

有机肥对设施菜地土壤磷素累积及有效性的影响

王婷婷^{1,2}, 王 俊^{1,2}, 赵牧秋^{1,2}, 史 奕¹, 陈 欣¹

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要:以沈阳市郊设施菜地土壤为研究对象,通过设置 5 个不同有机肥用量处理的小区实验,系统研究了不同有机肥施用量(0~60 t·hm⁻²)对 0~40 cm 土层土壤全磷、速效磷及黄瓜产量的影响。结果表明,黄瓜拉秧期 0~20 cm 土层土壤全磷含量均随有机肥施用量的增加而增加,当有机肥施用量达到 40 t·hm⁻²时,0~20 cm 土层全磷含量显著提高 ($P<0.05$),20~40 cm 土层全磷含量在单个黄瓜生长季内则无显著变化;施用有机肥后,0~20cm 土层速效磷含量表现出先升高至黄瓜开花期后逐渐降低的趋势,而 20~40 cm 土层速效磷含量在黄瓜坐果期后逐渐提高,在该实验条件下,施有机肥 20 t·hm⁻² 可在拉秧期基本保持原有土壤速效磷水平,高量有机肥可进一步提高土壤速效磷含量从而提高土壤磷淋失风险;在一定范围内,随有机肥施用量的增加,黄瓜产量有所提高,当有机肥施用量超过 40 t·hm⁻²时,黄瓜产量无显著变化($P<0.05$)。

关键词:设施土壤; 有机肥; 磷素

中图分类号:S141 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)01-0095-06

Effects of Organic Manure on Phosphorus Accumulating and Its Availability in A Greenhouse Soil in Shenyang Suburb

WANG Ting-ting^{1,2}, WANG Jun^{1,2}, ZHAO Mu-qiu^{1,2}, SHI Yi¹, CHEN Xin¹

(1. Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: A field plot experiment was conducted in Shenyang suburb to study the effects of applying organic manure on the phosphorus accumulation and its availability in greenhouse soil and the yield of cucumber. Five treatments (0, 10, 20, 40, and 60 t hm⁻² of organic manure) were installed. The results showed that, after harvest, the total P content in 0~20 cm soil layer increased with increasing application rate of manure, being more significant when the application rate was $> 40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-1}$, while that in 20~40 cm soil layer had no significant difference among the treatments. Under the application of organic manure, the available P content in 0~20cm soil layer increased before the stage of flowering and decreased then, while that in 20~40 cm soil layer increased gradually from the beginning to fruiting stage. In our study, applying 20 t·hm⁻² of organic manure could maintain the soil available P level, while higher application rates could induce the risk of soil P leaching. Appropriate application rate (10~40 t·hm⁻²) of organic manure could improve cucumber yield, but the yield was not increased significantly with excessive rate ($>40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) of organic manure.

Keywords: greenhouse soil; organic manure; phosphorus

随着我国农业种植结构的调整,近年来设施蔬菜种植面积不断扩大,截止 2005 年底,全国蔬菜种植面

积为 1 970.8 万 hm²,总产量约 6.2 亿 t,产值约 5 600 亿元,其中设施蔬菜栽培面积达 253.7 万 hm²,占世界设施蔬菜总面积的 80%以上。辽宁省设施蔬菜栽培面积达 21.7 万 hm²,到 2010 年预计发展到 30 万 hm²。设施菜地土壤是一种处在半封闭条件下、受人为影响强烈的特殊土壤,为追求高产高效,大量投入的肥料导致设施菜地土壤中氮磷的大量累积^[1-2]。积累的磷不仅造成土壤质量恶化^[3],还可通过径流、渗漏等多种途

收稿日期:2008-04-27

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAD17B07);国家自然科学基金项目(30670378);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCXZ-YW-N-037)

作者简介:王婷婷(1982—),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,从事农业生态环境方面的研究

通讯作者:陈 欣 E-mail: chenxin@iae.ac.cn

径进入河流、湖泊等地表水体和地下水,对生态环境造成潜在威胁^[4]。因此,近年来设施菜地的农业非点源污染的研究日益受到重视^[5-7]。

基于有机肥在保肥养地等方面的良好作用,设施菜地有机肥的施用量不断增加^[8]。施用有机肥能够增加土壤中速效磷含量,从而提高土壤磷的生物有效性^[9-11],但过量施用有机肥并不能持续增加作物产量^[12-13]。此外,大量施用有机肥能够增加磷的移动性^[14],有研究表明,长期施用有机肥的土壤,土壤磷素淋溶明显增加^[15]。因此,研究设施菜地如何合理利用有机肥,使其既能保证土壤肥力、又不对环境造成威胁对农业生产具有重要的现实意义。

本文通过研究有机肥对设施菜地土壤全磷、速效磷以及黄瓜产量的影响,旨在为设施条件下合理施用有机肥、提高磷素利用率、保护土地资源的可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验地点设在沈阳市郊大民屯镇方巾牛村设施蔬菜种植基地,该地区位于辽河东岸,新民市东南 20 km,沈阳市西 40 km,是东北最大的蔬菜产销基地,截至 2006 年年底,该地区蔬菜种植面积已发展到 0.93 万 hm^2 ,其中棚菜 0.33 万 hm^2 ,年蔬菜产量达 10 亿 kg,在东北地区设施蔬菜生产方面具有较高的代表性。实验所选大棚建立于 2005 年 6 月,属当地较为常见的 2 年棚,其土壤基本理化性状列于表 1。

1.2 实验设计

试验小区面积为 $3.6 \text{ m} \times 5.2 \text{ m}$,采用随机区组排列,3 次重复,并设有保护行。实验共设 5 个处理,有机肥用量分别为处理 1:CK 不施有机肥,处理 2: $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折纯磷 $67.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),处理 3: $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折纯磷 $135.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),处理 4: $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折纯磷 $270.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),处理 5: $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折纯磷 $405.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。其中处理 5 为该地区常规有机肥施用量。供试有机肥采用腐熟鸡粪,其中含有机质 $255.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $20.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷 $12.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾 $14.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。此外,各个处

理均施同等数量无机复合肥撒可富(折纯磷 $73.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),以上有机肥和化肥均用作基肥,采用沟施方式一次施入。黄瓜浇水采用沟灌方式,根据土壤干湿度和植株长势每 5~7 d 浇水 1 次。此外,为保证黄瓜产量,坐果期平均每 7~10 d 追施 1 次氮肥和钾肥,追肥与浇水相结合。

1.3 样品采集与分析方法

土壤样品采集:实验前采集土壤本底样品,此后分别于开花期、坐果期、拉秧期采集土样,采样深度分别为 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm,将各层土样风干,过 2 mm 筛备用。

测定方法:土壤全磷用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 消煮-钼锑抗比色法;土壤速效磷用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ ($\text{pH}=8.5$) 浸提-钼锑抗比色法;有机肥中全磷采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮-钼锑抗比色法测定;有机碳采用 TOC-5000A 总有机碳分析仪测定;全 N 采用开氏蒸馏法测定;速效钾采用乙酸铵提取-火焰光度计法测定^[16]。

田间采收后将果实直接称重,并对小区产量进行统计。

1.4 数据处理

采用 SPSS 软件,对数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 有机肥对土壤全磷累积状况的影响

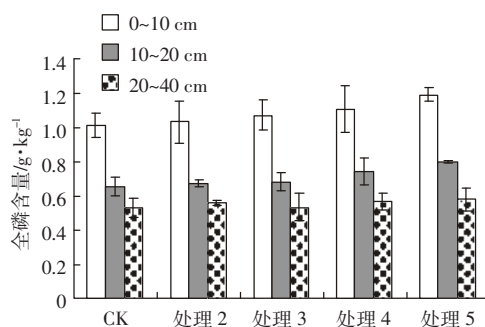


图 1 不同有机肥处理黄瓜拉秧期土壤全磷含量
Figure1 Total P content in soil from different treatments at last stage of cucumber

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 Principal chemical properties of tested soil

土层 Soil layer/cm	有机碳 Organic C/g·kg ⁻¹	全氮 Total N/g·kg ⁻¹	全磷 Total P/mg·kg ⁻¹	速磷 Available P/mg·kg ⁻¹	速钾 Available K/mg·kg ⁻¹
0~10	12.30	1.31	1.07	57.5	649.5
10~20	11.30	1.11	0.67	37.8	442.8
20~40	10.00	1.09	0.51	19.0	255.6

处理1至处理5黄瓜拉秧期0~10 cm土壤全磷含量分别为1.01、1.03、1.07、1.11、1.16 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中处理3、处理4、处理5分别比本底值增加了0.19%、3.6%、8.7%,而CK、处理2全磷含量与本底值相比均有所下降。对各处理全磷含量进行方差分析和多重比较,处理5显著高于CK和处理2($P<0.05$),而其他处理间无显著差异。10~20 cm土层各处理土壤磷素含量也表现出随有机肥施用量增加而增高的趋势,其中处理5与本底值相比增加了20.2%,与CK、处理2、处理3之间存在显著差异($P<0.05$),此外,处理4与本底值相比增加了11.1%,与CK、处理2、处理3之间也存在显著差异($P<0.05$),而其余处理之间差异均不显著。可见当有机肥施用量超过 $40\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,施肥当季0~20 cm土层全磷产生了一定的累积。而当有机肥用量达到 $60\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,全磷累积进一步加剧。在20~40 cm土层中,土壤全磷含量在各处理间差异均不显著,说明实验所用有机肥量施用当季对耕层以下土壤全磷含量影响较小。

对不同处理在0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm土层全磷含量进行方差分析的结果表明:在0~40 cm各土层之间,土壤全磷含量均达到极显著水平($P<0.01$),由此可见,设施菜地土壤磷主要积累于土壤表层0~10 cm土壤,10~20 cm也有一定积累,而耕层以下土壤全磷含量显著降低。这与Strauss等人的研究结果设施土壤全磷、有效磷均呈表层含量较高,20 cm以下含量骤减的规律相一致^[17]。

2.2 不同有机肥处理对菜田土壤速效磷季节动态变化的影响

2.2.1 有机肥对设施土壤0~20 cm土层速效磷动态变化的影响

速效磷是植物体吸收磷素的直接来源,土壤速效磷水平是评价土壤磷素供应水平的重要指标,它的动态变化除了受土壤自身的理化性质和自然因素等影响以外,更是与施肥量和作物吸磷量有很大关系。沈善敏认为,长期施用磷肥或有机肥,可显著扩大土壤有效磷库^[18]。

方差分析表明,与土壤全磷分布趋势一致,10~20 cm土壤速效磷含量与0~10 cm之间存在显著差异($P<0.05$),这与设施菜地的磷分布与施肥量有关。

对不同处理0~10 cm土层速效磷含量进行分析(图2),其中处理4、处理5速效磷含量在拉秧期与本底值相比分别增加了6.7%和13.3%,且处理5与CK之间差异达到显著水平($P<0.05$)。0~10 cm处理3速

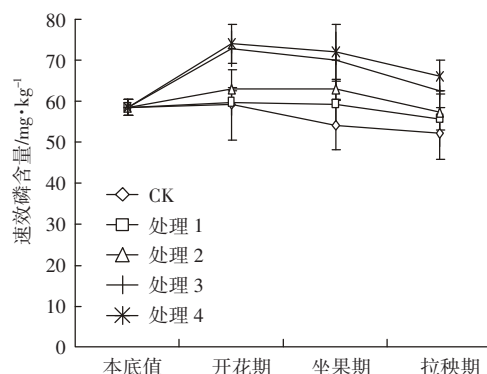


图2 不同有机肥处理0~10 cm土层速效磷季节动态变化

Figure 2 Change of available P in 0~10 cm soil layer from different treatments

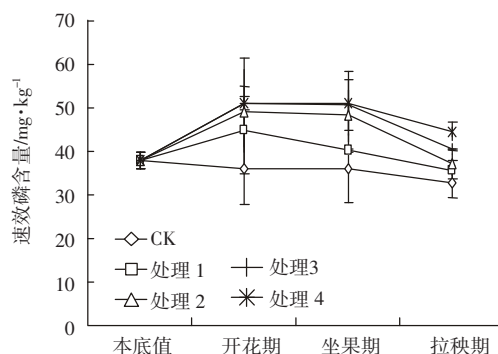


图3 不同有机肥处理10~20 cm土层速效磷季节动态变化

Figure 3 Change of available P in 10~20 cm soil layer from different treatments

效磷含量在拉秧期与本底值相比基本持平,说明施用有机肥 $20\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 可基本保持0~10 m土壤原速效磷含量。对不同处理10~20 cm土层的分析表明(图3),各处理速效磷含量的季节变化趋势与0~10 cm相一致,土壤速效磷含量随有机肥施用量的增加而升高,其中处理4、处理5与本底值相比分别增加6.6%和17.7%,处理3土壤速效磷含量为 $37.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,基本保持在土壤原速效磷水平。可见该供试土壤肥力条件下,在施用无机复合肥撒可富(折纯磷 $73.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)基础上,施低量有机肥即能够保持单个黄瓜生长季耕层土壤速效磷含量。

此外,从图2、3中可以看出,0~20 cm土层速效磷含量除CK外,其它处理均在开花期最高,这一方面是由于有机肥本身含有大量的有效磷,另一方面有机肥分解的有机酸可以显著活化土壤磷,减少土壤对磷素的吸附^[19-20]。坐果期和拉秧期土壤速效磷含量有所下降,这与有机酸在其施入30~45 d后土壤中速效

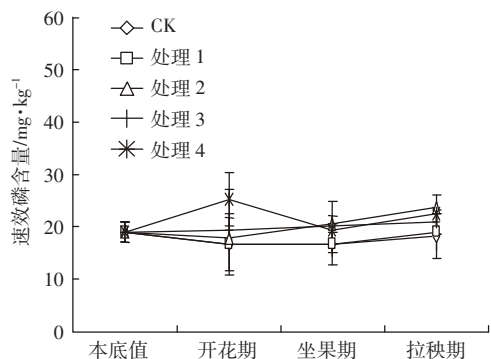


图4 不同有机肥处理 20~40 cm 土层速效磷季节动态变化

Figure 4 Change of available P in 20~40 cm soil layer from different treatments

磷含量趋于稳定而土壤对磷的固持能力增强有关^[21],此外,植物的生长需要吸收大量速效磷。

2.2.2 有机肥对设施土壤 20~40 cm 土层速效磷动态变化的影响

黄瓜属于浅根系分布植物,其根系主要分布于 0~20 cm 土壤,因此,黄瓜对磷素的吸收对 20 cm 以下土层不会产生较大影响。由图 4 可以看出,20~40 cm 土层速效磷含量变化不明显,对不同时期进行的方差分析表明,各处理之间均未达到显著差异,可见该实验条件下,不同有机肥用量对耕层以下土壤速效磷含量影响较小。但 20~40 cm 土层速效磷含量在坐果期后仍有随有机肥施用量增加而增高的趋势,这一点应引起重视,长期施用有机肥可能导致土壤剖面中速效磷含量增加^[22],从而加大土壤磷淋失风险^[23]。已有研究表明,土壤速效磷与土壤水溶性磷呈显著正相关关系,施用有机肥能够显著增加土壤中速效磷、水溶性磷含量,随着施磷量提高,土壤对磷的固定能力也逐渐降低,产生磷损失的可能性增加,易于导致面

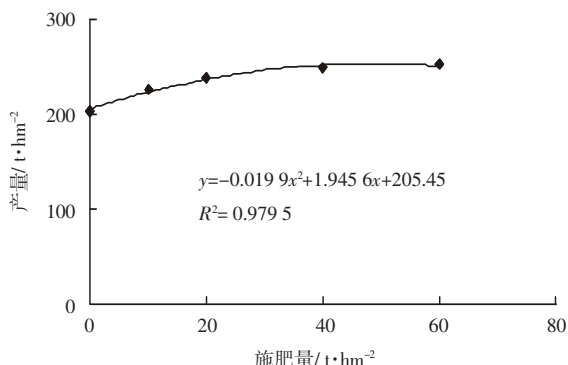


图5 有机肥施用量与黄瓜产量的相关关系

Figure 5 Relationship between the amount of organic manure and the yield of cucumber

源污染,从而具有较高的环境风险^[24]。

2.3 不同有机肥处理对黄瓜产量的影响

在该实验条件下,随有机肥施用量的增加,黄瓜产量分别提高了 11.3%、17.2%、22.1%、24.1%,由此可见,适量有机肥施入可以提高黄瓜产量,但有机肥施用量超过 40 t·hm⁻² 时,黄瓜产量无显著变化 ($P < 0.05$),这与刘建玲等人研究结果相一致^[13]。从有机肥的增产效果来看,有机肥施用量为 10、20、40、60 t·hm⁻² 时,单位量有机肥(按 1 t 为一个单位量计算)分别增产 1.3%、0.86%、0.55%、0.41%,即随有机肥施用量的增加,单位量有机肥增产逐渐降低。这些结果说明适量施用有机肥能够增加黄瓜产量,但过量施用有机肥对产量影响不明显,且导致有机肥增产效果降低。

3 讨论

(1)农业生产中,施用有机肥通常基于作物对氮素需求而计算,而有机肥含有的氮/磷比值一般小于作物对氮、磷的需求比例,极易导致磷素在土壤中的累积。本实验结果也表明,施用有机肥达到 60 t·hm⁻²,土壤中 0~20 cm 土层全磷含量均显著高于 CK 和处理 2,表明在设施栽培条件下,由于大量施入有机肥,虽然作物吸收利用的带出量很大,但仍然会造成磷素在土壤耕层的累积,磷素的逐年累积一方面造成资源的浪费,同时积累的磷素能够通过多种方式进入水体,对环境产生威胁。因此,生产中有有机肥的施用量应首先根据土壤中磷素消耗情况合理制定,而不可盲目大量投入有机肥,避免磷素过量累积。

(2)该供试土壤肥力条件下,在施用无机复合肥撒可富(折纯磷 73.2 kg·hm⁻²)基础上,施有机肥 20 t·hm⁻² 即可基本保持单个黄瓜生长季 0~20 cm 土层土壤速效磷水平,而过量施用有机肥则进一步提高土壤速效磷含量从而提高环境风险,国内研究认为,土壤速效磷含量在 55.6~63.0 mg·kg⁻¹ 时为土壤磷渗漏淋失显著增加的“突变点”^[23],国外也有研究表明,土壤速效磷含量大于 57 mg·kg⁻¹ 时,土壤磷淋失风险显著增大^[25],因此,有机肥的施入在满足作物高产需要的同时也要考虑对水体环境的保护。本实验中,施有机肥后 20~40 cm 土层速效磷变化较小,但在黄瓜坐果期后仍表现出随有机肥施用量增加而增高的趋势,表明有机肥的施入已导致磷素向下运移,这一点也应引起重视。

(3)在一定限度内,有机肥能够提高作物产量,但

过量的有机肥投入不仅降低其增产效果,甚至会导致产量下降^[26]。本实验结果表明,适量施用有机肥能够提高黄瓜产量,但有机肥施用量超过 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,黄瓜产量增加不显著,且随着有机肥施用的增加,单位量有机肥增产量逐渐降低。此外,过量施磷容易导致蔬菜对磷素奢侈吸收,这是生产上常常忽视的问题。施磷对产量的影响也因土壤肥力不同存在较大差异^[27],因此,针对土壤磷素水平制定有机肥与磷肥的合理施用量,对提高磷素利用率起到关键的作用。在本实验条件下,建议有机肥施用量为 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 至 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,从而在保持土壤肥力基础上降低环境风险,并具有较高的经济效益。

参考文献:

- [1] 梁成华,唐咏,须湘成,等.日光温室菜园土的磷素形态及吸附和解吸特征[J].植物营养与肥料学报,1998,4(4):345-351.
LIANG Cheng-hua, TANG Yong, XU Xiang-cheng, et al. Fractions and adsorption-desorption characteristics of P in solar greenhouse vegetables soils [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(4):345-351.
- [2] 刘建玲,张福锁,杨奋翮.北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究[J].植物营养与肥料学报,2000,6(2):179-186.
LIU Jian-ling, ZHANG Fu-suo, YANG Fen-he. Fractions of phosphorus in cultivated and vegetable soils in northern China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(2): 179-186.
- [3] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等.山东寿光温室蔬菜施肥现状及问题的研究[J].土壤通报,2002,33(2):126-129.
LI Jun-liang, CUI De-jie, MENG Xiang-xia, et al. The study of fertilization condition and question in protectorate vegetable in Shouguang, Shandong [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(2): 126-129.
- [4] 周翠,章明奎,方利平.粪肥对不同磷水平土壤磷流失潜力的影响[J].土壤通报,2006,37(4):706-709.
ZHOU Cui, ZHANG Ming-kui, FANG Li-ping. Effects of organic manure application on P runoff from soils with different P levels [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(4): 706-709.
- [5] Sharpley A, Daniel T C, Sims J T, et al. Determining environmentally sound soil phosphorus levels [J]. *J Soil and Water Conservation*, 1996, 51(2): 160-166.
- [6] 全为民,严力蛟.农业面源污染对水体富营养化的影响及防治措施[J].生态学报,2002,22(3):291-298.
QUAN Wei-min, YAN Li-jiao. Effects of agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure [J]. *ACTA Ecology Science*, 2002, 22(3): 291-298.
- [7] 林德喜,胡锋,范晓晖.长期施肥对太湖地区水稻土磷素转化的影响[J].应用与环境生物学报,2006,12(4):453-456.
LIN De-xi, HU Feng, FAN Xiao-hui. Effect of long term fertilization on phosphorus transformation in paddy soil in the Taihu Lake region [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2006, 12(4): 453-456.
- [8] 张彦才,李巧云,翟彩霞.河北省大棚蔬菜施肥状况分析与评价[J].河北农业科学,2005,9(3):61-67.
ZHANG Yan-cai, LI Qiao-yun, ZHAI Cai-xia, et al. The condition and appraisal of the vegetable apply fertilizer in greenhouse in Hebei Province [J]. *Journal of Hebei Agricultural Science*, 2005, 9(3): 61-67.
- [9] 张亚丽,沈其荣,曹翠玉.有机肥料对土壤有机磷组分及生物有效性的影响[J].南京农业大学学报,1998,21(3):59-63.
ZHANG Ya-li, SHEN Qi-rong, CAO Cui-yu. Effects of organic manure on soil organic phosphorus fractions and their bio-availability [J]. *Journal of Nanjing Agriculture University*, 1998, 21(3): 59-63.
- [10] 王库,何东方.有机肥对旱地红壤供磷效应的研究[J].土壤肥料,2001(5):19-22.
WANG Ku, HE Dong-fang. Effect of organic manure on phosphorus-supplying capacity in arid red soil [J]. *Soils and Fertilizers*, 2001(5):19-22.
- [11] Franzluebbers A, Stuedemann J. Bermudagrass management in the southern piedmont USA [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(1): 291-298.
- [12] 刘建玲,廖文华,王新军.大量施用磷肥和有机肥对白菜产量和土壤磷积累的影响[J].中国农业科学,2006,39(10):2147-2153.
LIU Jian-ling, LIAO Wen-hua, WANG Xin-jun. Effects of phosphate fertilizer and organic manure to the yield of chinese cabbage and soil phosphorus accumulation [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(10): 2147-2153.
- [13] 刘建玲,廖文华,张作新.磷肥和有机肥的产量效应与土壤积累磷的环境风险评价[J].中国农业科学,2007,40(5):959-965.
LIU Jian-ling, LIAO Wen-hua, ZHANG Zuo-xin. The response of vegetable yield to phosphate fertilizer and organic manure and environmental risk assessment of phosphorus accumulated in soil [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(5): 959-965.
- [14] Sharpley A, McDowell R, Kleinman P. Amounts, forms and solubility of phosphorus in soils receiving manure [J]. *Soil Science Society of America*, 2004, 68(6): 2048-2057.
- [15] Jager P, Claassens A. Long-term phosphorus desorption kinetics of an acid sand clay soil from south Africa [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2005, 36: 309-319.
- [16] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
LU Ru-kun. Method of soil and agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [17] Strauss G W. Effects of crystallinity of goethite: II. Rates of sorption and desorption of phosphate [J]. *European Journal of Soil Science*, 1997(48): 101-114.
- [18] 沈善敏.长期土壤肥力实验的科学价值[J].植物营养与肥料学报,1995,1(1):1-9.
SHEN Shan-min. The scientific value of Long-term soil fertility experiment [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1995, 1(1): 1-9.
- [19] 章永松,林咸永,倪吾钟.有机肥对土壤磷吸附-解吸的直接影响[J].植物营养与肥料学报,1996,2(3):200-205.
ZHANG Yong-song, LIN Xian-yong, NI Wu-zhong. Direct influence of organic manure on phosphorus adsorption-desorption in the soils [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1996, 2(3):200-205.
- [20] 赵晓奇,鲁如坤.有机肥对土壤磷素吸附的影响[J].土壤学报,1991,

- 28(1): 7-13.
ZHAO Xiao-qi, LU Ru-kun. Effect of organic manures on soil phosphorus adsorptions[J]. *Acta Pedologica Science*, 1991, 28(1): 7-13.
- [21] 庞荣丽,介晓磊,谭金芳.有机酸对不同磷源施入土壤后速效磷变化的影响[J].中国农学通报,2005,21(12):250-253.
PANG Rong-li, JIE Xiao-lei, TAN Jin-fang. Effect of organic acids on dynamic of rapidly available phosphorus enter different phosphorus to soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(12): 250-253.
- [22] 陈 新,梁成华,张恩平.长期定位施肥对蔬菜保护地土壤磷素空间分布的影响[J].中国农学通报,2005,21(12):209-212.
CHEN Xin, LIANG Cheng-hua, ZHANG En-ping. Effect of long-term located fertilization on spatial distribution characteristics of phosphorus in vegetable soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(12):209-212.
- [23] 王新军,廖文华,刘建玲.菜地土壤磷素淋失及其影响因素[J].华北农学报,2006,21(4): 67-70.
WANG Xin-jun, LIAO Wen-hua, LIU Jian-ling. Phosphorus leaching from vegetable fields and impact factors [J]. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2006, 21(4): 60-70.
- [24] 周全来,赵牧秋,鲁彩艳.P 肥施入土壤后的变化进程及对 P 淋失的影响[J].生态与农村环境学报,2006,22(3):80-83.
ZHOU Quan-lai, ZHAO Mu-qiu, LU Cai-yan. Change of P fertilizer after application into soil and its influence on P leaching loss [J]. *Journal Ecology and Rural Environment*, 2006, 22(3): 80-83.
- [25] Hesketh N, Brookes P C. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(1): 105-110
- [26] 张 易,刘祥鸣,李英杰,等.黑土肥力及肥料施用量对作物产量的影响[J].黑龙江农业科学,2000(4):1-3.
ZHANG Yi, LIU Xiang-ming, LI Ying-jie, et al. The effects of the black soil fertility and the amount of applied fertilizer on the crop yield [J]. *Heilongjiang Agricultural Science*, 2000(4):1-3.
- [27] 孙慧敏,于振文,颜 红,等.不同土壤肥力条件下施磷量对小麦产量、品质和磷肥利用率的影响[J].山东农业科学,2006(3):45-47.
SUN Hui-min, YU Zhen-wen, YAN Hong, et al. Effect of phosphorus rate applied on yield, quality and phosphorus utilization ratio in winter wheat under different fertility soil[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2006 (3): 45-47.

《农业环境科学学报》获 2008 年度 “中国精品科技期刊”称号

经中国精品科技期刊遴选指标体系综合评价,《农业环境科学学报》被评选为 2008 年度中国精品科技期刊。此次评选是国家为加强我国科技期刊资源建设,提高我国科技期刊总体水平,根据目前我国科技期刊的发展状况以及国家精品科技期刊的总体目标,由科技部经过公开征集社会各界意见和多次专家研讨及中国精品科技期刊遴选指标体系综合评价,从 6000 多种科技期刊中评选出的首批中国精品科技期刊,共 300 种。

