

· 导读 ·

## 土壤磷素演变与高效利用

张淑香<sup>1</sup>, 徐明岗<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/耕地培育技术国家工程实验室, 北京 100081; <sup>2</sup>中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东湛江 524091)

### Change of Soil Phosphorus and Its Efficient Utilization

ZHANG ShuXiang<sup>1</sup>, XU MingGang<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Laboratory for Improving Quality of Arable Land, Beijing 100081; <sup>2</sup>South Subtropical Crop Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (CATAS), Zhanjiang 524091, Guangdong)

土壤磷素是作物必需的营养元素之一,也是农业生产中最重要的养分限制因子。磷肥的施用可以大大增加土壤磷素含量与供给能力,提高农业生产效益<sup>[1]</sup>。然而,磷肥过量施用造成土壤磷素累积的现象在全球已经非常普遍<sup>[2]</sup>,我国的情况尤为严重。我国土壤磷累积以 11% 的速度在递增<sup>[3]</sup>,导致不同地区土壤有效磷呈现增加的趋势<sup>[4]</sup>,这不仅明显降低了磷肥的利用率,而且也造成有限磷矿资源的浪费,同时提高水环境污染的风险<sup>[5-6]</sup>。全国第一次污染源调查显示,农业磷排放占总排放的 67.4%,这也是造成水体富营养化的重要因子。因此,为避免磷矿资源耗竭和磷肥施用不合理带来的环境污染问题,了解土壤中磷素演变、累积与形态转化状况,为科学磷素管理提供数据支撑至关重要。

土壤中磷素的演变是土壤磷素管理的重要内容,已有不少研究表明土壤有效磷的演变与土壤的磷素的盈亏有显著的正相关关系,且单位磷盈亏量与土壤有效磷的变化值可以作为土壤磷素的转化率(或称有效磷效率),不同土壤有效磷的效率有较大差异,每 100 kg·hm<sup>-2</sup> 磷盈余使得各土壤有效磷含量提高 1—6 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[7-8]</sup>,且每盈余磷 100 kg·hm<sup>-2</sup>,不同类型土壤有效磷的增加量因气象因素、种植制度与土壤性质差异而不同<sup>[7-9]</sup>。长期试验表明土壤有效磷效率与土壤 pH 呈显著的负相关关系,与土壤有机质呈显著的正相关关系。如南方土壤 pH 较低,可促进难溶性磷的溶解,这也可能是土壤累积磷向有效磷转化在重庆(4.44 mg·kg<sup>-1</sup>)、

浙江(3.28 mg·kg<sup>-1</sup>)、湖南(2.75 mg·kg<sup>-1</sup>)较河南(2.60 mg·kg<sup>-1</sup>)、北京(1.60 mg·kg<sup>-1</sup>)和新疆(1.44 mg·kg<sup>-1</sup>)高的原因之一<sup>[7]</sup>。

进入土壤中的磷会与土壤组分相互作用形成有机磷和无机磷两种形态,不同的土壤有机磷和无机磷的含量、比例及其有效性有很大的差异,长期施肥会导致土壤磷素形态和有效性发生变化。如 1:1 型矿物、铁铝氧化物与水化物、钙化合物通过吸附解析等过程结合形成铁磷、铝磷和钙磷。目前土壤磷素形态多以化学浸提方法研究形态特征及其与有效磷的响应关系,再进一步分析各土壤形态磷素的有效性<sup>[9]</sup>,这样的方法对评价土壤磷库大小、磷素供应状况和磷肥的合理施用至关重要。土壤中磷形态学过程与土壤吸附解析过程同时存在,均与土壤性质(如土壤有机质、土壤 pH 等)具有密切的关系。有研究表明土壤有机质是影响土壤磷形态转化的重要土壤性质<sup>[10]</sup>,土壤有机质对磷的吸附机制<sup>[11]</sup>与土壤铁铝氧化物有密切的关系。这是由于土壤有机质和低分子量的有机酸可以形成铁、铝晶型化合物,促进了表面积巨大且孔性较多的非晶型化合物的形成,从而增加了铝氧化物对磷的吸附。近年来,X 衍射、等温滴定量热法<sup>[12]</sup>、同步辐射<sup>[13]</sup>在土壤磷素研究中的应用,为进一步探索提高土壤累积磷的有效性提供了可靠和可信的技术方法与手段,特别是 X 衍射在非破坏性、原位直接表征等方面表现出了其独特的优越性,为土壤中磷素转化与高

收稿日期: 2019-10-09; 接受日期: 2019-10-22

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201503120)、国家自然科学基金(41471249)

联系方式: 张淑香, E-mail: zhangshuxiang@caas.cn