

集水区农业非点源污染之评估及控制对策

林昭远, 陈键鑫, 颜正平
(中兴大学水土保持学系, 台湾台中市)

摘要: 集水区内不当之农业活动, 加速集水区土壤流失及水库水质恶化。本研究利用数值地形模型(Digital Elevation Model, DEM)、配合遥感探测(Remote Sensing, RS)与地理信息系统(Geographic Information Systems, GIS)等技术, 撰写程序建立集水区农业非点源污染评估系统, 探讨集水区农业非点源污染控制之成效。利用泥沙递移率与植生缓冲带区位检视集水区内之农业非点源污染源, 划定集水区环境敏感区位, 针对敏感区回收造林, 可有效控制集水区农业非点源污染。

关键词: 集水区; 非点源污染; 对策

中图分类号: X592, TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2001)01-0007-03

Assessment and Strategies for Watershed Agricultural Non-point Source Pollution Control

LIN Zhao-yuan, CHEN Jian-Xin, YAN Zheng-ping
(Department of Soil and Water Conservation, Chung-Hsing University, Taiwan)

Abstract: Improper agricultural activities accelerate soil loss and water pollution. An assessment system for agricultural non-point source pollution estimation was developed in this study. Digital Elevation Model (DEM), Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) couples with non-point source pollution models were applied in the system to discuss the efficiency of non-point pollution control in a watershed. Concepts of sediment delivery ratio (SDR) and placement of riparian buffer strips couples with the analysis of topography and hydrology for the watersheds of interest to classify the sensitive zone could effectively monitor and control watershed agricultural non-point-source pollution.

Key words: watershed; non-point source pollution; control

1 前言

1940~1950年以前台湾农业甚少使用化学农药、肥料, 农地土壤从未遭受农药、化学肥料及废水等污染, 各种野生小动物活跃于田野, 鱼虾戏游于溪流。惟几十年来, 长期在有限的土地上进行农业生产, 因过量施用农药、肥料造成环境污染。此外, 台湾由于降雨时空分配不均, 山坡地形陡峻及土壤浅薄等因素, 不当坡地开发利用, 易造成河川、水库水质

劣化与泥沙淤积, 非但对自然环境破坏, 亦降低生活环境品质, 坡地农业超限利用所造成泥沙冲蚀, 农业生产所引发非点源污染已对台湾的环境造成严重的冲击。如何落实坡地保育工作乃当务之急。坡地农业所产生之泥沙、营养盐、农药等污染物是引起水质劣化之主因。被冲蚀之污染物进入水体, 会造成浊度增加, 水库淤积及优养化等问题; 如何改善集水区水资源, 避免农业非点源污染, 环境敏感区位土地利用之管制极为重要。

* 收稿日期: 2000-11-20

作者简介: 林昭远, 中兴大学水土保持学系副教授。

2 坡地农业污染源之种类

人类可以说是自然生态环境最大的杀手,为生产足够的粮食以应付剧增的人口,人类不断地开拓天然林地及草原,以为耕地,导致许多野生动物、昆虫失其栖所,甚至因而灭绝。现代的农业生产由于经营规模的日趋扩大,生产日趋集约,大量使用农业机械的结果,消耗大量化石燃料,造成空气污染,以及温室效应气体大量增加。以台湾为例,1978年曳引机只有 2 274 部,到 1998 年增加到 13 311 部,增加 6 倍以上;大型农业机械的行走造成土壤的压实,使得雨水渗漏困难,根系穿透不易。机械的不当耕犁造成土壤的冲刷流失,使得表层肥沃土壤容易被径流带走,造成水库河川淤积,地力严重衰退。大量化肥农药施用的结果,造成空气、土壤及地下水严重的污染。集水区内农业活动,虽可生产人类赖以生之粮食,若经营不当,会对水资源保育产生严重冲击,有关集水区农业非点源污染之种类及其对水体水质影响分述如下:

2.1 农药

农药为保护农作物生长之化学品,举凡耕作前之耕地土壤与种子消毒,至播种后作物发芽、生长、开花、结果等过程及收获后贮藏期间,无不藉由农药防治病虫害与鼠患。利用农药控制杂草、昆虫与病毒对作物之为害,为有效且广为接受之方法。农药大量使用始于二次世界大战后,台湾自 1949 年首先引进 DDT,开始采用有机合成化学农药以后,迄今已达 50 年之久。台湾在 1960 年每公顷农田施用 30 kg 农药,到 1984 年增加到 47 kg,到 1998 年由于有机农业及吉园圃之推动,才略降回到了 10 kg。农药的大量施用不但由于食物累积农药残毒直接危害人类健康,也造成空气、土壤以及地下水的污染,间接造成地面上天敌的消失,土壤中微生物的死灭,使得原本平衡的自然生态遭致严重的冲击,土壤更由于微生物的灭绝而产生不平衡,造成病虫害更容易滋生。根据台湾区农药工业同业公会统计,1996 年农药生产量高达 40 418 t,农药消费额估计约为新台币 40 亿元。虽然消费额不及全世界之 1%,但台湾耕地面积有限,对单位面积之农药使用量而言,则有偏高现象,显示农药在台湾农业生产上扮演着不可或缺之重要角色(陈玉麟,1992)。农药种类繁多,化性不一,对环境的污染程度亦异。有些农药可长期累积,对人类和动物有慢性毒害作用,或引起细胞突变等,残留土壤中或被农作物吸收之农药,则易造成农药残毒

问题。

2.2 肥料

使用肥料虽可促进植物生长,增加粮食产量,提供人类足够的粮食,改善吾人生活环境,此为肥料对环境之贡献。但农用化学品使用必须适时、适量、适用,方可达到促进作物生长之目的,过量施肥将会对环境造成伤害。1948 年台湾每公顷施用化学肥料用量为 39 kg,1978 年增加为 1 374 kg,到 1996 年提高至 1 596 kg,在 46 年内增加 40 倍。肥料大量施用的结果,导致土壤急速酸化及养分的不平衡。过量营养盐进入地下水体或因径流、冲蚀、排水而进入河川、湖泊等地面水体,易造成水污染或优养化。

2.3 径流及泥砂

坡地开发不仅破坏地表植被,扰动表层土壤,雨滴打击裸露地表,将造成泥砂颗粒堵塞入渗孔道,减少水流入渗机会,增加地表径流量,地表径流易挟带泥砂泛滥成灾。Jay & George(1995)指出淤泥为水体水质恶化主要污染源之一,在美国水体中之淤泥其最大来源乃每年平均约 4 Mt 由农地冲蚀所产生。淤泥不仅携带肥料及杀虫剂污染水源,且减少河道储水,增加洪水泛滥,对水生生态产生严重影响。

3 污染负荷与水质关系

施予土壤中之肥料与农药,对环境造成污染主要有三个途径:表土径流、地下渗漏、土壤冲刷等。溪流在自然情形下,含有少量可溶性的硝酸盐与磷酸盐等化合物;由于有助于水生植物的生长,通常被归为营养盐。溪流中的硝酸盐与磷酸盐,除源自上游水体中的有机物碎屑外,主要来源是降雨及来自地表径流的流入所生成。例如德基水库集水区因坡度陡、土壤石砾含量高、保水及保肥力低,集水区内之耕地,为提高作物产量与品质,使用大量肥料与农药,易经由冲蚀、淋洗进入水库水体,引起水库优养化。所谓优养化即水中营养盐如氮、磷等浓度累积至一限度,配合水温、pH 值及日照等环境因子,而导致自营性生物或藻类异常繁殖,可见农业活动对集水区水体水质有显著的影响。

4 集水区环境敏感区位分析

集水区并非都能开发利用,也非不可开发。若将集水区比喻成人体,人的个体有所谓重要器官或部位,此等重要部位不能丝毫受到伤害,否则就危及个体之性命。集水区之重要部位就是敏感区位,一般是以环境敏感区位来表示。环境敏感区位系一集合名

词,泛指对人类具有特殊价值或具有潜在天然灾害发生的地区,极易因不当之人为活动而导致环境负效果。

台湾目前所采用“山坡地可利用限度分类标准”,为土壤有效深度超过 25 cm 者,坡度以 55% (相当于 28.8°) 为分界,55% 以上为林地,以下者为农牧地;土壤有效深度不超过 20 cm 者,坡度则以 40% 为分界,40% 以上为林地,以下为农牧地。所谓的超限利用地即为宜林地,不适合做农牧使用。超限利用易造成水土流失、崩塌及地表冲蚀。是以超限利用地为集水区水土流失之敏感区位,应回收造林。

集水区坡面泥砂递移率之空间分布,为评估及筛选坡地开发区位之重要指标。坡面泥砂递移率受到降雨、土壤、地形、植生与人为等因子之影响极大,因子间亦存在着交感效应,实用上并无法逐一考量。为简易计算坡面泥砂之递移率,可假设坡面泥砂主要系由坡面地表水所带动,运移至渠道而流失,所以集水区坡面上任一处之泥砂递移率可定义为流入该处上游之地表水流长度和与流经该处之总地表水流长度的比值;意即滨水区愈靠近渠道之区位,其坡面冲蚀之泥砂愈容易进入渠道,而增加河道之泥砂产量,泥砂递移率愈高。坡面泥砂递移率较高之区位,系集水区泥砂运移之敏感区,为集水区植生缓冲带之重要配置区位。

5 滨水区植生缓冲带之配置

滨水区植生缓冲带系指位于潜在污染源与地表水体间之人工栽植或天然植被,主要用以减缓漫地水流并能从径流水中去除部分之泥砂、营养盐及农药。植生缓冲带具有缓冲污染物、安定河岸等多项功能,为有效解决坡地农业所产生之非点源污染。在溪流两旁设置适当绿带,严禁开发利用,不仅能有效控制非点源污染,增加水资源之使用,且对于河川之生态保育助益良多。

台湾目前仅有翡翠、德基水库依法设置植生保护带,有关溪流两岸植生缓冲带之规范尚未出炉,为有效防止农业非点源污染对河川水质所造成之冲击,宜尽早规范溪流滨水区植生缓冲带之设置标准。植生缓冲带之宽度若设计不足,则无法达到净化径流水质的预期效果。反之,若宽度大于实际需要,将造成农地或其它用地的损失,人民配合的意愿不高。因此合理的宽度范围对坡地保育计划之推行相当重要。美国农业部在其耕地保育计划内所推荐之植生缓

冲带宽度为 20 ~ 30 m,而在森林集水区内,沿着溪流两旁之保护带最少需有 30 m。截至目前为止尚无法将缓冲带的宽度与过滤后水质受改善之情形予以量化。农民抱怨不适宜的规定宽度减少了生产用地,而环境学家却争论现存的规定宽度尚嫌不足,其改善农地集水区排放水之品质未达理想(Puvis et al. 1989)。美国农业部所推荐的缓冲带宽度虽可供我们参考利用,但此种齐头式之宽度在地幅广大的美国尚有所争议,在寸土寸金之台湾,若据此推行,其阻力可想而知,因此有必要建立本土化的植生缓冲带合理宽度。

由于地表土壤入渗率之差异,植生缓冲带宽度之设计理念有所不同(林昭远,1998)。台湾山区多石质土,常混有石片或砾石,粗孔隙多,土壤饱和入渗率极高,地表径流水发生之机率甚低。反之,西南部青灰泥岩地区之土质细致,孔隙小入渗率甚低,地表细颗粒泥砂易随地表径流而流失。因此农业非点源污染之防治,在高入渗区主要是藉由土层之吸附、生物固定、分解及化学反应等自净作用来去除渗流之污染源,所以高入渗地区须保有相当深厚的土层以行土壤自净作用,避免地下水被污染。高入渗区河岸滨水区植生缓冲带的宽度可由現地量测土层中污染物之衰减,或利用指针模式推算安全土深,河岸两旁低于安全土深之区位,应全部划入植生缓冲带,严禁农垦,以免渗流水污染河川。泥岩裸露区之地表饱和入渗率极低,低入渗地区主要是地表径流之排水问题,集水区应依泥砂递移率之空间分布,量化标定植生缓冲带之配置宽度,阻拦地表径流中之污染物。除了滨水区植生缓冲带之配置外,集水区主要潜在污染源之农作区内,应落实草生栽培、草沟及农地沉砂池之设计。虽是自扫门前雪,若能将泥砂、营养盐等非点源污染源留在自己的农地,即可避免河川水体污染,“源头防治重于下游防堵”为集水区农业非点源污染控制应有之理念。

6 系统架构

本系统(OM)为一简易之集水区分析软件,系利用 GIS 中之网格(Grid)观念,将 DEM 资料予以网格化,分析其高程、坡度、坡向或将 AutoCAD 数字化的向量图档(DXF 档)予以网格化,进行边界处理、重新编码、图层套叠之分析与展示。本系统为一套 32 位的软件,是采用 C 语言撰写而成,早期是在 DOS 下所发展,目前 WINDOWS 版本已移植完成,也有少量的 Linux 版本散布,兹将 OM 发展过程简

(下转第 16 页)

分规划绿美化设施并配合施作低水护岸工程,以提供当地居民休闲活动之好去处。

致谢: 本文研究期间, 承蒙“经济部”水利处与水利处第三河川局提供相关资料, 中兴大学土木工程学系卢昭尧教授不吝指正, 研究生吴传伟、江升峰协助资料之汇整与分析工作, 使本文顺利完成, 特此致谢。

参考文献:

- [1] 台湾省水利局. 大里溪治理计划先期规划[R]. 1989.
- [2] 台湾省水利局. 大里溪治理计划先期规划总报告[R]. 1989.
- [3] 台湾省水利局. 大里溪水系治理基本计划[R]. 1989.
- [4] 台湾省政府水利处. 台湾重要河川[R]. 1999.
- [5] 水利处. “9·21”震灾水利设施灾害及处理总结报告[R].
- [6] 林呈, 孙洪福. 见证“9·21”(上)集集大地震[Z]. 2000.
- [7] Chow, V. T., Open channels hydraulics[M]. 1959.
- [8] 颜正平. 天灾地变与防灾减灾[J]. 水土保持研究, 2001, 8(1): 2~6.
- [9] 李咸享. 台北市震度微区图在建筑防灾之运用[J]. 水土保持研究, 2001, 8(1): 50~54.

(上接第 9 页)

述如下: OM 25 为 DOS 的最终版本, 是在 GNU gcc 编译程序下所发展, 可在 DOS/WIN95/WINNT 下执行。OM 30 为发展中的版本, 是在 BCB 3.0 编译程序下所发展, 目前已完成大部分功能, 可在 WIN95/WINNT 下执行。OM 20 为 Linux 的版本, 由于在 Linux 上程序执行的效能较高, 某些需大量分析的程序才移植到 Linux 上。系统画面包括: (1) 程序主选单(menu): 为功能模块之分类; (2) 程序次选单(sub-menu): 为功能模块下之程序集; (3) 单一程序: 执行次选单之程序选项。

目前 OM 提供之功能如下: (1) 坡度、坡向空间分析, 向量资料网格化; (2) 边界处理、属性编码、套叠分析、图形展示; (3) 集水区自动划分、集水区特性分析; (4) 高入渗区及泥岩区之缓冲带配置、土石流评估; (5) AGNPS 资料分析、集水区坡面土壤流失量(USLE)及泥砂产量估算; (6) 卫星影像波段组合、增扬、边界处理; (7) 公用程序及不同资料格式转文件等之分析。OM 30 对图档之展示有两种: 1.

WinGrid 为系统内建之图形展示程序, 可展示由 OM 30 所分析的各类图档, 除展示图档之外, 并能对图文件之属性资料进行统计及显示属性之信息。2. 由 ArcView 软件展示, 由于 ArcView 为一功能强大的 GIS 查询展示软件, 本程序集可直接连结 ArcView 软件, 利用其查询展示的功能, 展示 OM 所分析的各类图档。

7 结 语

集水区农业污染之分析, 应以集水区为单元, 利用泥砂递移率及滨水区植生缓冲带之配置理念, 划定集水区环境敏感区位, 针对敏感区位回收造林管制农业污染源, 可避免污染物对水质的污染, 减少农地或其它用地的损失。除了植生缓冲带之配置外, 集水区主要潜在污染源之农作区内, 应落实耕地保育措施, 避免非点源污染物之汇集成点源污染而危及溪流之生态环境。

参考文献:

- [1] 林昭远. 集水区植生缓冲带之配置[M]. 台湾水土保持, 1998, 1~4.
- [2] 陈玉麟. 世界农药之现况[C]. 农药安全研讨会论文集, 1992, 1~12.
- [3] Joy O'Laughlin and George H. Belt. Functional approaches to riparian buffer strips design[J]. Journal of Forestry, 1995, 29~32.
- [4] Puvis, A., Hoehn, J.P., Sorenson, V.L., and Pierce, F.J. Farmers response to a filter strip program: results of a contingent valuation survey[J]. Journal of Soil and Water Conservation 1989, (44): 501~504.
- [5] 庄作权. 利用放射化学及地球化学方法追踪德基水库集水区之泥沙来源[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 2~7.
- [6] 周天颖, 等. 集水区土地利用监控模式[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 40~44.
- [7] 李铁民. 台湾地区水库集水区治理成效评估方法[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 16~23.
- [8] 林昭远. 数值地形模型应用于集水区规划与整治之研究[J]. 水土保持研究, 1999, 6(3): 37~42.