

# 天津市设施菜田氮投入状况评价 与面源污染风险分析

新楠<sup>1</sup>, 卢树昌<sup>1\*</sup>, 王小波<sup>1</sup>, 王瑞<sup>2</sup>

(1. 天津农学院 农学系, 天津 300384; 2. 天津农学院 农业分析实验室, 天津 300384)

**摘要:** 通过调研和样品测试, 对天津市设施菜田氮素投入情况和面源污染风险程度进行了研究。结果表明, 天津市设施菜田的氮投入来源以鸡粪、猪粪等畜禽粪以及三元复合肥、尿素和冲施肥为主。设施菜田氮养分投入水平总体很高, 平均投入量为 1 237.2 kg/hm<sup>2</sup>, 其中高于 500 kg/hm<sup>2</sup> 的样本比重为 81.4%。不同区县设施菜田氮投入量以静海县最高为 1 770.9 kg/hm<sup>2</sup>, 西青区最低为 866.8 kg/hm<sup>2</sup>, 但投入过量程度以武清区最高, 过量样本比重达 88.8%; 不同设施蔬菜以番茄投入过量程度居高, 投放量为 1 391.8 kg/hm<sup>2</sup>; 设施菜田的土壤氮养分含量较高, 其中土壤硝态氮含量为 46.31 mg/kg, 高含量风险样本占总测试样本量的 69.8%, 表现出较高的氮风险水平。

**关键词:** 面源污染; 设施菜田; 氮投入; 环境风险

中图分类号: S63 X50 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2013)06-0068-05

## Evaluation and Analysis on Nitrogen Input Status and Non-point Source Pollution Risk of Greenhouse Vegetable in Tianjin

XIN Nan<sup>1</sup>, LU Shu-chang<sup>1\*</sup>, WANG Xiao-bo<sup>1</sup>, WANG Rui<sup>2</sup>

(1. Department of Agronomy, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China;

2. Agricultural Analyzing Lab, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** A survey was carried out to study nitrogen input situation and non-point source pollution risk degree of vegetable greenhouse in Tianjin. The results showed that main nitrogen sources came from animal manure such as chicken manure and pig manure, NPK compound fertilizer, urea and water flush fertilizers in green house in Tianjin. Nitrogen input level was very high in the soils of green house investigated, and average input rate was 1 237.2 kg/ha. The percentage of samples with high input (>500 kg/ha) was 81.4%. There was a remarked difference in nitrogen input status of greenhouse vegetable in different counties. The input level was highest in Jinghai county, reaching to 1 770.9 kg/ha, and it was lowest in Xiqing district. The input excessive extent was highest in Wuqing district, and the percentage of excessive samples was 88.8%. The input amounts were the highest in greenhouse tomato plots, which was 1 391.8 kg/ha. The higher nitrogen content in investigated soils of greenhouse was recorded, in which the nitrate nitrogen content was 46.31 mg/kg, and the sample proportion of high risk accounted for 69.8%. This study showed that the level of nitrogen risk was higher in Tianjin greenhouse vegetable.

**Key words:** non-point source pollution; greenhouse vegetable; nitrogen input; environmental risk

天津市作为北方重要的经济中心, 经济作物比重已经超过了 50%, 农牧结合程度越来越高, 目前设施蔬菜栽培面积占全市蔬菜总面积的 1/2 以

上<sup>[1-2]</sup>。由于农业集约化程度逐年增加, 氮素投入带来的环境问题日趋严重<sup>[3-5]</sup>。张维理等<sup>[6]</sup>的调查研究表明, 京、津、唐地区 69 个观测点的地下水半

收稿日期: 2013-02-28

基金项目: 天津市应用基础及前沿技术研究计划项目(09JCYBJC08600)

作者简介: 新楠(1977-), 女, 内蒙古赤峰人, 实验师, 硕士, 主要从事植物营养科研工作。E-mail: xinnan19771208@126.com

\* 通讯作者: 卢树昌(1970-), 男, 河北献县人, 教授, 博士, 主要从事园艺作物土壤质量与植物营养研究。

数以上硝态氮含量超标,高者达 67.7 mg/L。氮素投入量不论是无机投入途径还是有机投入途径均较高<sup>[7]</sup>。天津市北部设施菜田氮投入显示,设施番茄大棚氮投入量达到了 11 850 kg/hm<sup>2</sup>,是玉米田投入的 3.6 倍<sup>[8]</sup>。但是,关于天津市设施菜田氮投入造成环境污染风险的研究还不深入,尚未见相应报道。本研究针对天津市设施菜田氮素投入及土壤氮状况分析,评价菜田氮投入的面源污染状况,不仅对指导天津市设施菜田氮肥合理施用、控制设施菜田氮素非点源环境污染具有极其重要的作用,而且为蔬菜产品生产创造良好的无公害产地环境,为提高农产品质量安全提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域确定

根据天津市农业耕作区的特点,设施农业区可划分为北部、中部、西南部、近郊和滨海等区。据资料显示<sup>[9]</sup>,北部、西南部两设施农业区包括蓟县和静海两县,中部武清区的蔬菜播种面积和产量均居全

市之首,近郊的蔬菜种植面积和产量均以西青区最高,而滨海区蔬菜播种面积和产量占全市比重仅为 1.9%和 1.6%。蓟县、静海县、武清区和西青区等 4 个区县蔬菜播种面积和产量分别占全市的 57.8%和 61.4%,因此,本试验从 2011 年 5 月开始以这 4 个区县为基础开展相关研究。

1.2 设施菜田氮养分投入调查方法

农户调查依托各区县农业技术推广中心组织实施设施菜田施肥调查,采用问卷调查与实地调查相结合的方式,调查内容主要包括有代表性设施菜田面积、施用有机肥和化肥种类、肥料品种、养分含量及施用量、设施蔬菜种类、面积、产量以及其他相关投入管理措施等。

设施菜田氮磷养分投入主要以化肥和有机肥为主。本研究主要从菜田化肥和有机肥投入调查入手,分析菜田养分投入状况。化肥养分含量按照农户所施肥料包装袋上标识的养分含量计算,有机肥料的养分含量参数根据典型样品采样测定结合《中国有机肥料养分志》<sup>[10]</sup>、《中国肥料实用手册》<sup>[11]</sup>的参数确定,见表 1。

表 1 有机肥养分含量 %

| 有机肥种类 | H <sub>2</sub> O | 鲜基 N | 干基 N | 有机肥种类 | H <sub>2</sub> O | 鲜基 N | 干基 N  |
|-------|------------------|------|------|-------|------------------|------|-------|
| 秸秆类   |                  | 0.35 | 0.95 | 人粪    | 90.25            | 0.64 | 11.90 |
| 大豆秸秆  |                  | 1.18 | 1.81 | 鸡粪    | 52.31            | 1.03 | 2.34  |
| 番茄秆   |                  | 1.24 | 1.91 | 马粪    | 68.46            | 0.44 | 1.48  |
| 水稻秸秆  | 63.50            | 0.30 | 0.91 | 牛粪    | 75.04            | 0.38 | 1.67  |
| 小麦秸秆  | 44.10            | 0.31 | 0.65 | 羊粪    | 50.75            | 1.01 | 2.01  |
| 玉米秸秆  | 68.50            | 0.30 | 0.92 | 猪粪    | 68.74            | 0.55 | 2.09  |
| 堆肥    | 45.06            | 0.35 | 0.70 | 土粪    |                  | 0.15 | 0.38  |
| 农家肥   | 60.19            | 0.45 | 0.29 | 城市垃圾  | 28.90            | 0.28 | 0.32  |

注:有机肥料缺少含水量时按照 65%含水量计算养分含量。

1.3 氮养分投入评价方法

根据目标产量下推荐养分量与实际养分投入量比较,评价养分投入适宜程度。若养分实际投入量为推荐量的 80%~120%时,则视为投入较为合理,高于 120%或低于 80%时,则视为投入过量或不足。蔬菜养分推荐依据《测土配方施肥技术要览》中养分推荐水平确定方法而定,即在高肥力、中等肥力和低肥力等不同土壤肥力水平下,氮磷养分推荐施用量分别为目标产量养分需求量的 0.5~1.5、1~2 倍,氮养分推荐以各级上限值为准<sup>[12]</sup>。本研究基于中等目标产量水平采集样品,测定不同典型设施蔬菜形成 1 000 kg 经济产量养分需求量,再结合相关资料确定氮养分需求量(表 2),依此参数计算不同产区不同肥力水平下的养分推荐量。

表 2 不同蔬菜形成 1 000 kg 产量的 N 养分需求量

| kg   |       |      |       |
|------|-------|------|-------|
| 蔬菜种类 | 养分需求量 | 蔬菜种类 | 养分需求量 |
| 黄瓜   | 3.2   | 豆角   | 3     |
| 番茄   | 2.9   | 辣椒   | 3     |
| 芹菜   | 2     | 白菜   | 2.1   |
| 西葫芦  | 3     | 菠菜   | 1.6   |
| 南瓜   | 1.4   | 油菜菜  | 3     |
| 茄子   | 3.2   | 萝卜   | 2.9   |

1.4 土样采集与测定方法

2011 年 5 月分别在天津市蓟县、西青区、武清区和静海县 4 个区县的标准大棚内选择 4 个代表样点,每个样点采集 0~30 cm 土层的样品,土样混合。采用紫外分光光度计测定土壤硝态氮含量<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 设施菜田氮养分投入来源分析

由图 1 可知,提供氮养分的化肥施用种类以三元复合肥(主要养分构成为 15-15-15)最高,其投入量占总样本比重为 32%。其次是尿素和二元复合肥,其样本比重分别是 23%和 21%,二元复合肥主要是二铵、硝酸钾等氮磷复合肥和氮钾复合肥。冲施肥在设施菜田中施用也比较普遍,其所占比重为 19%。而碳铵、硫铵等施用较少,约占 3%。在设施菜田中基本上都施用化学氮肥,不施的样本仅占 2%。可见,调查区菜田化肥氮投入主要以三元复合肥、二元复合肥、尿素和冲施肥为主。

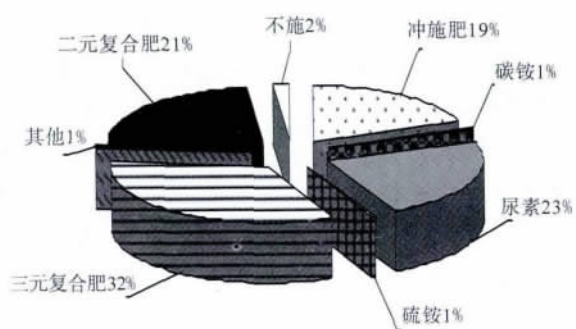


图 1 来自化肥的氮养分投入结构

提供氮养分的有机肥施用种类如图 2 所示,主要以鸡粪和猪粪等畜禽粪为主,其所占样本比重分别为 60%和 14%。其次,牛粪施用占 10%。而羊

粪、人粪等其他有机肥种类投入比重仅占 4%。施用商品生物有机肥的也很少,仅占 2%左右。但是,在调查菜田中不施有机肥的调查点占总样点数的 10%。可以看出,调查区设施菜田有机氮养分投入以鸡粪和猪粪等畜禽粪为主,而秸秆类或过腹秸秆类有机肥施用偏少。尤其是不施任何有机肥的比重占到 10%的情况应该引起足够重视。

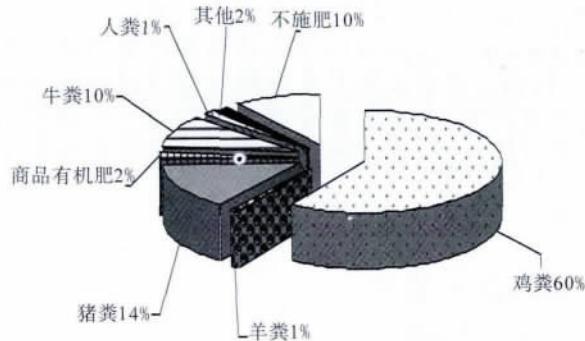


图 2 来自有机肥的氮养分投入结构

### 2.2 不同区县设施菜田氮养分投入量

不同区县的设施菜田氮素投入存在较大差异。由表 3 可见,设施菜田氮素投入量最高的为静海县,达到 1 770.9 kg/hm<sup>2</sup> 以上,高于 500 kg/hm<sup>2</sup> 的样本比重高达 88.2%。西青区氮素投入较低,氮素投入量为 866.8 kg/hm<sup>2</sup>。不同区县氮素投入来源大部分以有机肥为主,除蓟县外,其他地区有机肥供氮投入比重均在 50%以上,尤其静海县菜田达到 60%以上,仅有机肥提供的氮养分就达到 1 000 kg/hm<sup>2</sup> 以上。

表 3 不同区县设施菜田氮养分投入量及分布频率

| 区县    | 样本量/个 | 化肥提供氮/<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 有机肥提供<br>氮/(kg/hm <sup>2</sup> ) | 总投入/<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 分布频率/% |         |      | 化肥氮<br>比重/% |
|-------|-------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------|---------|------|-------------|
|       |       |                                 |                                  |                               | 0~300  | 300~500 | >500 |             |
| 蓟县    | 114   | 739.6                           | 574.0                            | 1 313.6                       | 28.6   | 4.1     | 67.3 | 56.3        |
| 静海县   | 109   | 704.8                           | 1 066.1                          | 1 770.9                       | 11.8   | 0.0     | 88.2 | 39.8        |
| 武清区   | 186   | 517.3                           | 674.7                            | 1 191.9                       | 7.5    | 5.0     | 87.5 | 43.4        |
| 西青区   | 158   | 397.0                           | 469.8                            | 866.8                         | 8.8    | 11.8    | 79.4 | 45.8        |
| 四县区平均 | 567   | 564.5                           | 672.8                            | 1 237.2                       | 12.9   | 5.7     | 81.4 | 45.6        |

注:总体平均值为加权平均值,下同。

### 2.3 设施菜园蔬菜种类氮养分投入量

不同蔬菜生长发育存在差异,对氮养分的吸收利用亦不同。因此,不同设施蔬菜氮养分管理是不同的。从不同典型设施蔬菜产区氮养分调查结果看出(表 4),氮养分总体投入量最高的是番茄,达到 1 391.8 kg/hm<sup>2</sup>,其中有机肥提供氮为 836.4 kg/hm<sup>2</sup>,有机肥投入氮占总投入量的 60%,总体氮素投入高

于 500 kg/hm<sup>2</sup> 的样本占番茄园调查总样本量的 90.1%。氮投入量较低的是豆角和萝卜。从设施菜田氮养分总体投入来源看,各种菜田氮养分由化学氮肥提供的比重为 14.4%~70.3%,最高为豆角田块,最低为萝卜田块。由此可见,大部分调查菜园氮肥投入以有机肥为主,有机肥提供氮养分量占总投入量比重在 29.7%~84.6%,绝大多数在 50%以上。

表 4 不同设施蔬菜氮养分投入量及分布频率

| 蔬菜种类 | 样本量/个 | 化肥提供氮/<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 有机肥提供<br>氮/(kg/hm <sup>2</sup> ) | 总投入/<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 分布频率/% |         |       | 化肥氮<br>比重/% |
|------|-------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------|---------|-------|-------------|
|      |       |                                 |                                  |                               | 0~300  | 300~500 | >500  |             |
| 番茄   | 185   | 555.3                           | 836.4                            | 1 391.8                       | 7.4    | 2.5     | 90.1  | 39.9        |
| 黄瓜   | 144   | 569.0                           | 727.2                            | 1 296.2                       | 4.7    | 4.7     | 90.7  | 43.9        |
| 芹菜   | 69    | 611.4                           | 673.0                            | 1 284.4                       | 11.1   | 0.0     | 88.9  | 47.6        |
| 茄子   | 41    | 469.5                           | 423.0                            | 892.5                         | 12.5   | 12.5    | 75.0  | 52.6        |
| 豆角   | 34    | 279.7                           | 118.1                            | 397.9                         | 63.6   | 9.1     | 27.3  | 70.3        |
| 辣椒   | 23    | 411.2                           | 488.6                            | 899.8                         | 0.0    | 0.0     | 100.0 | 45.7        |
| 萝卜   | 37    | 92.6                            | 550.3                            | 642.9                         | 0.0    | 0.0     | 100.0 | 14.4        |
| 其它   | 34    | 452.3                           | 484.1                            | 936.4                         | 15.8   | 7.9     | 76.3  | 48.3        |

2.4 不同区县设施菜田氮养分投入适宜性评价

根据 567 个设施菜田调查结果分析(表 5),氮养分投入过量的样本占总样本量的 85.1%,投入适宜的田块仅占 6.2%,投入不足的田块占 8.7%。不同区县氮养分投入以武清区设施菜田投入过量程度最高,过量样本比重达到 88.8%,投入不足的仅为 3.8%。蓟县和西青区设施菜田过量程度同样较高,静海菜田略低,投入不足的样本比重占 16.7%。从各区县投入适宜程度看,武清最高,蓟县最低。表 5 显示,调查区县之间设施菜田养分管理水平存在一定差异。

表 5 不同区县设施菜田氮养分适宜性评价

| 地区    | 样本<br>量/个 | 评价样本分布频率/% |      |      |
|-------|-----------|------------|------|------|
|       |           | 适宜         | 过量   | 不足   |
| 蓟县    | 114       | 4.9        | 82.0 | 13.1 |
| 静海县   | 109       | 5.6        | 77.8 | 16.7 |
| 武清区   | 186       | 7.5        | 88.8 | 3.8  |
| 西青区   | 158       | 5.9        | 88.2 | 5.9  |
| 四县区平均 | 567       | 6.2        | 85.1 | 8.7  |

2.5 设施菜田土壤硝态氮风险状况

根据资料报道,菜田土壤硝态氮含量在 20 mg/kg 以上时,土壤氮风险加大,建议不再施用氮肥<sup>[14-15]</sup>。本试验不仅研究了各个调查区县设施菜田的土壤硝态氮含量,同时研究了高于 20 mg/kg 的风险样本比重情况,以更好地反映菜田土壤硝态氮风险状况。图 3 表明,430 个调查区域设施菜田土壤硝态氮总体为 46.31 mg/kg,高于 20 mg/kg 的风险样本占总测试样本量的 69.8%,表现出较高的氮风险。各区县中武清区设施菜田土壤硝态氮含量最高,达到 57.15 mg/kg,其次是蓟县,最低的为西青区,土壤硝态氮含量为 31.43 mg/kg。高于 20 mg/kg 的风险样本比重以蓟县和静海为高,均在 75%以上。

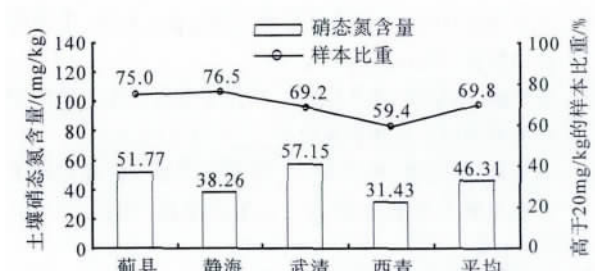


图 3 不同调查区域设施菜田土壤硝态氮状况

3 讨论

集约化农业生产体系通过高投入带来高产出,其中氮素的高量投入成为提高产量的主要因素。但大量投入的氮素中大部分在当季不能利用,且大多以各种形式流失,形成对地下水、大气等周边环境的污染<sup>[16]</sup>,从而引发农田氮的面源污染。卢树昌等<sup>[17]</sup>研究了集约化果园生产体系氮投入,指出高量氮素投入造成土壤氮负荷明显增加。本研究结果表明,集约化设施菜田氮投入明显高于粮田状况(这与陈永利等<sup>[8]</sup>研究结果相一致),从而引发设施菜田土壤硝态氮含量积累明显的面源污染状况。因此,本研究揭示了当前集约化生产体系氮素高投是造成农田氮面源污染的重要驱动因素,对指导优化氮素管理具有重要意义。

集约化设施菜田高效生产,需要大量有机肥的投入。本研究调查结果显示,有机肥提供的氮养分占总施氮量的 1/2 以上,并且以碳氮比较低的鸡粪和猪粪等畜禽粪为主,这是大城市郊区设施菜田氮素投入的突出问题。已有研究表明,目前设施老菜田土壤碳氮有下降趋势,存在碳氮失衡问题,应该引起高度重视<sup>[18]</sup>,集约化设施菜田土壤碳氮失衡问题造成的影响有待进一步深入研究。

设施菜田氮面源污染状况不仅与该体系氮素投入直接相关,而且与该体系大水漫灌有着很大关系。

这与氮素在土壤中有着较高的移动性,施入的氮素在不当的管理下,容易随水下移有关<sup>[19]</sup>。设施菜田每茬的灌水量远远高于粮田,由此造成土壤氮下移的程度远远高于粮田,氮污染风险加大,设施菜田灌水因素成为氮面源污染风险的重要驱动因子,不容忽视。但是,本研究未对设施菜田水分管理进行深入研究,尤其调查区域设施菜田水氮管理对地下水硝态氮污染状况的影响亟待今后重点探讨。

#### 参考文献:

- [1] 天津市统计局. 天津统计年鉴 2010[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [2] 张建树, 王学忠, 李小刚, 等. 天津市设施农业发展的现状及对策[J]. 天津农业科学, 2010, 16(1): 1-4.
- [3] 刘宏斌, 张云贵, 李志宏, 等. 北京市平原农区深层地下水硝态氮污染状况研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 411-419.
- [4] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方 6 省农田养分平衡现状评价和动态变化研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63-67.
- [5] Oenema O, Kros H, Vires W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies [J]. Eur J Agron, 2003, 20: 3-16.
- [6] 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 我国北方农用氮肥造成的地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87.
- [7] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染形势估计[J]. 中国农业科学, 2005, 37(7): 1008-1017.
- [8] 陈永利, 卢树昌. 天津北部生态区不同种植体系土壤养分调查研究[J]. 北方园艺, 2010(11): 28-30.
- [9] 天津市统计局. 天津统计年鉴 2009[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [10] 高祥照, 申眺, 郑义. 肥料实用手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [11] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [12] 张福锁. 测土配方施肥技术要览[M]. 北京: 农业大学出版社, 2006.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] Hartz T K, Bendixen W E, Wierdsma L. The value of presidedress soil nitrate testing as a nitrogen management tool in irrigated vegetable production[J]. Hort Science, 2000, 35(4): 651-656.
- [15] Magdoff F R. Understanding the Magdoff pre-side-dress nitrate for corn[J]. Journal of Production Agriculture, 1991, 4(3): 297-305.
- [16] 李俊良, 朱建华, 张晓晨, 等. 保护地番茄养分利用及土壤氮素淋失[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(2): 126-129.
- [17] 卢树昌, 陈清, 张福锁, 等. 河北省果园氮素投入特点及其土壤氮负荷分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 858-865.
- [18] 雷宝坤, 刘宏斌, 朱红业. 粮田改为菜田后土壤碳、氮演变特征[J]. 西南农业学报, 2011, 24(4): 1390-1395.
- [19] 程文娟, 潘洁, 吕雄杰, 等. 天津市设施蔬菜土壤硝态氮状况研究[J]. 天津农业科学, 2012, 18(2): 91-94.

#### (上接第 67 页)

- [9] Tomaselli M, Agostini N. A comparative phyto-geographic analysis of the summit flora of the Tuscan-Emilian Apennines and of the Apuan Alps(northern Apennines)[J]. Fitosociologia, 1994, 94: 99-109.
- [10] 张万儒. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984: 17-117.
- [11] 张正雄, 周新年, 高山, 等. 皆伐作业对林地土壤因子的影响[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(4): 35-37.
- [12] 宋艳华, 马金辉. SWAT 模型辅助下的生态恢复水文响应——以陇西黄土高原华家岭南河流域为例[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 636-644.
- [13] 张笑培, 杨改河, 胡江波, 等. 胡江波等不同植被恢复模式对黄土高原丘陵沟壑区土壤水分生态效应的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(4): 635-642.
- [14] 周厚诚, 任海, 向言词, 等. 南澳岛植被恢复过程中不同阶段土壤的变化[J]. 热带地理, 2001, 21(2): 104-112.
- [15] 樊光辉, 汪海林. 平安县脑山地区退耕地恢复生态植被对土壤矿物质、有机质含量及 pH 值的影响[J]. 青海科技, 2008(1): 17-19.