

旱作农业基础教程

王佛生 邓芸 张成 胡景平 编著



西北农林科技大学出版社

陇东学院教材、学术著作出版基金资助

旱作农业基础教程

王佛生 邓 芸 张 成 胡景平 编著

西北农林科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

旱作农业基础教程 / 王佛生等编著. —杨凌:西北农林科技大学出版社, 2012.9
ISBN 978 - 7 - 81092 - 756 - 7

I. ①旱… II. ①王… III. ①旱作农业 - 教材 IV. ①S343.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 222176 号

旱作农业基础教程

王佛生 等编著

出版发行	西北农林科技大学出版社	
地 址	陕西杨凌杨武路 3 号	邮 编:712100
电 话	总编室:029 - 87093105	发行部:87093302
电子邮箱	press0809@163.com	
印 刷	陕西杨凌森奥印务有限公司	
版 次	2012 年 12 月第 1 版	
印 次	2012 年 12 月第 1 次	
开 本	787 mm × 1092 mm	1/16
印 张	20.5	
字 数	498 千字	

ISBN 978 - 7 - 81092 - 756 - 7

定价:38.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系

前 言

据联合国教科文组织统计,世界干旱、半干旱地区遍及 50 多个国家和地区,在陆地总面积中干旱区占 24.0%,半干旱区占 10.9%,全世界约有 10 亿人口居住在旱区。中国旱农地区主要分布在东北、西北、华北及西南地区,旱作耕地占全国耕地总面积的 51.2%。该区域的优势是土地辽阔、阳光充足、矿产和能源资源十分丰富,是国家社会、经济发展的重要空间。但干旱缺水和水文生态严酷制约着该区域的发展。

随着全球人口激增,世界经济活动加快,旱农地区有限的水资源量与其对水的需求矛盾尤显突出。这一矛盾的解决需要发挥全人类的智慧,从不同方面做出努力。基于此目的,我们在学习和借鉴众多有识之士研究成果的基础上,结合长期工作、学习和生活在西部旱作农业区域的实践积累,编写了这本《旱作农业基础教程》。“教程”的基本含义是学科知识,编写该书的目的就是为所需者提供旱作农业领域的有关理论、技术、信息资料。

本书在编写过程中,遵循基础性、科学性与实用性相结合的原则,在分析旱作农业基础条件的前提下,从农业生态环境保护、水资源积蓄利用、农田覆盖栽培技术等方面,介绍了旱作农业保护与开发利用的知识和技术,阐述了提高旱地有限水分资源利用率的机理及综合途径。从旱地农业生态系统观点出发,将草业纳入旱作农业的范畴,概述了草场改良及利用、草坪建植及管理、草地农业等内容。本书的特点是将北方旱区传统农业技术与近年来科学研究和生产实践的最新成果有机结合,增加了小流域综合治理、荒漠化及其防治、再生纸覆盖等内容,并将雨水资源集蓄与节水灌溉相结合。本书将基本理论与应用技术融为一体,注重系统性、新颖性和实用性,既可用于指导旱区农业推广人员和农民从事生产管理活动,又可作为农业院校师生和广大科研人员从事旱作农业教学和研究工作的参考书。

全书共分为七章,采取整体规划,分工合作的方式进行编写,增强了著作的系统性。王佛生主编了第一章、第五章,参编了第三章和第四章,并负责统稿。邓芸主编了第三章,参编了第六章,同时负责文字校对工作。张成主编了第二章、第七章,参编了第一章和第五章。胡景平主编了第四章、第六章,参编了第二章和第七章。

本书在编写过程中,尽量以近期标准化资料为依据,以大量科技参考文献为支撑,力图论有依据,事有缘由。但由于我们的编写水平有限,书中的缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

本书的出版得到了陇东学院学术著作出版基金资助,得到了农林科技学院领导的大力支持和同仁的鼎力相助,在此一并表示诚挚的感谢!

编 者

2012 年 8 月

目 录

第一章 旱作农业概述..... (1)

第一节 干旱及其危害..... (1)

一、干旱与旱灾 (1)

二、干旱的危害 (2)

第二节 干旱类型与等级标准..... (4)

一、气象干旱 (4)

二、农业干旱 (7)

三、水文干旱 (8)

四、社会经济干旱 (9)

五、干旱过程及预警..... (10)

第三节 旱作农业的概念和分区 (11)

一、旱作农业的概念..... (11)

二、中国旱作农业类型分区..... (12)

三、旱作农业的区域布局与发展重点..... (19)

第四节 旱作农业的发展 (23)

一、干旱是一个世界性的问题..... (23)

二、旱作节水在我国农业中的战略地位..... (27)

三、我国旱作农业的发展历程..... (28)

四、我国旱作农业的优势..... (31)

五、我国发展旱作农业的障碍因素..... (34)

六、旱作农业发展的指导思想及开发战略..... (36)

主要参考文献 (38)

第二章 旱地土壤侵蚀与保护 (40)

第一节 旱地土壤侵蚀及成因 (40)

一、土壤侵蚀的类型..... (40)

二、我国土壤侵蚀分类分级..... (44)

三、我国土壤侵蚀的现状..... (47)

四、旱农地区土壤侵蚀的主要影响因素..... (50)

五、土壤侵蚀综合治理的基本原理和技术措施..... (52)

六、我国土壤侵蚀综合治理现状	(54)
第二节 水土保持工程措施	(58)
一、梯田	(58)
二、造林整地工程	(62)
三、淤地坝	(63)
第三节 水土保持生物措施	(64)
一、水土保持生物措施的作用	(64)
二、水土保持生物措施的类型	(66)
三、水土保持生物措施的技术要点	(69)
第四节 水土保持农业技术措施	(70)
一、以改变微地形为主的农业技术措施	(70)
二、以增加地面植被覆盖为主的农业技术措施	(72)
三、以改变土壤物理性状为主的农业技术措施	(74)
第五节 小流域综合治理	(74)
一、小流域综合治理的含义	(75)
二、小流域综合治理的发展过程	(76)
三、小流域综合治理的措施体系	(77)
四、小流域综合治理效益评价	(79)
第六节 荒漠化及其防治	(81)
一、荒漠化的成因及发展过程	(82)
二、荒漠化防治概况	(82)
三、荒漠化监测	(85)
四、荒漠化防治的主要技术措施	(86)
主要参考文献	(89)
第三章 旱地水资源蓄集利用技术	(90)
第一节 旱地水资源与节水农业	(90)
一、水资源及其特性	(90)
二、我国旱地水资源	(92)
三、节水农业	(95)
四、发展旱作节水农业的重要意义	(100)
第二节 雨水资源集蓄技术	(100)
一、雨水农业利用的主要形式	(100)
二、雨水集蓄利用的历史和现状	(101)
三、雨水集蓄工程的组成及规划	(105)

四、集流工程的设计与施工	(109)
五、蓄水系统的主要类型及布设要求	(111)
第三节 储水体工程技术	(113)
一、水窖	(113)
二、蓄水池	(120)
三、水窑	(123)
四、涝池	(124)
第四节 旱地节水灌溉技术	(125)
一、节水灌溉概述	(125)
二、旱地节水灌溉实用技术	(127)
三、旱地节水灌溉方式的选择	(133)
主要参考文献	(134)
第四章 旱地农田覆盖栽培技术	(136)
第一节 土壤蒸发	(136)
一、土壤蒸发的现象	(136)
二、减少土壤水分蒸发的措施	(139)
第二节 砂石覆盖栽培技术	(140)
一、砂田的形成与发展	(140)
二、砂石覆盖的作用	(143)
三、砂田的种类	(143)
四、砂田耕种技术	(144)
五、砂田更新	(145)
第三节 秸秆覆盖栽培技术	(146)
一、我国秸秆覆盖栽培技术的发展	(146)
二、秸秆覆盖的效应	(148)
三、秸秆覆盖方式	(150)
三、秸秆覆盖栽培技术要点	(151)
第四节 地膜覆盖栽培技术	(153)
一、地膜覆盖栽培技术的形成和发展	(153)
二、地膜覆盖栽培的功效	(159)
三、常用地膜种类及应用	(162)
四、地膜覆盖方式	(166)
五、地膜覆盖栽培基本技术	(169)
六、旱地主要农作物地膜覆盖栽培技术	(170)

第五节 再生纸覆盖栽培..... (177)

一、再生纸覆盖技术的形成和发展 (177)

二、再生纸覆盖栽培特点 (178)

二、再生纸覆盖栽培技术要点 (178)

主要参考文献..... (179)

第五章 旱地土壤培肥与管理..... (181)

第一节 旱作农田水肥耦合效应..... (181)

一、影响土壤肥力的主要因素 (181)

二、土壤质量及其评价指标 (184)

三、旱作农田水肥耦合效应 (187)

第二节 旱作农田土壤肥力状况..... (191)

一、旱作农田土壤肥力现状 (191)

二、旱作农田土壤肥力特点 (195)

第三节 旱地土壤培肥技术..... (197)

一、旱地土壤培肥的基本原理 (198)

二、旱地土壤培肥途径 (203)

主要参考文献..... (211)

第六章 提高旱地水分生产率..... (212)

第一节 水分生产率及其影响因素..... (212)

一、水分生产率的概念及其应用 (212)

二、我国水分生产率现状 (213)

三、影响水分生产率的主要因素 (215)

第二节 旱作农田与作物水分的动态平衡..... (217)

一、水分循环与平衡 (217)

二、作物需水量 (221)

第三节 作物抗旱性及其鉴定..... (226)

一、作物适应干旱的机制 (226)

二、作物抗旱性研究方法 (228)

三、作物抗旱性鉴定指标 (229)

四、作物抗旱性鉴定的数量分析方法 (232)

五、旱地农作物抗旱特征特性 (233)

六、作物抗旱性的应用 (234)

第四节 提高旱作农田水分生产率的途径..... (235)

一、限制旱地作物水分生产率的主要因素 (235)

二、提高旱地水分生产率的途经 (239)

主要参考文献..... (251)

第七章 发展旱地草业..... (252)

第一节 旱地草业概述..... (252)

一、草及其相关概念 (252)

二、草业 (254)

三、草业的地位 (256)

四、发展旱地草业的意义 (257)

五、国外草业现状 (259)

六、我国草业发展概况 (261)

七、我国草产业发展前景 (268)

八、新时期我国草业发展战略 (271)

第二节 草场改良与利用..... (273)

一、我国草地资源 (273)

二、草地退化 (274)

三、草场改良 (278)

四、草地的合理利用 (283)

第三节 草坪建植及管理..... (288)

一、草坪的功能 (288)

二、草坪的分类 (289)

三、国内外草坪业的发展历史 (290)

四、草坪建植基本技术 (292)

五、草坪建植新技术 (297)

六、草坪退化与更新 (300)

第四节 草地农业..... (302)

一、草地农业系统组成及其特征 (302)

二、发展草地农业的意义 (303)

三、草地农业区划 (305)

四、草地农业建设的基本原则 (307)

五、草地农业建设的主要方式 (308)

六、草类的选择 (313)

七、草类栽培技术要点 (315)

主要参考文献..... (317)

第一章 旱作农业概述

全球干旱半干旱地区面积约占陆地总面积的 35%，全世界超过 10 亿人口居住在旱区。旱区是有关国家未来发展的重要空间，干旱缺水是其主要制约因素。随着世界经济活动加快和人口增长，旱区水资源量不断减少与其对水的需求不断增加的矛盾尤显突出，这一矛盾的解决需要全人类的共同努力。

第一节 干旱及其危害

一、干旱与旱灾

干旱和旱灾从古至今都是人类面临的主要自然灾害，即使在科学技术发达的今天，所造成的灾难性后果仍然比比皆是。

（一）干旱

干旱通常指淡水总量少，不足以满足人类生存和经济发展的气候现象。干旱的主要表现是降水异常偏少，造成空气过分干燥，土壤水分严重亏缺，地表径流和地下水量大幅度减少。干旱问题十分复杂，涉及面也很广，可分为气象干旱、农业干旱、水文干旱以及经济社会干旱等。

（二）干旱地区

降水不足是干旱问题的症结所在，但一个地方是否干旱还取决于降水量、蒸发量以及水资源使用量的关系。所以干旱地区通常指那些极端干旱、干旱和半干旱地区，以及半湿润地区由于蒸发量大于降水量或者用水不足的地区。

（三）旱灾

旱灾是由于天然降水和人工灌溉补水不足，致使土壤水分亏缺，不能满足农作物、林果和牧草生长的需要，造成减产或绝产的灾害。

旱灾是对人类社会影响最严重的气候灾害之一，它具有出现频率高、持续时间长、波及范围广的特点。干旱的频繁发生和长期持续，不但会给社会经济，特别是对农业生产带来巨大的损失，还会产生水资源短缺、荒漠化加剧、沙尘暴频发等诸多生态和环境方面的不利影响。

我国是一个旱灾频繁的国家,同时也是一个农业大国,干旱灾害较其他自然灾害影响范围广、历时长,对农业生产的影响也最大。严重的旱灾还影响工业生产、城乡供水、人民生活 and 生态环境,给国民经济造成重大损失。尤其是经常受旱的北方地区,水资源紧缺形势日益严峻,已成为制约农牧业生产的重要因素之一。

干旱和旱灾是两个不同的科学概念。干旱一般是长期的气候现象,而旱灾主要是因为可利用水资源总量较少,属于偶发性的自然灾害,甚至在通常水量丰富的半湿润地区、或者湿润地区也会因一时的气候异常而导致旱灾。

二、干旱的危害

干旱自古以来就是困扰着人类的重大自然灾害,不论是过去还是现在,全球发生的特大干旱对人类社会所酿成的灾难是触目惊心的,它像无形的杀手,夺走了难以计数的生命;它是导致自然生态和环境恶化的罪魁祸首;它是社会经济特别是农业可持续发展的重要障碍。

(一) 干旱对世界的危害

1. 世界干旱的历史记载

干旱是世界上广为分布的自然灾害,全世界有 120 多个国家受到不同程度的干旱威胁。据资料显示,已列入“世界 100 灾难排行榜”的 1199 年埃及大饥荒、1873 年的中国大饥荒和 1898 年的印度大饥荒都是因为干旱缺水造成的。1943 年印度、孟加拉等地大旱,无水浇灌庄稼,粮食歉收,造成严重饥荒,死亡 350 万人。

2. 20 世纪 60 年代后期至 70 年代前期干旱持续不断

自 1968 年开始,非洲西部大陆的萨赫勒和苏丹相继发生严重干旱,且持续不断、逐渐蔓延,到 1972 年,出现了世界范围的干旱。不仅西非大陆,世界其他地区,如澳大利亚、印度尼西亚、印度西北部、美洲南部、美洲中部、中国的大部分地区以及前苏联的欧洲领土等,也相继发生了严重干旱。这一年,全球粮食总产量自第二次世界大战以来,第一次出现下降,总产量减少了 2%。世界气象组织(WMO)宣布,1972 年是历史上气候最恶劣的年份之一。

1973 年,一场举世瞩目的环境与社会大灾难袭击了撒哈拉南部的萨赫勒地带。干旱与荒漠化蔓延、河流断流、地下水干涸、饥荒疾病遍地,造成非洲从大西洋沿岸到红海海岸埃塞俄比亚一带 20 万人口和几百万牲畜的死亡。

3. 20 世纪 80 年代以来特大干旱经常发生

进入 20 世纪 80 年代以来,世界范围的特大干旱仍经常发生,西非、东非的干旱一直不断,而且越来越严重。1982 年至 1983 年,全球又一次爆发了大范围的严重干旱,波及非洲、大洋洲、印度、东南亚、南美、北美等地,其程度和影响又远远超过了 1972 年至 1973 年的大干旱。

1984 年至 1985 年,旱灾造成 120 万人死亡。1988 年的特大干旱,导致美国许多部门产生严重的经济及环境问题,造成了重大损失。干旱影响了航运、城市供水、发电、野生生物的生息,触发森林大火等。这一年,中国和前苏联也相继发生干旱。据华盛顿世界监测研究所估算,1988 年底,世界谷物只有 54 d 的储备,低于 60 d 的安全线之下,比大旱的 1973 年的 57 d 还低,给世界的粮食价格带来重大影响。

(二) 中国旱灾的历史

1. 古代旱灾

中国旱灾频繁,旱灾记载见于历代史书、地方志、宫廷档案、碑文、刻记以及其他文物史料中。16 世纪至 19 世纪中叶,受旱范围在 200 个县以上的大旱发生于 1640 年、1671 年、1679 年、1721 年、1785 年、1835 年。

明崇祯年间,华北、西北从 1627 年到 1640 年发生了连续 14 年的大范围干旱,以致呈现出“赤地千里无禾稼,饿殍遍野人相食”的凄惨景象。1785 年(清乾隆五十年)有 13 个省受旱,据记载,“草根树皮,搜食殆尽,流民载道,饿殍盈野,死者枕藉”。1835 年(清道光十五年)15 个省受旱,有“啮草嚼土,饿殍载道,民食观音粉,死徒甚多”的记述。

2. 近代旱灾

光绪初年的华北大旱灾,从 1876 年到 1879 年,持续了整整 4 年。这次大旱的特点是时间长、范围大、后果特别严重。受灾地区有山西、河南、陕西、直隶(今河北)、山东等北方五省,并波及苏北、皖北、陇东和川北等地区。大旱不仅使农产绝收,田园荒芜,而且“饿殍载途,白骨盈野”,饿死的人竟达 1000 万以上。

1920 年陕、豫、冀、鲁、晋 5 省大旱,灾民 2000 万人,死亡 50 万人。1928 年华北、西北、西南等 13 个省 535 个县遭旱灾。1928 年至 1929 年,陕西全境共 940 万人受灾,死者达 250 万人,逃者 40 余万人,被卖妇女竟达 30 多万人,当地人称这一时期为“民国 18 年”。1942 年至 1943 年大旱,仅河南一省饿死、病死者即达数百万人。1943 年,中国广东大旱,许多地方年初至谷雨没有下雨,造成严重粮荒,仅台山县饥民就死亡 15 万人,有些灾情严重的村子,人口损失过半。

3. 新中国成立以来的旱灾

新中国成立以来,1950 年到 1986 年全国平均每年受旱面积 2000 万 hm^2 ,成灾 733 万 hm^2 。干旱严重的 1959 年、1960 年、1961 年、1972 年、1978 年和 1986 年全国受旱面积都超过 3000 万 hm^2 ,且成灾面积超过 1000 万 hm^2 。1972 年北方大范围少雨,春夏连旱,灾情严重,南方部分地区伏旱严重,全国受旱面积 3067 万 hm^2 ,成灾 1333 万 hm^2 。1978 年全国受旱范围广、持续时间长,旱情严重,一些省份 1 月至 10 月的降水量比常年少 30%~70%,长江中下游地区的伏旱最为严重,全国受旱面积 4000 万 hm^2 ,成灾面积 1800 万 hm^2 。

2004 年中国特大干旱,全国降水量较往年同期明显偏少,其中浙江、湖南、江西、福建、广东的降水量为 54 年来最少,1253 座水库干涸,173 万 hm^2 耕田受旱,368 万人发生饮水困难,经济损失约 40 亿元人民币。2006 年内蒙古苏尼特草原持续旱灾,受灾草场面积约 2.3 万 km^2 。2009 年春,干旱波及中国 12 个省份,河北南部、山西东南部、河南西南部等地一度达到特旱。

2010 年初,以云南、贵州为中心的五个省份已达到特旱。据国家防汛抗旱总指挥部 2010 年 3 月 26 日统计,全国耕地受旱面积 760 万 hm^2 ,其中西南五省区市耕地受旱面积 633 万 hm^2 ,全国有 2372 万人、155 万头大牲畜因干旱饮水困难。

第二节 干旱类型及等级

世界各国对于干旱类型的划分有显著差异,其等级及内涵各不相同。通常按照干旱发生的先后可以分为气象干旱、农业干旱、水文干旱以及社会经济干旱等四种类型。

干旱指标也称为干旱指数,是旱情描述的数值表达。干旱等级是不同干旱指标转化为可以公度的用以衡量旱情严重程度的定量分级,是不可公度的干旱指标的归一化的表征。它们都效能不同地起着量度、对比和综合分析旱情的作用。

一、气象干旱 (Meteorological Drought)

气象干旱也称大气干旱,是指某时段由于蒸发量和降水量的收支不平衡,水分支出大于收入而造成水分短缺现象。

(一) 气象干旱等级

为了规范气象干旱监测技术和评估方法,我国制定并颁布了 GB/T20481—2006《气象干旱等级》,这是我国首次发布的用于监测干旱灾害的国家标准。该标准的颁布实施,结束了我国气象干旱监测和评估技术方法多,各地和各部门所得出的干旱等级不一致的历史,标志着我国在气象干旱监督、干旱影响评估等方面有了统一标准,气象干旱监测技术和评估方法实行标准化和规范化,干旱监测和评估有章可循。

在《气象干旱等级》中,以单项及综合气象干旱指数为标准,将干旱的程度分为无旱、轻旱、中旱、重旱和特旱五个等级,并评定了不同等级的干旱对农业和生态环境的影响程度。(1)无旱:正常或湿涝,特点为降水正常或较常年偏多,地表湿润,无旱象。(2)轻旱:降水较常年偏少,地表空气干燥,土壤出现水分轻度不足,对农作物有轻微影响。(3)中旱:特点为降水持续较常年偏少,土壤表面干燥,土壤出现水分不足,地表植物叶片白天有萎蔫现象,对农作物和生态环境造成一定影响。(4)重旱:特点为土壤出现水分持续严重不足,土壤出现较厚的干土层,植物萎蔫、叶片干枯、果实脱落,对农作物和生态环境造成较严重影响,对工业生产、人畜饮水产生一定影响。(5)特旱:特点为土壤出现水分长时间严重不足,地表植物干枯、死亡,对农作物和生态环境造成严重影响,对工业生产、人畜饮水产生较大影响。

(二) 气象干旱指标的确定

气象干旱等级国家标准中规定了五种监测干旱的单项指标和气象干旱综合指数 CI (表 1-1)。五种单项指标为降水量和降水量距平百分率、相对湿润度指数、标准化降水指数、土壤湿度干旱指数和帕默尔干旱指数。气象干旱综合指数 CI 是以标准化降水指数、相对湿润指数和降水量为基础建立的一种综合指数。

1. 降水量距平百分率 (Pa)

降水量 (precipitation) 是指从云中降落到单位面积平面上 (假定无渗漏、蒸发、流失等) 液体或固态 (经融化后) 的水层厚度,用毫米 (mm) 表示。降水包括雨、雪、雨夹雪、米雪、霜、

冰雹、冰粒和冰针等。

降水量距平百分率(Pa)是指某时段的降水量与多年同期气候平均降水量的偏差值占多年同期气候平均降水量的百分率(%),分为月尺度、季尺度、年尺度。

Pa = (P - P_bar) / P_bar * 100%

式中:Pa——计算期内降水量距平百分比(%);

P——计算期内降水量(mm);

P_bar——计算期内多年平均降水量(mm)。计算期内多年平均降水量P_bar宜采用近30年的平均值。

该指标能直观反映降水异常引起的干旱,适合于半湿润、半干旱地区平均气温高于10℃的时段。

表 1-1 干旱气象等级标准

气象干旱指数		无旱	轻旱	中旱	重旱	特旱
降水量据 平均百分 率(Pa)	月尺度	-40 < Pa	-60 < Pa ≤ -40	-80 < Pa ≤ -60	-95 < Pa ≤ -80	Pa ≤ -95
	季尺度	-25 < Pa	-50 < Pa ≤ -25	-70 < Pa ≤ -50	-80 < Pa ≤ -70	Pa ≤ -80
	年尺度	-15 < Pa	-30 < Pa ≤ -15	-40 < Pa ≤ -30	-45 < Pa ≤ -40	Pa ≤ -45
相对湿润度指数(M)		-0.40 < M	-0.65 < M ≤ -0.40	-0.80 < M ≤ -0.65	-0.95 < M ≤ -0.80	M ≤ -0.95
标准化降水指数(SPI)		0.5 < SPI	-1.0 < SPI -0.5	-1.5 < SPI ≤ -1.0	-2.0 < SPI ≤ -1.5	SPI ≤ -2.0
土壤相 对湿度 干旱指 数(R)	10~20cm 深度 土壤湿度	60% < R	50% < R ≤ 60%	40% < R ≤ 50%	30% < R ≤ 40%	R ≤ 30%
	干旱影 响程度	地表湿润 或正常, 无旱象	地表蒸发量较 小,近地表空气 干燥	土壤表面干燥, 地表植物叶片 有萎蔫现象	土壤出现较厚的 干土层,地表植 物萎蔫,叶片干 枯,果实脱落	基本无土壤蒸 发,地表植物干 枯、死亡
帕默尔干旱指数(X)		-1.0 < X	-2.0 < X -1.0	-3.0 < X ≤ -2.0	-4.0 < X ≤ -3.0	X ≤ -4.0
综合气 象干旱 指数(CI)	CI 值	0.6 < CI	-1.2 < CI -0.6	-1.8 < CI ≤ -1.2	-2.4 < CI ≤ -1.8	CI ≤ -2.4
	干旱影 响程度	降水正 常或较 常年偏 多,地表 湿润,无 旱象	降水较常年偏 少,地表空气干 燥,土壤出现水 分轻度不足	降水持续较常 年偏少,土壤表 面干燥,土壤水 分出现不足,地 表植物叶片白 天有萎蔫现象	土壤水分持续严 重不足,土壤出 现较厚的干土 层,植物萎蔫、叶 片干枯,果实脱 落,对农作物和 生态环境造成较 严重影响,对工 业生产、人畜饮 水产生一定影响	土壤水分出现 长时间严重不 足,地表植物干 枯、死亡,对农 作物和生态环 境造成严重影 响,对工业生 产、人畜饮水 产生较大影响

备注:根据 GB/T20481—2006 整理

2. 相对湿润度指数(M)

相对湿润度指数是指某时段的降水量与同时段内可能蒸散量之差与同时段内可能蒸散量的比值。相对湿润度指数是表征某时段降水量与蒸发量之间平衡的指标之一,可反映作物生长季节的水分平衡特征,适用于作物生长季节旬以上尺度的干旱监测和评估。

$$M = \frac{P - E}{E}$$

式中: M ——相对湿润度指数;

P ——某时段的降水量;

E ——某时段的可能蒸散量。

3. 标准化降水指数(SPI)

标准化降水指数是在计算出某时段内降水量的 r 分布概率后,再进行正态标准化处理,最终用标准化降水累积频率分布来划分干旱等级。

标准化降水指数是表征某时段降水量出现概率多少的指标之一,该指标适合于月以上尺度当地相对气候状况的干旱监测与评估。

4. 土壤相对湿度干旱指数(R)

土壤相对湿度干旱指数是反映土壤含水量的指标之一,适合于某时刻土壤水分盈亏监测,采用10~20 cm深度的土壤相对湿度,适用范围为旱地农作区。

$$R = 100\% \times \omega / fc$$

式中: R ——土壤相对湿度(%);

ω ——土壤重量含水率(%);

fc ——土壤田间持水量。

5. 帕默尔干旱指数(X)

帕默尔干旱指数是表征在一段时间内,该地区实际水分供应持续少于当地气候适宜水分供应的水分亏缺。该指标的基本原理是土壤水分平衡,适合月尺度的水分盈亏监测和评估。

帕默尔干旱指数基于月值资料,数据经标准化处理,指数值一般在干湿之间变化,可以对不同地区,不同时间的土壤水分状况进行比较。

6. 气象干旱综合指数(CI)

CI是利用近30 d(相当月尺度)和近90 d(相当季尺度)标准化降水指数,以及近30 d相对湿润指数进行综合计算而得。该指标既反映短时间尺度(月)和长时间尺度(季)降水量气候异常情况,又反映短时间尺度(影响农作物)水分亏欠情况。该指标既适合实时气象干旱监测,又可以进行历史同期气象干旱评估。

$$CI = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30}$$

式中: Z_{30} ——近30 d标准化降水指数值;

Z_{90} ——近90 d标准化降水指数值;

M_{30} ——近30 d相对湿润度指数;

a ——近30 d标准化降水系数,平均取0.4;

b ——近90 d标准化降水系数,平均取0.4;

c ——近30 d相对湿润系数,平均取0.8。

通过上式,利用前期平均气温、降水量数据可以滚动计算出每天的干旱综合指数,根据CI值的大小划分干旱等级。

二、农业干旱 (Agricultural Drought)

农业干旱指在作物生育期内,由于土壤水分持续供应不足而造成的作物体内水分亏缺,影响其正常生长发育的现象。影响农业干旱程度的主要因子有降水、土壤含水量、土壤质地、气温、作物品种和产量,以及干旱发生的季节等。

(一) 农业干旱等级

度量农业干旱等级的常用指标有土壤含水量、缺水率、缺水天数、受旱面积比率等四种。根据上述指标,一般将农业干旱划分为轻度干旱、中度干旱、严重干旱和特大干旱四个等级(表1-2)。

轻度干旱:土壤含水量60%~65%,秧田缺水率5%~20%,南方断水天数5~10 d,全国作物受旱面积5%~10%,县级区域内作物受旱面积20%~40%。

中度干旱:土壤含水量45%~55%,秧田缺水率20%~35%,南方断水天数8~15 d,北方断水10~14 d,全国作物受旱面积10%~20%,县级区域内作物受旱面积40%~60%。

严重干旱:土壤含水量40%~45%,秧田缺水率35%~50%,南方断水天数13~25 d,北方断水15~22 d,全国作物受旱面积20%~30%,县级区域内作物受旱面积60%~80%。

特大干旱:土壤含水量小于40%,秧田缺水率大于50%,南方断水夏季大于20 d、春秋季节大于25 d,北方断水大于22 d,全国作物受旱面积大于30%,县级区域内作物受旱面积大于80%。

表1-2 农业干旱划分指标

主要指标			轻度干旱	中度干旱	严重干旱	特大干旱
土壤含水量 W(%)			60>W≥55	55>W≥45	45>W≥40	W<40
秧田缺水率 Dw(%)			-5>Dw≥-20	-20>Dw≥-35	-35>Dw≥-50	Dw<-50
断水天数(d)	南方	春秋季	7~10	11~15	16~25	>25
		夏季	5~7	8~12	13~20	>20
	北方		—	10~14	15~22	>22
受旱面积 比率 I(%)	全国		5<I≤10	10<I≤20	20<I≤30	I>30
	省级		5<I≤20	20<I≤30	30<I≤50	I>50
	市(地)级		10<I≤30	30<I≤50	50<I≤70	I>70
	县(市)级		20<I≤40	40<I≤60	60<I≤80	I>80

(二) 农业干旱指标的确定

1. 土壤相对湿度

土壤相对湿度是指0~60 cm土壤平均含水量与土壤平均田间持水量的比值。

$$W = \frac{\theta}{F_c} \times 100\%$$

式中:W——土壤相对湿度(%);

θ——土壤平均含水量;

F_c ——土壤平均田间持水量。

不同季节农田测墒深度不同,播前及苗期测定深度为 0 ~ 20 cm;发育前期测定深度为 0 ~ 40 cm;发育中期及成熟期测定深度为 0 ~ 60 cm。

2. 缺水率

缺水率主要用于水田插秧前受旱情况的评估,计算期按 1 个月为单元。

$$D_w = \frac{W - W_r}{W_r} \times 100\%$$

式中: D_w ——缺水率(%) ;

W ——计算期内可供灌溉的总水量(m^3) ;

W_r ——同期灌溉总需水量(m^3) ,

3. 断水天数

适用于作物生长期干旱缺水的评估。如表 1 - 2 所示,在南方夏季断水 20 d 以上、春秋季节断水 25 d 以上,在北方断水 22 d 以上为特大干旱。

4. 受旱面积比率(%)

评价县级和县级以上行政区域农业综合受旱情况,其旱情等级评估采用受旱面积比率。

$$I = \frac{A_{\text{受旱}}}{A_{\text{耕地}}} \times 100\%$$

式中: I ——受旱面积比率(%) ;

$A_{\text{受旱}}$ ——受旱作物的(含缺墒、缺水)面积(hm^2) ;

$A_{\text{受旱}}$ ——雨养农业受旱面积 + 灌溉农业受旱面积

$A_{\text{耕地}}$ ——耕地面积(hm^2)。

三、水文干旱(Hydrological Drought)

水文是指自然界中水的变化、运动等各种现象。水文干旱是指由于降水的长期短缺而造成某段时间内,地表水或地下水收支不平衡,出现水分短缺,使江河流流量、湖泊水位、水库蓄水等减少的现象。水文干旱常用水库蓄水量距平百分率(%)、河道来水量距平百分率(%)、地下水埋深下降量(m)等指标表示。

(一) 水库蓄水量距平百分率(Ik)

$$Ik = [(S - S_o) / S] \times 100\%$$

式中: Ik ——水库蓄水量距平百分率(%) ;

S ——当前水库蓄水量(万 m^3) ;

S_o ——同期多年平均蓄水量(万 m^3)。

Ik : -10% ~ -30% 轻度干旱; Ik : -31% ~ -50% 中度干旱; Ik : -51% ~ -80% 严重干旱; Ik : < -80% 特大干旱。根据实际情况,也可以用湖塘等蓄水量距平百分率来表示。

(二) 河道来水量距平百分率(Ir)

一般用本区域内较大河流来水量与同期多年河流量平均值之比的百分数来表示。

$$Ir = [(R_w - R_o) / R_o] \times 100\%$$

式中: R_w ——当前江河流量(m^3/s) ;