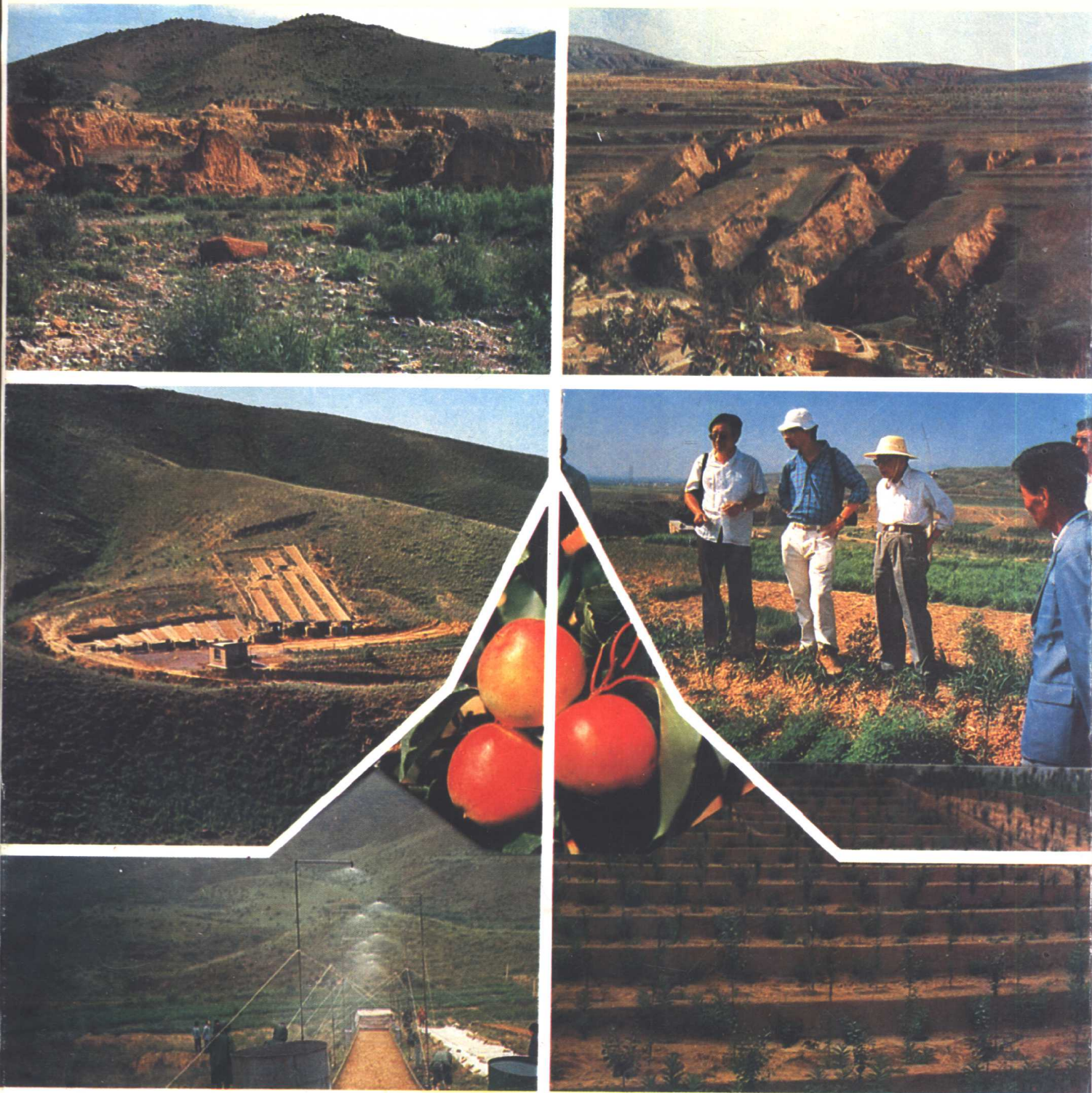


国家自然科学基金重点资助课题

永定河上游张家口市 水土流失规律与坡地改良利用

蔡强国 赵宏夫 王忠科 靳长兴 邵小明 等主编



环境科学出版社

65.266
722

国家自然科学基金重点
资助课题(49231020)

永定河上游张家口市

水土流失规律与坡地改良利用

主 编: 蔡强国 赵宏夫

副主编: 王忠科 靳长兴 邵小明

编辑委员会 (以姓氏笔画为序):

马绍嘉	王忠科	王树芳	孙国亮	吴淑安
邵小明	赵宏夫	赵 英	靳长兴	蔡强国

中国环境科学出版社

(京)新登字 089 号

图书在版编目 (CIP) 数据

永定河上游张家口地区水土流失规律与坡地改良利用 / 蔡强国
等编. —北京: 中国环境科学出版社, 1995.6

ISBN 7-80093-826-3

I. 永… II. 蔡… III. 土壤侵蚀—水利土壤改良—中国—张家口 IV.S157.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 10827 号

永定河上游张家口市
水土流失规律与坡地改良利用

蔡强国 赵宏夫 王忠科

靳长兴 邵小明等编

责任编辑 张于娜

中国环境科学出版社

(100062 北京崇文门北大街 8 号)

北京市朝阳区育新印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1995 年 6 月第一版 开本: 787×1092 毫米 1/16

1995 年 6 月第一次印刷 印张: 14 插页: 0

印数: 1—1000 定价: 18.00 元

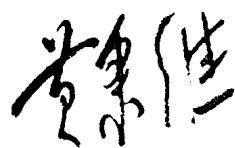
序

本书即将付印，要我写序言。我想乘此机会，从比较广阔的角度谈一些意见。

早在 20 年代，就有一些学者认为中国平均每人耕地只有 3 亩，这将成为经济发展的一个限制因素。30 年代初，翁文灏根据当时所能取得关于自然条件的资料，比较切实地分析展拓耕地的可能性，作出“中国地大而物不博”的结论，得到国内外较多学者的首肯。1937 年，我在他指导之下编写《中国地理》，第一章《中国地大物博之其义》，基本论点没有改变只补充一些资料并指出一些有待进一步研究的问题。此时已战火连天，以后更“久无嗣响”。在不少人的心目中，人口增多一倍有余，粮田面积基本没有变化，人均粮产有增无减，问题的严重性似乎不那末大了。至 80 年代初期，孙鸿烈等博采约 40 年关于农业自然资源调查研究的结果，加以整理分析，工作的深度和广度都有逾于前人，所展示的远景又更使人难安缄默。1987 年周立三等从事国情分析，研究中国农村长期发展问题，所面对的形势已大大改变，所考虑的问题也更周到，主张建立资源节约型的国民经济体系，积极提高劳动力的素质并为之安排出路。1992 年联合国环境与发展大会以后，国家计委，国家科委组织拟订《中国 21 世纪议程》，其内容包括可持续发展的各个方面，1994 年经国务院批准作为今后编制长期计划的依据。水土保持与坡地利用是可持续发展的组成部分之一，考虑问题必须与其他组成部分互相贯通，互相挹注，中国山岭丘陵分布甚广，以长期遭受人类掠夺式活动的蹂躏，地力衰退，并且为害下游。从 50 年代起，这得到政府与社会的重视，40 多年间，做了大量的水土保持考察、试验、推广工作取得了不少成就。但由于长期积疾，病情深重，而面积广袤，多年俗习不易根除，瞻顾难期周到，尚待解决的问题仍然很多，已取得成效的地方，也还有死灰复燃的危险。有必要在这个时候根据文字报告与实际变化，比较充分地总结 40 多年的工作，以巩固战果，扩大战果。过去工作的指导思想主要是在 50 至 70 年代形成的，在高悬“可持续发展”为鸽的今天，有些提法可能要作适当修改。在由计划经济市场经济转变过程中，如何衡量水土保持、坡地利用的经济效益，十多年以前很少有人考虑，现在也还是难题。注意到影子价格方法的可能更少。议论水土保持与坡地利用回顾到全球变化以及其它环境问题也很罕见，而可持续发展要求将它们结合起来。

根据实践的结果，根据中国 21 世纪议程或可持续发展的要求，比较全面地、深入地总结 50 年代以来的工作无疑将会获得丰硕的结果。过去的工作有不少已经发展发表，但也有不少未写成报告，或已写成报告而未付印的。可以收集到的报告愈多总结所能到的成就也愈大。《永定河上游张家口市水土流失规律与坡地改变利用》一出的出版正好适应上述时代要求。该书所刊载的是张家口市水土保持试验站工作人员及他们与协作单位人员，近年调查试验的成果，于几个月内写成，所代表的地区介于温带与暖温带，亚湿润与半干旱之间，其下游为北京天津所在，具有特别重要意义，与水土保持和坡地利用有关的科学工作却比较落后。此书在一定程度上可以弥补这一弱点。水土保持与坡地利用涉及自然、技术、社会、经济许多因素，是带有随机性、模糊性的系统，有关的科学知识基本是经验性的，其中有不少部分还处于潜科学阶段。所以，书中文章，五花八门，有一些是测试技

术的探讨，有一些是投入（措施），产出（收益）而中间是一个黑盒子的报道，有一些是比较深入的试验，但年期不够长，有待进一步工作的内容比比皆是。这是经验性研究的一个特点，将所得结果联合起来的思考，仍然可以有助于解决问题。所以，我一方面对此书于此时出版感到高兴，另一方面又期待试验站同志再接再厉，不断前进。经验性科学研究大抵如此，水土保持与坡地利用自然不能例外，其中每一部分，由潜科学发展为显科学，都需要付出较长的时间与辛勤的探索。

A handwritten signature in black ink, reading '钱学森' (Qian Xuesen) in a cursive style.

一九九五年六月

前言

农林复合系统(复合农林业)(Agroforestry)是一种土地利用方式。它采取不同措施将木本植物(灌木或乔木)与一年生或多年生的草本植物(农作物或牧草)在时空上结合起来,以便获得生产上和经济上的良好效益,最大限度地提高植物的持续生产力。80年代以来农林复合系统(复合农林业)已经成为一个专门学科,全世界许多研究单位和组织对其进行试验研究和深入探讨。尤其在热带与亚热带的发展中国家和地区得到较快的应用推广和发展,所涉及的地域包括山地、坡地和平地,一些地区已经有了成熟的试验示范区和应用推广模式与规范。

中国科学院院士黄秉维先生根据这一领域的研究和发展,总结了传统农、林业的经验和教训,自80年代中期以来发表了一系列文章,明确地提出了以一个自然坡面为单位,在研究现代自然过程的基础上,从分水岭至坡麓交错地沿等高线布置以控制侵蚀为主的措施和以生产为主的措施。他指出,坡地改良利用在战略上应以植物措施为主,最大限度地提高一面坡或一小流域持续生产力的最好的途径是凭借速生植物除害兴利,以控制侵蚀为主的措施要尽可能多地减轻侵蚀,以生产为主的措施要尽可能多地提供产品,按比较利益原理来寻求最佳实施方案。持续生产是必须首先满足的条件,生态的持续性除控制侵蚀外,一要补充土壤中的养分,二要改善土壤物理性质。经济持续性除寻求当前的利益外,要顾到将来当地农民和市场的变化趋势,考虑到可能出现的风险,这将使坡地的持续利用成为农民有利可图的事业,以期农民有看得见、拿得到的利益,自愿推广和发展。

张家口市水土保持试验站于1984年建站,建站以来开展了大量试验观测和推广应用研究,指导张家口市的水土保持治理。1989年开始与中国科学院地理研究所进行合作研究,落实黄秉维先生提出的设想,布设了相应的试验观测研究项目。试验工作得到水利部农水司的支持。黄秉维先生与加拿大多伦多大学 Shiu-hung Luk 教授曾到水土保持试验站考察并进行了详细的指导,近几年的研究工作经常得到黄秉维先生的关心与指导。1993年张家口市水土保持试验站成为国家自然科学基金委员会重点资助项目“中国东部典型区坡地过程及其改良利用研究”的一个主要试验点(暖温带-温带过渡区),取得了一批研究成果。

为了及时总结所得到的研究成果,利于本项研究更深入进行,更好地与同行们交流,以提高我们的研究水平,并使取得的研究成果及时得到推广应用,现将近几年的部分研究论文汇集成册发表。本书主要汇集了国家自然科学基金重点资助项目“中国东部典型区坡地过程及其改良利用研究”在永定河上游张家口市阶段研究成果总结及其毗邻的内蒙古与陕北地区的研究成果,同时收入了张家口市水土保持试验站近几年的部分研究成果。主要内容有:降雨特性与入渗规律,水土流失规律与坡面侵蚀过程,水土保持与效益评价,半干旱区坡地改良利用研究,以及有关的试验仪器。此外,还编译了国外最近水蚀预测模型和农林复合系统的研究与进展等资料。

希望本文集的编辑出版能对这一领域的研究与发展,以及学术交流起到添砖加瓦的作用。我们也殷切地期望读者对本文集的不足和缺点给予批评指正。

郑 捷

一九九五年六月

永定河上游张家口市 水土流失规律与坡地改良利用

目 录

张家口市水土保持试验站简介	赵宏夫 王忠科(1)
---------------------	-------------

降雨特性与入渗规律

张家口市降雨特性分析	王忠科 吴振国(4)
雨滴滴谱量测技术初探	马绍嘉 蔡强国 陆兆熊(11)
编制张家口市降雨侵蚀力 R 值图的研究	赵富梅 赵宏夫(16)
植被及坡度对降雨入渗过程的影响	王忠科(23)
马场沟小流域不同地类入渗规律研究	王忠科 蔡强国(28)

水土流失规律与坡面侵蚀过程

张家口市土壤可蚀性因子 (k) 的试验研究	李全英(35)
马场沟小流域不同土壤的抗蚀性研究	吴淑安 蔡强国 马绍嘉 吴振国 贺 景(38)
雨滴溅蚀量的初步试验研究	王忠科(47)
黄土坡耕地上坡长对径流侵蚀产沙过程的影响	蔡强国 马绍嘉 吴淑安 王忠科 赵宏夫(50)
论坡面侵蚀的临界坡度	靳长兴(59)
地面坡度对坡地水土流失的影响	郭凤祥 王忠科(67)
植被对水土流失影响的试验研究 ...	马绍嘉 蔡强国 吴淑安 王忠科 邵小明(73)
土壤流失量遥感监测中植被因子算式的初步研究	卜兆宏 赵宏夫(81)
黄土区土质路面道路侵蚀试验研究	马绍嘉 蔡强国 吴淑安 王忠科(89)
马场沟小流域土壤速效养分与有机质状况分析	刘雪华 吴淑安 陈皓(94)

水土保持及效益评价

张家口市水土保持的治理成就及对策	王树芳(99)
尚义县水土保持治理对策	卢千林(102)
常家沟流域水土保持调查	蔡士强(105)

浅谈张家口市水保林规划	李素海(108)
水土保持效益评价指标体系的构成及其评价方法	蔡士强(111)
用灰色系统理论对典型流域洪峰流量作灾变预测	蔡士强(115)
永定河流域张家口市历史洪水资料分析	洪笑天(120)

植物资源与旱作农业

张家口马场沟种子植物区系地理研究

..... 邵小明 王 丽 刘雪华 吴淑安 马绍嘉(130)	
马场沟植被及植物开发初探	邵小明 刘雪华 孙国亮 赵英(136)
山地果园节水旱作栽培技术的试验研究	孙国亮(146)
干旱山丘区良种杏栽培试验研究	孙国亮(150)
巨峰葡萄滴灌试验初探	赵英 邵小明(155)
几种牧草蓄水增肥效益初探	孙国亮(159)

坡地改良利用

半干旱区植物活篱笆初步研究	邵小明 赵 英 刘雪华(163)
半干旱山坡小冠花、杨树的栽培管理与效益分析	赵英 邵小明(170)
小冠密植黄太平试验初探	赵英 邵小明(174)
地埂植物篱笆——紫穗槐	孙国亮(178)
柠条植物带的效益分析	李毓祥 韩学仕(182)
等高灌木带是坡耕地治理的重要技术措施	王正秋(190)

试验设备与国际研究进展

小型便携式入渗模拟降雨器	马绍嘉 蔡强国(193)
土壤崩解仪	马绍嘉 吴淑安(196)
水力侵蚀预测技术: 现状与研究需要	蔡强国译(199)
国外热带地区农林复合系统研究的最新进展及成果	靳长兴编译(210)
后 记	(217)

张家口市水土保持试验站简介

赵宏夫 王忠科

(张家口市水土保持试验站)

张家口市位于河北省西北部，地处东经 $113^{\circ}50'$ 至 $116^{\circ}30'$ ，北纬 $39^{\circ}30'$ 至 $42^{\circ}10'$ 之间，总面积 36965km^2 ，其中属永定河流域上游面积有 17662km^2 。由于受自然因素及人为因素的影响，造成植被稀疏，土地瘠薄、沟壑纵横，水土流失极为严重，致使位于京津上游、永定河上的官厅水库（1953 年开始拦蓄洪水）至 60 年代初期淤积量达 6 亿 m^3 ，据统计全市属该流域范围，水土流失年侵蚀模数在 $500\text{t}/\text{km}^2$ 以上的面积达 10490km^2 ，占总面积的 50%，严重的水土流失早已成为制约当地经济发展的一个重要因素。因此在全国第四次水土保持会议后，经国务院批准将永定河上游地区列入全国八大片水土保持重点治理区之一，为了适应永定河上游水土保持工作发展的需要，有必要在该地区尽快恢复建立水土保持试验站（原属省农田水利局直接领导的常家沟水保试验站在“文革”期间被砍掉）。因此当时地区水利局领导根据形势需要，报请上级有关部门申请成立“张家口地区水土保持试验站”，在原地区行署、海河流域委员会、省水利厅、水电部农水司的大力支持下，于 1984 年 3 月 11 日水利电力部以（84）水电计字第 139 号批复下达了正式文件，同意筹备试验站，一次性拨付了 30 万元的建站经费（超支不补），此后原地区水利局领导积极组织落实人员、站址等工作，经多方比较建站方案，最终确立站址位于张家口市桥西区沈家屯镇的马场沟内，并以（84）张水保字第 39 号下达批准于 1984 年 12 月 15 日正式启用“河北省张家口地区水土保持试验站”印章，即此我站正式成立，结合 1993 年地市合并，更名为“河北省张家口市水土保持试验站”。

一、试验站概况

我站地处市郊，距市中心 10km，位于东经 $114^{\circ}50'$ ，北纬 $40^{\circ}47'$ ，占地面积 2335 亩，其中：石质山区占 48%、土石山区占 11%，黄土区占 28%，河道等占 13%，站区内有耕地近 200 亩，经与当地乡村政府协商达成协议，该试验场地租期 50 年，一次性予付当地土地补偿费 10 万元。由于试验场区的地貌、地类等永定河上游具有一定的代表性，因此在此地所做的各项科研工作对当地的治理工作有一定的指导意义。

试验站隶属于当地水利水保局，现有在编人员 12 名，其中技术干部 8 名，工人 4 名，所学专业有农水、水保、林业、财会、司机等。站内设试验股、财务股及办公室。

站内建有简易气象站一处，可观测与水保试验有关的资料；设有土壤常规化验的化验室一个，基本可满足工作需要；引进大型野外模拟降雨设备、溅蚀盘，以及小型降雨入渗仪；站内设有径流试验场一处，其中坡度小区（ $0-30^{\circ}$ ）7 个，坡长小区（5—40m）6 个；封禁流域径流，泥沙观测断面一处；马场沟小流域径流、泥沙观测断面一处；另配有

水平仪, 经纬仪, 小平板, 罗盘仪等测量仪器。

二、开展的试验课题

建站以来, 试验站根据本站人、财、物的实力, 边建设边搞些试验课题, 边学习参观、培训, 边开展工作, 不断提高全站职工的业务水平, 试验课题由浅至深, 由理论研究到应用研究, 逐步步入正轨, 以达到能够指导全市水土保持的目的。

历年来开展的试验项目基本可分为两大类, 即基础理论研究及应用研究。

基础理论研究主要是水土流失规律、入渗规律的研究, 其中包括: ①坡度、坡长对水土流失的影响; ②降雨入渗规律与影响其因素之间的关系; ③雨滴的溅蚀试验; ④降雨侵蚀力因子的计算与应用; ⑤土壤可蚀性因子的计算与应用; ⑥黄土区道路的侵蚀; ⑦张家口地区降雨特性分析等等。

以上这些项目的开展对探索当地水土流失规律、入渗规律及降雨特性有着极其重要的意义。同时这些基础工作的开展对当地的水保治理规划、设计以及决策具有一定的指导作用。

应用研究主要在旱作农业、林业, 优良品种引进, 一些水土保持措施以及坡地改良利用, 面上治理先进典型经验总结等方面做了大量试验总结工作: ①干旱区旱作经济林的栽培丰产试验; ②干旱区速生灌木林的栽培试验; ③各种保水措施的效益比较; ④葡萄的滴灌试验; ⑤6种苜蓿在本站试种的旱作效益对比; ⑥粮草混播, 林粮间作, 粮草轮作试验; ⑦北方植物活篱笆的试验观测; ⑧不同草种的水保效益对比; ⑨面上治理生物工程措施先进经验总结等。

以上项目的开展均获得了较成功的经验及可靠的数据, 尤其在永定河上游张家口市范围内干旱严重、生物成活率低, 而暴涨暴落的降雨又造成严重的水土流失, 除一定的工程措施外, 必须以生物措施与之相配合, 提高生物成活率, 增加蓄水固土能力, 在此基础上提高生物的经济效益, 逐步引进优良品种, 提高产出能力。因此以上课题对指导面上治理有着较为具体的指导作用及实际应用价值。

三、业务培训和合作研究

建站伊始, 人员不配套且对该项业务比较陌生, 为了及早开展工作, 站里采取走出去培训、学习、参观, 请进来有关专家、学者指导站上工作等方法来提高整体业务水平。截止日前全站共有10人次分别赴河北、河南、西北及山西有关科研单位参观学习, 有16人次参加了部、省、地(市)级及大专院校、科研所举办的业务培训, 内容涉及沙棘栽培, 水土保持工程经济, 土壤化验, 站长培训, 人工模拟降雨、外语、会计等等。通过以上外出参观、培训开阔了全站职工的视野, 增长了见识与知识, 学到了许多新的技术及经验, 整体素质有了一定的提高, 对我站各项工作开展起到了极大的推动作用。

由于是新建站, 开展水土保持科研工作经验不足, 且信息不灵, 为了尽快赶上同级试验站的水平, 除以上走出去方法以外, 还要通过各方牵线搭桥, 请有关专家学者到站上考察指导工作, 加强业务往来及横向协作。我站先后与原地区草原研究所、中国科学院地理研究

所、中国科学院南京土壤研究所等单位开展技术协作，分别在苜蓿试种、水上流失规律，野外人工模拟降雨，坡地改良，标桩法测定土壤侵蚀量，通用流失方程中 K、R 因子算法及应用等等方面共同研究探讨，取得了一定的研究成果，并在 1990 年邀请全国水土保持顾问黄秉维院士和加拿大多伦多大学地理系 S.H.Luk (陆兆熊) 教授到站现场指导。

通过请进来的方法增加了信息与技术交流，同时也是技术干部学习提高的最佳方法，使理论与实际操作紧密结合，不失为快出成果的捷径。

四、国家自然科学基金委员会重点资助课题

“中国东部典型区坡地过程及其改良利用”

该项目主要通过分析对比不同区域、不同类型坡地改良措施，探讨中国东部不同区域、不同类型坡地改良的最优模式，分析其推广应用前景，并预测坡地改良对东部地区自然环境（气候、水文、土壤等）和社会经济（粮食生产、农村能源、人口增长）的影响效应。张家口市属暖温带—温带过渡地区，其气候及地类在我国东部具一定代表性，尤其坡地改良在该地区的小流域治理中占有重要的地位，因此在该地进行此课题的研究具有一定理论意义及实际意义。

我站自 1993 年承担此课题的协作任务前 2—3 年，就已在北京地理研究所专家指导下布设了坡长、坡度径流小区及“活篱笆”的观测试验，至今已连续获得 4 年的观测资料。径流小区除天然降雨观测外，1992 年还利用引进的大型野外模拟降雨器在径流区内进行降雨试验，获得了一些较宝贵的资料。另外在试验区内（马场沟流域）对物种资源进行了调查、分析，对不同地类的入渗规律及土壤养分状况等均进行了测试分析，对开展此项课题提供了一定的基础资料及理论依据，为“活篱笆”的布设及试验的顺利进行起到了一定的作用。通过近几年的各方努力工作，课题在站内试验研究工作已取得了阶段性的成果，在今后两年的工作中除继续加强观测、试验工作外，还应逐步完善其中的不足，力争该课题在我站开展的各项工作获得圆满的成功，同时也为当地的坡地改良提供出最佳的模式。

五、今后发展设想

我市的水保治理任务还很艰巨，存在着一定的技术问题需要依靠试验来解决。因此我们必须看到工作中的差距及不足，苦练内功，提高水平，为张家口市的水保治理提供行之有效的科研成果，以加速小流域治理向市场经济迈进的步伐。继续走“走出去，请进来”的路子，加强同上级主管部门的联系，争取项目，搞好同大中专院校及科研单位的横向协作，利用我站试验场地广、地理条件优势及站内人、财、物优势积极引进项目，借我市九五开放，开发年的东风，引进先进技术及设备，以期达到多出成果快出成果，成果及早转化为生产力之目的。同时也要及时总结群众在治理中的成功经验，以便在各地推广应用。此外站内要深化改革，引进激励机制，刻苦钻研业务，稳定并加强科研队伍，相信在局领导，上级有关部门的大力支持及各兄弟科研单位的共同协作下，通过全站职工的艰苦努力，我站的科研水平将不断提高，科研成果将会硕果累累。

张家口市降雨特性分析

王忠科 吴振国

(张家口市水土保持试验站)

摘 要: 降雨是造成土壤侵蚀的重要因素, 因此对其特性的分析很有必要。张家口市水土保持试验站现有较完整的 7 年降雨资料, 结合附近水文站 44 年的降雨资料, 对当地降雨的时空变化、降雨频率、短历时暴雨等进行计算分析, 获得了一定的成果, 对水土保持的规划设计提供了一定的科学依据。

一、单站降雨量统计分析

1. 降雨量年、月变化

张家口市水土保持试验站现有 7 年的单站降雨资料。为了更好的分析降雨规律, 采用距本站 15 华里的水文站——张家口站的降雨资料, 并对两站有资料的年份进行年相关分析, 发现相关系数为 0.88, 故知是可行的。当地多年 (1950—1993 年) 平均降雨量为 403.34mm, 最高年 1959 年为 669.3mm, 最低年 1993 年为 207.75mm, 最高年为最低年的 3 倍 (见图 1), 历年月平均降雨量最高年为最低年的 37 倍 (见图 2), 表现出其差异更大。

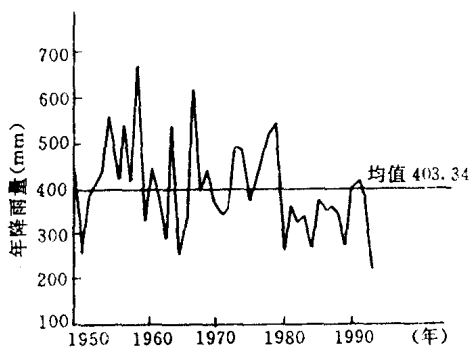


图 1 年降雨量变化图

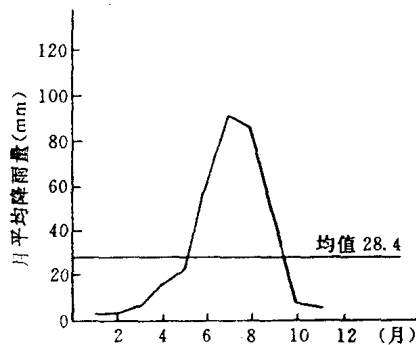


图 2 月平均降雨量变化

降雨量的年、月变化程度通常用相对变率来表示, 见式 (1)、(2)。

$$K = \frac{H_i - \bar{H}}{\bar{H}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{H_i - \bar{H}}{\bar{H}} \right|}{n} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K ——相对变率 (%);
 $\bar{K}$ ——年、月平均相对变率 (%);
 H ——年平均降雨量 (mm);
 H_i ——年降雨量 (mm);
 n ——记录年数。

由 (1)、(2) 式分别求得年际和月际间相对变率, 并绘于图 3 和图 4。从图上可以看出, 年际间相对变率由 1% 到 49%, 月际间的相对变率由 15% 到 218%, 年相对变率平均为 19%, 月相对变率平均为 95%。月平均相对变率是年平均相对变率的 5 倍, 反映本地一年中月降雨量的悬殊特别大。

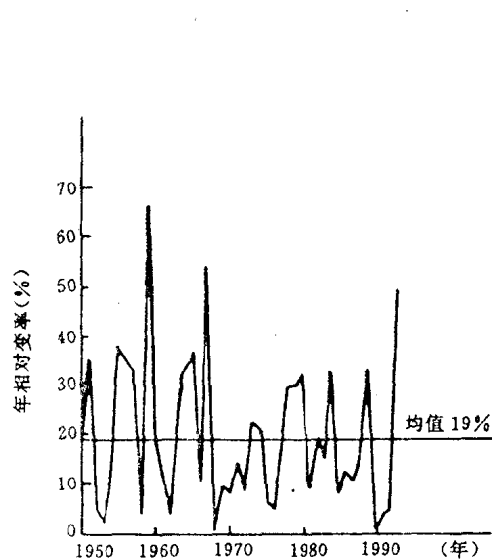


图 3 降雨量年相对变率曲线图

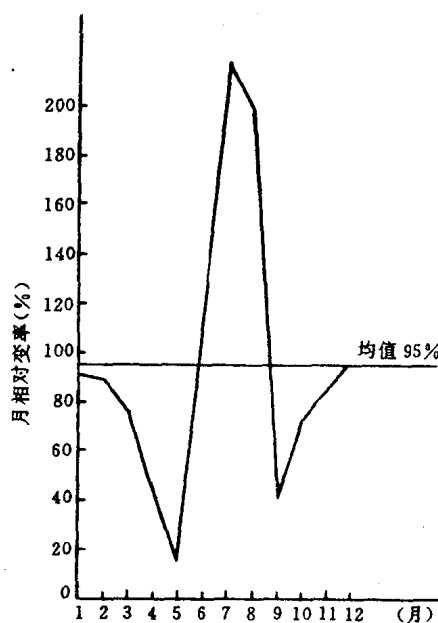


图 4 降雨量月相对变率曲线图

2. 年降雨量频率分析

计算经验频率和变率选用下式:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (3)$$

$$K_i = \frac{H_i}{\bar{H}} \quad (4)$$

式中: p ——经验频率;
 m ——序数;
 n ——记录年数;
 k_i ——变率;
 h_i ——年降雨量 (mm);
 $\bar{H}$ ——平均降雨量 (mm)。

为了推求更大, 更小频率的设计值, 故借助皮尔逊Ⅲ型理论频率曲线作为经验频率曲线外延的依据。首先整理实测资料, 将实测的年降雨量由大到小排列, 编上序号, 并按(3)、(4)式计算频率 p 值和变率 k_p , 列于表1。

表1 经验频率、变率计算表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
经验频率 $P(\%)$	2.2	4.4	6.7	8.9	11.1	13.3	15.6	17.8	20.0	22.2	24.4	26.7	28.9	31.1	33.3	35.6	37.8	40.0
变率(k_i)	1.66	1.54	1.38	1.35	1.34	1.34	1.30	1.23	1.21	1.20	1.19	1.11	1.11	1.10	1.06	1.05	1.04	1.04
序号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
经验频率 $p(\%)$	42.2	44.4	46.7	48.9	51.1	53.3	55.6	57.8	60.0	62.2	64.4	66.7	68.9	71.1	73.3	75.6	77.8	80.0
变率(k_i)	1.02	0.99	0.99	0.96	0.95	0.95	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.89	0.89	0.87	0.86	0.85	0.85	0.81
序号	37	38	39	40	41	42	43	44										
经验频率 $p(\%)$	82.2	84.4	86.7	88.9	91.1	93.3	95.6	97.8										
变率(k_i)	0.80	0.71	0.67	0.67	0.66	0.64	0.63	0.52										

由 k_i 可求出 $k_i - 1$, $(k_i - 1)^2$ 的值。求出 $\sum_{i=1}^{44} (k_i - 1)^2 = 2.6664$ 。再由(5)、(6)式求出变差系数(C_v)和偏差系数(C_s)。

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{44} (K_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{2.6664}{43}} = 0.25 \quad (5)$$

$$\text{并选用 } C_s = 2.5C_v \quad (6)$$

则 $C_s = 0.625$

当 $C_v = 0.25$ 及 $C_s = 0.625$ 时, 查皮尔逊Ⅲ型曲线 K_p 值表求出不同频率的 K_p 值, 乘以均值 $\bar{H} = 403.34$, 得相应各种频率的 H_p 值, 计算结果见表2。

表2 理论频率计算表

频率($P\%$)	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99
K_p	1.79	1.70	1.60	1.45	1.33	1.20	0.97	0.82	0.70	0.64	0.54
H_p	721.97	685.68	645.34	584.84	536.44	484.00	391.24	330.74	282.34	258.14	217.80

由表2中的 P 和 H_p 作出理论频率曲线如图5所示, 将表1中的 P 和 H_i 值点绘在图5上。发现理论频率曲线与经验频率曲线点据配合较好, 即选用 $C_s = 2.5C_v$ 是合适的。理论频率曲线纵坐标值的误差用下式:

$$\delta H_p (\text{绝对}) = \frac{C_v \bar{H}}{\sqrt{n}} \times B = \frac{0.25 \times 403.34}{\sqrt{44}} \times B = 15.20B \quad (7)$$

$$\delta H_p (\text{绝对}) = \frac{C_v}{K_p \sqrt{n}} \times B \times 100\% \quad (8)$$

式中 B 为 C_v 和 P 的函数。

当 $C_v = 2.5C_v$ 时, 不同 P 值有相对应的 B 值, 计算结果见表 3。

表 3 不同频率 P 值所对应的 B 值

P %	0.5	1	5	10
B	5.0	4.3	2.3	1.9
δH_p (绝对)	76.00	65.36	34.96	28.88
δH_p (相对)	10.53	9.53	5.98	5.38

从表 3 的结果可以看出极大值误差为 10.5%, 由此可见, 所绘经验频率曲线是合适的。

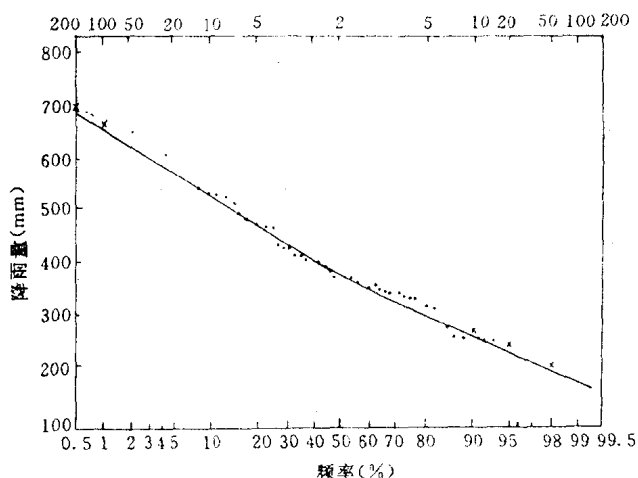


图 5 频率曲线图

借助以上的频率分析, 当年降雨量的变差系数 $C_v = 0.25$, 偏差系数 $C_s = 2.5C_v = 0.625$ 时, 可以求得本地不同频率的年降雨量值列于表 4。

表 4 不同频率的年降雨量

重现期(α)	200	100	50	20	10	5	2	4	10	20	50
降雨量(mm)	721.97	685.68	645.34	584.84	536.44	484.00	391.24	330.74	282.74	258.14	217.80
备 注	丰水年						平水年	枯水年			

借助表 4 的成果可以判断实测资料的降雨量重现期, 如 1959 年的降雨量为 669.3mm, 相当于 100 年一遇的丰水年; 1993 年的降雨量为 207.75, 相当于 50 年一遇的枯水年。

二、短历时暴雨分析

根据张家口市水土保持试验站气象观测站 7 年 (1987—1993 年) 单站自记雨量计记录资料进行短历时暴雨分析。首先在自计雨量累积曲线上选取各次不同时段最大暴雨量。统计时段取 5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、60、70、80、90、100、110、120、240min, 并换算成降雨强度 (mm/min), 然后按规定的暴雨标准 (表 5) 进行选择统计, 并找出不同强度的暴雨在各种历时下所出现的次数, 最后把上述统计出来的成果

点绘在图 6 中。

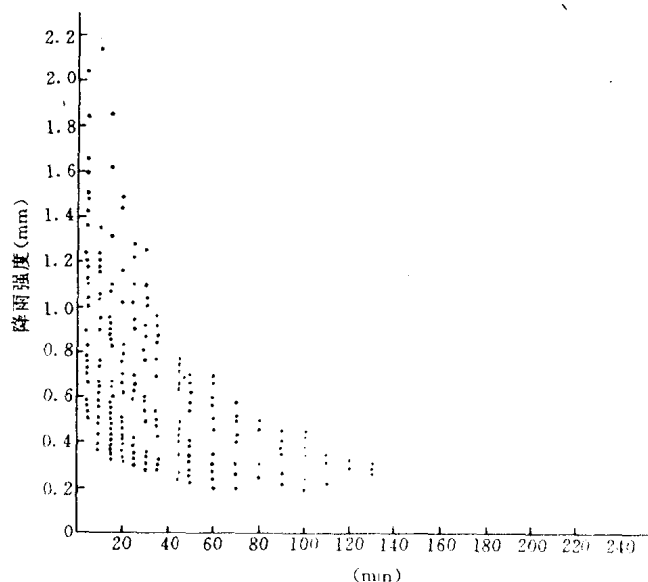


图 6 7 年中不同历时不同强度的暴雨出现次数

表 5 暴雨标准 (选用黄土高原暴雨标准)

历时(min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
降雨强度(mm/min)	0.50	0.38	0.33	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22
历时(min)	60	70	80	90	100	110	120	240	720	1440
降雨强度(mm/min)	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.11	0.063	0.042

由图 6 看出, 降雨强度与历时间有着较好的负相关关系。点群基本上分布在 130min 以内和 0.2mm/min 强度以上的区域内。强度大于 0.3mm/min 历时小于 60min 的降雨点占总点数的 80% 左右。可见当地一般暴雨历时均在 2h 以下, 这种短历时大强度的暴雨极易造成水土流失。

在图 6 中以某一强度作下限, 统计各种历时长内等于或大于某强度的暴雨出现次数, 并除以观测年数, 即得频率 (次/年)。如当历时 100min, 强度大于或等于 0.2mm/min 的暴雨 7 年中出现 4 次, 其频率为 $4/7=0.57$ 次/年, 按上述的方法求出各不同强度范围内, 不同历时的暴雨出现次数及其频率。把所统计的成果列于表 6。并由表 6 点绘频率、强度、历时相关图 7。自图 7 的纵坐标某一频率引一条水平线, 读出此水平线与各条强度相交下的历时, 即得出该频率下不同强度的相应历时, 然后分别查出频率为 1%, 2%, 4%, 5%, 10%, 20% 各强度的相应历时, 填入表 7, 并通过表 7 绘出图 8。

表 6 暴雨历时、频率、强度计算表

历 时 频 率 强 度	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130
>0.20	8.00	8.00	6.43	5.43	3.86	3.28	2.57	2.57	2.28	2.00	1.57	1.00	0.86	0.86	0.71	0.43	0.29	0.29
>0.25	8.00	8.00	6.43	5.43	3.86	3.28	2.57	2.43	2.14	1.43	1.14	1.00	0.71	0.71	0.43	0.29	0.29	0.29
>0.30	8.00	8.00	6.43	5.43	3.86	2.57	2.00	1.71	1.43	1.29	1.00	0.86	0.57	0.57	0.43	0.29	0.14	0.14
>0.40	8.00	6.86	5.14	3.43	2.00	1.57	1.43	1.43	1.14	0.86	0.71	0.71	0.43	0.43	0.14			
>0.50	8.00	5.29	3.57	2.43	1.71	1.29	1.14	0.86	0.86	0.71	0.57	0.43	0.14					
>0.60	6.43	4.57	2.71	2.00	1.57	1.00	0.86	0.86	0.71	0.43	0.14							
>0.70	5.29	2.86	2.00	1.57	0.86	0.86	0.71	0.57	0.57	0.14								
>0.80	4.30	2.14	2.00	1.00	0.86	0.71	0.57	0.43										
>1.00	3.43	1.43	0.86	0.86	0.57	0.29												
>1.20	2.14	0.86	0.57	0.29	0.29													

表 7 暴雨强度、历时、重现期计算表

强 度 历 时 重 现 期	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20
100				108	100	73	60	54	47	34
50				107	98	71	58	53	46	32
25				106	97	70	56	52	45	31
20				105	95	68	55	51	44	30
10			132	102	90	64	54	50	41	28
5	148	138	117	95	82	59	51	48	30	24

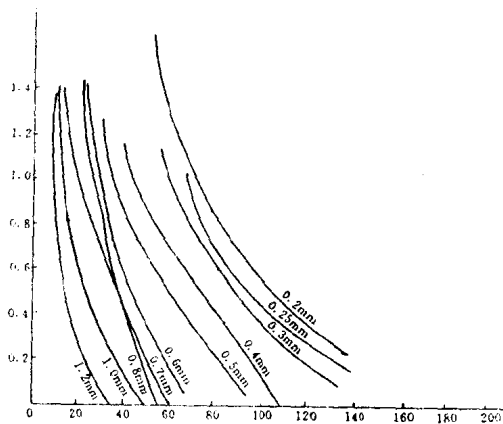


图 7 暴雨频率、强度历时相关图

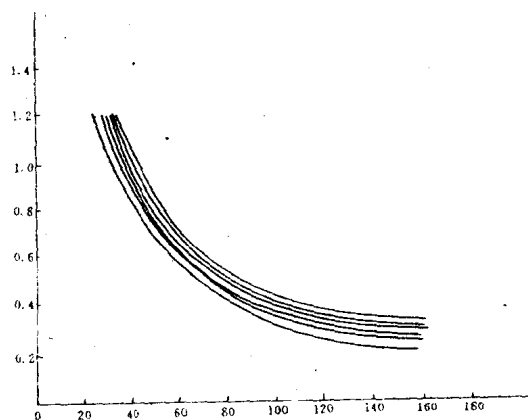


图 8 暴雨强度、重现期、历时相关图