

常规与有机农作条件下土壤-植物系统磷素平衡及利用*

孟凡乔 李国学

史雅娟

(中国农业大学资源与环境学院 北京 100094) (中国科学院生态环境研究中心 北京 100085)

摘要 分析了自然生态系统中P的形态、数量和循环方式,对常规和有机农作条件下土壤-植物系统P的来源、数量、输入、输出途径及特点进行了比较,并探讨了P的利用效率及影响因素。研究表明,有机农作方式下P投入水平低,输出与常规农作方式相当,系统表现为负平衡,但P的利用效率高于常规农作方式,对减少P素的负效应具有重要的环境意义。

关键词 磷 农作方式 利用效率

Balance and utilization of phosphorus in soil-plant system under conventional and organic farming condition.

MENG Fan-Qiao, LI Guo-Xue (College of Resources and Environment Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094), SHI Ya-Juan (Research Center for Eco-environmental Sciences, China Academy of Sciences, Beijing 100085), *CJEA*, 2001, 9(2): 64~66

Abstract The P forms, quantity and cycle approaches in natural ecosystem are summarized, and its sources, quantity, input and output approaches under conventional and organic farming condition are compared. Utilization efficiency of P and influencing factors are also analyzed. The research indicates that in organic farming system, there exists negative P balance because the input of P is lower and the output of P is nearly the same as conventional farming system, but the using efficiency of P is higher than that of conventional farming system. This makes a great significance for the positive environmental effect of P.

Key words P, Farming system, Utilization rate

P是动植物和微生物核酸的主要组分,是能量摄取和释放载体ATP的重要元素。目前人们对P素的了解较多,但在P的形态、数量、利用效率、循环以及与生物的关系等方面尚待进一步明确。与C、N、S等元素不同,P的转移量特别是气态转移量很少,但影响非常大。如何高效利用P及避免或减少P的环境负效应是各类农作方式,特别是有机农业和常规农业应深入研究的重点。

1 农业生态系统中P的分布

土壤中P素主要分为有机态和无机态,有机磷的含量为50~500mg/kg,占全P的比重从<10%~66%不等。有机磷的形态主要有核酸类、植素类和磷脂类,约占有机磷的70%,其余20%~30%尚不能完全确定其形态;而无机磷化合物几乎全部为正磷酸盐。发育程度低的土壤非闭蓄态磷酸盐中钙盐含量较高,而铁铝盐较少;发育程度高的土壤非闭蓄态磷酸盐中以铁盐为主,钙铝盐极少,而闭蓄态磷酸盐可占无机磷量的80%以上。地球的P贮量中陆地土壤的P为960~1600亿t,海洋中溶解的P为800亿t,现行可开采的P约410亿t,资源量为880亿t。除地壳、海洋外,地球上P分布最多的是生物体,P素在生物、环境组成的生态系统中不断循环转移,其在农业生态系统中的循环与人类活动休戚相关。以大规模利用石油能源、化学品及工业技术装备为特征的常规农业在60年代达到鼎盛时期,70年代后逐渐暴露出其内在弊端。以英国土壤学家Albert Howard提出的“有机农业”为代表的各种“替代农业”为解决常规农业的弊端带来希望,有机农业尊重自然生态平衡,避免使用合成化学品如化肥、农药和调节剂及强迫动植物生长的方法,了解这2类农作方式中P素循环的模式和特征对人类更好地利用P,减少其负效应有十分重要的意义。

2 常规与有机农作条件下的P素输入

有机农业严禁使用人工合成的化学肥料,禁止使用磷酸盐、矿渣和磷矿石,以防止自然资源的枯竭和重

* 国家自然科学基金项目(39600086)资助

收稿日期:2000-01-06 改回日期:2001-03-12

金属在土壤中的积累, P 的补充主要通过使用有机农业系统生产的、经过 1~6 个月充分腐熟的有机肥料^[7]。常规农业的 P 素供应广泛采用的 P 肥品种包括有机肥、磷矿石、钙镁磷肥、过磷酸钙和重过磷酸钙等。施用化学 P 肥引起的主要环境问题是 F 和重金属 Cd 的污染、能源消耗及在土壤、海洋沉积物中 P 的累积。鲁如坤^[1]等对我国 30 个 P 肥样品进行的分析表明, P 肥平均含 Cd 量为 $0.60 \pm 0.63 \text{ mg/kg}$, 研究结论是长期施用国产 P 肥不会产生 Cd 污染。1973 年美国仅动物废弃物物的 P (14.8 亿 t) 就超过美国当年施用化学 P 肥总量的 10%; 1981 年我国有机肥提供农作物需 P 量的 62%。有机肥中无机磷的有效性相当于其水溶态磷, 不同有机肥中 P 的矿化速率与 P 的形态有关。田间试验表明, 当季有机肥 P 的利用率为 12%~18%, 相当于过磷酸盐的 75%^[3]。1991~1992 年的统计资料表明, 发达国家施化肥 $\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 73.97 : 33.94 : 22.94$, 中国施化肥 $\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 1 : 0.3 : 0.09$, 比美国、前苏联、印度和法国的 P 肥投入水平均低。目前我国南方每 kg P 肥 (P_2O_5) 增产稻谷 4.7 kg, 约为 70 年代的 1/2, 但北方每 kg P 肥增产小麦 8.1 kg, 玉米 9.7 kg, 略高于 70 年代的肥效。P 肥肥效出现南降北升是由于近 20 年来南方 P 肥用量较高, 土壤中 P 素已有一定的累积, 而北方 P 肥用量较小, 土壤缺 P 呈加剧趋势。根据我国 3 年肥料试验网的数据^[3], 水稻 P_2O_5 适宜用量为 183 kg/hm^2 , $\text{N} : \text{P} : \text{K} = 1 : 0.34 : 0.35$; 小麦 P_2O_5 为 171 kg/hm^2 , $\text{N} : \text{P} = 1 : 0.63$; 玉米为 169.5 kg/hm^2 , $\text{N} : \text{P} = 1 : 0.55$ 。P 肥在黄淮海封丘地区石灰性土壤有增产作用, 玉米-小麦轮作中以每季施 P 肥 90 kg/hm^2 的投入水平增产最显著。P 在石灰性土壤上有明显的后效作用, 玉米施 P 肥 120 kg/hm^2 , 残留在第 2 季的增产相当于施 P 肥 60 kg/hm^2 ^[4]。有机农业和常规农业 P 的投入水平显著不同, 美国 Rodale 研究中心 1975 年的典型调查表明, 美国有机农业 P 的投入为化肥 P 34.65 kg/hm^2 , 有机肥 P 48.72 kg/hm^2 ; 常规农业化肥 P 117.52 kg/hm^2 , 有机肥 P 36.83 kg/hm^2 ; 而我国农业发展水平较高的太湖地区 P 肥投入量为 $40 \sim 115 \text{ kg/hm}^2$ ^[5], 这说明 2 类农业系统有机肥投入水平相当, 但常规农业的化肥 P 投入远比有机农业高。P 的输入除施肥外还可通过其他途径如降水、径流、降尘和灌溉等进入农田生态系统, 据报道^[8]美国东南农业流域每年通过降水进入的 P 为 0.37 kg/hm^2 , 通过施肥输入的 P 为 13.30 kg/hm^2 ; 刘全友等报道, 我国海河流域每年通过飘尘、降尘、降水、径流 (主要是地下水) 输入的 P 分别为 0.0036 kg/hm^2 、 1.3 kg/hm^2 、 0.53 kg/hm^2 和 0.0063 kg/hm^2 ; 而通过化肥、有机肥输入的 P 分别为 8.76 kg/hm^2 、 1.54 kg/hm^2 ; 黄淮海地区农林业系统每年通过降水、灌溉输入的 P 分别为 0.6 kg/hm^2 、 2.5 kg/hm^2 ^[6]。

3 常规与有机农作条件下土壤-植物系统 P 素输出

P 的输出方式主要通过植物吸收、土壤径流和土壤侵蚀等。作物产量可直接影响 P 的输出数量, 研究表明, 有机农业产量一般比常规农业低, 特别是才从常规农业向有机农业转换期间内, 大量元素供应不足, 产量相对较低; 但经过转换期后养分供应可满足作物需要时, 产量则不一定比常规农业低。有机农业由于耕作方式、轮作系统和生物多样性比常规农业复杂, 其从有机肥中获得的微量元素远比常规农业高, 更易受各种不利环境影响的胁迫如干旱、病虫害等, 一般情况下土壤 P 供应充分, 作物籽实中 P 的浓度则高, 且籽实 P、秸秆 P 的值大, 形成单位籽实消费的 P 量高。常规农业输入的 P 素远比有机农业高, 籽实和秸秆等带走的 P 也比有机农业高, 但幅度不大。美国 Rodale 研究中心的研究表明, 有机方式通过作物带走的 P 为 145.14 kg/hm^2 , 常规农业方式为 150.17 kg/hm^2 。由于有机方式输入的 P 少, P 亏损为 61.78 kg/hm^2 ; 而常规农业则盈余 4.52 kg/hm^2 。除作物吸收带走一部分 P 外, 土壤径流、淋溶、侵蚀也会导致 P 的输出, 美国东南农业流域每年的 P 输出表现为收获带走 4.6 kg/hm^2 、径流带走 1.1 kg/hm^2 ^[9]; 我国黄淮海农林业生态系统 P 的输出量为作物带走 63.93 kg/hm^2 , 径流带走 1.04 kg/hm^2 ^[6]; 而太湖地区 P 的作物输出量为 $32.2 \sim 55.3 \text{ kg/hm}^2$, 淋溶带走 $0.28 \sim 0.53 \text{ kg/hm}^2$, 径流带走 $0.012 \sim 0.43 \text{ kg/hm}^2$ 。有机农业倾向于免耕, 使 P、K 等集中在土壤表层, 减少淋溶的损失量及地表侵蚀引起 P 的损失。有机农业中大量使用有机肥料, 可使土壤中的 P 大多以活化状态存在, 且能增加淋溶量。

4 P 肥的利用效率

许多研究认为 P 肥的当季利用率为 10%~25%, 后续利用量很低。事实上固定于土壤中的 P 在以后相当长的时间内仍有效。Hoosfield 的试验区在停止追肥 55 年后所施 P 的 55% 被回收, 其余以后仍可利用^[8]。林继雄等在我国华北平原 12 年的定位试验研究表明, 一次性施用 P_2O_5 $360 \sim 720 \text{ kg/hm}^2$, 后效至少保持 12 年 24 季作物, 累积利用率 26.7%~46.8%, 且每年或隔年施用比 1 次性施用肥效高。将 P 的投入水平、土壤中原有的 P 素含量和 P 的利用效率结合起来考虑, 才能公正地认识 P 的利用率高低问题。由于 P 素形态的

不同,化肥P和有机肥P的利用率差别很大,化肥P进入土壤后以 H_2PO_4^- (植物吸收的主要形态)存在的P很快与土壤中的Ca结合,形成磷酸钙,但尚具有一定的有效性;磷酸钙进一步与Fe等盐类结合,形成溶解度极低的闭蓄态磷,失去对植物的有效性。有机肥料施入土壤后,对土壤P素肥力的影响包括形成土壤储藏P库;减少土壤对有效磷的固定,活化土壤难溶性磷化合物;降低土壤对矿质磷肥的化学固定并提高P的有效性;供应作物P素并促进根系吸收P。殷秀岩等的研究表明,5年平均有机肥P的当季表观利用率为43%,可循环回田的养分为 $14\text{kg}/\text{hm}^2$,相当于化肥P的全部。朱兆良等^[8]田间试验表明,当季厩肥的P利用率为12%~18%,相当于过磷酸盐的75%。由于常规农业和有机农业P投入水平的不同,有机农业比常规农业土壤中P的含量低,水溶性磷甚至较常规农业低40%^[9],但有机农业比常规农业农产品中P的含量高^[10],研究者认为可能是在有机农业方式下菌根的存在促进了作物对P的吸收,有机农业比常规农业畜牧业系统P的利用率也高。

5 提高农业生态系统中P的利用效率,减少其环境负效应

P在土壤中的扩散系数很低,且植物根仅能吸收距根1~4mm土壤中的P,如何提高P的有效性是各种农业形式重点探讨的问题。有机农业尽可能利用其内在的P,在土壤P含量很低的情况下利用少部分外源P如磷矿石和海绿石;而常规农业的特点是养分的大量输入和输出,这样加大了P在土壤中的固定,造成了无效P的积累,并加大了向水体中的输出,造成水体富营养化。实际上由于长年施肥,农业土壤中已含有大量的P。有研究表明,在不施P情况下按照P年输出量 $8.8\text{kg}/\text{hm}^2$ 计算,180cm土壤中的P可供作物利用1450年。对蔬菜的研究表明,在有机耕作条件下土壤中的P足够生产较高产量的萝卜、西红柿和豆角。目前生产上提高作物对P的利用效率措施包括选择P敏感型作物品种;创造有利于P解析的物理化学环境;实行有利于菌根生长的耕作措施,促进作物对P的吸收;减少杀真菌剂和杀线虫剂的使用,保持微生物分解的生物过程,保证较高的P利用率;减少土壤耕作、翻动,增加土壤动物的形成,提高蚯蚓活动引起的土壤活性P水平。大量研究表明,有机农业方式可提供上述环境,有利于P的吸收和利用,但应注意防止过量使用有机肥,以免引起P流失形成的环境问题。

参 考 文 献

- 1 鲁如坤,时正元,熊礼明.我国磷矿磷肥中镉的含量及其对生态环境影响的评价.土壤学报,1992,29(2):150~157
- 2 莫淑勋.有机肥料中磷及其与土壤磷素肥力的关系.土壤学进展,1992(3):1~9
- 3 林葆,李家康.我国化肥的肥效及其提高的途径.土壤学报,1989,26(3):273~279
- 4 蒋柏藩,李阿荣,顾益初.石灰性土壤磷肥用量的探讨.土壤,1986,18(4):186~188
- 5 秦祖平,徐琪,熊毅.太湖地区两种稻麦轮作制中营养元素的循环.生态学报,1989,9(3):245~252
- 6 吴刚,冯宗炜,秦宜哲.农林业系统沙兰杨-小麦、玉米群落类型氮、磷、钾元素循环的研究.生态学报,1993,13(2):139~147
- 7 Zhu Zhaoliang, Xi Zhenbang. Recycling phosphorous from crop and animal waste in China. Phosphorous requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania. Proceedings of Symposium, 1989 (6~10):250~258
- 8 Woods L. E., Todd R. L., Leonard R. A., Asmussen L. E. Nutrient cycling in a southeastern United States agricultural watershed. Nutrient cycling in agricultural ecosystems, 1983. 68~72
- 9 Minnaar, Lizot. Carrot quality, the effect of organic and conventional farming. 11th IFOAM Scientific Conference, Copenhagen, Denmark, 1996 (11~15):226~240
- 10 Schumacher U. Comparison of organic and conventional dairy farms. 11th IFOAM Scientific Conference, Copenhagen, Denmark, 1996 (11~15):300~308