

垄作沟灌节水栽培 原理与技术

The Principle and Technology of Water-Saving
Cultivation under Bed Planting Systems

马忠明 著



垄作沟灌节水栽培原理与技术

马忠明 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕干旱灌区水资源紧缺和利用效率不高的现状,在分析节水农业技术研究应用现状和问题的基础上,系统总结了 10 多年来干旱灌区春小麦和啤酒大麦垄作沟灌节水栽培原理与技术,玉米、制种玉米、经济作物和瓜菜垄膜沟灌节水栽培原理与技术,以及主要配套农机具等方面的研究成果,还附录了 13 项由研究团队制定并经甘肃省质量技术监督局颁布实施的地方技术标准。本书内容新颖,适用性强,对发展我国干旱灌区节水农业具有参照价值。

本书可供农学、水利、土壤、植物营养和农机等相关专业的科技人员和在读研究生参阅,也可从事节水农业和作物栽培的相关管理人员提供参考依据。

图书在版编目(CIP)数据

垄作沟灌节水栽培原理与技术 / 马忠明著. —北京: 科学出版社, 2015.8
ISBN 978-7-03-045269-6

I. ①垄… II. ①马… III. ①垄作-沟灌-节水栽培 IV. ①S318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 174575 号

责任编辑: 李秀伟 白 雪 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 北京图阅盛世文化传媒有限公司

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏意印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 8 月第 一 版 开本: 720×960 1/16

2015 年 8 月第一次印刷 印张: 15 3/4 插页: 4

字数: 280 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

农业作为国民经济的第一产业，在我国的国民经济结构中具有十分重要的地位，是其他经济产业发展壮大的基础。近年来，随着社会经济的发展，工业化和城镇化快速推进，工业生产和人口增长对农产品产量和质量需求不断提高，保障国家粮食安全的责任越来越重。但由于耕地、淡水资源的有限性，传统农业生产技术对农业发展的推动日渐乏力，粮食生产对农业科技创新的需求日渐迫切。

甘肃省地处祖国西北地区，干旱缺水是农业生产的最大障碍。位于省内西端的河西干旱灌区水资源总量有限，农业生产长期受资源性缺水 and 结构性缺水问题的困扰，加之国家对内蒙古生态用水的宏观调剂，更加重了河西灌区水资源的短缺。面对水资源不足的压力，河西地区迫切需要借助农业科技创新的支撑来实现建立商品粮生产基地和发展区域特色农业的目标。近年来，研究和示范推广节水农业技术，对河西灌区粮食作物和特色经济作物的高产稳产发挥了重要作用，节水栽培技术在作物增产增效中的份额逐年增加。但面对甘肃省农业经济的现状，高投入的节水技术难以在大田作物上推广应用，要进一步提高水资源的利用率和利用效率，必须从改革现有地面灌溉技术入手，研究示范成本低、操作性强和节水增产效果明显的新技术。

甘肃省农业科学院的科技人员自 2002 年开始，围绕河西干旱灌区水资源紧缺的现状，开展垄作沟灌节水栽培技术的研究。先后完成了节水增产效果对比研究、主效农艺措施优化与配套、适宜品种引进与筛选、节水增产机理研究和农机具研制与配套等专项研究，颁布实施了 13 项地方技术标准，申报了 3 项国家发明专利。经过 10 年的试验研究与示范印证，成功提出了春小麦、玉米、制种玉米、啤酒大麦、瓜菜和经济作物的垄作沟灌和垄膜沟灌节水栽培技术，取得了显著的节水增产效果。该技术成为继旱地全膜覆盖双垄沟播集雨抗旱栽培技术之后又一项适宜在甘肃省灌区推广的节水栽培技术，被甘肃省人民政府列为 2010~2012 年全省“千万亩十亿方节水工程”的主体推广

技术, 3 年推广面积达 1000 万亩^①以上。

本书在分析节水农业技术研究应用现状和问题的基础上, 系统总结了 10 年来科研团队在干旱灌区垄作沟灌节水栽培技术和垄膜沟灌节水栽培技术方面的研究成果。本书分为 8 章。第一章综述和系统分析了国内外节水农业方面的新理论和新技术、存在的问题及未来发展趋势。第二章分析总结了多年固定道垄作沟灌节水栽培条件下春小麦的生长与产量效应、蒸散特征与节水效应、土壤温度变化、土壤水分变化与再分布和主要栽培技术。第三章和第四章分析总结了春小麦和啤酒大麦垄作沟灌栽培条件下的土壤环境变化、生长与产量效应、土壤水分变化与节水效果、主效栽培措施优化与配套和主要栽培技术。第五章和第六章分析总结了制种玉米和玉米垄膜沟灌栽培条件下生长与产量效应、耗水规律与节水效果、水肥耦合与产量形成和主要栽培技术。第七章分析总结了马铃薯、加工型甜椒、加工型番茄、洋葱、油葵、西瓜和甜瓜等作物垄膜沟灌栽培技术。第八章介绍了麦类作物垄作沟灌起垄播种机和玉米垄膜沟灌起垄覆膜机的主要配套机型, 阐述了其工作原理和操作技术。书中还附有 13 项由研究团队制定并经甘肃省质量技术监督局颁布实施的地方技术标准。

本书的编写得到了研究团队成员的大力支持。王智琦、吕晓东、杜少平、连彩云、张立勤、唐文雪和薛亮等参与了技术规程的编写, 研究生白玉龙在书稿的编辑和校对等方面做了大量工作, 在此表示感谢。由于研究水平有限, 书中难免存在不足之处, 恳请同行提出宝贵意见。

著 者

2015 年 3 月 18 日

^① 1 亩 $\approx 666.7\text{m}^2$

目 录

前言

第一章 节水农业技术研究现状与发展	1
第一节 水资源及其利用概况	1
第二节 节水农业技术研究重点与进展	8
第三节 地面灌溉技术的改进与发展	16
第二章 春小麦固定道垄作沟灌节水栽培技术	23
第一节 种植模式与产量效应	23
第二节 土壤温度变化与植株生长	25
第三节 土壤水分变化与节水效果	31
第四节 主要栽培技术	45
第三章 春小麦垄作沟灌节水栽培技术	48
第一节 种植模式与产量效应	48
第二节 土壤微生境变化与植株生长	51
第三节 土壤水分运移与节水效果	55
第四节 主效栽培措施优化与配套	61
第五节 主要栽培技术	66
第四章 啤酒大麦垄作沟灌节水栽培技术	68
第一节 种植模式与产量效应	68
第二节 耗水规律与节水效果	72
第三节 主效栽培措施与产量形成	75
第四节 主要栽培技术	78
第五章 制种玉米垄膜沟灌节水栽培技术	80
第一节 种植模式与产量效应	80
第二节 耗水规律与节水效果	84
第三节 水肥耦合与产量形成	86
第四节 主要栽培技术	90

第六章 玉米垄膜沟灌节水栽培技术	93
第一节 种植模式与产量效应	93
第二节 水分利用与节水效果	98
第三节 主要栽培技术	100
第七章 蔬菜 and 瓜类垄膜沟灌节水栽培技术	104
第一节 马铃薯垄膜沟灌节水栽培技术	104
第二节 加工型甜椒垄膜沟灌节水栽培技术	107
第三节 加工型番茄垄膜沟灌节水栽培技术	110
第四节 洋葱垄膜沟灌节水栽培技术	113
第五节 油葵垄膜沟灌节水栽培技术	116
第六节 西瓜、甜瓜垄膜沟灌节水栽培技术	119
第八章 垄作沟灌配套农机具研制与应用	125
第一节 麦类作物垄作沟灌配套机型与工作原理	125
第二节 玉米垄膜沟灌配套机型与工作原理	132
第三节 固定道垄作沟灌配套机型与工作原理	136
第四节 垄作沟灌配套机具的操作规程	139
参考文献	142
附件 1 春小麦（啤酒大麦）固定道垄作沟灌节水栽培技术规程	146
附件 2 春小麦垄作沟灌节水栽培技术规程	154
附件 3 啤酒大麦垄作沟灌节水栽培技术规程	161
附件 4 玉米半膜覆盖垄膜沟灌节水栽培技术规程	167
附件 5 玉米全膜覆盖垄膜沟灌节水栽培技术规程	176
附件 6 制种玉米垄膜沟灌节水栽培技术规程	185
附件 7 马铃薯垄膜沟灌节水栽培技术规程	193
附件 8 加工型甜椒垄膜沟灌节水栽培技术规程	200
附件 9 加工型番茄垄膜沟灌节水栽培技术规程	208
附件 10 洋葱垄膜沟灌节水栽培技术规程	216
附件 11 西瓜垄膜沟灌节水栽培技术规程	223
附件 12 甜瓜垄膜沟灌节水栽培技术规程	231
附件 13 油葵垄膜沟灌节水栽培技术规程	239
附录 垄作沟灌节水栽培技术的研发历程	247
彩图	

第一章 节水农业技术研究现状与发展

干旱是一个世界性问题，随着农业生产的发展和人口的增加，水资源短缺对工农业生产的影响越来越大，作为用水大户的灌溉农业，将面临着更加严峻的挑战。因此，发展科学灌溉技术、不断提高灌区单产水平成为各国农业研究的重点。近年来，各国在节水农业的研究中取得了诸多成果，为灌溉农业的发展提供了有力的技术支撑。

第一节 水资源及其利用概况

一、国内外水资源现状

（一）全球水资源现状

全球淡水资源总量仅占地球水资源总量的 2.5%，而人类可利用的淡水资源约占地球总水量的 0.26%。淡水资源不仅总量少，而且在地区间分布极不平衡。巴西、俄罗斯、加拿大、中国、美国、印度尼西亚、印度、哥伦比亚和刚果等 9 个国家拥有的淡水资源占世界淡水资源总量的 60%，相对应的是全球至少有 80 个国家属于干旱半干旱国家，世界约 40% 的人口严重缺水，其中 26 个国家的 3 亿人口完全生活在缺水状态下（石虹，2002）。

21 世纪以来，随着人口膨胀与工农业生产规模的迅速扩大，全球淡水用量快速增长。1900～1975 年，世界农业用水量增加了 7 倍，工业用水量增加了 20 倍。近几十年来，淡水用量以每年 4%～8% 的速度持续增加，供需矛盾日益突出，干旱使越来越多的人离开祖辈繁衍生息的地方，成为“环境难民”。

据预测，到 2025 年全世界将有 30 亿人口缺水，涉及的国家 and 地区达 40 多个。水资源正在变成一种宝贵的稀缺资源，水资源问题已不仅仅是资源问题，更成为关系到国家经济、社会可持续发展和国家地区稳定的重大战略问题。

（二）我国水资源现状

我国水资源整体上短缺,属于资源性缺水国家。多年平均降水总量约 $6.188 \times 10^{12} \text{ m}^3$,年水资源总量为 $2.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$,居世界第六位,人均水资源量约 2200 m^3 ,仅为世界平均值的 $1/4$,每公顷土地平均占有水资源 $19\,500 \text{ m}^3$,只有世界平均水平的一半(许迪和康绍忠,2002)。

我国水资源分布的突出特点是时空分布不均和水土资源不匹配,水资源分布状况与国民经济的布局和发展之间严重错位。地处长江、淮河沿线以北地区的土地面积约占全国土地总面积的 65% ,耕地占全国耕地总面积的 51% ,人口占全国人口总数的 40% ,且多数重要能源及化工基地均分布在该地区,但水资源占有量却仅为全国水资源总量的 20% 。

农业是用水大户,年均用水总量 $4000 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全国总用水量的 70% ,其中农田灌溉用水量 $3600 \sim 3800 \times 10^8 \text{ m}^3$,占农业用水量的 $90\% \sim 95\%$ (陈清硕,1990)。农业用水缺口每年约 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$,每年因旱成灾面积平均约 $1500 \times 10^4 \text{ hm}^2$,导致农村地区约2000万人口饮水困难(许迪和康绍忠,2002)。

随着工业化、城市化的快速推进及人口的不断增加,城市的缺水问题越来越严重。全国城市年缺水量为 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$,655个城市中,已有400多个城市存在不同程度的缺水问题,其中又有110个城市严重缺水。按照国际公认的标准,目前我国有16个省(市、区)人均水资源量低于 1000 m^3 的严重缺水线,有6个省(区)人均水资源量低于 500 m^3 极度缺水线。

据预测,2030年前后我国人口将达到16亿高峰,需要粮食年产量增长到 $6.4 \sim 7.2 \times 10^8 \text{ t}$ 才能满足需求。按照现有水平推算,为了满足这一需求,灌溉农业面积需要增加到 $6000 \times 10^4 \text{ hm}^2$,用水量将从现在的 $4000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增长到 $6650 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在不增加现有农田灌溉用水量的情况下,至2030年农业将缺水 $500 \sim 700 \times 10^8 \text{ m}^3$,全国缺水高达 $1300 \sim 2600 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。可以预见届时水资源短缺将严重制约我国国民经济可持续发展(许迪和康绍忠,2002)。

（三）西北干旱区水资源现状

西北地区多年平均水资源量为 $1635 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅占全国水资源总量的 5.84% 。2000年西北地区人均水资源占有量 1781 m^3 ,为全国当年人均水资源量的 80.5% ,成为严重的缺水地区。全区总用水量 $817 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中农业用水占 89.3% ,耗水总量 $547 \times 10^8 \text{ m}^3$,农业耗水率为 62.8% (刘贤赵等,2005)。

甘肃省河西内陆河灌区是西北干旱灌区的主要组成部分，可利用水资源量为 67.36 亿 m^3 。其中，石羊河流域 17.19 亿 m^3 、黑河流域 31.82 亿 m^3 、疏勒河流域 18.35 亿 m^3 。这一地区人均水资源量 1444.6 m^3 ，不足全国人均水资源量的 2/3，仅为世界人均水资源量的 1/6，其中严重缺水的石羊河流域人均水资源为全国人均水资源的 1/3。河西地区每公顷土地平均占有水资源量 7785 m^3 ，为全国的 1/3、世界的 1/4，其中石羊河流域每公顷土地平均占有水资源量为全国的 1/5。2007 年，河西地区农业用水占总用水的 90%，农业耗水占总耗水的 92%，农业年均缺水 5.9 亿 m^3 。以河西地区的张掖市为例，预计到 2020 年，农业缺水量将达到 6.81 亿 m^3 ，水资源缺口则会达到 22.6%（康尔泗等，2004；李世明等，2002）。

受全球气候变化影响，近 500 年来，祁连山区气温升高 1~1.2℃，导致冰川面积减少 33%~46%，冰川储量减少 31%~51%，年降水量减少 50~80mm，冰川融水减少 35%~46%，陆面蒸发约增加 7%，雪线由 3800m 上升至现在的 3950m 以上，源头冰川消融速度加快，冰川面积仅存 2911 km^2 ，冰雪水资源持续减少。由于祁连山雪线上升和冰雪水资源减少，下游河流来水量持续减少。以石羊河流域为例，自 20 世纪 50 年代开始，流域下游地区来水量逐年减少，由 20 世纪 50 年代的 5.94 亿 m^3 下降到 2000 年的 1.10 亿 m^3 （图 1-1）。

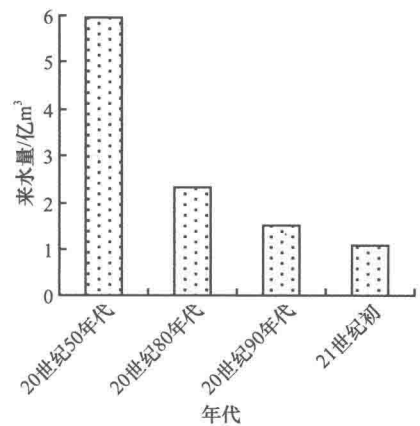


图 1-1 石羊河流域下游来水量的变化

二、水资源利用现状

随着社会发展，用水量持续增长，我国用水结构性矛盾日益凸显。2003 年，

我国农业用水（含林业、湿地等）占总用水量的比例由 1980 年的 83.4%下降到 64.5%，工业用水由 10.3%提高到 22.1%，生活用水及其他用水由 2%提高到 11.9%。用水结构虽得到不断调整和优化，但仍存在农业用水比例大、工业用水比例小和生态用水不足等问题。以甘肃省河西地区为例（图1-2），农业用水达 79.94%、工业用水占 13.74%、生活用水占 4.85%、城镇用水占 1.29%、生态用水仅占 0.18%。工业用水比例小于世界 23%和全国平均工业用水 17.4%的水平，农业用水比例大大超出世界 69%和全国平均农业用水 73.4%的水平，生态用水比例太小，不能满足生态建设的需要。

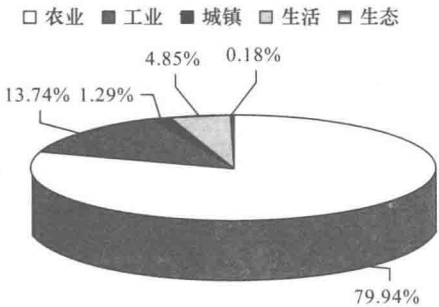


图 1-2 甘肃省河西地区各部门用水结构（另见彩图）

虽然水资源紧缺已成为限制我国国民经济和社会可持续发展的重要因素，但是在我们的生产生活中又存在水资源利用率偏低和水资源严重浪费的问题。据统计，我国农业用水的利用效率为 40%，仅约为发达国家的一半；平均水资源粮食生产效率为 0.58kg/m³，远低于发达国家 2kg/m³ 以上的水平。我国万元国民生产总值（GDP）用水量虽然从 20 世纪 80 年代初的 2909m³ 下降到 2007 年的 297m³，但仍是世界平均水平的两倍多。农业用水有一多半在输水、配水和田间灌溉过程中被白白浪费，在一些年久失修的灌区，跑冒滴漏现象严重，有效利用系数仅为 0.2~0.4。

统计表明，西北地区拥有全国 18%的耕地和 19%的水资源，却仅仅生产了全国 8.8%的粮食和 6.7%的肉类。西北地区农田平均实灌定额 10 065m³/hm²，比全国平均值高 40%；万元 GDP 用水 1736m³，是全国平均值的 1.85 倍；农田灌溉水利用系数平均仅 0.3~0.4，水资源粮食生产效率 0.58kg/m³，仅为全国平均水平的 44%。经过分析，造成这种情况的直接原因是农牧业与水土资源之间结构性错位。西北地区农牧业结构中，种植业占 70%左右，畜牧业比例仅有 28.5%左右。在种

植业构成中，高耗水的粮食作物比例偏大，粮食作物构成中，夏粮面积偏大。这种产业结构与本地区水资源贫乏而草地资源丰富的资源结构严重错位。

我国的水资源利用现状表明，我国发展节水农业具有巨大的潜力。据预测，若将农田灌溉水的利用率由目前的 40% 提高到发达国家（农田灌溉水利用率为 70%）的水平，则每年可节水 900 亿~950 亿 m^3 ，节约的水资源不仅能满足 7 亿 m^3 左右的食物生产用水，还能节约出 400 亿~500 亿 m^3 的水量用于国民经济的其他重要行业，这无疑对国家经济的可持续发展和社会安全稳定有着重大意义。

三、缺水引起的生态环境问题

（一）地下水位连续下降和水质恶化

由于水资源不足，北方地区河流取水量已经远远超出环境的承载能力，地表水不足又导致地下水资源被过度开采利用，引起地下水位持续下降。据测算，我国地下水年均超采 228 亿 m^3 ，超采区面积达 19 万 km^2 。甘肃省河西走廊水资源开发利用率达 102%，其中，石羊河流域高达 154%、黑河流域为 95.5%、疏勒河流域为 76%，远远超出国际合理开发利用率 40% 和我国合理开发利用率 70% 的水平（图 1-3）。近年来，河西走廊地下水位平均每年下降 0.22~0.64m，与 20 世纪 50 年代末 60 年初相比，走廊平原地下水位普遍下降 3~5m、武威盆地南部下降 10~20m、民勤盆地下降 10~15m。多年监测结果（图 1-4）表明，位于河西走廊石羊河流域下游的民勤县，自 1972 年起，地下开采水量迅速增加，地表水径流量和地下水补给量逐年下降，造成地下水位严重下降。

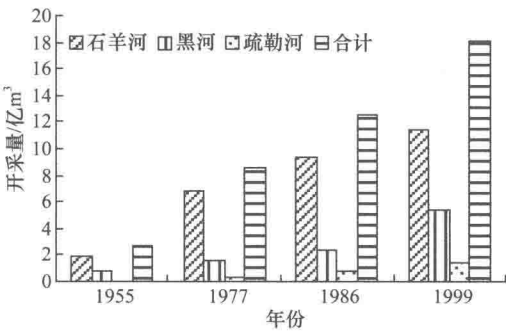


图 1-3 河西走廊地下水开采量

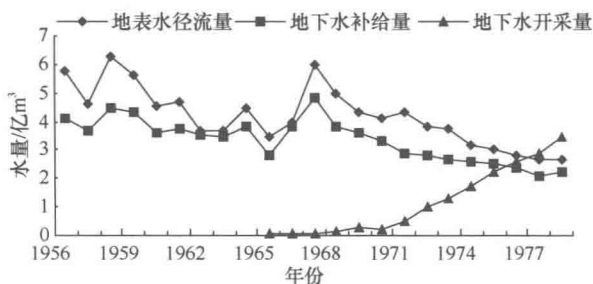


图 1-4 石羊河下游民勤县水资源变化

同时, 由于地下水量减少, 地下水水质迅速恶化。河西地区浅层地下水矿化度每年增加 $0.2 \sim 0.35 \text{ mg/L}$, 深层水每年增加 0.24 mg/L 。在民勤的昌宁县和湖区的 5 个乡镇, 浅层地下水矿化度已达到 $2.436 \sim 4.065 \text{ g/L}$, 年均变幅 $0.028 \sim 0.285 \text{ g/L}$ 。

(二) 土地荒漠化加剧

土地荒漠化主要是在干旱化的气候背景条件下, 水资源利用不合理引起的。中国荒漠化形势十分严峻, 根据 1998 年国家林业局防治荒漠化办公室等政府部门发布的数据, 中国是世界上荒漠化严重的国家之一。全国沙漠、戈壁和沙化土地普查及荒漠化调研结果表明, 中国荒漠化土地面积为 262.2 万 km^2 , 占国土面积的 27.4% , 近 4 亿人口受到荒漠化的影响, 西北地区荒漠化土地总面积约 60 万 km^2 。中国荒漠化土地中, 以大风造成的风蚀荒漠化面积最大, 为 160.7 万 km^2 。据统计, 20 世纪 70 年代以来仅土地沙化造成的荒漠化, 每年就有 2460 km^2 。中、美、加国际合作项目的研究结果表明, 中国因荒漠化造成的直接经济损失约为 541 亿元。

通过分析同一地点、不同时期的陆地卫星影像资料, 也证明了中国荒漠化发展形势的严峻性。毛乌素沙地地处内蒙古、陕西和宁夏交界, 面积约 4 万 km^2 , 40 年间流沙面积增加了 47% 、林地面积减少了 76.4% 、草地面积减少了 17% 。浑善达克沙地南部由于过度放牧和砍柴, 短短 9 年间流沙面积增加了 98.3% 、草地面积减少了 28.6% 。

(三) 沙尘暴加重

土地的沙化导致中国北方地区沙尘暴发生越来越频繁, 且呈现强度加强、范

围扩大的趋势。同时,一些不合理的经济活动破坏了一些地方的地表覆盖,助长或促进了沙尘暴的发生和发展。我国西北地区从公元前 3 世纪到 1949 年间,共发生有记载的强沙尘暴 70 次,平均 31 年发生一次。而建国后近 50 年中已发生 71 次。甘肃省河西地区沙尘暴发生频率从 20 世纪 50 年代的年均 5 次发展到 90 年代的年均 20 次(图 1-5)。1993 年 5 月 5 日,新疆、甘肃、宁夏先后发生强沙尘暴,造成 116 人死亡或失踪,264 人受伤,损失牲畜几万头,农作物受灾面积 33.7 万 hm^2 ,直接经济损失 5.4 亿元。1998 年 4 月 15~21 日,自西向东发生了一场席卷我国干旱、半干旱和亚湿润地区的强沙尘暴,途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古、河北和山西西部。宁夏银川因连续浮尘,飞机停飞,居民普遍感觉呼吸困难,呼吸道疾病高发。同年 4 月 16 日,飘浮在高空的尘土在京津和长江下游以北地区沉降,形成大面积浮尘天气。其中北京、济南等地因浮尘与降雨云系相遇,于是“泥雨”从天而降。

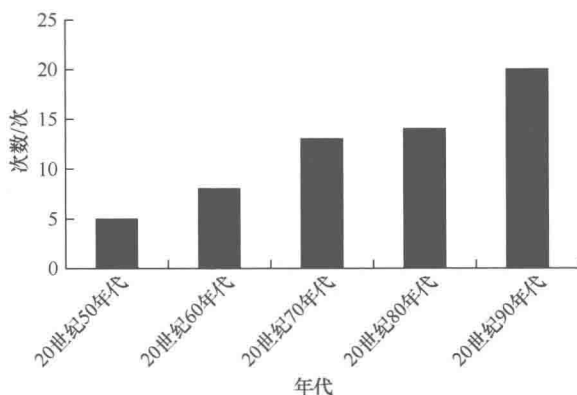


图 1-5 甘肃省河西地区沙尘暴发生频率

(四) 地表植被减少

随着荒漠化的发展和加重,地表植被结构发生明显变化。一是组成变简单,荒漠化地区天然植被趋向单一化,白刺、盐爪爪、碱蓬等耐盐耐旱植物成为优势群种。二是覆盖度降低,天然草场上,禾本科和豆科牧草大量减少,植被覆盖度由 50%下降到 30%以下,植被生长衰退甚至干枯死亡。戈壁、流动沙丘深入绿洲腹地,盐碱地面积增加,人工栽植的固沙梭梭林大面积干枯死亡,因覆盖地膜而形成的“白色污染”加重。

第二节 节水农业技术研究重点与进展

一、农艺节水技术

（一）蓄墒保墒耕作技术

蓄墒保墒耕作技术主要包括深耕深松保墒技术、耙耱和镇压保墒技术以及保护性耕作技术。传统耕作由于犁底层的存在影响了水分的入渗，限制了土壤蓄水能力。深松可打破犁底层，加深耕层疏松土壤厚度。土壤深松后，对灌水和降水的蓄纳能力增强，土壤水分增加，促进了作物根系对土壤深层水分的吸收，减少了对土壤表层水分的消耗，提高了水分利用效率。耙耱和镇压保墒技术可减少表土层内的大孔隙，减少土壤水分蒸发，达到保墒的目的。廖允成等（2002）的研究表明，夏闲期采用高留茬、深松耕较传统翻耕法多蓄水约 76.2mm。

保护性耕作将传统耕作技术对土壤过度加工的精耕细作方式改为少耕或免耕，同时采用秸秆、残茬或其他植被覆盖地表以减少雨水和风对土壤的侵蚀，降低土壤水分蒸发。多项研究证明，保护性耕作可以改善土壤结构，提高土壤含水量和水分利用效率。美国已将推行保护性耕作作为防止“黑风暴”的重要战略措施之一，该技术也成为澳大利亚可持续发展的重要措施。中国从 20 世纪 80 年代初期开始着手研究少耕、免耕农作制度，尤其是近 20 年来，随着人口的迅速增长、生态环境日益恶化、水土流失以及干旱逐年加剧，旱区各地将少耕、免耕等保水、保土耕作措施与秸秆覆盖措施相结合，形成了多种类型的保护性耕作技术。曹连生（2004）研究表明，保护性耕作地的休闲期蓄水量较传统耕作高 15%，多年平均水分利用效率较传统耕作高 17%，9 年小麦平均增产 24%。保护性耕作最大限度地减少了土壤物理结构的破坏，提高了土壤保墒性能，降低了土壤水分的蒸发量，增产增收效果明显。

（二）覆盖保墒技术

覆盖保墒技术主要包括秸秆覆盖和地膜覆盖等地表覆盖技术。地表覆盖可以改变地表蒸发条件，抑制农田表土水分蒸发，是行之有效的节水保墒技术。

秸秆覆盖技术是利用秸秆等作物性物质覆盖土壤表面的一种保墒措施。秸秆覆盖可避免因雨滴的直接冲击在土壤表面形成不易透水透气的土壤板结硬壳，减

少径流,增加降雨直接入渗量,防止风蚀水蚀。覆盖割断了蒸发层与下层土壤的毛管联系,阻碍土壤与大气层间的水分和能量变换,有效抑制蒸发。另外,作物秸秆中含有较多的营养元素,覆盖农田后,在高温多雨季节,秸秆易腐烂分解,增加土壤肥力,改善土壤生态环境。秸秆覆盖量应根据当地气候条件、土壤类型而定。在较湿季节或较湿土壤带,覆盖量过多造成土壤过冷或过湿,对作物生长不利。在干旱季节或地区,加大覆盖量,有利于覆盖保墒。

地膜覆盖技术作为一种保墒调温的农艺措施,具有控制土壤水分蒸发、调节地温、提高养分有效性及利用效率、保护土壤结构、抑制杂草生长和杀死土壤中一些病原体等正面作用而被大面积推广。据不完全统计,目前我国地膜覆盖栽培面积已达到 1000 多万公顷,地膜覆盖栽培的作物共 60 多种,栽培理论和技术已有了新的发展。对中国地膜覆盖栽培的初步调查结果表明,夏玉米地膜覆盖栽培与无膜覆盖相比减少耗水量 $317\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、增产 $3975\text{kg}/\text{hm}^2$;小麦全生育期覆盖地膜与露地相比增产 30%、节水 30%。

(三) 水肥耦合技术

在农业生产中,水、肥两因素直接影响着作物的产量、品质和效益,同时两因素之间也存在着密切的相互关联、相互制约的关系,科学施肥是提高农田水分利用效率的重要途径之一。大量的试验表明,作物的气孔调节、作物的保水能力和膜透性、作物的光合作用等都与氮、磷、钾营养有紧密关系。在水分胁迫下,施用氮、磷、钾肥能够补偿水分胁迫下作物表现出的生长缓慢、叶面积减小、叶片伸展缓慢和产量下降等不良效应。在旱地条件下,适量施用氮、磷肥,可增加单株次生根条数,还可增加根系生物总量和深层根系数量,并能提高根系活力。与单一施用氮肥或磷肥相比,氮、磷配合施用促进根系发育的效果更为显著。增施有机肥可提高土壤有机质含量,促进土壤团聚体的形成,增加土壤孔隙度,起到蓄水保墒的作用。据测定,有机质从 1% 提高到 1.5%,雨水渗入速度增加 1/3,早春土壤蒸发减少 16%~60%。合理施肥可促进根系发育,提高根系吸水功能,改善叶片的光合能力,增加同化物含量,最终提高作物的水分利用效率。另外,通过施肥可改变植物脱落酸(ABA)代谢,对改善植物对于干旱信号的感应能力以及提高耐旱性有实际意义。因此,根据作物生长特点、需肥规律和需水规律,研究水肥耦合原理,建立以肥、水、作物产量为核心的耦合模型和技术,做到合理施肥,培肥地力,以肥调水、以水促肥,充分发挥水肥协同效应和激励机制,提高抗旱能力和水分利用效率,对提高作物的产量和品质起着非常关键的

作用。

(四) 种植结构调整

合理调整作物结构和布局,建立相互促进、综合发展的动态平衡,是干旱地区发挥生态优势、增产增收的重要途径。不同物种及其各生育期在相同的自然和栽培条件下水分利用效率差异很大,不同光合类型作物水分利用效率(WUE)存在很大差异,这是调整种植结构的重要依据。以色列大部分耕地干旱贫瘠,水资源十分紧缺,为此,以色列政府在种植结构上大力发展附加值高、面向国际市场的优质农产品,如柑橘、番茄、甜椒、花卉等。农业中非粮食产值占88.7%,水稻、小麦和油菜等耗水大田作物产品则依赖进口,使一个水资源极端贫乏、农业生产条件十分恶劣的小国在短短几十年内成为一个农产品具有良好国际信誉、先进农业技术和设备出口的强国。中国自1980年以来建立了面向市场和资源双重约束的节水型种植业结构,把目前以粮食为主兼顾经济作物的二元结构,逐步发展成“粮、经、饲”的三元结构,取得了较好的成就。如陕西省陕北实行退耕还林、还牧,调整粮、经、饲结构,实行“四法”种植;山西省晋北和吕梁地区实行“农作物—绿肥—牧草”轮作;甘肃省河西地区已成为重要的制种基地,多种作物的种子已经销往全国许多省和东南亚地区,并初步成为西北地区的蔬菜供应基地。事实证明,种植结构的调整,既增加了农民收入,也缓解了用水矛盾。

(五) 抗旱节水品种选育

传统的育种手段对于改善作物的抗逆性虽有一定效果,但距人们期望的目标还有很大距离。现代生物技术的发展则使人们从分子水平上阐明了作物抗旱性和高水分利用效率的物质基础及其生理功能,通过基因工程手段进行基因重组,为创造节水耐旱与丰产兼备的新品种开拓了新的途径。一些微生物专家发现,通过调节植物中耐旱、耐盐基因的活性,能使植物适应恶劣条件生长。伊利诺伊大学生物学家从冰叶日中花中找到产生渗透保护剂的基因,并将其引入烟草作物,显著提高了改性后烟草的耐旱性。中国华中农业大学熊立仲教授领导的课题组因发现可以提高转基因水稻抗旱性和耐盐性的基因 *SNAC1* 及其在该领域具有代表性的研究工作,受到世界权威学术杂志《科学》新闻聚焦栏目的关注。