



SANJIANGPINGYUAN JINGGUANQU  
SHUIZIYUAN XITONG FENXI  
YU KECHIXU LIYONG

# 三江平原井灌区

## 水资源系统分析与可持续利用

刘东 付强 马永胜 郎景波 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

SANJIANGPINGYUAN JINGGUANQU

SHUIZIYUAN XITONG FENXI

YU KECHIXU LIYONG

# 三江平原井灌区水资源系统分析 与可持续利用

刘东 付强 马永胜 郎景波 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书以我国重要商品粮基地黑龙江省三江平原井灌区为例,以保障区域水安全及粮食安全为出发点,在分析三江平原基本情况的基础上,针对该区域地下水资源开发利用中存在的问题,采用多种数据处理方法与优化技术,对三江平原井灌区的水资源动态变化趋势进行了耦合分析;对三江平原的地下水脆弱性、地下水补给及井灌区水安全状况进行了分析与评价;对井灌区的水稻灌溉制度及主要粮食作物种植结构进行了优化;进而对该区域的粮食增产潜力进行了分析预测,为三江平原井灌区的水资源可持续利用提供了科学依据。

本书结合大量的实证分析,对各种数据处理方法进行了详细的介绍,对于解决三江平原井灌区的水资源问题具有较强的理论指导意义。

本书可供从事农业水土工程、水文水资源、环境工程、系统工程、管理科学及其他相关专业的教学、科研及管理人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

三江平原井灌区水资源系统分析与可持续利用 / 刘东  
等著. —北京:中国水利水电出版社, 2008  
ISBN 978-7-5084-5560-0

I. 三… II. ①刘… III. ①三江平原—井灌—灌区—地下水  
水资源—系统分析②三江平原—井灌—灌区—地下水资  
源—资源利用—可持续发展—研究 IV. S273.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 061287 号

|      |                                                                                                                                                                                                                            |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 三江平原井灌区水资源系统分析与可持续利用                                                                                                                                                                                                       |
| 作 者  | 刘东 付强 马永胜 郎景波 著                                                                                                                                                                                                            |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)<br>网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www. waterpub. com. cn</a><br>E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a><br>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)<br>电话: (010) 88383994、63202643<br>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  | 北京纪元彩艺印刷有限公司                                                                                                                                                                                                               |
| 规 格  | 184mm×260mm 16 开本 12.75 印张 302 千字                                                                                                                                                                                          |
| 版 次  | 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷                                                                                                                                                                                          |
| 印 数  | 0001—1500 册                                                                                                                                                                                                                |
| 定 价  | 46.00 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

## 作者简介

**刘东** 男, 1972 年 12 月生, 汉族, 中共党员, 博士, 副教授。1995 年 7 月、2004 年 1 月、2008 年 1 月在东北农业大学分别获得工学学士、硕士及博士学位。2008 年 4 月起在东北农业大学农林经济管理博士后流动站从事博士后研究工作。这些年来主要从事农业水土资源系统分析与优化利用方面的研究。先后主持和参加了国家及省部级各类科研项目 10 余项, 发表学术论文 20 余篇, 获科研奖励 2 项。主编及参编各类教材 4 部。出版学术专著 2 部。

**付强** 男, 1973 年 6 月生, 汉族, 中共党员, 博士, 教授, 博士生导师。1995 年 7 月、1997 年 7 月、2000 年 7 月在东北农业大学分别获得工学学士、硕士及博士学位。2002 年 5 月在四川大学水利工程博士后流动站完成博士后研究工作, 2007 年 3 月在北大荒农垦集团公司博士后科研工作站完成二站博士后研究工作。这些年来主要从事节水灌溉理论与技术、农业水土资源优化利用与管理等方面的研究。主持国家及省部级科研项目 10 余项, 发表学术论文 100 余篇, 其中被 SCI、EI、ISTP 收录 40 余篇。出版学术专著 5 部。主编及副主编教材 4 部。获科研奖励 10 余项。

**马永胜** 男, 1949 年 6 月生, 汉族, 中共党员, 博士, 教授, 博士生导师。1975 年 8 月、1986 年 8 月、1994 年 6 月分别在大连理工大学、意大利 BARI 地中海农学院、东北农业大学获得工学学士、硕士及博士学位。1999~2003 年在美国密歇根州立大学水资源研究所作访问学者。主要从事流域水环境保护与水资源管理方面的研究。先后主持和参加了国家及省部级各类科研项目 10 余项, 发表学术论文 40 余篇, 获科研奖励 2 项。主编及参编各类教材 4 部。出版学术专著 2 部。

**郎景波** 男, 1964 年 2 月生, 满族, 中共党员, 学士, 高级工程师。2004 年 7 月在东北农业大学获得工学学士学位。主要从事节水灌溉和农村饮水安全技术、研究、规划设计、项目管理及水资源水环境方面研究工作。先后主持与参加省部级科研项目 7 项, 发表学术论文 10 余篇, 获科研和工程咨询成果奖励 7 项。主持完成规划设计 90 余项、省部级调查评价及专题研究 4 项。

黑龙江省三江平原是我国重要的商品粮基地，对于保障全国粮食安全发挥了重要作用。据有关资料预测，到 2030 年我国人口将达到 16 亿，粮食缺口约 4 亿 t。目前，我国西北地区有地没有水，西南地区有水没有地，只有东北地区特别是三江平原地区水土资源基本平衡。因此，要解决 4 亿 t 粮食缺口问题，三江平原具有义不容辞的责任。三江平原地势低平，大部分地区土壤质地黏重，排水能力差，再加上农田基本建设薄弱，治理措施不得力，很容易形成涝灾而减产。因此，为了改良低湿地，从 20 世纪 80 年代开始，三江平原开始种植水稻，实行“以稻治涝”，并取得了显著的效益。由于水田面积的迅速增加，地下水开采量也迅速增加，使得三江平原地下水位普遍下降，“吊泵”和局部超采现象时有发生，并引发了一系列水环境问题，三江平原地下水资源的动态平衡受到了严重的破坏，引起了各界的高度关注。本书对三江平原水资源可持续利用进行了深入系统的研究，希望能为保障我国的粮食安全以及水安全提供决策依据，并为国内学者进行相关研究提供一定参考。

全书共分八章：第一章介绍了三江平原的气象、水文、土壤、地形地貌、地下水资源开发利用等基本情况，由刘东、李伟业、马永胜负责撰写；第二章以三江平原别拉洪河水文站、853 农场为例，介绍了目前国内较为先进的降水预测模型以及降水序列多时间尺度分析方法，由刘东、付强、冯艳、李国良负责撰写；第三章介绍了地下水脆弱性基本概念，构建了地下水脆弱性评价指标体系，并采用改进投影寻踪等先进方法对三江平原地下水脆弱性进行了综合评价，由付强、刘仁涛、张少坤负责撰写；第四章以三江平原创业农场、853 农场为例，介绍了目前国内较为先进的地下水动态预测模型，并以红兴隆分局为例，对三江平原地下水补给进行了初步研究，由刘东、付强、李国良、冯艳、刘仁涛负责撰写；第五章以三江平原富锦市为例，介绍了目前国内较为先进的井灌水稻需水量预测模型以及井灌水稻灌溉制度优化方法，由付强负责撰写；第六章总结了国内水资源安全评价方法，并以三江平原为例，介绍了目前国内较为先进的井灌区水安全评价方法及水资源承载力评价模型，由刘东、付强、冯艳、张少坤负责撰写；第七章以三江平原红兴隆分局为例，构建了主要粮食作物种植结构单目标及多目标优化模型，由刘东、马永胜负责撰写；第八章以三江平原创业农场为例，探讨了水稻优化灌溉定额、耗水量与产量的关系，以

三江平原洪河农场为例，介绍了目前国内较为先进的土壤肥力评价方法及土壤养分管理分区方法，以三江平原红兴隆分局为例，对粮食增产潜力进行了分析，介绍了目前国内较为先进的粮食总产量预测模型，由刘东、付强、王子龙负责撰写。

在本书编写过程中，我们参阅、借鉴了许多有关水资源可持续利用方面的学术论文及专著，在此向各位作者表示诚挚的感谢。本书编写工作的顺利完成还得到了建三江分局水务局赵青、红兴隆分局水务局仲崇合、张健和 853 农场水务局魏铁军等同志的大力协助，在此表示真诚的谢意。另外，本书的出版得到了国家自然科学基金（No. 30400275）、黑龙江省科技攻关项目（No. GB06B106—7）、黑龙江省新世纪高等教育教学改革工程项目（高等教育产学研合作培养创新人才的研究与实践）的联合资助，在此，对国家、省府和学校所给我们的支持也一并表示衷心的感谢。

由于本书是对黑龙江省三江平原井灌区水资源可持续利用研究的一次大胆尝试，加之编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，恳请同行专家和广大读者多提宝贵意见，给予批评指正，我们将在今后的研究工作中加以改进。

著 者

2008 年 3 月

# 目 录

## 前 言

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 第一章 三江平原基本情况 .....                                 | 1  |
| 第一节 气象 .....                                       | 1  |
| 第二节 水文 .....                                       | 2  |
| 第三节 土壤 .....                                       | 3  |
| 第四节 地形地貌 .....                                     | 4  |
| 第五节 地下水资源开发利用 .....                                | 5  |
| 第六节 三江平原农业发展带来的环境问题 .....                          | 7  |
| 参考文献 .....                                         | 7  |
| 第二章 井灌区降水动态变化趋势分析 .....                            | 9  |
| 第一节 基于小波消噪的三江平原降水时间序列预测模型 .....                    | 9  |
| 第二节 三江平原降水小波最近邻抽样回归耦合预测模型 .....                    | 14 |
| 第三节 三江平原降水小波 PCNN 预测模型 .....                       | 18 |
| 第四节 基于小波神经网络的三江平原降水混沌预测模型 .....                    | 22 |
| 第五节 三江平原井灌区降水时间序列多时间尺度变化特征分析 .....                 | 26 |
| 参考文献 .....                                         | 31 |
| 第三章 三江平原地下水脆弱性分析 .....                             | 32 |
| 第一节 地下水脆弱性基本概念 .....                               | 32 |
| 第二节 地下水脆弱性评价指标体系 .....                             | 33 |
| 第三节 三江平原地下水脆弱性评价 .....                             | 37 |
| 参考文献 .....                                         | 53 |
| 第四章 井灌区地下水动态变化趋势分析 .....                           | 55 |
| 第一节 三江平原地下水埋深小波随机耦合预测模型 .....                      | 55 |
| 第二节 基于关联度的三江平原地下水埋深局域加权线性回归预测模型 .....              | 60 |
| 第三节 基于蚁群算法的三江平原地下水埋深小波神经网络预测模型 .....               | 63 |
| 第四节 基于 RAGA 的三江平原地下水埋深等维灰色递补 BP 神经网络<br>预测模型 ..... | 68 |
| 第五节 三江平原井灌区地下水补给初步研究 .....                         | 72 |

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| 参考文献 .....                                  | 80         |
| <b>第五章 井灌水稻需水量预测与灌溉制度优化 .....</b>           | <b>83</b>  |
| 第一节 井灌水稻需水量多变量自回归预测模型 .....                 | 83         |
| 第二节 井灌水稻需水量自激励门限自回归预测模型 .....               | 94         |
| 第三节 基于 RAGA 的 PPC 模型在井灌水稻优化灌溉中的应用研究 .....   | 102        |
| 第四节 非充分灌溉下三江平原井灌水稻灌溉制度优化的遗传动态<br>规划模型 ..... | 105        |
| 参考文献 .....                                  | 117        |
| <b>第六章 井灌区水安全评价 .....</b>                   | <b>119</b> |
| 第一节 区域水资源安全评价方法探析 .....                     | 119        |
| 第二节 改进 PCNN 模型在三江平原井灌区水安全评价中的应用 .....       | 123        |
| 第三节 水匮乏指数在三江平原井灌区水安全评价中的应用 .....            | 125        |
| 第四节 基于集对分析与 GIS 技术的三江平原水资源承载力评价 .....       | 128        |
| 第五节 物元模型在三江平原井灌区地下水资源承载力综合评价中的应用 .....      | 132        |
| 参考文献 .....                                  | 139        |
| <b>第七章 井灌区主要粮食作物种植结构优化 .....</b>            | <b>141</b> |
| 第一节 种植结构优化调整模型相关因素分析预测 .....                | 141        |
| 第二节 红兴隆分局主要粮食作物单目标种植结构优化模型 .....            | 145        |
| 第三节 红兴隆分局主要粮食作物多目标种植结构优化模型 .....            | 156        |
| 参考文献 .....                                  | 160        |
| <b>第八章 基于可持续发展的井灌区粮食增产潜力分析 .....</b>        | <b>162</b> |
| 第一节 水稻优化灌溉定额、耗水量与产量的关系 .....                | 162        |
| 第二节 基于 GIS 与属性识别模型的三江平原土壤肥力综合评价 .....       | 166        |
| 第三节 基于粒子群优化属性均值聚类的土壤养分管理分区研究 .....          | 172        |
| 第四节 粮食主产区尺度下红兴隆分局粮食增产潜力分析与预测 .....          | 178        |
| 参考文献 .....                                  | 193        |



# 第一章 三江平原基本情况

三江平原位于黑龙江省东北部，地处北纬  $45^{\circ}01' \sim 48^{\circ}27'$ 、东经  $130^{\circ}13' \sim 135^{\circ}05'$ 。其西部为小兴安岭山地，南部为完达山，北部和东部与俄罗斯隔江相望。三江平原为黑龙江、松花江、乌苏里江的冲积平原，面积为 10.9 万  $\text{km}^2$ ，耕地面积为 366.77 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>，区内有佳木斯等 23 个市（县）和 50 个国营农场。三江平原主要农作物为水稻、玉米、大豆、小麦，平均单产超过  $6000\text{kg}/\text{hm}^2$ ，粮食商品率高达 75%，农业机械化程度高达 80% 以上，是我国九大商品粮基地之一。1982 年三江平原粮食总产达 34.0 亿  $\text{kg}$ ，2000 年粮食总产达到 128.8 亿  $\text{kg}$ <sup>[2]</sup>，可以说，三江平原对于保障我国粮食安全发挥了重要作用。据有关资料预测，到 2030 年我国人口将达到 16 亿，粮食缺口约 4 亿  $\text{t}$ 。目前，我国西北地区有地没有水，西南地区有水没有地，只有东北地区特别是三江平原地区水土资源基本平衡。因此，要解决 4 亿  $\text{t}$  粮食缺口问题，黑龙江省三江平原具有义不容辞的责任<sup>[3]</sup>。

## 第一节 气 象

三江平原属于寒温带大陆性季风气候区，夏季受海洋暖气团影响，高温多雨；冬季受西伯利亚寒流控制，寒冷干燥；春秋两季是过渡时期，天气过程频繁，春风较大。全区多年平均降水量为 450~650mm，其中以阿布沁河伐木场站最大为 655mm，以挠力河本德北站最小为 464mm。该区降水年际变化大，以富锦站为例，最大为 829.6mm（1959 年），最小为 338.5mm（1977 年）。降水年内分配不均，大部分集中在 6~9 月，占全年降水量的 70% 左右，尤其是 7 月、8 月两个月雨量较为集中，约占全年降水量的 40%~50%；春季 5 月、6 月降水量较少，仅占全年降水的 20% 左右，因此本区春季干旱频繁，夏秋季多发生洪涝灾害。气温南高北低，平原高山区低，1 月平均温度低于  $-18^{\circ}\text{C}$ ，7 月平均温度为  $21\sim 22^{\circ}\text{C}$ ，年平均温度在  $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ ，初霜为 9 月中下旬，中霜为 5 月上中旬，无霜期为 120~140 天；结冰期长达 150~180 天，平均最大冻土深 1.6~2.0m。平均年不小于  $10^{\circ}\text{C}$  活动积温为 2300~2500 $^{\circ}\text{C}$ ；多年平均年蒸发量一般在 550~840mm（ $E_{601}$  蒸发皿），其中以穆棱河鸡东站最大为 835.8mm，以别拉洪河别拉洪站最小为 554mm。降水蒸发情况统计见表 1-1<sup>[4]</sup>。

表 1-1

三江地区降水蒸发情况统计表

| 分 区   | 面 积<br>( $\text{km}^2$ ) | 河 流  | 测 站 | 降 水<br>(mm) | 蒸 发<br>(mm) |
|-------|--------------------------|------|-----|-------------|-------------|
| 穆棱河地区 | 28240                    | 穆棱河  | 鸡东  | —           | 835.8       |
|       |                          | 穆棱河  | 穆棱  | 502.1       | 741.6       |
|       |                          | 阿布沁河 | 伐木场 | 654.5       | 575.1       |

续表

| 分 区   | 面 积<br>(km <sup>2</sup> ) | 河 流  | 测 站 | 降 水<br>(mm) | 蒸 发<br>(mm) |
|-------|---------------------------|------|-----|-------------|-------------|
| 倭肯河地区 | 11630                     | 倭肯河  | 倭肯  | 547.1       | 724.9       |
| 安邦河地区 | 5862                      | 安邦河  | 福利屯 | 527.6       | 687.5       |
| 挠力河地区 | 26765                     | 挠力河  | 宝清  | 529.9       | 701.5       |
|       |                           | 七星河  | 友谊  | 513.4       | 743.2       |
| 萝北地区  | 16448                     | 梧桐河  | 王家店 | 598.3       | 593.5       |
|       |                           | 都鲁河  | 四方山 | 596.8       | —           |
|       |                           | 鸭蛋河  | 鸭蛋河 | 581.1       | —           |
| 同抚地区  | 14560                     | 别拉洪河 | 别拉洪 | 654.7       | 554.0       |

第二节 水 文

一、河流径流

三江平原流域总面积  $2.61 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，区内有大小江河 190 余条，分属黑龙江、松花江和乌苏里江 3 大水系。沿河两岸多遗留古河道、牛轭湖，碟形洼地密布，地表径流滞缓，内水不能外排，地表水为沼泽形成提供了有利空间和充沛水源，每到汛期一些河流受黑龙江、松花江、乌苏里江的江水顶托，提高了河流承泄水位，使两岸底平地排水更为困难，促使沼泽形成。

黑龙江发源于大兴安岭，有两个源头，是石勒喀河和额尔古纳河，在洛古河汇合，汇合口以下称为黑龙江，黑龙江干流全长 2821km，流经本区长达 406km。

松花江有南北两源，北源嫩江发源于大兴安岭伊勒呼里山，南源第二松花江发源于长白山天池，两江在三岔河汇合后称松花江干流，东流至同江注入黑龙江，全长 2309km，流域面积为 55.68 万  $\text{km}^2$ ，流经本区长达 357km。

乌苏里江为我国东部中俄界河，是黑龙江下游我国侧第二大支流。乌苏里江发源于前苏联锡霍赫特岭西麓，左上源为中俄界河松阿察河及兴凯湖。两支流汇合后由南向北注入黑龙江，河道全长 890km，流域总面积 18.7 万  $\text{km}^2$ ，流经本区长达 478km。

三江地区支流大部分发源于山区，小部分发源于平原。发源于山区的河流，有穆稜河、挠力河、倭肯河等，上游坡陡流急，山洪很大；中下游河道弯曲狭小，比降甚缓，洪水宣泄不畅，河水蔓延，有的成为无尾河。发源于平原的河流，有别拉洪河、青龙莲花河等，上游是连串的水泡子及低湿地，中游为沼泽性河流，无明显河身，坡降平缓、宣泄能力极差，排水困难；至下游比降较陡，但往往受外江回水顶托。

全区主要河流有：松花江及其支流倭肯河、安邦河、梧桐河、嘟噜河、蜿蜒河；黑龙江及其支流鸭蛋河、莲花河、浓江鸭绿河；乌苏里江及其支流别拉洪河、挠力河、阿布沁河、七虎林河、穆稜河、松阿察河等共计 18 条河流，另外，区域内还有大小兴凯湖。

## 二、沼泽径流

沼泽径流是维持沼泽湿地生态系统重要因素。所谓沼泽径流，主要包括表面径流和表层流两部分。一般情况下，不易产生沼泽表面径流，当沼泽水位低于沼泽表面时，沼泽径流为表层流，当沼泽水位上升到沼泽表面时才产生表面径流。一般年份，除降雨集中季节外，多数降雨条件下沼泽径流是表层流。

三江平原典型沼泽湿地区地表常有薄层积水，积水状况随季节的变化而各不相同，有常年积水型、季节性积水型以及土壤常年过湿型。常年积水型多见于地下水和泛滥补给的低河漫滩和较深洼地的沼泽，积水深度一般小于1m；季节性积水型多见于河漫滩较高的部位和阶地上各种洼地边缘，主要是泛滥水、地表径流和大气降水补给。沼泽湿地的水文网状况与沼泽的类型及发育阶段有关，积水存在于其团状草丘的洼地之中，旱季水流停滞或积水消失，汛期可产生丘间水流，水文网形态为网络状；其他类型为片状薄层积水。

## 三、地下水

三江平原地区是由山丘区与几个平原区构成，从山丘区到平原区，其含水岩组分布及水文地质条件基本相似，地下水的补给、径流、排泄条件也差别不大。三江平原地下水水位埋藏浅（小于3m）及较浅（3~5m），水力坡度甚小，山前地带水力坡度为1/1000左右，平原内部水力坡度为1/5000~1/10000。邻近江河两岸水力坡度为1/500~1/150。故平原区内部径流微弱，排泄边界径流相对较强，故地下水流向分别指向所排泄的江河或湖泊。三江低平原地下水总体流向为西南~东北，穆棱兴凯平原地下水总体流向为西北~东南。

三江平原地区地下水类型有：第四系松散砂砾石孔隙水，第三系碎屑岩类裂隙孔隙水和基岩裂隙水。山丘区基岩裂隙水埋藏条件复杂，富水性不均一；山前台地水量贫乏；平原区含水层结构单一，厚度大，水量丰富，具有良好的开发条件。

# 第三节 土 壤

## 一、土壤类型

三江平原地表土壤多为富有机质的黑土、草甸土、白浆土、沼泽土、泥炭土和暗棕壤。

### （一）黑土类

黑土类包括黑土和草甸黑土，主要分布在富锦、宝清、集贤和佳木斯市一带的漫岗地上。垦殖率已达80%，基本上已没有荒地。黑土层厚达75~95cm，理化性状较好，是区内好的耕地土壤。但属坡耕地，干旱、水土流失较为严重，是该土利用中的主要问题。

### （二）草甸土类

草甸土类是非地带性的土壤，在黑土和白浆土区均有分布，包括草甸土、盐化草甸土、潜育草甸土和白浆化草甸土，是本区最主要的耕地土壤。垦殖率达55%，地形平坦，黑土层厚达50~100cm，是发展农业最有潜力的土壤，但土质多属黏重，易发生黏朽冷浆、雨水集中时有内涝威胁。盐化草甸土分布在富锦、集贤、宝清三个县的平原中，以友谊农场、五九七农场、二九一农场、三个国营农场中为多，盐分类型以苏打为主，需要逐

步进行改良。

### (三) 白浆土类

白浆土类包括白浆土、草甸白浆土和潜育白浆土，集中分布在穆棱、兴凯湖平原和抚远三角洲，是三江地区的主要耕地土壤，仅次于草甸土。白浆土的黑土层肥力较高，白浆层贫瘠且淀积层坚硬。白浆土的好坏因其黑土层厚度而异。本区白浆土的黑土层厚度一般为10~20cm，少数达30cm，还有一部分不足10cm。总的趋势是由西往东越接近乌苏里江黑土层越薄，白浆土的垦殖率已达43%，部分荒地可以开垦为耕地。

### (四) 沼泽土类

沼泽土类包括草甸沼泽土和泥炭沼泽土，分布在区内各地的低洼地中。沼泽土类表层有厚度不等的泥炭层，下部为腐泥层或潜育层，季节性积水或常年积水。草甸沼泽土排水后可做农用地，现在该土的垦殖率为15%，其他沼泽土可作为牧用地。

### (五) 暗棕壤类

暗棕壤类包括山地暗棕壤、草甸暗棕壤和砂质暗棕壤，分布在山地丘陵、平原中的残丘，岗地陡坡和河岸砂丘上。除了坡度稍缓的草甸暗棕壤可开为耕地外，多数只适于做林业用地。

此外，小面积的泛滥地土壤，分布在河流两岸，间歇性受河流泛滥影响，包括泛滥地草甸地和泛滥地沼泽土。防洪排涝后部分可做耕地利用，多数用于牧、副用地。

## 二、土壤养分

三江平原地区主要土壤养分状况及评价统计情况详见表1-2<sup>[4]</sup>。

表1-2 三江平原地区主要土壤类型养分含量统计表

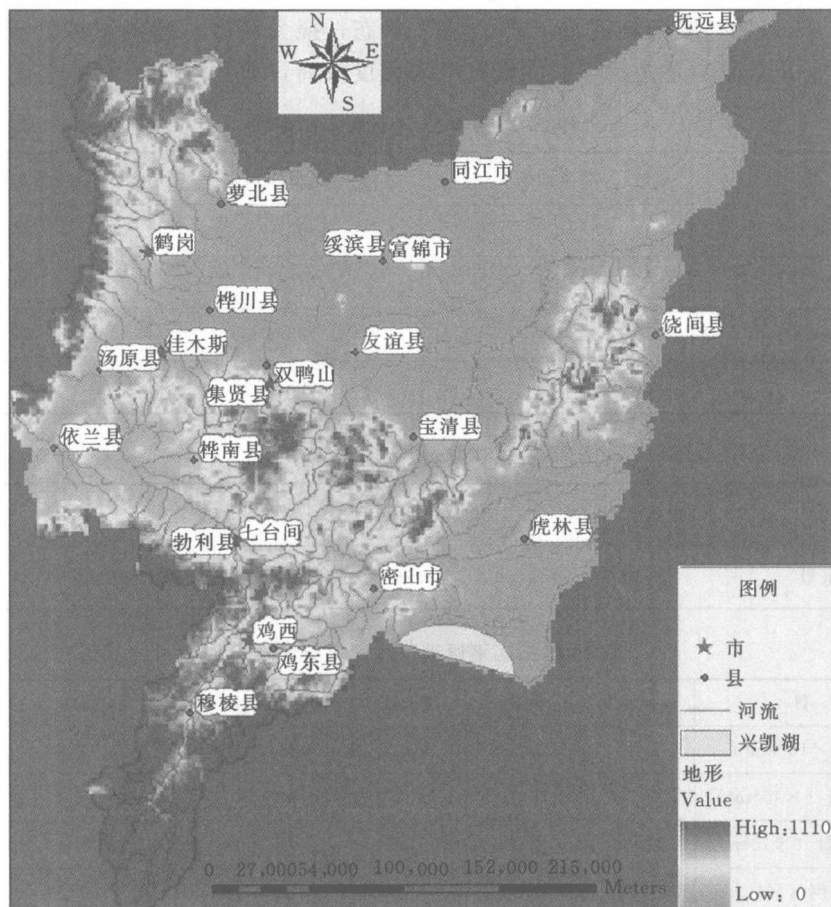
| 土壤类型 | 土 层 | 有机质<br>(g/kg) | 全 氮<br>(g/kg) | 全 磷<br>(g/kg) | 全 钾<br>(g/kg) | 速效氮<br>(mg/kg) | 速效磷<br>(mg/kg) | 速效钾<br>(mg/kg) |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 棕 壤  | 耕层  | 59.1          | 3.2           | 2.2           | 19.2          | 66.3           | 35.2           | 222            |
| 黑 土  | 耕层  | 36.9          | 1.9           | 2.0           | —             | 52.8           | 188            | —              |
| 白浆土  | 耕层  | 66.6          | 3.7           | 2.2           | 15.7          | 78.2           | 6.0            | 119.8          |
| 草甸土  | 耕层  | 61.2          | 3.5           | 2.0           | 12.0          | 72.2           | 23.1           | 117.6          |
| 沼泽土  | 耕层  | 74.7          | 6.7           | 2.7           | 19.0          | 60.0           | 16.0           | 102.7          |

由表1-2可见，三江平原地区耕层土壤养分为有机质及全量养分含量高，属于中等—丰富级；速效养分缺乏，农业生产中应该增施速效肥料。

## 第四节 地 形 地 貌

三江平原全区总地势西南高，东北低。地貌情况为：本区西北部是隆起的小兴安岭东南缘，以及零星分布的孤山残丘，构成低山丘陵地貌单元。南部有隆起的完达山东西横贯，在完达山西部，有勃依弧形构造断陷盆地形成倭肯河河谷；在小兴安岭东南缘，有梧桐河、嘟噜河等南北向河谷，以及完达山岭中的纵横割切河谷，组成山区河谷地貌单元。

本区东北部为两岭之间的中生代合江内陆断陷,第四纪以来一直间歇性沉降,尤其全新流以来下沉更甚,经三大江冲积形成沉降的三江冲积低平原。在完达山以南,有沉降的穆棱河、兴凯湖冲积低平原组成平原区地貌单元。三江平原地区地貌可分为山地与平原两大单元,自西北向东南,依次由小兴安岭山地、三江平原、那丹哈达岭山地和穆棱兴凯平原构成。地貌形态类型可分为低山、丘陵、山前台地、扇形平原、河谷平原、低平原与山间平原。其中平原、洼地和沼泽为 664.3 万  $\text{hm}^2$ , 占 61%; 山地、丘陵为 424.7 万  $\text{hm}^2$ , 占 49%。三江平原全区的地形及水系如下图所示<sup>[5]</sup>。



三江平原地形、水系示意图

## 第五节 地下水资源开发利用

三江平原地下水大规模开发历史较短，主要是从 1958 年 10 万军垦大军进入北大荒后才开始的。

三江平原地势低平，大部分地区土壤质地黏重，排水能力差，很容易形成涝灾而减

产。因此,为了改良低湿地,从20世纪70年代开始,三江平原开始种植水稻,实现“以稻治涝”,取得了显著的效益。三江平原水稻种植面积逐年增加,1981年仅为7万 $\text{hm}^2$ ,90年代以后发展迅速,2006年已达到101.53万 $\text{hm}^2$ <sup>[6]</sup>。从1996~2000年,在三江平原实际灌溉面积中,97%左右为水田面积,69%为井灌水稻,见表1-3<sup>[7]</sup>。由于水田面积的迅速增加,地下水开采量也迅速增加(表1-4<sup>[8]</sup>),再加上人为浪费严重以及管理不力,使得三江平原地下水普遍下降,吊泵和局部超采现象时有发生,三江平原地下水资源的平衡受到了严重的破坏。三江平原各分区平原地区的地下水资源条件及2000年开采现状见表1-5<sup>[9]</sup>。

由表1-5可知,安邦河区处于严重超采状态,挠力河区、穆棱河区处于超采状态,倭肯河区处于开采基本平衡状态,同抚区开采程度较高,萝北区开采程度中等<sup>[10]</sup>。

表 1-3 1996~2000 年三江平原水田面积 单位: 万  $\text{hm}^2$

| 年 份  | 灌溉面积 | 水田面积 | 井灌水田面积 |
|------|------|------|--------|
| 1996 | 57.0 | 55.0 | 33.6   |
| 1997 | 78.1 | 75.1 | 51.4   |
| 1998 | 87.7 | 85.8 | 61.0   |
| 2000 | 99.3 | 95.3 | 65.9   |

表 1-4 三江平原地下水开采量 单位:  $\times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$

| 年 代    | 20 世纪 70 年代 | 20 世纪 80 年代 | 20 世纪 90 年代 | 21 世纪初 |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 地下水开采量 | 5.67        | 11.76       | 12.38       | 21.38  |

表 1-5 2000 年三江平原地下水开采分区情况

| 项 目                                  | 萝北    | 同抚    | 挠力河   | 安邦河   | 倭肯河  | 穆棱河   | 合计/平均 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 平原面积 ( $\times 10^4 \text{km}^2$ )   | 1.04  | 1.53  | 1.63  | 0.40  | 0.50 | 1.29  | 6.39  |
| 地下水资源量 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )  | 15.79 | 16.10 | 14.15 | 6.42  | 4.05 | 13.81 | 70.32 |
| 地下水可开采量 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ ) | 12.86 | 12.96 | 11.17 | 5.38  | 3.10 | 10.47 | 55.94 |
| 可开采比例 (%)                            | 0.81  | 0.81  | 0.79  | 0.84  | 0.77 | 0.76  | 0.80  |
| 可开采模数 (mm)                           | 123.7 | 84.7  | 68.5  | 134.5 | 62.0 | 81.2  | 92.4  |
| 总开采量 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )    | 6.56  | 8.51  | 12.26 | 6.50  | 2.95 | 11.11 | 47.89 |
| 开采利用率 (%)                            | 51.0  | 65.7  | 109.8 | 120.8 | 95.2 | 106.1 | 91.4  |
| 实际开采模数 (mm)                          | 63.1  | 55.6  | 75.2  | 162.5 | 59.0 | 86.1  | 83.6  |
| 可开采模数与实际开采模数之差 (mm)                  | 60.6  | 29.1  | -6.7  | -28   | 3    | -4.9  | 8.9   |
| 超采量 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )     | —     | —     | 1.09  | 1.12  | —    | 0.64  | 2.85  |

## 第六节 三江平原农业发展带来的环境问题

三江平原在长期的农业开发过程中,由于无节制地盲目垦荒、开采地下水等原因,已经引发了一系列的生态环境问题。

### 一、湿地面积日益减少

由于过度开垦,三江平原的湿地面积由1949年新中国成立初期的443万 $\text{hm}^2$ ,减少到2000年的151万 $\text{hm}^2$ ,50年来,湿地面积减少了292万 $\text{hm}^2$ ,年减少5.84万 $\text{hm}^2$ ,湿地由原来占三江平原总面积的40.7%,下降到目前的13.95%<sup>[4,11]</sup>。由于湿地面积的减少,森林植被的破坏,湿地涵养水源、净化空气及调节气候、蓄水防洪及维持生物多样性的功能降低<sup>[12]</sup>。

### 二、生物多样性遭到破坏

与1949年相比,三江平原地区珍贵树种减少50%~90%,林龄降低,后备森林资源严重不足。区内大面积的草地、湿地植被消失,初步估计全区植物资源损失达50%以上,其中人参、樟子松等一些国家重点保护植物濒于灭亡。由于区内生存空间的缩小和生存条件的变化,区内野生动物的损失很严重,许多珍贵动物如冠麻鸭、朱鹮、东北豹、梅花鹿已绝迹<sup>[13]</sup>;东北虎、紫貂、虎头海雕、东方白鹳已濒临绝迹,据统计,三江平原地区丹顶鹤由1984年的309只下降到1991年的65只,7年间减少了244只。大天鹅、白鹳的繁殖种群已不足50只,雁鸭类数量减少了90%以上,现在的繁殖种群的密度不足1对/ $\text{hm}^2$ ,白尾海雕等日趋减少。

### 三、水问题日趋严重

三江平原水旱灾害频繁发生,1949~2000年,三江平原受洪涝灾害的年份为25年,平均2年1次。由于三江平原井灌水稻发展迅速,导致地下水位大幅度下降,1997~2002年,黑龙江垦区地下水位下降1~3m<sup>[11]</sup>,近些年来,地下水位仍在继续下降。同时由于化肥、农药的大量使用,已经引起了非常严重的农业非点源污染,区内河流枯水期的水质都是劣V类水体,水质污染严重。

### 四、生态环境质量下降

由于大面积垦荒,三江平原森林植物覆盖率逐渐降低,水土流失日益加剧。据统计,2000年水土流失总面积达到227.2万 $\text{hm}^2$ ,占三江平原总面积的20.88%。目前,三江平原沙化、沙丘、沙岗面积约为70万 $\text{hm}^2$ ,占三江平原总面积的6.43%。由于长期掠夺式开发,导致土壤肥力日益降低。据统计,开垦20年后,三江平原土壤有机质已由10.9%减少到5.9%,氮、磷含量分别下降3.69%、0.22%<sup>[14]</sup>,土壤不断贫瘠化。同时由于土壤沙化、风蚀加剧,局部地区出现了扬沙、扬尘和沙尘暴天气,而且发生范围和频率在逐年增加,生态环境质量日益恶化。

## 参 考 文 献

[1] 梁春英,王熙,杨天维.精准农业在三江平原的应用研究与探讨.农机化研究,2004,(3):193-194.

- [2] 马向东, 于建国, 李宝林. 三江平原水利建设中的环境问题分析. 黑龙江八一农垦大学学报, 2006, 18 (2): 104-107.
- [3] 王立峰. 三江平原发展灌溉和保护湿地工程建设的必要性. 现代化农业, 2007, (7): 21-22.
- [4] 李伟业. 三江平原沼泽湿地生态承载力与可持续调控模式研究. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.
- [5] 李伟业, 付强, 赵青. 三江平原沼泽湿地水文水资源环境变化分析. 水土保持研究, 2007, 14 (6): 298-300, 305.
- [6] 贾红路. 水土资源匹配、气候条件适宜. 黑龙江日报, 2006-10-23.
- [7] 王韶华, 田园. 三江平原地下水埋深变化及成因的初步分析. 灌溉排水学报, 2003, 22 (2): 61-64.
- [8] 杨湘奎, 孔庆轩, 李晓抗. 三江平原地下水资源合理开发利用模式探讨. 水文地质工程地质, 2006, (3): 49-52.
- [9] 王韶华, 刘文朝, 刘群昌. 三江平原农业需水量及适宜水稻种植面积的研究. 农业工程学报, 2004, 20 (4): 50-53.
- [10] 王金哲, 费宇红, 张光辉, 等. 海河平原地下水资源可持续利用前景评价. 水文地质工程地质, 2005, (4): 56-59.
- [11] 马向东, 于建国, 李宝林. 三江平原水利建设中的环境问题分析. 黑龙江八一农垦大学学报, 2006, 18 (2): 104-107.
- [12] 赵艳波, 刘正茂, 吴凤梅. 挠力河流域湿地水文特征变化研究. 水文, 2005, (1): 59-61.
- [13] 何青, 边延辉, 张光辉. 三江平原湿地的保护和生态恢复. 黑龙江农业, 2001, (6): 31-32.
- [14] 邢贞相, 付强, 孙兵. 三江平原水土流失现状影响因素和防治措施. 农机化研究, 2004, (3): 64-66.



## 第二章 井灌区降水动态变化趋势分析

三江平原地下水位持续下降已经导致三江平原产生了一系列严重的水环境问题,三江平原地下水资源的动态平衡急需恢复。大气降水垂直入渗是区域地下水最为重要的自然补给来源,同时,大气降水对于三江平原未来开展地下水人工补给也有着重要影响。因此,研究三江平原井灌区降水时间序列变化规律和多时间尺度变化特征,对未来降水进行预测,分析其旱涝变化规律,对于三江平原地下水资源的恢复以及农业的可持续发展具有重要的意义。

### 第一节 基于小波消噪的三江平原降水时间序列预测模型

#### 一、水文序列小波消噪

实测水文序列由于各种因素的干扰,不可避免地含有系统噪声和测量噪声。噪声淹没了水文序列的真实变化规律,若采用含有噪声的水文序列进行分析计算,将影响数据的可靠性和数据分析成果的精度。因此在应用水文时间序列数据建模之前,应首先对序列进行消噪处理。

##### (一) 小波消噪原理

对于某一实测水文序列  $x(t)$ ,一般由两部分构成:一部分是有助于人们了解水文现象特性的有用序列  $s(t)$ ,  $s(t)$  通常表现为低频信号或一些较平稳信号;另一部分是阻碍人们了解和掌握  $s(t)$  特性的噪声序列  $e(t)$ ,  $e(t)$  通常表现为高频信号。小波分析可以有效地分离高频和低频信号。根据不同信号在小波变换后所表现出的不同特性,对小波分解序列进行处理,再将处理后的序列进行重构,就可以实现信噪分离<sup>[1]</sup>。

##### (二) 小波消噪步骤

目前,小波消噪的主要方式是采用 20 世纪 90 年代 Donoho 等人提出的阈值消噪方法 (Donoho D L, 1995)。实测水文序列  $x(t) = s(t) + e(t)$ 。设  $X$  为  $x(t)$  的小波变换,则 Donoho 非线性阈值消噪方法的主要步骤为<sup>[1,2]</sup>:

- (1) 对序列  $x(t)$  进行  $N$  层小波变换,求得  $X$ ;
- (2) 采用硬阈值或软阈值处理方法对变换系数进行阈值处理;
- (3) 计算小波变换的逆变换,进行小波重构,得到消噪序列  $s(t)$ 。

#### 二、基于小波消噪的时间序列模型在 853 农场年降水预测中的应用

853 农场位于黑龙江省三江平原东部,隶属于黑龙江省农垦总局红兴隆分局,土地总面积为 1165.7 km<sup>2</sup>,其中耕地面积为 581.35 km<sup>2</sup>。853 农场是一个以种植麦、豆、玉米、水稻为主的大型机械化国营农场,从 1991~2000 年,853 农场的水田面积由 0.61 万 hm<sup>2</sup> 激增到 2.67 万