

黄河上游 宁夏灌区

稻田氮素平衡与污染控制

● 张晴雯 张爱平 杨正礼 主编



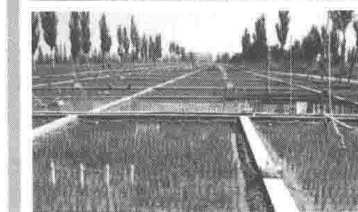
中国农业科学技术出版社



黄河上游 宁夏灌区

稻田氮素平衡与污染控制

张晴雯 张爱平 杨正礼 主编



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黄河上游宁夏灌区稻田氮素平衡与污染控制/张晴雯, 张爱平, 杨正礼主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5116-1946-4

I. ①黄… II. ①张… ②张… ③杨… III. ①稻田—灌区—土壤氮素—污染防治—宁夏
IV. ①X322.243

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 284543 号

责任编辑 徐 毅 张志花

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106636 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)

(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106631

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 710 × 1 000 1/16

印 张 19.5

字 数 390 千字

版 次 2014 年 12 月第 1 版

2014 年 12 月第 1 次印刷

定 价 48.00 元

编委会

主 编

张晴雯 张爱平 杨正礼

副主编

张 惠 易 军 王 明 李强坤 吴会军

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 芳	王 明	刘汝亮	杨正礼	杨世琦
李友宏	李强坤	吴会军	张爱平	张 惠
张晴雯	陈 哲	易 军	赵天成	黄新君

前 言

宁夏回族自治区（全书简称宁夏）灌区从黄河年引水 $9.00 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，灌区年退水量 $2.50 \times 10^9 \text{ m}^3$ 左右，随着农业化肥投入和养殖规模的不断增长，退水中的氮、磷、COD 等污染物对灌区水环境和黄河水安全构成严重影响。污染源解析得出，化肥与规模养殖贡献了灌区退水中 TN 和 TP 总量的 2/3 左右，规模养殖已经成为宁夏灌区退水中 COD 的主要来源，以农田为核心的农业退水污染已经或正在成为宁夏灌区水体的主要污染源，成为影响黄河水质的基本因素。造成退水污染加剧的原因是多方面的，农田肥药投入持续增长、效率较低；灌区退水污染特征不明、总量控制方案缺乏，是两个主要的原因。围绕黄河上游灌区农业退水污染控制和保障黄河水质安全的实际需求，系统开展灌区农业退水污染特征研究，是形成灌区农田退水污染控制技术支撑、提升灌区农业清洁生产水平的需要。

在国家“水体污染控制与治理科技重大专项（2009ZX07212—004）”，“中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目”、“中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所农业清洁流域”科技创新工程的资助下，采用农田长期定位试验、灌区沟渠定位监测、宏观调研相结合的研究方法，探明了灌区退水污染特征，定量估算了灌区退水污染负荷，为灌区退水污染负荷削减提供行动方案。

本书是系统介绍黄河上游灌区农业污染与稻田氮素迁移转化的专著。稻田氮素既是作物生产的主要元素之一，又是水体非点源污染的重要来源之一。本书系统阐述了通过实地调查、基础试验、同位素示踪、灌区主要排水沟定位监测等方法获取的最新研究成果。从农田尺度揭示稻田氮平衡数量特征、灌溉水驱动下的氮素流失率、发生关键期、氮流失中的水肥偶联特征等，在流域尺度上基本探明了灌区农田退水的双峰性特征，提出了灌区主要污染物负荷的季节变化特征与地域分异特征，为灌区农田退水污染的长期防控提供了基础数据支持和理论基础。本书研究成果将为今后进一步深入研究提供基础、经验、借鉴，为我国稻田氮素过程及其调控研究提供系统的科学信息。

全书十一章，第一章阐述了宁夏灌区灌溉农业的历史演变、宁夏灌区农业污染现状及源解析；第二章概述了稻田系统氮素平衡的基本理论及污染研究动态；第三章分析了灌淤土成因及基本理化特性；第四章揭示了稻田水平衡及氮素迁移转化特征；第五章研究了稻田氮素的气态损失；第六章分析了稻田土壤氮变化过

程及积累特征；第七章阐述了水稻生长季氮素吸收与积累；第八章用同位素标记方法和平衡估算了稻田生态系统氮素平衡；第九章分析了高频率干湿交替对稻田氮素迁移转化的影响；第十章定量估算了宁夏灌区农田退水污染负荷；第十一章在定量估算了宁夏灌区农田退水污染负荷的基础上提出了宁夏灌区退水污染控制方案；第十二章在总结宁夏灌区稻田氮素迁移规律的基础上提出了目前仍需要深入研究的问题。

在完成过程中受到宁夏环保厅、宁夏农林科学院、宁夏灵武农场给予的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

为了提高本书的通读性和实用性，在本书编著过程中模型所用公式推导尽可能详尽，以供读者参考应用。本书可供农业生态、农业环境、水文、自然地理、国土整治、土壤物理、农林牧和水利等部门的研究人员及高等院校相关师生等参考。

限于著者水平，加之野外长期定位试验的变异性等问题，不可避免地给稻田氮素的迁移转化通量计算带来误差，所得结论不尽完善。有关稻田氮素的迁移转化的研究和应用正处于不断完善之中，书中必然存在许多缺点乃至错误，恳请读者批评指正，也敬请各位专家、学者多提宝贵意见，以丰富及完善稻田氮素转化及调控研究的理论方法。

目 录

第一章 黄河上游宁夏灌区农业污染现状分析	1
一、宁夏灌区地理范围与自然概况	1
二、宁夏灌区灌溉农业的历史演变	6
三、宁夏灌区农业污染源解析	12
四、宁夏灌区农业污染防治的意义	21
第二章 稻田系统氮素平衡及污染研究动态	28
一、稻田土壤氮素循环	28
二、稻田氮素径流损失及渗漏淋溶	31
三、稻田系统氨挥发	33
四、稻田系统氧化亚氮排放	36
五、农田土壤氮素平衡研究方法	39
第三章 宁夏灌区灌淤土氮素迁移特性	44
一、灌淤土成因及理化形状	44
二、灌淤土水分运动与溶质运移	47
三、灌淤土水分运动参数	55
四、灌淤土硝态氮运移	65
第四章 稻田水氮迁移特征	73
一、田面水氮素浓度变化特征	75
二、渗漏水氮素浓度变化特征	78
三、灌区稻田水平衡及氮素渗漏损失	84
小 结	96
第五章 稻田氮素的气态损失	99
一、稻田氨挥发损失动态特征	99
二、水稻生长季氨挥发损失量	103

三、黄河上游灌区稻田氨挥发及影响因素	106
四、稻田氧化亚氮排放特征	110
五、水稻生长季土壤氧化亚氮排放动态变化	111
六、水稻生长季稻田氧化亚氮排放总量	113
七、黄河上游灌区水稻生长季土壤氧化亚氮排放影响因素	115
八、水稻生长季土壤氧化亚氮排放全球增温潜势	118
第六章 稻田土壤氮动态变化与累积	122
一、土壤剖面铵态氮浓度动态变化特征	123
二、铵态氮积累量动态变化特征	127
三、土壤剖面硝态氮浓度动态变化特征	129
四、硝态氮积累量动态变化特征	133
五、土壤无机氮动态变化	136
第七章 稻田植株氮素吸收与积累	138
一、水稻产量及其生物学特征	143
二、水稻生育期叶片 SPAD 值	145
三、生育期吸氮速率	147
四、水稻氮素吸收量	153
第八章 稻田系统氮素平衡特征	156
一、稻田 ¹⁵ N 标记肥料的去向分析	156
二、稻田系统无机氮收支平衡	164
三、稻田系统总氮收支平衡	168
第九章 干湿交替对氮素迁移转化的影响	172
一、干湿交替对氮素迁移转化的影响	172
二、干湿交替过程中土壤环境因子的变化	179
三、干湿交替过程中土壤微生物量碳氮变化规律	186
小 结	200
四、干湿交替过程中氧化亚氮排放	201
小 结	208
第十章 宁夏灌区农田退水污染负荷估算	209
一、农田退水水量与水质指标监测	209

二、农田退水污染特征	211
三、农业非点源污染负荷总量估算	219
第十一章 宁夏灌区退水污染控制方案	242
一、宁夏灌区稻田污染控制方案研究	242
二、宁夏灌区农田退水污染削减方案设计	264
第十二章 结论与展望	268
参考文献	273

第一章 黄河上游宁夏灌区农业污染现状分析

一、宁夏灌区地理范围与自然概况

宁夏灌区（图 1-1）、（图 1-2）是我国具有悠久历史的特大型古老灌区，位于宁夏北部黄河沿岸，始建于秦汉，西起中卫下河沿，东至石嘴山，沿黄河两岸地形呈“J”形带状分布。该灌区面积占宁夏全区面积的 41%，以青铜峡水利枢纽为界，将其分割为上游的卫宁灌区和下游的青铜峡灌区，由于黄河河道的自然分界，卫宁灌区又划分为河北灌区和河南灌区，青铜峡灌区又划分为河东灌区和河西灌区。其中，卫宁灌区位于黄河沙坡头与青铜峡之间 120km 长的狭长地带，原系多渠系无坝引水。沙坡头水利枢纽建成后，部分渠道改为有坝引水，土地面积 686km²，涉及中卫、中宁两县和青铜峡市的广武乡以及国营渠口农场。青铜峡灌区为有坝控制引水，位于宁夏北部，介于东经 105°37′~106°39′，北纬 37°49′~39°23′。青铜峡灌区行政区划上主要包括银川、石嘴山、吴忠 3 个地级市和青铜峡、利通区、灵武、永宁、银川郊区、贺兰、平罗、惠农、陶乐、盐池、同心等 11 个县市及 13 个国营农、林、牧、渔场。

黄河水自西南向东北延伸，从下河沿站入口，经卫宁灌区，过青铜峡灌区，到石嘴山站出境（图 1-3）。整个宁夏灌区涉及青铜峡市、永宁县、银川市、贺兰县、平罗县、陶乐县、惠农县、石嘴山市及中卫县、中宁县、吴忠市、灵武县等 4 个县（市）的引黄灌溉部分，共计 12 个县（市）和 20 多个国营农、林、牧场。不过，在自流灌区边沿，受地形影响无法自流灌溉，又陆续发展了青铜峡灌区的扁担沟、五里坡、狼皮梁、甘城子，以及卫宁灌区的碱碱湖等扬水灌区。此外，为了解决黄土丘陵和台地地区人民生活 and 灌溉用水，又陆续发展了南山台子、同心、固海、红寺堡、盐环定等扬水灌区。

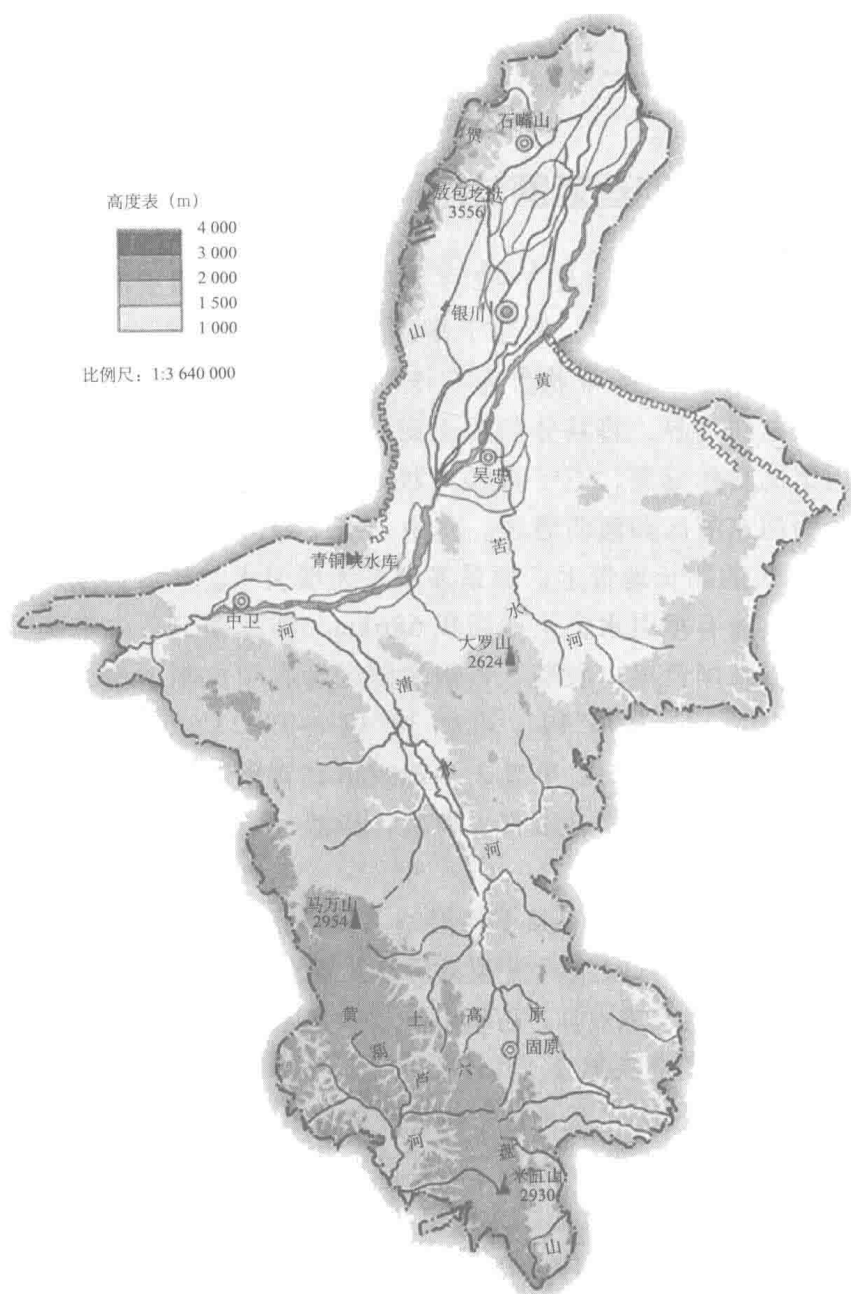


图 1-1 宁夏灌区位置图

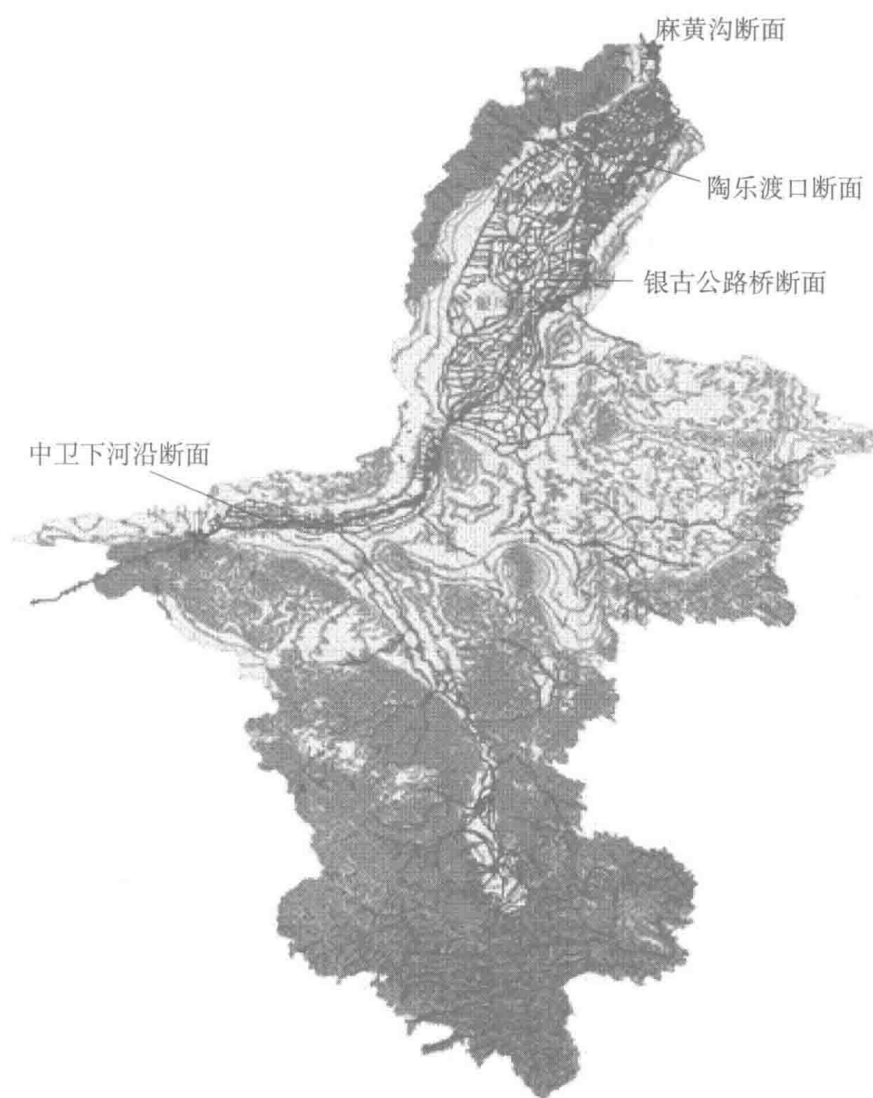


图 1-2 宁夏水文与宁夏灌区灌溉渠系图

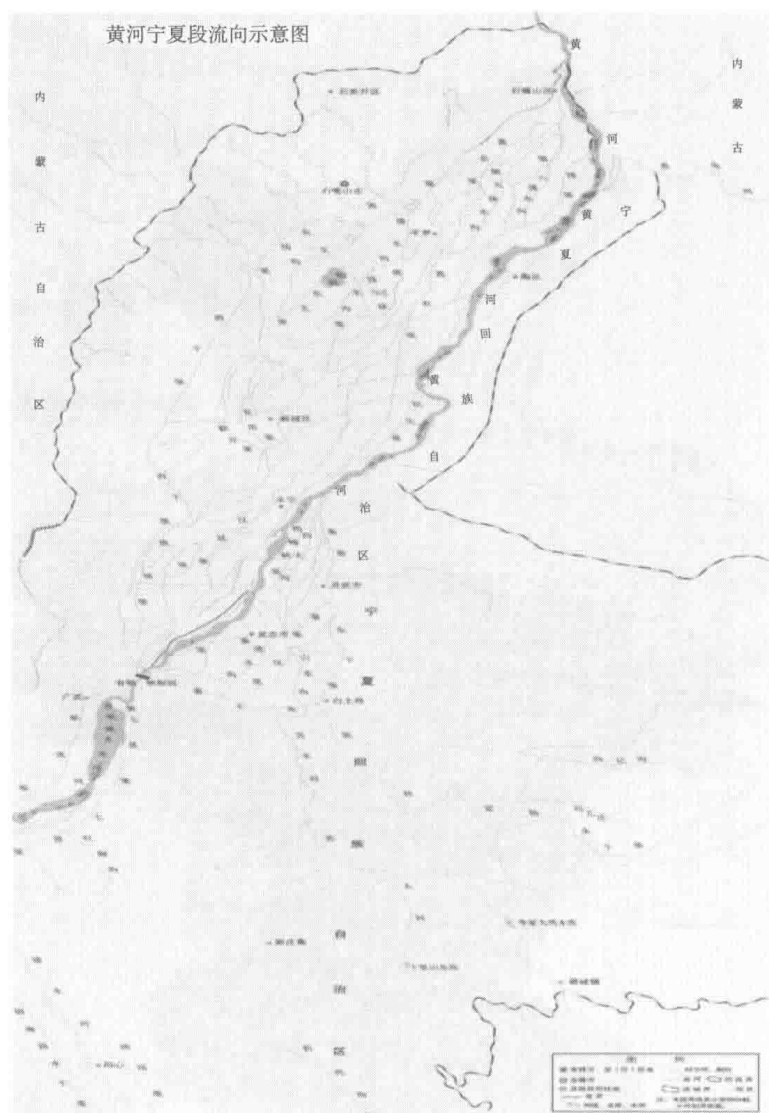


图 1-3 黄河宁夏段流向示意图

1. 地势地貌

宁夏灌区在地质构造上隶属于银川平原和卫宁平原，地势南高北低，东西窄而南北长，东西相隔 50 ~ 200km 不等，南北相距 456km。从地貌类型看，南部以流水侵蚀的黄土地貌为主，中部和北部以干旱剥蚀、风蚀地貌为主，是内蒙古高原的一部分。境内有较为高峻的山地和广泛分布的丘陵，也有由于地层断陷又经黄河冲积而成的冲积平原，还有台地和沙丘。地表形态复杂多样，为经济发展提供了不同的条件。

2. 降水

宁夏灌区地居内陆，地处西北内陆中温带干旱区，位于我国季风区的西缘，属于典型大陆气候，南北相差 5 个纬度，具有冬寒长、夏热短、春暖快、秋凉早；南凉北暖、南湿北干、雨雪稀少、气候干燥、日照充足、蒸发强烈、风大沙多的特点。年太阳辐射总量 $5\,711 \sim 6\,096 \text{ MJ/m}^2$ ，年日照时数为 $3\,000 \text{ h}$ 左右，灌区年均气温 $8 \sim 9^\circ\text{C}$ ， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $3\,200 \sim 3\,300^\circ\text{C}$ ，无霜期 $150 \sim 195 \text{ d}$ 。宁夏（宁夏回族自治区，简称宁夏，全书同）还是我国多风沙天气的地区之一，特别是北部地区接近蒙古高原，地较平坦，纵向起伏不大，又地处腾格里、乌兰布和以及毛乌素大沙漠包围之中，不仅风力强盛，而且易于产生沙尘暴。宁夏全区降水少，但年蒸发量大，可达 $2\,000 \sim 2\,200 \text{ mm}$ ；日照时间长，一般在 $3\,000 \text{ h}$ 左右，光热资源充足，昼夜温差较大，年极差为 $24.6 \sim 33.7^\circ\text{C}$ ，大部分地区温差大于 27°C 。多年平均气温较低，在 $5 \sim 9^\circ\text{C}$ 。干旱少雨是宁夏气候的又一主要特点，绝大部分地区降水小于 400 mm ，全年降水量大部分年份处于 200 mm 以下，据统计，灌区多年平均降水量为 173 mm （1980—2006），比黄河流域平均值 478 mm 少 64%，远远低于全国平均水平。降水年际变化比较大，年降水量变差系数 cv 为 $0.25 \sim 0.4$ ；年内降雨分布极不均匀，由南向北递减，全年降水多集中在 7~9 月，约占全年降水量的 70%。4~6 月为南部山区夏粮作物主要生长期，这 3 个月降水只占全年降水量的 20% 左右，与作物需水量很不适应，导致春旱频繁。

3. 河流水系

流经宁夏灌区的河流主要是黄河干流及其支流，清水河为黄河的一级支流。黄河干流自中卫县南长滩入境，蜿蜒于卫宁平原和银川平原，至石嘴山市头道坎北麻黄沟出境，流程 397 km ，占黄河全长的 7%，多年平均年入境水量 $3.17 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，石嘴山出境水量 $2.94 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，出入境相差 $2.30 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。2006 年黄河干流宁夏段入境（下河沿水文站）实测年径流量 $2.78 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，出境（石嘴山水文站）实测年径流量 $2.34 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，进出境水量差 $4.45 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

灌区引黄水量主要用于农业灌溉，农业灌溉用水占总用水量的 95% 以上。1997—2006 年引（扬）黄水量在 $8.45 \times 10^9 \sim 7.08 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，10 年平均引黄水量 $7.51 \times 10^9 \text{ m}^3$ ；排黄水量在 $4.93 \times 10^9 \sim 3.56 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，10 年平均排黄水量 $4.06 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。排引比平均 54%。

宁夏的供水系统由地表水、地下水、引黄河水和扬黄河水 4 个子系统组成，其中引黄供水系统由引黄闸、渠组成，主要是卫宁、青铜峡两个引水灌区，直接从黄河引水的干渠 17 条。整个排水系统分为毛沟、农沟、斗沟、支沟和干沟，宁夏灌区有将近 200 多条排水沟，这些排水沟在接纳农田退水的同时也接纳了大量的工业废水和生活污水，对灌区水体和黄河水质都产生了不利的影响。

黄河干流宁夏段水质 pH 值一般在 $8.0 \sim 8.8$ ，多年平均矿化度在 $406 \sim$

556mg/L, 总硬度在 119 ~ 150mg/L, 水的类型均为重碳酸盐及碳酸盐类水。入境下河沿站多年平均矿化度为 406mg/L, 流经宁夏青铜峡水库坝下多年平均矿化度为 441mg/L, 出境时石嘴山站多年平均矿化度为 556mg/L, 在宁夏境内随着流程的增加矿化度也在增加, 出境比入境时矿化度增加 36.9%。这是黄河在宁夏境内接纳天然矿化度水和认为污染所致。宁夏灌区农田排水沟多年平均矿化度在 749 ~ 1 740mg/L, 总硬度在 169 ~ 491mg/L, 从诸排水沟多年平均矿化度的变化情况看, 排水沟所处的地理位置、农田土壤和人类活动等条件的不同, 矿化度亦有不同, 特别是农田盐碱程度越重的地区, 排水沟矿化程度就越高。宁夏灌区两岸的农田排水沟, 年际矿化度相对稳定, 变化甚小。年内矿化度受农田灌溉期的影响甚大, 灌期 (5 ~ 9 月, 11 月) 排水沟主要接纳农田灌溉退水, 受农田退水影响较大。

二、宁夏灌区灌溉农业的历史演变

1. 新中国成立前宁夏灌区灌溉农业的历史演变

宁夏灌区农业文明是黄河文明的典范, 从两千年前大规模移民实边开发到两千年后的今天进入全国“十大天府之国”之列, 历史一再印证着宁夏平原的富庶和历代经营者的眼光。灌区已有 2200 年的发展历程, 秦始皇统一六国、蒙恬领兵北逐匈奴, 并在宁夏实施军事大屯垦, 是宁夏开发的先河。

黄河冲击而成宁夏平原西南起自中卫市沙坡头, 北止于石嘴山, 宛如一条玉带, 斜贯宁夏自治区北部。宁夏平原西侧雄峻秀丽的贺兰山捍卫着宁夏平原, 古人称之为“朔方之保障, 沙漠之咽喉”, 它阻挡了腾格里沙漠东移, 削弱了西北寒流的侵袭, 是宁夏平原的天然屏障。南北长约 320km, 东西宽约 10 ~ 50km, 总面积达 10 000km²。它是由黄河冲击而成的平原, 黄河流域处于温带干旱区, 气候干旱, 降雨稀少, 年降水量不足 200mm, 但黄河年均过境水量达 300 余亿立方米, 秋季多暴雨, 水土流失严重, 大量泥沙随水下泄, 遇到湖泊洼地, 即行沉淀, 银川地堑遂被淤积成平原, 黄河对宁夏平原的形成作出过不可磨灭的贡献。至今仍然以充沛的水源、肥沃的泥沙哺育着这块土地。

宁夏灌区素有“黄河百害, 唯富一套”的说法, 所谓的“套”指的是黄河上游的“河套”段, 是一个地理概念。从广义上说, 黄河在其上游区的甘肃、宁夏、内蒙古 (内蒙古自治区, 简称内蒙古, 全书同) 和陕西、山西 5 省 (区) 境内形成一个马鞍形的大弯曲, 其中从宁夏中卫市沙坡头起, 至内蒙古清水河喇嘛湾止, 被称为“河套”, 因形似游牧民族驯马中使用的套马索, 故名。从狭义上说, 所谓河套, 是指黄河从宁夏牛首山与贺兰山之间的青铜峡出口“入套”算起 (亦有从银川横城堡入套说), 北流经贺兰山东麓、阴山以南至芦芽山以

西,再东折至内蒙古托克托县,又南折至陕西省府谷县黄甫川“出套”为止(亦有山西省偏关出套说),河水走向所形成的一个“几”字形的大弯曲地区称为“河套”,总称为“河套平原”。

(1) 宁夏灌溉开创阶段(秦皇汉武)。宁夏引黄河水灌溉,与移民戍边密切相关。移民戍边始于秦代,盛于汉代。据《史记》《汉书》等史书记载,宁夏河套平原在春秋战国时期(公元前 770 至公元前 221 年)还是“羌戎所居”的游牧地区,与秦国为邻,彼此间经常发生争城夺地之战。秦始皇完成统一大业以后,全力经营朔方,移民充实边区,变牧地为耕地达到自给自足,利用累积的水利技术经验,引黄河水流,开渠灌溉,开启了农田水利建设和农业开发的序幕。当时引黄灌溉不是大规模的,秦末天下大乱,屯垦军民纷纷逃散,农业开发昙花一现。到了汉武帝即位后,对匈奴连续用兵,重新夺回“河南地”,并设朔方、北地、五原等郡,大规模移民到河套地区农业开发,派遣 60 万边防士兵屯垦官田,历史上有名的高渠、光禄渠、七级渠、汉渠等古渠大多开凿于这一时期。史书有记载宁夏灌溉始于汉武帝时,至今在宁夏平原各地发现的汉城、汉墓群遗址也证实了这里在汉代确有过相当规模的开渠屯垦活动。

以农为本的中国,治水常是治国安邦的大计。水利事业的进退,历为朝代兴衰的有力佐证。宁夏平原的水利,从汉武帝以来,随着封建王朝的兴衰更替,也是盛进衰退,但总在前进着。东汉以后,归附汉朝的匈奴人被安置在河套。历经三国、两晋,200 年间宁夏平原为羌、匈奴和鲜卑等游牧民族占据,河套地区是北方多个政权争夺的重地,战乱频仍,水利事业衰退。到北魏统一中国北方后,才有了一个安定的局面,水利事业又得复兴。北魏时期,薄骨律镇将刁雍曾在宁夏灌区大兴水利,重修艾山渠,并且提出了“一句之间,则水一遍,水凡四溉,谷得成实”的节水灌溉制度。

(2) 开边营田与宁夏灌溉农业的复兴阶段(西夏·明)。隋唐至明代,是宁夏灌区农业水利发展巩固提高时期,宁夏灌区开始从平原上游扩展到地势低洼的银川平原中央地区。唐朝是中国历史上继秦汉之后的又一个统一强盛的王朝,唐王朝统治者深知治水是治国安邦的大计,在中央工部尚书下设有水部,农田水利得到普遍发展,并在唐前期形成高潮。据《旧唐书·职官志》记载,唐时全国有灌区 250 余处,其中灌溉面积千顷以上的大灌区有 33 处,宁夏灌区就是其中之一。当时这里是重要的边镇地区,唐王朝很重视在宁夏引黄平原屯田。

随着水利灌溉的发展,密如蛛网般的灌溉系统与江南水乡无异。诗人韦蟾《送卢藩尚书之灵武》诗曰:“贺兰山下果园成(城),塞北江南旧有名。水木万家朱户暗,弓刀千骑铁衣明。”可见唐朝以前宁夏平原已被称为“塞北江南”,被称为“塞北江南”,不仅指习俗礼仪与江南相似,也指灌溉系统造成的自然环境与江南相似。

北宋时宁夏灌区被西夏和辽朝所分别占有。西夏是羌族党项部贵族建立的西北割据政权，其腹地即今宁夏河套平原经过汉唐以来的不断经营，已成为“沃野千里，谷稼殷积……因渠以溉，水春河槽，用功省少而军粮饶足”的富庶地区。西夏是11世纪至13世纪，以党项族为主体建立的封建割据政权，因其处于宋朝西北，别于十六国时之“夏”，故史称“西夏”。西夏从北宋手中夺取灵州后，为了加强军事实力，与宋、辽相对抗，积极发展宁夏灌区的农业。经过西夏近200年对宁夏灌区的经营，西夏境内“耕稼之事，略与汉同”。意思是说西夏境内的农业和中原地区一样，都很发达。灌区农业的发展，有力支持了西夏政权的巩固和发展。西夏的幅员较小，国力较弱，却能与宋、辽（金）三足鼎立189年，主要依赖农田水利割据自存。西夏时期，不只整修了汉、唐旧渠，恢复灌田，而且开有新渠，著名的有黄河西岸、贺兰山下的吴王渠，亦称“李王渠”，从青铜峡口引水，向北延伸，直到平罗县以北，全程150余千米。中国二十四史中无西夏史但从与西夏同时的《宋史》《金史》以及西夏以后的《元史》中有关西夏的记载得知，西夏时兴州已有唐徕、汉延二渠，史称拓跋氏据夏时赖此二渠，资其富强。加上其他州的正渠10条，共有干渠12条，大小支渠68条，总计灌溉面积在百万亩（1亩 $\approx 667\text{m}^2$ ，全书同）以上。西夏统治者还很重视水利工程的维护与灌溉管理制度的确立。尤其是西夏的仁宗天盛年间（1149—1169年），《改旧新定律令》共20卷，其中第十五卷主要讲水利，对唐徕、汉延等干渠的修治、使用和管理以及灌溉制度，都做了详细具体的规定，对违反规定的行为也作了明确而严格的处罚，其精神原则至今有用。

13世纪初，蒙古国崛起于漠北，其首领成吉思汗（名铁木真），于1205—1227年先后6次领兵攻打西夏，迫使西夏主李睨投降，夏亡。蒙古大军灭亡西夏以后，中兴府等处再次遭“浑都海之乱，民间相恐动，窜匿山谷”。给宁夏灌区广大城乡造成极大的破坏，使久享盛名的“塞北江南”变得疮痍满目。元世祖忽必烈即帝位后，为了巩固北方，继而进攻北宋，需要足够的粮食供应，他注意到有河渠之利的前西夏国中兴府等地，即今宁夏河套平原。至元元年（1264年）五月，忽必烈即派遣唆脱颜和郭守敬行视西夏河渠。郭守敬来西夏后，沿黄河两岸踏勘地势水情，绘成地图，并提出“因旧谋新”，即在疏浚古渠的基础上，增开新渠，更立渠首闸坝的整修方案。郭守敬修复的渠道有唐徕渠、汉延渠、秦家渠、汉伯渠、蜘蛛渠、石空渠、白渠、枣园渠、中渠、羚羊渠和七星渠。以上11条正渠，共灌田1 238 421亩。郭守敬设计修建的汉延、唐徕等渠首闸坝，由于“工作甚精”一直使用到明朝中叶。明隆庆六年（1572年）宁夏僉事汪文辉才将河西汉延、唐徕二渠进水闸易木闸为石闸，随后河东秦、汉等渠闸坝也陆续易木为石。

明朝建立初期，为了恢复战后的农业生产，巩固新王朝的统治，对农田水利
此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com