

# 城市饮用水源农业面源污染综合防治措施研究

贾洪纪, 石长金, 严尔梅

(黑龙江省水土保持科学研究所, 黑龙江 宾县 150400)

**摘 要:** 以黑龙江省宾县县城水源地二龙山水库为例, 阐述了水源污染状况、面源污染形成的过程、机理及来源和途径。分析了流域农业生产管理中的化肥和农药施用、农业生物质类废弃物利用管理和水土流失对水源污染的影响。从污染物的源头控制、迁移途径控制和水生态修复控制体系构建出发, 提出了加强坡耕地农业生产管理、新农村建设工程、水土流失综合防治工程和河流廊道生态修复工程措施控制农业面源污染, 实现人水和谐。

**关键词:** 饮用水源; 面源污染; 水土流失; 综合防治措施

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2008)01—0154—04

中图分类号: S273, S471

## Comprehensive Control of Non-point Source Pollution for Urban Drinking Water Source

JIA Hong-ji, SHI Chang-jin, YAN Er-mei

(Institute of Soil and Water Conservation of Heilongjiang Province, Binxian, Heilongjiang 150400, China)

**Abstract:** By taking the water source of Binxian County, Heilongjiang Province, the Erlong reservoir, as an example, the condition, process, mechanism, and transport way of non-point source pollution were investigated. The influences of fertilizer, pesticides, utilization and management of agricultural biomass waste, and soil erosion on the water source were analyzed. To achieve the human-water harmony, source of pollution and its transport way, capacity of ecological restoration, management of agricultural biomass waste in village, control of soil erosion, and the rehabilitation along the river corridor should be taken into consideration so as to control the non-point source pollution.

**Key words:** drinking water source; non-point source pollution; soil and water loss; comprehensive control

农业面源污染主要指农业生产、农村生活活动中产生的, 和土壤中的沉积物、营养物质、农药、病菌及其他有机、无机污染物通过水力等途径, 使污染物由土壤圈运动扩散进入水圈, 造成水体污染的过程<sup>[1-2]</sup>。农业面源污染具有分布范围广, 随机性强, 潜伏期长, 形成过程复杂, 机理模糊, 不易监测, 难以量化, 危害性大等特征<sup>[2]</sup>。因此, 预防和控制面源污染是一个长期而艰巨的任务。

本文以黑龙江省宾县县城饮用水源地——二龙山水库及其上游流域为例, 分析了水源地近 10 a 面源污染的变化趋势, 根据污染发生的成因机理, 提出相应的综合防控措施, 为水源地水质安全和可持续利用提供技术支持。

## 1 饮用水源及其污染概况

### 1.1 水源地流域概况

二龙山水库位于宾县城西 6 km, 蜚克图河上游, 水库于 1972 年正式交付使用, 总库容  $9.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 兴利库容  $7.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 1987 年开始利用水库作为县城饮用水供水源地, 每年为县城  $1.0 \times 10^5$  居民提供生活用水以及工业、城建及环境用水量, 总计在  $3.5 \times 10^6 \sim 5.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 是一个兼有灌溉、防洪、养鱼、旅游和生态等综合功能的中型水库。水源地上游流域面积  $277.12 \text{ km}^2$ , 年平均降雨量 630 mm, 流域内有平坊镇、二龙山林场、国家 4A 级二龙山旅游风景区和省属松江矿业集团。

收稿日期: 2007-08-20

修回日期: 2007-11-05

资助项目: 黑龙江省重点科技攻关项目 (GB06C20301)

作者简介: 贾洪纪 (1961—), 男 (汉族), 黑龙江省五常市人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水土保持和开发建设项目水土流失防治方面的研究工作。E-mail: sbsjhj@163.com。

## 1.2 水质污染状况

据李春艳等利用 2000 年 1, 2, 5, 7, 8, 10 月 6 次水源地出口断面水质监测资料, 选取与水质富营养化有关的总氮(TN), 总磷(TP), 生物需氧量(BOD), 化学需氧量(COD), 透明度(SD), 悬浮物(SS)等, 7 项指标, 采用营养度指数法进行综合评价。计算结果综合营养度指数为 55.073 1, 超过富营养化标准 5.073 1 个单位, 水质属于初级富营养化类型<sup>[3]</sup>; 同时, 选用氮、磷平均质量浓度指标, 以狄龙模型为基础, 预测了未来水源地水质营养状态变化趋势, 水质 TN、TP 的质量浓度同步增长, 但 TP 的增长幅度大于 TN, 水源地水质富营养化逐渐加剧<sup>[4]</sup>。张颖等采用灰色理论对水源地水质变化趋势进行评价, 表明水质质量在 1996—2003 年的 8 a 期间呈下降趋势, 主要污染物是 TN, TP, 属有机污染型<sup>[5]</sup>。

## 2 面源污染机理与成因分析

### 2.1 面源污染的过程机理

水资源农业面源污染形成的过程和机理: 一是污染物在土壤圈中的存在方式、运动和转化过程。土壤具有自动调节功能, 当污染物质进入土壤后, 与土壤生态系统之间发生一系列物理、化学和生物反应, 通过稀释、扩散、吸附、沉淀和降解作用, 转变为无毒或毒性小的物质, 甚至成为营养物质。但是, 当污染物在地表和土壤中过量富集和堆积, 超过土壤的自调负荷, 将导致面源污染。二是污染物在外界条件与力的作用下从土壤向水体扩散迁移的过程。堆积、富集于

地表和土壤中的污染物在降水淋溶、渗漏、径流冲刷作用下, 通过地表径流、地下径流等途径, 使污染物由土壤圈扩散、迁移进入水圈的过程。三是水体的自净调节并且向水污染的演变过程。水土流失携带大量泥沙和污染物进入沟道、河流和湖库, 沿途在平缓的河道和水生植物阻挡下使部分携带物沉降淤积, 引起水生态系统退化, 其余携带物全部进入水库。水库生态系统相对脆弱, 其对营养物质的吸收和对有害物质的降解净化能力较低, 系统的调节控制与自我恢复能力弱, 加之水面蒸发、渗漏和泥沙污物沉积富集作用, 水质一旦污染, 系统的自我恢复难以实现。

### 2.2 面源污染的来源途径

水源地面源污染主要来源于农业生产中化肥、农药的长期大量投入和不合理使用; 农村生活中人体排泄物、污水、垃圾未加处理和有效利用<sup>[6-7]</sup>; 农业生物质类废弃物如畜禽粪便<sup>[8]</sup>、秸秆等副产品未进行资源化利用和土壤中的有机物质、氮磷、有害重金属等污染物。主要途径是通过地表径流和地下渗漏及风力、重力和人为作用, 使污染物进入水体, 形成水体污染的过程。

2.2.1 农业生产管理 农业生产管理方面的污染主要包括化肥、农药施用两方面。

(1) 化肥施用。在农田施肥管理中, 化肥用量和氮磷钾比例适宜时, 农作物对化肥的吸收利用率高, 其产量与效益也高。目前, 农民为了追求高产增加收入, 盲目增加化肥投入。1996—2005 年流域粮食作物种植面积的化肥投入和粮食产量见表 1。

表 1 1996—2005 年化肥折纯施用量和粮食产量

年份	面积/hm <sup>2</sup>	氮肥/t	磷肥/t	钾肥/t	复合肥/t	化肥/t	单产/(kg·hm <sup>-2</sup> )	总产/t
1996	4 010	205	83	61	80	429	5 111	20 495
1998	4 083	385	176	195	210	966	3 090	12 619
2001	4 402	271	149	272	613	1 305	2 875	12 654
2003	4 249	352	335	306	258	1 250	3 341	14 196
2005	5 230	223	116	167	811	1 317	5 300	27 721

由表 1 可知, 10 a 间化肥施用总量增加了 888 t, 提高了 2.07 倍; 粮食总产量增加 7 226 t, 提高了 35.26%; 化肥单位用量 1996 年为 106.98 kg/hm<sup>2</sup>, 2005 年为 251.82 kg/hm<sup>2</sup>, 10 a 增加了 155.5 kg/hm<sup>2</sup>, 提高 161.44%; 而粮食单产仅增加 189 kg/hm<sup>2</sup>, 提高 3.70%, 表明肥料利用率较低。原因是化肥的长期大量的使用, 引起土壤的理化生物性状变劣, 保肥供肥能力的降低; 当施用量超出作物的吸收

能力时, 将形成过量养分在土壤中富集或无效损失; 氮磷钾施用比例失当也使化肥利用率降低, 导致肥料大量的流失增肥不增产; 化肥施用技术落后, 覆土浅, 有的裸露在地表, 造成肥料的损失浪费, 甚至成为环境公害。

(2) 农药施用。1996—1998 年流域内防治病虫害的农药使用量平均为 18.5 t。近几年, 为了防治杂草危害, 玉米、大豆和水稻生产全部采用化学除草, 农

药使用量增加到 31.0 t,增加了 67.6%。单位面积农药使用量由 4 kg/hm<sup>2</sup> 提高到 7 kg/hm<sup>2</sup>。农药施于农田后,其归宿有二:一是依附于植物体上,能被植物吸收利用的最多只有 30%,一般液体农药为 20%,粉剂农药仅有 10%附着在植物体上;二是残存于环境之中,有 70%以上的农药进入环境,污染大气、土壤和水质。

2.2.2 农业生物质废弃物 随着流域内人口的增长,农牧业生产的快速发展,导致大量农业生物质产生(见表 2)。目前,仅有 10%~15%的秸秆被用于畜禽饲料,大部分秸秆用于生活燃料,致使环境受到污染。由于农民对人畜禽粪便资源化利用重视不够,清

理、运输不及时,发酵、消毒、灭菌处理率低,有 60%~80%的粪便和几乎全部生活垃圾没有进行有效利用,造成资源的浪费和环境污染。

2.2.3 水土流失污染 据黑龙江省水土保持研究所对水源地上的水土流失调查结果<sup>[9]</sup>,全流域水土流失面积 11 678.2 hm<sup>2</sup>,其中,轻度侵蚀面积 6 505.3 hm<sup>2</sup>,中度侵蚀面积 2 441.5 hm<sup>2</sup>,强度侵蚀面积 2 121.5 hm<sup>2</sup>,极强度侵蚀面积 609.9 hm<sup>2</sup>。

经监测计算,由于水土流失导致水库年均淤积泥沙 3.13 × 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>,其养分含量分别为有机质 8 576.2 t,全氮 685.5 t,全磷 269.2 t,全钾 6 300.7 t,使水源地形成大量泥沙淤积和水质富营养化。

表 2 农业生物质总量比较

年度	秸秆总量	人畜禽粪便				
		数量	化学需氧量	氮	磷	钾
1996	24 369	196 900	5 907	626	371	881
2005	33 159	246 100	7 383	783	464	1 101
增加/ %	36.07	24.99	24.99	25.08	14.86	24.98

### 3 农业面源污染的综合防治措施

根据面源污染的过程机理、来源途径和成因分析,该流域加强了坡耕地和村屯面源污染物的管理,实施了污染物的源头控制;进行了水土流失综合治理,控制污染物的迁移途径;对河岸、河滩和湿地实行了生态修复,以控制水体污染,并且形成综合的防治体系<sup>[10-11]</sup>。

#### 3.1 坡耕地农业管理措施

坡地农业生产管理措施重点在于污染物的源头管理,是预防和控制面源污染的经济有效方法。该流域以坡耕地为重点,在修梯田、地埂、改垄等防控坡面径流和土壤、肥料、污染物迁移的基础上,采取了减少径流产生的保护性耕作措施。如采用垄向区田、深松耕法、少耕法、地膜覆盖、增施有机肥、秸秆还田等措施,以提高粮食生产,控制水土流失和面源污染。监测土壤养分和土壤清洁(或污染)状态,限量使用化肥、农药,推广有机肥料、生物肥料、缓释肥料和测土平衡施肥,提高肥料利用率。加强病虫害的预测预报,优先选用生物防治和人工防治,尽量选择高效、低毒、低残留农药,甚至不用或少用农药。调整种植结构和农业生产结构,大力发展高效农业,促进农民增收。推广畜禽粪便资源化技术,利用生物好氧发酵技术生产以畜禽粪便为原料的有机肥料。

#### 3.2 新农村建设工程措施

流域内村镇正在开展社会主义新农村建设,按新农村规划建设推进村边、路边和庭院绿化、美化、香化建设。改造家庭厕所,修建村屯卫生公厕,改变人畜混居状况,推广畜禽养殖小区,粪便畜舍及时清理消毒。加强了村屯道路整修,路沟排水通畅管护。设立了秸秆、粪便和垃圾集中堆放点,做到定期处理。推广种植、养殖、沼气三位一体的经营模式,发展沼气、秸秆气化、阴燃等能源建设,提高农业生物质资源化利用率,防止农村生产生活废弃物被径流冲刷而加重水质污染。

#### 3.3 河流廊道生态修复工程措施

沪恢复和重建河流与农田交界处的生态缓冲带,保护河流岸坡免遭侵蚀并对农田径流污染实施初级净化处理<sup>[12]</sup>。水行政部门依法管护河流两岸与水域岸边的滩地、湿地植被,严禁放牧、开垦、挖沙等非法活动,防止新的人为破坏。对已经遭到破坏的滩地和湿地,采取封育保护和封禁治理,自然修复滩地植被与湿地景观。条件允许或不适宜耕种的低湿洪涝地,栽种灌木柳、芦苇等耐湿,降解污染的乔、灌、草植物,重建护岸护滩林。加强了河流、水源地水质监测工作和《水法》执法检查力度,保护水资源,修复水生态。

#### 3.4 水土流失综合防治措施

水土保持是防治面源污染,保持水源水质,保障

饮水安全的重要手段<sup>[13]</sup>。目前,饮用水源地流域已经被列为国家生态建设重点工程,以小流域为单元采取综合措施防治水土流失和控制农业面源污染,积极推进生态清洁型小流域治理工程。该项目区总面积为 30 089.43 hm<sup>2</sup>,水土流失面积为 13 667.42 hm<sup>2</sup>,有大小侵蚀沟 1 029 条,土壤侵蚀模数为 3 500 t/(km<sup>2</sup>·a)。

项目区建设的主要任务是治理水土流失面积 12 551.53 hm<sup>2</sup>。其中等高耕作 3 666.06 hm<sup>2</sup>,水平梯田 200 hm<sup>2</sup>,坡式梯田 300 hm<sup>2</sup>,地埂植物带 447.54 hm<sup>2</sup>;营造水土保持乔木林 2 943.58 hm<sup>2</sup>,水土保持灌木林 1 649.08 hm<sup>2</sup>,栽植经济林果 355.72 hm<sup>2</sup>,封禁治理 2 989.55 hm<sup>2</sup>;治理侵蚀沟 1 023 条,修谷坊 4 457 座,开挖截水沟 5.2 × 10<sup>5</sup> m,修塘坝 4 座;修农道 4.4 × 10<sup>4</sup> m,建水土保持示范区一处,修围栏 40 km。项目总动用土石方 1.4 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,苗木 9.0 × 10<sup>6</sup> 株,投工 1.17 × 10<sup>6</sup> 个,项目建设总投资 2.87 × 10<sup>7</sup> 元。

工程建设期末,治理的程度由 6.15% 提高到 91.84%,森林覆盖率由 51.56% 提高到 66.82%,各项水土保持措施通过拦蓄、减缓地表径流,增加土壤入渗,每年可增加水资源利用量 1.18 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,蓄水效益达到 57.36%。各项措施减少土壤侵蚀量 4.34 × 10<sup>5</sup> t,保土效益达到 90.64%,减少水库泥沙淤积,土壤中的氮、磷、钾、有机质也免于流失,延长了饮用水工程使用寿命,对改善流域水质和城市的饮用水安全发挥了重要作用。

(上接第 153 页)

(2) 人工干预和自然恢复的情况下,林地植被盖度、植物种类和数量均都有大幅度增加。

(3) 人工植被物种的重要值的大小排序是柠条 > 红柳 > 侧柏 > 沙冬青 > 白刺 > 野枸杞 > 山杏 > 山桃,这一排序反映了物种对环境适应的大小。

(4) 红砂、合头草无论在任何情况下,都能以优势种出现,是能够较强适应当地环境的植物,是干旱区在进行植被建设过程中应当重点选择的造林树种。因此,应采用蒸腾耗水量少而抗逆性强,适应性广的乡土灌木树种造林,易于成活,绿化见效快又可长期稳定。

(5) 人工植被的物种的多样性指数、群落的均匀度指数和物种的丰富度指数与封育区比较接近,与对照区差异较大。

(6) 人工植被与对照区的相似性指数较大,为

#### [参 考 文 献]

- [1] 吴希媛,张丽萍. 坡地水土流失对水体富营养化贡献的研究进展. 水土保持研究[J]. 2006,13(5):296—298.
- [2] 杨萍果,毛任钊,侯美亭. 区域农业非点源污染的趋势与控制对策[J]. 农业系统科学与综合研究,2007,23(1):52—60.
- [3] 李春艳,华德尊. 二龙山水库水体富营养化的研究[J]. 环境科学研究,2002,15(3):1—6.
- [4] 李春艳,华德尊,张莉. 二龙山水库水质富营养化及削减规划研究[J]. 环境科学研究,2002,15(3):7—10.
- [5] 张颖,杨伟光,吴昊,等. 二龙山水库水质变化趋势评价研究[J]. 东北农业大学学报,2004,35(6):708—711.
- [6] 黑龙江省土地管理局,黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤[M]. 北京:农业出版社,1992.
- [7] 段亮,段增强,夏四清. 农田氮磷向水体迁移原因及对策[J]. 中国土壤与肥料,2007(4):6—11.
- [8] 张绪美,董元华,王辉,等. 江苏省畜禽粪便污染现状及风险评价[J]. 中国土壤与肥料,2007(4):12—15.
- [9] 孙雪文,樊华. 二龙山流域水土流失遥感现状调查与分析[J]. 黑龙江水利科技,2003(4):104—106.
- [10] 毕小刚,杨进怀,李永贵,等. 北京市建设生态清洁型小流域的思路与实践[J]. 中国水土保持,2005,5(1):18—20.
- [11] 孙宇,张永春. 利用河流的环境容量控制太湖流域农村面源污染[J]. 中国水土保持,2005(10):39—41.
- [12] 姚云鹏,陈芳清,许文年,等. 生态河流构建原理与技术[J]. 水土保持研究,2007,14(2):135—138.
- [13] 杨爱民,段淑怀,刘大根,等. 水土保持的水环境效应研究[J]. 中国水土保持科学,2007,5(3):7—13.

0.936 7,而人工植被与封育区,封育区与对照区的相似性指数很小。随着林地物种数量和种类的不断增加,三者会表现出更大的差异性。

#### [参 考 文 献]

- [1] 孙濡泳,李博,尚玉昌,等. 普通生态学[M]. 北京:高等教育出版社,1997.
- [2] 迎倩,马克平. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994.
- [3] 王国梁,刘国彬,侯喜禄. 黄土高原丘陵沟壑区植被恢复重建后的物种多样性研究[J]. 生态学报,2002,20(2):182—187.
- [4] 杨光,孙保平,赵廷宁,等. 黄土高原丘陵沟壑区退耕还林工程植被恢复效益研究[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(2):165—170.
- [5] 赵岷阳,苏宏斌. 论干旱气候条件下甘肃无灌溉区植被恢复与重建[C]. 兰州:甘肃省科技年会论文集,兰州大学出版社.