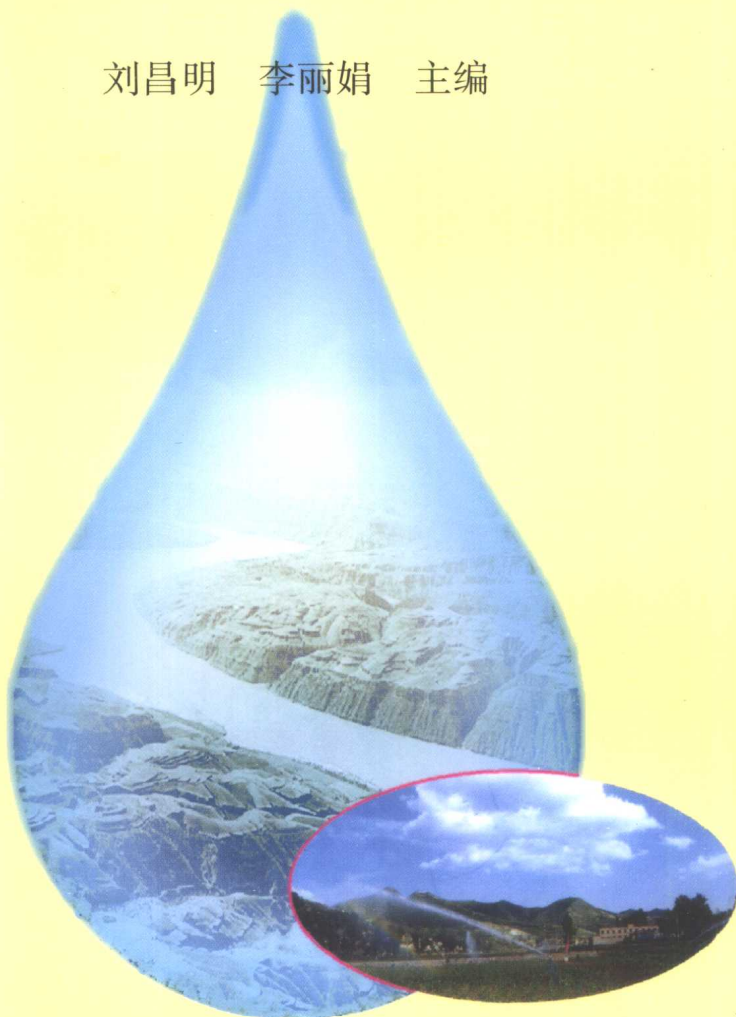


雨水利用与水资源研究

刘昌明 李丽娟 主编



气象出版社

雨水利用与水资源研究

刘昌明 李丽娟 主编

气象出版社

内 容 简 介

当前,科学合理地开发、收集、利用雨水资源已成为解决水短缺的重要途径。本书收集了“第三届全国雨水利用学术研讨会暨中国科学院水问题联合研究中心 2000 学术年会”论文 21 篇。主要内容是:1、雨水利用与雨水资源化的理论、技术实践;2、生态环境需水量的研究;3、水文参数尺度转换的研究;4、气候变化和土地利用对区域水文与水资源的影响。

图书在版编目(CIP)数据

雨水利用与资源研究/刘昌明,李丽娟主编. —北京:
气象出版社,2001.7

ISBN 7-5029-3149-x

I. 雨... II. ①刘... ②李... III. 雨—供水水源
—资源利用—学术会议—文集 IV. TU999.11-53
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 045804 号

雨水利用与水资源研究

李昌明 李丽娟 主编

责任编辑:苏振生

终审:周诗健

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮政编码:100081)

北京金瀑印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

2001 年 8 月第一版 2001 年 8 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:8 字数:197 千字

印数:1~800

ISBN 7-5029-3149-X/X · 0054

定价:16.00 元

前 言

中国科学院水问题联合研究中心(简称“水中心”)是中科院从事水问题研究的各单位自愿组成的联合组织,其宗旨在于加强组织协调,充分发挥中科院水问题研究多学科和跨学科的综合优势,以促进我国水科学事业的发展,为国民经济的宏观决策和长远规划提供科学依据。当前,水资源的匮乏已经成为全球亟待解决的问题,随着整个国民经济的发展、人口的迅速增长以及城市化进程的加快,水资源的供需矛盾也愈来愈突出,而雨水作为最重要的一种水资源,也愈来愈受到人们的重视。科学合理地开发、收集、利用雨水资源已成为解决水短缺的重要途径。继 1996 年在兰州与 1998 年在徐州召开的第 1、2 届全国雨水利用学术讨论会之后,2000 年 9 月 11~13 日在大连市辽宁师范大学国际交流中心,由中国科学院水问题联合研究中心和中国地理学会水文专业委员会共同主办,召开了“第三届全国雨水利用学术研讨会暨中国科学院水问题联合研究中心 2000 年学术年会”。出席会议的有中科院有关研究所、全国各地水利部门、各大专院校相关专业专家学者 40 多人。两个会议的顺利召开,得到了辽宁师范大学,尤其是辽师大地理系各级领导和有关同志的大力支持和热情帮助,在此我们表示衷心的感谢。

会议上,与会代表发表了许多具有较高水平的学术论文,主要就以下中心议题开展了学术讨论:1、雨水利用与雨水资源化的理论、技术与实践;2、生态环境需水量的研究;3、水文参数尺度转换的研究;4、气候变化和土地利用对区域水文与水资源的影响。

雨水利用的理论、技术与实践不仅在北方及西部地区开展了深入研究,在南方水资源相对丰富地区也逐渐受到重视,与会代表介绍了各地雨水资源评价及供需分析,集雨补灌、微型生态集雨等集雨灌溉技术,雨水柜水质处理、窖水消毒技术,会议还研讨了城市雨水利用及城市雨水利用技术产业化的前景,随着城市化进程的不断加快及城市生态环境的改善,城市生态环境需水量愈来愈大,而城市有着大量的硬地面如道路、广场及屋顶面积,这些都是雨水收集的理想场地,雨水利用对解决城市水资源紧缺矛盾必将起着愈来愈重要的作用。会议探讨了海河流域的生态需水量及白洋淀的生态耗水途径及耗水量估算方法。会议论文还涉及区域水资源、水环境、水文参数,土壤水资源等广泛问题。

本文集精选了此次会议论文 20 多篇,由“水中心”负责编辑。希望本文集的出版,能够促进雨水利用及水资源的学术交流,使水问题研究向更深入、广泛的方向发展。

编者
2001 年 4 月

目 录

降雨(灌溉)对作物生长及产量的影响	杨路华 (1)
雨水资源开发、收集、利用技术的研究	刘 民 祖振阳 倪步銮等 (7)
城市雨水利用的潜力与对策	李丽娟 刘昌明 惠士博 (11)
农田生态系统利用雨水的新策略	李阳生 李达模 (17)
浅议水资源的节约、保护与优化配置	祖振阳 刘民 刘宁等 (25)
土壤水资源评价及合理调控	程伍群 王文元 杨路华 (29)
土壤水的科学调控与农业可持续发展	贾金生 王文元 李敬梅 (34)
黄土高原小流域雨水资源供需分析	冯 浩 吴普特 邵明安 (38)
黄土高原地区的雨水利用方式与区域经济发展	田 媛 苏德荣 (44)
黄土高原半干旱区微型生态雨水集流模式	李小雁 (49)
长江流域水资源的特点、现状及对策	李阳生 (55)
内陆河流域出山径流对气候变化的响应	康尔泗 程国栋 (62)
西北干旱区冰川和融水径流变化趋势	刘潮海 康尔泗 (70)
华中丘岗带农业水资源特征与雨水资源化	谢小立 吴金水 (76)
浅谈青海省半干旱山区集雨补灌技术	任文浩 吕小安 (81)
气候变化与人类活动对河北省水环境的影响及建议	吴 忱 马永红 (86)
河北水文参数分析	于凤兰 (92)
海滦河流域河流系统生态环境需水量研究	李丽娟 郑红星 (98)
白洋淀生态需水初探	王文元 邱人立 董玉云 (105)
余姚市雨水资源化的技术与实践	奕永庆 (112)
开发利用雨水资源大力推广节水措施是解决漳滏河灌区水资源匮乏的 有效途径	赵海森 程 华 (116)

降雨(灌溉)对作物生长及产量的影响*

杨路华

(武汉大学,湖北 武汉,430072)

摘要:在田间试验的基础上,针对冬小麦生长与水肥关系的问题,本文分析了降雨(灌溉)条件下土壤有机氮的矿化过程和硝氮的运移过程,阐述了降雨(灌溉)对作物产量及生长要素的影响,建立了水肥双因素生产函数,为北方缺水地区制定合理的水肥管理模式提供依据。

关键词:降雨(灌溉) 土壤氮素 作物产量 生产函数

1 前言

华北地区干旱少雨,农田灌溉和施肥是维系农业稳产高产的重要支柱。由于年降雨量小,而且时空分布极不均衡,加上过量的人口和高速增长的经济等因素导致水资源供需矛盾突出。农业是主要用水大户,农业用水占总用水量的80%。农业用水浪费严重。由于降雨的时间集中以及缺乏有效的雨水集蓄措施,雨水的资源化程度低。另一方面农田施肥以氮肥为主,约占总施肥量的40%左右。氮肥投入偏高,土壤氮素逐渐处于一个盈余状态^[1]。氮肥的过量投入在带来农业产量提高的同时,也产生了一些负面影响,如氮肥利用率降低。土壤中硝氮(NO_3^-)淋洗和铵氮(NH_4^+)挥发引起了地下水及环境污染。过量施氮造成的环境问题已初见端倪。针对农业生产中水肥存在的问题,本文开展了田间降雨条件下的水肥交互试验。在田间试验的基础上,研究降雨条件下土壤系统中有机氮的矿化作用和硝氮的运移过程,分析降雨对作物产量、生长要素的影响,建立了水肥双因素生产函数,为制定适合华北缺水地区的节水型农业灌溉施肥模式提供依据。

2 降雨(灌溉)对土壤有机氮矿化作用的影响

有机氮矿化过程指土壤有机氮在微生物作用下分解成无机氮的生物过程,是土壤中氮素循环的重要组成环节。通过矿化作用,土壤中有机氮转化为无机氮并被作物吸收。矿化作用对作物生长有十分重要的意义。在影响矿化作用的因素中,降雨(灌溉)对矿化作用的影响非常明显。试验表明在北方干旱地区,降雨(灌溉)通过增加土壤水分,可以改善微生物生长环境,提高微生物酶系的生物活性,矿化作用随之加强。根据Stanford的研究,土壤矿化作用与含水率有密切关系。在一定范围内(土水势在-4.0 Mpa 和 -0.03 Mpa 之间),净矿化量与土壤含水率(体积)存在线性相关关系。当土壤含水率超过上限时,矿化就受到抑制,达到饱和含水率时,矿化速率常数可降到最大时刻的一半。Myers^[5]提出了与土壤水分有关的土壤净矿化量的计算

* 本文获得国家自然科学基金“九五”重点项目(59839320)资助,并得到武汉大学沈荣开教授、张瑜芳教授的指导。

公式:

$$y = bx + (1 - b)x^2 \quad (1)$$

$$y = \frac{Y_0}{Y_{\max}} \quad (2)$$

$$x = \frac{W - W_0}{W_{\max} - W_0} \quad (3)$$

式中, Y_0 : 土壤实际净矿化量; $Y_{\max}$: 土壤最大净矿化量(土水势 SPWP 等于 -0.03 Mpa); W : 土壤重量含水率; W_0 : 土壤最小含水率(SPWP = -4.0 Mpa); $W_{\max}$: 土壤最大含水率(SPWP = -0.03 Mpa)。

利用上式, 可进行不同降雨(灌水)条件下的矿化量计算。1999 年冬小麦底肥为鸡肥, 追肥为尿素, 通过氮素平衡来分析土壤净矿化量, 见表 1。在其它条件一致情况下, 灌水(降雨)可明显增加土壤矿化作用, 提高土壤自然供氮能力。

表 1 灌水与土壤矿化关系表(1999 年资料)

小 区	灌水次数	生物量(kg/hm ²)	植物氮(%)	追肥(kg/hm ²)	净矿化量(kg/hm ²)
A3	4 水	12631.5	1.247	68.52	116.40
C3	2 水	10716.8	1.268	68.52	94.78
F3	0 水	8308.9	1.183	68.52	57.18

3 降雨(灌溉)对土壤硝氮运移过程的影响

华北干旱地区土壤处于好气状态下, 矿化作用产物铵氮很快硝化为硝氮^[2], 因此土壤中无机氮以硝氮为主。硝氮的运移变化直接关系到作物的吸收利用。硝氮离子是不被土壤吸附的水溶性离子, 因而硝氮更易受雨水或灌溉的影响, 灌溉或雨水(产生渗漏情况下)易引起氮素的淋洗。

表 2 反映了灌水对土壤硝氮的影响。表中数据取自 1999 年冬小麦和夏玉米生育期资料。A3、C3 小区在二季作物生育期内施肥相同。从表可以看出, 硝氮与灌水的关系密切。适量灌水有利于土壤有机质的矿化和铵氮的硝化。在小麦期相同施肥情况下, 多灌水的 A3 小区土壤硝氮处于上升趋势; 而少灌水的 C3 小区由于作物吸收, 硝氮处于下降趋势。对耕层(0~25cm)和根层(0~110cm)的硝氮进行分析, 存在一致的规律。

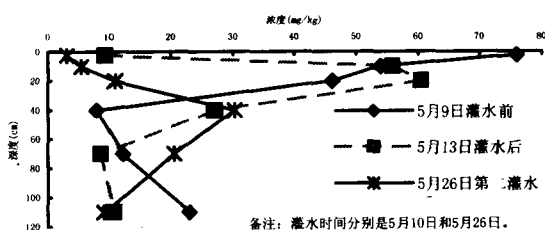


图 1 冬小麦生育期无机氮剖面变化(A3 小区, 2000 年)

图 1 表示降雨(灌溉)引起的硝氮在土壤剖面的变化过程。经过两次降雨(灌溉)后, 土壤中硝氮浓度的高峰由地表下移到 40~60 cm。由于这两次降雨量(灌溉)小, 没有引起硝氮的淋洗(没有渗到根层以下)。

表 2 不同灌水对土壤硝氮影响(1999 年资料)

时间	施 N 量 (kg/hm ²)	降雨或灌水	硝氮	降雨或灌水	硝氮	备 注
		(mm)	(mg/kg)	(mm)	(mg/kg)	
		A3(全氮量)		C3(全氮量 0.0556%)		
3 月下旬	68.52	61.1		1.1		A3 灌水
4 月上旬		2.2	10.788	2.2	27.213	A3、C3 灌水
4 月中旬		75.6		75.6		
4 月下旬		5.7	14.884	5.7	31.907	A3 灌水
5 月上旬		60.3		0.3		
5 月中旬	21.786	63.5	17.139	63.5	21.965	A3、C3 灌水
5 月下旬		46.9		46.9		
6 月上旬		0.1		0.1		
6 月中旬		14.2	23.994	14.2	8.282	
6 月下旬		15.8		15.8		

注:4 月中旬冬小麦追施尿素,6 月中旬夏玉米播前底肥为三维复混肥。表中硝氮含量指土壤耕层部分平均值。

4 降雨(灌溉)对作物生长要素的影响

华北地区降雨多集中在七八月份,冬小麦生育期内降雨偏少,远不能满足作物生长需要,因此降雨(灌溉)对冬小麦生长过程和产量有着至关重要的影响。下面从冬小麦千粒重、叶面积指数(LAI)、植物体各部分氮含量、生长过程以及最终籽粒和干物质产量来说明。

冬小麦千粒重指籽粒的饱满程度,与产量有直接关系。作物生育中后期供水情况,特别是拔节到抽穗期的土壤水分是否满足作物生长需要,都直接影响到千粒重。图 2 表明在相同施肥条件下,千粒重随作物耗水量增加呈递增趋势,增长趋势符合生长曲线。

叶面积指数(LAI)反映作物进行光合作用和物质生产的能力。叶面积指数与灌溉关系比较密切。叶面积指数大,表明其总叶面积大,相应地光合作用和呼吸作用也强,作物蒸腾量随之增加,表现在水分上就是耗水量增加。生长初期,植株叶子优先发育生长,光合作用加强。从图 3 可以看出冬小麦生长初期,叶面积指数与水分的关系较后期明显。

图 4 和图 5 表明降雨(灌溉)与作物产量和干物质的关系密切程度。干物质和籽粒产量与耗水量呈正相关。灌水引起的差异在生长初期不十分明显,随着生长进程,干物质的积累速率逐渐拉大。在生长后期达到高峰。图 5 随机取试验小区的试验数据进行比较,耗水量与籽粒产量关系密切,相关性很好(相关系数 $R=0.9368$)。

5 水肥生产函数

生产函数用来描述作物产量与主要影响因素之间的数学关系。生产函数表示在农业生产中其它影响因素一致的条件下,某一因素(或几个因素)的投入与作物产出(籽粒产量或干物质)之间的函数关系。其数学表达式为:

$$y = f(N_1, N_2, \dots, N_m) \quad (4)$$

式中: y 是作物产出(籽粒产量或干物质); $N_1, N_2, \dots, N_m$ 是对作物产量的影响因素; m 是因

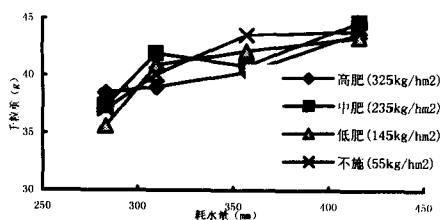


图2 作物耗水量与千粒重关系

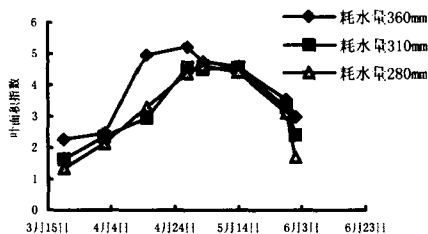


图3 作物耗水量与叶面积指数关系

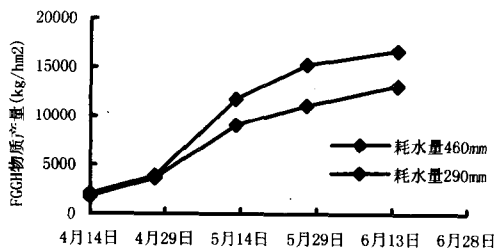


图4 作物耗水量与作物干物质关系

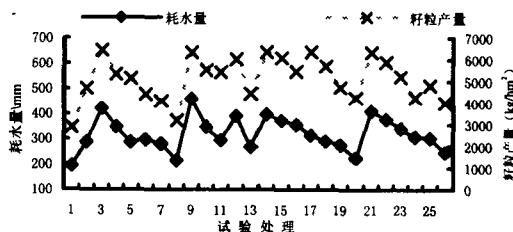


图5 作物耗水量与作物产量的关系

素个数。

考虑氮素或水分与作物产量关系密切程度以及因素之间还有交互作用,建立双因素(水、肥)生产函数,能更准确地反映作物产量与水肥的影响关系。

在美国田纳西州,根据实验,建立了水肥的双因素生产函数

$$Y = b_0 + b_1N + b_2N^2 + b_3D + b_4D^2 + b_5ND \quad (5)$$

式中, Y :作物产量; N :土壤氮素用量; D :干旱天数或干旱指数; b_0 :地力产量。

式(5)中,当变量 N 、 D 均为零时, $Y=b_0$,此时的产量是土壤的自然供氮能力下的产量。显然,式(5)中的变量 N 不包括土壤供氮能力,仅指人工施肥。式(5)中的另一个变量 D 虽然与土壤水分有密切关系,但二者毕竟有本质上的区别。

双因素(水、肥)生产函数中,自变量应取土壤水分(W)和土壤氮素(N)。为与水分生产函数相适应,双因素(水、肥)生产函数中土壤水分(W)指作物生育期内耗水量。其表达式为

$$W = M + P + G + \Delta W \quad (5)$$

式中: M 是作物生育期内净灌水量(mm); P 是作物生育期内有效降雨量(mm); G 是作物生育期内地下水补给量(mm); ΔW 是作物播种与收获时的土壤储水量差值(mm)。

土壤氮素(N)含义与氮素生产函数中相同。

考虑到变量 W 、 N 具有交互作用,双因素(水、肥)生产函数为

$$Y = b_0 + b_1W + b_2W^2 + b_3N + b_4N^2 + b_5WN \quad (6)$$

式中: W_0 、 N_0 分别对应产量为零时的土壤耗水量和耗氮量。

经对24组试验数据的分析计算,双因素(水、肥)生产函数为

$$Y = -4323.758 + 40.927W - 0.041W^2 + 11.990N - 0.026N^2 - 0.006NW \quad (7)$$

相关系数 $R=0.9188$, $F=14.62$ 。检验水平 $\alpha=0.001$ 时,查 F 分布表 $F(2,22)=7.95 < F$ 。方程显著相关。

式(7)中的常数 $b_0=-4323.758$ 没有实际物理意义。由于式(7)中水分变量 W 包括有效降雨量和地下水补给,其取值范围应为 $W>W_0$, W_0 表示作物产量为零时的土壤水分消耗量,在耗水量 W 取值趋于零之前,作物已没有产量。

图 6 表示水肥双因素生产函数计算结果与实际值的比较,拟合程度较好。

6 结论

1) 冬小麦生育期灌溉和降雨(不至于引起大量淋洗)有利于土壤氮的转化运移,提高作物吸氮效率,进而提高作物产量。

2) 作物产量随作物耗水量和土壤耗氮量增加而增加,但增势逐渐趋缓。

3) 考虑到水肥对作物产量的重要影响,在双因素(水肥)生产函数中两个变量应采用作物耗水量与土壤全氮变化量。

4) 农田管理应考虑水肥的交互因素,充分利用降雨,提高水分和土壤氮素的利用率,以达到最佳的效益。

华北地区以旱作农业为主,如何充分利用降雨,发挥有限水资源作用和合理科学施肥,以获取最佳的经济效益,同时保护环境,做到农业与环境的可持续发展,具有深远的意义。

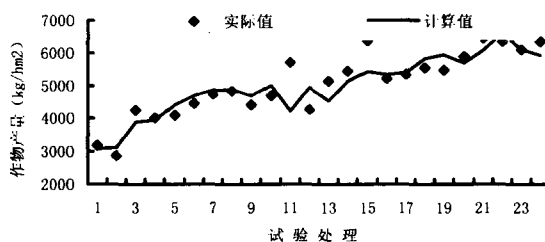


图 6 水肥生产函数计算值与实际值比较

参考文献

- [1] 张道勇. 氮肥的利用率及其损失问题. 土壤通报, (4), 4548, 1981.
- [2] 朱兆良. 土壤氮素的转化和移动的研究近况. 土壤学报, (2), 1-15, 1979.
- [3] B. D. Sharma, S. K. Jalota, S. Kar & C. B. Singh. Effect of nitrogen and water uptake on yield of wheat. *Fertilizer Research*, Vol. 31, 5-8, 1992
- [4] O. Van. Cleemput, G. Hofman, L. Baert. Fertilizer nitrogen balance study on sandy loam with winter wheat. *Fertilizer Research*, 2:119-126, 1981.
- [5] R. J. K. Myers, C. A. Campbell et al. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. *Can. J. Soil Sci.* 62: 111-124, 1982
- [6] T. M. Addiscott N. J. Bailey, G. J. Bland & A. P. Whitmore. Simulation of the nitrogen in soil and winter wheat crops: a management model that maker the best use of limited information. *Fertilizer Research*, Vol. 27, 305-312, 1991
- [7] F. Cabon, G. Girard & E. Ledoux. Modelling of the nitrogen cycle in farm land areas. *Fertilizer Research*, Vol. 27, 161-169, 1991

作者简介:杨路华, (1970 年), 武汉大学博士生, 从事灌溉排水与农田溶质运移教学与研究。

RESPONSE OF CROP YIELD AND GROWTH TO RAINFALL OR IRRIGATION

Yang Luhua

(Wuhan University, Wuhan, 430072)

Abstract: Based on experimental data, mineralization and transport of nitrogen under rainfall or irrigation was analyzed with considering the response of crop growth to water and fertilizer. The response of crop yield and growth to rainfall or irrigation was discussed in the paper, a model was built about two factorial (water and fertilizer) production function. It provides a reference for establishing water saving irrigation and fertilizer dressing.

Key words: rainfall or irrigation, nitrogen, crop growth, production function.

雨水资源开发、收集、利用技术的研究

刘民 祖振阳 倪步奎 于效民 周苏北 刘宁

(江苏省徐州市水利局,江苏 徐州,221002)

摘要:根据国内外水资源现状,提出了水资源紧缺的问题,阐述了通过“三大设施、一个措施、全程调控、综合治理”开发收集利用雨水资源的技术。

关键词:雨水资源 收集 存贮 利用 措施 调控

水是生命之源,是人类赖以生存的基本条件,是社会经济发展的命脉。由于水资源在时空分配上的不均匀,加之人类对水资源的不合理开发利用和严重浪费,以及社会发展工业化程度的提高对水源污染的加重,使得用水矛盾越来越突出。进入 21 世纪,我们面临洪涝灾害、干旱缺水、水环境恶化三大问题,水已经成为全世界各国人民关注的焦点,人类社会遇到了前所未有的水问题的挑战。雨水是地球上一切可更新水资源的源泉,其总量达 510 万亿 m^3 ,我国降雨总量为 5 万亿 m^3 ,雨水资源开发、收集、利用不仅对解决目前水资源短缺问题具有战略意义,也将成为 21 世纪干旱、半干旱地区水利深度发展的必然趋势。科学合理地开展、收集、利用雨水资源将成为解决 21 世纪水问题的重要途径,我们必须充分认识到开发、收集、利用雨水资源的重要性、必要性和紧迫性。

徐州市位于江苏省西北部,地处苏、鲁、豫、皖四省交界处,属暖温带半湿润季风气候区,由于降雨时空分布不均,水资源比较缺乏,且极易发生旱涝交替现象,灾害频繁。80 年代初,徐州市水利工作者开始认识到利用自然降雨对解决水资源短缺的重要作用,在总结广大劳动人民治水的历史经验上,研究和实践了对雨水资源的集蓄、控制和利用。经过十几年的努力,目前已初步形成了雨水利用的工程和控制体系,并探索研究了适合徐州市实际的雨水利用技术模式。

我们知道,一切形式的水资源都来自雨水,因此,从广义上讲,一切利用水资源的活动都可称为雨水利用,特定意义上的雨水利用则是指有目的地将降雨转化为径流或地下水并加以收集、调配、利用。而雨水利用技术是对雨水进行收集、存贮、控制并高效利用的完整系统,这是广泛存在的传统技术,有着悠久的历史 and 多种多样的利用方式。根据徐州市对雨水利用技术的研究和探索,雨水利用技术是“三大设施,一个措施、全程调控、综合治理”。

1 三大设施

1.1 收集设施

雨水收集就是指利用工程手段,尽量减少土壤入渗,增加地表径流,并且将这部分径流按照人们所设计的方式收集起来。按照集流场大小可分为微集、泛集两种。微集就是利用田间工程来收集利用雨水资源,包括方格种植、坑栽、坡地集蓄等;泛集就是利用各种集水面收集利用雨水资源。

雨水收集的核心问题是根据不同的材料确定集水效率,从而确定集流面积、集流量和成本。集水效率与集雨面材料、坡度,降雨雨量、雨强有关。集雨面一般分为自然集雨面和人工集雨面两种,泛集多利用自然集雨面,微集多使用人工集雨面。人工集雨面分为屋面、混凝土面、水泥土或三合土面、塑料薄膜面等,在运用上应根据利用的目的和具体条件来选择。

1.2 存贮设施

雨水存贮即以一定的方式,经济合理地存贮雨水的地表径流,解决降雨和利用在时间上错位的矛盾。从工程设施的地理位置上分为就地存贮和异地存贮两种,就地存贮即将降雨就近储蓄起来,一般来说集雨面较小,存贮量不大,如水窖、塘坝、小水库等;异地存贮是指当集雨量较大无法就地存贮时,通过工程设施调到远处存贮,如河道、水库等。从工程上可分为三种:一是水窖、塘坝。这是一种结构简单,造价很低,管理方便的贮水工程,一般用于山区或干旱少雨地区,使用水量不大,集雨面可以是自然的,也可以是人工的。在布局上又可根据自然条件分为4种:①串联式,集雨面挟长,在一条集雨沟上按不同高程布置几个窖或塘,如“长藤结瓜”;②并联式,集雨面大、集雨量大,需在相同高程上布置几个窖或塘;③散布式,集雨面小,独立的系统;④子母式,一个较大的塘带几个窖,可以利用塘水补充窖。二是河、库。工程量较大,蓄水量较多,设计时要考虑工程防洪安全,造价也相对较高,集雨面多为自然的。当使用河道蓄水时,以等高线开挖为宜,河道有比降时,建节制闸形成多级水面,尽量多蓄。三是地下存蓄。利用井壁回灌、坑塘引渗等工程,将地表水引入地下存贮,工程设计比较复杂,利用比较困难。当在具有特殊地质条件的地区,可通过人工或自然渗水,将雨水存贮在地下,干旱时再加以利用,如徐州市东部马陵山区,存贮后的地下水位一般在地面下3~5m。

1.3 利用设施

目前雨水利用的目的是解决生活用水、工业用水、城市用水和农业灌溉,其中最主要的是农业灌溉。在利用设施上可分为三个部分:一是取水设施。当存贮水面高于地面时,可直接利用水的势能自流灌溉,当存贮水面低于地面时,对小面积的田块,一般临时安装手压泵或微型泵,对大面积的耕地,就需要建设固定的提水泵站。二是输水设施。主要是对输水渠道进行防渗处理,包括管道输水、田间工程等。提高渠系水利用系数,可以大大减少输水过程中的水损失,减少跑水、漏水、蒸发。不仅可使灌溉用水量减少,节省了水费和电费,输水时间和灌溉周期缩短,还可以减少整修土渠的费用和人力。三是灌溉设施。雨水集流所得到的水量是有限的,十分宝贵,必须采用节水灌溉设施,如比较简易的担水点浇、软管灌(俗称小白龙)、膜上灌等以及比较先进的喷灌、滴灌、渗灌、管灌、微喷等。应根据不同的地型、作物品种和财力情况,多种多样、因地制宜、先简后繁,逐步发展。

2 一个措施

一个措施即农业措施。一是指要根据本地的水资源状况,优化作物布局,调整作物种植结构,选择最适宜的作物种类,寻求农、林、牧、副、渔共同发展的最佳的生态农业模式。如选用旱稻品种,采用水稻旱育、旱管等新技术,不仅改良了水稻品种,提高了产量,而且节约了灌溉用水。二是按照限额灌溉和调控灌溉的原理,根据降雨情况和作物生长特性,在作物需水的最关键时刻进行适量灌溉,使单位水分的产出效率达到最高。三是要把农业设施工程和节水灌溉工程结合起来,成龙配套,在形式上也应多种多样。如等高条耕与软管灌相结合,覆膜与滴灌、穴

灌相结合,建设塑料大棚或日光能温室时,直接引入管道灌溉系统。

3 全程调控

3.1 雨前调控

对于雨水利用调控系统而言,中长期实时气象预报是至关重要的,有了及时准确的气象预报才能有充分的时间调控和优化实施方案。雨前调控即在降雨前,根据气象资料反映的降雨情况,包括降雨强度、降雨时长、降雨范围等,预先对河流、水库、湖泊内的蓄水进行科学调度,扩大蓄水能力,这样既可以防止洪涝灾害,又可以增加蓄水量,以备在干旱时加以利用。

3.2 工程调控

平时可以将存贮起来的雨水资源,利用水电站、河道、控制闸等水利工程,将雨水就地或异地,跨区域或跨流域进行合理调配、存贮,以满足各地、各行业对水的需求。田间工程要开挖、疏浚内外三沟,及时配套,灌得进、排得出、降得下,同时能回收灌溉尾水和回归水,提高雨水的利用率。在实际应用中,工程调控是雨水利用系统的关键环节。

3.3 节水调控

在用水过程中,无论是工业、农业、生活等方面用水,都要根据科学的规划,加强管理,采取各种措施,优化配置,节约用水,建设节水型社会,维持水资源的平衡。

4 综合治理

对雨水资源,要坚持“全面规划、统筹兼顾、标本兼治、综合治理”的原则。一是兴利与除害相结合。实施雨水利用工程,除希望多蓄水发挥效益外,还必须考虑汛期工程的防洪安全,同时考虑由于沟河常年蓄水,地下水位升高,可能带来的次生盐碱化。二是开源与节流相结合。一方面千方百计地拦蓄地表径流,另一方面要采取各种节水措施,节约雨水资源,提高单位水分生产率。三是工程措施与生物措施相结合。要结合农业产业结构调整,优化作物布局,大力发展适水农业、雨养农业。四是开发与保护相结合。要加强水土保持生态环境建设,以预防保护和有效监督为主,突出重点,以生态用水为保证,强化污染源头的治理,加大监督、保护和执法力度,遏制生态环境和水污染恶化趋势,逐步改善水生态环境。五是雨水利用工程与调引外来水工程相结合。雨水利用对缓解水资源危机有很大作用,但由于降雨量在年际、年内变化大,在枯水年我们不能保证能集蓄到一定的水量,为保持供水的稳定性,还必须建设跨区域、跨流域的调水工程。六是工程建设与水利工程建设、管理制度改革相结合。要本着“谁建设、谁投资、谁所有、谁受益”的原则,兴建雨水利用工程,充分调动群众的积极性,增加对雨水利用工程的投劳和投资,加快建设速度。通过综合治理,建立全面的防洪抗旱体系,建成生态农业,建设节水防污型社会,加强水土保持生态环境建设,加强水资源统一管理,实现水资源的优化配置,从而保证水资源的可持续利用,促进我国经济社会的可持续发展。

5 结束语

近年来,随着我国许多地区和世界各地运用现代科技实施的雨水利用工程,给这一项传统

技术赋予了新的内容,使雨水资源得到了更进一步的控制利用。但根据目前雨水资源开发收集利用的现状来看,雨水利用技术的发展方向是:

(1)用科学方法分析和指导,进一步深入研究雨水利用系统的全过程。

(2)目前我们还是使用传统技术,集雨方式和技术还比较落后,今后应大力发展科学研究和新技术的应用推广,降低成本,提高雨水资源的利用率。

(3)针对目前北方一些经济发达的大城市用水告急的情况,应该加大城市雨水开发利用方式、方法的研究。

(4)应该将雨水资源的开发、收集、利用引入到生态农业、水土保持、生态环境建设中去。

城市雨水利用的潜力与对策*

李丽娟 刘昌明

惠士博

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京, 100101) (清华大学水利系, 北京, 100084)

1 我国城市化的概况及其水文效应

到1998年底,我国共有城市667个,城市非农业人口超过2亿。1996年全国城市规划面积为 $98.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中建成区面积为 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占全部规划面积的2%;建成区中绿地覆盖率平均为24%,人均绿地面积平均为 31 m^2 。其中最高的是北京市(34.65%),最低的是甘肃省(11.24%)。由于建成区约80%的面积是不透水面,大量的道路、房屋等不透水面积的存在,一方面使城市的降水入渗量大大减少,极大地削弱了降雨对地下水的天然补给作用;另一方面,使城市雨洪峰值增加,汇流时间缩短,导致城市下游地区的雨洪威胁加剧。我国多年平均降水总量为 $61889 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中的45%转化为地表水和地下水,其余55%消耗于蒸散。由于我国降雨在时间分配上有60%~70%以上集中在汛期,因此城市及其周围地区每年都有一定的汛期径流排泄,而这部分水量可根据其空间分布,分别作为洪积扇地区地下水回灌的水源,或作为城市水环境景观的补充水源,还可作为城市绿化用水,供城市利用。城市雨水利用既可充分利用当地的宝贵水资源,缓解城市缺水压力,又可以减轻城市洪水危害,改善城市环境状况,因此,城市雨水利用是城市水资源可持续利用的有效途径。

2 城市雨水利用的特点和发展方向

1983年以来,世界上召开了九届国际雨水收集系统会议,掀起了世界各国利用雨水的热潮,40多个国家和地区开展了不同规模的雨洪利用研究,其中美国和日本雨洪利用的起步较早,也较完善。我国雨水利用始于80年代末,甘肃实施的“121”工程与北京市的城市雨洪利用,向世界展示了雨水利用的效果。

雨水利用的特点概括起来有以下八个方面:①雨水是再生速度最快的水资源;②雨水是地表水和地下水最主要的补给来源;③雨水广泛分布,适合于分散聚落的使用;④雨水可就地使用;⑤雨水大多集中在夏季;⑥雨水来水的强度远比河流的水流速度小;⑦广义的雨水利用还可包括人工增雨和水平降水的利用;⑧雨水除直接利用外,还可进行间接利用。

城市雨水利用的功能是多方面的,其主要方面有五:一是利用城市绿(草)地增加雨水入渗,部分恢复雨水对地下水的补给,同时减轻城市排水工程的负担;二是将雨水利用看成城市骨干供水系统中重要的辅助性工程,作为部分工业用水和杂用水的水源;三是利用雨水对地下

* 基金项目:中国工程院重大咨询项目“中国城市水资源可持续利用”及国家重大基础研究项目(G1999043602)资助。

水进行回灌,人为增加雨水对地下水的补给;四是利用雨水解决人畜饮水问题;五是强化雨水的管理与调度。

雨水利用是多途径和多层次的。投资小、周期短、技术简单、群众性强是其主要特点,可作为大、中、小型供水工程的辅助性工程。

3 城市雨水利用的潜力

3.1 城市雨水利用潜力估算

据预测,我国人口 2000 年将达到 12.6 亿人,其中城市人口将达到 4 亿人;2010 年人口将达到 14 亿人,城市人口达到 5.6 亿人;2030 年人口将达到 15 亿人,城市人口达到 7.5 亿人;2050 年人口将达到 16 亿人,城市人口达到 9 亿人。

随着城市人口的增加,城市建成区的面积也将大量增加,相应的城市化水文效应也会更加显著。缓解对策之一就是增加建成区的绿地面积,使其达到建成区面积的 30%以上、人均绿地面积增加到 40 m^2 。增加绿地面积可大大增加降雨对地下水的入渗补给,同时减少城市雨洪灾害。缓解对策之二则是将城市雨洪水量蓄积起来,作为城市人工回灌水源或杂用水水源,也将大大增加城市水资源量。

若草地入渗系数按 0.2 计算,则全国现有绿地面积降雨入渗量约为 $15\times 10^8\text{ m}^3$;随着城市建成区的扩大和城市绿地覆盖率的增加,绿地降雨入渗量还要增加,2030 年和 2050 年将分别达到 $38\times 10^8\text{ m}^3$ 和 $47\times 10^8\text{ m}^3$ 。另外,现状全国城市雨洪水量 $111\times 10^8\text{ m}^3$,按 40%利用率计算,可利用雨洪水量为 $44\times 10^8\text{ m}^3$ 。城市面积增加后,雨洪水量也将随之增加,2030 年和 2050 年城市雨洪水量将分别达到 $283\times 10^8\text{ m}^3$ 和 $348\times 10^8\text{ m}^3$,仍按 40%利用率计算,则可利用雨洪水量分别为 $113\times 10^8\text{ m}^3$ 和 $139\times 10^8\text{ m}^3$ (见表 1)。

表 1 2000~2050 年城市雨水利用潜力计算

规划年份	1997	2000	2010	2030	2050
全国人口(亿人)	12.36	12.6	14	15	16
城市人口(亿人)	3.7	4	5.6	7.5	9
城市人均绿地面积(m^2)	31	32	35	39	40
绿地总面积(10^8 m^2)	114.7	128	196	292.5	360
绿地入渗补给量(10^8 m^3)	14.9	16.6	25.4	37.9	46.7
城市不透水面雨洪水量(10^8 m^3)	99.1	110.6	169.3	252.7	311.0
绿地雨洪水量(10^8 m^3)	11.9	13.3	20.3	30.3	37.3
城市雨洪总水量(10^8 m^3)	111	124	190	283	348
城市雨洪利用潜力(10^8 m^3)	44.4	49.5	75.9	113.2	139.3

3.2 城市雨洪的水质

对城市雨洪水质分析表明,每年第一次降雨和每次降雨的开始部分的水质较差,应排入污水管道,除此之外的城市雨洪水质较好;其中绿地径流水质优于屋顶径流的水质,道路径流的水质最差,在利用时应根据水的用途进行一定的处理。