

东北黑土区水土保持 监测技术

◎ 李世泉 王岩松 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

东北黑土区水土保持 监测技术

◎ 李世泉 王岩松 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

近年来水土保持监测事业蓬勃发展,水土保持监测预报已经成为提高水土保持管理能力的关键和基础。本书系统全面地总结了东北黑土区水土保持监测的基础理论、手段和方法,建立了东北黑土区水土保持监测的技术体系。主要内容包括:小流域综合调查,水力、风力侵蚀监测,小流域水土流失监测,生态修复监测,以水土流失为载体的面源污染监测、遥感监测、水土保持监测与管理信息化,东北黑土区应用案例。

本书具有系统性、综合性和创新性,可供从事水土保持、水土保持监测、水环境等专业的管理人员、技术人员参考使用,也可作为相关技术培训的教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

东北黑土区水土保持监测技术 / 李世泉, 王岩松编著.
北京: 中国水利水电出版社, 2008
ISBN 978-7-5084-6143-4

I. 东… II. ①李…②王… III. 黑土—水土保持—监测—
东北地区 IV. S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 197174 号

书 名	东北黑土区水土保持监测技术
作 者	李世泉 王岩松 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	140mm×203mm 32 开本 6.625 印张 172 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—1500 册
定 价	25.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《东北黑土区水土保持监测技术》

编写人员

主 编 李世泉 王岩松

编写人员	王岩松	王玉玺	曹忠杰
	李洪星	高 燕	郭晞尧
	李 丹	张 锋	谢 云
	史明昌	阎百兴	

参编人员	李建伟	王宝桐	范海峰
	李忠福	钟云飞	白建宏
	张延玲		

水土保持监测是水土保持工作的重要组成部分，是从保持水土资源和维护良好的生态环境出发，运用地面监测、遥感、全球定位系统、地理信息系统多种信息获取和处理手段，对水土流失的成因、数量、强度、影响范围、危害及其防治效果进行动态监测和评估，是水土流失预防监督和治理工作的基础。根据《中华人民共和国水土保持法实施条例》第二十三条“国务院水行政主管部门和省、自治区、直辖市人民政府水行政主管部门应当定期分别公告行水土保持监测情况”的规定，普及监测知识、加快监测队伍建设，是当前切实履行监测职责、促进监测事业不断发展的一项重要而紧迫的任务。2003年“东北黑土区水土流失综合防治试点工程”启动后，松辽流域水土保持监测中心站组织编制了《东北黑土区水土保持监测操作规程（试行）》，并以此为教材，面向黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古4省（自治区）的基层监测人员开展了大量的培训工作。

本书是在《东北黑土区水土保持监测操作规程（试行）》的基础上，总结近年来的监测实

践后编写的，主编单位为松辽流域水土保持监测中心站，参编单位包括黑龙江省水土保持科学研究所、辽宁省水土保持监测总站、吉林省水土保持监测总站。《东北黑土区水土保持监测技术》共 11 章，编写人员根据东北黑土区的地形地貌特征和水土流失特点，以东北黑土区生态建设为中心，借鉴和采纳了目前国内外技术先进、应用简便的监测技术与手段，在充分总结“东北黑土区水土流失综合防治试点工程”水土保持监测实践的基础上，提出了适合东北黑土区的水土流失、水土保持的监测技术与方法。本书在编写过程中，引用了北京师范大学谢云教授、北京林业大学史明昌教授、中国农业大学雷霆武教授、中科院东北地理与农业生态研究所阎百兴教授以及其他专家学者的部分成果和文献，谨此深表谢意。

本书共 11 章，第 1 章由李世泉编写；第 2 章由王岩松编写；第 3 章由谢云、王岩松编写；第 4 章由高燕、郭晞尧编写；第 5 章由郭晞尧、张锋编写；第 6 章由王岩松、张锋编写；第 7 章由张锋、高燕编写；第 8 章由张锋、高燕编写；第 9 章由李丹编写；第 10 章由李丹、王岩松编写；第 11 章由王岩松、史明昌编写；附表、应用案例由高燕、李丹编写。全书由王岩松负责校核并定稿。

由于时间仓促，编者水平和实践经验有限，书中缺点和遗漏在所难免，恳请读者批评指正，以便在修订时及时更正。

编者

2008 年 11 月

目 录

前言

1 东北黑土区概况	1
1.1 自然条件	1
1.2 自然资源	3
1.3 社会经济	4
1.4 水土流失现状	4
1.5 水土流失危害	5
1.6 水土流失成因	7
1.7 水土保持现状	9
2 小流域综合调查.....	12
2.1 资料收集.....	12
2.2 实地调查.....	16
3 水力侵蚀监测.....	25
3.1 坡面侵蚀监测.....	26
3.2 雨滴击溅侵蚀观测.....	37
3.3 沟蚀监测.....	43
4 风力侵蚀监测.....	49
4.1 风蚀调查.....	50
4.2 风沙活动观测.....	50
5 小流域水土流失监测	57
5.1 径流站建设.....	57
5.2 监测内容和方法.....	60
5.3 水土流失自动监测站.....	62

6	生态修复监测	64
6.1	典型地块的选择及标准地的设置.....	64
6.2	植被因子观测.....	64
6.3	土壤理化性质监测.....	67
6.4	生态修复效益监测.....	93
7	水土流失面源污染监测	95
7.1	监测内容.....	95
7.2	监测方法.....	96
7.3	水质常规监测方法.....	98
8	气象因素观测	106
8.1	观测场地选取与布设原则	106
8.2	观测内容与方法	107
9	遥感监测	111
9.1	水土保持遥感监测技术流程	111
9.2	资料收集	113
9.3	数据处理	113
9.4	解译标志的建立	114
9.5	野外调查验证	117
9.6	矢量数据要求	119
10	GPS 应用	121
10.1	GPS 简介	121
10.2	GPS 在水土保持领域中的应用	121
10.3	实时动态 (RTK) GPS 定位技术简介	122
10.4	RTK GPS 定位技术特点	122
10.5	RTK GPS 测量	123
10.6	GPS 测量数据坐标转换	124
11	水土保持监测与管理信息化	127
11.1	地理信息系统基础知识.....	127

11.2	系统建设目标.....	133
11.3	系统建设层次分析.....	134
11.4	系统分析.....	135
11.5	系统总体结构.....	144
11.6	系统开发技术要点.....	153
11.7	系统开发关键技术.....	154
附表		159
应用案例		178
参考文献		197

1

东北黑土区概况

黑土地是大自然给予人类的得天独厚的宝藏，是一种性状好、肥力高，非常适合植物生长的土壤。黑土区主要指黑土、黑钙土、暗棕壤、草甸土、棕壤、棕色针叶林土等几种土壤所覆盖的区域。目前地球上共分布着三大块宝贵的黑土区：一块在欧洲，主要分布在东欧的乌克兰大平原，面积大约 190 万 km^2 ；一块在北美洲，主要分布在美國的密西西比河流域，面积大约 120 万 km^2 ；第三块在亚洲，主要分布在我国的东北地区的松辽流域，称为东北黑土区，面积 103 万 km^2 。由于黑土有机质含量丰富，土地生产力高，因此，这三大黑土区都是主要的粮食生产基地。我国的东北黑土区是我国重要的商品粮基地之一，号称“北大仓”。

东北黑土区集中连片，北起大小兴安岭，南至辽宁省盘锦市，西到内蒙古东部的大兴安岭山地边缘，东达乌苏里江和图们江，行政区包括黑龙江省、吉林省和辽宁省、内蒙古自治区的部分地区。总面积为 103 万 km^2 ，其中黑龙江省面积为 45.25 万 km^2 ，吉林省面积为 18.70 万 km^2 ，辽宁省面积为 12.29 万 km^2 ，内蒙古自治区面积为 26.76 万 km^2 。

1.1 自然条件

(1) 水系。东北黑土区山峦起伏，地域广袤，受气候和地形的影响，河流密布，湖泊众多。主要河流有松花江、辽河及黑龙江、图们江、鸭绿江等国际界河以及部分独流入海河流。松花江流域总面积为 55.68 万 km^2 ，流经内蒙古、黑龙江、吉

林3个省(自治区)。松花江上游分两支:一支是发源于长白山主峰天池的第二松花江;另一支是发源于大兴安岭的嫩江,两支在三岔河汇合后称松花江。嫩江河长1370km,第二松花江长958km,松花江干流长939km。松花江干流的主要支流有拉林河、蚂蚁河、牡丹江、呼兰河等;嫩江的主要支流有甘河、讷谟尔河、诺敏河、雅鲁河、绰尔河、乌裕尔河、洮尔河、霍林河等;第二松花江的主要支流有辉发河、饮马河等。辽河发源于河北省七老图山,流经河北、内蒙古、吉林和辽宁4省(自治区),全长1345km,流域面积21.56km²。主要支流有西拉木伦河、乌力吉木伦河、教来河、新开河、老哈河、东辽河、清河、柳河、浑河、太子河和绕阳河等。其中西拉木伦河、乌力吉木伦河、老哈河和教来河等不在黑土区内。

(2) 地貌。东北黑土区基本地貌特征为西、北、东三面环山,依次为辽西山地、大兴安岭、小兴安岭、张广才岭和长白山系,中南部形成宽阔的松辽平原。地貌类型有漫川漫岗区、低山丘陵区、中低山区、平原区。

(3) 气候与水文。东北黑土区地处温带、寒温带大陆季风气候区,冬季严寒而漫长,夏季炎热短暂,年内温差变化较大。多年平均气温由南向北递减。7月气温最高,南北差别不大,一般只在20~23℃。多年平均降水量300~950mm,时空分布不均匀,东部山区平均为700~950mm,最大达1000mm以上。三江平原500~600mm,大兴安岭以西地区和辽河平原西部仅为300~400mm。降水多集中在7月、8月,约占全年降水的50%以上,6~9月的降水占全年的70%以上,且多以暴雨形式出现。降水的年际变化很大,最大与最小的降水之比有时达3倍以上,且有连续数年多雨与少雨的交替现象。全年日照时数南北差别不大,但东西有差异,东北一般为110~150d,南部为150~180d。大于10℃的积温北部为2400~3000℃,南部为2800~3000℃。平均风速在平原地区和呼伦贝尔草原地区较大,一般为3~5m/s。年内最大风速多出现在

3~5月,最大风速可达到20~25m/s,最大瞬时风速可达40m/s以上。

(4) 土壤。东北黑土区广泛分布的地带性土壤有寒温带的棕色针叶林土、山地苔原土、暗灰色森林土;温带的暗棕壤、黑土和黑钙土;暖温带的棕色森林土和褐土。此外,还有一些白浆土、草甸土和沼泽土等。

(5) 植被。东北黑土区林业资源丰富,从地带性及分区来看,可分为呼伦贝尔高原大针茅草原区、大兴安岭落叶松林区、东部山地红松阔叶混交林区、辽宁丘陵山地油松—柞树林区。主要树种有红松、油松、落叶松、樟子松、鱼鳞云杉,红皮云杉,臭松、枫、桦、杨、柳、椴树、黄菠萝、胡桃秋、蒙古栎等。

1.2 自然资源

(1) 水资源。东北黑土区水资源丰富,但是水资源时空分布与需水要求不协调,降水量从北向南递减。根据1956~2000年系列资料,松花江流域多年平均径流量为1296亿 m^3 ,折合径流深度为139mm,其中黑龙江省686亿 m^3 ,吉林省269亿 m^3 ,内蒙古自治区340亿 m^3 ,辽宁省1.2亿 m^3 。径流量最大的是松花江干流和嫩江,分别为360亿 m^3 和294亿 m^3 ,最小的是绥芬河,多年平均径流量仅为15.7亿 m^3 。辽河流域多年平均径流量为408.0亿 m^3 ,折合径流深度为129.9mm,其中吉林省75.7亿 m^3 ,辽宁省299.2亿 m^3 ,内蒙古自治区30.3亿 m^3 。水资源总量为1704亿 m^3 ,人均占有水资源量为1460.91 m^3 。

(2) 土地资源。东北黑土区土地广袤,总面积103万 km^2 ,占东北地区总面积的82.46%。其中森林面积51.50万 km^2 ,总耕地面积21.40万 km^2 ,人均耕地0.18 hm^2 ,由于耕地受工业污染少,集中连片,有机质含量高,因此,黑土区成为我国主要粮食生产基地之一。

(3) 工业及矿产资源。东北黑土区内矿产资源种类多、分布广、储量大,较为丰富的有铁、煤炭、原油、天然气、铅、锌、金及菱镁矿等。这里还是我国重要的石油、化工、钢铁、汽车、森林等产业基地。

1.3 社会经济

据 2004 年数据统计,中国东北黑土区共有 41 个市(州、盟),总人口 1.17 亿人,占全国总人口的 9.35%。东北黑土区 103 万 km^2 的面积中,总耕地面积 2139.83 万 hm^2 ,占黑土区总面积的 20.78%,占全国总耕地面积的 22.53%。东北是新中国成立以来最重要的工农业生产基地,为我国的社会主义建设做出了巨大的贡献,被誉为“共和国的长子”,在全国最先基本建成涵盖全面的工业体系,从钢铁、化工、重型机械、汽车、造船、飞机到军工,各类重大工业项目星罗棋布。随着开发北大荒,东北被列为全国最重要的商品粮基地。粮食产量在中国的粮食生产中举足轻重,“黑土地”成为共和国的粮仓。

东北黑土区 2004 年粮食总产量 627.02 亿 kg ,占当年全国粮食产量 4306.95 亿 kg 的 14.56%,其中大豆产量占全国总产量的 41.30%,玉米产量占全国总产量的 29.00%。水果主要有苹果、梨、桃、杏等树种。

1.4 水土流失现状

东北黑土区的地形特点为坡缓、坡长;一般坡度在 15° 以下,坡长一般 500~2000m,最长达 4000m。黑土土壤疏松,抗蚀能力弱。由于降雨集中和长期以来人口增加导致的过度垦殖、超载放牧、乱砍乱樵等不合理的开发利用,使该区的水土流失日趋严重。其水土流失有以下几个特点。

(1) 水土流失面积大,范围广。东北黑土区的水土流失面积为 27.59 万 km^2 ,占黑土区总面积的 27%。其中内蒙古自

治区 9.55 万 km^2 ，黑龙江省 11.52 万 km^2 ，吉林省 3.11 万 km^2 ，辽宁省 3.41 万 km^2 。

(2) 水土流失类型多样。水土流失类型主要的有水蚀、风蚀和冻融侵蚀。其中水蚀面积 17.70 万 km^2 ，风蚀面积 4.13 万 km^2 ，冻融侵蚀面积 5.76 万 km^2 （见表 1.1）。

表 1.1 松辽流域水土流失情况表 单位：万 km^2

省（自治区）	总面积	侵蚀面积	水蚀	风蚀	冻融侵蚀
黑龙江	45.25	11.52	8.86	1.06	1.60
吉林	18.70	3.11	1.73	1.38	0.00
辽宁	12.29	3.41	3.07	0.34	0.00
内蒙古	26.76	9.55	4.04	1.36	4.16
合计	103.00	27.59	17.70	4.13	5.76

(3) 水土流失主要来源于坡耕地。东北黑土区的坡耕地面积为 1.92 亿亩，占耕地总面积的 59.38%，且多数分布在 $3^\circ \sim 15^\circ$ 坡面上。坡耕地的特点是坡缓、坡长，黑土土壤疏松、抗蚀能力弱，极易产生水土流失，坡耕地产生水土流失面积占整个黑土区水土流失面积的 46.39%。

1.5 水土流失危害

东北黑土区水土流失对区域生态环境及经济的可持续发展造成严重的危害，主要表现在剥蚀表层土壤，降低土地生产能力，侵蚀沟切割土地丧失耕种能力，泥沙淤积河道水库影响行洪安全。

(1) 剥蚀表土，降低土地生产能力。黑土区坡耕地的水土流失，对土地资源的破坏非常严重，直接影响到农业生产的可持续发展。根据在黑龙江省的克山、拜泉等县调查，黑土层每年平均剥蚀厚度达 0.3~1.0cm。而形成 1cm 土壤在自然状况下需要 400 年时间。开垦 60~70 年的坡耕地黑土层已由原来的平均 80~100cm 降到 20~30cm。按照现有的侵蚀速率推

算,如不及时治理,40~50年后大部分黑土层将流失殆尽,而黑土层下面的成土母质或沙土的有机质含量接近零,不能生长任何植物。

据克山水土保持实验站试验观测分析,3°坡耕地,每年每公顷流失氮磷180~240kg,钾360~480kg,相当于7500~15000kg农家肥的肥力。由于土壤肥力逐年下降,严重地影响了粮食产量。据调查分析,每年每公顷因水土流失影响而少收粮食375~600kg。中国科学院东北地理与农业生态研究所的模拟试验显示,人为去掉30cm表土后,种植的大豆和玉米基本绝产。

(2) 沟壑切割土地,毁坏家园。水土流失的另一个危害就是侵蚀沟切割耕地,不仅影响机械耕种,迫使大面积土地弃耕,而且对村庄造成严重威胁。对第二松花江流域的榆树市刘家乡侵蚀沟调查,在松花江沿岸15km内便有49条深10~40m的大型侵蚀沟,10m以下的支沟306条,沟壑密度达每平方公里4440延长米,侵吞耕地4125亩。这个乡的合心村因侵蚀沟不断扩张,村民被迫搬家,整个村子平移了一个位置——原来的村东头变成了村西头。千余亩耕地被侵蚀沟切割成11个孤岛,村民不得不带着干粮,翻“山”越“岭”下田干活。据测量,榆树大沟的土壤侵蚀模数达到11万 $\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,超过了黄土高原。最典型的南大沟、城墙大沟等沟壑长度都在1000m以上,宽50~60m,深20~46m,已吞掉耕地209 hm^2 ,造成人畜伤亡10余起,房屋搬迁150户,并且沟壑还在剧烈发展。

东北黑土区目前共有25万条大型侵蚀沟,导致大量耕地被沟壑切割而被迫弃耕;通过典型调查推算,沟壑吞噬农田47.12多万 hm^2 ,每年损失粮食约14亿kg。

(3) 土地板结,土壤结构恶化。严重的水土流失导致东北黑土区的土地板结、土壤结构恶化。据调查,黑土区土壤有机质含量平均由12%下降到2.3%,土壤总空隙度由67.9%下

降到 52.2%，田间持水量由 57.7% 下降到 26.6%，水稳性团粒由 58% 下降到 35.8%，土壤容重由 0.39g/cm^3 增加到 1.26g/cm^3 （见表 1.2）。

表 1.2 开垦不同年限黑土物理性状变化表

年限 (a)	深度 (cm)	密度 (g/cm^3)	容重 (g/cm^3)	总孔隙度 (%)	饱和持水量 (%)	田间持水量 (%)	对植物有效水分 (%)
5	0~15	2.50	0.863	64.8	75.24	54.56	20.44
	15~25	2.56	1.042	59.2	61.65	43.20	18.60
40	0~15	2.40	1.095	55.9	59.53	50.06	17.53
	15~25	2.50	1.121	52.2	50.64	36.26	6.25

目前，东北黑土区土壤有机质每年以 1‰ 的速度递减，每年流失的土壤养分价值 5 亿~10 亿元。据估算，黑土区每年流失掉的黑土达 1 亿~2 亿 m^3 ，流失掉土壤中的氮、磷、钾元素折合成标准化肥达 400 万~500 万 t，相当于四五个年产百万吨的大庆化肥总厂的年产量。

(4) 淤积河道、水库。水土流失使大量泥沙下泄，淤塞水库湖泊和下游河道，削弱了水库滞洪蓄洪和河道泄洪能力，导致流域在较大的暴雨洪量情况下发生特大的洪涝灾害。丰满水库在建库初期，年淤积量只有 145 万 m^3 ，40 年来，由于库区上游植被破坏，水土流失急剧发展，到 20 世纪 80 年代，年淤积量增加到 525.49 万 m^3 ，是建湖初期的 3.6 倍，严重影响了防洪效益和综合利用效益的发挥。辽河流域由于水土流失，造成下游水库河闸及河道严重淤积，河道逐年淤高展宽。目前，柳河河底已高出彰武县城地面 0.2m，高出新民县城地面 8m。辽河干流巨流河至六间房河段平均每年淤高约 10cm，目前已成为“悬河”，从而加大了防洪压力。

1.6 水土流失成因

水土流失是由于气候等自然因素在人类长期不合理的土地

利用活动并且无相应的保护预防措施的推动促进下发生发展的,是自然因素和人为因素长期综合作用的阶段性表现,而人为因素起主导作用。

(1) 自然因素。

1) 地形地貌。在其他条件相同情况下,地形坡度、坡长越大,水土流失越严重。黑土区内中山区、低山丘陵区、漫川漫岗区面积占流域总面积的60%左右,特别是漫川漫岗区,不仅坡面长,而且是东北地区的主要粮食产区,垦殖指数高。加之松嫩平原一半以上的地貌类型属山前台地,由于受新构造运动的影响,缓慢上升,侵蚀作用加强,冲沟发育,地形复杂,易发生水蚀。

2) 土壤特性。流域内主要土壤类型有:黑土、黑钙土、暗棕壤、白浆土、草甸土、风沙土。土壤类型不同,土壤的抗蚀、抗冲性能也不同,流域内黑土地土层较薄,一般在20~30cm,土质黏重,透水性差,极易产生水土流失,白浆土、暗棕壤、风沙土由于表土层薄,理化性质差,也极易产生水土流失。

3) 气候因素。东北黑土区降雨分布很不均匀,70%的降水集中在7~9月,且多以暴雨形式出现,容易造成严重的击溅侵蚀、面蚀和沟蚀。另外,5月实际日射量增加,气温升高,但雨季尚未来临,空气湿度低,风大,3~5月最大风速可达20~25m/s。据测算,5月水面蒸发量一般为全年最大,占年水面蒸发量的12%~20%,春季多发生严重的干旱,而春季是地面植被最稀少的时期,冬雪融化后地面裸露,由于冻胀的结果,土壤结构变得松散。因而风蚀也是造成黑土区水土流失的另外一个重要原因。

(2) 人为因素。人为因素主要是指人类不合理的生产建设活动,对水土资源破坏比较大的人为活动主要包括大面积开垦土地、过牧过樵、砍伐森林、采石、开挖等基建活动及城市用地面积增加、土地超载等活动。陡坡开荒,破坏植被是造成黑