

中国科学院黄淮海平原综合治理研究 (1986-1990)

黑龙港地区综合治理与 农业资源开发利用

田济马 黄荣金 吕富保 主编



科学出版社

中国科学院黄淮海平原综合治理研究 (1986—1990)

编辑委员会名单

主 任 王天铎

副主任 王毓云 王遵亲 余之祥 罗焕炎

委 员 (以姓氏笔画为序)

王天铎 王恢鹏 王毓云 王遵亲

王 燕 由懋正 田魁祥 许越先

余之祥 李松华 吴长惠 罗焕炎

周明枏 俞仁培 姚培元 黄荣金

程维新 傅积平

中国科学院黄淮海平原综合治理研究 (1986—1990)

目 录

专 著

洼地整治与环境生态

豫北平原旱涝盐碱综合治理

区域农业与缺水盐渍区综合治理

淮北地区综合治理与农业开发

海河低平原水土资源与农业发展研究

资源配置理论与农业发展

论文集

河间浅平洼地综合治理配套技术研究

土壤培肥与农业环境生态研究

土壤盐化、碱化的监测与防治

豫北平原渔业发展与渔业生态研究

近滨海缺水盐渍区综合治理技术研究

淮北地区水土资源开发与治理研究

黑龙港地区综合治理与农业资源开发利用

黄淮海平原用水问题研究

序

黄淮海平原是我国最大的冲积平原，也是我国政治、经济和文化的中心区域，其范围包括北京、天津、河北、山东、河南、安徽、江苏五省二市的316个县（市），总面积35万平方公里，人口近2亿，耕地1800万公顷。

黄淮海平原地处暖温带，雨热同期，地势平坦，土层深厚，自然条件比较优越，是我国重要农业区域之一。据1987年统计，粮食和棉花产量分别占全国总产量的20%和57%，油料和肉类产量分别占17%和14%。因此，黄淮海平原农业生产状况和发展速度，对全国农业和国民经济发展有着重要的影响。区域内交通便利，工业发达，劳动力充足，农业生产发展潜力很大。但是，由于受季风气候的影响，降水时空变率大，旱涝盐碱和风沙等自然灾害依然是阻碍农业生产稳定发展的关键因素。

新中国成立后，党和政府十分重视黄淮海平原的治理工作。先后对海河、黄河、淮河进行了大规模整治，60年代列为全国十大农业综合试验区之一，“六五”、“七五”期间又将中低产地区综合治理纳入国家科技攻关计划。经多部门、多学科联合攻关，不仅查清了该区自然资源数量与分布状况，阐明了旱涝盐碱成因与发生规律，而且提出了中低产田综合治理的配套技术，同时进行了大面积推广，取得了明显的经济、生态、社会效益，为黄淮海平原农业综合开发奠定了良好的基础。

黄淮海平原农业生产条件发生了巨大的变化。但是，目前尚存在不少问题，依然影响着农业生产潜力的发挥。这些问题主要是：中低产田占耕地一半左右，限制了农业稳定发展；旱涝、盐碱、风沙仍威胁着农业生产的发展，改造任务带有长期性；农业水资源紧缺、利用率低，浪费严重，部分地区因采补失调发生地下水漏斗，引起地面沉降，沿海局部地区甚至出现海水地下入侵；农业结构不尽合理，林牧副渔业比重过低，传统的生产技术和管理方法仍占主导地位，等等。

基于国情，黄淮海平原农业的进一步发展必须走资源节约型高产农业的道路。这是黄淮海平原农业发展的道路，也是我国农业发展的根本出路。它的具体指导原则可以概括为以下6条：资源采补平衡，资源高效利用，非再生资源重复利用，多种资源合理匹配投入，巧妙利用非可控制资源和传统技术与新技术结合的原则。所谓资源节约型高产农业，其实质就是在有限资源条件下，充分挖掘现有资源潜力，提高资源的综合生产效率，增加单位资源产出量，减少资源的浪费和破坏，保护生态环境，保持农业的持续稳定增长。

自50年代以来，中国科学院会同有关部门，在黄淮海平原开展了土壤普查，60年代完成了部分地区农业区划和规划，先后建立河南封丘和山东禹城6667公顷与9333公顷井灌井排旱涝碱综合治理试验区；80年代又建立了河北南皮试验区。1987年封丘农业生态实验站、禹城综合试验站成为对国内外开放台站，同时也是我院承担国家科技攻关任务的重要基地。

在“六五”基础上，“七五”期间黄淮海平原综合治理研究又有创新和发展。5年共取得重大科研成果26项，其中8项达到国际领先或国际先进水平，13项国内领先水平，5项国内先进水平。例如，国内最大的土壤水盐动态模拟实验室和数据自动采集处理系统的建立，土壤盐化、碱化监测预报与防治研究，计算机指导大面积经济施肥咨询系统，雨养麦田水分平衡研究，农业资源配置模型，潮土养分供应能力和化肥经济施用等研究成果，都达到了国际领先或国际先进水平。鱼塘-台田生态工程综合治理低湿地，乔灌草和经济林相结合治理季节性风沙化土地，强排强灌，开发利用微咸地下水等，也都具有较高的水平和实用、快速和高效的特点。

“八五”期间，中国科学院将承担黄淮海平原中低产地区农业持续发展综合技术研究的国家重点科技攻关项目。在重点试验区，研究不同生态类型区资源合理利用、农林牧协调发展、农业持续高产稳产、社会经济生态效益明显的综合治理、综合发展模式和先进适用的配套技术，以指导大面积推广。中国科学院将继续组织力量，为黄淮海平原农业持续、稳定、协调发展作出应有的贡献。

《中国科学院黄淮海平原综合治理研究》系列著作，包括6部专著和8本论文集，系统反映了中国科学院“七五”黄淮海平原科技攻关的主要工作。希望这套书的出版能为该地区的农业发展和科学研究起到一定的促进作用。

李振声

1991年5月

前 言

“黑龙港”本是一小河的名称。后将南运河以东滨海平原，大清河以南和滏阳河—子牙河以西低平原旱涝碱自然灾害严重的类似地区，统称为“黑龙港地区”。

本论文集汇集了近几年我们对黑龙港地区综合治理与资源利用的研究成果，共分三部分：第一部分是水资源合理利用。黑龙港地区是黄淮海平原水资源最为紧缺的地区，人均、亩均水资源量仅为黄淮海平原的二分之一与三分之一。作者从农业节水和拦蓄天然降水两个方面论述了缓解该地区水资源供需矛盾的途径和措施。

第二部分土地资源评价与合理利用。本地区又是黄淮海平原土地资源最为丰富的地区，人均土地、农业人均耕地较黄淮海平原分别高出0.85亩与0.55亩，但旱薄、盐碱、涝渍等自然灾害危害严重，土地生产力未能充分发挥。为此，正确评价土地资源，特别是分析认识盐碱地的生产潜力，提出合理利用与开发土地资源的方向，以及对农业生态环境的影响，将是十分有益的。

第三部分讨论农业资源优化配置与农村经济发展。在了解分析本区农村经济状况的基础上，建立科学的指导思想，明确发展方向，指出实行资源优化利用，进行农村经济结构调整与合理布局，采取切实有效措施，促进农业稳定、持续、协调发展，使农业生产与农村经济跨上一个新台阶的切实有效的措施。

本论文集共收入26篇论文，是集体的研究成果。初稿完成之后，得到中国科学院上海植物生理研究所王天铎研究员、北京农业大学夏荣基教授、中国科学院遥感卫星地面站戴昌达研究员、中国科学院石家庄农业现代化研究所卢福瑞研究员、中国科学院—国家计划委员会自然资源综合考察委员会赵存兴研究员、河北省社会科学院农业经济研究所牛凤瑞副研究员、河北省科学院地理研究所吴金祥副研究员、中国科学院石家庄农业现代化研究所陈宏恩高级工程师等先生的审阅，并提出宝贵意见，在此深表谢意。

工作中得到了中国科学院农业项目管理办公室及地理研究所、石家庄农业现代化研究所和沧州地区行署及科委的指导和具体帮助，使工作得以顺利进行，在此表示感谢。

由于作者水平有限，文中提出的某些观点与结论有不妥之处，敬请同行专家与广大读者予以批评指正。

编 者

1991年6月

RESEARCHES ON INTEGRATED MANAGEMENT
OF THE HUANG-HUAI-HAI PLAIN
IN THE CHINESE ACADEMY OF SCIENCES
(1986—1990)

MONOGRAPH

Reclamation and Ecology of Lowlands
Integrated Management of Drought, Water logging, Salinization and Alkalization in the North Henan Plain
Regional Agriculture and Integrated Management of Salinized Soils under Water Shortage
Integrated Management and Agricultural Development in the Huaibei Region
Studies on Water and Soil Resources and Agricultural Development in the Lowlands of Haihe Plain
Theory of Resource Allocation and Agricultural Development

COLLECTION OF THESES

Combined Techniques for Integrated Management of Interfluvial Lowlands
Studies on Soil Fertility and Agroecology Improvement
Monitoring, Prevention and Amelioration of Salinization and Alkalinization of Soils
Studies on Fishery Development and Ecology in the North Henan Plain
Integrated Management Techniques for Salinized Soils in Water Short Region Near Seashore
Exploitation and Management of Water and Soil Resources in Huaibei Region
Integrated Management and Development of Agricultural Resources in Heilonggang Lowlands, Hebei Province
Problems of Water Use in Huang-Huai-Hai Plain

目 录

序 前言

一、水资源合理利用

黑龙江地区地表蓄水体类型及调蓄能力估算·····	尹雁峰	由懋正 (1)
黑龙江地区“8.26”暴雨调蓄效果分析·····	由懋正	马永清 尹雁峰 (7)
黑龙江地区农业用水类型及典型优化种植模式·····	由懋正	袁小良 刘金铜 (14)
黑龙江地区节水农业种植模式研究·····	马永清	由懋正 袁小良 刘金铜 (24)
黑龙江地区农业节水潜力分析·····	袁小良	马永清 (33)
黑龙江地区治水对策的研究·····	卢德生	(43)

二、土地资源评价与合理利用

沧州区域土地资源评价及其合理利用·····	黄荣金	王秀红	谢向荣	田济马 (51)
黑龙江地区盐碱地及其演变·····				田济马 (60)
黑龙江地区滨海盐荒地开发利用·····			吕杰	毛任钊 (77)
黑龙江地区土地合理利用问题·····		王秀红	黄荣金	(86)
一种新的土地生产潜力估算法——TM 图像订正法·····	刘金铜	李水洪		由懋正 (93)
沧州滨海区域盐渍化土壤的遥感图像分析·····				毛任钊 (98)
黑龙江地区提高水土资源利用效率的途径·····		张洪业	黄荣金	(105)
论黑龙江地区农业生产水平及发展趋势·····				李水洪 (112)
黑龙江地区吨粮田建设的水土资源条件分析·····				
·····	李水洪	尹雁峰	由懋正	田济马 (120)
黑龙江地区人工草地建设及其改善生态系统功能的研究·····				田济马 (126)
应用TM 图像对古河道的解译——以沧州区域为例·····				李水洪 (134)
应用TM 图像划分黑龙江地区的界限·····				田济马 (138)

三、资源优化配置与农村经济发展

论区域农业资源的合理开发·····	吕富保	(147)
黑龙江沧州类型区种草养畜潜力研究·····	王晓莉	(153)
沧州地区林果发展与生态建设的研究·····	周正群 季玉杰	刘博生(160)
农村工业在黑龙港地区开发中的作用·····		刘海通(164)
沧州区域农村产业结构及其合理布局研究·····	姜德华 黄 新	王绍祺 李春欣(170)
黑龙港地区农村经济发展方向、结构和布局·····	李作模	王晓莉(176)

黑龙江地区综合治理与资源开发利用信息数据库系统的建立与应用.....	
.....	刘金铜 李作模(186)
农村经济三维立体结构理论与发展战略模型.....	李作模 王晓莉(190)

CONTENTS

FOREWORD

PREFACE

I . Rational Utilization of Water Resources

The types of surface water-retaining and its capability of adjustment and storage in Heilonggang region.....	Yin Yanfeng and You Maozheng (1)
The effect of adjustment and storage of "8.26" rainstorm of Heilonggang region.....	You Maozheng et al. (7)
Water using type of agriculture and typical optimum plantation model in Heilonggang region.....	You Maozheng et al. (14)
Research of plantation model for water-saving agriculture in Heilonggang region.....	Ma Yongqing et al. (24)
An analysis of water-saving potential for Heilonggang region	Yuan Xiaoliang and Ma Yongqing (33)
The countermeasures of regulating rivers and watercourses of Heilonggang region.....	Lu Desheng (43)

I . Evaluation for Land Resources and Its Rational Utilization

The evaluation and rational utilization of land resources in Cangzhou region.....	Huang Rongjin et al. (51)
The saline-alkaline land and its evolution in Heilonggang region	Tian Jima (60)
The development and application of coastal saline and uncultivated land in Heilonggang region.....	Lu Jie and Mao Renzhao (77)
The problems of land rational utilization in Heilonggang region.....	Wang Xiuhong and Huang Rongjin (86)
A new estimating method for soil productive potential—TM-picturing emending.....	Liu Jintong et al. (93)
A remote sensing picture analysis on the salinized soil in Cangzhou coastal region.....	Mao Renzhao (98)
Approaching on the improvement of water and land utilization efficiency in Heilonggang region.....	Zhang Hongye and Huang Rongjin(105)
On agricultural production level and the trend of Heilonggang region	Li Shuiqi(112)

An analysis on water and soil resource for the ton-yield cropland building in Heilonggang region	Li Shuiqi et al.(120)
Research on artificial grassland construction and its function to improve the ecological system in Heilonggang region.....	Tian Jima(126)
An explanation for the palaeochannel with the TM-picture—Taking Cangzhou district as an example.....	Li Shuiqi(134)
Approaching on dividing Heilonggang region with the TM-picture.....	Tian Jima(138)

III. Resources Optimum Disposition and Rural Economic Development

On the rational development of zone agricultural resource.....	Lu Fubao(147)
On the potentialities of grass-planting and domestic animalraising in Heilonggang Cangzhou typed region.....	Wang Xiaoli(153)
Researching on the forest and orchard development and the ecological construction in Cangzhou district.....	Zhou Zhenqun et al.(160)
The function of rural industries to regional economic development.....	Liu Haitong(164)
On the rural property structure and its rational distribution in Cangzhou region.....	Jiang Dehua et al.(170)
The orientation, structure and distribution of rural economic development in Heilonggang region	Li Zuomo and Wang Xiaoli(176)
The establishment and application of information data base system for Heilonggang region.....	Liu Jintong and Li Zuomo(186)
The theory of three-dimensional structure of rural economy and its developping strategies.....	Li Zuomo and Wang Xiaoli(190)

• x •

一、水资源合理利用

黑龙港地区地表蓄水体类型及调蓄能力估算

尹雁峰 由懋正

(中国科学院石家庄农业现代化研究所)

一、黑龙港地区地表蓄水体类型

黑龙港地区地表蓄水体主要有坑塘、河道沟渠、洼淀和水库等四类。下面分述不同类型蓄水体的成因、面积密度与体积密度等。

(一) 坑塘

坑塘是由人工长期取土形成的微地貌。建房垫宅基地、垫圈、制土坯、烧砖瓦等都需要用土，人们自然在村庄、砖厂周围就近集中取土，这就决定了坑塘主要分布在村庄、砖厂周围。从实地调查资料看，总的规律是村庄大，坑塘的数量就多，总面积、总体积亦大。坑塘大多呈近圆形，面积多在3—10亩¹⁾，深度多在1.2—2.0m。综合典型乡实测资料²⁾及沧州区域统计资料³⁾，黑龙港地区坑塘的面积密度为 $0.0078\text{m}^2/\text{km}^2$ ，体积密度为 $1.25 \times 10^4\text{m}^3/\text{km}^2$ 。

(二) 河道沟渠

黑龙港地区河道、沟渠主要有行洪河道、骨干排沥河道及与之配套的地方排沥沟渠等。这些河道沟渠呈网状分布于整个地区，系治理海河时人工开挖而成。不同等级的河道沟渠相互连通，构成了该区有效的排洪系统。河道沟渠的断面均为梯形，因年久失修，受流水侵蚀和淤积等自然及人为因素的作用，断面形状遭到不同程度的破坏。河道沟渠断面面积依行洪河道、骨干排沥河道、地方排沥沟渠的次序减小，行洪河道断面面积多在 800m^2 左右，而地方排沥沟渠的断面面积则在 40m^2 左右。综合典型乡实测资料和沧州区域统计资料，黑龙港地区河道沟渠的面积密度是 $0.0092\text{m}^2/\text{km}^2$ ，体积密度为

1) 1亩=666.6m²。

2) 由懋正、尹雁峰，南皮常庄坑塘沟渠调查报告，1988年。

3) 陆钟、左振民、龚致斌，黑龙港类型区水资源合理调控分析，1989年。

$4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。由于河道沟渠的不封闭性,其一次性蓄水体积小于河道沟渠的体积,减少的数量与河道沟渠底面坡度、节制闸数量及位置等有关。黑龙港地区河道沟渠的一次性蓄水体积密度为 $1.54 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

(三) 洼淀与水库

黑龙港地区属海河南系下游,地势低洼易涝。因受内外动力地质作用及地质构造继承性的影响,该区形成岗洼起伏的地貌。沧州区域千亩以上的大洼有437个,面积达330余万亩。随着海河治理工程的建成,用水量不断增加等,80年代以来该区水利环境发生了很大的变化,地下水位大幅度下降,上游来水大为减少以及连年干旱等,该区涝灾面积大为减少。据1987年统计,沧州区域易涝成灾的洼地减少到198个,面积为91.3万亩。在现今水利环境下,黑龙港地区洼地的面积密度为 $0.0249 \text{ m}^2/\text{km}^2$,体积密度为 $2.21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

黑龙港地区的平原水库多建于地势低洼的洼淀处,如南大港、黄灶、杨埕、衡水湖等水库。黑龙港地区水库蓄水体的面积密度为 $0.0054 \text{ m}^2/\text{km}^2$,体积密度为 $6.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

综上所述,黑龙港地区地表蓄水的总面积密度为 $0.0473 \text{ m}^2/\text{km}^2$,总体积密度为 $5.69 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,详见表1所示。

表 1 黑龙港地区地表蓄水体面积密度与体积密度

蓄水体类型	坑塘	河道沟渠	洼淀	水库	合计
面积密度 (m^2/km^2)	0.0078	0.0092	0.0249	0.0054	0.0473
一次蓄水体积密度 ($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$)	1.25	1.54	2.21	0.69	5.69

二、黑龙港地区地表调蓄能力估算

(一) 地表蓄水体蓄水能力计算公式

地表调蓄能力等于地表蓄水体体积加上蓄水过程中蓄水体水的入渗量。有了地表蓄水体体积密度,只要求得蓄水过程中的入渗量,即可获得一个地区的地表调蓄能力。然而,求蓄水体入渗过程中的入渗量是一个极其复杂的问题,它受到两个方面因素的控制,一是蓄水体内的积水厚度,它取决于径流情况,而径流是由雨强、降雨时间、地面坡度、地表植被、土壤质地、土壤初始含水量及其分布等因素决定;二是蓄水体下的土壤渗透能力,它取决于土壤质地、初始含水量及分布、地下水埋深等因素,蓄水体入渗与农田土壤入渗的不同之处在于前者很大程度上受到蓄水体积水深度的制约,这就决定了降雨入渗经验公式不能用于计算蓄水体入渗。一个可行的途径是采用非饱和水流的达西定律

$$V = D \frac{\partial \theta}{\partial Z} + K \quad (1)$$

来计算蓄水体内存水的入渗, 土壤水分通量法就是这一原理的具体应用。这个方法需要不同径流情况、不同地点、不同地下水埋深等因素影响下的众多土壤水含量的实测资料, 通常很难办到。另一个办法是通过建立土壤水运动的数学模型来解算, 这条路也很困难, 因为控制方程是非线性的偏微分方程, 只有在某些特定的简单情况下才能求得解析解, 实际情况满足不了那些特定条件。同样地, 应用数值解法, 也只能求得给定条件下的数值结果。

由于蓄水体内存水的入渗比农田降雨入渗多了一个积水深度的控制, 因此, 蓄水体内存水深必须在蓄水体内存水的入渗速率公式中得到反映。蓄水体内存水的入渗速度随水深增加而增加, 因此, 可设蓄水体内存水的入渗速度 (V) 为

$$V = i + ah \quad (2)$$

式中, i 为农田降雨入渗速度, a 为常数, h 为蓄水体内存水的深度。

降雨过程中蓄水体内存水深 h 取决于径流深 R 。借助于蓄水体面积密度 r , h 可用下式来描述:

$$h = R/r, R = 0.0473 = 21.142R \quad (3)$$

黑龙江地区降雨产生的径流由两部分构成, 一是田间超渗产生的径流 R_r , 一是道路、居民地等非农用地产生的地表径流 R_a 。

在南皮县常庄乡进行的实地调查资料表明¹⁾, 黑龙江地区非农用地为总土地面积的 15%。如果非农用地的径流系数取 0.9, 那么

$$\begin{aligned} R &= 0.85R_r + 0.15R_a \\ &= 0.85 \int_{t_0}^t (r - i) dt + 0.15 \times 0.9P \end{aligned} \quad (4)$$

式中, r 为降雨强度 (cm/小时), i 为土壤入渗速度 (cm/小时), t_0 为产流起始时间 (小时), t 为降雨持续时间 (小时), P 为降雨量 (cm)。

(4) 式中, i 按 Horton (1940 年) 公式 $i = i_c + (i_0 - i_c)e^{-kt}$ 计算, 式中 i_0 、 i_c 分别为初渗、稳渗速度, k 为衰减系数。由人工模拟降雨试验可知¹⁾, 本区裸土 $i_0 = 1.67$ cm/小时, $i_c = 0.63$ cm/小时, $k = 0.0087$, 因此

$$i = 0.63 + 1.04e^{-0.0087t} \quad (5)$$

将 (5) 式及 $P = rt$ 代入 (4) 式并整理得:

$$R = 0.85(r - 0.63)(t - t_0) + 101.609(e^{-0.0087t} - e^{-0.0087t_0}) + 0.135rt \quad (6)$$

将 (6) 式代入 (3) 式, 即可求得降雨过程中蓄水体内存水深 h :

$$h = -17.971(r - 0.63)t_0 - 2148.218e^{-0.0087t_0} + 2148.218e^{-0.0087t} + (20.825r - 13.32)t \quad (7)$$

有了蓄水体内存水深表达式, 只要求得系数 a 值, 即可获得蓄水体内存水的入渗速度 V 。由黑龙江地区野外调查得知, 通常水深 1m 的坑塘蓄水 3 天即可入渗耗尽:

$$\int_0^{72} (i + ah) dt = 100 \quad (8)$$

雨后坑塘内剩余水厚度 h 在开始时下降较快, 随着时间推移, 其下降速度越来越慢,

1) 由 樊正、尹雁峰, 南皮常庄坑塘沟渠调查报告, 1988 年。

因此, 雨后坑塘内剩余水厚度 h 与时间 t 的关系可构造如下函数:

$$h = at^{1/2} + b \quad (9)$$

显然:

$$h(0) = a \cdot (0)^{1/2} + b = 100$$

$$h(72) = a \cdot (72)^{1/2} + b = 0$$

因此, $b = 100$, $a = -11.785$, 代入 (9) 式, 得

$$h = 100 - 11.785t^{1/2} \quad (10)$$

取雨后的入渗速率 i 为稳渗速度, 将 $i = 0.63 \text{ cm/小时}$ 和 (10) 式代入 (8) 式, 解得 $\alpha = 0.02277$ 。

将 (5) 式、 α 值及 (7) 式代入 (2) 式, 整理得黑龙港地区降雨过程中蓄水体内部水的入渗速度表达式:

$$V = 0.63 + 0.02277[(20.825r - 13.32)t + 2193.892e^{-0.0087r} - 17.971(r - 0.63)t_0 - 2148.218e^{-0.0087r}] \quad (11)$$

黑龙港地区汛期暴雨径流通常在雨后 0.3 小时产生^{1), 2)}。将 $t_0 = 0.3$ 代入 (11), 得:

$$V = 49.955e^{-0.0087r} + 0.02277(20.825r - 13.32)t - 0.1228r - 48.08 \quad (12)$$

地表调蓄能力 V_0 等于蓄水体体积 V_0 加上降雨过程中蓄水体内部水的入渗量 I ,

$$\begin{aligned} V_0 &= V_0 + I \\ &= 5.69 + 0.0473 \int_{t_0}^t [49.955e^{-0.0087r} + 0.02277(20.825r - 13.32)t \\ &\quad - 0.1228r - 48.08] dt \\ &= 5.69 + 271.59(1 - e^{-0.0087r}) + 5.3851 \times 10^{-4}(20.825r - 13.32)t^2 \\ &\quad - 0.0473(0.1228r + 48.08)t \end{aligned} \quad (13)$$

(二) 分析讨论

1. 降雨时间对地表调蓄能力的影响: 首先, 我们取降雨时间为 8 小时, 那么公式 (13) 简化为:

$$\begin{aligned} V_0 &= 5.69 + 18.26 + 0.03446(20.825r - 13.32) - 0.3784(0.1228r + 48.08) \\ &= 5.30 + 0.6712r \end{aligned} \quad (14)$$

由上式看出, 在降雨时间为定值时, 地表蓄水体蓄水能力跟雨强成正比。雨强大, 则蓄水体内部积水深度增加得快, 蓄水体内部水的入渗速度大, 入渗量多, 因此, 地表调蓄能力就大。这与水量转化原理是一致的。

如果地表调蓄能力 V_0 与降雨 r 产生的径流相等, 降雨产生的径流将填满地表蓄水体, 达到所谓“沟满壕平”水平。设对应雨量 p 的径流系数为 α , 非农用地的径流系数取 0.9, 则

$$5.30 + 0.6712r = 0.85\alpha p + 0.15 \times 0.9p \quad (15)$$

1) 邢新海, 海河低平原贫水咸水区人工模拟降雨径流试验报告, 1988年。

2) 卢德生, 四水转化关系研究与河北平原治水方针的探讨, 1990年。

降雨径流数值模拟研究表明,当雨量介于200—300mm之间时,黑龙港地区降雨径流系数 α 为:

$$\alpha = 0.179 + 0.0112(p - 20) \quad (16)$$

将(16)式代入(15)式,解得 $p = 229\text{mm}$ 。这表明,在降雨时间为8小时时,229mm降雨产生的径流将填满地表蓄水体;降雨超过229mm,部分低洼地将积水受淹。

按公式(14)计算,8小时降雨229mm,地表调蓄能力为 $7.224 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$,是地表蓄水体体积 $5.69 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$ 的1.27倍。

同样地,如果降雨时间取12小时,那么公式(13)变为

$$V_s = 4.29 + 1.5452r \quad (17)$$

计算表明,此时229.8mm降雨产生的地表径流将填满地表蓄水体,地表蓄水能力是地表蓄水体体积的1.274倍。

上面计算表明,地表调蓄能力与降雨时间成正比,降雨时间越长,地表蓄水体调蓄能力就越大。另一方面,地表蓄水体调蓄能力随降雨时间的增大有限,这主要是因为降雨过程中蓄水体内的蓄水过程缓慢、土壤水分运动较缓慢的原因。

2. 降雨强度对地表调蓄能力的影响:取雨强 $r = 2\text{cm/小时}$,地表调蓄能力 V_s 计算式(13)变为

$$V_s = 277.28 + 0.01526t^2 - 2.2858t - 271.59e^{-0.0087t} \quad (18)$$

由地表调蓄能力等于地表径流量分析,11.52小时降雨产生的径流将填满地表蓄水体。此时的降雨量为230.4mm,地表调蓄能力为 $7.283 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$,是地表蓄水体体积的1.280倍。

类似地,如雨强为3cm/小时,7.62小时的降雨所产生的径流将填满地表蓄水体。此时的降雨量为228.6mm,地表调蓄能力为 $6.58 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$,是地表蓄水体体积的1.156倍。

上面分析表明,地表调蓄能力与降雨强度成反比,雨强越大,地表蓄水体调蓄能力就越小。

如果取雨强为1.915cm/小时,那么12小时的降雨所产生的径流将填满地表蓄水体。这与前面固定降雨时间的分析结果相同。

三、几点看法

1) 黑龙港地区地表蓄水体的面积密度为 $0.0473 \text{m}^2/\text{km}^2$,体积密度为 $5.69 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$ 。

2) 黑龙港地区单位面积的地表调蓄能力为:

$$V_s = 5.69 + 271.59(1 - e^{-0.0087t}) + 5.3851 \times 10^{-4}(20.825r - 13.32)t^2 - 0.0473(0.1228r + 48.08)t$$

地表调蓄能力 V_s 通常为地表蓄水体体积的1.2倍。

3) 在现今水利环境下,黑龙港地区地表蓄水体足以容纳220mm的日降雨量所产生的地表径流。降雨量超过220mm,部分低洼地将积水受淹。

主要参考文献

- 由懋正、黄荣金主编, 1991, 海河低平原水土资源与农业发展研究, 科学出版社。
姚贤良、程云生等编著, 1986, 土壤物理学, 农业出版社。
S.A.泰勒(华孟、陈志雄等译), 1983, 物理的土壤学, 农业出版社。