

农村土地利用方式对嘉兴土壤氮磷含量及其垂直分布的影响

罗春燕¹, 张维理², 雷秋良², 林超文¹

(1.四川省农业科学院土壤肥料研究所, 四川 成都 610066; 2.中国农科院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要:为了探讨农村不同土地利用方式对土壤氮磷含量的影响,采用现场采样及室内分析测试方法,对嘉兴市水稻田、菜地、果园、畜禽养殖、农村庭院5种土地利用方式下的土壤氮、磷及其垂直分布进行了比较研究,结果表明:(1)不同农村土地利用方式土壤中TN、TP、Olsen P含量均呈自上层向下层逐渐降低的趋势。(2)在不同土地利用方式下,0~40 cm土层土壤TN含量差异显著,而40~80 cm土层土壤TN含量差异不大。(3)在不同土地利用方式下,0~80 cm各土层土壤TP、Olsen P含量的差异均显著。在0~80 cm土壤剖面中,养殖场、庭院、果园、菜地土壤TP平均含量分别为水田土壤的4.0、2.1、1.9、1.8倍;土壤Olsen P平均含量分别为水田土壤的35.5、10.6、10.0、4.4倍。

关键词:农村土地利用方式;垂直分布;速效磷;全氮;全磷

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)10-2098-06

Effects of Rural Land Uses on Contents and Vertical Distribution of Nitrogen, Phosphorus in the Soil Profile in Jiaxing Region

LUO Chun-yan¹, ZHANG Wei-li², LEI Qiu-liang², LIN Chao-wen¹

(1.Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 2.Agricultural Resource and Regional Planning Institute, CAAS; Key Laboratory of Plant Nutrition and Nutrient Cycling, MON, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to investigate contents and vertical distribution of nitrogen, phosphorus in the soil profile as affected by rural land uses, soil samples were collected at soil depths of 0~5, 5~20, 20~40, 40~60 and 60~80 cm from the fields of paddy rice, vegetables, fruit orchards, live-stock farms and rural courtyards in Jiaxing region. Results showed that the contents of total nitrogen(TN) and total phosphorus(TP), and the concentration of Olsen P were decreased with a decrease in soil depths down the soil profile. The soil TN differed significantly at 0~40 cm but tended to become similar at 40~80 cm. The TP and Olsen P in the soil profile, however, varied significantly with land uses. The average content of TP in the whole soil profile of vegetables, fruit orchards, livestock farms and rural courtyards was 4.0, 2.1, 1.9 and 1.8 times of that in the paddy rice soil profile, while the Olsen P in the whole soil profile of livestock farms, rural courtyards, fruit orchards and vegetables was 35.5, 10.6, 10.0 and 4.4 times of that in paddy field rice profile, respectively.

Keywords: rural land uses; vertical distribution; total nitrogen; Olsen P; total phosphorus

近年来水体富营养化问题使得人们对土壤氮磷养分的关注已超出原来单纯的农学效应,其环境意义备受重视^[1-3]。土壤氮磷的流失已成为不可忽视的非点源污染^[4-5]。不同的土地利用方式,在养分管理、养分循环或养分平衡上有很大的差异^[6-7]。长期过量施入有机

肥或化肥会使表层土壤氮磷富集,增大氮磷的径流流失风险,同时增大氮磷发生垂向迁移的可能性,污染地表和地下水。Graetz D A^[8]对畜禽养殖场剖面土壤磷含量的研究表明,从土壤剖面A层到Bw层,集约化养殖场土壤总磷或速效磷含量均显著高于自然土壤。研究表明我国菜地和果园土壤在表层和深层都出现氮磷累积的现象^[8-11],而对农村庭院用地土壤氮磷研究较少。在南方水网地区,农村生活污水随意倾倒在庭院中或直接排入沟渠或河道的现象普遍,垃圾也到处堆放。了解农村庭院用地土壤氮磷含量状况,可为

收稿日期:2009-04-06

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAD05B03);国家“863”计划(2006AA10Z270)

作者简介:罗春燕(1980—),女,四川南充人,博士,主要从事农业资源与环境研究。E-mail:lcy407@tom.com

通讯作者:林超文 E-mail:linchaowen2002@yahoo.com.cn

农村生活废水和垃圾的管理提供科学依据。

1990 年以来,我国越来越多的农业用地转化为畜禽养殖、果园、菜园基地和农村庭院用地,以嘉兴市为例,在 1990 到 2005 年间,果园面积从 253.3 hm² 增加到 2 401.0 hm²,增加了 326.3%,而菜地由 4 860 hm² 增加到 2 3510 hm²,增加了 176.8%,农村人口由 52.5 万增加到 56.4 万,增加了 7.0%;肉猪年出栏数从 55.96 万头增加到 98.4 万头,增加了 76.9%。

本研究在嘉兴选择 20 年以上的水稻田、10 年以上的蔬菜地、4 年左右的果园、4~20 年的畜禽养殖场用地(包括养殖场内菜地或露天畜禽活动场地)、农村庭院用地(主要是农村房屋前后倾倒垃圾或洗衣废水处的庭院用地)5 种农村土地利用方式,研究 0~80 cm 剖面中土体 TN、TP、Olsen P 含量,主要目的是研究农村土地利用方式对土壤养分含量及垂直分布的影响,为农村非点源污染控制提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

嘉兴市位于浙江省东北部、长江三角洲杭嘉湖平原腹心地带。市境介于东经 120°18′至 121°16′与北纬 30°21′至 31°2′之间,东临大海,南倚钱塘江,北负太湖,西接天目苕溪,大运河贯穿境内,地势低平,平均海拔 3.7 m。嘉兴市被纵横交错的塘、浦、河、渠所分隔,田、地、水交错分布,地下水位埋深浅,经对嘉兴 24 个农田点位在大于 15 mm·24 h⁻¹ 或 20 mm·48 h⁻¹ 降水后进行的监测结果表明,汛期和非汛期分别有 92% 和 71% 的农田平均地下水位小于 0.3 m^[12],气候属东亚季风区,年平均气温 15.9 ℃,多年平均降水量 1 168.6 mm。

1.2 样品采集及土壤化学性质分析

在每个采样点用土钻分层采样,分别采取 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 土层的土样,每层 5 点混合的方式采集混合样,共计 36 个采样点,178 个样品(部分点位土层不足 80 cm 厚)。

土壤样品风干后一部分过 2 mm 筛,用于测定 Olsen P 含量;一部分过 0.28 mm 筛,用于测定全氮和全磷。TN 采用浓硫酸消煮-半微量开氏法,Olsen P 采用 0.5 mol·L⁻¹NaHCO₃ 提取-钼锑抗比色法,TP 采用 HClO₄-H₂SO₄ 消煮-钼锑抗比色法^[13]。

1.3 统计分析方法

采用 SPSS 统计分析软件对测量数据进行预分析,采用 ANOVA 分析在 $\alpha=0.05$ 显著水平上检验各处理间差异,采用 LSD 法在 $\alpha=0.05$ 显著水平进行多重比较。

2 结果分析

2.1 农村土地利用方式对土壤 TN 含量及分布的影响

从表 1 可看出,不同农村土地利用方式下,0~80 cm 剖面土壤 TN 平均值的大小顺序为养殖场>果园>庭院>水田>菜地,并且养殖场 TN 含量显著高于水稻和菜地土壤中 TN 含量。养殖场土壤除 60~80 cm 土层土壤 TN 含量低于庭院用地的外,其余土层均高于其他土地利用方式的土壤 TN 含量。菜地土壤除 60~80 cm 土层土壤 TN 含量略高于水稻田 TN 含量,其余土层均低于其他土地利用方式的土壤 TN 含量。不同土地利用间土壤 TN 含量的差异主要表现在 0~40 cm,在 40~80 cm 土层差异不显著。在 0~5 cm 土层中,养殖场土壤 TN 含量显著高于水田和菜地土壤 TN 含量,而水田和菜地间差异不显著,养殖场、果园、庭院

表 1 不同农村土地利用方式下土壤 TN 含量及其垂直分布情况(g·kg⁻¹)

Table 1 Effects of agricultural land-use on soil TN concentrations and the vertical distributions(g·kg⁻¹)

土层 Soil layer/cm	土地利用方式 Land use					平均值(n=36)
	水田(n=11)	菜地(n=7)	果园(n=3)	养殖场(n=11)	庭院(n=4)	
0~5	2.81(0.15)bA	2.68(0.24)bA	3.36(0.18)abA	4.93(0.67)aA	3.80(0.89)abA	3.59(0.28)A
5~20	2.30(0.15)abAB	2.18(0.20)abB	3.04(0.09)aA	2.81(0.31)abB	1.90(0.28)bB	2.45(0.13)B
20~40	1.56(0.18)abBC	1.21(0.13)bC	2.18(0.18)aB	1.71(0.18)abC	1.21(0.13)bB	1.55(0.09)C
40~60	0.79(0.10)aC	0.66(0.1)aD	0.85(0.15)aC	1.21(0.29)aC	0.99(0.10)aB	0.92(0.10)D
60~80	0.56(0.02)aC	0.57(0.08)aD	0.42(0.05)aC	1.02(0.24)aC	1.57(0.94)aB	0.91(0.18)D
平均值	1.34(0.10)b	1.21(0.1)b	1.65(0.10)ab	1.82(0.23)a	1.54(0.31)ab	1.51(0.09)

注:每列中大写字母表示土层深度间的差异,每行中小写字母表示不同土地利用方式间的差异,大(小)字母不同者表示差异显著($P<0.05$),括号内值为标准误,平均值为养分含量的加权平均,下同。

Different small letters in the same row meant significant difference and 0.05 level. Different capital letters in the same column meant significant difference at 0.05 level(Standard errors of means in parentheses).The average is weighted average value, and the same is used for other tables.

用地土壤 TN 含量分别是水田土壤的 1.8、1.2、1.4 倍;在 5~20 cm 土层中,果园中的 TN 含量显著高于庭院土壤中 TN 含量,养殖场、果园土壤 TN 含量分别是水田土壤的 1.2、1.3 倍;在 20~40 cm 土层中果园土壤 TN 含量显著高于菜地和庭院用地。

从表 1 还可看出,土壤 TN 含量从剖面自上而下呈逐渐降低的趋势,除 40~60 cm 和 60~80 cm 差异不显著外,各层次间差异显著。这与陆安祥等^[14]在北京市东南郊大兴区的研究结果基本一致。

在水稻田土壤中,0~5 cm、5~20 cm 土层中 TN 含量显著高于 40~80 cm 土层中 TN 含量;20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 土层间土壤 TN 含量差异不显著。在蔬菜地土壤中,0~5 cm 土层中 TN 含量显著高于 5~80 cm 土层 TN 含量;5~20 cm 土层 TN 含量显著高于 20~80 cm 土层 TN 含量,20~40 cm 土层 TN 含量显著高于 40~80 cm 土层 TN 含量。在果园土壤中,0~5 cm、5~20 cm 土层中 TN 含量显著高于 20~80 cm 土层 TN 含量。养殖场、庭院用地土壤中,0~5 cm 土层中 TN 含量显著高于 20~80 cm 土层 TN 含量。

2.2 农村土地利用方式对土壤 TP 和 Olsen P 含量及分布的影响

从表 2 可看出,在 0~80 cm 土层中,不同土地利用方式下土壤 TP 平均含量的大小顺序为养殖场>庭院用地>果园>菜地>水田,并且养殖场土壤 TP 含量显著高于其他土地利用方式。在各层土壤中,养殖场土壤的 TP 含量在研究的 5 种土地利用方式中最高,而庭院用地除 5~20 cm 土壤 TP 含量略低于菜地土壤外,其他各土层土壤 TP 含量均高于果园、菜地和水田土壤,为土壤 TP 含量次高的土地利用类型。水田土壤 TP 含量在 0~80 cm 各土层中均低于其他土地利用方式,为土壤 TP 含量最低的土地利用类型。菜地与果园土壤 TP 含量,除在 0~5 cm 土层果园高于菜地外,5 cm 以下各层差异不大,这两种土地利用方式的

土壤 TP 含量为中等水平。

从表 2 还可以看出,在 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 土层中,养殖场土壤 TP 含量分别为水田相应土层的 6.05、3.72、3.64、3.28、2.40 倍;庭院用地土壤 TP 含量分别为水田相应土层的 3.03、2.06、1.98、1.70、1.36 倍;果园土壤 TP 含量分别为水田相应土层的 3.12、2.00、1.42、1.09、1.14 倍;菜园土壤 TP 含量分别为水田相应土层的 2.21、2.14、1.39、1.23、1.14 倍。养殖场土地利用方式下,0~5 cm 土层土壤 TP 含量高达 $4.51 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,即使在 60~80 cm 深层土壤中 TP 含量也有 $1.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,高于水田 0~5 cm 土层土壤 TP 含量,表明养殖场土壤磷素不仅在表层大量累积,在 40~80 cm 深层也出现累积现象。庭院用地除 0~5 cm、5~20 cm 土壤与果园和菜地相应土层土壤 TP 含量相近外,在 40~60 cm、60~80 cm 土层土壤 TP 含量均高于后两者。

总体来看,TP 含量从剖面自上而下呈逐渐降低的趋势。土壤剖面 TP 含量的差异主要表现在 0~5 cm、5~20 cm 土层间以及该两层土壤与 40~80 cm 土层间,而 20~80 cm 土层间差异不显著。水稻田 0~5 cm 土层与 20~80 cm 土层土壤 TP 含量差异显著,而与 5~20 cm 土层间差异不显著;菜地土壤 0~5 cm、5~20 cm 土层间土壤 TP 含量差异不显著,但均显著高于 20~80 cm 土层。果园与庭院土壤中,0~5 cm 土层均与 5~80 cm 土层土壤 TP 含量差异显著,5~20 cm 土层与 40~60 cm 土层 TP 含量差异显著。养殖场 0~5 cm 土层与 5 cm 以下各土层土壤 TP 含量差异均显著。

从表 3 可以看出,在 0~80 cm 土层中,土壤 Olsen P 平均含量的大小顺序为养殖场>庭院用地>果园>菜地>水田,并且养殖场土壤 Olsen P 含量显著高于其他土地利用方式。养殖场 0~5 cm、40~60 cm 土层土壤 Olsen P 含量显著高于其他土地利用方式。在 20~40 cm 土层,不同农村土地利用方式下的土壤 Olsen P 含

表 2 不同农村土地利用方式下土壤 TP 含量及其垂直分布情况($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 2 Effect of agricultural land-use on soil TP concentrations and the vertical distributions($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

土层 Soil layer/cm	土地利用方式 Land use					
	水田(n=11)	菜地(n=7)	果园(n=3)	养殖场(n=11)	庭院(n=4)	平均值(n=36)
0~5	0.75(0.11)bA	1.65(0.22)bA	2.33(0.47)bA	4.51(0.85)aA	2.26(0.38)bA	2.37(0.37)A
5~20	0.63(0.10)aAB	1.36(0.22)aA	1.27(0.18)aB	2.36(0.67)aB	1.31(0.15)aB	1.43(0.23)B
20~40	0.42(0.10)aB	0.58(0.22)aB	0.6(0.18)aBC	1.54(0.67)aB	0.84(0.15)aBC	0.85(0.23)BC
40~60	0.37(0.03)bB	0.45(0.05)bB	0.40(0.03)bC	1.21(0.16)aB	0.63(0.06)bC	0.67(0.08)C
60~80	0.43(0.01)bB	0.49(0.03)abB	0.49(0.07)abC	1.03(0.15)aB	0.58(0.05)abC	0.73(0.08)C
平均值	0.47(0.04)b	0.74(0.05)b	0.75(0.08)b	1.67(0.28)a	0.90(0.07)b	0.96(0.12)

表 3 不同农村土地利用方式下土壤 Olsen P 含量及其垂直分布情况($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 3 Effect of agricultural land-use on soil Olsen P concentrations and the vertical distribution($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土层 Soil layer/cm	土地利用方式 Land use					
	水田($n=11$)	菜地($n=7$)	果园($n=3$)	养殖场($n=11$)	庭院($n=4$)	平均值($n=36$)
0~5	12.58(3.58)bA	65.89(15.12)bA	230.16(15.19)bA	557.10(125.34)aA	168.89(31.27)bA	224.83(53.83)A
5~20	9.23(2.81)bAB	49.99(10.34)bA	70.11(6.42)bB	247.12(69.19)aB	95.20(8.29)abB	104.47(26.45)B
20~40	3.06(0.59)aB	9.80(3.81)aB	19.78(10.90)aC	171.14(67.13)aB	46.55(10.82)aC	61.95(23.45)B
40~60	2.03(0.32)bB	3.30(0.65)bB	3.40(0.66)bC	110.05(31.20)aB	22.03(4.77)bC	37.65(12.34)B
60~80	3.23(0.03)bB	4.14(0.68)bB	3.16(0.56)bC	70.05(16.38)aB	13.39(5.14)abC	34.39(9.58)B
平均值	4.60(0.88)b	17.80(3.04)b	34.11(3.71)b	168.97(45.09)a	48.90(3.18)b	64.77(17.88)

量差异不显著。养殖场 60~80 cm 土层土壤 Olsen P 含量显著高于水稻田、菜地、果园土壤,而与庭院土壤差异不显著。养殖场 60~80 cm 土层土壤 Olsen P 含量平均高达 $70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别是水田、菜地、果园相应土层的 21.7、16.9、22.2 倍,庭院土壤 60~80 cm 土层 Olsen P 含量也较高,分别是水田、菜地、果园的 4.15、3.23、4.24 倍,表明养殖场和庭院土壤 Olsen P 在 60~80 cm 土层大量累积。

与水田土壤相比,菜地、果园、养殖场、庭院用地各土层土壤 Olsen P 含量均较高。在 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 土层中,养殖场土壤 Olsen P 含量分别为水田相应土层的 44.3、26.8、56.0、54.3、21.7 倍;庭院用地土壤 Olsen P 含量分别为水田相应土层的 13.4、10.3、15.2、10.9、4.1 倍;果园土壤 Olsen P 含量分别为水田相应土层的 18.3、7.6、6.5、1.7、1.0 倍;菜园土壤 Olsen P 含量分别为水田相应土层的 5.2、5.4、3.2、1.6、1.3 倍。

从表 3 还可以看出,Olsen P 含量从剖面自上而下呈逐渐降低的趋势。0~5 cm 土层 Olsen P 含量显著高于 5~80 cm 土层,而 5~80 cm 各土层间差异不显著。不同土地利用方式下,各土层间土壤 Olsen P 含量的差异与 TP 规律类似。

土壤 Olsen P 占 TP 的比例如表 4 所示。0~5 cm

土层中 Olsen P 占 TP 的比例范围为 1.37%~11.18%,不同土地利用方式下其大小顺序为养殖场>果园>庭院用地>菜地>水田,并且养殖场和果园土壤 Olsen P 占 TP 的比例显著高于水田和菜地的。5~20 cm 土层中 Olsen P 占 TP 的比例范围是 1.19%~9.30%,不同土地利用方式下其大小顺序为养殖场>庭院用地>果园>菜地>水田,并且养殖场和果园土壤 Olsen P 占 TP 的比例显著高于水田和菜地的。20~80 cm 各土层中 Olsen P 占 TP 的比例,不同土地利用方式的大小顺序与 5~20 cm 土层的规律基本一致,其中 20~40 cm 土层养殖场和庭院用地的显著大于其他 3 种土地利用方式的;60~80 cm 土层养殖场的显著高于其他 4 种土地利用方式的。

3 讨论

土壤氮、磷养分是自然因子和人为因子共同作用的结果。土地利用方式作为人类利用土地各种活动的综合反映,和土壤氮、磷养分有着密切的联系。本文的研究结果表明,土地利用方式对土壤氮、磷养分含量及其剖面分布均有显著影响,尤其是对 0~5 cm、5~20 cm 表层或亚表层的影响,土壤 TN、TP、Olsen P 含量在不同土地利用方式间分别相差高达 1.6、6.0、44.3 倍。土地利用方式对土壤 Olsen P 含量的影响最大,对

表 4 农村土地利用方式对土壤 Olsen P 占 TP 比例及垂直分布的影响(%)

Table 4 Effect of agricultural land-use on soil Olsen P / TP and the vertical distribution(%)

土层 Soil layer/cm	土地利用方式 Land use					
	水田($n=11$)	菜地($n=7$)	果园($n=3$)	养殖场($n=11$)	庭院($n=4$)	平均值($n=36$)
0~5	1.37(0.24)cA	3.93(0.76)cA	10.72(2.12)abA	11.18(1.10)aA	7.85(1.55)bA	6.37(0.82)A
5~20	1.19(0.20)cdA	3.78(0.74)cA	5.62(0.48)bB	9.30(1.35)aA	7.46(0.83)abA	5.24(0.71)AB
20~40	0.70(0.08)bB	1.50(0.40)bB	2.79(1.27)bBC	8.81(2.29)aA	5.38(0.75)aAB	4.03(0.90)BC
40~60	0.55(0.10)bB	0.81(0.21)bB	0.87(0.20)bC	7.44(1.66)aA	3.42(0.63)bBC	3.05(0.71)BC
60~80	0.76(0.03)bAB	0.84(0.09)bB	0.70(0.20)bC	6.65(1.39)aA	2.20(0.68)bC	2.72(0.82)C
平均值	0.81(0.23)c	1.74(0.66)cb	2.81(0.82)cb	8.17(4.99)a	4.64(0.32)b	3.83(4.13)

TP影响次之,对TN影响相对较小,与张心昱^[9]在北京市延庆县的研究结果一致。

一般认为,施入土壤中的磷易通过吸附作用被土壤所固定,不易溶出。但在本研究中,由于养殖场、庭院、果园、菜地长期大量施入磷肥或含磷物质(洗衣粉),养殖场、庭院、果园、菜地土壤中Olsen P含量较高,在0~5 cm土层中均大于 $65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,在5~20 cm土层中也大于等于 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,养殖场60~80 cm土层土壤Olsen P含量高达 $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。大量研究认为^[10-12]Olsen P存在“临界值”、“阈值”、“警戒值”,即土壤磷素含量达到该值的时候,土壤磷素的渗漏损失迅速增加,一般认为^[15-18]Olsen P的临界值为 $50 \sim 70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在地下水位较浅时,磷容易进入水体造成污染。本研究区域农田地下水位距地表仅约0.3 m^[12],因此,本研究区域的养殖场、庭院、果园、菜地土壤均存在较高的磷素的渗漏流失风险,特别是养殖场土壤长期堆放或施用畜禽有机肥,而畜禽有机肥的 NaHCO_3 溶解磷占TP的比例高达8%~71%^[19],向下淋溶深度达到80 cm,因而通过淋溶及径流损失造成面源污染的风险很大。而水稻田0~5 cm土层土壤的Olsen P含量较低,为 $12.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,磷素流失风险较小,是环境友好的土地利用方式。

为了减少养殖场土壤中氮磷养分的累积,应将畜禽有机肥进行无害化处理,并运往缺肥区农田,或者加大对畜禽粪便的综合加工利用,大力扶持有机肥生产企业的发展,从源头促进资源的综合利用,减少养分的排放和对环境的污染。在对果园、菜地进行养分管理时,应根据果树或蔬菜的需肥规律和土壤的供养规律而进行平衡施肥,减少肥料的过量施用,减少养分在土壤中的大量累积,从而降低土壤养分流失对水体的污染风险。

4 结论

(1) 不同农村土地利用方式土壤中TN、TP、Olsen P含量均呈自上层向下层逐渐降低的趋势。

(2) 在不同土地利用方式下,0~40 cm土层土壤TN含量差异显著,而40~80 cm土层土壤TN含量差异不大。

(3) 农村土地利用方式对土壤磷素的影响不仅表现在0~20 cm表层,对20~80 cm土层也有显著影响。在0~80 cm剖面中,养殖场、庭院、果园、菜地土壤TP平均含量分别为水田土壤的4.0、2.1、1.9、1.8倍,土壤Olsen P平均含量分别为水田土壤的35.5、10.6、10.0、

4.4倍。土地利用方式对土壤磷素的影响大于对土壤氮素的影响,而对土壤Olsen P含量的影响又大于对土壤TP含量的影响。

参考文献:

- [1] 梁新强,陈英旭,李 华,等.雨强及施肥降雨间隔对油菜田氮素径流流失的影响[J].水土保持学报,2006,20(6):14-17.
LIANG Xin-qiang, CHEN Ying-xu, LI Hua, et al. Effect of rainfall intensity and rain-fertilization interval on N export by runoff in oilseed rape land[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6):14-17.
- [2] 张国林,钟继洪,曾 芳,等.土壤磷素的流失风险研究[J].农业环境科学学报,2007,26(5):1917-1923.
ZHANG Guo-lin, ZHONG Ji-hong, ZENG Fang, et al. Risk assessment on phosphorus potential loss in agricultural soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(5):1917-1923.
- [3] 谢学俭,陈晶中,宋玉芝,等.磷肥施用量对稻麦轮作土壤中麦季磷素及氮素径流损失的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(6):2156-2161.
XIE Xue-jian, CHEN Jing-zhong, SONG Yu-zhi, et al. Effects of phosphorus application rates on surface runoff losses of soil nitrogen and phosphorus during wheat season in rice-wheat rotation field[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(6):2156-2161.
- [4] 王 鹏,高 超,姚 琪,等.环太湖典型丘陵区不同土地利用下土壤磷素随地表径流迁移特征[J].农业环境科学学报,2007,26(3):826-830.
WANG Peng, GAO Chao, YAO Qi, et al. Characteristics of agricultural phosphorous losses with surface runoff under different land uses in hilly area around Taihu Lake[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(3):826-830.
- [5] 胡 艳,夏建国,吴德勇.川西山地区不同土地利用方式下土壤磷迁移特征研究[J].农业环境科学学报,2007,26(增刊):141-145.
HU Yan, XIA Jian-guo, WU De-yong. Movement of phosphorus in soils under land utilization in mountain regions in western Sichuan[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(supplement):141-145.
- [6] 林超文,涂士华,黄晶晶,等.植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响[J].生态学报,2007,27(6):2191-2198.
LIN Chao-wen, TU Shi-hua, HUANG Jing-jing, et al. The effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farm land in the purple soil area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6):2191-2198.
- [7] 陈长青,何国球,卞新民.红壤旱地不同种植模式下NPK养分动态平衡分析[J].土壤通报,2009,40(1):81-84.
CHEN Chang-qing, HE Guo-qiu, BIAN Xin-min. Nutrient dynamic and balance of different farming patterns in red soil upland[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(1):81-84.
- [8] 刘建玲,张福锁,杨奋翮,等.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, et al. Fractions of phosphorus in cultivated and vegetable soils in northern China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(2):179-186.

- [9] 张心昱, 陈立顶, 李 琪, 等. 不同农业土地利用类型对北方传统农根区土壤养分含量及垂直分布的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(2): 377-381.
- ZHANG Xin-yu, CHEN Li-ding, LI Qi, et al. Effects of agricultural land-use on soil nutrients and the vertical distribution in traditional cultivated region, Northern China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2): 377-381.
- [10] 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 Agriculturae Boreali-Sinica*, 2006, 21(4): 67-70.
- [11] 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[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 692-698.
- LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Yun-gui, et al. Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 692-698.
- [12] 张继宗. 太湖河网地区不同类型农田氮磷流失特征[D]. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2006.
- ZHANG Ji-zong. Characteristics of nitrogen and phosphorus losses from different farmlands in Tai Lake riverine area [D]. Doctoral thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2006.
- [13] 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.
- [14] 陆安祥, 赵云龙, 王纪华, 等. 不同土地利用类型下氮、磷在土壤坡面中的分布特征[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3923-3929.
- LU An-xiang, ZHAO Yun-long, WANG Ji-hua, et al. Distribution characteristics of nitrogen and phosphorus in agricultural soil profiles under different landuse[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3923-3929.
- [15] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护[J]. 磷肥与氮肥, 2003, 18(1): 4-8.
- LU Ru-kun. The phosphorus level of soil and environmental protection of water body[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2003, 18(1): 4-8.
- [16] 张焕朝, 张红爱, 曹志洪. 太湖地区水稻土磷素径流流失及其 Olsen 磷的“突变点”[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, 28(5): 6-10.
- ZHANG Huan-chao, ZHANG Hong-ai, CAO Zhi-hong. Research on phosphorus runoff losses from paddy soils in the Taihu Lake region and its Olsen-P “change-point”[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2004, 28(5): 6-10.
- [17] Hesketh N, Brookes P C. Development of a indicator for risk of phosphorus leaching[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29: 105-110.
- [18] 吕家珑, Fortune S, Brookes P C. 土壤磷溶液状况及其 Olsen 磷“突变点”研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 142-146.
- LU Jia-long, Fortune S, Brookes P C. Research on phosphorus leaching from soil and its Olsen-P shreshold volume[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(2): 142-146.
- [19] 罗春燕, 冀宏杰, 张维理, 等. 鸭粪和猪粪中易溶性磷含量特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1320-1325.
- LUO Chun-yan, JI Hong-jie, ZHANG Wei-li, et al. Readily soluble phosphorus characterization in duck and swine manures [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(4): 1320-1325.