

农田生态系统管理与非点源污染控制*

陈利顶 傅伯杰(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 随着化肥和农药大量使用, 农业非点源污染已经成为全球水污染的主要来源. 不同农田管理措施, 如免耕、少耕、传统耕作方式, 化肥和农药的使用量、使用方式以及使用季节, 灌溉的不同方式, 如沟灌、淹灌和喷灌等与农业非点源污染形成之间均有密切的关系, 通过农田景观设计来控制非点源污染, 可望在控制农业非点源污染方面起到指导作用.

关键词: 农业非点源污染, 农田系统管理, 农田景观设计.

中图分类号: X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)02-0098-03

Farm Ecosystem Management and Control of Nonpoint Source Pollution*

Chen Liding, Fu Bojie(Research Center For Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Agricultural nonpoint source pollution due to widely application of fertilizers and pesticides is becoming the major part of water deterioration. In this paper, the relationship between agricultural nonpoint source pollution and different tillage methods, such as no tillage, little tillage and conventional tillage, the amount of fertilizer application, application methods and seasons, and various irrigation methods, such as furrow irrigation, basin irrigation and sprinkle irrigation is analyzed. Some approaches on agricultural landscape design for controlling nonpoint source pollution are suggested, which will be helpful for making a decision on sustainable agricultural development.

Keywords: agricultural nonpoint source pollution, farm system management, agricultural landscape design.

农业非点源污染具有形成过程随机性大、影响因素复杂; 分布范围广、影响深远; 形成过程复杂、机理模糊; 潜伏周期长、危害大等特点; 由此导致研究和控制非点源污染难度较大^[1,2], 目前成为影响水体的重要污染源^[3-5]. Henderson 认为控制农业非点源污染最有效和最经济的方法是采取适当的农田管理方式^[6], 如: 少耕、免耕、喷灌、滴灌、农作物间作套种以及控制农药、化肥使用方式、使用季节等. 控制农业非点源污染成为我国面临的主要环境问题之一^[5,7]. 农田生态系统是指由不同农作物种植制度、耕作方式、农药和化肥使用方式、灌溉等土地管理措施相互组合共同形成的生产系统. 由于不同系统中农作物对养分吸收、利用差异较大, 致使不同农田生态系统中的养分和农药流失不同, 因而在控制非点源污染形成过程中起到不同作用. 研究不同农田生态系统在控制农业非点源污染中的作用, 对于实现区域可持续发展具有重要意义.

1 农田系统管理与非点源污染

1.1 农田耕作方式与非点源污染

Myers 等研究了 3 种不同农田耕作系统(传统、免耕留茬、免耕无茬耕作)对农药流失的影响^[8]. 试验初期, 与其它 2 种耕作系统相比, 传统耕作一般产生较少的地表径流且径流中化学物浓度较低; 在其后进行的

第二次径流测定中, 3 种耕作系统所产生的地表径流差异变小. 2 年试验表明, 农药在初次径流中的流失对于免耕无茬、免耕留茬和传统耕作分别为 6.2%、4.4% 和 1.5%; 在随后的第二次降雨径流试验中, 农药流失分别为 1.5%、1.4% 和 1.0%. 表明免耕和少耕农田产生了较多的地表径流, 同时导致农药和养分的地表流失较多, 而在传统耕作农田中, 养分随地下径流流失较多. Chichester 等研究发现农田径流产生量与农田耕作方式并无明显的相关关系, 但农田泥沙和养分流失在传统耕作农田中明显高于免耕农田^[9]. 与免耕农田相比, 由于翻耕, 农田土壤中矿化作用强烈, 硝酸盐的淋失明显大于免耕农田. 保护性耕作(如免耕、少耕)可以改善土壤的入渗性能、土壤物理结构和土地生产潜力, 减少农田土壤流失^[10]. Sharpley 研究了 P 在农田中流失的敏感性, 发现按以下顺序降低: 传统耕作小麦田、免耕小麦田、草地过滤带^[11].

1.2 农药、化肥使用与非点源污染

* 国家自然科学基金重点资助项目(Project Supported by the National Natural Science Foundation of China): 49831020; 面上项目: 4991072

作者简介: 陈利顶(1965~), 男, 河南人, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为景观生态、环境遥感与生态环境评价.
收稿日期: 1999-09-23

(1) 农药、化肥使用量与非点源污染 当氮肥使用量达到最佳使用量时, 农作物对化肥的吸收达到最高, 其产量也最高; 当使用量超出农作物吸收能力时, 将导致过量养分在土壤中富集, 形成非点源污染。当化肥使用量较小时, 不同耕作方式对 N 的流失影响不大, 当化肥使用量较大时, 不同耕作方式对 N 流失的影响差异明显^[12]。如果农田中使用的化肥长期超过农作物收获携带的养分含量, 将导致 N、P 在土壤中不断富集, 其结果是导致 N、P 流失危险性加大; 一般认为通过径流流失的养分在较大程度上取决于迁移过程和物质来源^[11]。对污染物来源的控制主要是通过监测土壤中养分的状态, 指导施肥的方式、使用量和化肥类型。

(2) 农药、化肥使用方式与非点源污染 研究发现土壤中氮素的利用效率与使用的深度和方式具有密切关系^[13], 一般为: “平 + 表施(1 ~ 2cm)” > “聚 + 底施(45cm)” > “聚 + 中施(25cm)” > “聚 + 表施”; 不同施肥方式养分吸收的差异, 意味着养分流失潜力不同。化肥使用方式, 如固态、液态对养分的流失影响较大。固态施肥, 土壤中有效碳将比液态方式持续更长的时间^[14]。液体施肥将会迅速为农作物生长提供有效养分, 但持续的时间相对较短, 在农作物生长后期将会导致养分匮乏。化肥和农药流失的强度也与使用后降雨发生的时间、降雨强度、土壤前期含水量、农药的土壤吸附能力等有关。

(3) 农药化肥使用季节与非点源污染 研究发现异丙甲草胺和阿特拉津使用后, 若 1 星期内发生降雨, 将导致 7% 阿特拉津和 5% 异丙甲草胺流失; 若降雨推迟, 农药流失将大大地降低(一般只有使用量的 0.1 ~ 0.2%)^[15]。因而为了避免化肥、农药流失, 在选择施肥时间时应尽量避开大雨和暴雨来临之前。农田中养分流失还与农作物对养分的吸收利用有关, 农作物吸收养分淡季时最容易发生流失。为了避免养分过度流失, 化肥使用也应与农作物养分需求高峰期相吻合^[12], 这样不仅可以提高化肥利用效率, 而且也可以避免非点源污染形成。

1.3 农田灌溉与非点源污染

灌溉方式与养分、农药流失密切相关^[17], 一般以下列顺序递增: 喷灌 < 淹灌 < 沟灌。在用水量相同时, 喷灌农田中养分、农药流失最少, 其次是淹灌和沟灌。由于地表径流中养分和农药的流失在较大程度上取决于径流强度和径流量, 农田中广泛使用减少径流产生的农耕措施, 将可以减少流入水体的养分和农药。Geleta 等评价了俄克拉哈马高原地区 9 种农作系统作物产量与地表、地下水中硝态氮运移的关系^[16]。发现不同土

壤、灌溉方式和农作物制, 其硝态氮流失不同。与有灌溉的单一种植小麦或高粱农作物系统相比, 小麦、高粱两季轮作将导致更多的硝态氮流失。与喷灌和精确灌溉相比, 无论沙粒土壤区还是粘粒土壤区, 沟灌方式均将导致更多的养分流失。

2 农田景观设计与非点源污染控制

利用不同植被对土壤养分吸收能力的互补效应和景观要素对非点源污染物的截留和过滤能力, 通过建立适当的人工溪沟、湿地、沙层过滤带及植被缓冲带等, 可以有效地减少农田地表和地下径流带来的非点源污染物^[17,18]。

2.1 植被缓冲带设计与非点源污染控制

农田与水体之间存在的植被缓冲带有将农田与水体隔开的作用。当地下水从农田流向水体时, 植被缓冲带起到 2 种效应: ①对地表径流起到滞缓作用, 调节入河洪峰流量; ②有效地减少地表和地下径流中固体颗粒和养分含量。Peterjohn 和 Correll 调查发现^[19], 氮在岸边植被带的截留率为 89%, 而在农田的截留率仅为 8%; 磷的截留率分别为 80% 和 41%。实验室降雨模拟发现^[20], 植被缓冲带的宽度在减沙效益方面比高度的变化更为显著, 但是高度增加的减沙效益将随着宽度的加大而增强。植被缓冲带在保护水质方面具有较高的经济价值, 在考虑区域农田景观特征基础上, 通过设计合理的植被缓冲带, 将有利于农业非点源污染控制。

2.2 树篱、溪沟设计与非点源污染控制

农田中由树篱、沟渠形成的人工网络系统, 具有较高的生态环境价值。研究发现不同农田之间的树篱、溪沟可以隔离不同农田地块之间虫害传播和其它干扰, 而且可以促进水分、养分在农田景观中的迁移^[20]。坡地农田上的树篱、溪沟, 可以控制地表径流、防止土壤侵蚀, 保护农田的土壤养分, 改善附近河流的水文特征。在地形转换地带, 设计合理的树篱或溪沟将有利于控制非点源污染的形成。

2.3 湿地景观设计与非点源污染控制

在农田中增加一些湿地面积, 可以有效地控制农业非点源污染形成。中国南方农村地区存在的多水塘景观(在农村和农田中人工修建许多面积不大的水塘)在截留农田中氮磷及农药方面具有重要作用^[21]。有 150 个人工水塘的巢湖小流域, 水塘仅占不到 5% 的面积, 但可以截留该区径流中 90% 的养分(氮、磷)。实践表明, 在大片农田景观中, 设置适当面积的湿地景观(如池塘、洼地、人工河等)可以有效地截留来自农田地表和地下径流中固体颗粒物、氮、磷和其它化学污染物, 降低非点源污染形成的危险。

2.4 土地利用方式与非点源污染控制

利用不同净化能力的植物在空间上的镶嵌组合可以促进整个农田系统对养分的吸收,减少非点源污染物流失的可能性。傅伯杰等^[22]在黄土高原坡面研究中,发现不同土地利用结构在保持土壤养分和防止水土流失方面具有不同作用。从坡顶至坡脚土地利用为林地-坡耕地-草地的景观结构有利于土壤中养分保持,同时可以减少水土流失。表 2 显示了由 3 种不同土地利用方式控制的流域中土壤养分流失的概况,由农田景观控制的流域中 TN 和 TP 的流失明显高于草地或林地控制的流域。在农田区,通过研究地表和地下径流规律,在适宜的地方增加一些草地和林地,不仅可以增加景观多样性,而且可以较好地减少农田中土壤养分流失。同时通过研究不同农作物对氮磷的吸收特征和互补性,采取不同作物的间作套种、轮作等方式,可以充分提高土壤中养分利用效率,又避免非点源污染形成。

表 1 3 种不同土地利用方式控制的流域
养分流失比较^[10]/kg·hm⁻²

参 数	农田控制	草地控制	林地用地
	的流域	的流域	的流域
TN	13.80	5.95	2.74
溶解氮	0.45	0.51	0.15
NO ₃ ⁻	6.35	3.20	0.36
TP	4.16	0.68	0.63
正磷酸盐	1.20	0.32	0.15
N/P 比	1.50	3.95	1.96

3 结 语

(1) 由于影响农业非点源污染的因子复杂多样、形成机理模糊,在控制农业非点源污染方面具有较大难度。不同化肥、农药使用量、使用方式和季节,农田耕作措施、灌溉方式在非点源污染形成中起到了不同作用。为了降低农业非点源污染形成,在控制非点源污染物来源上,可以考虑以下几点:①在化肥和农药使用上,充分考虑农田土壤特征和农作物生长状况,根据农作物对养分和农药的需求量、对养分的吸收和需求季节安排施肥量、施肥方式和时间。提高农作物对土壤养分的吸收,将减少农药和养分流失危险。②与传统耕作方式相比,免耕和少耕可以降低径流中悬浮物含量,减少土壤中养分流失,有利于防止农业非点源污染形成;③与沟灌和淹灌相比,喷灌大大降低了径流产生,由此降低了农业非点源污染形成的危险。

(2) 在控制非点源污染物扩散途径上,通过设计适宜的农田景观,在一定程度上可以截留非点源污染物,减少对水体的污染。目前认为较好的措施有:在农田与水体之间设置适当宽度的植被缓冲带;在农田景观中适当增加湿地面积;在地形转换地带,建立适当宽度的

树篱和溪沟;实行不同土地利用方式在空间上的合理搭配以及不同农作物的间作套种、轮作等。

参考文献

1 Corw in D L and R J Wagenet. Application of GIS to the Modeling of Nonpoint Source Pollutions in the Vadose Zone: A Conference Overview. *J. Environ. Qual.*, 1996, 25(3): 403~ 411.

2 贺缠生等. 非点源污染管理及控制. *环境科学*, 1998, 19(5): 87~ 91.

3 Ebbert J C and M H Kim. Soil processes and chemical transport. *J Environ. Qual.*, 1998, 27: 372~ 380.

4 Line D E et al. Nonpoint sources pollution. *Wat. Environ. Res.*, 1998, 70(4): 895~ 911.

5 鲍全盛等. 我国水环境非点源污染研究与展望. *地理科学*, 1996, 16(1): 66~ 71.

6 Henderson F M et al. Application of C-CAP protocol land-cover data to nonpoint source water pollution potential spatial models in a coastal environment. *Photog. Engin. and RS*, 1998, 64(10): 1015~ 1020.

7 王国祥等. 人工复合生态系统对太湖局部水域水质的净化作用. *中国环境科学*, 1998, 18(5): 410~ 414.

8 Myers J L et al. Chemical movement in relation to tillage system and simulated rainfall intensity. *J. of Environ. Qual.*, 1995, 24: 1183~ 1192.

9 Chichester F W and C W Richardson. Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage. *J. of Environ. Qual.*, 1992, 21: 587~ 590.

10 Levaron D et al. Mobility of agrochemicals through soil from two tillage systems. *J. of Environ. Qual.*, 1993, 22: 155~ 161.

11 Sharpley A. Identifying sites vulnerable to phosphorus loss in agricultural runoff. *J. of Environ. Qual.*, 1995, 24: 947~ 951.

12 Angle J S et al. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer application. *J. of Environ. Qual.*, 1993, 22: 141~ 147.

13 艾应伟等. N 肥深施深度对小麦吸收利用 N 的影响. *土壤学报*, 1997, 34(2): 146~ 151.

14 Loro J P et al. Intensity and duration of denitrification following application of manure and fertilizer to soil. *J. Environ. Qual.*, 1997, 26: 706~ 713.

15 Gayor J D et al. Atrazine and metolachlor loss in surface and surface runoff from three tillage treatments in corn. *J. of Environ. Qual.*, 1995, 24: 246~ 256.

16 Geleta S et al. Importance of soil and cropping systems in the development of regional water quality policies. *J. of Environ. Qual.*, 1994, 23: 36~ 42.

17 Troiano J et al. Influence of amount and method of irrigation water application on leaching of Atrazine. *J. of Environ. Qual.*, 1993, 22: 290~ 298.

18 Borden R C et al. Effect of In-lake water quality on pollutant removal in two pond. *J. Environ. Engin.*, 1998, 124(8): 737~ 743.

19 Peterjohn W T and D L Correll. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 1984, 65: 1466~ 1475.

20 Pearce R A et al. Efficiency of grass buffer strips and vegetation height on sediment filtration in laboratory rainfall simulation. *J. Environ. Qual.*, 1997, 26: 139~ 144.

21 Yin C et al. A multipond system as a protective zone for the management of lakes in China. *Hydrobiologia*, 1993, 251: 321~ 329.

22 傅伯杰等. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响. *科学通报*, 1998, 43(22): 2444~ 2447.