



# 新疆特色林果

# 滴灌节水关键技术研究

王振华 何新林 李文昊 等著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



# 新疆特色林果 滴灌节水关键技术研究

王振华 何新林 李文昊 等著



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

·北京·

## 内 容 提 要

本书围绕新疆特色林果滴灌节水关键技术进行论述,主要分析研究了新疆特色林果经济作物在不同滴灌条件下耗水规律及产量、品质指标的影响效应,提出了新疆特色林果滴灌条件下灌溉和水肥高效利用技术模式。全书共分为六章。

本书可作为农业水利工程、土壤物理等专业的研究生和高年级本科生的参考教材,也可供相关专业科研、教学和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

新疆特色林果滴灌节水关键技术研究 / 王振华等著

· -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2020. 5

ISBN 978-7-5170-8568-3

I. ①新… II. ①王… III. ①果树园艺—节水栽培—滴灌—研究 IV. ①S660.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第079646号

书 名	新疆特色林果滴灌节水关键技术研究 XINJIANG TESE LINGUO DIGUAN JIESHUI GUANJIAN JISHU YANJIU
作 者	王振华 何新林 李文昊 等著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	清淤永业(天津)印刷有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 14.75印张 289千字
版 次	2020年5月第1版 2020年5月第1次印刷
定 价	76.00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

# 前 言

干旱绿洲区生态环境脆弱，水资源是维系生态系统稳定以及绿洲农业发展的重要资源。新疆维吾尔自治区（全书简称新疆）地处欧亚大陆腹地，干燥少雨，蒸发强烈，全年平均降雨量仅为 147mm，年均蒸发量高达 1512mm，蒸降比超过 10，南疆地区甚至超过 30。新疆单位面积水资源量居全国倒数第 3 位，水资源匮乏严重影响新疆绿洲灌溉农业的可持续发展。作为我国典型的“荒漠绿洲、灌溉农业”农垦区，新疆农业灌溉用水量占国民经济用水总量的 90% 以上，南疆农业用水量占南疆用水总量的 95% 以上，灌溉水有效利用系数低，灌溉水的利用率不到 50%。认清目前以及未来变化条件下水安全与作物安全形势，找准农业水资源高效利用问题，在保证高产优产的前提下，减少农业用水量，是推动干旱区绿洲农业可持续发展的根本途径。

党的十九大报告提出实施国家节水行动，标志着节水成为国家意志和全民行动。节水灌溉是实现提高干旱区水土资源利用率、降低农业用水量、实现绿洲农业提质增效绿色发展的重要载体，发展节水灌溉是绿洲农业发展的必然选择。资料显示，截至目前，新疆灌溉总面积为 493.95 万  $\text{hm}^2$ ，节水灌溉总面积为 260.51 万  $\text{hm}^2$ ，占总灌溉面积的 52.74%，节水效果显著。虽然节水灌溉技术发展迅速，但在实际运用中还存在一些问题。由于农业生产过程中没有针对具体情况提出与节水相配套措施，缺乏理论指导，导致节水设备运行效率和节水效益低下。随着节水技术理论体系的不断完善和人们节水意识的不断提高，新疆节水发展将会迈上新的台阶，节水潜力巨大。

新疆土地广阔，昼夜温差大，光照时间长，有效积温高，生育期内降雨少。得天独厚的气候条件和生态环境非常适宜林果的生长发育，使新疆成为了我国重要的特色林果生产、加工和出口基地。“世

界红枣在中国，中国红枣在新疆”，我国红枣种植面积及产量居世界第一位，新疆枣树种植面积稳定在 40 万~50 万  $\text{hm}^2$ ，居全国第一，产量稳定在 270 万 t 左右，约占全国总产量的 1/2；我国葡萄种植面积居世界第二位，新疆作为全国葡萄主要产区之一，年产量在 220 万 t 以上，占我国葡萄总产量的 20%左右。目前新疆优质红枣和葡萄等特色林果的种植面积每年约达 1000 万亩，面积、产量、品质及人均消费量均居全国之首，其 GDP（生产总值）已超过 1000 亿元。特色林果的收入已占到当地农民年收入的 4 成以上，是当地支柱产业和主要的收入来源。现阶段，成龄枣树及葡萄仍然大面积采用传统漫灌的灌溉方式，灌溉定额在 1500mm 以上，农业节水水平较低，水资源浪费严重且严重挤占了生态用水，生态环境脆弱问题日趋严峻；同时，区域内并未针对性地制定相关施肥制度，缺乏科学合理的施肥技术指导生产，大量、过量施肥情况普遍存在。落后的水肥管理模式无法与区域内农业产业化发展趋势同步，阻碍区域内社会经济的发展。

传统漫灌灌溉方式严重浪费水资源，难以精准调控水肥，导致红枣、葡萄的产量低、品质差，缺少合理的科学灌溉施肥技术。滴灌是一种高效精准的灌溉技术，能够准确地将作物所需的水肥输送至根区，从而达到节水、增产、省力的效果。作为最有效的节水灌溉技术之一，滴灌利用滴灌设备，将灌溉水或溶于水中的化肥溶液加压（或地形自然落差）、过滤，通过各级管道输送到田地，再通过滴头使水以水滴的形式不断地湿润作物根系主要分布区的土壤，使其经常保持在适宜作物生长的最佳含水状态，从而达到优质、高产的目的。因此，滴灌已经开始成为新疆林果种植中首选的灌溉方式。由于新疆地区大面积常年漫灌突然改为滴灌，缺乏合理的灌溉技术指导，确定红枣、葡萄滴灌毛管布置模式，研究成龄果树漫灌改滴灌后水肥耦合效应，制定成龄果树稳定滴灌后水肥管理制度，确定当地滴灌红枣、葡萄的适宜灌溉制度，建立滴灌红枣、葡萄水肥耦合模型，提出滴灌红枣、葡萄水肥高效利用参数，对落实国家节水行动，推进农业水资源的高效利用，推动绿洲生态农业绿色高效节水，破解农业用水短缺与

作物持续高产稳产之间的矛盾均具有重要作用。

本研究依托现代节水灌溉兵团重点实验室（石河子大学）、哈密垦区灌溉试验站、一师灌溉试验站等研究基地，在南疆、东疆不同气候类型区，应用滴灌节水技术种植特色林果（东疆葡萄、大枣，南疆红枣等），研究新疆特色林果经济植物滴灌条件下水分生长关系和耗水指标，确定最优需水量，提出滴灌工程最优设计参数，制定不同特色林果高效节水灌溉制度，阐明滴灌条件下特色林果水肥生产函数，提出新疆特色林果滴灌条件下高效灌溉技术和水肥高效利用技术模式。研究成果可以解决新疆水资源不足限制特色林果生产的问题，提高灌溉水利用效率，为保护和改善新疆的农业生态环境和农业的可持续发展提供理论依据和技术支撑，对发展新疆经济、稳定边疆和保障国家水安全有着重要意义。

本书内容先后得到新疆生产建设兵团（以下简称兵团）科技支疆项目“吐哈盆地特色瓜果高效节水综合技术集成与示范（2008ZJ03）”、水利部公益性行业专项经费项目“新疆特色经济农林作物高效用水技术集成研究与示范（201101050）”东疆子课题、兵团农业科技园区项目“特色林果高效节水技术研究与示范（2013DD005）”、国家星火计划重点项目“东疆红枣高效节水技术示范与推广（2014GA891008）”、国家科技支撑计划项目“南疆典型沙区水资源高效利用关键技术研究（2014BAC14B01）”、兵团首批中青年科技创新领军人才计划项目“干旱区节水灌溉理论与新技术研究（2015BC001）”、兵团灌溉试验项目“特色林果自动化控制灌溉模式研究（2015019）”、兵团灌溉试验项目“第十三师哈密垦区葡萄作物系数（ $K_c$ ）及灌溉制度研究（BTJSSY—201805）”等项目的资助。

本书由王振华、何新林、李文昊统稿，具体参与本书编写的还有宗睿、温越、杨慧慧、何建斌、胡家帅、扁青永、侯裕生等人。本书还参考了其他单位和个人的研究成果，均在参考文献中标注，在此谨向所有参考文献的作者表示衷心的感谢！

在本书成稿之际，向所有为本书出版提供支持和帮助的同仁表示

衷心感谢。由于研究条件、研究时间以及研究经费有限，所取得的研究成果仅仅涵盖了新疆特色林果滴灌节水关键技术的一部分内容，相关研究仍需要进一步深入开展，对有些问题的认识还有待进一步探索。同时，受学识视野和水平所限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请同行专家批评指正。

**作者**

2020年3月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 研究意义</b> .....	1
一、西北干旱区水肥管理形势严峻 .....	1
二、新疆特色林果业滴灌技术蓬勃发展 .....	2
三、研究意义和重要性 .....	2
<b>第二节 国内外研究现状分析</b> .....	3
一、特色林果滴灌毛管设计模式 .....	3
二、新疆特色林果滴灌技术耗水规律及灌溉制度研究 .....	5
三、新疆特色林果滴灌技术水肥耦合研究 .....	6
<b>第三节 本书研究内容、研究目标及主要研究结果</b> .....	8
一、研究内容 .....	8
二、研究目标 .....	10
三、主要研究结果 .....	10
<b>第二章 新疆特色林果滴灌毛管设计参数</b> .....	15
<b>第一节 试验概况</b> .....	16
一、项目区概况 .....	16
二、哈密第十三师滴灌葡萄工程总体设计 .....	18
三、试验小区概况 .....	22
四、测定项目及方法 .....	23
<b>第二节 毛管铺设方式对果树生育期土壤水分影响</b> .....	25
一、不同的毛管铺设方式在葡萄各生育期土壤中水分分布状态 .....	25
二、不同的毛管铺设方式在大枣土壤中的水分分布规律 .....	30
<b>第三节 不同滴灌毛管铺设方式对果树生长状况的影响</b> .....	32
一、不同的毛管铺设方式对葡萄树各生长量指标的影响 .....	33
二、不同的毛管铺设方式对大枣各生长量指标的影响 .....	38
三、依据本试验研究滴灌系统毛管优化设计工程投资核算 .....	43
四、工程总投资概算 .....	43

<b>第三章 吐哈盆地滴灌葡萄耗水规律及灌溉制度研究</b> .....	46
<b>第一节 试验区概况与试验方法</b> .....	47
一、试验区基本情况 .....	47
二、试验观测实施方案 .....	49
<b>第二节 试验基地监测结果分析</b> .....	52
一、试验区气象要素变化 .....	52
二、试验区土壤监测分析 .....	55
三、葡萄植株监测分析 .....	55
四、葡萄物候期的田间管理 .....	57
<b>第三节 吐哈盆地滴灌葡萄耗水规律研究</b> .....	58
一、全生育期不同深度土层水分变化 .....	59
二、不同灌溉定额下滴灌葡萄主要生育阶段土壤水分变化 .....	61
三、不同灌溉定额下滴灌葡萄耗水量分析 .....	65
四、作物系数 $K_c$ 值的计算 .....	71
<b>第四节 吐哈盆地滴灌葡萄生长指标与灌溉制度</b> .....	72
一、不同灌水量处理对葡萄生长发育的影响 .....	73
二、滴灌葡萄节水增产效果分析 .....	77
三、吐哈盆地滴灌葡萄水分生产函数模型 .....	78
<b>第四章 吐哈盆地滴灌葡萄水肥耦合效应研究</b> .....	83
<b>第一节 试验材料与方法</b> .....	84
一、试验地基本情况 .....	84
二、田间试验布置 .....	85
三、试验设计 .....	85
四、测试项目及方法 .....	87
五、数据分析 .....	91
<b>第二节 水肥耦合对滴灌葡萄耗水规律的影响</b> .....	91
一、生育期内参考作物蒸发蒸腾量的动态变化 .....	92
二、生育期内不同水肥处理土壤含水率动态变化 .....	94
三、生育期内不同水肥处理下滴灌葡萄耗水规律 .....	95
四、生育期内不同水肥处理下滴灌葡萄耗水强度的动态变化 .....	97
五、充分灌溉条件下生育期内作物系数的动态变化 .....	100
<b>第三节 水肥耦合对滴灌葡萄生理生长及产量品质的影响</b> .....	100
一、不同水肥处理对滴灌葡萄生长指标的影响 .....	102
二、不同水肥处理对滴灌葡萄生理指标的影响 .....	105

三、不同水肥处理对滴灌葡萄产量、水肥利用效率及品质的影响	119
第四节 极端干旱区滴灌葡萄水肥适宜用量综合评价	120
一、基于主成分分析法的极端干旱区滴灌葡萄水肥适宜用量综合评价	120
二、基于灰色关联分析法的极端干旱区滴灌葡萄水肥适宜用量综合评价	123
三、基于多元回归分析法的极端干旱区滴灌葡萄水肥适宜用量综合评价	126
四、极端干旱区滴灌葡萄水肥耦合模式工程灌溉参数	129
<b>第五章 南疆沙区成龄红枣漫灌改滴灌耗水规律及灌溉制度研究</b>	132
第一节 试验概况与方法	133
一、试验区概况	133
二、试验方法	134
三、测定项目及方法	135
第二节 灌水对漫灌改滴灌红枣水盐的影响	137
一、灌水对漫灌改滴灌红枣土壤水分的影响	139
二、灌水对漫灌改滴灌红枣土壤盐分的影响	143
第三节 灌水对漫灌改滴灌红枣光合特性的影响	150
一、漫灌改滴灌红枣光合特性自然环境影响因素	151
二、漫灌改滴灌红枣光合特性研究	155
第四节 灌水对漫灌改滴灌红枣生长和耗水量的影响	163
一、不同灌水处理对漫灌改滴灌红枣生长指标和品质的影响	164
二、不同灌水处理对漫灌改滴灌红枣耗水量、产量和水分利用效率的影响	169
三、红枣漫灌改滴灌工程灌溉参数	172
<b>第六章 南疆沙区滴灌红枣水肥耦合效应研究</b>	175
第一节 试验材料与方法	176
一、试验地基本情况	176
二、田间试验布置	177
三、测试项目及方法	179
四、数据分析	181
第二节 水肥耦合对滴灌红枣土壤水盐及养分的影响	181
一、不同水肥处理土壤含水率随时间变化	181
二、不同水肥处理土壤含盐量随时间变化	182

三、不同水肥处理土壤含水率和含盐量空间变化 .....	185
四、变异性分析 .....	186
五、不同水肥处理对土壤脱盐率的影响 .....	187
六、不同水肥处理对红枣土壤养分的影响 .....	187
第三节 水肥耦合对滴灌红枣生理生长的影响 .....	191
一、不同水肥处理对红枣光合特性及水分利用效率的影响 .....	191
二、不同水肥处理对滴灌红枣叶绿素相对含量的影响 .....	196
三、不同水肥处理对滴灌红枣生长指标的影响 .....	197
四、相关性分析 .....	198
第四节 水肥耦合对滴灌红枣产量及品质的影响 .....	200
一、不同水肥处理对滴灌红枣产量的影响 .....	201
二、不同水肥处理对滴灌红枣品质的影响 .....	202
三、不同水肥对滴灌红枣净收益的影响 .....	203
四、水肥投入与产量和品质的关系 .....	203
五、相关性分析 .....	207
六、滴灌红枣水肥耦合工程参数 .....	207
参考文献 .....	210

# 第一章 绪 论

## 第一节 研究意义

### 一、西北干旱区水肥管理形势严峻

新疆维吾尔自治区位于中国西北边陲，地处东经  $73^{\circ}40'$ ~ $96^{\circ}24'$ 、北纬  $34^{\circ}22'$ ~ $49^{\circ}08'$ 之间，面积为 166 万  $\text{km}^2$ ，占我国国土总面积的  $1/6$ ，是我国陆地面积最大的省级行政区。新疆地处亚欧大陆腹地，战略位置十分重要，陆地边境线 5600 多 km，占我国边界线总长的  $1/4$ ，同时与 8 个国家接壤，在历史上是古丝绸之路的重要组成，也是第二座“亚欧大陆桥”的必经之地。

新疆深居内陆，远离海洋，受高山阻挡，海洋气流极难到达，形成明显的温带大陆性气候，气温温差较大，光照时间长，太阳能资源丰富，降雨量少，蒸发作用强烈，各地气候条件差异较大。据统计，北疆降雨量为  $100\sim 200\text{mm}$ ，年蒸发量为  $1000\sim 2000\text{mm}$ ，蒸发量几乎是降雨量的 10 倍；南疆降雨量为  $5\sim 100\text{mm}$ ，年蒸发量为  $2000\sim 4000\text{mm}$ ，蒸发量是降雨量的 30 倍以上。

目前，超过 90% 的新疆人口居住在绿洲之中。绿洲农业是绿洲经济发展的基础，绿洲农业的稳定和发展离不开灌溉。但是随着新疆经济社会的快速发展，人口逐年累计，新疆绿洲承载力日益加重，人口与水资源、生态环境的矛盾日益突出，经济社会发展严重受到水资源限制。如何破解水资源紧缺问题，是新疆亟待解决的重大难题。据统计，新疆农业用水比例占社会经济用水总量的 90% 以上，但农业只占 GDP 总量的 13.87%。其原因为部分区域农业用水灌溉方式粗犷，灌溉水利用效率低，水资源匮乏与水资源浪费现象并存。因此提高农业用水效率、减少水资源浪费是节约水资源的关键。党的十九大报告提出实施国家节水行动，标志着节水成为国家意志和全民行动。

但由于葡萄的大面积种植受泵房、水源水渠供应等条件的限制，仍然有大面积的特色林果滴灌系统工程尚未得到统一普及。另外，由于成龄葡萄树和大枣树的根系在多年漫灌条件下分布已经相当广泛，采用一般的一行一管或者一行两管的毛管布设方式满足不了果树对水分的需求，而且滴灌系统的安装调整以及水源循环都还不是很完善，绝大部分农户看不到滴灌系统的优点，又考虑到滴灌系统的成本较传统的沟灌高，所以滴灌系统在特色林果上的应用受到很

大限制。而现阶段，新疆红枣业灌溉水利用率普遍低下，农一师地区 12.67 万  $\text{hm}^2$  的红枣和东疆吐哈盆地地区成龄葡萄大面积采用传统漫灌灌溉方式，灌溉定额高达 1650mm。枣农和葡萄种植户的管理与知识水平有限，红枣和葡萄的管理技术仍然以经验灌溉为主，随意灌溉现象较为普遍，农业节水水平较低，水资源浪费严重且严重挤占了生态用水，生态环境脆弱问题日趋严峻。长期以来，对作物耗水规律的研究未形成统一共识，针对特定区域内不同水肥处理下作物耗水规律的研究更少。同时针对吐哈盆地地区成龄葡萄和南疆沙区成龄红枣的灌水施肥制度的确定大多基于生长、产量指标，并未从生理、产量及品质指标方面对水肥用量进行综合评价。南疆和东疆地区并未针对性地制定相关施肥制度，缺乏科学合理的施肥技术来指导生产，大量、过量施肥情况普遍存在。落后的水肥管理模式无法与区域内农业产业化发展趋势同步，阻碍区域内经济的可持续发展。

## 二、新疆特色林果业滴灌技术蓬勃发展

目前新疆优质红枣和葡萄等特色林果的种植面积每年约达 1000 万亩，面积、产量、品质及人均消费量均居全国之首，其 GDP（生产总值）已超过 1000 亿元。特色林果的收入已占到当地农民年收入的 4 成以上，是当地支柱产业和主要的收入来源。现阶段，成龄枣树及葡萄仍然大面积采用传统漫灌的灌溉方式，灌溉定额在 1500mm 以上，农业节水水平较低，水资源浪费严重且严重挤占了生态用水，生态环境脆弱问题日趋严峻。近几年，工农业用水矛盾日益突出，水资源严重短缺，阻碍了新疆地区农业及社会经济的可持续发展。目前在果树上主要采用的微灌形式为涌泉灌、滴灌，其节水率均在 30%~40% 之间，增产率在 10%~15% 之间，滴灌经济技术指标相对较高。下面对两种灌溉方式在我区应用情况进行分析比较：在灌水特性上，涌泉灌单孔流量大，灌水效率介于滴灌与淹灌之间，易出现深层渗漏，降低了肥料利用率；滴灌灌水效率相对较高，通过使用观察滴灌改善和控制作物在土壤中生长环境（水、肥、气、热、微生物）能力表现最好；滴灌对水质要求较严；工程施工中，涌泉灌工程毛管及滴头安装工序较多，工作量大；工程建设一次性亩投资比较，涌泉灌工程亩投资为 850~900 元/亩，渠水加压滴灌工程亩投资在 650 元/亩左右（井水加压滴灌工程在 550 元/亩左右）。果树滴灌技术在新疆南疆区已大面积推广应用。

## 三、研究意义和重要性

滴灌是当今应用最广泛的节水灌溉技术。它利用低压管道系统，使水成点、缓慢、均匀又定量地浸润作物根系发达的区域，使作物主要吸水层土壤始终保

持在最优含水状态。传统的地面灌溉湿润全部面积的土壤，滴灌仅湿润作物根区土壤，因此滴灌能够节约用水量、促进作物生长、提高产量和品质，是一种有效的局部灌水技术。滴灌技术的发展起源于 19 世纪 60 年代。我国早在 1974 年就从墨西哥引进滴灌技术，之后该技术的发展起起伏伏。在 1996 年，新疆成功将滴灌技术应用于棉花栽培中，之后该技术迅速发展。到目前，新疆已是我国滴灌技术应用最广、效果最好的地区。新疆绿洲灌溉农业取得的成就离不开农业节水灌溉技术的发展，高效节水灌溉技术是绿洲农业稳产高产的保障。新疆昼夜温差大，光照时间长，有效积温高，生育期内降雨少。这些得天独厚的气候条件和生态环境非常适宜林果的生长发育，使新疆成为了我国重要的特色林果生产、加工和出口基地。如何合理利用滴灌技术来发展新疆特色林果业以起到节水、增产、提效的作用已成为亟待解决的问题。

因此本研究针对新疆干旱区葡萄及红枣种植中存在的灌溉制度不合理、肥料生产效率低、土壤次生盐碱化等问题，系统研究并揭示了东疆吐哈盆地葡萄种植技术、南疆沙区枣树栽培中滴灌节水关键技术，根据葡萄及红枣需水规律、盐碱地滴灌土壤水盐运动特征、漫灌改滴灌枣树及滴灌葡萄水肥耦合模型，形成了“新疆特色林果滴灌节水关键技术研究”研究成果，为滴灌在新疆特色林果中的推广应用提供了理论依据和技术支撑，有效解决了新疆水资源匮乏对葡萄、红枣生产限制的问题，为保护和改善新疆的农业生态环境和农业的可持续发展提供了有力的技术支撑，对发展新疆经济、稳定边疆具有重要意义。

## 第二节 国内外研究现状分析

### 一、特色林果滴灌毛管设计模式

对常规微灌技术在果园中应用的研究主要集中在葡萄园田间毛管的布置方式、滴头的技术参数选型以及微灌灌水方式等方面。陈若男（2010）在滴灌技术下采用的毛管布置方式为一沟三管，滴头间距为 40cm、滴头流量为 2.7L/h 的不同灌水周期得出了产量与地上净增加生物量的关系。杨艳芬等（2009）采用地面滴灌技术，布设 4 个处理，分别为：滴头间距为 30cm、滴头流量为 2.7L/h 的两管布置；滴头间距为 30cm、滴头流量为 3.3L/h 的三管布置；滴头间距为 30cm、滴头流量为 2.7L/h 的地下滴灌两管布置；滴头间距为 50cm、滴头流量为 1.6L/h 的地下滴灌三管布置。结果表明：地面滴灌中的三管布置、滴头流量为 3.3L/h、滴头间距为 30cm 处理的效果达到了最优，在该处理下土壤的含水率、葡萄的水分生理指标及其产量均处于比较高的水平。王俊等（2009）研究了干旱内陆河灌区葡萄在滴灌条件下的水盐规律，研究结果认为在无排水

的情况下采用滴灌的方式进行灌溉十分有效。

随着水资源的日益紧缺，对果树节水的研究也不断深入，人们将果园早期的漫灌改为沟灌、格田灌等新的节水灌溉技术，同时采用隔沟灌技术，在不明显降低产量的情况下取得良好的节水效果。黄兴法、李光永等（2001）对苹果微喷灌进行了相关研究，但是由于微喷灌有漂移损失过大、投资成本也相对比较高等缺点，没有大面积推广。兵团第十三师设计院谭明（2003）研究应用涌泉灌技术灌溉葡萄，经过6年的研究和应用，发现涌泉灌比沟灌节水15%，但存在的主要问题是灌溉时地面一定范围内有积水，其主要表现是在作物根系范围内土壤中的水、空气等比例失调，同时人工安装补偿式流量调节器工作量较大。O. C. Vilela等（2004）在巴西北部采用V形槽对葡萄进行灌溉，可以节水12%，较好地解决了当地季节性缺水的问题。但是果园不一定种植在平整土地上，这种灌溉方式在山坡、丘陵、地势起伏较大的地块有很大的局限性。在逐渐否定漫灌、沟灌、微喷灌、涌泉灌等节水技术的过程中，专家学者越来越倾向于运用滴灌技术灌溉果树，在滴灌条件下果树耗水规律及果树滴灌灌溉制度制定等方面取得了显著成绩。

E. L. Proebsting等（1993）在设置不同的供水方式条件下对苹果树进行水分调亏试验做了研究，采用滴灌和喷灌的灌水方式，滴灌苹果树的灌水量设置为蒸发皿蒸发量的100%、75%、50%，而喷灌一直保证在充分供水的条件下进行。结果表明：与充分供水的喷灌处理相比，滴灌条件下具有比较低的叶水势，比较少的树体生长量；滴灌出来的果实有较低的水分含量，但有比较高的可溶性固体物质含量，以及较低的滴定酸含量和较深的果实颜色；储存一段时期之后，滴灌条件下的果实硬度较低；最终收获时两者的果实硬度相近，产量也相似。

针对果树滴灌技术，我国专家们也做了大量研究工作。林华等（2003）认为，荒漠地区滴灌葡萄根系垂直和水平分布较漫灌葡萄更集中，根幅相对较小，但滴灌葡萄吸收根总量大于漫灌33.5%~38.6%，使用滴灌比沟灌能够减少用水量50%以上；经过相同时间后，滴灌土壤含水量高于沟灌1.9%~2.5%，产量提高17%，含糖量提高1.9%；在节水的同时达到省肥、防寒及优产的目的。谢洪云等（2006）针对滴灌在樱桃设施栽培上的应用进行了试验研究，结果表明，在樱桃设施栽培上应用滴灌，可以节水50%左右，并且改善了果实品质。杜太生等（2007）在干旱缺水的甘肃河西荒漠绿洲区将单管、双管滴灌应用于葡萄上，同时考虑双管投资过大、单管土壤湿润均匀性差的问题，采用单管分根交替灌溉对葡萄进行研究，表明滴灌灌溉葡萄可以节水，但不降低葡萄产量。除此之外，薛世柱（2008）、陈伊锋（2008）、王荣莲（2009）、陆树华等（2009）等对滴灌技术在打瓜、番茄等特色瓜果上的应用做了大量研究工作，表

明在特色瓜果上应用滴灌技术具有节水、增产、省肥等效果。

## 二、新疆特色林果滴灌技术耗水规律及灌溉制度研究

葡萄和红枣对水分环境要求较高，对土壤中水分的精准控制是种好葡萄和红枣的前提。滴灌技术与传统灌溉方式相比，可实现灌溉过程的准确控制。因此滴灌技术在葡萄和红枣种植上有较多应用。常英祖（2006）通过开展葡萄膜下滴灌与沟灌对比试验发现，膜下滴灌处理葡萄萌芽率提升、坐果率增大、产量和品质也有大幅度提高，比沟灌处理增产约 20%。龚玉梅等（2001）针对红提葡萄开展滴灌灌溉试验，结果表明在同一灌水定额处理下，滴灌处理生长指标较漫灌处理增加 17.1%~39.6%。曾辰（2010）通过试验研究发现，在保证水分利用效率和产量指标的基础上，吐鲁番地区滴灌葡萄最佳灌水量为 942~994.5mm，鄯善地区为 1150.5~1399.5mm。任玉忠等（2012）进行了滴灌、地面灌和微喷灌 3 种不同灌水方式对枣树生长和果实品质的影响试验，研究发现滴灌比地面灌节水 49%，产量增加 22%，水分利用效率提升 240%，而且叶面积指数、果实含糖量等指标均显著提高。翟雍同（2014）通过试验研究发现，在滴灌条件下，葡萄枝条基部周长随着滴灌灌水定额的增大而增大；随着灌溉定额的增加，叶面积、百粒重、单株产量和亩产量等指标也逐渐增加。王琨等（2016）通过田间试验和室内方法，研究了灌水次数对葡萄生长发育和果实品质的影响，结果表明，灌水次数对葡萄生长发育和果实品质影响显著：在相同滴灌条件下，12 次灌水频率处理梢长最大、新梢发生率最高、干物质累积量最大；14 次灌水频率处理葡萄产量最高、还原性糖含量最高、总酸含量最低。

作物需水量是指生长良好的无病虫害作物，在土壤水分、肥力适宜时，在给定的生长环境中，能获得高产潜力条件时，植株蒸腾、棵间蒸发、组成植株体所需水量之和。作物水分生产函数（crop water production function）是指作物产量与消耗的水量之间的关系。作物产量有经济产量和干物质产量两种表示方式，耗水量则可以表示为作物蒸发蒸腾量、灌溉水量或可利用水量等（Kramer et al., 1979）。栗晓玲等（2005）认为，沙漠区域中滴灌苹果树的耗水规律呈单峰型变化，6 月中旬到 7 月是果树的需水临界期，此时果树耗水量最高，8 月后开始逐渐下降；不同灌水处理下，作物系数变化不明显，滴灌灌溉与地面灌溉相比，前者苹果树的作物系数远远小于后者作物系数，与孟平等（2005）对苹果树生育期耗水量研究结果相一致。洪明等（2014）通过对灌水定额和滴头流量对枣树的耗水规律影响的研究发现，在砂壤土条件下，入渗深度随灌水定额的增大而加深。在相同灌水定额条件下，增大滴头流量能够增大土壤的入渗深度。整个生育内各灌水处理下红枣耗水规律均呈“上升—下降”的单峰曲线变化，在 8 月 10 日左右出现峰值，各处理日均耗水量变化范围为 4.0~

5.7mm。何建斌等（2012）通过对滴灌哈密大枣土壤水分及生长指标的研究发现，在滴灌条件下，哈密大枣的根系分布在距主干1m范围内，计划湿润层为80cm，哈密大枣在整个生育期内各处理耗水均呈现“上升—下降”的变化规律，果实白熟期耗水量达到最大；当总灌水量为1000mm时，大枣的水分生产效率最大，与郑强卿等（2013）对和田地区滴灌条件下骏枣需水规律研究结果一致。探究并掌握红枣的耗水规律，对于控制枣树水分供应和盈余生长，刺激枣树补偿效应，以及红枣果实品质的调控均具有重要意义和理论价值。耗水规律是作物合理灌溉及灌溉工程设计的基础，因此要正确运用滴灌水肥一体化技术，制定出完善的灌溉制度，首先就要针对不同水肥条件下作物耗水规律进行研究。王成等（2014）在南疆沙区开展滴灌红枣水肥利用试验研究，发现红枣的耗水量大小与灌水量成正比，且主要是由棵间蒸发造成，不同施肥水平下红枣耗水量存在差异；权丽双等（2016）研究了水氮耦合对复播油葵土壤水分利用的影响，结果表明，油葵耗水量大小与灌溉定额与施氮量均成正相关关系；何建斌等（2013）对不同水肥处理下极端干旱区滴灌葡萄耗水规律开展试验研究，研究表明葡萄耗水量随灌溉定额和施肥量的增加而增加；孙洪仁等（2005）的研究表明，在一定范围内紫花苜蓿耗水量随着灌水定额的增加而增大；Sammis（1981）采用线源喷灌系统进行的紫花苜蓿耗水试验表明，紫花苜蓿的耗水量随着灌水定额的增加而增大；刘洪波等（2011）的研究表明，库尔勒香梨的耗水量随灌溉定额的增加而增大，耗水强度在香梨整个生育期内的变化规律与耗水量趋势一致；黄兴法等（2001）对苹果开展调亏灌溉试验，研究表明，与充分灌比较，调亏灌溉处理在产量不受影响的情况下，耗水量减少了10.2%~11.2%；钱翠等（2012）的研究表明，不同水肥处理下当归阶段需水量、作物系数与灌水量大小成正比，作物系数随时间推进呈先增大后减小的趋势；刘洪波等（2012）的研究表明，葡萄生育期内各水分处理耗水呈现先升再降、再升再降的波形变化趋势；纪学伟等（2015）认为葡萄耗水强度和耗水模数均在浆果生长期达到峰值；何建斌等（2012）的研究表明，哈密地区大枣耗水呈由低到高再降低的变化趋势，耗水高峰期在白熟期。

### 三、新疆特色林果滴灌技术水肥耦合研究

农业生产中，水、肥是影响作物生长发育的主要因素，合理的水肥施用可促进作物生长发育。张赛等（2018）通过开展玉米水肥耦合试验研究发现，在高、中水处理下，玉米株高随施肥量的增加而增加，低水处理下，施肥量对株高影响不显著；Nesme等（2006）的研究表明，适宜的水肥用量可在一定程度上改善矮化红富士幼树的营养状况，促进新梢生长和开花结果；Herbinger等（2002）通过试验研究发现，干旱胁迫可降低作物叶片叶绿素含量；高静等