

中国农田氮肥面源污染估算方法及其实证： Ⅳ 各类型区污染程度和趋势

侯彦林, 李红英, 赵慧明

(中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 对 3 个污染类型区域农田氮肥污染典型研究案例进行了归纳和分析, 讨论各类型区污染特点。结论如下: 东北区、北东区、青藏区、北西区、西南区和四川盆地区, 总体上都不属于肥料污染区; 西北区属潜在污染区, 如不能制定合理的灌溉定额和控制大水漫灌, 养分淋失将很严重; 黄淮海区和江淮区, 由于肥料的使用量超标比较普遍, 因而已经发生轻度或中度污染; 长江三角洲区、东南丘陵区和华南丘陵区, 均属于高肥高水区, 为重度污染区。文章最后对氮素污染的基本现状和发展趋势做了总结和展望。

关键词: 中国; 农田氮肥面源污染; 类型区; 污染程度; 趋势

中图分类号: X501 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)07-1341-05

Estimation and Empirical Analysis of Nitrogen Non-Point Field Pollution in China: Ⅳ Trend and Pollution Extent of Different Type Areas

HOU Yan-lin, LI Hong-ying, ZHAO Hui-ming

(Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Cases of nitrogen fertilizer non-point field pollution was concluded and analysed in the three types of nitrogen fertilizer non-point pollution, and traits for every type were concluded. Results were as follows: northeast, eastnorth, Qingzang, westnorth, southwest and Sichuan pan section, these sections were non-fertilizer pollution areas; northwest section was potential contaminated area, the fertilizer filter would be severity if the type of irrigation was not improved; Huanghuihai and Jianghuai area have were middle pollution area, for high dosage fertilizer using; Yangtse river's triangle, south-east highland, south highland had high fertilizer and water using, which belonged to severe pollution area. In the last part of paper, we concluded and outlooked the basically the status quo and development trend of nitrogen pollution.

Keywords: China; nitrogen non-point field pollution; type area; pollution extent; trend

“中国农田氮面源污染研究”系列文章 I (污染类型区划和分省污染现状分析) 中将全国分为 12 个一级农田氮面源污染类型区, 并根据每个一级区域的特点, 进一步合并为三大类区域。本文在此基础上, 结合研究实例, 对各类型区的特点进行详细介绍。

1 北方地区

I 东北区

本区包括吉林、辽宁和黑龙江 3 省。其中吉林省,

粮食产量以中部半湿润气候区最高, 土壤肥沃, 障碍因素不多, 施肥量与东部和西部相比较高; 而东部湿润丘陵地区受降水、光照、温度和土壤肥力等自然因素的综合影响, 一般大田作物的产量比半湿润地区低, 目前的平均施肥量也比半湿润地区低, 虽然降水较多, 但受氮、磷用量限制, 养分淋失不会超过半湿润地区, 当然水土流失损失的氮、磷例外; 西部半干旱地区降水量和施肥量均少于中部半湿润地区, 养分淋失量也不会超过半湿润地区。孙宏德等^[1]在吉林省的研究表明, 淋失量随施肥量的增加而增加, 施肥方式、氮肥品种之间差异不大, 但氮肥与磷、钾配合施用, 淋失量明显减少。黑龙江省和辽宁省的综合自然条件与吉林省情况基本相似, 作物布局 and 施肥水平也基本处于同一水平, 所以, 大田作物只要氮肥用量不超过经

收稿日期: 2008-12-14

基金项目: 国家环境保护局资助

作者简介: 侯彦林(1959—), 男, 吉林省人, 理学博士, 教授, 主要从事生态平衡施肥理论、方法和软件以及粮食增产潜力研究。

E-mail: ylhoul@263.net

济施肥量标准,并配合施用磷、钾肥(目前普遍施用磷肥,部分施用钾肥)和有机肥,则发生明显的氮、磷养分淋失的可能性不大。

有研究指出^[1-2],当施氮量为 $247.5\sim 330\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{season}^{-1}$, 渗漏水中硝态氮的含量为 $11\sim 15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,易造成地下水的污染,略高于目前东北区玉米中产经济施氮量标准。施氮 $165\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{season}^{-1}$ 是目前东北区平均适宜施氮量,高产黑土最佳适宜施氮量为 $270\sim 300\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{season}^{-1}$,因此可以推测出目前东北区大田作物氮素不构成对地下水的污染,但随着粮食单产的进一步提高,在中、高肥力的土壤上平均施氮量完全可以达到 $247.5\sim 330\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{season}^{-1}$ 的水平,但是,只要全面推行有机、无机配施和氮、磷、钾配施的施肥技术,由肥料引起的面源污染可以基本消除。

Ⅱ 东北区

本区属于半干旱地区,除一些平地为水浇地之外,大部分农田是雨养型的;年降水平均 400 mm 左右,6、7、8月降水 300 mm 左右,一般旱地作物产量不高,因而施氮量不会超过平均适宜施氮量,因此,旱地肥料对地下水不会造成污染^[3]。但是一些高产的水浇地玉米产量可达到 $800\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{season}^{-1}$ 以上,施氮量也可超过 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{season}^{-1}$,这些地块存在着轻微的污染,但水浇地在本区中所占面积不大。所以,总体上本区不属于肥料严重污染区。

Ⅲ 西北区

本区属于半干旱地区,除一些平地为水浇地之外,大部分农田是雨养的;年降水平均 400 mm 左右或更少,一般旱地作物产量不高,因而施氮量不会超过平均适宜施氮量,因此,旱地肥料对地下水不会造成污染。但高产水浇地可能存在轻微污染,但水浇地在本区中所占面积不大。值得注意的是,从本区一些研究中可以看出,尽管有时氮肥用量不超过平均适宜施氮量,但其淋失的累计效应比较大,而长期过量或不平衡使用氮肥将导致硝态氮在土壤深层的严重积累^[4],土壤氮残留率过高,给氮淋失创造了物质条件,存在潜在强度污染的可能;同时,果园 $\text{NO}_3\text{-N}$ 积累高于农田土壤,小麦或玉米连作 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的积累量显著^[5],夏季休闲会增加硝态氮淋失的潜在危险,淋失量和降水量有密切关系,氮肥用量决定着淋失量的大小^[6]。因此一定程度上构成了对地下水的威胁。但是,如果能调整好作物布局和轮作,可以充分利用土壤中残留的氮,加上 N、P、K 以及有机肥的配合施用等,可

以降低污染或达到没有污染的程度。樊军等^[7]指出配合施用磷肥可以降低土壤剖面硝态氮累积量达 $18.4\%\sim 72.2\%$,并根据试验提出了旱地合理施肥的氮磷肥用量,从而减少对地下水的污染。郭胜利、余存祖^[8]的研究结果表明,配施有机肥对 KNO_3 氮肥中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失有一定抑制作用。然而,有机肥虽然对氮肥中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失有一定抑制作用,但有机肥本身亦可产生 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失。

Ⅳ 西北区

本区属于干旱地区,降水很少,主要是灌溉农业,灌溉合理情况下氮淋失量极少,以挥发为主;但如果在生产上采用大水漫灌或每次灌水较大可发生严重淋失^[9]。新疆农田主要由建设兵团经营,受水资源的制约,目前各地都采取了相应的节水措施,大水漫灌现象将逐渐减少,所以,养分淋失暂时和今后不会成为重要的水体污染源。研究表明,硝态氮淋失首先取决于施氮量,其次才是灌水量^[10]。 81 mm 的灌溉量下,即使在适宜施氮量下,也可发生严重淋失。如不能制定合理的灌溉定额和控制大水漫灌,养分淋失将很严重,特别是内蒙古河套灌区和宁夏引黄灌区等,是养分淋失风险区,与控制肥料用量相比,控制水的用量和灌溉方式更为重要。

Ⅴ 青藏区

本区农业生产水平较低,肥料用量不高,肥料基本没有污染。未收集到典型案例研究。

2 中南部地区

Ⅵ 黄淮海区

这一地区特点是,当施肥量超过平均适宜施氮量后,污染很容易发生,并随施氮量增加迅速增加,土壤中残留氮较多,给淋失提供了物质基础。肥料的使用量超标比较普遍,因而已经发生轻度或中度污染。袁新民^[11]在陕西渭河的二级阶地娄土上的施肥定位试验,结果表明:土壤硝态氮含量随施肥量增加而增加,当超过正常施肥量,土壤硝态氮的水平随施氮量增加线性增加,既降低了氮肥利用率又会成为地下水的潜在污染源。黄绍敏^[12]、黄元仿等^[13]和曾长立^[14]也都得出同样的结论。

增施磷肥可提高氮肥的利用率,并且减少硝态氮的积累,从而降低对地下水污染的隐患^[15-16];而当有机肥和无机肥配合施用时,土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的累积量随总施 N 量的增加而增加。因此有机肥对土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积的影响和对地下水的潜在威胁不容忽视^[17]。

灌溉和降水越多,淋失也多;并且有研究^[18]表明这一区域黄潮土的土壤水渗漏和硝态氮淋溶状况非常严重,全耕作年土壤水渗漏量达到 273.9 mm,为灌溉水量的 60.6%;硝态氮淋溶达到 $81.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,为氮输入总量的 15.7%。另外该区域内灌溉次数多、土壤质地轻和地下水较浅都是引起农田氮肥污染地下水的原因^[19]。陈子明的研究指出^[20], NO_3^- -N 的移动同降雨、灌水以及整个土壤系统中的水分状况密切相关。

周凌云^[21]在文章中强调在黄淮海平原高产化肥氮年施用量高达 $500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 已属常见,大量施用氮素化肥而利用率不断下降,使得土壤硝酸盐淋溶污染地下水的潜在威胁日益加大。

合理的耕作制度,比如秸秆还田^[22]、合理的水氮组合^[23]可以降低农田氮素的累积以及对农田地下水的污染。在当季作物生长期,土壤中硝态氮淋失深度和淋失量与施氮量、施氮技术、地面接水量和土壤质地有密切关系^[24]。

VII 江淮区

这一地区总体情况与 VI 区基本相同,未查阅到典型案例研究。

VIII 长江三角洲区

这一地区以太湖流域为重点,高氮高水,为重度污染区。研究^[25-27]表明,该区氮素淋失主要是以硝态氮(NO_3^- -N)为主,铵态氮和有机氮占的比例较低,并且土壤渗滤液中硝态氮含量呈季节性变化,氮素的淋失主要发生在当年的 6—8 月份之间,此期与降雨高频期的重叠加剧了对水环境的污染。水稻节水灌溉是当前降低太湖地区水体氮素污染行之有效的重要措施之一,采用节水节肥的管理模式,不仅能保持产量,还能减少灌溉量,大大降低施用氮肥对地下水污染的威胁。

3 西南地区

该区域包括 IX 东南丘陵区、X 华南丘陵区、XI 西南区和 XII 四川盆地区。没有查阅到前 3 个区有关氮的典型案例研究,其中 IX 东南丘陵区 and X 华南丘陵区均属于高肥高水区,是重点防治区域, XI 西南区虽降水多,但施肥量不大,目前够不成污染威胁。XII 四川盆地区目前施氮量居中,基本没有污染威胁^[28]。

4 综合结论

本研究只能就所能收集到的资料进行分析,现存的数据还不能达到建立模型去比较准确地估算各

区域氮素损失量,但是可以得出氮素污染的基本现状和发展趋势。现就整个研究做一小结。

就全国而言,农田氮素污染喜忧各半。中国氮肥用量在地区之间和作物之间分配不平衡,经济发达的东南部地区和城郊地区氮肥施用量远高于西北部地区,经济作物远高于粮食作物,氮肥短缺和过量施用并存。整体上缺乏系统研究,区域间研究不平衡:第一和第三类型区研究资料相对较少,主要集中在第二类型区。综合防治对策和措施滞后,主要原因是缺乏行之有效的技术体系做保证、更没有明确的法律和法规做后盾,还缺少实际操作模式。

4.1 一年一季作物区总体没有污染发生

在一年一季作物区内,受年施氮量和年降水量的限制,目前没有明显的大面积淋失现象,污染既不明显,也不普遍,够不成对水体总的污染威胁。其中辽宁以一季作物为主,存在轻微潜在污染的危险;河北、山西和陕西部分地区为一季作物,从全省平均数据来看,一季作物的施氮量要少于平均数,因此,就全国来看,一年一季作物区域目前基本没有污染发生。我国北方的旱作耕地:主要损失途径为氨挥发和反硝化;虽然硝态氮有残留,但降水量只有 500~600 mm,按夏季 70%降水计算为 350~420 mm,单次降水超过 50 mm 的次数不多(每 2~3 mm 降水可使硝态氮下移 1 cm),地下水埋藏深,大面积大田作物施氮量不大,因此淋失不是主要问题。只要按经济施肥量施用氮肥,完全可以控制氮素对水体的污染。当然此区域内的水浇地、菜地、果园、花卉栽培地等目前已经暴露出明显的污染迹象,特别是硝态氮在半干旱和干旱地区土壤深层的累计对水体环境构成了某种程度的潜在威胁,这是今后防治的主要对象。

4.2 一年二季或以上区作物高产污染明显而普遍

在一年二季以上的地区,年施氮量和年降水量都很大,特别是平原大田高产地区、城镇郊区、蔬菜地、果园和花卉栽培地污染严重。农田氮素已经构成对水体的污染威胁,必须将氮素严格控制在平均适宜施氮量范围内,才能显著地降低污染程度。受粮食价格和化肥价格的限制,近期大田作物的施肥量不会明显的增加,因此,可以认为高施肥量地区污染将保持一段时间,不会明显加重。在这些省、自治区、直辖市中,没有污染的有贵州、江西、广西、山西、云南、重庆、湖南、四川、海南、安徽;轻微污染的有河南、浙江;轻度污染的有河北、陕西、湖北、天津、广东;中度污染的有山东、福建;强度污染的有江苏、北京、上海。可见,污染

状况与整体经济发展水平高度相关。

4.3 展望

由于大田作物获得较高产量的“平均适宜施氮量(150~180 kg·hm⁻²·season⁻¹)”与氮素环境安全指标尚有一定距离,中国完全可以实现水体环境安全和农业高产优质的双重目标;氮肥对水体环境的影响主要是由于不合理大量施用氮肥造成的。因此,中国应制定施肥技术政策和法规,研究技术体系,示范推广模式,通过直接强制性措施、间接刺激性手段和无偿服务方式相结合的方法,规范、诱导和指导农民科学使用肥料,从根本上提高农民的生态农业和环境保护的意识,这是农田肥料面源污染防治的重要方面。

参考文献:

- [1] 孙宏德,等.黑土硝态氮移动规律及提高氮肥利用率的研究[J].吉林农业科学,1995,4:61-66.
SUN Hong-de, et al. The research of moving regularity NO₃-N of black soil and increasing utilization ratio of nitrogen fertilizer [J]. *Jilin Agricultural Sciences*, 1995,4:61-66.
- [2] 张效朴,等.不同氮肥用量对玉米产量及肥料利用率的影响[C].氮素循环与农业和环境学术研讨会论文集,2001.
ZHANG Xiao-pu, et al. Effects of different nitrogen dosage on maize's yield and fertilizer utility efficiency[C]. Nitrogen Circle and Agriculture and Environment Science, 2001.
- [3] 彭琳,王继增.侵蚀旱作土壤氮素吸收利用与淋溶流失[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(2):9-16.
PENG Lin, WANG Ji-zeng. Soil nitrogen uptake by crops, nitrogen leaching and loss from the eroded dryland[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1996,2(2):9-16.
- [4] 党廷辉,郭胜利.黄土旱塬长期施肥下硝态氮深层积累的定量研究[J].水土保持研究,2003,10(1):58-60,75.
DANG Ting-hui, GUO Sheng-li. Ration study on nitrate accumulation in ocher arid under the circumstance of fertilized for a long time[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(1): 58-60,75.
- [5] 郭胜利,郝明德.黄土沟壑区小流域土壤硝态氮的积累特征及影响因素[J].自然资源学报,2003,18(1):37-43.
GUO Sheng-li, HAO Ming-de. Nitrate accumulation characteristic and influence factors in small ocher ravine basin[J]. *Natural Resource Science*, 2003, 18(1): 37-43.
- [6] 李世清,李生秀.半干旱地区农田生态系统中硝态氮的淋失[J].应用生态学报,2000,11(2):240-242.
LI Shi-qing, LI Sheng-xiu. Leaching loss of nitrate from semiarid area agroecosystem[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(2): 240-242.
- [7] 樊军,郝明德.旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与积累的影响[J].土壤与环境,2000,9(1):23-26.
FAN Jun, HAO Ming-de. Effects of orientate fertilization for a long time in arid area on nitrate distributing and accumulating in soil section[J]. *Soil and Environment*, 2000, 9(1): 23-26.
- [8] 郭胜利,余存祖.有机肥对土壤剖面硝态氮淋失影响的模拟研究[J].水土保持研究,2000,7(4):123-126.
GUO Sheng-li, YU Cun-zu. Simulated test of effects of organic manure on leaching of NO₃-N in soil profile[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7(4): 123-126.
- [9] 毛端明,马鄂超.新疆三种主要农田土壤尿素氮的损失研究[J].西北农业学报,1993,2(4):34-38.
MAO Duan-ming, MA E-chao. Study on loss ways of urea nitrogen in Xinjiang three main agricultural soils[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 1993, 2(4): 34-38.
- [10] 叶优良,孙建好.灌水对大麦-玉米带田土壤矿质氮影响的研究[J].水土保持学报,2003,17(1):107-111.
YE You-liang, SUN Jian-hao. Effect of irrigation on mineral nitrogen concentration in soils of maize/barley intercropping[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2003, 17(1): 107-111.
- [11] 袁新民.不同施氮量对土壤硝态氮累积的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):8-13.
YUAN Xin-min. Effects of different nitrogen dosage on soil's nitrate accumulation [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001,19(1): 8-13.
- [12] 黄绍敏.施氮对潮土地下水硝态氮含量的影响[J].农业环境保护,2000,19(4):228-229.
HUANG Shao-min. Effects of N fertilizer application on content of nitrate-N in soil and underground water[J]. *Agro-Environmental Protection*, 2000, 19(4):228-229.
- [13] 黄元仿,贾小红.不同施肥条件下菜地土壤无机氮动态及其淋洗污染潜力[J].土壤通报,1997,28(4):175-177.
HUANG Yuan-fang, JIA Xiao-hong. Soil inorganic nitrogen's fate and it's potential leaching pollution in vegetable ground in different fertilized conditions[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 28(4):175-177.
- [14] 曾长立.氮肥施用对冬小麦土壤残留硝态氮含量及根系分布的影响[J].江汉大学学报,2002,19(1):82-85.
ZENG Chang-li. Effects of using nitrogen fertilizer to rudimental nitrate and roots distributing in winter wheat's soil[J]. *Jiangnan University Science*, 2002,19(1):82-85.
- [15] 同延安.灌区土壤中氮素平衡与硝态氮淋失[J].陕西农业科学,1994,5:12-13.
TONG Yan-an. The balance of nitrogen and leaching of nitrate in irrigation area's soil[J]. *Shanxi Journal of Agricultural Science*, 1994, 5: 12-13.
- [16] 袁新民.施用磷肥对土壤硝态氮累积的影响[J].植物营养与肥料学报,2000,6(4):397-403.
YUAN Xin-min. Effects of using phosphate on soil's nitrate accumulation[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(4):397-403.
- [17] 袁新民,同延安.有机肥对土壤硝态氮累积的影响[J].土壤与环境,2000,9(3):197-200.
YUAN Xin-min, TONG Yan-an. Effects of organic fertilizer on soil's nitrate accumulation[J]. *Soil and Environment*, 2000, 9(3):197-200.
- [18] 朱安宁,张佳宝.黄潮土的土壤水渗漏及硝态氮淋溶研究[J].农村生态环境,2003,19(1):27-30.

- ZHU An-ning, ZHANG Jia-bao. Soil water deep drainage and nitrate leaching in fluvo-aquic soil[J]. *Rural Eco-Environment*, 2003, 19(1): 27-30.
- [19] 刘光栋, 吴文良. 高产农田土壤硝态氮淋失与地下水污染动态研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 91-93.
- LIU Guang-dong, WU Wen-liang. The dynamics of soil nitrate nitrogen leaching and contamination of the groundwater in high-yield farmland[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(1): 91-93.
- [20] 陈子明, 等. 北京潮土 NO_3^- -N 在土体中的移动特点及淋溶失动态[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 71-79.
- CHEN Zi-ming, et al. NO_3^- -N's moving characterization and leaching trends in Beijing Chaotu[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1995, 1(2): 71-79.
- [21] 周凌云. 土壤水分条件对尿素氮去向的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 237-241.
- ZHOU Ling-yun. Effects of soil water conditions on fate of urea nitrogen[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(3): 237-241.
- [22] 刘光栋, 吴文良. 桓台县高产农田土壤硝态氮淋失动态研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 71-74.
- LIU Guang-Dong, WU Wen-liang. The dynamics of nitrate nitrogen leaching through soil in high-yield farmland ecosystem[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(4): 71-74.
- [23] 汤丽玲. 不同灌溉与施氮措施对露地菜田土壤无机氮残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(3): 282-287.
- TANG Li-ling. Effects of different irrigation and fertilization strategies on soil inorganic N residues in open field of vegetable rotation system[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(3): 282-287.
- [24] 吕殿青, 同延安. 氮肥施用对环境污染的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 8-15.
- LV Dian-qing, TONG Yan-an. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(1): 8-15.
- [25] 李荣刚, 夏源陵. 太湖地区节水灌溉与氮素淋失[J]. 河海大学学报, 2001, 29(2): 21-25.
- LI Rong-gang, XIA Yuan-ling. Water saving irrigation and control of nitrogen leaching in Taihu Lake region[J]. *Journal of Hehai University Natural Sciences*, 2001, 29(2): 21-25.
- [26] 王少平, 俞立中, 等. 上海青紫泥土壤氮素淋溶及其对水环境影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(6): 554-558.
- WANG Shao-ping, YU Li-zhong, et al. Nitrogen leaching in the purple clay and analysis on its influence on water environmental quality in Shanghai[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(6): 554-558.
- [27] 王胜佳, 王家玉. 稻田土壤氮素淋失的形态及其在剖面分布特征[J]. 浙江农业学报, 1997, 9(2): 57-61.
- WANG Sheng-jia, WANG Jia-yu. Soil profile distribution characteristics of leached nitrogen form in paddy fields[J]. *Acta Agriculture Zhejiangensis*, 1997, 9(2): 57-61.
- [28] 余贵芬, 毛知耘. 氮素在紫色土中的移动和淋失研究[J]. 西南农业大学学报, 1999, 21(3): 228-232.
- YU Gui-fen, MAO Zhi-yun. Study of N migration and leaching losing in purple soils[J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 1999, 21(3): 228-232.