



水土保持植物 措施原理

SHUITU BAOSHI ZHIWU CUOSHI YUANLI

▶ 张超波◎著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

S157.4
28

水土保持植物措施原理

张超波 著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

水土保持植物措施原理 / 张超波著. —北京:知识产权出版社, 2015.7

ISBN 978-7-5130-3229-2

I. ①水… II. ①张… III. ①水土保持-植物-栽植配置-技术措施-研究
IV. ①S157.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第288655号

内容提要

本书介绍了水土流失造成的土地表层侵蚀、边坡失稳和水土损失,这些已经成为我国重大生态环境问题。水土保持有三大主要防治措施:工程措施、农业措施和植物措施。植物措施是防治水土流失常用的措施,也是水土保持中最有效和最根本的方法。通过造林种草构建覆盖地面的植被,能够改善表土的土壤结构、理化性质、力学性质和水文性质,减小水土流失。植物措施固持水土主要包括水文生态、土壤生态和力学三方面的原理。

责任编辑:唐学贵 执行编辑:于晓菲 吕冬娟

水土保持植物措施原理

张超波 著

出版发行: 知识产权出版社有限责任公司	网 址: http://www.ipph.cn
电 话: 010-82004826	http://www.laichushu.com
社 址: 北京市海淀区马甸南村1号	邮 编: 100088
责编电话: 010-82000860转8363	责编邮箱: yuxiaofei@cnipr.com
发行电话: 010-82000860转8101/8029	发行传真: 010-82000893/82003279
印 刷: 北京中献拓方科技发展有限公司	经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店
开 本: 787mm×1092mm 1/16	印 张: 27.5
版 次: 2015年7月第1版	印 次: 2015年7月第1次印刷
字 数: 405千字	定 价: 68.00元

ISBN 978-7-5130-3229-2

出版版权专有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

前 言

水土流失造成的土地表层侵蚀、边坡失稳和水土损失,已经成为我国重大生态环境问题。据最新全国水土流失调查,即2005年7月至2008年11月水利部、中国科学院和中国工程院联合开展的“中国水土流失与生态安全综合科学考察”,全国土壤侵蚀面积357万 km^2 (水蚀和风蚀面积),占国土总面积的37%,年均土壤侵蚀总量达到45亿吨,约占全球土壤侵蚀总量的1/5。根据这次科学考察和亚洲开发银行的研究,水土流失给我国带来的经济损失约相当于GDP总量3.5%。我国水土流失形势依然严峻。

防治水土流失的主要措施包括工程措施、农业措施和植物措施。植物措施是防治水土流失常用的措施,也是水土保持中最有效和最根本的方法。植物已经广泛地应用于提高边坡稳定性和控制土壤侵蚀的土木工程,这样的工程被称为土壤生物工程(soil bioengineering)、生态工程(ecoengineering)、地表生物工程(ground bio-engineering)、或者生态技术(ecotechnology)。一般认为,植物措施对水土保持起到三方面作用:水文效应、土壤生态效应和力学效应。水文效应包括植物地上部分能截流降雨,减少降雨对土壤击溅,减少表层结皮,以及枯枝落叶层能蓄积水分,削弱径流,延长水分入渗时间,减小产流;土壤生态效应包括减小表土产沙,改善土壤结构,提高土壤抗冲性和抗蚀性;力学效应包括植物根系增加土壤抗剪强度,改善坡面浅层土体应力,有效降低坡面土体的应力集中,锚固表层土壤,降低岸坡土体孔隙水压力,提高边坡稳定性。植物根系固持水土的力学效应主要体现为植物浅根的加筋作用和深根的锚固作用。浅根的加筋作用为植物根系在土壤中错综盘结,使岸坡土体在根系延伸范围内成为土与根系的复合材料,根系可视为三维加筋材料,增加了土体的黏聚力,同时根系的张拉限制了土体的侧向变形。深根的锚固作用为植物粗

深根系穿过坡体浅层的松散风化层,锚固到深处较稳定的土层上,类似于锚杆系统。在植被覆盖的岸坡上,相互缠绕的侧向根系形成具有一定抗拉强度的根网,将根系和土壤固结为一个整体;同时垂直根系将浅层根系土层锚固到深处较稳定的土层上,从而增加了土体的稳定性。

全书共分为7章,第1章介绍了土壤侵蚀和水土保持相关概念、类型及我国水土流失现状与危害。第2章介绍了水土保持的三大主要措施。第3章介绍了植物防治水土流失的重点林业生态工程和草地工程。第4章介绍了植物措施的生态水文原理。第5章介绍了植物措施的土壤生态原理。第6章介绍了植物措施的力学原理。第7章介绍了土壤侵蚀预报模型及根系固土模型。

本书可供农学、林学、水利、水土保持等专业的本科生、研究生及从事相应专业的科研、教学和工程技术人员参考。

本书由张超波主笔,蒋静、雷相科、欧阳前超等参与撰写,最终由张超波统稿完成。本书得到国家自然科学基金青年科学基金项目(51309174)和太原理工大学青年团队项目(2013T037)资助,在此深表谢意。

由于时间仓促,我们水平有限,书中难免存在不足,恳请读者批评指正。

张超波

2014年10月

目 录

第1章 土壤侵蚀与水土保持	1
1.1 土壤侵蚀与水土保持关系	1
1.1.1 土壤侵蚀	1
1.1.2 土壤侵蚀与水土保持	5
1.1.3 土壤侵蚀与水土流失	5
1.2 土壤侵蚀类型	6
1.2.1 按导致土壤侵蚀的外营力种类划分	6
1.2.2 按土壤侵蚀发生的时间划分	7
1.2.3 按土壤侵蚀发生的速率划分	8
1.3 土壤侵蚀形式	8
1.3.1 水力侵蚀	8
1.3.2 风力侵蚀	15
1.3.3 重力侵蚀	16
1.3.4 混合侵蚀	18
1.3.5 冻融侵蚀	20
1.3.6 冰川侵蚀	21
1.3.7 化学侵蚀	21
1.4 土壤侵蚀机理	22
1.4.1 水力侵蚀	22
1.4.2 重力侵蚀	27
1.4.3 混合侵蚀	33
1.5 影响因素	36

2 水土保持植物措施原理

1.5.1 水力侵蚀的影响因素	36
1.5.2 重力侵蚀的影响因素	45
1.5.3 影响泥石流发育的因素	47
1.6 土壤侵蚀及其危害	49
1.6.1 土壤侵蚀分区	49
1.6.2 我国土壤侵蚀概况	53
参考文献	58
第2章 水土保持措施	61
2.1 水土保持工程措施	61
2.1.1 山坡防护工程	61
2.1.2 山沟治理工程	82
2.1.3 山洪排导工程	96
2.1.4 小型蓄水用水水库工程	100
2.2 水土保持农业措施	106
2.2.1 水土保持耕作措施	107
2.2.2 水土保持改土培肥措施	113
2.2.3 旱作节水农业和集流农业技术	114
2.2.4 水土保持农林复合系统	120
2.3 水土保持植被措施	123
参考文献	130
第3章 植被防治水土流失工程	132
3.1 林业生态工程	132
3.1.1 我国林业重点工程	134
3.1.2 国外林业重点工程	144
3.2 种草	151
3.2.1 天然草地类型与分布	152
3.2.2 草地改良与人工草地建设	165

参考文献	173
第4章 植物措施生态水文原理	175
4.1 植被对降雨产流产沙的影响	175
4.1.1 减弱降雨侵蚀能量	175
4.1.2 冠层截留	179
4.1.3 草本截留	185
4.1.4 枯落物截留	188
4.1.5 林冠截留降雨模型	190
4.2 植被对流域蒸散发影响	195
4.2.1 植被蒸散发理论与测定方法	195
4.2.2 植被蒸腾规律	207
4.2.3 植被对流域蒸散发影响规律与模式	212
4.3 植被对径流的影响	217
4.3.1 对坡面径流的影响	217
4.3.2 对流域径流的影响	225
4.4 植被对土壤入渗的影响	238
4.4.1 植被影响土壤入渗性能的机理	238
4.4.2 植被对土壤入渗的影响规律	242
参考文献	250
第5章 植物措施土壤生态原理	274
5.1 产沙	274
5.1.1 植被对坡面产沙的影响	274
5.1.2 植被对小流域侵蚀产沙的影响	284
5.2 植被对土壤抗侵蚀性的影响	292
5.2.1 定义	292
5.2.2 研究方法与评价指标	293
5.2.3 植被与土壤抗侵蚀性关系	297

5.3 植被对土壤理化特征的影响	307
5.3.1 土壤含水量	307
5.3.2 土壤干化	312
5.3.3 土壤有机质与土壤养分	317
5.3.4 土壤团聚体	322
5.3.5 土壤微生物	324
5.3.6 土壤酶活性	326
参考文献	329
第6章 植物措施力学原理	344
6.1 根系形态分布	344
6.1.1 根系主要分布类型	344
6.1.2 根系分布与植物力学固土关系	346
6.2 根系拉拔力学特性	347
6.2.1 根系拉伸原理	347
6.2.2 根系的变形特性	348
6.2.3 根系拉伸应力与应变关系	350
6.2.4 根系抗拉力学特性的影响因素	351
6.3 根系对土壤复合体抗剪特性的影响	361
6.3.1 根—土复合体抗剪特性	361
6.3.2 根—土复合体抗剪特性的影响因素	361
6.4 有限元数值模拟	370
6.4.1 有限元分析方法	370
6.4.2 土壤模型	374
6.4.3 根系模型	377
6.4.4 根土界面模型	377
6.4.5 模拟计算	379
参考文献	381

第7章 土壤侵蚀预报模型及根系固土模型	391
7.1 土壤侵蚀预报模型研究进展	391
7.1.1 国际土壤侵蚀预报研究进展	391
7.1.2 中国土壤侵蚀预报模型研究进展	392
7.2 坡面土壤侵蚀预报模型	394
7.2.1 坡面侵蚀产沙经验模型	394
7.2.2 坡面物理成因模型	395
7.2.3 坡地侵蚀模拟模型	396
7.3 小流域分布式水蚀预报模型	397
7.3.1 分布式侵蚀产沙模型	397
7.3.2 流域侵蚀产沙经验模型	399
7.3.3 流域物理成因模型	403
7.4 区域水土流失评价模型	404
7.4.1 基于GIS的评价模型	405
7.4.2 基于遥感的评价模型	406
7.4.3 定量评价模型	407
7.5 土壤侵蚀机理模型研究	407
7.5.1 雨滴击溅及溅蚀	408
7.5.2 坡地产流	409
7.5.3 坡面股流侵蚀	410
7.5.4 试验研究方法	412
7.6 根系固土理论模型	413
7.6.1 锚固作用	414
7.6.2 锚固力学模型	416
7.6.3 加筋作用	419
7.6.4 加筋力学模型	421
参考文献	426

第1章 土壤侵蚀与水土保持

1.1 土壤侵蚀与水土保持关系

1.1.1 土壤侵蚀

土壤侵蚀(soil erosion)是指土壤及其母质在水力、风力、冻融或重力等外营力作用下,被破坏、剥蚀、搬运和沉积的过程。土壤在外营力作用下产生位移的物质,称土壤侵蚀量。单位面积、单位时间内的侵蚀量称为土壤侵蚀速度(或土壤侵蚀速率);土壤侵蚀量中被输移出特定地段的泥沙量,称为土壤流失量。在特定时段内,通过小流域出口某一观测断面的泥沙总量,称为流域产沙量。土壤侵蚀相关名词介绍如下。

1.1.1.1 土壤侵蚀量与土壤流失量

(1)概念

土壤侵蚀量(amount of soil erosion)是指土壤侵蚀作用的数量结果。通常把土壤、母质及地表松散物质在外营力的破坏、剥蚀作用下产生分离和位移的物质,称为土壤侵蚀量。

单位时间、单位面积内产生的土壤侵蚀量,称为土壤侵蚀速率(或速度),或称为土壤侵蚀模数,量纲是 $t/(km^2 \cdot a)$ 。

土壤侵蚀物质以一定的方式搬运,并被输移出特定地段,这些被输移出的泥沙量称为流域产沙量(sediment yield)。相应地,单位时间内,通过河川某断面的泥沙总量称为流域输沙量。在黄土地区由于土壤组成多以粉沙为主,且粒径组成范围较小,导致流域内的泥沙输移比较大,可以近似地将输沙量看作流域的产沙量,因而常用流域的输沙量和流域土壤侵蚀面积来计算平均侵蚀模数。

(2)区别

需要指出的是土壤侵蚀和土壤流失是两个不同的概念,关于土壤侵蚀前面已经作了比较多的阐述。土壤流失(soil loss)所指的仅为在水力侵蚀中,由于地表径流导致的土壤面蚀部分,因此土壤流失量(amount of soil loss)所指的也就是由于发生土壤面蚀所流失的土沙数量。

1.1.1.2 土壤侵蚀程度

土壤侵蚀程度(degree of soil erosion)是指任何一种土壤侵蚀形式在特定外营力种类作用和一定环境条件影响下,自其发生开始,截止到目前为止的发展状况。在土壤侵蚀发生发展过程中,土壤侵蚀不仅受到外营力种类、外营力作用方式等的影响,还受到地质、土壤、地形、植被等条件和人为活动的影响,因此土壤侵蚀表现形式可明显地产生较大差异。就其一种土壤侵蚀形式而言,在不同条件下,其发展过程和所发生的阶段也不一样。

1.1.1.3 土壤侵蚀强度

(1)概念

土壤侵蚀强度(intensity of soil erosion)所指的是某种土壤侵蚀形式在特定外营力种类作用和其所处环境条件不变的情况下,该种土壤侵蚀形式发生可能性的大小。常用单位面积上在一定时间内土壤及土壤母质被侵蚀的重量来表示。

(2)分级

土壤侵蚀强度是根据土壤侵蚀的实际情况,按轻微、中度、严重等分为不同级别。由于各国土壤侵蚀严重程度不同,土壤侵蚀分级强度也不尽一致,一般是按照允许土壤流失量值与最大流失量值之间进行内插分级。土壤侵蚀强度也称为土壤侵蚀潜在危险性。我国土壤水力侵蚀的强度分级分为微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈六个等级,见表1-1。重力侵蚀分为轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈五个等级,见表1-2。风力侵蚀分为微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈六个等级,见表1-3。混合侵蚀分为轻度、中度、强烈和极强烈四个等级(SL 190—2007土壤侵蚀分类分级标准),见表1-4。

表 1-1 水力侵蚀强度分级

级别	平均侵蚀模数 [t/(km ² ·a)]	平均流失厚度 (mm/a)
微度	<200, <500, <1000	<0.15, <0.37, <0.74
轻度	200, 500, 1000~2500	0.15, 0.37, 0.74~1.9
中度	2500~5000	1.9~3.7
强烈	5000~8000	3.7~5.9
极强烈	8000~15000	5.9~11.1
剧烈	> 15000	>11.1

注:本表流失厚度系按土的干密度 1.35 g/cm³折算,各地可按当地土壤干密度计算。

表 1-2 重力侵蚀分级指标

崩塌面积占坡面面积比 (%)	<10	10~15	15~20	20~30	>30
强度分级	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈

表 1-3 风力侵蚀的强度分级

级别	床面形态 (地表形态)	植被覆盖度(%) (非流沙面积)	风蚀厚度 (mm/a)	侵蚀模数 [t/(km ² ·a)]
微度	固定沙丘、沙地和 滩地	>70	<2	<200
轻度	固定沙丘、半固定 沙丘、沙地	70~50	2~10	200~2500
中度	半固定沙丘、沙地	50~30	10~25	2500~5000
强烈	半固定沙丘、流动 沙丘、沙地	30~10	25~50	5000~8000
极强烈	流动沙丘、沙地	<10	50~100	8000~15000
剧烈	大片流动沙丘	<10	>100	>15000

表 1-4 泥石流侵蚀强度分级

级别	每年每平方千米冲出量 (万 m ³)	固体物质补给形式	固体物质补给量 (万 m ³ /km ²)	沉积特征	泥石流浆体密度 (t/m ³)
轻度	<1	由浅层滑坡或零星坍塌补给, 由河床质补给时, 粗化层不明显	<20	沉积物颗粒较细, 沉积表面较平坦, 很少有大于 10cm 以上颗粒	1.3~1.6
中度	1~2	由浅层滑坡及中小型坍塌补给, 一般阻碍水流, 或由大量河床补给, 河床有粗化层	20~50	沉积物细颗粒较少, 颗粒间较松散, 有岗状筛滤堆积形态, 颗粒较粗, 多大漂砾	1.6~1.8
强烈	2~5	由深层滑坡或大型坍塌补给, 沟道中出现半堵塞	50~100	有舌状堆积形态, 一般厚度在 200m 以下, 巨大颗粒较少, 表面较为平坦	1.8~2.1
极强烈	>5	以深层滑坡和大型集中坍塌为主, 沟道中出现全部堵塞情况	>100	有垄岗、舌状等黏性泥石流堆积形成, 大漂石较多, 常形成侧堤	2.1~2.2

1.1.1.4 允许土壤流失量

(1) 概念

允许土壤流失量 (tolerance of soil loss) 是指小于或等于成土速度的年土壤流失量。也就是说, 允许土壤流失量是不至于导致土地生产力降低而允许的年最大土壤流失量。

(2) 计算方法

在农耕地的土壤侵蚀防治中, 常用通用土壤流失方程 (USLE, Wischmeier 和 Smith, 1965 年) 进行土壤流失量的估算, 如果估算初定土壤流失量低于该土地的允许土壤流失量, 则表明该土地的利用合理, 不需要采取治理措施。确定土壤流失量是一项较为复杂的工作, 目前各国确定的指标还有待完善, 需要积

累成土速率和土壤侵蚀对土壤生产能力影响等方面的资料。在美国规定各类允许土壤流失量的值为4~11.2 t/(hm²·a)。我国土壤侵蚀严重地区的允许土壤流失量值见表1-5。

表 1-5 各侵蚀类型区容许土壤流失量 单位:t/(km²·a)

类型区	容许土壤流失量	类型区	容许土壤流失量
西北黄土高原区	1000	南方红壤丘陵区	500
东北黑土区	200	西南土石山区	500
北方土石山区	200		

1.1.2 土壤侵蚀与水土保持

水土保持(water and soil conservation) 由我国科技工作者首先提出,在我国应用广泛并被世界各国科学技术界所接受。在《中国大百科全书·农业卷》中“水土保持”的定义为:防治水土流失,保护、改良与合理利用山丘区和风沙区水土资源,维护和提高土地生产力,以利于充分发挥水土资源的经济效益和社会效益,建立良好生态环境的事业。水和土是人类赖以生存的基本物质,是发展农业生产的基本因素。水土保持工作对开发建设山区、丘陵区 and 风沙区,整治国土,治理江河,减少水、旱、风等灾害,维护生态平衡具有重要的作用。

显然土壤侵蚀是水土保持的工作对象,水土保持就是在合理利用水、土地的资源基础上,组织运用水土保持林草措施、水土保持工程措施、水土保持农业措施等构成水土保持综合措施体系,以达到保持水土、提高土地生产力、改善山丘区和风沙区生态环境的目的。

1.1.3 土壤侵蚀与水土流失

水土流失(soil erosion and water loss)是指在水力、风力、重力等外营力作用下,山丘区及风沙区水土资源和土地生产力的破坏和损失。水土流失包括土壤侵蚀及水的损失,也称水土损失(见《中国大百科全书·水利卷》第400页)。

水的损失过程与土壤侵蚀过程之间,既有紧密的联系,又有一定的区别。

水的损失形式中如坡地径流损失,是引起土壤水蚀的主导因素,水冲土跑,水土损失是同时发生的。但是,并非所有的坡面径流以及其他水的损失形式都会引起土壤侵蚀。广泛应用的“水土流失”一词是指在水力作用下,土壤表层及其母质被剥蚀、冲刷搬运而流失的过程。

“水土流失”一词在我国已被广泛使用,自从“土壤侵蚀”一词传入我国以来,从广义理解常被用作“水土流失”的同一语。从“土壤侵蚀”和“水土流失”的定义中可以看出,二者虽然存在共同点,即都包括了在外营力作用下土壤、母质及浅层基岩的剥蚀、搬运和沉积的全过程;但是也有明显差别,即水土流失中包括了在外营力作用下水资源和土地生产力的破坏与损失,而土壤侵蚀中则没有包含这一含义。

虽然水土流失与土壤侵蚀在定义上存在明显差别,但应该看到因“水土流失”一词源于我国,在科研、教学和生产上使用较为普遍。而“土壤侵蚀”一词为传入我国的外来词,其含义显然狭于水土流失的内容。随着水土保持这一学科的逐渐发展和成熟,在教学和科研方面人们对二者的差异给予了越来越多的重视,而在生产上人们常把“水土流失”和“土壤侵蚀”作为同一词语来使用。

1.2 土壤侵蚀类型

自地球形成以来土壤侵蚀就在进行着,土壤侵蚀在人类出现以前,其发生、发展过程主要受自然环境要素,如地壳运动、岩浆活动、地震等内营力作用和水力、风力、温度作用力和重力等外营力作用的制约。人类出现后,人类生产和生活活动极大地加速了土壤侵蚀的过程,土壤侵蚀经常是自然侵蚀和人为侵蚀相叠加的结果。为了更好地反映和揭示土壤侵蚀的特征及其规律,以便采取适当措施防止或减轻侵蚀危害,土壤侵蚀一般划分为不同的类型,最常用的划分方法主要有以下三种:按导致土壤侵蚀的外营力种类划分、按土壤侵蚀发生的时间划分和按土壤侵蚀发生的速率划分。

1.2.1 按导致土壤侵蚀的外营力种类划分

依据引起土壤侵蚀的外营力种类划分出不同的土壤侵蚀类型,是土壤侵

蚀研究和土壤侵蚀防治中最常用的一种分类方法。引起土壤侵蚀的外营力种类主要有水力、风力、重力、温度作用力、冻融和冰川作用力、化学作用力、生物作用力和人为活动等。因此,土壤侵蚀类型就有水力侵蚀类型、风力侵蚀类型、重力侵蚀类型、冻融侵蚀类型、冰川侵蚀类型、化学侵蚀类型、生物侵蚀类型和人为侵蚀类型等。现实中,土壤侵蚀的发生经常由一种或多种外营力引起,由多种外营力引起的侵蚀类型一般归为复合侵蚀类型。

1.2.2 按土壤侵蚀发生的时间划分

以人类在地球上出现的时间为分界点,将土壤侵蚀划分为两大类:一类是人类出现在地球以前所发生的侵蚀,称为“古代侵蚀”;另一类是人类出现在地球之后所发生的侵蚀,称为“现代侵蚀”。人类在地球上出现的时间从距今200万年之前的第四纪开始算起。

(1)古代侵蚀

古代侵蚀是指人类出现在地球以前的漫长时期内,由于外营力作用,地球表面不断产生的剥蚀、搬运和沉积等一系列侵蚀现象。这些侵蚀有时较为剧烈,足以对地表土地资源产生破坏;有些则较为轻微,不足以对土地资源造成危害。但是其发生、发展及所造成的灾害与人类的活动没有任何关系和影响。

(2)现代侵蚀

现代侵蚀是指人类在地球上出现以后,由于地球内营力和外营力的影响,并伴随着人们不合理的生产活动所发生的土壤侵蚀现象。这种侵蚀十分剧烈,可给生产建设和人民生活带来严重恶果,此时的土壤侵蚀称为“现代侵蚀”。

一部分现代侵蚀是由于人类不合理活动导致的,而另一部分则与人类活动无关,主要是在地球内营力和外营力作用下发生的,因此将这一部分与人类活动无关的现代侵蚀称为“地质侵蚀”。地质侵蚀就是在地质营力作用下,地层表面物质产生位移和沉积等一系列破坏土地资源的侵蚀过程。地质侵蚀是在非人为活动影响下发生的一类侵蚀,包括人类在地球上出现之前和出现之后由地质营力作用发生的所有侵蚀。