

# 新疆南疆特色农林经济作物 高效用水技术模式研究 ——以塔里木河上游阿拉尔垦区为例

李宁 王兴鹏 杨贵森 著



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

# 新疆南疆特色农林经济作物 高效用水技术模式研究

——以塔里木河上游阿拉尔垦区为例

李宁 王兴鹏 杨贵森 著



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

## 内 容 提 要

本书共分7个章节,第1章主要介绍南疆地区的基本情况 & 水资源现状。第2~3章是关于南疆特色农林高效节水技术研究与应用方面的研究。第4章主要介绍农田排水灌溉对土壤含水率及土壤盐分的影响。第5章主要介绍微咸水灌溉对土壤含水率及土壤盐分的变化。第6章针对南疆枣园地面灌溉的高耗水、低效率及滴灌节水效果不显著和投资成本高的现状,开展了适宜于南疆枣树需求的节水灌溉新装备的研发。第7章主要介绍部分研究成果在新疆生产建设兵团第一师部分团场特色经济林果中的集成及示范应用情况。

本书可供农业水利等大专院校及科研单位等相关人员和农田水利部门参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

新疆南疆特色农林经济作物高效用水技术模式研究 :  
以塔里木河上游阿拉尔垦区为例 / 李宁, 王兴鹏, 杨贵  
森著. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2014. 10  
ISBN 978-7-5170-2313-5

I. ①新… II. ①李… ②王… ③杨… III. ①经济作  
物—节约用水—灌溉—研究—新疆 IV. ①S560.71

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第051772号

|      |                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 新疆南疆特色农林经济作物高效用水技术模式研究<br>——以塔里木河上游阿拉尔垦区为例                                                                                                                                                                        |
| 作 者  | 李宁 王兴鹏 杨贵森 著                                                                                                                                                                                                      |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<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) 68367658 (发行部) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<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  | 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司                                                                                                                                                                                                    |
| 规 格  | 170mm×240mm 16开本 14印张 266千字                                                                                                                                                                                       |
| 版 次  | 2014年10月第1版 2014年10月第1次印刷                                                                                                                                                                                         |
| 印 数  | 001—600册                                                                                                                                                                                                          |
| 定 价  | 42.00元                                                                                                                                                                                                            |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

## 前言

新疆地处我国内陆极端干旱区，农业属于典型荒漠生态环境的绿洲灌溉农业，水利是新疆农业的命脉。南疆地处天山南部，国土面积占新疆国土面积的 63%，属大陆性暖温带极端干旱沙漠性气候，多年平均降水量为 17.4~42.8mm，蒸发量为 2000~3000mm，生态环境十分脆弱。由于地理位置优越，气候条件特殊，适宜特色瓜果种植。近年来随着棉花种植劣势凸显和高投入低产出的现状，南疆各地州、团场正在积极进行农业种植结构调整，大力发展特色林果业，特色果树正逐渐成为农业节水灌溉技术领域的研究热点。新疆提出到 2020 年特色林果面积达 100 万  $\text{hm}^2$  的种植目标。但是，由于区域极端干旱，水资源极其匮乏，而灌溉技术的落后影响了其产业的发展，使得新疆特色林果新技术集成推广应用的水平相对较低。随着水资源的日益紧缺，采用先进的节水灌溉技术是当今世界灌溉技术发展的总趋势。新疆的农业属于荒漠绿洲灌溉农业，解决水资源短缺问题首先要从农业节水出发，发展高效节水技术、劣质水（农田排水、微咸水）资源化灌溉技术是新疆农业持续发展的先决条件，它不仅可提高水分利用率和作物产量，而且可促进生态环境的良性发展。

本书围绕新疆经济林果产业存在的灌溉技术落后、水资源浪费严重、灌溉用水矛盾突出等制约产业可持续发展的问题开展了相关技术研究，主要为南疆特色林果水资源的高效利用提供技术支持。全书共分为 7 章，具体内容如下。

第 1 章简要介绍在南疆特色经济林果上开展高效节水技术模式研究的目的和意义以及新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市的自然、水文地质状况及塔里木河上游骨干排渠的水质情况。

第 2~3 章是关于南疆特色林果高效节水技术研究与应用方面的

研究,主要介绍在滴灌条件下红枣、香梨、苹果的灌水模式、土壤水分运动规律及其不同生育阶段的耗水量分析。不同水肥处理条件下的果树根区养分运移规律及水肥耦合效应对红枣、香梨、苹果产量和品质的影响。不同灌水量对果树生理特性的影响。建立了红枣、香梨、苹果等生育期内最优化的节水高效灌溉制度及适宜于红枣、香梨、苹果的水肥生产函数及水肥高效利用技术。

第4章主要介绍农田排水灌溉对土壤含水率及土壤盐分的影响,分析了土壤中有害离子运移特性及适宜红枣生长的毒害离子阈值、农田排水灌溉对枣树生理生长性状的影响,并对红枣果实的产量、品质进行综合评价,建立了适宜红枣生长发育的淡水与农田排水组合灌溉控制性指标及调控措施。

第5章主要介绍微咸水灌溉对土壤含水率及土壤盐分的变化,分析了果树根区养分变化特性,微咸水滴灌对枣树生理、生长特性的影响,确定了适宜红枣生长的盐分阈值,并对红枣果实的产量、品质进行综合评价,建立了适宜红枣生长发育的淡水与微咸水组合灌溉控制性指标及调控措施。

第6章针对南疆枣园地面灌溉的高耗水、低效率及滴灌节水效果不显著和投资成本高的现状,开展了适宜于南疆枣树需求的节水灌溉新装备的研发,研制出适宜南疆枣树灌溉需求的预埋式注水管、手持式注水头等根区补水注灌器的核心部件,并在大田试验中确定了与注灌设备相关的技术参数。分析了注灌后枣树根区土壤水分运移特性以及注灌与滴灌对枣树产量的影响。

第7章主要介绍部分研究成果在新疆生产建设兵团第一师部分团场特色经济林果中的集成及示范应用情况。

本书由李宁、王兴鹏、杨贵森、肖让、姚宝林、李朝阳、李发永、张军,宋建峰等共同编写,其中第1章由李宁、杨贵森编写,第2章由李宁、姚宝林、李发永、王兴鹏编写,第3章由李宁、姚宝林、李发永、杨贵森编写,第4章由肖让、王兴鹏、李宁、李朝阳编写,第5章由王兴鹏、李宁、杨贵森、宋建峰编写,第6章由王兴鹏、李朝阳、张军、宋建峰编写,第7章由杨贵森、李朝阳、

王兴鹏、张军编写。全书由李宁、王兴鹏、杨贵森负责整理统稿，肖让、李朝阳、张军校稿。

本书的研究工作得到了水利部公益性行业专项项目(201101050)、国家自然科学基金项目(31060084、51169023)、科技部科技人员服务企业项目(2009GJG41048)、兵团工业科技攻关项目(2009GG32)及兵团节水灌溉试验项目计划等项目的资助，特此向支持和关心作者研究工作的所有单位和个人表示衷心的感谢。感谢出版社同仁为本书出版付出的辛苦劳动，书中有部分内容参考了相关单位和个人的研究成果，均已在参考文献中列出，在此一并致谢。

本书主要是针对南疆特色果树高效节水技术方面所开展的研究，研究结果均建立在试验基础上，书中提出的相关技术措施适用于南疆特殊的气候和土壤条件，但也可作为西北同类地区开展相关研究提供参考。由于作者水平有限，加之时间仓促，书中错误和缺点在所难免，欢迎广大读者不吝赐教。

**编 者**

2014年6月

# 目 录

## 前言

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第1章 概述               | 1  |
| 1.1 研究目的及意义          | 1  |
| 1.2 研究区概况            | 3  |
| 1.2.1 自然状况           | 3  |
| 1.2.2 水文地质状况         | 3  |
| 1.3 塔里木河水质变化情况       | 4  |
| 第2章 新疆特色经济林果灌溉制度确定   | 6  |
| 2.1 红枣灌溉制度确定         | 6  |
| 2.1.1 材料与方法          | 6  |
| 2.1.2 结果分析           | 10 |
| 2.2 香梨灌溉制度确定         | 15 |
| 2.2.1 试验概况           | 15 |
| 2.2.2 试验设计           | 16 |
| 2.2.3 结果与分析          | 17 |
| 2.2.4 香梨灌溉制度         | 34 |
| 第3章 新疆特色经济林果水肥耦合效应研究 | 35 |
| 3.1 红枣水肥耦合效应         | 36 |
| 3.1.1 材料与方法          | 36 |
| 3.1.2 结果与分析          | 36 |
| 3.1.3 水肥耦合效应对红枣品质的影响 | 57 |
| 3.2 香梨水肥耦合效应         | 58 |
| 3.2.1 试验概况           | 58 |
| 3.2.2 结果与分析          | 59 |
| 3.2.3 香梨水肥耦合效应及施肥制度  | 71 |
| 3.3 苹果水肥耦合效益         | 73 |
| 3.3.1 试验概况           | 73 |
| 3.3.2 结果与分析          | 74 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第4章 特色经济林果利用农田排水灌溉控制性调控技术</b> | 83  |
| 4.1 主要研究内容                       | 83  |
| 4.2 试验概况                         | 83  |
| 4.2.1 试验条件                       | 83  |
| 4.2.2 枣树种植模式                     | 84  |
| 4.2.3 灌溉方式                       | 84  |
| 4.2.4 试验方案                       | 84  |
| 4.2.5 试验测定方法                     | 85  |
| 4.2.6 数据处理与分析                    | 85  |
| 4.3 研究结果与分析                      | 86  |
| 4.3.1 农田排水灌溉对土壤含水率的影响            | 86  |
| 4.3.2 农田排水滴灌对土壤含盐量的影响            | 88  |
| 4.3.3 农田排水灌溉对土壤盐分离子分布的影响         | 89  |
| 4.3.4 农田排水灌溉对枣树生理生长性状的影响         | 105 |
| 4.3.5 农田排水灌溉对枣树产量和品质的影响          | 111 |
| 4.3.6 大田灌溉试验结果分析                 | 114 |
| 4.3.7 农田排水滴灌对红枣产量的影响             | 119 |
| <b>第5章 特色经济林果微咸水安全调控灌溉技术</b>     | 120 |
| 5.1 试验概况                         | 121 |
| 5.1.1 研究内容                       | 121 |
| 5.1.2 研究方案                       | 121 |
| 5.2 试验测定方法                       | 123 |
| 5.3 微咸水灌溉后土壤水盐运移特性               | 124 |
| 5.3.1 土壤水分运移特性                   | 124 |
| 5.3.2 土壤水分随生育期的变化特性              | 124 |
| 5.3.3 土壤水分垂直变化特性                 | 126 |
| 5.3.4 土壤盐分运移                     | 127 |
| 5.4 微咸水滴灌对土壤有机碳的分布特性影响           | 133 |
| 5.4.1 土壤有机碳随生育期的变化特性             | 133 |
| 5.4.2 土壤有机碳垂直变化特性                | 135 |
| 5.4.3 微咸水滴灌对土壤氮素的分布特性影响          | 136 |
| 5.4.4 微咸水滴灌对枣树生理特性的影响            | 144 |
| 5.4.5 微咸水滴灌对枣树品质及产量的影响           | 154 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第6章 根区加压注水灌溉技术研究              | 160 |
| 6.1 研究内容                      | 161 |
| 6.2 根区加压注水灌溉设备设计              | 161 |
| 6.3 根区加压注水灌溉的土壤湿润体测定          | 162 |
| 6.3.1 加压注水灌溉土壤湿润体测定           | 162 |
| 6.3.2 无种植条件下加压注水灌溉土壤含水率垂直变化特性 | 163 |
| 6.4 加压注水灌溉对土壤特性及水势分布的影响       | 164 |
| 6.4.1 加压注水灌溉对土壤固—液—气三相的影响     | 164 |
| 6.4.2 加压注水灌溉对土壤水势分布的影响        | 166 |
| 6.5 不同加压流速及压力对加压注水管孔口水力特性的影响  | 169 |
| 6.5.1 建模与计算                   | 169 |
| 6.5.2 湍流模型                    | 170 |
| 6.5.3 不同进口流速对孔口水力特性的影响        | 171 |
| 6.5.4 不同进口压力对孔口水力特性的影响        | 175 |
| 6.6 大田枣树不同灌溉方式对土壤水分变化特性的影响    | 176 |
| 6.6.1 不同灌水方式枣树根区土壤水分分布        | 176 |
| 6.6.2 不同灌水方式枣树生育期土壤含水率变化      | 177 |
| 6.6.3 枣树主根区 30~40cm 土壤含水率变化   | 178 |
| 6.6.4 不同灌水方式枣树树径的变化           | 180 |
| 6.6.5 不同灌水方式枣树产量分析            | 181 |
| 6.7 不同灌溉方式根区土壤洗盐效果分析          | 181 |
| 6.7.1 不同灌溉方式下的洗盐效果分析          | 183 |
| 6.7.2 不同灌溉方式下的洗盐率分析           | 187 |
| 第7章 南疆特色果树高效节水技术模式集成与应用       | 188 |
| 7.1 南疆红枣滴灌灌溉制度、施肥制度及示范应用      | 189 |
| 7.1.1 田间毛管布置形式                | 189 |
| 7.1.2 南疆红枣耗水规律                | 189 |
| 7.1.3 南疆红枣滴灌灌溉和施肥制度           | 189 |
| 7.1.4 示范应用效果                  | 190 |
| 7.2 南疆香梨滴灌节水灌溉制度及施肥制度         | 190 |
| 7.2.1 毛管布置模式                  | 190 |
| 7.2.2 香梨生育期内耗水规律              | 190 |
| 7.2.3 香梨滴灌水肥耦合技术              | 191 |
| 7.2.4 示范应用效果                  | 192 |
| 7.3 南疆苹果滴灌灌溉制度及施肥制度           | 192 |

|       |                              |     |
|-------|------------------------------|-----|
| 7.3.1 | 苹果耗水规律 .....                 | 192 |
| 7.3.2 | 苹果灌溉制度 .....                 | 193 |
| 7.3.3 | 苹果树施肥制度 .....                | 193 |
| 7.3.4 | 示范应用效果 .....                 | 195 |
| 7.4   | 特色经济林果农田排水安全灌溉技术及其调控模式 ..... | 195 |
| 7.4.1 | 农田排水灌溉对土壤含水率及土壤盐分的影响 .....   | 195 |
| 7.4.2 | 农田排水灌溉对土壤盐分离子分布的影响 .....     | 196 |
| 7.4.3 | 农田排水灌溉对枣树生理特性的影响 .....       | 196 |
| 7.5   | 特色经济林果微咸水安全灌溉技术及其调控模式 .....  | 197 |
| 7.5.1 | 微咸水灌溉对土壤水分的影响 .....          | 197 |
| 7.5.2 | 微咸水灌溉对土壤盐分的影响 .....          | 197 |
| 7.5.3 | 微咸水灌溉对土壤有机碳的影响 .....         | 197 |
| 7.5.4 | 微咸水灌溉对土壤中碱解氮的影响 .....        | 198 |
| 7.5.5 | 微咸水灌溉对土壤中硝态氮的影响 .....        | 198 |
| 7.5.6 | 微咸水灌溉对枣树生理特性的影响 .....        | 199 |
| 7.5.7 | 微咸水灌溉对枣树品质的影响 .....          | 199 |
| 7.5.8 | 微咸水灌溉对枣树产量的影响 .....          | 199 |
| 7.5.9 | 土壤盐分阈值对红枣产量的影响 .....         | 200 |
| 7.6   | 枣树根区加压注水灌溉技术 .....           | 200 |
| 7.6.1 | 注灌后土壤湿润体 .....               | 200 |
| 7.6.2 | 注灌对土壤水分分布的影响 .....           | 200 |
| 7.6.3 | 注灌对土壤盐分的影响 .....             | 201 |
| 7.6.4 | 注灌对红枣树径及产量的影响 .....          | 201 |
| 7.6.5 | 示范应用效果 .....                 | 201 |
|       | 参考文献 .....                   | 203 |

# 第1章 概述

## 1.1 研究目的及意义

新疆地处我国内陆极端干旱区,农业属于典型荒漠生态环境的绿洲灌溉农业,水利是新疆农业的命脉。南疆占新疆国土面积的63%,属大陆性暖温带极端干旱沙漠性气候,多年平均降水量为17.4~42.8mm,蒸发量为2000~3000mm,生态环境十分脆弱。由于地理位置优越,气候条件特殊,适宜棉花、特色瓜果种植。近年来随着棉花种植劣势凸显和高投入低产出的现状,南疆各地州、团场正在积极进行农业种植结构调整,大力发展特色林果业,特色果树正逐渐成为农业节水灌溉技术领域的研究热点。2003年,新疆维吾尔自治区党委、人民政府在加快南疆农村经济工作会议上提出:要大力发展林果园艺业,尽快把南疆地区建成我国重要的特色优势瓜果生产基地,发展优势、高效现代农业。新疆维吾尔自治区提出到2010年林果种植面积达到80万 $\text{hm}^2$ 以上,到2020年特色林果面积达到100万 $\text{hm}^2$ 的种植目标。但是,由于区域极端干旱,水资源极其匮乏,而灌溉技术的落后影响了其他产业的发展,使得新疆特色林果新技术集成推广应用的水平相对较低。

就阿拉尔垦区而言,其农业灌溉用水主要来自于塔里木河,该流域多年平均地表水天然径流量为398.3亿 $\text{m}^3$ 。塔里木河是我国最长的内陆河,也是世界上著名的内陆河之一,具有自然资源丰富和生态脆弱的双重特点,以其鲜明的地域特色和环境问题而备受关注。塔里木河被誉为新疆的母亲河,是丝绸之路文明的发源地。塔里木河流域面积为102万 $\text{km}^2$ ,分布着新疆维吾尔自治区5个地州的42个县市和新疆生产建设兵团的55个农牧团场,总人口达到了825.7万,是新疆乃至全国重要的石油、棉花、特色林果和粮食生产基地之一。塔里木河流域人口众多、水资源开发利用程度高、用水矛盾突出、生态环境严重、水资源对经济社会发展制约性强。过去的50多年里,塔里木河流域在以水资源开发利用为核心的大强度人类经济、社会活动的作用下,水资源供需越发不平衡,经济社会发展用水严重挤占生态用水,流域自然生态环境发生了显著的变化,特别是塔里木河中、下游以天然植被为主



体的生态系统和生态环境,因人类对自然水资源时空格局的改变而遭受到严重的破坏,河道断流(到20世纪70年代,塔里木河下游300多km的河床已干涸)、湖泊干涸(曾有3000km<sup>2</sup>水面面积的罗布泊在20世纪70年代以后完全干涸、台特马湖于1974年干涸)、地下水位大幅度下降,以胡杨林为主体的荒漠河岸植被全面衰败,沙漠化过程加剧,生物多样性严重受损,浮尘、沙尘暴灾害性天气增加,严重危及区域社会经济可持续发展和人类生存环境,水资源短缺已成为影响塔里木河流域生态环境恶化的主要诱因。

近年来,为确保塔里木河下游工农业用水及自然生态用水,按照国务院要求,塔里木河流域管理局对塔里木河流域及其支流取水节点进行限额引水,定额供水。这进一步加剧了该地区用水供需矛盾,制约了农业发展。在这种情况下,开源与节流就成为解决水资源不足问题的主要途径。由于有限的水资源承载了过多的人口与经济活动,使得该地区水循环过程发生了深刻的变化,进而影响受水控制的生态系统的演变。在有限的水资源条件下,如何通过水资源的合理配置和高效用水,实现生态系统良性循环及经济社会可持续发展,已成为南疆地区目前最紧迫的任务。

在当前南疆农业种植结构调整、特色林果种植面积急剧扩大的前提下,势必增加水资源需求量,使原本脆弱的水资源环境进一步加重,用水矛盾将更加突出,水资源的极度缺乏,已成为当地农林牧业可持续发展的瓶颈。因此,研究特色林果高效用水灌溉制度和科学的灌溉技术、确定合理的灌溉模式,对于保障新疆特色林果业的健康稳定发展,促进水资源持续高效利用,改善脆弱生态环境具有重要的现实意义。解决该地区灌溉农业用水不足问题的另一个途径是研究和利用以前认为不能或不适于灌溉的劣质水资源进行灌溉。目前该地区为降低土壤含盐量,每年都要用大量的水资源进行洗盐排碱。经研究发现,洗盐排碱后的水含盐量较高,在微咸水到咸水之间,属于劣质水范围,一般不能直接应用于灌溉。大量未经处理的排碱水的排放,不仅耗费有限的水资源,而且给农业生产与环境保护带来威胁。因此这部分劣质水的开发利用不仅有利于缓解本地区水资源短缺与需求增加的矛盾,也有利于本地区环境生态的建设与保护。同时对西北干旱内陆区其他地方也具有借鉴和参考价值。

在水资源短缺的大背景下,水资源的高效利用是关系到子孙后代生存和发展的重要举措,而农业用水在新疆现阶段用水结构中仍占有很大的比重,农业节水有巨大潜力,因此在保障区域和国家粮食安全的基础上进行农业水资源高效利用研究显得十分迫切和必要,对农业和社会发展意义重大。



## 1.2 研究区概况

### 1.2.1 自然状况

研究区位于新疆生产建设兵团第一师（以下简称一师）阿拉尔市境内。一师北起天山南麓山地，南至塔克拉玛干沙漠边缘，东临沙雅县，西抵柯坪县，傍依阿克苏河、塔里木河、台兰河、多浪河水系。地理坐标东经  $79^{\circ}22'33'' \sim 81^{\circ}53'45''$ 、北纬  $40^{\circ}20' \sim 41^{\circ}47'18''$ 。地跨阿克苏地区五县一市（温宿县、乌什县、阿瓦提县、柯坪县、沙雅县、阿克苏市）。东西相距 281km，南北相距 180km。

一师地形由西向南倾斜，海拔高度为 997~1340m，最高点为四团博士山，最低点为十四团。地面坡降为  $1/80 \sim 1/3000$ 。山区牧场海拔高度为 2200~3150m。按地貌单元分为乌什谷地、天山南麓山前平原、塔里木河冲积平原、叶尔羌河冲积平原和南天山前山带。

一师阿拉尔垦区属暖温带极端大陆性干旱荒漠气候，夏季高温，冬季寒冷少雪，春季多风，昼夜温差大。垦区雨量稀少，冬季少雪，年均降水量 40.1~82.5mm，地表蒸发强烈，年均蒸发量 1876.6~2558.9mm，相对湿度 47%~60%。年均大风日数 4.1~15.1d，平均风速 1.3~2.4m/s，最大风速 31m/s。年均气温 8.4~11.4℃，极端最高气温 39.8~43.9℃，太阳辐射年均 133.7~146.3kcal/cm<sup>2</sup>。极端最低气温 -25.0~-33.2℃，全年不小于 10℃ 积温 3450~4432℃，无霜期 180~221d，平均日温差 13.4~15.3℃，最大冻土深度为 78cm。主要自然灾害有风沙、洪水和冰雹等。

一师阿拉尔垦区植被资源分为人工植被和自然植被。人工植被主要包括各种农作物、蔬菜、瓜果、牧草和农田防护林等。自然植被分为荒漠植被、盐生植被、草甸植被、沼泽植被、林灌草甸植被、山地植被等，林木覆盖率为 7.6%。

一师阿拉尔垦区分为两个大型灌区和三个独立灌区。所辖面积 45.587 万 hm<sup>2</sup>，其中耕地 12.43 万 hm<sup>2</sup>，园地 0.497 万 hm<sup>2</sup>，林地 3.09 万 hm<sup>2</sup>，牧草地 2.77 万 hm<sup>2</sup>，居民点及工矿用地 0.981 万 hm<sup>2</sup>，交通用地 0.429 万 hm<sup>2</sup>，水域 8.34 万 hm<sup>2</sup>，未利用地 17.05 万 hm<sup>2</sup>。土壤分为潮土、草甸土、沼泽土、盐土、棕模土、风沙土、新积土、山地栗钙土、亚高山草甸土、高山草甸土和灰褐土，其中盐潮土、灌耕林灌草甸土、灌耕棕漠土、灌耕风沙土和灌耕新积土是主要的农业土壤。

### 1.2.2 水文地质状况

一师阿拉尔垦区地表水年径流量 80.85 亿 m<sup>3</sup>（阿克苏河 78.6 亿 m<sup>3</sup>，哈



拉玉尔滚河 2.25 亿  $\text{m}^3$ ), 以高山冰雪融水为主。地下水总补给量 48.72 亿  $\text{m}^3$  (阿克苏河流域 47.6 亿  $\text{m}^3$ , 玉尔滚灌区 1.12 亿  $\text{m}^3$ ), 可开采资源量 3.62 亿  $\text{m}^3$ 。

垦区以灌溉农业为主, 主要利用昆马力克河、哈拉玉尔滚河、阿克苏河、多浪河以及叶尔羌河、和田河等河水。灌溉水源主要引自阿克苏河和塔里木河, 已建有多浪、胜利、上游三大平原水库, 总水面 248.8  $\text{km}^2$ , 库容 5.18 亿  $\text{m}^3$ 。地下水资源丰富, 有很大的开发潜力。土壤属塔里木河平原, 地势平坦, 比降为 1/3000, 经多年开垦发育为灌耕草甸土。一师灌溉试验基地区域内的含水层岩性为细砂, 厚度大, 地下水埋深 0.9~1.7m, 地下水年变幅 0.5~1.0m, 主要受上游河流和洪水以及周围灌区灌溉影响。地下水类型为河谷型冲击层潜水, 水化学类型为硫酸盐型水, 对混凝土具有弱腐蚀性, 对钢筋混凝土具有中等腐蚀性。尽管一师地下水资源相当丰富, 但因水质较差, 资源化利用的程度较低。

一师可利用地下水主要分布在沿塔里木河两侧及灌溉渠系两侧, 依据《新疆生产建设兵团一师地下水资源开发利用规划》分析, 沿塔里木河两岸约 1~2km 宽的条带内有嵌入式淡水透镜体, 厚度仅 20~40m, 并随距河较远而尖灭, 分布极不规则, 可开采量通过资料分析约为 18000 万  $\text{m}^3/\text{a}$  (该数据由河道、田间灌溉、渠系渗漏、水库渗漏补给分析而得, 将来随着灌区灌溉方式的改变, 其数值将有很大的变化, 因此该数据仅作为参考数据), 该区由于受地下水含水层地层岩性影响, 含水层多为细砂, 渗透系数为 5.85m/d, 单井推算涌水量为 20~30  $\text{m}^3/\text{h}$ , 地下水开采利用价值低, 仅可考虑用作抗旱应急水源。

### 1.3 塔里木河水质变化情况

塔里木河干流在 1958~1959 年时, 河流各段河水矿化度均小于 1.0g/L, 是一条淡水河。处于塔里木河上游的一师灌区土壤含盐量较多, 0~30cm 土层含盐量为 50~300mg/kg, 地表最高可达 600~800mg/kg, 盐分组成以氯化物和硫酸盐为主, 并且含有较高的硝酸盐, 土壤 pH 值在 7.5~8.5 之间, 有机质含量低于 9g/kg, 氮、磷含量也低, 但钾的含量较高。开垦初期进行了大规模无排水洗盐, 由于当时地下水位较深, 土壤含盐量减少。随着农业生产的发展, 地下水位逐年上升, 地下水蒸发过程将盐分留在地表, 形成土壤次生盐渍化。所以只好挖沟将地下水排出灌区, 以降低地下水位和防治土地盐渍化。排水沟排出的水大多又流入河道, 汇合河水成为下游灌区的灌溉水源。塔里木河位于盆地西北边缘带, 是地形的最低处, 区内的地表径流和地下水径流均向此



处聚集,成为水体的容泄区。塔里木灌区农田中脱出的盐分,随着各级排水渠进入塔里木河,塔里木河水质受到影响,近年来离子浓度增加,矿化度上升,pH 值升高,且水质随季节性变化较大,枯水期矿化度、总硬度最高。

多年以来,一师每年都对垦区内大部分耕地进行洗盐排碱处理,每年春天与秋天各进行一次,方法为大水漫灌,用水量由土壤盐碱化程度决定,基本为 $160\sim 250\text{m}^3/\text{亩}$ ,这部分农田排水矿化度见表 1-1。由于矿化度较高,目前对这部分水资源的利用基本为 0,只有极少数地区在利用这部分排水进行生态林灌溉试验,试验效果并不理想。

表 1-1                      2008~2011 年塔里木灌区主要排水矿化度                      单位: g/L

| 取样点          | 3 月  | 4 月   | 5 月   | 6 月   | 7 月   | 8 月  | 9 月   | 10 月 |
|--------------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| 胜利水库 B1B2 段  | 4.04 | 4.72  | 4.19  | 3.88  | 3.89  | 3.79 | 3.47  | 3.59 |
| 胜利水库 B3B4 段  | 4.84 | 5.24  | 4.61  | 4.49  | 5.28  | 3.56 | 3.68  | 4.20 |
| 胜利水库总排       | 5.29 | 5.28  | 3.99  | 5.11  | 5.75  | 3.91 | 3.63  | 3.91 |
| 北二千 30km 截洪排 | 8.89 | 9.06  | 12.64 | 10.16 | 6.34  | 4.55 | 7.35  | 7.80 |
| 塔北作业站总排      | 7.92 | 12.17 | 14.00 | 5.81  | 7.49  | 7.53 | 13.67 | 8.76 |
| 塔南 94km 总排   | 5.89 | 12.59 | 13.20 | —     | 10.79 | 5.11 | —     | —    |

这部分农田排水通过各级排水渠进入塔里木河时,由灌区农田脱出的盐分也随之进入塔里木河水体,导致塔里木河水质恶化。主要表现在离子浓度增加、矿化度上升、pH 值升高等。同时由于塔里木河流域“上排下灌”这一传统的取水模式,上游排出的排碱水与河水混合后又被引入到下游农田,造成土壤盐渍化恶性循环,严重影响到整个塔里木河流域的用水安全与土壤盐渍化治理。

## 第 2 章 南疆特色经济林果灌溉制度确定

新疆南疆绿洲地区由于独特的光热资源,适于大面积的经济林果种植。近年来随着南疆农业产业结构的调整,枣树种植业规模也在逐渐扩大。以红枣为例,仅兵团第一师 2011 年红枣种植面积就达到了 4.33 万  $\text{hm}^2$ 。但是由于南疆地区水资源极度缺乏,以及当地农户为了追求经济产量,果树种植过程中灌溉方式大部分采用漫灌,极大地造成了水资源浪费。滴灌技术是节水农业中最有效的措施之一,它集灌溉施肥于一体,能适时适量地给果树供水、施肥,为果树的生长提供良好的空间小气候,同时具有节水、节肥等优点,而且有利于作物产量和水分及肥料利用率的提高,其优越性已被大量研究证明。

水分是影响旱地农业生产的最主要因素,而水分和养分是一对相互影响的因子,水分不足会影响营养物质的运移和转化,从而降低作物产量和品质,肥力不足则会影响水分的吸收。因此水分和养分的高效结合是发展旱地农业、节水农业的核心和关键。有关水分和养分之关系的研究表明,不同灌水时间和灌水方式均能改善作物的生长指标、根系分布、产量及其构成因素。为此国内外学者针对作物的水分利用及灌溉制度开展了大量的实验研究,但是由于南疆地理位置特殊,红枣产业近年来刚得到大力发展,尚缺乏针对红枣滴灌技术的完整研究,特别是在水资源高效利用方面。因此,开展滴灌条件下果树灌溉制度的研究具有重要意义。

### 2.1 红枣灌溉制度确定

#### 2.1.1 材料与方法

##### 1. 试验区选择

本试验在新疆阿拉尔市十团灌溉试验站内进行,选取枣树生长一致的田块开展试验研究,土壤理化性质初始值见表 2-1。

表 2-1 试验地土壤理化状况

| 试验地点      | 土壤质地 | 碱解氮<br>/(mg/kg) | 硝态氮<br>/(mg/kg) | 土壤容重<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 田间持水率/% | 速效磷<br>/(mg/kg) | 速效钾<br>/(mg/kg) |
|-----------|------|-----------------|-----------------|-------------------------------|---------|-----------------|-----------------|
| 一师十团 1 号地 | 砂壤土  | 14.45~24.25     | 0.96~2.21       | 1.60                          | 21      | 6.95~16.79      | 14.56~19.97     |



## 2. 供试材料

试验材料为矮化密植种植模式下3年、4年、5年生嫁接、长势均匀的红枣树 (*Ziziphus jujuba*)，株间距为1m，行间距为1.5m，每个处理32株枣树。株高在1.0~1.5m。

## 3. 试验方案

为了满足流量要求，减少灌溉时间，大田采用双滴管布置模式，滴头距离红枣根区20cm，两个滴灌管分居枣树两侧。基本上保证对机械除草和大田管理不产生影响。灌水及施肥配方试验，按N、P、K混施，分别在芽期和新梢增长期、花期、幼果期、果实膨大期4个主要生育阶段施肥。单次施肥量按总施肥量进行平均。不同年份的具体试验方案如下。

(1) 2011年试验方案。红枣项目大田试验共划分了20个试验小区，主要进行了红枣根区滴灌施肥试验；采用包括土壤水分和总施肥量的2因素5水平设计，施肥主要以尿素（碳酰二胺—— $\text{CON}_2\text{H}_4$ ）和磷酸二氢钾（ $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ）为主，施肥方式为随水滴施。滴灌施肥量 $16\text{kg}/(\text{亩}\cdot\text{次})$ ，每个处理施肥量见表2-2，共5个施肥水平，分别为：F1——30%尿素+70% $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ；F2——40%尿素+60% $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ；F3——50%尿素+50% $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ；F4——60%尿素+40% $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ；F5——70%尿素+30% $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 。每个处理4个重复，共设20个小区，每小区10株树。同时考虑枣树生育关键期内（盛花期和挂果前期）累积灌水量、累积施肥量、土壤速效钾、速效磷等对净光合速率的影响，其中累积灌水量和累积施肥量见表2-2。

表 2-2

各处理下的小区灌水量和施肥量

| 处理号 |   |                        | 每个处理的灌水量<br>$/\text{m}^3$ | 生长关键期内累积灌水量<br>$/\text{m}^3$ | 尿素<br>$/\text{kg}$ | 磷酸二氢钾<br>( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )<br>$/\text{kg}$ | 生长关键期累积施尿素量<br>$/\text{kg}$ | 生长关键期累积施磷酸二氢钾<br>( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )<br>$/\text{kg}$ |
|-----|---|------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|
| F1  | 1 | $\text{W}_1\text{F}_1$ | 0.32                      | 3.2                          | 0.11               | 0.25                                                  | 1.1                         | 2.5                                                           |
|     | 2 | $\text{W}_2\text{F}_1$ | 0.26                      | 2.6                          | 0.11               | 0.25                                                  | 1.1                         | 2.5                                                           |
|     | 3 | $\text{W}_3\text{F}_1$ | 0.19                      | 1.9                          | 0.11               | 0.25                                                  | 1.1                         | 2.5                                                           |
|     | 4 | $\text{W}_4\text{F}_1$ | 0.13                      | 1.28                         | 0.11               | 0.25                                                  | 1.1                         | 2.5                                                           |
| F2  | 5 | $\text{W}_1\text{F}_2$ | 0.32                      | 3.2                          | 0.14               | 0.22                                                  | 1.4                         | 2.2                                                           |
|     | 6 | $\text{W}_2\text{F}_2$ | 0.26                      | 2.6                          | 0.14               | 0.22                                                  | 1.4                         | 2.2                                                           |
|     | 7 | $\text{W}_3\text{F}_2$ | 0.19                      | 1.9                          | 0.14               | 0.22                                                  | 1.4                         | 2.2                                                           |
|     | 8 | $\text{W}_4\text{F}_2$ | 0.13                      | 1.28                         | 0.14               | 0.22                                                  | 1.4                         | 2.2                                                           |