

农田排水沟渠的环境效应与生态功能综述

陆海明, 孙金华, 邹 鹰, 朱乾德, 丰华丽

(南京水利科学研究院, 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 农田排水沟渠作为农业景观中重要的景观单元, 能够调节农田生态系统水分平衡, 改变流域水文情势。农田养分可以随排水过程迅速流失, 也可以通过沉淀与吸附机制被农田沟渠所截留或者通过植物吸收后收割与反硝化去除等机制脱离农田生态系统。作为农田生态系统边缘的交错带, 农田排水沟渠较高的植物多样性可以提供动物栖息地和避难场所, 增加农田生态系统生物多样性。清淤、收割和控制排水等管理措施对于农田排水沟渠的环境效应和生态服务功能有着不同的影响。今后应加强从多个学科研究农田排水沟渠的环境效应和生态功能, 探索生态排水沟渠的构建和管理技术, 实现农田排水沟渠水利功能和生态功能的“双赢”。

关键词: 农田排水沟渠; 环境效应; 生态功能; 综述

中图分类号: S157.2 G353.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2010)05-0719-07

农田排水沟渠通常是指天然形成的裸露在地表或者以排水为目的而挖掘的水道, 一般不包括埋设在农田地地表以下的暗管排水管道^[1-3]。农田排水沟渠在以下几个方面区别于其它大型水体: 规则的线性形状, 与附近的陆地之间有着密切的物质和有机体交换, 大多数沟渠较浅, 水位变化较大, 沟渠呈干涸状态的机会较大, 主要用作农田排水^[4]。农田排水沟渠不仅作为农田水利基础设施的重要组成部分, 通过及时降渍排涝有力地农业高产稳产起到“保驾护航”的作用, 而且作为农业生态系统重要组成部分, 对于维持农业生态系统平衡和流域生态系统健康有着重要作用。农田排水沟渠作为农田景观中的“廊道”, 同样具有物质传输通道、过滤或阻隔、物质能量的源或汇、生物栖息地等方面的生态功能^[5]。长期以来, 人们主要关注的是农田排水沟渠调节水平衡等水利功能, 对其环境效应和生态功能研究相对较少。近年来, 在中国许多地区特别是农业相对发达、经济水平较高地区, 农田中普遍存在过量施用化肥和喷施高毒高残留农药等现象^[6-7], 造成农业面源污染加剧、水体富营养化和农田生态系统生物多样性减少等生态环境问题日益突出, 国内外研究者开始关注农田排水沟渠的环境效应和生态功能, 探讨如何利用农田排水沟渠对物质的阻隔和过滤功能减轻和防治农业面源污染, 充分发挥其生态服务功能和环境效益^[3-4, 8-11]。

1 调节农田水分平衡和改变流域水文情势

排水沟渠作为农田水利基础设施的最主要功能就是及时将田间过多的水分排出农田, 起到排涝降渍的作用^[12]。由深度和宽度大小不尽相同的排水沟渠组成农田排水沟渠网络, 可以迅速地将农田积水排走。农田排水和灌溉沟渠共同组成了农田水分“调节器”及其与河流湖泊之间水流的“连通器”。由于排水沟渠具有大小不等的存贮空间, 在雨季田间水分较多时, 农田沟渠可以作为农田排水的“汇”, 通过存贮田间过多的水分, 减少淹没农田和洪水发生的机会; 在干旱少雨的季节, 沟渠中存留的水分可以用来补充农田水分亏缺, 成为田间灌溉来水的“源”。

收稿日期: 2009-06-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50809040); “十一五”国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD01B08); 公益性行业科研专项经费资助项目 (200801028 200701031); 南京水利科学研究院基本科研业务资助项目 (Y50802 Y50803)

作者简介: 陆海明 (1978-), 男, 江苏射阳人, 工程师, 博士, 主要从事水环境保护与生态水利学研究。

E-mail: cnllhm@126.com

以河流为主导的羽状沟渠系统中各沟渠同时向下游排水,容易导致洪灾的发生;网络沟渠可以通过分散存贮过多雨水的方式,减少洪灾发生的概率。沟渠内部植被的种类和数量影响其水文效应:植被种类丰富,密度较大的沟渠能减缓农田排水的速度;相反没有植物或者很少植物的沟渠排水过程就会非常迅速,尤其是衬质化后的沟渠可以将田间水分迅速地排出^[13]。以植被覆盖度较大的沟渠系统类型为主的流域水文过程呈现缓涨缓落的特点,其洪峰过程呈扁平状;以植被覆盖度较小的沟渠系统类型为主的流域水文过程特点为陡涨陡落,持续时间较短,洪峰过程呈尖突状。在流域或者区域的尺度上,植被覆盖良好的沟渠系统具有贮存水分和延缓水分排入河流湖泊的能力,可以起到调节洪峰的功能^[14-15]。在洪水期间沟渠内过密的植被会影响农田排水通畅,容易淹没农田形成洪涝灾害,这也是需要尽量避免的。

2 影响农田物质循环过程

作为农田中的“廊道”景观类型,农田排水沟渠显著影响农田生态系统中各种物质循环过程。近年来,由于氮素和磷素等营养物质过多输入水体导致富营养化的问题越来越突出,国内外学者开始注意到排水沟渠在农业面源污染物运移过程中发挥的作用。在降雨过程中,农田营养物质在雨滴的打击作用和溶解作用下以颗粒态或者溶解态形式离开土壤表面,通过田间墒沟和农田排水沟渠系统逐渐汇集直至迁移出农田生态系统,农田排水沟渠主要起到传输廊道的作用。营养物质在农田沟渠流动过程中可以通过底泥截留吸附、植物吸收和微生物降解净化等多种机制被持留、吸收、固定或脱离排水沟渠,此时农田沟渠扮演着营养物质“汇”的角色。

在植被覆盖度较高的沟渠中,随着水流速度降低,水流夹带泥沙能力下降,颗粒态营养物质逐渐沉降到沟渠底部。Cotton等通过对英国Frime河流域内沉水植物覆盖度不同的渠段中水流速度和沉积物累积研究发现,在沉水植物覆盖度较高的渠段水流速度小于 0.1 m/s ,沉水植物无覆盖的渠段水流速度则超过 0.8 m/s ,在植被覆盖度较高的渠段泥沙累积主要以细颗粒为主^[16]。地表径流磷素在沟渠迁移过程中可以和底质中钙镁化合物发生化学沉淀反应,还可以被底质中铁锰化合物所吸附,底质固定的磷素和河流沟渠上覆水中磷素之间存在相互转化的动态平衡关系^[17-19]。Nguyen和Sukias对新西兰牧场中的26条沟渠中采集 $0\sim 5\text{ cm}$ 和 $5\sim 15\text{ cm}$ 深度的表层和亚表层沉积物磷素形态组成和持留特征进行了详细分析,结果表层底泥和亚表层底泥的磷素吸附能力分别为 $2467\sim 4197\text{ mg/kg}$ 和 $2225\sim 3891\text{ mg/kg}$,吸附能力和底泥的化学性质(pH,有机质和草酸浸提态铝铁含量)显著相关。排水沟渠底泥中 $42\%\sim 57\%$ 的磷素为松结合态磷素,这部分磷素作为临时磷库,比较容易进入沟渠上覆水^[19]。

采用控制性排水措施,通过调节水量保持较高的沟渠水位,在沟渠底部呈还原状态时,硝态氮可以发生反硝化作用转化成 N_2 或 N_2O 进入大气,脱离沟渠生态系统^[19,20-21]。氮素和磷素等营养物质还可以通过植物生物吸收后被收割移出迁移廊道,或通过微生物活动暂时固定在农田沟渠系统内^[16,22]。例如,长江下游地区沟渠中2种主要的挺水植物芦苇和茭草能有效吸收N、P营养成分,植物收割后每年可带走 $463\sim 515\text{ kg/hm}^2$ 的N和 $127\sim 149\text{ kg/hm}^2$ 的P,茭草对N、P的吸收能力高于芦苇^[22]。

然而,农田排水沟渠持留营养物质能力也是有一定限度的,当持留的养分超过了沟渠自身容量时,沟渠系统会由养分的“汇”转变为养分“源”,并通过沟渠网络系统向整个区域扩散^[18-19,23-24]。

农田排水沟渠不仅可以持留氮、磷营养物质,而且可以持留农药。Margoum等人比较了农田沟渠中草、树叶、植物残体和底质吸附3种农药的特性。研究结果显示,树叶比底质吸附农药的能力更强,沟渠中腐烂的树叶更能有效地降低农药浓度和数量。在自然沟渠中,吸附能力不仅受底质性质影响,而且受水动力学条件影响,如流速和水深^[25]。当然,过多地施用农药也会导致沟渠内植物群落种类的减少和植被覆盖度的下降^[26]。

3 增加农田生态系统生物多样性

农田排水沟渠具有一定的宽度和深度,可以形成由水、土壤和生物组成,具有自身独特的结构并发挥相应生态功能的农田沟渠生态系统,也有学者称之为农田沟渠湿地生态系统^[8,27-28]。农田沟渠生态系统是存在

于农田边缘的“半自然”生态系统,它显著地受毗邻的农田生态系统的干扰和影响,例如耕作、施肥和喷药等农业生产活动^[29]。农田沟渠也区别于森林或道路两侧的沟渠,通常其两侧没有乔木,容易受到风的干扰。农田沟渠的生物群落主要由植物、无脊椎动物、鱼、两栖动物、鸟类和哺乳动物等组成。

作为农田边缘的生态交错带,排水沟渠中的植物多样性要比农田高,主要植物类型是湿生植物,如芦苇、菖蒲、蒲草。由于农田沟渠位于农田边,沟渠内土壤养分和农药含量相对较高,这一特殊的生境条件,造成了沟渠内植物适应高土壤养分和对一般农药有较强抗性的特点,而这些植物许多情况下是农田杂草^[30]。不同土地利用类型附近的沟渠其植被丰富度也不一样,草地边沟渠植物多样性高于农作物,湿地边沟渠的植物多样性则远高于草地^[31]。

农田排水沟渠是农田景观中维持生物多样性的重要景观单元,以农田沟渠及其堤岸作为生物栖息地和避难场所的动物有鱼、虾、底栖动物、青蛙、蟾蜍、鸟类等^[4]。沟渠内浓密的芦苇是鸟类生活的栖息地,沟渠内生物多样性增加了鸟类的食物和栖息地来源。沟渠生态系统的各个组分相互影响:植被组成影响沟渠内底栖动物的组成,底栖动物的活动影响底质的稳定,沟渠内水质的状况影响底栖动物。沟渠堤岸的生物多样性要比沟渠内、篱笆和干沟渠等大^[29]。沟渠规模越大,其作为食物和栖息地来源的功能就越强烈。据 Wilam s 等研究发现,在英国尽管季节性沟渠中生物多样性最差,但是有些生物是在河流、溪流、池塘中没有发现的^[11]。沟渠作为生物栖息地的重要性还取决于农田其它组成,如自然溪流、人工塘等所能提供的栖息地状况。农田中纵横交错的沟渠系统在提供生物栖息地的同时,也增加了农田景观多样性,具有田园风光美感受享受和旅游休闲功能。农田沟渠还可以提供鱼、虾、泥鳅等水产品,沟渠中生长的芦苇等水生植物收割后可以作为原料或燃料。

为了片面追求农田经济效益,农民在田间施用过多的化肥和农药等农用化学物质,随着农田排水过程农用化学物质进入排水沟渠,恶化了沟渠内水体水质,破坏了沟渠内生物栖息地。特别是废弃农药瓶直接被遗弃在沟渠中,遗留在瓶中的农药可以将沟渠内所有动物毒死。沟渠内生物栖息地遭受破坏,青蛙、蟾蜍等有益动物种群减少,这些有益生物的减少加剧了农田病虫害的爆发程度,导致农民施用更多的农药,如此恶性循环,已经造成许多原本“蛙声一片”的农田现在逐渐变成“鸦雀无声”,甚至有些地方农田发现许多畸形青蛙和蟾蜍。排水沟渠中水体呈现富营养化状态,沟渠内浮萍、水花生和水葫芦等植物过度生长,成为沟渠中优势生物群落,大量的植株残体腐败时严重污染水体,同样也影响沟渠湿地的生态服务功能^[32]。

4 管理措施对农田排水沟渠的影响

农田排水沟渠的管理维护措施主要有清淤、收割植物和控制水位等。通过适当的管理措施,不仅可以维持排水沟渠的水利功能,而且可以提高其生态功能和增加生物学价值^[33-34]。对排水沟渠清淤后,沟渠的排水能力进一步提高,沟渠底部累积的养分和污染物通过清淤移出沟渠,可以改善沟渠内地表水水质^[35-37]。然而,也有研究者认为,清淤不一定能改善水体水质,在短期内甚至可能恶化水质^[38]。Smith 等利用室内水槽模拟试验,对比研究农田沟渠清淤前后底泥磷素吸附和解吸能力。研究结果显示,尽管清淤前底质 M-3 磷素含量高于清淤后底质,清淤前底质磷素吸附解平衡浓度 (EPC_0) 低于清淤后底质,清淤前的底质却能比清淤后的底质能较快地将上覆水中的磷素吸附去除。在磷素释放试验中,清淤前的底质向上覆水释放磷素的速率要比清淤后的底质慢。这样,底质清淤后水质不但有可能得不到立即改观,反而有可能有所恶化,这可能与清淤后较短时间内沟渠内水土界面磷素平衡被打破,新的平衡尚未建立有关。但从长期来看,清淤仍然是改善水质的重要举措^[39]。

沟渠底泥清淤和收割植物对沟渠内植物群落组成有明显的影响。Milsom 等研究研究发现,漂浮植物和沉水植物种类在清淤后数量会有所增加,在沟渠排水口 200~600 m 范围内植物种类数量增加得最多。为了维持浮水植物和沉水植物种群稳定至少需要 3 年以上才能清淤。每年进行收割或至少 2 年收割一次对于维持沟渠内植物种群多样性具有重要意义^[26]。Twisk 等选择分布在 84 个农场的 240 条沟渠研究了维护管理措施对沟渠中石蛾、蜻蜓和两栖类动物的影响。结果显示,沟渠清淤活动对于所有幼虫类型的存在有影响,清淤

机器类型、清淤时期水深和清淤频率影响幼虫的存在^[40]。

为了减少农田污染物通过排水沟渠排出,有研究者提出在排水沟渠中构建建筑物控制沟渠排水^[41]。针对南方丘陵地区地表排水方式,分别使用自动开启闸门、土工布沙袋和捆扎秸秆作为排水口控制措施,控制降雨初期氮浓度较高的地表水流出农田。对比非控制排水,3种控制排水措施分别减少了53.2%、44%和39.1%的农田氮素流失^[20]。非控制性排水各时段平均磷排出质量浓度为8.48 mg/L,控制排水平均磷排出质量浓度为4.4 mg/L,控制排水量比非控制排水量减少了13.9%;非控制排水磷排出量为271.6 mg/m²,控制排水磷排出量为136.5 mg/m²。控制排水总排水量的减少和排水中磷浓度的降低,使得控制排水磷排出量仅为非控制排水的50.3%^[42]。杨林章等人提出构建生态拦截型沟渠系统,它主要由工程部分和植物部分组成,能减缓流速,促进流水携带的颗粒物沉淀,有利于植物对沟壁、水体和沟底逸出养分进行立体式吸收和拦截,从而实现农田排出养分的控制^[9]。

5 研究展望

(1) 在多个时间和空间尺度下,研究水文情势和营养物质迁移受农田排水沟渠的组成、结构、形态和密度等的影响机制,探讨水文情势改变对于营养物质迁移过程的作用机理。排水沟渠截留营养物质的“汇”功能要求增加营养物质在沟渠内水力停留时间和沟渠内植物密度,但是从农田排水的角度看,过长的水力停留时间和过密的植物都不利于农田排水。因此,需要从流域或区域整体利益角度出发,找到既能够发挥排水沟渠的水利功能,又能够利用排水沟渠生态功能的“平衡点”,合理安排农田排水沟渠的整体布局 and 最佳管理模式。

(2) 研究农田排水沟渠营养元素“源-汇”功能的转变过程和实现条件。可以通过调控“源-汇”角色转化的主要影响因素,最大限度地发挥农田沟渠截留养分的功能,避免和减少农田养分通过沟渠流失到河流水库等敏感水体。例如,可以通过调节沟渠内水位、增加沟渠内植被覆盖度、使用高效吸附磷素材料,创造有利于土壤反硝化脱氮作用和磷素去除的环境,将沟渠变成广泛分布的“脱氮除磷生物反应器”,有效降低农田排水中的氮素和磷素含量。此项工作具有重要的理论意义和现实指导价值。

(3) 研究农田排水沟渠维持农田生态系统生物多样性和保障流域生态环境安全的生态功能。农田是农业流域中分布面积最大,受人类活动干扰最多的景观类型之一,农田排水沟渠作为分布其中的特殊景观类型在维持农田生态系统生物多样性方面具有独特作用。国外已经开始相关的研究工作,国内鲜有相关研究报道。

(4) 研发农田生态排水沟渠的构建和恢复技术,探讨农田生态排水沟渠的维护管理模式。长期以来,农田排水沟渠都是按照如何排水、发挥水利功能进行建设和管理的。目前还没有较为成熟的生态排水沟渠构建和恢复技术,迫切需要研发相关的成套技术,如生态排水沟渠的结构、形态,边坡植被品种的选择、搭配等。生态排水沟渠的维护管理也是其生态功能能否持续发挥的重要因素,需要探讨在现有农业和农村社会经济制度下生态沟渠的维护管理模式以及如何创新生态沟渠管理模式。

6 结 论

作为农田基础水利设施重要组成部分的农田排水沟渠在保证农业生产的同时,对流域的水生态安全和水环境质量也产生了显著影响。农田排水沟渠通过其排水和存水功能,调节农田水分含量,改变流域的水文情势。作为农田景观中的“迁移廊道”,农田养分可以随着排水过程迅速排出,或者在沟渠中通过沉积、吸附、吸收或反硝化等机制被固定或者脱离农田生态系统。作为农田边缘的生态交错带,农田排水沟渠具有较高的植物多样性,可以为多种动物提供栖息地和避难所,增加农田生态系统中生物多样性。清淤、收割植物和控制水位等管理措施对农田排水沟渠水利功能和生态服务功能发挥具有不同的作用。今后应加强多学科合作,探讨农田排水沟渠改变流域水文情势和发挥生态环境效应的作用机制,研究生态沟渠构建技术和长效管理模式,统筹安排农田排水沟渠的水利服务功能和生态服务功能,实现最佳的经济效益和生态环境效益。

参考文献:

- [1] 郝敏, 吕宪国, 刘红玉. 人工沟渠的生态环境效应研究综述 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1471-1476. (XIM in LU Xian-guo, LIU Hong-yu. Effects of man-made ditch on eco-environment: A research review [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(12): 1471-1476. (in Chinese))
- [2] 陆琦, 马克明, 倪红伟. 湿地农田渠系的生态环境影响研究综述 [J]. 生态学报, 2007 (5): 2118-2125. (LU Qi, MA Ke-ming, NI Hong-wei. A review on the ecological and environmental impacts of agricultural ditch systems in wetlands [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 2118-2125. (in Chinese))
- [3] NEEDELMAN B A, KLEINMAN P J A, STROCK J S et al. Improved management of agricultural drainage ditches for water quality protection: An overview [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 62(4): 171-178.
- [4] HERZON J, HELEN IUS J. Agricultural drainage ditches: their biological importance and functioning [J]. Biological Conservation, 2008, 141(5): 1171-1183.
- [5] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级 [M]. 北京, 高等教育出版社, 2000. (WU Jianguo. Landscape ecology: Pattern, process, scale and hierarchy [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. (in Chinese))
- [6] ONGLEY E D. Non-point source water pollution in China: Current status and future prospects: Governance and water quality management in China [J]. Water International, 2004, 29(3): 299-306.
- [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的形势估计 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017. (ZHANG Wei-li, WU Shu-xia, JI Hong-jie et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I: Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21st century [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1008-1017. (in Chinese))
- [8] 姜翠玲, 崔广柏, 范晓秋, 等. 沟渠湿地对农业非点源污染物的净化能力研究 [J]. 环境科学, 2004, 25(2): 125-128. (JIANG Cui-ling, CUI Guang-bo, FAN Xiao-qiu et al. Purification capacity of ditch wetland to agricultural nonpoint pollutants [J]. Environmental Science, 2004, 25(2): 125-128. (in Chinese))
- [9] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非点源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1371-1374. (YANG Lin-zhang, ZHOU Xiao-ping, WANG Jian-guo et al. Ecological ditch system with interception function and its effects on controlling farmland nonpoint pollution [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(11): 1371-1374. (in Chinese))
- [10] STROCK J S, DELL C J, SCHMIDT J P. Managing natural processes in drainage ditches for nonpoint source nitrogen control [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 62(4): 188-196.
- [11] WILLIAMS P, WHITFIELD M, BIGGS J et al. Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England [J]. Biological Conservation, 2004, 115(2): 329-341.
- [12] ARMSTRONG A, ROSE S. Ditch water levels managed for environmental aims: effects on field soil water regimes [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 1999, 3(3): 385-394.
- [13] CARLUER N, MARSILI G D. Assessment and modelling of the influence of man-made networks on the hydrology of a small watershed: Implications for fast flow components, water quality and landscape management [J]. Journal of Hydrology, 2004, 285(1/2/3/4): 76-95.
- [14] SCHOLZ M, TREPEL M. Water quality characteristics of vegetated groundwater-fed ditches in a riparian peatland [J]. Sci Total Environ, 2004, 332(1/2/3): 109-122.
- [15] BARBER M E, KING S G, YONGE D R, et al. Ecology ditch: A best management practice for storm water runoff mitigation [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2003, 8(3): 111-122.
- [16] COTTON J A, WHARTON G, BASS J A B, et al. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment [J]. Geomorphology, 2006, 77(3/4): 320-334.
- [17] DUNNE E J, MCKEE K A, CLARK M W, et al. Phosphorus in agricultural ditch soil and potential implications for water quality [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 62(4): 244-252.
- [18] SHARPLEY A N, KROGSTADT, KLEINMAN P J A, et al. Managing natural processes in drainage ditches for nonpoint source phosphorus control [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 62(4): 197-206.

- [19] NGUYEN L, SUKIAS J. Phosphorus fractions and retention in drainage ditch sediments receiving surface runoff and subsurface drainage from agricultural catchments in the North Island, New Zealand[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 92(1): 49-69.
- [20] 殷国玺, 张展羽, 郭相平, 等. 减少氮流失的田间地表控制排水措施研究[J]. *水利学报*, 2006, 37(8): 926-931. (YIN Guor-xi, ZHANG Zhan-yu, GUO Xiang-ping, et al. Effects of drainage controlling devices on nitrogen losses in surface runoff of farmland[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2006, 37(8): 926-931. (in Chinese))
- [21] ZHANG M, HE Z, CALVERT D V, et al. Spatial and temporal variations of water quality in drainage ditches within vegetable farms and citrus groves[J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 65(1): 39-57.
- [22] JIANG C L, FAN X Q, CUI G B, et al. Removal of agricultural non-point source pollutants by ditch wetlands: Implications for lake eutrophication control[J]. *Hydrobiologia*, 2007, 581: 319-327.
- [23] VAUGHAN R E, NEEDELMAN B A, KLENNAN P J A, et al. Spatial variation of soil phosphorus within a drainage ditch network[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2007, 36(4): 1096-1104.
- [24] KROGER R, HOLLAND M M, MOORE M T, et al. Agricultural drainage ditches mitigate phosphorus loads as a function of hydrological variability[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(1): 107-113.
- [25] MARGOUM C, MALESSARD C, GOUY V. Investigation of various physicochemical and environmental parameter influences on pesticide sorption to ditch bed substratum by means of experimental design[J]. *Chemosphere*, 2006, 63(11): 1835-1841.
- [26] MILSOM T P, SHERWOOD A J, ROSE S C, et al. Dynamics and management of plant communities in ditches bordering arable fenland in eastern England[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 103(1): 85-99.
- [27] HETALA-KOIVU R, LANKOSKI J, TARMIS. Loss of biodiversity and its social cost in an agricultural landscape[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 103(1): 75-83.
- [28] 郝敏, 刘红玉, 吕宪国. 流域湿地水质净化功能研究进展[J]. *水科学进展*, 2006, 17(4): 566-573. (XIAO Min, LIU Hong-yu, LÜ Xian-guo. Progress in study on the water quality purification functions of wetlands in watersheds[J]. *Advances in Water Science*, 2006, 17(4): 566-573. (in Chinese))
- [29] MANHOUDT A G E, DE SNOO G R. A quantitative survey of semi-natural habitats on Dutch arable farms[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, 97(1/2/3): 235-240.
- [30] MARSHALL E J P, MOONEN A C. Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 89(1/2): 5-21.
- [31] MANHOUDT A G E, VISSER A J, DE SNOO G R. Management regimes and farming practices enhancing plant species richness on ditch banks[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, 119(3/4): 353-358.
- [32] JANSE J H, PUJENBROEK P J T M V. Effects of eutrophication in drainage ditches[J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102(S1): 547-552.
- [33] OLSON D M, WACKERS F L. Management of field margins to maximize multiple ecological services[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 44(1): 13-21.
- [34] KLENNAN P J A. Managing drainage ditches for water quality[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 62(4): 80A.
- [35] KELDERMAN P, WEI Z, MAESSEN M. Water and mass budgets for estimating phosphorus sediment-water exchange in Lake Taihu, China[J]. *Hydrobiologia*, 2005, 544: 167-175.
- [36] GULATIR D, VAN DONK E. Lakes in the Netherlands: their origin, eutrophication and restoration: State-of-the-art review[J]. *Hydrobiologia*, 2002, 478(1/2/3): 73-106.
- [37] ZHANG L, XIA M, ZHANG L, et al. Eutrophication status and control strategy of Taihu Lake[J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2008, 2(3): 280-290.
- [38] SMITH D R, PAPPAS E A. Effect of ditch dredging on the fate of nutrients in deep drainage ditches of the Midwestern United States[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 62(4): 252.
- [39] SMITH D R, WARNEMUENDE E A, HAGGARD B E, et al. Dredging of drainage ditches increases short-term transport of soluble phosphorus[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35(2): 611-616.
- [40] TWISK W, NOORDERVLIET M A W, TER KEURSW J. The nature value of the ditch vegetation in peat areas in relation to farm management[J]. *Aquatic Ecology*, 2003, 37(2): 191-209.

- [41] KRÖGER R, COOPER C M, MOORE M T. A preliminary study of an alternative controlled drainage strategy in surface drainage ditches: Low-grade weirs[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(6): 678-684.
- [42] 殷国玺, 张展羽, 邵光成. 农田地表控制排水对排水水中磷质量浓度的影响[J]. *水利水电科技进展*, 2006, 26(4): 24-26. (Y N Guoxi, ZHANG Zhan-yu, SHAO Guang-cheng. Effects of controlled drainage from field surface on concentration of phosphorus discharge[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2006, 26(4): 24-26. (in Chinese))

Review of environmental impact and ecological function of agricultural drainage ditches*

LU Hai-ming SUN Jin-hua ZOU Ying ZHU Qian-de FENG Hua-li

(*Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources*

and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China)

Abstract The agricultural drainage ditch, a vital component of agriculture hydrological facilities, plays an important role in agricultural production and national food security. As the problems of eutrophication and water quality deterioration are becoming more and more serious, a strong focus on the environmental impact and ecological function of agricultural drainage ditches has been getting attached. An agricultural drainage ditch is not only an most important element of agricultural landscape but also is able to regular the water balance of agricultural ecosystem and to improve the agricultural ecosystem. Nutrient in farmland can be rapidly lost from the farmland to the drainage ditch through the draining process. Nutrient can also be removed from the agricultural ecosystem through the process of plant absorption and denitrification. A portion of nutrient losses to the ditch can be retained through the sedimentation and adsorption processes. Being the ecotone of the agro-ecosystem, rich plant diversities provide habitats and shelter places to animal species, which increases the agro-biodiversity in the system. Effects of different management practices, such as dredging, plant mowing and controlled drainage on environment and ecological function may vary in various aspects. In order to achieve a win-win result among utilizing of agricultural drainage ditches and eco-environmental protection, multidiscipline research on environmental impact and ecological function of agricultural drainage ditches should be strengthened in the future. We should explore new techniques to build ecological drainage ditches, and introduce advanced management for ditch operation.

Key words agricultural drainage ditch, environmental impact, ecological function, review

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 50809040) and the National Key Technology R&D Program in the 11th Five year Plan of china (No. 2006BA D01 B08).