

污水灌溉在以色列农业中的应用

陈竹君，周建斌

(西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 介绍了污水灌溉在以色列的发展现状和取得的成效, 分析了污水灌溉在我国特别是干旱与半干旱地区农业生产中的意义。

关键词: 污水灌溉; 资源利用; 环境保护

中国分类号: S273.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2001)06 – 0458 – 03

Application of Treated Wastewater on Agriculture in Israel

CHEN Zhu-jun, ZHOU Jian-bin

(Faculty of Resource & Environmental Sciences, Northwest Sci – Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

Abstract: This article reviews the advances of using treated wastewater (effluent) for irrigation on agriculture in Israel and its contributions to solve water scarcity problems faced in the country. In addition, the potential utilization of the effluent for irrigation in China, especially in arid and semi – arid areas, was also evaluated.

Keywords: effluent irrigation; resource utilization; environment protection

以色列全国年均降雨量约 350 mm, 其中有一半地区的年均降雨量小于 180 mm; 全国每年的淡水资源不足 15—16 亿 m^3 ^[1,2], 人均淡水量低于 $300 \text{ m}^3 \cdot \text{年}^{-1}$, 为严重缺水国家。自 20 世纪 70 年代以来, 以色列农业生产有了很大的发展, 但农业灌溉对淡水的消耗量非但没有增加, 还在逐渐减少^[3]。这除得益于先进的节水灌溉等农业技术的广泛普及外, 利用处理过的污水进行灌溉, 是其维持农业持续发展的成功做法之一。

1 污水灌溉在以色列的发展

与澳大利亚、美国、德国和墨西哥等国家相比, 以色列污水灌溉的历史相对较晚, 最早开始于 20 世纪四五十年代的一些集体农庄—基布兹(Kibbutz)。直到 20 世纪 70 年代, 全国的污水利用量仅为 0.4 亿 m^3 , 占灌溉总水量的比例约为 3%。灌溉污水的处理程度低, 多数为初级处理后的污水, BOD 含量一般为 $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 有的高达 $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由于受水质限制, 灌溉的作物仅限为少数几种作物^[4]。20 世纪 70 年代开始, 缺水问题的加剧和环境保护意识的增强, 促使以色列开始重视污水的处理和利用问题。1971 年以色列议会通过了对水法的修正案, 加强了对水资源保护的内容, 禁止将未处理的污水直接排放于环境中。对不符合污水排放标准的单位征收排污费, 对污水处理和利用项目提供财政扶持政策^[1]。将污水做为国家

水资源的一部分加以管理和利用, 并做为国家的一项基本政策实施。开始建立一些大的污水处理工程, 处理的污水质量明显提高, 污水灌溉面积也开始迅速增加。其中最大的项目是 Shafdan 工程, 用于处理特拉维夫市及其相邻地区污水, 日均处理污水 270 000 m^3 , 占全国污水处理量的三分之一左右。这一工程将经过二级处理后的污水采用土体净化法 (Soil aquifer treatment) 进一步处理, 将其注入面积达几百公顷的入渗池, 入渗过程中利用土壤的净化作用处理污水。入渗的污水平均在土体中保存 400 余天, 然后通过分布于入渗池 300—1 500 m 距离的回收井将入渗的处理水抽出, 利用专门的管道输送到南部缺水的 Negev 地区, 每年可为这一地区供应 1 亿 m^3 的灌溉水。处理后的污水 BOD 含量小于 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 达到正常灌溉水的标准, 适应于各种作物的灌溉^[5,6]。这一工程的优点在于处理的污水质量高, 避免了采用水库储存时水分的蒸发损失。

污水进一步处理的另一方法是将二级处理后的污水储存于水库中, 储存时间一般在 2 个月以上。这一方面解决了污水排放时间与农业利用时间不协调的矛盾, 另一方面, 贮存过程中的沉淀、分解等作用, 改善了污水的质量。处理后的污水达到限制性灌溉用水的标准, 若调节恰当, 一些处理水可达非限制灌溉水的标准^[7]。这一方法被称为 DRT 法 (deep reservoir treatment), 在以色列的应用最为普遍, 主要用于小型污水处理项目, 也有一些大型工程采用该法。如位于以色列北部的 Qishon 工程, 将海法市产生的污水就地进行二级处理后, 输送到 30 km 以外的 Jeezrael 地区的水库贮存, 用于那一地区的棉

收稿日期: 2001 – 09 – 13

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330)资助

作者简介: 陈竹君(1964—), 女, 陕西杨凌人, 讲师, 主要从事土壤与植物营养方面的教学与研究工作。

花和其他一些作物的灌溉。至今,以色列已建成大小不同的这类水库 200 余座,容纳了约 1.5 亿 m³ 的处理污水。这些水库还起到了蓄积雨水的作用。目前,以色列的城市和所有的定居点已建成了较健全的排污系统,并因地制宜地建立了相应的污水处理工程。几乎所有排出的污水都进行了二级处理^[8],约有 60% 以上的污水用于农业灌溉。为便于污水的农业利用,以色列将全国按自然流域划分为 7 个大的区域,每个区域内按污水产生数量都制定出了利用计划,在一些地区,几乎所有的污水都得到了处理和利用^[6]。

与一般灌溉水源不同,处理后的污水中含有的一些成分,如盐分、重金属、病菌等,若使用不当,可能会引起农产品污染,品质下降,破坏土壤结构,污染地下水源,导致病菌流行等问题。因此,以色列政府和有关部门先后组织市政、环保、卫生和农业等行业的科技人员围绕着污水农业利用问题开展了大量的研究工作。

早在 1963 年,以色列国家水管理委员会就开展了全国污水处理及利用的调查研究。之后就污灌对作物生长、土壤肥力等的影响进行了系统的研究,肯定了污灌在农业生产和环境保护中的意义。为防止和降低污灌可能产生的不良作用,提出了污水灌溉国家标准,规定用于灌溉污水的大肠杆菌应小于 1 000 · 100 mL⁻¹,若用于莴苣、番茄等非烹调类蔬菜的灌溉,要求污水大肠杆菌应小于 10 · 100 mL⁻¹^[9]。污水灌溉时,根据污水质量不同,确定适应灌溉的作物种类。对于经过土壤入渗处理的污水,水质已达正常灌溉水的标准,应用于各种作物的灌溉。未经土壤入渗处理的污水,主要用于棉花、饲料作物、林地、草地、烹调类蔬菜、带皮类或用于加工的水果的灌溉。应用最多的作物为棉花、柑橘、鳄梨等。全国 28 500 hm² 棉花几乎全部采用处理的污水进行灌溉^[10]。广泛采用的先进的滴灌技术,避免了灌溉时污水直接与作物接触,或喷灌时病菌在空气中的传播。为进一步减少污水使用时的负面效应,已开始将地下渗灌技术应用于污水灌溉领域。

以色列政府和科研人员还十分重视长期污灌对土壤、水体等环境影响的研究。建立了一些较长期的检测试验点,并不定期地对全国污灌土壤进行普查,以评价污灌的效果,确定合理的污灌技术和标准等。如 1998 年和 1999 年连续 2 年对全国 200 余个污灌的柑橘和鳄梨园的调查发现,与淡水灌溉相比,污灌使土壤的钠与钙镁的比值(SAR)、N、P、K 和 B 的含量增加,土壤的 EC、Cl 和一些重金属的含量无明显变化^[11]。

从以色列污水灌溉的成功经验看,水资源短缺和环境保护意识的增强是污水利用的驱动力,政府的重视和支持是污水利用的前提,科学研究与试验是污水有效利用的支撑和保证。

2 污水灌溉的效果

2.1 缓解了水源短缺的矛盾

与世界其他国家类似,农业灌溉是以色列最大的用水部门,约占全国总用水量的 63% 以上。随着人口的增长和工业等的发展,对淡水的需求量越来越多。在淡水资源有限的情况下,以色列水管理部门一直采取压缩农业用淡水份额的措施。

在干旱年份,压缩的比例更大,连续 3 年的干旱,导致以色列全国淡水储量严重下降,2000 年用于灌溉的淡水份额压缩了 40%,2001 年将压缩 50%^[12]。促使农业部门一方面提高水分利用效率,另一方面,寻求可替代的水源。海水淡化虽然可提供淡水,但其过高的价格,限制了其在农业生产上的应用。污水利用被认为是解决以色列目前水源不足的主要途径。以污灌应用较早的 Jeezrael 地区为例,1983 年这一地区灌溉用水每年有 2 000—3 000 万 m³ 的水来源于国家输水系统(淡水),到 1990 年这一数量减少为 700 万 m³,淡水用量降低了 70%,不足的水量主要由处理后的污水补充。这一地区处理污水占灌溉用水的比例已达 80%^[13]。就以以色列全国看,处理污水每年大约提供了 2 亿 m³ 的水量,占总灌溉用水的比例约为 18%,干旱年份的比例更高;2010 年预计利用 4.2 亿 m³ 处理的污水,使其占总灌溉用水的比例提高到约 34%。2040 年预计利用污水 10 亿 m³,占总灌溉用水量的 70% 左右^[14]。

2.2 节肥增产作用

污水中含有作物生长所需的 N、P、K 等营养元素,其合理使用减少了肥料的施用量。通过污灌施入的养分数量取决于污水中养分浓度和灌水数量。养分含量依污水来源,处理方式和程度等而变化。污水处理程度越高,养分含量越低。因此,用于灌溉的污水处理程度可以低一些,一般多用二级处理污水,其一般含氮 10—50 mg · L⁻¹,磷 6—7 mg · L⁻¹,钾 10—40 mg · L⁻¹^[15]。据估计,采用处理的污水灌溉棉花,在以色列灌溉条件下每季加入的氮量超过了 200 kg · hm⁻²,较当地棉花的正常建议施肥量(120—180 kgN · hm⁻²)还高。污灌每年为 Rhodes 草加入的氮量高达 500 kg · hm⁻²^[16]。

世界卫生组织的专家小组估计,在半干旱地区正常灌溉下每年施入的 N、P 量分别为 300 和 60 kg · hm⁻²^[17]。可见,通过污水灌溉可为作物提供相当数量的养分,若在制定施肥建议时考虑这一部分养分对作物的贡献,无疑可节约肥料的施用数量。不少研究也证实了这一点。Feigin 等发现^[16],污水灌溉量为 350、440 和 515 mm · hm⁻² 时棉花的产量与相应数量的淡水再分别加 150、180 和 230 kgN · hm⁻² 的效果相当。据估计,若今后 20 年内以色列年污灌量达 5 亿 m³,二级处理污水的含 N、P、K 量分别按 30—35、6—8 和 20—25 mg · L⁻¹ 计,则通过污灌施入土壤的 N、P、K 量分别达 16 000、3 500 和 10 000 t(Shaviv, 1999,个人通讯)。可见,这是一笔不可忽视的养分资源。

2.3 环境保护作用

未经处理污水的直接排放,其过高的 BOD 和氮磷等成分含量是导致水体发生富营养化的主要原因。如欧洲许多河流 20 世纪 70 年代前由于含 BOD 过高的污水的大量注入,水质严重恶化。经过长期治理,这些河流才恢复了以往的清澈,一些鱼类开始重新出现^[10]。采用处理的污水进行灌溉,有效地处置了这类物质,避免了其直接排放到河流湖泊等水体后可能产生的污染作用。以色列的 Shafdan 工程,将大量的处理污水注入地下净化,还防止了由于地下水过分开采引起的海水入侵问题。

2.4 经济效益

利用处理后的污水灌溉的效益除体现在节约水源和肥料方面外, 还体现在降低污水处理的成本上。污水处理程度越高, 成本越大。据估计, 包括硝化和反硝化、脱碳、过滤和消毒等过程的三级处理的成本为用氧化池进行二级处理成本的 3 倍, 甚至更多; 为嫌气池处理成本的 8 倍^[15]。经适宜的二级处理的污水即可用于农业灌溉, 这明显降低了污水处理成本。据 Shevach 等分析^[6], 以色列若每年将 2 亿 m³ 的污水处理后排放于海中(按有关规定, 排放的污水需经过三级处理)的成本约为 7.6 亿美元。若这些污水用于农业灌溉, 则处理的成本约为 6.5 亿美元, 降低了 1.1 亿美元。

3 污水农业利用在我国的意义

随着人口的不断增长、人们生活水平的提高和城市化的发展, 污水产生的数量越来越多, 因此, 如何处置这些数量巨大而又具潜在环境威胁的污水, 是世界各国面临的普遍问题。将其纳入国家水资源综合利用计划, 是今后发展的趋势^[18]。据有关专家估计^[19], 若每人每年用水按 125 m³ 计, 那么, 一个百万人口城市的年需水量为 1.25 亿 m³, 若其中有 80% 的水进入排污系统, 则每年可收集污水 1 亿 m³, 这些污水处理后可满足 1—2 万公顷农田的灌溉需要。可见, 这是一笔相当可观的水资源。

我国是水资源严重短缺的国家之一, 人均淡水量不足世界平均水平的四分之一。随着工农业生产的发展和人口的增加, 对水的需求量越来越大, 水资源短缺问题将会变的越来越突出。与此同时, 污水的排出量还在急剧增加, 据估计, 1998 年全国污水排放量达 395.3 亿 m³^[20]。未经处理或处理未达标的污水直接排放于河流湖泊等水体在许多地方仍比较常见, 还在不断污染着有限的水资源。由此带来的环境问题愈演愈烈。因此, 对污水进行处理和利用, 是我国面临的严峻问题。学习和借鉴先进国家在污水灌溉方面的经验和做法, 是解决这些问题的有效途径之一, 在干旱与半干旱地区具有更重要的意义。

采用处理后的污水灌溉除可缓解水资源短缺的矛盾外, 还具有节约肥料、减少污水处理成本、避免其直接排放产生的环境问题。应该看到, 污水若利用不当, 会产生一些负面效应, 污染环境, 引起一些疾病流行。就我国目前的现状看, 污水的处理程度低, 特别是一些工业污水重金属等有害物质含量高, 直接用于灌溉会产生许多不良后果。按照有关标准对污水进行必要的处理, 是其应用于农业灌溉的基本要求。将污水的农业利用纳入国家的资源利用规划, 是合理利用污水的基本保证。只有这样, 才可将污水的处理和利用有效地结合起来, 组织市政、环保、卫生和农业等多部门联合攻关, 兴利除弊, 使得污水灌溉获得应有的经济效益和生态环境效益。

参考文献:

- [1] Arlosoroff S. Israel – a model of efficient utilization of a country's water resources. United Nations Water Conference, Mar Del Plate, Argentina. 1977.
- [2] Sitton D. Development of limited water resources: Historical and technological aspects. Israeli Foreign Ministry. 2001.
- [3] Shevah Y, Kohen G. Economic consideration for water used in irrigation

- in Israel. In Kay M, Franks T, and Smith L eds. Water: Economics, Management and Demand, E & FN Spon, London, 1997. 29 – 37.
- [4] Ashboren D. Recycling of waste water for agricultural and industrial uses. Grah – Press, Jerusalem, Israel. 1975.
- [5] Soffer D, Icekson N, and Blanc R. Wastewater treatment and ground water recharge for reuse in agriculture – The Dan Region Reclamation project (SHAFDAN). In Proceedings of 7th International Conference on Water and Irrigation, 13 – 16 May, Tel Aviv, Israel, 1996. 222 – 227.
- [6] Shevah Y, Shelef E. Israel's national policy for wastewater reclamation and reuse. In Proceedings of 7th International Conference on Water and Irrigation, 13 – 16 May, Tel Aviv, Israel, 1996. 53 – 63.
- [7] Libhaber M, and Mintzker N. Wastewater treatment for agricultural reuse in Israel. In Proceedings of 5th International Conference on Irrigation, 26 – 27 March, Tel Aviv, Israel, 1990. 203 – 221.
- [8] Arlosoroff S. Water resource management issues in the Middle East peace process. In roceedings of 7th International Conference on Water and Irrigation, 13 – 16 May, Tel Aviv, Israel, 1996. 1 – 16.
- [9] Shuval H I. The role of wastewater recycling and reuse in water resources management under condition of scarcity. In Proceedings of 8th International Water Resources Association World Congress on Water Resousers, Cario, Egypt, Vol 1, 1994. 6. 6 – 6. 19.
- [10] Friedler E, and Juanico M. Treatment and storage of wastewater for a gricultural irrigation. In Proceedings of 7th International Conference on Water and Irrigation, 13 – 16 May, Tel Aviv, Israel, 1996. 228 – 237.
- [11] Irrigation & Soil Field Service (ISFS). National wastewater effluent irrigation survey. Ministry of Agriculture and Rural Development, Israel. 2001.
- [12] Rudge D. Water crisis coming down the tubes. Jrusalem Post, December 19. 2000.
- [13] Friedler E. The Jeezrael Valley project for wastewater reclamation and reuse, Israel[J]. *Water Science & Technology*, 1999, **40**(4 – 5): 347 – 354.
- [14] Haruvy N, Offer R, Hadas A, and Ravina I. Wastewater irrigation – economic concerns regarding beneficiary and hazardous effects of nutrients[J]. *Water resources Management*, 1999, 13: 303 – 314.
- [15] Feigin A, Ravina I, and Shalhevet J. Irrigation with treatment sewage effluent. Springer – Verlag, Berlin. 1991.
- [16] Feigin A, Vaisman I, and Bielorai H. Drip irrigation of cotton with municipal effluents: II. Nutrient availability in soil[J]. *J Environ Qual*, 1984, **13**(2): 234 – 238.
- [17] World Health Organization. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical Bulletin, Series 77, WHO, Geneva, Switzerland. 1989.
- [18] Bouwer H. Irrigation and global water outlook[J]. *Agricultural Water Management*, 1994, 25: 221 – 231.
- [19] Shuval H I. Optimizing wastewater recycling and reuse as a sustainable water resource in arid countries. In proceedings of Conference in Water Resources Management in Arid Counties, Muscat, The Sultanate of Oman, Vol 2, 1995. 649 – 656.
- [20] Qian Y. Appropriate process and technology for wastewater treatment and reclamation in China[J]. *Water Science & Technology*, 2000, **42**(12): 107 – 114.