

# 长期定位施肥对无石灰性潮土钾素演变的影响

温立玉, 宋祥云, 刘树堂, 王 飞, 宋增强

(青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:**为了探讨不同施肥对土壤钾素的变化规律,基于连续进行36年的长期定位试验,研究了长期定位单施氮肥和有机肥配施氮肥对无石灰性潮土全钾及不同形态钾的含量影响。结果表明:连续单施高量氮肥与对照相比水溶性钾降低了0.09 mg/kg,交换性钾降低了16.34 mg/kg,速效钾降低了3.61 mg/kg,缓效钾降低了12.3 mg/kg,全钾降低了2.1 g/kg。而长期高量有机肥配施低量氮肥与对照相比,水溶性钾增加了1.28 mg/kg,高量有机肥配施高量氮肥与对照相比,交换性钾增加了27.22 mg/kg;而单施有机肥、有机肥配施氮肥土壤速效钾、缓效钾和全钾的含量均呈增加趋势。土壤速效钾与有机质和阳离子代换量显著相关。这表明长期单施氮肥不利于土壤各形态钾素及全钾的积累,单施有机肥或有机肥配施氮肥有利于提高无石灰性潮土中各形态及全钾的含量。

**关键词:**长期定位施肥;无石灰性潮土;钾素演变;钾素形态

**中图分类号:**S147.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)02-0199-05

## Effect of Long-term Fertilization on Dynamics of Potassium in Non-calcareous Fluro-aquic Soil

WEN Li-yu, SONG Xiang-yun, LIU Shu-tang, WANG Fei, SONG Zeng-qiang

(College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** In order to investigate the variation of different fertilization on soil potassium, the effect of long-term fertilization of nitrogen (N) organic manure (M) or manure with nitrogen (MN) on the amounts of total potassium and different forms of potassium in non-calcareous fluro-aquic soil was studied based on 36 years of long-term experiment. The results showed that the amounts of potassium decreased with long-term fertilization of high rate of nitrogen ( $N_2$ ) fertilizer, compared to control treatment (CK) the water soluble potassium, exchangeable potassium, available potassium, non-exchangeable potassium and total potassium were decreased for 0.09 mg/kg, 16.34 mg/kg, 3.61 mg/kg, 12.3 mg/kg, 2.1 g/kg, respectively. Compared to control treatment (CK), the increase in water soluble potassium was 1.28 mg/kg and exchangeable potassium was 27.22 mg/kg for high rate of organic manure ( $M_2$ ) with low and high rate of nitrogen ( $N_1$  or  $N_2$ ). However, the available potassium, non-exchangeable potassium and total potassium trended to increase with continue fertilization. The available potassium was correlated to soil organic matter (SOM) and cation exchange capacity (CEC). It suggests that the M or MN fertilizer is good for increasing different forms of potassium and total potassium in non-calcareous fluro-aquic soil, but not the fertilization of single N fertilizer.

**Key words:** Long term fertilization; Non-calcareous fluro-aquic soil; Potassium dynamics; Potassium form

我国钾肥资源贫乏,耕地中1/4~3/4的土壤缺钾或严重缺钾。我国北方地区缺钾现象虽不如南方严重,但随作物产量、复种指数的提高及氮、磷肥料用量的加大,北方地区缺钾问题会越来越明显<sup>[1]</sup>。因此,施肥影响着土壤中钾素的生物地球化学循环。

施用化肥、有机肥对土壤中钾素的形态、吸附动力学影响报道很多<sup>[2-6]</sup>。施用肥料的种类不同,将影响肥料中有效钾素在土壤中的有效转化率以及对土壤钾素的供应能力<sup>[7]</sup>。黏土矿物对钾素的固定释放特征<sup>[8]</sup>及施肥对土壤黏土矿物的影响也有报道<sup>[9]</sup>。同时,不同土壤类型由于土壤有机质、黏土矿物类

收稿日期:2014-01-05

基金项目:国家自然科学基金项目(30873470);公益性行业(农业)科研专项(201203030);山东省现代农业产业技术体系(SDAIT-01-022-06);山东泰山学者岗位(旱作作物与育种学)

作者简介:温立玉(1988-),女,山东枣庄人,在读硕士,主要从事植物营养与施肥技术研究。

通讯作者:刘树堂(1962-),男,山东安丘人,博士,教授,主要从事植物营养与施肥技术研究。

型、黏粒含量、阳离子交换量等性质各异,也将影响肥料的供钾能力以及土壤不同形态钾素的转化。而基于长期定位试验对土壤钾素形态的动态变化及含量的演变规律研究较少。本研究基于连续施肥 36 年的长期定位试验,研究了长期单施氮肥和有机肥配施氮肥的土壤速效钾、缓效钾和全钾等含量的动态变化,探讨了不同施肥方式对无石灰性潮土钾素形态动态变化的影响及钾素含量的演变规律。对合理施肥,作物高产高效具有一定的意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地点

莱阳潮土长期施肥试验地位于青岛农业大学莱阳试验站内(120°42' E, 36°54' N),属暖温带半湿润季风气候,年平均气温 11.2 °C,年降雨量 779.1 mm,年蒸发量 2 000 mm。试验始于 1978 年,供试土壤为非石灰性潮土,发育于冲积母质、表土质地轻壤,pH 值 6.8,0~20 cm 土层有机质含量 4.10 g/kg,全氮量 0.50 g/kg,全磷量 0.46 g/kg,土壤有

效磷 15 mg/kg,土壤速效钾 38 mg/kg,土壤阳离子代换量为 11.80 cmol/kg。

### 1.2 试验方法

试验设 9 个处理,分别为不施肥对照(CK),单施低量氮肥(N<sub>1</sub>),单施高量氮肥(N<sub>2</sub>),单施低量有机肥(M<sub>1</sub>),低量有机肥配施低量氮肥(M<sub>1</sub>N<sub>1</sub>),低量有机肥配施高量氮肥(M<sub>1</sub>N<sub>2</sub>),单施高量有机肥(M<sub>2</sub>),高量有机肥配施低量氮肥(M<sub>2</sub>N<sub>1</sub>),高量有机肥配施高量氮肥(M<sub>2</sub>N<sub>2</sub>)(表 1)。每个处理设 3 次重复,小区面积 33.3 m<sup>2</sup>,顺序排列。试验地实行冬小麦-夏玉米轮作制,每年 2 作。有机肥全部作基肥,无机氮肥作小麦种肥和起身、拔节期追肥及夏玉米拔节、穗期追肥。

每年冬小麦收获后,采集 0~20 cm 土层土壤样品。选取 1981,1985,1989,1997,2001,2005,2009,2013 年的土壤样品测定分析土壤全钾、缓效钾和速效钾的含量。同时,2005,2009,2013 年的样品测定水溶性钾和交换性钾的含量。

表 1 各处理施肥量

Tab. 1 Amounts of fertilization in the treatments

kg/hm<sup>2</sup>

| 处理<br>Treatments              | 有机肥<br>Manure | 无机氮肥<br>Inorganic nitrogen fertilizer | 处理<br>Treatments              | 有机肥<br>Manure | 无机氮肥<br>Inorganic nitrogen fertilizer |
|-------------------------------|---------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| CK                            | 0             | 0                                     | M <sub>1</sub> N <sub>2</sub> | 30 000        | 276                                   |
| N <sub>1</sub>                | 0             | 138                                   | M <sub>2</sub>                | 60 000        | 0                                     |
| N <sub>2</sub>                | 0             | 276                                   | M <sub>2</sub> N <sub>1</sub> | 60 000        | 138                                   |
| M <sub>1</sub>                | 30 000        | 0                                     | M <sub>2</sub> N <sub>2</sub> | 60 000        | 276                                   |
| M <sub>1</sub> N <sub>1</sub> | 30 000        | 138                                   |                               |               |                                       |

### 1.3 测定方法

土壤全钾用氢氧化钠熔融,土壤速效钾和水溶性钾的测定分别用 1 mol/L 的醋酸铵和蒸馏水浸提,两者之差求得土壤交换态钾,缓效钾用 1 mol/L 热硝酸浸提,全钾和各形态钾用火焰光度法测定<sup>[10]</sup>。

土壤阳离子交换量用乙酸铵离心交换法,有机质采用重铬酸钾容量法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理下土壤不同形态钾素的含量变化

2.1.1 水溶性钾和交换性钾的含量变化 由表 2 可知,与对照相比,长期单施低量氮肥和高量氮肥 28 年(2005 年)水溶性钾分别增加了 0.80,0.38 mg/kg;而连续 32 年(2009 年)相同处理分别增加了 0.65 mg/kg,降低了 0.07 mg/kg,36 年(2013 年)相同处理分别增加了 0.69 mg/kg,降低了 0.09 mg/kg。而单施有机肥或有机肥配施氮肥各处理中,均以单施高量有机肥和高量有机肥配施低量氮

肥水溶性钾增量较高,在连续施肥 28,32,36 年分别比对照增加了 1 mg/kg 和 1.14 mg/kg,0.86 mg/kg 和 1.27 mg/kg,0.81 mg/kg 和 1.28 mg/kg。而单施氮肥 28,32,36 年土壤交换性钾均较对照降低。并且以单施高量氮肥降低较多,分别为连续施肥 28 年降低了 12.28 mg/kg,连续施肥 32 年降低了 17.73 mg/kg 和连续施肥 36 年降低了 16.34 mg/kg。连续单施有机肥或有机肥配施氮肥 28,32,36 年土壤交换性钾的含量均增加,尤其以高量有机肥配施高量氮肥增加最多,分别为连续施肥 28 年增加了 22.65 mg/kg,连续施肥 32 年增加了 24.43 mg/kg 和连续施肥 36 年增加了 27.22 mg/kg。

以上研究结果表明,连续单施氮肥能增加无石灰性潮土水溶性钾的含量,但随着施肥年限的增加,增加量呈降低的趋势;但连续单施氮肥却不利于交换性钾的积累。单施高量有机肥或高量有机肥配施氮肥均能提高土壤水溶性钾和交换性钾的含量,并随着施肥年限的增加而增加。

表 2 长期定位施肥 28,32,36 年无石灰性潮土水溶性钾和交换性钾的含量

Tab.2 Amounts of water soluble potassium and exchangeable potassium for long-term fertilization of 28,32,36 years in fluro-aquic soil

mg/kg

| 处理<br>Treatments              | 水溶性钾<br>Water soluble-K |             |             | 交换性钾<br>Exchangeable-K |              |              |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|------------------------|--------------|--------------|
|                               | 2005 年                  | 2009 年      | 2013 年      | 2005 年                 | 2009 年       | 2013 年       |
|                               | 2005year                | 2009year    | 2013year    | 2005year               | 2009year     | 2013year     |
| CK                            | 4.51 ± 0.01             | 4.49 ± 0.02 | 4.53 ± 0.01 | 35.19 ± 0.01           | 37.61 ± 0.01 | 36.55 ± 0.01 |
| N <sub>1</sub>                | 5.31 ± 0.02             | 5.14 ± 0.01 | 5.22 ± 0.02 | 25.19 ± 0.01           | 24.46 ± 0.02 | 25.22 ± 0.02 |
| N <sub>2</sub>                | 4.89 ± 0.01             | 4.42 ± 0.02 | 4.44 ± 0.02 | 22.91 ± 0.01           | 19.88 ± 0.01 | 20.21 ± 0.02 |
| M <sub>1</sub>                | 4.91 ± 0.03             | 4.86 ± 0.01 | 4.75 ± 0.01 | 54.59 ± 0.02           | 47.24 ± 0.03 | 49.35 ± 0.01 |
| M <sub>1</sub> N <sub>1</sub> | 5.02 ± 0.02             | 5.12 ± 0.01 | 5.32 ± 0.01 | 45.79 ± 0.01           | 41.12 ± 0.01 | 43.57 ± 0.01 |
| M <sub>1</sub> N <sub>2</sub> | 4.61 ± 0.01             | 4.78 ± 0.01 | 4.8 ± 0.01  | 40.58 ± 0.02           | 40.68 ± 0.01 | 40.8 ± 0.02  |
| M <sub>2</sub>                | 5.51 ± 0.02             | 5.35 ± 0.01 | 5.34 ± 0.02 | 54.19 ± 0.01           | 55.15 ± 0.02 | 57.62 ± 0.03 |
| M <sub>2</sub> N <sub>1</sub> | 5.65 ± 0.01             | 5.76 ± 0.02 | 5.81 ± 0.02 | 55.85 ± 0.01           | 57.14 ± 0.01 | 59.43 ± 0.01 |
| M <sub>2</sub> N <sub>2</sub> | 4.96 ± 0.01             | 4.76 ± 0.01 | 4.72 ± 0.01 | 57.84 ± 0.03           | 62.04 ± 0.01 | 63.77 ± 0.02 |

2.1.2 土壤速效钾的含量变化 从图 1-A 可以看出,长期单施氮肥土壤速效钾随施肥年份增加呈降低的趋势,且高量氮肥降低的速度比低量氮肥快。单施高量氮肥 36 年,土壤速效钾的含量与 1978 年的相比降低了 15.53 mg/kg,相比对照降低了 3.61 mg/kg。

从图 1-B 可以看出,长期施有机肥处理的土壤速效钾的含量呈现随施肥年份增加而增加趋势,连续施肥 32 年以后增加更为显著,其中连续施肥 36 年高量有机肥配施高量氮肥处理的土壤速效钾含量比对照增加了 60.05 mg/kg。

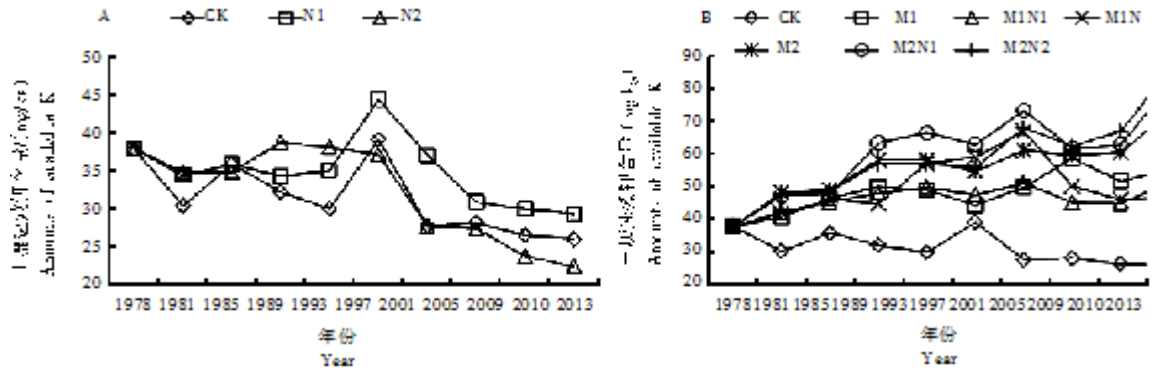


图 1 长期施用氮肥 (A) 和有机肥 (B) 土壤速效钾的动态变化

Fig.1 Dynamics of soil available K under long term fertilization of N fertilizer (A) and manure (B)

以上研究结果表明,连续单施氮肥不利于无石灰性潮土速效钾的积累,单施高量有机肥或高量有机肥配施氮肥更有利于提高土壤速效钾的含量。

2.1.3 土壤缓效钾的含量变化 长期单施氮肥无石灰性潮土缓效钾呈降低的趋势,尤其是单施高量氮肥 16 年降低的最多,降低了 12.3 mg/kg (图 2-A)。长期单施有机肥或有机肥配施氮肥 16 年后各处理缓效钾的含量均比对照增加,高量有机肥配施高量化肥增加的最多,增加了 22.3 mg/kg。并且随施肥年份增加各施用有机肥处理的缓效钾呈增加趋势。连续施肥 36 年后,与对照相比,单施高量有机肥土壤缓效钾的含量增加的最多,增加了 21.2 mg/kg (图 2-B)。

以上研究结果表明,长期单施氮肥不利于无石灰性潮土缓效钾的积累,单施高量有机肥或高量有机肥配施氮肥更有利于增加土壤缓效钾的含量。

2.2 不同施肥处理下土壤全钾含量的动态变化

从图 3-A 可以看出,长期不施肥或单施氮肥土壤全钾含量以 2001 年为分界点,2001 年之前全钾含量随施肥年份增加呈降低的趋势,并且施氮量越大,降低得越多。2001 年之后土壤全钾含量随着施肥年份的增加呈先升高后降低的趋势。与对照相比,单施高量氮肥 20 年 (1997 年) 和 36 年土壤全钾的含量分别降低了 1.5,2.1 g/kg。

单施有机肥或有机肥配施氮肥自 1985 年后土壤全钾的含量均高于对照,并且随施肥年份延长呈增加的趋势。与 1978 年相比,36 年单施高量有机肥和高量有机肥配施高量氮肥的全钾含量分别提高了 2.6,3.2 g/kg (图 3-B)。

以上研究结果表明,单施氮肥尤其是单施高量氮肥不利于无石灰性潮土全钾的积累,单施有机肥或有机肥配施氮肥有利于全钾的积累。

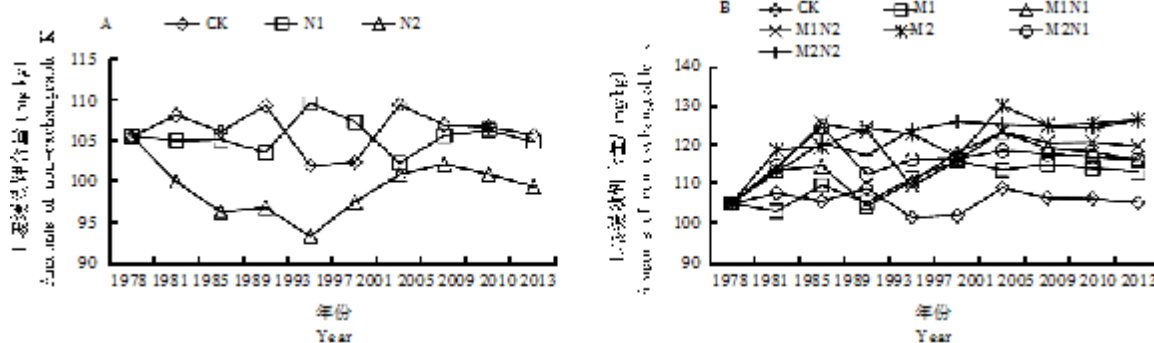


图2 长期单施氮肥(A)和有有机肥(B)土壤缓效钾的动态变化

Fig.2 Dynamics of soil non-exchangeable K under long term fertilization of N fertilizer (A) and manure (B)

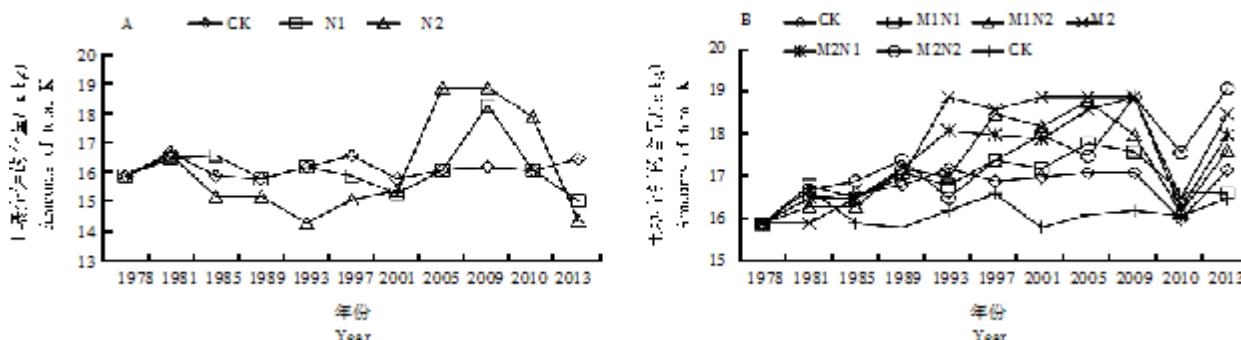


图3 长期施用氮肥(A)和有有机肥(B)土壤全钾的动态变化

Fig.3 Dynamics of soil total K under long term fertilization of N fertilizer (A) and manure (B)

## 2.3 不同施肥处理对土壤速效钾和钾素形态含量的相关性影响

从表3可见,土壤速效钾与土壤缓效钾、全钾呈显著正相关;土壤速效钾与阳离子代换量的相关性

数为0.9413,呈极显著正相关,显示土壤CEC具有重要的保钾功能;土壤速效钾与有机质的相关性最大,相关系数达到0.9912,可见有机肥的施入大大增加了土壤中速效性养分的含量。

表3 不同施肥处理速效钾和钾素形态含量的相关性

Tab.3 Correlation between soil available potassium and every potassium formation in different fertilization

| 项目<br>Items  | 方程<br>Equation         | 相关系数 $r$<br>Correlation coefficient $r$ |
|--|------------------------|---|
| 速效钾( $x$ )与缓效钾( $y$ ) Available K( $x$ ) and non-exchangeable K( $y$ )     | $y = 0.3518x + 96.264$ | 0.8703                                  |
| 速效钾( $x$ )与全钾( $y$ ) Available K( $x$ ) and total-K( $y$ )                 | $y = 0.0583x + 13.878$ | 0.8873                                  |
| 速效钾( $x$ )与CEC( $y$ ) Available K( $x$ ) and CEC( $y$ )                    | $y = 0.1376x + 6.2304$ | 0.9413                                  |
| 速效钾( $x$ )与土壤有机质( $y$ ) Available K( $x$ ) and soil organic matter ( $y$ ) | $y = 0.4819x + 1.2529$ | 0.9912                                  |

## 3 讨论与结论

### 3.1 长期施肥对土壤不同形态钾素的影响

长期单施有机肥或有机肥配施氮肥更有利于增加土壤速效钾和缓效钾。张会民等<sup>[11]</sup>研究了长期定位施肥水稻土和紫色土钾素含量,结果表明,长期有机肥配施化肥土壤活性钾、非专性吸附钾和专性吸附钾的含量均高于单施氮肥。张鸿龄等<sup>[12]</sup>的研究也表明,长期定位施肥16年蔬菜保护地土壤的有效钾和供钾能力,以施用有机肥提高最为明显。施有机肥能增加土壤水溶性钾、交换性钾、非交换性钾、矿物钾、全钾的含量<sup>[13-15]</sup>。长期施用有机肥及有机肥配

施氮肥可以促进土壤自然钾素的释放,维持土壤速效钾的平衡<sup>[16]</sup>。有机肥在施入土壤中30 d后,向速效钾转化达到平衡,向缓效钾转化70 d趋于平缓。肥料中有效钾素在土壤中有有效转化率约为50%~87%,其中以缓效钾为主,约占50%~80%,土壤供钾能力与有机质呈正相关关系<sup>[7]</sup>。随着有机肥料的施入,土壤中的有机质也会增加,除了有机肥自身分解释放出钾素以外,土壤有机质的增加可能是土壤钾素含量增加的一个因素。而长期施有机肥无石灰性潮土水云母含量增加,各形态钾素与水云母呈正相关关系<sup>[17]</sup>,也是施有机肥钾素含量较高的因素之一。

长期单施氮肥不利于无石灰性潮土速效钾和缓

效钾的积累,在不施钾肥和有机肥的情况下,土壤没有外源钾素的补充,矿物风化释放出的钾素是土壤钾素的主要来源。 $\text{NH}_4^+$  的直径是 0.286 nm,  $\text{K}^+$  的直径是 0.266 nm, 由于二者直径相近,他们在晶格中的固定机制相似,所以钾素的固定和释放必然会受到施入的铵态氮肥影响<sup>[18]</sup>。增施铵态氮肥能够降低土壤钾素的释放<sup>[19]</sup>,可能是长期单施氮肥土壤钾素含量较低的因素之一。同时,由于氮肥的施用,植物吸收养分较不施肥要多,也会促使单施氮肥土壤中钾的含量比不施肥处理的少。

### 3.2 长期施肥对土壤全钾含量的影响

单施有机肥或有机肥配施氮肥是提高无石灰性潮土全钾含量的有效途径,单施氮肥不利于土壤全钾含量的提高。长期施用化肥各形态钾素含量均表现出明显低于 CK 的趋势;长期施用有机肥或有机肥与化肥配施明显增加了各形态钾素含量<sup>[20]</sup>。单施化肥不利于土壤中钾素的增加。而土壤中各形态钾的含量变化直接影响到土壤全钾含量,由于单施氮肥无石灰性潮土各形态钾的含量变化规律前文已讨论,在此不再赘述。长期定位施肥改变了土壤钾素存在形态,配施有机肥使土壤有效性钾含量增加 24%~56%,并促进土壤特殊吸附钾转化为其他形态的钾;施化肥钾使土壤水溶性钾含量平均增加 35%,提高了土壤钾素的供应水平,同时加速了土壤特殊吸附钾的积累<sup>[3]</sup>。黏土矿物类型是影响土壤中钾素固定吸收的重要因素之一,其中 2:1 型黏土矿物如水云母等对钾的固定能力较强<sup>[21]</sup>。本研究中的无石灰性潮土黏土矿物组成主要为水云母,其次为蛭石和蒙脱石,最后为高岭石,并且施用有机肥处理的土壤中水云母的含量增加<sup>[16]</sup>,是提高无石灰性潮土钾素含量的因素之一。

### 3.3 不同施肥处理对土壤速效钾和钾素形态含量的相关性影响

土壤速效钾含量与土壤缓效钾、全钾呈显著正相关,土壤中缓效钾和速效钾之间的平衡是一种动态反应,土壤速效钾的丰缺状况显著影响该动态平衡和缓效钾的释放及其有效性<sup>[22]</sup>。土壤速效钾与土壤缓效钾呈显著正相关,缓效钾是土壤中不能被醋酸铵交换出来的,但当土壤中交换性钾由于作物吸收及淋洗而降低时,缓效钾就会释放出来补充土壤中的速效钾。土壤速效钾与阳离子代换量呈极显著正相关,显示土壤 CEC 具有重要的保钾功能,主要由于土壤速效钾以交换性钾为主体,速效钾含量的高低决定土壤中可交换钾的含量,从而提高了土壤中阳离子交换量。土壤速效钾与有机质的相关性

最大,可见有机肥的施入大大增加了土壤中速效性养分的含量。

### 参考文献:

- [1] 杨振明, 阎飞, 韩丽梅. 土壤钾素研究的新进展[J]. 吉林农业大学学报, 1998, 20(3): 106-113.
- [2] 陈亚恒, 刘会玲, 崔江慧, 等. 不同施钾量对土壤钾素动态的影响[J]. 河南农业科学, 2009(8): 75-77.
- [3] 刘 骅, 王西和, 郑惠琴, 等. 长期定位施肥对灰漠土钾素形态的影响[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(3): 423-427.
- [4] 林明和, 郑庆柱, 刘永辉, 等. 长期定位施肥对土壤钾素吸附动力学的影响[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2007, 34(2): 113-116.
- [5] 于 杰, 孙 丽, 胡永红. 长期定位施肥条件下淮北潮土钾素的变化研究[J]. 江苏农业科学, 2004, 32(6): 157-160.
- [6] 葛玮健, 常艳丽, 刘俊梅, 等. 土区长期施肥对小麦-玉米轮作体系钾素平衡与钾库容量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 629-636.
- [7] 周晓芬, 张彦才, 李巧云. 有机肥料对土壤钾素供应能力及其特点研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 67-69.
- [8] 梁成华, 罗 磊, 潘大伟, 等. 棕壤和蛭石对外源钾的固定和释放特征[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 526-530.
- [9] 范钦桢, 谢建昌. 长期肥料定位试验中土壤钾素肥力的演变[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 591-599.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 张会民, 徐明岗, 吕家珑, 等. 长期施肥对水稻土和紫色土钾素容量和强度关系的影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(4): 640-645.
- [12] 张鸿龄, 梁成华, 孙铁珩. 长期定位施肥对保护地土壤供钾特性的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1339-1343.
- [13] 崔德杰, 刘永辉, 隋方功, 等. 长期定位施肥对土壤钾素形态的影响[J]. 莱阳农学院学报, 2005, 22(3): 165-167.
- [14] 刘红霞, 王 月, 吴正超, 等. 长期轮作施肥对棕壤钾素动态变化的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 229-233.
- [15] 刘媛媛, 李廷轩, 余海英, 等. 有机无机肥交互作用对设施土壤钾素变化的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1139-1146.
- [16] 路慧英, 周怀平, 杨振兴, 等. 长期氮磷化肥和有机肥配施对褐土钾素平衡及不同形态的影响[J]. 山西农业科学, 2013, 41(1): 60-65.
- [17] 刘永辉, 张静妮, 崔德杰, 等. 长期定位施肥对非石灰性潮土黏土矿物组成及主要理化性质的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 697-702.
- [18] 梁成华, 魏丽萍, 罗 磊. 土壤固钾与释钾机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2002(5): 679-684.
- [19] Singh B. Fixation of potassium in soil as affected by an ammoniacal fertilizer[J]. Soil Sci Soc India J, 1979, 27(3): 272-276.
- [20] 柳燕兰, 郝明德, 郭贤仕. 长期定位施肥对旱地黑垆土钾素空间分布及有效性影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 64-68.
- [21] 丛日环, 李小坤, 鲁剑巍. 土壤钾素转化的影响因素及其研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(6): 907-913.
- [22] 葛玮健. 长期施肥对壤土钾素状况和钾素利用效率的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.