

普通高等教育“十三五”规划教材

农田水利学

(西藏地区适用)

主 编 西藏农牧学院 李玉庆
武汉大学 王 康



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书分为8章, 主要内容包括: 绪论; 农田水分状况和土壤水分运动; 土壤-植物-大气连续体与作物需水量; 作物灌溉制度; 灌溉渠道系统; 灌水方法; 灌区水资源供需平衡分析; 灌溉管理与农业水环境。

本书通俗易懂、图文并茂, 针对西藏地区学生特点编写, 具有较强的可读性, 适合西藏地区高等院校农田水利工程专业的师生使用, 也可作为西藏地区从事农田水利工作的工程师、技术员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

农田水利学 / 李玉庆, 王康主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2018. 4

书名原文: 普通高等教育“十三五”规划教材: 西藏地区适用

ISBN 978-7-5170-6404-6

I. ①农… II. ①李… ②王… III. ①农田水利—高等学校—教材 IV. ①S27

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第082197号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 农田水利学 (西藏地区适用) NONGTIAN SHUILIXUE (XIZANG DIQU SHIYONG)
作 者	主编 西藏农牧学院 李玉庆 武汉大学 王 康
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.5印张 296千字
版 次	2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	30.00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

编写人员名单

前 言

主 编：西藏农牧学院 李玉庆

武汉大学 王 康

参 编：西藏农牧学院 张 存

西藏农牧学院 吕光东

西藏农牧学院 蒙 强

西藏农牧学院 刘静霞

西藏农牧学院 罗红英

“农田水利学”是21世纪以来随着国民经济和水利事业的飞速发展，在传统的农田水利学基础上，结合西藏地区农田水利建设实际，吸收国内外水利工程专业最新研究成果，结合西藏地区农田水利学研究的编写工作。

西藏地区幅员辽阔，自然条件十分复杂，各地区存在的农田水利问题和采取的措施有很大的区别。因此，本书根据面向西藏自治区，照顾地区的原则，共分为3章，主要介绍了农田水利灌溉工程规划设计、运行管理，并阐述了西藏地区农田节水调控和节水灌溉的理论 and 实践经验。

“农田水利学”的教学以基本理论和基本概念的掌握为核心，以农田水利实践和应用为目的，力图精益求精，提高教材质量。编者总结多年“农田水利学”的教学经验，发现教学完成后，学生更多的是对理论知识的认知和了解，而将相关理论知识应用于农田水利实践仍存在着较大的不足。考虑理工科院校“特色和专业”，针对西藏地区民族学生特点，本版教材大幅强化了教学基础理论和方法在农田水利学的应用。同时为方便教学和学生自学，教材中文量增加了例题分析的内容，以求完成教学环节后，能够大幅提升学生的基础素质和实践能力。

本书由西藏农牧学院和武汉大学水利水电学院共同完成编写，武汉大学张俊升教授担任主编，2016年12月完成初稿的编写，2017年8月根据审查意见修改定稿。本书的编写过程中多次征求西藏自治区相关科研院所和生产单

前 言

“农田水利学”是高等学校农田水利专业的专业基础课。20世纪90年代至21世纪，随着国民经济和社会的发展，西藏地区的农田水利事业飞速发展，本书在传统的农田水利学理论基础上，总结西藏地区农业水利工程特性，吸取西藏地区农田水利建设成就以及教学实践中的经验，完成了西藏地区农田水利学教材的编写工作。

西藏地区幅员辽阔，自然条件十分复杂，各地区存在的农田水利问题和采取的措施有较大的区别。因此，本书根据面向西藏自治区，照顾地区的原则，共分为8章，主要介绍了农田水利灌溉工程规划设计、运行管理等，并阐述了西藏地区农田水分调控和分区水利治理的理论和实践经验。

“农田水利学”的教学以基本理论和基本概念的掌握为核心，以农田水利实践和应用为目的，力图精益求精，提高教材质量。编者总结多年“农田水利学”的教学经验，发现教学完成后，学生更多的是对理论知识的认知和了解，而将相关理论知识应用于农田水利实践仍存在着较大的不足。考虑到工科院校“特色和特点”，针对西藏地区民族学生特点，本版教材大幅强化了数学基础理论和方法在农田水利学的应用，同时为方便教学和学生学学习，教材中大量增加了例题分析的内容，以求完成教学环节后，能够大幅提升学生的基础素质和实践能力。

本书由西藏农牧学院和武汉大学水利水电学院共同完成编写，武汉大学沈荣开教授担任主审，2016年12月完成初稿的编写，2017年8月根据审查意见修改定稿。本书的编写过程中多次征求西藏自治区相关科研院所和生产单

位的意见，得到了西藏自治区水利厅、雅砻灌区管理局、昌都市江达县水利局、林芝市水利局，拉萨市达孜县、墨竹工卡县水利局等单位的支持，在此表示感谢！

书中难免存在有缺点和错误，敬请读者批评指正！

编者

2017年8月

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 西藏地区的农业特点	1
1.2 西藏农业的自然条件及气候特点	4
1.3 西藏地区农田水利事业的发展	6
1.4 西藏地区农田水利学的研究对象和基本内容	12
第 2 章 农田水分状况和土壤水分运动	14
2.1 西藏地区的土壤	14
2.2 土壤物理性质及土壤水分常数	19
2.3 农田水分状况	27
2.4 土壤水分运动	27
第 3 章 土壤-植物-大气连续体与作物需水量	33
3.1 土壤-植物-大气连续体系统	33
3.2 参照作物需水量	35
3.3 作物需水量	38
第 4 章 作物灌溉制度	41
4.1 旱作物灌溉制度的推求	41
4.2 灌区农业用水量	50
4.3 灌水率	63
第 5 章 灌溉渠道系统	67
5.1 灌溉渠系规划	67
5.2 田间工程规划	74
5.3 灌溉渠道流量推算	76
5.4 灌溉渠道纵横断面设计	86
第 6 章 灌水方法	106
6.1 灌水方法的分类及适用条件	106

6.2	地面灌溉	114
6.3	喷灌	117
6.4	滴灌	135
6.5	微喷灌	144
第7章	灌区水资源供需平衡分析	149
7.1	灌溉用水管理	149
7.2	灌区供需水平衡案例分析	164
第8章	灌溉管理与农业水环境	179
8.1	农田水利试验	179
8.2	灌溉排水系统管理现代化	182
8.3	灌区环境综合评价	185
	参考文献	190

第 1 章 绪 论

1.1 西藏地区的农业特点

1.1.1 西藏地区的农业水资源特性

西藏自治区位于我国的西南边陲，南与缅甸、印度、尼泊尔等国毗邻，西与克什米尔地区接壤，北与新疆、青海交界，东与四川，云南相连，面积为 122.84 万 km^2 。地势高峻，是青藏高原的主体，素有“世界屋脊”和地球“第三极”之称，平均海拔 4000m 以上。境内高山耸立，绵亘雄伟，南有喜马拉雅山，中有冈底斯山和念青唐古拉山，北有唐古拉山和昆仑山，山体平均海拔 5500m 以上。

境内江河、湖泊众多，流出西藏自治区之外的外流江河：南部有雅鲁藏布江从西至东流经全区，流域面积约 4 万 km^2 ；东部有金沙江、澜沧江、怒江；西部有象泉河、狮泉河等。内流江河主要分布在怒江上游分水岭以西的冈底斯山、念青唐古拉山的藏北高原和雅鲁藏布江上游分水岭及喜马拉雅山以北地带，年总流量少，约有 300 亿 m^3 ，仅占江河径流量的 8% 左右，而流域面积占西藏自治区面积的 51%。西藏的外流水量较多。内流区的主要水资源是由雨水、冰雪融化水和地下水组成，这三种水季节分配不均，上半年径流量仅占全年径流量的 20%~30%，下半年约占全年的 70%~80%，其中 7—9 月占全年的 55%~65%。在耕地比较集中的河谷地区，如拉萨河、年楚河等流域的耕地，在春季和夏初时期，农田灌溉用水严重不足^[1]。

西藏由于地高水低，缺乏电力及提水设施，造成大量的水资源流失，致使农业灌溉用水严重不足。境内虽然湖泊星罗棋布，大小湖泊约有 1500 多个，约占全国湖泊总面积的 1/3，但是这些湖泊分布在高山峻岭之间，与河谷农区距离遥远，欲以此解决种植业用水困难很大。在巍峨耸立的高山之间，有广袤的草原，有因江河切割而成的谷地。这些谷地宽窄不一，深浅不同，所处位置的海拔也有很大的差异。因此，西藏各地农牧业状况也就主要为海拔高低所决定：地表高度在海拔 4500m 以上的面积约占西藏地表面积的 77.7%，为西藏的主要牧区，海拔 4500~4000m 之间的面积占 8.4%，为半农半牧区，海拔 4000~3500m 的面积占 6.0%，海拔 3500~3000m 的面积占 2.4%，海拔 3000~2500m 的面积占 1.2%，2500m 以下的面积占 4.3%。其中海拔 3000~4100m 之间的耕地面积，约占全西藏可耕地面积的 70% 左右，是以种植业为主的地区^[2]。

西藏区内现有农田大部分都分布在沿河谷发育的两岸地带，其中最典型的是拉萨河、年楚河、雅鲁藏布江南岸的农区。这些河流由于所处的地理位置、自然条件以及流域面积的大小不同，因而其径流的丰枯程度和水文特性也不相同，提供水源的能力也有着各自的差异性。

雅鲁藏布江干流水源极其丰富,与我国其他河流相比,雅鲁藏布江流域的天然水能蕴藏量仅次于长江流域,居全国第二位。据雅鲁藏布江干流奴下水文站资料显示,多年平均流量为 $547\text{m}^3/\text{s}$,多年最枯月平均流量为 $161\text{m}^3/\text{s}$ 。历年最枯流量为 $107\text{m}^3/\text{s}$ 。目前干流两侧约有耕地 70 余万亩,大约有 10 余万亩农田直接引用雅鲁藏布江水进行灌溉,其余均引用支流、支沟水灌溉。

拉萨河、年楚河属于西藏区内的中等河源,是雅鲁藏布江的一级支流,为常年性河流。两者总流域面积为 4.36万 km^2 ,天然水能蕴藏量极其丰富。据拉萨水文站实测资料显示,拉萨河多年平均流量为 $290\text{m}^3/\text{s}$ 。历年最大洪峰流量为 $2830\text{m}^3/\text{s}$ 。历年最小流量为 $20.0\text{m}^3/\text{s}$ 。年楚河流域面积 11130km^2 ,年楚河干流江孜水文站实测资料显示,年楚河汇入雅鲁藏布江的多年平均径流量为 14.5亿 m^3 ,多年平均流量为 $46\text{m}^3/\text{s}$,最大月平均流量为 $63.8\text{m}^3/\text{s}$,最小月平均流量为 $5.17\text{m}^3/\text{s}$ 。拉萨河就目前而言不存在水资源短缺的问题,但其枯水流量较小,流域内农田很多,随着今后西藏经济的不断发展,农业生产的进一步扩大,在大量农田及综合用水要求增加的情况下,可能出现断流或水源不足的现象。

“一江两河”地区小型河流流域面积在 $0.1\text{万} \sim 0.5\text{万 km}^2$ 之间,主要是一些直接汇入大江大河的小支流或大江大河的二级支流,称为小型河流。支沟流域面积则小于 1000km^2 ,在这些流域内农田分布往往较多,灌溉期水量不足,甚至出现水源严重缺乏、断流的现象,严重影响农业生产。

1.1.2 西藏地区的农业分布特性

西藏的地理位置偏南,处于北纬 $26^{\circ}50' \sim 36^{\circ}58'$ 之间,与我国长江流域中下游处于同一纬度区间,但地势高,气温条件差别很大。长江中下游属亚热带气候,热量多、雨量充沛,而西藏大部分地区热量和降水都少很多,长江中下游可生长水稻、棉花等多种喜温农作物,而西藏主要农作物为青稞、小麦、豌豆、油菜等喜凉农作物;长江中下游一年可种两季,而西藏主要农区一年仅种一季,如青稞主要为春青稞和冬青稞,均为一年一熟。西藏气候不仅受地势的影响,还受高原面上的山脉走向、山体大小、河流切割程度及湖泊分布的影响。如以东西向横贯西藏中部的冈底斯山、念青唐古拉山脉来分,可将西藏分为以牧业为主的藏北高原牧区和以种植业为主的藏南农区;若以米拉山为界来分,则分成米拉山以东和以西两个完全不同的生态环境,以东多雨、湿润,森林密布,以西则少雨、干燥、山上无森林覆盖。西藏的耕地多数土层薄,砂砾成分多,保水、保肥性能差。

西藏的地势,总体为西北高东南低,由西北向东南倾斜,对农牧业生产影响最大的温度和降水则由东南向西北递减。西藏全境最高点是西部的珠穆朗玛峰(海拔 8848m),最低点是东南部雅鲁藏布江的出境处(海拔约 100m),高差达 8700m ;希夏邦玛峰与其南侧樟木友谊桥相比,高低差 6200m ;南迦巴瓦峰与其东侧的雅鲁藏布江河谷相比,高差 6600m ;喜马拉雅山的西段和中段平均海拔 6000m ,其南段一些河谷可降至 3000m 上下,相差 3000m ;冈底斯山-念青唐古拉山与南侧雅鲁藏布江干流河谷平均高差为 $1500 \sim 2000\text{m}$;藏东横断山脉与其两侧干流河谷平均高差 $1000 \sim 2000\text{m}$ 。如此巨大的高差导致了温度、降水的显著变化,从而改变了农业生产的环境条件。由于山体走向、大小及地形不同,河流切割程度不一以及江河湖泊的影响,形成特殊的气候、土壤条件,改变了地势高

低对农牧业生产的影响,但主导方面是地势的影响作用最大。农业的梯度变化,在西藏高原上有的在一个县、一个乡的范围内也能反映出来。藏南的察隅县有耕地 2.3 万亩^①,分布在海拔 1400~3000m 之间,高低差 1600m。在海拔 1800m 以下主要农作物有水稻、玉米、小麦等,实行一年两熟复种制;海拔 1800~2300m 之间主要农作物有水稻、大豆、玉米、小麦等,为水稻旱地复种制,海拔 2300~2700m 之间主要农作物有小麦、玉米、豆类,实行小麦、玉米复种;海拔 2700~3000m 之间主要农作物是喜凉的冬小麦、冬春青稞、油菜、豌豆、荞麦、圆根等,实行一年一熟或秋播作物与短秋作物复种。又如位于拉萨河畔的堆龙德庆县,有耕地 9.6 万亩,分布在海拔 3620~4100m 之间。海拔 3620~3700m 之间的耕地 3.94 万亩,占全县耕地面积的 41%,这里地势较平坦,土层深,水利资源丰富,年降水量 465mm,无霜期 140d,主要农作物是喜凉的春青稞、冬春小麦、豌豆、油菜、蚕豆等,一年一熟;海拔 3700~3900m 之间有耕地 1.37 万亩,占全县耕地面积的 14.27%,年降水量 450mm,无霜期 115d;主要农作物有春青稞、冬春小麦、豌豆、油菜;海拔 3900~4100m 之间有耕地 3.37 万亩,占全县耕地面积的 35.1%,此区风沙大,土层薄,土质多砂砾,水资源贫乏,地块小而分散,50%以上的土地靠天降水播种,无霜期 100d 左右,有的年份只有 60~90d,早霜危害严重,有的年份 8 月底就下霜,晚霜到 6 月份才结束,这里只能种早熟青稞。在堆龙德庆县境内,种植业除分上述三个梯度之外,另有 0.95 万亩耕地占全县耕地面积的 9.9%,情况较特殊。这部分耕地所处位置海拔不高,约 3600m 左右,无霜期也较长,约 130d 左右,但土质砂石多,高低不平,历来春播缺水灌溉,耕作粗放,产量低而不稳。这说明农业梯度变化是对西藏高原的一般概括,特殊情况也是有的,不能忽视。例如,在东南部的察隅县境内,海拔 1800m 以下的耕地本应稻麦复种,但常因干旱缺水灌溉,不得不休闲。即使在一个乡的范围内,也会有种植的农作物不同,实行的耕作制不同。如藏东南的芒康县觉龙乡耕地分布在海拔 1000~4000m 的范围内,从河谷低处海拔 1000m,高处海拔 3000m,山腰山脊耕地海拔可达 4000m,依次出现一年两熟、两年三熟、一年一熟制^[3]。

西藏的耕地沿江河呈条状或片状分布,雅鲁藏布江及其支流沿岸的耕地约占全自治区耕地面积的 65%;金沙江、澜沧江、怒江流域的耕地约占 23%;其余 12%的耕地散布在喜马拉雅山南坡及西藏各地湖滨、河流两岸。就行政区域而言,海拔较低的林芝地区的耕地占 8.0%;海拔中等的昌都地区占 21.5%,山南地区占 13.8%,拉萨市占 18.2%,日喀则地基占 34.8%;海拔较高的那曲东部地区占 2.5%,阿里地区占 1.1%。

西藏的地势西北高东南低,是个大斜面,江河由西北流向东南,温度、降水从东南向西北递减。所以,从东南向西北形成了明显的梯度农业。在海拔 2300m 以下的地区,农作物种类有水稻、玉米、大豆、黍、稷、鸡爪谷等喜温作物,并有冬小麦、冬春青稞、油菜、豌豆等喜凉的作物,实行一年两熟制;海拔 2300~3000m 地区,主要作物有冬春小麦、冬春青稞、油菜、豌豆,实行一年两熟或两年三熟制;海拔 3000~3800m 的地区,主要作物有春青稞、冬春小麦(以冬小麦为主)、豌豆、油菜,实行一年一熟制;海拔 3800~4100m 的地区,主要农作物有春青稞、冬春小麦(以春小麦为主)、豌豆、油菜,

① 1 亩=666.6m²。

实行一年一熟制；海拔4100~4300m的地区，有春青稞、春小麦、豌豆、油菜，要求早熟品种，实行一年一熟制；海拔4300m以上的绝大部分地区是纯牧区。

1.2 西藏农业的自然条件及气候特点

西藏虽位于中低纬度地带，但由于地势高，温度条件逊于我国东部同纬度地区，尤其是高原面上年平均气温大多在 0°C 以下，普遍比东部地区低 10°C 以上。全区平均气温 4.2°C ，极端最低气温 -44.6°C （改则地区），极端最高气温 33.8°C （墨脱地区）。大部分地区大于等于 10°C 积温不足 1500°C ，比东部低海拔地区低 2000°C 以上。由于地势和纬度影响，西藏各地温度条件差异很大。藏东南山地特别是喜马拉雅山南侧低谷是西藏最温暖地域，月平均气温一般在 10°C 左右，年平均气温超过 15°C ，大于等于 10°C 积温 $4700\sim 5100^{\circ}\text{C}$ ，无霜期270d以上。雅鲁藏布江中游海拔4100.00m左右以下的谷地，气候较温和，年平均气温 $5\sim 8^{\circ}\text{C}$ ，大于等于 10°C 积温约 2000°C 左右，全年无霜期 $120\sim 150\text{d}$ 。此类高原地区为亚寒带气候，几乎全年都有霜冻。年平均蒸发量为 1370mm ，大部分地区属于干旱地区，干湿、冻融交替的气候特点，为冻融侵蚀的发展创造条件。

西藏气候由东南向西北可分为极湿润（多雨带）、湿润、半湿润、半干旱、干旱五个气候带。垂直方向上不同气候带也有差异，极湿润、湿润带降水量以谷地及山体下部为大，峰岭地带为小，半干旱、干旱带则相反，谷地较小，山地较大。但是由峰岭向谷地气候由寒带、亚寒带渐变为温带或亚热带的规律不变^[4]。

西藏地区的农业气象总体表现出以下4个方面的特点。

1. 夏季气温不高，春季气温回升和秋季气温下降缓慢

西藏高原夏季气温低，7月份平均气温大部分地区低于 17°C ，只有藏东南局部江河深切的河谷地区高于 18°C （察隅 18.7°C ）；雅鲁藏布江中游河谷农区与长江中游平原相比，7月份平均气温大约相差 $12\sim 14^{\circ}\text{C}$ ，比黑龙江的嫩江还低 $1.4\sim 2.8^{\circ}\text{C}$ 。西藏的主要农区分布在雅鲁藏布江中游及其支流的河谷地区，超过 0°C 的活动积温均在 2600°C 左右。藏东南局部河谷农区，年大于 0°C 的活动积温多于 3000°C 。西藏高原夏季温度低，不适宜种植喜温的农作物，如水稻、黍、稷、谷等作物，只能在海拔低于 2300m 以下的地区种植。西藏主要农区种植的是喜凉的青稞、小麦、豌豆、油菜等作物，种植面积占西藏农作物种植面积的90%以上，其中青稞和小麦占75%左右。

西藏高原春季气温上升缓慢，秋季气温下降平缓。大部分农区春季日平均气温由 0°C 上升到 10°C 的时间为 $75\sim 96\text{d}$ ，秋季平均气温由 10°C 下降到 0°C 的时间为 $49\sim 73\text{d}$ ，这时的气温对麦类作物分蘖和抽穗化十分有利，是麦类作物穗大粒多的一个重要原因。

西藏高原7—8月的气温，有利于麦类作物的绿色保持较长时间以进行光合作用，是形成西藏麦类作物粒重的重要原因之一。

西藏高原主要农区冬季并不寒冷，最冷月平均气温比我国北方冬、春小麦产区高 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，极端最低气温高 $-16\sim -10^{\circ}\text{C}$ ，如拉萨（ -16.5°C ）比北京（ -27.4°C ）高 10.9°C ，比呼和浩特（ -32.8°C ）高 16.3°C 。不仅适宜种植春播麦类作物，而且冬小麦和优良牧草如紫花苜蓿也可安全过冬。西藏高原主要农区大于 0°C 的活动积温不但能满足

主要作物青稞、小麦、豌豆、油菜等正常生长发育的要求，而且还有富余。

2. 日照时数多，太阳辐射强，光能资源丰富

光能资源丰富，是西藏发展农业生产的最大优势。拉萨、泽当、日喀则全年日照时数为2939~3249h，太阳年总辐射为7712~7761MJ/m²。农作物生长发育期间的日照时数为2315~2417h，占全年日照时数的71%~82%；太阳辐射为6091~6629MJ/m²，占全年总辐射量的78%~86%。太阳总辐射量和农作物生长期间的有效辐射量，均比纬度相近的长江中游平原地区高0.5~1.0倍。

光能资源是西藏农业的最大优势，充分利用丰富的光能资源，提高农作物的光能利用率（太阳光能量被光合作用转变为化学能而储存于光合产物的百分率），增加农作物产量，在西藏有着巨大的潜力。当前，国内小麦丰产田的光能利用率约为0.5%，普通大田为0.1%~0.2%。据计算，拉萨麦类作物亩产500kg，光能利用率为0.24%。因地制宜地采取各种措施加以利用，是西藏农业科研攻关的重要课题。

3. 冬春干旱多风，夏秋雨热同季

西藏高原冬春干旱多风，夏秋多雨，旱季和雨季格外分明。每年10月到翌年4月，西藏高原上空从西北到东南逐渐为西风急流所控制，少雨雪，多风沙，气候干旱。干旱程度西北部大于东南部，如西部的日喀则从10月到翌年4月的降水量占全年降水总量的0.9%，中部的拉萨占9.7%，东部的林芝占11.6%，东南部的察隅占37%。西部和北部全年大于8级以上的大风日数达100~165d，60%~80%集中在10月到翌年4月；中部和东部只有50多天，也是70%集中在这一时期。由于降水少，空气特别干燥，大部分地区空气相对湿度为30%~40%。这种冬春干旱多大风的气候特点，不仅对越冬作物十分不利，而且造成土壤风蚀沙化。

西藏高原的雨季，是由于孟加拉湾的暖湿气流在东南季风的影响下，从海拔较低的东南部吹入西藏高原，沿江河向西北部移动形成的。所以，一般藏东南从3月份开始雨量增多，藏中、藏北部从5月下旬至6月上旬进入雨季，藏西部则到6月下旬乃至7月上旬才进入雨季。雨季往后推移，则形成旱灾，往后推移的时间越长，灾情越重。例如，1965年和1983年，中部地区7月下旬才进入雨季，因此造成农业特大旱灾。降水量也是从低海拔的东南部向高海拔的西北部逐渐减少，如东南部的察隅、林芝，中部的拉萨，西部的日喀则，年降水量分别为760mm、650mm、450mm、440mm。降水量不同年际间的变化也是很大的，如拉萨有的年份不足360mm，有的年份多于500mm。降水量的70%~80%集中在6—8月，“一江两河”地区部分气象站降水量年内分配见表1.2.1，这三个月也是西藏高原温度比较高的时期。雅鲁藏布江中游及拉萨河、年楚河流域常年雨季开始于5月下旬至6月上旬，结束于9月中下旬，雨季降水量占全年的77%~93%。期间大于0℃的积温占全年的56%~74%，日平均气温大于10℃的暖季始于5月上旬至6月上旬，持续90~160d以上，积温在1100~2400℃之间，而此期的降水量却占全年的77%~96%。可见，夏秋雨热同季是高原主要农区气候上的一个重要特点。较长的生长季和光、热、水资源的良好配合，是农作物生产的良好生态环境。

4. 自然灾害频繁，影响农作物稳定增产

西藏高原是我国冰雹最多的地区，藏南主要农区平均每年有6~12次，多出现于6—9

月。雹粒不大, 降落时间短, 一般局部地区受灾, 破坏农作物茎秆、叶片, 造成减产, 严重的颗粒无收。藏北牧区雹灾较为严重, 年平均冰雹日数达 25~35d, 使牲畜和牧草受害。

表 1.2.1 “一江两河”地区部分气象站降水量年内分配

站名	统计年数	多年平均 降水量 /mm	夏半年 (5—10月)		冬半年 (11月至翌年4月)		6—9月	
			降水量 /mm	占全年 /%	降水量 /mm	占全年 /%	降水量 /mm	占全年 /%
定日	22	266.7	262.3	98.4	4.4	1.6	253.9	95.2
拉孜	21	316.1	314.3	99.4	1.8	0.6	303.0	95.7
日喀则	44	428.5	424.8	99.1	3.7	0.9	405.5	94.6
江孜	40	290.7	281.6	96.9	9.1	3.1	243.4	83.7
浪卡子	21	361.6	351.6	97.2	10.0	2.8	337.3	93.3
拉萨	44	432.8	421.6	97.4	11.2	2.6	389.1	89.9
泽当	41	393.0	376.2	95.7	16.8	4.3	342.6	87.2

干旱是西藏高原最常见的灾害, 冬、春、初夏连续干旱长达 156~228d, 造成春播用水紧张, 不能灌水的旱地播不上种, 即使夏秋雨季也常出现短期干旱, 加之土壤保水保肥性能差, 严重影响农作物总产量的提高。1983 年的特大旱灾, 使粮食生产比 1980 年下降了 27%, 人工种植的幼树和高山草甸草场牧草枯死。

低温霜冻主要发生在海拔 4100~4300m 的半农半牧区, 在河谷农区发生低温霜冻致使受损的情况较少, 主要影响农作物的正常成熟。

大风的危害, 主要是使土壤水分蒸发加剧, 干旱加重, 土壤风蚀沙化, 对农林牧生产造成直接或间接影响。

从上述可见, 西藏高原农业气候条件有有利的一面, 也有不利的因素, 不利的因素影响着有利因素的发挥。要解决这些矛盾, 必须强调农林牧协调发展, 采取相应的管理措施, 优化农业生态环境, 走高原生态农业的道路。

1.3 西藏地区农田水利事业的发展

1.3.1 西藏农田水利历史

勤劳智慧的西藏人民, 不但有悠久的民族文化历史, 而且还有悠久开辟农田, 引水灌溉, 筑堤防洪的传统。

吐蕃时期农业灌溉及导引山泉技术的萌芽已见于元以来诸藏文典籍的追述, 之后西藏的水利状况鲜见于载籍。清康熙以来, 有关西藏民间争夺农田用水、治水及水磨的藏汉英亲历记载偶有所见。清代至新中国成立, 西藏的水利一直由地方官统一管理。但在班禅、萨迦、拉甲日及康区各活佛或土司的辖地, 又有独自的水利管理系统。西藏的水利设施集中在农业区, 占地面积最大的牧区基本没有水利设施, 而农业区主要分布在雅鲁藏布江流经的前后藏, 尤以雅隆河谷、江孜及康区的水渠灌溉和水磨技术最为完善。另外在非法的

麦克马洪线以南有至今被印度侵占的门隅、路瑜和下察隅地区，这里水资源极其丰富，也是西藏最大的水稻种植区，当地的门巴、路巴及橙人有着自己独特的引水灌溉等水利技术，十分古朴。

据《贤者喜宴》《西藏王统记》等藏文古籍记载：早在松赞干布前数代，吐蕃人民就掌握了引水灌溉。但其具体的水利设施无明文描述。在清代以来有关西藏的汉文典籍中也有西藏水利的零星记载。历史上西藏一直有所谓的水官“曲本”，还有所谓的灌溉督察，指旧时管理向农田放水的官员。关于西藏水渠灌溉的资料较多，如清光绪三十三年三月，查办大臣张荫棠提出在西藏设立农务局，其应办事宜包括：设“总办二员、帮办二员、文案二员、劝农官八员、植物园丁十余名，讲求……灌溉……之事。”并要求：“山坡各地宜多掘土坑沟渠以储水。多种树木则雨水必多。”要“研究灌溉……之法”。清测绘官员陶思曾于光绪三十四年底来到江孜中心，发现：“年楚河东西岸……平野夷旷，田亩纵横，土性钻固，空气干燥，故番农皆开渠引水以收灌溉之利。今年楚河东西岸均有长渠一道，各田庄又均有界沟旱溉潦泄，有裨农功。”^[5]

1940年，德国人察绒提出一个岗厦至洛增杰参菜地和林卡的灌溉引水计划，得到了在这一带有菜地的尧西郎顿·贡噶旺秋和河坝林一带菜农的支持。当水渠修通一段后，由于地势高低相差很大的地段石料运输和人力不足的问题，只好半途停工。后来，摄政达扎（1941—1950年在任）传示译仓勒空：每年传召大会期间要耗用大量烧柴，为使今后供应无缺，必须营造燃料林基地，但应先修好水渠，以便灌溉林木。为此，译仓勒空的4位仲尼钦莫（四品大僧官）商定：从药王山下西南面的死水塘至聂当大佛山脚间新修一条水渠，请察绒指导施工。察绒经仔细观察后，提出修复废弃的岗厦林卡旧渠至诺堆林卡的建议。4位仲尼钦莫采纳了他的建议。于是译仓勒空下令：凡拉萨居民，每人支差两天，由察绒负责施工和测量。察绒以“公务繁忙，不能分身”为由，要当时住在他家的两位德国人（即奥夫施内特和哈雷）代为料理。水渠修成通水后，人们称之为加尔曼水渠。

西藏和平解放后，进藏部队中的随军水利工作者首先在江孜县车仁坝进行了勘测设计，修建了车仁灌区，后来先后在澎波、林周、易贡、察隅、扎囊等地建农场。1959年后西藏的农田水利基本建设发展很快，在当时对农业生产的发展、产量的提高起到了很大的作用，到目前为止还有相当数量的水利工程仍在发挥其作用^[6]。

1.3.2 西藏地区的农业水利工程

1.3.2.1 概况

截至2017年，西藏灌区共有6315座，包括满拉、墨达、雅砻、拉洛在内的76个万亩以上的大中型灌区，初步形成集中连片耕地灌溉用水的保障系统。

其中，灌区数最多的是日喀则地区（2416座），其次是山南地区（1957座），那曲地区最少（15座）。灌区规模在2000亩以上灌区数最多的也是日喀则地区（155座），其次是拉萨市（68座），那曲地区最少（3座）。林芝地区和昌都地区只有河湖引水闸（坝、堰），分别为17座和8座。具体情况详见表1.3.1。

目前，西藏总灌溉面积为504.12万亩，其中日喀则地区总灌溉面积最多（211.38万亩），其次是山南地区（131.51万亩），那曲最少，只有1.41万亩。西藏高效节水灌溉面积仅有1.26万亩，2011年实际灌溉面积488.15万亩。西藏各行政分区灌溉面积见表1.3.2。

表 1.3.1

西藏各行政分区灌区工程类型

单位: 座

行政 区划	主要水源工程类型						灌区规模			灌区数
	水库	塘坝	河湖 泵站	河湖引水闸 (坝、堰)	机电井	其他	≥2000 亩	<2000 亩	纯井灌区	
拉萨市	10	7	0	57	2	5	68	501	11	580
昌都地区	0	0	0	8	0	0	8	794	0	802
山南地区	4	4	0	39	39	0	47	1799	111	1957
日喀则 地区	19	25	1	107	0	3	155	2239	22	2416
那曲地区	0	0	0	2	0	1	3	12	0	15
阿里地区	1	2	0	20	0	1	24	190	0	214
林芝地区	0	0	0	17	0	0	17	314	0	331
合计	34	38	1	250	41	10	322	5849	144	6315

表 1.3.2

西藏各行政分区灌溉面积

单位: 万亩

行政区划	≥2000 亩	<2000 亩	纯井灌区	高效节水	2011 年实际面积	总灌溉面积
拉萨市	56.19	20.73	0.29	0	83.66	86.75
昌都地区	3.47	24.40	0	0.63	28.96	29.62
山南地区	55.16	67.83	2.74	0	131.01	131.51
日喀则地区	110.13	86.56	1.82	0.24	205.03	211.38
那曲地区	0.96	0.45	0	0.29	1.41	1.41
阿里地区	10.69	7.49	0	0	19.03	19.32
林芝地区	9.39	11.90	0	0.10	19.31	24.13
合计	245.99	219.36	4.85	1.26	488.41	504.12

西藏大型灌区(设计灌溉面积超过 30 万亩)占西藏总灌溉面积的 0.02%, 中型灌区(设计灌溉面积 1 万~30 万亩的灌区)占西藏总灌溉面积的 0.97%, 小型灌区占西藏总灌溉面积的 99.01%。其中, 重要的灌区工程有拉萨市的墨达灌区、澎波灌区, 山南地区的江北灌区、雅砻灌区和日喀则的满拉灌区等。西藏各行政区主要灌区工程见表 1.3.3。

表 1.3.3

西藏各行政分区主要灌溉工程

行政区	主要灌溉工程
拉萨市	墨达灌区、城关-曲水灌区、彭波灌区、普松灌区、琼普灌区
昌都地区	吉塘灌区、莽错灌区、俄洛灌区、鲁仁灌区、扎西则灌区
山南地区	江北灌区、曲措灌区、雅砻灌区、江雄灌区
日喀则地区	多白灌区、满拉灌区、曲美灌区、恰央灌区、若错灌区
那曲地区	忠义乡灌区、班戈县灌区、尼玛县灌区
阿里地区	扎得灌区、香孜灌区、赤得灌区、胜利灌区、农发灌区
林芝地区	更百灌区、觉木灌区、玉倾灌区

西藏灌区灌溉渠道中流量为 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 及以上的渠段数共有 122 处, 渠道总长度共有 1263.40km, 衬砌长度 487.60km, 渠系建筑物 2766 座。灌溉渠道流量为 $0.20\sim 1.00\text{m}^3/\text{s}$ 的渠段数共有 864 处, 渠道总长度共有 2178.90km, 衬砌长度 1269.20km, 渠系建筑物 4168 座。其中, 流量为 $1.00\text{m}^3/\text{s}$ 及以上长度的渠段数, 日喀则地区最多 (53 处), 昌都地区最少 (1 处), 流量为 $0.2\sim 1.0\text{m}^3/\text{s}$ 规模的渠段数, 拉萨市最多 (238 处), 那曲地区最少 (3 处)。

西藏灌区灌排结合渠道中流量为 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 及以上长度的渠段数共有 12 处, 渠道总长度 201.80km, 衬砌长度 133.60km, 渠系建筑物 630 座。灌排结合渠道中流量为 $0.20\sim 1.00\text{m}^3/\text{s}$ 的渠段数共有 148 处, 渠道总长度共有 234.60km, 衬砌长度 43.80km, 渠系建筑物 402 座。其中, 流量为 $1.00\text{m}^3/\text{s}$ 及以上规模的渠段数, 拉萨市的最多 (6 处), 占总数的一半, 那曲和阿里为零。流量为 $0.20\sim 1.00\text{m}^3/\text{s}$ 规模的渠段数, 拉萨市的最多 (74 处), 占总数的一半, 昌都、林芝和阿里为零^[7]。

1.3.2.2 重要灌区

1. 满拉灌区

满拉灌区位于西藏日喀则境内, 灌区受益范围涉及包括日喀则地区、白朗县和江孜县, 属于年楚河流域, 是满拉水库的配套工程, 坝址距江孜县 28km。

灌区范围内有日喀则、江孜水文气象站。据统计, 日喀则站多年平均降水量为 42mm。降水的年际变化较大, 日喀则站最大降水量为 752.1mm。最小降水量为 210.5mm。降水的年内分布也极不均匀, 主要降水量在汛期, 6—9 月降水量占年降水量的 90% 左右。日喀则站多年平均气温 6.30°C , 最高月平均气温 14.50°C , 最低月平均气温 -3.80°C , 极端最高气温为 28.20°C , 极端最低气温为 -25.10°C , 多年平均湿度为 42%。

灌区主体工程始建于 2002 年 9 月, 完工于 2003 年 8 月。设计灌溉面积 34.60 万亩, 总灌溉面积 19.71 万亩, 其中耕地有效灌溉面积 16.49 万亩, 园林草地等有效灌溉面积 3.22 万亩。灌区控制范围为满拉水库下游至年楚河河口两岸可自流及提水灌溉的土地, 灌区总人口为 16.23 万人 (其中农业人口为 9.79 万人), 灌区内耕地面积为 51.15 万亩, 主要作物及播种面积为 47.00 万亩。

自满拉水库以下, 依次有 6 条较大支流汇入年楚河, 与满拉水库共同组成了满拉灌区的灌溉水源, 满拉灌区设置帕贵、车仁、达孜、重孜、幸福、巴扎、团结、下觉、任钦岗、解放、联阿等 11 处取水口工程, 对 11 条干渠进行供水, 其中江孜 5 条、白朗 4 条、日喀则 2 条。其中, 流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ 以上的灌溉渠道 9 条, 总长度 208.30km, 其中, 衬砌长度 78.0km, 渠系建筑物 661 座。满拉灌区干支渠总长 279.30km, 其中, 渠道衬砌长度 135.60km。

满拉灌区最大取水流量为 $42.83\text{m}^3/\text{s}$, 总用水量为 1.49 亿 m^3 , 综合毛灌溉定额为 $300\text{m}^3/\text{亩}$, 灌溉用水量为 1.49 亿 m^3 , 灌溉水利用系数为 $0.30\sim 0.70$ 。

2. 墨达灌区

墨达灌区东临林芝地区, 南接山南地区, 西至拉萨市, 北与林周县相依, 范围涉及拉萨市的墨竹工卡县、达孜县和城关区蔡公堂乡。属于拉萨河流域水系, 位于东经 $91^{\circ}18'\sim$