

● “十一五”国家重点图书出版规划项目 ●

土壤侵蚀与旱地农业系列专著

黄土坡面土壤溶质随地表径流迁移特征与数学模型

王全九 王 辉 郭太龙/著



科学出版社
www.sciencep.com

“十一五”国家重点图书出版规划项目

土壤侵蚀与旱地农业系列专著

黄土坡面土壤溶质随地表 径流迁移特征与数学模型

王全九 王 辉 郭太龙 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕黄土坡面土壤溶质随地表径流迁移特征、影响因素以及相关数学模型进行分析与论述。本书共分8章,重点分析影响黄土坡面土壤溶质随地表径流迁移的主要影响因素及其影响程度,以及各种调控措施控制水土养分流失的功效。同时,针对黄土坡面土壤溶质随地表径流迁移的特征,建立非饱和土壤条件下土壤溶质随地表径流迁移的数学模型。

本书可作为农业、水利、生态、环境、水土保持、土壤等学科研究人员的参考书籍,也可作为相关学科研究生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

黄土坡面土壤溶质随地表径流迁移特征与数学模型 / 王全九, 王辉, 郭太龙著. —北京: 科学出版社, 2010

(土壤侵蚀与旱地农业系列专著)

ISBN 978-7-03-026404-6

I. ①黄… II. ①王…②王…③郭… III. ①黄壤-物质运输-地面径流-迁移-研究②黄壤-物质运输-地面径流-数学模型-研究 IV. ①S152.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 008594 号

责任编辑: 张 震 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

封面照片提供: 田均良

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2010 年 1 月第一次印刷 印张: 24 3/4

印数: 1—1 200

字数: 500 000

定价: 100.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

总 序

资源合理利用与生态环境保护已成为 21 世纪中国西部开发的战略核心。实施这一战略，对粮食和环境安全有着举足轻重的作用。开展土壤侵蚀和旱地农业研究是实施上述战略的关键。土壤侵蚀与旱地农业是黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室的两个基本研究方向。该系列专著针对实验室两个研究方向，以黄土高原土壤侵蚀环境调控和提高旱地农业生产力为基础，从土壤侵蚀过程及其调控、土壤侵蚀模型及预测、水土流失、土壤水分养分循环机制及其调控、土壤侵蚀与旱地农业研究的新方法和新技术等领域出发，系统反映实验室基于大量重要研究项目资助获得的研究成果。

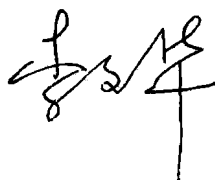
《土壤侵蚀与旱地农业系列专著》具有以下特点：一是长期和集体研究工作的结晶。作者以他们自己的研究工作累积为基础，并综合国内外有关专家、学者的研究成果，较充分反映了我国土壤侵蚀与旱地农业研究取得的成就。二是具有坚实的科学立论基础，作者以严肃、认真的科学态度，从黄土高原实际出发，理论联系实际，观点明确，论据充分，是具有较高权威性的系列专著。三是有很强的应用性，主要基于土壤侵蚀与旱地农业的相关理论，对如何控制水土流失和提升旱地农业生产力提出关键技术措施。

该系列专著各分册相对独立，但又相互补充，体系完整，资料系统，涉及地学和农业科学的诸多领域，是一套在理论上具有一定深度、实践上具有一定广度的丛书。该丛书的出版发行对推动水土保持、优化旱地农业水肥资源管理和提高农业生产力将会产生积极作用。系列专著资料丰富，数据可靠，内容翔实，图文并茂，是理论联系实践的著作。它不仅可以作为地学、生态学、气象学、土壤学、植物营养学、农学等相关专业科技工作者的参考书，而且可作为高等院校相关专业

教学的重要参考书。

我相信这套专著的出版，一定会受到学术界的欢迎，将为推动土壤侵蚀和旱地农业学科建设发挥其应有的作用。

中国工程院院士



2009. 10. 24

前 言

水土资源是人类生存和发展的重要物质基础，也是农业生产的基本条件。随着人类活动的增加和水土资源不合理利用，水土资源遭到破坏，人类赖以生存和发展的环境受到挑战，生态环境问题已成为世界范围内广泛关注的问题。严重的水土流失，不仅导致河道、湖泊淤塞，引起河道变迁、湖容减小，并常常引发洪涝灾害，同时水土流失使土壤中的有机质减少，施入的氮、磷、钾等养分流失，导致土壤肥力减退，土壤质量下降。此外，细颗粒泥沙具有很强的吸附力，能够大量吸附地面上含量不高的有害元素，将其带入水体造成水质污染。由于表土流失，土壤表面颗粒粗化，改变了土壤质地，导致土壤沙化，加速旱区土地的沙漠化过程。黄土地区的国土资源在我国国民经济中占有重要地位，这一地区地域辽阔、自然资源丰富，对西北经济区的开发起关键作用。但这个地区存在严重的水土流失问题。水土流失使大量泥沙和养分注入各支流，汇入黄河，淤积河床，同时土壤损失了大量养分和肥力。土壤养分源源外流，又使农业生态系统物质循环遭到严重破坏，导致生态环境的恶化，给人类生存带来严重威胁。特别是短历时大暴雨所造成的严重水土流失，加剧了土壤溶质随地表径流的迁移程度，使黄土地区农田生态系统物质循环处于恶性状态，土壤资源变劣，严重破坏了土地生产力，同时造成江河湖泊的严重面源污染。控制水土养分流失，改善生态环境是西部退耕还林还草工程的主要任务。因此，研究土壤溶质随地表径流迁移的特性及控制方法是提高土地生产力和防治面源污染的一个重要方面。

降雨条件下土壤溶质迁移过程是一个复杂的物理化学过程，它受到诸多因素的影响，其研究内容涉及土壤学、生态学、水文学、水力学、环境科学等多种学科，需要多学科间的相互交叉、渗透和高层次的综合。降雨条件下土壤溶质迁移包括两个过程：一是在降雨过程中，土壤溶质随下渗水分向深层迁移；二是当降雨强度大于土壤入渗能力时产生地表径流，土壤表层的溶质在雨滴打击及径流冲刷作用下，向地表径流传递，并随地表径流迁移。土壤内部的溶质迁移过程涉及土壤养分的滞留及有效性、土壤环境及地下水污染问题；而土壤溶质随地表径流

迁移过程涉及土壤养分流失和土壤肥力减退,以及水环境污染问题。土壤溶质随地表径流迁移受到众多因素的影响,如降雨特性、下垫面条件及所涉及的化学物质特性等。降雨不仅为整个土-水体系输入水量,而且输入能量,它是土壤体系中水分和溶质运移的能源;下垫面是降雨及径流溶质迁移的基础,也是径流溶质的供给源;化学物质是整个研究的对象,它的物理化学特性同样影响其本身的运移特性。因此,为了揭示土壤溶质随地表径流迁移的机制,以及有效控制和预测土壤溶质随地表径流迁移的过程,需要研究各种因素对土壤溶质随地表径流迁移的特性的影响及其程度。

本书在总结国内外相关研究成果的基础上,对影响土壤溶质随地表径流迁移特征的主要因素及其影响程度开展了深入研究,揭示了土壤溶质随地表径流迁移的内在机制。同时,研究了改变土壤物理状况、下垫面条件、施肥方式和使用化学保水剂等方法控制水土养分流失的功效,为发展适宜的水土养分流失调控措施提供指导。在深入分析土壤溶质随地表径流迁移特征的基础上,建立了超渗产流和侵蚀环境下土壤溶质随地表径流迁移的数学模型,为模拟分析土壤溶质随地表径流迁移的特征及优化水土养分流失控制措施,提供了理论基础和方法支撑。

本书在总结王全九、王辉、郭太龙、穆天亮、孔刚、张长宝等多位人员研究成果的基础上撰写而成。王辉负责第1、2、4、5、7、8章和6.1~6.4节及6.6、6.8节的撰写,郭太龙负责或参与第3章和6.5、6.7节的撰写。王全九制定撰写大纲,设计全书章节结构,撰写了部分章节内容,负责本书的统稿并对各章节内容进行修改以及最后审定。本书相关内容的研究,得到中国科学院“百人计划”择优项目、中国科学院“流域水土过程创新团队”项目、国家自然科学基金项目和黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室项目的资助,同时得到了相关单位和科技人员的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。由于编著水平有限,时间仓促,书中不免有不足之处,恳请读者批评指正。

著 者

2009.07.10

目 录

总序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究意义与背景	1
1.1.1 非点源污染概念及特点	1
1.1.2 农业非点源污染	2
1.1.3 黄土区非点源污染特点及状况	3
1.2 国内外研究现状	4
1.2.1 土壤溶质迁移特性的研究	5
1.2.2 土壤溶质随地表径流迁移的研究	11
1.3 试验方法	29
1.3.1 供试材料	30
1.3.2 试验设备和试验条件	30
1.3.3 试验过程	32
1.3.4 测定内容与方法	34
第 2 章 降雨特性对土壤溶质随地表径流迁移的影响	36
2.1 模拟降雨的基本特性	36
2.1.1 降雨强度及雨滴粒径的选择	37
2.1.2 雨滴末速的确定	37
2.1.3 雨滴动能及动量	38
2.2 雨滴动能对坡面土壤入渗、产流和产沙特性的影响	39
2.2.1 试验装置及方法	39
2.2.2 雨滴动能对土壤入渗特性的影响	43
2.2.3 雨滴动能对径流过程的影响	48
2.2.4 雨滴动能对径流含沙量过程的影响	51
2.2.5 雨滴动能对径流溶质浓度的影响	52
2.2.6 雨滴动能对土壤溶质迁移特性的影响	56

2.2.7 雨滴动能对土壤及径流酸碱性的影响	58
2.3 降雨强度对土壤水分运移特性及径流过程的影响	59
2.3.1 降雨强度对土壤水分运移特性的影响	59
2.3.2 降雨强度对产流时刻的影响	61
2.3.3 降雨强度对含沙量过程的影响	61
2.3.4 降雨强度对土壤及径流溶质浓度的影响	62
2.4 本章小结	64
第3章 上方来水对黄土坡面侵蚀及溶质迁移过程的影响	66
3.1 试验设计与研究方法	66
3.1.1 试验设计	67
3.1.2 研究方法	67
3.2 上方来水流量对黄土坡面侵蚀及溶质迁移的影响	70
3.2.1 上方来水流量对坡面径流的影响	70
3.2.2 上方来水流量对侵蚀泥沙的影响	72
3.2.3 上方来水流量对坡面径流溶质浓度的影响	75
3.3 上方来水和降雨对坡面侵蚀及溶质迁移的耦合影响	79
3.3.1 降雨与上方来水共同作用下的黄土坡面侵蚀过程	80
3.3.2 降雨和上方来水共同作用下的坡面溶质 Br^- 的迁移过程	95
3.4 坡面侵蚀量和溶质迁移量与水流水力参数间关系	103
3.4.1 黄土坡面汇流水流的水动力特征参数	105
3.4.2 坡面水流流态的判别	108
3.4.3 坡面汇流水流的阻力变化特征	111
3.4.4 坡面水流水力学特征参数间及其与侵蚀量间的关系	115
3.5 本章小结	121
第4章 地形对黄土坡面溶质迁移特征的影响	124
4.1 黄土高原地貌特征	124
4.2 试验方法与试验设计	124
4.2.1 试验方法	124
4.2.2 试验设计	125
4.3 坡度对黄土坡面溶质迁移的影响	125
4.3.1 坡度对地表径流变化特征的影响	126

4.3.2	坡度对产流时刻的影响	127
4.3.3	坡度对稳定入渗率的影响	127
4.3.4	坡度对侵蚀的影响	128
4.3.5	坡度对径流中溶解态磷的变化特征的影响	128
4.3.6	坡度对径流中钾离子的变化特征的影响	129
4.3.7	坡度对径流中溴离子的变化特征的影响	130
4.3.8	坡度对坡面养分淋溶过程的影响	130
4.4	坡长对黄土坡面养分流失的影响	132
4.4.1	坡长定义及特征	132
4.4.2	坡长对坡面径流侵蚀影响的研究进展	132
4.4.3	坡长对地表径流变化特征的影响	134
4.4.4	坡长对径流溶质浓度变化过程的影响	134
4.4.5	坡长对坡面养分迁移的影响	136
4.4.6	地表径流养分流失模拟模型对比分析	137
4.5	田间模拟降雨下坡度对坡地溶质迁移的影响	140
4.5.1	试验材料与试验方法	141
4.5.2	坡度对径流总量和土壤流失量的影响	142
4.5.3	坡度对径流养分迁移过程的影响	143
4.6	坡耕地土壤硝态氮淋溶特征	145
4.6.1	试验材料与试验设计	146
4.6.2	土壤硝态氮含量沿坡长变化	146
4.6.3	人工降雨前后硝态氮和土壤含水量时空变化	148
4.6.4	雨季期间硝态氮时空变化	149
4.6.5	降雨量对硝态氮淋溶深度及淋失量的影响	150
4.7	本章小结	150
第5章	表层土壤物理特性对溶质迁移的影响	152
5.1	土壤质地对黄土坡面溶质迁移特征的影响	152
5.1.1	试验材料与试验设计	152
5.1.2	土壤质地对坡面产流产沙的影响	153
5.1.3	土壤质地对坡面养分迁移特征的影响	154
5.1.4	土壤质地对坡地剖面水分、养分再分布的影响	156

5.2 土壤容重对坡地水分溶质迁移特征的影响	157
5.2.1 试验材料与试验设计	158
5.2.2 土壤容重对降雨-入渗-径流过程的影响	158
5.2.3 土壤容重对径流养分浓度变化特征的影响	160
5.2.4 径流养分流失量变化过程	163
5.3 土壤翻耕与压实对坡地水分与溶质迁移的影响	166
5.3.1 研究区域概况	167
5.3.2 试验设计与研究方法	167
5.3.3 压实与翻耕对坡地产流产沙过程的影响	167
5.3.4 压实与翻耕对坡地溶质迁移的影响	169
5.3.5 翻耕与压实对坡地剖面水分和溴再分布过程的影响	170
5.4 土壤前期含水量对坡面水分养分迁移的影响	171
5.4.1 试验设计与试验方法	172
5.4.2 前期土壤含水量对降雨入渗产流产沙过程的影响	173
5.4.3 前期含水量对坡地溶质迁移的影响	177
5.5 土壤结构对径流溶质过程的影响	182
5.6 土体底部透水状况对坡地溶质迁移的影响研究	183
5.6.1 试验材料与试验设计	184
5.6.2 透水状况对径流和土壤侵蚀的影响	185
5.6.3 透水状况对坡地径流养分迁移的影响	186
5.6.4 透水状况对土壤溶质渗漏过程的影响	188
5.7 近地表水文条件对坡地养分迁移特征的影响	189
5.7.1 供试材料与试验设计	190
5.7.2 降雨强度对坡面产流产沙的影响	190
5.7.3 降雨强度对坡面径流养分迁移的影响	191
5.7.4 降雨强度对剖面溶质含量分布的影响	193
5.7.5 地表径流养分流失模拟模型对比分析	194
5.7.6 地下供水对土壤溶质分布的影响	196
5.8 本章小结	197
第6章 下垫面条件对坡面土壤溶质迁移特征的影响	201
6.1 土壤物理结皮对黄土坡面土壤溶质迁移特征的影响	201

6.1.1	研究区域与研究方法	202
6.1.2	表土结皮对坡地产流产沙的影响	203
6.1.3	表土结皮对坡地溶质流失过程的影响	204
6.1.4	表土结皮对坡地土壤溶质总流失量的影响	205
6.2	施加 PAM 对坡地土壤水分溶质迁移的影响	206
6.2.1	试验材料与试验设计	207
6.2.2	PAM 用量及施加方式对积水垂直入渗特征的影响	208
6.2.3	暴雨条件下 PAM 对坡面养分流失的影响	211
6.2.4	不同 PAM 用量对坡地径流溶质迁移的影响	215
6.3	秸秆覆盖对坡地土壤水分溶质迁移的影响	220
6.3.1	试验材料与方法	220
6.3.2	秸秆覆盖量对坡地产流侵蚀和养分流失的影响	221
6.3.3	秸秆覆盖与施加 PAM 结合下土壤侵蚀和养分流失特征	225
6.3.4	不同降雨强度下秸秆覆盖量对土壤侵蚀和养分流失特征的影响	228
6.4	秸秆掺混对坡地养分迁移的影响	233
6.4.1	试验材料与试验方法	234
6.4.2	秸秆掺混对降雨产流产沙的影响	234
6.4.3	秸秆掺混对径流养分流失的影响	235
6.4.4	土壤剖面水分和养分分布	236
6.5	碎石覆盖对黄土坡地侵蚀及溶质迁移的影响	237
6.5.1	试验区概况与试验方法	237
6.5.2	碎石覆盖下的黄土坡地侵蚀过程分析	241
6.5.3	碎石覆盖下的黄土坡地径流溶质迁移过程分析	244
6.5.4	不同碎石覆盖下黄土坡地土壤剖面水分及溶质分布	247
6.5.5	不同碎石覆盖下黄土坡地汇流水流的水力学参数分析	250
6.6	植被种植密度对坡地溶质迁移的影响	253
6.6.1	试验材料与试验方法	255
6.6.2	种植密度对径流总量和侵蚀量的影响	255
6.6.3	种植密度对径流溶质迁移的影响	255
6.6.4	种植密度对坡地土壤剖面水分再分布过程的影响	257
6.6.5	种植密度对坡地土壤溶质淋溶过程的影响	259

6.7 黄土坡面侵蚀量及溶质迁移量与水动力参数间的关系	261
6.7.1 不同坡面地表状况下的基本水动力参数以及侵蚀量的对比	263
6.7.2 不同坡面地表状况下的坡面侵蚀量与水动力学参数间的关系	265
6.7.3 不同坡面地表状况下随径流迁移的溶质量与 n/h 间的关系	271
6.8 本章小结	275
第7章 施肥状况及化学物特性对土壤溶质迁移的影响	280
7.1 肥料有效性对坡地溶质迁移的影响	280
7.2 施肥方式对坡地土壤溶质迁移的影响	281
7.2.1 试验材料与试验设计	282
7.2.2 施肥方式对坡地径流溶质浓度的影响	282
7.2.3 施肥方式对土壤剖面养分迁移的影响	285
7.2.4 地表径流养分流失模拟模型对比分析	288
7.3 连续施肥条件下植被对土壤养分迁移的影响研究	290
7.3.1 试验材料与试验设计	290
7.3.2 地表径流变化特征	291
7.3.3 不同植被类型对坡地径流溶质浓度的影响	292
7.3.4 不同植被覆盖度对坡地径流溶质浓度的影响	294
7.3.5 不同植被覆盖对坡面养分迁移的影响	296
7.3.6 地表径流养分流失模拟模型对比分析	297
7.4 化学性质对径流溶质流失的影响	299
7.4.1 影响土壤水及离子运移的物理化学过程	299
7.4.2 土壤中阴阳离子随径流迁移特性	300
7.4.3 土壤中硝态氮、溴、磷和钾随径流迁移特性	301
7.5 本章小结	303
第8章 土壤溶质随地表径流迁移模拟模型	305
8.1 土壤入渗基本特征	306
8.2 基于 Philip 积水入渗公式的产流模型	307
8.2.1 Philip 积水入渗公式	307
8.2.2 基于 Philip 入渗公式的降雨入渗模型	308
8.2.3 基于 Philip 入渗公式的产流模型	310
8.3 基于 Green-Ampt 积水入渗公式的产流模型	311

8.3.1	Green-Ampt 积水入渗公式	311
8.3.2	基于 Green-Ampt 入渗公式的降雨入渗模型	313
8.3.3	基于 Green-Ampt 入渗公式的产流模型	314
8.4	基于一维代数模式的降雨、入渗、产流模型	315
8.4.1	积水入渗条件下一维非饱和土壤水分运动代数模式	315
8.4.2	基于代数入渗公式的降雨入渗模型	319
8.4.3	基于代数入渗公式的产流模型	321
8.5	模型参数关系分析	322
8.5.1	Green-Ampt 公式与 Philip 公式参数关系	323
8.5.2	Green-Ampt 入渗公式与一维代数模型参数间关系	324
8.6	降雨产流模型检验	324
8.6.1	基于短历时降雨产流模型	325
8.6.2	基于长历时降雨产流模型检验	326
8.7	坡面土壤溶质随径流迁移数学模型	328
8.7.1	混合深度概念的发展	328
8.7.2	完全混合与不完全混合模型	330
8.7.3	等效对流传递模型	334
8.7.4	非饱和土壤溶质随地表径流迁移模型检验	337
8.7.5	指数函数与幂函数形式模式对比	343
8.8	土壤溶质随径流迁移的质量传递函数模型	346
8.8.1	质量传递函数模型的建立	347
8.8.2	溶质质量传递时间概率密度	348
8.8.3	根据试验资料推求 $m(\tau/t')$	350
8.9	以地表水深和混合层为对象的径流溶质迁移过程模拟模型	351
8.10	本章小结	356
参考文献		358

第 1 章 绪 论

1.1 研究意义与背景

1.1.1 非点源污染概念及特点

水环境污染是当今普遍存在的一个环境问题，受到世界各国的广泛关注。根据污染物来源可将污染源大致分为点污染源和非点污染源。前者指工业废水、污水处理厂的出水和城市生活污水，通过排污口或排污管道直接向河流、海洋或湖泊（水库、坑塘）等集中排放，故称为点源。它是社会工业化发展早期水体污染最主要的表现形式，具有来源易于识别、易于控制等特点。后者指在较大范围内，在暴雨径流的冲刷和淋溶作用下，大气、地面和土壤中的污染物以分散、微量的形式，通过入渗水和地表漫流带入地表和地下水体，并在水体富集，从而导致江河水环境污染，故称为非点源。以往人们一直认为点污染源是造成水污染的主要原因，没有认识到面污染源污染的重要性。1972 年美国国会通过一项法令，规定在 1985 年以前实行零排放，要求排放入河的污水必须经过高度处理达到地表水标准，不再向江河排放污染物，为此他们不惜花费大量资本，投入大批人力，大规模兴建污水处理厂。当时估计如果要达到零排放的目标到 1990 年投资总额将达 60 亿美元，但是通过几年的实践发现单纯控制点源，即使达到零排放仍然不能使水体不受污染，因为除了点源污染外还有很多非点源污染。因此，水环境污染是点源和非点源污染共同作用的结果。非点源污染的重要性随点源污染控制能力的提高逐渐表现出来。已有研究表明，即使点源污染得到全面控制，河流、湖泊、水库等地表水水质达标率也仅为 42%~65%，美国的非点源污染已经成为环境污染的第一因素，60% 的水污染起源于非点源污染，特别是当点源污染控制水平达到一定程度后，非点源污染势必成为水环境污染的主要原因。

由于点源污染与非点源污染在污染物来源以及形成过程等方面存在一定差异，因此非点源污染迁移特征有其自身特点，主要表现为：

(1) 发生具有随机性。因为非点源污染主要受水文循环过程（主要是降雨

以及降雨转化为径流的过程)的影响和支配,而降雨径流具有随机性,加上非点源污染的其他影响因子,如植被类型、气候、地质地貌、污染物等分布的随机性,决定了非点源污染的形成具有较大的随机性。

“(2) 发生方式具有间歇性。由于污染物的来源和排放点不固定,排放具有间歇性,造成无法在源头处对非点源污染进行监测,其真正的产生源也难以或无法追踪,导致对污染物的监测、控制和处理困难而复杂。

(3) 发生时具有潜伏性和滞后性。非点源污染的潜伏性和滞后性是指污染物的形成和污染的发生并不是同步进行的。降雨径流产生前,农用化合物的施用及其他污染物在土壤中的积累和运移都不会造成对水体的污染,这一段时间是非点源污染的潜伏期。一旦暴雨来临,潜伏期内累积的污染物就会随入渗水深层淋溶污染地下水体,或随径流流失造成地表水体污染。潜伏期长短与暴雨产生的污染负荷成正比,这也就是为什么在干湿季节明显的地区,雨季来临的前几场暴雨造成的污染负荷是全年中最高的。

(4) 发生机制具有复杂性。非点源污染的发生与传输机制涉及多个学科的研究领域,其中包括了气象学、水文学、水力学、土壤学、土壤侵蚀学、土壤物理学、土壤化学、环境科学等,其复杂性远远超过了点源污染。

因此,非点源污染独有的显著特点和复杂的发生机制,给非点源污染的监测、非点源污染模型的建立、非点源污染的控制提出了巨大的挑战。

1.1.2 农业非点源污染

根据污染发生区域,非点源污染一般可分为城市和农业(农村)两大部分,其中农业非点源污染包括农田中的化肥、农药、家畜粪便、生活污水、农田水土流失、水产养殖、大气干湿尘降、林区地表径流等造成的水体污染。不同类型的污染发生机制既有相似之处,又有各自的特点,类型之间的界限往往是模糊的。在所有的非点源污染中,由于农业活动的广泛性和普遍性,农业活动被认为是产生地表水和地下水非点源污染的主要原因。

非点源污染是国际上环境问题研究的活跃领域,而农业面源污染是目前水体污染中最大的环境问题之一。在美国,非点源污染占总污染量的 $2/3$,农业活动污染占非点源污染的 $57\% \sim 75\%$ 。美国环境保护局2003年的调查结果显示,农业面源污染是美国水体污染的第一大污染源,导致约40%的河流和湖泊水质不合格,是河口污染的第三大污染源,是造成地下水污染和湿地退化的主要因素。在欧洲,农业面源污染同样是造成水体污染的首要来源,农业面源排放的磷为地表水污染总负荷的 $24\% \sim 71\%$ 。

随着近年我国农业的发展,化肥和农药施用量逐渐上升。目前,中国化肥使用总量达4124万t/a,平均达 $400\text{kg}/\text{hm}^2$,远远超过发达国家为防止化肥对水体污染而设置的 $225\text{kg}/\text{hm}^2$ 安全上限。农药使用量逾30万t/a,使全国933.3万 hm^2 的耕地遭受不同程度的污染。由于过量使用农用化合物造成大量化肥和农药随降水或灌溉水进入水体,由此产生的非点源污染负荷所占的比例逐年增加,我国农业非点源污染的严重程度已经在很多地区显现出来,甚至达到了比较严重的地步。我国真正意义上的非点源污染研究始于北京城市径流污染研究。农村非点源污染研究始于20世纪80年代初的湖泊、水库富营养化调查和河流水质规划研究,曾先后在于桥水库、滇池、太湖、鄱阳湖、巢湖、三峡库区等湖泊、水库流域及沱江内江段、晋江流域、北江浈水流域、淮河淮南段、辽河铁岭段进行过探索性的研究,较好地把握了非点源污染的负荷、发生和分布状况,为湖泊、河流的水质规划与流域规划提供了可靠的依据,也为非点源污染研究积累了丰富的经验。如1978~1980年对我国34个湖泊和水库的调查资料表明,富营养化水体占14.7%;而1987~1989年调查的22个湖泊中富营养化的已达63%。这与美国20世纪70年代中期湖泊水质富营养化状况颇为接近。总之,随着点源污染负荷的下降,面源污染负荷的增加,在全球范围内对农业面源污染的控制已逐步成为现代农业和可持续发展的重大主题。

已开展的农业非点源污染研究内容主要包括两个方面:第一个方面是化肥、农药及畜禽粪便等经土壤通过不同途径进入水体对受纳水体造成的污染影响,包括探讨受纳水体的环境容量和研究农业非点源污染对水体产生的危害,其国内研究较多的是地表水富营养化和地下水硝态氮污染的问题;第二个方面的研究内容主要是有关农业非点源污染产污机理与影响因素的探索。由于了解农业非点源污染的产污机理是进行治理与开展模拟监测的前提,近年来许多学者对农业非点源污染的形成过程、影响因素及计算方法进行了较为深入的研究,一致认为非点源污染形成分为4个连续的动态过程,即降雨径流过程、土壤侵蚀过程、土表溶质溶出过程和土壤溶质渗漏过程。由此可见,农业非点源污染的基础研究就是对土壤溶质随径流迁移问题的研究。

1.1.3 黄土区非点源污染特点及状况

中国黄土高原是全球黄土覆盖面积最广、厚度最大、地层最全的高地。黄土高原地域辽阔,资源丰富,被规划为21世纪中国经济建设的重要基地。黄土地区的国土资源在我国国民经济中占有重要地位,这一地区不仅地域宽阔而且自然资源丰富,因而对西北经济区的开发起关键性的作用。这个地区最突出的矛盾是