

丹汉江流域水-沙-养分 输移过程及其调控机理

徐国策 张铁钢 李 鹏 著
李占斌 成玉婷 龙菲菲



科学出版社

丹汉江流域水-沙-养分输移过程 及其调控机理

徐国策 张铁钢 李 鹏
李占斌 成玉婷 龙菲菲 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从坡面、流域两个尺度研究土石山区不同植被覆盖和土地利用对径流,侵蚀产沙,氮、磷空间分布以及氮、磷输出的影响机制。首先,通过定位监测和模拟降雨试验,阐明不同植被覆盖及耕作措施下的坡面径流-泥沙-氮、磷输移过程,揭示坡面水沙调控对土壤养分空间分布和氮、磷输出过程的作用机制。其次,根据降雨-径流-泥沙的实测资料,分析流域降雨径流过程中的水-沙-养分输移规律,计算流域尺度的土壤侵蚀量及次降雨条件下的产沙量,结合流域尺度氮、磷的空间分布特征,揭示流域氮、磷的输移机制。最后,明确植被恢复、坡改梯、生态沟等水土保持措施对土壤性质和水-沙-养分过程的调控作用。

本书主要适用于科研院所和高等学校中土壤侵蚀、非点源污染、水土保持、生态水文及环境保护等研究方向的广大科研人员。

图书在版编目(CIP)数据

丹汉江流域水-沙-养分输移过程及其调控机理 / 徐国策等著. —北京: 科学出版社, 2018.2

ISBN 978-7-03-056515-0

I. ①丹… II. ①徐… III. ①水土流失-流域污染-非点污染源-污染控制-研究-陕西 IV. ①X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 024980 号

责任编辑: 祝 洁 杨 丹 乔丽维 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 陈 敬

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 2 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018 年 2 月第一次印刷 印张: 19 1/4

字数: 390 000

定价: 120.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

随着社会和经济的迅速发展,水资源日益匮乏,水环境污染已成为全球性问题。水土流失与非点源污染问题是目前国际上的研究热点。在点源污染控制达到一定程度后,非点源污染的严重性逐渐表现出来,对其控制的迫切性也日益增强,非点源污染逐渐得到各国政府环境保护部门的高度重视,水资源保护已进入各国环境保护战略的核心计划。进入 21 世纪后,我国点源污染不断得到控制,但非点源污染随肥料用量的增加而日益突出,土壤侵蚀与农田径流作为一种重要的非点源污染形式,对水体富营养化的贡献率相对增大。湖泊、水库、海湾等水体的富营养化现象日益突出,重要的湖泊水质持续下降。针对我国水环境安全形势,2011 年中央一号文件强调将继续搞好水土保持和水生态保护。实施国家水土保持重点工程,采取小流域综合治理、坡耕地整治、造林绿化、生态修复等措施,有效防治水土流失。2015 年国务院批复同意《全国水土保持规划(2015—2030 年)》。这是我国首部获得批复的国家级水土保持规划,确定到 2030 年,建成与我国经济社会发展相适应的水土流失综合防治体系,其中江河源头区和水源地是重要水土保持预防项目。国家水资源管理制度“三条红线”确立了水功能区限制纳污红线,特别强调要加强水源地保护和监测,切实保障饮用水安全。2016 年 12 月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于全面推行河长制的意见》,旨在保证河流在较长的时期内保持河清水洁、岸绿鱼游的良好生态环境。

土石山区是我国主要河流的源头和重要水源区。例如,秦岭南坡土石山区是嘉陵江、汉江和丹江的源头区,是南水北调中线工程的重要水源涵养区,秦岭北坡土石山区是渭河的主要补给源。同时,土石山区又是我国水土流失的一个重要类型区,因区内土层薄、壤中流发育活跃、水土流失危害大而受到长期关注。自 1999 年以来,我国先后实施了天然林资源保护、退耕还林、坡改梯、自然保护区建设、湿地保护与恢复等一系列生态建设工程,区域生态环境发生了深刻变化。大规模的生态建设显著改变了土石山区的下垫面特征,深刻影响了流域土壤水分-养分时空分布和水循环过程,也使径流驱动的土壤养分迁移过程发生了变化。丹江及汉江流域的土石山区作为我国南水北调中线工程的重要水源涵养区,如何有效保护和提高土石山区水源地的水环境质量是当今亟需解决的问题。鉴于此,2009 年初,陕西省水土保持局启动了“陕西省丹汉江水源区水土流失非点源污染过程与调控研究”课题,以期摸清陕南非点源污染情况及其与水土流失的关系,为保障南水北调中线工程的顺利实施和陕南区域经济社会的可持续发展提供科技支撑。

本书共 16 章,从坡面和流域尺度,系统开展水土保持措施下土壤养分空间分布特征及其与土壤颗粒和分形之间的关系、不同植被覆盖与耕作措施下坡面径流-泥沙-氮、磷输移过程、流域水土流失与非点源污染关系、坡改梯和生态沟等水土保持措施对土壤性质及水质调控作用等方面的研究,旨在阐明土石山区流域水-沙-养分输移过程及其调控机理,发展“清洁型”水土保持措施,从源头和根本上解决土石山区水源地水质污染问题。本书研究成果由国家自然科学基金项目(41401316、41330858)、陕西省青年科技新星计划项目(2016KJXX-68)、陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2014JQ5175)和陕西省教育厅科研计划项目(09JS094)共同资助完成,在此特向国家自然科学基金委员会、陕西省科学技术厅和陕西省水土保持局致以衷心的感谢。

本书主要由徐国策、张铁钢、李鹏、李占斌、成玉婷和龙菲菲撰写,张秦岭、宋晓强、唐润芒、同新奇、魏芳、黄萍萍、刘晓君、唐辉、王杰、张军、刘刚、王添、王飞超、李林、刘泉、许婷、王星、杨媛媛、马田田、彭圆圆、李婧、张雁、李雄飞、寇龙等参与了不同章节的撰写工作。在成书过程中,沈冰、鲁克新、程圣东、高海东、任宗萍、时鹏、肖列、于坤霞、庞国伟、王兵、王凯博等提出了很多宝贵意见。还有一大批水土保持工作管理人员、现场监测工作人员和室内测试分析人员等,都对本书成稿做出了贡献,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请同行专家与读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 非点源污染现状	2
1.2 土壤养分流失的影响因素	5
1.2.1 地形	5
1.2.2 降雨	6
1.2.3 土壤	7
1.2.4 植被	8
1.2.5 土地利用类型	8
1.2.6 耕作管理	9
1.3 土壤养分流失的研究方法	10
1.3.1 野外实地监测	10
1.3.2 模拟降雨试验	12
1.3.3 模型模拟	12
1.4 土壤养分流失的控制	13
1.4.1 最佳管理措施	14
1.4.2 耕作方式	15
1.4.3 生态工程	15
参考文献	19

第一篇 土壤养分空间变异性及其影响因素

第 2 章 坡耕地土壤养分剖面分布	29
2.1 土壤样品采集与测定	29
2.2 不同深度下土壤属性的统计特征	30
2.3 不同深度下土壤属性的空间结构	32
2.4 空间插值	34
2.5 空间自相关分析	36
参考文献	37

第3章 水土保持措施下的土壤养分空间分布特征	39
3.1 样品采集与数据分析	39
3.1.1 研究区概况	39
3.1.2 样品采集与分析	40
3.1.3 统计分析与空间插值	41
3.2 土壤有机碳空间分布特征	41
3.2.1 土壤有机碳的统计特征	41
3.2.2 土壤有机碳的空间结构	42
3.2.3 土壤有机碳的空间分布	43
3.2.4 不同土地利用类型下土壤有机碳含量及容重分析	44
3.2.5 土壤有机碳密度估算	44
3.3 土壤全氮空间分布特征	46
3.3.1 土壤全氮的统计特征	46
3.3.2 土壤全氮的空间结构	47
3.3.3 土壤全氮的空间分布	48
3.3.4 不同土地利用类型下土壤全氮含量及容重分析	48
3.3.5 土壤全氮密度估算	49
3.4 土壤磷素空间分布特征	49
3.4.1 土壤磷素的统计特征	49
3.4.2 土壤磷素的空间结构	50
3.4.3 土壤磷素的空间分布	51
3.4.4 不同土地利用类型下土壤磷素的有效性分析	52
参考文献	53
第4章 流域土壤氮、磷的空间分布特征	54
4.1 样品采集与数据分析	54
4.1.1 土壤样品采集和测定	54
4.1.2 数据分析与处理方法	55
4.2 流域土壤氮素空间分布特征	56
4.2.1 土壤氮素的统计特征	56
4.2.2 土壤氮素的空间结构	58
4.2.3 土壤氮素的空间分布	59
4.2.4 土壤氮素的密度	60
4.2.5 土壤氮素的储量	61

4.3 流域土壤磷素空间分布特征	61
4.3.1 土壤磷素的统计特征	61
4.3.2 土壤磷素的空间结构	62
4.3.3 土壤磷素的空间分布	64
4.3.4 土壤磷素的密度	65
4.3.5 土壤磷素的储量	65
4.4 土壤氮、磷空间分布及其影响因素	65
4.5 流域氮、磷分布与土壤侵蚀强度的关系	66
参考文献	68
第5章 土壤养分分布的粒度效应	69
5.1 数据分析方法	70
5.1.1 土壤样品测定	70
5.1.2 数据分析与处理方法	70
5.2 土壤颗粒与分形特征	71
5.2.1 分形维数与土壤粒径分布的关系	71
5.2.2 不同土地利用类型下土壤粒径的分形特征分析	74
5.3 土壤粉黏粒特征分析	75
5.3.1 土壤粉黏粒的统计特征分析	75
5.3.2 土壤粉黏粒的空间结构分析	76
5.3.3 土壤粉黏粒的空间插值分析	77
5.3.4 不同土地利用类型下土壤粉黏粒含量及容重分析	77
5.3.5 土壤粉黏粒密度估算	78
5.4 土壤颗粒分形特征与地形因子的关系	79
5.4.1 土壤颗粒分形与地形因子的相关关系	79
5.4.2 玉米地不同坡度下的土壤颗粒分形维数	80
5.5 土壤全氮与土壤颗粒及土壤颗粒分形维数的相关关系	81
5.6 有机碳在土壤团聚体不同粒级的分布	83
5.6.1 不同粒径下土壤团聚体分布	84
5.6.2 不同土地利用类型下土壤团聚体有机碳含量	85
5.6.3 土壤团聚体各粒级有机碳分布特征	85
5.6.4 土地利用类型对团聚体有机碳储量粒径分布的影响	87
5.6.5 土壤团聚体有机碳储量均值的情景模拟	88
参考文献	89

第二篇 坡面水土保持措施对水土-养分 流失过程的调控机理

第6章 坡面微地形量化及其与产流产沙的关系	93
6.1 试验设计与数据分析	94
6.1.1 试验材料及预处理	94
6.1.2 试验设计	94
6.1.3 数据处理及分析	94
6.2 坡面微地形变化特征	96
6.3 坡面产流产沙特征	98
6.4 坡面微地形与产流产沙的关系	100
参考文献	101
第7章 模拟降雨条件下农地坡面径流氮、磷流失特征	102
7.1 模拟降雨试验设计	102
7.2 农地坡面氮素流失特征	104
7.2.1 坡面地表径流产流特征	104
7.2.2 坡面壤中流产流特征	105
7.2.3 坡面地表径流氮素流失过程	105
7.2.4 坡面壤中流氮素流失特征	107
7.2.5 坡面总氮素流失特征	107
7.3 农地坡面磷素流失特征	108
7.3.1 不同雨强下的坡面产流特征	108
7.3.2 坡面地表径流磷素流失特征	109
7.3.3 坡面壤中流磷素流失特征	110
7.3.4 坡面总磷素流失特征	111
参考文献	112
第8章 不同植被覆盖与耕作措施的产流-产沙-养分输移过程	114
8.1 不同植被覆盖与耕作措施下的坡面产流产沙过程	115
8.1.1 不同植被覆盖与耕作措施下的坡面产流过程	115
8.1.2 不同植被覆盖与耕作措施下的坡面产沙过程	119
8.1.3 不同植被覆盖与耕作措施下产流产沙过程的差异性	120
8.1.4 模拟降雨过程中的土壤水分变化过程及特征	122

8.2 不同植被覆盖与耕作措施下坡面氮、磷流失特征	125
8.2.1 氮素流失过程	125
8.2.2 磷素流失过程	128
8.2.3 坡面径流氮、磷流失过程的差异性分析	130
8.3 植被覆盖与耕作措施对坡面水-沙-养分过程的调控作用	131
8.3.1 不同植被覆盖与耕作措施下坡面水沙关系	131
8.3.2 植被的水沙调控对氮、磷输出的作用机制	133
参考文献	135
第9章 草被格局对坡面水土-养分流失过程的作用	137
9.1 植被覆盖条件下坡面产流产沙与养分流失过程	138
9.1.1 不同植被覆盖度坡面产流过程	139
9.1.2 不同植被覆盖度坡面产沙过程	139
9.1.3 不同植被覆盖度坡面养分流失过程	140
9.2 草被格局对坡面养分流失特征的影响	143
9.2.1 不同植被覆盖下径流变化过程	144
9.2.2 径流总磷流失过程分析	144
9.2.3 径流总磷累积流失过程分析	146
9.3 草被格局对坡面水土-养分流失动力过程的作用	147
9.3.1 不同植被格局条件下坡面水土流失过程	148
9.3.2 不同植被格局条件下坡面养分流失过程	149
9.3.3 不同植被格局下坡面径流侵蚀功率变化特征	150
9.3.4 坡面径流侵蚀功率与水土-养分流失关系	151
参考文献	152
第三篇 流域水-沙-养分输移过程及其对水土保持措施的响应	
第10章 流域降雨-径流过程及其响应关系	155
10.1 流域降雨特征	155
10.1.1 降雨特征	155
10.1.2 降雨类型划分	156
10.1.3 侵蚀性降雨的时间特征	157
10.2 典型降雨-径流过程线分析	158
10.2.1 流域典型降雨-径流过程	158
10.2.2 鹦鹉沟各子流域典型降雨的径流过程	160

10.3	SCS-CN 模型中流域水文土壤组的确定	161
10.3.1	SCS 模型原理	161
10.3.2	水文土壤组的确定	163
10.3.3	饱和导水率的空间分布特征	164
	参考文献	167
第 11 章	鸚鵡沟流域土壤侵蚀量及泥沙量估算	168
11.1	流域土壤颗粒粒径特征	169
11.1.1	流域土壤颗粒粒径的统计特征	169
11.1.2	不同土地利用类型下土壤粒径组成特征	170
11.1.3	不同土地利用类型下土壤容重变化特征	171
11.2	基于 RUSLE 模型的流域土壤侵蚀特征	172
11.2.1	RUSLE 概述	172
11.2.2	降雨侵蚀力因子	172
11.2.3	土壤可蚀性因子	173
11.2.4	坡长坡度因子	174
11.2.5	植被覆盖与管理因子	175
11.2.6	水土保持措施因子	176
11.2.7	鸚鵡沟流域年均土壤侵蚀量估算	176
11.3	基于 MUSLE 的次降雨泥沙量估算	178
11.3.1	次降雨的径流-泥沙过程	178
11.3.2	次降雨的泥沙量估算	179
11.3.3	流域泥沙氮素流失量估算	180
	参考文献	181
第 12 章	鸚鵡沟流域典型降雨的氮、磷输移机制	183
12.1	降雨类型对流域氮、磷输出的影响	183
12.1.1	数据分析	183
12.1.2	降雨类型划分	184
12.1.3	降雨径流过程及氮、磷浓度变化	185
12.1.4	氮、磷负荷分布及输移机制	187
12.2	鸚鵡沟土地利用类型对径流氮、磷输出的影响及尺度效应	188
12.2.1	鸚鵡沟不同土地利用类型子流域的氮、磷输出特征	188
12.2.2	鸚鵡沟流域氮、磷的输移机制	194

12.3 流域氮素随径流的迁移过程	202
12.3.1 监测点设计与研究方法	203
12.3.2 农地监测小区氮素流失特征	205
12.3.3 断面 1 氮素平均浓度计算	207
12.3.4 把口站氮素平均浓度计算	207
12.3.5 流域产流量分析	208
12.3.6 不同土地利用的氮素流失模数	210
12.3.7 氮素流失量对水质的影响	210
参考文献	211
第 13 章 丹江流域径流水质空间变异研究	213
13.1 研究区概况	213
13.2 样品采集与数据分析	215
13.3 丹江干流径流养分空间分布特征	216
13.4 丹江流域沿程小流域径流养分特征	217
13.5 丹江干流径流养分与小流域径流养分特征对比分析	218
13.6 丹江上游土地利用/景观格局与水质响应关系	220
13.6.1 土地利用的时间变化特征	220
13.6.2 土地利用的空间变化特征	221
13.6.3 景观格局演变	222
13.6.4 流域土地利用与水质响应关系	224
13.6.5 景观格局与水质响应关系	225
参考文献	226
 第四篇 水土流失与非点源污染治理措施及布局优化	
第 14 章 梯田土壤生态效益与布局优化	231
14.1 坡改梯前后土壤机械组成及分布特征	231
14.1.1 坡耕地土壤机械组成及分布特征	232
14.1.2 梯田土壤机械组成及分布特征	232
14.2 坡改梯前后土壤团聚体组成及分布特征	233
14.2.1 坡耕地土壤团聚体分布特征	233
14.2.2 梯田土壤团聚体分布特征	234
14.2.3 坡耕地与梯田土壤团聚体变化	235

14.3	坡改梯前后土壤水分特征及其分布规律	236
14.3.1	坡耕地土壤水分特征	236
14.3.2	梯田土壤水分特征	237
14.3.3	坡耕地土壤水分与梯田土壤水分特征对比	238
14.4	坡改梯前后土壤养分特征及分布规律	239
14.4.1	坡耕地土壤养分分布特征	239
14.4.2	梯田土壤养分分布特征	241
14.4.3	坡耕地与梯田土壤养分分布特征对比	243
14.5	坡改梯土壤质量评价	244
14.5.1	坡耕地土壤质量评价	246
14.5.2	梯田土壤质量评价	247
14.5.3	坡耕地和梯田土壤质量评价对比	248
14.6	梯田断面布局研究	248
14.6.1	不同规格下梯田稳定性分析	249
14.6.2	不同规格下梯田侵蚀量分析	251
14.6.3	水平梯田断面布局	253
14.6.4	坡式梯田断面布局	254
	参考文献	256
第 15 章	生态沟对景观格局和土壤性质的影响	257
15.1	生态沟对景观指数的影响	258
15.1.1	景观格局指数的选取	258
15.1.2	景观特征分析	259
15.1.3	景观类型斑块特征指数变化分析	260
15.1.4	景观格局特征指数变化分析	261
15.2	生态沟对土壤性质的影响	261
15.2.1	集水区内土壤颗粒机械组成	261
15.2.2	典型坡面土壤颗粒机械组成	263
15.2.3	集水区典型用地类型土壤团聚体含量变化	266
15.2.4	典型坡面土壤团聚体特征	267
15.2.5	集水区土壤颗粒分形维数分布特征	268
15.2.6	典型坡面土壤颗粒分形维数分布特征	269
15.2.7	集水区土壤可蚀性分析	270
15.2.8	典型坡面土壤可蚀性分析	271

15.2.9 生态沟对土壤侵蚀的影响	272
参考文献	275
第 16 章 生态沟对径流养分迁移的调控作用	276
16.1 集水区土壤养分的统计特征分析	277
16.2 集水区土壤养分的空间分布特征	279
16.2.1 水平分布特征	279
16.2.2 垂直分布特征	280
16.3 典型坡面土壤养分分布特征	281
16.3.1 典型坡面土壤样品采集	281
16.3.2 中心点与生态横沟土壤养分分布特征	282
16.3.3 中心点与生态横沟土壤养分的坡位变化	283
16.3.4 生态纵沟沟渠的沿程变化	284
16.4 沟渠进出口土壤养分差异性分析	286
16.5 生态沟及坡面水体样品采集	287
16.6 不同土地利用类型集水区生态沟径流养分统计分析	288
16.7 不同土地利用类型次降雨径流养分含量变化特征	290
16.8 覆盖度对集水区径流养分的影响	291
16.9 坡面生态沟径流养分的变化	292
参考文献	294

第 1 章 绪 论

20 世纪 60 年代以来,水资源短缺与水环境污染逐渐成为全球性问题。很多国家开始重视并积极采取应对策略,水资源保护已进入各国环境保护战略的核心计划。据世界卫生组织统计,世界上许多国家仍然面临水污染和资源危机,每年有 300 万~400 万人死于和水污染有关的疾病。《2015 年全球风险报告》指出,人们对洪水、干旱、水污染和供水不足的担忧超过了核武器或全球性疾病,水危机在 2015 年被认为是全球第一大风险因素。21 世纪以来,我国的点源污染逐渐得到控制,但由于人口增长、禽畜养殖和化肥施用量增加、水坝兴建增加河流水停留时间、气候变化与土地利用变化等,许多大河流域观测到氮、磷等营养盐浓度升高(Jickells, 1998; 颜秀利等, 2012)。我国五大湖泊中太湖、巢湖已进入富营养化状态,洪泽湖、洞庭湖、鄱阳湖和一些主要的河流水域如淮河、汉江、珠江、葛洲坝库区、三峡库区也同样面临富营养化的威胁(张维理等, 2004)。国家为了缓解北方水资源严重短缺局面实施了南水北调工程,同时诸多省会城市(如太原、长春、广州)均由于原有水源地供水不足或遭受污染而被迫废弃,纷纷开辟新的水源地。巢湖水体污染严重,合肥市不得不基本废弃了这一水源地,2004 年转向大房郢水库。历来依赖渭河水的西安市,也因为渭河重度污染,不能饮用,转向李家河水库取水,并且实施了黑河饮水工程及引汉济渭工程。北京市 2007 年实施了引温入潮跨流域调水工程。上海市由于上游太湖和本地污染、需水量过大、咸潮入侵等现实因素,正在开辟新的青草沙水源地。广州市实施了西江引水工程。长春、呼和浩特、太原等城市则实施了“引松入长”“引黄入呼”“引黄入晋”等调水工程。针对我国水环境安全形势,国家“十二五”规划提出控制污染物排放、改善环境质量、防范污染风险的水环境保护思路,重点加强水源地的保护工作。中华人民共和国水利部对全国 700 余条河流约 10 万公里河长开展的水资源质量评价显示,46.5%河长受到污染;10.6%河长受到严重污染,水体丧失使用价值;90%以上的城市水域受到严重污染(汤爱中, 2013)。可见,水源地水质保护问题已成为关系国计民生的重大问题。

丹汉江流域是南水北调中线工程的重要水源涵养区,其水资源量占丹江口水库的一半以上,连同陕南巴山土石山区的水量,占丹江口水库水量的 70%左右;秦岭北坡是渭河的主要补给源(亢文选, 2006)。然而,丹汉江流域山高坡陡、土薄石厚、降雨量大且集中,根据全国第三次水土流失遥感调查资料统计,丹江口水库及上游流域水土流失面积占土地总面积的 53.1%,年均土壤侵蚀模数为

2900t/km²；目前需治理的水土流失面积达 29878km²，约占流域总面积的 45%。此外，尽管汉江上游秦巴山区面积仅占长江流域的 4%，但年输入长江的泥沙达 1.2 亿 t，占长江总输沙量的 12%。秦岭地区土壤脊薄、耕作粗放，农药、化肥施用量近年来呈现增加趋势，水土流失导致土地肥力不断降低，迫使农民不断增加化肥使用量，造成恶性循环，大量的氮、磷、农药等进入河流造成非点源污染；随着当地生活水平的提高，畜禽养殖发展迅速，畜禽的粪便中含有的氮、磷、有机质等营养物质，若经过妥善处理随意排放进入河流，将对水环境质量形成潜在的威胁。丹汉江流域水质的好坏，直接关系我国南水北调工程的成败，更与受水地区国民经济和人民群众生活密切相关。目前，丹汉江流域水质总体良好，能满足调水的要求，但水土流失现状堪忧。如何有效保护和提高水源地的水环境质量是当今亟需解决的问题。因此，从坡面和流域两个不同空间尺度开展研究可以更加全面、系统地理解非点源污染的形成过程和迁移转化机制。在坡面尺度，通过分析土石山区坡耕地水土流失过程，揭示不同植被覆盖与耕作措施对坡面非点源污染物形成过程的影响及调控作用，从而为坡面水土保持措施的布设提供技术支撑。在流域尺度，从流域降雨-径流-侵蚀-氮、磷流失的过程中揭示非点源污染的迁移转化过程与输出机制，阐明流域水-沙-养、分输移过程及其调控机理，可以为水土流失治理与非点源污染控制提供科学依据，同时对降低农业非点源污染、清洁小流域建设和生态环境保护具有一定理论价值与现实意义。

1.1 非点源污染现状

随着人类经济活动的深入发展，水环境污染问题已成为全球性问题。非点源污染（non-point source pollution）亦称面源污染，指溶解态或者固态的污染物从非特定地点，在降水或融雪等的冲刷作用下，通过径流过程汇入受纳水体（包括河流、湖泊、水库和海湾等），并引起水体的富营养化或者其他形式的污染。与点源污染相比，非点源污染有分散，时空差异性，随机性强，成因复杂，潜伏周期长，监测、控制、管理难度大等特点。美国《清洁水法修正案》将非点源污染物定义为：污染物以广域的、分散的形式进入地表及地下水体。其主要来源为农业生产中的化肥及农药流失、农村畜禽养殖排污、农村生活污水、生活垃圾、城市建筑工地产生的污染及城市地面、公路交通、矿山等固体废物堆存区污染等。农村非点源污染是指在农业生产、农村生活等过程中产生或导致环境变化的非点源污染，主要有农用化学品施用的不合理及施肥技术落后产生的农田径流、分散的畜禽养殖污染和农村生活产生的非点源污染废弃物等。非点源污染直接影响人类生存的环境质量，污染饮用水源，引起水体的富营养化，破坏水生生物的生存环境，造成土壤生产潜力和水质下降。水土流失造成大量沉积物堆积引起环境污染，

同时地表径流迁移化学物质造成水源污染,因此水土流失本身就是一种非点源污染(王璞玉等,2006)。

在点源污染控制达到一定程度后,非点源污染的严重性逐渐表现出来,对其控制的迫切性也日益增强。在发达国家,由于涉及点源污染的法规已非常严格,非点源污染在总体水污染中所占的比例很大。据美国、日本等国家报道,即使点源污染得到全面控制,江河的水质达标率仅为64%,湖泊的水质达标率为42%,海域的水质达标率为78%。研究指出,美国的非点源污染占总污染量的2/3,其中农业非点源贡献率占75%左右。欧洲的情况与美国相似,欧洲因农业活动输入北海河口的总氮、总磷量分别占入海总量的60%和25%。自21世纪以来,我国点源污染不断得到控制,但非点源污染随肥料用量的增加而日益突出,土壤侵蚀与农田径流作为一种重要的非点源污染形式,对水体富营养化的贡献率相对增大。湖泊、水库、海湾等水体的富营养化现象日益突出,如云南滇池、天津于桥水库、太湖等氮、磷非点源污染负荷量就占很大比例。1986~1990年我国调查的20个湖泊中,处于富营养化状态的共13个,占65%;处于中营养化转向富营养化状态的共4个,占20%;处于贫营养化状态的只有3个,仅占15%。密云水库年总污染负荷中,总氮的66%、总磷的86%来自于非点源污染(付仕伦,2008);每年进入云南洱海的总氮约989.1t,总磷约108.1t,其中非点源污染分别占97.1%和92.5%,点源污染仅占2.9%和7.5%;非点源污染在巢湖总体污染负荷中也占有很大比例,其中总氮占74%,总磷占68%(程红等,2009);滇池和太湖富营养化严重,其中非点源的总氮、总磷所占污染负荷的比例分别为52.7%、77%和64%、33.4%(熊丽君,2004),这与美国20世纪70年代中期湖泊水质富营养化状态颇为接近。目前,我国大中型城市的饮用水源日益依赖于地表水源。富营养化已经或将对很多城市的地表饮用水源(如天津引滦入津工程的于桥水库、北京的密云水库、昆明的滇池、西安的黑河水库等)构成威胁。农业中施用氮肥对提高作物产量、改善作物品质具有重要的作用。但是,农业生产中过量施用氮肥的现象极为突出,氮肥利用率普遍较低,造成了肥料资源的巨大损失。同时,由于氮、磷随降雨径流从农田向河流、湖泊、水库等水体的输移所引起的农业非点源污染问题日益凸显,危及到了地表水体的安全(张秀玮等,2012)。

氮素是农田生产力的主要限制因素之一,在大多数情况下施用氮肥可以获得明显的增产效果,然而,农田氮素流失引起的水体富营养化、地表水环境恶化、地下水硝酸盐含量超标等环境问题日益严重。由农田氮素造成的非点源污染对当今世界水质恶化构成了最大的威胁(谢红梅等,2003)。20世纪70年代以来,对于氮素污染问题的研究,已在国际上引起广泛重视。氮素是作物的主要营养元素之一,是人类提高粮食产量的主要土壤肥力要素,由于世界绝大部分土壤都缺氮,