

DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202202005

秦同春. 以色列依靠科技创新走出缺水困境的经验 [J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(3): 192-197.

QIN Tongchun. Relying on science and technological innovation: Israel's experience of overcoming water shortage[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(3): 192-197.

以色列依靠科技创新走出缺水困境的经验

秦同春^{1,2}

(1. 河北沧州平原区地下水与地面沉降国家野外科学观测研究站, 河北 沧州 061000;
2. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要: 以色列地处中东, 降雨稀少且分布不均, 天然淡水资源短缺。为解决这一困境, 以色列自 1948 年建国后就一直致力于发展水资源高效利用技术, 在水资源生产、运输、回收等领域研发出诸多领先全球的新技术。经过多年努力, 该国从一个缺水的国家成为高效用水的农业大国, 甚至被誉为“欧洲国家的菜篮子”。文章首先介绍了以色列的地理气候情况和水资源类型, 然后介绍了水资源利用结构, 最后列举了以色列在解决水资源危机时发展的 6 项创新技术。文章可为我国水资源高效利用与管理提供借鉴, 同时也可为我国与以色列开展水资源方面的相关合作及学术研究提供基础资料。

关键词: 以色列; 水资源; 缺水; 科技创新; 海水淡化

中图分类号: TV213

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2022)03-0192-06

Relying on science and technological innovation: Israel's experience of overcoming water shortage

QIN Tongchun^{1,2}

(1. Hebei Cangzhou Groundwater and Land Subsidence National Observation and Research Station, Cangzhou, Hebei 061000, China; 2. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: Israel is located in the Middle East. Due to its geographical position and low-amount and uneven-distributed precipitation, Israel is short of natural fresh water resources. National government has developed innovative technologies in producing, transporting and recycling water resources to solve its water shortage crisis. After several-year efforts, Israel has changed from a country with water scarcity to an agricultural country with highly-effective use of water resources. Israel is even called as the 'Vegetable Basket for European countries'. This paper firstly introduces Israel's geography and climate condition, as well as its water type, then introduces the utilization structure of water resources, and finally introduces six scientific and technological innovations used to prevent water crisis. This paper aims to share experience of effective use and management of water resources and to provide references for international cooperation and academic study.

Keywords: Israel; water resources; water shortage; science and technology innovation; desalination

受气候环境和地理因素影响, 以色列是世界上天然淡水资源最贫乏的国家之一^[1]。以色列通过领先全

球的精密水利技术以及充满各种智慧创新的节水科技, 有效解决了本国水资源短缺困境, 甚至向邻国及

收稿日期: 2022-02-08; 修订日期: 2022-04-02

投稿网址: www.swdzhedz.com

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190679; DD20160235)

作者简介: 秦同春(1985-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事水资源调查工作。E-mail: qintongchun@163.com

周边地区供给水资源^[1-3]。丰富的水资源供给使以色列成为世界上首个沙漠面积衰减的国家,成为世界主要农产品出口大国之一^[4]。其农产品不仅自给自足,甚至远销欧洲,被誉为欧洲国家的“冬季厨房”“果园”“菜篮子”等。

我国是世界上主要的干旱国家之一,干旱、半干旱和半湿润易旱区的总面积约 $4.93 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占全国总面积的一半以上^[5-6]。以色列如何走出缺水困境有借鉴意义,其“沙漠奇迹”值得我们认真思考。

本文从地理气候概况、水资源分类以及水资源危机应对措施等方面,系统介绍了以色列从缺水之国变为水之强国的经验,为我国水资源高效利用与管理提供借鉴,也为今后我国与以色列开展水资源方面相关合作及学术研究提供资料。

1 自然地理和气候

以色列位于亚洲西部,地处亚、非、欧三大洲的结合处,是地中海东南海岸一个狭长的半干旱国家,南北长约 470 km,东西最宽处约 135 km。沿海是地势较低的狭长平原,东部是山地和高原。北靠黎巴嫩,东临叙利亚和约旦,西南与埃及接壤,西海岸线与地中海相连,最南端的埃拉特湾(Gulf of Eilat)与红海相连。根据世界银行 2020 年发布的数据,以色列国土面积为 21 640 km^2 ,耕地约占国土面积的 20%,沙漠占国土面积的 60%。

受地中海东岸亚热带湿热气候、亚热带沙漠气候(撒哈拉沙漠和阿拉伯沙漠)的共同影响,以色列夏季漫长炎热且少雨,冬季短暂凉爽并多雨^[7]。根据世界数据网及全球经济指标数据网发布的数据,以色列 1999—2019 年历年的年内气温变化范围为 10~30 °C,部分年份的最高温度高于 30 °C、最低温度低于 10 °C。当年 12 月至次年 2 月是最冷的月份,白天气温在 5~10 °C 范围内波动,夜间气温通常低于 5 °C;7—9 月温度最高,白天气温在 35~40 °C 范围内波动,夜间气温平均为 20 °C(图 1 和图 2)。以色列降水以降雨为主,戈兰高地(Golan Heights)和耶路撒冷(Jerusalem)等地势较高地区可能出现极少降雪。1999—2019 年降水量变化范围为 0~100 mm,部分年份的降水量会超过 100 mm,约 70% 的降水集中在当年 11 月至次年 3 月,5—10 月几乎无雨(图 1 和图 2)。

以色列年内降水空间分布因纬度以及与地中海的距离变化呈现较大的空间差异性:南部内盖夫沙漠(Negev Desert)占据近 60% 的国土面积,年均降水量

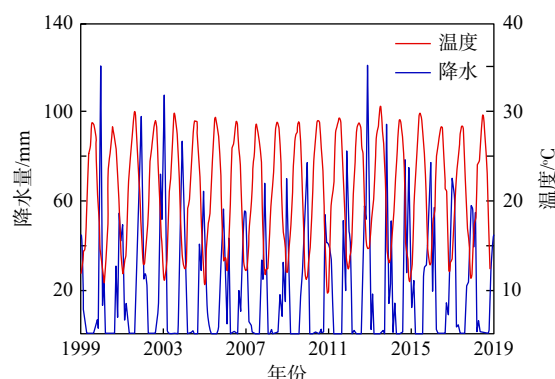


图 1 以色列 1999—2019 年年间降雨与温度变化

Fig. 1 Precipitation and temperature of Israel from 1999 to 2019

注:数据来源于 <https://www.worlddata.info/asia/israel>,
<https://tradingeconomics.com/israel>。

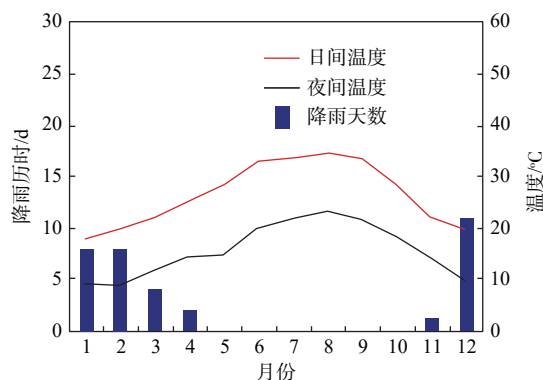


图 2 以色列 1999—2019 年多年月均降雨与温度变化

Fig. 2 Average monthly precipitation and temperature of Israel from 1999 to 2019

注:数据来源于 <https://www.worlddata.info/asia/israel>,
<https://tradingeconomics.com/israel>。

不足 100 mm,干旱年份甚至低于 30 mm;北部丘陵和山地降水充沛,年均降水量超过 600 mm;沿地中海的几个城市,如海法(Haifa)、内塔亚(Netanya)、特拉维夫—雅法(Tel Aviv—Yafo)等,年均降水量在 400~600 mm 之间^[8-9]。以色列全国降水量分布情况见图 3。

2 主要水资源

以色列的水资源包括常规水资源(天然水资源)和非常规水资源(人工再生水资源)两大类。常规水资源指天然地表水资源和地下水资源,约 80% 位于该国北部(图 4)。近年的总水资源供给量约为 $24 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中常规水资源量每年变化不大,约为 $17.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水资源约占 $11 \times 10^8 \text{ m}^3$,地表水资源量约占 $6.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[10-11]。

在常规水资源中,天然地表水资源水域面积不足

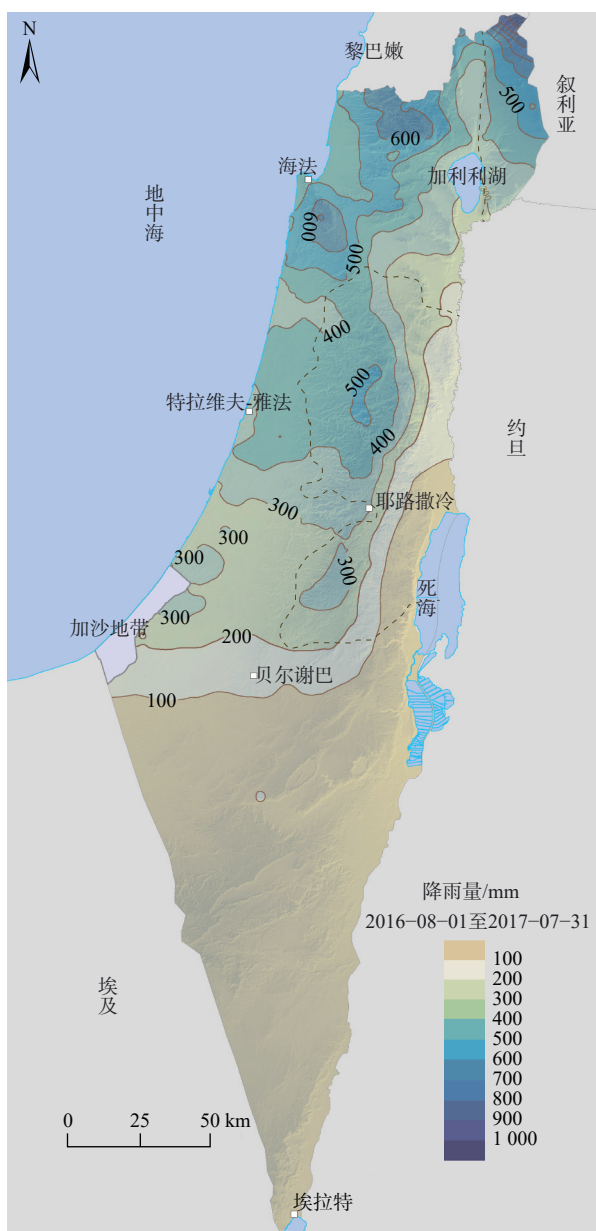


图3 以色列降水量分布图

Fig. 3 Distribution of precipitation in Israel

注: 根据文献 [8] 数字化。

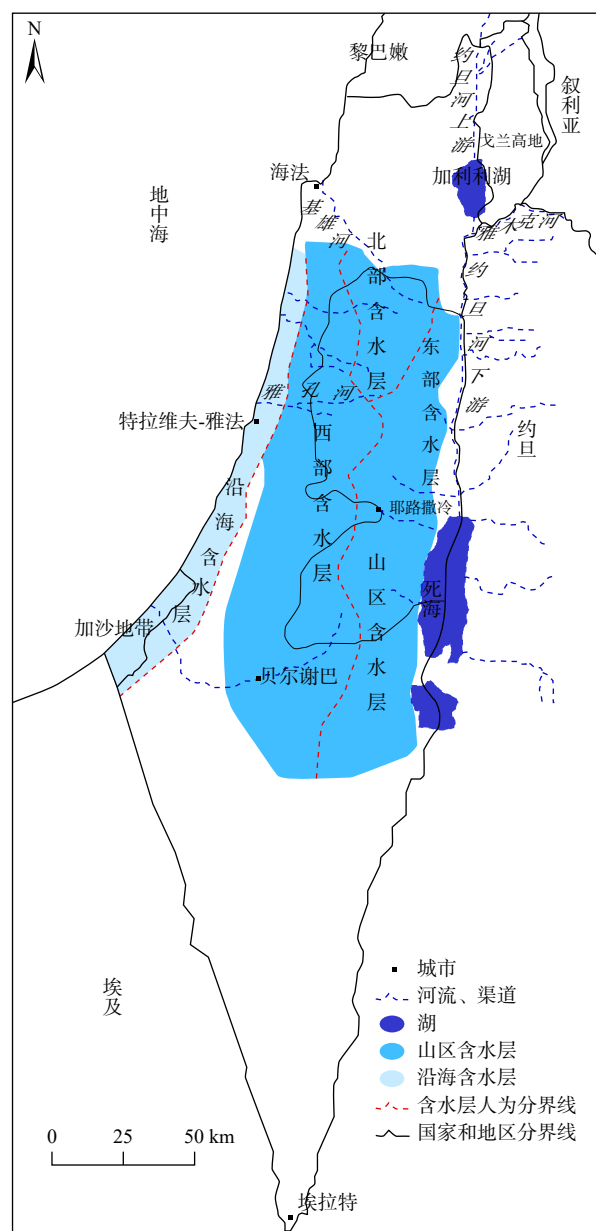


图4 以色列水资源分布图

Fig. 4 Distribution of water resources in Israel

注: 根据 <https://water.fanack.com/israel/water-resources/> 数字化。

国土面积的1%, 境内的非季节性河流有约旦河(Jordan River)、基雄河(Kishon River)、雅孔河(Yarkon River)以及雅莫科河(Yarmouk River), 湖泊有加利利湖(Sea of Galilee)和死海。死海为咸水湖, 含盐量在25%~35%左右, 不可直接饮用。

地下水资源主要有两大地下含水层: 沿海含水层和山区含水层(图4)^[11]。此外在内盖夫沙漠和阿拉瓦河谷(Arava Valley)也零星分布着一些规模较小的含水层。沿海含水层沿地中海沿岸分布, 直接接受天然降水、河流补给和人类生活产生的水源补给。由于工

厂排污、垃圾露天堆置、农田灌溉等人类活动, 以及过度开采导致的海水入侵, 沿海含水层水质较差。沿海含水层的年度可持续开采量约为 $3.6 \times 10^8 \sim 4.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 为控制水质, 近几年政府已逐步关闭部分沿海抽水井。山区含水层从北部的里雄雅科夫(Zichron Yaakov)一直延伸到南部贝尔谢巴(Be'er Sheva), 长约130 km, 宽约35 km, 总面积近6 000 km^2 。该含水层主要接受以色列北部和西岸地区的降水补给, 水质优于沿海海水层水质。该含水层的年度可持续开采量约为 $3.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 但以色列和巴勒斯坦每年的总开采

量约为 $6.8 \times 10^8 \sim 7.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, 远超年度可持续开采量, 加之近年来降水减少, 含水层面临水量枯竭和退化的危险^[11]。

非常规水资源则包括回收水再利用和海水及苦咸水淡化后产生的人工再生淡水资源。非常规水资源供给量逐年递增, 综合以色列水资源部门和世界银行的数据, 非常规水资源的供给量从建国初期几乎为 0 增长至 2014 年的 $14.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 如今已经逐步接近常规水资源的供给量。非常规水资源主要通过新技术实现, 具体介绍见文章第 4 节。

3 水资源利用结构

以色列的水资源利用主要集中在四个方面: 农业用水、工业用水、居民生活用水以及出口一部分水资源给约旦和巴勒斯坦, 其中农业用水是以色列水资源消耗的主要部分, 占比超过一半^[12]。根据以色列水务局和巴勒斯坦中央统计局发布的统计报告, 2016 年以色列全国总用水量约为 $23.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中农业用水量为 $12.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 居民生活用水量为 $8.09 \times 10^8 \text{ m}^3$, 工业用水量为 $1.24 \times 10^8 \text{ m}^3$, 向约旦和巴勒斯坦权力机构供给的水量为 $1.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[12-13]。

4 依靠科技创新解决水资源危机

4.1 节水灌溉技术

以色列政府对节水灌溉技术研发、节水设备研制和推广使用给予大力扶持, 制定了一系列优惠政策和措施, 促进节水农业迅速发展。节水灌溉技术从简单的喷灌, 逐步发展到现在的全部由计算机自动控制的水肥一体的滴灌和微喷灌系统。该系统由太阳能供能, 受计算机控制, 利用特制的塑料管道灌水系统密封输水, 可根据作物的生长状况及水、肥状况自动进行灌水和施肥, 既节省了人力, 又高效管理农田, 农作物的产量和品质都有较大幅度的提高, 经济效益显著提高。

为防止滴灌和微喷灌系统给植物提供的水源快速渗透流失和蒸发, 以色列研发了新型“土壤”, 在节水灌溉技术中扮演着重要角色。这种土壤主要由 1000°C 高温下形成的多孔石组成, 并混合一定比例的营养物质。掺入细碎多孔石的混合土与传统土壤相比, 有更好的通风和保水保湿效果。

节水灌溉技术使以色列在农业用水总量基本保持不变的情况下, 农田灌溉面积从 1960 年的 $13.5 \times 10^8 \text{ m}^2$ 增加到目前的 $22 \times 10^8 \text{ m}^2$, 而每公顷的用水量从

1960 年的 8700 m^3 减少到现在的 5250 m^3 , 水肥利用率提高到了 $80\% \sim 90\%$, 节水 90% , 节能 50% , 平均增产 30% , 各项指标均排在世界前列。

此外, 节水灌溉技术还带动了周边技术发展, 诸如温室技术、育种技术等, 促进了以色列节水灌溉、温室、育种一体化现代农业的迅速发展。

4.2 微咸水灌溉技术

微咸水的比重介于 1.005 和 1.010 之间, 比淡水咸, 但咸度不如海水, 对大多数植物生长不利。以色列南部为沙漠地区, 几乎没有淡水资源, 但地下却埋藏着丰富的微咸水资源。以色列最大绿色组织“犹太国家基金”(Keren Kayemeth LeIsrael - Jewish National Fund, KKL-JNF) 对微咸水种植进行研究, 提出两种微咸水种植方案: 一是培育直接在微咸水中生长的植物, 另一是用微咸水与淡水混合灌溉。KKL-JNF 指导当地农民尝试在沙漠地区进行微咸水种植。经过长期试验, 两种方案均获得成功。在第一种方案中, 专家培育出耐盐橄榄树, 适宜略高浓度的咸水浇灌。在第二种方案中, 专家尝试出不同作物的最优微咸水和淡水混合比例, 比如樱桃番茄用 6:4 的微咸、淡水混合水浇灌后, 产量增产最高, 且经过微咸水浇灌的樱桃番茄更美味, 抗氧化成分也更高。

目前, 以色列农业灌溉所用微咸水量已超过农业用水总量的 10% 。开发利用微咸水不仅为以色列开辟了“新水源”, 也为其壮大沙漠农业奠定了基础。

4.3 污水回收技术

以色列要求各企业首先对废水进行第一级处理, 然后排入城市污水收集系统, 与城市污水汇集后进行第二级处理。第二级处理后的污水水质可达到饮用标准, 将二级处理水与收集的降水一起储存入人工水库, 再输送至缺水地区。尽管人工水库内储存水的水质达饮用标准, 但是为了控制风险, 这些水主要用于农作物灌溉, 禁止流入居民饮用水系统。回收水的水价为饮用水水价的 $1/5$, 在有些地区甚至免费供应给农民使用。1997 年, 以色列废水(包括工业废水和城市污水)的收集率已达 90% , 处理率达 80% , 利用率约 50% , 约有 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的回收水用于农业灌溉, 约占农业用水总量的 20% 。污水回收技术将部分农业用水配额转给工业生产, 促进了工业发展。

目前, 以色列污水处理率达 100% , 水循环利用率达 80% , 是世界水循环利用最领先的国家。

4.4 海水和微咸水淡化技术

早在 20 世纪 70 年代, 以色列政府便在埃拉特修

建了第一家以微咸水淡化为主的工厂^[14]。以色列目前已经有 6 家大型海水和微咸水淡化厂(表 1)。根据以色列财政部数据,目前以色列每年总的海水淡化年产量为 $8 \times 10^8 \sim 10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。以色列于 2020 年在索瑞克(Sorek)开建第 7 座海水淡化厂,预计 2023 年完工,年产量预计为 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$,每立方米的淡水生产成本预计将降为 1.82 谢克尔,约合 0.52 美元,届时海水淡化厂将为以色列提供超过 85% 的饮用水,占居民用水和市政用水量近 20%。

表 1 以色列现有海水和微咸水淡化厂

Table 1 Desalination plants of seawater and slight-saltwater in Israel

建设时间	位置	年产量/ (10^8 m^3)	每吨水淡化 成本/美元	备注
1970年	埃拉特	0.2		以微咸水 淡化为主
2005年	阿什克隆	1.2	0.74	
2007年	帕勒马希姆	0.9	0.83	
2009年	哈德拉	1.45	0.74	
2013年	索瑞克	1.5 ~ 3	0.57 ~ 0.63	
2015年	阿什杜德	1 ~ 1.5	0.69	
2023年	索瑞克	2	0.52	年产量和淡化 成本为预计值

注:数据来源于https://en.m.wikipedia.org/wiki/Water_supply_and_sanitation_in_Israel。

除以上 7 家海水和微咸水淡化厂外,以色列还有约 30 家小型海水和微咸水淡化厂,多位于内盖夫沙漠和南部红海沿岸,以淡化沙漠地下微咸水和红海海水为主,这些小型海水和微咸水淡化厂的年淡水产量约为 $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

4.5 收集利用雨水

以色列政府在降水量较大的中部地区和北部丘陵地区以及降水量在 300 mm 左右的中部内陆地区修建水库和拦水坝,收集雨水。这部分水库同时还收集处理后的污水。目前以这种方式每年可收集约 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的雨水,对缓解以色列水资源危机发挥了一定作用。另一个措施是在中部沿海平原修建拦水坝和引水渠,将雨水人工回灌到沿海地中海平原的沿海含水层,以保护地下水源,防止海水入侵。

目前以色列雨水的利用率约为 18%(包括收集和回灌地下含水层、作物直接吸收等),雨水的利用潜力还很大,政府正在采取进一步措施来提高雨水的利用率。

4.6 收集空气水

俄罗斯亿万巨富 Mikhael Mirilashvili 投资的以色列科技企业 Watergen 公司成功研发出一款空气过滤系统 GENius,可以将空气过滤后,提取其中的水分子

转化为干净的水。每台 GENius 过滤系统内部都有一套储水装置和水处理系统,制水机先将周围空气过滤后吸入机器内部,并将温度降至凝固点以收集水分。收集的水经内置水处理系统提纯、矿化后,就可以安全饮用。

除 GENius 外,以色列理工学院的研究人员也开发出另一种更为低能耗的独立“凭空造水”系统 H2OLL。H2OLL 系统不同于 GENius 系统,它采用了两个阶段的循环过程:首先利用高浓度盐溶液吸收空气中的水分,然后在低于大气压的条件下通过冷凝蒸气分离水分以获得水,整个过程减少了生产水所需的能量。

5 结论与思考

以色列天然水资源短缺,人均淡水资源量仅为联合国所规定的 1/3 左右。但以色列水资源又很“丰富”,在天然水资源短缺的情况下,政府一方面通过法律手段合理利用水资源,另一方面通过该国科技优势发展海水淡化、废水回收利用等再生水资源产业,摆脱了缺水困境。

我国是全球人均水资源最贫乏的国家之一^[5-6]。近年来,我国新疆、甘肃、宁夏、山西、陕西、河北、天津、云南等地区积极与以色列开展科技合作,引入了滴灌喷灌一体化节水灌溉、海水淡化等水资源高效利用领域的科技创新技术。但水资源高效利用技术的发展在我国依然处于起步阶段,虽然局部地区已进行试点推广取得了一定成效,全国范围的内推广还有很长的路要走。同时在普及推广中,常碰到技术投资成本高、自主研发水平不足、推广前科普工作不到位、企业负责人以及农民积极性不高等问题。

我国面对与以色列类似的缺水困境,深入研究以色列水资源保护利用措施,因地制宜地借鉴以色列在水资源利用方面的经验,探索出适合我国实际情况的水资源可持续利用发展之路,克服在推广普及时遇到的障碍,对解决我国面临的水资源短缺问题有很大意义。

参考文献 (References):

- [1] AVGAR I. Israeli water sector-key issues[R]. Israel, Jerusalem: The Knesset Research and Information Center, 2018.
- [2] PLAUT S. Water policy in Israel[R]. Israel, Jerusalem: Institute for Advanced Strategic and Political Studies, 2000.

- [3] 高阳. 以色列水经济发展路径探析[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2018, 30(4): 101 – 103. [GAO Yang. Analysis on the development path of Israel's water economy [J]. Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute, 2018, 30(4): 101 – 103. (in Chinese)]
- [4] 易小燕, 吴勇, 尹昌斌, 等. 以色列水土资源高效利用经验对我国农业绿色发展的启示[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(10): 37 – 42. [YI Xiaoyan, WU Yong, YIN Changbin, et al. The enlightenment of Israel's efficient utilization of land and water resources to the green development of agriculture in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(10): 37 – 42. (in Chinese)]
- [5] 陈昌毓. 浅谈我国干旱区的分布[N/OL]. 中国气象报, (1990-07-16) [2022-03-28] http://www.cma.gov.cn/kppd/kppdqxsj/kppdtqqh/201212/t20121215_197083.html. [CHEN Changyu. Introduction to the distribution of arid zone in China[N/OL]. Beijing: China Meteorological News, (1990-07-16) [2022-03-28]. (in Chinese).]
- [6] 苗硕. 中国淡水资源现状与保护措施探讨[J]. 现代商贸工业, 2010, 17(2): 19 – 21. [MIAO Shuo. China's fresh water resources present situation and the protective measures[J]. Modern Business Trade Industry, 2010, 17(2): 19 – 21. (in Chinese)]
- [7] ZIV B, SAARONI H, PARGAMENT R, et al. Trends in rainfall regime over Israel, 1975—2010, and their relationship to large-scale variability[J]. Regional Environment Change, 2014, 14: 1751 – 1764.
- [8] FUKS D, ACKERMANN O, AYALON A, et al. Dust clouds, climate change and coins: consiliences of palaeoclimate and economy in the Late Antique southern Levant[J/OL]. The Journal of the Council for British Research in the Levant(2017-10-09)[2022-02-01]. <https://doi.org/10.1080/00758914.2017.1379181>.
- [9] PHILIPPE M, TAL S, YERES J, et al. Water management in Israel: Key innovations and lessons learned for water-scarce countries[R]. USA Washington: World Bank Group, 2017.
- [10] 高阳. 以色列水外交政策研究[J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2018, 30(4): 65 – 68. [GAO Yang. Research on the water diplomacy of Israel[J]. Journal of Zhengzhou Railway Vocational and Technical College, 2018, 30(4): 65 – 68. (in Chinese)]
- [11] 杜强, 马良英, 范锐平, 等. 以色列地下水资源利用与管理现状[J]. 南水北调与水利科技, 2007, 5(2): 101 – 104. [DU Qiang, MA Liangying, FAN Ruiping, et al. Groundwater utilization and present management condition in Israel[J]. South-to North Water Transfer and Water Science & Technology, 2007, 5(2): 101 – 104. (in Chinese)]
- [12] 柳一桥. 美国、法国和以色列农业水价管理制度评析及借鉴[J]. 世界农业, 2017, 12: 93 – 98. [LIU Yiqiao. Analysis and reference of agricultural water price management system in America, France and Israel[J]. World Agriculture, 2017, 12: 93 – 98. (in Chinese)]
- [13] Palestinian Central Bureau of Statistics. Manual of Statistical Indicators[R]. Palestinian, Ramallah: Palestinian Central Bureau of Statistics, 2017.
- [14] TENNE A. Sea water desalination in Israel: Planning, coping with difficulties, and economic aspects of long-term risks[R]. Israel, Jerusalem: The Water Authority, 2010.

编辑: 汪美华

编者按: 2022 年是中以建交 30 周年, 两国双边合作达到全面发展的新高度。我国在高效节水技术方面与以色列开展了系列务实合作, 但距离全面推广节水技术尚有很长的路要走。本文作者曾在以色列开展过科技外交工作, 对以色列的水资源类型、高效节水技术进行过系统调研。作者结合其在该国的工作经历, 对以色列的地理气候情况、水资源类型、水资源危机应对措施等方面进行了整体且系统的介绍, 为我国走出缺水困境提供参考, 也可为今后两国水资源方面的相关合作及学术研究提供资料。