

# 农业防旱抗旱减灾工程技术与应用

李玉中<sup>1</sup>, 王春乙<sup>2</sup>, 程延年<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所农业部农业环境实验室, 北京 100081;

2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

[摘要] 介绍了干旱以及干旱对作物的影响, 概述了农业防灾减灾的主要工程措施, 这些工程措施包括集水工程、蓄水工程、覆盖抑蒸工程、节水灌溉工程、人工增雨防旱工程、抗旱种衣剂包衣工程, 并介绍了这些工程的应用效果。

[关键词] 农业干旱; 工程减灾; 抗旱种衣剂包衣工程

[中图分类号] S423<sup>+</sup>.1 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)09-0085-04

## 1 前言

干旱是一种因长期无雨或少雨造成空气干燥、土壤缺水的气候现象, 它是干旱、半干旱地区气候的基本特征。在半湿润地区, 如因气候异常, 某一段时间降水量比多年平均值大大偏少, 也会出现干旱, 亦称季节性干旱。从作物受旱机制来考虑, 通常把旱害分为土壤干旱和大气干旱。土壤干旱是指长期无雨或少雨的情况下, 土壤中储存的有效水分几乎消耗殆尽, 作物根系不能吸收足够的水分以补偿蒸腾的消耗, 致使体内水分状况恶化而受害, 如无降水和灌溉的补给, 土壤干旱将逐渐加重而受害。大气干旱是指温度高, 空气极度干燥, 有时还伴有一定风力, 作物蒸腾十分强烈, 致使体内严重缺水而受害。大气干旱和土壤干旱往往互相联系, 大气干旱常常是土壤干旱的前兆, 土壤干旱往往是大气干旱延续的结果<sup>[1]</sup>。

长期的大范围干旱形成旱害, 将使农作物大幅度减产, 甚至颗粒无收。旱害是中国历史性的自然灾害, 受害面积最大、范围最广、对农业生产的危害最重<sup>[2]</sup>。1950—2007年, 全国农业平均每年因干旱而受灾的面积为3.26亿亩(1亩 $\approx$ 666.67 m<sup>2</sup>), 其中成灾面积1.86亿亩, 年均因旱灾损失粮食158亿kg,

占各种自然灾害造成粮食损失的60%以上。全国农作物年均因旱灾损失粮食由20世纪50年代的43.5亿kg上升到90年代的209.4亿kg, 而2000年以来更是高达372.8亿kg。近年来, 我国干旱灾害频繁发生, 1950—1990年, 我国共有11年发生了重、特大干旱, 造成的粮食损失占总产量的4.02%; 而1991—2009年, 我国共有8年发生重、特大干旱, 造成的粮食损失占总产量的6.09%。过去, 北方地区主要以冬春旱为主, 近些年已经呈现出连季干旱、连年干旱的趋势。1997—2000年北方大部分地区持续3年严重干旱; 2004年秋季至2007年夏季甘肃东北部持续3年干旱; 2008年冬季至2009年春季北方冬麦区严重干旱; 2009年东北部分地区夏伏期间发生严重的卡脖旱等。种种迹象表明, 旱灾持续的过程有拉长的趋势。

在全球气候变化的大趋势下, 未来旱灾的频率和程度势必增加, 北方地区农业干旱灾害同样有加重趋势。其原因在于: a. 北方半干旱地区未来降水量虽然有增有减, 但幅度不大, 入不敷出的水分严重亏缺局面不会有多大改变; b. 随着北方气候变暖, 蒸散量必然增大, 土壤水分状况会日趋恶化, 土壤变干促使北方干旱地区旱情更为严重; c. 从历史资料分析, 也可证明中国北纬35°以北地区在进入20世

[收稿日期] 2012-06-25

[基金项目] 重大农业气象灾害防控与管理技术研究示范项目(2011BAD32B03)

[作者简介] 李玉中(1964—), 男, 内蒙古赤峰市人, 研究员, 主要研究方向为农业干旱、水环境; E-mail: liyz-ji@163.com

纪以后气候偏旱。

干旱同其他气象灾害有所不同,具有累积性,可以通过各种措施防御,其中工程抗旱减灾措施具有见效快、作用范围广等优势,人们可以根据地区特点的不同选择适宜的防旱抗旱工程措施。

## 2 干旱对作物的影响

干旱对作物的危害程度与其发生的季节和作物的种类、品种、生育期有关。春旱影响春播作物的适时播种,使幼苗出土困难,造成缺苗断垄。对于越冬作物,春旱将严重影响抽穗、开花,甚至使子粒不能正常灌浆和成熟,产量显著降低。北方初夏干旱会阻碍玉米抽穗,形成所谓“卡脖子”,对产量有很大的影响。初夏旱还会影响夏种作物的播种和出苗,使其出苗不齐或生育期推迟。7—8月气温最高、作物需水最多,耐旱力最差,这时发生的伏旱,影响玉米、高粱的正常发育,造成棉花蕾铃脱落。在南方,伏旱影响早稻和中稻的正常灌浆和晚稻的移栽成活。秋旱发生使夏播作物和部分晚熟春播作物水分供应条件恶化,影响正常灌浆成熟,延迟秋播作物适时播种和出苗生长,特别是夏旱和秋旱连续发生时,则对秋收和秋播作物的影响更为严重,有时甚至造成完全失收。华南地区的冬旱对继续生长的农作物不利<sup>[3]</sup>。

作物对干旱的抵抗能力称为抗旱性。不同的作物抗旱性不同。水稻的抗旱性最弱,遇干旱而无灌溉时减产严重,陆稻其次,大麦、小麦、黑麦、胡麻和花生抗旱性较强,糜子、高粱、甘薯、谷子、马铃薯、绿豆等被认为是最抗旱的作物。作物对不同类型干旱的反应也不一样,豆科作物根系发达,抵抗土壤干旱能力强,但不能忍受大气干旱;而玉米则相反,抵抗大气干旱能力强而不能忍受土壤干旱。

干旱对作物各生育期都会发生危害,但作物的不同生育阶段对干旱的敏感性不一样。作物的水分临界期出现旱害将影响到作物的发育,特别是产量。例如,小麦、水稻等谷类作物的水分临界期在生殖器官形成期,一般是拔节到抽穗期,这时期缺水将影响小花分化,使作物的穗粒数减低。玉米的水分临界期主要发生在抽雄前“大喇叭口”时期,这时的干旱即“卡脖子”会直接影响雄花的正常发育。而作物的水分临界期并不是它们需水量最大的时期,后者往往是在灌浆成熟期,缺水将影响粒重的提高,使产量降低。有些作物的水分临界期与最大需水量时期

相重合,如高粱、谷子的水分临界期为抽穗到灌浆。

## 3 抗旱减灾工程技术

### 3.1 集水工程

在干旱地区,降水量常年较少,在作物生长季节不能满足作物生长发育的需要。必须采取措施,把地表上较大面积上的少量降水聚集到小块耕地或池塘内,以满足耕地上作物生长的需要。雨水集存起来的水量是可观的。比如在 $1\text{ hm}^2$ 土地上,降 $10\text{ mm}$ 的雨量,就等于 $100\text{ m}^3$ 的水量。集水技术是干旱地区发展径流农业(或称聚流农业)的基础。所谓径流农业,就是充分利用现有的降水资源和径流资源把集水技术与农业生产相结合的农业生产技术的总称<sup>[4]</sup>。

1) 集水技术:通过改变地表状况,使其不易渗水,以增加地表径流。其方法有:a. 田地修整:在土壤冲刷不严重的坡面上,清除岩石和草木,并把土壤表面压实,以增加降雨径流。再沿岗坡等高线修渠道或石坝来汇集径流水,并输送到坑塘里或引入较低的农田,把水集存起来。b. 化学处理:用化学药品处理土壤。这些化学药品能封闭土壤使土壤具有斥水性。钠盐能使土壤中的粘粒分散成小粒,部分地封闭土壤孔隙和裂隙,可使许多含有粘粒的土壤增加径流。钠盐价廉,容易购备,并能抑制杂草生长,是经济实用的土壤封孔剂。经常使用的斥水性化学药品有硅酮、胶乳、沥青和石蜡。沥青适用于喷洒铺面,用于建造廉价、不透水的集水区。试验证明,用石蜡处理集水区,产生的径流量为降水量的 $90\%$ ,未处理的对照只产生 $30\%$ 的径流。c. 土壤覆盖:在一些情况下,用一层防水薄膜把土壤覆盖上要比把土壤本身制成不泄水表面更好些。尤其对于多孔的、不稳定的土壤,用塑料薄膜覆盖雨水汇集区是很经济实用的,但薄膜容易被风损坏。试验证明,塑料薄膜上盖以砂石,效果很好。砂石保护了底层的薄膜,使其不受辐射和风的破坏,便于修建和管理,有效使用期可超过 $20$ 年。

2) 现代集水工程技术。包括集水区和种植区两个部分,把集水区收集的降水,直接引入种植区以种植作物,或把集水区与蓄水区结合起来,把集水区收集的降水引入蓄水池集存起来,然后在旱季缺水时,利用蓄水池的水引入农田进行补充灌溉。

### 3.2 蓄水工程

蓄水工程包括流域蓄水工程和田间蓄水工程,

流域蓄水工程系统包括蓄水工程及其附属设施。蓄水工程(或称储水体,蓄水设施)形式可分为水窖(窑)、蓄水池、涝池和塘坝等类型,其作用是存储雨水。它和集流面之间应有相关的配套设施,如引水管(渠)、沉沙池、拦污栅、进水管(渠)等,蓄积的水用于农作物需水时补充灌溉。田间蓄水工程就是把天然降水蓄于“土壤水库”之中,尽量减少农田内的各种径流损失,需要因时因地制宜采取各种适宜措施。主要包括:a.深松翻。深耕翻加深耕层,疏松土壤,增加土壤中的大孔隙,以增加雨水入渗速度和数量,避免产生地面径流;打破犁底层,熟化土壤,创造一个深厚的耕作层,促进根系生长发育。深耕的时间应与当地雨季的来临相吻合。干旱地区夏季作物收后夏闲地深耕的时间一般应在当地雨季开始之际,以便充分接纳雨水。秋耕时间一般于秋作物收后抓紧进行,尽早耕翻能切断毛细管,减少地表蒸发,还可接纳部分秋季降水,干旱地区一般不宜板茬越冬。b.增加土壤有机质,通过秸秆还田、增施有机肥等方式增加土壤的有机质。有机质除了可以为作物生长提供养分外,也是非常好的蓄水保水材料<sup>[5]</sup>。

### 3.3 覆盖抑蒸工程

主要包括地膜覆盖和秸秆覆盖。地膜覆盖是指用厚度为0.002~0.02 mm的聚乙烯塑料膜进行的覆盖。

1) 地膜覆盖的保墒、提墒作用:土壤含水量决定于土壤水分收支状况,在北方干旱地区,如果地下水埋藏深度在3~4 m以下,土壤水分来源主要是降水,土壤失水的途径主要是土壤蒸发和作物蒸腾。地膜覆盖地面以后,切断了土壤蒸发面与大气之间水分交换的通道,土壤水分只能在地表与地膜之间的狭小空间内不断蒸发,凝结并附着在地膜的下表面,然后降落到膜内的土壤上,渗入土壤表层。土壤水分就这样在膜下不断地蒸发—凝结—降落,循环不已。与此同时,土壤下层的水分在土壤温度梯度的作用下不断上移到表层,并参与膜下的水分循环,促进土壤水分向土壤表层聚集。因此,地膜覆盖具有明显的保墒、提墒作用。据中国农业科学院棉花所在河南试验数据显示,土壤湿度为20%的棉田,播种后30天,0~5 cm土层的失水量,露地为10.4%,盖膜的为6.8%,盖膜比露地减少3.6%,保水作用很明显。播种后10天测定0~40 cm土层土壤含水量,露地减少1.2%,而盖膜的不仅不减

少,反而增加1%~2%。说明地膜覆盖还具有提墒作用,使土壤下层的水分上移聚集在上层。另据辽宁棉麻研究所连续3年在5月份的测定结果,地膜覆盖的土壤含水量与露地相比,5 cm处增加4.1%~6.9%,10 cm处增加1.2%~5.1%,20 cm处增加0.6%~2.3%。由此可见,地膜覆盖的土壤含水量与露地的差异,土壤表层最显著,愈往下差异愈小<sup>[4]</sup>。

地膜覆盖存在的问题是废膜污染环境的潜在危险。农田多年覆盖地膜,残膜清除不净,就会造成土壤污染。这一问题的解决须多方面、多途径的共同努力。草纤维膜(简称草膜)覆盖以及对光解膜、纸膜的研制都是很有意义的探索。随着高分子化学的进一步发展,廉价的合成树脂薄膜的大量生产和薄膜加工工艺的进步,成本会不断下降。当前我国农业科研部门和生产单位对地膜覆盖方法(如一膜两用、沟垄覆盖等)的试验、示范和推广,将逐步总结出一套适用于不同地区、不同作物的操作简便、成本低廉、效果显著的地膜覆盖栽培管理技术。地膜覆盖在我国具有广阔的发展前景<sup>[6]</sup>。

2) 秸秆覆盖:秸秆覆盖不仅可以有效地抑制土壤蒸发,调节地温,提高降水储蓄率,而且有培肥土壤,协调养分供应,抑制杂草,节水节能,增产增收的作用。与地膜覆盖相比,秸秆覆盖的优点在于覆盖材料充足,成本低,见效快,适用范围广,而且不污染土壤,用地养地结合,经济效益、生态效益与社会效益都比较显著。各种作物的秸秆约占生物产量的三分之一,所以每年都有大量的秸秆可用于覆盖。秸秆覆盖还田是先把秸秆覆盖在农田一段时间,充分利用它来保护土壤,改善农田生态条件,等秸秆基本腐烂后,再翻压还田,这是比较科学有效的秸秆还田方式。

### 3.4 节水灌溉工程

节水灌溉工程是根据作物需水规律及当地供水条件,通过工程性的一些措施有效地利用降水和灌溉水,获取农业最佳的经济效益、社会效益、生态环境效益。主要包括:a.低压管道输水灌溉,又称管道输水灌溉,是通过机泵或利用天然水头和管道系统直接将低压水引入田间进行灌溉的方法。这种利用管道代替渠道进行输水灌溉的技术,避免了输水过程中水的蒸发和渗漏损失,节省了渠道占地,能克服地形变化的不利影响,省工省力,一般可节水30%,增产20%,省地5%,且投资不大,普遍适用于我国

北方井灌区。b. 喷灌:是利用专用设备将水喷射到空中分散成细小的水滴,形成类似下雨效果的一种灌溉方法。喷灌受地形条件的限制小,在砂土或地形坡度达到5%等地面灌溉有困难的地方都可以采用,一般能增产15%,节水40%,提高工效20~30倍,提高耕地利用率7%。但喷灌受风力影响大,且容易产生蒸发损失,不适宜空气特别干旱、风力较大的地区。由于喷灌设备投资较高,目前多用于水资源缺乏的经济较发达地区。c. 微灌:是利用专用设备将有压水输送分配到田间,通过灌水器以微小的流量湿润作物根部附近土壤的一种局部灌溉技术。微灌是目前节水、增产、优质效果最好的一种节水灌溉技术,但由于其投资较高,目前仅限于经济作物中使用。微灌通常分为滴灌、微喷灌、小管出流灌和渗灌4种形式<sup>[6]</sup>。

### 3.5 人工增雨防旱工程

人工增雨是根据自然界降水形成的原理,人为地补充某些形成降水的条件,促成云层产生降水,增加降水或改变降水分布的措施,通过人工增雨工程缓解农业旱情。人工催化可以增加降水10%~20%,对发展旺盛的浓积云催化,甚至可以增大降水量1~2倍。我国北方地区多春旱,影响作物播种和出苗,在农作物生长关键期后进入雨季,但也常因年际波动出现旱象。人工增雨由于种种条件的限制,不可能每次都减缓旱情,但如能在农业生产关键时刻使雨量增加10%左右,就有可能使全国粮食少减产几十亿斤到上百亿斤。在水库流域按特定的设计进行人工增雨,可增加水库蓄水<sup>[7]</sup>。

随着科学技术的发展,以及人类面临的水资源短缺状况的日益严重,人工增雨具有广阔的发展前景。

### 3.6 抗旱种衣剂包衣工程

经过连续3个五年计划,由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所研发的抗旱种衣剂已经形成了针对小麦、玉米、大豆、杂粮系列的绿色环保性抗旱种衣剂,并进行了中试和产业化生产,与种子生产企业合作,实施了抗旱种衣剂包衣工程,在内蒙古、山西、黑龙江等地得到了广大用户的认可。抗旱种衣剂以天然的抗旱物质为核心物质,以环保型高效内吸性的杀虫剂和杀菌剂为病虫害防治材料,同时,针对不同作物在种衣剂中复合了作物生长发育

所需要的常量元素和微量元素,满足作物生长发育需求。抗旱种衣剂是一种环保性的种衣剂,使用后在土壤中即成为种子防病治虫的保护屏障,在逆境下,防止种腐病等发生,保证种子在逆境下的活力。当土壤水分达到种子萌发的要求时,抗旱种衣剂刺激种子萌发,促使作物根系发达,作物对水分养分吸收能力增强,从而使地上部分生长茁壮,苗齐苗壮、分药增加。在山西寿阳玉米相关试验表明,在播种期极端干旱的年份,具有生理节水抗旱功能的节水抗旱种衣剂处理出苗率为85%,而对照仅为40%,在土壤墒情比较好的年份,对照的出苗率为77%,抗旱种衣剂处理的为89%。抗旱种衣剂还具有降低作物气孔开张度的作用,减少作物奢侈蒸腾。种衣剂处理在不同年份对不同农作物产量均有不同程度的提高,其中在干旱严重的年份对谷子的产量幅度提高达64%,对玉米产量提高最低也接近10%。作物水分利用效率提高7.0%~33.0%,抗旱种衣剂包衣工程的实施对我国北方干旱地区作物的抗旱增产具有重要生产意义。

## 4 结语

农业抗旱减灾工程种类多种多样,除了上述提到的工程之外,还有诸如抗旱基因工程、抗旱监测预警工程等,不同地区需要根据其不同特点,结合所在地区具备的条件,实施、集成与优化不同的防旱抗旱减灾工程,最大程度地减少干旱对农业生产的影响。

### 参考文献

- [1] 张养才,何维勋,李世奎. 中国农业气象灾害概论[M]. 北京:气象出版社,1991.
- [2] 冯佩芝,李翠金,李小泉. 中国主要气象灾害分析[M]. 北京:气象出版社,1985.
- [3] 赵聚宝,李克煌. 干旱与农业[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [4] 赵聚宝,徐祝龄,钟兆站,等. 中国北方旱地农田水分开发利用[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [5] 农业部农业机械化管理司,北京农业工程大学. 旱地农业工程的理论与实践[M]. 北京:北京农业大学出版社,1995.
- [6] 百度文库. 现代节水灌溉工程技术及特点[EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/bf081b621ed9ad51f01df246.html>, 2012.
- [7] 任久江,王咏涛. 农业减灾指南[M]. 北京:中国农业出版社,1996.

(下转 95 页)