

文章编号:1003-8701(2010)02-0048-05

我国农业面源污染的现状与对策

农业面源污染的现状与成因

任军¹, 边秀芝¹, 郭金瑞¹, 闫孝贡¹, 刘钊剑¹,
朱孝玉², 郑中和², 杨世清²

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 吉林省九台市农业局, 吉林 九台 130500)

摘要: 就我国农业面源污染现状进行了分析, 提出了农业面源污染的特点, 并从化肥和农药的使用、集约化养殖、农田秸秆的无序利用及农村生活污水等方面阐述了农业面源污染的成因。

关键词: 农业面源污染; 现状; 成因

中图分类号: X5

文献标识码: A

Current Status and Countermeasures of Agricultural Non-point Source Pollution in China:

Current Status and Causes of Agricultural Non-point Source Pollution

REN Jun¹, BIAN Xiu-zhi¹, GUO Jin-rui¹, YAN Xiao-gong¹, LIU Jian-zhao¹,
ZHU Xiao-yu², ZHENG Zhong-he², YANG Shi-qing²

(1. Academy of Agricultural Sciences of Jilin Province, Changchun 130033;

2. Bureau of Agricultural of Jiutai City Jilin Province, Jilin Jiutai 130500, China)

Abstract: Current status of agricultural non-point source pollution in China was analyzed in the paper. The characteristics of agricultural non-point source pollution were suggested. Causes of agricultural non-point source pollution were summarized in the aspects of application of fertilizer and pesticide, raising animals intensively, utilization of crop straw and rural life sewage, etc.

Keywords: Agricultural non-point source pollution; Current status; Causes.

农业面源污染是指在农业生产活动中, 氮素和磷素等营养物质、农药以及其他有机或无机污染物质, 通过农田的地表径流和农田渗漏, 形成环境污染, 主要包括化肥污染、农药污染、集约化养殖场污染。主要污染物是重金属、硝酸盐、 NH_4^+ 、有机磷、六六六、COD、DDT、病原微生物、寄生虫和塑料增塑剂等^[1-2]。

1 农业面源污染的现状

在农业生产活动中, 大量施用的化肥、农药以

及集约化养殖导致的农业污染, 已成为环境污染的主要原因, 而化肥利用率低, 农药施用过量, 则加剧了农业面源污染的程度。据调查, 农业生产中依然使用被禁止的农药^[3-4], 不仅对环境造成损害, 而且威胁食品安全。施用的化肥除被植物吸收外, 有相当部分进入水体和土体, 还有相当部分以 N_2O 气体形式逸散到空气里^[5]。

在很多地方, 由于过量施用化肥造成土壤肥力持续下降, 农民为维持农田生产能力, 更加依赖于增施化肥, 从而形成了污染→土壤肥力持续下降→加大化肥农药使用量→加重农业面源污染的恶性循环状态, 导致农田土壤生态环境的严重恶化^[6]。

1.1 对水体的污染

面源污染物已成为世界范围内地表水与地下水污染的主要来源, 而农业是主要的面源污染来

收稿日期: 2009-07-26

基金项目: 本研究得到科技支撑项目(2006BAD02A10、2006BAD02A15)、973课题(2009CB118601)、行业科研专项(200803030)的资助。

作者简介: 任军(1960-), 男, 研究员, 主要从事农田生态研究。

源。就中国巢湖、滇池和太湖流域来看,进入并滞留于巢湖中的污染物,69.5%的总氮和 51.7%的总磷来自面源污染^[7]。滇池外海的总氮和总磷负荷中,农业面源污染分别占 53%和 42%^[8]。

农田氮、磷的流失是引起水体富营养化的重要原因^[9-10]。据估计全世界每年大约有 300~400 万 t P_2O_5 从土壤迁移到水体中,美国每年由化肥和土壤进入水生态系统的磷达 0.45 亿 kg 左右,日本水田磷的排出负荷量为 0.3~8.4 kg/($hm^2 \cdot a$)^[11],我国广东东江流域农田的磷素流失量为 1.16 kg/($hm^2 \cdot a$)^[12],四川涪陵地区农田磷流失量为 1.17 kg/($hm^2 \cdot a$)^[13],陕西黄土高原侵蚀最严重的地区农田中磷流失量为 8.7~9.9 kg/($hm^2 \cdot a$)^[14]。张水铭等采用封闭体系和磷素平衡法对农田排水磷负荷量进行的实验表明,在雨水较丰富的苏南太湖地区排出磷负荷总量 440 t/a,平均耕地排出 537 g/($hm^2 \cdot a$),在旱地排水中固体物质的含磷量占总磷量的 78.7%^[15]。

我国的 22 个湖泊调查表明,其中 63.3%的湖泊是营养湖。如滇池、巢湖、甘棠湖(九江)、西湖、东湖、玄武湖等早已是富营养湖泊^[16]。有关估算结果表明^[17],太湖流域氮素流失率为 20%时,进入水环境的量每年为 96 547.52 t。磷素在 5%流失率时,进入水环境的量每年为 2 656.74t。

中国地下水近 50%被农业面源所污染,湖泊的氮磷 50%以上来自于农业面源污染。随降水径流和渗漏排出农田的氮素中有 20%~25%是当季施用的氮素化肥^[18]。就地表水(湖泊等)硝态氮的污染而论,氮素化肥占 50%以上^[19]。

农田中氮、磷养分主要是通过径流和淋洗进入水体环境,按照东北地区耕地和果园氮、磷营养物的径流、淋洗损失量分别占总氮平衡和总磷平衡的 35.39%和 4.02%^[20]来估算,则 1982 年东北三省由农田土壤总氮平衡、总磷平衡进入水体环境的氮、磷负荷分别为:辽宁 13.90 万和 0.38 万 t/a;吉林 5.60 万和 0.079 万 t/a,黑龙江 4.09 万和 0.24 万 t/a^[21]。

研究表明,美国因地表径流损失的农田氮素每年为 450 万 t,前苏联因地表径流造成土壤全氮损失每年达 300 万 t,溶解氮损失每年达 46 万 t^[22]。我国全年流失土壤达 50 亿 t,带走的氮、磷、钾等养分约相当于全国一年的化肥施用总量^[23]。

1.2 对土壤的污染

施肥不当或过量施用对土壤环境产生不利的影 响,主要表现在以下几方面:对土壤中硝酸盐累积的影响,对土壤肥力和性质的影响,会改变原有土壤

的结构和特性,造成土壤板结,有机质减少。同时,化肥中常常含有重金属、有毒有机化合物以及放射性物质等污染物,这些物质施入土壤后会发生一定程度的积累,造成土壤的潜在危害。肥料中铬、铅、砷元素含量较高,它们在土壤—植物系统的积累、迁移和转化中进入食物链,会影响到人体健康^[24]。

农药在防治有害害虫、减少农业损失、防止疾病传播和降低劳动强度等方面起了巨大作用,但是长期大量使用农药和其它化学物质造成的环境污染问题已经引起了广泛关注。化学农药的主要有害成分有以下几种:砷制剂(含亚砷酸盐或砷酸盐)、无机氟化合物(氟化钠、氟硅酸盐)、汞化合物(氯化汞、氯化亚汞)、有机磷化合物、有机氯化合物、有机氮肥化合物、菊酯类化合物、氰化物等^[25]。

不管使用哪种农药和采用哪种施药方法,都会使大量农药进入土壤,如喷施于作物叶片上的农药约有 50%可进入土壤,施于土壤中的农药更是污染的直接来源。同时农药还会通过土壤进入植物和动物体内,并在体内组织中富集^[26]。

造成塑料农膜污染的主要来源是塑料地膜,大量塑料地膜残留在农田的现象被称为“白色污染”。农业部组织的塑料地膜残留污染调查表明,污染较严重的地区有上海市、天津市、北京市、新疆维吾尔自治区、黑龙江省和湖北省等,每公顷农田土壤中残留塑料地膜量在 90~135 kg 之间。

1.3 对大气的污染

化肥对大气环境的影响主要集中在氮肥上,氮肥的气态损失主要包括氨挥发、硝化和反硝化,大气中 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 是重要的温室气体,它们对全球变暖的贡献率分别是 60%、15%和 5%。这些温室气体每年以 0.5%、1.1%和 0.3%的速度增加,这主要是人类活动的结果,其中农业生产的贡献占相当大的比例。据估算,大气中 20%的 CO_2 、70%的 CH_4 和 90% N_2O 的来源于农业活动和土地利用方式的转换等过程^[24]。

施肥除了与温室效应有关外,对酸雨及臭氧层破坏有重要的影响,氮的气态氧化物包括 NO 、 NO_2 、 N_2O 、 N_2O_5 和 N_2O_4 等,都有可能由化学氮肥在农田生态系统中通过生物化学作用而产生。它们与 SO_2 一样也能形成酸雨,对水生生态系统和陆地生态系统造成危害^[24]。

1.4 农业面源污染的特点

农业面源污染起因于土壤的扰动而引起农田中的土粒、氮磷、农药及其它有机或无机污染物,在降雨或灌溉过程中,借助农田地表径流、农

田排水和地下渗漏等途径而大量的进入水体,或因畜禽养殖业的任意排污直接造成水体污染。

2 农业面源污染的成因

2.1 化肥与农药的不合理使用

我国农业化学物质的大量施用,增加了面源污染物流失的几率。大量的农药化肥流失成为首当其冲的农业污染源^[25]。据试验结果表明:在同等降雨强度下,小麦前期施氮量在 112.5 kg/hm² 时,被雨水淋洗损失的总氮为施氮总量的 15% 左右;当施氮量提高到 225 kg/hm² 时,淋洗损失高达 30% 以上,太湖流域每公顷耕地每年就会有 6.4kg 农药流失^[26]。

目前,我国已经成为世界上最大的化肥生产国和消费国。2002 年全世界化肥总用量为 1.42 亿 t,我国为 4 339.5 万 t 约占世界总用量的 30%,居世界之首。但由于施肥方法、施肥量、施肥时间的不合理,我国的肥料利用率很低,造成大量肥料随径流、泥沙、淋溶水等损失。我国氮肥的利用率仅为 30%~35%,磷肥为 10%~20%,钾肥 35%~50%。剩余的养分通过各种途径进入环境^[1]。

化肥损失造成面源污染,对环境质量的破坏越来越重。全国有 20%~30% 的耕地氮施用过量,氮肥的地下渗漏损失为 10%,农田排水和暴雨径流损失为 15%。2002 年我国农田化肥氮用量为 2 471 万 t,通过损失进入环境,影响环境质量的数量达到 471.8 万 t,其中,通过淋洗和径流损失分别为 123.5 万 t 氮和 49.4 万 t 氮;分别有 27.2 万 t 氮以 N₂O 形态、271.7 万 t 氮以 NH₃ 形态进入大气^[1]。

农田氮、磷的损失程度取决于当地的降雨情况、施肥状况、地形地貌特点、植被覆盖条件、土壤条件和人为管理措施等多种因素。农田氮、磷流失量与径流量、以及降雨对地表的侵蚀能力成正相关,降雨条件和施肥状况对农田氮肥的径流损失有很大的影响,施肥后立即降雨可加大农田氮素流失量,且与肥料的种类有关,例如,尿素的地表径流损失在相似条件下比硝酸铵形态的氮要少一半^[27]。耕地上氮的损失量与施氮量密切相关,土壤氮淋溶量与施肥量呈近似直线的正相关 ($R=0.9847$, $Y=16.222+0.136 X$)^[28]。土壤氮、磷淋溶量还与土壤性质有关,如土壤氮淋溶量与土壤粘粒 (<16 μ m) 含量呈负相关的对数关系 ($Y=113.21-27.623 \ln X$, $R^2=0.9976$)^[29]。邬伦等的研究表明,土壤氮、磷流失量与植被、地形条件有很大关系,

一般盆地大于丘陵,丘陵大于山地;在丘陵、山地中,以中等坡度(20°左右)氮、磷流失量最大^[30]。

由于化肥投入量的增加,东北三省农田土壤氮、磷平衡均由建国初期的亏缺转为盈余,赢余量呈现随时间增加而增大的趋势。按照目前的发展趋势,东北地区可能面临吉林省农田土壤由于养分累积过多出现环境问题,而黑龙江省农田土壤因养分连年亏缺导致肥力严重耗竭的局面^[21]。

我国农药的产量和使用量都居世界前列,但有效利用率不足 30%。据调查,喷施的农药若是粉剂,仅有 10% 左右的药剂附着在植物体上;若是液体时,也仅有 20% 左右附着在植物体上;1%~4% 接触到目标害虫,其余 40%~60% 降落到地面,5%~30% 的药剂飘游于空中。由于农药没有得到合理的使用,大部分被浪费,这部分农药通过各种渠道流入水体和土壤,导致水体和土壤的污染^[31]。

2.2 集约化养殖场污染

由于相当部分的农村畜禽养殖场存在设施简陋、管理不善的情况,由此而带来了畜禽粪便废弃物的排放和污染问题。根据推算,1988 年全国畜禽粪便的产生量为 18.84 亿 t 是当年工业固废量的 3.4 倍,1995 年已达 24.85 亿 t 约为当年工业固废量的 3.9 倍。流失的畜禽粪便废弃物是造成农村水体有害物质超标,形成水体富营养化的重要原因。因此,畜禽养殖业流失的畜禽粪便也是农村环境污染的重要原因。从畜禽粪便的土地负荷来看,中国总体的土地负荷警戒值已经达到一定的环境胁迫水平,部分地区呈现出严重或接近严重的环境压力水平。畜禽粪便主要污染物 COD、BOD、NH₄-N、TP、TN 的流失量逐年增加,预计到 2010 年,它们的流失量将分别达到 728.26 万 t、498.83 万 t、132.20 万 t、41.95 万 t 和 345.50 万 t,其中总氮和总磷的流失量超过化肥的流失量^[32]。

2.3 农田秸秆的无序利用

近年来,由于生活水平的提高和沼气富民工程的实施,农村燃烧逐渐由液化气、沼气、煤占主要地位,秸秆直接用于生活用薪材不断减少。另一方面由于山区农村居住分散,交通条件等限制,秸秆的资源化利用率低,大量的秸秆任意散布在农田、道路两边。有些地方,在地表水的径流作用下,大量的秸秆还被带到江河、水库中。对行船造成了危害,对水体亦造成污染。

随着耕作制度和饲养方式变化后,农作物秸秆的去向仅限于两个方面:一是作为农户燃料,目前已不足总量的 30%;二是直接返田。扣除燃料和返田、

消耗,尚有一半左右的秸秆被废弃或焚烧^[33]。

目前,全国秸秆年产生量为 7 亿多 t,利用率不足 15%,近 3.2×10^8 t 秸秆可能会引起污染环境^[1],由于综合利用水平低下,剩余秸秆被大量焚烧,其后果不但浪费了生物资源,还造成了严重的空气污染。

2.4 农村生活废弃物污染

农村生活垃圾主要包括厨房剩余物、包装废弃物、一次性用品废弃物、废旧衣服鞋帽等^[34]。由于目前农村生活垃圾处理设施建设严重滞后甚至没有处理设施,部分农民环保意识又相对较差,许多难以回收利用的固体废弃物,如旧衣服、一次性塑料制品、废旧电池、灯管、灯泡等随意倒在田头、路旁、水边,许多天然河道、溪流成了天然垃圾桶^[35]。农村生活垃圾随意堆放不仅侵占了土地,而且还成为蚊蝇、老鼠和病原体的滋生场所。随着时间的推移,混合垃圾腐烂、发臭以及发酵甚至发生反应,不仅会释放出危害人体健康的气体,而且垃圾的渗滤液还会污染水体和土壤,进而影响农产品的品质。另外,农村自来水普及率偏低,饮用水大多取自浅井,因此,垃圾中的一些有毒物质的渗漏,如重金属,废弃农药瓶内残留农药等,随雨水的冲刷,迁移范围越来越广,最终通过食物链影响人们的身体健康^[34]。

2.5 农膜污染

农用塑料薄膜技术自从在我国推广以后,我国粮食产量有了大幅提高。但是,目前多数农用薄膜为聚乙烯成分组成,在自然环境中,其光解和生物分解性均较差,残膜留在土壤中很难降解。调查结果表明,地膜残留污染较重的地区,其残留量在 $90 \sim 135 \text{ kg/hm}^2$,高者达 270 kg/hm^2 。我国农膜年残留量高达 35 万 t,残膜率达 42%^[36]。1998 年农膜用量达 120.1 万 t,其中地膜 68.84 万 t,覆盖面积 967.4 万 hm^2 ,是 1982 年的 80 余倍^[37]。当土壤中含废旧农膜过多时,土壤通透性降低,影响了水分和营养物质在土壤中的传输,使微生物和土壤动物的活力受到抑制。同时,也阻碍了农作物生长,造成作物减产^[38]。连续覆膜的时间越长,残留量越大,对农作物产量影响越大,连续使用 15 年以后,耕地将颗粒无收^[39]。我国地膜污染的直接经济损失在 1 500 万元以上^[40]。据测定:当土壤中残膜含量为 58.5 kg/hm^2 时,可使玉米减产 11%~23%,小麦减产 9%~16%,大豆减产 5.5%~9%^[41]。

2.6 水土流失加重源污染

农业耕种带来的扰动活动实际上会增加农田的侵蚀。90%以上的营养物流失与土壤流失有关^[41]。

水土流失与农业面源污染是密不可分的,水土流失是导致发生面源污染的重要因素。

降雨是土壤侵蚀的动力,当雨水汇集成径流后,它又是携带其它形态养分的介质^[42],所以降雨强度应是坡地养分流失的主要影响因素之一,而地面坡度、降雨时间、土壤性质、地表状况、土地利用方式等直接影响到坡面径流,构成了影响坡面养分流失的主要因素^[43-47]。

降雨所诱发的侵蚀过程是水土流失的主要原因。坡耕地在雨水的分散、冲刷下,表土极易流失,土壤侵蚀量较大,流失土壤的表面吸附的养分物质成为了养分流失的主体,其中尤其细颗粒的吸附作用更为强烈,使泥沙中的养分流失量远远高于径流水中的养分流失量。表层土壤养分的大量流失,使部分养分物质产生了富集现象^[48]。

参考文献:

- [1] 崔 键,马友华,赵艳萍,等. 农业面源污染的特性及防治对策[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 335-340.
- [2] 黄晶晶,林超文,陈一兵,等. 中国农业面源污染的现状与对策[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(12): 47-48.
- [3] 马天宜,师校欣,等. 药用花卉的栽培与加工[M]. 北京:地震出版社, 1998.
- [4] 赵 剑,朱蔚华,王文科. 长春花生物碱生物合成途径和相关酶及其基因调控的研究进展 [J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(1): 60.
- [5] 陆美英,仇志荣. 药用植物栽培与加工[M]. 上海:上海中医药大学出版社, 1995.
- [6] 袁 勇,黄慧莲,刘贤旺. 无机肥料对中药有效成分含量的影响[J]. 江西林业科技, 2000, 1: 29-30.
- [7] 闫伍玖,鲍 祥. 巢湖流域农业活动与非点源污染的初步研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 129-132.
- [8] 郭慧光,闫自申. 滇池富营养化及面源控制问题思考[J]. 环境科学研究, 1999, 12(5): 43-44.
- [9] Dag O. Hessen et al. 氮流失对淡水和海洋受体富营养化的重要意义[J]. AMBIO- 人类环境杂志, 1997, 26(5): 306-313.
- [10] M.M. Abrams et al. J. Environ. Qual. 1995, 24(1): 132-138.
- [11] 李可芳,黄 霞. 磷肥的使用与农业面源污染[J]. 环境科学与技术, 2004, 27(增刊): 189-190.
- [12] 李定强,王继增,万洪福,等. 广东省东江流域典型小流域非点源污染物流失规律研究[J]. 水土保持学报, 1998, 14(3): 12-18.
- [13] 陈西平,黄时达. 涪陵地区农田径流污染负荷定量化研究[J]. 环境科学, 1991, 12(3): 75-79.
- [14] 余存祖,刘耀宏,彭 琳,等. 水土流失区农田物质循环与改善途径[J]. 中国水土保持, 1987, 8(5): 15-18.
- [15] 张水铭,马杏法. 农田排水中磷素对苏南太湖水系的污染[J]. 环境科学, 1993, 14(6): 24-29.
- [16] 金相灿. 中国湖泊富营养化[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1990.
- [17] 苑韶峰,吕 军. 流域农业非点源污染研究概况[J]. 土壤通

- 报,2004,35(4):507-511.
- [18] 韦鹤平. 环境系统工程 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1993, 183.
- [19] 朱荫湄. 施肥与地面水富营养化[A]. 施肥与环境学术讨论会论文集[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994, 40-44.
- [20] 杜秋根. 小流域汇水区水质保护方案制定方法与实例 [M]. 沈阳: 辽宁科技出版社, 2004: 151-162.
- [21] 曹宁, 曲东, 陈新平, 等. 东北地区农田土壤氮、磷平衡及其对面源污染的贡献分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(7): 127-133.
- [22] 世界资源研究所、联合国环境规划署、联合国开发计划署编. 世界资源报告 (1992-1993)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993.
- [23] 张世贤. 三张图表说喜忧 - 中国面临的严峻挑战与机遇 [J]. 中国农村, 1996(5): 6-9.
- [24] 叶文芳. 农用化学品引起的农业面源污染及其防治 [J]. 环境, 2006, 2: 46-49.
- [25] 邱钰祺, 付永胜, 朱杰, 等. 农业面源现状及其对策措施 [J]. 新疆环境保护, 2006, 28(4): 32-35.
- [26] 王东胜, 杜强. 水体农业非点源污染危害及其控制 [J]. 科学技术与工程, 2004, 10(2): 123-126.
- [27] 冯绍元, 黄冠华. 试论水环境中的氮污染行为 [J]. 灌溉排水, 1997, 16(2): 34-36.
- [28] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化 [J]. 土壤, 2000, 4: 188-193.
- [29] 王庆仁, 李继云. 论合理施肥与土壤环境的可持续性发展 [J]. 环境科学进展, 1999, 7(2): 116-123.
- [30] 邬伦, 李佩武. 降雨 - 产流过程与氮、磷流失特征研究 [J]. 环境科学学报, 1996, 16(1): 111.
- [31] 张绍冰. 农业面源污染的来源及防治措施 [J]. 现代农业科技, 2007, 8: 110-111.
- [32] 燕惠民, 陈欣欣, 谭济才, 等. 新时期农业环境监督管理探讨 [J]. 农业环境与发展, 2004, 21(1): 36-38.
- [33] 王东爱, 等. 苏州市农业污染现状调查及综合防治对策研究 [A]. 全国环保系统优秀调研报告文集[C]. 北京: 国家环境保护总局, 2001. 28-29.
- [34] 马香娟, 陈郁. 农村生活垃圾问题及其解决对策 [J]. 能源工程, 2002, 3: 25-27.
- [35] 徐晓春. 农村生活垃圾污染防治对策探讨 [J]. 甘肃环境研究与监测, 2003, 16(4): 452-454.
- [36] 杨晓涛. 农膜污染的防治对策 [J]. 农业环境与发展, 2000, 1: 28-30.
- [37] 张从. 中国农村面源污染的环境影响及其控制对策 [J]. 环境科学动态, 2001, 4: 10-13.
- [38] 陆伟东, 周少奇, 路江涛. 中国农村固体废物污染现状与防治对策 [J]. 内部资料.
- [39] 徐玉宏. 我国农膜污染现状和防治对策 [J]. 环境科学动态, 2003, 2: 9-11.
- [40] 张雪绸. 我国农村环境污染的现状及其保护对策 [J]. 农村经济, 2004, 9: 86-88.
- [41] 宋谦, 王凤仙. 农业环境研究 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 159-160.
- [42] Clark HED, et al. Eroding soils: the off-farm impacts [R]. Washington, D.C., the conservation foundation, 1985.
- [43] Ahuja L R. Characterization and modeling of chemical transfer to runoff [A]. In: Stewart (ed.), Advances in Soil Science [A], Springer-Verlag, New York, 1986, 149-184.
- [44] McDouel J et al. Estimating soluble (PO₄-P) and labile phosphorus in labile phosphorus in runoff from croplands [A]. Chapter 14 in Knise JW.G. (ed), CREAMS, U.S. Dept. Agr. Conservation Res. Rept. 1980, 26, 509-533.
- [45] 郑剑英, 吴瑞俊. 黄土丘陵沟壑区小流域土壤养分的分布特征 [J]. 水土保持通报, 1996, 16(4): 26-30.
- [46] 王百群, 刘国彬. 黄土丘陵区地形对坡地土壤养分流失的影响 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(2): 18-22.
- [47] 孟庆华, 杨林章. 三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究 [J]. 生态学报, 2000, 20(6): 1028-1033.
- [48] 马琨, 王兆骞, 陈欣, 等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 16-19.