



北方旱田

禾本科主要作物节水种植

■ 曹广才 魏 湜 于立河 主编

气象出版社

北方旱田禾本科 主要作物节水种植

曹广才 魏 湜 于立河 主编

气象出版社

内 容 简 介

这是一部以中国北方旱田为覆盖面,以禾本科主要作物(小麦、玉米、谷子和高粱)为主体,以节水种植为中心的科技著作。全书共分9章。书中围绕天然降水、地表水、地下水等方面,论述了中国北方农业水资源状况;介绍了小麦、玉米、谷子和高粱在北方旱田的分布情况;从这几种作物生长发育与需水节律的角度,论述了他们的水分生理和水分代谢等内容;从理论和实践上阐述了在单作旱田提高作物水分利用效率的主要措施;服务于节水种植,阐述了多作种植的历史发展及其原理;在对粮粮间套作、粮经间套作、粮油间套作、粮菜间套作、粮果与林粮间套作、条带种植与立体种植等多作种植的主要类型的介绍上,阐明了每种类型的原理、主要模式、技术要点、节水增效、应用范围等;作为节水栽培中的特殊栽培法,从覆盖栽培与垄沟膜侧栽培两方面,在作用原理、因地制宜的应用类型、技术要点、节水效果、经济效益与生态效益等方面进行了系统阐述;在工程节水的主要方式上,涉及了畦灌、喷灌、管道输水、波涌灌溉等,从理论、措施和效益等方面做了较深刻的论述。第九章,在理论和实践上论述了径流农业,主要包括工程措施汇集径流、生物措施汇集径流、径流农业实践等内容。

本书可供农业科研单位科研人员、农业院校有关专业师生参考,也可供农业行政部门、农技推广部门有关人员参考。书中的一些具体措施也可供农业生产者因地制宜采用。

图书在版编目(CIP)数据

北方旱田禾本科主要作物节水种植/曹广才主编.

北京:气象出版社,2006.10

ISBN 7-5029-4197-5

I. 北... II. 曹... III. 旱地-禾本科-节约用水
-灌溉 IV. S510.71

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第117442号

气象出版社出版

(北京中关村南大街46号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

网址: <http://cmp.cma.gov.cn> E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑:王元庆 王桂梅 终审:汪勤模

封面设计:张建永 责任技编:刘祥玉 责任校对:高春敏

*

北京中新伟业印刷有限公司印刷

气象出版社发行

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:506千字

2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

定价:50.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,
请与本社发行部联系调换

前 言

农业生产中,节水是一个永恒的主题。区别于水稻田的中国北方旱田中,种植着多种作物。作为禾本科作物,小麦、玉米、谷子和高粱无疑是主要作物。

小麦、玉米、谷子和高粱都是种植历史悠久、分布广泛的作物。小麦起源于中近东地区,公元前10 000年以前,人类已经驯化小麦。约在5 000年前,小麦传入中国。从赤道附近到北极圈内以及南纬的低纬度地区,从海平面附近到海拔4 000 m以上,都有小麦分布。玉米起源于8 000~10 000年前的美洲大陆。中国栽培玉米已有400多年的历史。从赤道附近到50°N和50°S,从海平面到海拔4 000 m处,皆有玉米分布。谷子的栽培历史已有7 000~8 000年,在61°N和40°S范围内均有分布。高粱起源于非洲。栽培高粱在公元前4 000年或3 000年开始传播。综合各家之说,1 000年前,高粱从非洲经印度、中东传入中国。

时至今日,小麦、玉米、谷子和高粱在国内农业生产中继续占有重要地位,并保持一定种植面积。2004年《中国农业年鉴》(总25卷)统计,2003年全国小麦播种面积21 997.1 k hm^2 ,总产8 648.8万t,平均单产3 932 kg/h m^2 ;玉米播种面积24 068.2 k hm^2 ,总产11 583.0万t,平均单产4 813 kg/h m^2 ;谷子播种面积1 024.4 k hm^2 ,总产194.1万t,平均单产1 895 kg/h m^2 ;高粱播种面积722.4 k hm^2 ,总产286.5万t,平均单产3 966 kg/h m^2 。2005年《中国农业年鉴》(总26卷)统计,2004年全国小麦播种面积21 626.1 k hm^2 ,总产9 195.2万t,平均单产4 252 kg/h m^2 ;玉米播种面积25 446.0 k hm^2 ,总产13 029.0万t,平均单产5 120 kg/h m^2 ;谷子播种面积915.6 k hm^2 ,总产181.2万t,平均单产1 979 kg/h m^2 ;高粱播种面积567.5 k hm^2 ,总产232.8万t,平均单产4 102 kg/h m^2 。2004年与2003年相比,小麦播种面积有所减少,玉米面积有所增加,总产和平均单产均有增加。谷子和高粱播种面积均减少,总产也都减少,而平均单产却都增加了。

根据农业水资源状况,对于北方旱田中小麦、玉米、谷子和高粱等作物的种植必须以节水为原则,千方百计合理利用水资源。通过各种综合配套的技术措施,提高水分利用效率,获取高产优质高效的效果,同时做到经济效益、社会效益与生态效益相结合。坚持节水种植,是种植业可持续发展的前提和保证。

近些年来,在旱田节水种植方面,已有一批科研成果,有的地方已有显著的生产成就。为了反映这些成果和成就,通过出版物从理论和实践上对这些成果和成就予以系统总结,很有必要。

为此,中国农业科学院作物科学研究所有关专家与东北农业大学、黑龙江八一农垦大学、沈阳农业大学、辽宁省农业科学院作物研究所、山东农业大学、河北省农林科学院旱作农业研究所、北京市农业技术推广站、甘肃金象农业发展股份有限公司等单位的有关专家协商后,达成共识,决定共同撰写这部自成体系的科技著作。河北省农林科学院谷子研究所、河北省廊坊市农业局技术站也安排了专人撰写有关章节。

本书的内容以中国北方旱田为覆盖面,以禾本科主要作物小麦、玉米、谷子、高粱为主体,以节水种植为中心。围绕天然降水、地表水、地下水等方面,论述了中国北方农业水资

源状况；介绍了小麦、玉米、谷子、高粱在北方旱田的分布情况；从这几种作物生长发育与需水节律的角度，论述了他们的水分生理和水分代谢等内容；从理论和实践上阐述了在单作旱田提高作物水分利用效率的主要措施；服务于节水种植，阐述了多作种植的历史发展及其原理；在对粮粮间套作、粮经间套作、粮油间套作、粮菜间套作、粮果与林粮间套作、条带种植与立体种植等多作种植的主要类型的介绍上，阐明了每种类型的原理、主要模式、技术要点、节水增效、应用范围等；作为节水栽培中的特殊栽培法，从覆盖栽培与垄沟膜侧栽培两大方面，在作用原理、因地制宜的应用类型、技术要点、节水效果、经济效益与生态效益等方面，做了系统阐述；在工程节水的主要方式上，涉及了畦灌、喷灌、管道输水、波涌灌溉等，从理论、措施和效益等方面做了较深刻的论述。其中，第九章在理论和实践上论述了径流农业，主要包括工程措施汇集径流，生物措施汇集径流，径流农业实践等内容。

这部著作系集集体智慧撰写而成的，得益于各单位、各位专家的密切配合。

本书以农业科研单位科研人员、农业院校有关专业师生为读者对象，也可供农业行政部门、农技推广部门有关人员参考。书中的一些具体措施也可供农业生产者因地因条件采用。

本书的出版也得益于气象出版社的配合和支持，谨致谢忱。

限于水平，不当和错误之处敬请读者指正。

作者分工如下：

前言..... 曹广才（中国农业科学院作物科学研究所）

第一章

第一节..... 侯立白，陈贺芹，衣莹，刘喜波，吴卫（沈阳农业大学）
第二节..... 姚平，刘喜波，董凤珍，侯立白，张雯（沈阳农业大学）
第三节..... 张雯，陈尔冉，吴卫，侯立白，衣莹（沈阳农业大学）

第二章

第一节..... 孙连庆，吴禹，孙琪光（辽宁省农业科学院作物研究所）
第二节..... 于立河，杨克军，郭伟（黑龙江八一农垦大学）
第三节..... 程汝宏，夏雪岩（河北省农林科学院谷子研究所）
第四节..... 卢庆善，王艳秋，卢峰，段有厚（辽宁省农业科学院作物研究所）

第三章

第一节..... 田纪春，王延训（山东农业大学）
第二节..... 陈学君，闫明（甘肃金象农业发展股份有限公司）
第三节..... 程汝宏，夏雪岩（河北省农林科学院谷子研究所）
第四节..... 卢庆善，朱凯，张志鹏，石永顺（辽宁省农业科学院作物研究所）

第四章

第一节..... 杨德光，李晶，常敬礼（东北农业大学）
第二节..... 王俊英（北京市农业技术推广站）
第三节..... 赵宏伟，李晶，魏湜（东北农业大学）

第四节..... 王俊英 (北京市农业技术推广站)

第五章

第一节..... 衣莹, 侯立白, 陈尔冉, 董凤珍, 陈贺芹 (沈阳农业大学)

第二节..... 魏湜, 赵东旭, 李伟忠 (东北农业大学)

第三节..... 魏湜, 赵东旭, 李伟忠 (东北农业大学)

第六章

第一节..... 于立河, 薛盈文, 郭伟 (黑龙江八一农垦大学)

第二节..... 李彩凤, 洛育, 刘迎雪 (东北农业大学)

第三节..... 田纪春, 王延训 (山东农业大学)

第四节..... 田纪春, 王延训 (山东农业大学)

第五节..... 王瑞华, 姜力, 赵俊兰, 侯继华, 周艳华 (廊坊市农业局技术站)

第六节..... 陈学君, 陈婧 (甘肃金象农业发展股份有限公司)

第七章

第一节..... 于立河, 郭伟, 薛盈文 (黑龙江八一农垦大学)

第二节..... 张保明, 李继武 (中国农业科学院作物科学研究所)

第八章..... 陈秀敏, 李科江, 马俊永 (河北省农林科学院旱作农业研究所)

第九章..... 曹广才, 吴东兵, 张保明 (中国农业科学院作物科学研究所)

徐方 (中国农业科学院农业资源与区划研究所)

李艳萍 (北京市农林科学院玉米研究中心)

全书统稿..... 曹广才 (中国农业科学院作物科学研究所)

全书审稿..... 曹广才 (中国农业科学院作物科学研究所)

魏湜 (东北农业大学)

于立河 (黑龙江八一农垦大学)

曹广才

2006年5月

目 录

前 言

第一章 中国北方农业水资源状况	(1)
第一节 天上水——天然降水	(1)
第二节 地表水——江河、湖、沼、融化雪水、冰川	(17)
第三节 地下水——地表深层水	(22)
参考文献	(29)
第二章 北方旱田禾本科主要作物分布	(30)
第一节 小麦分布	(30)
第二节 玉米分布	(42)
第三节 谷子分布	(48)
第四节 高粱分布	(56)
参考文献	(65)
第三章 北方旱田禾本科主要作物生长发育与需水节律	(67)
第一节 小麦生育与水	(67)
第二节 玉米生育与水	(81)
第三节 谷子生育与水	(86)
第四节 高粱生育与水	(94)
参考文献	(101)
第四章 单作旱田提高水分利用效率的主要措施	(103)
第一节 因地制宜合理耕作	(103)
第二节 选用适宜品种	(115)
第三节 适期播种与播种方式	(130)
第四节 节水型田间管理	(138)
参考文献	(144)
第五章 多作种植	(146)
第一节 多作种植的历史与发展	(146)
第二节 多种作物共栖一田的原理与作用	(156)
第三节 多种作物共栖一田的竞争与“异株克生”	(162)
参考文献	(167)
第六章 多作种植的主要类型	(169)
第一节 粮粮间套作	(169)
第二节 粮经间套作	(181)
第三节 粮油间套作	(190)

第四节 粮菜间套作·····	(197)
第五节 粮果与林粮间套作·····	(206)
第六节 条带种植与立体种植·····	(215)
参考文献·····	(225)
第七章 农艺节水主要方式·····	(227)
第一节 覆盖栽培·····	(227)
第二节 垄沟膜侧栽培·····	(243)
参考文献·····	(257)
第八章 工程节水的主要方式·····	(258)
第一节 畦灌·····	(258)
第二节 喷灌·····	(268)
第三节 管道输水·····	(273)
第四节 波涌灌溉·····	(280)
参考文献·····	(286)
第九章 径流农业·····	(287)
第一节 工程措施汇集径流·····	(287)
第二节 生物措施利用径流·····	(293)
第三节 径流农业·····	(297)
参考文献·····	(304)

第一章 中国北方农业水资源状况

联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）把水资源定义为：作为水资源的水应当是可供利用或有可能被利用，具有足够数量和可用质量，并可适合某地对水的需求而能长期供应的水源。水资源必须具备可以更新补充、可供永续利用的特点。

中国是一个水资源短缺、水旱灾害频繁的国家。如果按水资源总量考虑，水资源总量居世界第6位；若按人均水资源量计算，人均占有量只有2500 m³，约为世界人均水量的1/4，居世界第110位，已经被联合国列为13个贫水国家之一。

中国年降水总量为61889亿 m³，多年平均地表水资源为127115亿 m³，地下水资源量为8288亿 m³，全国平均年水资源总量为28124亿 m³。受季风气候和地形条件的影响，水资源时空分布极不均衡。中国大部分地区降水量最大的4个月约占全年降水总量的70%，往往造成汛期洪水成灾。南方水多，北方水少。干旱虽然在全国普遍存在，但究其发生频率和严重程度，北方多于南方、重于南方。长江以北水系流域面积占全国国土总面积的64%，水资源量却只占全国的19%，干旱缺水成为制约中国北方地区发展经济的突出问题。

中国北方地区是指昆仑山脉、秦岭、淮河一线以北的15个省、市、自治区，包括黑龙江、吉林、辽宁、北京、天津、河北、河南、山东、山西、内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆，即东北、华北和西北地区及河南、山东两省。自然灾害，尤其是干旱，对中国的粮食生产造成较大影响。因此分析北方农业水资源状况、主要作物的节水种植对于北方旱田禾本科作物的生产具有重要意义。

水资源数量包括水汽量、降水量、蒸发蒸腾量、地表水和地下水资源量及水资源总量等。大气降水是人类可利用水资源的重要来源，降水量是反映区域水资源的重要指标。地表和地下水资源是水资源的主体，也是水资源评价的主要对象。冰川和海水（含微咸水）是缺水地区一个潜在的重要水资源，在干旱缺水地区的水资源评价中不可忽视。

降水资源的分布及其特征是满足农作物需水量的主要水分来源，对作物水需求的保证程度以及对作物生长条件和产量有着决定性的影响。其水资源的农业利用方式主要为天然利用，具有最低的利用成本和最好的利用效益，因此成为最重要的农业水资源类型。而地表水资源和地下水资源主要作为设施农业和补充灌溉的农业水资源，是农业节约用水和可控制利用的主要水源。

第一节 天上水——天然降水

大气降水是陆地水循环的主要补给来源和驱动力，绝大多数的陆地水资源由大气降水转化而来。尤其是在旱地农业区，大气降水成为最主要的水资源类型，甚至是干旱地区农业生产和区域生态延续的生命线。干旱地区的大气降水总量和降水的时空分布在很大程度上不能

满足即使是耐旱作物和天然植被繁育的需水要求,这就成为干旱地区干旱和水资源严重不足的主要原因;同时,干旱地区农业生产和区域生态系统保育需水要求也主要依靠对大气降水的调控和节约利用来实现。

降水资源是水资源的重要组成部分。水分是一切农作物生长发育不可缺少的重要物质条件,是农作物各种营养物质的吸收、转运、光合作用和呼吸作用以及细胞内一系列生物化学变化的根本保证。降水资源的时空分布和年际变化,直接制约着作物布局和农业的发展。降水各种农用水资源之母,广义上,水资源的利用即是降水的利用。直接利用降水供给作物用水,是投资省见效快的途径。中国多年年平均降水总量为 61 900 亿 m^3 , 约合水深 648 mm, 目前约有 56% 的降水消耗于陆面蒸发与植物的蒸腾,进一步开发利用的潜力很大。

一、东北地区降水量及季节分布和变化规律

(一) 辽宁省

辽宁省属国内水资源贫乏省份,是中国北方严重缺水省份之一。辽宁省水资源地区分布不均衡,主要特点是东部水量偏丰,西部偏枯,中南部略好于西部。降水年际变化很大,而且降水愈少的地区和季节,降水量的年际变化也愈大。根据沈阳等站 90 年降水观测资料分析,年际多为 2~3 年有小的丰、枯交替,而且丰水期和枯水期呈现一定的周期性,丰、枯水期持续 8~14 年,平均为 11 年左右。各地降水量季节变化很大,全年降水主要集中在汛期 6~9 月,冬季受冷高压控制,寒冷少雪,历时较长。一般 6 月进入雨季,正常年份 6~9 月雨量最大,这 4 个月雨量占全年降水量的 70%~80%。7~8 月降水更为集中,最大月降水量占年降水量的 25%~35%。11 月至翌年 3 月降水量最少,5 个月降水量仅占年降水量的 4%~10%。4~5 月雨量很少,占年降水量的 10%~14%。由于降雨年内分配很不均匀,春季降雨少,雨季降雨高度集中,且多以几次集中暴雨出现,因而常出现春旱和夏涝。

辽宁省(24 站)1971—1995 年年平均降水总量为 704.07 mm,折合水量 1 024.39 亿 m^3 , 年份间分布差异较大(表 1-1)。降水量最大的年份是 1985 年,年降水总量达到 964.47 mm;最少的年份是 1989 年,仅为 533.67 mm。从季节分布看,降水主要集中在 7、8 月份,占全年降水总量的 50%;6~9 月降水量占全年降水总量的 75%,而作物的生长盛期恰在此期间,即对秋收作物生长的主要生育时期雨量是较适宜的,而对于夏粮作物(如小麦)则生育期间降水严重不足,在即将收获的 6 月末 7 月初时,雨量加大,影响了小麦的生长和收获。因此辽宁地区的小麦生产应以水浇地为主,旱作小麦很难达到较好的收成。

1. 流域分布

2004 年辉发河、东辽河流域降水量分别为 791.1 和 734.9 mm,比全省 24 站多年平均值(以下简称多年均值)偏多 9.7%和 8.9%;鸭绿江流域降水量 1 043.8 mm,比多年均值增加 3.8%;其他流域降水量均比多年平均值少。各流域依次为:青龙河 417.5 mm,比多年均值偏少 28.6%;西辽河 380.7 mm,比多年均值偏少 11.3%;浑太河 675.2 mm,比多年平均值偏少 9.8%;辽西沿海 509.1 mm,比多年均值偏少 7.0%;其他流域比多年平均偏少<5%。

表 1-1 辽宁省 1971—1995 年 24 站平均月降水量分布

月份	降水量 (mm)	各月降水量占全年 降水总量的比例 (%)
1	4.50	0.64
2	5.98	0.85
3	12.32	1.75
4	34.77	4.94
5	55.53	7.89
6	99.41	14.12
7	190.34	27.03
8	160.88	22.85
9	75.19	10.68
10	38.68	5.49
11	18.50	2.63
12	7.97	1.13
合计	704.07	100.00

2. 行政区分布

除大连、阜新、丹东和葫芦岛市降水量比多年均值稍偏多外,其余各市都有不同程度的偏少,偏少最多的是朝阳市,比多年均值偏少 14.5%;其次是盘锦、鞍山和辽阳市,比多年均值偏少 10%~14%;再次是抚顺、沈阳市比多年均值偏少 6.0%左右;其他各市偏少 <5.0%。

3. 2005 年年内分配

2005 年全省平均降水 738.3 mm,总降水量为 1 074.3 亿 m^3 ,比多年平均值偏多 8.9%,比上年偏多 11.5%,时空分布差异较大。1~4 月全省平均降水量 68.6 mm,占全年降水量的 9.3%,比同期多年均值多 17.3%;5~8 月,全省平均降水量为 594.2 mm,占全年降水量的 80.5%,比同期多年均值多 19.9%;9~12 月,全省平均降水量为 75.54 mm,占全年降水量的 10.2%,比同期多年均值少 39.2%。

(二) 吉林省

吉林省虽然近海,但大陆性气候明显,属于旱缺水省份。全省多年平均降雨量约为 600 mm,多年平均水资源量 404.25 亿 m^3 ,其中地表水资源量 356.57 亿 m^3 ,地下水资源量 113.18 亿 m^3 ,可开采水量 67.69 亿 m^3 ,人均水资源量 1 521 m^3 ,是全国人均水资源占有量的 2/3。受地理环境影响,省内降雨时空分布差异很大。从时间上说,每年 6~9 月的降水量占全年降水量的 73%左右(表 1-2);从空间上说,多年平均降水量呈现为自东南部的长白山区向中部和西北部递减的趋势。西部的蒸发量远远大于降水量,造成了吉林省西部严重缺水。

表 1-2 吉林省 1971—1985, 1987, 1991—1995 年 24 站平均月降水量分布

月份	降水量 (mm)	各月降水量占全年 降水总量的比例 (%)
1	3.49	0.59
2	5.68	0.97
3	10.70	1.82
4	27.74	4.72
5	57.03	9.70
6	103.67	17.63
7	154.24	26.24
8	113.40	19.29
9	56.37	9.59
10	35.08	5.97
11	13.69	2.33
12	6.78	1.15
合计	587.87	100.00

1. 年平均降水量的地理分布

吉林省各地年平均降水量为 400~950 mm。其中,春季约占全年的 15%,夏季约占全年的 65%,秋季约占全年的 17%,冬季约占全年的 3%。20 世纪 50 年代以来,全省年平均降水量最长达 773 mm (1965 年),最少只有 459 mm (1958 年)。年平均降水量的地理分布除由于地形的作用,导致长白山天池是全省降水量最多的地方以外,总体上,以南部降水量居多。通化地区南部达 900 mm 以上,以集安为中心向北,一直到整个中部地区形成一个多雨区,年平均降水量逐渐递减;向东至延边东部的汪清、珲春一带为少雨区,年平均降水量为 500~600 mm;向西至白城地区西部为另一个少雨区,年平均降水量不足 400 mm。

2. 降水的年变化

吉林省各地年降水量大多是单峰型,峰值一般出现在 7 月,其峰值都在 100 mm 以上。但延吉受海洋影响,峰值出现在 8 月,通化 7 月与 8 月基本持平,其峰值都超过 200 mm。降水量最低值一般出现在 1 月,也有出现在 12 月的,降水量都比较少,大多 <10 mm。一年之中的变化,从低值到高值,特别是从 5 月起较快达到最高值,从高值下降到低值也是变化急剧,而降水量主要集中在 6~8 月。这种分配,对于吉林省农业生产是十分有利的。

3. 农作物生长期 4~9 月的降水量分布

吉林省年降水量主要集中在这个时期,但在分布上很不均匀。京哈铁路以西和延边地区中部一般不足 400 mm,镇赉最少,平均只有 364 mm;吉林地区东部、通化地区北部,一般 >600 mm;通化地区南部达 700 mm 以上,集安最多,平均达 798 mm。4~9 月降水量占年降水总量的比重相当大,全省各地都在 84% 以上,京哈铁路以西在 90% 以上,白城、洮安、镇赉等地高达 93%,最少的抚松东岗也达 84%。

4. 年降水量变率

降水变率是年降水量的平均变幅与历年平均降水量的百分率,反映了该地降水量年际变化的稳定程度。全省年降水变率以平原地区和近海处相对较大,山区较小。白城地区西部在 20% 以上,白城达 21%,长春地区、吉林地区北部、白城地区东部、延边地区东部在 15% 以上。延边地区西部、吉林地区南部、通化、浑江、四平地区在 15% 以下,梨树、双阳、

长白、松江近 11%，为全省最小。

4~9 月降水量变率可反映出全省作物生长及降水量的稳定程度，此期间降水量变率的大小，对农业产量有着直接的影响。统计结果表明，全省降水量变率地区差异较大。白城地区、长春地区西北部、延边地区东部，在 20% 以上；延边地区西北部、长春、吉林、辽源三地区交界处，浑江地区、通化地区南部以及延边地区西南部，在 15% 以下；其他地区为 15%~20%。总的看来，4~9 月降水量变率西部平原地区和东部沿海地区较大，已引起旱涝；中部地区特别是东南部山区降水量变率较少，相对比较稳定。

5. 春季降水变率

春季降水量变率普遍较大，全省各地在 20% 以上。白城地区、长春和四平地区在 30% 以上，白城地区西北部都在 40% 以上，其中白城、洮安、镇赉高达 44%。春季降水量变率如此之大，是造成这些地区易于发生严重干旱的重要原因。其他地区均在 30% 以下，变率也较大，对春季农业生产的影响也是显而易见的。

6. 夏季降水变率

夏季降水量变率在四季中最小。但在地域分布上不连续。总的趋势是西部地区大，东部地区小。长春地区北部、白城地区东部、通化、珲春等地在 25% 以上，白城最大达 37%；浑江地区、延边地区西南部、四平地区中部、舒兰等地在 20% 以下；最小是安图县的松江、抚松县的东岗，为 16%；其他地区为 20%~25%。相对于其他季节其变率较小，这说明夏季降水量相对于其他季节要稳定。但实际资料表明，变率在 20% 左右，夏季旱涝仍不可避免。

7. 秋季降水量变率

秋季降水量变率全省均在 20% 以上，东西部较大，中部较小。白城、长春、四平、辽源、延边大部地区在 30% 以上，其中和龙最大达 44%；吉林、通化两地区在 30% 以下。在地域分布上与春季有相反的特征，即东部秋季变率大于春季，而西部则秋季小于春季。

8. 冬季降水量变率

冬季降水量变率是四季最大的季节。全省除通化地区南部、浑江地区和延边地区南部 <30% 之外，其他地方均 >30%。特别是西部平原区和延边地区东南部高达 50%，通榆最高达 71%。虽相对变率如此之大，但因冬季无农业生产，影响较小。

(三) 黑龙江省

1. 年降水分布

黑龙江省年降水量多年平均值为 370~670 mm。中部通河以北小兴安岭山地及尚志、五常一带降水最多，平均 >600 mm。东部地区为 500~600 mm，西部及北部降水量不足 500 mm，尤其杜蒙、泰来、肇源一带更少，<400 mm。降水分布特点为西南部最少，向东逐渐增多。年降水量等值线几乎呈南北走向，到中部地区，降水量达到最大值；再往东降水略有减少，而在东部边陲，靠近乌苏里江的抚远、饶河、虎林一带，降水又有增加趋势。对主要产粮区三江平原与松嫩平原的降水量进行比较，三江平原的降水量大于松嫩平原。

2. 降水季节分布

降水量的季节分布特点是冬、春降水少，夏、秋降水多，降水多集中在作物生长季，冬季（12 月至翌年 2 月）降水最少。在黑龙江省西南部少雨地区，冬季降水量不足 5 mm，仅占全年降水量的 1%；中部雨水最充沛的地区，冬季降水量也仅有 20 mm 左右，占全年降水量的 3%。

北部地区多雪年份冬季最大积雪深度为 30~50 cm，南部地区 20~30 cm，中部地区也

有 30~50 cm, 东部抚远、同江、饶河一带积雪最深达 40~60 cm。少雪年份各地最大积雪深度 < 20 cm, 有的甚至不足 10 cm。

春季 (3~5 月) 降水量约占全年降水量的 10%~20%, 且有越是干旱的地区, 春雨越少的规律。如西部年降水量少于 450 mm 的地区, 春季降水量仅占全年降水量的 10%~13%, 而哈尔滨以东、小兴安岭以南以东, 年降水量为 500~600 mm 的广大地区, 春季降水量约占全年降水量的 15% 以上, 这对保证春播作物出全苗具有重要意义。

生长季降水量的多寡对作物生长关系极大。各地降水量多集中在生长季, 4~9 月降水量占全年降水量的 83%~94%, 且有越是降水少的地区降水量越集中在生长季的规律。如整个松嫩平原的降水量多 < 500 mm, 生长季 (4~9 月) 降水量占年降水量的比重均达 90% 以上, 为 340~520 mm, 这对发展农业是十分有利的。换言之, 在降水缺乏的地区, 降水的有效性相对较高, 降水可为作物充分利用。其他地区, 年降水量超过 500 mm, 生长季降水占年降水量的 83%~90%, 大部分地区 > 450 mm。春季涝害易造成低温、种子霉烂现象, 且作物起身晚延迟生育期。夏旱影响小穗分化及籽粒正常灌浆, 造成减产, 夏涝易引起作物倒伏并使小麦收获作业不能顺利进行。秋旱对来年春季土壤含水量有影响, 如再遇到春季少雨则旱情加重。秋涝则使大田收割受到影响, 增加收获损失。由于降水变率大, 每年各地不同季节都有不同程度的旱涝现象发生, 这是造成省内粮食产量不稳的原因之一。

表 1-3 (1971—1995 年) 气象数据表明, 降水量最小的年份是 1982 年, 降水量为 438.85 mm; 最高降水量为 1977 年, 降水量达 779.23 mm。从月降水量分布看, 降水主要集中在 6~9 月份。

表 1-3 黑龙江省 1971—1995 年 24 站平均月降水量分布

月份	降水量 (mm)	各月降水量占全年 降水总量的比例 (%)
1	2.13	0.37
2	7.87	1.36
3	20.46	3.53
4	45.34	7.82
5	42.88	7.40
6	90.46	15.61
7	137.45	23.71
8	111.23	19.19
9	65.66	11.33
10	29.81	5.14
11	11.79	2.03
12	14.59	2.52
合计	579.67	100.00

二、华北地区降水量及季节分布和变化规律

(一) 山西省

山西是中国水资源最贫乏的省份之一。根据中国科学院 2000 年可持续发展研究报告统计, 山西在全国 31 个省、市、自治区水资源指数 (依据人均、单位面积平均水资源量) 排序中列第 29 位。全省水资源总量只有 141.8 亿 m^3 (其中河川径流量为 114 亿 m^3 , 地下水

93.3 亿 m^3 , 河川径流量与地下水之间重复量为 65.5 亿 m^3), 在全国各省(市、区)中居倒数第 2 位(仅比宁夏多一些); 人均占有量 476 m^3 , 仅为全国平均水平的 17%, 世界平均水平的 4.3%; 平均每公顷土地占有水量只有全国的 9.3%。

根据现有水文资料统计分析, 山西省多年(1956—1993 年)平均降水量为 515.7 mm, 折合 805.9 亿 m^3 , 其中大同市 428.4 mm、朔州市 409.8 mm、忻州市 478.0 mm, 吕梁地区 503.9 mm、太原市 474.9 mm、晋中市 515.3 mm、阳泉市 529.9 mm、临汾市 548.8 mm、运城市 581.8 mm、长治市 591.4 mm、晋城市 633.9 mm。

1. 降水量的地区分布特点

山西省的大部分市(地)年降水量平均值为 400~650 mm, 受气候、地形等因素的综合影响, 表现为降水量变化梯度大。省内南北纬度相差 6° 之多, 地势起伏大, 山脉多呈东北向、北东北向排列, 水汽自西南或东南方向入境后, 受到层层阻隔, 降水量自东南向北和西北方向锐减。

2. 降水量的年际变化特征

随着气象要素的变化及其所处地理位置的不同, 降水量变化十分激烈。不仅年际降水量变化幅度大, 且年内分配也极不均匀。各市(地)年平均降水量最大、最小值的比值大部分介于 2.5~3.0。降水量变差系数 C_v 值的变化总趋势为自省境西南部向东、东北和西北方向加大, 变差系数 C_v 的变化大都介于 0.2~0.3。省境内南部和东南部的各市、各流域 C_v 值 < 0.23, 西南部和西北部的各市、各流域 C_v 值 > 0.25。降水的年内分配不均, 各站春季(3~5 月)降水量占全年的 13%~20%, 夏季(6~8 月)降水量占全年的 50%~70%, 秋季(9~11 月)降水量占全年的 17%~25%, 冬季(12 月至翌年 2 月)降水量占全年的 4% 以下。

(二) 河北省

河北省属于温带季风型气候区。由于南北跨度大以及地形的影响, 气候的分带性明显。坝上高原属半干旱区, 坝上高原以南、长城以北属半干旱半湿润区, 长城以南属半湿润易旱区。全省地表水资源量 61.32 亿 m^3 , 地下水资源量 131.06 亿 m^3 , 水资源总量 154.24 亿 m^3 , 人均水资源量 228 m^3 。

全省多年平均降水量为 541 mm。降水量各地不均, 且年际变化较大。多水年份与少水年份降水量相差悬殊。降水量年内分配也很不均匀, 全年降水量的 80% 集中在 6~9 月。全年的降雨情况是春季偏少、夏季偏多, 平原偏多、山区偏少。由于降雨的年内分配不均, 年际变化大, 既有相当于东南亚地区的暴雨强度, 又有相当于中东地区的干旱、水资源短缺。主要特征为洪涝相继, 水旱灾害频繁发生。

降水量分布的总趋势是太行山迎风区南部和北部、燕山迎风区以及沿海地区降水较多, 东南部 and 西北部降水较少。

2003 年全省平均降水量 554 mm, 比多年平均偏多 18 mm; 2004 年全省平均降水量 523.3 mm, 比多年平均偏少 8.4 mm, 属平水年份。2004 年全省连续最大 4 个月降水量出现在 6~9 月, 4 个月共降水 475.2 mm, 占年降水量的 82.5%, 其中 7 月降水量最大, 为 147.4 mm, 占年降水量的 25.6%, 降水集中程度较高。

(三) 内蒙古自治区

内蒙古自治区位于祖国的北部边疆, 地域辽阔, 地形狭长, 属中温带大陆性气候, 降水稀少, 日照充足。降水从东至西逐渐递减, 东部年平均降水量可达 500 mm, 最西端阿拉善盟的额济纳旗只有 37 mm, 年降水量在 50~500 mm 左右, 蒸发量为 500~3 000 mm。大

兴安岭北部东侧全区多年平均降水总量为 3 194.3 亿 m^3 ，年降水量为 271 mm，仅为全国平均降水量 (628 mm) 的 43.2%。水资源受降水地区分布不均匀的制约，同样具有从东北向西南递减的分布规律，形成东部与西部之间、外流域与内陆流域之间水资源相差十分悬殊。不同流域水资源数量和供需比较表明，全区除东北部的嫩江水系和额尔古纳水系水资源较丰沛，略有盈余外，其他水系均程度不同的缺水，其中内陆河流域、黄河流域、西辽河流域缺水尤为突出。水资源年内分配不均，年际变率大。降水量主要集中在 6~9 月，占全年降水量的 65%~80%，且多以历时短、强度大的暴雨形式出现。

内蒙古大多河流属降雨径流型。河川径流年内分配很不均匀，每年 6~9 月降雨集中的汛期，径流量为全年径流总量的 60%~85%，洪水涨落急剧，易引发山洪。但这种雨热同季的组合，有利于一年一熟的旱作农业。内蒙古河川径流的年际变化较大，变差系数 C_v 值一般为 0.5~1.0，且由东向西递增，仅有大兴安岭北侧和东侧地区径流的 C_v 值 <0.5 ，为 0.25~0.5。其原因是距海洋较近，水汽来源充足，特别是茂密的大兴安岭森林覆盖，起到明显的径流调节作用。 C_v 值最大的地区是内蒙古高原的西北部，其 C_v 值为 1.2~1.5。这里夏季暖湿气流不易到达，降水量少，变化大，蒸发和渗漏损失大，只有强度大的降水才能产生地表径流。内蒙古各河流径流的年际变化周期性不太明显，丰、平、枯水年交替频繁。

(四) 北京市

北京市属暖温带半湿润的大陆性气候。多年平均降水量为 600 mm 左右。大部分地区降水年相对变率 $>20\%$ ，降水多集中在 7、8 两个月，有着连旱、连涝和春季十年九旱的特点。其中年最大降水量为 1 406 mm，最小仅为 242 mm，丰枯相差近 6 倍，且经常出现连续枯水年，最长时段达 20 年之久。另外，北京市每年的降水有 85% 集中在汛期 (6~9 月)，而春季用水高峰的降水仅为全年降水量的 5%，常发生干旱。

北京市人均水资源不足 300 m^3 ，仅为全国的 1/8，世界的 1/30，是水资源严重短缺的地区。加上地理、气候等因素的影响，北京市一年内的降雨分布极不均匀，85% 的雨量集中在 6~9 月，其余季节则十分干旱，还常有连续数年出现干旱或洪涝的现象。干旱表现在密云和官厅两大水库的上游来水量正日趋减少，地下水超采严重，北京市水的供需矛盾日益尖锐。

(五) 天津市

天津市位于华北平原东部，渤海湾西岸，属暖温带半湿润季风气候，四季分明，年均降水量 550~680 mm。因受季风影响，降水的季节分配不均，春季干燥多风，降水量约 38 mm，占总降水量的 7%；夏季炎热，平均降水量 437 mm，占总降水量的 80%；秋季天高气爽，平均降水量 60 mm，占总降水量的 11%；冬季干寒少雪，平均降水量 11 mm，占总降水量的 2%。年平均降水量年内、年际变化都很大。汛期自 6 月中旬至 8 月上旬，有时受台风影响，是洪涝灾害多发时期。年度降水量变化很大，且有较强的周期性，丰、枯水期常交替出现，极易出现春旱、夏涝、秋旱、冬枯的情况。冬、春季节，天津在西伯利亚干冷气团影响下，雨量稀少。降水的年际变化也大，据气象记录，降水少雨年不足 300 mm，多雨年可达 1 000 mm 以上，相差近 4 倍，变异系数接近 30%。这种降水的不稳定性，是引起年际间旱、涝、丰、歉的主要原因之一。

三、西北地区降水量及季节分布和变化规律

(一) 陕西省

陕西省地处中国内陆腹地,地形南北狭长,受极地气团和热带气团交替影响,形成了明显的大陆性季风气候。以秦岭为界,南北依次分为湿润、半干旱半湿润、干旱3个不同类型的气候带。基本上年年有小旱,三年一中旱,十年一大旱。据记载,全省自西汉元始元年(公元1年)至1990年,旱灾发生频繁。陕西省水资源总量为455亿 m^3 ,人均占有水量仅为全国平均水平的52%左右,耕地每亩^①平均占有水量仅为全国平均水平的58%,属中国贫水省。关中、陕北人均、亩均占有地表水量分别为520 m^3 和232 m^3 ,分别相当于全国平均水平的19.2%(相当于世界公认人均水资源最低标准的52%)和17.5%,属资源性严重缺水地区。

根据气候资料,计算出陕西省大气降水总量为1371亿 m^3 ,其中长江流域占全省总量的46%,黄河流域占全省总量的54%,降水年际变化范围为350~1600mm。降水总趋势是由南向北递减,由东向西递减,由山区向平原递减。降水量高值区在陕南米仓山,年降水量为1150mm;最低值位于陕北沙漠区,年降水量仅为334mm。水分蒸发量总趋势是由南向北递减,由西向东递减,由山区向平原递减,蒸发量大值区在延安,年蒸发量为1580mm,最低位于汉中,蒸发量为1052mm。

水资源在地区间分布不均匀,水土资源组合极不平衡,同需水要求极不协调。秦岭以南水资源占全省的7/10,而耕地面积只有全省的1/5,秦岭以北水资源占全省的不足3/10,但耕地却占全省的4/5。水资源季节分配不均匀。从全省看,大部分降水量集中在汛期(6~9月),降水年内分配的不均匀性和年际变化剧烈,枯水年大旱严重,丰水年又多洪水灾害,给水资源利用带来极大的困难和不利的影晌。

水资源时空分配不均。陕南国土面积仅占全省1/3,而水资源占有量占区内70%以上;陕北、关中地区国土面积占全省2/3,而水资源占有量仅占区内30%以下。关中、陕北境内多年平均径流量为107亿 m^3 ,仅占全省径流量的25.5%,加之水资源的65%集中于汛期,使得水资源短缺问题更加突出(表1-4)。

表1-4 陕西省三大分区(陕北、关中和陕南)国土资源与水资源特征

地理分区	水资源分区	占全省面积	占全省水资源量(455亿 m^3)	降水量(mm)	蒸发量(mm)	地下水补给量(亿 m^3)
陕北	半干旱	2/3	<30%	400~550	1000~1200	37.78
关中	半湿润			600~700	960~1200	6.57
陕南	湿润	1/3	>70%	>800	800~900	2.12

(二) 甘肃省

自然资源是各种水源的总补给源。降水的多少及其分布均影响到各种形式的水资源的丰枯度。甘肃省多年平均降水量为302mm,在全国各省、市、区中居27位。降水在地区、季节及年际间的分布不均,差异牲大。

^① 1亩=666.6 m^2 ,下同。