

京郊典型农田土壤易流失氮素组分及含量特征与差异

叶 花¹, 魏 荔², 赵小蓉¹, 李贵桐¹, 林启美^{1*}

(1.中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2.北京顺义区农业科学研究所, 北京 101300)

摘 要:通过测定京郊连续冬小麦-玉米大田和不同种植年限菜地表层土壤悬浮液氮素组分及其含量,模拟测定土壤易流失氮素组分,从而为氮素高效管理提供基础数据。结果表明:菜园土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、矿质氮等指标大大高于大田土壤,且表现出明显的酸化现象。大田和菜地土壤悬浮液均含有可观的氮素:悬浮液总氮(TSN)为 124.42~355.41 mg·kg⁻¹,其中大田土壤一半左右为颗粒态氮,而菜地土壤 2/3 以上为可溶性氮;可溶性全氮(TDN)范围为 55.53~220.51 mg·kg⁻¹,其中主要是可溶性无机氮(DIN),范围为 28.00~171.92 mg·kg⁻¹,可溶性有机氮(DON)为 27.53~81.74 mg·kg⁻¹;颗粒态氮(PN)为 70.90~134.90 mg·kg⁻¹。各种氮素组分及其含量,菜地土壤远远高于大田土壤,且随着蔬菜种植时间的延长差异扩大。京郊菜地土壤氮素流失风险极大,对水体构成巨大的威胁。

关键词:冬小麦-玉米大田土壤;菜地土壤;种植年限;易流失氮素组分

中图分类号:X833 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)05-0925-05

The Characteristics of Easy-loss Nitrogen Fractions in the Soil Suspension from Typical Cropland in Beijing Suburban, China

YE Hua¹, WEI Li², ZHAO Xiao-rong¹, LI Gui-tong¹, LIN Qi-mei^{1*}

(1.College of Resource and Environment, China Agriculture University, Beijing 100193, China; 2.Agriculture Research Institute of Shunyi District, Beijing 101300, China)

Abstract: The nitrogen fractions in the soil suspension, named as easy-loss nitrogen fractions was determined in order to estimate the maximum loss capacity of nitrogen from the typical croplands in Beijing suburban, and then supply basic data for effective nitrogen management. The results showed that the soils from vegetable land (VL) contained much higher organic matter, total nitrogen, total phosphorus, Olsen-P, mineral nitrogen and low pH value, compared with the soils from the continuous winter wheat-corn land (WCL). All the soils from either VL or WCL contained considerable amount of total suspension nitrogen (TSN), ranging from 124.42 mg·kg⁻¹ to 355.41 mg·kg⁻¹. About half of TSN in WCL was particulate nitrogen (PN), but more than 2/3 in VL was dissolved nitrogen (TDN). The total dissolved nitrogen ranged from 55.53 mg·kg⁻¹ to 220.51 mg·kg⁻¹. Most of TDN was the dissolved inorganic nitrogen (DIN), ranging from 28.00 mg·kg⁻¹ to 71.92 mg·kg⁻¹. The dissolved organic nitrogen (DON) was 27.53~81.74 mg·kg⁻¹. Particulate nitrogen (PN) was 70.90~134.90 mg·kg⁻¹. All the different forms of nitrogen in soil suspension were much higher in VL than WCL. The longer cultivation of vegetable, the larger difference in the concentrations of different nitrogen components was found between VL and WCL. Our results imply very high risk of nitrogen losses from the croplands of Beijing suburban, which may produce high potential contamination to waterbody in this region.

Keywords: continuous winter wheat-corn land soil; vegetable land soils; cultivation years; easy-loss nitrogen fractions

氮素是所有生态系统最重要的营养元素,土壤氮素既是植物氮素营养的主要来源,也是水体富营养化的重要诱发元素^[1]。土壤氮素由不同组分组成,大部分

为腐殖质态氮,以有机无机复合体的形式存在,极小部分吸附在土壤胶体上或溶解在土壤水中^[2]。不同形态的氮素,不仅对植物的有效性有差异,而且从土体流失的过程也有区别^[3-4]。一般来说,溶解态氮(TDN)最容易随径流或淋溶方式流出土体,而吸附和结合于泥沙颗粒表面以无机态和有机态形式存在的颗粒态氮(PN)主要以径流方式流失^[5],这些氮素统称为易流失氮素(TSN),其中溶解态氮(TDN)包括可溶

收稿日期:2010-09-30

基金项目:“十一五”国家科技支撑项目:京津唐城市群郊区环境保育型农业系统优化技术集成与示范(2008BADA7B05)

作者简介:叶 花(1986—),女,硕士研究生,主要从事土壤氮、磷流失研究。E-mail:cauyehua@163.com

* 通讯作者:林启美 E-mail:linqm@cau.edu.cn

性无机氮(DIN)和可溶性有机氮(DON)两部分。

土壤易流失态氮组分及其含量受土地利用方式、施肥、降雨强度、作物覆盖、坡度等多种因素的影响。如菜地和旱地两种利用方式下的土壤侵蚀和径流氮流失量都大大高于竹园和板栗园^[6];与单施氮肥相比,有机肥配施氮肥能减少氮素的氨挥发损失量,但极显著地增大了氮素淋失量^[7];在不出现地表径流情况下,降雨强度越大,铵态氮和硝态氮淋失速率越快,总氮的淋失量也越大^[8];模拟降雨条件下,当流域植被覆盖度分别为 60%、40%、20%和 0 时,流域模型全氮流失量为 0.81、1.18、1.98 t·km⁻² 和 7.51 t·km⁻²^[9];室内模拟实验表明,当坡长一定时,不仅土壤侵蚀量存在一个“侵蚀临界坡度”,土壤矿质氮流失量随坡度变化也存在一个“养分流失临界坡度”^[10]。

综上所述,研究了解不同农田土壤易流失氮素组分及其含量的特征与差异,对于合理施肥,提高氮肥利用效率,减少氮素流失,保护水体环境等都具有极其重要的作用和意义。本研究从京郊小麦-玉米大田和不同种植年限的菜地采集表层土壤,分析土壤易流失氮素组分及含量,旨在了解典型农田土壤易流失氮素组分及其含量的特征,比较分析不同农田土壤易流失氮素组分及其含量的差异。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集及预处理

2009 年 3—4 月,在北京郊区选取不同种植年限的蔬菜地,用土钻随机多点采取 0~20 cm 土层土壤 22 个,其中种植年限 5 a 以下的 5 个,5~10 a 的 5 个,10~20 a 的 6 个,20 a 以上的 6 个,同时在采样地点附近采集 8 个小麦-玉米大田土壤,所采土壤质地均为沙壤土。

采集的土壤样品混合均匀后,四分法取约 200 g 样品于保温箱内,以减轻储运过程中土壤氮素组分的变化。土壤尽快过 2 mm 筛,并除去植物残体、石砾以及蚯蚓等大型动物,迅速测定土壤氮素组分,或在 4℃下存放,时间不超过 1 周。部分土壤样品室内风干后,按照分析项目的要求过筛,用于测定基础理化性质。

1.2 分析项目及方法

土壤 pH 值用 1:2.5 土水比浸提玻璃电极法测定,全氮用半微量凯氏法,全磷用 HClO₄-H₂SO₄ 消煮钼锑抗比色法,有机质用外加热重铬酸钾容量法,矿质氮为铵态氮和硝态氮之和,用 2 mol·L⁻¹ KCl 浸提

Auto Analyzer 3 流动分析仪测定(水土比 5:1),机械组成用 MS 2000 激光粒度仪测定^[11]。

土壤易流失氮素组分:由于径流悬浮液中几乎都是<0.005 mm 的土壤颗粒^[12],根据土壤颗粒沉降原理,水土比为 10:1 的悬浮液静置 90 min 后,上清液中主要是<0.005 mm 的土壤颗粒,视为径流悬浮液。称取相当于 20.00 g 风干土质量的新鲜土壤(<2 mm)于 200 mL 去离子水中(水土比 10:1),充分振荡 30 min 后,全部转移到 250 mL 的量筒中,静置 90 min 后,从量筒中部用移液管小心吸取一定量上清液。取一定量直接用碱性过硫酸钾消煮,用紫外分光光度仪测定消煮液含氮量,视为易流失总氮(TSN)。另取一定量上清液过 0.45 μm 滤膜,取一定量滤液直接用紫外分光光度仪测定 NO₃⁻-N 含量,用靛酚蓝比色法测定 NH₄⁺-N 含量,视为可溶性无机氮(DIN);另取一定量滤液用碱性过硫酸钾消煮后,用紫外分光光度法测定含氮量,视为可溶性总氮(TDN),二者的差值为可溶性有机氮(DON)。易流失总氮(TSN)与可溶性总氮(TDN)的差值为颗粒态氮(PN)。

2 结果与分析

2.1 土壤基础理化性质

表 1 的结果表明,冬小麦-玉米大田土壤的性质与菜地土壤有明显的差异,大田土壤有机质等全量指标与种植不到 5 a 的菜地土壤之间的差异比较小,有机质含量甚至十分接近;种植时间超过 5 a,二者的差异增大,有机质、全氮、全磷含量最大差异分别达到 1.13、1.06 倍和 1.74 倍。随着种植时间延长,菜地土壤 pH 值逐渐降低,从 pH7.83 降低到 pH7.18,比大田土壤降低了 0.03~0.65 个单位,种植年限越长降低的幅度越大。大田与菜地土壤的矿质氮和 Olsen-P 含量差异非常大,且种植时间越长差异越大,菜地土壤矿质氮和 Olsen-P 含量比大田土壤分别高 2.41~5.70 倍和 3.12~6.13 倍。

2.2 土壤易流失氮素组分及其含量

无论是大田还是菜地土壤悬浮液均含有可观的氮素,悬浮液中各种氮素组分及其含量,菜地土壤大大高于大田土壤,且随着蔬菜种植时间的延长差异扩大,种植 10~20 a 时差异达到最大(图 1)。菜地土壤悬浮液总氮(TSN)为 224.99~355.41 mg·kg⁻¹,是大田土壤的 1.78~2.81 倍,主要表现在可溶性全氮上,特别是可溶性无机氮(DIN)含量。菜地土壤可溶性全氮(TDN)116.94~220.51 mg·kg⁻¹,是大田土壤的 2.11~

表 1 连续冬小麦-玉米大田(WCL)和不同种植年限菜地土壤(VL)的理化性质(平均值±SD)

Table 1 Physical and chemical properties of the soils from continuous winter wheat-corn land and vegetable land with different culturing years(mean ± SD)

土壤性质 Soil parameters	大田(WCL)	不同种植年限菜地(VL)			
		<5 a	5~10 a	10~20 a	>20 a
有机质/g·kg ⁻¹	8.66±0.46	8.82±0.97	18.41±6.54	17.37±5.24	13.49±1.99
全氮/g·kg ⁻¹	1.30±0.10	1.51±0.26	2.16±0.42	2.68±0.39	1.99±0.17
全磷/g·kg ⁻¹	0.80±0.09	1.13±0.14	1.18±0.23	2.19±0.54	2.03±0.32
矿质氮/mg·kg ⁻¹	22.81±3.40	77.81±28.93	100.74±49.50	152.72±39.46	91.77±30.48
Olsen-P/mg·kg ⁻¹	37.03±17.73	160.36±68.04	152.71±53.23	226.98±35.69	215.62±20.89
pH	7.83±0.24	7.80±0.14	7.45±0.21	7.24±0.25	7.18±0.24

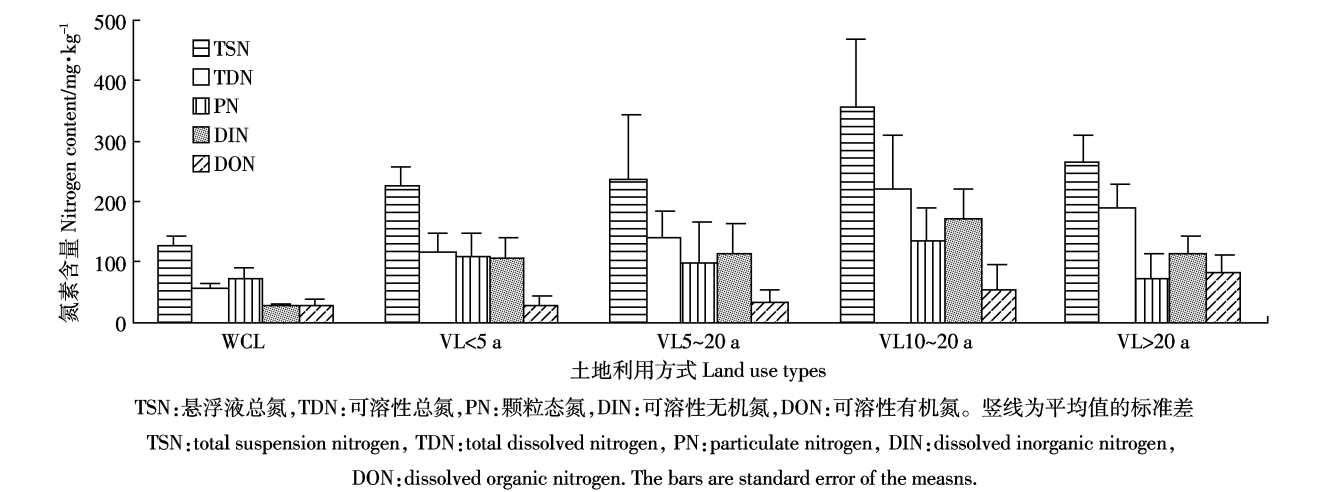


图 1 连续冬小麦-玉米大田(WCL)和不同种植年限菜地土壤(VL)易流失氮素组分及其含量

Figure 1 Content of TSN in the soils from continuous winter wheat-corn land and vegetable land with different culturing years

3.97 倍;菜地土壤可溶性无机氮(DIN)含量 104.73~171.92 mg·kg⁻¹,是大田土壤的 3.74~6.14 倍;而可溶性有机氮(DON)含量只有在种植比较长时,如 10 a 氮(PN)含量除了种植 10~20 a 的菜地,其余菜地土壤的含量与大田土壤差异很小,20 a 以上的菜地 PN 含量与大田土壤几乎相同。

2.3 易流失氮素组分之间的关系

土壤易流失总氮(TSN)中 27.85%~56.08%为颗粒态氮(PN),大田土壤高于菜园土壤,菜园土壤随着种植年限的延长,PN 占 TSN 的比例逐渐降低,从 48.02%降低到 27.85%。可溶性全氮(TDN)占易流失总氮(TSN)43.92%~72.15%,大田土壤低于菜地土壤,菜园土壤随着种植年限的延长,所占比例逐渐升高,从51.98%升高到 72.15%(图 2a)。

可溶性总氮(TDN)中,大田土壤可溶性无机氮(DIN)和可溶性有机氮(DON)基本相同,而菜园土壤主要是 DIN,且随着种植年限的延长,DIN 占 TDN 的比例从 89.56%逐渐降低到 58.85%,DON 占 TDN 的

比例从 10.44%逐渐升高到 41.15%(图 2b)。

3 讨论

菜地土壤重要的发生学特征为表层土壤有机质积累和有效养分强烈富集^[13],如南京市南郊大棚蔬菜地土壤有机质含量比水稻土壤高近 49%,NO₃⁻-N 含量高近 36 倍,速效 P 含量高出 15 倍^[14];西宁市郊菜园土表层土壤有机质含量、矿质氮、速效磷等含量是大田土壤的 3~9 倍^[15]。本研究也得到类似的结果,京郊菜园土壤有机质、全氮、全磷、矿质氮、Olsen-P 等比冬小麦-玉米大田土壤要高得多,且随菜地土壤种植年限的延长,差异更加明显,菜地土壤酸化现象十分明显。不仅如此,本研究还发现土壤易流失氮素组分及其含量,菜地土壤与大田土壤存在显著的差异,而且这种差异也随着蔬菜种植年限的延长而扩大。究其原因,主要是与施肥种类和数量有关。据统计,北京市大田肥料投入总养分为 474.0 kg·hm⁻²,其中 N 276 kg·hm⁻²,P₂O₅ 139.5 kg·hm⁻²,K₂O 58.5 kg·hm⁻²,有机肥

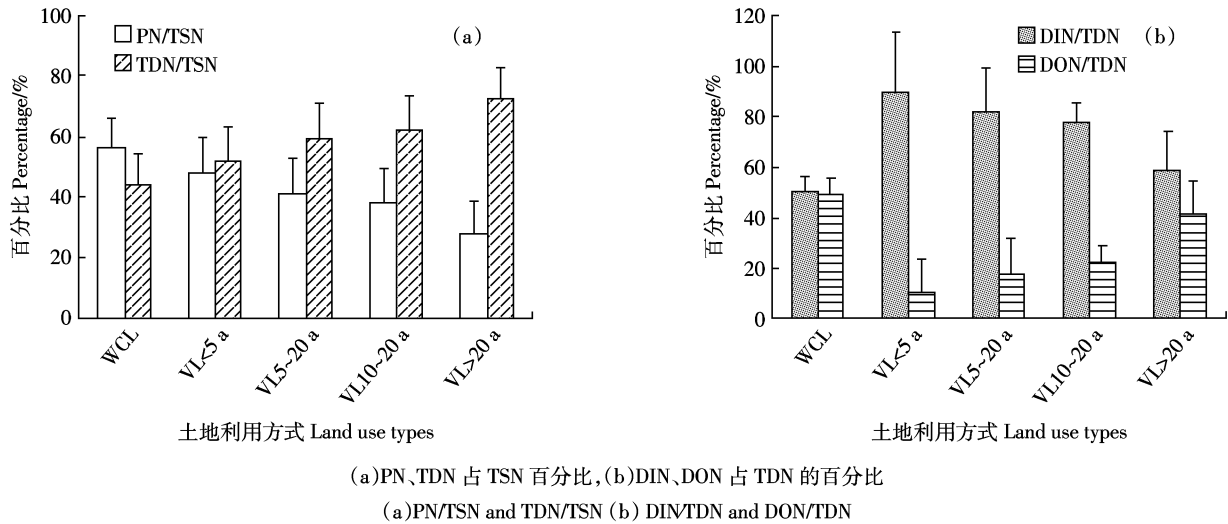


图2 连续冬小麦-玉米大田(WCL)和不同种植年限菜地土壤(VL)易流失氮素组分比例关系

Figure 2 The percentages of PN/TSN and TDN/TSN (a) and DIN/TDN and DON/TDN (b) in the soils from continuous winter wheat-corn land and vegetable land with different culturing years

实物投入量为 $5\,253.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 折合纯养分 $66.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 占总养分投入量 13.9%。露地菜田肥料投入总养分为 $1\,906.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 其中 $\text{N}\,924.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5\,463.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{K}_2\text{O}\,519.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 有机肥实物量为 $47\,560.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 折合纯养分 $1\,185.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 占总养分投入量 62.2%。设施菜田肥料投入总养分为 $1\,365.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 其中 $\text{N}\,661.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5\,310.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{K}_2\text{O}\,393.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 有机肥实物投入量为 $37\,264.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 折合纯养分 $712.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 占总养分投入量 52.2%^[6]。显然,无论是化肥还是有机肥用量,京郊菜地土壤远高于大田土壤,从而导致土壤易流失氮素组分及其含量的差异。

不同形态氮素不仅与土壤供氮能力密切相关,而且与氮素流失及相应的富营养化效应密切联系。如薛金凤等认为,颗粒态氮(PN)的含量与土壤产沙率有很好的相关性^[7]。一般认为,土壤可溶性全氮(TDN)是氮素最活跃的组分,不仅是植物氮素养分的主要来源,而且由于其比较高的水溶性,很容易随水分运移而发生径流或淋溶流失,导致环境污染^[8]。供试大田和菜地土壤均含大量的 TDN,特别是菜园土壤易流失氮中大部分为 TDN,且主要是 DIN,最高达 $171.92\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,流失的风险极大,对水体构成巨大的威胁。

4 结论

京郊冬小麦-玉米大田和菜地土壤均含有大量的易流失氮,其中大田一半为可溶性氮,一半为颗粒态氮,而菜地土壤不仅易流失氮远高于大田土壤,而且

主要是可溶性氮,大部分是可溶性无机氮,并且随着种植年限的延长而增加,主要是由于菜地长期大量施用化肥和有机肥料所致。过高的易流失态氮特别是可溶性氮含量,尽管有利于作物氮素营养,但流失的风险极大,对水体构成巨大的威胁,亟待开展相关研究,调控氮素组分比例及其含量,提高氮素利用效率,降低氮素流失风险。

参考文献:

- [1] 张继宗, 张维理, 雷秋良, 等. 太湖平原农田区域地表水特征及对氮磷流失的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1497-1503.
ZHANG Ji-zong, ZHANG Wei-li, LEI Qiu-liang, et al. Surface water characteristics of farmlands area and the impact of nitrogen and phosphorus losses from farmland in Taihu Lake region[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(4): 1497-1503.
- [2] 吕贻忠, 李保国. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 170-180.
LV Yi-zhong, LI Bao-guo. Soil science[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2006: 170-180.
- [3] 张 炎, 史军辉, 李 磐, 等. 农田土壤氮素损失与环境污染[J]. 新疆农业科学, 2004, 41(1): 57-60.
ZHANG Yan, SHI Jun-hui, LI Pan, et al. Nitrogen loss accesses in the soil and its effects to environment pollution[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2004, 41(1): 57-60.
- [4] 刘小兰, 李世清. 土壤中的氮素与环境[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(4): 36-43.
LIU Xiao-lan, LI Shi-qing. Nitrogen in soil and environment[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1998, 16(4): 36-43.
- [5] 徐泰平, 朱 波, 汪 涛, 等. 不同降雨侵蚀力条件下紫色土坡耕地的养分流失[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 139-144.
XU Tai-ping, ZHU Bo, WANG Tao, et al. Nutrient loss from slope crop-

- land of purple soil under different rainfall erosivities[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(6):139-144.
- [6] 朱业继, 高超, 朱建国, 等. 不同农地利用方式下地表径流中氮的输出特征[J]. *南京大学学报*, 2006, 42(6):621-627.
- ZHU Ye-ji, GAO Chao, ZHU Jian-guo, et al. Nitrogen exports via over-land runoff under different land uses and their seasonal pattern[J]. *Journal of Nanjing University*, 2006, 42(6):621-627.
- [7] 李宗新, 董树亭, 王空军, 等. 不同肥料运筹对夏玉米田间土壤氮素淋溶与挥发影响的原位研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6):998-1005.
- LI Zong-xin, DONG Shu-ting, WANG Kong-jun, et al. In situ study on influence of different fertilization strategies for summer maize on soil nitrogen leaching and volatilization[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(6):998-1005.
- [8] 高海鹰, 黄丽江, 张奇, 等. 不同降雨强度对农田土壤氮素淋失的影响及 LEACHM 模型验证 [J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(4):1346-1352.
- GAO Hai-ying, HUANG Li-jiang, ZHANG Qi, et al. Nitrogen leaching under different rainfall intensities for agricultural soils-laboratory experiments and numerical modeling using LEACHM[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(4):1346-1352.
- [9] 张兴昌, 邵明安. 植被覆盖度和综合治理对纸坊沟流域土壤氮素流失的影响[J]. *植物学报*, 2003, 45(10):1195-1203.
- ZHANG Xing-chang, SHAO Ming-an. Effects of vegetation coverage and management practice on soil nitrogen loss by erosion in a hilly region of the loess plateau in China[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(10):1195-1203.
- [10] 张亚丽, 李怀恩, 张兴昌, 等. 坡度对坡面土壤矿质氮素水蚀流失负荷的影响[J]. *水土保持通报*, 2007, 27(2):14-17.
- ZHANG Ya-li, LI Huai-en, ZHANG Xing-chang, et al. Soil mineral nitrogen loss in surface runoff and sediment as affected by slope gradient on loess slope[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27(2):14-17.
- [11] 鲍士旦. 土壤农业化学分析方法[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000:25-97.
- BAO Shi-dan. Soil and agriculture chemistry analysis methods[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000:25-97.
- [12] 王晓燕, 胡秋菊, 朱风云, 等. 密云水库流域降雨径流土壤中氮磷流失规律: 以石匣实验区为例[J]. *首都师范大学学报*, 2001, 22(2):79-85.
- WANG Xiao-yan, HU Qiu-ju, ZHU Feng-yun, et al. Loss of nutrients in runoff and soil in the watershed of Miyun reservoir: As a example of Shixia experimental area[J]. *Journal of Capital Normal University*, 2001, 22(2):79-85.
- [13] 张民, 马丽, 李文庆, 等. 我国菜园土壤的资源特点与持续利用[J]. *山东农业大学学报*, 1999, 30(4):317-322.
- ZHANG Min, MA Li, LI Wen-qing, et al. Characteristics and sustainable utilization of vegetable cultivated soil resources in China[J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1999, 30(4):317-322.
- [14] 王辉, 董元华, 安琼, 等. 高度集约化利用下蔬菜地土壤养分累积状况-以南京市南郊为例[J]. *土壤*, 2006, 38(1):61-65.
- WANG Hui, DONG Yuan-hua, AN Qiong, et al. Nutrient accumulation in intensively vegetable soils in the southern suburb of Nanjing[J]. *Soil*, 2006, 38(1):61-65.
- [15] 赵之重. 西宁市郊菜园土壤养分状况研究[J]. *青海大学学报*, 1996, 14(3):17-21.
- ZHAO Zhi-zhong. Study on nutriment status of vegetable field in Xining suburb[J]. *Journal of Qinghai University*, 1996, 14(3):17-21.
- [16] 北京市土肥工作站. 京郊耕地质量现状及其变化趋势 (2008)[EB/OL]/<http://soil.bjny.gov.cn>
- Beijing soil and fertilizer workstation. 2010-07-17. Quality and trend of soil in Beijing suburban(2008)[EB/OL]/<http://soil.bjny.gov.cn>
- [17] 薛金凤, 夏军, 梁涛, 等. 颗粒态氮磷负荷模型研究 [J]. *水科学进展*, 2005, 16(3):334-337.
- XUE Jin-feng, XIA Jun, LIANG Tao, et al. Research on load model of particulate nitrogen and phosphorus[J]. *Advances in Water Science*, 2005, 16(3):334-337.
- [18] 周建斌, 陈竹君, 郑险峰. 土壤可溶性有机氮及其在氮素供应及转化中的作用[J]. *土壤通报*, 2005, 36(2):244-248.
- ZHOU Jian-bin, CHEN Zhu-jun, ZHENG Xian-feng. Soluble organic nitrogen in soil and its roles in the supply and transformation of N[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(2):244-248.