

坡耕地水土保持

POGENDI SHUITU BAOCHI
LILUN YU JISHU YANJIU

理论与技术研究

魏永霞 张忠学 赵雨森 编著

 中国农业出版社

坡耕地水土保持理论与 技术研究

魏永霞 张忠学 赵雨森 编著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

坡耕地水土保持理论与技术研究/魏永霞, 张忠学,
赵雨森编著. —北京: 中国农业出版社, 2010.3
ISBN 978-7-109-14426-2

I. ①坡… II. ①魏… ②张… ③赵… III. ①山坡地
: 耕地-水土保持-研究-黑龙江省 IV. ①S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 034205 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 闫保荣

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 8.75

字数: 230 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 25.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

随着社会经济的发展,人类活动的加剧,水土资源环境问题日益突出,水土保持理论与技术成为了当今世界性的研究课题。据统计,目前全国共有坡耕地 2 393 万 hm^2 , 年均土壤侵蚀量近 15 亿 t, 土壤流失量约占全国土壤流失量的 30%。东北地区总土地面积 12 380 万 hm^2 , 耕地面积 2 140 万 hm^2 , 其中坡耕地约为 856 万 hm^2 , 大多数的坡耕地都存在不同程度的水土流失。黑龙江省位于东北黑土区, 为国家主要的商品粮生产基地, 耕地水土流失面积(主要是坡耕地)占全省水土流失面积的 50%。可见, 坡耕地已成为水土流失的主要策源地, 制约着区域经济社会的可持续发展和群众生产生活水平的提高。

早在 2005 年, 根据我国面临的发展经济和保护环境的双重任务, 把资源的永续利用和良好的生态环境作为科学发展的核心, 并把保护好人类赖以生存与发展的自然环境与自然资源, 防治污染和生态破坏作为基本国策。为了对东北黑土区的水土流失现状进行更全面科学系统的分析, 水利部、中国科学院、中国工程院联合开展了由国内水土保持生态建设及其他相关领域跨学科、跨部门的著名专家、学者组成的对水土流失与生态安全进行科学考察。考察的结果表明, “黑土层每年平均剥蚀 0.3~1cm”、“按目前水土流失速度, 黑土层将在 40~50 年内全部被剥蚀”, 东北粮仓的黑土地, “已经到了抢救的阶段了”。2009 年 7 月 20—21 日水利部水利水电规划设计总院在北京组织召开了《全国坡耕地水土流失综合整治工程规划》审查会议。与会专家充分肯定了开展全国坡耕地水土流失综合整治工程规划的必要性, 进一步明确了坡

耕地综合整治的总体思路、发展目标、主要任务。东北黑土区作为国家主要的粮食生产基地,坡耕地的治理已迫在眉睫。

该地区除了水土流失外,在水资源方面 also 存在着巨大的危机。按照国际上界定的可能发生水资源危机的用水标准,北方半干旱地区为我国水资源紧缺地区的重中之重。水资源短缺加之气候干旱和水土流失的双重作用,致使该地区农业用水更加紧张。因此,我国半干旱地区农业水土资源合理利用的原则应该是资源的有效保持和高效利用并重,抗旱节水与水土保持相结合,实现区域水土资源的可持续利用。

近年来,编者针对黑龙江省西部地区的干旱和水土流失问题进行了多项研究。例如:“十五”期间的国家“863”计划农业节水项目“东北半干旱抗旱灌溉区节水农业综合技术集成与示范”;“十一五”期间的国家科技支撑计划项目“黑龙江半干旱区粮食作物综合节水技术与示范”和黑龙江省科技攻关项目“坡耕地农田生态系统水分转化规律与水土保持技术研究”等。本书以总结研究成果为目的,以论述和揭示黑龙江省西部坡耕地水土保持技术、机理和模式为主线,对相关的研究成果进行系统的整理与分析,以期为黑龙江省西部以及同类地区坡耕地的干旱与水土流失治理提供参考。

本书第二章由马亚平编写,第四章第一节、第二节的一至三部分由卫喜国编写,第八章由宋族鑫编写,第九章由张忠学、花卫东编写,其余章节由魏永霞、赵雨森编写,全书由魏永霞统稿。本书的出版得到了国家科技支撑计划项目、黑龙江省科技攻关项目、东北农业大学科技创新团队计划项目的资助,在此一并表示衷心的感谢。

本书引用了许多学者和同行专家的文献,在此表示诚挚的敬意,其中难免有疏漏和不妥之处,敬请谅解。由于编者水平和研究时间的限制,书中错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者

2010年1月

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 坡耕地水土保持的战略地位	1
第二节 坡耕地水土保持理论与技术研究进展	6
第三节 研究区的自然地理条件	40
第二章 黑龙江西部坡耕地土壤水文物理参数及空间变异	44
第一节 坡耕地土壤水分特征曲线	45
第二节 坡耕地土壤水分扩散率	53
第三节 坡耕地土壤非饱和导水率	59
第四节 坡耕地土壤物理参数的空间变异规律	64
第三章 黑龙江西部坡耕地降雨径流特征及其模拟	79
第一节 天然降雨条件下的地表径流特征	80
第二节 人工降雨条件下的地表径流特征	86
第三节 地表径流的数值模拟	90
第四章 黑龙江西部坡耕地土壤水分入渗特征及其模拟	103
第一节 有压入渗与无压入渗	103
第二节 坡耕地入渗的影响因素	108
第三节 降雨入渗过程模拟	118

第五章 黑龙江西部坡耕地土壤水再分布特征及其模拟	124
第一节 不同耕作措施的土壤水再分布	124
第二节 土壤水再分布过程的数值模拟	133
第六章 黑龙江西部坡耕地土壤储水量动态变化及水量平衡	149
第一节 不同耕作措施的土壤储水量动态变化	149
第二节 不同耕作措施的水量平衡分析	159
第七章 黑龙江西部坡耕地土壤侵蚀特征及其模拟	162
第一节 土壤侵蚀量及其时程分布	162
第二节 天然降雨条件下的土壤侵蚀特征	164
第三节 人工降雨条件下的土壤侵蚀特征	167
第四节 土壤侵蚀模拟	170
第八章 黑龙江西部坡耕地水土保持耕作技术模式	189
第一节 不同水土保持耕作技术模式的大豆生长动态	189
第二节 不同水土保持耕作技术模式的大豆生理指标	197
第三节 不同水土保持耕作技术模式的大豆产量 及其构成要素	210
第四节 不同水土保持耕作技术模式的大豆净产值	216
第五节 不同水土保持耕作技术模式的 大豆水分利用效率	220
第六节 基于熵权系数法的坡耕地水土保持耕作 技术模式综合评价	223
第九章 坡耕地局部打破犁底层的水土效应	228
第一节 次天然降雨条件下局部打破犁底层对土壤水分、 产流及产沙的影响	230

第二节	人工降雨条件下局部打破犁底层对土壤水分、 产流及产沙的影响	233
第三节	有压入渗与无压入渗	235
第四节	局部打破犁底层的降雨利用与产量效应	244
参考文献		249

第一章 概 论

第一节 坡耕地水土保持的战略地位

一、我国耕地水土流失现状

水土资源是人类赖以生存和发展的基本要素。目前水资源短缺及土地资源的退化已成为了农业生产发展的主要制约因素，尤其在我国表现得更为突出。据统计，世界上约有 1/3 的可耕地处于供水不足的状态，严重阻碍着这些地区农业生产的发展。水问题已成为世界性密切关注的问题。

我国是农业大国，现有耕地面积 12 171.6 万 hm^2 ，其中坡耕地 2 393 万 hm^2 。坡耕地年均土壤侵蚀量近 15 亿 t，约占全国土壤流失总量的 30%。从水资源来看，总量虽然不少，但人均及耕地亩均占有量较低，居世界的 110 位，是世界上人均占有水资源最贫乏的 13 个国家之一，且时空分布极不均衡，致使旱涝灾害频繁、生态环境恶化。特别是 1999 年以来的连续干旱，造成北方地区大面积缺水，干旱缺水已成为我国北方地区的主要自然灾害，制约着耕地的面积和作物的单产。

我国东北黑土区为我国主要的粮食生产基地，总土地面积 12 380 万 hm^2 ，耕地面积 2 140 万 hm^2 ，其中坡耕地面积为 1 280 万 hm^2 ，占耕地总面积的 60%，坡度多为 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，坡长为 500~2 000m，是产生水土流失的主要源地。本区属温带半湿润大陆性季风气候区，降水集中，夏季降水占全年降水量的 90%左右，降雨强度大，极易产生地表径流，造成水土流失。据王效科等的研究，黑土区处于中国水土流失敏感地段，是中国水土流失较严重的地区之一。由于多年来的自然侵蚀和过渡的人为开垦，黑土

严重退化,水土流失问题日趋严重。严重的水土流失特别是坡耕地的水土流失,其面积占黑土区水土流失总面积的 80.3%,对土地资源的破坏很大,直接影响到农业生产的可持续发展。同时导致生态环境日趋恶化,造成旱灾、涝灾、风灾、冷灾和冰雹等自然灾害频繁发生,不但周期越来越短,而且受灾面积也越来越大,给国民经济和人民生命财产造成巨大损失。据最新统计,东北黑土区水土流失面积已达 2 759 万 hm^2 , 占总面积的 21.7%,黑土层厚度由开垦初期的平均 60~70cm 下降到目前的 20~30cm,有的地方甚至土壤母质裸露,基本丧失了生产能力。该区由于长期广种薄收、顺坡耕种、掠夺式经营、重用轻养、种植结构单一,使土壤有机质含量明显降低,土地生产力大幅度下降。肥沃的黑土地正经受着水土流失的无情摧残,如不加以有效遏制,东北将成为第二个黄土高原,以至于人们担心东北黑土区的黑土层在今后 50 年内消失。本区严重的水土流失正在流失着作为国家重要商品粮基地的黑土基础,也正在流失着人类赖以生存的基础,已经严重制约了经济和农业生产的发展,威胁着中国的粮食安全。黑土地已经向我们亮出了“黄牌”。

黑龙江省位于东北黑土区内,土地开发已有 100 多年,由于历史上重开发、轻保护,使黑土资源在自然和人为双重因素作用下流失严重。据统计,2000 年,全省水土流失面积已达 1 340 万 hm^2 ,其中耕地水土流失面积 670 万 hm^2 ,占 50%;其中 40%耕地水土流失严重。松嫩平原水土流失面积 199 万 hm^2 ,其中荒山荒坡流失面积 35 万 hm^2 ;耕地流失面积 164 万 hm^2 ,占总耕地面积的 29%;风蚀面积 75 万 hm^2 。松嫩平原东部水土流失最为严重,区内地势开阔,漫川漫岗,坡缓坡长。坡度一般在 5° 以下,坡长一般为 500~600m,最大坡长 1 000m。三江平原水土流失面积达 70 万 hm^2 ,其中耕地 30 万 hm^2 。牡丹江流域水土流失面积 50.7 万 hm^2 ,其中坡耕地流失面积 34.5 万 hm^2 ,占耕地总面积的 78.4%;林荒地流失面积 15.4 万 hm^2 ,占林荒

地总面积的 7.6%。主要土壤侵蚀类型为水力侵蚀, 占总侵蚀面积的 78%。与此同时, 由于干旱少雨, 旱助风威, 风蚀面积正在扩大, 蒸发强烈, 干旱灾害十分严重。全省黑土区坡耕地每年流失 6~7mm 厚的表层, 年土壤流失量 2~3 亿 m^3 , 共有 104.7 万 hm^2 坡耕地由于水土流失表层黑土流失殆尽。有限的黑土层下面是黄土状成土母质, 其基本失去了生产能力。水土流失使土壤的物理性黏粒增多, 使土壤由重壤土变成了轻黏土, 蓄渗水的能力大大降低。旱时僵硬, 涝时朽黏, 供肥能力减弱。据黑龙江省农业科学研究院观测, 开垦 40 年比开垦 5 年 0~25cm 表土层中, 土壤水稳团粒结构破坏率增加 14.26%~19.95%, 砂粒增加 1.7%, 土壤容重增加 $0.232\text{g}/\text{cm}^3$, 总孔隙度降低 8.9%, 田间持水量下降 4.5%~6.9%。

二、黑龙江省坡耕地水土保持的战略地位

(一) 是推进千亿斤粮食产能工程建设、保障国家粮食安全的重大战略

中国是占世界人口 1/5 的大国, 粮食需求基数大, 确保 21 世纪的粮食安全是中国政府对全世界的庄严承诺。据预测, 到 2030 年我国的粮食总需求量将达到 7 000 亿 kg 左右, 粮食综合生产能力应达到 6 600 亿 kg 左右。

黑龙江省作为中国最主要的农业基地, 耕地总面积和人均占有量居全国首位, 种植面积占全国种植总面积的 1/10, 粮食商品量、仓储量均居全国第一, 在保障中国未来粮食安全和经济社会健康发展方面的特殊地位不可替代。2008 年, 黑龙江省政府通过了《黑龙江省 500 亿 kg 粮食生产能力战略工程规划》, 目标是到 2012 年粮食生产能力达到 500 亿 kg, 商品粮达到 400 亿 kg。但目前的粮食产量与该目标尚有一定差距, 1996—1999 年, 全省粮食总产量分别达到了 305 亿 kg、310 亿 kg、300.8 亿 kg 和 307.4 亿 kg, 但 2000—2003 年, 粮食总产有所降低, 分别为

254.5 亿 kg、265.4 亿 kg、294 亿 kg 和 251.2 亿 kg，2003 年降低到了 1997 年以来的历史最低纪录，2007 年又达到了 396 亿 kg。分析粮食产量不稳的主要原因，一是受天然降水的影响较大，土壤水调控能力低，使得近年来的干旱少雨造成了农业用水不足；二是缺乏健全的农田水利基础设施和行之有效的农业综合技术；三是区域水土资源的不合理利用造成的水土流失与农业生态环境的恶化；四是缺乏科学的农业综合技术推广应用的管理体制和运行机制。

由于我国城市化和工业化的快速发展，依靠扩大耕地面积保证未来粮食生产能力的增长已经不太可能。因此，要增加粮食生产能力，建立持续稳定的粮食生产基地，保障国家粮食安全，必须实施坡耕地水土保持战略，改善现有耕地的水土资源条件，提高土地生产力。

(二) 是拯救黑土地，改善区域生态环境、实现可持续发展的根本战略

东北黑土区为世界上仅有的三大黑土带之一，占全球黑土面积约五分之一。如前所述，黑龙江省水土流失严重，其中耕地水土流失面积所占比重较大，并且多发生在以旱作农业为主的松嫩平原，由于本区多风少雨，雨期集中等自然条件及人类活动的综合影响，生态环境日益恶化，严重的干旱和土壤侵蚀并存是其主要的灾害特征，不仅制约了农业的发展，而且也引发了严重的生态环境问题和社会问题，已经逐步演变为国民经济可持续发展的瓶颈，将直接危害农业系统的生产力和稳定性，同时也对国家的生态安全造成影响。

早在 2005 年，根据我国面临的发展经济和保护环境的双重任务，把资源的永续利用和良好的生态环境作为科学发展的核心，并把保护好人类赖以生存与发展的自然环境与自然资源，防治污染和生态破坏作为基本国策。为了对东北黑土区的水土流失现状进行更全面科学系统的分析，水利部、中国科学院、中国工

程院联合开展了由国内水土保持生态建设及其他相关领域跨学科、跨部门的著名专家、学者组成的对水土流失与生态安全进行了科学考察。考察的结果表明,“按目前水土流失速度,黑土层将在 40~50 年内全部被剥蚀”,“东北黑土区将变成第二个黄土高原”,东北粮仓的黑土地,“已经到了抢救的阶段了”。专家判断:东北黑土区已成为我国主要商品粮基地中土壤侵蚀严重的地区,正在悄悄丧失其作为商品粮基地的黑土基础,对我国粮食生产具有举足轻重作用的“北大仓”有可能退化成为不可逆转、名副其实的“北大荒”。2009 年 7 月 20~21 日水利部水利水电规划设计总院在北京组织召开了《全国坡耕地水土流失综合整治工程规划》审查会议。与会专家充分肯定了开展全国坡耕地水土流失综合整治工程规划的必要性,进一步明确了坡耕地综合整治的总体思路、发展目标、主要任务。东北黑土区作为国家主要的粮食生产基地,坡耕地的治理已迫在眉睫,它是水土保持工作的难点,也是重点。因此,黑土区坡耕地水土保持对拯救黑土地,改善生态环境意义重大。

(三) 是缓解农业用水矛盾,促进农业水资源可持续利用的重要措施

黑龙江省水资源总量约为 810 亿 m^3 , 人均占有量为 2 185 m^3 , 低于全国平均水平; 耕地亩均占有量为 460 m^3 , 仅相当于全国平均水平的 23%。作为农业大省的黑龙江省, 其农业用水量约占总用水量的 70%, 水资源的匮乏已经成为其经济发展的主要制约因素之一, 尤其是对农业起着决定性的制约作用, 农业生产将面临严峻的水危机。随着国家振兴东北老工业基地战略的实施, 社会经济快速发展, 农业用水正逐步被工业和生活用水、生态需水挤占, 农业缺水的问题愈来愈突出。耕地的水土流失导致了土壤有机质、土壤微生物和土壤矿物质等植物生长所必需的物质减少, 并造成了土壤耕性、结构性等的破坏, 降低了土壤的生产能力和作物的水分利用率及水分生产率, 从而加剧了

干旱对农业生产的威胁。2007 年黑龙江省出现了遍布全省的百年不遇特大旱灾,受旱面积达 647 万 hm^2 , 占全省耕地面积的 55%。水土保持措施可提高土壤入渗能力,减少径流,提高土壤含水量,增加“土壤水库”库容,为作物特别是旱地作物生产提供了基本水源。因此,水土保持可通过保水、保土和改善农业生产土壤环境,提高农田的综合抗旱能力,促进农业水资源的可持续利用。

第二节 坡耕地水土保持理论与技术研究进展

坡耕地水土保持耕作技术可以改变农田的下垫面条件,从而对农田水分转化产生直接影响,进而达到节水增产的目的。本研究以水土保持耕作为前提,研究不同的耕作措施条件下的坡耕地水分转化与土壤水蚀特征,以及水土保持耕作技术的节水增产效应,最终提出适合于研究区的水土保持耕作技术模式。坡地水分转化,包括入渗、产流、土壤水分再分布、蒸发蒸腾以及排水等过程,降雨入渗是土壤水分的主要来源,而入渗后的再分布过程则决定着不同时间和不同深度土壤保持的水量,直接影响植物的水分收支。就黑龙江省西部半干旱区而言,其深厚的土壤通气层和降雨时空分布特点决定了超渗产流为本地区主要的产流方式,其水分转化环节主要是地表径流、入渗、土壤水分再分布及蒸散发。国内外学者对上述几方面进行了大量的研究工作。以下主要在土壤特性的空间变异、水土保持耕作、降雨入渗产流、土壤水分再分布、土壤侵蚀及相关的模拟等方面概述其国内外研究动态及发展趋势。

一、土壤特性的空间变异

土壤特性的田间高度变异性,历来是土壤物理学田间研究主要困难之一。因此,研究土壤特性的空间变异性能促进土壤学定

量和动态研究的深入和许多新技术的实际应用。起初对土壤空间变异的研究主要限于定性描述，在很多情况下无法确切认识土壤特性的空间分布，后来，土壤学家利用 Fisher (1925) 所创立的传统统计方法对土壤性状的空间分布作了定量描述，它不考虑测定参数与测定地点之间的空间关系，利用统计学参数，对某区域土壤的某些特性变异程度给出解释。不可否认，该方法在土壤空间变异的研究方面取得了很大的成功，但随着对土壤特性研究的不断深入，人们发现土壤的许多参数并非是独立的，而具有一定的相关性，这说明传统的统计方法已不能对土壤空间变异给出充分的解释，这就需要寻求一种新的方法来对土壤的空间变异给出更加科学的解释。

研究土壤特性空间变异规律的方法很多，除了传统的统计方法，运用较多的还有谱函数、人工神经网络模型、分形理论和随机过程建模描述相应的成分等。但自 20 世纪 70 年代地统计学经 Campbell、Burgess、Webster 等引入到土壤学以来，便显示了强大功能，推动着土壤特性空间变异理论和实践指导作用不断向前发展，成为这一领域最重要的研究方法，国内外学者已经对土壤属性的空间变异性开展了大量的研究。

在认识到土壤特性是一种区域化变量，同时具有地质结构特性和统计学的随机特性基础上，Burgess 与 Webster 等进行了较为成功的探索，推动了土壤特性空间变异性的研究。美国也陆续将地统计学理论应用于土壤调查、制图及土壤变异性的研究中。国外对土壤特性空间变异的研究已由估值走向模拟，用地统计学和 GIS 等来处理一些新的问题，如模拟土壤特性、土壤中污染物浓度等的时空变化过程。研究的重点集中在半方差模型的建立和选取什么插值法则来对未知点进行估值。

1978 年 J. B. Campbell 首先采用地统计学方法研究了两个土壤制图单元中砂粒含量和 pH 值的空间变异。Burgess (1980) 等在分析土壤特性空间变异规律的基础上，开始了新的预测和模

拟。Vieira (1981) 用半变异函数和精确 Kriging 法绘制土壤图, 并研究水分运动的空间特性。Yost 等 (1982) 用半方差函数分析了夏威夷岛土壤 Ca、Mg、K、Si 和 P 的空间变异程度, 并比较了吸附磷的克立格插值与样条插值的效果, 说明克立格法能提供更可靠的等值线图; Samar 等 (1988) 用点克立格和块克立格估计并绘制了含钠土壤中钠吸附比的等值线图; Smettem (1987) 对一个具有质地层次变化的土壤水分入渗参数的空间变异情况进行了研究。Dirk 等用地统计学方法得到除土壤黏粒外各种土壤化学性状都有相似规律的结论, 并模拟出土壤电导率最优采样间距的空间预测模型。Schlesinger (1996) 用地统计学方法研究半干旱地区土壤养分和水分资源空间分布异值性与土地退化的关系, Tsega (1998) 通过研究认为精耕细作能够影响土壤物理属性的空间变异性, 进而影响取样间距的大小。M. Herbst (2004) 结合地统计学模拟和实测模拟对小尺度集水区的土壤水分空间变异进行了研究。结果表明两种方法的模拟结果由于研究尺度存在差异, 不具有可比性。Buttafuoco (2005) 运用多变量地统计学分析了土壤水分的时空变异结构。Comegna 等 (1993) 对意大利 Naples 的火山灰土的水分状况时空变异特性点从一个 50m 的线段上进行了系统分析, Reichard 等 (1993) 对巴西圣保罗附近的一个热带红色石灰土的水分时空变异特性做了研究, Ragab 等研究了不同土地利用条件下非饱和带水分转化参数的变异特性, Mulla 在 660m 长的切面上研究了土壤水分含量、基质势和导水率的空间分布特征, Smettem (1987) 研究了一个具有地质层次变化 (壤/黏) 的土壤水分入渗参数的空间变异性, 最近几年, 国外的研究已更多地转向土壤化学特性和生物特性上。

80 年代, 我国学者也开始了土壤、水资源系统中参数的空间变异研究, 虽然起步较晚, 却也取得了长足进展。目前, 其研究主要集中于土壤水分 (包括饱和导水率、渗透率)、机械组成、容重等方面, 从现有的资料看, 研究方向由纯粹的土壤特性空间

变异研究逐渐向应用研究成果转移。1985 年雷志栋等应用地统计学对土壤的颗粒组成、干容重、土壤水吸力、含水量和饱和导水率的空间变异性进行了分析,得出了个变量的合理取样数;用克里格插值法进行了土壤黏粒含量的插值,并与一般线性内插进行比较,得出克里格内插法精度较高,并且可以得出估值的方差。李子忠、龚元石用传统统计学和地统计学做比较,对农田土壤含水量和电导率的采样数进行了分析,得出用地统计学确定的合理采样数比传统统计学高出 6~8 倍,大大地提高了效率。由于在农田灌溉管理决策中,利用中子仪监测土壤水分时,中子仪观测管的个数、间距及具体的位置对灌溉决策的精度有重要的影响。李毅等根据有代表意义的田间持水量值进行空间变异分析,确定了合理的埋设观测管的数量和间距,这对于农田节水过程中动态监测土壤水分状况是十分必要和可行的。周慧珍(1996)等对红黏土湿度和表层色调进行半方差拟合;李毅等(1999)研究了膜上灌土壤水分特性的空间变异性,得出合理取样数目应不大于 40。刘付程等(2003)运用地统计学和 GIS 方法,分析了苏南典型地区耕层土壤颗粒的空间变异特征,结果表明砂粒和粉粒的空间相关距离达到 243km,粘粒也达到 51km;不同粒径土壤颗粒有结构性因素引起的空间变异达到 70%以上,反映了土壤颗粒在研究区内具有较强的空间自相关性;徐英等(2004)认为尺度的划分和选取与土壤水分大小有密切关系,尺度效应的研究对于指导农业技术研究中野外采样系统设计、节省外业调查工作量及科学地进行内业计算、评估和揭示农业工程中具有地学特征的区域性自然规律有重要作用。苏永中等(2004)研究了科尔沁沙地旱作农业 300m×90m 尺度下,0~10cm 土层土壤理化性状的沙漠化演变及其空间变异特征,结果表明表层土壤粗粒化、持水性能和孔隙分布的恶化以及土壤养分的贫瘠化演变表征了农田沙漠化的发生和发展。吕军等(1990)对 127m×71m 范围内水稻土物理性质(粉粒、黏粒、团聚体和有机质)的空间变异性做