230.18毫克/100克土(图2中82—01)。粘黑垆土和黑垆土与前面不同, 而是粘化层高于耕作层和其他层次粘化层释放累积量在368.24—470.72毫克/100克土之间, 而耕作层和母质层累积量分别是292.27—302.58毫克/100克土和329.27—333.09毫克/100克土(图2中83—01, 78—A—038—22)。泾惠渠引洪灌淤区的灌淤土是一种隐域性幼年土壤, 各个层次释放累积量(图2中2—55)和黄绵土相似。黄土区非代换性钾含量释放及其累积量的变化, 是受成土母质、风化程度和淋溶过程影响的。图2还表明黄土区土壤钾释放累积量从北向南也是逐渐增加的。

〔致谢〕本文承姚振镐、陈俊卿同志审阅, 韩仕峰同志提供有关资料, 尉京生、刘乐融同志协助电算, 特此一并致谢。

## 参 考 文 献

- 〔1〕中国科学院南京土壤研究所：土壤理化分析，上海科学技术出版社，1978。
- 〔2〕刘东生：黄河中游黄土，科学出版社，1964。
- 〔3〕陕西省土壤肥料研究所钾肥组：陕西省农业土壤有效钾含量与分布的研究，陕西农业科学，1982（2）。
- 〔4〕谢建昌：土壤钾素研究的现状和展望，土壤学进展，1981.4，p1—16。
- 〔5〕B. P. Singh, Forms of potassium in some soils of different agroclimatic regions of Eastern Haryana, J. indian soc soil sci. 1983, Vol.31, p31—37.

# THE FORMS AND RELEASE OF POTASSIUM IN SOILS OF THE LOESS REGION

Jia Hengyi Peng Lin

## ABSTRACT

Distribution of forms of potassium was studied in the cultivative soils of loess region (Shaanxi province). The content of organic, water soluble, exchangeable, available, nonexchangeable, lattice and total K range 0.36—5.04, 0.24—2.37, 3.16—16.62, 3.85—18.99, 64.45—149.77, 1840.34—2538.30, 1920.00—2640.00mg/100g soil respectively. The available K constitute 11.42% of nonexchangeable K, 0.53% of lattice K and 0.15% of total K. The water soluble and exchangeable K are 8.2% and 91.8% of available K respectively.

All the potassium forms were positively correlated with organic matter, also, exchangeable and nonexchangeable K with silt and clay, exchangeable K with nonexchangeable K, exchangeable and nonexchangeable K with organic K. But organic, water soluble, exchangeable, nonexchangeable, lattice and total K are negative correlation with sand.

The process of potassium release accord with power equation ( $y = ax^{-b}$ ). Content of potassium release gradually increased from north to south in loess region. Cultivated horizon of young soils (yellow cultivated loessial soil, irrigating warped soil) and dark Herlu soil are higher than other horizon in potassium release content. But clay-rich horizon of dark Heilu soil and dark Lou soil are higher than other horizon.