

# 不同土地利用类型下氮、磷在土壤剖面中的分布特征

陆安祥 赵云龙 王纪华\* , 马智宏

(国家农业信息化工程技术研究中心 北京 100097 )

**摘要** 在北京市东南郊大兴区采取了 44 处 0~20 cm ,20~40 cm ,40~60 cm ,60~80 cm ,80~100 cm 5 个不同深度的土壤剖面样品。按土地利用类型 采样点可分为农田、菜地、果园、林地、草地。土壤剖面中 ,由表层向深层 ,pH 值升高 ,有机质、速效磷、全磷、硝态氮、全氮降低 ,且在 20~40 cm 处有较大变化。表层土壤受土地利用影响 ,不同土地利用类型的土壤性质差别较大 ,尤以菜地土壤 pH 为 8.01 低于其他类型土壤的平均值 8.27 ,有机质、速效磷、全磷、硝态氮、全氮都高于其他类型的土壤 ,分别是其他类型土壤的 110%~198% ,355%~1629% ,162%~224% ,724%~1540% ,130%~248% ,速效磷和硝态氮远高于其他土壤。深层土壤性质差异不大 ,各项土壤性质差异随深度而变小 ,但菜地 80~100 cm 处 ,硝态氮含量为 18.8 mg kg<sup>-1</sup> ,是同深度其他类型土壤的 175%~389%。土壤中硝态氮的积累情况 菜地>农田、果园、林地>草地。磷的积累与氮不同 ,速效磷在 0~20 cm 大量积累 ,不同类型的土壤 ,速效磷积累差异显著 ,在 40~60 cm 处 ,菜地速效磷含量是其他利用类型土壤的 161%~602% ,在 80~100 cm 处 ,不同利用类型的土壤中速效磷无显著性差异。这一情况表明 菜地的过量施用氮、磷肥导致了土壤中的磷和氮大量积累 ,并以速效磷、硝态氮的形态向下淋溶并在深层土壤中积累。硝态氮在 80~100 cm 的积累仍相当严重 ,有继续向下淋溶的可能 ,速效磷的淋溶在 80~100 cm 处已较为微弱 ,其淋溶过程主要在 0~60 cm 处。对速效磷和硝态氮的累积进行多元线性回归分析 ,发现速效磷与全磷含量有着良好的线性相关性 ,而与有机质和全氮含量关系不大。硝态氮则受土壤中 pH、有机质和全氮 3 因素的共同影响。

**关键词** 土地利用 ;氮 ;磷 ;土壤剖面

文章编号 :1000-0933 (2007)09-3923-07 中图分类号 S154.1 文献标识码 A

## Distribution characteristics of nitrogen and phosphorus in agricultural soil profiles under different landuse

LU An-Xiang , ZHAO Yun-Long , WANG Ji-Hua\* , MA Zhi-Hong

National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture , Beijing 100097 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (9) 3923~3929.

**Abstract** : Soil samples in the profile of 0—20 cm ,20—40 cm ,40—60 cm ,60—80 cm and 80—100 cm were collected from forty-four sites in Daxin district , Beijing. Landuse of these sampling sites can be identified as farmland , vegetable land , orchard , grass land and forest. Along the soil depth , soil organic matter (OM) , Olsen P , total P , NO<sub>3</sub>-N and total N decreased and the soil pH increased with the most obvious changes observed at the depth of 20—40 cm. Landuse pattern , especially vegetable growth , significantly affected the surface soil properties. The SOM , Olsen-P , total P , NO<sub>3</sub>-N and total N were much higher in the surface soils (0—20 cm) from vegetable land than in the other soils. The soil pH for

基金项目 农业部农业环境监测资助项目 (070405) ,北京市自然科学基金重点资助项目 (4061002)

收稿日期 2006-08-07 ;修订日期 2007-03-28

作者简介 陆安祥 (1968~) ,男 ,江苏人 ,硕士 ,主要从事农业环境污染监测研究. E-mail :luax@nercita.org.cn

\* 通讯联系人 Corresponding author. E-mail :wangjh@nercita.org.cn

**Foundation item** The project was financially supported by Agricultural Environmental Monitoring of Ministry of Agriculture (No. 070405) and Beijing Natural Science Foundation (No. 4061002)

**Received date** 2006-08-07 ; **Accepted date** 2007-03-28

**Biography** : LU An-Xiang , Master , mainly engaged in monitoring of agricultural tri-dimension pollution. E-mail : luax@nercita.org.cn

vegetable land was 8.27 compared to the value of 8.01 for the other soils. The difference in soil properties in the deep layer was less affected by the landuse pattern. The content of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the soil profile followed the order : vegetable land > farmland , orchard , forest > grass land. Even in the depth of 80 — 100 cm , the  $\text{NO}_3\text{-N}$  of vegetable land was  $18.8\text{ mg kg}^{-1}$  , as much as 175% — 389% the other landuse soils in this layer. The distribution of P in the soil profile was different from that of N. The Olsen P was mainly accumulated in the soil of 0 — 20 cm layer. Significant differences in Olsen P were observed among the landuses. . In the 40 — 60 cm layer , the Olsen-P in vegetable land soils was as much as 161% — 602% the other landuse soil. Such differences were not obvious in the 80 — 100 cm depth This study indictes that exceeding fertilizer application leads to the accumulation of N and P in the vegetable land soil. They were transported as the forms of  $\text{NO}_3\text{-N}$  and Olsen-P to the deeper layers of the soils. Multiple regression analysis showed a linear correlation between the Olsen-P and the total P in different soil profiles. However , no significant correlation existed between the soil OM and total P. The content of  $\text{NO}_3\text{-N}$  had linear correlation with the pH , OM and total N.

**Key Words** : landuse ; nitrogen ; phosphorus ; soil profile

农业生产中氮、磷的过量使用不仅仅对地表水造成污染 ,而且会通过淋溶作用对地下水造成污染。与地表水的面源污染相比 ,地下水的污染更加隐蔽 ,也更难治理。对于以地下水为主要应用水源的国家或地区来说 ,氮、磷污染地下水对人体健康的潜在威胁更为严重。

氮肥施入土壤后 ,绝大部分以硝态氮和铵态氮两种无机态形式存在。土壤中的硝态氮容易被淋溶 ,向土壤下层移动 ,进入地下水 ,造成污染。因此土壤残留硝态氮是农业面源污染中氮元素的主要污染源<sup>[1]</sup>。多数人认为土壤中磷沿剖面垂直向下淋溶的可能性不大且量极少 ,地表径流和土壤侵蚀被认为是造成磷污染的主要途径。但也有大量的文献报道 ,土壤中磷元素的淋溶相当可观<sup>[2~4]</sup>。王彩绒等对太湖地区的土壤磷素进行分析 ,认为在 Bray-P 超过  $60\text{ mg kg}^{-1}$  后 ,会发生磷的淋溶<sup>[5]</sup>。

直接观察土壤中的 N、P 向下淋溶比较困难 ,而且连续监测装置又比较昂贵。土壤剖面 N、P 的分布与积累特征可以在一定程度上表征地下水被土壤中的 N、P 淋溶污染的潜在威胁。Eghball 等认为长期过量施用含 P 肥料的农田 ,将导致 P 在土壤剖面中大量积累 ,并导致在沙质土壤中的 P 淋溶<sup>[6]</sup> ;Kleinman 等人利用土壤剖面来预测磷淋溶的风险<sup>[7]</sup> ;刘宏斌等对北京市农田土壤的硝态氮的分布和积累特征做了详细的描述和分析<sup>[8]</sup>。

针对农田土壤中的 N、P 淋溶问题 ,前人做了相当多的工作 ,但是却很少有研究将 N、P 等面源污染指标综合起来考察农田土壤中面源污染-氮和磷的向下淋溶的情况<sup>[9~11]</sup>。本文从农业土地利用类型入手 ,在农业发达的北京市东南郊大兴区进行了采样 ,分析了不同土地利用方式下农田土壤剖面中的 N、P 元素的残留情况 ,并对 N、P 淋溶的影响因子进行了分析 ,为深入探讨地下水的农业面源污染问题提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样区概况

大兴区地处北京市东南部 ,位于东经  $116^{\circ}13' \sim 116^{\circ}43'$  ,北纬  $39^{\circ}26' \sim 39^{\circ}51'$  之间 ,属暖温带半湿润季风气候 ,属于华北平原的一部分。地势总体自西北向东南略倾斜 ,海拔高度在  $15 \sim 45\text{ m}$ 。采样区的成土母质为永定河冲积物 ,土壤类型主要为潮土。流经该区域的河流主要有永定河、凉水河、凤河、新凤河等 ,但最近几年 ,除凉水河、新凤河、凤河成为上游的污水河外 ,其他河流都已经基本干枯 ,全区的地下水位在  $6.0 \sim 20\text{ m}$  ,地下水成为生产生活用水主要来源。

1.2 采样方案

取样采用 GPS 定位 ,在大兴区共布设了 44 个采样点。土壤类型均为潮土 ,土地利用类型包括 :菜田 9 个 (温室大棚 6 个 ,露地菜田 3 个) ,小麦-玉米轮作大田 15 个 ,果园 9 个 (桃园 4 个 ,梨园 4 个 ,李园 1 个) ,林地 6 个 ,抛荒地 5 个。每一采样点在直径  $100\text{ m}$  的范围内选择 3 ~ 5 个点 ,取  $0 \sim 20\text{ cm}$  ,  $20 \sim 40\text{ cm}$  ,  $40 \sim 60\text{ cm}$  ,  $60$

~80 cm 80~100 cm 层的土样分别混和 ,按照四分法每层取分析样品 1.5 kg。采样时间为 2005 年 7 月~9 月 ,这段时间 ,北京地区降雨集中 ,作物基本进入收获阶段 ,土壤中的氮、磷遗留在土壤中 ,淋溶进入土壤深层的危害最大。

1.3 土壤样品分析

土壤采回以后 ,装入塑料袋 ,放入冰箱 ,在 0~4℃ 保存。测定之前取出风干。风干后 ,过 1 mm 筛测定土壤 pH ( $m_{\text{水}}:m_{\text{土}}=5:1$ ) 硝态氮 (酚二磺酸比色法) 、速效磷 (Olsen-P 法) ,过 100 目筛测定有机质 (重铬酸钾-硫酸亚铁法) ,土壤全氮 (半微量凯氏法) 、全磷 (硫酸-高氯酸消解后钼锑抗比色法) 。

数据统计分析应用 SPSS 与 EXCEL 软件。

2 结果与讨论

2.1 不同土地利用类型下氮、磷在土壤剖面中的分布

图 1 至图 6 分别表示了在不同的土地利用类型下 ,土壤剖面中 pH、有机质、速效磷、全磷、硝态氮、全氮的含量。总体而言 ,表层土壤受土地利用影响 ,性质差别较大 ,尤以菜地土壤 ,pH 为 8.01 低于其他类型土壤的平均值 8.27 ,有机质、速效磷、全磷、硝态氮、全氮都高于其他类型的土壤 ,分别是其他类型土壤的 110%~198% ,355%~1629% ,162%~224% ,724%~1540% ,130%~248%。随着土层深度的加深 ,土壤性质差异变得不明显 ,80~100 cm 处 ,不同土地利用类型的土壤 ,土壤性质间的差异远小于土壤表层。

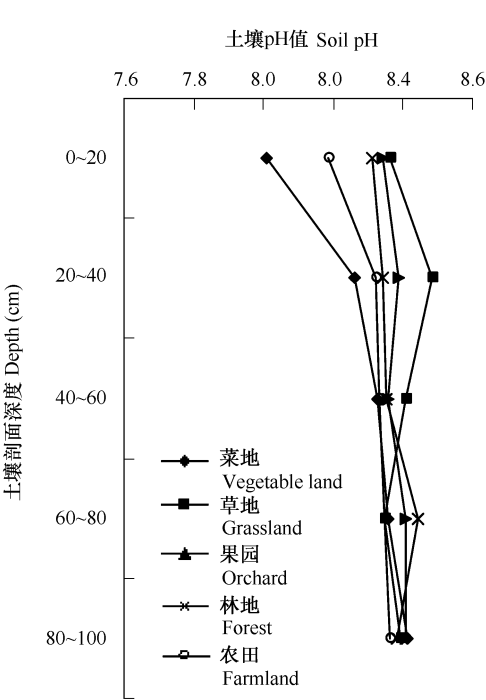


图 1 不同土地利用类型下土壤剖面的 pH 值  
Fig. 1 pH of soil profile under different landuse

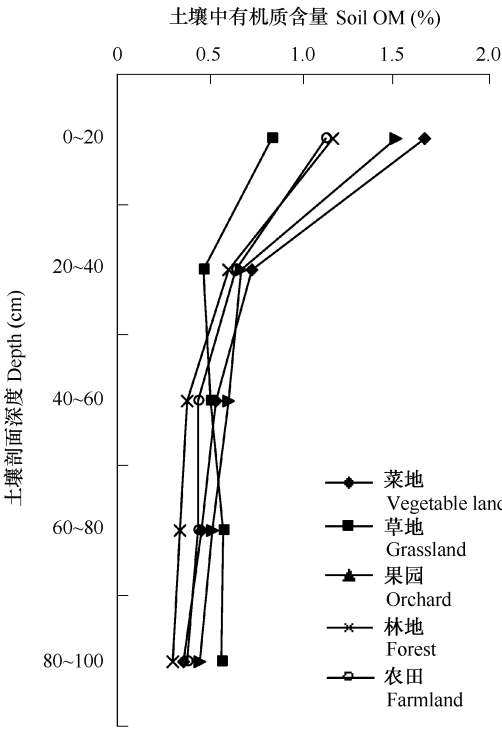


图 2 不同土地利用类型下土壤剖面中有机质含量  
Fig. 2 OM of soil profile under different landuse

草地、果园、林地土壤剖面的 pH 值沿深度变化不大 ,在 8.31~8.40 间波动。农田和菜地的 pH 值从表层向深层增加 ,菜地从 8.01 升至 8.40 ,农田从 8.18 升至 8.38。在 80~100 cm 处 ,由于受土地利用影响小 ,44 处土壤 pH 值为  $8.38 \pm 0.06$  ,不同类型的土地利用土壤组间 *T* 检验无差异。从图 2 可以看出 ,土壤有机质都随着剖面深度下降 ,有机质主要集中在 0~20 cm 土壤表层 ,从菜地、果园、林地、农田、草地依次降低 ,到 20~40 cm 处 ,土壤有机质含量迅速下降 ,仅为表层有机质的 44%~56%。20~80 cm 有机质变化趋缓慢 ,且各种类型土壤差异不大。

不同土地利用类型的速效磷分布差异明显 0~20 cm 土层中 ,菜地土壤中含有大量的速效磷 ,为 83.5 mg kg<sup>-1</sup> ,农田、果园、草地、林地的速效磷含量为 23.5 mg kg<sup>-1</sup>、20.0 mg kg<sup>-1</sup>、10.7 mg kg<sup>-1</sup>、5.1 mg kg<sup>-1</sup>都远低于菜地。20~40 cm 剖面中 ,除菜地含量为 34.2 mg kg<sup>-1</sup> ,其他利用类型的土壤速效磷含量组间 T 检验 ,无显著性差异 ,平均值为 5 mg kg<sup>-1</sup>左右。在 40~60 cm 剖面 ,菜地与其他利用类型的土壤在速效磷含量上仍存在显著性差异 (<0.05 ) ,平均值达到 9.88 mg kg<sup>-1</sup> ,高于其他各组平均 4.11 mg kg<sup>-1</sup>。在 60~80 cm 80~100 cm ,剖面间和不同土地利用类型组间差异都不明显 ,在 20~40 cm 40~60 cm 60~80 cm 80~100 cm 4 组不同剖面间 ,农田、果园、草地、林地的组间差异不明显。这表明 ,土壤中速效磷的向下淋溶主要发生在土壤表层速效磷含量较高的菜地 ,且淋溶深度达到 60 cm ,未发现向 60 cm 以下淋溶的情况。在其他利用类型的土壤 ,由于表层土壤速效磷含量较低 ,未发生速效磷的淋溶。土壤全磷在不同利用类型剖面的分布状况与速效磷类似 ,表层土壤中的全磷高于深层土壤中的全磷 ,菜地表层土壤中的全磷高于其他利用类型的土壤 ,达到 1.3 g kg<sup>-1</sup> ,其他利用类型土壤的表层全磷在 0.6~0.7 g kg<sup>-1</sup>。菜地全磷在 40~60 cm 处已基本与其他利用类型土壤无差异 ,含量为 0.53 g kg<sup>-1</sup> ,且 40~60 cm 60~80 cm 80~100 cm 这 3 组不同深度间的差异也无差异。

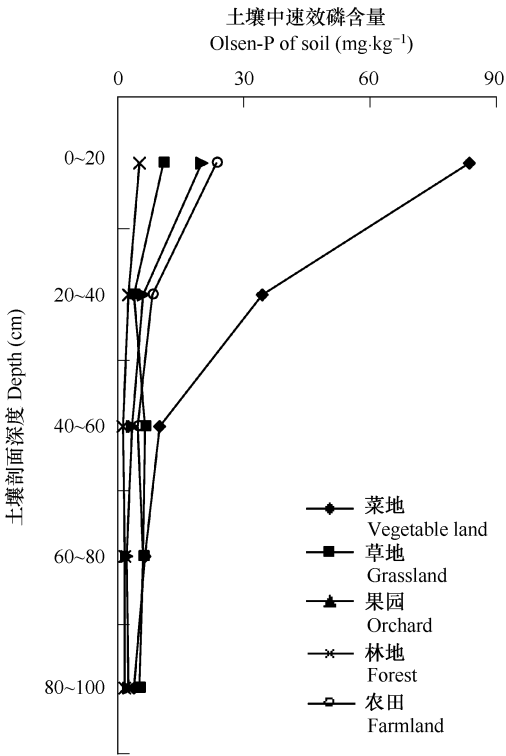


图3 不同土地利用类型下土壤剖面中速效磷含量  
Fig.3 Olsen-P of soil profile under different landuse

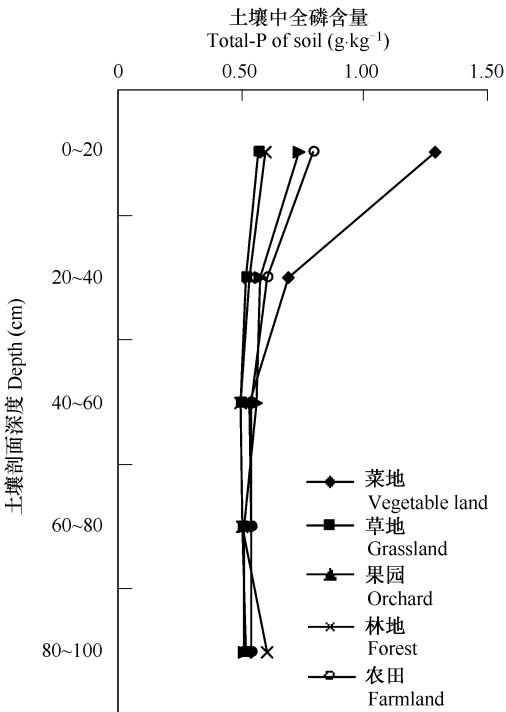


图4 不同土地利用类型下土壤剖面中全磷含量  
Fig.4 Total P of soil profile under different landuse

菜地中的硝态氮远大于其他利用类型的土壤 ,表层含量为 94.3 mg kg<sup>-1</sup> ,而在果园、农田、林地、草地的表层土壤中 ,硝态氮含量为 8.2 mg kg<sup>-1</sup>、10.1 mg kg<sup>-1</sup>、10.8 mg kg<sup>-1</sup>、5.2 mg kg<sup>-1</sup>。菜地表层的硝态氮向下淋溶 ,并在土壤剖面中积累 ,在 20~40 cm 40~60 cm 60~80 cm 80~100 cm 中的含量分别为 31.3 mg kg<sup>-1</sup> 23.1 mg kg<sup>-1</sup> 24.3mg kg<sup>-1</sup> ,18.8 mg kg<sup>-1</sup> ,其余 4 种利用类型的土壤 ,硝态氮在不同土壤剖面深度的含量 T 检验无显著差异 ,未发现淋溶现象。草地土壤剖面中硝态氮含量低于农田、果园和林地 ,总体平均为 2.8 mg kg<sup>-1</sup> ,农田土壤中硝态氮含量为 11.1 mg kg<sup>-1</sup> ,果园和林地土壤中含量分别为 9.3 mg kg<sup>-1</sup>和 9.0 mg kg<sup>-1</sup>。表层土壤全氮含量菜地 > 果园 > 农田 > 林地 > 草地 ,分别为 1.1 g kg<sup>-1</sup> 0.9 g kg<sup>-1</sup> 0.7 g kg<sup>-1</sup> 0.6 g kg<sup>-1</sup> 0.4 g kg<sup>-1</sup> ,全氮含量沿剖面深度下降 ,至 80~100 cm 处 ,各利用类型土壤全氮含量几乎相等 ,为 0.3 g kg<sup>-1</sup>。

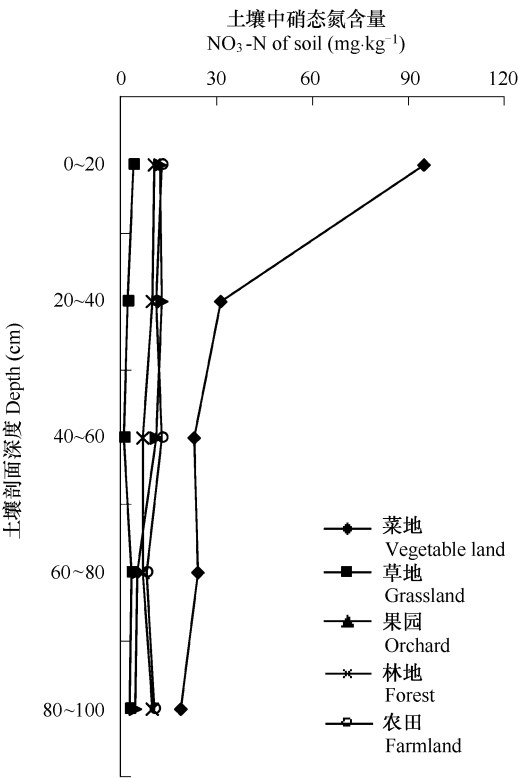


图5 不同土地利用类型下土壤剖面中硝态氮含量  
Fig.5 NO<sub>3</sub>-N of soil profile under different landuse

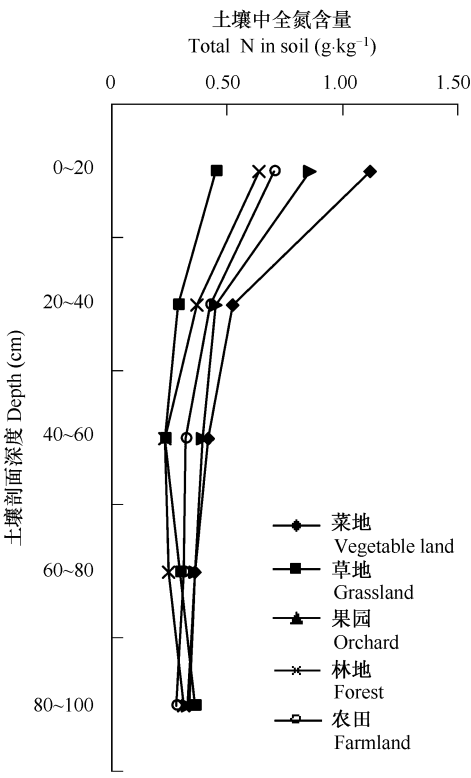


图6 不同土地利用类型下土壤剖面中全氮含量  
Fig.6 NO<sub>3</sub>-N of soil profile under different landuse

2.2 土壤剖面中 N、P 分布的影响因子分析

氮、磷在土壤剖面中的累积和淋溶受很多因素的影响,如:土壤性质(土壤质地、土体构型、土壤 pH、有机质、游离 Al、Fe 含量、土壤中氮、磷含量等)、气候因子(降水量、降水强度等)、水文地理因子(坡度、地下水位等)、农业管理因子(种植结构差异、氮磷施肥时间和方法、灌溉和耕作制度)的影响。在本研究中,采样区的土壤类型都属于潮土,采样时间也比较集中,地理因素相差不大,因此主要探讨了农业种植类型差异对土壤剖面氮、磷分布的影响。

通过对监测得到的土壤属性进行相关性分析,发现土壤属性间都存在着较好的线性相关性(结果见表 1)。这可能由于长期的耕作,使得这些土壤属性更多的受到人类活动的影响,从而表现出了相对一致的变化规律。

表 1 土壤性质间的相关系数

Table 1 The relationship between the properties of soil samples						
项目 Item	pH pH	有机质 SOM	速效磷 Olsen P	全磷 Total P	硝态氮 NO <sub>3</sub> -N	全氮 Total N
pH	1	-0.407 *	-0.470 *	-0.481 *	-0.608 *	-0.414 *
有机质 SOM		1	0.436 *	0.568 *	0.404 *	0.952 *
速效磷 Olsen P			1	0.866 *	0.797 *	0.534 *
全磷 Total P				1	0.718 *	0.659 *
硝态氮 NO <sub>3</sub> -N					1	0.526 *
全氮 Total N						1

\* 在 0.01 水平上显著相关 significant at the 0.01 level

多元逐步线性回归分析可以进行因素筛选,有助于从大量因素中筛选出对某一现象作用显著的因素和因

素组 ,建立一个自变量个数较少的多元线性回归方程 ,可用于描述某些自变量与某一因变量的数量关系。硝态氮和速效磷作为氮、磷向下淋溶的主要形态 ,比较容易受土壤性质的影响。对土壤剖面样品 ,以硝态氮为因变量 ,pH 值、有机质和土壤全氮含量为自变量 ,以速效磷为因变量 ,pH 值、有机质和土壤全磷为自变量做多元逐步线性回归 (Backward 法) 。分析结果显示以硝态氮为因变量 ,pH 、有机质和土壤全氮与硝态氮存在显著线形相关 ,而以速效磷为因变量 ,pH、有机质被移出线形回归方程 ,具体结果见表 2、表 3。

以硝态氮为因变量 ,土壤 pH、有机质和全氮对硝态氮的含量都有影响 ,相关系数为 0. 758 , $P < 0. 001$ 。以速效磷为因变量 ,pH 值和有机质被排除在影响因素外 ,土壤中全磷对速效磷的含量有显著的影响 ,相关系数为 0. 866 , $P < 0. 001$ 。线性回归的结果表明 ,土壤表层的硝态氮与土壤 pH、有机质和全氮都存在显著的相关性 ,且土壤中硝态氮与全氮为正相关 ,与 pH 值和土壤有机质成负相关。硝态氮含量与 pH 成负相关的原因很可能是施肥造成的 ,大量施用生理酸性氮肥一方面造成土壤 pH 的降低 ,另一方面导致土壤硝态氮含量的升高。而土壤表层中全磷是影响速效磷含量的主要因素 ,呈显著性正相关。

农业土地利用形态对土壤中氮、磷残留的影响比较复杂 ,前人从不同角度做了一些工作。张丽娟等比较了两种作物对土壤不同层次标记的硝态氮的利用状况 ,由于菠菜的吸氮能力强于小麦 ,对土壤中累积硝态氮的利用率要高于小麦<sup>[12]</sup>。周顺利等分析了种植冬小麦和夏玉米的农田的土壤硝态氮时空变异情况 ,不科学的氮肥管理和过量施肥 ,是导致农田中氮积累的重要原因<sup>[13,14]</sup>。菜地、果园、农田、林地、草地的土壤剖面氮、磷积累量从多到少 ,与其他学者所调查的不同种植制度的肥料投入大致为同一顺序<sup>[15,16]</sup>。前人的研究表明 ,磷素在土壤剖面中的积累还未见报告 ,在此次调查发现 ,菜地土壤表层中的速效磷含量已大于一些文献中提出的临界指标 ( $57\text{ mg kg}^{-1}$ ) ,并向下淋溶<sup>[7]</sup> ,在 0 ~ 60 cm 剖面处累积。

3 结论

表层土壤受人类农业活动的影响 ,不同利用类型的土壤性质差别较大 ,且在 20 ~ 40 cm 剖面的土壤中的有机质、速效磷、全磷、硝态氮、全氮等含量都有大幅的下降。深层土壤受人类活动影响较小 ,在 80 ~ 100 cm 剖面处各种类型土壤性质差别不大 ,但菜地 80 ~ 100 cm 的硝态氮仍高于其他类型土壤多倍 ,这因为硝态氮本身迁移能力较强 ;与硝态氮相比 ,速效磷的积累在 60 ~ 80 cm 就已经不明显 ,这与磷元素在土壤中的迁移能力较弱有关。

值得注意的是 ,菜地中的有机质、硝态氮、全氮、速效磷、全磷的含量都远大于其他四种土地利用类型的土壤 ,存在严重的硝态氮淋溶问题 ,且速效磷亦有淋溶情况。土壤表层全磷和全氮有着很好的线性相关 ,这与近年来推广氮磷钾平衡施肥有较大关系。因此 ,在农业生产中 ,为了控制农业面源污染 ,不仅需要平衡施肥 ,更要控制施肥的总量。

References :

[1] Ju Z T , Zhang F S. Nitrate accumulation and its implication to environment in north China. Ecology and Environment , 2003 , 12 : 24 — 28.

表 2 以硝态氮为因变量 ,pH、有机质、全氮为自变量的多元线性回归

Table 2 The multiple linear regression between NO<sub>3</sub> and pH , SOM , Total N

项目 Item	相关系数 R	系数 B	T	P
全氮、有机质、pH Total N , SOM , pH	0. 758	—	72. 3	<0. 001
常数 Constant	—	503	8. 45	<0. 001
有机质 SOM	—	-60. 6	-8. 61	<0. 001
pH	—	503	-6. 59	<0. 001
全氮 Total N	—	119	8. 17	<0. 001

表 3 以速效磷为因变量 ,pH、有机质、全氮为自变量的多元线性回归

Table 3 The multiple linear regression between Olsen-P and pH , SOM , Total P

项目 Item	相关系数 R	系数 B	T	P
全磷 Total P	0. 866		487	<0. 001
常数 Constant	—	-47. 9	-16. 8	<0. 001
全磷 Total P	—	98. 3	22. 1	<0. 001

[2 ] Lu J L. Phosphorus leaching from agricultural soils and its prediction. *Acta Ecologica Sinica* ,2003 23 2689 — 2701.

[3 ] Sims J T ,Simard R R ,Joern B C. Phosphorus loss in agricultural drainage :Historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality* ,1998 ,27 :277 — 293.

[4 ] McDowell R W ,Sharpley A N. Approximating phosphorus release from soils to surface runoff and subsurface drainage. *Journal Environmental Quality* ,2001 ,30 508 — 520.

[5 ] Wang C R ,Hu Z Y ,Yang L Y ,*et al.* Risk of phosphate leaching loss from soil of vegetable plot in the typical region of Taihu Lake. *Acta Scientiae Circumstantiae* ,25 76 — 80.

[6 ] Eghball B ,Binford G D ,Baltensperger D D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application. *Journal Environmental Quality* ,1996 27 267 — 277.

[7 ] Kleinman P J A ,Needelman B A ,Sharply A N ,*et al.* Using soil phosphorus profile data to assess phosphorus leaching potential in manured soils. *Soil Science Society of America Journal* ,2003 ,67 215 — 224.

[8 ] Liu H B ,Li Z H ,Zhang Y G ,*et al.* Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing. *Scientia Agricultura Sinica* ,2004 ,37 692 — 698.

[9 ] Gao C ,Zhang T L ,Wu W D. Phosphorus sorption and desorption of agricultural soils under different landuse. *Environmental Science* ,2001 ,22 : 67 — 72.

[10 ] Kong X ,Zhang F ,Wei Q ,*et al.* Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of North China. *Soil and Tillage Research* ,In Press , Available online 24 August 2005.

[11 ] Rhoads A L ,Newton R M ,Pufall A. Influences of land use on water quality of a diverse new England watershed. *Environmental Science and Technology* ,2001 ,35 3640 — 3645.

[12 ] Zhang L J ,Ju X T ,Gao Q ,*et al.* Recovery of labeled nitrate-N in different soil layers by two kind of crops. *Scientia Agricultura Sinica* ,2005 ,38 ( 2 ) 333 — 340.

[13 ] Zhou S L ,Zhang F S ,Wang X R. The spatio-temporal variation of soil NO<sub>3</sub>-N and apparent budget of soil Nitrogen I . Winter wheat. *Acta Ecologica Sinica* ,2001 ,11 1782 — 1789.

[14 ] Zhou S L ,Zhang F S ,Wang X R. The spatio-temporal variation of soil NO<sub>3</sub>-N and apparent budget of soil Nitrogen II . Summer Maize. *Acta Ecologica Sinica* ,2002 ,1 48 — 53.

[15 ] Liu H B. Influence of fertilization on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -N accumulation and pollution in soil and groundwater of Beijing rural area. Beijing :Dissertation of Ph. D. Chinese Agricultural Academic Science ,2002.

[16 ] Gao C ,Zhu J J ,Zhu J G ,*et al.* Phosphorus exports via overland runoff under different land uses and their seasonal pattern. *Acta Scientiae Circumstantiae* ,2005 ,25 ( 11 ) 1543 — 1549.

[17 ] Heckrath G ,Brookes P C ,Poulton P R ,*et al.* Phosphorus leaching from soil containing different phosphorus concentration in the Broadbalk experiment. *Journal Environmental Quality* ,1998 ,24 904 — 910.

参考文献：

[1 ] 巨晓棠,张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响. *生态环境* ,2003 ,12 ( 1 ) 24 ~28.

[2 ] 吕家珑. 农田土壤磷素淋溶及其预测. *生态学报* ,2003 ,23 ( 12 ) 2689 ~2701.

[5 ] 王彩绒,胡正义,杨林章,等. 太湖典型地区蔬菜地土壤磷素淋失风险. 2005 ,*环境科学学报* ,25 ( 1 ) 76 ~80.

[8 ] 刘宏斌,李志宏,张云贵,等. 北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征. *中国农业科学* ,2004 ,37 ( 5 ) 692 ~698.

[9 ] 高超,张桃林,吴蔚东. 不同利用方式下农田土壤对磷的吸持与解吸特征. *环境科学* ,2001 ,22 ( 4 ) 67 ~72.

[12 ] 张丽娟,巨晓棠,高强. 两种作物对土壤不同层次标记硝态氮利用的差异. *中国农业科学* ,2005 ,38 ( 2 ) 333 ~340

[13 ] 周顺利,张福锁,王兴仁. 土壤硝态氮时空变异规律与土壤氮素表现盈亏研究 I . 冬小麦. *生态学报* ,2001 ,11 ( 11 ) 1782 ~1789.

[14 ] 周顺利,张福锁,王兴仁. 土壤硝态氮时空变异规律与土壤氮素表现盈亏研究 II . 夏玉米. *生态学报* ,2002 ,1 ( 1 ) 48 ~53.

[15 ] 刘宏斌. 施肥对北京市农田土壤硝态氮积累与地下水污染的影响. 北京 :中国农业科学院博士学位论文,2002.

[16 ] 高超,朱继业,朱健国,等. 不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节分布特征. *环境科学学报* ,2005 ,25 ( 11 ) 1543 ~1549.