

缺水与我国粮食生产: 问题、潜力与对策

Water Shortage and China's Grain Production: Problems, Potentialities and Solutions

梅旭荣 罗远培
(中国 农业 科学院 农业 气象 研究所, 节水 农业 综合 研究 中心 北京 100081)

一、缺水的中国农业

1. 农业用水总量短缺

我国是世界严重缺水的国家之一。据测算, 我国陆面年降水量为 6. 188 万亿 m^3 , 其中约 3. 387 万亿 m^3 消耗于陆地生物圈, 2. 81 万亿 m^3 转化为径流和地下水等水资源。现阶段我国人均水资源量约 2 300 m^3 , 为世界平均的 25%, 单位耕地面积的水资源量为世界平均的 80%, 而单位灌溉面积的水资源量仅为世界平均的 19%。因缺水以及由此引发的灌溉成本上升, 我国农田有效灌溉面积自 1975 年以来一直维持在 4 800~ 4 870 万 ha 之间, 年灌溉用水量维持在 3 500~ 3 800 亿 m^3 的水平, 有效灌溉面积中每年尚有 667 万 ha 左右得不到灌溉。

2. 水资源时空分布不均

我国长江以北地区耕地占全国的 65%, 而水资源仅占全国总量的 20%, 水资源短缺已成为我国北方地区农业生产的主要制约因素, 尤以华北和西北水资源的供需矛盾更为突出。另一方面, 季风气候

致使降水年内分布极不均匀, 6~ 9 月夏季降水占全年的 60~ 70%, 华北地区高达 80%。农业水资源时空分布不均, 不仅给水资源开发利用带来困难, 而且还导致了严重的洪涝和旱灾。

3. 农业增水能力有限, 缺水程度加剧

一方面, 为满足新增人口农产品供应, 农业用水需求趋增。另一方面, 农业用水占总用水量的比重又逐年下降, 故供给总量不可能有大的增长。1949~ 1975 年我国灌溉用水量和灌溉面积逐年上升, 而改革开放以来, 我国粮食总产由 1978 年的 3. 05 亿吨增加到 1997 年的 4. 92 亿吨, 农业年用水总量占全国年总用水量的比重却从 88% 下降到 72%, 基本维持在 3 900~ 4 000 亿 m^3 , 灌溉用水占总用水的比重也由 80% 下降到 65%, 约维持在 3 500~ 3 800 亿 m^3 左右(表 1)。据估计, 到 2030 年我国人口达到 16 亿高峰时, 全国总用水量将增加到 8 000 亿 m^3 , 农业用水的比重将从目前的 72% 下降到 52%。总之, 农业用水特别是灌溉用水总量不可能有大的增加, 而粮食总产量最低要达到 6. 4 亿吨, 故农业生产缺水程度势将加剧。

表 1 我国主要时期农业用水量和农田灌溉用水量的变化

年份	农业用水量 ($10^8 m^3$)	灌溉用水量 ($10^8 m^3$)	占全国用水比例%		有效面积及灌溉量		粮食总产 (10^8 吨)
			农业	灌溉	(10^8 亩)	(m^3 亩 $^{-1}$)	
1949	1 001	956	96. 3	92. 0	2. 39	398	1. 132
1957	1 938	1 853	94. 1	90. 0	3. 75	494	1. 951
1965	2 545	2 350	92. 0	85. 0	4. 81	489	1. 946
1970	3 000	(2 700)	(90. 0)	(81. 0)	5. 40	500	2. 400
1980	3 912	3 574	87. 8	80. 5	7. 33	512	3. 206
1988	—	3 874	—	—	7. 19	539	3. 941
1993	4 111	3 440	79. 5	66. 5	7. 46	461	4. 565
1997	3 960	3 598	72. 0	65. 4	7. 40	486	4. 920

注: 资源来源于《中国水利年鉴》和水利部统计数据; () 数据系根据有关研究推算的结果。

由以上资料不难看出, 改革开放以来我国粮食大幅度增产而灌溉面积和灌溉用水量却未见增加或增加很少。这一事实说明, 经过建国后前 30 年的大规模建设, 我国容易开发的水资源多已利用, 农业和粮

食生产靠大量消耗水资源的外延型增长方式已行不通了。农业比较效益低和水资源紧缺程度加剧的现实要求我们必须加快发展节水农业, 研究、开发和应用提高粮食生产用水效率的农业技术。

二、我国食物生产用水现状堪忧

我国农业和粮食生产用水的现状,集中表现为:在农业缺水加剧的情况下,自然降水却仍低效利用,水资源仍过度消耗,用水严重浪费,以及水质下降等一系列的问题。

1. 自然降水转化利用率低,而部分水资源却又过度消耗

因降水集中、排洪量大,加之又缺乏有效的拦蓄措施,我国降水资源化系数仅约 45%。目前全国年农业用水约 4 000 亿 m^3 ,实际只占陆地年降水总量的 6.5%,占水资源总量的 14.2%;却相当于地下水资源总量的一半(见表 2)。在我国井灌区,特别是华北平原,由于历年来耕作制度的改变,自然降水的低效利用早已不能满足农业生产的需要,亏缺部分全靠超采地下水来补充,造成地下水连年连片下降,中心处水位降至地面以下 70~90 米,一些地段已近疏干。另一方面,我国旱地农业区的 12 亿亩农田,70% 分布在年降水仅 250~600 毫米的北方半干旱和半湿润偏旱区,且农田对自然降水的利用率只有一半左右(梅旭荣,1997)。上述两个“一半”揭示了我国农业对有限自然降水的严重低效利用和严重超采地下水资源的事实,也反映了历年来在水资源开发利用上重工程、轻农艺的用水指导思想。这一态势,多年来制约了我国节水农业的发展。

表 2 我国陆地降水资源梯次转化关系及其开发利用现状

水资源类型	总量 (10^8m^3)	梯次转化 关系(%)	说明
一次水(自然降水)	61 880	100.0	
二次水(地表水、径流等)	28 100	45.4	相对于一次水转化
三次水(地下水、土壤水等)	8 230	13.3	相对于一次水转化
		29.3	相对于二次水转化
农业用水	约 4 000	6.5	相对于一次水利用
		14.2	相对于二次水利用
		50.0	相对于三次水利用

2 农业用水紧缺,而灌溉用水却又浪费严重

1997 年我国灌溉农业区面积约 7.5 亿亩,耕地灌溉率高达 40% (美国和苏联都不到 10%),灌溉用水量 3 600 亿 m^3 ,占全国用水总量的 65%。紧缺的水资源过多消耗于农田灌溉本是迫不得已的选择。然而,我国农业灌溉用水中渠灌面积较大,渠灌渠系损失达 50%,农田蒸发损失为 17%,实际利用量仅有 33%。另一方面,传统的粗放型灌溉模式导致每亩实际灌水量达到 500 m^3 (参见表 1),超过作物实际需水量的 1 倍,有的超过 2 倍,浪费极为严重,极大地制约了灌溉农业的效益。

3 水资源利用效率低

我国目前灌溉用水的利用效率为 0.87 kg/m^3 ,旱地农田水分利用效率仅有 0.67 kg/m^3 ,农业生产过程中水的利用效率低。我国地下水已开采量占可开采量的 31%,占总用水量的 20%,其中一半以上用于农业生产,已相当于美国地下水的开采水平。但同美国农业经济相比,即暴露出我国农业效率与地下水开采水平远不成比例。

4 水污染加剧了水资源的短缺

水资源短缺已成为我国工农业生产和国民经济发展的严重障碍,但随着人口的不断增长和工农业的迅速发展,废污水的排放量和农业化学物质的应用与残留量亦同步增长,水体污染日趋严重,使本来已十分紧缺的水资源如雪上加霜。缺水条件下的污染的加剧,致使对污水的净化能力进一步下降,形成恶性循环,制约农业的发展。

5 节水科技普及滞后

淡水资源是可再生的资源。从新石器时期开始,水之于农业、于人类,乃取之不尽、用之不竭,似乎是一种上苍的恩赐。但如今,人多、水少、水污染已成为我国农业的心腹大患,对节水农业科学技术的提高和普及有了更高的要求。前一时期,国家对节水农业研究和技术装备投入的绝对数量不少,但技术和装备水平却相对落后,原因在于基层广大的需求群体希求的种种节水技术与自上而下的、单一的、一厢情愿的科技投入之间极不合拍;也在于水资源的价值与价格的严重背离。这是一种既包括政策,也包括节水意识和技术普及的严重滞后在内的综合性问题,需要系统地加以解决。

三、解决我国农业缺水的潜力

1. 解决农业缺水的根本出路在于提高水的利用效率

缺水使我国农业只能在一种两难的境地中寻求出路:一方面,缺水要求农业尽量减少用水;另一方面,人口、土地、工业、城市的巨大压力要求农业有更高的产出,这又需要对农业有足够的水资源供应。我国食物生产缺水的背后隐藏着有限水资源的巨大浪费,解决问题的关键在于提高有限水资源的利用率和利用效率。

由于水资源的利用率和利用效率双双低下,加剧了农业用水的短缺。欲求得我国未来食物可靠供给和农业的可持续发展,最根本的出路是解决好农业用水的利用效率,即要大大提高田间生产中单立方水的农业产出量问题。

2. 两种潜力的比较

粮食生产是我国食物生产的重点,也是水资源短缺影响最大的生产领域。我国目前粮食总产 4.9

亿吨,有效灌溉面积占播种面积的 $1/3$,按公认的数据计算,我国粮食生产的水分利用效率为 $0.75\text{kg}/\text{m}^3$,即生产1吨粮食要消耗水 $1\,333\text{m}^3$,目前全国每年粮食生产用水至少 $6\,530\text{亿}\text{m}^3$ 。而在 $3\,550\text{亿}\text{m}^3$ 的灌溉用水中,按 0.5 的渠道输水系数高估算,农业实际利用的水资源只有 $1\,775\text{亿}\text{m}^3$,其余的 $4\,755\text{亿}\text{m}^3$ 需水是靠产区自然降水,但这仅相当于我国陆地生物圈用水量的 14.0% ,与我国耕地面积占国土面积比例的 13.2% 相当。也就是说,我国这样的人工精细生产系统对降水的利用率同许多其它自然状态下的生态系统水的利用率是相当的。可见,在我国农业缺水的背后,蕴藏着发展节水农业的巨大的潜力,即工程化潜力和农艺节水潜力。

应通过工程措施大幅度提高农业对自然降水和灌溉用水的利用率,使降水利用率和灌溉水的利用率分别达到 60% 和 70% 。按现有的利用率估算,在不增加现有农业灌溉用水量的前提下,可以利用的灌溉水量为 $2\,130\text{亿}\text{m}^3$,可利用的降水量为 $5\,500\text{亿}\text{m}^3$,总供水量为 $7\,630\text{亿}\text{m}^3$ 。按现有水利用率估算,2030年实现 6.4亿吨 粮食生产的用水量为 $8\,530\text{亿}\text{m}^3$,水资源仍然短缺 $900\text{亿}\text{m}^3$ 。显然要满足农业生产需要,将需要巨大的工程投资。

我国目前农用水的利用效率同许多发展中国家相比不算高。节水农业发达国家生产1吨粮食的用水量已经下降到 $1\,000\text{m}^3$ 以下(我国是 $1\,333\text{m}^3$)。不论是灌溉农业还是旱地农业,依我国国情而言,提高水的利用效率更有实际意义。我们现有的旱地农业和灌溉农业的实践表明,通过农艺和生物技术与手段,水分利用效率达到 $1.0\sim 1.5\text{kg}/\text{m}^3$ 的典型已比比皆是,而且具有经济学上的可行性。这一成果的意义在于,抓好这一环节,就可以避免大量的工程投资,而且可以把节水战略融入到日常农事活动之中,经济可行性更强。如果我国农业的水分利用效率按普遍达到 $1.0\text{kg}/\text{m}^3$ 来计算,满足我国16亿人口 6.4亿吨 粮食需要的水量为 $6\,400\text{亿}\text{m}^3$ (与目前的实际用水 $6\,530\text{亿}\text{m}^3$ 基本相当),这说明农业产量增长了但并没有增加农业的用水量。这正是有待我们发掘的潜力和效益所在。

四、提高食物生产用水效率的战略和技术选择

在严峻的缺水形式下,我国农业生产最根本的任务应是:通过土壤水的调控,充分利用天然降水和灌溉水量,优化农作物水资源的利用率和利用效率,不断提高单位耗水的亩产。它包括了生产全过程中高效利用水资源的系列政策,和科技开发、经济、管理各个层面。

1. 提高粮食生产对雨水的利用率

自然降水时空分布不均及其与食物生产需水的错位,对雨水的开发利用造成了困难,而且容易引起水土流失和旱涝灾害。因此,在不同的时空尺度上合理有效地利用自然降水,培育和发挥土壤水库的调蓄功能,可以大幅度地提高食物生产的降水利用率,同时也减轻旱涝灾害对食物生产的危害。主要包括以下几个方面。

(1) 根据流域特点和耕地与非耕地的比例,兼顾流域上中下游的效益,合理规划非耕地天然降水的截流增蓄,修建小型的降水蓄积工程,集雨补灌,以调节降水的时空分布,增加农田水分的供应。

(2) 在降水缺乏的北方旱农地区或季节干旱严重的南方丘陵山区,发展适合不同地区的农田集水工程。通过起垄耕作、等高种植、梯田等集水技术可以有效地减少和拦蓄农田径流,增加降水的农田入渗,减少和控制水土流失。

(3) 将复配作物营养物质的高吸水树脂和纤维等化学物质,施于作物根域,通过根域集水,将有限的土壤水分聚集在作物根系区域,为粮食作物幼苗生长发育提供适宜的水分条件。

(4) 培育和扩充土壤水库。保护耕作(少免耕、深松等)能够有效地减少水土流失;薄膜和秸秆覆盖可以有效地抑制田间蒸发;有机培肥可以改善土壤结构、提高降水入渗速率、扩充土壤持水能力,使有限的降水得以充分利用。

2. 提高作物水分利用效率的综合技术

提高作物水分利用效率的技术核心是:一方面根据作物生长期的不同需求及时准确地供给作物相应水分和养分,并使供水过程与其它农作过程密切配合;另一方面又要尽量使作物在逆境条件下能正常生长发育。在缺水条件下对农田水分与养分进行合理调控可以发挥水肥的正向交互作用,利用生物技术选育抗逆作物品种和进行逆境驯化也可提高作物对缺水的耐受能力,现代耕作与施肥技术均可促进作物生物量的高效积累,从而提高作物的水分利用效率。

3. 发展有效节水管理制度和灌溉技术

研究和建立有效节水管理制度,如水源调配、区域墒情预报、作物实时灌溉预报、非充分灌溉制度。输配水系统的防渗和防蒸发均是重要的环节,应发展先进的节水灌溉技术,如能适应我国国情、农情的,具有我国自己特色的喷灌、微灌、滴灌、渗灌技术,均是我国今后大幅度减少浪费、提高效率的重要课题。

4. 建立提高粮食生产用水效率的政策体系

(1) 制订面向持续发展的水资源成本核算体系和价格政策

我国水资源的价值和价格严重背离,实行的水价政策只计工程而忽视水资源本身价值在一定程

度上限制或阻碍了节水事业的发展。需从资源有价、持续利用的角度出发, 研究制订兼顾所有者、投资者、管理者、使用者四方利益的水价政策。

(2) 完善节水农业发展规划

在制订水资源成本核算体系和价格政策的基础上建立不同类型区(如旱地农业区)节水技术标准体系, 制订近期和中长期节水农业发展规划, 提高水资源的整体效益。

(3) 促进支持节水农业的新生行业的发展

目前我国节水农业设备的生产虽具有一定的规模, 但产品的品种规格、质量及其稳定性等方面, 尤其是服务方面与我国节水事业发展的潜在市场相比, 差距很大。因此要建立多种形式的产业发展体制, 促进产品生产、销售、设计安装、维修服务等新生行业的发展。

(4) 建立规范化的投资融资渠道

任何事业的发展必须以一定的经济投入为条件, 而我国节水农业的主体——农民, 恰恰在用水节水上的投入甚少, 因此必须建立服务于农户的、多元化的、规范的投融资渠道(如贴息贷款、低息贷款、分期付款等)。

(5) 建立农民参与的水管理组织

没有农民的积极参与, 节水事业就不可能持续发展, 因此必须借鉴国外的先进经验和国内一些灌区的成功作法, 逐步建立起农民参与的、适合当地情况的基层水管理组织。

(6) 强化节水生产的技术培训与推广

加强对农民, 特别是基层技术人员的培训, 普及节水技术知识, 提高全社会的节水意识。强化节水农业技术的应用与推广, 将墒情、农情监测纳入农业技术推广网络。

5. 加强食物生产高效用水的科学技术研究与国际合作

目前急需的科学技术研究项目包括: 水资源短缺与食物安全; 作物与水分、养分的关系; 以农田水为核心的工程节水与农艺节水的有机集成; 高效用水与环境保护; 节水灌溉设备、材料与制造; 保护性耕作和旱地农业机械; 管理决策专家支持系统等。

在我国这样一个人口多、水资源短缺的农业大国, 提高粮食生产用水效率, 说到底关系到 21 世纪中国和世界的食物安全的大问题、大课题。因此一定要面向国际、面向全球, 争取更多、更有效的国际合作。这需要各级各层高屋建瓴的眼光和决策。

(责任编辑 蔡德诚)

(上接第 14 页)

段。高压合成与高压物质新特性的出现, 为人们寻找新材料打开了一扇广阔的大门, 一般的物质在经历 1GPa 的高压过程中, 平均有五种不同的相变出现, 这就意味着通过高压, 可能会获得许许多多的新性能材料。压致相变和高压新材料的研究已经受到了极大的关注, 到目前为止, 人们对元素周期表中的几乎所有元素都进行了高压研究, 只有极少数的元素未出现高压相。典型的离子晶体、半导体化合物、铁电体等相变的系统研究已经获得了一些规律性的认识。非晶态物质、层状二维化合物、稀土化合物、有机化合物、氧化物、氮化物、硼化物, 以及硫化物等的高压研究也颇受重视, 目前的兴趣主要是寻找高温超导体、高性能储氢材料、高热导率材料、增韧高强度工程陶瓷、高功率半导体, 以及压致可调谐激光晶体等具有优异性能的新材料。

高压能谱的研究也相当活跃, 过渡金属离子和稀土金属离子发射谱的研究对于固体发光机制的理解和新型发光材料的探索十分重要, 通过对压力与固体的电子谱、声子谱, 以及激子谱的关系的研究, 可以了解高压下电子的状态以及晶体的结构与相变。今后应当进一步加强压致相变与金属中 s 和 d 的电子结构相关性的研究, 从而为实际应用提供理论依据。

现在所能达到的最高压力已基本可以满足现

代科学技术的需要, 着力于压力继续提高的研究近期内不会成为重点, 今后一段时期内高压技术的发展趋势将主要是研制和改进高压下物质特性的研究方法, 以实现实验过程的快速化和自动化, 提高实验分析的准确性和可重复性; 同时更进一步地大力推进高压技术在现代科学技术各个领域中的应用, 使高压技术发挥出最大的效用。总之, 随着高压这种一维新技术被愈来愈多的人们所认识和应用, 现代科学技术必将被大大地向前推进。

参考文献

- [1] The President's Report, 1987, Carnegie Institution of Washington Yearb, V86: pp79-88
- [2] 郑海飞, 黄宇营, 马配学, 巨新. 科学通报, 1999(8): 878-880
- [3] Chandrabhas Narayana, Huan Luo, Jon Orloff et al., Solid Hydrogen at 342 Gpa: No Evidence For an Alkali Metal, Nature, V393, 1998. 5. 7: pp 46-49
- [4] Magali Benoit, Dominik Marx, Michele Parrinello, Tunnelling and Zero Point motion in High Pressure Ice, Nature, V392, 1998. 3. 19: pp 258-261
- [5] C. Lobban, J.L. Finney, W. F. Kuhs, The Structure of a New Phase of Ice, Nature, V391, 1998. 1. 15: pp 268-270
- [6] F Ming Chou, Jennifer G. Blank, Alexander F. Goncharov et al., In situ Observations of a High Pressure Phase of H₂O Ice Science, V281, 1998. 8. 7: pp 809

(责任编辑 王宏章)