

基于 BMPs 的宁夏黄河灌区农业 非点源污染控制方案

冯永忠^{1a,2}, 谢晓军^{1b}, 杨引禄^{1b}, 曹艳春^{1b}, 杨改河^{1a,2}

(1 西北农林科技大学 a 农学院, b 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西省循环农业工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】在最佳管理措施(BMPs)基本原理的基础上,构建宁夏黄河灌区农业非点源污染防控方案,为宁夏黄河灌区农业非点源污染防治提供理论依据。【方法】在分析宁夏黄河灌区农业非点源污染特征的基础上,根据 BMPs 的基本原理,构建了基于 BMPs 的农业非点源污染综合防控方案。【结果】在农户、农村社区、农田、区域 4 个层面上,构建了工程型与非工程型 BMPs 相结合的宁夏黄河灌区农业非点源污染综合防控技术体系,并提出了一些建议。【结论】构建了基于 BMPs 的宁夏黄河灌区农业非点源污染综合防控方案。

【关键词】 最佳管理措施;宁夏黄河灌区;农业非点源污染

【中图分类号】 X51

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)07-0171-06

Project for controlling non-point source pollution in Ningxia Yellow River irrigation region based on Best Management Practices

FENG Yong-zhong^{1a,2}, XIE Xiao-jun^{1b}, YANG Yin-lu^{1b},
CAO Yan-chun^{1b}, YANG Gai-he^{1a,2}

(1 a College of Agronomy, b College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 The Research Center for Recycling Agricultural Engineering Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The study introduced Best Management Practices (BMPs) based on the basic principles. In view of Ningxia Yellow River irrigation area agriculture nonpoint source pollution characteristic, agriculture nonpoint source pollution prevention and control plan was proposed for the Ningxia Yellow River irrigation area to provide theoretical basis. 【Method】 According to the analysis of the non-point pollution characteristics Ningxia Yellow River irrigation agriculture, synthesis prevention and control plan was constructed about agricultural nonpoint source pollution based on the best management measure. 【Result】 The comprehensive prevention and control technology featuring of four levels in farmers, rural communities, farms and regions engineering measures and non-engineering measures in Yellow River irrigation region of Ningxia was proposed. 【Conclusion】 Based on the best management measure, agriculture non-point source pollution prevention and control plan was proposed for Ningxia Yellow River irrigation region.

Key words: Best Management Practices; Ningxia Yellow River irrigation region; agriculture non-point source pollution

农业非点源污染是多数流域水体污染的主要因 素^[1-2]。主要包括由土壤流失、化肥、农药、畜禽养殖

* [收稿日期] 2010-12-02

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07212-004-01)

[作者简介] 冯永忠(1972—),男,甘肃渭源人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事资源与环境生态、循环农业研究。

E-mail: fengyz@nwsuaf.edu.cn

等在农业生产过程中造成的非点源污染^[3]。最佳管理措施(Best Management Practices, BMPs)是指用于控制、预防、移除或降低非点源污染的任何计划、技术、程式、操作方法和设施,甚至是规划原则^[4],其概念最早于 20 世纪 70 年代末在美国提出,并在英美及欧洲国家得到了广泛应用。美国在密西西比河三角洲治理评估工程中采取了一系列保护性的最佳管理措施,一些管理措施可以使该流域的沉积物负荷减少 70%~97%,同时通过沉积运移产生的 N、P 负荷在很大程度上得以控制;研究还发现,冬天的一些保护性植物对流域 NO₃⁻-N 负荷的减少有显著作用^[5]。目前,BMPs 已在我国的北京、深圳、厦门等城市得到了应用,由于社会各界对非点源污染的关注度越来越高,所以 BMPs 的应用与推广程度也越来越快^[6]。

宁夏黄河灌区是我国西北地区历史悠久的农业精华区,但当前生产上仍是采用“大引大排”和过量施用农药、化肥等粗放农作方式,由其引起的非点源污染,对黄河水质构成了极大的威胁^[7]。此外,最近几年随着该地区灌区养殖业规模的不断扩大,非点源污染状况进一步加剧。因此,加大对宁夏黄河灌区农业非点源污染的控制已经成为当前亟需解决的问题。本研究利用 BMPs 的基本原理,结合宁夏黄河灌区农业非点源污染的特征,构建了基于 BMPs 的农业非点源污染综合防控方案,以期为该区域农业非点源污染的防治提供指导。

1 宁夏黄河灌区概况

宁夏黄河灌区位于宁夏北部黄河沿岸,年引水量约 34 亿 m³,其中农业用水占 93%~95%,年退入

黄河的水量达 25 亿 m³ 左右;以青铜峡水利枢纽为界,可将灌区分为卫宁灌区和青铜峡灌区,涉及银川市、中卫市(除海原县)、吴忠市(除盐池与同心)和石嘴山市等 12 个县(市、区)。其中卫宁灌区耕地面积 7.67 万 hm²,年引水量约 8.8 亿 m³;青铜峡灌区耕地面积 42.21 万 hm²,年引水量约 49.16 亿 m³。宁夏黄河灌区包括自流灌区和扬黄灌区 2 种类型,在自流灌区,有大小排水沟近 200 条,排水总量约 25 亿 m³;在自流灌区边缘,因受地形影响无法自流灌溉,为了解决黄土丘陵和台地地区人民的生活及灌溉用水,陆续发展了南山台子、同心、固海、红寺堡、盐环定等扬黄灌区。扬黄灌区又可分为陶乐灌区、盐池灌区、红寺堡灌区、固海灌区和南山台子灌区,主要涉及平罗县河东地区、盐池县、红寺堡开发区、同心县、中宁县、中卫及海原县和原州区,年引水量约 12.2 亿 m³。

2 宁夏黄河灌区农业非点源污染现状

2.1 种植业

宁夏黄河灌区农业灌溉设施完善,光热资源比较丰富,该地区一直是宁夏自治区乃至西北地区的重要粮食生产基地。灌区内的化肥和农药投入已经处于较高水平,且还在不断增长。2002—2009 年灌区农田化肥年均施用量为 73.4 万 t,化肥平均施用量为 1 639 kg/hm²,其中施用氮肥 914 kg/hm²(折纯量),施用磷肥 214 kg/hm²。与 2002 年相比,2009 年氮肥、尿素、磷肥、复合肥施用量分别增加了 26%,40%,11%,54%,该时段内化肥施用量年均增长率为 6%^[8-13](表 1)。

表 1 2002—2009 年宁夏黄河灌区农田化肥施用量状况(实物量)

Table 1 Situation of the agricultural chemical fertilizing in Ningxia Yellow River irrigation region (physical quantity) in 2002—2009						
年份 Year	总播种面积/万 hm ² Total sown area	稻谷面积/万 hm ² Sown area of grain crops	氮肥/万 t Nitro-genous fertilizer	尿素/万 t Urea	磷肥/万 t Phosphate fertilizer	复合肥/万 t Compound fertilizer
2002	39.2	5.7	36.7	13.9	10.1	7.1
2003	43.3	4.6	39.5	15.5	10.5	9.0
2004	41.3	5.7	40.4	18.5	10.7	10.6
2005	42.1	6.2	39.1	19.9	11.4	12.9
2006	43.3	7.1	41.5	21.4	11.8	13.3
2007	43.3	7.2	44.4	23.4	11.9	14.0
2008	52.6	8.0	43.2	22.5	12.6	14.9
2009	53.2	7.8	42.8	23.1	11.4	15.7

本研究在对宁夏黄河灌区农业结构的调查中发现,农民的化肥施用量高达 530 kg/hm²,是全国平均值(340 kg/hm²)的 1.6 倍多。霍庭秀等^[14]的研

究表明,宁夏灌区排水沟中的主要污染物为氨态氮、总磷、氟化物、化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)等,且超标严重。宁夏境内的 200 余条黄河

灌区排水沟,在接纳大量农田使用的化肥、农药后,除少数几条排污沟有监测断面控制外,其余排水沟中的污染物均无控制地排入黄河,且排入黄河的污染物质已超过水体所能承受的环境容量,严重威胁着黄河的水质安全^[7]。据宁夏环境监测站报告,2008 年黄河宁夏段水质为Ⅲ—Ⅳ级,丰水期水质明显优于枯水期,且左岸污染高于右岸,主要污染指标为 COD 和五日生化需氧量;与 2007 年同期相比,2008 年黄河宁夏段污染指标明显减少,污染程度明显降低,水体水质明显好转^[15]。

另外,农药农膜的不合理使用以及农业秸秆的不科学处理,也是造成灌区非点源污染的一个重要因素。本研究调查发现,灌区的农药用量平均为 14 kg/hm²(有效成分),高于全国的平均水平(12.73 kg/hm²)。农用塑料薄膜大量使用后若未及时回收,会造成农田“白色污染”,在土壤中累积,影响土壤物理性质。随着区域能源结构的改变,用作生活能源的农作物秸秆越来越少,大量秸秆被就地焚烧,或是被丢弃在田沟中,经过风化、雨淋、腐烂,秸秆中的有机物质进入水体,不仅对水体造成了严重危害,同时也污染了农田和农村的生态环境。

2.2 养殖业

养殖业是宁夏黄河灌区的另一个重要污染源,大中型养殖场几乎全部集中在该区域。2002 年畜禽(大牲畜、猪、羊、家禽)存栏数 1 733.9 万头(只),2009 年畜禽存栏数为 1 451.5 万头(只)。2002—2009 年,大牲畜存栏数年均增长 7%,羊、猪和家禽存栏数先降低,2007 年有所回升,至 2009 年又有所下降。2009 年大牲畜存栏数占全区的 48%,猪存栏数占全区的 72%,羊存栏数占全区的 56%,家禽存栏数占全区的 79%(表 2)。

表 2 2002—2009 年宁夏黄河灌区的养殖情况

Table 2 Livestock breeding in Ningxia Yellow River irrigation region in 2002—2009 万头(只)

年份 Year	大牲畜 Large animal	猪 Hog	羊 Sheep and goat	家禽 Poultry
2002	43.3	101.8	253.3	1 335.5
2003	42.5	91.4	276.4	836.0
2004	49.6	84.6	284.5	1 026.8
2005	55.8	89.4	283.8	997.0
2006	62.0	93.9	295.2	1 066.8
2007	69.4	99.5	309.9	1 152.2
2008	50.5	63.5	209.4	1 022.3
2009	47.0	66.1	217.2	1 121.2

农村畜禽粪便一般随意堆置,直接影响着农村的环境卫生。2008 年宁夏统计年鉴^[11]数据显示,全

区畜禽排放粪便总量为 2 380.3 万 t,尿液 567.7 万 t。由于灌区气候干旱,降雨量少而蒸发量大,畜禽粪便进入水体的流失率较其他地区低,因此若将该地区粪便流失率按 3% 估算,进入水体的尿液量以 40% 估算^[16],则 2008 年宁夏灌区进入水体的流失家禽粪便量为 71.4 万 t,尿液为 227.1 万 t。如此大规模的畜禽粪便尿液堆放和流失不仅占用了土地面积,增加了土地的承载力;同时畜禽粪便中的 N、P 等营养物经过土壤渗透,也会使地下水中的硝态氮或亚硝氮浓度增高。这些未经处理的高浓度有机废水的集中排放,以及畜禽粪便等在堆放贮存过程中因雨水冲洗流入水体,大量消耗水体中的溶解氧,使水体变黑发臭,促使水体富营养化,水质恶化,进一步增加了非点源污染的强度。

2.3 生活排污

农村生活排污主要包括固体生活垃圾、粪便和生活污水的排放。宁夏黄河灌区农村人口基本保持稳定,2000—2009 年,粪便排泄量稳定在 180 万 t,生活污水量稳定在 20 万 t 左右,固体生活垃圾排放量稳定在 30 万 t 左右(表 3)。

表 3 2002—2009 年宁夏黄河灌区的农村生活垃圾状况
Table 3 Rural population and living garbage in Ningxia Yellow River irrigation region in 2002—2009 万 t

年份 Year	粪便排泄量 Feces quantity	生活污水量 Quantity	固体生活垃圾 排放量 Solid household refuse
2000	180.6	21.3	27.7
2001	184.5	21.8	28.4
2002	189.4	22.3	29.2
2003	174.4	20.6	29.9
2004	161.6	19.1	29.5
2005	181.1	21.4	31.2
2006	175.7	20.7	31.7
2007	180.7	21.8	32.0
2008	185.9	22.4	32.9
2009	188.6	22.8	33.4

3 宁夏黄河灌区农业非点源污染综合防控方案的构建

3.1 BMPs 的基本原理

目前国外普遍应用的 BMPs 种类繁多,但并未完全限定,只要符合一定的法规与技术标准,都可作为 BMPs 推广应用并在实践中完善。不能单独使用的 BMPs 在条件适当时也可作为标准 BMPs 的预处理单元^[17-19]。因此,BMPs 作为一项管理措施仍然在不断地发展和完善。BMPs 可分为工程型和非工程型 2 种。工程型 BMPs 以径流过程中的污染控制为主要途径,通过延长径流停留时间、减缓流速、减

少向地下渗透以及物理沉淀过滤和生物净化等技术去除污染物^[15]。非工程型的 BMPs 主要是以源头控制为基本策略,通过一些相关的行政法规和大众的共同参与,在污染管理和农业耕作过程中采取适当的措施以减少非点源污染。

3.1.1 工程型 BMPs 工程型 BMPs 一般包括植被缓冲带、水陆交错带、人工湿地和多水塘系统的构建。植被缓冲带主要是通过所建立的植被缓冲区对污染物进行阻截、吸收和转化,最终达到减少或去除污染物的目的,其主要作用是降低地表径流速度,过滤和拦截其中的颗粒态污染物,使缓冲区的植物吸收溶解态污染物,缓冲区的土壤吸附溶解态的污染物和促进氮的反硝化。水陆交错带是通过根际微生物的旺盛活动截留大量的营养物质、降解有机污染物、过滤和消灭有害微生物和寄生虫;水发生地下渗漏时,植物的叶层和土壤也会截留径流的悬浮颗粒物。人工湿地是通过对湿地自然生态系统中的物理、化学和生物作用的优化组合来发挥作用,对总氮、总磷、COD、BOD、重金属等有较好的去除效果,在污水净化的同时还可实现一定程度的资源化,从而获得较高的生态效益、经济效益和社会效益,是控制流域农业非点源污染的重要工程措施之一。多水塘系统是一类特殊的人工水塘湿地生态系统,是以水塘为点、沟渠为线的流域系统,水塘与河流在不断的物质交换过程中,可以滞留污染径流、沉降悬浮物,是控制非点源污染的一种有效途径^[4,6,17-19]。

3.1.2 非工程型 BMPs 非工程型 BMPs 主要包括农田层面上的养分和耕作管理措施,主要针对农业生产过程中的非点源污染进行防控。养分管理包括测土施肥、变量施肥、肥料深施、平衡施肥和施用缓(控)释肥等。合理的施用时间也是一种管理措施,它的目的是减少因降水冲刷、淋洗造成的养分损失;耕作管理是通过降低污染物迁移能力以达到控制非点源污染的目的,其中免耕-少耕法可以保护土壤结构、增加土壤的渗水性、提高土壤抗水蚀能力、减少地表径流、控制水土流失。此外还包括等高线种植、作物残茬覆盖、合理轮作等措施。

3.2 基于 BMPs 的控制方案

在非点源污染控制与治理中,BMPs 采用工程与非工程措施相结合的分散式综合控制体系,具有符合生态保护要求、投资少、工艺简单和能适应非点源污染的复杂特性等优点,逐渐成为我国非点源污染控制与管理的主要手段之一。本研究针对宁夏黄河灌区非点源污染现状,采用适宜的 BMPs,以最大

限度地控制或削弱灌区的污染负荷。

从宁夏黄河灌区农业非点源污染源的特征来看,该区域农业非点源污染防控可以从农户、农村社区、农田及区域 4 个层面着手,结果见图 1。

3.2.1 农户层面 农户层面的污染源主要为农户生活所产生的家庭生活垃圾、人粪尿及家庭养殖畜禽产生的粪便和尿液等,是农业非点源污染的基本单元。长期以来,由于农户住宅建设设计功能及农村社区卫生基础设施建设的缺失,导致农户层面上的污染物基本处于依靠自然分解为主的状态。这部分污染物处理可以与当前农村户用沼气池建设工程结合起来,构建畜禽圈舍-沼气-厕所三位一体的处理模式,可以有效解决农村居民生活能源问题,消解生活垃圾,形成以农村户用沼气工程为主的家庭层面的污染源防控技术体系。

3.2.2 农村社区层面 农村社区是指农业生活污染源、家庭和社区规模化养殖污染源排放量大且集中的区域。长期以来,我国在农村社区生活垃圾收集、处理等方面的基础设施的缺失,导致农村生活环境比较差,畜禽粪便、人粪尿及其他生活垃圾随意堆放,流失比较严重。因此,在注重农户层面污染防控的基础上,还可通过建设农村垃圾收集、集中堆放点,并针对农村畜禽小区养殖场的大中型沼气工程等设施,构建基于农户-农村社区层面的综合污染源防控设施体系。

3.2.3 农田层面 农田层面的污染源是灌区内 N、P、农药等流失造成的,也是非点源污染防控的重点及难点。通过采取养分和耕作管理等非工程型 BMPs,构建宁夏黄河灌区农田层面的防控体系,可以有效防治农田层面 N、P 流失的非点源污染;通过减量施肥、使用有机农药及采取生物防治等措施,治理农药造成的农田非点源污染。

3.2.4 区域层面 宁夏黄河灌区是一个经济、地理相对独立的区域单元。通过构筑不同种植模式的农业景观,结合该区域正在发展的多水塘工程、生态沟渠工程、河岸湿地工程等工程型 BMPs,构建基于农田景观-生态沟渠-多水塘-河岸湿地等多级处理的防控体系。

4 基于 BMPs 的农业非点源污染防控方案的实施建议

从本研究构建的宁夏黄河灌区农业非点源污染防控方案可以看出,方案中涉及的单项技术已比较成熟,如何将这些成熟的技术与农业非点源污染防

控有效地结合起来,其主要问题是协调好农户—农村社区—地方政府之间的利益关系,这就需要政府制定相应的政策加以协调和引导。该方案是一项涉及到农业结构调整、种植模式、水权制度、灌溉制度、

种植制度、环境保护、农村能源结构、环境工程等的系统性问题,因此构建一个能够协调各方的管理机构,对于从宣传、规划制订、工程设计、政策制定等体制上保证该方案的实施具有重要作用。

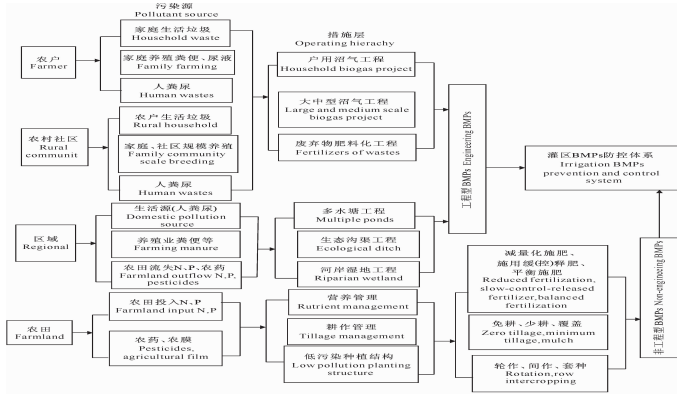


图 1 基于 BMPs 的宁夏黄河灌区农业非点源污染防控方案

Fig.1 Agriculture non-point pollution control scheme in Ningxia Yellow River irrigation region based on BMPs

5 结 论

随着近现代农业投入的增加以及物质需求的变化,宁夏黄河灌区农业生产过程中的农田土壤养分流失对生态环境的压力越来越大,农业生产和农业活动造成的非点源污染对环境的影响日益加剧。因此采用 BMPs,是保证灌区农业可持续发展和维护灌区生态安全的重要保障,建议从灌区实际情况出

发,将工程型与非工程型 BMPs 有机地结合在一起,控制好灌区农业非点源污染的敏感区域,不断寻求和探索新的适用于灌区农业非点源污染的管理措施和政策法规,积极构建资源节约型和环境友好型灌区。

[参考文献]

[1] 郑东海,王 凌,曾红娟,等. 松涛水库流域非点源污染负荷模拟

- 模型 [J]. 环境科学学报, 2009, 29(6): 1311-1320.
- Zheng D H, Wang L, Zeng H J, et al. A simulation of non-point source (NPS) pollution loads in Songtao Reservoir Catchment [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009, 29(6): 1311-1320. (in Chinese)
- [2] Dennis L, Corwin K. Nonpoint pollution models based on GIS [J]. Soil & Water Conservation, 1998(1): 78-88.
- [3] 刘纪辉, 赖格英. 农业非点源污染研究进展 [J]. 水资源与工程学报, 2007, 18(1): 29-32.
- Liu J H, Lai G Y. Research progress of the agricultural non-point source pollution [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2007, 18(1): 29-32. (in Chinese)
- [4] Bottcher A B, Tremwel Terry K, Campbell Kenneth L. Best management practices for water quality improvement in the Lake Okeechobee Watershed [J]. Ecol Eng, 1995(5): 341-351.
- [5] Shreiber J D, Rebich R A, Cooper C M. Dynamics of diffuse pollution from US southern watersheds [J]. Wat Res, 2001, 35(10): 2534-2542.
- [6] 闫伟伟, 陈小红, 顾睿, 等. 生态与治污相结合的最佳管理措施的应用设计 [J]. 中国给水排水, 2008, 24(18): 50-53.
- Yan W W, Chen X H, Gu R, et al. Design and application of best management practices combining ecology with pollution control [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(18): 50-53. (in Chinese)
- [7] 张爱平, 杨世琦, 张庆忠, 等. 宁夏灌区农田退水污染形成原因及防治对策 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 1037-1042.
- Zhang A P, Yang S Q, Zhang Q Z, et al. Influencing factors and countermeasures of irrigation return flow pollution in Ningxia Yellow River Water irrigation district [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(4): 1037-1042. (in Chinese)
- [8] 宁夏回族自治区统计局. 宁夏统计年鉴(2005): 光盘版 [M/CD]. 北京: 中国统计出版社, 2005.
- Statistic Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region. Ningxia statistical yearbook (2005): CD edition [M/CD]. Beijing: China Statistics Press, 2005. (in Chinese)
- [9] 宁夏回族自治区统计局. 宁夏统计年鉴(2006): 光盘版 [M/CD]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
- Statistic Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region. Ningxia statistical yearbook (2006): CD edition [M/CD]. Beijing: China Statistics Press, 2006. (in Chinese)
- [10] 宁夏回族自治区统计局, 国家统计局宁夏调查总队. 宁夏统计年鉴(2007): 光盘版 [M/CD]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
- Statistic Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Investigation Team, National Statistic Bureau of China. Ningxia statistical yearbook (2007): CD edition [M/CD]. Beijing: China Statistics Press, 2007. (in Chinese)
- [11] 宁夏回族自治区统计局, 国家统计局宁夏调查总队. 宁夏统计年鉴(2008): 光盘版 [M/CD]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- Statistic Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Investigation Team, National Statistic Bureau of China. Ningxia statistical yearbook (2008): CD edition [M/CD]. Beijing: China Statistics Press, 2008. (in Chinese)
- [12] 宁夏回族自治区统计局, 国家统计局宁夏调查总队. 宁夏统计年鉴(2009): 光盘版 [M/CD]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- Statistic Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Investigation Team, National Statistic Bureau of China. Ningxia statistical yearbook (2009): CD edition [M/CD]. Beijing: China Statistics Press, 2009. (in Chinese)
- [13] 宁夏回族自治区统计局, 国家统计局宁夏调查总队. 宁夏统计年鉴(2010): 光盘版 [M/CD]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- Statistic Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Investigation Team, National Statistic Bureau of China. Ningxia statistical yearbook (2010): CD edition [M/CD]. Beijing: China Statistics Press, 2010. (in Chinese)
- [14] 霍庭秀, 张亚彤, 杨峰. 黄河宁蒙灌区引退水及其水质概况 [J]. 内蒙古水利, 2004(1): 77-82.
- Huo T X, Zhang Y T, Yang F. Research of the water quality in Ningxia and Inner Mongolia irrigation area [J]. Inner Mongolia Water Resources, 2004(1): 77-82. (in Chinese)
- [15] 宁夏回族自治区水利厅. 宁夏回族自治区水资源公报(2008) [M]. 银川: 宁夏回族自治区水利厅, 2009: 23.
- Ningxia Hui Autonomous Region Water Resources Bureau. Ningxia Hui Autonomous Region water resources bulletin (2008) [M]. Yinchuan: Ningxia Hui Autonomous Region Water Resources Bureau, 2009: 23. (in Chinese)
- [16] 丁伟, 额尔和花, 王天新. 宁夏黄灌区畜禽粪便排放量估算及对环境影响判断 [J]. 宁夏农林科技, 2009(2): 54-56.
- Ding W, E'er Hehua, Wang T X. Estimation of annual quantity of total excretion from livestock-poultry and their environmental impact in Ningxia yellow irrigation area [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2009(2): 54-56. (in Chinese)
- [17] 代才江, 杨卫东, 王君丽, 等. 最佳管理措施(BMPs)在流域农业非点源污染控制中的应用 [J]. 农业环境与发展, 2009(4): 65-67.
- Dai C J, Yang W D, Wang J L, et al. Application of the best management practices (BMPs) in agricultural non-point pollution control [J]. Eco-Environment & Development, 2009(4): 65-67. (in Chinese)
- [18] Schueler T, Claytor R. Maryland storm water-design manual [M]. USA: Maryland Department of the Environment, 2000.
- [19] 金可礼, 陈俊, 龚利民. 最佳管理措施及其在非点源污染控制中的应用 [J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(1): 38-40.
- Jin K L, Chen J, Gong L M. Best management practices and application of non-point sources pollution control [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2007, 18(1): 38-40. (in Chinese)