

• 导读 •

土壤磷素演变与高效利用

张淑香¹, 徐明岗^{1,2}

(¹ 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; ² 中国热带农业科学院亚热带作物研究所, 广东湛江 524091)

Change of Soil Phosphorus and Its Efficient Utilization

ZHANG ShuXiang¹, XU MingGang^{1,2}

(¹ Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Laboratory for Improving Quality of Arable Land, Beijing 100081; ² 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^[1]。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^[2],我国的情况尤为严重。我国土壤磷累积以 11% 的速度在递增^[3],导致不同地区土壤有效磷呈现增加的趋势^[4],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^[5-6]。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⁻² 磷盈余使得各土壤有效磷含量提高 1—6 mg·kg⁻¹^[7-8],且每盈余磷 100 kg·hm⁻²,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^[7-9]。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⁻¹)、

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

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^[9],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^[10],土壤有机质对磷的吸附机制^[11]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、等温滴定热法^[12]、同步辐射^[13]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

效利用的研究提供了先进的试验手段, 将在以后的磷素研究中得到越来越多的重要应用。

本专题所发表的 5 篇文章, 基于我国代表性的土壤类型, 应用长期试验数据分析土壤磷素的演变、形态学和吸附-解析特征及其与土壤性质的响应关系。涉及我国红壤^[1]、潮土^[8]、黑土^[11]和塿土^[10,14]等代表性土壤类型, 其研究内容包括土壤磷素演变与产量的响应关系模型、土壤磷素演变与磷形态特征的作用过程、土壤磷形态特征和土壤磷吸附和解析的过程与土壤性质综合定量的关系^[1,8,10-11,14]。这些仅仅是磷素研究领域一小部分内容, 谨希望以专题的形式, 并借国家大力倡导的化肥和农药“双减”之契机, 促进土壤磷素科学管理及高效利用。

References

- [1] 李冬初, 王伯仁, 黄晶, 张扬珠, 徐明岗, 张淑香, 张会民. 长期不同施肥红壤磷素变化及其对产量的影响. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3830-3841.
- LI D C, WANG B R, HUANG J, ZHANG Y Z, XU M G, ZHANG S X, ZHANG H M. Change of phosphorus in red soil and its effect to grain yield under long-term different fertilizations. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(21): 3830-3841.
- [2] MACDONALD G K, BENNETT E M, POTTER P A, RAMANKUTTY N. Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. *PNAS*, 2011, 108(7): 3086-3091.
- [3] MA J, HE P, XU X, HE W, LIU Y, YANG F, CHEN F, LI S, TU S, JIN J, JOHNSTON A M, ZHOU W. Temporal and spatial changes in soil available phosphorus in China (1990–2012). *Field Crops Research*, 2016, 192: 13-20.
- [4] 徐明岗, 张文菊, 黄绍敏. 中国土壤肥力演变. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.
- XU M G, ZHANG W J, HUANG S M. *Variation of Soil Fertility in China*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2015. (in Chinese)
- [5] TANG X Q, HUANG S L, SCHOLZ M. Comparison of phosphorus removal between vertical subsurface flow constructed wetlands with different substrates. *Water and Environment Journal*, 2009, 23(3): 180-188.
- [6] BAI Z, LI H, YANG X, ZHOU B. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types. *Plant and Soil*, 2013, 372(1/2): 27-37.
- [7] CAO N, CHEN X, CUI Z, ZHANG F S. Change in soil available phosphorus in relation to the phosphorus budget in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012, 94: 161-170.
- [8] 王柏寒, 黄绍敏, 郭斗斗, 张水清, 宋晓, 岳克, 张珂珂. 长期定位施肥下潮土土壤磷素盈亏及对无机磷的影响. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3842-3851.
- WANG B H, HUANG S M, GUO D D, ZHANG S Q, SONG X, YUE K, ZHANG K K. Phosphorus profit and loss and its effect on inorganic phosphorus in fluvo-aquic soil under long-term located fertilization. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(21): 3842-3851.
- [9] NEGASSA W, LEINWEBER P. How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2009, 172: 305-325.
- [10] 李若楠, 王政培, BATBAYAR Javkhlan, 张东杰, 张树兰, 杨学云. 等有机质塿土有效磷和无机磷形态的关系. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3852-3865.
- LI R N, WANG Z P, BATBAYAR J, ZHANG D J, ZHANG S L, YANG X Y. Relationship between soil available phosphorus and inorganic phosphorus forms under equivalent organic matter condition in a tier soil. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(21): 3852-3865.
- [11] 王琼, 展晓莹, 张淑香, 彭畅, 高洪军, 张秀芝, 朱平, Colinet Gilles. 长期不同施肥处理黑土磷的吸附-解吸特征及对土壤性质的响应. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3866-3877.
- WANG Q, ZHAN X Y, ZHANG S X, PENG C, GAO H J, ZHANG X Z, ZHU P, GILLES C. Phosphorus adsorption and desorption characteristics and its response to soil properties of black soil under long-term different fertilization. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(21): 3866-3877.
- [12] LYNGSIE G, PENN C J, HANSEN H C, BORGGAARD O K. Phosphate sorption by three potential filter materials as assessed by isothermal titration calorimetry. *Journal of Environmental Management*, 2014, 143: 26-33.
- [13] LUO L, MA Y, SANDERS R L, XU C, LI J, MYNENI S C B. Phosphorus speciation and transformation in long-term fertilized soil: evidence from chemical fractionation and PK-edge XANES spectroscopy. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2017, 107(2): 215-226.
- [14] 刘琳, 吉冰洁, 李若楠, BATBAYAR Javkhlan, 张树兰, 杨学云. 陕西关中冬小麦/夏玉米区土壤磷素特征. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3878-3889.
- LIU L, JI B J, LI R N, BATBAYAR J, ZHANG S L, YANG X Y. Characteristics of soil phosphorus in winter wheat/summer maize cropping in Shaanxi Guanzhong Plain. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(21): 3878-3889.

(责任编辑 李云霞)